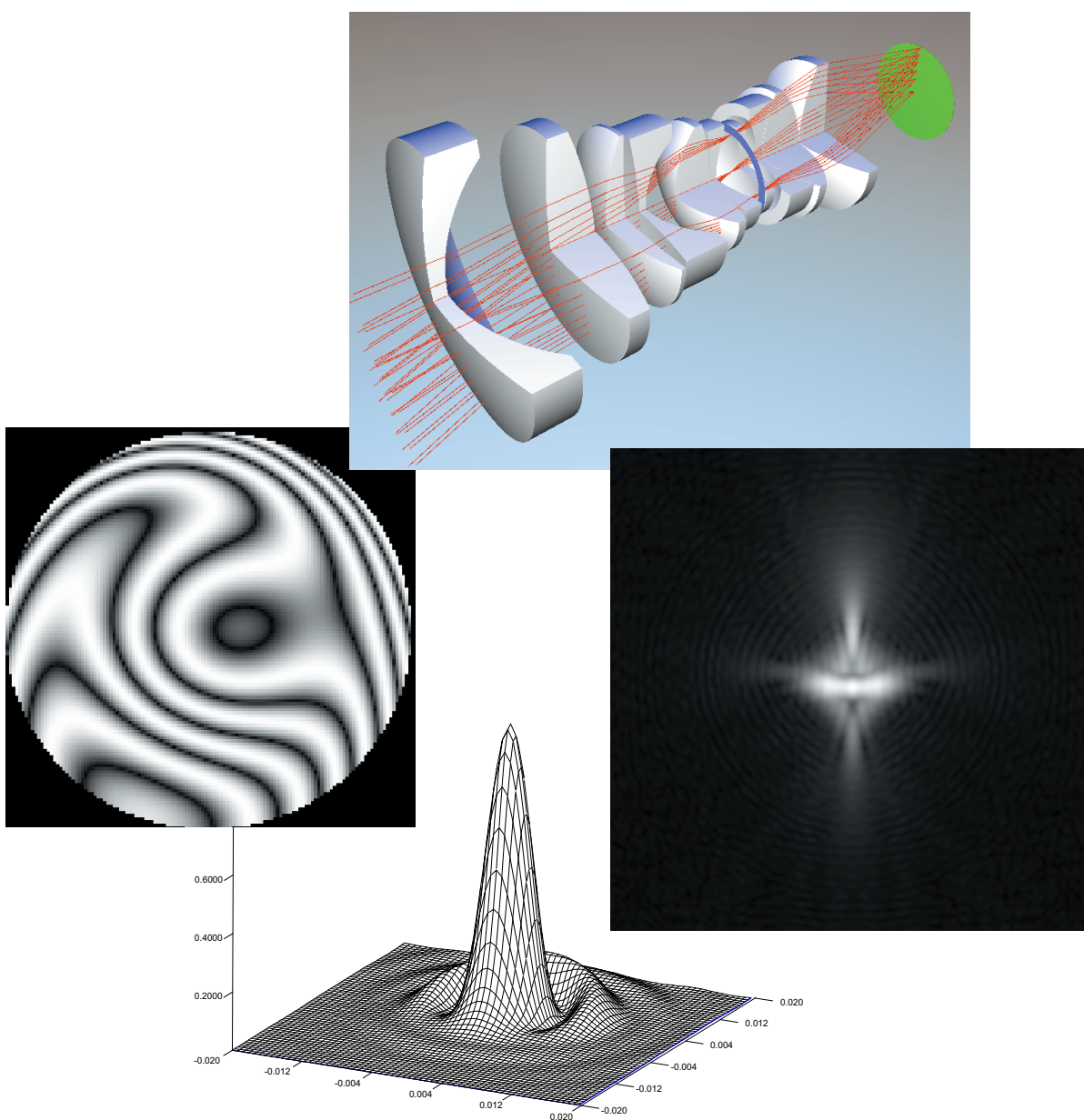


OpTaliX®

レンズおよび光学多層薄膜 設計ソフトウェア

リファレンス マニュアル Version 7.04 -J1



Optenso™
Optical Engineering Software



URL: <http://www.ekklesia.co.jp/>
email: sales@ekklesia.co.jp

Copyright

Copyright 1986 - 2008 by Optenso®. All rights reserved worldwide. No part of this manual and the software may be copied, distributed, transcribed, transmitted, or stored in a retrieval system by any means without express written permission from the author. The information in this manual and the software it describes are subject to change without notice.

Trademarks

OpTaliX® is a registered trademark of Optenso®.

Microsoft Windows, Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000 and Windows XP are trademarks of Microsoft Corporation.

OSLO is a registered trademark of Sinclair Optics, Inc.

ZEMAX is a registered trademark of Zemax Development Corp.

CODE V is a registered trademark of Optical Research Associates

ProSource is a registered trademark of Radiant Imaging Corp.

POV-Ray™ is Copyright by the POV-Ray Team™

Disclaimer

Optenso® reserves the right to modify its software and publications with no obligation to notify any person or organization of such modifications. The software is provided as is without any guarantees or warranty. Although Optenso® has attempted to find and correct any bugs in the package, in no event shall Optenso® be liable for any loss of profit or any commercial damage, included but not limited to special, consequential or other damages.



Kugelstrasse 205
CH-9435 Heerbrugg
Switzerland
E-mail : info@optenso.com
Web : <http://www.optenso.com/>

目次

目次	i
第1章 OpTaliX の開始と終了	1
1.1 プログラム・グループからの起動	1
1.2 ウィンドウズ・エクスプローラからの起動	1
1.3 DOS ウィンドウからの起動	2
1.4 OpTaliX の終了	2
第2章 表記に関する約束事	3
第3章 プログラム規定値 (デフォルト状態) の変更	5
3.1 パス	5
3.2 操作	6
3.3 ウィンドウ	7
3.4 色	8
3.5 その他の設定	8
第4章 中間ファイルの保存場所	9
第5章 定義	11
5.1 符号	11
5.2 座標系	11
5.2.1 グローバル座標系	12
5.2.2 物体面の座標系	12
5.2.3 ティルト角	12
5.3 近軸の約束事	14
5.4 光線の座標	15
第6章 コマンドの書式	17
6.1 概要	17
6.2 コマンドの書式	18
6.2.1 修飾子	18
6.2.2 特別な面修飾子	19

6.2.3	変数と共に使う修飾子	19
6.2.4	データの入力と変更	19
6.3	面ポインタ	20
6.4	面の識別子と数式表現	21
6.5	関数と算術表現	22
6.6	レンズデータベースアイテム	22
6.7	疑問符記号 (?)	23
6.8	コマンド入力におけるルール	24
第 7 章	光学系全系に関わるデータの編集	27
7.1	光学系の新規設定	27
7.2	レンズデータの保存と呼び出し	28
7.3	光学系全系に関わるレンズデータ	28
7.3.1	視野/物点に関する定義	30
7.3.2	非点収差をもつ物体	33
7.3.3	波長に関する定義	34
7.3.4	光学スペクトルの定義	35
7.3.5	開口データ (光学系の明るさの設定)	38
7.3.6	瞳のアポダイゼーション	41
7.3.7	デフォーカス	43
7.3.8	注釈とコメント	45
7.4	光線追跡座標の決定法	45
7.4.1	ENP: 近軸入射瞳モード	47
7.4.2	STO: 実絞りモード	47
7.4.3	TEL: テレセントリックモード	47
7.4.4	OMN: 全方位モード	48
7.5	アフォーカル系	49
7.6	ビネッティング	50
第 8 章	面データの編集	53
8.1	面エディタ	54
8.2	面パラメータ	54
8.3	無限大を意味する数値	58
8.4	レンズ面のデータを簡便に入力する方法	58
8.5	面タイプ	58
8.6	非球面	60
8.6.1	“偶数次” 非球面	62
8.6.2	“奇数次” 非球面	63

8.6.3	偶数/奇数次非球面における長軸/短軸まわりの楕円	64
8.6.4	“拡張奇数次”非球面	65
8.6.5	アナモフィック面	67
8.6.6	シリンドリカル面	68
8.6.7	トロイダル面	69
8.7	面と光線、もうひとつの交点	70
8.7.1	“XY”多項式非球面	71
8.8	アキシコン	72
8.8.1	偶数次非球面“EVEN”によってモデル化したアキシコン	73
8.8.2	拡張奇数次非球面“ODD30”によってモデル化したアキシコン	73
8.9	ホログラフィック面	73
8.9.1	非対称な位相関数	76
8.9.2	対称な位相関数	77
8.9.3	スウェットモデルー高屈折率法による回折レンズのモデリング	77
8.9.4	2点光源ホログラム	78
8.10	回折格子 または グレーティング	80
8.10.1	不等間隔グレーティング (VLS)	81
8.10.2	VLS グレーティング定数の変換	82
8.10.3	回折効率の評価	83
8.10.3.1	鋸歯形状 (キノフォーム)	83
8.10.3.2	正弦形状	84
8.10.3.3	階段近似	84
8.10.3.4	回折効率の評価例	85
8.11	フレネル面	86
8.12	全反射面	87
8.13	ノンシーケンシャル面	89
8.13.1	シーケンシャルな面のノンシーケンシャル面への変換	90
8.13.2	ノンシーケンシャル座標系	91
8.13.3	ノンシーケンシャル面の材料指定	91
8.13.4	ノンシーケンシャル範囲内の光線追跡	92
8.14	面のピックアップ	92
8.14.1	グループでのピックアップ	96
8.14.2	個別のピックアップ	97
8.14.3	ピックアップの削除	97
8.14.4	ピックアップとソルブの関係	97
8.14.5	ピックアップの一覧表	98
8.15	ソルブ	98

8.16	平行偏芯およびティルト	101
8.16.1	ティルト面に関する符号の規約	104
8.17	偏芯モード	104
8.17.1	偏芯モード 0: ディセンタ・アンド・リターン	105
8.17.2	偏芯モード 1: 座標系の新規定義	106
8.17.3	偏芯モード 2: ベンド	106
8.17.4	ベンド面上の複合ティルト	107
8.18	偏芯の適用順序	107
8.19	変換マトリクス	108
8.19.1	変換マトリクスの要素の設定	109
8.20	GRIN 材料の特性のティルト	110
8.21	グローバル参照	111
8.22	“光線を通過させない”面	113
8.23	屈折率分布面	114
8.23.1	各面に定義された個別の GRIN 材料に関する屈折率分布係数の編集	119
8.23.2	GRIN 材料に関する光線追跡法	120
8.23.3	日本板硝子社の SELFOC 型の屈折率勾配	120
8.23.4	Gradient Lens 社の GRIN	121
8.23.5	Grintech, Jean 社のラジアル型 GRIN	121
8.23.6	Grintech, Jean 社のシリンドリカル型 GRIN	122
8.23.7	軸上線形 GRIN	122
8.23.8	LightPath 社のレンズ	122
8.23.9	ロチェスタ大学型の GRIN	123
8.23.10	Luneberg 型 GRIN レンズ	123
8.23.11	球状 GRIN レンズ	124
8.23.12	Maxwells の魚眼	124
8.23.13	ユーザ定義屈折率分布面	124
8.23.14	デフォルトの <code>usergrn</code> サブルーチン	126
8.23.15	<code>usergrn</code> のコンパイルとリンク	127
8.23.16	GRIN 分布に関する係数一覧表	128
8.24	ライトパイプ、ステップインデックスファイバ	129
8.25	アレイレンズ	131
8.26	動径スプライン・デフォメーション面	134
8.27	2次元干渉デフォメーション面	136
8.27.1	デフォメーションデータの保存	138
8.27.2	符号の規約	139
8.27.3	干渉デフォメーションデータ	141

8.27.4	波面のパータバージョン	141
8.27.5	面上の強度アポダイゼーション	142
8.27.6	Orbscan II が出力するデフォーメーションデータの取り扱い	143
8.27.7	無効データ領域における光線のふるまい	144
8.27.8	干渉デフォーメーションの描画	145
8.28	ツェルニケ・デフォーメーション面	145
8.28.1	ツェルニケ・エディタ	150
8.28.2	フリッジ・ツェルニケ多項式の定義	151
8.29	ツェルニケ位相面	152
8.30	ユーザ定義面	152
8.30.1	ユーザ定義面の作成方法	153
8.30.2	ユーザ定義面の作成に利用できる言語 および言語処理系 (コンパイラ)	155
8.30.3	Lahey/Fujitsu Fortran 90 によるコンパイル法	155
8.30.4	Intel Fortran 90 および Compaq Visual Fortran によるコンパイル法	156
8.30.5	Microsoft Visual C/C++ によるコンパイル法	158
8.31	レンズモジュール	160
8.32	面のアパーチャ	162
8.32.1	多角形アパーチャ	165
8.32.1.1	多角形アパーチャのダイアログベース入力	166
8.32.1.2	多角形アパーチャのファイルからの読み込み	166
8.32.2	ホールアパーチャ(穴)	167
8.32.3	固定アパーチャ(高さ)	168
8.33	面のコメント	170
8.34	面の挿入、反転、コピー、移動、削除	171
8.35	コーティング/多層膜	173
8.36	像面の再定義	173
第 9 章	リストおよびレポートの作成	177
9.1	レンズ構成データのリスト出力	177
9.2	代替ガラスのリスト	179
9.3	リスト出力の書式について	180
9.4	グローバル座標値の出力	181
9.5	ユーザ定義変数のリスト出力	183
9.6	ユーザ定義関数のリスト出力	183
第 10 章	レンズ配置の描画	185
10.1	POV レンダリングエンジンの使い方	187
10.2	光線の描画	188

第 11 章	ズームと多重構成	191
11.1	ズームポジション数	191
11.2	ズームパラメータの定義	191
11.3	表形式のズームエディタ	193
11.4	ズームポジションの挿入、コピー、削除	195
11.5	テキスト形式のズームエディタ	195
11.6	ズーム光学系におけるソルブ	196
第 12 章	ツールとユーティリティ	197
12.1	オートフォーカス	197
12.2	スケールリング	198
12.3	光学系の反転	198
12.4	仮想ガラスを実在するカタログガラスに変換	198
12.5	代替ガラスの検索	199
12.6	重量と体積	200
12.7	屈折率分布面に最適なコーティング剤の屈折率	202
12.8	面のサグ量	203
12.9	ユーザ定義グラフィック	203
12.9.1	ユーザ定義グラフィックスにおける変数	207
12.9.2	ユーザ定義グラフィックスにおける関数およびマクロ	207
12.9.3	UGR コマンドの例	208
12.10	解析的な手法によるレンズデータのセットアップ	209
12.10.1	ベストフォームレンズ	209
12.10.2	2 枚構成の色消しレンズ	209
12.10.3	Lulie-Houghton 式 望遠鏡	209
12.10.4	反射望遠鏡	210
12.10.4.1	古典的な Cassegrain および Gregory	211
12.10.4.2	アプラナティック望遠鏡と Ritchey-Chretien 型	212
12.11	スライダー コントロール	212
12.12	入力コマンド列のエコー出力	213
12.13	テキストウインドウのクリア	214
12.14	時間	214
12.15	日付	214
12.16	ファイル名	214
12.17	ファイルパス	214
12.18	オペレーティングシステムのコマンド	214
12.19	光線データの記録 (ファイルへの保存)	215

第 13 章 材料	217
13.1 分散	219
13.1.1 ショット社の分散式	219
13.1.2 セルマイアの分散式	219
13.1.3 ヘルツバーガの分散式	219
13.1.4 主分散	220
13.1.5 部分分散比	220
13.2 屈折率 n の温度 T に対する変化係数 (dn/dT)	220
13.3 カタログガラス	220
13.4 プライベートガラス	221
13.5 仮想ガラス	224
13.6 特別な光学材料	225
13.6.1 赤外領域用の光学材料、プラスチック	225
13.6.2 ショット社の色ガラスフィルタ	230
13.6.3 ショット社の耐放射線ガラス	230
13.6.4 屈折率分布型材料/GRIN 材料	231
13.6.5 液晶およびゲル	232
13.7 空気、真空	233
13.8 屈折率と分散のオフセット	234
13.9 部分分散のオフセット	235
第 14 章 結像状態の評価	237
14.1 幾何光学的評価	237
14.1.1 近軸解析	237
14.1.2 単光線追跡	239
14.1.3 面座標を参照する単光線追跡	240
14.1.4 単光線の縦収差	240
14.1.5 ファン光線の収差曲線	241
14.1.6 スポットダイアグラム	241
14.1.7 スポットダイアグラムの重心	244
14.1.8 面と光線との交点プロット	244
14.1.9 瞳の強度マップ	246
14.1.10 ディストーション	249
14.1.11 ディストーション格子の描画	250
14.1.12 フィールド収差 - 非点収差とディストーションの解析	252
14.1.13 1 次解析 (近軸解析)	253
14.1.14 3 次収差	253

14.1.15 2 次の色収差	256
14.1.16 横の色収差、倍率の色収差	256
14.1.17 ゴースト解析	256
14.1.17.1 近軸領域のゴースト解析に関する注意	259
14.1.17.2 ゴースト像のレンダリングによる表現	260
14.1.17.3 ゴースト解析結果のファイルへの保存	262
14.1.18 ビネッティング (ケラレ) の解析	263
14.1.19 幾何光学的 MTF	264
14.1.20 幾何光学的 PSF(点像分布関数)	265
14.1.21 エンサークルド/スクエアドエネルギー (幾何光学的)	267
14.1.22 4 分割ディテクタ解析	268
14.1.23 両眼視解析	270
14.2 波動光学的評価	272
14.2.1 波動光学的 MTF	272
14.2.2 点像分布関数	275
14.2.2.1 パッチサイズ	276
14.2.2.2 PSF データのエクスポート F	277
14.2.3 対角視野に渡る PSF	278
14.2.4 全視野に渡る PSF	279
14.2.5 PSF の X/Y 断面図	280
14.2.6 広がった物体	281
14.2.7 線像分布関数	284
14.2.8 エンサークルド/スクエアドエネルギー (波動光学的)	284
14.2.9 ストレール比	285
14.2.10 波面収差 (光路差)	286
14.2.11 コンラディの D-d 色収差	288
14.2.12 干渉縞	288
14.3 ガウシアンビーム	289
14.4 ファイバの結合効率	294
14.4.1 シングルモードファイバ	299
14.4.2 マルチモードファイバ	299
14.4.3 ファイバのモードフィールドの表示	301
14.4.4 ファイバカップリング 例 1	301
14.4.5 ファイバカップリング 例 2	303

第 15 章 照明解析	305
15.1 照明解析のための光源の定義	306
15.2 照明解析のための光源の定義 - GUI から -	310
15.2.1 光源光線の描画	311
15.2.2 面状光源	311
15.2.3 体積光源	313
15.2.4 光線光源ビューワ	314
15.2.5 光線光源の移動、回転	315
15.2.6 ProSource TM の光源モデル	316
15.2.7 “Luca Raymaker” が生成した光源モデル	317
15.3 照明解析オプション	317
第 16 章 物理光学的ビーム伝播	319
16.1 角スペクトルの伝播	319
16.2 フレネル近似を用いた伝播	321
16.3 境界面での伝播	322
16.3.1 複素場の情報から光線への変換	322
16.3.2 光学境界面における伝播	322
16.3.3 光線情報から複素振幅場への変換	323
16.4 伝播のコントロール	323
16.5 コマンド概要	325
16.6 伝搬パラメータ	325
16.7 解析例	328
16.7.1 自由空間における伝搬	329
16.7.2 タルボットの干渉縞	329
16.7.3 結合効率の評価例	330
16.8 制約事項	332
第 17 章 透過率解析	333
17.1 透過率計算におけるコーティングおよび接合面の取り扱い	334
17.2 主光線に沿った透過率	334
17.3 瞳全体を満たす光束による透過率	336
17.4 像面の相対照度	338
17.5 カラーコード	338
第 18 章 偏光解析	341
18.1 入射光の偏光の定義	341
18.1.1 完全無偏光 (自然光)	342

18.1.2	完全偏光	342
18.1.3	等価表現について	343
18.2	偏光度	343
18.2.1	コヒーレンスマトリックスを使った偏光度の表現	343
18.2.2	ストークスペクトルを使った偏光度の表現	344
18.3	全反射	344
第 19 章	最適化 (自動設計)	345
19.1	KT 法による最適化	345
19.2	LM 法による最適化	346
19.3	設計変数の編集	347
19.4	設計変数の定義	348
19.5	目標 (メリット) 関数	349
19.5.1	設計目標に対するする重みの設定	351
19.5.2	重み付き等号制約条件	352
19.5.3	メリット関数の、ファイルからの設定	353
19.5.4	レンズデータベースアイテムを用いた目標値の設定	353
19.5.5	ユーザ定義の制約条件	354
19.5.6	デフォルトの制約条件	355
19.6	通覧、メリット関数/制約条件	358
19.7	コントラストおよび解像力の制御方法	363
19.8	ガラスの選択範囲・マップ上の多角形状境界	366
19.9	最適化の実行	369
19.9.1	適切なアルゴリズムを選択するためのガイドライン	370
19.9.2	MTF 最適化	371
19.10	製造公差に関する最適化	372
19.10.1	敏感度を設定可能な公差要素	372
19.10.2	最適化における敏感度の使い方	375
19.11	出力の読み方	376
19.11.1	アクティブな制約条件のリスト出力	377
19.12	最適化の終了	378
19.13	最適化の取り消し	378
19.14	最適化のための制御パラメータ	378
第 20 章	コーティング	381
20.1	膜データの編集	382
20.2	膜構成	382
20.3	膜構成のコマンドラインからの設定	382

20.4 膜データの新規設定	386
20.5 コーティングを光学系の各面に貼り付ける	387
20.5.1 デフォルトのコーティング (単層 MgF_2 コーティング)	388
20.6 コーティングに由来する光路長 (位相) の変化	388
20.7 膜厚の非一様性に関する取り扱い	389
20.7.1 膜厚の非一様性・軸対称性のある場合	389
20.7.2 膜厚の非一様性・対称性のない場合	391
20.8 薄膜の最適化 – 改良 –	391
20.8.1 変数	391
20.8.2 目標値	391
20.8.3 コーティング最適化の実行	393
20.9 膜材料エディタ	393
20.10 膜屈折率のプロファイル	394
20.11 基本的な関係式	394
第 21 章 環境解析	399
21.1 環境温度	399
21.1.1 グローバル参照面に適用される膨張係数	401
21.2 環境気圧	402
第 22 章 公差解析	403
22.1 面に関する公差	403
22.1.1 公差エディタ	407
22.1.2 デフォルト公差	408
22.1.3 面の曲率半径に関する公差	408
22.1.4 面間隔に関する公差	409
22.1.5 グローバルな面間隔に対する公差	409
22.1.6 屈折率の均質度 (ホモジニティ) に関する公差	410
22.2 公差判定基準	410
22.3 公差項目に関するコンペンセータ	411
22.3.1 コンペンセータとしてのバックフォーカス	412
22.3.2 最適化の機能を利用したコンペンセーション	412
22.4 敏感度解析	413
22.5 最適化における公差の取り扱い	415
22.6 逆公差解析	415
22.7 モンテカルロ解析	415

第 23 章 製造サポート	417
23.1 フットプリント解析	417
23.2 非球面形状 (球面とサグの差)	419
23.2.1 放射方向に沿った非球面量の表示	420
23.2.2 非球面全面に渡る非球面量の表示	422
23.3 コバ厚 または縁厚、エッジ厚	424
23.3.1 偏芯面のコバ厚	424
23.4 ニュートンゲージ・フィッティングいわゆる原器あわせ	424
23.5 原器リストの追加	425
23.6 ISO 標準に準拠したレンズ図面の作成	426
23.7 カム計算	430
第 24 章 ガラスマネージャ	435
24.1 ガラスマップ	435
24.2 部分分散マップ	435
24.3 アサーマルマップ	436
24.4 屈折率分布型材料 (GRIN 材料) の屈折率分布	438
24.5 薄肉アポクロマート (超色消し) レンズのための材質選択	438
24.5.1 2 枚構成のアポクロマート	439
24.5.2 3 枚構成のアポクトマート	440
24.6 ガラスカタログの表示と編集	441
24.7 溶解ガラスまたはユーザ定義ガラス	442
第 25 章 プリントとプロット	445
25.1 コマンドラインからのプリント/プロット	445
25.1.1 グラフィックデバイスの変更	446
25.1.2 プリンタデバイスを変更	447
25.2 GUI からのプリント/プロット	448
25.2.1 GUI からのテキスト印刷	448
25.2.2 GUI からのグラフィクス印刷	449
第 26 章 マクロ言語	451
26.1 ラン文	452
26.2 数学的表記	452
26.3 レンズデータベースアイテム	454
26.4 プリント文	455
26.5 書式付のプリント	456
26.6 EVA 文、つまりマクロ表現の評価文	458

26.7 マクロファイルのインクルード	458
26.8 定数	459
26.9 変数	459
26.10 代入文	459
26.11 インプット文	460
26.12 オープン文	461
26.13 クローズ文	462
26.14 セレクト文	462
26.15 ユーザ定義関数	463
26.16 制御文	464
26.16.1 繰り返し (DO 構文)	464
26.16.2 繰り返し (WHILE 構文)	465
26.16.3 条件分岐 (IF 構文)	466
26.17 Return 文	467
26.18 コメント	468
26.19 行の論理的な分割、つまりマルチステートメント	468
26.20 論理的な行の継続、つまり継続行	468
第 27 章 レンズデータベース	471
第 28 章 描画色の名称	485
28.1 規定の描画色	485
28.2 視野情報の描画におけるデフォルト色	486
28.3 コーティングの描画におけるデフォルト色	486
第 29 章 レンズおよびコーティングデータのインポート	487
29.1 CodeV ファイルのインポート	487
29.2 ZEMAX ファイルのインポート	487
29.3 OSLO ファイルのインポート	488
29.4 MODAS ファイルのインポート	488
29.5 ATMOS ファイルのインポート	489
29.6 WinLens ファイルのインポート	489
29.7 Accos ファイルのインポート	489
29.8 Kidger-Optics ファイルのインポート	490
29.9 MacLeod ファイルのインポート	490
29.10 TFCalc ファイルのインポート	490
29.11 Optilayer ファイルのインポート	491
29.12 各社レンズカタログからのインポート	491

第 30 章 レンズデータのエクスポート	493
30.1 CodeV へのエクスポート	493
30.2 ZEMAX へのエクスポート	493
30.3 OSLO へのエクスポート	494
30.4 ASAP へのエクスポート	494
30.4.1 ASAP への特殊面のエクスポート	494
30.5 MODAS へのエクスポート	495
30.6 ATMOS へのエクスポート	495
30.7 Aberrator への波面収差のエクスポート	495
30.8 Persistence of Vision (POV) へのエクスポート	496
30.9 IGES ファイルへのエクスポート	496
30.9.1 IGES ファイルへの出力例	497
30.9.2 IGES のエンティティ	498
30.9.3 IGES へのエクスポートに関する制限	498
30.9.4 IGES - トラブルシューティング	499
30.10 マイクロソフト社のエクセルへのエクスポート	500
第 31 章 設計サンプルのライブラリ	503
第 32 章 ファイルフォーマット	505
32.1 OpTaliX の設定ファイルフォーマット (optix.cfg)	505
32.2 光学系データを記述するファイルフォーマット (.otx)	506
32.3 多層膜コーティングに関するフォーマット (.otc)	513
32.4 ツェルニケのデフォーメーションに関するファイルフォーマット (.zrn)	516
32.5 動径スプライン・デフォーメーションに関するファイルフォーマット	516
32.6 ニュートン原器に関するファイルフォーマット (.tpl)	517
32.7 溶解ガラスのファイルフォーマット (.ind)	518
32.8 GRIN レンズの屈折率分散に関するファイルフォーマット	518
32.9 GRIN レンズ (カタログ品) に関するファイルフォーマット	519
32.10 INT ファイルフォーマット (.int)	520
32.11 PSF ファイルフォーマット (PSF File Format)	521
32.12 光線ファイルフォーマット (Ray File Format)	522
32.12.1 汎用の光線書式	522
32.12.2 光線データファイル：アスキー形式の場合	522
32.12.3 光線データファイル：バイナリ形式の場合	523
参考文献	525
索引	528

第1章 OpTaliXの開始と終了 – Starting and Exiting OpTaliX–

OpTaliX はマイクロソフトのウィンドウズ上でのみ起動できます。起動するにはプログラム・グループの OpTaliX メニューをクリックするか、デスクトップ上の OpTaliX のアイコンをダブルクリックしてください。あるいはデスクトップおよびウィンドウズのエクスプローラ上の OpTaliX のレンズデータをダブルクリックすることで起動する方法もあります。さらに DOS ウィンドウの DOS プロンプトから起動することも可能です。

1.1 プログラム・グループからの起動 (Starting OpTaliX from the Program Group)

OpTaliX を Windows 98/Me/NT/2000/XP から起動するには、**スタート** ボタンをクリックし、**プログラム** ボタンをクリックします。次に OpTaliX のプログラム・グループをクリックし、最後に [1.1](#)図に示す OpTaliX メニューグループから、望みの OpTaliX をクリックします。

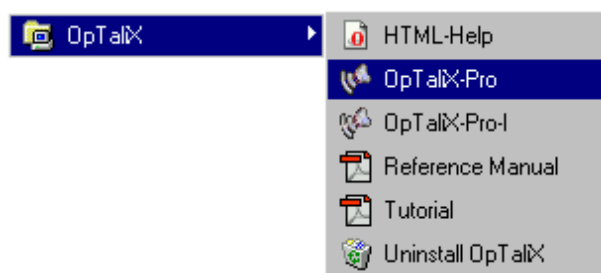


図 1.1: OpTaliX のプログラム・グループのメニュー

OpTaliX のプログラム・グループには、OpTaliX のプログラム本体に加え、HTML 形式のヘルプ、リファレンズマニュアル、チュートリアル、OpTaliX のアンインストール・プログラムが含まれます。

1.2 ウィンドウズ・エクスプローラからの起動 (Starting OpTaliX from Windows Explorer)

OpTaliX のレンズデータに付けられる拡張子 (.otx) は、OpTaliX がインストールされた時点でウィンドウズに登録されています。このため、任意の OpTaliX レンズデータファイルのアイコンをダブル

ルをクリックすれば、OpTaliX プログラムそのものが起動されるとともに、レンズデータファイルの内容が自動的に読み込まれます。

1.3 DOS ウィンドウからの起動 (Starting OpTaliX from a DOS Window)

ウィンドウズ上で **スタート → プログラム → アクセサリ** とたどり、DOS プロンプトのメニューアイテムをクリックし、DOS ウィンドウを起動してください。DOS ウィンドウの DOS プロンプトから OpTaliX を起動するには、キーボードから次の手順で入力してください。

```
c:
cd program files
cd optalix-pro または cd optalix-lt
optalixp または optalix.lt
```

もしも OpTaliX がインストールされているフォルダが `c:\program files\optalix-pro` または `c:\program files\optalix-lt` でない場合には、OpTaliX がインストールされているフォルダに移動してから、OpTaliX を起動してください。なお、“`optalixp mylens.otx`” の要領で、任意の OpTaliX プログラム名に続いて OpTaliX のデータファイル名を記述することも可能です。この場合には、ここで指定したデータファイルが起動とともに読み込まれます。もしデータファイル名を省略した場合には、もっとも直近に使用したレンズデータと共に起動します。

1.4 OpTaliX の終了 (Exiting from OpTaliX)

- OpTaliX のメインメニューにある **FILE** から **Exit** をクリックをするか、OpTaliX のメインウィンドウの右上にあるクローズボタン  をクリックすれば OpTaliX は終了します。
- メインウィンドウが選択された状態で、ESC キーを押下すれば、OpTaliX は終了します。
- コマンドラインから、**EXI** または **QUIT** とタイプし、エンターキーを押下すれば、OpTaliX は終了します。

通常、OpTaliX を終了しようとする、本当に終了するかどうかを確認するためのウィンドウが現れます。このウィンドウを経由することなく直ちに OpTaliX を終了するには、コマンドラインまたはマクロから

```
EXI Y
あるいは
EXI Yes
```

を実行してください。

第2章 表記に関する約束事

– Notational Conventions –

本書を通して用いる表記方法を、この章にまとめて記します。

- 入力に関する文法説明において、オプション選択可能なアイテムを [カギ括弧] でくくります。
- 入力に関する文法説明において、リストから選択可能な要素を、縦線 | で分割して表示します。
- アポストロフィ ' 記号で、ブランク (空白) を含む文字列をくくります。文字列がブランクを含まない場合にはアポストロフィを省略できます。
- OpTaliX のコマンドは、**courier** フォントを使って強調します。
- *ITALICS* フォントは、GUI (グラフィカル ユーザ インターフェース) のメニューアイテムを示します。
- 入力に関する文法説明において、入力要素に続く “...” は、それに引き続いて現れる同様の入力要素を示します。
- コマンドのパラメータとして、疑問符 “?” を指定すると、そのコマンドのパラメータを入力したり変更したりできるダイアログボックスが起動します。
- セミコロン “;” 記号は、コマンド入力行のコマンドを分離する為に使用します。これを用いれば 1 行に複数のコマンドを並べられます。詳細は、マクロの章 (26章、[451ページ](#)) に記載されています。
- ドルマーク “\$” のあとの 1 文字は、ディレクトリパスまたはその一部を略記するために用います。これらのディレクトリは、インストール時に作成されます。

\$i インストールパス、例えば `c:¥optalix`
または `c:¥Program Files ¥OpTaliX-Pro`

\$t 作業ディレクトリ、例えば `c:¥optalix¥temp`

\$c コーティングファイルが保存されたディレクトリを参照、
例えば `c:¥optalix¥coatings`

\$g 材質が保存されたディレクトリを参照、例えば `c:¥optalix¥glasses`

- “*” 記号 は文字列中のワイルドカードとして機能します。文字列のパターンマッチングのために使われます。

このページは白紙です。

第3章 プログラム規定値(デフォルト状態)の変更 – Program Preference –

光学系そのものではなく、OpTaliX そのものに関連したデータ設定について説明します。ここに記述されていることを理解された場合のみ、これらの設定変更をしてください。とりわけディレクトリを変更する場合には、それがあらかじめ存在していなくてはなりません。設定はすぐに反映されます。OpTaliX を再起動する必要はありません。

一連の設定変更を行うためのダイアログボックスは、メニューバーから *File* → *Preferences* とたどるか、あるいはコマンドラインから “EDI PREF”(実際には引用符は不要) と入力することによって起動します。

設定すべき項目は、4つのカテゴリに分類されています。それぞれパス設定、プログラムの動作に関する設定、ウインドウに関する設定、色やフォント等の設定です。

3.1 パス (Pathes)

ここで設定したパス情報はファイルの検索や保存の対象のデフォルト場所として参照されます。

POV レンダエンジン (精密描画ツール, POV Render Engine):

OpTaliX は、レンダエンジンである POV-Ray (Persistence of Vision) へのインターフェースを有しています。POV-Ray は光学系を写真画質で描画するために使用されます。POV-Ray は OpTaliX とは個別のプログラムなので、下記の URL からユーザ自身がダウンロードし、OpTaliX とは独立にインストールする必要があります。

<http://www.povray.org>

インストール後は、実行可能な POV-Ray が格納されたパス名を OpTaliX のパス名入力フィールドに記述する必要があります。パスを選択するためには “Preference ダイアログ” の “ブラウザ” ボタンを使用します。

材質カタログ (Glass Catalogues):

材質カタログに関するパス名のフィールドは OpTaliX のインストール時に自動的に設定されます。したがって通常、設定変更の必要はありません。しかし、何らかの事情でこれを変更する場合には当該のディレクトリにガラスファイルが存在することを確認してください。

コーティング (Coatings):

コーティングに関するパス名のフィールドは OpTaliX のインストール時に自動的に設定されます。このパスには薄膜コーティングに関するすべてのファイルが保存されます。

作業ディレクトリ (Temp Dir):

OpTaliX が内部的に使用するファイルその他が保存される作業ディレクトリです。ディレクトリ内のどのファイルも OpTaliX によってのみ実行時に使用されます。これらは OpTaliX の終了後も削除されません。

マクロ (Macros):

マクロファイルが保存されているディレクトリへのパスを設定します。もしこのディレクトリに何もファイルがないのなら、マクロはデフォルトで現在作業中のディレクトリ (つまり、現在の光学系のディレクトリ) を用います。マクロファイルのデフォルトの拡張子は、*.mac です。

ユーザ定義グラフィック (User defined graphics):

ユーザ定義グラフィック (UGR) ファイルを含んでいるディレクトリのパスを設定します。もしディレクトリに何もファイルがないのなら、ユーザ定義グラフィック (UGR) は、デフォルトで現在作業中のディレクトリ (つまり、現在の光学系のディレクトリ) を用います。ユーザ定義グラフィック (UGR) ファイルの拡張子は、*.ugr です。

3.2 操作 (Operations)

このタブ設定は、プログラムの動作を設定 (選択) するために用います。

終了時のウインドウの位置とサイズを保存 (Save position and size of windows on exit):

対話形式でウインドウのサイズや位置を変更したり、最小化または最大化できます。このボタンにチェックを入れれば、OpTaliX の終了時に すべてのウインドウのその時点における状態が保存されます。また OpTaliX が次に起動した際、ウインドウ設定はその状態に戻されます。

終了時にその時点の設計を保存 (Save current design as default on exit):

OpTaliX の終了時に、その時点における光学系が自動的に “デフォルトの” 光学系 として保存されます。OpTaliX が次に起動した際、その光学系が OpTaliX のデータとして自動的に呼び戻されます。この機能を用いれば、設計データを次の OpTaliX の起動時まで持ち越せます。

OpTaliX の起動時に自動的に面エディタを起動 (Always show surface editor on program start):

OpTaliX の起動時に、レンズ面の編集を行う “面エディタ” を自動的に表示します。このオプションを選択すれば、起動時するたびに面エディタをマニュアル操作で起動する必要はありません。

最前面にテキスト出力ウインドウを配置 (Put text output window to foreground ...):

このオプションにチェックを入れれば、テキストウインドウに新しい出力結果が書き出される度に、テキストウインドウが最前面に現れます。

廃止硝種に対する警告 (Warn if glasses are obsolete):

もはや製造中止に至ったガラス材料を設定した際の警告メッセージです。

光線のファン収差で開口に相当する軸を横軸とる (Align ray fans horizontally):

通常、OpTaliX は 横収差と OPD の光線ファンを瞳座標にそって垂直方向に描画します。しかし、ここで指定すれば、描画方向を水平方向に変更できます。この機能は、もっぱら好みに応じて描画方式を変更するだけであり、新たな情報が付加されるものではありません。

絞り面の物理的座標で光線収差を参照 (Refer fan aberrations to the physical coordinates of the stop surface):

光線ファンに沿った収差や OPD ファンをプロットする場合、デフォルトでは各光線は入射瞳上との (仮想的な) 交点座標を用いて参照されますが、ここで指定すればそれに代えて実絞り面における光線と面との交点座標によって参照されます。

面のアパーチャを自動的に調整 (Adjust surface apertures automatically):

時として、面のアパーチャを調整したくなることがあります。たとえば、システム構成データ (画角、系の明るさなど) を変更したり、光学系の配置が自動設計によって変わったりした場合などです。コマンドラインから明示的に SET MHT コマンドを入力すると、アパーチャは光学系を通過する光束が必要とする径にセットされます。一方、この処理を自動化すれば、アパーチャは常に十分な大きさに維持されます。アパーチャの超過率はその程度過大な径をセットするかを決定します。たとえば 係数 1.05 は最低限必要とされる径よりも 5% だけ大きなサイズにセットします。

テキストウィンドウへの空白行の出力の可否 (Blank command lines are mirrored in Text Output Window):

このチェックボックスをクリックしておくと、コマンドラインに空白行を入力した際、それが“テキストウィンドウ (Text Output Window)”に反映されます。こうしておけば、コマンドを入力することなく Enter キーを押した数だけ出力画面に空白行を挿入できるので、出力が見やすくなります。ただし、この機能は“履歴ウィンドウ (history window)”には反映されません。この機能の初期状態は、“空白行を反映させない”ですから、設定のない限りテキスト出力には何の影響ももたらされません。

レンズ断面図の描画時に、面エディタで選択している面を別色で表示 (Selected surfaces in surface editor are highlighted in lens layout plot):

このチェックボックスをクリックしておけば、面エディタ上で選択した任意の行 (すなわち任意のレンズ面) をレンズ断面図の描画時に別色 (青色) で表示します。この機能は面エディタ上で特定の面を識別する際に便利です。

3.3 ウィンドウ (Window)

終了時にウィンドウの位置とサイズを保存 (Save position and size of windows on exit).

OpTaliX の終了時に、ウィンドウの位置とサイズを保存します。そして次回起動時には、それを再生します

出力のあるごとに、テキストウィンドウを最前面に表示 (Put text window to foreground when new output is generated).

一般的には 光学的な評価を実施するたびに、追加の数値出力や何かしらの情報およびメッセージが生成され、それがテキストウィンドウに出力されます。もし、このチェックボックスがクリックされていれば、それら新規のテキスト出力が生成されるごとに、テキストウィンドウが最も手前に表示されます。とりわけ、何らの設定ミス等が発生した際、すぐにメッセージを確認できて便利です。

光学データを読み込む前にすべてのウインドウをクローズ (**Close all open windows on restoring a new optical system**).

レンズデータをファイルから読み込む前に、(その時点で開いている) すべてのウインドウを閉じます。

3.4 色 (Colours)

グラフィックウインドウの背景色 (**Graphics window background colour**):

この機能を使えば、グラフィクスウインドウの背景色を好みにあわせて変更できます。[Change] と表示されたボタンをクリックすると、設定画面が現れます。

3.5 その他の設定 (Miscellaneous)

スポットダイアグラムのマーカサイズ (**Spot marker size**):

スポットダイアグラムの描画における、各光線の描画サイズ (マーカサイズ) を設定します。A4 サイズの用紙に印刷した場合の実スケールを mm を単位に指定します。ここで設定するデフォルト値を維持したまま、OpTaliX を終了するまでの間だけ一時的にサイズ変更する場合には、[SPMS](#) コマンドをご利用ください。

第4章 中間ファイルの保存場所

– File Locations –

OpTaliX は実行のための途中経過をファイルに保存することがあります。それら一連のファイルは以下のフォルダに保存されます。

c:\Documents and Settings\All Users\Application Data\OpTaliX.

Windows VistaTM の場合には、これらのファイルを下記フォルダから参照することも可能です。

c:\Program Data\OpTaliX

これらのフォルダには、次のファイルを含む OpTaliX の基本的ファイルがインストールされます。

default	ファイルの拡張子はありません。OpTaliX が終了した時点で設定されていたレンズデータ一式が保存されています。その内容は、OpTaliX が再び起動された際、自動的に読み込まれます。
optix.cfg	OpTaliX の実行環境を設定するための“構成ファイル”です。このファイルの内容については、 32.1 章に詳細な説明があります。
coatp.asc	ユーザが追加した光学多層薄膜 (コーティング) の膜材料に関するデータが格納されています。このファイルの内容については、 32.3 章に詳細な説明があります。
osp_priv.dat	ユーザ定義の光学スペクトル (像評価に用いる波長に対する重み付け) が格納されています。

このページは白紙です。

第5章 定義 – Definition –

5.1 符号 (Sign Conventions)

光学モデルを表現するための一連の約束ごとは、結果を表現するのに用いられる体系を定義するものであり重要です。これらは OpTaliX パッケージにおいて一貫して適用されます。この重要性は曲率や面間隔 (セパレーション) に関する符号についても例外ではありません。それらは以下のとおりに規定されています。

- 面の曲率中心が面の右側にある場合、面の曲率半径の符号は正です。一方、面の左側に曲率中心があれば負です。この規定は光の進行方向にはよりません。光線が左から右へ進む場合 (デフォルト条件) にも、あるいはミラーで反射して右から左へ進む場合にも共通に適用されます。
- (軸方向に) 次に続く面が現在の面の右側にある場合、2つの相対する面の厚み (間隔) の符号は正です。もし次に続く面が先行する面の左にある場合は負です。
- ティルトや偏芯した面の場合、符号の規約はその面の偏芯前のローカル座標系を適用します。
- 正のティルトとは反時計回りの回転を意味しており、負のティルトとは時計回りの回転のことです。

5.2 座標系 (Coordinate System)

OpTaliX が使用する座標系はごく一般的な左手系であり、図 5.1 に示すとおりの光軸が Z 軸と一致するように定義されています。各光学面の面頂点は正確に Z 軸上にあると仮定されます。ある面から次の面までの間隔は Z 軸に沿って計ります。

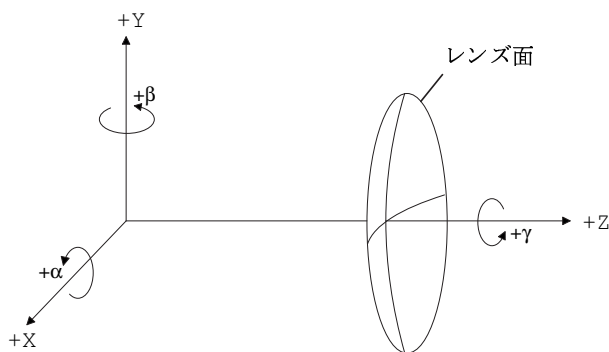


図 5.1: OpTaliX の座標系

5.2.1 グローバル座標系 (Global Coordinate System)

グローバル座標系は、偏芯/ティルトしていない状態の第 1 面の頂点に位置しています。もし第 1 面に対して偏芯/ティルトを与えたならば、その効果は第 1 面のローカル座標系に対して現れますが、グローバル座標が移動することはありません。このことを図 5.2 に示します。

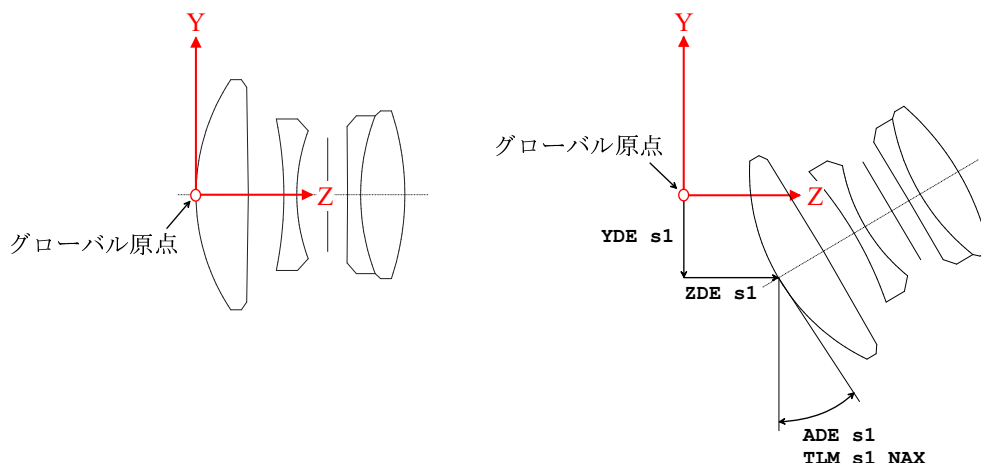


図 5.2: グローバル座標系は、偏芯/ティルトしていない状態の第 1 面の頂点に常に位置しています。もし第 1 面に対して偏芯/ティルトを与えてもグローバル座標系が移動することはありません。

5.2.2 物体面の座標系 (Object Coordinate System)

物体面の座標系は、[グローバル座標系](#)を基準座標系とする相対座標系として定義されています。この点において物体面の座標系は、一般のレンズ面座標系と同様に定義されていると考えてかまいません。

物点 (視野) は、常に物体面の座標系上で定義されます。したがって、グローバル座標系に対する物体面の位置や方位は物体座標系の偏芯やティルトによって容易に変更できます。具体的には、XDE, YDE, ZDE, ADE, BDE, CDE コマンドを物体面 (第ゼロ面) に対して適用します。

物体面座標系をこのように定義することで[照明解析](#)の際、広がった物体 (物点ではなく面積をもった物体) の取り扱いが容易になっています。

5.2.3 ティルト角 (Tilt Angles)

ティルト角は、常に度 (degree) で与えます。ティルト角の符号は一般の数学的規約に従います。つまり反時計回りに正であり、時計回りに負です。これらは常にその面のローカル座標系に対して適用されます。

α, β, γ で表記される 3 つのティルト角は、それぞれ各偏芯の直前の直交座標系において規定されます。したがってティルト操作は順序可換ではありません。偏芯を解除する操作は、それを指定した操作を逆順序で実行しなくてはなりません。

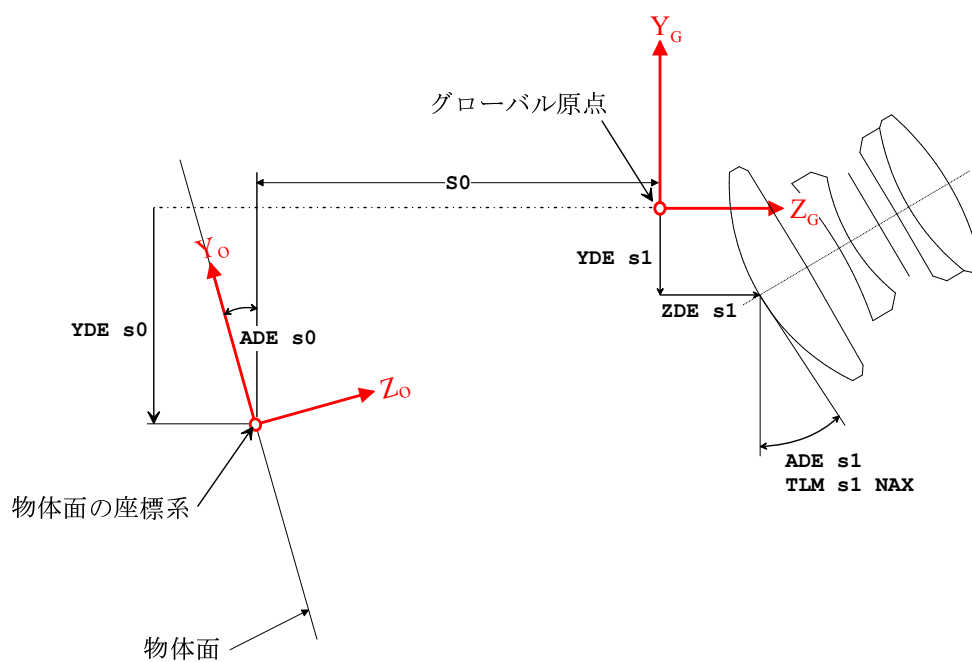


図 5.3: グローバル座標系を基準とする物体座標系の定義

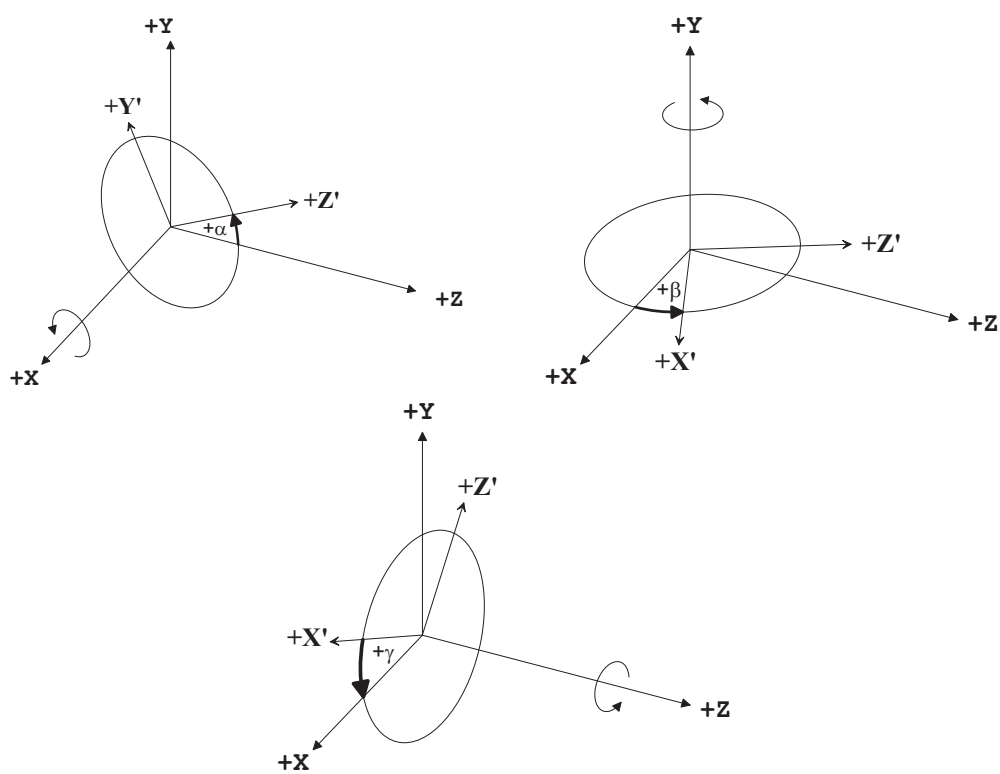


図 5.4: x, y, z 軸まわりの回転と符号の規約

ティルトや偏芯は、常に面のローカル座標系に適用されます。

5.3 近軸の約束事 (Paraxial Conventions)

近軸 領域では、線形化した Snell の法則が適用されます。

$$n' \cdot u' = n \cdot u \quad (5.1)$$

ここで n は屈折率、 u は光軸とのなす角 (ラジアン) です。近軸量 (例えば、焦点距離、倍率など) は ABCD 行列 (図 5.5 参照) を用いて計算されます。

$$\begin{pmatrix} n'u' \\ h \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} nu \\ h \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

光学的な特性が複雑で、通常の近軸理論ではうまく議論できないような光学部品、たとえば屈折率分布型レンズや一般化された非球面などに対する近軸量も的確に計算されます。そのために OpTaliX は “parabasal” 光線を使用しています。これは光軸（または主光線）となす角が非常に小さな実光線のことです。近軸量は次の要素によって規定されます。

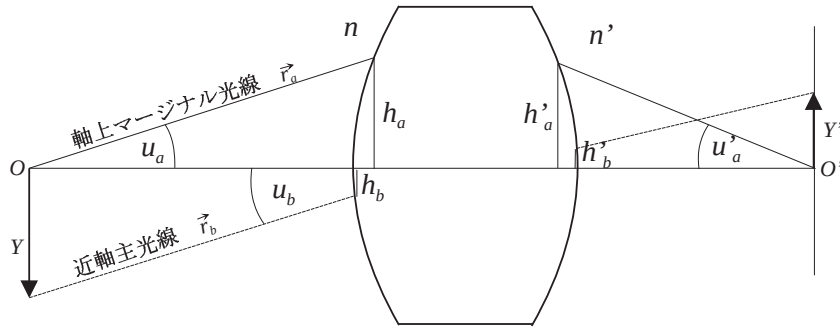


図 5.5: 近軸量の定義

5.4 光線の座標 (Ray Coordinates)

光線は単位ベクトルとして定義され、その始点として (X,Y,Z) を持っています。その進行方向は方向余弦 (CX,CY,CZ) で定義されます。面への入射角 i は常に光線入射点における面の法線に対して定義されます。

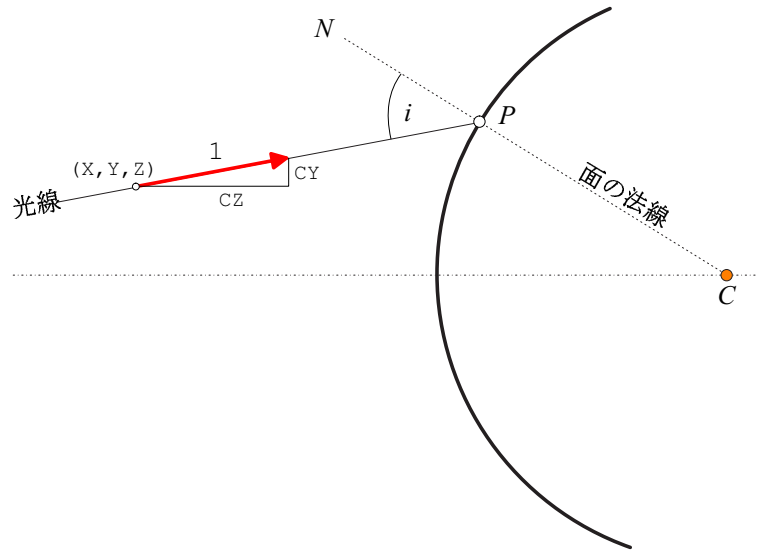


図 5.6: 光線の定義

このページは白紙です。

第6章 コマンドの書式 – Command Line –

6.1 概要 (General)

OpTaliX は2つの操作モードを持っています。ひとつはメインウインドウのメニューバーを用いるもので、もうひとつはコマンド入力によるものです。メニューによる操作は習得し易く、かつ使い易くできています。一方、コマンド入力はテキスト (出力) ウインドウの最下部で行いますが、より広いオプションを柔軟に設定できます。すべてのパラメータや機能がコマンドによってアクセスできます。

コマンドを指定するための文法は OpTaliX 全体を通して一貫しており、OpTaliX そのものを制御する際だけでなく自動設計 (最適化) におけるコンストレインツの設定やマクロ言語においても共通に適用されます。

複数のコマンドをセミコロン “;” で区切って、一行のコマンドラインとして入力できます。一例として、2つのシンプルなコマンド (ひとつはレンズデータのリスト出力、もうひとつは光線の収差をプロットするもの) の場合、

```
lis  
fan
```

と2行に分けて入力できますが、セミコロン “;” で区切って1行のコマンドラインとして

```
lis ; fan
```

と入力することもできます。複数の入力パラメータや数値、コマンド群は、マクロの置き換え機能を用いて次のように定義すると便利です。例えば、リスト出力や光線を含む簡潔なドキュメントを印刷/プロットする場合には、以下のように記述できます。

```
#define docu out prn ; lis ; fan ; out t
```

あるいは、リダイレクション (出力先の変更) を表す文字 “>” を使って

```
#define docu lis > prn ; fan > plt
```

とも記述できます。ここで置き換え機能 `#define` は一連のコマンド群 “`out prn ; lis ; fan ; out t`” を変数 “`docu`” に (コーテーションマークなしで) 定義します。したがって、コマンド入力行に `docu` コマンドを入力するとコマンド群に展開され

```
out prn  
lis  
fan  
out t
```

あるいは

```
lis > prn
fan > plt
```

が実行されます。つまり一連のコマンドが順次入力されたかのように機能します。詳細は[マクロ](#)の章(451ページ)にも記載されています。

6.2 コマンドの書式 (Command Syntax)

OpTaliX で採用されているコマンドは実装可能な範囲で CodeV コマンドとの互換性を有しています。それに加えて CodeV には見られない OpTaliX 特有のコマンドもあります。

6.2.1 修飾子 (Qualifiers)

多くのコマンドが面、画角、波長、ズームポジション、光線、係数、瞳、光源などのパラメータを受け付けますが、それらパラメータに関する一般的な表記は次のとおりです。

si..j	面番号の範囲 (i から j 面まで) または光源番号の範囲 (光源番号 i から j まで)。
	面番号であるか光源番号であるかは、どのコマンドに対するパラメータであるかによって判別されます。
fi..j	画角番号の範囲 (画角番号 i から j まで)
wi..j	波長番号の範囲 (波長番号 i から j まで)
ri..j	光線番号の範囲 (光線番号 i から j まで)
zi..j	ズームポジション番号の範囲 (ズーム番号 i から j まで)
ci..j	係数番号の範囲 (係数番号 i から j まで)
pi..j	瞳 (アパーチャ) 番号の範囲 (面番号 i から j まで)
li..j	コーティングの層の範囲 (層 i から j まで)
gi	グローバルに参照する基準面の番号 i

このように、面番号、波長番号、画角番号等はいずれもスペースをあげずに適切な修飾子 (例えば、面の **s**、波長の **w**、画角の **f**、ズームの **z** など) を先行させなければなりません。

2つの連続したドット“..”を使用すれば、面であれ、画角、波長、光線、係数や瞳であれ、その範囲を指定できます。

rdy s1..3 10.0	! 第1から3面までの曲率半径を 10.0 に設定
yan f2..4 2.5	! 第2から4画角までの角度を 2.5(度) に設定
spd f3 w2 z3..4	! 第3画角、第2波長、第3から4ズームポジションの (RMS) スポット径を評価
y s7 f1 w1 g2 0 1	! 視野番号1から規格化瞳座標 x=0,y=1 に向かう光線が第7面に到達した際の y 座標値を、第2面のローカル座標系における値として出力

6.2.2 特別な面修飾子 (Special Surface Qualifiers)

面の修飾子には、物体面、絞り面、像面を意味する特別な表現があります。また“全ての面”を意味する表現もあります。

so	物体面 (Object Surface)
ss	絞り面 (Stop Surface)
si	像面 (Image Surface)
sa	すべての面 (All Surfaces)

下記それぞれの表現は、いずれも同義です。

```
thi s0 100      thi so 100
cir s5 12       cir ss 12    ! 第5面が絞り面の場合
rdy s8 -300     rdy si -300  ! 第8面が像面の場合
```

6.2.3 変数と共に使う修飾子 (Variable Qualifiers)

面番号、視野番号、波長番号およびズームポジションの識別子を、[変数](#)と組み合わせて用いることもできます。例えば、第2面 s2 の面間隔は、次の様に定義できます。

```
$x = 2
thi s$x ...
```

この例では、文字“s”(上記例には引用符“”はありません)と変数 \$x の値である 2 が文字列として結合し、“s2”として解釈されるということです。この機能は、とりわけ[マクロ環境](#)において有用です。下記は、類似の例です。

```
$x = 2 のとき
s$x は、s2 と解釈されます。
f$x は、f2 と解釈されます。
w$x は、w2 と解釈されます。
z$x は、z2 と解釈されます。
```

この機能は、コマンドライン、[マクロ](#)、[レンズデータベースアイテム](#)のいずれでも有効に機能します。

6.2.4 データの入力と変更 (Entering and Changing Data)

データの入力や変更は、多くの点で(しかしすべてではない) CodeV に類似の自由書式に沿って行えます。OpTaliX のコマンド入力における文法の主な特徴は:

- OpTaliX 全体を通して一貫しており、かつ可能な限り CodeV との互換を維持している。
- 将来の拡張に対応する柔軟性
- パラメータ間のデリミタ (区切り記号) はブランクに統一

- コマンドパラメータはどのシーケンスにおいても使用可能
- 複数のコマンドをセミコロン (;) で区切って 1 行に複数記述可能

どのコマンドも大文字・小文字の区別をしません。つまり下記はいずれも同義であると解釈されます。

```
RDY S1 34.5
rdy s1 34.5
Rdy S1 34.5
```

どのパラメータも少なくとも 1 つのブランクで区切られます。複数の連続するブランクは 1 つのブランクとして扱われます。つまり下記は同義です。

```
RDY S1 34.5
rdy      S1      34.5
```

6.3 面ポインタ (Surface Pointer)

その名前が示すとおり、面ポインタは光学系においてその時点で着目している面を (面番号を) 指し示しています。面ポインタを使えば曲率半径や面間隔などのレンズデータを入力する際、省略形を使えます。面ポインタは次のコマンドでセットできます。

```
sk
```

ここで **k** は、面番号を示しています。つまり **sk** とは具体的には **s4** あるいは **s17** という入力进行意味します。ここで **4** あるいは **17** は所望の面番号です。面ポインタが指し示す現在の面は、面番号の右側の > 記号によって規定のリスト (LIS コマンド) 中表示されます。例えば、次のコマンド

```
s3
lis
```

は、下記を出力します。

#	TYPE	RADIUS	DISTANCE	GLASS	INDEX	APE-Y	AP	CP	DP	TP	MP	GLB
1	S	31.9354	4.90200	LAK9	1.694019	17.00*	C	0	0	0	0	0
2	S	95.0214	0.22600		1.000000	16.36	C	0	0	0	0	0
3	>S	18.9471	5.42100	LAK9	1.694019	13.38	C	0	0	0	0	0
4	S	51.7823	2.82700	SF8	1.694169	12.29	C	0	0	0	0	0
5	S	12.8019	6.84900		1.000000	8.58	C	0	0	0	0	0

面ポインタが指し示している面 (上記の場合は第 3 面) であれば、指定の際、面修飾子を省略できます。例えば

```
s3
rdy 100
thi 5.2
```

は面修飾子を省略することなく記述した下記コマンドと全く等価です。

```
rdy s3 100
thi s3 5.2
```

この例のように、面番号の指定を伴わない場合には、それらに先行する **sk** コマンド (ここで **k** は任意の面番号) における指定面が仮定されます。なお、レンズデータがファイルから読み込まれる度に、面ポインタは第 1 面を着目するように設定し直されることに注意してください。面ポインタの現在値を調べるには、次のコマンドを使います。

```
s?
```

6.4 面の識別子と数式表現 (Surface Qualifiers and Arithmetic Expressions)

面の識別子は数式表現を受け付けます。“+”、“-”、“*”、“/” のいずれをも組み合わせ可能です。しかしこの機能は、面に関する識別子だけに適用されることに注意してください。画角、波長、ズームポジション、瞳位置には適用できません。面識別子の数式表現は通常の面識別子、例えば **s3** や **s16** と組み合わせる場合にももちろん有効ですが特別な面識別子、つまり **so**、**ss**、**si** と組み合わせると、とりわけ便利です。次の各例は、面識別子に数式表現を組み合わせた例です。

si-1	像面のすぐ手前の面
ss+1	絞り面のすぐ後ろに続く面
so+2	第 2 面 (物体面の面番号はゼロ、それに 2 を加えた番号を持つ面)
s3..i-1	第 3 面から像面のすぐ手前の面までの範囲
s2..s+1	第 2 面から、絞り面の次の面までの範囲
ss-1..s+1	絞りのすぐ手前の面から、絞りのすぐ後ろに続く面までの範囲
ss-1..ss+1	上記と同意
s4..7-2	第 4 面から第 5 面
s3..s4*2	面番号に掛け算が適用され、結果として第 3 面から第 8 面まで
s4/2..i-2	面番号に割り算が適用され、結果として第 2 面から像面の 2 面前まで
s3-2+4	第 5 面。このように複数の演算を重ねても良い
s3+sqrt(4)	関数を使った指定も可能。この場合は第 5 面を意味する。演算の結果が実数の場合、まるめられて整数面が指定される点に注意。

下記は正しい入力とは認められません。

ss+-2	演算子に続いて演算子が現れている
s3.5	面範囲の指定に実定数は指定できない (小数点は受け付けられない)

面の修飾子は 2 種類の演算子、“+” と “-” を受け付けます。この機能は、とりわけ **so** や **ss**、**si** と組み合わせて使うと便利です。(注意 – この機能が使えるのは、面の修飾子だけです。視野や波長、ズームポジション、瞳に関する修飾子については、演算子との組み合わせはできません。)

下記は、面の識別子と数式演算子との組み合わせ方の例を示しています。

<code>si-1</code>	像面の前の面
<code>ss+1</code>	絞り面の次の面
<code>so+2</code>	第 2 面という意味 (物体面は第 0 面で、それに 2 を加えている)
<code>s3..i-1</code>	第 3 面から、像面の前の面までの範囲
<code>s2..s+1</code>	第 2 面から、絞り面の次の面までの範囲

この表現をマクロ中で記述すると、レンズの構成枚数や実際の面番号を意識することなく面を特定できるので、特に便利です。

6.5 関数と算術表現 (Functions and arithmetic Expressions)

コマンドラインにを入力する数値のかわりに算術表現や関数を入力することもできます。この機能は、あたかも電卓のように機能します。例えば下記入力；

```
rdy s1 100
rdy s1 2*(40+20)-20
rdy s1 sqrt(10**4)
```

これらはすべて同様に機能します。算術表現は、クリップボードからコマンドラインに直接コピーすることもできます。関数や演算子は、表 6.1 に示されています。算術表現 (つまり式) の中では空白文字は許されません。ただし、括弧 `()` でくくった場合は別です

演算子の優先順序と括弧は数学的に正しく適用されます。三角関数の引数は常にラジアンで与えなくてはなりません。また、逆三角関数の結果は常にラジアンで返されます。たとえば $\sin(30^\circ)$ は、 $\sin(30*3.14159/180)$ のように記述してください。この記述は、下記のように定数を定義することにより、簡便に表現できます。

```
#define rad 3.14159/180
sin(30*rad)

あるいは

@rad == 3.14159/180
sin(30*@rad)
```

定義方法の詳細は、26章に記載のマクロ言語に関する説明をご覧ください。

6.6 レンズデータベースアイテム (Lens Database Items)

レンズデータベースアイテムは OpTaliX にその時点でモデル化され、内部的にデータベース化された光学系から取り出したさまざまな特性量です。コマンドに付随して入力されたどんな量も、それに対応するデータベース要素を持っています (27章を参照)。データベースアイテムを引用するには修飾子の有無にかかわらず、常にカギ括弧 “[]” でそれをくくります。そうすることでデータベースアイテムの文法が、そのままコマンド入力における文法に反映されます。

例:

```
thi s2 [EPD]      ! 第 2 面の面間隔を入射瞳径に一致させます。
cuy s3 -[cuy s4]  ! 第 3 面の曲率を第 4 面のその逆符号として指定します。
```

関数	演算子
cos	+
sin	-
tan	*
exp	/
log	**
log10	^
logn	
sqrt	
acos	
asin	
atan	
cosh	
sinh	
tanh	
besj0	
besj1	
besjn	
anint	
aint	
abs	

表 6.1: OpTaliX で使用できる関数と演算子 (26.2節も参照)

データベースアイテムは数学演算子と組み合わせて数式の形で表現することもできます。これは数値入力を要求されているあらゆる場面に適用できます。

```
fno [EFL] / [EPD] ! F ナンバー (口径比) を指定します。  
thi s3 2*sqrt(3)*[thi s1]
```

OpTaliX があらかじめ定義した組み込み関数である `sin`, `tan`, `sqrt` 等や、データベースアイテムの指定文字列は、いずれも大文字・小文字の区別がありません。混在する場合も同様に有効です。

```
thi s3 2*sqrt(3)*[thi s1]  
THI S3 2*SQRT(3)*[THI S1]  
thi S3 2*SqrT(3)*[thi S1]
```

マクロ機能に関する詳細な説明は 26 章を、レンズデータベースの参照については 27 章をあわせてご覧ください。

6.7 疑問符記号 (?) (The Question Mark Symbol (?))

多くのコマンドが疑問符記号 “?” を受け付けます。“?” を入力すると関連するパラメータのダイアログボックスによる変更機能が呼び出されます。一例として、横収差図を描画するには 2 つの方

法があります。

- FAN** これはスケーリングパラメータの問い合わせなく横収差図を描画します。(この場合にはデフォルト値、または直前に指定したスケーリングファクタが使用されます。)
- Fan ?** これは横収差図の描画に先駆けて、スケーリングパラメータの設定ダイアログボックスを起動します。

6.8 コマンド入力におけるルール (Rules for Command Entry)

- 入力パラメータの区切りは、空白文字です。空白文字は少なくとも 1 文字あれば十分ですが、2 文字以上が連続してもかまいません。
- コマンド名、識別子、面や画角などの範囲、数値の指定には空白を含ませてはいけません。例えば、**LIS** や **S3** は正しい入力ですが、**L IS** や **S 3** は空白を含んでいるので正しく解釈されません。
- 入力には大文字も小文字も使えます。**OpTaliX** は大文字と小文字を区別しませんから、次の表現はいずれも等価です。**THI**、**tHi**、**thi**。
- 数式表現、例えば **2*3+5** に空白文字を含ませてはいけません。ただし、括弧 **()** でくくった場合は例外です。例えば **(2*3 + 5)** は **2*3+5** と同じ意味に解釈されますが、**2*3 + 5** は括弧でくくられていないので空白部分で区切られた、2 つの別個のパラメータが入力されたものと見なされます。
- 数値入力とは、次のようなものであると定義されます。すなわち、符号 **(+,-)** あるいは先頭にゼロが付いた整数あるいは実数であり指数表現を含みます。たとえば、**+0.5**、**.5**、**5E-1**、**-2D-10** などです (26.2 章の解説も参照してください)。
- 面番号、画角、ズームポジション、波長番号等を入力する場合には、それぞれ対応する識別子を番号の前に付与しなくてはなりません。例えば、面番号なら **S**、波長なら **W**、ズームポジションなら **Z** を付与します。これらの指定において、途中に空白文字を挿入してはいけません。例えば、**S13** や **W5** という入力は正しいのですが、**S1 3** や **W 5** は正しくありません。
- 面番号として次の記号を使えます。物体面 (Object 面) として **O** (アルファベットのオー)、絞り面 (Stop 面) として **S**、像面 (Image) として **I** をそれぞれ使えます。これらは面番号を意味する識別子 **S** と組み合わせ、例えば、**SO**、**SI**、**SS** のように入力します。さらに、加減算を組み合わせた入力も可能です。例えば **SI-1**、**SS+4** のように入力できます。加減算を組み合わせられる識別子は面識別子 **S** だけです。
- コマンド名および識別子に余計な文字を付け加えることはできません。例えば、**LIS** は正しいコマンド名ですが、それに替えて **LIST** と入力することはできません。
- コマンドが次の行にまたがって入力されることを示す行末文字 **"&"** は、マクロ中でのみ使えます。行末文字をコマンドラインから使うことはできません。
- 1 行に複数のコマンドを記述する場合には、区切り文字としてセミicolon **;"** を使います。

- セミコロン”,” や、感嘆符 ”!”を文字列中に記述する場合には、それらを引用符’または” でくくる必要があります。

このページは白紙です。

第7章 光学系全系に関わるデータ (構成データ/システムデータ)の編集 – Editing Configuration/System Data –

“構成データ”および“システムデータ”とは、光学系的全系に関わるデータのことです。レンズ系の構成そのもの、またはレンズの使われ方を定義します。構成データおよびシステムデータの代表例として、口径比 (Fno)、画角、適用波長などがあります。これらはレンズの面データと組み合わせられてファイルに保存されます。

7.1 光学系の新規設定 (Setting up a new lens system)

光学系を新規に設定するには、コマンドラインから **LEN** コマンドを実行してください。**LEN** が実行されると **OpTaliX** がその時点で保持していた光学系のデータはすべて削除され、新たに物体面、絞り面、像面の3面だけしか含まれない“空の”光学系が用意されます。またいくつかのシステムデータは、妥当な値に初期化されます。空の光学面を追加するには **INS** コマンドを使います。

LEN	光学系の新規設定です。 すべての光学パラメータを初期化します。
DIM I/M	光学パラメータ入力単位。 M = ミリメートル (デフォルト)、 I = インチ
RDM yes/no	光学面の面形状の設定を曲率半径で行うか、その逆数である曲率で行うかを選択。 yes = 曲率半径で設定 (デフォルト)。コマンドラインおよび面データエディタのいずれからでも設定できます。 no = 曲率で設定。コマンドラインからのみ設定できます。

7.2 レンズデータの保存と呼び出し (Saving and Restoring Lens Data)

RES [file_spec]	ファイル file_spec からレンズデータを OpTaliX に読み込みます。 例: res c:¥optix¥test.otx
SAV [file_spec]	ファイル file_spec にレンズデータを保存します。ファイル名の指定は、フォルダ名およびファイル名を含む完全パス名で行います。もし、file_spec が省略されると、既存のファイルに上書きします。 例: sav c:¥optix¥test.otx
WRL file_spec	レンズデータを CodeV の SEQ 形式で保存します。 30.1 章も参照してください。

7.3 光学系全系に関わるレンズデータ (General Lens Data)

ここでは光学系の使われ方を定義する方法について説明します。関連するデータには、口径比 (Fno)、画角、適用波長などがあります。また、アフォーカル系のような特殊な光学系の指定、追跡光線の探查方法の選択等もここで行います。

これらの定義に関わるコマンドには、下記があります。

EDI CNF	一般的なシステム構成データを編集するダイアログボックスを起動します。
EDI FLD	視野情報を編集する画面 (ダイアログ) の起動
EDI LAM	波長情報を編集する画面 (ダイアログ) の起動
EDI ZOO	ズームデータを編集する画面 (スプレッドシート) の起動
次ページに続く	

前ページから続く	
AF0 yes no	アフォーカル光学系を前提とした光学特性評価に切り替えるためのスイッチ。 ここでいうアフォーカルとは、像距離が無限遠であって仕様上、平行光束が出射する光学系のことです。一例として望遠鏡やビームエキスパンダなどが挙げられますが、レーザビームコリメータやルーペも平行光束出射側を OpTaliX の像面側に配置して評価する場合には、アフォーカル光学系としての対象に分類されます。 AF0 yes を設定すると OpTaliX の内部では、ユーザが設定した光学モデルの後方に焦点距離 1000mm の無収差レンズが仮想的に追加されます。ユーザの光学モデルから射出した光束は、無収差レンズによって結像します。その際に評価される横収差量 1mm が、ちょうどアフォーカル系の角度収差 1 ミリラジアンに相当します。ただし、無収差レンズの追加に関わる一連の内部処理はあくまでも OpTaliX の内部で自動的に行われますから、ユーザがそのことを意識する必要はありません。
TIT 'string'	光学系のタイトルを設定します (256 文字以内)。タイトルは、光学系の断面図の描画 (VIE) および面データの表出力 (SUR SA または LIS ALL) において、ともに表記されます。
DIM I/M	レンズデータの入出力単位を設定します。 DIM M ならば mm (デフォルト) DIM I ならば インチ
RDM yes no	曲率半径モードと曲率モードの切り替えスイッチ。 yes を指定すると曲率半径モードが選択されます。デフォルトの設定です。面の基本形状は曲率半径 (mm) を使って指定しなくてはなりません。 no を指定すると曲率モードが選択されます。面の基本形状は曲率 (mm^{-1}) を使って指定しなくてはなりません。
SET MAG mag_value	光学系の近軸横倍率が mag_value となるように、物体距離が自動的に設定されます。このコマンドによって設定された倍率はその時点では有効ですが、その後、光学系のパラメータを変更した場合には、その変更に伴う別の倍率が導かれることになります。つまり、このコマンドは光学パラメータが変更されるまでの間の、'一度限りの' 有効性だけを持っているということです。倍率を恒久的に維持する (光学系の変更に対して動的に計算しなおす) ためには、RED ソルブ をご利用ください。 (99ページ).

7.3.1 視野/物点に関する定義 (Fields / Object Points)

“視野”という用語は、光学設計では光学系の特性を評価するために使われる“物点”、つまり物体面上に配置された無限に小さな点状の物体を意味します。このことに関する詳細は [物体面座標系 \(12ページ\)](#) にもありますから、あわせて参照してください。

物体を定義するためのもうひとつの方法は、いくらかの広がりをもった面積光源によるものです。このタイプの光源は、[照明解析](#)のために用いられます。詳細は、[15章 \(305ページ\)](#)にあります。

定義可能な視野点(物点あるいは像点)の数に制限はありません。必要な数だけ定義できます。OpTaliXの初期設定では最大視野数として 30 が設定されていますが、MAXFLD コマンドを使えば、いつでも任意に増減できます。視野点の座標は X 方向および Y 方向独立に、物体高 (XOB, YOB)、近軸像高 (XIM, YIM)、実像高 (XRI, YRI)、物界における光線入射角 (物点から入射瞳の中心に向かう光線の傾角) (XAN, YAN) のいずれを用いても定義できます。図 7.1 は、視野点を指定する 4 つの方法の相互関係を示したものです。

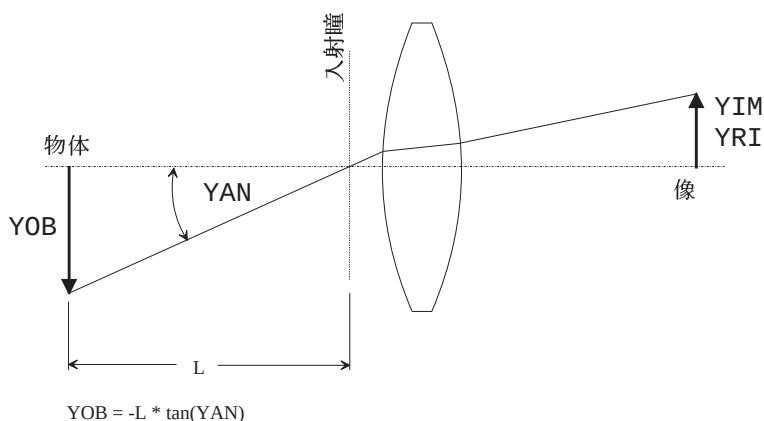


図 7.1: 視野点の指定方法の間の関係。ここでは Y 方向についてのみ記している。

EDI FLD	X 視野、Y 視野、視野定義のタイプや視野の数を設定するダイアログボックスを呼び出します。同じ設定をコマンドラインから行うこともできます。それらについてはこの表の他の欄を参照してください。
NFLD num_fields	光学特性の評価にあたり使用する視野の数。MAXFLD(下記参照)と混同しないで下さい。 レンズデータと共に保存される視野情報は、num_fields 分だけです。もし多数の視野点を定義し、それを num_fields で制限しているならば、保存する前に所望の値に変更してください。
MAXFLD max_num	定義可能な視野の数 (最大値) を設定します。このコマンドを NFLD と混同しないでください。MAXFLD は定義可能な視野の数を定義するだけです。実際に評価の対象となるのは、そのうち NFLD までの視野です。
次ページに続く	

前ページから続く	
XAN [fi..j] x_angle1 x_angle2 ...x_angle_n	光軸から X 方向の視野を見込む角度。いわゆる X 画角 (度)。ここで設定した画角の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。
YAN [fi..j] y_angle1 y_angle2 ...y_angle_n	Z 軸から Y 方向の視野を見込む角度。いわゆる X 画角 (度)。ここで設定した画角の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。
XOB [fi..j] x_obj1 x_obj2 ...x_obj_n	光軸から計った物体高さの X 成分。つまり物体の X 座標。ここで設定した物点の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。物体距離が無限遠の場合には、XOB の設定値は OpTaliX の内部で自動的に XAN に変換されます。この表に続く注記も参照してください。
YOB [fi..j] y_obj1 y_obj2 ...y_obj_n	光軸から計った物体高さの Y 成分。つまり物体の X 座標。ここで設定した物点の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。物体距離が無限遠の場合には、XOB の設定値は OpTaliX の内部で自動的に YAN に変換されます。この表に続く注記も参照してください。
XIM [fi..j] x_image1 x_image2 ...x_image_n	光軸から計った像高さの X 成分。つまり像の X 座標。ここで設定した近軸像点の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。
YIM [fi..j] y_image1 y_image2 ...y_image_n	光軸から計った像高さの Y 成分。つまり像の Y 座標。ここで設定した近軸像点の数にあわせて NFLD の値が自動的に更新されます。
XRI fi..j x_real_img_ht1 x_real_img_ht2 ...	物点座標の X 成分を、ここで設定した 実像高 x_real_img_ht を媒介して定義します。光学系のパラメータを変更した場合であっても、主波長の実主光線が評価像面上の指定像高に到達するように物点座標が調整されます。アフォーカル系 (AFO Y) の場合には設定できません。
YRI fi..j y_real_img_ht1 y_real_img_ht2 ...	物点座標の Y 成分を、ここで設定した 実像高 y_real_img_ht を媒介して定義します。光学系のパラメータを変更した場合であっても、主波長の実主光線が評価像面上の指定像高に到達するように物点座標が調整されます。アフォーカル系 (AFO Y) の場合には設定できません。
次ページに続く	

前ページから続く	
FTYP field.type	視野の定義タイプ。これは視野の定義方法を変更するための補足的なコマンドです。視野に関して定義された値はそのままに、値の意味 (つまり、XAN,YAN, XOB,YOB, XIM,YIM, XRI,YRI) だけを変更します。 1 = 視野の指定を画角 (XAN,YAN) に変更 2 = 視野の指定を物体座標 (XOB,YOB) に変更 3 = 視野の指定を近軸像座標 (XIM,YIM) に変更 4 = 視野の指定を実像座標 (XRI,YRI) に変更。他の定義と比較すると特性評価に要する時間がいくらか長くなります。
FWGT [fi..j] fweight1 fweight2 ... あるいは WTF [fi..j] fweight1 fweight2 ...	各視野点に対する相対重み。像面全面に渡る収差の重み付き平均を計算する際に使われます。0 から 100 までの整数で指定。
FACT [fi..j] 0/1	設定済みの視野情報を一時的に無効にします。 0=無効。1=有効。無効となった視野は光学評価の対象からはずされます。
CLS FLD [fk fi..j] [colour...n]	視野情報に関連したグラフィック出力 (例えば VIE コマンドによる光路図の出力など) において、描画色を変更します。このコマンドで設定した描画色が、設定済みの視野数よりも少ない場合には、最後の指定色がそのまま不足分を補います。描画色をまったく設定しないでこのコマンドを実行したときには、描画色の設定は規定の順序にリセットされます。 例: cls fld red gre blu! 最初の3視野に対して red, green blue が順次割り付けられます。 cls fld! 描画色の指定が省略されているので、規定の描画色にリセットされます。 cls fld f3 red! 第3視野に関する描画色が、red に変更されます。 描画色の名称およびデフォルトの描画色順序については、485 ページの 28.1 章を参照してください。

注 記:

- 物体距離が無限遠の場合 (具体的には物体距離が $\geq 10^{20}$ の場合)、XOB、YOB あるいは 'FTYP 2' コマンドによって指定された物体座標は、いずれも特別な扱いを受けます。これらの場合、指定した座標は実物体高から入射角に変換されるのです。物体距離が無限遠である以上、物体高も非常に大きな値をとるであろうことは自明です。例えば視野半角 30° の場合、物体高さは、 $\tan(30) * 10^{20} = 5.77 * 10^{19}$ にもなります。これは OpTaliX の内部の計算処理において精度低下

の要因になり得ます。このため、物体距離が無有限遠の場合には、物体高を視野角 (度) に置き換えるのです。

- 視野点 (物点または像点) は、どんな順序でも設定可能です。設定値の昇順または降順とする必要はありません。
- もし評価の対象となる光学系が光軸対称性を有するならば、Y 成分のみを使って視野点を設定 (X 成分はゼロ) するのがよいでしょう。つまり、最大視野の方向と OpTaliX の Y 方向を一致させるのです。そうすることで Y 軸に関する光学系の対象性が確保されれば、OpTaliX はそれを利用して計算時間の短縮を図ります。
- 偏芯光学系においては、視野点の指定を 物界側の量 (XOB/YOB または XAN/YAN) で行う様、お勧めします。こうすると OpTaliX にとって光学系を通過する光線経路の探査が容易となるため、計算速度の向上や最適化効率の向上が得られやすくなります。
- 近軸像高による視野点の定義 (XIM/YIM) は、ズーム光学系において、複数のポジションに渡って一定の像サイズ (一定のカバレッジまたはイメージサークル) が得られるように制御する際、便利です。
- 実像高による視野点の定義 (XRI/YRI) は、厳密に像点を決定しなくてはならない場合に有効です。ディストーションを含むすべての幾何収差の影響が考慮されるので、ポジションごとにディストーションの程度が変化しがちなズーム光学系の場合に利用すると便利です。

7.3.2 非点収差をもつ物体 (Astigmatic Objects)

ある種の光源は、それ自体が非点収差をもっています。典型的な例にレーザダイオードがあります。ここでは、その影響をシミュレートするための機能について説明します。ただし、この機能は、有限物点についてのみ有効であるという点に注意してください。

ASF delta_f_microns	光源がもつ非点収差量をミクロン単位で設定します。光源が放射する光線のうち X/Z 面内の成分 (サジタル成分) について、Y/Z 面内の成分 (タンジェンシャル成分) に対してシフトします。利得ガイド型レーザダイオードの場合、設定されるべき ASF の符号は 下段に記載の ASF の方位を 0° に設定する場合 (デフォルト設定)、負です。ASF の値としてゼロが設定された場合には、光源がもつ非点収差に対する考慮はキャンセルされます。非点収差によるシフト量は常に主光線に沿って、ミクロンを単位として表現されなければなりません。
ASO angle_degree	光源がもつ非点収差の方位 (° 単位) を設定します。方位 0° とは X 方向に一致している状態をいいます。

利得ガイド型レーザダイオードの場合、そこから放射される光束は、放射方位によって異なった点から出射する光線群として取り扱えます。レーザダイオードの活性層に対して直交する面内に伝播する光線の放射点はダイオードの表面にあるのが妥当ですが、活性層に沿った面内に伝播する光線の放射点は活性層の表面から 20 μ m から 30 μ m 内部 (Z 軸にそってマイナス符号の方向) に位置

する仮想点であると考えます。

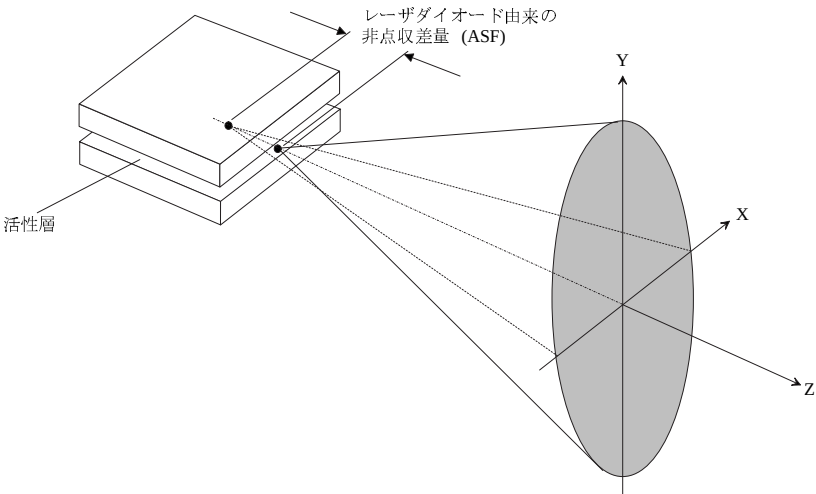


図 7.2: レーザダイオードにおける非点収差の幾何的關係

7.3.3 波長に関する定義 (Wavelength Definition)

波長の数は 11 まで制限されています。波長の設定順序に制約はなく任意です。また OpTaliX はその順序を維持します。設定した波長のうち特定の 1 波長は、近軸量、瞳の定義、像面の位置などを決定するための基準波長として用いられます。この波長を主波長と呼びます。主波長は REF コマンド、EDI LAM で起動するダイアログボックスで変更します。

コマンド:

EDI LAM	波長、波長重み、設定する波長の数、主波長を入力するためのダイアログボックスを起動します。
WL lam1 lam2 lam3 ... lam11	波長を設定します。設定順序に制約はありません。11 波長まで設定できます。波長の単位は μm です。設定した波長の数にあわせて、NWL の値が自動的に更新されます。 例: 546nm, 480nm, 700nm の 3 波長 (色) をこの順に設定する場合です。 wl 0.546 0.48 0.7
NWL no_of_wavelengths	光学系の評価に使う波長の数を設定。

次ページに続く

前ページから続く	
REF ref_w	主波長を設定。WL コマンドで設定した波長から選択。波長そのものを指定するのではなく WL コマンドで何番目に設定した波長かを整数で指定します。OpTaliX で評価する全ての近軸量や単色収差は、ここで指定した波長で評価されます。 例:WL コマンドで指定した 2 番目の波長を主波長に指定する場合です。 REF 2
WTW weight	波長に対する重み。波長に渡る収差の重み付き平均を計算する際に使われます。像特性に対する分光積分強度比 (スペクトラル強度) に比例するように、0 から 100 の間の整数を設定します。ここで設定する波長重みの順序は、あらかじめ WL コマンドで設定された波長順序に対応付けられます。 例: WTW 50 100 75 注意: 波長定義のためのダイアログボックス (EDI LAM コマンドで起動) から設定できます。

7.3.4 光学スペクトルの定義 (Optical Spectrum)

光学系の特性評価をするための波長情報として、波長とその重みの組み合わせを明示的に設定したならば、それを“光学スペクトル”として保存しておくことも可能です。

光学スペクトルは、波長と重みの定義を 1 組以上集めた集合体であって、主波長情報とともに任意の名称で保存できます。もちろん、後にそれを読み込んで再利用することもできます。

この機能を使って、ズーム/多重構成光学系の各ポジションにそれぞれ別のスペクトルを割り付ける設定も簡単なコマンドで実現できます。

OSP spectrum_name [?]	あらかじめ定義された各種のスペクトル分布にあわせて、自動的に波長 (WL)、波長重み (WTW)、主波長 (REF) が設定されます。ただし、設定すべき波長の数を、あらかじめ NWL コマンドで指定しておく必要があります。OpTaliX にあらかじめ設定されているスペクトル分布名 (spectrum_name) は、この表の欄外下にあります。黒体放射のスペクトルを設定する場合は下欄 (OSP PLANCK) を参照してください。 例: osp photopic ! 明所視における比視感度分布 (Photopic) を選択 osp ? ! 光学スペクトルを設定するためのダイアログボックス (図 7.3 参照) の起動
OSP PLANCK temp_degK	黒体放射のスペクトルに適合するように、波長 (WL) および波長重み (WTW) が自動的に設定されます。Plank の放射式が用いられます。temp_degK には黒体の絶対温度 (K) を指定します。主波長の設定は自動的にされませんから、REF コマンドを用いて明示的に指定しなくてはなりません。OpTaliX の現状バージョンでは、この機能はコマンドラインからのみ実行できます。 例: osp planck 6000 ! 6000K の絶対温度を持つ黒体放射に対応する波長と波長重みの設定
SAV OSP spectrum_name	波長と波長重みの組み合わせ、それに主波長情報によって構成される光学スペクトルを保存します。その際の名称はコマンドラインの spectrum_name の部分に設定します。保存したスペクトルを光学系に割り付けるためのコマンドは OSP です。

OSP コマンドおよびダイアログボックスで指定可能な光学スペクトルの一覧:

スペクトル名	概要
Pan	パンクロ特性をもつ写真フィルムの分光感度分布
Photopic	明所視における比視感度分布 (白昼光に対する人間の目の分光感度分布)
Scotopic	暗所視における比視感度分布 (暗がりにおける人間の目の分光感度分布)
MWIR	波長 $3\mu\text{m} - 5\mu\text{m}$ の中間赤外波長帯
VLAM	“Photopic” と同じ

ダイアログボックスを使った光学スペクトルの設定:

波長、重み、主波長は、専用のダイアログボックスからも設定できます。その起動方法は、コマンドラインからは、**EDI LAM** と入力します。メインメニューからは、**Edit → Configuration** とたどることによって起動するウインドの、**wavelengths** タブを選択します。

所望の光学スペクトルに対応するように、波長間隔と波長の重みを適切に設定します。具体的には次のとおりです。

まず始めに指定すべき波長の数を決めます。単色の輝線スペクトルであれば1色分を設定すれば最低限の目的は達成されます。しかし、レンズ製作時の検査波長がそれと異なっているのならば2色以上を設定する必要があるでしょう。連続スペクトルを対象とする光学系の場合には、一般に、より多くの波長数を設定します。

次に、設定した数の波長がそれぞれ分担すべき波長帯域を想定し、各帯域を代表する波長を決定します。厳密にはその帯域におけるスペクトルの重心波長を求め、それを採用します。

それから各帯域の積分強度と他の区間の積分強度との対比を求め、それを波長重みとして設定します。波長重みは整数で指定します。0 から 100 の範囲で指定することを推奨します。

このような手順によらず、あらかじめ OpTaliX に登録された光学スペクトルを直接指定することもできます。波長および波長重みを指定するダイアログの右側に、スペクトル名の選択欄があります。ここから所望の特性名を選べば、そのスペクトル分布が図示されます。しかし、それだけでは波長設定はされません。さらに“**set**”のボタンを押すことにより、図示されているスペクトルに対応して、波長、波長重み、中心波長が設定されます。

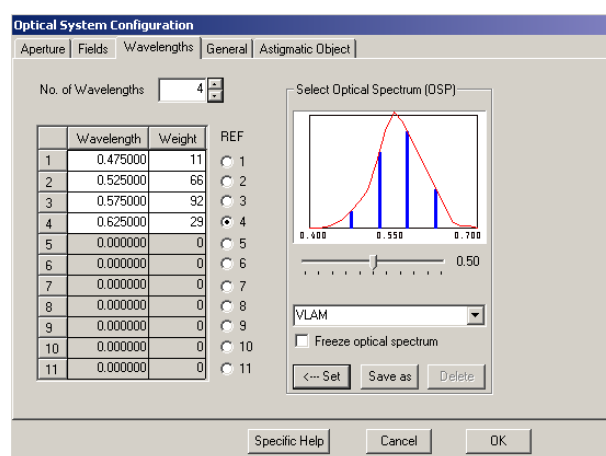


図 7.3: 波長と光学スペクトルの編集

光学スペクトルの固定:

光学スペクトルを選択し、構成パラメータとして設定する際には通常は、各波長が等間隔となるように調整されます。しかし、スペクトルの保存時とまったく同じ波長設定としたい場合には、**wavelengths** タブ (波長タブ) にある、“Freeze optical spectrum (光学スペクトルの固定)” の欄をクリックしてください。

7.3.5 開口データ (光学系の明るさの設定) (Aperture Data)

ここで設定する開口データとは、光学システム全体の明るさを規定する開口データのことです。各レンズ面の有効径の設定ではありませんから、注意してください。(各面の有効径の設定は、162ページの8.32章を参照してください)。光学系の開口データ (明るさ) を設定するための方法は全部で5種類用意されています。

- NA : 像側の開口数 (NA) による設定
- NAO : 像側の開口数 (NA) による設定
- EPD : 入射瞳径による設定
- FNO : F ナンバ (口径比) による設定
- 実絞り径 (半径) による設定

図 7.4 は、これらの関係を示しています。

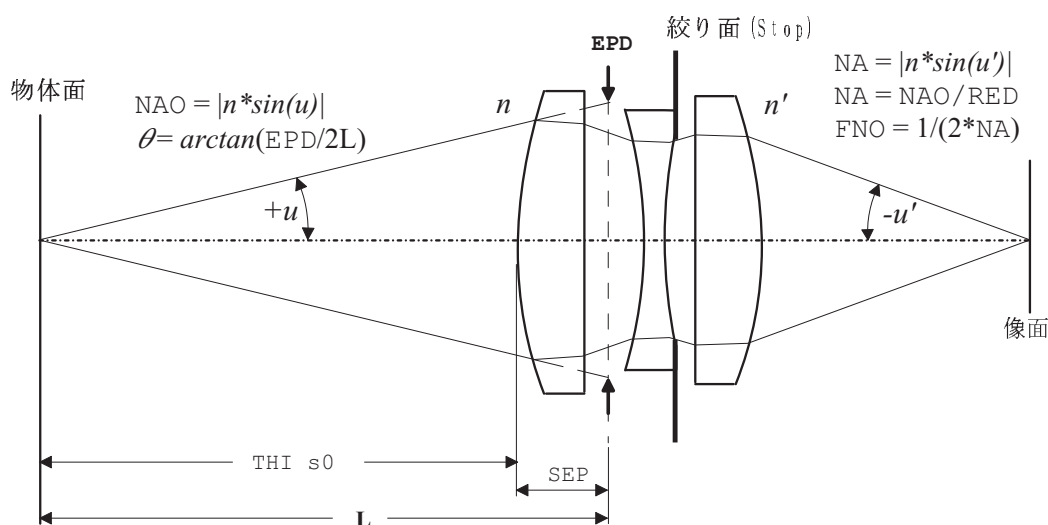


図 7.4: 開口データの設定

設定方法の詳細は、下記のとおりです。

FNO [zi..j zk] F_number	物体距離無限遠に対する像空間の口径比 (F ナンバー) の設定です。レンズ面のパラメータを変更すると指定の F ナンバーが維持されるように自動的に絞り径が更新されます。有限物点に対する実効 F ナンバーではありませんから注意してください。有限物点に対する光学系の明るさは開口数 (NA: Numerical Aperature) を使って設定するのが便利です。 実効 F ナンバー Fno' と像側 NA との関係は次のとおりです。 $NA = 1/(2 * Fno')$
次ページに続く	

前ページから続く	
DEL FNO	F ナンバーの設定 (FNO) を解除します。これ以降はレンズ面のパラメータが変更されても絞り径は変更されません。つまり、F ナンバーは絞り径およびその他の光学パラメータの従属変数になります。
EPD [zi..j zk] entrance_pupil_diam	入射瞳の直径 (EPD) を設定します。レンズ面のパラメータを変更すると指定の入射瞳径になるように自動的に絞り径が更新されます。絞り面のアパーチャが矩形形状の場合には、矩形の対角長を入射瞳径とします。絞り面のアパーチャが楕円形状の場合には、楕円の長軸径を入射瞳径とします。
DEL EPD	入射瞳径の設定 (EPD) を解除します。これ以降はレンズ面のパラメータが変更されても絞り径は変更されません。つまり、入射瞳径は絞り径およびその他の光学パラメータの従属変数になります。
NA [zi..j zk] num_aperture_image	像側開口数 (Numerical Aperuter) を設定します。物体位置が無限遠であるか有限距離にあるかに関わらず、実際の共役関係における (つまり作動倍率における) 像側開口数が取り扱われます。有限物点における実効 F ナンバー Fno' だけが分かっている場合には、次式で換算します。 $NA = 1/(2 * Fno')$ レンズ面のパラメータを変更すると指定の NA が得られるように自動的に絞り径が更新されます。
DEL NA	像側開口数の設定 (NA) を解除します。これ以降はレンズ面のパラメータが変更されても絞り径は変更されません。つまり、像側開口数は絞り径およびその他の光学パラメータの従属変数になります。
NAO [zi..j zk] num_aperture_object	物体側開口数 (Numerical Aperuter) を設定します。実際の共役関係における (つまり作動倍率における) 物体側開口数が取り扱われます。レンズ面のパラメータを変更すると指定の NAO が得られるように自動的に絞り径が更新されます。
DEL NAO	物体側開口数の設定 (NAO) を解除します。これ以降はレンズ面のパラメータが変更されても絞り径は変更されません。つまり、物体側開口数は絞り径およびその他の光学パラメータの従属変数になります。
次ページに続く	

前ページから続く	
NRD num_rays_diam	OpTaliX は幾何光学的、波動光学的な評価にあたり、瞳を通過する多数の光線を生成します。これらの光線は瞳を覆う 2 次元の格子上に定義されます。その密度は瞳を横断する光線本数 num_rays_diam で指定します。num_rays_diam は、4 から 1024 の範囲の、2 のべき乗でなくてはなりません。つまり、光線格子は、4^2, 8^2, 16^2, 32^2, 64^2, 128^2, 256^2, 512^2, 1024^2 の大きさとして設定されます。num_rays_diam を大きくすればするほど、より高い計算精度が期待できます。しかし計算時間は、その 2 乗に比例して (光線密度に比例して) 長くなります。 コマンドの書式上は、num_rays_diam は 1024 を受け付けますが、多くの場合、コンピュータのメモリの実装量に制限されて実行できません。現実には 64^2 または 128^2 が必要となることさえ稀です。32^2 程度が計算の所用時間と精度の点から妥当といえます (OpTaliX のデフォルト設定)。 光線格子は、スポットダイアグラムのように幾何光学的な評価にも使われますし、波面収差や PSF,MTF のような波動光学的な評価にも使われます。

注意: いったん光学系の明るさを設定 (FNO,EPD,NA,NAO) すると、これらのコマンドは永続的に機能します。したがって、この作用を停止するためのコマンド DEL NA, DEL NAO, DEL EPD, DEL FNO が次に実行されるまでは、指定の明るさが維持されるように、光学パラメータの更新に伴って絞り系も自動的に更新され続けます。停止のためのコマンドが実行された後は、絞り系はその時点の値に固定されるので、光学パラメータの更新に伴って光学系の明るさが変わるようになります。

開口形状 (入射瞳形状) が円形ではない場合、たとえば矩形、楕円、あるいは多角形であるような場合には それらを取り囲むように NA、NAO、FNO、EPD が定義されます。図 7.5 には、このことを説明するために開口形状が矩形および多角形の場合を示しました。

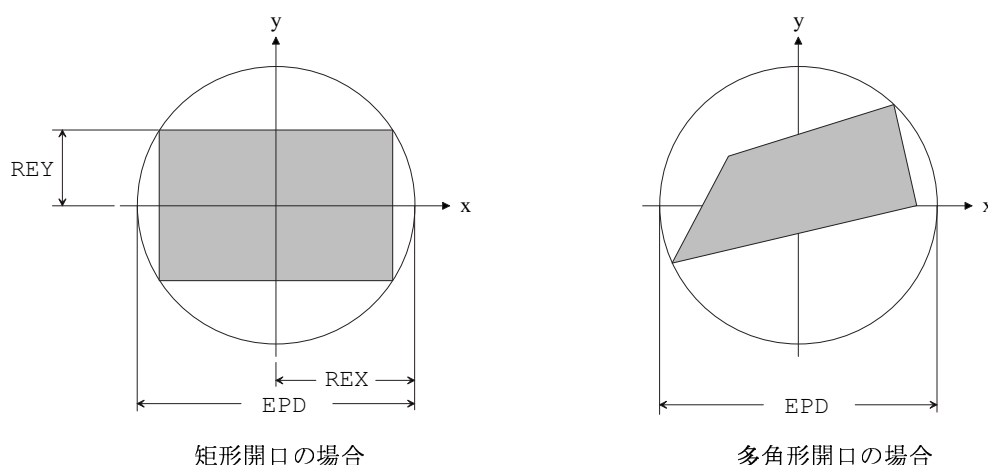


図 7.5: 光学系全系に関わるシステムアパーチャ(開口絞り)の設定です。個別の面に対するアパーチャの設定ではない事に注意してください。システムアパーチャには円形開口以外（例えば楕円開口）も設定できますが、NA、NAO、FNO および EPD は 常に、設定された (複雑な) システムアパーチャ形状全体を取り囲む円形開口として規定されます

7.3.6 瞳のアポダイゼーション (Pupil Apodization)

入射光束が、入射瞳面上でガウシアン強度分布を持つ場合の指定です。この機能は、適当な強度レベルで近軸入射瞳によってトランケートされたレーザビームのシミュレーションを実行する際、必要となります。

PUI intensity	(正規化半径 1.0 の近軸的な) 入射瞳上の中心で、ガウシアン分布を持つ入射ビームが正規化ピーク強度 1.0 を持っているとき、瞳座標 (PUX,PUY) におけるビーム強度を 0.0 から 1.0 の範囲の実数で intensity として指定します。デフォルトの設定は PUI 1.0 です。
PUX rel.ape.radius.X	(正規化半径 1.0 の近軸的な) 入射瞳上において、正規化ピーク強度 1.0 を持つガウシアンビームが相対強度 PUI になるような X 軸上の座標値を 0.0 から 1.0 の範囲の実数で指定します。デフォルトの設定は PUX 1.0 です。
PUY rel.ape.radius.Y	(正規化半径 1.0 の近軸的な) 入射瞳上において、正規化ピーク強度 1.0 を持つガウシアンビームが相対強度 PUI になるような Y 軸上の座標値を 0.0 から 1.0 の範囲の実数で指定します。デフォルトの設定は PUY 1.0 です。

ガウシアン・アポダイゼーションは、PUI,PUX,PUY を用いて次式で定義されます。

$$I(x_p, y_p) = e^{(\ln PUI) \left[\left(\frac{x_p}{X} \right)^2 + \left(\frac{y_p}{Y} \right)^2 \right]} \quad (7.1)$$

ここで

$I(x_p, y_p)$	入射瞳上の座標におけるビームの強度
x_p, y_p	入射瞳座標
X	$PUX * (\text{入射瞳半径})$
Y	$PUY * (\text{入射瞳半径})$

式 7.1 は、その中心座標 ($x_p = y_p = 0$) においてガウシアン・アポダイゼーションを 1 に正規化します。また、瞳の相対座標 PUX, PUY を定義することにより、この位置における相対強度が PUI であることを指定できます。 PUX と PUY に同じ値を指定すると、それは軸対象性をもったアポダイゼーションであることを示します。なお、 PUX も PUY も、ゼロではない任意の値を指定できます。

例:

入射瞳の周縁でピーク比強度 0.135 をもった“回転対称性を持つガウシアン強度分布”は次のように指定します。

```
PUI 0.135
PUX 1.
PUY 1.
```

いわゆる“楕円ビーム”の場合は、 PUX と PUY に異なった値を設定します。入射瞳座標 (X, Y) が、(1.0,0.0) および (0.0,0.7) でピーク強度比 0.5 をもつ楕円形のガウシアン強度分布は次のように指定します。

```
PUI 0.5
PUX 1.
PUY 0.7
```

注記：瞳のアポダイゼーション

- 入射瞳のアポダイゼーションは、レンズそのものよりもむしろ入射ビームの性質に着目する必要があります。
- レンズの内部で生じるアポダイジングは、瞳のアポダイゼーションの機能で表現するよりも、むしろ 8.27.5 章に記載の‘[面上の強度フィルタ](#)’、すなわち [INT ファイル](#) を用いて表現するのが適当です。
- 入射瞳上の、あるいはレンズ面上の INT アポダイゼーションは、すべての幾何的・波動光学的な評価に適用されます。
- PUX, PUY は、各画角の主光線に垂直な平面上で定義されます。軸上物点については、アポダイゼーションが定義される面も光軸に垂直ですが、軸外物点に関するアポダイゼーションは、その主光線と同じ方向に同じ量だけ傾いた平面上で定義されます。

7.3.7 デフォーカス (Defocus)

DEF defocus THI si defocus	デフォーカス量の設定です。デフォーカス量とは、近軸像面から光学特性の評価面 (フィルムや CCD が置かれる物理的な像面) までのオフセット量のことです。負の defocus 量は物理的な像面が近軸像面よりもレンズ側に寄った状態に相当します。(近軸像点の内側に移動)。正のデフォーカス量であれば、その逆です。 DEF で設定した defocus 量は、“PIM yes” が設定されている場合のみ考慮されます。一方、PIM no の設定によって、近軸像面の自動設定機能が無効にセットされている状態では、評価面はユーザが設定した像距離 (光学系の最終面と評価面の間の距離) がそのまま有効となります。この場合には近軸像面と評価面の差 (距離) に相当する値が自動的にデフォーカス量として設定されます。 デフォーカス量 DEF および、近軸像距離 BFL、最終レンズ面と評価像面の間を光軸に沿って図った距離 IMD の関係を表した図 7.6 もあわせて参照してください。 なお、デフォーカスは近軸像面の面距離 (THI si) としても表現されることに注意してください。つまり DEF と THI si は全く同じものです。
---------------------------------------	--

デフォーカスは、典型的には光学系に付随する球面収差の影響を考慮した上で最良像位置を得るために用いられます。下記に示す図 7.6 は、甚大な球面収差を呈するレンズと、その近軸像面が示されています。近軸像面は、一見するだけで収差が最小であるような面とはいえないことが分かります。そこで、収差の影響が最良となるような最小錯乱位置まで光学特性の評価面 (物理的評価面) を近軸像面から移動させます。この移動量をデフォーカス量といいます。デフォーカスは、ここで紹介した球面収差への対処以外の目的でも使われますが、その目的に関わらず、常に近軸像位置からの移動量として表現されます。

像距離 (IMD/Image Distance) およびデフォーカス (DEF) は、EDI SUR コマンドによって起動される面エディタに、図 7.7 の要領で表示されます。デフォーカス量は、“**PIM Y**” が設定されている場合のみ変更できます。**PIM N** が設定されている場合には、デフォーカス量の変更はできません。このため、面エディタ上のデフォーカスの欄 ([thi si] に相当) は、灰色表示になります。このときデフォーカスの欄に表示されている数値は、設定済みの像距離 ([thi si-1] に相当) と近軸像距離の差です。

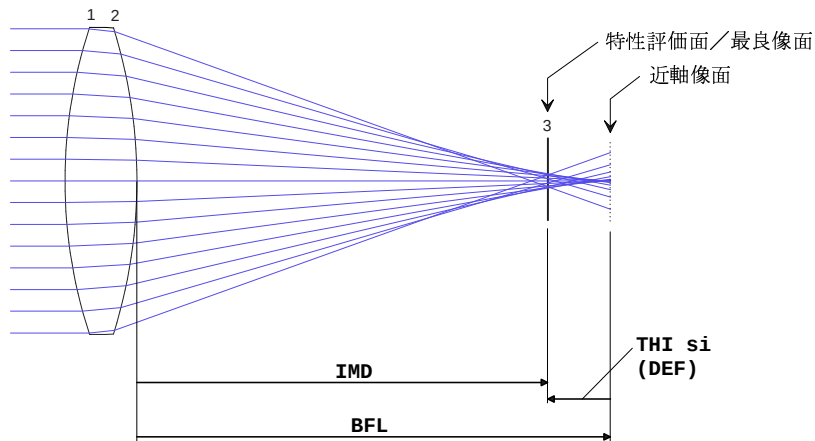


図 7.6: 近軸像位置に対する'デフォーカス'の説明図。像距離 (Image distance/IMD) は常に光学系の最終面から収差を評価する像面 (物理的評価面) までの距離です。バックフォーカス (BFL) は常に光学系の最終面から、共役関係を考慮した近軸像位置までの距離です。デフォーカス量は近軸像位置から物理的評価面までの距離です。

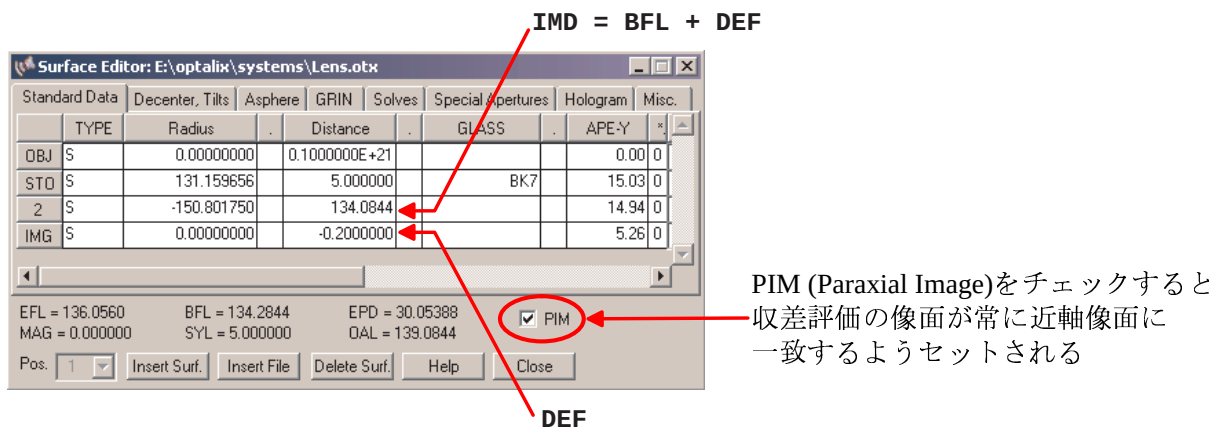


図 7.7: 面エディタ上での 像距離 (IMD) および デフォーカス量 (DEF) の表示

7.3.8 注釈とコメント (Remarks and Comments)

REM	4行までのテキストを注釈として入力できます。これは他の光学データと共にファイルに保存されます。注釈は光学系の断面図の描画 (VIE) および面データの表出力 (SUR SA または LIS ALL) において、ともに表記されます。
TIT 'string'	光学系のタイトルを設定します (256 文字以内)。タイトルは、光学系の断面図の描画 (VIE) および面データの表出力 (SUR SA または LIS ALL) において、ともに表記されます。
COM si..j comment_string	si..j 面に 80 文字までのテキストを設定します。
SLB si..j comment_string	面につけるコメントを 80 文字までのテキストで設定します。SLB とは Surface LaBel の意味です。機能的には上欄の COM コマンドと同じです。

7.4 光線追跡座標の決定法 (Ray Aiming Methods)

OpTaliX に限らず、ほとんどの光学 CAD プログラムは光学系を通過する光束を決定するために、面角ごとに光線追跡用の参照座標値を決定するための処理を行います。その振る舞いは RAIM、RAIT および RAIS という 3 つのオプションを調整することで制御可能です。従来バージョンとの互換のために、RAIO コマンドも依然として使用できますが、これに代えて RAIS コマンドをお使いになるよう、お勧めします。一般的には、各オプションのデフォルト設定を変更する必要はありませんが、対象となる光学系によっては、変更するほうが望ましい場合もあります。

RAIM [ENP STO TEL OMN]	光線追跡座標の決定法を指定します。 ENP 物点からの光線は、近軸的な入射瞳に向かいます。 STO 物点からの光線は、実絞面の周縁および中心に向かいます。デフォルト設定です。 TEL テレセントリックモードです。物点からの主光線が光軸と平行に出射します。 OMN 全方位放射モードです。光線を物点から 4π 空間の任意の放射範囲にむけて放射させます。このモードでは物点は有限距離に配置されなければなりません。下記に示す OMN MIN コマンド、および OMN MIN の説明も参照してください。 RAIM に関するより詳しい説明が、この表に続いて記述されています。
RAIT tolerance	追跡光線座標の探査許容誤差です。RAIM STO の場合のみ適用されます。デフォルト値は開口半径の 0.001 倍です。例えば、半径 5mm の開口に対して RAIT 0.001 を指定した場合には、実際に追跡される光線と、開口径の誤差は $< 0.001 \cdot 5mm$, つまり、 $< 0.005mm$ よりも良好に設定されます。
次ページに続く	

前ページから続く	
RAIS max_search_step	光線探索幅の最大幅です。デフォルト値は 5.0 です。追跡すべき光線の始点を探索するための繰り返し過程における探索幅の最大値を設定します。max_search_step は入射瞳孔に対する比率で規定します。例えば、1.0 を設定すると、それは探索幅を入射瞳孔と同じサイズに選んだということを意味します。小さめの値を設定すると光線探索の成功率が向上します。とりわけ、広角レンズのように大きな瞳孔差を持った光学系の場合には有効です。しかし光線探索に要する時間は増加します。一方、大きな値が設定されている場合には、探索速度が向上する傾向にある反面光学系によっては光線探索に失敗するかもしれません。このような場合には max_search_step をいくらか小さな値に変更してください。
RAIO 0 1	このコマンドは従来バージョンとの互換のために残されているものです。このコマンドに代えて、より実用性の高い、RAIS コマンドをお使いになることをお勧めします。 RAIO コマンドは、光線追跡座標の決定アルゴリズムを指定します。通常モード (RAIO 0) と、計算速度は著しく低下するものの緻密に座標決定を行うモード (RAIO 1) のいずれかを設定できます。デフォルトの設定は、RAIO 0 です。RAIO 1 は、通常モードでは適切に光線追跡座標を決定できないような (ごく稀な場合にのみ) 用いるモードです。例えば、非線形の強い瞳孔差を持った超広角レンズなどの評価に有効となる場合があります。このモードは、光線座標探索アルゴリズムが正しく収束していることをチェックしながら、大変に緻密に光線追跡座標の決定を実行します。レンズデータをファイルに保存する際には、RAIO 1 という設定も共に保存されます。
OMN MIN MAX angle_deg	全方位放射モードにおいて、物点から放射させる光線の最大 (MAX) および最小 (MIN) 角度を設定します。ここでの設定を有効とするには、RAIM OMN コマンドを用いて光線追跡座標の決定法を全方位モードに設定する必要があります。他のモードが選択されている場合は、ここでの設定は無効です。 例： OMN MIN -80 ! 光線放射角の最小値を -80° に設定 OMN MAX 130 ! 光線放射角の最大値を 130° に設定 vs-pace1mm

光線追跡座標の決定法を指定するということは、物空間における光線の初期条件の生成方法を指定するということです。このことはつまり、物点から光学系の入射瞳に向かう光線座標の定義方法を指定するということでもあります。通常、光線追跡座標は設定されている全ての波長に対して独立に決定されます。このことにより、瞳の色収差が大きな光学系であっても厳密な光線追跡が行われます。その代わり座標の決定のための計算時間が余計に必要となります。瞳の色収差が小さな光学系であれば、計算時間の短縮を優先して主波長についてのみ瞳座標を決定し、その他の波長は、主波長の

座標を流用するという現実的な方法も選択できます。そのための設定方法はメインメニューから、

Edit → *Configuration* とたどることで起動するダイアログの *Aperture* タブにおいて、“Ray aiming at ALL wavelengths” と記載のあるチェックボックスを空欄にしてください。

OpTaliX の現在のバージョンには、光線追跡座標の決定法として 4 種類のモードを有しています。

7.4.1 ENP: 近軸入射瞳モード (Paraxial entrance pupil Mode)

近軸入射瞳の位置と径を、そのまま光線追跡用の参照座標とします。近軸量だけしか使わないのでこのモードは瞳収差を考慮できません。そのため、広角レンズや、大きな開口数 (NA) を持つ光学系には向きません。また、光学系の偏芯も考慮しないため、現実には即さないこともあります。しかし高速です。

7.4.2 STO: 実絞りモード (Stop surface Mode)

このモードでは、どんな絞り形状 (円、楕円、矩形) であれ、光線は物理的な絞り面の周縁に向かいます。このような参照座標を得るには逐次法によらなくてはならないので、計算にはいくらかの時間を要します。実絞りモードは光学面の平行偏芯やティルト、それにアパーチャも考慮します。もちろん過小なアパーチャによって発生するビネッティング (ケラレ) も考慮します。

実絞りモードの強みは、大きな瞳収差を持った広角レンズを例にとるとよく理解できます (図 7.8 を参照)。RAIM ENP の設定によって生成された初期光線、つまり近軸入射瞳に向かう光線は、実絞り面上の対応座標に到達せず、まとを大きくはずしています (その原因こそ瞳収差)。RAIM STO を指定した場合には、まとのはずれを補正するように新たな光線が生成され、再び実絞りに向けて光線が追跡されます。これを繰り返して最終的には、実絞り面の正しい座標に到達する光線を見つけます。

7.4.3 TEL: テレセントリックモード (Telecentric Mode)

入射瞳が無限遠に存在する光学系、いわゆる物体側テレセントリック系の光線追跡座標はテレセントリックモードで決定するのがベストです。物空間における主光線の進行方向は、テレセントリック光学系の定義により常に光軸と平行です。テレセントリックモードを指定する際には、物体距離は必ず有限でなくてはなりません。また系の明るさは開口数で指定しなくてはなりません。とりわけ物体側開口数 NAO による設定を推奨します (NAO コマンドも参照してください)。

テレセントリック光学系の主光線が実絞りの中心を通過することは、必ずしも必要ではありません。なぜなら 絞り面は FHY の設定によらず常に光線の通過範囲を規制するからです。つまり、この面上では、実絞り径の外側を通過しようとする“不要な”光束成分はトランケートされ、絞りを通過できないのです。しかしもしこのような作用を望まない場合には、実絞り径を故意に大きく設定しておくという方法が有効です。

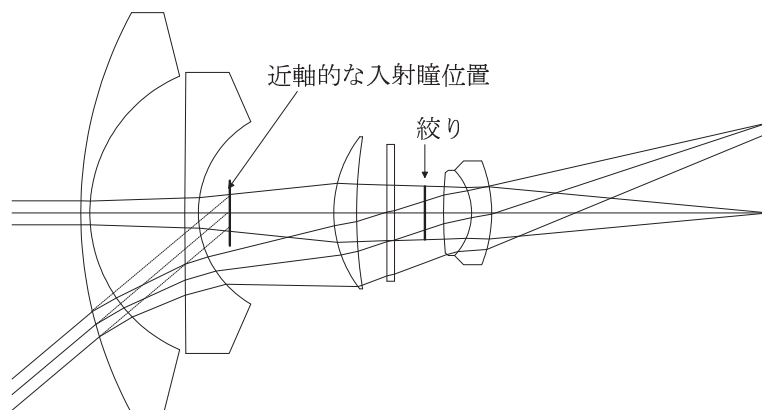


図 7.8: 光線追跡座標の決定法。近軸入射瞳モードと実絞りモード。近軸入射瞳に向かう光線 (RAIM ENP) は実絞り面上の対応座標に到達しません。つまり、瞳の周縁に向かう光線が実絞りの周縁に到達せず、かつ瞳の中心に向かう光線が実絞りの中心に向かわないということです。これは瞳収差の影響によるものです。一方、RAIM STO を指定すれば瞳収差の影響や光学面の偏芯等も考慮されるので光線追跡の基準座標が正しく求められます。

7.4.4 OMN: 全方位モード (Omni-directional Mode)

光学系によっては、絞り位置や開口の設定 (NA、EPD、FNO 等) に関係なく、物点から任意の方位に光線を放射する必要がある場合があります。典型的な例としては、照明光学系におけるコンデンサー系にみられるように、光源からの放射が 4π 空間に満ちる場合をあげることができます。全方位モードはこのような場合に有益です。

例えば、図 7.9 は楕円ミラーを示していますが、この図では単一の物点からの光線の放射範囲は $\pm 90^\circ$ を越えています。つまり、光線は Z 軸の正の方向だけでなく、その反対側にも放射しているということです。このような光線の出射は、通常的光線追跡方法、すなわち ENP、STO、および TEL による方法では得られません。

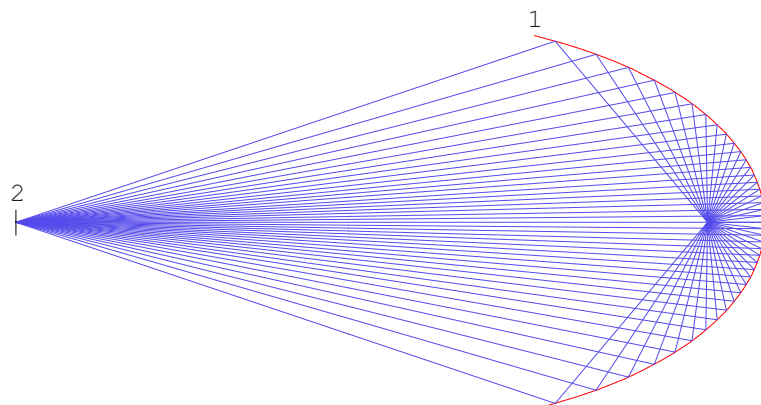


図 7.9: 光線追跡座標を全方位モードとした例。この例の光学データは OpTaliX をインストールしたフォルダの下、¥examples¥mirror¥ellipsoid.1.otx にあります。

全方位モードにおけるビーム放射範囲の設定は、物点を起点とする光線の最大放射角と最小角を

指定するだけで完了します。図 7.10 には、その定義方法を図示しました。光線の放射可能範囲は、 0° から $\pm 180^\circ$ の範囲で指定可能です。

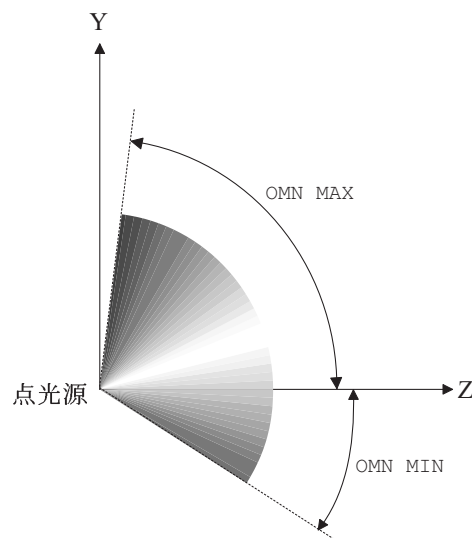


図 7.10: 全方位モードにおける、物点からの光線放射範囲。最大角と最小角設定。

全方位モードにおける光線の出射ピッチは球面上で等間隔となるように選ばれます。これは、地球儀の中心から緯線と経線上に 1° 間隔で光線を出射させる状況に例えられます。したがって、光学評価の種類によっては、その結果を表示する際に不都合が生じることがあります。例えば、光線と面の交点をプロットする際には、常にプロットの対象となる面の接平面が評価基準面となりますが、球面座標を歪み無く平面座標に変換することはできないために、評価対象面上の光線到達座標は、変換歪みを伴った状態で表現されることになります。

7.5 アフォーカル系 (Afocal Systems)

アフォーカル系とは、“無限遠に置かれた物体からの平行光束が光学系に入射した後、再び平行光となって出射する”という性質を持った光学系のことです。射出光も平行光なので、像位置は無限遠です。望遠鏡やレーザービームエキスパンダは、アフォーカル系の典型的なアプリケーションです。焦点距離の定義により、このような系は無限大の焦点距離を持ちます。

光学系に入射する光束が平行 (物体距離無限遠) であるというケースは多くの光学系に見られる配置であり、特別に議論すべきことはありません。しかし像位置が無限遠で、出射する光束が平行束である、という場合には通常の結像光学系のように実結像点の理想結像点からの位置ずれを収差 (横収差) と定義するには無理があります。像点が無限遠方に存在するので、横収差の大きさも無限大になってしまうからです。そこで実光線の、理想光線からの角度ずれを収差であると定義を変更します (角収差)。ただし現実には理想光線の代わりに主光線を使います。

ここで、仮想的な“理想レンズ”の導入を考えます。つまり OpTaliX の内部で、ユーザが設定した光学モデルの後方に焦点距離 1000mm の無収差レンズを仮想的に追加します。こうするとオリジナルの光学モデルから射出した平行光束は理想レンズによって結像します。その際に評価される横収差量 1mm は、像面上において、ちょうどアフォーカル系の角収差量 1mm ラジアンに相当します。

理想レンズに関わる一連の処理は、次のコマンドを実行するだけですべて OpTaliX の内部で自動的に行われます。

AFO yes

こうすると以降の全ての性能評価 (Spot, Fan, MTF, PSF など) はメトリック (mm) の代わりに角度 (mrad) を基準に与えられます。光路差 (OPD) は光学系の射出瞳位置における平面波からのズレとして評価されます。(内部で使用される) 理想レンズの焦点距離は常に 1000mm です。像面湾曲もディオプタで示されます。

有限の焦点距離を持つレーザビームコリメータも、出射側の平行光束が OpTaliX の像面側となるように配置して評価する場合には、アフォーカル光学系と同様の取り扱いができます。つまり、OpTaliX というアフォーカルの評価は、評価の対象となる光学系の焦点距離が実際に無限大であるか有限値であるかに関係しません。

収差の評価方法を通常の横収差表現に戻すには次のコマンドを実行します。

AFO no

7.6 ビネッティング (Vignetting)

実際の光学系を通過する光束の形状や太さが、近軸パラメータから見込まれる入射光束の形状や太さと一致するとは限りません。実際の光束は絞り面の形状や寸法、それにユーザが任意に定義する各面の最大有効径にクリッピングされる (場合がある) からです。これがビネッティング (ケラレ) が発生する原因です。FHY コマンドによって指定された面のアパーチャは、各面の最大有効径として認識され固定アパーチャと呼ばれます。固定アパーチャは光学系の面と同じ数だけ設定できます。固定アパーチャが設定された面だけが、ビネッティングに関与します。固定アパーチャを指定すると、LIS コマンドによるリスト出力において、アパーチャの径の直後に “*” 記号が示されます。

SET VIG	絞り面および固定アパーチャ面が光線をクリッピングすることを考慮して求めた実光束の入射瞳座標を近軸的な入射瞳径で正規化し、さらに正規化された実光束の瞳座標を、正規化瞳径 1.0 からの距離で表示します。これをビネッティングファクタ、またはビネッティング量といいます。VUX, VLX は、±X 方向のマージナル光線に対するビネッティングファクタです。0.0 のとき、X 方向のビネッティングはありません。0.3 なら、近軸的な瞳径の 70% の位置までしか実光束は光学系を通過できません。VUY, VLY は、±Y 方向のマージナル光線について、同様の評価を与えます。SET VIG コマンドは CodeV との互換性のためにのみ、表示を目的として実装された機能であり、OpTaliX では必ずしも必要ではありません。欄外の補足事項も参照してください。
DEL VIG [fi..j]	画角 fi..j のビネッティングファクタを削除。

ビネッティングに関連するこの他のコマンドとして、FHY および SET MHT があります。これらについては 8.32.3 章を参照してください。

SET VIG コマンドに関する補足事項

光学系を通過する光束は“固定アパーチャ”として明示的に設定された各面の有効径情報からのみ規定されます。set vig コマンドを用いれば、固定アパーチャに由来するビネッティングファクタ (ビネッティング量) を評価できますが、それは単に評価結果の出力としてのみ意味を持っています。光束のサイズや形状に影響を与えるものではないことに注意してください。

光束は常に実際の開口径を用いて計算されているので、ビネッティングファクタと光束形状とが不整合を起こす心配はありません。OpTaliX は常に正しいビーム形状を出力します。とりわけ、光学系の断面図に描画されている光線は、光学特性の評価に用いられるビーム境界を表示しており、参考になります。

SET VIG コマンドによる典型的な出力例を示します。

VIGNETTING FACTORS:

Field	VUX	VLX	VUY	VLV	UX	LX	UY	LY
1	-0.00011	-0.00011	-0.00011	-0.00011	6	6	6	6
2	-0.00002	-0.00002	-0.00003	-0.00010	6	6	6	6
3	0.00043	0.00043	0.17753	0.13093	6	6	11	1

ビネッティングファクタは、各視野点に対して個別に評価されます。“UX, LX, UY, LY” と表記された欄には、各視野点に対するビームの形状を制限している面の番号 (ケラレが発生している面) が記されています。上記例においては第 3 視野は、上側の Y 方向マージナル (Upper Y) 光線は第 11 面でケラレが発生しており、下側の Y 方向マージナル (Lower Y) 光線は第 1 面でケラレていることが分かります。

このページは白紙です。

第8章 面データの編集

– Editing Surface Data –

OpTaliX は光学系を多数の面の並びとして認識します。面とは主にはレンズ表面のような屈折率境界面を指しますが、単なる絞り板のようにその前後で屈折率が変わらない場合も面として指定できます。面は様々な項目、たとえば曲率半径、次の面までの光軸距離 (レンズの厚み・またはレンズ間隔)、材質などによって、その性質が規定されます。各面には、それを識別するための番号が割り当てられます。これを面番号といいます。面番号は物体面に対して 0 (ゼロ) 面、レンズの最初の面を 1 面とし、以降、光線が面を通過する順にカウントします。

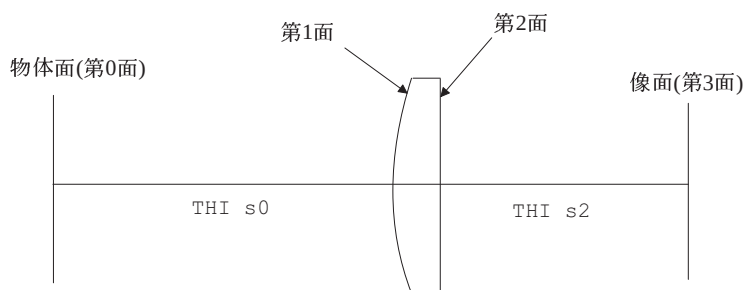


図 8.1: 面番号

反射鏡を含む光学系を取り扱う場合には、面間隔の符号に注意してください。光線が反射鏡に到達するたびに、鏡面と後続各面の面間隔の符号が反転します。これは反射面に続く各面がそれまでの光線進行方向とは (Z 軸に沿って) 逆方向に配置されることに由来しています。つまり、面間隔は光路長によって定義されているのではなく、各面のローカルな Z 軸に沿って次面までの配置間隔が定義されているのだということに注意してください。

光学特性を評価するための像距離は、常に像面の手前の間隔、すなわち光学系の最終面の面間隔として THI SI-1 で与えられます。この値は、近軸像距離にデフォーカス量を加えた値です。また、デフォーカス量は像面 (SI 面) に伴う面間隔として、THI SI に与えられますから、両者の差、つまり、 $THI SI - 1 - THI SI$ は、常に近軸像距離に一致することになります。PIM YES が指定されているとき (近軸像位置の自動計算がセットされていないとき) には、光学特性評価面 (評価像面) を移動させるには SI にデフォーカス量を設定してください。そこに設定した量だけ、像距離 THI SI-1 が変化します。PIM NO が指定されているとき (近軸像位置の自動計算がセットされていないとき) には、THI SI-1 と THI SI は冗長ですから THI SI の背景は灰色表示され、もはやデータを設定することはできません。像距離の設定は、直接 THI SI-1 に対して行います。しかしこの場合でも、OpTaliX は近軸像距離との差を THI SI に表示し続けます。

面データを入力あるいは編集をするための方法は 2 とおりあります。ひとつはスプレッドシートを使う方法です。これはメニューバーから *Edit* → *Surface data* とたどるか、あるいはツールバーのア

アイコンから起動できます。もうひとつはコマンドラインを使う方法です。コマンドラインはメインウインドの上部と、テキスト出力ウインドウの2カ所にあります。

8.1 面エディタ (Surface Editor)

面エディタ (surface editor) には、タグで分類された複数のスプレッドシートがあります。それらの各シートにパラメータを設定することで光学面の情報を編集できます。面エディタだけで、ほぼすべての面情報を取り扱えますが、一方で、[コマンドライン \(6章\)](#) を用いれば、テキスト入力による面データの編集も可能です。

面エディタの起動は OpTaliX のメインメニューから、*Edit* → *Surface Data* とたどるか、またはツールバーの  アイコンをクリックします。あるいはコマンドラインから **EDI SUR** と入力してください。面に関連するパラメータは、複数のタブによってグループ化されています。図 8.2 を参照してください。

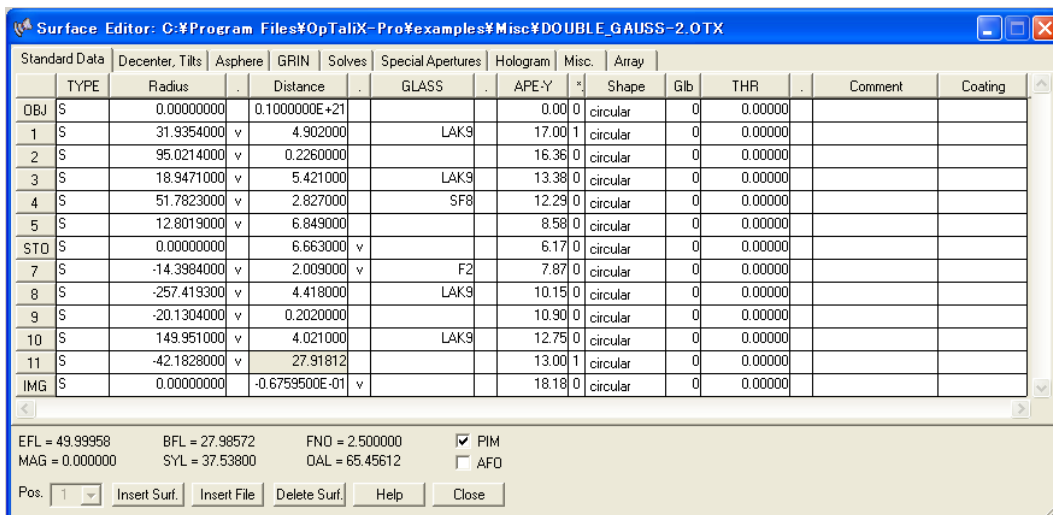


図 8.2: EDI SUR コマンドで起動される面エディタ画面

8.2 面パラメータ (Surface Parameters)

S rad thi gla	現在の面ポイントの位置に新しい面を挿入します。その面の曲率半径は rad 、面間隔は thi 、材料は gla です。詳細な説明は 8.4章 を参照してください。
ASP [si..j]	面 Sk 、または面範囲 Si..j が非球面であると定義 (面タイプを非球面に変更)。
SPH [si..j]	面 Sk 、または面範囲 Si..j が球面であると定義 (面タイプを球面に変更)。

次ページに続く

前ページから続く	
NOR [si..j]	面 sk 、または面範囲 si..j を光線追跡をしない面として定義します。光学系の偏芯を指定する際、座標変換の便宜のために使います。
K [si..j] value	コーニック定数
A [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 4 次の非球面係数
B [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 6 次の非球面係数
C [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 8 次の非球面係数
D [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 10 次の非球面係数
E [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 12 次の非球面係数
F [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 14 次の非球面係数
G [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 16 次の非球面係数
H [si..j] value	非球面方程式 8.1 で定義されている 18 次の非球面係数
CON [si..j]	面 sk 、または面範囲 si..j がコーニック面であると定義 (面タイプをコーニック面に変更)。コーニック面 = 円錐面 (楕円・放物面・双曲面・偏球面を含む 2 次曲面)
TOR	面 sk 、または面範囲 si..j がトーリック面であると定義 (面タイプをトーリック面に変更)
STO si STO i	面 si を絞り面に指定します。“s” 修飾子は省略してもかまいません。以下の例は、同様に有効です。 STO s3 STO 3
SUT [si..j] cccccc	面属性を最大 6 文字からなる文字列 “ccccc” で指定。実際に指定可能な面属性と、それに対応させて “ccccc” の代わりに指定すべき文字は、8.5 章、58 ページの表を参照してください。 例: SUT s1 AD : 第 1 面は非球面かつ偏芯をもちます。 SUT s2..3 si : 第 2 面から 3 面までを球面かつ屈折率分布材料であると指定
CPI si..j sx	面範囲 si..j の曲率半径を面 sx の値にピックアップします。マイナス記号を sx の直前に記述すると、凹凸逆にピックアップします。 例: CPI s5 -3 : 第 5 面の曲率半径は逆の符号で 3 面からピックアップされます。
DPI si..j sx	面範囲 si..j の面間隔を面 sx の値にピックアップします。 sx に負の記号は面を反対の曲率にピックアップします。 例: DPI s5 -3 : 第 5 面の面間隔は 3 面の面間隔の逆符号を付けた値としてピックアップされます。
次ページに続く	

前ページから続く	
MPI si..j sx	材料のピックアップ。面 sx の材料が面範囲 si..j にピックアップ (コピー) されます
TPI si..j sx	ティルトとシフト偏芯のピックアップ。面範囲 si..j は面 sx と同じだけティルト/偏芯します。
TPF si factor	ティルト/偏芯のピックアップのスケールングファクタ。ティルト/偏芯のピックアップ値は、 factor 倍されます。
CUX [si..j] curvature_x	X/Z 断面内の曲率。このパラメータはトーリック面に対してだけ有効です。面タイプ“A”(非球面)を指定した場合のみ有効です。
CUY [si..j] curvature_y	Y/Z 断面内の曲率。面タイプが球面の場合、この値がデフォルトの曲率として使われます。曲率の代わりに曲率半径を指定する場合は RDY コマンドを使います。
CIY [si..j] curvature_incr	面の曲率の Y 成分 (CUY) を増加させます。曲率の値を意識することなく、そのパワーを変化させたいとき、便利です。
RDX [si..j] radius_x	X/Z 断面内の曲率半径。このパラメータはトーリック面に対してだけ有効です。面タイプ“A”(非球面)を指定した場合のみ有効です。
RDY [si..j] curvature_y	Y/Z 断面内の曲率半径。面タイプが球面の場合、この値がデフォルトの曲率半径として使われます。曲率半径の代わりに曲率を指定する場合は CUY コマンドを使います。面と光軸との交点 (頂点) からみて、その面の曲率中心が右側にあるとき曲率半径の符号はプラスです。反対に面の頂点からみて、その面の曲率半径が左側にあるとき、曲率半径の符号はマイナスです。面の凹凸と符号が対応しているわけではありませんから注意してください。注記：曲率半径ゼロというのは物理的にあり得ませんから、 RDY 0 が設定されたときには、特別に曲率ゼロ (平面) が設定されたものと解釈されます。この便法は、面が非球面である場合、頂点曲率半径として平面を設定する際も同様です。
THI [si..j sk] [zi..j zk] thickness	面頂点から次の面の面頂点までの軸上の厚み (間隔)
TIN [si..j zi..j] thickness_incr	面間隔に対する増分を指定します。つまりその時点の面間隔に thickness_incr がその場で加えられ、新しい面間隔となります。
THM [si..j sk] mirr_thickness	面 sk あるいは面範囲 si..j のミラーの中心厚を指定します。正の値です。
次ページに続く	

前ページから続く	
THR [si..j] reference_thickness	参照される面までの軸上間隔。面の頂点位置の定義をグローバルに行います。このコマンドと THI(後続面までの面間隔)を混乱しないで下さい。THR は先行する面を参照することで自身の面位置を確定し、一方で THI はいつも直後の面までの距離を明示することで、後続面の面位置を確定します。このため、1つの面が THI と THR の両パラメータを同時に持てます。グローバルな面参照に関する詳細な説明は、8.21章を参照下さい。注意：グローバルに参照される面は、別途 GLB si..j k コマンドで指定します。
GRO [si..j] ival	グレーティングの次数であり整数値です。このコマンド旧バージョンとの互換のためだけに残されています。GRO にかえて HOR コマンドを使ってください。
HOR [si..j] ival	ホログラフィック素子の回折次数、整数値。
GRX [si..j] grating_freq_x	グレーティングの格子定数。X 軸と平行な成分を 溝本数/mm で指定します。
GRY [si..j] grating_freq_y	グレーティングの格子定数。Y 軸と平行な成分を 溝本数/mm で指定します。
NSS [si..j]	面範囲 si..j をノンシーケンシャル面に指定します。
MXH [si..j] n_hits	ノンシーケンシャル面において光線が衝突可能な最大数。(デフォルト: n_hits = 10)
REFL [si..j]	si..j 面を鏡面(反射面/ミラー面)に指定します。この面に到達したすべて光線が反射します。
REFR [si..j]	屈折面として指定します。ただし全反射条件を満たす光線は屈折せず、エラーになります。全反射面を指定するには TIR を使います。
TIR [si..j]	全反射面として指定します。この面に入射する光線が全反射条件(TIR 条件)を満たす限り、この面はミラー面(REFL)と同様に機能します。全反射条件(TIR 条件)を満たさない場合はメッセージが出力されます。
RMD [si..j] REFR REFL TIR	屈折/反射モードを指定するためのコマンドです。REFR, REFL, TIR のそれぞれに互換です。 REFR = 面 si..j で全光線を屈折 = デフォルトモード REFL = 面 si..j で全光線を反射 TIR = TIR 条件を満たした光線のみを反射 例: RMD S3 REFL: 第3面を鏡面として指定します。
MFL si module_efl	レンズモジュール(161ページを参照)の焦点距離を指定します。si はモジュール面の最初の面です
SPG [si..j sk] spec_gravity	光学材料の比重です。g/cm ³ を単位に指定します。指定のない場合はカタログに登録された値が使われますが、SPG を指定した場合には、その値が優先されます。

8.3 無限大を意味する数値 (Infinity Values)

無限大の数値をコンピュータで表現することはできないので、OpTaliX では次のような置き換えをしています。

距離 および 面間隔：

10^{10} よりも大きな値が距離として設定されたとき、それは無限大として取り扱われます。この取り扱いは、物体距離を無限遠方とみなす際にも適用されます。

曲率半径 および 曲率半径：

10^{10} よりも大きな値が曲率半径として設定されたとき、それは無限大として取り扱われます。この取り扱いは、面が理想的な平面であるとみなす際に適用されます。特別な取り扱いとして、曲率半径をゼロとして設定した場合 (RDY sk 0) には自動的に平面に置き換えられ、曲率 = 0 となります。これは、CUY sk 0 に相当する設定に変換されることを意味しています。

8.4 レンズ面のデータを簡便に入力する方法 (Surface Shorthand Entry)

面形状が球面または平面であれば、次のコマンドで簡便に指定できます。

S rad_curv thickness glassname

rad_curv は、Y 方向の曲率半径、あるいは曲率です。曲率半径 (単位は mm) で入力するか、その逆数である曲率で入力するかは RMD コマンド (13.1 章、218 ページ) であらかじめ指定しておきます。指定のない場合は曲率半径モードです。

thickness は、光軸に沿った間隔です。面頂点の右側を正符号とします。

glassname は、光学材料名 (ガラス名) です。

面の簡易入力では面タイプとして球面を仮定しています。

8.5 面タイプ (Surface Type)

面タイプを明示するために、各面には最多で 6 文字からなる文字列が割り当てられています。この文字列を変更することで、各面の面タイプを設定・変更できます。

SUT si..j cccccc

ここで、cccccc は、面のタイプを表す文字の並びです。面タイプは 2 種類に分類されます。ひとつは省略不能の必須タイプです。もうひとつはオプションとして任意に指定できるタイプです。

面タイプ “A”, “S”, “X”, “U”, “L” のうち 1 つは、常に必ず指定されなければなりません。“A” や “S” (球面あるいは非球面) は光学素子面のベース面のタイプを指定するものです。面タイプ “L” (レンズモジュール) は理想的なレンズの特性に合わせて光線を折り曲げるという特性を持っているだけなので、ベース面タイプの指定は不要です。またオプションのレンズタイプも指定できません。

オプションの面タイプは任意に組み合わせられます。

必須の面タイプ		任意の面タイプ	
S	球面	D	平行偏芯 および/あるいは ティルトした面
A	非球面。(非球面形状の詳細は 8.6.1 章 から 8.7.1 章を参照)	M	鏡面
L	レンズモジュール(理想レンズ)	G	グレーティング面, 回折格子面
X	光線追跡しない面。面の座標を変換する目的でのみ使われる面。8.22 章を参照	H	ホログラフィック面
U	ユーザ定義面	F	フレネル面
		I	屈折率分布面
		N	ノンシーケンシャル面。面タイプ “D” と組合わせて使用されなければなりません。
		P	ライトパイプまたはステップインデックスファイバ。パイプ/ファイバのテーパ角は最終面のアパーチャ半径によって定義されます。
		R	同一面形状の組み合わせからなる レンズアレイ
		T	全反射 (TIR) 面。詳細は 87 ページの 8.12 章を参照
		Z	ツェルニケ面
		C	回転対称スプライン面
		W	格子データで与えられた 2 次元面のデフォメーション
		E	対称性のない一般の自由曲面を 2 次元スプライン面で表現します。この機能は準備中であり、まだ使えません。

表 8.2: 面タイプ

SUT s1..3 DAM 第 1 面から 3 面まで共通に次の面タイプを設定
D = 偏芯面
A = 非球面
M = ミラー面

面タイプは任意の順序で設定できます。

SUT s1..3 DAM
SUT s1..3 AMD
SUT s1..3 MDA

注意:

屈折率分布を持つ面やステップインデックスファイバは、2つの修飾子が必要です。一つは面タイプを定義するための必須の修飾子です。もう一つは材質 (GRIN あるいはステップインデックス) を特定するための修飾子です。例えば、

- SI は屈折率分布を持つ球面を示します。
- SP はステップインデックス特性を持つ球面です。

8.6 非球面 (Aspheric Surfaces)

非球面の多くは光軸 (Z 軸) を含む一断面内で多項式によって定義され、その後、Z 軸のまわりに回転することによって得られます、このようにして得られる回転対象非球面のほか、OpTaliX では回転対象性を持たない非球面も含めて下記に示す各種の面形状を取り扱えます。

- 18 次までの偶数次非球面
- 9 次までの奇数次非球面
- 30 次まで拡張した “拡張奇数次” 非球面
- 10 次までの XY 多項式
- 10 次までのアナモフィック面
- トロイダル面
- シリンドリカル面

どの非球面を設定する場合も、**必須の面タイプ** を “A” にしなければなりません。それには コマンド ASP sk を使うか、あるいは面エディタの “Type” 欄を直接変更します。面の具体的な形状を設定するには、非球面タイプごとに定義された係数に適切な値を設定します。

ASP si..j sk EVEN ODD9 ODD30 XYP AAS CYL	Sk 面の面タイプを非球面に変更します。非球面のタイプを変更する場合には対応するどの係数も適切に変換されます。ただし、変換を適切に行えない指定がなされた場合には、警告メッセージが出力されます。たとえば、ASP EVEN として指定された非球面は ASP ODD30 タイプに適切に変更できますが、逆方向の変換 (ASP ODD30 から ASP EVEN) を指定した場合には、係数のうちのいくつかは失われる可能性があります。これは ASP EVEN タイプの非球面では奇数次の係数をモデル化できないからです。下欄の ATY コマンドの説明も参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
ATY si..j sk EVEN ODD9 ODD30 XYP AAS CYL	非球面のタイプを指定します。しかし、非球面のタイプ間の係数変換はしません。高次非球面のタイプは次のとおりです。 EVEN : 8.1式で定義される偶数次非球面 ODD9 : 8.5式で定義される奇数次を含む高次非球面 ODD30 : 30 次まで拡張した偶数・奇数混在の“拡張奇数次”非球面 XYP : 10 次までの XY 多項式非球面 AAS : アナモフィック (双円錐) 面 (高次係数は設定できません) CYL : シリンドリカル面。 even , odd9 および xyl タイプの非球面は、その係数を A,B,C,D,E,F,G,H コマンドで指定します。 AAS の場合は、AR,BR,CR,DR,AP,BP,CP,DP コマンドです。 一方、ODD30 および XYP タイプの非球面のの係数は SCO コマンド (下欄参照) を使って定義します。
CodeV 互換コマンド	
SPS ODD XYP si..j sk	非球面のタイプを ODD あるいは XYP に変換します。このコマンドは、面タイプを自動的に“A”に変更します。SPS ODD は、ATY ODD30 と等価です。 SPS XYP は、ATY XYP と等価です。 SPS コマンドで指定した面の形状は、曲率半径 (RDY) あるいは曲率 (CUY) と、SCO コマンドで指定する係数によって定義されます。もし面形状の指定を“EVEN”あるいは“ODD9”から“SPS”面に変換するならば、対応するどの面形状係数も SCO コマンドで指定されるべき係数に適切に変換されます。その他の SCO 係数はゼロにセットされます。
SCO si..j sk ci coefficient	si..j sk 面に指定した SPS ODD XYP タイプの高次非球面に関する係数を指定します。各係数の意味は非球面のタイプによって異なります。詳細は 8.6.4 章 および 8.7.1 章を参照してください。
YTO si..j sk	Y トロイダル面に変換します。この面は、YZ 断面において ODD9 あるいは EVEN として定義されたのち、光軸に交わり Y 軸と平行な回転軸のまわりに スウィープ (軸性の“押し出し”に相当) された形状となります。回転軸と Y トロイダル面の面頂点の距離は RDX で定義します。結果として XZ 断面内では面形状は半径 RDX の円弧として表現されます。Y トロイダル面において $RDX = RDY$ とし、さらに $K = A = B = C = D = E = F = G = H = 0$ とした面は球面です。
AAS si..j sk	アナモフィック面に変換します。詳細は 67 ページの 8.6.5 章を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
CYL si..j sk	シリンドリカル面に変換します。詳細は 68 ページの 8.6.6 章を参照してください。
IC sk si..j Yes No	光線と面の交点を選択します。面と光線の交点が 2 つ以上存在することがあります。 そのような場合、IC を使えば選択すべき交点適切に指定できます。IC は、光線が面の通過点における法線に対して大きな角度で入射する側の解として採用されていない限り、通常は必要ありません。 IC Yes : デフォルトの設定 IC No : 通常の交点ではない側を選択 IC を面エディタから設定するには、面エディタを起動後 “Misc” タブをクリックしてください。 IC に関する詳細は、8.7 章を参照してください。

非球面を指定するには、SUT コマンドで指定される面タイプを “S”, “L”, “U”, “X” に “A” に置き換えます。したがって、“SA”, “LA”, “XA” という設定はあり得ません。面タイプに関する詳細は、8.5 章 (58 ページ) を参照してください。

8.6.1 “偶数次” 非球面 (“EVEN” Power Asphere)

“偶数次” 非球面は次式によって定義されます。

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)c^2h^2}} + A \cdot h^4 + B \cdot h^6 + C \cdot h^8 + D \cdot h^{10} + E \cdot h^{12} + F \cdot h^{14} + G \cdot h^{16} + H \cdot h^{18} \quad (8.1)$$

$$\text{ここで: } \begin{cases} c & = \text{面の頂点曲率 (mm}^{-1}\text{)、つまり曲率半径 (mm) の逆数} \\ K & = \text{コーニック係数} \\ A, B, C, D, E, F, G, H & = \text{非球面係数} \\ h^2 & = x^2 + y^2 \text{ (mm)} \\ x, y & = \text{面上の座標 (mm)} \end{cases}$$

偶数次非球面は、回転対称非球面です。これは式 8.1 で定義される円錐/多項式断面を Z 軸のまわりに回転したものです。コーニック係数 K はコーニック (円錐) の切断面形状を表現する量として知られています。コーニック係数 K は多項式のベース面形状として使われます。図 8.3 も参照してください。

8.1 式はしばしば次の様にも変形されます。

$$z = \rho h^2 / \left(1 + \sqrt{1 + (1 - \kappa \rho^2 h^2)} \right) + A \cdots h^4 + B \cdots h^6 + \cdots \quad (8.2)$$

	$K < -1$	双曲面
	$K = -1$	放物面
-1	$< K < 0$	長軸まわりの回転楕円面
	$K = 0$	球面
	$K > 0$	短軸まわりの回転楕円面 (偏球面)

表 8.4: コーニック係数 (円錐係数) K の幾何学的意味

K も κ もいずれもが円錐断面を表現する量であり、両式は非常に似ています。このため時として混乱の原因になります。OpTaliX では、この混乱をさけるために常に 8.1 式だけが使われます。

コーニック係数 K と離心率 ε の間には、次の関係があります。

$$K = -\varepsilon^2 \quad \text{楕円の長軸について} \quad (8.3)$$

$$\frac{K}{K+1} = \varepsilon^2 \quad \text{楕円の短軸について} \quad (8.4)$$

8.3 式は双曲面にも有効です。

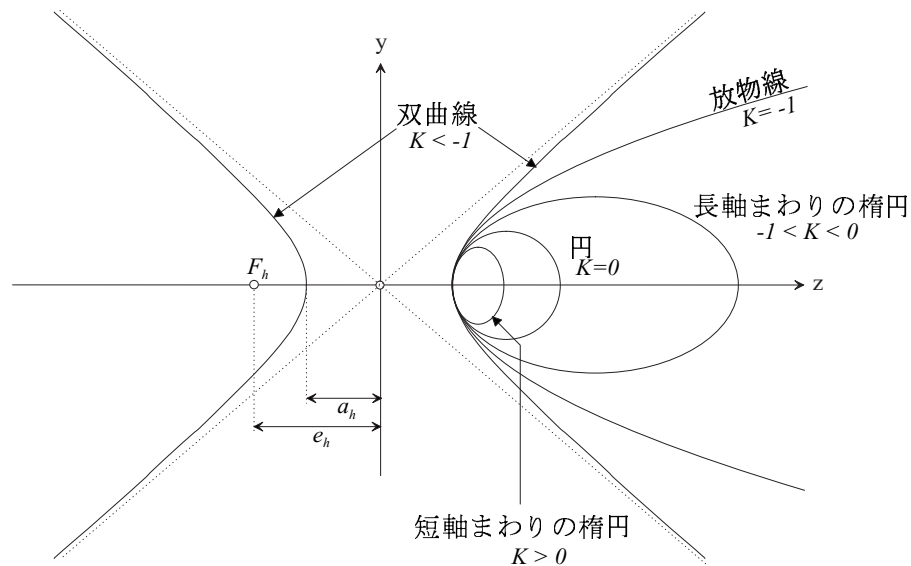


図 8.3: 非球面の円錐断面形状

8.6.2 “奇数次” 非球面 (“ODD9” Power Asphere)

前節で定義した偶数次非球面に対して、ここで定義する“奇数次”非球面は非球面係数が拡張されていること、つまりこの非球面係数が偶数次だけでなく奇数次にまで拡張されている点に違いがあります。ただし係数の次数は9次までです。最も低次の項は偶数次非球面の場合の4次の代わりに、奇数次非球面では2次です。

奇数次非球面は次式で定義されます。

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)c^2h^2}} + A \cdot h^2 + B \cdot h^3 + C \cdot h^4 + D \cdot h^5 + E \cdot h^6 + F \cdot h^7 + G \cdot h^8 + H \cdot h^9 \quad (8.5)$$

$A \cdot h^2$ の項は、近軸量に影響を与えます。この項は頂点曲率 $2A$ をもつので近軸解析において用いられる実効的な曲率は $c = c_0 + 2 \cdot A$ に換算されます。

偶数次非球面は、回転対称非球面です。これは式 8.5 で定義される円錐/多項式断面を Z 軸のまわりに回転したものです。コーニック係数 K はコーニック (円錐) の切断面形状を表現する量として知られています。コーニック係数 K は多項式のベース面形状として使われます。図 8.3 も参照してください。

8.6.3 偶数/奇数次非球面における長軸/短軸まわりの楕円 (Ellipse at major or minor Axis in the EVEN and ODD9 Asphere Models)

“長軸あるいは短軸まわりの楕円”という表現が前節でしばしば用いられました。この節では、その意味について改めて説明します。

RDX にゼロを設定した面が偶数次または奇数次非球面として設定されると OpTaliX はその面が回転対称面であるとして扱います。つまり、YZ 面における断面形状を Z 軸のまわりに回転して得られる 2 次曲面が定義されるのです。

8.1 式や 8.5 式の h を Y に置き換えると YZ 面断面におけるサグ量が定義されますが、EVEN / ODD9 タイプの非球面モデルではそれを光軸周りに回転することで対称面を形成しているとみなせます。この考え方は、楕円面の成り立ちを理解するうえで大変重要です。コーニック係数 K が $-1 < K < 0$ の範囲にあるときには、楕円の長軸を光軸 (Z 軸) の周りに回転させます。また、 $K > 0$ の場合は短軸を光軸のまわりに回転させます。このとき形成される面形状を特に偏球面といいます。8.4 図と 8.5 図は、これらの差異を示しています。

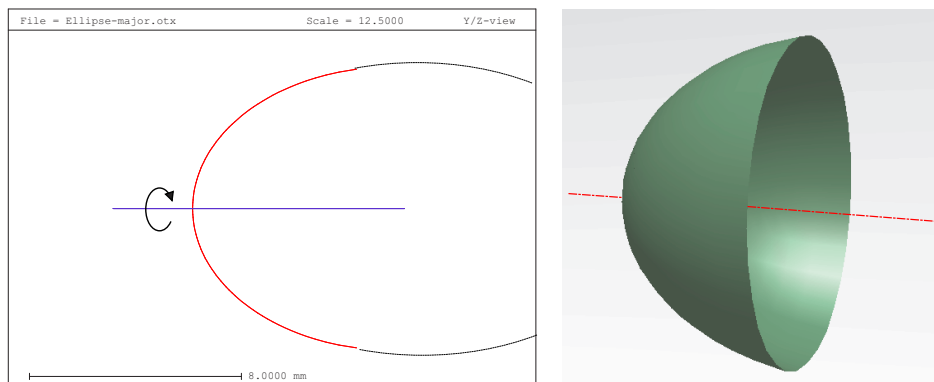


図 8.4: 長軸まわりに回転することで生成される楕円面。コーニック係数 K が $-1 < K < 0$ の場合に相当。左図: 楕円断面, 右図: 生成された回転楕円面

8.5 図から楕円の短軸まわりに回転して得られる面、つまり偏球面が“楕円面の短軸を光軸 (Z 軸) に一致させたときに得られる面”とは異なるものであることが分かります。楕円面の短軸を Z 軸に一致させた面を設定するには 8.6.5 章のアナモルフィック面 [anamorphic](#) (双円錐面) を使ってください。



図 8.5: 短軸まわりに回転することで生成される楕円面。コーニック係数 K が $K > 0$ の場合に相当。
左図：楕円断面，右図：生成された回転楕円面

8.6.4 “拡張奇数次” 非球面 (“ODD30” Power Asphere)

“ODD30” タイプの拡張・奇数次非球面は、“ODD9” タイプの奇数次非球面の最大次数を 30 次まで拡張したもので、面高さに対する偶数次項と奇数次項を含みます。“ODD9” タイプよりも大きな次数まで扱うために、CodeV という SPS 面と同様、“特別な” 非球面として取り扱われます。基本的に、“特別な” 面である SPS 面は、“ユーザー定義面” (UDS) として定義されているかの様に扱われます (OpTaliX の内部で“ユーザー定義面”と同じ係数領域を使います)。しかし表面的には両者の相違点は、SPS 面に関する係数が SCO と名付けられているのに対し、ユーザー定義面の場合には UCO と名付けられているということにのみでしかありません。

ユーザー定義面も SPS 面も、それぞれ定められた面タイプを指定しなければなりません。

A : 非球面の場合 (例えば EVEN, ODD9, ODD30, XYP)

U : ユーザー定義面の場合

拡張奇数次非球面は、次式によって定義されます。

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)c^2h^2}} + C_2 \cdot h + C_3 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^3 + C_5 \cdot h^4 + C_6 \cdot h^5 + \dots + C_{31} \cdot h^{30} \quad (8.6)$$

$$\text{ここで: } \begin{cases} c = \text{面の頂点曲率 (mm}^{-1}\text{)、つまり曲率半径 (mm) の逆数} \\ K = \text{コーニック係数} \\ C_i = h^{(i-1)} \text{ の係数。} 2 \leq i \leq 31 \\ h^2 = x^2 + y^2 \text{ (mm)} \\ x, y = \text{面上の座標 (mm)} \end{cases}$$

もし全ての C_i 係数がゼロ (デフォルト値) だとすると、その面は純粋なコーニック面です。使用する係数の最大数を C_{32} (C32) に設定できます。これを設定することにより計算に要する時間を節約できます。もし C_{32} がゼロならば、30 個の係数すべてを計算に使います。

下表は ATY ODD30 (または SPS ODD としても等価) によって定義される面の係数一覧表です。

係数	定義
C1	コーニック係数
C2	1 次の非球面係数
C3	2 次の非球面係数
C4	3 次の非球面係数
C5	4 次の非球面係数
C6	5 次の非球面係数
C7	6 次の非球面係数
C8	7 次の非球面係数
C9	8 次の非球面係数
C10	9 次の非球面係数
C11	10 次の非球面係数
C12	11 次の非球面係数
C13	12 次の非球面係数
C14	13 次の非球面係数
C15	14 次の非球面係数
⋮	⋮
C31	30 次の非球面係数
C32	項の数

C1 から C32 までの各係数は、SCD コマンドによって設定できます。61ページの説明を参照してください。

面エディタから 拡張奇数次非球面 (SPS ODD) 面を設定するには 'Asphere' タブの 'Asph.Type' の欄にあるプルダウンメニューを使います (図 8.6を参照)。

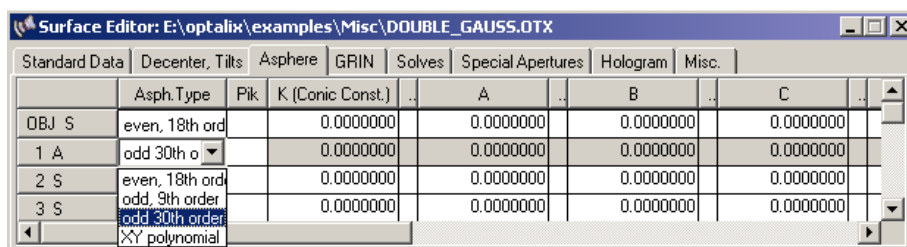


図 8.6: 拡張奇数次非球面 (SPS ODD) の設定画面非球面係数 K, A, B, ... が灰色で表示されているのはこれらの係数を面エディタからは設定できないことを示しています。係数を設定するには EDI UDS コマンドで起動する専用のダイアログを使ってください。

拡張奇数次非球面 (SPS ODD) を設定すると面エディタの非球面係数 K, A, B, ... の入力欄が灰色で表示され、係数値を設定できない状態になります。各係数の値は、専用の "SPS/UDS" エディタを使って設定してください。このエディタは、EDI UDS コマンドまたは、メインメニューから *Edit* → *SPS/UDS Coefficients* とたどることで起動できます。

8.6.5 アナモフィック面 (Anamorphic (Biconic) Asphere)

アナモフィック面は、XZ 断面/YZ 断面 の 2 面について それぞれ対称な非球面で、その面形状方程式は次のとおりです。

$$z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K_x)c_x^2 x^2 - (1 + K_y)c_y^2 y^2}} + A_R [(1 - A_P)x^2 + (1 + A_P)y^2]^2 + B_R [(1 - B_P)x^2 + (1 + B_P)y^2]^3 + C_R [(1 - C_P)x^2 + (1 + C_P)y^2]^4 + D_R [(1 - D_P)x^2 + (1 + D_P)y^2]^5 \quad (8.7)$$

ここで各係数の意味は次表のとおりです。

変 数	コマンド	内容説明
z	SAG	面上の任意の座標におけるサグ量
c_x, c_y	CUX, CUY	X および Y 方向の曲率
K_x, K_y	KX, KY	X および Y 方向のコーニック係数 K_y は 63ページの 8.4表に与えられたものに相当
A_R	AR	4 次の 回転対称非球面係数
B_R	BR	6 次の 回転対称非球面係数
C_R	CR	8 次の 回転対称非球面係数
D_R	DR	10 次の回転対称非球面係数
A_P	AP	4 次の 非回転対称非球面係数
B_P	BP	6 次の 非回転対称非球面係数
C_P	CP	8 次の 非回転対称非球面係数
D_P	DP	10 次の非回転対称非球面係数

アナモフィック面は、下記条件を満たすとき、通常の **偶数次非球面 (EVEN)** に相当する面と等価になります (8.6.1章参照)。

パラメータ	コマンド
$c_x = c_y$	RDX = RDY
$k_x = k_y$	KX = KY
$A_P = B_P = C_P = D_P = 0$	AP = BP = CP = DP = 0

コマンド

AAS sk si..j	アナモフィック面を定義するためのパラメータは; X 方向曲率 / X 方向曲率半径 (CUX/RDX) Y 方向曲率 / Y 方向曲率半径 (CUY/RDY) X 方向コーニック係数 (KX) Y 方向コーニック係数 (KY) 4 次から 10 次の 回転対称非球面係数 (AR, BR, CR, DR) 4 次から 10 次の 非回転対称非球面係数 (AP, BP, CP, DP)
ATY sk si..j AAP	非球面のタイプ (ATY) をアナモフィックに設定します。
KX sk si..j X_conic_const	X 方向コーニック係数
KY sk si..j Y_conic_const	Y 方向コーニック係数, K に相当
AR sk si..j coeff	4 次の 回転対称非球面係数
BR sk si..j coeff	6 次の 回転対称非球面係数
CR sk si..j coeff	8 次の 回転対称非球面係数
DR sk si..j coeff	10 次の 回転対称非球面係数
AP sk si..j coeff	4 次の 非回転対称非球面係数
BP sk si..j coeff	6 次の 非回転対称非球面係数
CP sk si..j coeff	8 次の 非回転対称非球面係数
DP sk si..j coeff	10 次の 非回転対称非球面係数

8.6.6 シリンドリカル面 (Cylindrical Surfaces)

シリンドリカル面は、シリンダーの母線 (シリンダー面の稜線) 方向 に応じて CUX/RDX または CUY/RDY のみを設定することで定義します。OpTaliX のデフォルトでは、シリンダーの母線は X 軸と平行に定義されます。つまり、CUX(または RDX) $\neq 0$ かつ CUY(または RDY) $= 0$ ということに相当します。任意の方位に母線をあわせるには、シリンドリカル面を Z 軸のまわりに回転させてください (γ -回転, CDE コマンド)。

CYL sk si..j	シリンドリカル面を定義します。デフォルト 面の母線 (シリンドリカル面の稜線) は X 軸と平行に設定されます。つまり、CUX(または RDY) $\neq 0$, CUY(または RDX) $= 0$ として定義されるということです。面のローカル座標における YZ 断面内の形状は、曲率半径だけでなく、偶数次非球面 (EVEN 非球面) の係数を用いて設定できます。シリンドリカル面は、CUX(または RDX) $\neq 0$ かつ CUY(または RDY) $= 0$ として XZ 断面内で定義することもできます。しかしこの場合には曲率半径しか設定できません。設定したシリンダー面の母線は γ -回転 (CDE) を使って面形状を Z 軸の周りに回転することで、任意の方位に向けられます。シリンドリカル面は、 トロイダル面 の一種でもあります。詳しくは 69 ページの 8.6.7 章 を参照してください。
ASP CYL sk si..j	CYL sk si..j と同じ機能です。

注記

- YZ 断面では、偶数次 (EVEN) 非球面係数 (62ページの 8.1式) を設定できます。しかし XZ 断面内には曲率を持ちません。シリンドリカル面の母線 (稜線) を任意の方位に向けるには、 γ -回転 (CDE コマンド) を併用してください。
- 非球面シリンドリカル面は、通常の 偶数次 (EVEN) あるいは奇数次 (ODD9) 非球面 を使って定義することもできます。RDX に非常に大きな値を設定することで XZ 断面が 事実上の平面として近似されたトロイダル面として構成できるのです。ただし、RDX に大きな値を設定するために CUX=0 あるいは RDX = 0 と入力してはいけません。CUX(または RDX) へのこのような入力を OpTaliX は CUX(または RDX) の設定解除と判断し、回転対称面としての取り扱いをしますからです。非球面シリンドリカル面として設定するための RDX には、たとえば $RDX = > 10^{10}$ 程度を設定するのが妥当です。

例

X 軸に沿った母線を持つシリンドリカル面：	CYL s1 RDY s1 100
Y 軸に沿った母線を持つシリンドリカル面：	CYL s1 RDX s1 100
任意の母線方位を持つシリンドリカル面：	CYL s1 RDY s1 100 CDE s1 45 ! γ 回転 45°

8.6.7 トロイダル面 (Toroidal Surfaces)

トロイダル面は、X 方向と Y 方向とで、それぞれ異なる曲率/曲率半径を持っていて、光軸まわりの回転対称性がありません。この面はちょうどドーナツ (またはウイスキー樽) の表面形状に例えられます。トロイダル面を設定するにはまず、偶数次および奇数次非球面 (8.6.1章, 8.6.2章) を設定し、その上で、X 方向の曲率 (CUX) または曲率半径 (RDX) に適切な値を設定します。CUX (または RDX) に平面を定義する場合には、 10^{10} 程度の大きな値を設定してください。平面を定義するためにゼロを設定してはいけません。ゼロを設定すると、OpTaliX は CUX(または RDX) の設定が解除されたと判断し、結果として、その面は回転対照非球面として取り扱われます。

トロイダル面の面タイプは “A” でなければなりません。

XZ 断面および YZ 断面内の曲率は次のコマンドで設定できます。

CUX	si..j	value	! X 方向の曲率を設定します。
RDX	si..j	value	! X 方向の曲率半径を設定します。
CUY	si..j	value	! Y 方向の曲率を設定します。
RDY	si..j	value	! Y 方向の曲率半径を設定します。

トロイダル面は、偶数次非球面の方程式 (8.1式) を次のように拡張して得られます。

$$z = F(y) + \frac{c_x}{2} (x^2 + z^2 - F(y)^2) \quad (8.8)$$

ここで c_x は XZ 断面内の曲率です。また $F(y)$ は 8.1式または 8.5 に相当します。

8.8式 を解くと次の標準形に帰着します。

$$0 = x^2 - \left(F(y)^2 - \frac{2}{c_x} F(y) \right) + z^2 - \frac{2}{c_x} z + \frac{1}{c_x^2} - \frac{1}{c_x^2} \quad (8.9)$$

$$0 = x^2 - \left(F(y) - \frac{1}{c_x} \right)^2 + \left(z - \frac{1}{c_x} \right)^2 \quad (8.10)$$

このため、XZ 平面内におけるトーリック面の断面は常に円です。YZ 平面内では 8.1 式または 8.5 式で記述される非球面形状がそのまま残ります。

シリンドリカル面は、トロイダル面の曲率 ρ が $\rho = 10^{-10}$ が程度 (事実上の平面) に設定された特別な場合に相当します。したがって、シリンドリカル面は偶数次または奇数次非球面をベースに設定できるのですが、より簡便には、非球面タイプとして“シリンドリカル面 (CYLINDER)”を直接指定する方法もあります。詳細は 68 ページの 8.6.6 章を参照してください。

8.7 面と光線、もうひとつの交点 (Alternate Intersection Point)

面と光線の交点が複数存在することがあります。このような場合には光線追跡の際、面と光線の交点が常に正しく選択されるとは限りません。とりわけ面の法線に対して大きな角度で光線が入射するような場合には、その傾向が強まります。放物面の場合を例にとって説明しますと、8.7図 のとおり面と光線の交点が 2 箇所に存在していることが分かります。通常、OpTaliX は P_1 点 が選択すべき交点であると判断します。しかしながら 光線が放物面の ‘内側’ から出発している場合には P_2 を正しい交点として選択すべきでしょう。このような場合には “IC No” を設定すれば、実際にかなった交点を正しく選択させられます。

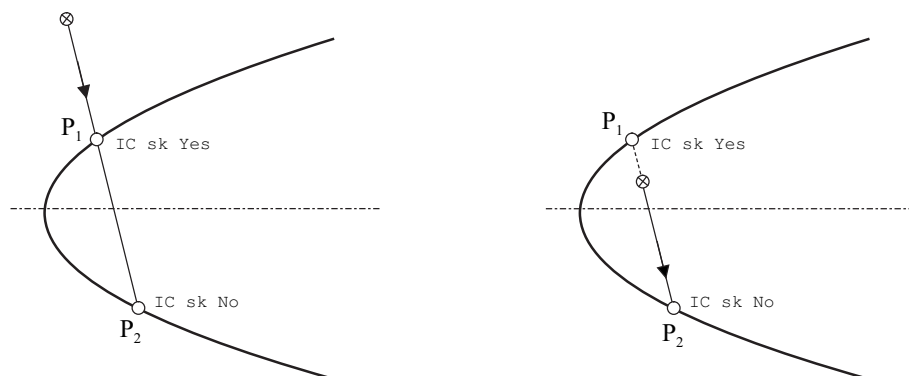


図 8.7: 面と光線との交点の選択。IC コードの幾何的な意味。 左: 面の ‘外側’ から光線が出発した場合 右: 面の ‘内側’ から出発した場合

8.7.1 “XY” 多項式非球面 (“XY” Polynomial Asphere)

XY 多項式非球面はベースとなるコーニック面に 10 次までの XY 多項式面を加算して表現します。多項式は $x^m y^n$ からなる各項の和によって構成されます。ここで $m+n \leq 10$ です。具体的には

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)c^2 h^2}} + \sum_{i=2}^{66} C_i x^m y^n \quad (8.11)$$

$$\text{ここで} \left\{ \begin{array}{l} c = \text{面の頂点曲率 (mm}^{-1}\text{)、つまり曲率半径 (mm) の逆数} \\ K = \text{コーニック係数} \\ C_i = x^m y^n \text{ 項の係数} \\ h^2 = x^2 + y^2 \text{ (mm)} \\ x, y = \text{面上の座標 (mm)} \end{array} \right.$$

使用する係数の最大数を C₆₇ (C67) に設定できます。これを設定することにより計算に要する時間を節約できます。もし C67 がゼロならば、66 個の係数すべてを計算に使います。

係数	定義	係数	定義
C1	コーニック係数	C34	$x^2 y^5$
C2	x	C35	xy^6
C3	y	C36	y^7
C4	x^2	C37	x^8
C5	xy	C38	$x^7 y$
C6	y^2	C39	$x^6 y^2$
C7	x^3	C40	$x^5 y^3$
C8	$x^2 y$	C41	$x^4 y^4$
C9	xy^2	C42	$x^3 y^5$
C10	y^3	C43	$x^2 y^6$
C11	x^4	C44	xy^7
C12	$x^3 y$	C45	y^8
C13	$x^2 y^2$	C46	x^9
C14	xy^3	C47	$x^8 y$
C15	y^4	C48	$x^7 y^2$
C16	x^5	C49	$x^6 y^3$
C17	$x^4 y$	C50	$x^5 y^4$
C18	$x^3 y^2$	C51	$x^4 y^5$
C19	$x^2 y^3$	C52	$x^3 y^6$
C20	xy^4	C53	$x^2 y^7$
C21	y^5	C54	xy^8
C22	x^6	C55	y^9
C23	$x^5 y$	C56	x^{10}
C24	$x^4 y^2$	C57	$x^9 y$
C25	$x^3 y^3$	C58	$x^8 y^2$
C26	$x^2 y^4$	C59	$x^7 y^3$
C27	xy^5	C60	$x^6 y^4$

次ページに続く

C28	y^6	C61	x^5y^5
C29	x^7	C62	x^4y^6
C30	x^6y	C63	x^3y^7
C31	x^5y^2	C64	x^2y^8
C32	x^4y^3	C65	xy^9
C33	x^3y^4	C66	y^{10}
		C67	項の数

係数の入力方法については、65ページの8.6.4章に記載の SC0 コマンドを参照してください。

面エディタから 拡張奇数次非球面 (SPS XYP) 面を設定するには 'Asphere' タブの 'Asph.Type' の欄にあるプルダウンメニューを使います (図 8.8を参照)。

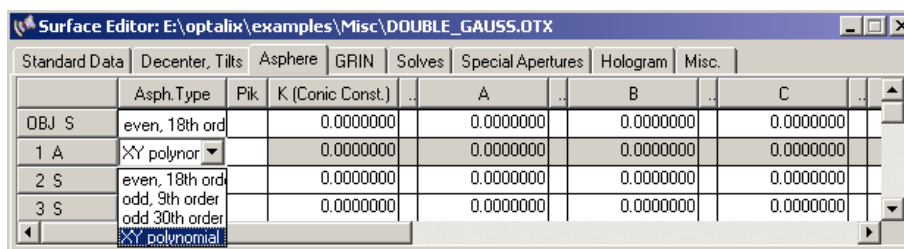


図 8.8: XY 多項式非球面 (SPS XYP) の設定画面。非球面係数 K, A, B, ... が灰色で表示されているのはこれらの係数を面エディタからは設定できないことを示しています。XYP の係数は EDI UDS コマンドで起動する専用ダイアログを使ってください。

拡張奇数次非球面 (SPS ODD) を設定すると面エディタの非球面係数 K, A, B, ... の入力欄が灰色で表示され、係数値を設定できない状態になります。各係数の値は、専用の "SPS/UDS" エディタを使って設定してください。このエディタは、EDI UDS コマンドまたは、メインメニューから *Edit* → *SPS/UDS Coefficients* とたどることで起動できます。

8.8 アキシコン (Axicon)

アキシコンは Z 軸について回転対称であり、頂点をもつ円錐形状を呈します。アキシコンは、十分に小さな曲率半径と -1 より小さいコーニック係数 (双曲面) K を持つ非球面 (面タイプ "A") を使用して、モデリングされます。曲率半径の値そのものは、さほど重要ではありませんが、可能な限り小さいということが必要です。目安として、その曲率半径は面の最小有効半径よりも十分に小さな値にするべきです。しかしゼロにはしてはいけません。

アキシコン面は Z 軸について回転対称であり、光軸上に頂点をもつ円錐状の面形状を呈します。アキシコンは、面タイプ "A" を持つ非球面によってモデル化されます。この節では、非球面タイプ "EVEN" を指定した偶数次非球面 および "ODD30" を指定した拡張奇数次非球面によってモデル化した例を示します。

8.8.1 偶数次非球面 “EVEN” によってモデル化したアキシコン (Axicon modelled by ”EVEN” Power Asphere)

偶数次非球面 (非球面タイプ “EVEN”) の場合、曲率半径とコーニック係数 K だけが必要とされます。曲率半径は十分に小さな値とし、コーニック係数は -1 よりも小さな値 (双曲面に相当) とします。目安として曲率半径は面の有効径よりも少なくとも 2 桁以上は小さな値とします。しかし、ゼロにしてはいけません。

曲率半径をゼロにしないことで、円錐の頂点の近くでアキシコンの頂点付近では、その傾斜量が一定ではない微小領域が生じます。しかし十分に小さな曲率半径を選択することで、その範囲を狭くできます。

実用的な観点から、円錐角だけが興味の対象となり、かつ唯一必要とされるパラメータです。円錐角 θ は頂点の接平面 (つまり、Z 軸に垂直な平面) とアキシコン面との間の角度で定義します。非球面方程式 8.1 において 曲率半径をゼロ (曲率は無限) に近づけるような極限をとれば、円錐角は簡単にコーニック係数 K に変換できます。

$$K = -\left(\frac{1}{\tan^2\theta} + 1\right) \quad (8.12)$$

コマンドの定義の例 (第 2 面にアキシコンを指定する場合):

```
sut s2 a      ! 第 2 面の面タイプを非球面に指定
rdy s2 0.1    ! 十分に小さな曲率半径を指定 (しかしゼロにしてはいけない)
k s2 -4       ! アキシコンの頂角をコーニック係数に換算して設定 (k=-4 は頂角 30° に相当)
```

8.8.2 拡張奇数次非球面 “ODD30” によってモデル化したアキシコン (Axicon modelled by ”ODD30” Power Asphere)

アキシコン面は、30 次までの奇数次項/偶数次項を取り扱える拡張奇数次非球面 (8.6 式を参照) で定義できます。この方法の長所は、アキシコンの頂点を厳密にモデル化できる点にあります。

```
sps odd s2    ! 拡張奇数次非球面を第 2 面に定義
sco s2 c2 0.2 ! 非球面係数 C2 により 1 次の非球面係数を設定
```

円錐の頂角 θ と 係数 C_2 との間には次の関係があります。

$$\tan(\theta) = C_2 \quad (8.13)$$

8.9 ホログラフィック面 (Hologram Surface)

ホログラフィック面の光学特性は、光線通過点における局所的な格子間隔で記述されるグレーティングの回折を基本に議論されます。一般的にホログラフィック面は回折面としても記述されます。回折レンズは、無限個数の焦点距離を持つ理想的な薄肉レンズに似た振る舞いを呈します。

$$f(\lambda) = \frac{\lambda_0 f_0}{m\lambda} \quad (8.14)$$

ここで、 f_0 は設計波長 λ_0 における焦点距離で、 m は回折次数です。この結果は回折レンズの高い分散性を示しています。この影響をモデル化するために、いくつかの回折面タイプを定義できます。

- 格子定数が一定であるような線形グレーティング (8.10章),
- 格子定数がグレーティング面の位置に依存する VLS グレーティング (8.10.1章)
- 2つのビームの干渉によって生成される、光学的ホログラム (8.9.4章)
- 回転対称性の位相分布 (ユーザ指定による) を持つ、計算機ホログラム (CGH) (8.9.2章)
- 非対称な 2次元位相分布 (ユーザ指定による) を持つ、計算機ホログラム (CGH) (8.9.1章)
- “スウェット” モデル (8.9.3章)

位相分布 $\Phi(x,y)$ によって表現される回折面に光線が到達すると、その地点の位相が光線に加算されます。面の法線が Z 軸と一致するような直交座標系内で光線ベクトルを求めるならば、光線の方向余弦 K,L,M は古典的なグレーティングの式に沿って記述できます。

$$K' = K + m \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\partial \Phi(x,y)}{\partial x} \quad (8.15)$$

$$L' = L + m \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\partial \Phi(x,y)}{\partial y} \quad (8.16)$$

$$M' = 1 - (K'^2 + L'^2)^{1/2} \quad (8.17)$$

ここで、 λ は波長で、 m は回折次数です。関数 $\Phi(x,y)$ の偏微分は、局所的な格子定数の空間周波数 v_x, v_y に比例するので

$$v_x = \frac{\Phi(x,y)}{x}, \quad v_y = \frac{\Phi(x,y)}{y} \quad (8.18)$$

その結果、次式が得られます。

$$K' = K + m \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cdot v_x \quad (8.19)$$

$$L' = L + m \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cdot v_y \quad (8.20)$$

ここで、位相関数 Φ は、設計波長 **HWL** を単位とする光路差 (OPD) の項として表現されています。ホログラムに関するベクトル光線追跡に関するより詳しい取り扱いについては、**Welford [56]** を参照してください。**OpTaliX** 以外のレンズ評価ソフトウェアのなかには、位相関数を正規化することなく物理的な距離そのもので定義しているものもあります。このような値を **OpTaliX** に導入する場合は、まず設計波長で正規化する必要があります。そのための変換式は次のとおりです。

$$c_i(\text{OpTaliX}) = \frac{c_i(\text{other})}{\lambda_0} = \frac{c_i(\text{other})}{\text{HWL}} \quad (8.21)$$

ここで、 λ_0 は、 μm 単位で表現された設計波長 **HWL** です。

なお、ホログラムやグレーティングなどの回折素子による回折光の強度は波長や入射角、回折角さらには回折次数や素子表面の形状によって顕著に異なることに注意してください。この効果は、[透過率解析 \(333ページ\)](#) の結果に反映されます。関連する理論に関する詳細説明は、[8.10.3章 \(83ページ\)](#) を参照してください。

ホログラムデータの入力 (Hologram Data Entry):

ホログラム面に関する命名法は、通常の線形 (等間隔直線格子) グレーティングを含む、すべてのタイプのホログラムを通して一貫しています。

HCO si..j ci..j coeff	面範囲 si..j に対するホログラム係数 (HOE 係数)ci..j
HCi si..j coeff	HOE 係数を入力するもうひとつのコマンド形式。ここで“i”は係数番号を示します。例えば、HC12 は、12 番目の HOE 係数です。この形式は最適化の変数として HOE 係数を定義する際に便利です。 下記の 2 つのコマンドは、互いに同義です。 HC7 s4 0.1234e-3 HCO s4 c7 0.1234e-3
HOT [si..j] htype	ホログラムタイプ、つまり、使用する位相関数を指定します。 htype = 0 : 線形グレーティング。詳細は 8.10章 を参照。 htype = 1 : 式 8.22 で定義される軸対称 (2D) 位相関数 htype = 2 : 8.9.1章 で定義される非対称 (2D) 位相関数 htype = 3 : 物点と像点で定義される 2 点ホログラム htype = 4 : 不等間隔 (VLS) グレーティング。詳細は 8.10.1章 を参照
HWL sk design_wavel	sk 面のホログラムの設計波長 (μm)
HOR [si..j] order	ホログラムの次数を整数値で指定します。HOE の向きがセットアップ間で異なる場合と、局所面の法線が逆向きになる場合には、符号を反転させなくてはなりません。
GRO [sk si..j] order	グレーティングの回折次数。整数で指定します。
GRX [si..j] grooves_per_mm_X	格子定数。mm 当たりの格子本数で指定。X 方向に回折します。
GRY [si..j] grooves_per_mm_Y	格子定数。mm 当たりの格子本数で指定。Y 方向に回折します。
HX1 si..j obj_source_x	HOE 面を生成する物光源の X 座標。obj_source_x は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
HY1 si..j obj_source_y	HOE 面を生成する物光源の Y 座標。obj_source_y は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
HZ1 si..j obj_source_z	HOE 面を生成する物光源の Z 座標。obj_source_z は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
HX2 si..j ref_source_x	HOE 面を生成する参照光源の X 座標。ref_source_x は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
HY2 si..j ref_source_y	HOE 面を生成する参照光源の Y 座標。ref_source_y は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
次ページに続く	

前ページから続く	
HZ2 <code>si..j</code> <code>ref_source_z</code>	HOE 面を生成する参照光源の Z 座標。 <code>ref_source_z</code> は、HOE 面のローカル座標系に対して与えられます。
SUT <code>[si..j]</code> SG	面タイプとして球面 (平面) をベースカーブとするグレーティングを指定するためのコマンド。SUT コマンドの詳細説明は 55 ページを参照。
SUT <code>[si..j]</code> SH	面タイプとして球面 (平面) をベースカーブとする一般性あるグレーティング (HOE) を指定するためのコマンド。コマンドの詳細説明は 55 ページを参照。
BLD <code>[sk si..j]</code> <code>depth</code>	mm を単位とするブレース深さ。透過率解析の結果に反映されます。
BLT <code>[sk si..j]</code> <code>[IDL KIN STE SIN]</code>	回折効率を計算する際に用いる回折面のブレースタイプ。回折面の構造を下記から選択して指定します。 IDL : 波長によらず、GRO/HOR で指定した回折次数に入射エネルギーのすべて (100%) が配分されるものとして解析されます。 KIN : キノフォーム (鋸の歯状) 状 STE : キノフォーム形状を階段型のステップ形状 SIN : 正弦状の構造
BLN <code>[sk si..j]</code> <code>levels</code>	階段のステップ数です。キノフォーム形状を多段構造で近似した場合、つまり BLT として STE を選択した場合に指定します。
VLS <code>[si..j]</code> <code>c_3</code> <code>c_4</code> <code>c_10</code>	指定の面が不等間隔 (VLS) グレーティングであることを指定します。面タイプとホログラムタイプは自動的に設定されます。係数 <code>c_3</code> から <code>c_10</code> の意味は式 8.29 および式 8.30 に定義されています。例えば、 <code>c_3</code> は格子周波数を規定する定数項の係数であり、格子本数/mm で指定します。

8.9.1 非対称な位相関数 (Asymmetric Phase Function)

一般的に非対称な位相関数が、(下記のように)28 個の係数からなる多項式関数で定義されます。

$$\begin{aligned}
 \Phi(x,y) = & a_1 \\
 & a_2x + a_3y \\
 & a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 \\
 & a_7x^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 + a_{10}y^3 \\
 & a_{11}x^4 + a_{12}x^3y + a_{13}x^2y^2 + a_{14}xy^3 + a_{15}y^4 \\
 & a_{16}x^5 + a_{17}x^4y + a_{18}x^3y^2 + a_{19}x^2y^3 + a_{20}xy^4 + a_{21}y^5 \\
 & a_{22}x^6 + a_{23}x^5y + a_{24}x^4y^2 + a_{25}x^3y^3 + a_{26}x^2y^4 + a_{27}xy^5 + a_{28}y^6
 \end{aligned}$$

位相は x と y の関数であり z は依存しません。したがって、この式で定義される位相関数は基板の形状とは無関係に独立しています。個々の係数 a_i は、コマンド `HCi` あるいは `HCO` を用いて入力しま

す (詳細は 8.9 章を参照)。

例:

```
sut s2 SH      ! 面タイプとして、基板面を球面 (平面) とするホログラムを指定
HC3 s1 0.123   ! 1 面のホログラム係数 3 ( $a_3$  項) は、0.123 です。
HOC s1 c3 0.123 ! 上記と同意の別表現
```

8.9.2 対称な位相関数 (Symmetric Phase Function)

軸対称性をもつ HOE の位相関数は、動径座標 h に対するべき級数展開によって与えられます。

$$\Phi(x, y) = a_1 + a_2 h + a_3 h^2 + a_4 h^3 + a_5 h^4 + a_6 h^5 + \dots \quad (8.22)$$

ここで、 $h = \sqrt{x^2 + y^2}$

近軸領域では軸対称性 HOE の回折レンズとしての特性は a_3 の項だけで完全に表現でき、そのパワー φ_{diff} は次式で与えられます。

$$\varphi_{diff} = \frac{1}{f} = -2ma_3\lambda \quad (8.23)$$

ここで m は回折次数です。

8.9.3 スウェットモデル – 高屈折率法による回折レンズのモデリング – (Sweatt Model)

前節までに述べた位相モデルの代替表現として、いわゆるスウェットモデルが提案されています。これは Sweatt[51, 52] と Kleinhans に [26] によって提案されたモデルで、屈折率が無限大になるという極限をとれば回折レンズは数学的に薄肉の屈折レンズと等価であるというものです。実際の計算にあたっては十分に高い屈折率 ($n = 10000$) が用いられます。こうすればレンズ厚は著しく減少するので、もはや実光路長の光線経路依存性は無視できることとなります。この方法の利点は、一般のレンズ用に開発された既存の光線追跡ルーチンを用いて回折レンズの設計が可能となる点にあります。ただし、回折レンズの色収差は次式によってモデリングされます。

$$n_s(\lambda, m) = m \frac{\lambda}{\lambda_0} [n_s(\lambda_0) - 1] + 1 \quad (8.24)$$

ここで、屈折率 n の添え字 s は、“スウェット”モデルに関連することを示しています。 λ_0 は設計波長です。屈折率 n_s は波長に比例します。設計に用いられる回折次数は、暗黙のうちに 1 次であると仮定されます。

設計波長におけるレンズパワー φ を持つ“スウェット”モデルのレンズ曲率は次式で与えられます。

$$c_{1,2} = c_s \pm \frac{\varphi_0}{2[n_s(\lambda_0) - 1]} \quad (8.25)$$

ここで、 c_s は回折素子の基板曲率です。基板面の非球面化により、回折面の位相多項式における高次項がモデリングされます。

OpTaliX において“スウェット”モデルの設定を簡単に行うには、光学材料として **sweatt** を指定します。**sk** 面を“スウェット”モデルに指定するには、コマンドラインから **gla sk sweatt** と入力して下さい。あるいはレンズ面のスプレッドシートエディタの適切な入力位置に材料名を (**sweatt**) 入力します。

例:

```
sut s2 S      ! 基板面は球面です。スウェットモデルです。面タイプ“H”の指定
               は省略できます。
gla s2 sweatt ! 高屈折率ガラス“SWEATT”の定義
hw1 s2 0.633  ! スウェットモデルで使用する設計波長は、0.633 μm です。
```

8.9.4 2点光源ホログラム (Two-Point Hologram)

このタイプのホログラム面は2つの光源からなる球面波 (平面波も含む) の干渉パターンとして解釈できます。局所的な格子周波数は結果として得られる干渉縞の方向と位置によって決定されます。2点光源ホログラムをモデリングするには、2つの光源の位置と波長が与えられなければなりません。ホログラムの記録に使用される光源の位置は、ホログラム面のローカル座標系で示される **X, Y, Z** 座標値によって指定します。指定のためのコマンドは、物光源に対してそれぞれ **HX1, HY1, HZ1**、参照光源については **HX2, HY2, HZ2** です。

このタイプのホログラム面に関する光線追跡は、ホログラムの幾何的な形状情報を利用します。したがって任意の形状の面に適用可能です。位相モデルの場合とは異なり、局所的なフリンジ空間は明確に計算されません。

Welford[56] による規約に従い、 n をホログラム面とローカルな法線に沿った単位ベクトルであるとします。(図 8.9を参照)。この場合、ホログラムはベクトル r_o で表現される物光源および r_r により表現される参照光源から放射される2つの球面波によって記録されます。単位ベクトル r'_o と r'_r は、交点 **P** における波面再生のための参照光と再生像に関わる光線を表現します。再生像に関する光線 r'_r は次式から得られます。

$$n \times (r'_o - r'_r) = \frac{m\lambda'}{\lambda} n \times (r_o - r_r) \quad (8.26)$$

ここで、 m は回折次数です。また λ は記録波長 (設計波長 **HWL**)、 λ' は再生光の波長です。

点 **P** におけるローカルな面の法線を **Z** 軸とするように方向付けられた座標系では、光線の進行方向はその方向余弦を示す単位ベクトルの成分 (**K, L, M**) を用いて次のとおり2つの成分に分解されます。

$$K'_0 - K'_r = \frac{m\lambda'}{\lambda} (K_0 - K_r) \quad (8.27)$$

$$K'_0 - K'_r = \frac{m\lambda'}{\lambda} (L_0 - L_r) \quad (8.28)$$

2点モデルの使用例:

```
sut s2 SH      ! 面タイプとして、基板面を球面 (平面) とするホログラムを指定
hot s2 3       ! ホログラムタイプとして“2点光源”ホログラムを指定
hz1 s2 -1.e20  ! 物光源の位置を無限遠に指定。したがって物体波面は平面
hz2 s2 50      ! 参照光源の位置は面頂点を基点に Z = +50mm の位置に配置。
```

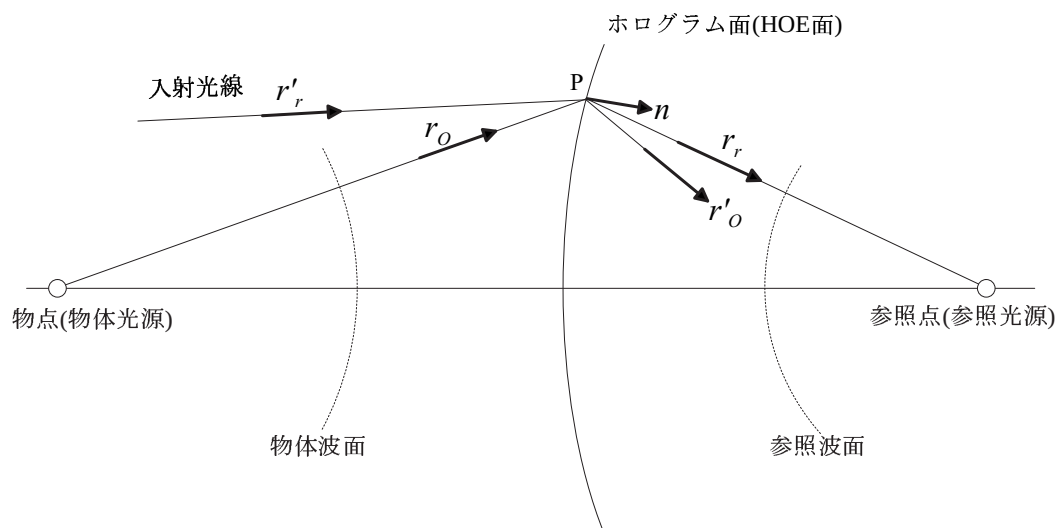


図 8.9: ホログラム面の光線追跡に関する規約表現

光源位置の指定 (HX1, HY1, HX2, HY2) において、指定のない座標はゼロが仮定されます。

設計例:

ホログラフィックレンズの例が、OpTaliX がインストールされたフォルダの下位フォルダ、`$i\examples\diffraction\two-point-hoe.otx` にあります。この例では、回折型の光学素子 (DOE : Diffractive Optical Element) は He-Ne レーザの発振波長である $0.6328\mu\text{m}$ で記録されます。光源の位置は、HOE(holographic optical element) のローカル座標系で記述されます。ホログラムの構成パラメータは LIS コマンドで確認できます。

```
# Hologram coefficients :
1 HOT 3 HOR -1 HWL 0.63300
  HX1 0.0000 HX2 0.0000
  HY1 0.0000 HY2 0.0000
  HZ1 -0.10000E+21 HZ2 50.000
```

この例は、軸上に配置したレンズ系なので、記録用のレーザビームの光源位置は $HX1 = HY1 = 0$ および $HX2 = HY2 = 0$ です。

光源 1 は、 $HZ1 -0.1\text{E}+21$ の位置、すなわち 無限遠方に配置されるのでホログラム面上では平面波として扱われます。光源 2 は この素子の焦点位置、すなわち HOE の右側 50mm ($HZ2 50.0$) に配置されます。ホログラフィに関する基礎的な理論より、記録後のホログラムに入射する平面波は、回折して光軸対称な球面波に変換され、焦点位置に向かって収束し、結果、理想像点を形成します。

ホログラム面が曲率を持っている場合の取り扱いについても記述しておきます。軸上に配置された 2 つの完璧な点光源によって記録されたホログラムは、ホログラム面が曲率を持っているかどうかに関係なく、軸上結像についてまったく同等の結果を与えます。この場合、再生系の幾何的關係は、記録系の幾何的關係とまったく同一です。一方、軸外結像については、曲率を持ったホログラム基板

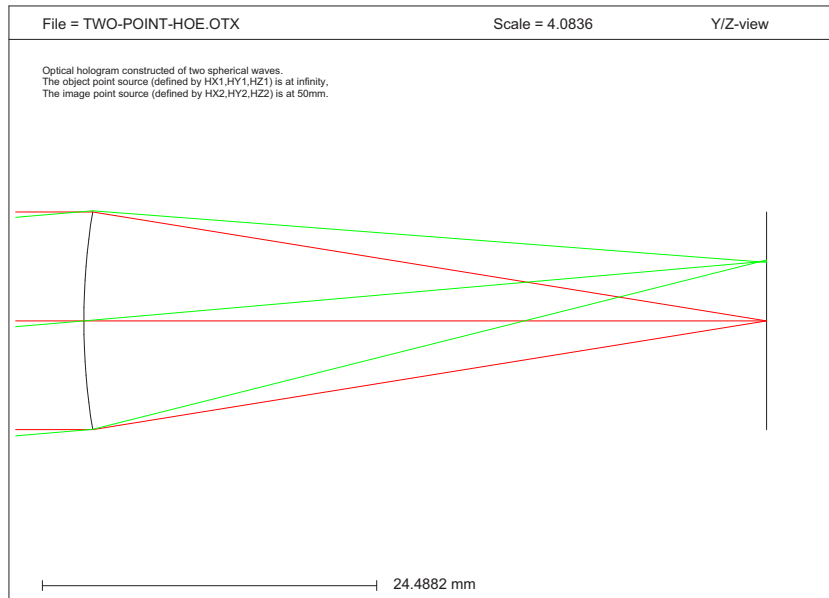


図 8.10: 曲率を持つ基板の上に生成した 2 点光源ホログラム。詳細はサンプルファイル、`$i¥examples¥diffractive¥two-point-hoe.otx` を参照してください

は、薄肉レンズをベンディングさせた場合と同様、コマ収差を持たないアプラナティックな結像状態を発生させられます。

8.10 回折格子 または グレーティング (Diffraction Grating Surface)

直線状の等間隔格子からなる回折格子 (またはグレーティング) は、ホログラムの一形態として認識されます。したがって 8.9.1 章に記載されている非対称ホログラムの表現のうち、X,Y 方向の格子定数項 a_2, a_3 を指定すれば表現できます。

この節で紹介するのは、これらの定数を直接に指定するための別の方法です。この方法を用いれば複雑な非対称ホログラムの定義を意識することなく、データ入力を単純化できます。直線状の刻印は基板面に対して任意の刻印方向を持ち得ます。これを表現するには刻印に垂直な方向の刻印周波数を X,Y 方向の成分に分解し、それぞれを GRX, GRY コマンドで適切に設定します。その際、格子周波数は常に接平面における本数 (溝数)/mm で定義します。

GRX [si..j] grooves_per_mm_X	格子定数。mm 当たりの格子本数で指定。X 方向に回折します。
GRY [si..j] grooves_per_mm_Y	格子定数。mm 当たりの格子本数で指定。Y 方向に回折します。
HOR [si..j] order	ホログラムの回折次数、整数値で指定
SUT [si..j] SG	面タイプを 球面 (または平面) をベース面に指定。 SUT コマンドの詳細は 58 ページを参照。

例:

```

sut s2 SG      ! 面タイプとして、基板面を球面 (平面) とするグレーティングを指定
hor s2 1       ! 回折次数は、+1 次を設定
gry s2 100     ! 格子定数は 100 本/mm。回折方向は Y 方向

```

8.10.1 不等間隔グレーティング (Variable Line Spacing (VLS) Grating Surface)

不等間隔グレーティングは VLS グレーティングとも呼ばれます。直線格子の一種です。その位相は次の多項式で表現されます。

$$\Phi(y) = a_3y + a_4y^2 + a_5y^3 + a_6y^4 + a_7y^5 + a_8y^6 + a_9y^7 + a_{10}y^8 \quad (8.29)$$

したがって、格子周波数 v_y は、 Φ の 1 次関数で与えられ、

$$v_y = a_3 + 2a_4y + 3a_5y^2 + 4a_6y^3 + 5a_7y^4 + 6a_8y^5 + 7a_9y^6 + 8a_{10}y^7 \quad (8.30)$$

VLS グレーティングは面のローカル座標系において Y 方向に変位する場合のみを定義できます。したがって任意の格子方向を指定するには面全体を Z 軸のまわりに回転させる必要があります (CDE コマンド)。加えて係数番号が 3 からスタートしていることにも注意してください。これは通常のグレーティング (8.10 章) や、非対称性な位相関数 (8.9.1 章) の定義との整合性を維持するためです。

格子周波数 v_y は、常に面の接平面において定義されます。 a_3 だけが指定されると、VLS グレーティングは、一定の格子間隔 (格子本数 /mm、格子周波数 = a_3) をもつ直線格子として振舞います。

ただしこの場合を含めて、VLS グレーティングは非対称な位相ホログラムと同じように追跡されます。それゆえ面タイプは “H” にしなければなりません。

例:

```

sut s2 SH      ! 面タイプとして、基板面を球面 (平面) とするホログラムを指定
hor s2 1       ! 回折次数は、+1 です
hot s2 4       ! ホログラムタイプは、VLS グレーティングです
hco s2 c3 100  ! ホログラム係数 3 (グレーティング周波数 = 100。格子定数 = 100 本/mm)
hc3 s2 100     ! 上記同意の別表現

```

VLS グレーティングを簡便に入力するためのコマンド **VLS** が用意されています。

VLS [si..j] c_3 c_4 c_10	不等間隔グレーティング (VLS グレーティング) の特性を面に追加します。面タイプとホログラムタイプは自動的に設定されます。係数 c_3 から c_10 はそれぞれ式 8.29 と式 8.30 で定義されています。c_3 は、格子本数/mm で格子周波数の定数項を定義します。したがって c_3 だけが値をもつ VLS グレーティングとは、通常の直線等間隔グレーティングのことです。
-------------------------------	--

8.10.2 VLS グレーティング定数の変換 (Conversion of Coefficients for a VLS Grating)

曲率を持った基板に不等間隔格子を刻印したグレーティングが、しばしば用いられます。例えば非点収差補正型の凹面回折格子などが良い例です。このタイプの格子間隔 σ は Kita 等 [25] によって与えられています。

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{\left(1 + \frac{2b_2w}{R} + \frac{3b_3w^2}{R^2} + \frac{4b_4w^3}{R^3}\right)} \quad (8.31)$$

ここで 格子間隔 σ はグレーティングの中心からの距離 w と基板面の曲率半径 R との関数として定義されます。係数 b_2, b_3, b_4 から 局所的な溝本数 v (格子定数=格子の空間周波数) への変換は、次式によって容易に行えます (8.30式)。

$$v_y = a_3 + 2a_4y + 3a_5y^2 + 4a_6y^3 + \dots \quad (8.32)$$

格子間隔と (局所的な) 溝本数 v との間には $v = 1/\sigma$ の関係があります。これを 8.31式に代入すると

$$v = v_0 + \frac{2v_0b_2}{R}y + \frac{3v_0b_3}{R^2}y^2 + \frac{4v_0b_4}{R^3}y^3 \quad (8.33)$$

Kita の論文と OpTaliX の座標系の間には $w = -y$ の関係があるのでこれを考慮すると 8.33 式は

$$v = v_0 - \frac{2v_0b_2}{R}y + \frac{3v_0b_3}{R^2}y^2 - \frac{4v_0b_4}{R^3}y^3 \quad (8.34)$$

ここで 8.30式を 8.34式 と比較することで、変換式はただちに次のように得られます。

$$\begin{aligned} a_3 &= v_0 = 1/\sigma_0 \\ a_4 &= -\frac{v_0b_2}{R} = -\frac{b_2}{\sigma_0R} \\ a_5 &= \frac{v_0b_3}{R^2} = \frac{b_3}{\sigma_0R^2} \\ a_6 &= -\frac{v_0b_4}{R^3} = -\frac{b_4}{\sigma_0R^3} \end{aligned} \quad (8.35)$$

数値を使った実例

Kita 等の論文 [25] に掲載されたパラメータ $R = 5649\text{mm}$, $\sigma_0 = 1/1200\text{mm}$, $b_2 = -20$, $b_3 = 4.558 \cdot 10^2$, $b_4 = -1.184 \cdot 10^4$. を OpTaliX の係数に換算すると、次の結果が得られます。

OpTaliX Coeff.	calculated from Eq. 8.35
a_3	1200
a_4	4.2485
a_5	$1.714 \cdot 10^{-2}$
a_6	$7.882 \cdot 10^{-5}$

8.10.3 回折効率の評価 (Diffraction Efficiency Calculation)

OpTaliX は ホログラムやグレーティングのように回折構造を持つ面のスカラー回折効率を計算できます。回折効率を計算すれば、回折構造を持つ面を光線が通過する際のエネルギーについて解析できます。回折効率は波長、入射角、回折角のほか、回折次数や回折構造の様相に依存します。OpTaliX に現状で実装された回折効率の理論はスカラー近似によるものですから、偏光の影響を考慮することはできません。

回折効率の計算結果は、透過率解析に反映されます。解析の際には、TRA Y および POL Y と設定するように注意してください。

OpTaliX の現状のバージョンでは、下記に示す回折構造を指定できます。

- 鋸歯形状 (キノフォーム ブレーズタイプ)
- 鋸歯形状を階段近似
- 正弦形状

8.10.3.1 鋸歯形状 (キノフォーム)(Sawtooth Profile (Kinoform))

図 8.11 に示す鋸歯形状の m 次の回折光の回折効率は次のように近似されます。

$$\eta(m) = \left(\frac{\sin[\pi(\alpha - m)]}{\pi(\alpha - m)} \right)^2 \quad (8.36)$$

ここで:

$$\alpha = \frac{d_1 (n_1 \cdot \cos\theta_1 - n_2 \cdot \cos\theta_2)}{\lambda}$$

m = 回折次数 (GRO または HOR)

d_1 = ブレーズ深さ (BLD)

n_1 = 回折前の媒質の屈折率

n_2 = 回折後の媒質の屈折率

λ = 波長

θ_1 = 回折面に対する光線のローカルな入射角

θ_2 = 光線の回折角

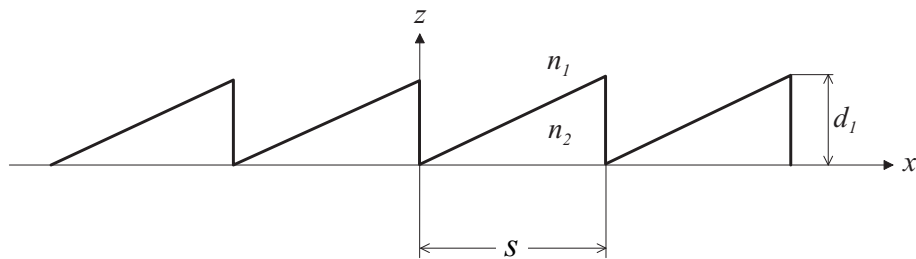


図 8.11: 鋸歯形状を持つ回折面の微細構造 (キノフォーム構造)

鋸歯形状の各周期において、回折面の形状は空間座標 x に対する線形関数です。局所的なグレーティングの構造を特徴付けるブレード深さ d_1 (BLD コマンド) は、常に光線入射点におけるローカルな法線に沿って計ります。

8.10.3.2 正弦形状 (Sinusoidal Profile)

図 8.12 に示す正弦形状の m 次の回折光の回折効率の近似は次のようになります。

$$\eta(m) = [J_m(\pi \cdot \alpha)]^2 \quad (8.37)$$

ここで $\alpha = \frac{d_1 (n_1 \cdot \cos\theta_1 - n_2 \cdot \cos\theta_2)}{\lambda}$ であり、 J_m は第 1 種ベッセル関数、 m はその次数です。

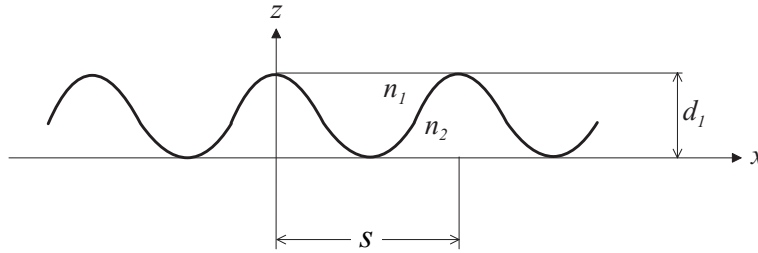


図 8.12: 正弦形状を持つ回折面の微細構造

8.10.3.3 階段近似 (Step Approximation)

BLT STE を使えば、鋸歯形状 (キノフォーム) を階段状に近似できます。その様相は図 8.13 に示すとおりであり、その m 次の回折光に対する回折効率は次のように近似されます。

$$\eta(m) = \left[\frac{\sin(m\pi/N)}{m\pi} \right]^2 \cdot \left[\frac{\sin(\pi(\alpha - m))}{\sin(\pi(\alpha - m)/N)} \right]^2 \quad (8.38)$$

ここで

N = グレーティングの各周期における離散的な階段数 (BLN コマンド)。

α = $\frac{d_1 (n_1 \cdot \cos\theta_1 - n_2 \cdot \cos\theta_2)}{\lambda}$

m = 回折次数 (GRO または HOR コマンド)。

d_1 = ブレード深さ (BLD コマンド)。

n_1 = 回折前の媒質の屈折率

n_2 = 回折後の媒質の屈折率

λ = 波長

θ_1 = 回折面に対する光線のローカルな入射角

θ_2 = 光線の回折角

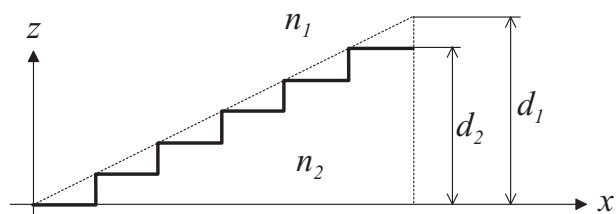


図 8.13: 離散的な階段状に近似したキノフォーム回折面の形状

8.10.3.4 回折効率の評価例 (Diffraction Efficiency Example)

ホログラムやグレーティングのように回折構造を持つ面の回折効率の特徴は透過率解析を用いてその波長依存性を解析することによって明瞭に理解できます。 その一例が

\$i\%examples\%spectrometer\%rowland-grating.otx\$ にあります。図 8.14に示すこの光学系には、曲面上に刻印された線形グレーティングが含まれます。グレーティングのブレイズタイプ (BLT) とブレイズ深さ (BLD) を定義すれば、その回折効率を評価できます。

BLT s1 KIN ブレイズタイプはキノフォーム (鋸歯形状)

BLD s1 0.00027 ブレイズ深さ 0.00027 mm

回折効率を考慮した透過率の波長依存性は、次のコマンドを実行すれば評価できます。

TRA LAM

図 8.15 に、評価結果を示します。

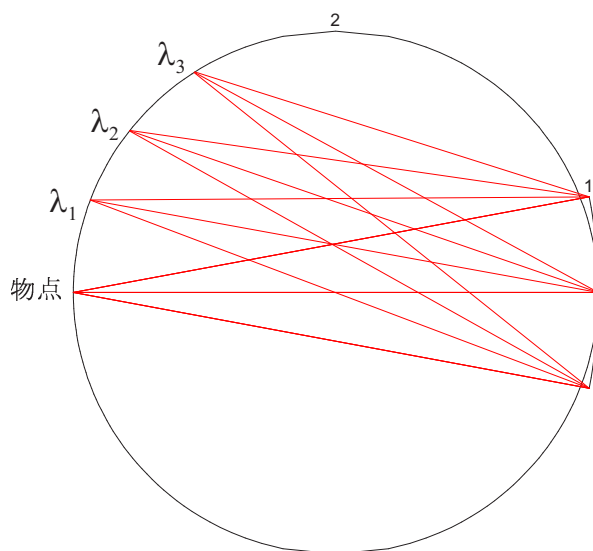


図 8.14: ローランド・グレーティング

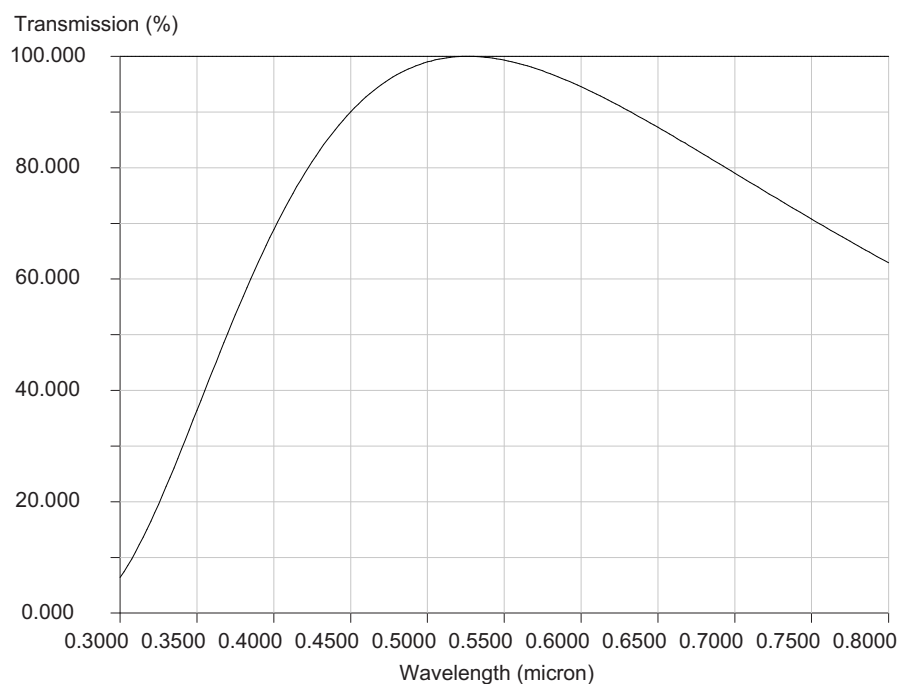


図 8.15: キノフォーム形状を持つローランドグレーティングの回折効率評価例

8.11 フレネル面 (Fresnel Surface)

フレネルレンズとは、通常のレンズの曲面を輪帯状に切り出し、1枚の薄いプレート上に高さをそろえて並べたもので、図 8.16 のとおり厚さと重さなく屈折効果を持っています。フレネルレンズは、オーバーヘッド・プロジェクタのコンデンサレンズの他、スポットライト、信号機の投光レンズなどに用いられています。

通常のレンズで定義されるのと同様に、フレネルレンズも屈折面の曲率半径 R を使って定義しますが、それだけでなく、さらに環状ゾーンの深さ d も使います (図 8.16 参照)。

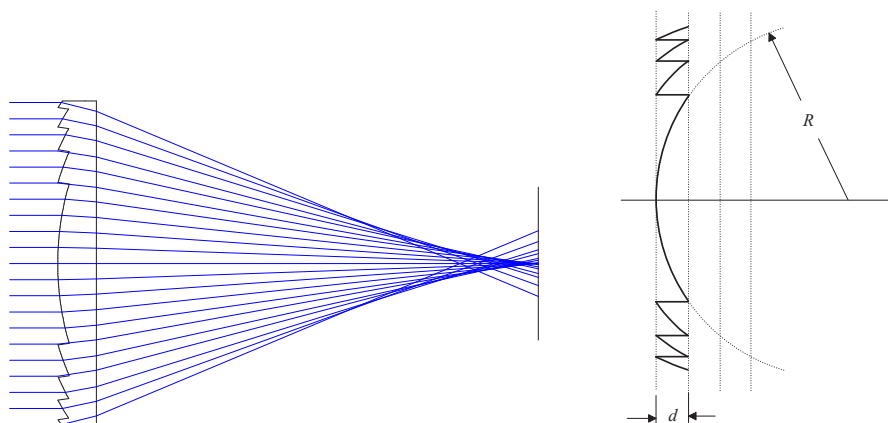


図 8.16: フレネルレンズと環状ゾーンの構成法

FTH fresnel_depth	フレネルレンズの環状ゾーンの深さ d を指定します。小さな FTH ほど環状幅は小さくなります。現状ではコマンドラインからのみ指定できます。メニューからは指定できません。面タイプ (SUT) は、“S”(球面) または “A”(非球面) とあわせて “F” を指定し、“SF”, “AF” と指定しなくてはなりません。
-------------------	---

輪帯が有限の深さを持つことによる遮蔽の影響は考慮されません。

入力例:

```
sut s1 SF ! 球面 (平面) の屈折率をベースとするフレネル面を指定
rdy s1 30 ! 屈折力をコントロールする基板の曲率半径を定義
fth s1 1 ! 輪帯ゾーンの深さ
```

8.12 全反射面 (Total Internal Reflection (TIR) Surface)

全反射は、ガラス同士 あるいはガラスと空気の境界面において 高屈折率材料側からの入射角が臨界角 θ_c を越えている場合に生じる現象です。この条件下では、もはや 屈折光が生じることはありません。すべての入射光線は図 8.17 に示す様に反射光路をとります。

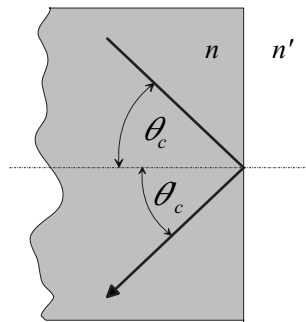


図 8.17: 全反射 (TIR:Total internal reflection) 条件

臨界角は、次のように記述できます。

$$\sin(\theta_c) = \frac{n}{n'} \quad (8.39)$$

いったん全反射面 (TIR 面) を指定すると、その面に入射する光線が全反射するかどうか常に判定されるようになります。その結果、この面があたかも鏡面であるかのように全反射条件を満たす光線 ($\theta > \theta_c$) だけが反射光路を取ります。一方、全反射条件に満たない光線、つまり θ_c よりも小さな入射角で全反射面に向かう光線はこの面を透過してしまうために反射光路を取ることができません。このような光線の追跡は中断されます。

全反射面 は TIR コマンドで定義します。

TIR sk si...j or RMD TIR sk si...j	第 k 面、または面範囲 i..j 面を全反射面に設定します。このコマンドにより面タイプに “T” が加えられます。この面に入射する光線が全反射条件を満たすときのみ、この面は鏡面として振る舞います。全反射条件を満たさない光線はブロックされます。RMD TIR の他、REFL (反射面の指定) REFR (透過面の指定) も参照してください。 TIR 条件を計算するには 屈折率境界面の両側の媒質に対して、それぞれ適切に屈折率 GL1 と GL2 を設定しなくてはなりません。ここで GL1 は式 8.39 における n、GL2 は n' に対応しています。デフォルトでは、$n' = 1$ です。 ノンシーケンシャル面では、TIR の設定は無視されます。これはノンシーケンシャル面では、光線の入射方向に応じて常に透過か全反射かが判定され、適切な光路が自動的に選択されるからです。
---	--

全反射面では、式 [8.39](#) によって記述される全反射条件が満たされる限りその反射率は条件によらず $R = 1(100\%)$ です。しかし位相変化は 入射角、波長、偏光成分 (S 成分・P 成分) によって異なります。その大きさは [\[4\]](#) に記述された方法によって計算されます。

$$\tan \frac{\delta_1}{2} = -\frac{\sqrt{\sin^2 \theta_i - n^2}}{n^2 \cos \theta_i} \quad (8.40)$$

$$\tan \frac{\delta_2}{2} = -\frac{\sqrt{\sin^2 \theta_i - n^2}}{\cos \theta_i} \quad (8.41)$$

ここで添え字 (1) は S 偏光を意味し、添え字 (2) は P 偏光を意味しています。¹

全反射面では光損失は生じません。しかし波面 (位相) は 式 [8.40](#) および式 [8.41](#) に従って変化します。また、無偏光の場合には 波面への影響 Δw は次式で記述できます。

$$\Delta w = \frac{(\delta_1 - \delta_2) \lambda}{2\pi} \quad (8.42)$$

全反射面における位相変化は 偏光光線の追跡の指定 ([POL](#) 参照) に関わらず常に考慮されます。波面の影響を示す例として `$i¥examples¥misc¥tir.otx.` を紹介します。(図 [8.18](#)参照)

図 [8.18](#) に示すレンズは ほぼ無収差を達成した非球面レンズですが、全反射後に形成される波面にはコマ収差に似た非対称性が現れています。このような結果となるのは、瞳に渡る波面の位相変化が全反射面への光線入射角に依存しているためです。この影響は 全反射面への光線入射角が臨界角 θ_c 近傍にあるとき、顕著に現れます。

なお、図 [8.18](#) において レンズを通過する光束幅が光軸をはさんで非対称 (上側が細い) のは、その領域に含まれる光線が全反射条件を満たせず透過成分となるために、追跡がブロックされてからです。また、点像分布関数 PSF のセンターが光軸上に存在せず、いくらかシフトしているのは Goos-Hanchen 効果 と呼ばれる現象によるものです。この効果はフーリエ変換理論という線形の位相係数による波面の重ね合わせによって説明されます。

¹S および P 偏光の “S” はドイツ語で “垂直の” を意味する *senkrecht* に由来しており、“P” は “平行の” を意味する *parallel* に由来しています。

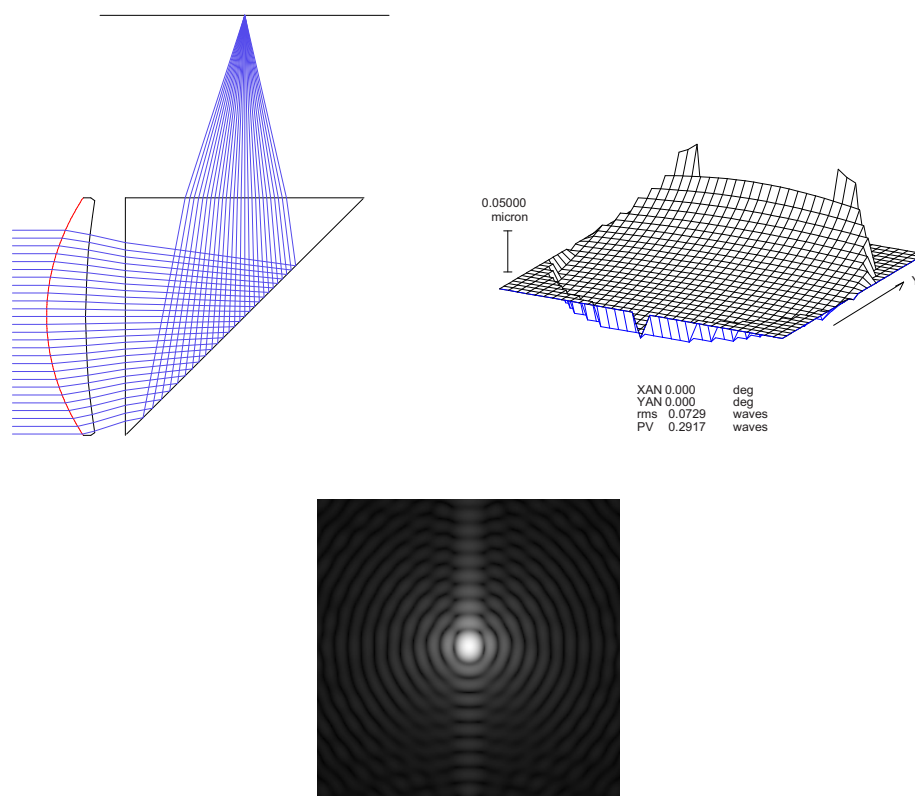


図 8.18: 全反射の例。(上左) 光路図と断面図、(上右) 反射後の波面 および (下) 点像分布関数 PSF。レンズデータは `examples¥misc¥tir.otx`

8.13 ノンシーケンシャル面 (Non-Sequential Surface)

通常の光線追跡は、あらかじめ定められた面順序にしたがって実行されます。つまりレンズ構成データの面番号の順に光線は伝播します。しかし、異形プリズムや切り子面 (複雑な刻面) に対する光線追跡の場合には、事前に伝搬の面順序を定められるとは限りません。ノンシーケンシャル面の機能は、このような場合に使います。つまり OpTaliX が光線が次に到達する面を探索し、その結果を用いて逐次、光線追跡が実行されます。ノンシーケンシャル面はまた、照明光学系や非結像光学系の評価にも多用されます。ノンシーケンシャル面は、NSS 面とも呼ばれます。

NSS si..j	設定済みのシーケンシャル面の任意の範囲を指定すると、この範囲が同じ配置からなる NSS の範囲に変換されます。入射ポートおよび出射ポートの偏芯モードも正しく NAX に設定されます。
DEL NSS si..j	NSS の指定を解除して NSS 範囲をシーケンシャル面に変換します。ティルトや平行偏芯もシーケンシャルなモデルとして正しく反映されます。ひとつの光学系中に 2 つ以上の NSS 範囲がある場合それぞれを個別に解除しなくてはなりません。つまり複数の NSS 範囲を含むより広い面範囲を一括して指定することはできません。
GL1 si..j glass-name	面番号 si..j における“左側”(ローカル座標において負の Z 方向)における材料を指定
GL2 si..j gl-name	面番号 si..j における“右側”(ローカル座標において正の Z 方向)における材料を指定
MXH si..j	光線の到達回数の最大許容値。NSS 範囲内の各面にそれぞれ異なった値を指定できます。ここで指定した回数を超えて面に光線が到達すると“ray failure(光線追跡失敗)”になります。吸収または遮蔽の属性を持つ面に光線が到達した場合も、光線追跡は終了します。

ノンシーケンシャル面を指定するには、面タイプ (SUT) に“N”を追加します。OpTaliX では、NSS 範囲内のすべての面を偏芯面として取り扱います。これは実際にティルト/平行偏芯データが指定されているかどうかにはなりません。このため面タイプの指定には修飾子として“D”が、ノンシーケンシャル面と併せて常に指定されなければなりません(“DN”のように)。連続したノンシーケンシャル面は NSS 範囲として定義されます。ひとつの光学系内での NSS 範囲の数は制限されていません。

図 8.19 にはシーケンシャル面に前後をはさまれた NSS 面の定義の概念を示しました。NSS 範囲は、入射ポート面と射出ポート面によって定義されます。入射ポート面はシーケンシャルな面範囲の最終面なので、これはシーケンシャル面です。射出ポート面は NSS 範囲の最終面なので、これはノンシーケンシャル面です。入射ポート面と射出ポート面との間の全ての面はノンシーケンシャル面です。指定された NSS の範囲内であれば、どんな順序で面を指定しても結果に影響はありません。また任意のティルトおよび平行偏芯を指定可能です。入射ポート面および射出ポート面は、偏芯モードとして NAX を指定されなくてはなりません(6.16.2 章を参照)。一方、NSS 範囲内の他の全ての面については偏芯モードは DAR が指定されなければなりません。NSS 範囲では、偏芯モードとして NAX と BEN は使えません。

NSS 範囲は、NSS si..j コマンドによって指定します。

8.13.1 シーケンシャルな面のノンシーケンシャル面への変換 (Converting Sequential Surfaces to Non-sequential Surfaces)

NSS si..j コマンドを使えば、シーケンシャルな面範囲を ノンシーケンシャルな面範囲に変換できます。この変換は次のステップが自動的に実行されることによって行われます。

- 光学媒質 (つまり通常はガラス) が GL1 と GL2 によって表現されます。

- ノンシーケンシャルな面範囲に属するすべての面のティルトモード (TLM) が DAR タイプに変換されます。
- 入射ポートと射出ポートのティルトモード (TLM) が NAX タイプに変換されます。
- すべての面のアパーチャが固定されます (つまり、NSS の範囲では、光線がアパーチャの内側を通過している (有効な光線追跡) か、外側を通過しているか (無効な光線追跡) かがチェックされているということです)。
- 入射ポートの面位置を基準に、すべてのノンシーケンシャル面の頂点が参照されます。

ノンシーケンシャルな面範囲 (NSS 範囲) の内部では、各面はシーケンシャルに定義されていなければなりません。つまり NSS 範囲をネストすることはできない (入れ子にできない) ということです。これに反してノンシーケンシャルな面範囲内に NSS 面を指定すると光線追跡は正しい結果を与えなくなりますから注意してください。

8.13.2 ノンシーケンシャル座標系 (Non-Sequential Coordinate System)

入射ポートは、NSS 範囲に属する後続のすべての面に関する新しい (ローカル) 座標系を定義します。原点は入射ポート面の頂点です。NSS 範囲に属するどのノンシーケンシャル面もこのローカル座標系に対する平行偏芯 (XDE, YDE, ZDE) と軸まわりの回転 (ADE, BDE, CDE) を指定することによって指定されます。面間隔 (THI) は NSS にとって意味はなく、それゆえすべてのノンシーケンシャル面に対してゼロに設定されます。つまり、NSS 範囲内では、面間隔の値は無視されます。

射出ポート面はノンシーケンシャルとしての属性をもっていますが、同時に後続のシーケンシャル面のために新しい座標系を定義します。原点は射出ポート面の頂点です。入射ポート面と射出ポート面はミラー面にしてはいけません。像面はシーケンシャル面でなくてはなりません。また、NSS 範囲は重複してはいけません。

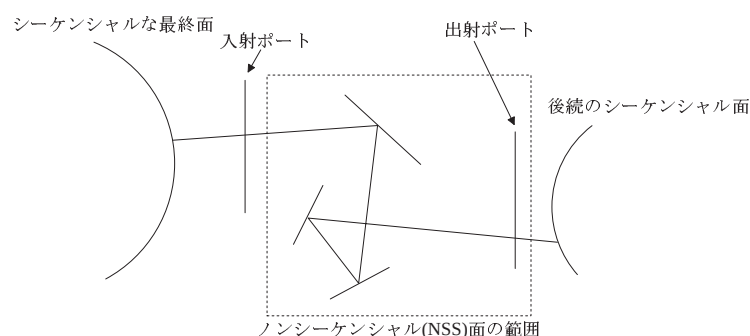


図 8.19: ノンシーケンシャル面の範囲指定に関する概念説明図

8.13.3 ノンシーケンシャル面の材料指定 (Glass Specification for Non-Sequential Surfaces)

NSS 範囲では、どのノンシーケンシャル面についても 1 面あたり 2 つの材質を指定しなければなりません。GL1 コマンドは面の“左側”に関する材質を指定します (負のローカル Z 軸を含んでいる

側)。GL2 は反対側の材質を指定します (正のローカル Z 軸)。

8.13.4 ノンシーケンシャル範囲内の光線追跡 (Transfer between Non-Sequential Surfaces)

光線がある NSS 面から射出する際には、OpTaliX はいったん NSS 範囲内の他の全ての面に対して、その光線との交点を追跡します。その情報を元に、次の判断基準によって次に到達すべき面を決定します。

次の NSS 面までの光路長 (OPD) が正になる光路だけが選択されます。光路長が負になる光路は“仮想的”な光線追跡であり認められません。正の OPD を持つ面が 2 枚以上ある場合には、最初に光線が到達する面、つまり最も小さな OPD を持つ面が選択されます。アパーチャによる光線規制は常に有効です。つまり光線がアパーチャ定義の外側で面に到達するとしてもそれは無視されます。光線と面の交点は常に有効アパーチャ定義の内側に存在しなくてはなりません。光線は、他の面に到達することなく同じ面に連続して 2 度あるいはそれ以上到達できます。このような光線伝搬が生じる例として、円錐の内面を繰り返し反射する光線があります。

入射ポート面: 入射ポート面は NSS 範囲に先行するシーケンシャルな面範囲の最終面です。したがって入射ポート面はシーケンシャル面として認識されます。面タイプは“SD”あるいは“AD”です。偏芯モードは NAX でなければなりません (TLM = 1)。したがって後続する NSS 範囲に属す全ての面に対する新しい軸と新しい原点が定義されます。

射出ポート面: 射出ポート面は NSS 範囲の最終面です。したがって、常にノンシーケンシャル面として扱われます。偏芯モードは NAX でなければなりません (TLM = 1)。したがって後続のシーケンシャル面に対する新しい軸と新しい原点が定義されます。

NSS 範囲に属するポート以外の全ての面: これらは常に入射ポート面が定義する座標系に対してその位置と傾きが定義されます。

8.14 面のピックアップ (Pickup Surfaces)

ある面の任意のパラメータ (例えば曲率半径、面間隔など) を、他の面の同種のパラメータの設定値に自動的に一致させる操作をピックアップといいます。ピックアップを指定したパラメータは、ピックアップされた面の従属パラメータになります。ピックアップは、ダブルパス光学系 (同一光学系を光線が往復する系) や面の前後方向に対称性のある光学系においてとりわけ有用です。

ピックアップは面の曲率半径、面間隔、材料、偏芯パラメータ、材料、非球面係数などを任意の他の面のパラメータと線形に関連付けます。最も単純な具体例は、任意の面の設定値が他の面のパラメータそのもののコピーであるように関連付けるものです。さらに符号を反転したりスケールリングするように関連付けることも可能です。ピックアップされるパラメータは独立パラメータでありその値は独立に設定できます。ピックアップする面のパラメータは従属パラメータであり、その値は独立パラメータの変化にあわせて常に更新され、同じ値に維持されます。

複数のパラメータを1つのグループとしてピックアップすることもできます。たとえば、すべての偏芯パラメータ (XDE, YDE, ZDE, ADE, BDE, CDE) を一括して設定できます。また個別に設定することもできます (たとえば XDE のみ)。

面のピックアップは次のコマンドで設定できます。:

PIK CUY sk si..j pik_surf あるいは CPI sk si..j pik_surf	曲率のピックアップです。面 i から j までの曲率が pik_surf 面からピックアップされます。pik_surf は整数値です。pik_surf に負の値を設定すると、ピックアップされる曲率もまた、逆符号でピックアップされます。曲率ピックアップのオフセット量は、CPO コマンドで指定できます (下欄参照)。もし面が非球面ならば、コーニック定数 K および A,B,C,D,E,F,G,H も同時にピックアップされますが、API コマンドを使えば、それを解除したり、再びピックアップするように制御できます。
CPO sk offset	第 k 面の曲率 (曲率半径の逆数) に関するピックアップのオフセット量です。曲率半径に関するピックアップではないことに注意してください。例えば、曲率半径 100mm (曲率 0.01mm ⁻¹) の面に対して CPO 0.01 を指定すると、ピックアップされる面の曲率半径は 50mm (曲率 0.02mm ⁻¹) になります。ピックアップされる側の面番号で指定します。
次ページに続く	

前ページから続く	
PIK XXX sk si..j pik_surf あるいは API [XXX] si..j pik_surf	非球面係数または偏芯パラメータがグループで、あるいは個別に pik_surf 面にピックアップすることを設定します。 XXX に 面形状パラメータ K,A,B,C,D,E,F,G,H または X 方向の曲率半径 CUX、偏芯パラメータ XDE, YDE, ZDE、ADE, BDE, CDE のうちのいずれかを指定した場合には、個別のピックアップが設定されます。 XXX に ASP を指定した場合には、非球面係数と X 方向の曲率半径がグループで設定されます。 XXX に DEC を指定した場合には、偏芯パラメータがグループで設定されます。 PIK コマンドは XXX の指定を省略できません。API コマンドは XXX を省略できます。この場合には X 方向の曲率、非球面係数、偏芯パラメータが一括してグループとして pik_surf 面にピックアップされます。 pik_surf は整数値です。ここに負の値を設定すると、逆符号でピックアップされます。ただし、コーニック係数の符号はその性質上、常に同符号のままピックアップされます。 偏芯パラメータは定数倍したピックアップもできます。TPF コマンドの説明を参照してください。
TPF [XXX] sk si..j factor	指定の面または面範囲 sk si..j に設定された偏芯ピックアップに関するスケーリング係数を factor に指定します。XXX には XDE, YDE, ZDE, ADE, BDE, CDE のいずれかひとつを指定します。XXX を省略した場合には、すべての偏芯パラメータに対して一括して設定されます。
PIK THI si..j pik_surf あるいは DPI sk si..j pik_surf	面間隔のピックアップを設定します。第 k 面または面範囲 i から j までの面間隔を pik_surf 面にピックアップします。pik_surf に負の値を設定した場合は、逆符号の値が設定されます。
DPO sk si..j offset	面間隔のピックアップに関するオフセット量です。
PIK GLA si..j pik_surf あるいは MPI si..j pik_surf	材料 (ガラス) を pik_surf 面からピックアップします。
LIS PIK [sk si..j] あるいは PKL [sk si..j]	定義済みのピックアップの一覧表を表示します。

補足事項:

- 従来バージョンで使われていたピックアップ関連コマンド、CPI, DPI, API, TPI, MPI は PIK コマンドに統合されました。OpTaliX の従来バージョンとの互換のため、引き続き利用できる状態に維持されていますが、PIK XXX コマンドへの移行をお勧めします。
- ‘偏芯ピックアップを指定した面’の **面タイプ** に偏芯 (‘D’) が指定されていない場合には、自動的に ‘D’ が設定されます。

ピックアップは、どんな順序でも設定できます。またチェーン状に設定することもできます。つまり、あるピックアップで従属パラメータとして設定したパラメータであっても、別のピックアップの設定において従属させるパラメータとして設定して良いということです。たとえば下記のように独立した2つのピックアップに対して、

```
PIK CUY s3 1
PIK CUY s5 1
```

下記のようにピックアップをチェーン状に設定をすることが可能です。

```
PIK CUY s3 1
PIK CUY s5 3
```

ピックアップは、先行する面 (面番号の より小さな面) に対してしか設定できないわけではありません。次のように、後ろ側の面 (面番号の より大きな面) に対して設定してもかまいません。

```
PIK THI s3 4
```

しかし、循環した従属関係を指定してはいけません。下記はその例です。

```
PIK CUY s3 2
PIK CUY s2 3
```

ピックアップの指定例:

PIK CUY s5 4	第5面の曲率が、第4面の曲率に従属するピックアップ指定です。
CP0 s5 .001	第5面の曲率がピックアップされる際、曲率オフセット量0.001が加えられます。
PIK THI s3 -2	第3面の面間隔を第2面の面間隔に逆符号で従属させます。
PIK ASP s3 1	第3面の非球面係数 A,B,C,D,E,F,G,H と X 方向曲率が一括して 第1面にピックアップします。
PIK D s3 1	第3面の非球面係数 D が他の非球面係数の従属性に関わらず単独で第1面の非球面係数 D に従属します。
TPF ADE s3 1.23	第3面の X 軸まわりティルト (ADE) が、あらかじめ設定済みの面に従属する際従属される面のティルト量に 1.23 倍した値が設定されます。
PIK GLA s4 1	第5面の材料特性は、第1面と常に同じ材料に維持されます。
PIK MAT s4 1	PIK GLA と 等価な設定です。

8.14.1 グループでのピックアップ (Group Pickups)

偏芯および非球面係数については、複数の個別ピックアップをそれぞれひとつのグループにまとめることができます。コマンドラインから次のように入力します。

PIK DEC s3 1	第3面のすべての偏芯量を、第1面に従属させます。
PIK ASP s3 1	第3面のすべての非球面量を、第1面の設定量に維持します。

面エディタから 偏芯量をグループでピックアップするには、”Decenter, Tilts” タブの”Pik” 欄に従属すべき対象面の番号を設定します。その画面が 図 8.20 にあります。

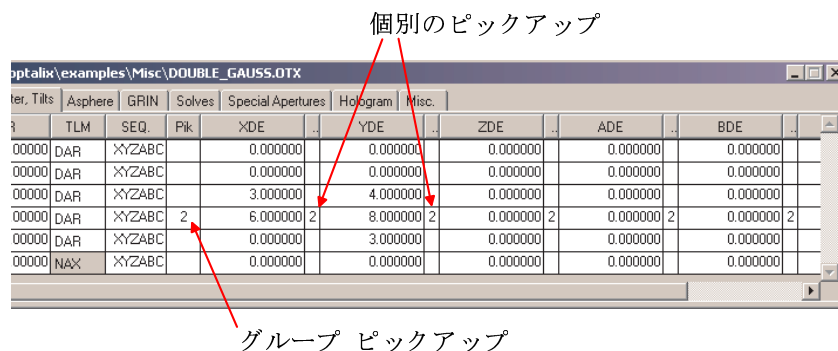


図 8.20: 偏芯量をグループで設定する面エディタ画面

個別のピックアップ (各偏芯パラメータの右側の欄) は、偏芯がグループでピックアップされたことを反映したものです。この状態で個別のピックアップ (8.14.4章を参照) を設定すると、グループで

のピックアップは自動的に解除されます。しかしグループに含まれていた他の個別のピックアップはそのまま有効な状態に設定されています。

8.14.2 個別のピックアップ (Individual Pickups)

個別のピックアップは、偏芯パラメータおよび非球面パラメータに対してのみ個別に設定できます。下記はその例です。

- TPI YDE s3 1 第3面の偏芯パラメータのうち、Y方向の平行偏芯を第1面にピックアップします。他の偏芯パラメータには影響を与えません。
- PIK ADE s3 1 第3面の偏芯パラメータのうち、X軸まわりのティルトを第1面に従属させます。

個別のピックアップを設定した際、すでにグループでピックアップが設定されていた場合には、グループでの設定は自動的に解除されます。

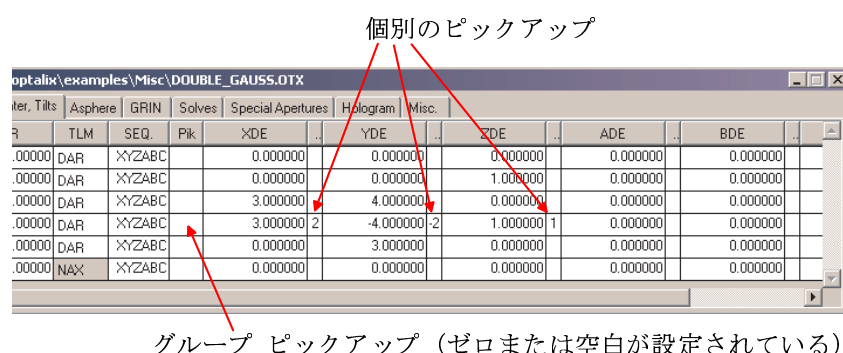


図 8.21: 偏芯量を個別に設定する面エディタ画面

8.14.3 ピックアップの削除 (Deleting Pickups)

コマンドラインからピックアップの設定を削除するには、独立面として”0” (実際には” ”は不要) を設定します。例えば、

- PIK K s3 0 第3面の円錐係数に対するピックアップを解除します。
- PIK DEC s3 0 第3面の偏芯に対するすべてのピックアップを解除します。

面エディタからは、設定を解除するピックアップの設定欄に、面番号として”0” (実際には” ”記号は不要) か、または半角空白文字を設定します。グループのピックアップを削除する場合は、”Pik” 欄に対して同様にしてください。

8.14.4 ピックアップとソルブの関係 (Deleting Pickups)

ピックアップの機能はソルブに先駆けて評価されます。したがって、同じ面に対するソルブはピックアップに影響を及ぼし、あらかじめピックアップによって規定された値を上書きしてしまいます。

下例をご覧ください。:

```
cpi s3 1
sol umy s3 -0.1
```

1行目のコマンドは **cpi s3 1** は第3面の曲率が第1面からピックアップされています。2つめのコマンドは、同じく第3面を出射する近軸マージナル光線がの傾角が **-0.1** になるように第3面の曲率を変更します。その結果、第3面に対して設定されたピックアップは無効となってしまいます。

なお、アパーチャのデータはピックアップできません。

8.14.5 ピックアップの一覧表 (Listing Pickups)

コマンドラインから **"LIS PIK"** と入力すれば、その時点で設定されているピックアップの一覧表を出力できます。下記はリストの一例です。

```
PICKUPS :
  2 PIK DEC    3    1.0000
  3 PIK CUY    2    0.0000
  3 PIK ASP    2
  3 PIK THI    1    0.0000
  3 PIK GLA    1
```

8.15 ソルブ (Solves)

面のパラメータを反映させるだけのリンク (ピックアップ) の機能とは対照的に、ソルブは近軸特性による面データのコントロールを可能にします。ソルブ指定する条件には、例えば近軸光線角度、近軸光線の高さ、あるいは指定された値に対する近軸光線の入射角の維持などがあります。ソルブはこれらの要求が常に満たされるように機能します。例えば、ある面での近軸光線が指定の傾角を維持するように曲率半径が変更されます。

ソルブは近軸量に作用するだけであることに注意してください。実光線には直接作用するわけではありません。実光線は近軸特性に収差の影響が加わりますが、ソルブは収差を考慮しないからです。ソルブの機能を使えば、最適化 (自動設計) において独立変数の数を減らすことにも利用できます。これは時として解空間の線形性を高めることにつながり、設計所用時間の短縮に寄与します。

SOL sk solve_type param1 param2	sk 面にソルブを設定します。solve_type はいずれも 3 文字で表現され、以下の意味を持ちます。 UMX param1 に指定した光線の出射角が得られるように、X 方向の曲率を指定します。 UMY param1 に指定した光線の出射角が得られるように、Y 方向の曲率を指定します。 HMX sk+1 面の XZ 平面で近軸光線高 param1 が得られるように、sk 面における軸上面間隔または肉厚を設定します。 HMY sk+1 面の YZ 平面で近軸光線高 param1 が得られるように、sk 面における軸上面間隔または肉厚を設定します。 AMY 近軸マージナル光線がアプラナティックとなるような sk 面での Y 方向曲率を設定します。 IMY マージナル光線の入射角が param1 となるように sk 面の Y 方向曲率を設定します。 ET レンズ半径 (高さ)param2 において、コバ厚が param1 となるように sk 面の軸上間隔を設定します。
DEL SOL sk solve_type	sk 面における solve_type のソルブを 解除します。 例: DEL SOL S4 UMY
LIS SOL [si..j]	設定済みのソルブの一覧表を表示します。
PIM yes no	近軸像位置のソルブです。yes を指定すると、バックフォーカス (最終面の面間隔) に近軸像距離がセットされます。no の場合は任意に入力された値に維持されます。
RED reduction_ratio	倍率のソルブ。reduction_ratio を満たすような 近軸物体距離をセットします。光学系を構成するパラメータを変更した場合も、常に設定した倍率に維持されます。 $RED = \frac{ImageHeight}{-ObjectHeight} = -m \quad (8.43)$ ここで m は、倍率です。物体距離が無限大の場合は $m = 0.0$ です。これ以外の値を reduction_ratio に設定した場合は、有限共役系として設定されます。ソルブとして動的に倍率を維持するのではなく、その時点の光学パラメータに対して所定の倍率が得られるように物体距離を設定しなおすだけならば、RED コマンドではなく、SET MAG コマンドをお使いください。
DEL RED	倍率のソルブを解除します。解除後は光学パラメータを変化しても、もはや物体距離が自動的に設定しなおされることはありません。

例:

<code>sol umy s3 -0.1</code>	第3面のマージナル光線傾角が -0.1 になるような第3面の Y 曲率がソルブにより自動的に設定されます
<code>sol et s4 0 15</code>	面高さ 15mm(レンズ径 30mm に相当)においてコバ厚が 0mm。またはエッジコンタクトに(後続のレンズ面と接触)するように第4面の軸上間隔がソルブにより自動的に設定されます。
<code>red 2.0</code>	近軸倍率が -2.0 倍になるような物体距離がソルブにより自動的に設定されます。
<code>pim y</code>	最終面の面間隔として近軸像位置がソルブにより自動的に設定されます。

注意:

- ズーム系に対するソルブは第1ズームポジションにのみ適用されます。得られた結果は他のすべてのポジションに対して共通に使用されます。
- PIM **yes** を指定している場合、バックフォーカスをコントロールする目的で最終面における近軸光線高のソルブ **HMY** を指定してはいけません。PIM **yes** は像位置を近軸像点に一致させるように常に機能するので最終面に対する **HMY** の結果に優先します。
- 近軸高に関するソルブ (**HMY**) と、DPI でピックアップされた面間隔とを同時に指定することはできません。2つの指定が違いに抵触しあう(矛盾を起こす)ためです。
- 面の曲率に関するピックアップ (**CPI**) を、これと同じ面に対する近軸光線傾角のソルブ (**UMY**) と同時に指定することはできません。光線傾角に関するソルブは、常に曲率に関するピックアップに優先します。
- 最適化(自動設計)において、ソルブに関連するパラメータをコンストレイントの対象としてはいけません。例えば、同じ面に対するソルブ **UMY** とコンストレイント **UMY** の両方を指定することは矛盾を発生させるか、そうでなくとも余計な計算負荷を OpTaliX に与えます。このような指定があった場合には、結果としてコンストレイントが無視されることになります。
- 近軸光線に関連するソルブが設定されているときには、**RED** は受け付けられません。(例外 :ET ソルブ (コバ厚=edge thickness))

ソルブは、近軸光線追跡が必要とされる都度、更新されます。選択されたパラメータ(曲率、間隔など)はシステムパラメータの従属変数として影響を受けます。これは解析的に直接解かれ、逐次計算を必要としません。所望の近軸マージナル光線の傾角 ($UMY = u'$) を得るための曲率 c の式は、図 5.5 で定義した近軸量を用いて次のように書けます。

$$c = -\frac{u' - u}{(n' - n)h_a} \quad (8.44)$$

所望の近軸マージナル光線高 ($HMY = h'$) を得るための軸上間隔 d の式は、

$$d = \frac{h' - h}{u} \quad (8.45)$$

アプラナティック条件 (AMY) を得るための曲率 c の式は、

$$c = \frac{\left(\frac{1+n'}{n}\right) \cdot u}{h} \quad (8.46)$$

所望の入射角 ($IMY = i$) を得るための、曲率 c の式は、

$$c = -\frac{i+u}{n \cdot h} \quad (8.47)$$

8.16 平行偏芯およびティルト (Tilted and Decentered Surfaces)

OpTaliX はデフォルトで、全ての面が光軸に沿って並んだ軸対称の光学系であると仮定しています。しかし、どの面も 3 次元空間に対して任意に配置できます。これは各面のローカルな座標系を、それ自体が属する全体座標系に対して平行偏芯あるいはティルトさせることによって達成されます。ローカル座標系の配置は平行移動のためのパラメータ XDE, YDE, ZDE によって定義されます。また、その座標系の方位はティルトのためのパラメータ ADE, BDE, CDE によって指定されます。デフォルトでは、ローカル座標系の位置および方位は OpTaliX のグローバル座標系に対して定義されます (8.17 章 DAR 面を参照)。

しかし別の定義も可能です。それは NAX (New Axis/新たな軸定義) および BEN (Bend/反射則に則った座標系の変換) であり、それらを指定した面に続く面のローカル座標系に対して適用されます。座標系は左手系として数学的に定義されています。正のティルトは反時計回りです (ティルト方向の定義の詳細は 5.2.3 章)。

ティルトや偏芯は不可換な操作です。つまり、まずティルトしてから平行偏芯を与えた座標系と、逆に平行偏芯の後にティルトした座標系とは一致しません。このため、面に適用するティルトと平行偏芯の順序を明確に定めることが重要です。デフォルトの条件は、最初に平行偏芯を与え (XDE → YDE → ZDE)、次にティルト (ADE → BDE → CDE) します。

ADE [si..j sk] [zi..j zk] alpha_tilt	X 軸まわりのティルトを (度) を単位に指定します。正のティルトは反時計回りです (5.2.3 章を参照)。
BDE [si..j] [zi..j zk] beta_tilt	Y 軸まわりのティルトを (度) を単位に指定します。正のティルトは反時計回りです (5.2.3 章を参照)。
CDE [si..j] [zi..j zk] gamma_tilt	Z 軸まわりのティルトを (度) を単位に指定します。正のティルトは反時計回りです (5.2.3 章を参照)。
XDE [si..j] [zi..j zk] x_dec	X 方向の平行偏芯です。
YDE [si..j] [zi..j zk] y_dec	Y 方向の平行偏芯です。
ZDE [si..j] [zi..j zk] z_dec	Z 方向の平行偏芯です。
GADE [si..j]	X 軸周りの GRIN のティルト (面頂点に対する GRIN 材料の “ADE” ティルト)
GBDE [si..j]	Y 軸周りの GRIN のティルト (面頂点に対する GRIN 材料の “BDE” ティルト)
GCDE [si..j]	Z 軸周りの GRIN のティルト (面頂点に対する GRIN 材料の “CDE” ティルト)
次ページに続く	

前ページから続く	
TLT si..j	ティルトの面範囲 si..j をグループとしてティルトします。ティルト角や参照点は、ダイアログボックスから指定します。
TLM [si..j] mode DAR NAX BEN	偏芯モードの設定です。si..j 面に続く面の光軸がどのように定義されるかを、mode(数値) または偏芯モード名で設定します。 mode = 0 : ローカルな偏芯です。DAR 偏芯を意味します。詳細は 8.17 章を参照 mode = 1 : 面と直交する新しい軸を後続面に対する座標系として定義します。NAX 偏芯を意味します。詳細は 8.17.2 項を参照 mode = 2 : 面頂点であたかも座標系そのものが反射則に沿うように変換されます。BEN 偏芯を意味します。詳細は 8.17.3 項を参照 mode でなく、偏芯モード名で設定する場合の例は、次のとおりです。 TLM s4 NAX TLM s4 BEN TLM s4 DAR
TSEQ [si..j] sequence	平行偏芯およびティルトの順序を指定します。sequence は 6 文字以内の文字列です。指定可能な文字は X = X 方向の平行偏芯 Y = Y 方向の平行偏芯 Z = Z 方向の平行偏芯 A = X 軸まわりのティルト B = Y 軸まわりのティルト C = Z 軸まわりのティルト 指定した文字の順に座標変換が実行されます。例えば、BX は Y 軸まわりのティルトをしてから X 方向の平行偏芯を実行します。指定のない場合は、XYZABC の順が仮定されます。(つまり平行偏芯が最初に行われ、次にティルトが行われます)。
次ページに続く	

前ページから続く	
TMAT si..j sk glb.ref param1..12	面の平行偏芯とティルトを 変換マトリクス $M_{i,j}$ で定義します。変換の基準となる座標系は、glb.ref で設定する変換基準面は、変換の対象となる面 (si..j sk) よりも物体側の面 (小さな面番号を持つ面) でなければなりません。glb.ref にゼロを設定すると、直前の面が基準面として設定されます。通常の S0 面 (物体面) が設定されるわけではないことに注意してください。物体面を基準面としたい場合には、物体面に重ねて第 1 面を定義したモデルを作成し、glb.ref に 1 を設定します。12 個のパラメータ param1..12 によって変換マトリクス $M_{i,j}$ の要素が設定されます。マトリクスの 1 行目から順に設定します。具体的な設定例が 8.19.1 章にあります。変換マトリクスの詳細は 108 ページの 8.19 章に記述されています。また任意の面を基準とするグローバルな変換マトリクスの出力については、GSM コマンド (181 ページ) を参照してください。
DAR [si..j]	ディセンタ・アンド・リターン偏芯です。ローカル座標系は設定どおりに偏芯しますが後続の面は、あたかもこの面に偏芯が設定されていない場合と同様の位置に維持されます。言い換えると、後続の面はこの面の偏芯前の座標系に沿って、配置されるということです。これはあたかも、この面がいったん設定どおりに偏芯したのち、面をその位置に残したまま、座標系自体は偏芯前の状態に戻るように取り扱われるということです。TLM 0 または TLM DAR を設定するのと等価です。透過型のプリズム面を指定する際などに便利な指定です。
BEN [si..j]	光軸のバンド (折り曲げ) 偏芯です。ローカル座標系はいったん指定どおりに偏芯しますが、面をその位置に残したまま、ADE および BDE ティルトについて、もう一度同じ量だけ偏芯します。つまり面の頂点で、座標系そのものがあたかも反射則に沿うように変換されます。ミラー面の偏芯についてのみ指定できます。TLM 2 または TLM BEN を設定するのと等価です。
NAX [si..j]	新しく光軸を作ります。後続するすべての面に対して新しい軸を定義します。TLM 1 または TLM NAX を設定するのと等価です。

注意点:

面タイプとして修飾子 “D” が指定される場合のみ、平行偏芯とティルトの指定が光線追跡に反映されます。例えば、SUT s3 SD と指定することにより、この面が偏芯した球面であると認識されます。面タイプに関する詳細は、8.5 章を参照してください。

面タイプ文字から修飾子“D”を除去すると、その面に入力した偏芯量は無視され、光軸対称系として扱われます。その状態で“SD”を指定すれば、再び、入力済みの偏芯が考慮されます。

CodeV とは異なり、OpTaliX では DAR 偏芯 (TLM 0) がデフォルトの偏芯モードです。

近軸領域の定義に従い、近軸光線追跡は平行偏芯やティルトを考慮しません。このため近軸解析の結果は非軸対称光学系 (偏芯系) に対して妥当な結果を与えない場合があります。

8.16.1 ティルト面に関する符号の規約 (Sign convention for tilted surfaces):

ティルト角 ADE, BDE, CDE は、それぞれ X, Y, Z 軸まわりの回転角として定義されています。ティルト角の符号は数学的な規約に従います。つまり、正の符号は反時計回り、負の符号は時計回りを意味します。(11ページの図 5.1を参照)。

8.17 偏芯モード (Tilt Modes)

面のティルトや偏芯する方法は、ティルトモードで指定されます。偏芯やティルトされた面の3つのタイプが提供されます。次のコマンドによって、これらのタイプは指定されます。

TLM si..j tilt_mode	偏芯モードを指定します。 tilt_mode = 0: ローカルな偏芯です。DAR 偏芯を意味します。詳細は 8.17章を参照。 tilt_mode = 1: 面と直交する新しい軸を後続面に対する座標系として定義します。NAX 偏芯を意味します。詳細は 8.17.2項を参照。 tilt_mode = 2: 面頂点であたかも座標系そのものが反射則に沿うように変換されます。BEN 偏芯を意味します。詳細は 8.17.3項を参照。
BEN si..j	光軸のバンド (折り曲げ) 偏芯です。ローカル座標系はいったん指定どおりに偏芯しますが、面をその位置に残したまま、ADE および BDE ティルトについて、もう一度同じ量だけ偏芯します。つまり面の頂点で、座標系そのものがあたかも反射則に沿うように変換されます。ミラー面の偏芯についてのみ指定できます。TLM 2 の指定と等価です。
DAR si..j	ディセンタ・アンド・リターン偏芯です。ローカル座標系はいったん指定どおりに偏芯しますが、面をその位置に残したまま、座標系自体は偏芯前の状態に戻ります。TLM 0 の指定と等価です。透過型のプリズム面を指定する際などに便利な指定です。
NAX si..j	新しく光軸を作ります。後続するすべての面に対して新しい軸を定義します。TLM 1 の指定と等価です。

ティルトモードに関するより詳細な説明は、次節を参照してください。

8.17.1 偏芯モード 0 : ディセンタ・アンド・リターン (DAR) (Tilt Modus 0 : Decenter and Return (DAR))

DAR [si...j]

“ディセンタ・アンド・リターン”(偏芯モード 0)は、偏芯面に関する OpTaliX のティルトのモードです。DAR または TLM 0 によって指定します。このオプションの意味は、指定された偏芯量はその面に対してのみ影響を及ぼし、後続のどの面もその指定には影響されないというものです。後続の面は、先行するもっとも近い TLM = 1 (NAX 偏芯) または TLM = 2 (BEN 偏芯) の面の座標系を参照します。

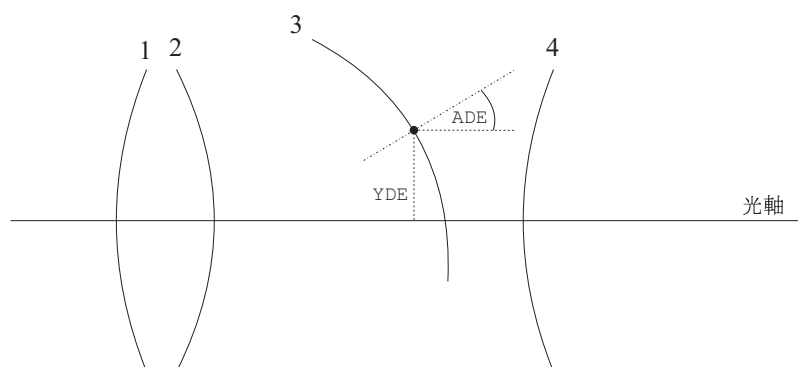


図 8.22: ティルト/平行偏芯面の定義例。偏芯モード 0 (TLM = 0, DAR 偏芯) の場合。後続面の光軸は、第 3 面の偏芯の影響を受けません。

図 8.22 には第 3 面に DAR 偏芯が定義された光学系の例を示しました。この例を実現するためのコマンド列は次のとおりです。

SUT S3 SD ! 面タイプとして、偏芯 (D) をもつ球面 (S) を指定します。
 TLM s3 0 ! 偏芯モードとしてゼロを指定します。(TLM 0 はデフォルトなので新規のレンズデータ入力であれば指定する必要はありませんが、いったん他の偏芯モード (TLM 1 または 2) が指定されたならばこのコマンドを明示的に指定しなくてはなりません。
 DAR s3 ! ディセンタ・アンド・リターン (DAR) を指定するコマンドです。TLM S3 0 と同じ意味を持つ、もうひとつの指定方法です。
 YDE s3 2.5 ! 第 3 面の Y 方向の平行偏芯として +2.5mm を指定します。
 ADE s3 30. ! X 軸まわりのティルトは 30 度です (ティルトは正なので反時計回り)。

3 面は DAR 偏芯ですから、面のローカル座標系はいったん指定どおりに偏芯しますが、面をその位置に残したまま、座標系自体は偏芯前の状態に戻ります。結果として後続の第 4 面は、第 2 面以前と同様に再び光軸上の対称光学面として定義されることになります。第 3 面からみて先行面、たとえば第 2 面が TLM = 1 あるいは TLM = 2 をもつ面であれば、第 4 面の座標系はその面の座標系を参照します。つまり、第 2 面の座標系から光軸に沿って、第 2 面と第 3 面の面間隔分だけ平行移動した位置に第 4 面の座標系が存在することになります。

ディセンタ・アンド・リターンは (DAR 偏芯 TLM = 0)、OpTaliX ではデフォルトの偏芯モードですから、レンズデータを初めて指定する際には特に指定しなくとも自動的に選択されます。しかし、いったん他の偏芯モード (TLM 1 または 2) が指定された場合には、次のように、明示的に指定する必

必要があります。

TLM si..j 0 あるいは
DAR si..j

8.17.2 偏芯モード 1 : 座標系の新規定義 (NAX) (Tilt Modus 1 : Surface Normal defines new Axis (NAX))

s_x 面に偏芯モード 1 が指定されると、この面の座標系は、後続する全ての面のローカル座標系によって参照される基準座標系として新しく定義されます。この座標系の光軸は s_x 面の頂点を通る法線に一致します。

図 8.23 の配置を生成するコマンド列は次のとおりです。

SUT S3 SD ! 面タイプとして、偏芯 (D) をもつ球面 (S) を指定します。
TLM s3 1 ! 偏芯モードとしてゼロを指定します (TLM 0 はデフォルトなので、新規のレンズデータ入力であれば指定する必要はありませんが、いったん他の偏芯モード (TLM 1 または 2) が指定されたならば、このコマンドを明示的に指定しなくてはなりません)。
YDE s3 2.5 ! 3 面の Y 偏芯は +2.5mm です。
ADE s3 30. ! X 軸まわりのティルトは 30 度です (ティルトは正なので反時計回り)。

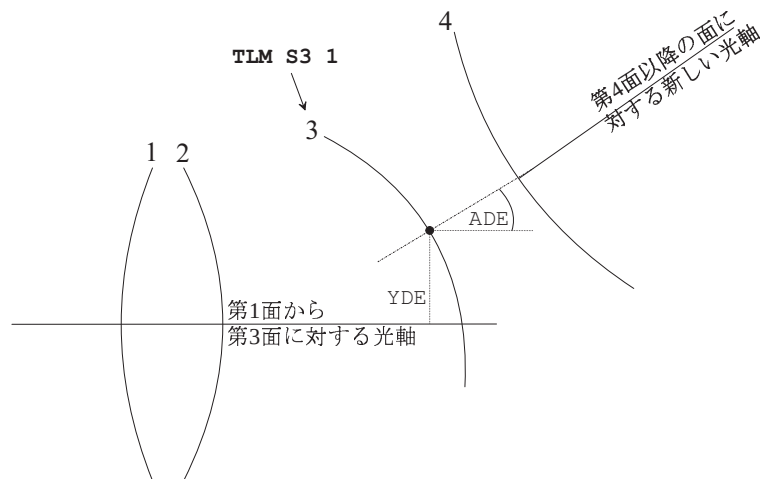


図 8.23: ティルト/平行偏芯面の定義例。偏芯モード 1 (TLM = 1, NAX 偏芯) の場合。後続面の光軸は、各面に先行する面の法線に従います。

8.17.3 偏芯モード 2 : ベンド (BEN) (Tilt Modus 2 : Bend Surface (BEN))

光軸のベンド (折り曲げ) 偏芯です。座標系そのものがあたかも反射則に沿うように変換されます。ミラー面の偏芯についてのみ指定できます。ローカル座標系はいったん指定どおりに偏芯しますが、

光線が反射した後、面をその位置に残したまま ADE および BDE ティルトについて、さらにもう一度同じ量だけ偏芯します。

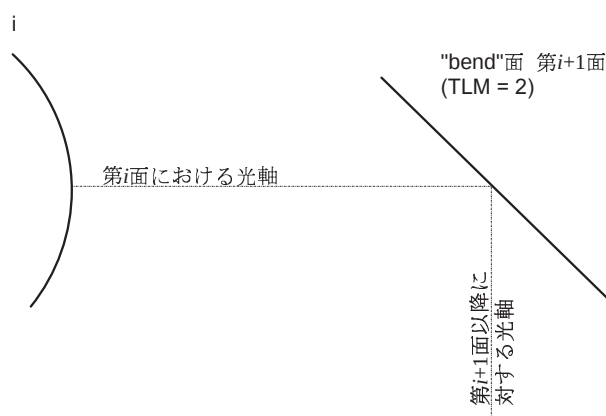


図 8.24: ティルト/平行偏芯面の定義例。偏芯モード 2 (TLM = 2, BEN 偏芯) の場合。光軸はあたかもミラー面で反射したかのように変換されます。

8.17.4 ベンド面上の複合ティルト (Compound Tilts on a BEND Surface)

ベンド面上で複合ティルト (ADE と BDE) を指定すると、CDE ティルトも自動的に適用されます。CDE ティルト角は、ベンド前のメリジオナル面がベンド面以降も引き続きメリジオナル面のまま維持されるように決定されます。必要な CDE ティルト角は、OpTaliX が自動的に求めます。手動では入力できません。CDE と (ADE, BDE) との関係は次のとおりです。

$$\cos(CDE) = \frac{\cos(ADE) + \cos(BDE)}{1 + \cos(ADE)\cos(BDE)} \quad (8.48)$$

OpTaliX が計算した CDE は LIS コマンドの出力表における Decenter/Tilts の欄で参照できます。もしベンド面上で CDE を指定する必要がある場合には、そうするのではなく面間隔をゼロとしたダミー面を別途用意して、その面に適用するようにしてください。

8.18 偏芯の適用順序 (Tilt Sequence)

ティルトおよび平行偏芯の適用順序は、それを示す最大 6 文字からなる文字列によって任意に指定できます。デフォルトの適用順序は表 8.15 に記載のとおり “XYZABC” です。

これは平行偏芯 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ とティルト α, β, γ の順であることに対応しています。つまり、ティルトの前に偏芯が適用されます。

ティルトおよび平行偏芯の適用順序は、次のコマンドで指定できます。

TSEQ [si..j] string	最大 6 文字からなる文字列によって平行偏芯およびティルトの適用順序を指定します。デフォルトの適用順序は XYZABC です。
---------------------	---

適用順序	ティルト/平行偏芯	修飾子	記号
1 番目	XDE (X 方向の平行偏芯)	X	Δx
2 番目	YDE (Y 方向の平行偏芯)	Y	Δy
3 番目	ZDE (Z 方向の平行偏芯)	Z	Δz
4 番目	ADE (X 軸周りのティルト)	A	α
5 番目	BDE (Y 軸周りのティルト)	B	β
6 番目	CDE (Z 軸周りのティルト)	C	γ

表 8.15: デフォルトの偏芯適用順序と、対応する修飾子

他の光学設計プログラムと違って、平行偏芯とティルトのどちらを先行させるかを選択 (ティルトの後で平行偏芯あるいは平行偏芯の後でティルト) できるだけでなく、ティルトや平行偏芯そのものの適用順序さえ任意に指定できます (例えば、Z 偏芯 → X 偏芯 → Y 偏芯の順で指定するなど)。さらに平行偏芯とティルトを混合した順序さえも許されます。

ティルトや偏芯の順序を意識することは大切です。例えば、 α, β, γ の順に偏芯を適用した座標系と、 β, α, γ や $-\alpha, -\beta, -\gamma$ あるいはその他任意の順に偏芯を適用した座標系とは、たとえ同じティルト角を与えた場合であっても同じ結果に至りません。

ティルトはマトリクスの乗算を OpTaliX の内部で繰り返すことにより達成されます。たとえばデフォルトのティルト順序 (X 軸まわり-Y 軸まわり-Z 軸まわり) については、次の順にマトリクスを乗ずることにより結果を得ます。²

$$M_z \cdot M_y \cdot M_x = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (8.49)$$

Z 軸まわりの回転 Y 軸まわりの回転 X 軸まわりの回転

上述のとおり 1 つの面で一連の偏芯を実行するように指定する方法の他、複数のダミー一面を用意して、それぞれに偏芯の指定を分散させるという方法もなんら問題ありません。

8.19 変換マトリクス (Transformation Matrix)

面の平行偏芯やティルトは、いわゆる“変換マトリクス”によっても定義できます。変換マトリクスは、3 行 4 列で構成されていて、他の面の座標系を基準に変換対象面の位置と方向を一義的に定義します。このマトリクスの要素は下記のとおりに定義されています。各要素の値を設定するには **TMAT** を使います。

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & m_{1,4} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & m_{2,4} \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & m_{3,4} \end{bmatrix} \quad (8.50)$$

²面の平行偏芯およびティルトを表現するには、3x4 のマトリクスがあれば十分です。しかし、OpTaliX では、これを 4x4 に拡張しています。こうすると計算量がいくらか増加する一方で、マトリクスの取り扱いが劇的に単純化されます

変換マトリクスは、各光学面の頂点位置と法線方向 (つまりは各面のローカル座標系の位置と方位) を他の面のローカル座標系を基準に表現します。基準となる面は、変換マトリクスの対象となる面よりも物体側の面 (小さな面番号をもつ面) でなければなりません。座標変換は、ローカル座標系の X 軸, Y 軸, Z 軸まわりの回転 (それぞれ α, β, γ 回転) とシフト (平行偏芯 (X,Y,Z)) によってなされます。ティルトの順序によって変換結果が異なることに注意してください。座標系に関する詳細は、11 ページの 5.2 章を参照してください。

面の X 軸まわりの回転 (ティルト):

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \end{bmatrix} \quad (8.51)$$

面の Y 軸まわりの回転 (ティルト):

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \end{bmatrix} \quad (8.52)$$

面の Z 軸まわりの回転 (ティルト):

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8.53)$$

面の平行偏芯 (シフト):

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X \\ 0 & 1 & 0 & -Y \\ 0 & 0 & 1 & -Z \end{bmatrix} \quad (8.54)$$

例:

X 軸まわりで 30° ティルトし、Y 方向に 5mm シフトさせる変換マトリクスは次のとおりです。

$$M_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8660254 & 0.5 & -5 \\ 0 & 0.5 & 0.8660254 & 0 \end{bmatrix} \quad (8.55)$$

8.19.1 変換マトリクスの要素の設定 (Entering Transformation Matrices):

TMAT コマンドを使って次のように設定すれば、X 軸まわりで 30° ティルトし、Y 方向に 5mm シフトさせる変換マトリクスを設定できます。

```
tmatrix s4 0 1 0 0 0 0 0.8660254 0.5 -5 0 -0.5 0.8660254 0
```

しかしこのような設定方法では入力ミスを生じやすくお勧めしたくありません。より好ましい方法は、TMAT コマンドをマクロ機能を介して利用する方法です。例えば下記のようにマトリクスの要素を、あたかもマトリクスそのものであるかのごとく記述したテキストファイルを作成します。

```
tmat s4 0 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.000000 &
          0.0000000 0.8660254 0.5000000 -5.000000 &
          0.0000000 -0.5000000 0.8660254 0.000000
```

そのファイル名が `tmat.mac` であったとすると コマンドラインから `run tmat.mac` とすれば良いのです。マクロ中では、継続行はアンパサンド記号 (&) で表現されることに注意してください。なお、グローバルな変換マトリクスの出力/制御については 181 ページの [GSM](#) コマンドの説明を参照してください。

8.20 GRIN 材料の特性のティルト (Tilting GRIN Material Properties)

GRIN 材料の屈折率分布の方位は、GRIN 分布そのものの偏芯の定義と、面の偏芯モードの組み合わせによって詳細に指定できます。デフォルトでは、GRIN 分布は光軸に沿って定義されていますが、GXDE, GYDE, GZDE コマンドを使用すれば、横方向や軸方向にシフトさせられます。また GADE, GBDE, GCDE コマンドを使用すればそれぞれ異なった方向に回転できます。さらに、GRIN 材料の属性を持っている面の偏芯モード (DAR および NAX) も、面の方位に対する GRIN 材料の方位に影響を与えます。つまり、面の平行偏芯/ティルトと GRIN の平行偏芯/ティルトの組み合わせは複雑な作用をもたらし得る、ということです。図 8.25 と図 8.26 はさまざまな偏芯モードに関する GRIN 分布の絶対方位を示しています。

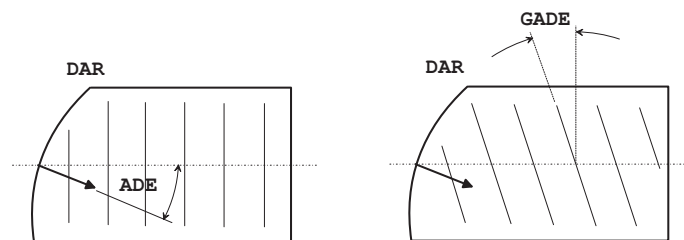


図 8.25: DAR 偏芯を持つ面の GRIN 分布の方位。左: DAR 偏芯は光軸を変更しないので、GRIN 媒質の屈折率分布も光軸に沿って分布します。右: 光軸に対して、GRIN 分布を傾けるには GADE, GBDE, GCDE を使用します。

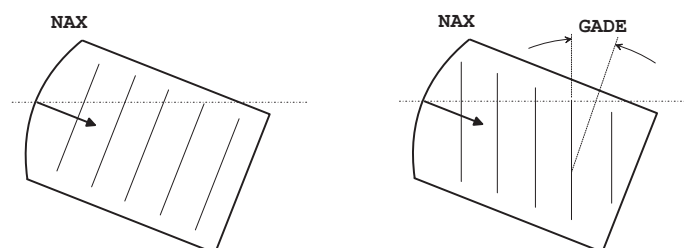


図 8.26: NAX 面をもつ GRIN 分布の方位。左: NAX 面の頂点における法線が新しい光軸になります。このため GRIN 分布もこの軸に沿って傾きます。右: GRIN 分布を新しい光軸に対して傾けるには GADE, GBDE, GCDE を使用します。

ベンド面 (BEN) は GRIN 媒質と組み合わせて使えません。もしベンドの機能が GRIN 媒質の内部で明らかに必要とされる場合にはダミー面を追加し、その面に適用します。

8.21 グローバル参照 (Global Referencing)

どの面であっても**先行面**のローカル座標を参照できます。つまりどの面のローカル座標も、それに先行する任意の面のローカル座標を基準に記述できるということです。このような面の参照方法をグローバル参照といいます。グローバル参照を用いれば、たとえ光線追跡が通常どおりシーケンシャルのままであっても、面順序の指定の厳格さを破るができます。

参照する側の面は、常に偏芯モード **NAX** が指定されなくてはなりません。グローバル参照を指定すると (GLB コマンド)、参照した面の偏芯モードは自動的に 1(NAX モード) にセットされます (**NAX** については 8.17.2 項参照)。

GLB Si..j k	グローバルな参照を指定します。 第 i 面から j 面の偏芯データ (XDE, YDE, ZDE, ADE, BDE, CDE) が、それらに先行する第 k 面の座標系を基準に解釈しなおされます。つまり第 i 面から j 面のシフトやティルトに関する情報が、面の物理的な配置を代えることなく再計算され、自動的に設定されるということです。すでにグローバルに参照することを指定した面に対して、別の面基準に参照しなおす場合には、そのまま GLB コマンドをその面に対して適用し直してください。 グローバル参照の解除は、GLB si..j 0 と指定することによって行われます。
REF Si..j k	面 si..j が面 sk をグローバルに参照することを指定します。GLB コマンドとの違いは、面間隔/ティルト/偏芯データが再計算されないということです。この結果、光学系の配置は変更されます。他の面を参照する、という意味で定義されている“REF si..j” コマンドを、他の参照波長に変更するという意味で定義されている“REF ref.w” コマンドと混同しないでください。OpTaliX は、どちらのコマンドを意図して入力されたかという識別を面修飾子 si..j の有無によって行っています。
THR si..j ref_thi	sk から si..j までの面間隔を ref_thi に設定します。これはグローバル参照に基づく面間隔であり、参照されている面 (sk) から参照している面 (si..j) までの距離が定義されます。参照される面 k は、参照している面 i よりも小さな面番号を持たなければなりません。

グローバル参照の考え方を説明するために、図 8.27 のとおりの単純な光学系を考えます。厳密なシーケンシャルモデルによれば、第 6 面の座標系によって第 7 面の座標系が定義されます。しかし図 8.27 に示すグローバル参照の場合には、第 7 面は第 6 面に関係なく直接に第 1 面の座標系を基準に記述されます。ここで第 7 面を“参照している面”、第 1 面を“参照されている面”といいます。グローバル参照を指定するには、次の 2 つのコマンドを用います。

GLB s7 1 ! 7面の座標系は、1面の座標系によって定義する(記述する)ことを宣言。
 THR s7 194.7 ! 第1面から第7面までの面間隔を 194.7mm とします。

上記コマンドによって、第6面の面間隔(THI S6)はもはや第7面の位置を定めるための機能を失っています。第6面の面間隔はグローバル参照によって決定される光学配置の従属変数になりました。したがってその値は第1面から第5面までの面間隔と第7面の絶対位置(THR S7による)の関係から計算されます。これらの事情により面情報を定義するスプレッドシート上では、第6面の面間隔は灰色表示されます。

その他の注意点は次のとおりです。

- グローバルに参照している面の位置は、この面における THR の値によってのみ決定されます。THR の起点は参照される面にあり、そこから参照している面までの距離を、参照している面のデータとして入力します。
- THR は独立変数であり、かつ常に参照される面からの距離として定義します。参照される面は、参照する面に先行してはなりません。この点は、シーケンシャルな面間隔を指定する THI コマンドが、直後の面位置を指し示しているのと明らかに異なります。
- “グローバルに参照している面”の、前の面の間隔は、常従属変数です。

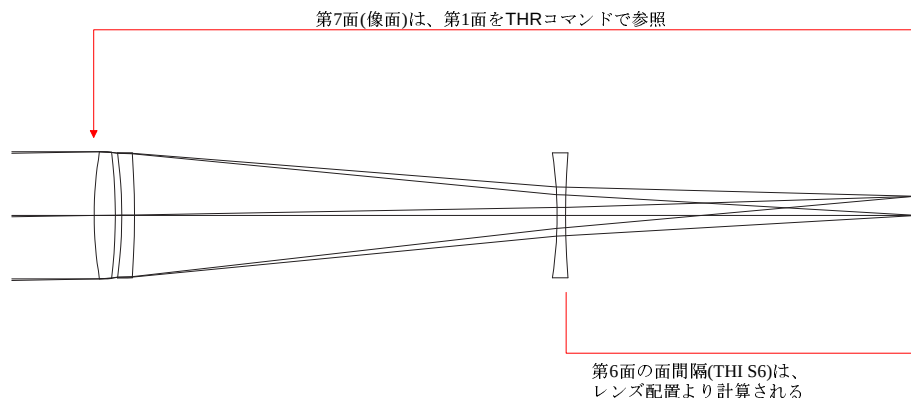


図 8.27: 参照面の定義、シーケンシャルな参照とグローバルな面参照

“参照している面”の面間隔として定義されている 参照面間隔 (reference thickness) THR の持つ意味は、OpTaliX のデフォルトの面間隔 (面間隔は常にローカルな面からその後続面までの間隔) とは対照的です。その特徴を図 8.27 を使って説明します。いま図中右側の凹単レンズが光軸に沿って移動可能であるとします。

もし、このモデルの入力にあたってシーケンシャルな面間隔指定法、つまり THI だけを使ってすべての面間隔を指定したとすると、第4面の面間隔(ダブルレットレンズの後方、つまり凹レンズ前の空間)を変えると、それに伴って像面の絶対位置も移動することになります。しかし像面位置が第1面をグローバルに参照しているならば(THR S7)、たとえ第4面の面間隔が変更された場合でも像面の絶対位置は変わりません。(この場合は像面の前の面 THI S6 が自動的に変化します)。つまり、グローバル参照によって、レンズ系の任意の面間隔を変更したとしても他のパラメータに影響を与えることなく光学系の全長を一定に維持するための簡潔な手段が得られた、ということになります。

グローバル参照が持つこのような性質は、とりわけズーム(多重構成)光学系において有用です。なぜなら移動群(移動レンズ)の前後の面(あわせて2面)に関して面間隔を指定するかわりに1面の面間隔だけを扱えばよいからです。今一度、図 8.27 の凹レンズを、つまり第4面の面間隔を動かしてみましょう。この場合、凹レンズの第4面(ダブルレットレンズの最終面)に対する相対的な位置は変わります。像面の第4面に対するは変わりません。像面は第1面(ダブルレットレンズの最初の面)を参照しており、その位置に変化はないからです。

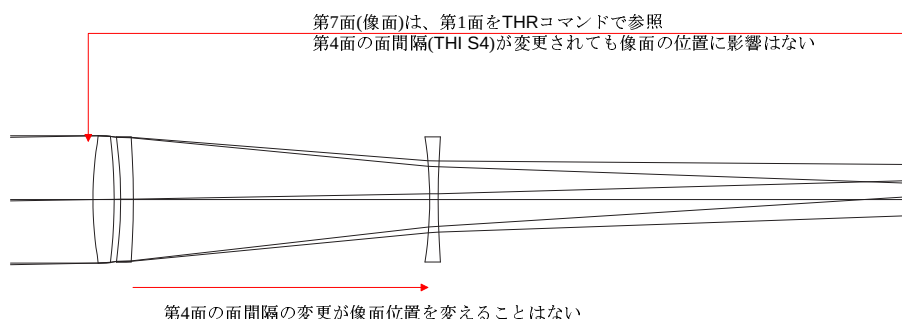


図 8.28: グローバル参照により全長を保ったままレンズ位置が変化する仕組み

結果として、“参照している面”は同時に2つの軸上面間隔を持っているということが分かります。つまり THI と THR です。THI は“参照している面”の直後に配置される面までの頂点距離を面間隔として定義しています。また、THR は、“参照されている面”から、“参照している面”での) 頂点間距離を面間隔として有しています。

8.22 “光線を通過させない”面 (“No-Raytrace” (NOR) Surface)

“光線を通過させない (NOR:NO Raytrace)”面は特殊な面です。面や光軸および光線そのものについて座標変換だけを行います。この面の機能はそれだけです。この面に対する光線追跡は行われません。NOR 面はティルトや平行偏芯を含む光学系に対して特に有用です。しかし、共軸系にも適用可能です。NOR 面は非光学的な参照点、たとえばフランジやポリゴンスキャナの回転軸などの機構部品を光学モデルの一要素として定義するために使えます。

NOR 面には面タイプ(SUT、8.5章参照)として“X”の指定が必要です。この指定は必須(修飾子“X”は、SUTの必須タイプの指定子のひとつ)です。他のタイプの修飾子“S”、“A”あるいは“L”を組み合わせるはいけません。

NOR si..j

は、指定された面範囲を NOR 面に変換するために必要なすべての設定を行います。NOR 面は共軸面にも偏芯面にも適用できます。そのため、NOR 面は面タイプとして単に“X”として定義するか、あるいは“XD”として定義します。なお、オプションの面タイプ修飾子(M,I,H,G,... など)を指定してもかまいませんが光線追跡には何の影響ももたらしません。

NOR 面については、光線と面との交点座標を求めることはできません。したがって、面と光線群との交点プロット機能(SPO RIS コマンド)や、フットプリント解析(FOO コマンド)、単光線の追跡機能(RSI)の結果を NOR 面について表示することはできません。これは NOR 面が単に座標変換のみを実行しているだけで、OpTaliX の内部でも NOR 面に対する光線追跡を行っていないからです。

グローバル参照の機能と、NOR 面を組み合わせると、オプト・メカニカルな効果のモデリングにあたって強力な意味を発揮します。その実例として図 8.29 にポリゴンスキャナーを示します。ポリゴン面の所望の回転をモデリングするために、ここではグローバル参照と NOR 面の両方が使われています。このモデルでは、第 1 面に絞り面がグローバルに定義されています。 $F\theta$ レンズは第 1 面を通過する入射ビームに対して 90° だけティルトして配置されます。このような配置は次のコマンドによって実現します。

```
glo s5 1    ! 5 面が 1 面をグローバルに参照することを指定します。このコマンドにより、5
            面は自動的に偏芯モード NAX に変換されます。
ade s5 90   ! 5 面を 1 面に対して  $90^\circ$  ティルトします。
yde s5 50   ! 5 面を Y 方向に 50mm シフトします。
thr s5 25   ! 参照面間隔 THR の指定です。1 面の座標系で 5 面頂点までの Z 距離は 25mm
            です。
```

第 2 面はポリゴンミラーの回転軸上に配置してあります。その定義は Z 方向、つまり第 1 面の座標系における光軸方向の距離については (THI S1) によってなされ、それと直行する Y 方向については、平行偏芯を指定するコマンド YDE S2 によってなされます。また第 2 面に偏芯の面タイプ NAX を持たせることで第 3 面および第 4 面に第 2 面を参照させます。第 3 面は実際には不要です。この例では、ポリゴンミラーの回転中心をより良く視覚化するという目的で使っているだけです。第 4 面はポリゴンミラーのひとつのミラー面を示しています。この面のティルトおよび平行偏芯の値は第 2 面を参照することによって定義しています。

第 5 面は第 1 面へのグローバル参照によってその偏芯が定義されます。したがってシーケンシャルな光学モデルの場合とは異なり、 $F\theta$ レンズの幾何的配置を固定するために第 5 面の直前に新たなダミー面を用意し、そこに第 4 面の偏芯を打ち消すような追加の偏芯指定をするという手間をかける必要のないことは明らかです。

第 2 面と第 3 面を NOR 面に指定するためのコマンドは、NOR S2..3 です。この指定があるので、第 4 面のポリゴン面を通過して光線が第 2 面や第 3 面に“突き抜けて”いくような光路図が作成されることはありません。第 2 面と第 3 面は、単に座標変換の目的にのみ用いられており、実際の光線は追跡されません。

8.23 屈折率分布面 (Gradient Index Surface)

不均一性を有する媒質、あるいは屈折率分布を持つ光学材料中では、屈折率は媒質中を伝搬する光線の位置につれて変化します。このような媒質中では、光線はもはやまっすぐには伝搬しません。光軸に沿った屈折率勾配は軸上勾配 (Axial Gradient) と呼ばれます。また光軸に直交する方向に沿った屈折率勾配は動径勾配 (Radial Gradient) と呼ばれます。もちろん、これらの勾配の組み合わせもあり得ます。この場合には、屈折率は軸方向と動径方向それぞれの位置の関数になります。屈折率勾配を持つ材料は、屈折率分布材料 または GRIN (GRAdient INdex) 材料と呼ばれます。また屈折率分布材料が作る面を屈折率分布面といいます。屈折率分布面の仕様を完全なものとするには、材料の特性を指定するだけでなく面の特性も考慮にいれなければなりません。

面タイプに修飾子 “I” を追加することにより、OpTaliX に対して屈折率分布面を取り扱おうとしていることを知らせる必要があります。屈折率勾配は、あらかじめ定義され、カタログに保存された材料 (例えば、GradiumTM 社 G14SFN) を指定することで定義できますし、あるいは所定の波長に対する

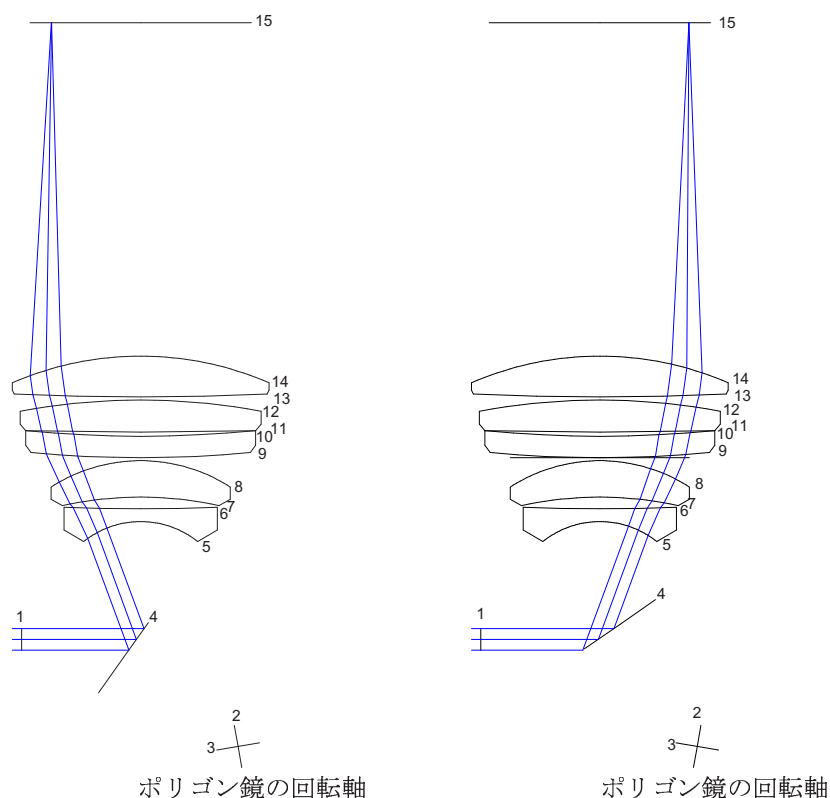


図 8.29: グローバル座標と NOR 面を用いたポリゴンスキヤナのモデリング例

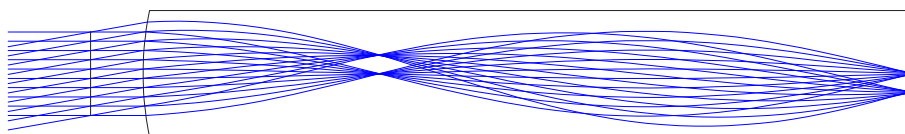


図 8.30: ラジアル屈折率分布で示される、屈折率分布の光線追跡

屈折率分布係数を入力することによっても定義できます。

OpTaliX が、屈折率分布材料における正確な光路を見いだせるかどうかは、光線追跡のためのステップ距離 ds が適切に設定されるかどうかにかかっています。一般に小さな ds を指定するほど正確に光路を追跡できます。しかし光線追跡に要する計算時間が増加します。

SUT si..j string	第 i..j 面の面タイプとして文字列 “string” を指定します。 この文字列には少なくとも S(面形状は球面) あるいは A (面形状は非球面) を含まなくてはなりません。加えて屈折率分布面を示す修飾子 “I” を指定しなくてはなりません。例: sut s3 ai (非球面 + GRIN)
次ページに続く	

前ページから続く	
GLA si..j name	ガラス名。ガラス名 (光学材料名) の指定です。ガラス名の指定は、別コマンドによる屈折率の直接的な指定に優先します。ガラス名を入力すれば、指定されたすべての波長に対する基準屈折率と屈折率分布係数が自動的に適切に設定されます。ガラス名の指定を省略する場合でも、少なくとも基準屈折率 (すなわち光軸上の屈折率) だけは与えなければなりません。GIT コマンドを使って指定する屈折率勾配タイプのうち LPT, NSG, GLC については、主要な材料が OpTaliX のカタログに登録してあります。それ以外のタイプについては、屈折率の分布係数 (GIC) を手動で入力しなくてはなりません。この場合のガラス面は “GRIN” とします。 例: gla s2 g41sfn 第2面に LightPath 社の GradiumTM ガラス、G41SFN を指定します。 gla s2 grin 第2面には一般の GRIN 材料を指定します。屈折率分布は GIC コマンドを用いて係数で指定します。
GIC si..j ci..j val	屈折率分布係数を指定します。係数 c1, c2, c3, ... の定義は、GRIN タイプ (GIT) によって異なります。詳細は 8.23.16 節を参照してください。GIC の指定を機能させるには、ガラス名を “GRIN” にする必要があります。その他の GRIN タイプ (例えば日本板硝子社の SLW18 や、LightPath 社の G51SFN など) は、あらかじめ分布係数が定義され、OpTaliX にカタログ化されていますから、材料名を GLA コマンドで指定するだけでよく、GIC コマンドを用いる必要はありません。これらの材料に関する分布係数を変更することはできません。
GDISP sk disp.name	屈折率分布材料の屈折率分散名です。 GRIN 材料に対してあらかじめユーザによって定義された屈折率分散を、第 k 面に対して、その屈折率分散名で設定します。ただし、このコマンドを適用するには GLA コマンド、または面エディタで設定される 第 k 面の GRIN 材料は “GRIN” でなくてはならず、OpTaliX にあらかじめ登録されたカタログ材料には、このコマンドは適用できません。分散係数は、GLASSES フォルダに保存されたファイル grindisp.asc を使って定義します。ファイル書式等の詳細は 32.8 章を参照してください。OpTaliX の現行バージョンは、LPT, URN, SEL, GLC および GRT に対してのみ分散モデルを取り扱えます。もし disp.name が空白のまま入力された場合 (名前の指定がない場合) には、第 k 面の GRIN 材料から屈折率分散の特性が取り除かれます。
次ページに続く	

前ページから続く	
GIS si..j step	勾配ステップ長 <i>ds</i> を指定します。 <i>ds</i> は光路に沿った光線要素の長さです。OpTaliX は光路を <i>ds</i> ごとの微小な光線要素に分割しながら光線追跡を行います。この表の直後に記載された注記も参照してください。
GZO si..j val	屈折率勾配の Z 方向オフセットです。軸上 GRIN にのみ適用されます。軸上屈折率関数のゼロ点を基点に、入射面の頂点までの距離を軸上オフセット量として指定します。
GADE [si..j] val	X 軸まわりに関する屈折率分布のティルトです。つまり、屈折率分布の軸だけが面座標系に対して “ADE” ティルトすることに相当します。
GBDE [si..j] val	Y 軸まわりに関する屈折率分布のティルトです。つまり、屈折率分布の軸だけが面座標系に対して “BDE” ティルトすることに相当します。
GCDE [si..j] val	Z 軸まわりに関する屈折率分布のティルトです。つまり、屈折率分布の軸だけが面座標系に対して “CDE” ティルトすることに相当します。
GIT si..j string	屈折率分布のタイプ。下記タイプが使用可能です: SEL: 日本板硝子社の SELFOC 型の屈折率勾配 GLC: Gradient Lens 社の GRIN (EndoGRIN) GRT: Grintech,Jean 社のラジアル型 GRIN LPT: LightPath 社の GRADIUM 型の軸上 GRIN AXG: 軸上線形 GRIN URN: ロチェスタ大学型の GRIN LUN: Lunberg Lens SPG: 球状 GRIN MAX: Maxwell の魚眼 例: git s3 lpt ! LightPath 社の GradiumTM 型の屈折率分布を第 3 面に指定します。
MXG si..j sk max_grin.iterations	MXG は GRIN 媒質中の光線追跡の繰返しステップの最大値を設定するために使います。この機能は不適切な屈折率分布係数の入力(とりわけユーザ定義分布の場合)によって光線追跡が無限ループに陥った場合にそなえるものです。光路をステップ長 <i>ds</i> の微小光線要素で分割しながら光線追跡をする際、微小要素の数が max_grin.iterations を超えた時点で光線追跡を強制的に終了させます。各面におおの異なる MXG を設定できます。max_grin.iterations のデフォルト値は 5000 です。しかし、もしゼロ (MXG 0) が設定された場合にはこのチェックは行われません。

注記：勾配ステップ長 (GIS) の最適値について： 屈折率分布材料に関する光線追跡の精度とスピードは、勾配ステップ長の選択にかかっています。OpTaliX の場合、そのデフォルト値は 0.1mm です。多くのケースにおいて、この設定は妥当であると思われます。

しかし個別の光学系への適用にあたっては、所望の光線追跡精度を得るための適切な勾配ステップ長が選択されているかどうかテストすることを推奨します。そのためにはステップ長を徐々に短くしながら同じ評価を繰り返し、評価結果に差がなくなること(評価結果がステップ長の変化に対して収束すること)を確認してください。一般的には、緩やかな屈折率勾配を持った材料について幾何光学的な解析を行うだけであれば、ステップ長が 1mm 程度であっても解析精度はたいして損なわれないうでしょう。しかし、波動光学的な解析を行うのであれば、より小さなステップ長を必要とします。もし、0.1mm よりも大きなステップ長が波動光学的な解析に対して入力されている場合には、OpTaliX は一時的にステップ長を 0.1mm に変更し、解析の後、元の設定値に戻します。この処理は自動的に行われます。

GRIN 材料を伝搬する光線に関するアパーチャのチェックは、GRIN レンズの第 1 面に固定アパーチャを示すフラグ FHY(8.32.3 章を参照)を設定することにより実行されます。光線の光軸からの高さ(動径座標)が入射面に設定したアパーチャ径を越えた時点で、その光線の追跡は中止されます。

コマンド例:

SUT s3 AI ! 第 3 面の面タイプは AI(A=非球面、I=屈折率分布) です。
 GLA s3 SLN20 ! 第 3 面の光学材料を SLN20 に指定します。
 GIT s3 SEL ! 第 3 面の屈折率分布タイプは、SEL(=セルフオックレンズ) です。
 GIC s3 c4 0.42 ! 4 番目の屈折率分布係数を 0.42 に設定します。
 GIC s3 c2 w3 1.23 ! 第 3 面の波長番号 3 に対する、2 番目の屈折率の分布係数は 1.23 です。
 GZO s3 1.2 ! 軸上勾配の Z 方向オフセットとして 1.2mm を設定します。

例 1 : LightPath 社の GRADIUMTM 型勾配の設定:

LightPath 社の GRADIUMTM 型の勾配を定義するには、LightPath のガラス名を指定します。

GLA s2 G14SFN

この指定により、他のパラメータ(屈折率分布タイプ、面タイプなど)は全て自動的に設定されます。同様に 通常の均一材料に設定を戻す際には、屈折率分布のタイプや面タイプは自動的にリセットされます。

例 2 : 屈折率分布係数を使った GRIN 材料の定義:

もしも OpTaliX に所望の GRIN 材料が登録されていなかったり、あるいはユーザが指定する分布をシミュレートするのであれば、直接に分布係数を入力することでその屈折率分布を定義します。分布係数の意味は、選択する勾配タイプに依存しており、それらは式 8.62 から式 8.79 および 128 ページに記載の表に具体的に示されています。分布係数は波長ごとに個別に指定されなくてはなりません。例えば、“ロチェスタ大学(URN)”の GRIN は、軸上分布と動径分布に関する係数によって定義され、このため、混合勾配の定義が可能です。

gic s3 c1 1.65 1 つめの屈折率分布係数(ベース屈折率 n_{00}) が 1.65 に設定されます。
 gic s3 c2 -0.035 2 つめの屈折率分布係数(軸上変化の線形成分 n_{01}) が -0.035 に設定されます

8.23.1 各面に定義された個別の GRIN 材料に関する屈折率分布係数の編集 (Editing GRIN Coefficients on a Surface)

GDISP コマンドによって独自の GRIN 分散モデルを定義する方法に加え、面エディタから呼び出されるダイアログで分散係数そのものを編集する方法も便利です。この方法の GDISP との最も大きな相違点は、特定のレンズ系の、特定の面上に定義された GRIN 材料にのみ適用されるという点にあります。つまり、あらかじめ OpTaliX に登録されたカタログレンズにも影響を与えないばかりか、他のレンズや面に定義されたものの GRIN 材料にも何らの影響も与えないということです。

この機能を使うには、材料名として 'GRIN' を設定しなくてはなりません。その他の名称は許されていません。その上で面エディタの“GRIN タブ”を選択し、そこで現れるダイアログの当該の面に対する 'Coeff' ボタンをクリックします。すると 8.31 図に示すダイアログが現れます。これを用いれば、あらかじめ定義された分散特性、たとえばカタログ GRIN の場合なら '\$i\%glasses\grin.asc'、ユーザ定義分散ならば '\$i\%glasses\grindisp.asc' に登録された特性を引用することもできますし、あるいは分散特性として 'Dispersion Name' の欄 (リストボックス) で 'USER' を選択すれば、分散係数を任意に設定することも可能です。しかし上述のとおり既登録データを引用する場合には、分散係数の編集欄は灰色で表示されていて編集できません。なお、分散名 'USER' は別の名前に付け替えることもできます。

上記の方法で定義した屈折率の分布係数とその分散係数は、編集用のダイアログを呼び出した '特定の面' とだけ結び付いています。そこで定義された係数は、個別のレンズデータとセットでファイルに保存されます。他の光学系や面からそのデータを引用したり、参照したりできないことに注意してください。

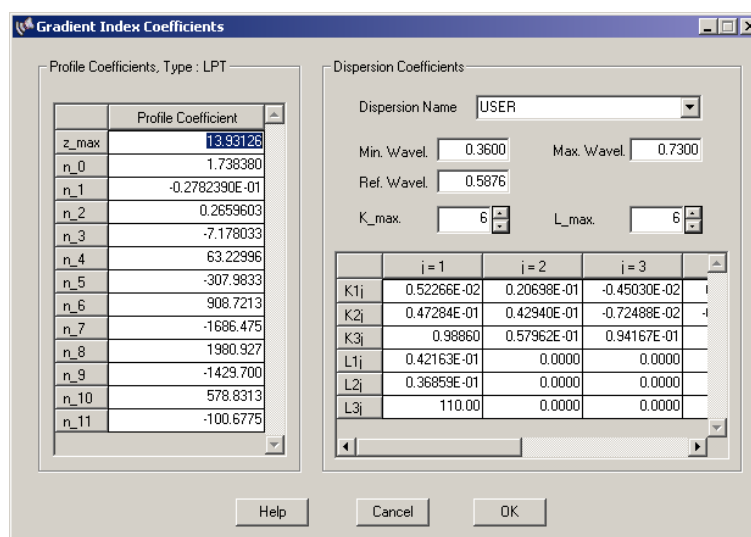


図 8.31: 個別の面上の GRIN 係数 (屈折率分布係数 および 分散係数) の編集画面

注意事項

GRIN 材料に関する屈折率分布係数や 分散係数を変更する際には十分に、その妥当性に注意してください。不適切な係数が定義されると、OpTaliX が回復不能なハングアップ状態に至ったり、あるいは射出面を見出すことができずに無限ループに陥ったりするかもしれません。このようなリスクを避けるためにも、新しい係数で光線追跡を実行する前、(あるいは より好ましくは) 新しい係数を定義

する前に光線追跡の最大ステップ回数を **MXG** コマンドを用いて 少なめに設定しておく様、強くお勧めします。

8.23.2 GRIN 材料に対する光線追跡法 (Ray-Tracing Method)

不均質 (勾配) 媒質の光線追跡は光線方程式 [48] を解くことで得られます。

$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = n \nabla n \quad (8.56)$$

ただし

$$t = \int \frac{ds}{n}; \quad dt = \frac{ds}{n} \quad (8.57)$$

$\mathbf{r}$ は光線上の点の位置ベクトルで、 ds は光線に沿った弧の要素です。方程式 8.56 は、3 行 1 列の行列式によって同時に導かれる 3 つの要素からなっていて

$$\mathcal{R} \equiv \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (8.58)$$

$$\mathcal{T} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} dx/ds \\ dy/ds \\ dz/ds \end{pmatrix} \quad (8.59)$$

これと

$$\mathcal{D} = n \begin{pmatrix} \partial n / \partial x \\ \partial n / \partial y \\ \partial n / \partial z \end{pmatrix} \quad (8.60)$$

ベクトル $\mathcal{T}$ のコンポーネントは、明らかに追跡している光線に関する 3 つの光学的方向余弦 α, β, γ です。式 8.56 は、下記に示す行列式として表現できます。

$$\frac{d^2 \mathcal{R}}{dt^2} = \mathcal{D}(\mathcal{R}) \quad (8.61)$$

式 8.61 は、既知量 $\mathcal{R} = R_0(x_0, y_0, z_0)$, $\mathcal{T} = T_0$ における初期条件を用いて Sharma 法 [48] によって解かれます。既知の点 (R_0, T_0) から出発することで、次々に $(R_1, T_1), (R_2, T_2), \dots, (R_n, T_n)$ が計算できます。これはつまり、媒質中を伝搬する光線を *Runge-Kutta* 法によって追跡できるということです。

8.23.3 日本板硝子社の SELFOC 型の屈折率勾配 (SELFOCTM Lens (SEL))

動径 GRIN レンズであるセルフオック (SELFOCTM) 勾配は、次のように与えられます。

$$n(r) = n_0 \left(1 - \frac{A}{2} r^a \right) \quad (8.62)$$

ただし

$$\begin{aligned} a &= 2 \\ A &= \frac{2 \cdot \Delta n}{n_0 \cdot r_k^a} \end{aligned} \quad (8.63)$$

SELFOCTM の場合、式 8.62において $a = 2$ を指定すると、屈折率は動径に対して放物的に減少します。

式 8.63を式 8.62に代入すると、一般的な式が導かれます。

$$n(r) = n_0 - \underbrace{\frac{2 \cdot \Delta n}{n_0 \cdot r_k^a}}_A \cdot \frac{n_0 r^a}{2} \quad (8.64)$$

OpTaliX のカタログに登録済みの日本板硝子社製 GRIN レンズの一覧表が 13.6.4 項にあります。あわせてご参照ください。

8.23.4 Gradient Lens 社の GRIN (Gradient Lens Corporation (GLC))

“Gradient Lens Corporation” が提供する動径 GRIN ロッドレンズ “EndoGRIN” の場合は

$$n(r) = n_{00} + n_{10}r^2 + n_{20}r^4 \quad (8.65)$$

ここで $r^2 = x^2 + y^2$ です。

分布係数 n_{00}, n_{10}, n_{20} は、波長に依存します。これらの係数に対する波長依存性は、次式によって与えられます。

$$n_{ij}(\lambda) = A + B\lambda^2 + \frac{C}{\lambda^2} + \frac{D}{\lambda^4} \quad (8.66)$$

ここで λ は、nm で与えなければなりません。個々の n_{00}, n_{10}, n_{20} に対して、それぞれ 1 組ずつパラメータ A, B, C, D のセットがあります。

OpTaliX のカタログに登録済みの Gradient Lens 社製 GRIN レンズの一覧表が 13.6.4項にあります。

8.23.5 Grintech, Jean 社のラジアル型 GRIN (Grintech radial gradient (GRT))

Grintech, Jena 社 (ドイツ) によって製造されるロッドレンズの動径 GRIN 分布は次のように定義されています。

$$n(r) = n_0 \cdot \text{sech}(gr) = \frac{n_0}{\cosh(gr)} \quad (8.67)$$

ここで $r^2 = x^2 + y^2$ と g は、材料ごとに固有の定数です。 n_0 の分散は次式で良好に近似できます。

$$n_0(\lambda) = 1.61189 + \frac{7614[nm^2]}{\lambda^2} \quad (8.68)$$

OpTaliX のカタログに登録済みの Grintech 社製 GRIN レンズの一覧表が 13.6.4項にあります。あわせてご参照ください。

8.23.6 Grintech, Jean 社のシリンドリカル型 GRIN (Grintech Cylindrical Gradient (GRC))

Grintech, Jena 社 (ドイツ) 製のシリンドリカルなパワー分布を持つ GRIN レンズは次のように定義されています。

$$n(y) = n_0 \cdot \operatorname{sech}(g \cdot y) = \frac{n_0}{\cosh(g \cdot y)} \quad (8.69)$$

ここで y は Y 方向の面高さであり、 g は材料ごとに固有の定数です。X 方向には定数 g はゼロなので屈折率は定値 n_0 です。 n_0 の分散は次式で良好に近似できます。

$$n_0(\lambda) = 1.61189 + \frac{7614[nm^2]}{\lambda^2} \quad (8.70)$$

OpTaliX のカタログに登録済みの Grintech 社製 GRIN レンズの一覧表が 13.6.4 項にあります。あわせてご参照ください。

8.23.7 軸上線形 GRIN (Linear axial gradient (AXG))

軸上線形 GRIN レンズの屈折率は、面頂点から Z 軸に沿った距離の線形関数屈折率は、軸方向の距離 z の線形関数です。

$$n(z) = n_0 + a \cdot z \quad (8.71)$$

ここで

n_0 = 光軸上で定義される基準屈折率

a = 軸上線形係数

8.23.8 LightPath 社のレンズ (LightPath Technologies Gradient (LPT))

LightPath テクノロジ社によって開発された GRADIUMTM 型の軸上 GRIN は、11 次の軸上までの項で表現される軸上屈折率分布を持っています。

$$n(z) = \sum_{i=0}^{11} n_i \left(\frac{z}{z_m} \right) = n_0 + n_1 \left(\frac{z}{z_m} \right)^1 + n_2 \left(\frac{z}{z_m} \right)^2 + n_3 \left(\frac{z}{z_m} \right)^3 + n_4 \left(\frac{z}{z_m} \right)^4 + \dots + n_{11} \left(\frac{z}{z_m} \right)^{11} \quad (8.72)$$

ここで、 n_0 から n_{11} は昇順の係数で、主波長 $\lambda_{ref} = 587.6nm$ に対して定義されています。 z は、材料中、高屈折率側の面あるいは低屈折率側の面からの距離です。 z の領域は、0 から最大値 z_m です。

波長依存性は改良セルマイヤ (Sellmerier) の式を使ってモデリングされます。

$$n(\lambda)^2 - n(\lambda_{ref})^2 = \sum_i \frac{K_i \lambda^2}{\lambda^2 - L_i} \quad (8.73)$$

ここで、 $n(\lambda_{ref})$ は主波長における屈折率で、定数 K と L は n の関数です。

$$K_i = \sum_{j=1}^k K_{ij} [n(z, \lambda_0)]^{j-1} \quad (8.74)$$

$$L_i = \sum_{j=1}^k L_{ij} [n(z, \lambda_0)]^{j-1} \quad (8.75)$$

です。ここで波長 λ は μm を単位に与えます。OpTaliX のカタログに登録済みの LightPath 社製の GRIN レンズの一覧表が 13.6.4 項にあります。あわせてご参照ください。

8.23.9 ロチェスタ大学型の GRIN (University of Rochester Gradient (URN))

$$n(r, z) = n_{00} + n_{01}z + n_{02}z^2 + n_{03}z^3 + n_{04}z^4 + n_{10}r^2 + n_{20}r^4 + n_{30}r^6 + n_{40}r^8 \quad (8.76)$$

ここで、

$$r^2(x, y) = x^2 + y^2$$

n_{00} = 基準屈折率

n_{0i} = 軸上係数

n_{i0} = 動径係数

ロチェスタ大学型の GRIN レンズ (URN) に屈折率の波長分散を定義するには **GDISP** コマンドを用いて分散名を指定します。分散係数のセットは LightPath 社の GRIN レンズ用のセットをそのまま利用できます (式 8.73 から式 8.75)。分散係数は GLASSES フォルダの **grindisp.asc** に記述します。

屈折率分散のモデリングを含む URN 型の GRIN レンズの設定例

```
gla s1 GRIN      ! 最初にガラス名として GRIN を設定します。
git s1 URN       ! 屈折率分布のタイプを指定します。URN です。
gic s1 c1 1.678   ! 1 つめの分布係数 (基準屈折率) を入力します。
gic s1 c2 0.00345 ! 2 つめの分布係数 (軸上線形項) を入力します。
gic ...          ! 係数入力が必要なだけ繰り返します。
gdisp s1 GLAK     ! 屈折率分散の識別名として GLAK を指定します。
                  ! この名称に対応する分散係数セットがファイル
                  ! grindisp.asc に存在していません。
```

8.23.10 Luneberg 型 GRIN レンズ (Luneberg Gradient (LUN))

$$n^2(p) = n_0^2 \left(2 - \frac{p^2}{a^2} \right) \quad (8.77)$$

ここで、 $p^2 = x^2 + y^2 + (z - r)^2$

8.23.11 球状 GRIN レンズ (Spherical Gradient (SPG))

$$n(p) = n_0 + n_1(r-p) + n_2(r-p)^2 + n_3(r-p)^3 + n_4(r-p)^4 \quad (8.78)$$

ここで、 $p^2 = x^2 + y^2 + (z-r)^2$

8.23.12 Maxwells の魚眼 (Maxwells's Fisheye (MAX))

$$n(p) = \frac{n_0}{1 + \frac{p^2}{a^2}} \quad (8.79)$$

ここで、 $p^2 = x^2 + y^2 + (z-r)^2$

8.23.13 ユーザ定義屈折率分布面 (User-Defined Gradient Index (UDG))

FORTTRAN または C 言語を用いればユーザ定義の屈折率分布面をサブルーチンとして記述できます。ユーザ定義の屈折率分布を定義するサブルーチン名は “usergrn” として下さい。

usergrn サブルーチンは媒質中の任意の点 (x,y,z) において比屈折率 $n = n(x,y,z)$ を計算できなくてはなりません。また、その点において屈折率の勾配 dn/dx , dn/dy , および dn/dz を計算できなくてはなりません。ユーザ定義分布の係数は、UDG コマンドを使って設定します。

UDG si..j sk ci..j ck coeff_1 coeff_2 ...	si..j で指定したユーザ定義屈折率分布面の分布係数を c..j で設定します。面タイプを “I” にセットする必要があります (I は gradient Index という意味)。
--	---

FORTTRAN および C 言語で記述されたサンプルプログラムが、OpTaliX の下記フォルダの下位フォルダにそれぞれ、言語製品ごとにサブフォルダに保存してあります (Lahey/Fujitsu FORTRAN、Intel FORTRAN、Compaq Visual FORTRAN および Microsoft Visual C コンパイラ)。

FORTTRAN 用 ¥optalix¥usergrn¥Fortran

C/C++用 ¥optalix¥usergrn¥C

サブルーチン名は小文字で正確に “usergrn” でなければならず、他の名前は許されていません。The usergrn サブルーチンは必要に応じて、それ自体、他のサブルーチンを呼び出したりデータファイルから何かを読み込んでかまいません。usergrn サブルーチンを記述する際には、次のパラメータを引数として取り扱える様に注意してください。

```
usergrn((isur,sdata,x,y,z,wvl,rindx,gx,gy,gz,i_err)
```

各引数の意味は次のとおりです。

isur	入力用の引数：屈折率および屈折率勾配を評価すべき面の番号。個別の面にそれぞれ異なった屈折率分布タイプ (屈折率分布式) を適用する場合に、それらを識別するために使います。もしすべての面に共通の分布タイプを使うならばこのパラメータを介して OpTaliX から渡されるデータを必ずしも使う必要はありません。後述の注記も参照してください。
sdata	入力用の引数： OpTaliX から usergrn サブルーチンへのデータが格納された 91 個の要素からなるアレイです。 sdata の要素は OpTaliX に設定する UDG の各係数に対応しています。例えば C25 は sdata(25) として usergrn に引き渡されます。
x,y,z	入力用の引数：屈折率とその勾配を計算すべき光線通過点の座標。
wvl	入力用の引数：ミクロン表記の波長。
rindx	出力用の引数：評価点 (x,y,z) において求められた屈折率。
gx,gy,gz	出力用の引数：評価点 (x,y,z) において求められた屈折率勾配 $\nabla(n)$ の x、y および z 成分。
i_err	出力用の引数： usergrn サブルーチンの処理に問題が発生していなければ 0 をそれ以外は 1 をセットします。

注記:

同時にはただ一つの **usergrn** サブルーチンだけを **OpTaliX** にリンクできます。したがって、光学系に含まれる全ての屈折率分布タイプ (異なった数式によって定義される別種の屈折率分布) をただ一つの **usergrn** サブルーチン内に記述しなくてはなりません。ここでは、そのための方法を 2 種類紹介します。

ひとつは引数 **isur** が示す面番号を使って、求めるべき屈折率と屈折率の勾配の計算処理を切り替える方法です。**isur** は、**OpTaliX** が常に自動的に **usergrn** に引き渡しますから、この方法はユーザに意識してデータを生成することなく定義の切り替えが行えるのが特徴です。したがって、この方法はパターン化されたレンズ構成を繰り返し処理する場合に便利です。**FORTTRAN** によるコーディングは次の要領で行います。

```
if(isur .eq. 3) then
  ! ここに 第 3 面用のコードを記述します。
elseif(isur .eq. 7) then
  ! ここに 第 7 面用のコードを記述します。
endif
```

もうひとつの方法は、**UDG** 係数のうち、任意の要素にユーザが定義した **UDG** タイプ番号を (係数データと同様に) 設定し、逐一、これを **usergrn** サブルーチンに引き渡す方法です。この方法であれば、任意の屈折率分布が、任意の順序で現れたとしても混乱することなく、**usergrn** 内部の定義を切り替えられます。

```
if(sdata(1) .eq. 1) then
  ! ここに UDG タイプ (1) のコードを記述します。
elseif(sdata(1) .eq. 2) then
  ! ここに UDG タイプ (2) のコードを記述します。
endif
```

上記のいずれかの方法を用いれば、たとえ **usergrn** サブルーチンはただひとつしか記述できなくとも、実質的に取り扱える **UDS** のタイプ数に制限はなくなります。

なお、屈折率分布が光軸に沿う方向 (**Z** 方向) に変化する場合には、反射面の後方では分布が反転します。

8.23.14 デフォルトの usergrn サブルーチン (Default usergrn Subroutine)

OpTaliX のデフォルト UDG は“ロチェスタ大学型の GRIN”です。このタイプ屈折率分布は 123 ページの式 8.76 であたえられます。FORTRAN によって記述したこのタイプの usergrn サブルーチンの例は下記のとおりです。

```

      subroutine usergrn(isur,sdata,x,y,z,wvl,rindx,gx,gy,gz,i_err)
!
! ユーザ定義 GRIN 面 の屈折率とその勾配を評価するサンプル・ソースプログラムです。
! 屈折率 n の分布は n(x,y,z) として与えられます。ここで (x,y,z) は屈折率分布材の
! 頂点を原点とする直交座標です。
!
! このサンプルは、‘‘ロチェスタ大学型’’の屈折率分布に対応しており、それは次式で
! 定義されます。
! rindx = sdata(1) + sdata(2)*z + sdata(3)*z^2 + sdata(4)*z^3 + sdata(5)*z^4 +
!         sdata(6)*r^2 + sdata(7)*r^4 + sdata(8)*r^6 + sdata(9)*r^8
! ここで r^2 = x^2 + y^2
!
! 引数一覧:
! -----
! isur      : 面番号                                (input)
! sdata(91) : 屈折率分布係数を格納したアレイ          (input)
!             たとえば、sdata(1) には、UCO C1 コマンドで設定した値が
!             格納される。
! x,y,z     : 面の原点に対する光線の現在座標          (input)
!             すなわち 屈折率および屈折率勾配を求めるべき位置
! wvl       : ミクロン表記の波長                      (input)
! rindx     : 座標 (x,y,z) において求められた屈折率    (output)
! gx,gy,gz  : 座標 (x,y,z) において求められた屈折率勾配 (output)
!             すなわち dn/dx, dn/dy, dn/dz
! i_err     : エラーフラグ (0 = エラーなし、 1 = エラーあり) (output)
!             注) エラーフラグはユーザによって適切にセットされなければなりません。
!
! 注意
! -----
! ユーザは、定義したい面形状ごとに個別にプログラムを作成しなくては
! なりません。しかし OpTaliX にリンク可能な usergrn サブルーチン
! はただ一つです。このため、複数の屈折率分布タイプを同一光学系内で取り扱うには
! "ISUR" を使って面番号により処理を分岐させるか、あるいは sdata() のうちの要素を
! ひとつ使って UDG タイプを定義し、それをよりどころとして処理を分岐させる必要が
! あります。
!
!
!      dll_export usergrn
!      integer      :: i_err,isur
!      double precision :: x,y,z,gx,gy,gz,rindx,wvl,sdata(91)
!      double precision :: rad2,t1,t2,tabl
!
!      i_err = 0
!
!      University of Rochester Gradient
!
!      rad2 = x*x + y*y
!
! ! 屈折率を求める:
!      t1 = z *(z *(z *(z *sdata(5)+sdata(4))+sdata(3))+sdata(2))
!      t2 = rad2*(rad2*(rad2*(rad2*sdata(9)+sdata(8))+sdata(7))+sdata(6))
!      rindx = sdata(1) + T1 + T2
!      if(rindx.lt.1.0d0) then
!          i_err = 1
!          rindx = 1.0d0
!      endif
!
! ! 屈折率勾配を求める :
!      t1 = rad2*(rad2*(rad2*8.d0*sdata(9) + 6.d0*sdata(8)) + 4.d0*sdata(7))
!      tabl = t1 + 2.d0*sdata(6)
!      gx = tabl * x
!      gy = tabl * y
!      gz = z*(z*(z*4.d0*sdata(5) + 3.d0*sdata(4)) + 2.d0*sdata(3)) + sdata(2)
!
!      return
!      end

```

8.23.15 usergrn のコンパイルとリンク (Compiling and Linking usergrn)

OpTaliX がサポートする言語処理系 (コンパイラ) は Lahey/Fujitsu FORTRAN、Compaq Visual FORTRAN、Intel FORTRAN および the Microsoft Visual C++ コンパイラです。いずれも 32 ビット版をお使いください。16 ビット版はサポートしていません。どのコンパイラをお使いになる場合も、下記に示すバージョンか、あるいはそれよりも新しいバージョンでなければなりません。各コンパイラに特有の注意事項も下記にしたがって参照してください。

発売元	適合コンパイラ	注意事項
Lahey Fujitsu	FORTRAN-95, バージョン 5.7 以降	8.30.3 章
Compaq	Visual FORTRAN, バージョン 6.6 以降	8.30.4 章
Intel	FORTRAN-95, バージョン 7.1 以降	8.30.4 章
Microsoft	Visual C/C++, バージョン 5.0 以降	8.30.5 章

8.23.16 GRIN 分布に関する係数一覧表 (GRIN - Coefficients Overview)

パラメータ C1 から C10 は屈折率分布係数です。各係数の意味は GRIN タイプに依存して、下記のように定義されます。

タイプ	定義式	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
SEL	$n(r) = n_0 \left(1 - \frac{A}{2} r^2\right)$	n_0	$\sqrt{A}$								
GLC	$n(r) = n_0 + n_1 r^2 + n_2 r^4$	n_0	n_1	n_2							
GRT	$n(r) = n_0 \cdot \text{sech}(gr)$	n_0	g								
GRC	$n(y) = n_0 \cdot \text{sech}(gy)$	n_0	g								
AXG	$n(z) = n_0 + a \cdot z$	n_0	a								
LPT	$n(z) = n_0 + n_1 \left(\frac{z}{z_m}\right)^1 + n_2 \left(\frac{z}{z_m}\right)^2 + n_3 \left(\frac{z}{z_m}\right)^3 + \dots + n_{11} \left(\frac{z}{z_m}\right)^{11}$	z_m n_9	n_0 n_{10}	n_1 n_{11}	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8
URN	$n(r, z) = n_{00} + n_{01}z + n_{02}z^2 + n_{03}z^4 + n_{04}z^4 + n_{10}r^2 + n_{20}r^4 + n_{30}r^6 + n_{40}r^8$	n_{00}	n_{01}	n_{02}	n_{03}	n_{04}	n_{10}	n_{20}	n_{30}	n_{40}	
LUN	$n^2(p) = n_0^2 \left(2 - \frac{p^2}{a^2}\right)$ ここで $p^2 = x^2 + y^2 + (z - r)^2$	n_0	a	r							
SPG	$n(p) = n_0 + n_1(r - p) + n_2(r - p)^2$	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4					

次ページに続く

前ページから続く											
	$+ n_3(r-p)^3$ $+ n_4(r-p)^4$										
MAX	$n(p) = \frac{n_0}{\left(1 + \frac{p^2}{a^2}\right)}$ ここで $p^2 = x^2 + y^2 + (z-r)^2$	n_0	a	r							

8.24 ライトパイプ、ステップインデックスファイバ (Light Pipe, Step Index Fiber)

OpTaliX は、ライトパイプとステップインデックスファイバを同一の手法で扱います。光線はチューブ (それがバルクでも中空でも) に入射し、他端から光線が射出するまでの間、不特定多数回、側壁で反射します。チューブの断面形状として円形と矩形の両方がサポートされています。チューブの両端は任意の形状 (球面、非球面やグレーティング、面のデフォーメーションなどを持つものなど) であって良く、また任意の量だけティルトしていてもかまいません。

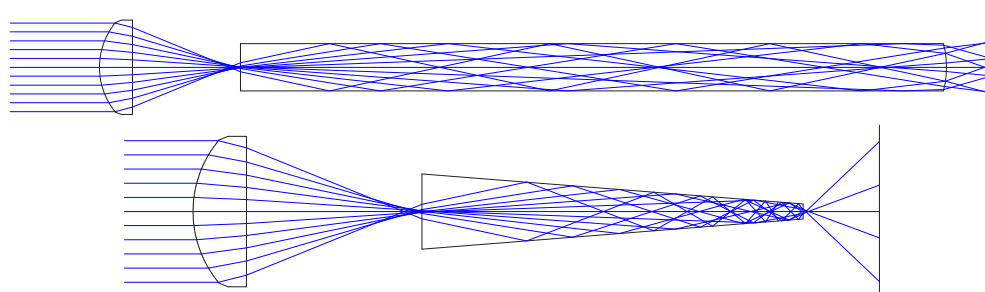


図 8.32: ライトパイプ (上) とテーパ型ファイバ (下)

ファイバとライトパイプは、押し出し面によって形成されます。入射面のアパーチャの境界寸法がパイプの直径 (= 2 × アパーチャ半径) を定義します。また、次の面 (反対側の端面) までの軸方向の間隔は、パイプの長さを定義します。このため、ロッド断面は入射面のアパーチャ形状 (円形あるいは矩形) に一致します。コアとクラッドを定義するために 2 種類の材料 (ガラス) を入射面のデータとして指定します。そのために **GLA** および **GL2** コマンドを使います。ライトパイプとステップインデックスファイバの相違は、クラッド材料だけです。ライトパイプの場合には、クラッドの屈折率は 1 (空気相当) です。ステップインデックスファイバの場合には、屈折率が 1 より大きな材料を指定します。

ライトパイプの入射面は、面タイプとして “P” を持つ必要があります。これを指定する際には、面形状を示す修飾子 “S” (球面) あるいは “A” (非球面) と組み合わせます (**SUT** コマンド)。

コマンド例: `sut s3 sp`

テーパ型ファイバの場合には、テーパ角の定義は入射面と最終面のそれぞれの半径を指定することにより行います。矩形アパーチャの場合は X,Y 断面のそれぞれについて独立にテーパ角を指定できます。

中空のライトパイプは、(出射面ではなく) 外壁にミラーを指定することで定義します。これは PMI コマンドによって実現されます。この場合の光線追跡は、外壁について (TIR) チェックをしません。

PMI si..j yes no	パイプミラー。外壁に通常のミラーとしての特性をもたせる (yes) か、あるいは持たせないか (no) を指定します。ミラーとしての特性を持たせた場合には TIR 条件は無視され、光線は常に外壁で反射します。
------------------	--

例:

ステップインデックス ファイバは 下記のコマンド列によって、完全に定義されます (例は、第 3 面を入射面とするロッドファイバ)。

sut s3 SP	球面 (平面) を入射面にもつステップインデックスファイバを定義します。
gla s3 sf6	コア材料を定義します。
gl2 s3 bk7	クラッド材料を定義します (gl2 s3 air の場合はクラッドを持たないファイバ、つまりライトパイプです)。
thi s3 100	ファイバ長は 100mm です。
cir s3..4 2.5	ロッドの直径は 5mm です (5mm = 2 × 2.5mm)。

円形断面を持つテーパ型ファイバは、入射面と出射面とのアパーチャサイズが異なることを除けば、まったく同じコマンド列で定義できます。

sut s3 SP	球面 (平面) を入射面にもつステップインデックスファイバを定義します
thi s3 100	ファイバ長は 100mm です。
cir s3 2.5	入射面の直径は 5mm です。
cir s4 1.0	出射面のアパーチャ直径は 2mm です。出射面のアパーチャ径が入射面の径より小さいので、ライトパイプは先端にいくほど細くなります。

上記例において、テーパ型のファイバのテーパ半角 ϑ は、 $\vartheta = \tan^{-1}[(2.5 - 1.0)/100]$ です。

矩形のテーパ型ライトパイプは、入射端面、出射端面ともに矩形アパーチャをもっています。これは次のように定義します。

sut s3 SP	球面 (平面) を入射面にもつライトパイプを定義します
thi s3 100	パイプの長さは 100mm です
rex s3 2.5	入射面は矩形アパーチャを持ち、その X 辺の長さは 5mm です。
rey s3 2.5	入射面は矩形アパーチャを持ち、その Y 辺の長さは 5mm です。
rex s4 1.0	入射面は矩形アパーチャを持ち、その X 辺の長さは 2mm です。
rey s4 1.0	入射面は矩形アパーチャを持ち、その Y 辺の長さは 2mm です。
	射出側のアパーチャの寸法が入射側の寸法とは異なるのでパイプの外観はピラミッド形状になります。

入射端面と外壁が直交しない矩形ライトパイプ (Sheared rectangular light pipe):

出射面が光軸とは直交方向にシフトしているライトパイプがあります。このタイプは出発面にアパーチャのシフト (**ADX** および **ADY** コマンド) を適用することで定義します。外壁は端面のシフト量にあわせて自動的に調整されます。出射端がシフトしても光軸はシフトしません。円筒タイプのライトパイプには、この機能は使えません。

8.25 アレイレンズ (Array Element)

光学部品を規則的なグリッド状に並べられます。これは、面のローカル座標に対して所定の間隔で X/Y 方向に配置を繰り返すものです。これを以降は**チャンネル面**と呼ぶことにします。単一の、あるいは集合体としてのレンズはいずれもチャンネルとみなされます。またチャンネル面はアレイ上のすべてのチャンネルを網羅するものとして定義されます。このことの意味は、チャンネル面に対するアパーチャ境界は個別のチャンネルをまたいでアレイの X および Y 方向に伸張して定義されているということです。チャンネル面に対するアパーチャ範囲に関連して、いくつかの個別のチャンネル (アレイの要素) は光学的に切り捨てられるかもしれません。個別のチャンネルは、チャンネル面に渡る一様なグリッド面に分配されます。チャンネルの中心は、X 方向および Y 方向の間隔によって定義される X/Y 座標軸上に位置付けられます。

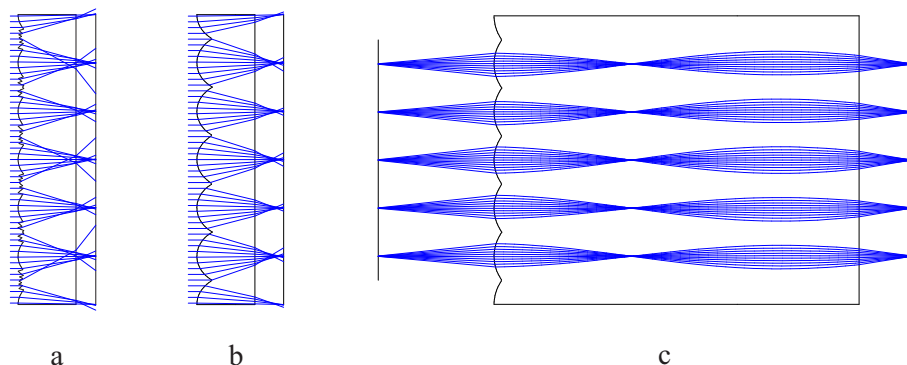


図 8.33: アレイレンズの例、a) フレネルレンズのアレイ、b) 球面レンズのアレイ、c) GRIN ロッドレンズのアレイ。これらに関するレンズデータは、それぞれ `examples/array` フォルダの `sphere-array.otx`、`fresnel-array.otx`、`selfoc-array.otx` として保存されています。

アレイ面は**面タイプ**として “R” を必要とします。これを指定する際には、ベースとなる面形状を示す修飾子 “S”(球面) あるいは “A”(非球面) と組み合わせます (**SUT** コマンド)。

ARR si..j x_spacing y_spacing x_offset y_offset max_x max_y	面範囲 si..j を規則的なグリッドパターンによって構成されるアレイ面 (チャンネル面) に変換します。各チャンネルの座標 (配置位置) は下記より決定されます。 x_spacing チャンネル間の中心間隔 (X 方向) y_spacing チャンネル間の中心間隔 (Y 方向) x_offset 面のローカル座標系からの中心チャンネルのオフセット量 (X 方向) y_offset 面のローカル座標系からの中心チャンネルのオフセット量 (Y 方向) max_x チャンネルの存在範囲 (単位は mm, $\pm$ X 方向) max_y チャンネルの存在範囲 (単位は mm, $\pm$ Y 方向)
ARX si..j x_spacing	アレイチャンネルの X 方向の間隔
ARY si..j Y_spacing	アレイチャンネルの Y 方向の間隔
ARX0 si..j X_offset	面のローカル座標系に対するアレイチャンネル全体の X 方向オフセット量
ARY0 si..j Y_offset	面のローカル座標系に対するアレイチャンネル全体の Y 方向オフセット量
AMX sk si..j max_x	チャンネルの存在範囲 (単位は mm, $\pm$ X 方向)
AMY sk si..j max_y	チャンネルの存在範囲 (単位は mm, $\pm$ Y 方向)

球面、非球面、フレネル面、GRIN など、どんな**面タイプ**であってもアレイチャンネルとして展開できます。下記コマンドは、組み合わせ可能な種々のアレイ面の定義例です。

```
sut s1 SR    面タイプとして、球面をもつアレイを定義
sut s1 AR    面タイプとして、非球面をもつアレイを定義
sut s1 SFR   面タイプとして、球面のパワーを持つフレネルレンズアレイを定義
sut s1 SIR   面タイプとして、入射面形状が球面である GRIN レンズアレイを定義
```

光学系として定義されている面の数だけ、アレイ面を定義できます。1つの面範囲 (つまり 1枚のチャンネルエレメントの面サイズ) よりも大きな間隔をあけて配置されるレンズアレイは、アレイへの展開時に指定したアレイパラメータを繰り返すことにより定義されます。アレイチャンネルそれぞれの開口は、面全体の開口によって規定されます (**CIR**, **REX**, **REY**, **ELX**, **ELY** コマンドを参照) もし、該当の面上で **x_spacing** も **y_spacing** もゼロならば、アレイとしての特性は無視され、レンズは連続面 (アレイではない) と同様に振る舞います。

制約:

1. アレイパラメータはズーム化できません。曲率、面間隔など、チャンネル面のパラメータはズーム化可能です。
2. アレイパラメータは最適化における変数 (可変要素) としては使えません。

例:

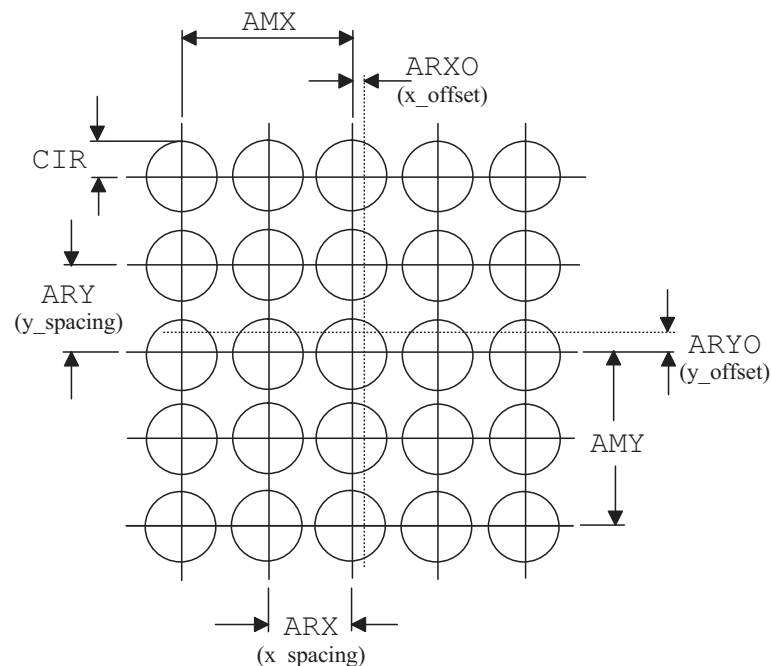


図 8.34: 規則的な矩形グリッドに関するアレイパラメータの定義。破線はベース面の頂点に相当。

図 8.33(b) に示す球面レンズアレイは、単純な平凸レンズをスタート地点として簡単に生成できます。いま第 1 面が曲率半径 3mm、レンズ厚 5mm、ガラスは BK7 からなる平凸レンズを想定します。まず、ARR コマンドを使って、第 1 面をアレイ面に変換します。

```
arr s1 5 5 0 0 15 15
```

この設定では、X 方向、Y 方向ともにアレイチャンネル間の中心間隔は 5mm です。面タイプは特にユーザが気にかけなくとも自動的に妥当な値 (この場合は “SR”) が設定されます。オフセット量は、X 方向、Y 方向ともにゼロです。したがって、チャンネルの中心は面のローカル座標の原点 (光軸とベース面の交点) に配置されます。チャンネルの存在範囲は、X 方向も Y 方向も $\pm 15\text{mm}$ です。ARR コマンドを用いた上記の設定を、個別のコマンドで行うこともできます。

```
sut s1 sr
arx s1 5
ary s1 5
arxo s1 0
aryo s1 0
amx s1 15
amy s1 15
```

以上でアレイ面の定義は完了です。しかし、アレイ断面と共に光線の軌跡をいっそう詳細に描画できるように、上記設定に加えて、Y 方向に沿って (ZY 面内に) 31 本のファン光線を設定します。

```
set fan y 31
```

この状態で VIE コマンドを実行すれば、図 8.33(b) と同じ出力が得られます。もし、これと同じ図が得られなかった場合は、アパーチャと視野の設定が適切に行われていない可能性があります。コマ

ンドラインから下記を入力し、再び VIE コマンドを実行してください。

```
yan 0
epd s1 30
fhy s2 1
cir s2 15
```

8.26 動径スプライン・デフォメーション面 (Radial Spline Deformation Surfaces)

動径スプライン・デフォメーション面は、ベース面の頂点まわりで回転対称です。動径スプラインは、面頂点から面の周縁にいたる動径方向のデフォメーション座標群によって定義されます。デフォメーション座標は 2 つの値のペアによって構成されます。ひとつは面頂点からの動径距離 (SPLR) であり、もうひとつはベース面に直交する方向に計ったデフォメーション量 (SPLZ) です。ベースカーブには球面、非球面だけでなく、OpTaliX で有効とされる任意の面形状を指定できます。スプライン関数によるデフォメーションがベース面に加算されるので、面タイプ (SUT) は 2 文字から構成されます。

- SC = ベース面は球面であり、ここにスプライン・デフォメーションが加算されます。
- AC = ベース面は非球面であり、ここにスプライン・デフォメーションが加算されます。

1 面につき 20 点までのデフォメーション座標を定義できます。光学系として定義されている面の数だけ、スプライン・デフォメーション面を定義できます。この座標は、スプライン補間によって面に渡る連続的な動径関数にフィッティングされます。ただし、デフォメーション座標においてはスプライン補間はまったく妥当に行われますが、その中間点においては期待に反して“オーバーシュートイング”の影響が現れることがあります。この場合には、デフォメーションは正しく評価されません。これはスプライン補間という技法が“滑らかな”曲線(つまり、2 つの隣合う線素の 1 次と 2 次導関数が一致すること)を生成しようとする一方で、その勾配を制御する能力を持っていないことに起因しています。この性質はスプライン補間法に固有の特徴であり、OpTaliX プログラムの実装上の問題ではありません。このことの影響を小さく抑えるには、より細かな (小さな) 間隔でデフォメーション座標を指定するのが有効です。または境界効果の影響 (スプライン補間が補間範囲の両端付近で異常な振動を生じること) を軽減するために (可能であれば) 周縁の外側に追加のデフォメーション点を設定するのも良い方法です。

スプライン・デフォメーションがかなり急な勾配を呈する場合には、時として、厳密な面頂点に対する厳密な垂直入射光であるにも関わらず、光線追跡が適切に行われないということがあります。これも境界効果のひとつです。このような場合には、面の頂点のごく近傍に追加のデフォメーション点を設定してください。こうすることで、面頂点における勾配がゼロに向かいます。

SPLN si..j n.spline.points	si..j において指定する動径スプラインデフォメーション座標の数 (1 面あたり)
次ページに続く	

前ページから続く	
SPLR si..j ci..j rad_dist1 ... rad_dist_n	動径デフォメーション座標の面頂点からの動径距離は頂点の接平面に沿って測ります。 例: splr s3 c1..5 0 2 4 7 13 この例の場合、デフォメーション座標は、面頂点から 0, 2, 4, 7, 13mm の位置で定義されます。
SPLZ si..j ci..j def_1 def_2 ... def_n	ベース面に直交するように計ります。 例: splz s3 c1..4 0.0 0.001 -0.002 0.003
SPL si..j file file.spec	ファイル“file.spec”からスプライン・デフォメーションを読み込みます。ラジアル・スプラインに関するファイル書式の詳細は、 32.5章 で記述されます。 例: spl s4 file c:¥temp¥spline_def.dat

例:

正弦波的に変化する周期デフォメーションの影響を調べてみましょう。まず、コマンドラインからデータを入力する方法を説明します。サンプリング点、つまりデフォメーション座標を 6 点と仮定するならば、コマンド列は次のとおりになります。ただし、“!” よりも右側の記述はコメントですから、入力の必要はありません。

```
spln 6                                ! サンプリング点の数を定義
splr s1 c1..6 0 0.001 10 20 30 40    ! 動径座標を定義
splz s1 c1..6 0 0 .001 -.001 .001 -.001 ! 動径座標に対応するデフォメーション座標を定義
```

最初のサンプリング点のごく近傍に、第 2 のサンプリング点を設定していることに注目してください。このように指定すれば面頂点におけるスプライン勾配がゼロに向かいます。

コマンドラインから入力するかわりに、ファイルに保存したデータを読み込むこともできます。ファイルは OpTaliX から離れて汎用の (ASCII) テキストエディタを用いてあらかじめ編集し、保存しておきます。上記のコマンド列と同じ内容をもつファイルは

```
! Spline deformation file
0 0
0.001 0 ! this is an extra data point
10 0.001
20 -0.001
30 0.001
40 -0.001
! end of file
```

このファイルは SPL マンドを使って OpTaliX に読み込みます。例えば、

```
SPL sk file 'c:\OpTaliX\my-spline-data.spl'
```

パスとファイル名は、実際にファイル名にあわせて適切に変更してください。ファイル書式の詳細は [32.5](#) 章を参照して下さい。

8.27 2次元干渉デフォーメーション面 (Two-Dimensional Interferometric Deformation on Surfaces)

干渉デフォーメーションは2次元のグリッドデータとして規定されます。このデフォーメーション方式を用いれば回転対称性を持たないデフォーメーションもモデリングできます。多くの場合、このようなデータはレンズ面またはほぼ完全な光学系の干渉測定、あるいは相応のデータファイルを生成する外部プログラムによって生成されます。2次元干渉デフォーメーション面の機能を有効にするには、面タイプ (SUT) として修飾子 “W” を指定する必要があります。

2次元干渉デフォーメーション・データは、干渉縞ファイル (INTerferogram File を略して INT ファイルといいます) に保存されます。INT ファイルにはこの他、面のデフォーメーション、波面のパートバージョンや強度アポダイゼーションデータも保存できます。

- **面のデフォーメーションデータ**は、面形状の変位が定義されるものであればなんでもデフォーメーションデータとして扱われます。ただし、常にノミナルな面形状の法線に沿って測定されなければなりません。光線追跡にあたっては、デフォーメーションを考慮して、光線収差および波面収差のいずれもが適切に評価されます。面のデフォーメーションデータは、必ず屈折面あるいは反射面に関連づけて用います。ダミー面に適用しても何らの影響をもたらしません (ダミー面: 面の前後が同じ屈折率である面。光学モデル上は確かに存在させられますが、光線の屈折には何の影響も与えません)。
- **波面のパートバージョンデータ**は、光線偏差と光路差 (OPD) に影響を与えます。屈折面/反射面に関連付けて用いますが、面形状そのものには影響を与えません。
- **強度アポダイゼーションデータ**は、光学系の透過特性に影響を与えます。しかし、面形状や光線の進行方向には影響を与えません。

干渉デフォーメーションは **ISF** コマンドを用いてスケーリングできます。また、その原点を面上の特定の座標に位置付けられます (**INX** および **INY** コマンドで、面上の X,Y 座標を指定)。

OpTaliX が読み込んだ INT ファイルの内容は、指定された面に割り当てられます。

INT sk file int_file_name	ファイル int_file_name からデフォーメーションデータを読み込み、sk 面に割り当てます。ファイル名の拡張子は必須ではありませんが “.int” を用いることを推奨します。ファイルの書式は 32.10 章で規定する構造に従わなくてはなりません。
次ページに続く	

前ページから続く	
ORB sk file orb_file_name	このコマンドは上述の“INT”コマンドと機能的に同等です。ただし、Bausch & Lomb 社の“Orbscan II”トポグラフィシステムによって生成されたデフォーメーションデータを前提としている点が異なります。この装置はヒトの目の外科治療で使われます。データは“Recorder”オプションを使用して、デカルト座標形式 (直交グリッドデータ) でエクスポートされなくてはなりません。読み込まれた orb_file_name ファイル中のデフォーメーションデータは、sk 面に貼付されます。
ISF si..j scale_factor	指定の倍率 scale_factor で、デフォーメーションデータの測定値をスケールします。例えば、ダブルパス干渉計によって得られた干渉データであれば、scale_factor を 0.5 とすることにより実際の波面デフォーメーションに対応付けられます。scale_factor -1.0 は、デフォーメーションデータを凹 (くぼみ) から凸 (隆起) に反転させるのに使えます。
INX sk x_offset	デフォーメーションデータの中心が配置されるべき sk 面上の X 座標
INY sk y_offset	デフォーメーションデータの中心が配置されるべき sk 面上の Y 座標
IRX sk x_extension	sk 面におけるデフォーメーション配列の物理的拡張 (X 方向)。デフォーメーションデータ中心からの ± 値で表現します。
IRY sk y_extension	sk 面におけるデフォーメーション配列の物理的拡張 (Y 方向)。デフォーメーションデータ中心からの ± 値で表現します。
PLO INT [sk]	sk 面に割り当てられた 2 次元デフォーメーションのプロット。
次ページに続く	

前ページから続く	
RAW2INT file raw_file	RAW 書式で表現された 2 次元グリッドデータを INT 書式に変換します。このコマンドは RAW データだけしか手元に用意できない場合に有用です。例えば、Photoshop のグレースケール画像は、簡単に RAW フォーマットに出力できます。ファイル raw_file は ASCII ファイルでなくてはならずフルパスで指定します。“file” パラメータは必須ですから、ファイル名に先がけて必ず指定しなくてはなりません。RAW フォーマット中のデータは、ブランク記号、カンマ、タブ、あるいはコーテーション記号によって、区切られています。ASCII ファイルの 1 列はグリッドデータの 1 行に対応しています。このためファイルには、データ配列の行数と同じだけの列があります。ファイルにはヘッダやコメント行を何も含んではいけません。配列のサイズはデータ自身から抽出されます。 例: raw2int file c:¥mydata.txt 変換されたデータは、拡張子 “.int” が付加されて、同じディレクトリ内の別のファイルに書き込まれます。上記例の場合、変換後の出力ファイル名は、c:¥mydata.txt.int になります。

8.27.1 デフォメーションデータの保存 (Saving Deformation Data)

光学面に定義されたデフォメーションデータのファイルへの保存形式には次の 2 種類があります。

- a) レンズデータファイルにデフォメーションデータへの“リンク情報 (フルパス名)”だけを保存し、その実体は別のファイルに保存する形式です。この形式はレンズデータのサイズを小さく維持するのに有効です。保存されたフルパス名前は、OpTaliX を実行するコンピュータの構成が変わったとしても、更新されることはありません。したがって、デフォメーションファイルを別のフォルダ等に移動させた場合や、あるいはレンズデータファイルを他の誰かに (インターネットやイントラネットを経由して) 送信した場合には、もはや OpTaliX はデフォメーションファイルを見つけ出せなくなります。このため、安定で一貫性のあるファイル構成が維持されている場合のみ、この保存形式を選択してください。
- b) デフォメーションデータをレンズデータの一部として保存する形式です。コンピュータ内部のフォルダ構成に影響されません。しかし、レンズデータファイルのサイズがかなり大きくなります。その程度は、デフォメーションデータのレイサイズそのものと、何面に渡ってそれらが貼付されているかということに依存します。

デフォメーションデータの保存方法をコマンドラインから変更する場合は、次のようにします。

ILN Yes No	干渉デフォメーション、波面データ、フィルタデータをレンズデータからのリンクファイルとして、別個に保存するかどうかを設定します。ILN YES を指定した場合には、これらのデータは レンズデータとは別個のファイルに保存されます。そうでない場合 (ILN NO の場合) には、レンズデータファイルに統合された状態で保存されます。いずれの方法にも相補的な長所と短所がありますから、状況によって使い分けて下さい。 ILN YES : INT、BMP、PCX、PNG の形式で定義されたデフォメーション、波面、強度フィルタのデータは、リンクファイルとしてレンズデータとは別個に保存されます。レンズデータを OpTaliX に読み込む際には、それらのファイルは、所定の場所に実際に存在し、保存した際のパス面とファイル名とでアクセスできる状態になければなりません。つまり、いったん保存したデフォメーションデータを別のホルダ等に移動した場合には、そのデータはアクセス不能となるということです。 ILN NO : デフォメーション、波面、強度フィルタデータがレンズデータの一部として統合された状態で保存されます。このため、OpTaliX のファイルとしては非常に大きなものとなります。その程度は、パータベーション (デフォメーション) あるいはフィルタの緻密さとサイズに依存します。また、何面に渡って、それらが定義されているかにもよります。しかし、この保存方法によれば、データが失われる心配はありません。
-------------------	---

デフォメーションデータの保存方法の変更は、メニューバーから次のように操作することによって変更できます。OpTaliX のメインメニューから、*Edit* → *Configuration Data* とたどると起動するダイアログボックスの *General* タブを開き、“Store 2-dim deformation with prescription data” にチェックをいれてください (図 8.35 参照)。このダイアログボックスは コマンドラインから `edi cnf` と入力することでも起動できます。

ご注意: Configuration Data の該当欄にチェックを入れ、いったん 2 次元デフォメーションデータをいったんレンズデータと共に保存した場合にはそのレンズデータについては、もうチェックをはずさないようにご注意ください。チェックをはずすと、もはやデフォメーションデータはオリジナルファイルを生成できず、結果、データが失われます。OpTaliX は、デフォメーションデータの保存方法を 2 種類提供していますが、レンズデータと共に保存することを選択した後は保存方法を変更すべきではありません。

8.27.2 符号の規約 (Sign Conventions)

正のデフォメーションとは、面のローカル座標系において常に +Z 軸の方向です。光線の進行方向にはよりません。このため、光学素子のどちら側の面が議論されるかによって、その物理的な意味が異なります。一例として単レンズを考えます (図 8.36)。左側の面における正のデフォメーションとは面に対するくぼみが深くなる方向を意味しますが、右側の面においては、隆起が高くなる方向を意味します。

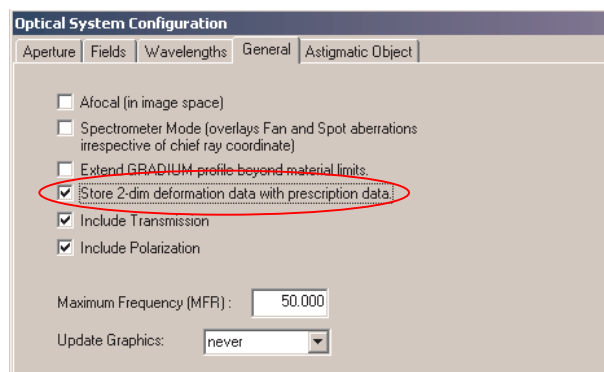


図 8.35: 干渉デフォーメーション、波面データまたはフィルタデータの保存方法を規定します。これらのデータをレンズデータの一部として同一ファイル中に保存する場合は、ここにチェックをいれてください。チェックを外した場合には、それらのデータはレンズデータとは独立した別ファイルに保存され、レンズデータ中には、そのファイルへのリンク情報だけが記録されます。

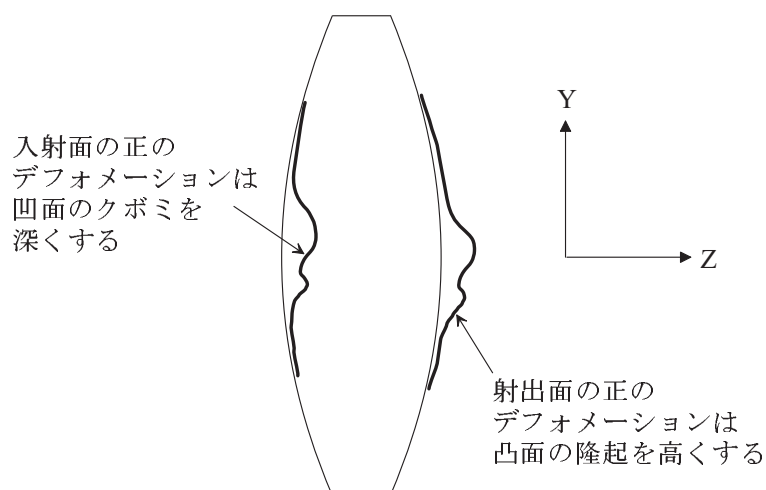


図 8.36: 符号の制約 / 面上の 2 次元デフォーメーションについて

方位を示すマークを付けた現品 (製品としてのレンズ) と、OpTaliX 上におけるデフォーメーション方位 (X,Y 軸) とを正しく対応付けるのは、製品の解析ミスを防ぐ意味で重要です。その際、図 8.37 に示すデフォーメーションプロットを出力すると、OpTaliX 座標系におけるデータが視覚化できるので有用です。このプロットは下記コマンドによって生成されます。

`plo int s3!` 第 3 面に貼付されたデフォーメーションデータをプロットします。

メニューからは、*Display* → *Show 2-dim. Surface Deformation*

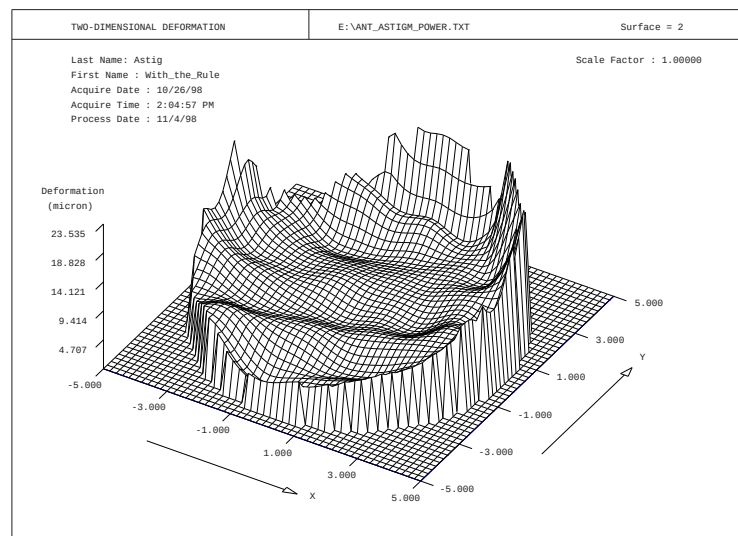


図 8.37: OpTaliX 座標系における 2 次元デフォーメーションのプロット。デフォーメーションは、常に正の Z 軸方向に対して示されます。ミラーあるいはティルトされた面を全く持たない光学系においては正の Z 方向とは光線の進行方向のことです (VIE コマンドによるレンズ断面図の左から右方向)。

8.27.3 干渉デフォーメーションデータ (Interferometric Deformation Data)

干渉計 (例えば ZYGO)、または他の外部プログラム (例えば NASTRAN) が出力した面形状のデフォーメーションデータは、INT コマンドを用いて OpTaliX に読み込みます。ファイルの書式は CodeV の INT ファイルに互換性があり、その詳細は 32.10 章に記述されています。

INT ファイルはそのデータ構造上、X および Y 方向のデータ間隔と測定物との幾何的な対応付けに関する情報を含みません。そのため、ファイル中のデータの単位長さと面上の物理的な長さの間の関係を別途、指定する必要があります。それはデフォーメーションデータを読み込む際に起動されるダイアログボックスに適切な値を設定することで行います (図 8.38)。デフォルトではファイルデータは対象となる面のクリアアパーチャ全面に対応付けられます。しかし X および Y 方向のデータ幅に対応させて面上の任意の物理的な長さ指定することも可能です。X および Y 方向の面上でのスケールが正しく一致しているかどうかは PLO INT コマンドで描画されるデフォーメーション図とスケールリング目盛りの関係を確認することで行えます (図 8.37)。

8.27.4 波面のパータベーション (Wavefront Perturbations)

波面のパータベーションデータは、INT ファイル形式 (32.10 章、520 ページを参照) で供給されなければなりません。この形式であればデータをそのまま読み込み、何の修正を加えることなく指定の面の情報として割り当てられます。

波面のパータベーション情報は面に関連付けられはしますが、面の形状そのものには何の影響も与えません。しかし光線の進行方向と光路差 (あるいは波面収差) には相応の影響を与えます。波面のパータベーションは通常、ダミー面に対して割り当てます。割り当てた結果は、PLO INT コマンドで確認できます。

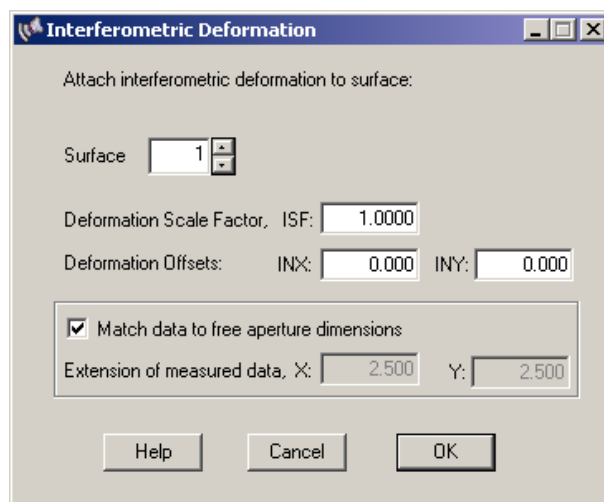


図 8.38: CodeV に互換性のある INT ファイルに保存された 2 次元デフォーメーションデータを読み込み指定の面に割り当てます。その際、デフォーメーション量をスケーリングできます。割り当て面の範囲も指定できます (デフォルトはクリアアパーチャ全面)。割り当て位置のオフセットも指定できます。

8.27.5 面上の強度アポダイゼーション (Surface Intensity Apodization)

強度アポダイゼーションデータは [INT ファイル](#) またはビットマップファイル (BMP、PCX、PNG ファイル) から読み込まれ指定の面に割り当てられます。面上のアポダイゼーションは光路に沿って透過強度を減少させるだけで、面形状や光線の進行方向には何の影響も与えません。つまり、強度アポダイゼーションは空間強度フィルタとしてのみ解釈されるということです。デフォルトでは、無効データ領域であることを指定 (詳細は [8.27.7](#) 章) した範囲を通過しない限り遮断されることはありません。ただし、IBZ 属性が設定されている場合 (詳細は [8.27.7](#) 章) には、フィルタを通過する各光線が持つ強度がゼロ (正確には < 0.001) となった段階で、その光線の追跡は中断されます。

強度アポダイゼーションは物体面と像面を除く任意の面に割り当て可能ですが、一般にはダミー面上に貼付します。アポダイゼーションの機能を使ってビームの強度プロファイルを表現する際には、アポダイゼーションデータが貼り付けられる面範囲とビームの到達領域 (面上のビームの太さ) との対応が適切でなくてはなりません。ビームプロファイルに対するアポダイゼーションの効果は、それを定義した面上の領域と光束が到達する面範囲に依存するからです。

INT ファイルに記述されるアポダイゼーションフィルタのデータは透過率であり、ゼロ以上の任意の値を定義できます。INT ファイルの書式については、[32.10](#) 章を参照してください。アポダイゼーションフィルタは、ビットマップファイルの形式 (BMP、PCX あるいは PNG) でも設定できます。この場合は、グレースケールで 0 から 255 がそれぞれ透過率ゼロ から 透過率 100% に対応します。

アポダイゼーションフィルタは、[INX](#) および [INY](#) コマンドを使用して、X 方向と Y 方向にオフセットをしながら面上に配置できます。[PLO INT](#) コマンドを使えばアポダイゼーションの面上スケールと配置を確認できます。強度データの反転とスケーリングはできません。系の透過率に対する強度アポダイゼーションの影響は、瞳強度マップ ([PMA](#)) を描画することで確認できます (詳細は [14.1.9](#) 章を参照)。

強度アポダイゼーションフィルタの効果をアクティブにするために透過率解析 ([TRA yes|no](#)) および偏光解析 ([POL yes|no](#)) の機能をアクティブに設定する必要はありません。強度アポダイゼーシ

ンはいったん面に貼付されると常に有効です。

8.27.6 Orbscan II トポグラフィシステムが出力するデフォメーションデータの取り扱い (Deformations from Orbscan II Topography System)

Bausch & Lomb 社製の“Orbscan II”トポグラフィシステムはヒトの目の外科的治療装置です。この装置が出力した面のデフォメーションデータは、OpTaliX では ORB コマンドで読み込まれ、面に割り付けられます。ORB コマンドは専用のファイル書式を前提としているという点を除けば、機能的に INT コマンドと同等です。

データは、“Recorder” オプション (詳細は Orbscan のマニュアルを参照) を指定することでデカルト座標形式 (直交グリッドデータ) で ASCII ファイルに出力されなくてはなりません。

コマンドラインからの読み込む場合のコマンド例は、

```
orb s3 file c:¥temp¥def.data.txt
```

ファイルの拡張子は任意に指定できます。コマンド中には文字“file”を記述しなくてはなりません。それに続いて、パス名とファイル名を指定します。メインメニューからも同じファイルにアクセスできます。

File → Import → Orbscan Map Data

ファイルを選択するダイアログボックスが起動しますから、デフォメーションデータを含むファイルを選択して下さい。データの面への割り当ては、図 8.39 で示すダイアログボックスによって行います。面の配置位置の X,Y 方向のオフセット (INX, INY) だけでなく、デフォメーション量のスケールリングも指定できます。スケールリングファクタ ISF に -1 を指定すると、デフォメーションデータの符号 (デフォメーションの凹凸) が反転します。

Orbscan マップデータは、OpTaliX と同様に左手座標系で定義されていますので、読み込みおよび割り付けにあたって符号の反転や左右の入れ替えのようなデータ処理は全く必要ありません。したがって、スケールファクタ ISF は +1 とします。

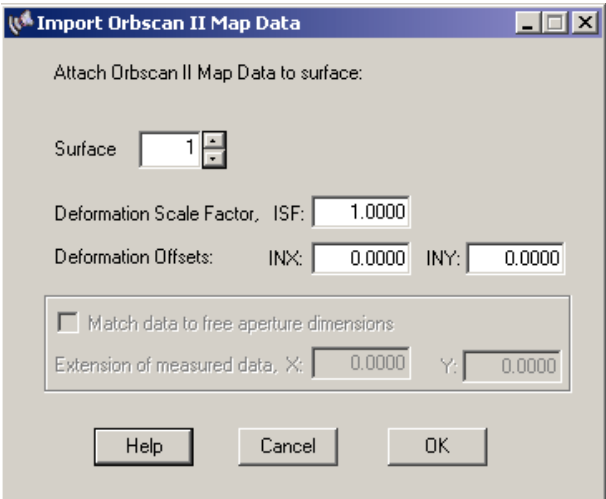


図 8.39: Orbscan のマップデータ (2 次元のデフォメーション) を OpTaliX の面に割り付けるためのダイアログボックス。スケールファクタと割付位置の X/Y オフセットも指定できます。デフォメーションデータと実際の物理寸法との対応は、Orbscan ファイルに明示的に記述されていますから、これに関連した入力欄は必要なく灰色に塗りつぶされています。

8.27.7 無効データ領域における光線のふるまい (Behaviour of Rays in Regions of No Data)

干渉データには、値のない領域 (無効データ領域) を含んでもかまいません。このようなデータが生じる原因としては測定サンプルのサイズに起因するクリッピング、遮蔽の他、干渉縞に含まれるノイズや照度不足などが考えられます。無効データは、デフォメーション・データファイル中の **NDA** の項に定義された数値として示されます。言い換えると、ここに示される値が記述された領域のデータは無効であると見なされます。

該当面が固定アパーチャ面として定義されているか否か) に関わらず、無効データ領域に光路をとる光線の追跡はされません。これに加え、**IBZ** コマンドを使えば、各光線の強度がゼロ (正確には < 0.001) に到達した場合に、その光線の追跡を中止できます。

IBZ si..j sk Yes No	このオプションは、強度フィルタを設定した面にのみ適用されます。IBZ sk YES を設定すると、フィルタ通過後に各光線が有する強度がゼロ (< 0.001) となる場合に、その光線の追跡は中止されます。IBZ sk NO を指定した場合には、強度フィルタによって抑制された強度にかかわらず、光線追跡は継続されます。 IBZ オプションは、きわめて複雑なアパーチャ形状を定義する際に特に便利です。INT ファイルまたはビットマップファイルで定義されるどんな形状であつても、それを強度フィルタとして所望の面に貼り付け、IBZ sk YES と設定するだけで、その形状がアパーチャとして定義され、強度ゼロとなる光線がブロックされるようになります。
----------------------------	--

8.27.8 干渉デフォーメーションの描画 (Display Interferometric Deformation)

面に割り付けられた干渉デフォーメーションは、PLO INT コマンドを使うことで描画できます。

PLO INT sk [?]	面に割り付けられた干渉デフォーメーションを描画します。疑問符 (?) を添えてコマンドを実行すると、描画パラメータを設定するためのダイアログが起動します。
----------------	---

図 8.40 (145 ページ) は干渉デフォーメーションの描画例です。この例のように、干渉データファイルを開口サイズに割り付けて描画できます。干渉データファイルが開口に割り付けられるとき、その実サイズが決定されることに注意してください。ただし、そのサイズは [IRX](#), [IRY](#) コマンドでいつでも変更できます。

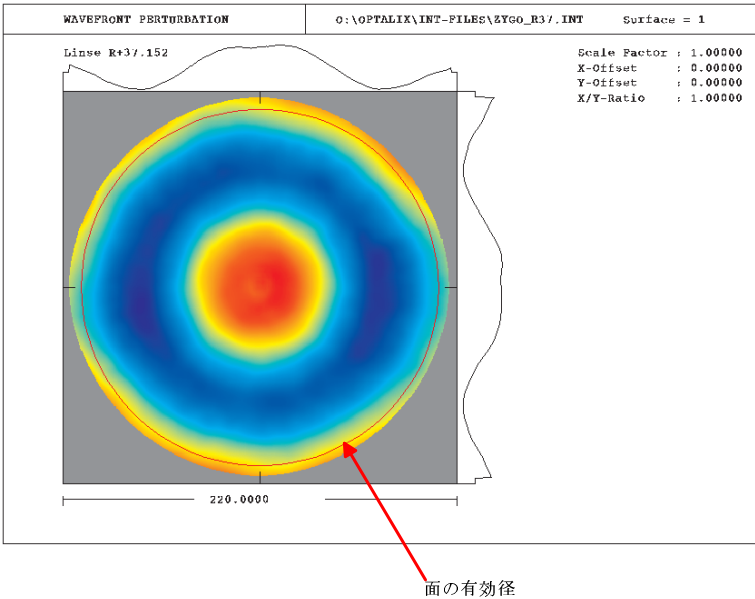


図 8.40: 面に割り付けられた干渉デフォーメーションを描画します。開口サイズは赤色で表示され、干渉データが割り付けられている領域との相互関係を直接に比較できます。

干渉デフォーメーションの描画方法は、次の 4 種類から選択できます。ワイアグリッド、グレイスケール、擬似カラープロット、X/Y 断面図。OpTaliX の現行バージョンでは、描画方法の変更はダイアログからのみ行えます。ダイアログの起動は PLO INT ? コマンドです。

8.28 ツェルニケ・デフォーメーション面 (Zernike Deformation Surface)

ツェルニケ・デフォーメーション面は、球面、非球面 あるいは トロイダル面など、任意の面タイプと組み合わせて使用できます。面タイプ (SUT コマンド) は “Z” ですが、必須の面タイプ (“S” や “A”) と組み合わせて指定します。面のデフォーメーションは、“フリンジ・ツェルニケ多項式” によって定義されます。この多項式には最大 36 個までの係数を定義できます。

コマンド一覧:

ZRN [si..j sk] ci..j	si..j 面にツェルニケ係数 ci..j を設定
ZRN si..j sk FIL f_name	f_name と名付けられたファイルからツェルニケ・デフォメーション係数を読み込み、sk 面あるいは、面範囲 si..j に割り付けます。ファイル名の前には文字列“FIL”を指定する必要があります。ツェルニケ係数のファイル書式は 32.4 章を参照してください。
ZRN WAV [fi] ZRN WAV [fi]	参照波長に対する画角 fi の波面収差をツェルニケ多項式にフィッティングします。 主波長における視野角 fi における波面収差をツェルニケ多項式にフィッティングします。どの係数を使ってフィッティングするかを ZWACT コマンドを使って、あらかじめ設定しておく必要があります
PLO ZRN si	si 面に貼り付けられたツェルニケ係数に基づいて合成したツェルニケ波面をプロット
EDI ZRN si	si 面のツェルニケ係数を編集するためのダイアログボックスを起動します。
INR [si..j sk] radius	si..j sk で指定した面範囲において、ツェルニケデータに対する単位円の半径をここで指定する“面上の実半径”に対応付けます。INR のデフォルト値は、その面の光線有効半径です。 注意: もし 設定された radius の値が ツェルニケ デフォメーションを実際の光線有効半径よりも小さな径に対してスケールリングする場合には、INR radius の外側のデータは外挿されることになります。この部分のデータは確からしいとはいえません。ご注意ください。
次ページに続く	

前ページから続く	
ZACT si..j sk ci..j act1 act2 ...	指定した面 (あるいは面範囲) に関するツェルニケの各係数の有効/無効を切り替えます。係数を有効にするとは、その係数が波面の合成に寄与し、光学評価に影響を与えるという意味です。設定の対象となる係数の番号は 識別子 “c” を付けて 指定します。”act” は整数で、0 か 1 を設定できます。0 を設定した場合には 係数は無効状態にセットされ、1 を設定した場合には有効な状態にセットされます。係数識別子 “c” を省略することもできますが、この場合には一連の係数が有効か無効を示す 整数値の並びで指定します (下記の 3 つ目の例を参照)。 例: zact s2 c1 1 ! 第 2 面でツェルニケの第 1 係数を有効状態にセット zact s2..3 c1..5 1 ! 第 2 から 3 面の範囲でツェルニケの第 1 係数から第 5 係数のすべてを有効状態にセット zact s2 1 0 1 0 1 ! ツェルニケの第 1,3,5 係数を有効状態に、第 2,4 係数を無効状態にセットします ZACT コマンドの代わりに EDI ZRN コマンドを使えば、ツェルニケ係数を編集するためのスプレッドシートエディタが開きます。ここでも係数の有効/無効状態をセットできます。ツェルニケ係数の定義は、8.28.2 章を参照してください。
	次ページに続く

前ページから続く	
ZWACT ci..j act1 [act2 ...]	波面をツェルニケ多項式でフィッティングする際に用いられる係数の有効/無効を設定します。設定の対象となる係数の番号は識別子“c”を付けて指定します。”act”は整数で、0か1を設定できます。0を設定した場合には係数は無効状態にセットされ、1を設定した場合には有効な状態にセットされます。係数識別子である“c”を省略することもできますが、この場合には一連の係数が有効か無効を示す整数値の並びで指定します(下記の3つ目の例を参照)。整数値が0ならば係数は無効状態にセットされ、1ならば有効な状態にセットされます。ZWACTが対象とするのはあくまでも光学系の全系を通した波面であり、各面の面形状デフォメーションではないので、個別の面指定をする必要はありません。 例: zwact c1 1 ! ツェルニケの第1係数を波面フィッティングで使用されるようにセット zwact c1..5 1 ! ツェルニケの第1-5係数を波面フィッティングで使用されるようにセット zwact 1 0 1 0 1 ! 波面収差のフィッティングにおいて、ツェルニケの第1,3,5を有効にセットし係数2,4を無効にセット ZWACT コマンドの代わりに EDI ZRN コマンドを使えば、ツェルニケ係数を編集するためのスプレッドシートエディタが開きます。エディタ画面の面番号の指定欄“surface”に“Wavefront”を設定し、次いで波面フィッティングの対象とする係数の有効/無効状態をセットしてください。特定の画角に対する波面収差を実際にツェルニケ多項式にフィッティングするためのコマンドは WAV ZRN です。ツェルニケ係数の定義は、8.28.2章を参照してください。
WZRN Ci..j	波面のツェルニケ係数 ci..j に指定の値を設定します。通常は波面のツェルニケ係数は実際の波面収差をフィッティングすることによって求められます (ZRN WAV) が、WZRN コマンドは、フィッティング処理ではなく、コマンドラインに指定した値を直接、係数に代入するものです。係数の値をさらに編集するには、EDI ZRN コマンドを使ってツェルニケ係数を編集するためのスプレッドシートエディタを開きます。

例 1:

製造工程で発生する典型的な面形状の不規則痕は、所望の面にツェルニケ・デフォメーションを指定することでシミュレートできます。例えば球面レンズの製造で発生しがちな“シンクロ速度”の影響

は、図 8.28 に示すツェルニケの第 9 項 (Z9) だけを用いて良く近似できます。仮に、この項にのみ由来する不規則痕の最大振幅が直径 30mm の面上で波長 $\lambda = 633\text{nm}$ において $\tau = 0.5\text{wavesPV}$ と測定されたならば、係数 Z_9 の値は次のように計算されます。

単位円の内部において Z_9 の範囲は $-0.5 < Z_9 < 1.0$ なので、 Z_9 の PV は 1.5。これを上記条件と対応づけるには

$$Z_9 = \frac{\tau}{PV_{\text{unit-circ}} R} \cdot \lambda_{633} = \frac{0.5 \cdot 0.000633}{1.5 \cdot 15} = 1.41 \cdot E^{-5} \quad (8.80)$$

ここで、 R は面のアパーチャ径 (半径) です。また波長 λ_{633} は多くの干渉計の測定波長が He-Ne レーザの発振波長である 0.000633mm であることに対応しています。このデフォーメーションは、次のコマンド列によって入力します。ただし、“!” マークとその右側の文字はコメントですから入力する必要がありません。

```
SUT s2 SZ          ! 面タイプとして、球面 (S) およびツェルニケ (Z) を指定します
ZRN s2 c9 1.41e-5  ! 第 2 面に対するツェルニケの第 9 係数を指定します
```

ツェルニケ係数を指定する、もうひとつの方法は **EDI ZRN** コマンドにより起動するツェルニケ・スプレッドシートを使うものです。その詳細は 8.28.1 章、150 ページをご覧ください。ツェルニケ・デフォーメーションとしての面タイプ (“Z”) の指定は、面のスプレッドシート (**EDI SUR** で起動します) を使って変更可能です。

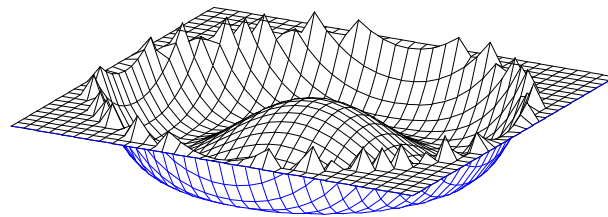


図 8.41: ツェルニケの第 9 係数だけで表現したツェルニケデフォーメーション

例 2:

ZRN WAV コマンドを使えば、所望の画角における波面収差をツェルニケ多項式にフィッティングできます。いま、第 2 画角に対するツェルニケ係数を求めたいとしましょう。まず最初にするのは、どの (何次の) ツェルニケ係数をフィッティング処理の対象に含めるか (有効な係数として多項式に組み込むか) を指定することです。これを決めればフィッティングを実行できます。これらを実行するコマンド例として

```
ZWACT 0 1 1 1 1 1 1 1  ! 波面をフィッティングするため、ツェルニケの第 2-8 を係数を
                           有効にします。係数 1 と 9-36 はフィッティングの対象にはなり
                           ません。
```

```
ZRN WAV f2              ! 第 2 画角に対する波面のフィッティングを行います。
```

結果として以下の出力が得られます。

Zernike polynomial fit of wavefront at field 2 colour 2

#	coefficient (unit = micron)	coefficient (unit = wave)	Remark
2	-0.817072827	-1.39053	Y-Tilt
3	1.184744104	2.01624	Defocus
4	-1.401898817	-2.38580	Astigmatism 3rd Order, 0 and 90 deg.
5	0.000000000	0.00000	Astigmatism 3rd Order, +/- 45 deg.
6	0.000000001	0.00000	X-Coma and Tilt, 3rd Order
7	-2.191878576	-3.73022	Y-Coma and Tilt, 3rd Order
8	1.450299352	2.46817	Spherical and Focus, 3rd Order

8.28.1 ツェルニケ・エディタ (Zernike Spreadsheet Editor)

図 8.42 に示すツェルニケ・エディタを使えばツェルニケ係数は、より簡便に入力できます。このエディタはコマンドラインから **EDI ZRN** と入力すれば起動します。波面収差のフィッティングと同様に、物体面と像面以外であれば任意の面番号を指定することで、その面に関するツェルニケ・デフォーメーション係数を入力できます。面番号のかわりに“Wavefront” (波面) を選択すると 射出瞳面上の波面収差に関するツェルニケ係数を指定できます。この場合には係数を入力してもそれに対応する波面が生成されるわけではありません。つまり、“Wavefront” (波面) を指定するのは、所望の画角に対する光学系の波面収差をツェルニケ多項式にフィッティングし、各係数を格納したい場合のみ意味を持ちます。フィッティングにあたって、どのツェルニケ係数を用いるかを指定するため、係数欄の右側のボックスにチェックをいれてください。

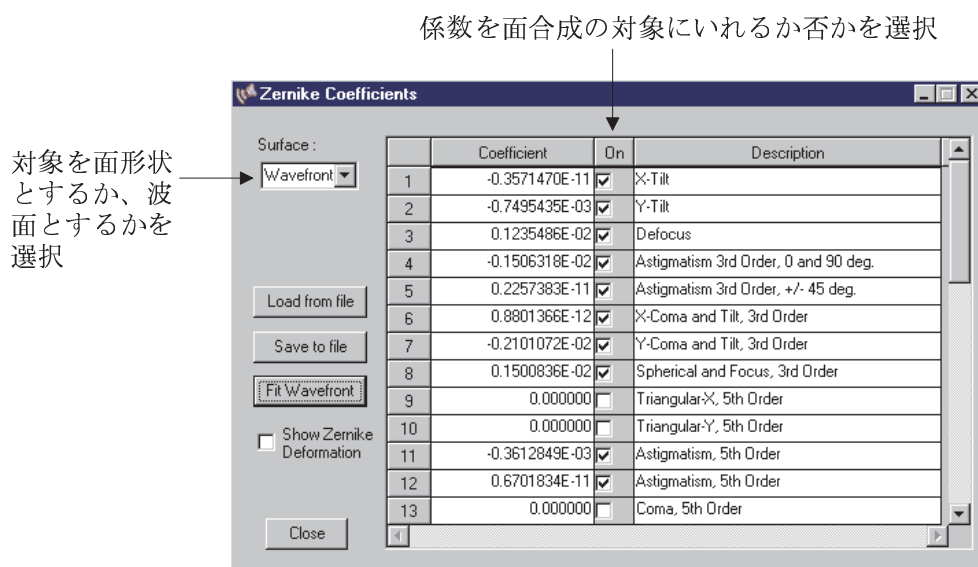


図 8.42: 面に対するデフォーメーションと射出瞳面上の波面収差に関するフリッジ・ツェルニケ係数の編集画面

ツェルニケ係数はファイルに保存したり、ファイルから読み込んだりできます。

8.28.2 フリンジ・ツェルニケ多項式の定義 (Definition of Fringe Zernike Polynomials)

ツェルニケ多項式は、径と方位に展開された circle polynomial です。この多項式は単位円に対する正規直交系としての性質をもっています。このことは、多項式の各項が互いに他の項と独立しているということを意味します。それゆえ特定の項を追加しても、あるいは取り除いたとしても他の項の値に影響を与えません。この性質は波面を成分に分解して表示するのに好都合であり、実際、頻繁に用いられています。ツェルニケ多項式は厳密には連続的なデータに対してだけ正確ですが、円形アパーチャ上で均等にサンプリングされたデータについても概ね正確です。ツェルニケ多項式の一般形は下記のとおりです。

$$Z_n^m(r, \phi) = R_n^m(r) [\cos m\phi + \sin m\phi] \quad (8.81)$$

ここで、 r (半径) と ϕ (方位角あるいは位相) は、単位円内の極座標です。一般的に波面データは光学系の瞳の直交座標 x_p, y_p に対して表現されます。 $[r, \phi]$ と $[x_p, y_p]$ との関係は次のとおりです。

$$x_p = r \cos \phi \quad (8.82)$$

$$y_p = r \sin \phi \quad (8.83)$$

OpTaliX は、下記の係数からなるフリンジ・ツェルニケ多項式を取り扱えます。これは標準ツェルニケ多項式の部分集合ですが、本質的には項の順序を入れ替えただけにすぎません。多くの干渉計システムが、この形式を採用しています。

1	1.0	オフセット
2	$R \cos \Phi$	X ティルト
3	$R \sin \Phi$	Y ティルト
4	$2R^2 - 1$	デフォーカス
5	$R^2 \cos 2\Phi$	$\Phi = 0^\circ$ あるいは 90° での 3 次の非点収差
6	$R^2 \sin 2\Phi$	$\Phi = \pm 45^\circ$ での 3 次の非点収差
7	$(3R^3 - 2R) \cos \Phi$	3 次の X コマ収差とティルト
8	$(3R^3 - 2R) \sin \Phi$	3 次の Y コマ収差とティルト
9	$6R^4 - 6R^2 + 1$	3 次の球面収差とデフォーカス
10	$R^3 \cos(3\phi)$	5 次の X 方位の三角アス
11	$R^3 \sin(3\phi)$	5 次の Y 方位の三角アス
12	$(4R^4 - 3R^2) \cos(2\phi)$	5 次の非点収差
13	$(4R^4 - 3R^2) \sin(2\phi)$	5 次の非点収差
14	$(10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(\phi)$	5 次のコマ収差
15	$(10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(\phi)$	5 次のコマ収差
16	$20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1$	5 次の球面収差
17	$R^4 \cos(4\phi)$	7 次の X 方位の平方アス
18	$R^4 \sin(4\phi)$	7 次の Y 方位の平方アス
次ページに続く		

前ページから続く		
19	$(5R^5 - 4R^3) \cos(3\phi)$	7 次の X 方位の三角アス
20	$(5R^5 - 4R^3) \sin(3\phi)$	7 次の Y 方位の三角アス
21	$(15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2\phi)$	7 次の非点収差
22	$(15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2\phi)$	7 次の非点収差
23	$(35R^7 - 60R^5 + 30R^3 - 4R) \cos(\phi)$	7 次のコマ収差
24	$(35R^7 - 60R^5 + 30R^3 - 4R) \sin(\phi)$	7 次のコマ収差
25	$70R^8 - 140R^6 + 90R^4 - 20R^2 + 1$	7 次の球面収差
26	$R^5 \cos(5\phi)$	9 次の 5 連アス
27	$R^5 \sin(5\phi)$	9 次の 5 連アス
28	$(6R^6 - 5R^4) \cos(4\phi)$	9 次の平方アス
29	$(6R^6 - 5R^4) \sin(4\phi)$	9 次の平方アス
30	$(21R^7 - 30R^5 + 10R^3) \cos(3\phi)$	9 次の三角アス
31	$(21R^7 - 30R^5 + 10R^3) \sin(3\phi)$	
32	$(56R^8 - 105R^6 + 60R^4 - 10R^2) \cos(2\phi)$	9 次の非点収差
33	$(56R^8 - 105R^6 + 60R^4 - 10R^2) \sin(2\phi)$	9 次の非点収差
34	$(126R^9 - 280R^7 + 210R^5 - 60R^3 + 5R) \cos(\phi)$	9 次のコマ収差
35	$(126R^9 - 280R^7 + 210R^5 - 60R^3 + 5R) \sin(\phi)$	9 次のコマ収差
36	$252R^{10} - 630R^8 + 560R^6 - 210R^4 + 30R^2 - 1$	9 次の球面収差
37	$924R^{12} - 2772R^{10} + 3150R^8 - 1680R^6 + 420R^4 - 42R^2 + 1$	11 次の球面収差

8.29 ツェルニケ位相面 (Zernike Phase Surface)

ツェルニケ位相面は、光学系のノミナルな波面収差に追加の波面収差成分を加えます。実測によって得られた干渉データを加算する際に有用な機能です。詳細は、将来の OpTaliX マニュアルに記述されます。

8.30 ユーザ定義面 (User-Defined Surface (UDS))

ユーザー定義面 (user-defined surface) の機能を使えば、任意の面形状に対する光線追跡が可能となります。これを実現するには対象とする面形状をユーザがプログラミングし、OpTaliX に組み込む必要があります。いったん組み込みが完了すれば、OpTaliX の内部で光線がユーザー定義面に到達するたびに OpTaliX は光線追跡に関わる情報をユーザプログラムに引き渡します。ユーザプログラムは、引き渡された情報を元に、面のサグ量または面の法線方向余弦を OpTaliX に返します。OpTaliX は、それを利用して光線追跡を続行します。

面をユーザー定義面として扱うには、面タイプを“U”に変更します。そのためのコマンドは UDS コマンドです。UCO コマンドで指定する面形状係数は、OpTaliX から、光線の情報とともにユーザプログラムに引き渡されます。

UDS si..j sk	面範囲 si..j、または面 sk の面タイプをユーザ定義面 ("U") に変更します。同様の操作を SUT コマンド (58ページ参照) で行うこともできます。面形状係数はいずれも下欄に示す UCO コマンドを用いて設定します。面形状は、DLL としてコンパイルされる FORTRAN 言語で記述したサブルーチン "usersur.f90" または C 言語で記述された関数 "usersur.c" を用いて定義します。
UCO si..j sk ci..j coefficient	si..j sk 面に usersur.f90 によって定義されたユーザ定義面 (UDS) の面形状係数を指定します。係数は c1 から c91 までの 91 個が指定できます。

8.30.1 ユーザ定義面の作成方法 (Creating a User-Defined Subroutine)

連続な面、つまり面上のあらゆる位置で微分可能な面形状と、その法線ベクトルを FORTRAN 言語または C 言語でプログラミングするだけです。ただしそれは "usersur.f90" (FORTRAN 言語の場合) および "usersur.c" (C 言語の場合) というファイル名で記述しなくてはなりません。また、そのサブルーチン名 (C 言語の場合は関数名) は小文字で正確に "usersur" でなければなりません。OpTaliX は、これ以外の名前を認識しません。

OpTaliX とのプログラミング・インターフェースを簡潔に説明するため、"usersur" の一例を示します。この例は放物面を定義するものです。ソースコードは 8.30.3 から 8.30.5 に記載した他、下記フォルダの下位フォルダにそれぞれ Lahey/Fujitsu FORTRAN、Intel FORTRAN、Compaq Visual FORTRAN、それに Microsoft Visual C compilers の各コンパイラ用のソースコードを保存してあります。

FORTRAN 用 ¥optalix¥usersur¥Fortran

C/C++用 ¥optalix¥usersur¥C

usersur サブルーチンはもし必要なら、そこから他のサブルーチンを参照したりデータファイルを読み込んだりしてもかまいません。

usersur サブルーチンはユーザ定義面と光線との交点を計算するために繰り返し OpTaliX から引用されます。面と光線との交点が見つかったと、その点における面の法線が求められます。サブルーチン usersur の引数 icalc はその時点において交点を求めようとしているのか、あるいは法線を求めようとしているのかを区別するために使われます。ユーザが FORTRAN 言語または C 言語で記述しようとする usersur は、次のパラメータを引数として含まなくてはなりません。

usersur(icalc, isur, curv, sdata, x, y, z, xn, yn, zn, i_err)

これらの意味は次表のとおりです。

icalc	入力用の引数：計算モードです。面形状を求めるか、あるいは法線を求めるかを示します。 1 = 面座標 x,y における面深さ (サグ量) z を求めます。 2 = 面座標 x,y,z における面の法線の方向余弦 xn,yn,zn
次ページに続く	

前ページから続く	
isur	入力用の引数：評価すべき面の番号。個別の面に対してそれぞれ異なった面形状を適用する場合に、それを識別するために使います。もし単一の UDS 面を使うにすぎないならば、このパラメータは必ずしも必要ではありません。下記に示した注記も参照してください。
curv	入力用の引数：面の頂点曲率。このパラメータを usersur で使わなくてはならないということではありません。しかしサブルーチンの内部で近軸量や3次収差を求める場合には有用です。
sdata	入力用の引数： OpTaliX から usersur サブルーチンに引き渡すデータを格納した91個の要素からなるアレイです。 sdata の要素は、 OpTaliX に設定するUCOの各係数に対応しています。例えば、C25は sdata (25)として usersur に引き渡されます。
x,y,z	入力用の引数：面の原点座標からみた、光線の現在座標。 Z は出力用の引数としても使われます。下記参照。
z	出力用の引数：光線の現在座標 x,y に相当する UDS 面の Z 座標値。面頂点からの(面深さ)を OpTaliX に返します。
xn,yn,zn	出力用の引数：座標 (X,Y,Z) における UDS 面の法線方向余弦。
i_err	出力用の引数：エラーフラグ。 usersur サブルーチンの処理に問題が発生していなければ、0。それ以外は1。

注記:

同時にはただ一つの **usersur** サブルーチンだけを **OpTaliX** にリンクできます。したがって、光学系に含まれる全ての **UDS** タイプ (異なった数式によって定義される別種の面形状) をただ一つの **usersur** サブルーチン内に記述しなくてはなりません。ここでは、そのための方法を2種類紹介します。

ひとつは引数 **isur** が示す面番号を使って、求めるべき面の形状と法線方向余弦の計算処理を切り替える方法です。この方法は **usersur** に対して明示的なデータを引き渡すことなく定義の切り替えが行えるので、パターン化されたレンズパラメータを繰り返し処理する場合に便利です。**FORTRAN** によるコーディングは次の要領で行います。

```

if(isur .eq. 3) then
  ! ここに 第3面用のコードを記述します。
elseif(isur .eq. 7) then
  ! ここに 第7面用のコードを記述します。
endif

```

もうひとつの方法は、**UCO** のうち任意の要素にユーザが定義した **UDS** 面タイプ番号を指定し、逐一、これを **usersur** サブルーチンに引き渡す方法です。この方法であれば、任意の **UDS** 面形状が、任意の順序で現れたとしても混乱することなく、**usersur** 内部の定義を切り替えられます。

```

if(sdata(1) .eq. 1) then
  ! ここに UDS タイプ (1) のコードを記述します。

```



```
elseif(sdata(1) .eq. 2) then
  ! ここに UDS タイプ (2) のコードを記述します。
endif
```

上記のいずれかの方法を用いれば、たとえ **usersur** サブルーチンはただひとつしか記述できなくとも、実質的に取り扱える UDS のタイプ数に制限はなくなります。

8.30.2 ユーザ定義面の作成に利用できる言語および言語処理系 (コンパイラ) (Languages and Compilers Supported)

ユーザ定義面の作成、つまり **usersur** の作成には FORTRAN 言語および C 言語が利用できます。次節では、種々の言語処理系 (コンパイラ) に関する **usersur** 記述上の勘所をプログラミング例を用いて説明します。これらの例は、`\optalix\usersur` フォルダの下位フォルダに言語の種類およびコンパイラの種類ごとに保存してあります。

OpTaliX は Lahey/Fujitsu FORTRAN、Intel FORTRAN、Compaq Visual FORTRAN、および Microsoft Visual C++ コンパイラに対応しています。いずれのコンパイラも 32bit バージョンでなければなりません。16bit バージョンには対応していません。どのコンパイラも、下記に示すバージョンか、それよりも新しいバージョンでなければなりません。

Lahey Fujitsu	FORTRAN-95, バージョン 5.7 または それ以降の版
Compaq	Visual FORTRAN, バージョン 6.6 または それ以降の版
Intel	FORTRAN-95, バージョン 7.1 または それ以降の版
Microsoft	Visual C/C++, バージョン 5.0 または それ以降の版

8.30.3 Lahey/Fujitsu Fortran 90 によるコンパイル法 (Compiling with Lahey/Fujitsu Fortran 90)

Lahey/Fujitsu FORTRAN に適合したユーザ定義面 (UDS) のソースコード例を示します。

```
subroutine usersur(icalc,isur,curv,sdata,x,y,z,xn,yn,zn,i_err)
!
! Lahey/Fujitsu FORTRAN 用 の ユーザ定義面のサンプル・ソースプログラムです。
! ユーザ定義面 (ここでは放物面) の面形状と法線ベクトル (方向余弦) を示します。
!
! 引数一覧 :
! -----
! icalc = 1 : この時、座標 (x,y) に対する面深さ z を計算 (input)
!           = 2 : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦 xn,yn,zn 計算 (input)
! isur    : 面番号 (input)
! curv    : 面の曲率 (input)
! sdata(81) : 面形状係数を格納したアレイ (input)
!           たとえば、sdata(1) には UCO C1 コマンドで
!           入力した結果が格納される
! x,y,z    : 面の原点座標からみた、光線の現在座標 (input)
! xn,yn,zn : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦 (output)
! i_err    : エラーフラグ (0 = エラーなし, 1 = エラー) (output)
!           注) エラーフラグはユーザによって適切にセットされなければなりません。
!
! 注意
! -----
! 下記に示すプログラムは、中心曲率 "curv" をもつ放物面の面座標と法線の
! 方向余弦を求めるものです。
! ユーザは、定義したい面形状ごとに個別にプログラムを作成しなくては
! なりません。
```

```

!      ただし、"ISUR" を使って面番号により処理を分岐させるか、あるいは
!      sdata() のうちの要素をひとつ使って UDS 面タイプを定義し、それを
!      よりどころとして処理を分岐させることにより、単一の usersur サブルーチン
!      であっても複数の面形状を定義できます。
!
!
!      dll_export usersur
!      integer          :: icalc,i_err,isur
!      double precision :: x,y,z,xn,yn,zn,curv,sdata(91)
!      double precision :: fnorm
!
!      i_err = 0
!
!      z = 0.5d0*curv*(x*x + y*y)      ! 放物面のサグ量 (surface z-value, paraboloid)
!
!      if(icalc.ge.2) then              ! 面の法線 (calculate surface derivatives at x,y,z)
!          xn = x*curv
!          yn = y*curv
!          fnorm = dsqrt(xn*xn + yn*yn + 1.0d0)
!          xn = xn/fnorm
!          yn = yn/fnorm
!          zn = -1.0d0/fnorm
!      endif
!
!      return
!      end

```

usersur.f90 に記述された引数並びは、上記のまま変更しないでください。コンパイルおよび *dynamic link library* (DLL) の生成は、Lahey/Fujitsu FORTRAN-95 のバージョン 5.7 あるいはこれ以降の版で行って下さい。これ以前の版は OpTaliX に適合する DLL を生成できません。

Lahey/Fujitsu FORTRAN (LF95) を使って 32 bit の Windows DLL を生成するには、-d11 スイッチの指定が不可欠です。例えば:

```
LF95 usersur.f90 -d11 -win -ml LF95
```

DLL インターフェースを介して 処理手続きが ユーザプログラムを参照するには、コンパイラは手続き名と、DLL の外部参照名をどのように修飾しているかを知らなくてはなりません。手続き名は 'usersur.f90' ファイル中の 'dll_export' 文で定義されます。'dll_export' 文の手続き名 'usersur' は大文字・小文字の区別があります。OpTaliX にこの DLL を認識させるには、必ず小文字で定義しなければなりません。

8.30.4 Intel Fortran 90 および Compaq Visual Fortran によるコンパイル法 (Compiling with Intel Fortran 90 and Compaq Visual Fortran)

Intel Fortran と Compaq Visual Fortran に関するソースコードは互換性があります。このことは Intel 7.1 と Compaq 6.6 との間で確認済みです。下記は Intel/Compaq FORTRAN に適合したユーザ定義面 (UDS) のソースコード例です。

```

      subroutine usersur_(icalc,isur,curv,sdata,x,y,z,xn,yn,zn,i_err)
!
!      Intel/Compaq FORTRAN 用の ユーザ定義面のサンプル・ソースプログラムです。
!      ユーザ定義面（ここでは放物面）の面形状と法線ベクトル（方向余弦）を示します。
!
!      引数一覧  :
!      -----
!      icalc  = 1 : この時、座標 (x,y) に対する面深さ z を計算          (input)
!                = 2 : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦 xn,yn,zn 計算 (input)
!      isur   : 面番号                                          (input)
!      curv   : 面の曲率                                          (input)
!      sdata(81) : 面形状係数を格納したアレイ                      (input)
!                  たとえば、sdata(1) には UCO C1 コマンドで
!                  入力した結果が格納される
!      x,y,z   : 面の原点座標からみた、光線の現在座標          (input)

```

```

!      xn,yn,zn   : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦           (output)
!      i_err      : エラーフラグ (0 = エラーなし, 1 = エラー)           (output)
!
!      注意
!      -----
!      下記に示すプログラムは、中心曲率 "curv" をもつ放物面の面座標と法線の
!      方向余弦を求めるものです。
!      ユーザは、定義したい面形状ごとに個別にプログラムを作成しなくては
!      なりません。
!      ただし、"ISUR" を使って面番号により処理を分岐させるか、あるいは
!      sdata() のうちの要素をひとつ使って UDS 面タイプを定義し、それを
!      よりどころとして処理を分岐させることにより、単一の usersur サブルーチン
!      であっても複数の面形状を定義できます。

!DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT:: usersur_
!DEC$ ATTRIBUTES ALIAS: 'usersur_':: usersur_ ! forces lower case

!
!      integer      :: icalc,i_err,isur
!      double precision :: x,y,z,xn,yn,zn,curv,sdata(91)
!      double precision :: fnorm
!
!      i_err = 0
!
!      z = 0.5d0*curv*(x*x + y*y)      ! surface z-value (paraboloid)
!
!      if(icalc.ge.2) then              ! calculate surface derivatives at x,y,z
!          xn = x*curv
!          yn = y*curv
!          fnorm = dsqrt(xn*xn + yn*yn + 1.0d0)
!          xn = xn/fnorm
!          yn = yn/fnorm
!          zn = -1.0d0/fnorm
!      endif
!
!      return
!      end

```

usersur.f90 に記述された引数並びは、上記のまま変更しないでください

コンパイルおよび *dynamic link library* (DLL) の生成は、Compaq Visual FORTRAN バージョン 6.6 か Intel FORTRAN-95 バージョン 7.1、あるいはそれら以降の版で行って下さい。これ以前の版は OpTaliX に適合する DLL を生成できません。

Intel FORTRAN の場合: コンパイルおよび *dynamic link library* (DLL) の生成は、Intel FORTRAN-95 バージョン 7.1 またはそれ以降の版で行って下さい。これ以前の版は OpTaliX に適合する DLL を生成できません。DLL を生成するためのコマンドライン入力は下記のとおりです。

```
ifl usersur.f90 /LD
```

Compaq FORTRAN の場合: コンパイルおよび *dynamic link library* (DLL) の生成は、Compaq Visual FORTRAN バージョン 6.6 またはそれ以降の版で行って下さい。これ以前の版は、OpTaliX に適合する DLL を生成できません。DLL を生成するためのコマンドライン入力は下記のとおりです。

```
DF /dll usersur.f90
```

Intel/Compaq のコンパイラは共通に、下記に示すメタ命令の指定が必要です。

下記ディレクティブによる 手続き名の定義

```
'!DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT:: usersur_'
```

エイリアス命令を用いて外部手続き名を明示的に小文字として定義

```
'!DEC$ ATTRIBUTES ALIAS: 'usersur_':: usersur_'
```

8.30.5 Microsoft Visual C/C++ によるコンパイル法 (Compiling with Microsoft Visual C/C++)

C 言語によるプログラミングにあたっては、関数やサブルーチンの命名規則、手続き間の引数の引き渡し方法について、FORTRAN と C との間の橋渡しが必要です。OpTaliX が FORTRAN によって記述されているために下記に示す例では C 言語で記述した関数が FORTRAN パッケージに適合するように配慮してあります。

サブルーチン `usersur` を参照する FORTRAN プログラムは、`_usersur` という外部参照名を要求します。一方、C 言語で書かれた関数の場合にはエントリポイント名は `usersur` でなくてはなりません。(注：先行するアンダースコアはいりません。C コンパイラによって付与されるからです。)

典型的には、FORTRAN の引数はアドレス渡し (参照による引き渡し) であり、C 言語の場合には、変数のアドレスではなく即値渡しです。

これは本質的に、C 言語の関数がすべての実引数名をポインタのように参照によっての引き渡せるように書き換えられるべきであることを意味します。(したがって、引数名の前には “*” が必要です。)

加えて、C 言語の配列要素は 0 番目 から始まりますが FORTRAN の場合には通常、1 から始まることにも注意が必要です。ここで議論している `usersur` の場合にも、引数 `--sdata` が、まさにこの例に当てはまります。

下記は C 言語によるサンプル例、`usersur.c` です。

```
/* OpTaliX-PRO user-defined surface dll, Visual C/C++ version
Parabolic surface, 7 August 2003 */

#include <math.h>
#include <string.h>
#include <windows.h>
#define PI 3.14159265359

/* Subroutine */
#define USERSUR usersur

int __declspec(dllexport) usersur(int *icalc, int *isur, double *curv, double *sdata,
    double *x, double *y, double *z__, double *xn, double *yn, double *zn, int *i_err__);

int __declspec(dllexport) usersur(icalc, isur, curv, sdata, x, y, z__, xn, yn, zn, i_err__)

int *icalc, *isur, *i_err__;
double *curv, *sdata, *x, *y, *z__, *xn, *yn, *zn;

{
    /* Builtin functions */
    /* uncomment the following line only if not declared in the math.h file */
    /* double sqrt(); */

    /* Local variables */
    double fnorm;

    /* Microsoft Visual C/C++ 用の ユーザ定義面のサンプル・ソースプログラムです */
    /* ユーザ定義面 (ここでは放物面) の面形状と法線ベクトル (方向余弦) を示します。 */
    /*
    /* 引数一覧 :
    /* -----
    /* icalc = 1 : この時、座標 (x,y) に対する面深さ z を計算 (input) */
    /*          = 2 : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦 xn,yn,zn 計算 (input) */
    /* isur : 面番号 (input) */
    /* curv : 面の曲率 (input) */
    /* sdata(81) : 面形状係数を格納したアレイ (input) */
    /*            たとえば、sdata(1) には UCO C1 コマンドで (input) */
    /*            入力した結果が格納される (input) */
    /* x,y,z : 面の原点座標からみた、光線の現在座標 (input) */
    /* xn,yn,zn : 面座標 (x,y,z) における面の法線の方向余弦 (output) */
    /* i_err : エラーフラグ (0 = エラーなし, 1 = エラー) (output) */
    /*
    /*
    /* 注意
    /* -----
    /*
    */
}
```

```

/* 下記に示すプログラムは、中心曲率 "curv" をもつ放物面の面座標と法線の
/* 方向余弦を求めるものです。
/* ユーザは、定義したい面形状ごとに個別にプログラムを作成しなくては
/* なりません。
/* ただし、"ISUR" を使って面番号により処理を分岐させるか、あるいは
/* sdata() のうちの要素をひとつ使って UDS 面タイプを定義し、それを
/* よりどころとして処理を分岐させることにより、単一の usersur サブルーチン
/* であっても複数の面形状を定義できます。

/* Parameter adjustments */
--sdata;

/* Function Body */
*i_err__ = 0;

*z__ = *curv * .5 * (*x * *x + *y * *y);

/* surface z-value (paraboloid) */
if (*icalc >= 2) {
/* calculate surface derivatives at x,y,z */
*xn = *x * *curv;
*yn = *y * *curv;
fnorm = sqrt(*xn * *xn + *yn * *yn + 1.);
*xn /= fnorm;
*yn /= fnorm;
*zcn = -1. / fnorm;
}

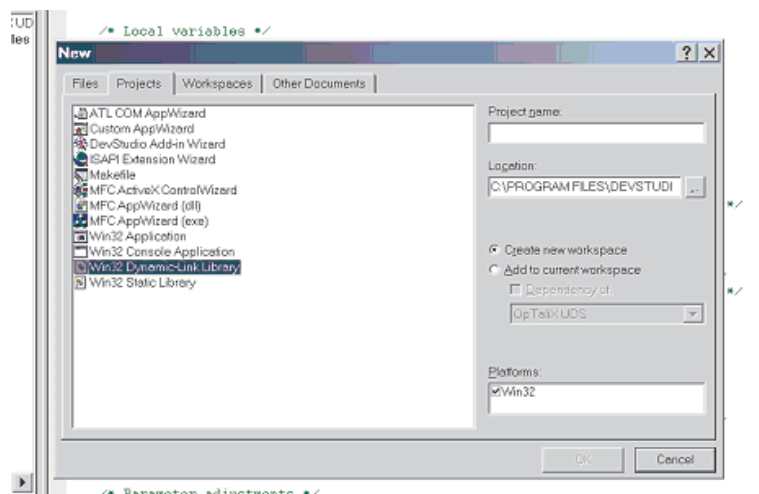
return 0;
}

```

usersur.c に記述された引数並びは、上記のまま変更しないでください Microsoft Visual C/C++ 5.0 あるいはそれ以降のバージョンを使って下さい。より新しいバージョンは、個別の CPU に特化した最適化が指定できます。

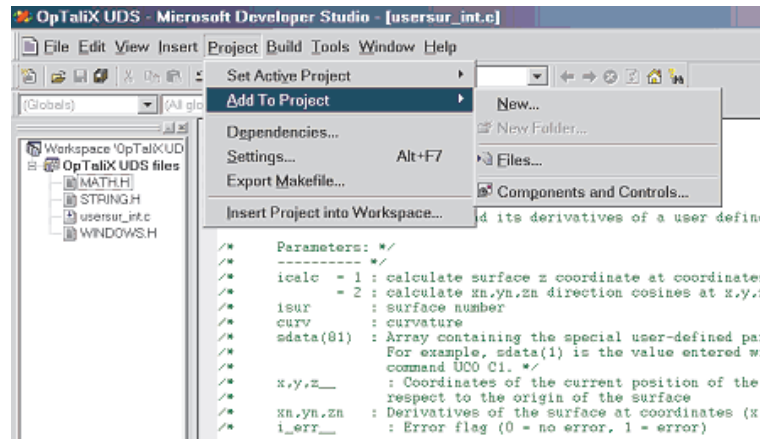
Visual C 5.0 の場合について、スクリーンショットの説明を示します。しかし、他のバージョンであってもこれと類似の画面が表示されます。Microsoft Visual C/C++ を用いた DLL を生成するには、いくつかの手順を踏む必要があります。

1. Visual Studio/Visual C を起動します。
2. 新しい DLL project を生成します。File->New とたどり、“Projects” タブを選択します。“project type” のリストから、“Win32 Dynamic Link Library” を選びます。



3. 上記ダイアログボックスのプロジェクトの場所に注目してください。

4. OpTaliX のサンプルコード **usersur** をプロジェクトフォルダにコピーしてください。
5. ここで .c および .h ファイルをプロジェクト加えます。これは “workspace view” のファイルタブをクリックすることで実行されます。“workspace” 内のプロジェクトファイル上で右クリックをすると、“add files” ダイアログが持ち上がります。あるいは *Project->Add to project->Files* とたどっても同じ設定が可能です。



6. .c コードは、“project” フォルダになければなりません。 .h ファイル (“include” ファイル) は `Program Files\DevStudio \VC\include` フォルダになければなりません。
7. ソースコード・ウインドウを選択し、所望の光学面のサグ量 (*z_) および法線の方向余弦を幾何的に正しく記述します。法線の方向余弦はユーザ自身のプログラムで行ってください。それを求める方法が、解析的な定義によるものか、あるいは有限差分法などによる数値計算に基づくかは問いません。
8. これらの関数以外は編集しないようにご注意ください。それと関数名は必ず **usersur_** とするように注意してください。これを変えると OpTaliX はユーザが記述したプログラムを認識できなくなります。また、この関数の引数は、ポインタによるアドレス渡し (参照による引き渡し) とし、FORTRAN によって記述された OpTaliX の実行形式と適切にインターフェースできるように注意してください。OpTaliX の実行形式から この関数のパラメータが参照できるように確実に宣言してください。同様に **usersur_** 関数は整数型の関数であって、これを変更することはできません。
9. プログラムの編集を終えたら、“Build menu” から DLL を生成するようにコンパイルします。以上の操作が適切に完了したら、DLL とそれに付随するインポートライブラリ (**usersur.lib**) を OpTaliX のディレクトリに保存されているものと交換し、OpTaliX を起動して動作を確認します。

8.31 レンズモジュール (Lens Modules)

レンズモジュールはブラックボックスレンズ、あるいは理想レンズとも呼ばれます。光学系に入射および出射する光線の情報のみによって定義され、光学系自身の具体的なパラメータは一切、規定されません。レンズモジュールは、詳細な光学パラメータが不明な場合や、概念上の配置だけが求められている場合に利用されます。レンズモジュールは近軸量だけを用いて定義されますが、少なくとも

その焦点距離だけは設定しなくてはなりません。この焦点距離のことを、特に“モジュール焦点距離 (MFL)” と呼びます。

MOD sk si..j	2つの面を一括して1つのレンズモジュールに変換します。いずれの面も、あらかじめ存在していなくてはなりません。もし1つの面(面番号k)だけを指定した場合には、k面とk+1面がレンズモジュールとして変換されます。面タイプは“L”でなくてはなりませんが、その設定は、MOD コマンドが自動的に行います。
MFL sk mod_focal_length	モジュール焦点距離です。k面はモジュールレンズの入射側の面です。
MRD sk red_ratio	モジュールのリダクション (Module ReDuction) です。MRDはモジュールの倍率に-1を乗じた値として定義されています。例えば、等倍倒立像(倍率-1倍)の場合、MRDは1です。MRDのデフォルト値はMRD=0です。
MCO sk ci..j	レンズモジュールに関連した種々のパラメータです。この機能は、OpTaliXの将来のバージョンに実装されます。

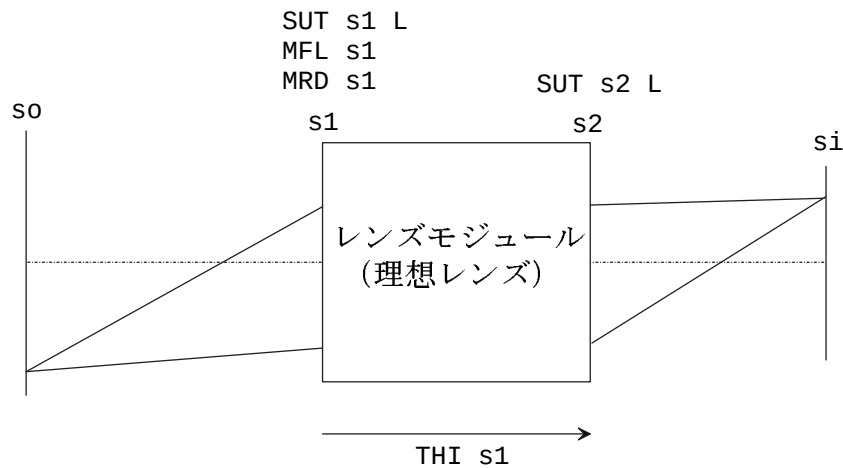


図 8.43: レンズモジュール (ブラックボックスレンズ/理想レンズ)

レンズモジュールは特定の倍率においてのみ、**理想レンズ**として振る舞います。その倍率はMRDコマンドで設定します。レンズモジュールの面タイプは“L”です。レンズモジュールは、連続する2つの面を用いて(つまり2つの面番号にまたがって)定義します。最初の面はモジュールの入射面として定義し、後続の面はモジュールの射出面として定義します。入射出面はそれぞれモジュールの主点として機能します。したがって厚肉レンズまたは複合レンズ系を表現するには、レンズモジュールを構成する2つの面の間隔を主点間隔とみなして適切な値を設定すれば良いのです。モジュールのパラメータ(MFL, MRD)は、入射側の面に対して設定することに注意してください。レンズモジュールは有限共役に対してのみ適用できます。したがって、無限共役を設定したい場合は、それを有限共役に近似する必要があります。例えば、物体距離が無限大の平行光入射の場合にはMRD 0を設定しますが、OpTaliXの内部では 10^{-16} に置き換えられています。像距離を無限遠とするコリメート

光出射の場合には **MRD 1e16** と設定してください。

レンズモジュールの設定例:

```
ins s3..4    ! モジュールレンズを定義すべき (空の)2 面を挿入します。
mod s3       ! 第 3 面と、それに続く第 4 面がレンズモジュールに変換されます。
              面タイプ (SUT) は、“L” が自動的に設定されます。
sut s3..4 L  ! MOD コマンドのかわりに SUT コマンドを用いて
              直接に面タイプ “L” を指定しても、レンズモジュールに変換されます。
              この例の場合、第 3 面と第 4 面が変換の対象です。
MOD s3       ! これもまた、第 3 面と第 4 面をレンズモジュールにするコマンドです。
mfl s3 100   ! モジュール焦点距離を 100mm に設定
mrd s3 1     ! モジュールのリダクションとして 1 を設定。つまり倍率は -1 倍。
              等倍倒立像のときのみ、このレンズモジュールは無収差レンズと
              して機能します。
```

8.32 面のアパーチャ (Surface Apertures)

面上のアパーチャは、光学系を通過する光束の断面形状を定義したり、制限したりするために使用します。基本のアパーチャ形状として、円形、楕円、矩形、多角形があります。これらは“基本アパーチャ”とよばれ、1つの面あたり 10 個まで同時に定義できます。

個別の基本アパーチャを特定するために、識別子 “p” を使って、それぞれにアパーチャ番号を付けられます。個々の基本アパーチャは、それぞれ光束の許容太さを定義するためにも使えますし、あるいは遮蔽を定義するためにも使えます。また、ローカルな面頂点から X および Y 方向に偏芯 (オフセット) させたり、さらには回転させたりする指定も可能です。基本アパーチャは **.and.** 演算子および **.or.** 演算子を使うことで論理的に組み合わせることができ、結果としてより複雑なアパーチャ形状を定義できます。

次のコマンドは、指定された面上にアパーチャを定義します。

REX si..j pi..j [OBS HOL EDG .or .and.] x_height	矩形アパーチャが定義されます。X 方向の高さ (辺の長さの半分) を設定します。欄外の注記も参照してください。
REY si..j pi..j [OBS HOL EDG .or .and.] y_height	矩形アパーチャが定義されます。Y 方向の高さ (辺の長さの半分) を設定します。欄外の注記も参照してください。
ELX si..j pi..j [OBS HOL EDG .or .and.] x_half_width	楕円アパーチャが定義されます。X 方向の半径を設定します。欄外の注記も参照してください。
ELY si..j pi..j [OBS HOL EDG .or .and.] y_half_width	楕円アパーチャが定義されます。Y 方向の半径を設定します。欄外の注記も参照してください。
CIR si..j pi..j [OBS HOL EDG .or .and.] radius	円形アパーチャが定義されます。欄外の注記も参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
REC si..j sk pi..j [OBS HOL EDG .or. .and.] x_height y_height	矩形アパーチャが定義されます。x_height と y_height には、それぞれ X 方向 および Y 方向の高さ (辺の長さの半分) を設定します。x_height だけを設定した場合は正方アパーチャが仮定されます。
ADX si..j pi..j x.offset	アパーチャ中心の X 方向へのオフセット
ADY si..j pi..j y.offset	アパーチャ中心の Y 方向へのオフセット
ARO si..j pi..j rot.angle	アパーチャを回転します。ADX、ADY の後に実行されます。
PLG si..j pi..j ck xk.vertex yk.vertex PLG si..j pi..j file data.plg	多角形 (polygon) アパーチャが定義されます。多角形の頂点を定義する形式が 2 種類用意されています。最初の形式は、si..j 面における多角形アパーチャ pi..j の頂点を、各アパーチャ番号に対する頂点番号 ck で指定するものです。xk.vertex, yk.vertex は、多角形の頂点座標です。 例: plg s3 p2 c4 12.0 3.0 2 つ目の形式は、ファイル data.plg から多角形のすべての頂点を一括して読み込むものです。コマンド中には 文字 “file” を記述しなくてはなりません。それに続いて、パス名とファイル名を指定します。 ファイルの書式は INT ファイル の規約に従います (520 ページを参照)。多角形アパーチャの頂点データをダイアログを使って入力することもできます。その詳細は 8.32.1 項を参照してください。また、ファイルから多角形アパーチャを読み込むための詳細情報は 8.32.1.2 項に記述されています。
DEL APE sk si..j pi..j EDG	si..j 面におけるアパーチャの定義 pi..j を削除します。DEL APE sk si..j EDG と指定した場合には、指定面の外径の定義を削除します。

注意:

- 各面における最初の基本アパーチャに対する識別 p 番号は省略できます。つまり、次の 2 つのコマンドは同じ意味です。

```
cir s1 p1 30
cir s1 30
```

- OBS は遮蔽開口を設定するために使われます。遮蔽開口の内側に到達した光線はそこでブロッ

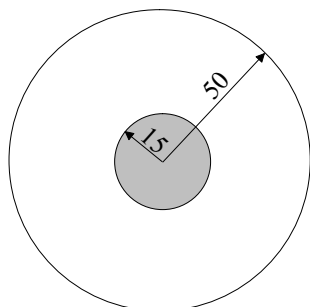
クされるため、追跡されません。

- **HOL** は対象なるアパーチャにおけるホールを設定します。ホールアパーチャの内側に光路を取る光線追跡されません。これは透過面であっても、反射面であっても同様です。**HOL** アパーチャの設定は、シーケンシャル面にもノンシーケンシャル面のいずれにも適用できます。[8.32.2](#)の解説も参照してください。
- **EDG** はレンズの外形サイズを設定するために使われます。個別のエLEMENTの最初の1面に設定するだけで他面(後面)にも作用します。一方、後面に設定した**EDG**は無視されます。ここで設定した外形サイズは、レンズの断面図、体積・重量計算、レンズ単体図にだけ影響を与えます。つまり、光線有効径の制約には何ら影響を与えません。光線有効径に制約を与えたい場合には、**FHY コマンド**を使って固定アパーチャを定義してください。
- **EDG** としてゼロを設定すれば外径の設定を解除できます。たとえば **CIR EDG s4 0** のように指定します。
- **REX, REY, ELX, ELY CIR** コマンドに現れる **EDG** オプションを、**EDG コマンド**と混同しないでください。**EDG** コマンドは、(**VIE コマンド**)によるレンズ断面図のエッジ部の描画方向を指定するために用いられるものであり、レンズの外形寸法そのものには関係ありません。
- **OBS** オプションを除き、デフォルト設定のままではどのアパーチャ設定も光線の通過範囲に制約を加えることはありません。しかし、**FHY** コマンド ([168](#) ページの [8.32.3](#)章) を用いてアパーチャを“固定アパーチャ”として設定することで、アパーチャの外側を通過しようとする光線をブロックできます。

```
cir s1 p1 30
```

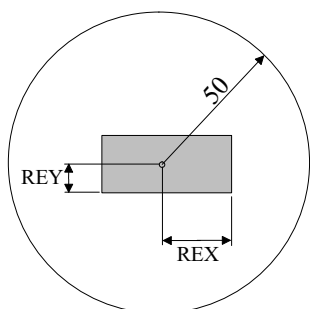
```
cir s1 30
```

例としていくつかのアパーチャ形状を図に示し、それを定義するコマンドを併記します。



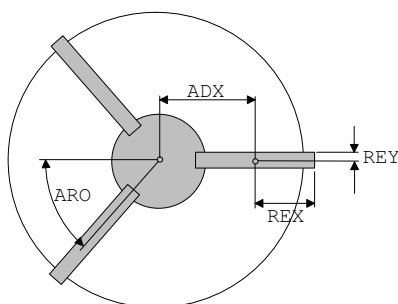
中心遮蔽をもつ円形アパーチャ:

```
cir s1 50
cir s1 p2 obs 15
```



矩形遮蔽を持つ円形アパーチャ:

```
cir s1 50
rex s1 p2 obs 20
rey s1 p2 obs 5
```



3本のスパイダと中心円形遮蔽を持つアパーチャ:

```
cir s1 50
cir s1 p2 20 obs
rex s1 p3 30 obs
rey s1 p3 5 obs
adx s1 p3 25
aro s1 p3 0
⋮
```

8.32.1 多角形アパーチャ (Polygon Apertures)

個々の多角形アパーチャは最多 50 個までの頂点を定義できますから、実質的にどんなアパーチャ形状にも対応できるといえます。多角形の頂点は、光学系の頂点を基準位置とする (X,Y) 座標で与えます。どの多角形アパーチャに対しても **ADX**, **ADY** コマンドによりシフトを、**ARO** コマンドにより回転を定義できます。

多角形アパーチャは“閉じて”いなくてはなりません。つまり、最後の頂点の座標は、最初の頂点の座標と同じでなくてはならないということです。多角形アパーチャの各頂点が外に凸である必要はありません。図 8.44 に示すとおり、任意の形状を指定できます。1 面につき最大 10 個までの多角形アパーチャを定義できますが、光学系全体に渡る多角形アパーチャの総数は 50 個まで制限されています。

8.32.1.1 多角形アパーチャのダイアログベース入力 (Dialog-based editing of polygon apertures)

多角形アパーチャは、面データ・エディタを使えばいっそう簡単に編集できます。面データ・エディタは、コマンドラインから、EDI SUR コマンドを入力することで起動します。エディタが起動したら、“Special Aperture” タブを選択してください。“Shape” と表記されたカラムを“polygon”に設定すると、最終カラムの該当のチェックボックスが有効になりますから、ここをクリックします。すると、図 8.44 に示すダイアログボックスが起動します。このダイアログボックスに新しい頂点座標 (X,Y) を設定するたびにそれに対応する多角形アパーチャの形状がその右側に図示されます。

ダイアログ右下の“Scale polygon data”をクリックし、スケーリング係数を入力すると、すべての座標値がその係数によって均一にスケーリングされます。また、“Import from File”をクリックすれば、多角形アパーチャの頂点座標を所望のファイルから読み込みます。

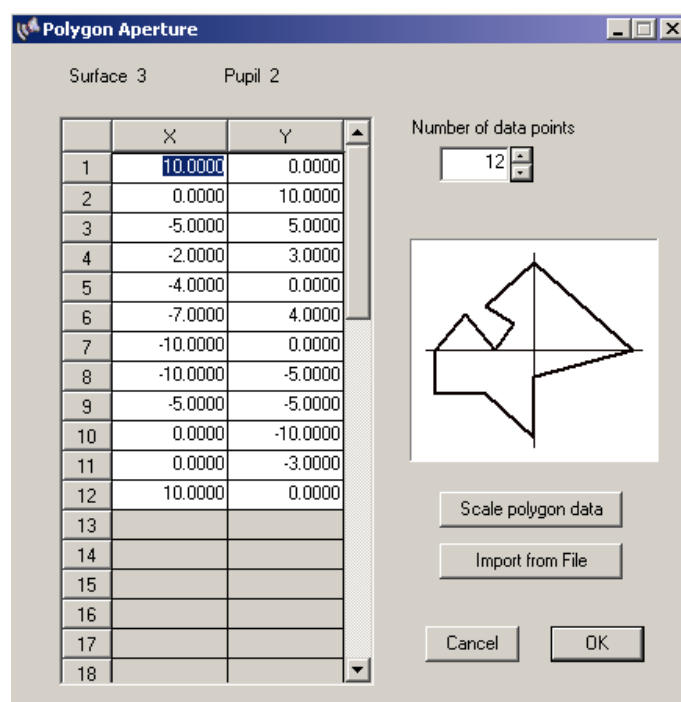


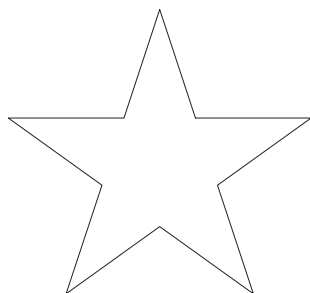
図 8.44: 多角形アパーチャの頂点座標を定義するダイアログ

8.32.1.2 多角形アパーチャのファイルからの読み込み (Reading polygon apertures from a file)

複雑な多角形アパーチャは ASCII ファイルからも読み込みます。ファイルにはアパーチャの頂点座標を (X,Y) のペアとして保存しておかなくてはなりません。ファイルの書式は INT ファイルの規定 (32.10 節、520 ページ) に従わなければなりません。ファイルの拡張子は、.plg を推奨しますが、任意を拡張子名を使えます。図 8.45 は星型の多角形アパーチャの定義ファイルの例です。なお、ファイル中の最初の 2 行は必須の入力項目です。

コマンド:

```
plg s3 p2 file c:%star.plg
```



star.plg ファイルの内容:

```
Five pointed star
SSZ 1.0 ! scaling factor
11 ! number of polygon vertices
0 1
-0.2245 0.309
-0.9511 0.309
-0.3633 -0.118
-0.5878 -0.809
0 -0.382
0.5878 -0.809
0.3633 -0.118
0.9511 0.309
0.2245 0.309
0 1
```

図 8.45: 星型の多角形アパーチャをファイル star.plg から読み込み、第 3 面のアパーチャ番号 p2 として割り当てるためのコマンドとファイルの内容。

8.32.2 ホールアパーチャ(穴) (Hole Apertur)

“ホール(穴)”アパーチャを設定すると、その設定径よりも内側に光路をとる光線の追跡はその面の作用を受けず、そのまま直進します。透過面のみならず反射面や回折面であっても同様です。ホールアパーチャはシーケンシャル面にもノンシーケンシャル面にも適用できます。ホールアパーチャをベースアパーチャ(各面のアパーチャ番号 p1)として設定することはできません。必ず p2 以降のアパーチャとして設定してください。コマンドラインからの設定例は次のとおりです。

```
cir s3 p2 5.0 hol ! 円形穴を第 3 面に対してアパーチャ番号 2 で設定。
```

穴半径は 5mm。

```
rex s4 p2 4.0 hol ! X 方向の高さ (1 辺長の半分) が 4mm の矩形穴を第 4 面に設定。
```

アパーチャ番号は 2 番 (p2)。

```
rey s4 p2 2.0 hol ! Y 方向の高さ (1 辺長の半分) が 2mm の矩形穴を第 4 面に設定。
```

アパーチャ番号は 2 番 (p2)。

遮蔽 (OBS)、ホール (HOL)、多角形 (PLG) のように特別なアパーチャの設定は、それを指定した面が“固定アパーチャ”として設定されている場合のみ有効となります。各面に固定アパーチャを設定するには、[FHY](#) コマンドを使います。固定アパーチャに関する詳細は [8.32.3](#) 章を参照してください。

ホールアパーチャの作用を例示するために、サンプルレンズデータが用意されています。OpTaliX サンプルホルダからファイル、`$i%examples%Complex.Aperture%hole.otx` を OpTaliX に読み込んで下さい。このデータは図 [8.46](#) に示すとおり単レンズですが、その第 2 面および第 3 面にホールアパーチャが設定されています。

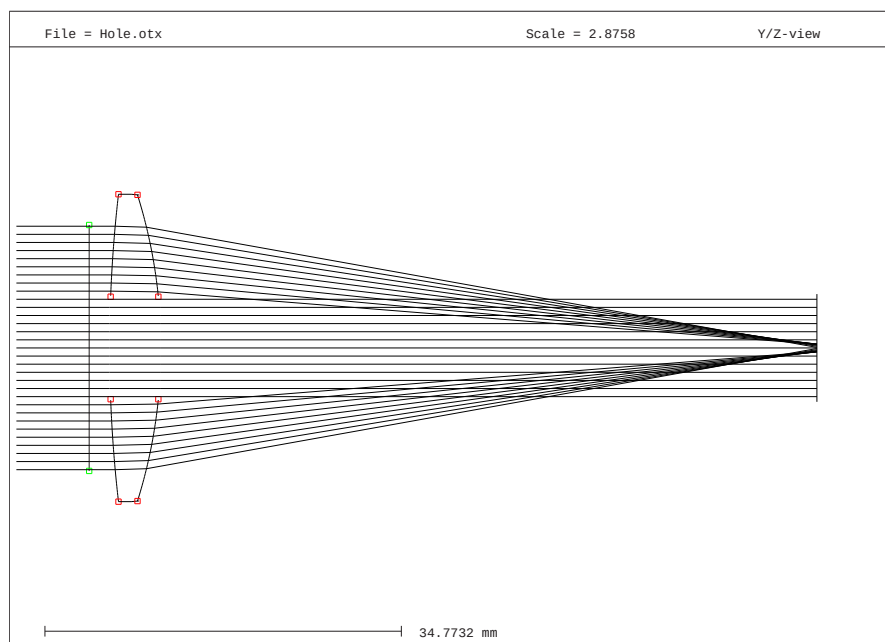


図 8.46: ホールアパーチャの設定例。シーケンシャルモデルへの適用例であるにも関わらず、ホールアパーチャの内側に光路を取る光線は、面での屈折作用を受けず、そのまま直進しています。

8.32.3 固定アパーチャ(高さ) (Fixed Apertures (Heights))

時として、面上のアパーチャ半径を特定の値に固定したくなることがあります。その値が変更されてはならないというケースです。まさに“凍結した”という表現がぴったりです。これを実現する OpTaliX の機能は、FHY コマンドによって実現されます。FHY コマンドによって固定アパーチャに指定された面には、レンズデータのリスト出力において APE-Y の欄の右側に星印“*”が付きます。固定アパーチャの指定をすると、アパーチャの外側を通過しようとするすべての光線はブロックされます。

FHY [sk si..j sa] 0/1	面範囲 si..j に対するアパーチャを固定アパーチャ(FHY 1)あるいは浮動アパーチャ(FHY 0)に設定します。固定アパーチャに指定すると、その面においてアパーチャ径の外側を通過しようとする全ての光線がブロックされます。また、たとえアパーチャの径を光線有効径にあわせて変更するコマンド(SET MHT)を実行したとしても、固定アパーチャについては、その径が変更されることはありません。すべての面に関する一括指定をする際は、FHY sa 0/1 と指定します (sa は surface all という意味)
SET MHT [si..j, fi..j, zi..j, over_x, over_y]	面範囲 si..j において、各面が必要とするアパーチャを自動的に求めます。OpTaliX は FHY コマンドで固定アパーチャとして指定された各面のアパーチャ径と、絞り面のアパーチャ径から、光学系の全系を通過可能な光束を求めます。その結果を用いて、各面が必要とする最小のレンズ径を求めます。これを光線有効径といいます。FHY で固定アパーチャとして指定されなかったすべてのアパーチャ(浮動アパーチャ)の径は、ここで求めた各面の光線有効系にあわせて変更されます。注意: 上記プロセスにおいて、光線追跡エラーがレポートされるかもしれません。このようなことが発生するのは、光学系を通過可能な光線を探索する際にレンズ内部で全反射が生じた場合などです。しかし、実際に光学系を通過できる光線が存在するならば、しばらくの内にエラーはレポートされなくなります over_x および over_y は、面の光線有効系に対して、レンズ径をどの程度大きく描画するかを指定するものです。1.0 を指定すると、光線有効径とレンズ面の描画径は一致します。1.1 を指定すると光線有効系径よりも 10%だけ大きな径で、レンズが描画されます。この機能は描画に対してのみ有効で光学的な評価には関係しません。

例:

図 8.47 に示す光学系に入射する光束は、絞り面 (第 5 面) の径で規制されるだけでなく、固定アパーチャが指定された第 2 面と第 7 面でも規制されます。このようにして、すべての軸外光束がビネツティングの影響を受けます (ケラれます)。

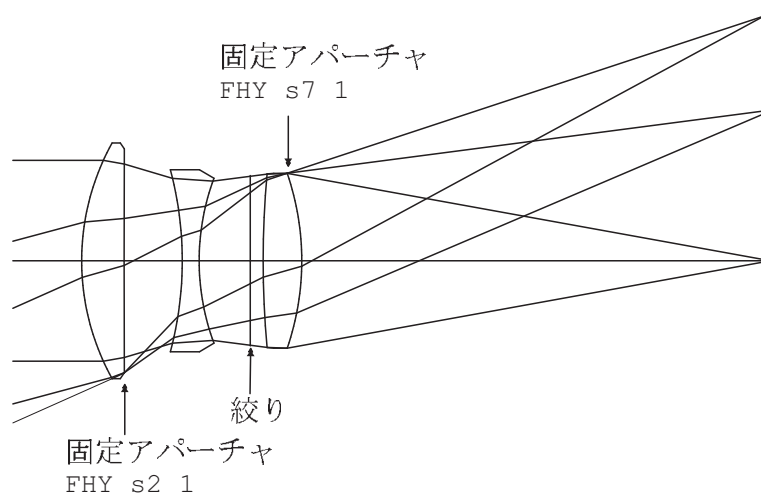


図 8.47: 固定アパーチャによるビネッティング特性の定義

8.33 面のコメント (Surface Comments)

各面には 80 文字以内のコメントを付けられます。これにより、レンズデータの可読性が向上します。もちろん、光学系の解析には何の影響も与えません。コメントは **COM** コマンドで設定します。

```
COM s3..4 this is my comment
COM s1..2 "this is my comment"
```

設定したコメントの一覧はコマンドラインから **LIS COM** あるいは **LIS ALL** と入力することで表示されます。

8.34 面の挿入、反転、コピー、移動、削除 (Insert, Invert, Copy, Move and Delete Surfaces)

<pre>INS si..j target_surf [file file_spec]</pre>	整数値で指定した面番号 <code>target_surf</code> の直前に <code>si..j</code> 面を挿入します。オプションのパラメータ <code>[file file_spec]</code> を用いれば、挿入すべきレンズデータをファイルから読み込みます。この場合、所望のパス名とファイル名の前に、文字列“file”を記述します。 例: <pre>ins s3..4 ins s3..4 1 file c:¥temp¥mylens.otx</pre> 2 つ目の例は、現在の光学系の第 1 面の直前に、<code>c:¥temp¥mylens.otx</code> ファイルを挿入します。
<pre>INS MIR sk</pre>	面 <code>sk</code> の直前に反射面を挿入します。 符号規約に基づき、反射面に続く各面の曲率半径、面間隔、非球面係数の符号は反転させる必要がありますが、このコマンドを使えば、このような退屈な作業は自動的に実行されます。 例: <code>ins mir s3</code>
次ページに続く	

前ページから続く	
COP si..j target_surf [file file_spec]	si..j 面を指定の面、target_surface にコピーします。target_surface を省略することはできません。オプションのパラメータ [file file_spec] を用いれば、レンズデータファイルから読み込まれます。パス名のない場合、デフォルトとしてファイルは現在のフォルダから探索されます。もしファイルがそれ以外のフォルダに保存されているならばパス名とファイル名の前に、文字列“file”を記述します。例: 面範囲、si..j をすでに存在している所望の面番号 target surface の位置にコピーします。target surface を省略することはできません。オプションのパラメータ [file file_spec] を用いれば、コピー元のレンズデータはそのファイルから読み込まれます。ファイルは現在のフォルダ（カレントフォルダ）から、検索されます。もしもそれ以外のフォルダに保存されたファイルを指定するときは、フルパス名を添えて指定してください。なおファイル名の前には、文字列“file”の記述が必要です。例: copy s3..4 8! 第3面から4面の内容を第8面の直前にコピーします。オリジナルデータの第8面のデータは10面に移動し、11面以降も同様に移動します。 copy s3..4 8 file mylens.otx! 第8面の位置に、ファイル mylens.otx に保存されている第3面から4面の内容をコピーします。 copy s3..4 8 file c:%temp%mylens.otx! 上記例と同等です。ただし、ファイルがカレントのフォルダに存在せずそれ以外のフォルダに保存されている場合です。フルパス名とともに指定します。
MOV si..j target_surf	面範囲 si..j を target_surf の位置に移動します。
DEL si..j	面範囲 si..j を削除します。
DEL MIR sk	sk の反射面を削除します。 このコマンドは、2つの操作を一括して（一連の操作として）実行します。まず、所望の反射面 (sk 面) を削除します。その上で符号規約に基づき後続の各面の曲率半径、面間隔、非球面係数の符号を反転させます。なお、sk 面は、反射面でなければなりません。そうでない場合は何も実行されません。 例: del mir s3
INV si..j	面範囲、si..j の面の順序を入れ替えます。その際、符号規約に基づき各面の曲率半径、面間隔、非球面係数の符号を反転させます。

8.35 コーティング/多層膜 (Coatings / Multilayer Stacks)

OpTaliX には、薄膜コーティングに関する評価、解析、最適化のための機能が実装されています。またこれらの機能を使って作成したコーティングのデータはファイルに保存できます。保存したコーティングデータは、OpTaliX の光学面に貼り付ける (割り付ける) ことができ、そうすればコーティングの分光特性を反映した各種の解析を実行できます (詳しくは [17章](#) を参照)。ここでは、保存済みのコーティングデータを OpTaliX の光学面に割り付ける (貼り付ける) 方法のみを示します。

ATT si..j [FILE coating_name]	多層膜コーティングのデータを si..j 面に貼り付けます。 coating_name はコーティングデータを含むファイル名です。 このファイルはあらかじめ適切に保存されていなくてはなりません。オプション [FILE coating_name] が省略された場合、デフォルトのコーティングが貼り付けられます。ただしそれには、あらかじめデフォルトデータが読み込まれていなくてはなりません。
DEL COA si..j	si..j 面からコーティングのデータを削除

コーティングデータの作成、修正、最適化に関する詳細な記述は [20章](#) にあります。

8.36 像面の再定義 (Image Surface Definition)

通常、光学系の最後の面が像面として定義されますが、**IMG** コマンドを使えば、どの面であっても像面として再定義できます。

IMG sk	像面として取り扱うべき面の番号を指定します。 sk には、光学系に定義されている面の総数以下の整数を指定します。 ただし、 IMG コマンドは、面の総数を変化させるものでないことに注意してください。 IMG コマンドで指定した面番号よりも大きな面番号を持つ面は無効となり、光線追跡の対象としては取り扱われなくなります。いったん無効となった面であっても IMG コマンドを再設定することで再び有効な状態に戻せます。 光学データをファイルに保存し、再び OpTaliX に読み込む際には IMG の設定に関わらず、すべての面が維持されます。
--------	---

像面の面番号を定義する機能は、とりわけ中間像面を持つ光学系の設計や評価の際において有用です。**IMG** コマンドを使えば、任意の面を像面として再設定できるので、次々に評価や設計を繰り返せます。

IMG コマンドは、面の総数に影響を与えるものではありません。ただ、像面の番号を移動させるだけです。したがって **IMG** で指定した像面よりも後方の面の全ての情報は、メモリ上にそのまま維持されています。光学データをファイルに保存し、再び OpTaliX に読み込む際にも **IMG** の設定に関わらず、すべての面が維持されます。

例えば、図 [8.48](#) に示す光学系には 2 つの像面があります。中間像面と最終像面を、それぞれ独立

したズームポジションに設定すれば、両方の像面における光学特性を同時に評価したり最適化したりできます。

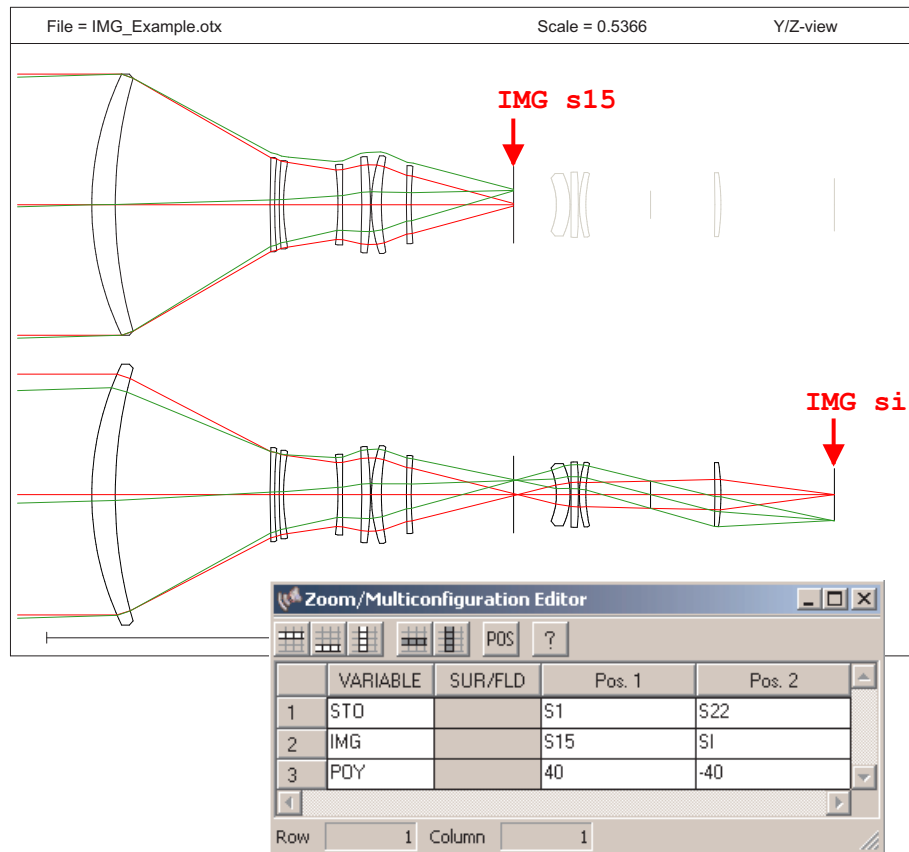


図 8.48: ズーム/多重構成系における像面の再設定例 (IMG コマンド)。上図: 像面を中間面に設定 (IMG s15)。下図: 像面を最終面に設定 (IMG si)。それぞれ対応するズーム定義は、図中の右下に記されていますサンプルとなるファイルが `$i#examples#zoom#img_example.otx` にあります。

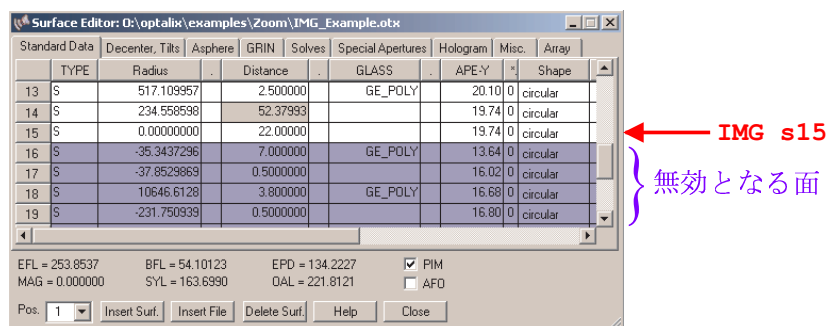


図 8.49: 無効となっている面 (IMG sk よりも大きな面番号を持つ面) は、面エディタ上では青色の背景を持つ面として表示されます。しかし、それらの面も編集可能です。

IMG で設定した像面よりも大きな面番号を持つ面は、面エディタでは、青色の背景を持つ欄に表記されます。これらの面は一時的に無効となっています。図 8.49 にその一例を示します。一時的に無効になった面であっても編集は可能です。

IMG コマンドに関連したいくつかの制限があります。

- IMG 面の番号は、光学系を構成する面の総数以下でなければなりません。
- IMG 面の番号は、絞り面 (STOP 面) よりも大きな面番号を持っていないなければなりません。必要に応じて、絞り面を IMG 面よりも小さな面番号を持つ面に移動させてください。そのために、例えば、絞り面の番号をズーム化 (多重化) を併用する方法があります。
- 物体面または第 1 面を IMG 面に設定してはいけません。

このページは白紙です。

第9章 リストおよびレポートの作成

– Listing, Report –

レンズを構成するすべてのデータは、LIS コマンドによって得られます。そのリストには FIR コマンドで表記される近軸量も含まれます。

9.1 レンズ構成データのリスト出力 (List Prescription Data)

LIS [si..j] [ri..j] [options]

あるいは

LIS [options] > prn|filespec

options の部分には、次のいずれかひとつをオプションとして指定できます。

ALL|ALG|APE|CAM|COM|CNF|DNDT|EXC|GLA|IND|MUL|OPT|
OSP|PAR|PIK|RAY|REM|TOL|TPL

各オプションの意味は下記のとおりです。

ALL	全オプションの全リスト
ALG	ベースガラス (探査の出発点となるオリジナルのガラス) の代替ガラスを表示します。9.2章も参照してください。.
APE	面のアパチャ、有効径や外径など (半径で表現)
CAM	ズームレンズ等のカム表。
COM	面に付与したコメント
CNF	光学系の構成データ
DNDT	選択されたガラスに対する 絶対屈折率 (真空に対する屈折率) の温度変化係数。 欄外の注記も参照してください。
EXC	選択されたガラスの線膨張係数
次ページに続く	

前ページから続く	
GLA	ガラスカタログの全材質から指定した文字列と一致するものをリストアップします。例えば、 <code>gla bk*</code> = “bk” で始まる全材質 <code>GLA sch:bk*</code> = Schott 社の材質で “bk” から始まる全材質 <code>GLA sch:*</code> = Schott 社の全材質 アスタリスク記号 “*” は、ワイルドカードとして文字列の一致検索に使用します。例えば、<code>sf*</code> は、“sf” から始まる全ガラスをリストします。つまり、<code>SF1,SF2,SF11,SF6</code> などリストアップされます。アスタリスクを用いず、“sf” だけを指定した場合には ガラス名 “sf” を検索します。しかしそのようなガラスは実際には存在しません。
IND	その時点で光学系に使用されている屈折率データ
MUL	多層膜の定義
OPT	自動設計 (最適化) に関するデータ
OSP	光学スペクトラム
PAR	近軸量. (253ページの FIR コマンドも参照してください。)
PIK	面のピックアップの一覧表 (PKL コマンドでも出力できます。)
RAY	全光線
REM	備考
TOL	設定された公差
TPL	ニュートン原器のリスト

注記

- リダイレクション (出力先の変更) 記号 “>” を用いれば 出力先をただちに変更できます。具体的にはテキスト出力をプリンタ (`prn`) に、グラフィック出力をプリンタ/プロッタ (`plt`) あるいはファイル (`filespec`) に変更できます。リダイレクションは、それを指定したコマンドでのみ有効です。次の出力、つまり次に入力するコマンドの出力先はデフォルトの装置 (スクリーン画面) に戻ります。
- LIS DNDT コマンドは、追加のパラメータとして dn/dT を計算すべき環境温度 (°C) をとります。例えば、Schott 社の光学ガラス BK7 の 50°C における dn/dT を表示するには次のようにします。

```
lis dndt bk7 50
```

環境温度の設定を省略した場合は、20°C が設定されたものとみなされます。

dn/dT は、光学系の追跡波長として あらかじめ指定した波長に対して計算されます。 dn/dT データが有効に計算できないガラス、あるいは波長については -999. が表記されます。

例:


```
lis all          ! 全該当の面データをリスト
lis > prn        ! 面に関するリストをプリンタ (prn) にリダイレクション
lis s1..5        ! 1～5 面までのリスト出力
lis ra          ! 全光線のリスト出力
lis r1..5        ! 1～5 番の光線をリスト出力
lis gla sf*      ! “sf” でその名前が始まる全ガラスをリスト出力
lis dndt bk* 50  ! “bk” でその名前が始まる全ガラスの dn/dT(絶対屈折率の
                  温度変化係数) を 50°C に対してリストアップ
```

9.2 代替ガラスのリスト (List Alternative Glasses)

任意のガラスに対する代替ガラスの一覧表を作成できます。代替ガラスとは、屈折率と分散が近似の特性をもつ別のガラスのことです。光学系中の任意のガラスを別のガラスに置き換えるための候補が得られます。代替ガラスの抽出は、d 線における 屈折率とアッペ数の差 (Δn_d および Δv_d) を基準に行われます。

代替ガラスの一覧表を得るには、コマンドラインから、次のように入力します。

LIS ALG base_glass [delta_n delta_V]	任意の base_glass に対する代替ガラスのリストを作成します。デフォルトでは、屈折率の許容差 (Δn_d) は 0.001、アッペ数の許容差 Δv_d は 0.8% ですが、それぞれ delta_n および delta_V を指定することにより変更できます。 'ALG' コマンド (199ページ) も参照してください。 なお、OpTaliX の旧バージョンでは、このコマンドは LIS ALT という名称でしたが、LIS ALG に変更されました。しかし、旧バージョンとの互換性の維持のため引き続き旧名称でも使えます。
---	---

代替ガラスのリストは、設計者が複数のガラスメーカーから類似材料を選定することをサポートするために もっぱら d 線における 屈折率とアッペ数の差だけに着目して行われます。その他の材料特性たとえば 屈折率の部分分散や線膨張係数 (TCE)、屈折率の温度変化係数 (dn/dT) などは考慮されません。これらに対する配慮は、設計者に委ねられていることに注意してください。

例:

```
LIS ALG N-BK7
```

コマンドラインから上記コマンドを入力すると下記リストが得られます。

ALTERNATIVE GLASS LIST :							
		n_d	V_d	P(g,F)	P(C,s)	TCE	1E6*dndT
Base glass	: SCH:N-BK7	1.516798	64.141	0.5350	0.5612	7.10	1.221
Alternative glasses	: SCO:BK7	1.516798	64.141	0.5350	0.5612	7.10	1.221
	: SCO:UBK7	1.516800	64.264	0.5349	0.5603	7.00	1.165
	: OHA:S-BSL7	1.516328	64.116	0.5353	0.5601	7.20	0.000
	: OHA:L-BSL7	1.516328	64.039	0.5334	0.5646	5.80	0.000
	: OHA:BSL7Y	1.516329	64.218	0.5343	0.5636	6.80	0.000
	: COR:B1664	1.516802	64.198	0.5352	0.5609	6.80	0.000
	: SUM:SU-BK7	1.516328	64.022	0.5346	0.5594	0.90	0.000
	: HIK:H-E-BK7	1.516798	64.083	0.5358	0.5594	9.20	0.000
	: HOY:BSC7	1.516797	64.172	0.5343	0.5615	7.50	0.542

```

          : CHI:C-K9          1.516372   64.089   0.5356   0.5617   0.00   0.000
Tolerance on nd      : 0.001
Tolerance on Vd      : 0.8 %

```

9.3 リスト出力の書式について (Description of List Format)

LIS コマンドの出力は、データ毎に妥当な桁数に丸められて表示されます。もしそれでは不足している場合には、OpTaliX の内部で保有している 32 ビット分の有効桁そのものの値を表記することもできます。それには EVA コマンドを使います (458 ページに詳細)。LIS コマンドには 9.1 に示すとおり、多くのオプションがあります。唯一 LIS DNDT (178 ページ) を指定した場合を除き、それに付随するデータの設定はありません。また、オプションをひとつも指定することなく、ただ単純に LIS とだけ入力することもできます。LIS コマンドの実行に先がけて OUT コマンド (445 ページ) を実行しておけば、その出力先をファイルに向けられます。

LIS コマンドの出力は、9.1 章に記載のとおり、個別のオプションごとにそれぞれ独立に出力されます。しかし、もし LIS コマンドをオプションなしで実行した場合には下記データが 3 つの部分に分割されて出力されます。

1. 光学系全系に関わるデータ
2. 面データ
3. 近軸諸量

！ダブルガウスタイプに関する出力が、上述の 3 つの部分に分かれて表記された例を示します。

パート (1) / 光学系全系に関わるデータ:

```

FILE = DOUBLE_GAUSS.OTX                      11.Jul.2004   15:49

Remarks:
  DOUBLE GAUSS - U.S. PATENT 2,532,751

Wavelength :      0.65630      0.58760      0.48610
Weight      :           1           1           1
REF = 2

XAN      0.00000      0.00000      0.00000
YAN      0.00000     10.00000     14.00000
FWGT      100         100         100
FACT       1          1          1

PIM = yes
SYM = yes
EPD = 25.0000

```

パート (2) / 面データ:

#	TYPE	RADIUS	DISTANCE	GLASS	INDEX	APE-Y	AP	CP	DP	TP	MP	GLB
OBJ	S	Infinity	0.10000E+21		1.000000	0.00	C	0	0	0	0	0
1>	S	28.7249	4.37333	BSM24	1.617644	15.00*	C	0	0	0	0	0
2	S	94.2300	0.14909		1.000000	14.60	C	0	0	0	0	0
3	S	17.4436	6.21211	SK1	1.610248	12.71	C	0	0	0	0	0
4	S	Infinity	1.88848	F15	1.605648	12.26	C	0	0	0	0	0
5	S	10.7346	7.55393		1.000000	8.48	C	0	0	0	0	0
STO	S	Infinity	6.46060		1.000000	7.74	C	0	0	0	0	0
7	S	-13.5175	1.88848	F15	1.605648	8.44	C	0	0	0	0	0
8	S	Infinity	5.41696	SK16	1.620408	10.45	C	0	0	0	0	0
9	S	-17.4934	0.14909		1.000000	11.06	C	0	0	0	0	0
10	S	293.3702	3.42909	SK16	1.620408	11.94	C	0	0	0	0	0
11	S	-31.5576	31.52335		1.000000	12.00*	C	0	0	0	0	0
IMG	S	Infinity			1.000000	12.62	C	0	0	0	0	0

パート (3) / 近軸諸量:

PARAXIAL DATA AT INFINITE CONJUGATES:			
EFL	50.00024	SH1 (Princ.Plane 1)	34.36081
FNO	2.00001	SH2 (Princ.Plane 2)	-18.43131
PARAXIAL DATA AT USED CONJUGATE:			
MAG (Magnification)	0.00000	SEP (Entr.Pup.Loc.)	27.93312
NAO (Num.ape.object)	0.00000	EPD (Entr.Pup.Dia.)	25.00000
NA (Num.ape.image)	0.25000	APD (Exit Pup.Dia.)	28.68792
BFL	31.56893	SAP (Exit Pup.Loc.)	-25.80720
DEF (Defocus)	-0.04558	PRD pupil relay dist	-16.21914
IMD (Image distance)	31.52335	OAL (S1->Image)	69.04452
OID (Object->Image)	0.10000E+21	SYL (System Length)	37.52117

9.4 グローバル座標値の出力 (List Global Coordinates)

一般に光学系の座標は 各面のローカル座標系が、直後の面のローカル座標系を連鎖的に規定することによって記述されます (逐次参照)。しかし、各面の頂点座標を共通のグローバル座標系に対して得たいという場面にも しばしば遭遇します。この章では、このことに関連した説明をしますが、一方、グローバルな面参照データの設定に関するコマンドの詳細は ([111](#)ページ) を参照してください。

GSC [si..j]	面のグローバル座標を出力。ただし、グローバル座標系として GLO コマンド (下欄に詳細説明) によって定義された面のローカル座標系が用いられます。
GSM [si..j]	面のグローバルマトリクスを出力。ただし、グローバル座標系として GLO コマンド (下欄に詳細説明) によって定義された面のローカル座標系が用いられます。グローバルマトリクスは 3 行 4 列のマトリクスで面頂点のグローバルティルトやオフセットを表現しています。
GLO [sk yes no]	グローバル座標解析をオン/オフに設定します。この機能をオンにすると、それ以降、SIN、RSI および GSC コマンド等が出力する 各面の X/Y/Z 座標は sk 面の頂点を原点として表現されます。はじめて GLO コマンドが オンに設定されたとき、sk が省略されているならば、s1 が設定されたものと見なされますが、2 度目以降は前回の基準面が、そのまま原点として使われます。 例: glo s3! グローバルな座標系が、第 3 面を基準に設定されます。 glo y! これ以降、座標の出力はグローバル座標系に対して行われます。 glo yes! 上記同様、第 1 面基準でグローバル座標の出力が設定されます。 glo ! 最後に定義していたグローバル座標系に復帰します。それが存在しないときには、第 1 面をグローバルな原点として参照します。 glo no! グローバル座標系の設定は解除されます。

[EVA](#) コマンド ([26.6](#)ページ) を用いて、[レンズデータベース](#)から グローバル座標系における面の頂点座標を得ることもできます。また、[マクロ](#) ([451](#)ページ) からの参照や [最適化の制約条件](#) ([19.6](#)ページ) としての利用も可能です。

XSC, YSC, ZSC

面頂点のグローバル座標

CXG, CYG, CZG

グローバル座標における面の法線方向余弦

グローバルな面座標 (GSC / Global Surface Coordinates) の出力例 :

```
***** ABSOLUTE VERTEX COORDINATES REFERRED TO SURFACE 1 *****
Surface vertex coordinates      : Direction cosine of surface normal
-----+-----
#          X          Y          Z :      NX          NY          NZ
      Alpha      Beta      Gamma
1      0.00000      0.00000      0.00000 :      0.0000000      0.0392598      0.9992290
      2.25000      0.00000      0.00000
2      0.00000     -116.19792     -1476.43457 :      0.0000000     -0.0155134      0.9998797
      -0.88889      0.00000      0.00000
3      0.00000     -308.74461      273.85521 :     -0.0000020     -0.1651447      0.9862693
      -9.50564      0.00012      0.00000
```

GSC コマンドは、任意の面 (GLO コマンド) を基準とする各面の頂点の座標を出力します。面の法線方向余弦と、グローバルなティルト角をオイラー角で表現します。ただし、 α, β, γ の順にティルトしていることに注意してください。

グローバルな面マトリクス (GSM / Global Surface Matrices) の出力例 :

```
GLOBAL SURFACE VERTEX COORDINATES AND TRANSFORMATION MATRICES:
Reference surface = 1
#          M11          M12          M13          X          Alpha          Beta          Gamma
      M21          M22          M23          Y
      M31          M32          M33          Z
1      1.0000000      0.0000000      0.0000000      0.0000000      2.25000      0.00000      0.00000
      0.0000000      0.9992290      0.0392598      0.0000000
      0.0000000     -0.0392598      0.9992290      0.0000000
2      1.0000000      0.0000000      0.0000000      0.0000000     -0.88889      0.00000      0.00000
      0.0000000      0.9998797     -0.0155134      116.197921
      0.0000000      0.0155134      0.9998797      1476.434571
3      1.0000000      0.0000000     -0.0000020      0.0000000     -9.50564      0.00012      0.00000
      -0.0000003      0.9862693     -0.1651447      308.744609
      0.0000020      0.1651447      0.9862693     -273.855207
```

面のティルトと平行偏芯は 3 行 4 列のマトリクスで表現できます。

$$\begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & -X \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & -Y \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & -Z \end{bmatrix} \quad (9.1)$$

ここで $m_{i,k}$ はティルト量を示しており、 $X/Y/Z$ はそれぞれ基準となる座標系からの変換対称面の頂点の方向への平行偏芯量を示します。マトリクスの要素の右側の出力は、ティルト量を基準座標系に対するオイラー角で示した値です。ただし、 α, β, γ でティルトすることを前提としていいますから注意してください。

マトリクスの定義については 107 ページの 8.18 章の説明も参照してください。

9.5 ユーザ定義変数のリスト出力 (List User-Defined Variables)

LVR	ユーザ定義変数に関する情報を出力します。すなわち、設定済みのユーザ定義変数名、その引数 (数値または文字列) がリストアップされます。詳細については、 459 ページの 26.9 も参照してください。
-----	--

9.6 ユーザ定義関数のリスト出力 (List User-Defined Functions)

LFC	ユーザ定義関数に関する情報を出力します。すなわち、設定済みのユーザ定義関数名、その関数定義の内容がリストアップされます。詳細については、 463 ページの 26.15 も参照してください。
-----	--

このページは白紙です。

第 10 章 レンズ配置の描画

– Lens Layout Plot –

光学系の断面や 3 次元立体図を描画します。このコマンドは描画タイプをコントロールするためのオプションパラメータを受け付けます。プリンタへの出力や他のグラフィックフォーマットへの出力には **GRA** コマンドを併用します (25.1 章、446 ページ)。

VIE [sec si..j zk scale ?]	レンズの断面図や 3 次元立体図を描画します。sec は描画タイプを指定するために用いられる 1 文字です (オプション)。 X: X/Z 平面の断面図 Y: Y/Z 平面の断面図 P: 3 次元立体図 (パースペクティブ描画, ワイヤフレーム) si..j: 描画する面範囲。例えば、s3..7(オプション) zk: ズームポジション (オプション) scale: プロットスケール (オプション) ?: レンズ描画パラメータを編集するためのダイアログボックスを起動 コマンド例: vie Y s3..7 z4 0.5
VPT azimuth elevation	3 次元立体図のアジマスとエレベーション角 (度/degree で指定) を定義します。azimuth 角は X/Z 平面内で規定されます。−180° から +180° までの範囲で指定できます。0° 方向は -X 軸方向に一致します。elevation 角は X/Z 平面内で規定されます。−180° から +180° までの範囲で指定します。透視距離は常に無限遠です (平行投影)。3 次元立体図が描画されたグラフィックウィンドウは、それが開いていれば自動的に更新されます。
LDS	VIE と同じですが、グラフィック出力のユニットの他の設定に関わらず常にスクリーンウィンドウに描画します。他のグラフィックユニットへの出力の設定は、GRA コマンドを用いて行います。詳細は 446 ページを参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
REN	レンズ系をほぼ写真画質で描画します。そのためのレンダリング情報は OpTaliX の作業ディレクトリ (通常、<code>..%optix%temp</code>) に生成されるファイル “<code>optix.pov</code>” に書き出されます。ついで、レンダエンジン POV が起動されます。10.1章の “OpTaliX から POV へのインタフェース” も参照してください。レンダリング情報 (POV ファイル) を別途出力することもでき、それには <code>EXP POV</code> コマンドを使います (496ページを参照してください)。
RSP	Y/Z 面内の断面図において単光線を描画します。光線の初期座標つまり光学系への入射角と位置はダイアログボックスのスライダーを使って対話式に調整できます。ただし、このコマンドは構成データを出力しません。正確な光線座標を選ぶには 239ページに記載の <code>RSI</code> コマンドを使ってください。
AAP yes no	非対称なアパーチャを描画します。レンズの描画においては 光束が通過するアパーチャ範囲だけを描画します。AAP no は実際に光束が通過した範囲にかかわらず、全アパーチャ領域を描画します (面はそのローカル軸に対称に描画されます)。デフォルトは AAP no です。
POX,POY,POZ [zi..j zk]	これらを指定すると、描画対象となるレンズがレンズ空間において x,y,z 方向にシフトしたごとく、紙面上に描画されます。多重化された光学系 (たとえばズームレンズ) の場合には POX, POY, POZ をポジション毎に個別に指定できます。この場合にはシフト量を Z00 修飾子に続いて指定します。詳細は 192ページを参照してください。
EDI LDR	描画パラメータを編集するダイアログボックスを起動します。
PPOS plot_pos	多重化された光学系 (例えばズームレンズ) において描画するポジションを指定します。plot_pos に 1 からズームポジションの最大値までの値を入力した場合には、そのポジションのみを描画します。plot_pos として 0 を指定した場合には、すべてのポジションが描画されます。
次ページに続く	

前ページから続く

EDG [si..j yes no] edge_type_no あるいは EDG [si..j yes no] edge_string	レンズエレメントのエッジをどのように描画するかを指定します。エッジの描画形式は数字 (edge_type_no) あるいは文字 (edge_string) で指定します。図 10.1に様々なエッジタイプを例示します。		
	edge type	edge string	
		yes	edge_type_no がゼロでない全エレメントのエッジが描画されます。
		no	面を指定しないと、エレメントの面だけ描画してエッジは描画されません。
	0	no	面を指定すると、指定した面のエッジを省略し、面だけを描画します。
	1	lin	面の表裏を (斜めの) 直線で結びます。
	2	ang	斜めに面取りしたエッジを描画します。デフォルトの設定です。
	3	rec	平面取りです。斜めの面取りはありません。
	例:		
	edg s5 3 あるいは edg s5 rec ! いずれも平面取り状のエッジを描画します		

例:	
vie y s1..5 2.5	1-5 面, スケール 2.5 倍、Y/Z 断面をレンズ描画
vie 1.5	スケール 1.5 倍にしたレンズ描画。他のパラメータは前の設定からとられます
vie 0	プロットスケールを自動化します。プログラムが内部で紙面上での描画プロットをフィットするためのスケールを自動調整します
vie ?	描画プロットよりも優先してプロットパラメータの調整を行うためのダイアログボックスを呼び出す
edg s5 3	レンズエレメントで直角のエッジを描画
edg s5 rec	上記と同じく、レンズエレメントで直角のエッジを描画

10.1 POV レンダリングエンジンの使い方 (Using POV Rendering Engine)

POV (Persisrence of Vision) を併用すれば、写真のようにリアルな描画が実現します。POV は、<http://www.povray.org> から無料でダウンロードできます。OpTaliX はエクスポートモジュール経由で POV へのインターフェースを提供します。OpTaliX が POV を利用するには、そのパスを OpTaliX のコンフィグレーションファイル **optix.cfg** 中で指定しなければなりません。それには 2 つの方法が

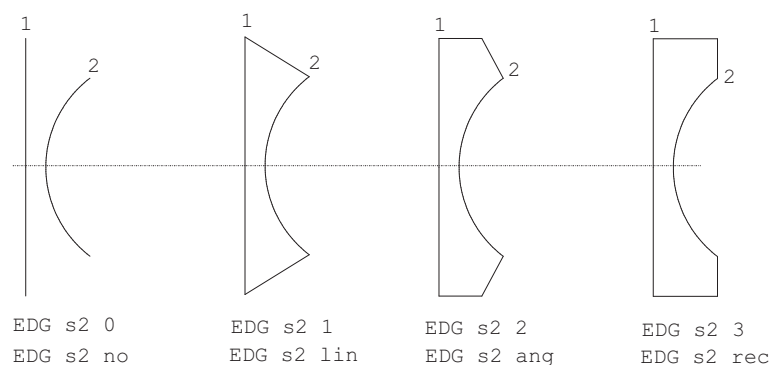


図 10.1: レンズエッジの描画タイプ

あります。

1. OpTaliX をインストールしたディレクトリにある `optix.cfg` ファイルを編集する方法です。任意のテキストエディタでこのファイルを開き、キーワード検索で“**RENDER**”を検索し、指定されたパスを適切に変更します。ブランクを含んだパス名はアポストロフィで括る必要があります。典型的な指定例は次のとおりです。

```
RENDER = "c:\pov31a\bin\pvengine.exe"
```

2. メインメニューから、**FILE** → **PREFERENCES** を選択します。デフォルトの検索パスを編集するためのダイアログボックスが現れます。パスフィールドを右ボタンでクリックしファイルを検索すれば直接に OpTaliX が `optix.cfg` を更新します。

参考情報: POV インターフェイスを使用するには、OpTaliX を書き込み可能なメディアにインストールしなければなりません。何らかの事情で OpTaliX を書き込み不能なメディアから起動する場合でも、少なくとも OpTaliX の全てのパス構造だけは書き込み可能なメディアにコピーしなければなりません。

10.2 光線の描画 (Plot Rays)

レンズ配置の描画を目的とするだけなら、それ専用 to 1 組の光線 (以後、**プロット光線**といいます) を生成し光学系とともに保存できます。この光線はしかし、像解析のために OpTaliX の内部で自動的に生成される光線とは完全に独立しています。

プロット光線を生成するには次のコマンドを用います。

SET RAY	標準のプロット光線を 1 組生成します。典型的には 1 画角につき 5 本の光線が存在します。- そのうちの 1 本は主光線で、絞り面の中心を通過します (あるいは、入射瞳の中心を通過する光線です。これは RAIM コマンドによって規定される光線エイミングの設定によっていずれかが選択されます) - メリジオナル (タンジェンシャル) の上側マージナル光線 - メリジオナル (タンジェンシャル) の下側マージナル光線 - サジタルの上側マージナル光線 - サジタルの下側マージナル光線
SET FAN Y num_fan_rays	Y 方向のファン光線を設定します。num_fan_rays で規定される本数の光線が入射瞳に渡り一様に分布します。ケラれるべき光線 (vignetted rays) は生成されません。
SET FAN X num_fan_rays	X 方向のファン光線を設定します。num_fan_rays で規定される本数の光線が入射瞳に渡り一様に分布します。ケラれるべき光線 (vignetted rays) は生成されません。
SET FAN XY num_fan_rays	X 方向と Y 方向のファン光線を同時に設定します。num_fan_rays で規定される本数の光線が入射瞳の XY 方向に渡り同数一様に分布します。ケラれるべき光線 (vignetted rays) は生成されません。
SET FAN C num_circ_rays	ユーザ定義アパチャの境界周辺に渡り一様に分布したファン光線が設定されます。入射光束のビネッティングを考慮すると、プロット光線はあたかも楕円上に分布するかのよう設定されます。
RAYX ri..j abs_X_value	プロット光線 ri..j の入射瞳上における出発点の絶対座標値の X 方向成分を指定します。
RAYY ri..j abs_Y_value	プロット光線 ri..j の入射瞳上における出発点の絶対座標値の Y 方向成分を指定します。
RAYCX ri..j cosine_x	プロット光線 ri..j の入射瞳上における X 方向の方向余弦を指定します。
RAYCY ri..j cosine_x	プロット光線 ri..j の入射瞳上における Y 方向の方向余弦を指定します。
DEL ri..j	プロット光線 i..j を削除します。
DEL ra	全てのプロット光線を削除します。

注意: レンズ配置の描画において、“自動的に光線生成をする”にチェックしておくで光線の定義は上書きされます (**EDI LDR** を参照してください)。

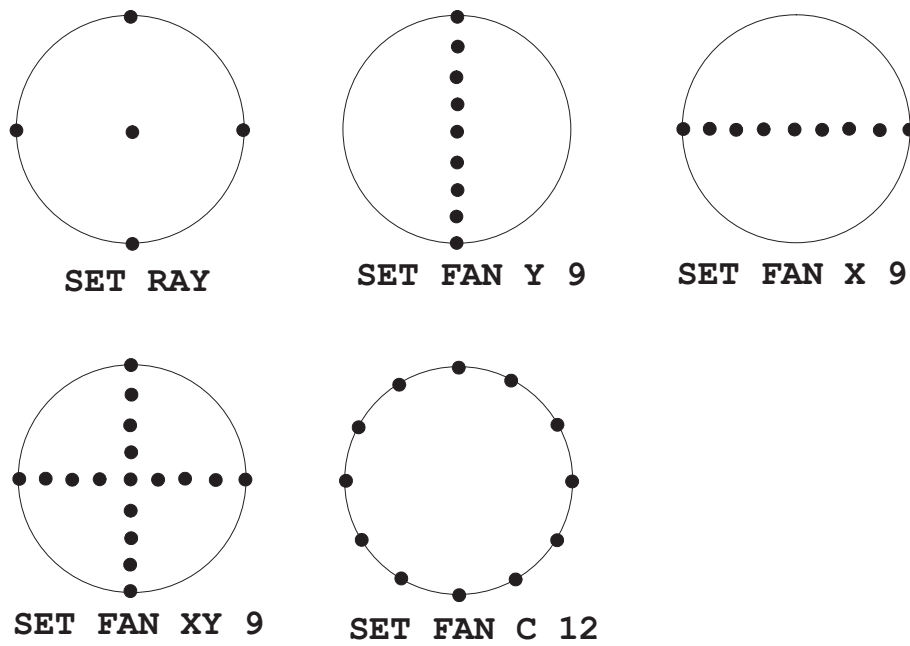


図 10.2: プロット光線の生成例

第11章 ズームと多重構成

– Zoom and Multiconfiguration –

一般的に受け入れられているとおり、このマニュアルでも“ズーム”という用語を“多重構成系”という用語の同義語として使います。古典的なズーム系は主にレンズエレメント間の空気間隔を変化させ、焦点距離や倍率を変えていました。しかし、より一般的には多重構成系は空気間隔に限らず、それがどんなパラメータであっても変化することを許します。つまり、“真の”多重構成系は、単一のレンズが異なった波長や異なったティルト、スキャン角、物体角度などで用いられる場合を含みます。

OpTaliX のズーム機能は、

- 編集可能なほぼすべてのレンズパラメータを多重化 (ズーム化) できます。
- すべてのズーム化 (多重化) データをレンズの一部として保存します。
- “dezoom(デズーム)” によってズームを解除します。解除後のレンズデータは任意の 1 ポジションのデータで記述される固定焦点レンズです。

ズームあるいは多重構成系は、次の手順によって設定されます。

1. 構成数を定義
2. 各ズーム構成のパラメータを定義
3. 各構成の最適化パラメータを定義 (もしあれば：自動設計をする場合のみ)

次節において各ステップを詳細に説明します。

11.1 ズームポジション数 (Number of Zoom Positions)

Z00 コマンドを用いれば、取り扱うズームポジションの数は設定できます。OpTaliX にはズームポジションの上限数は設定されていませんが、実際には OpTaliX を実行するコンピュータの構成 (メモリの総量など) によって限界のあることにご注意ください。

Z00 n_pos

ここで n_pos は取り扱うべきズームポジションの数です。

11.2 ズームパラメータの定義 (Define Zoom Parameter)

EDI Z00 コマンドはズーム (多重構成) パラメータを定義するための簡便なエディタを起動します。コマンドライン入力では、“ズーム化された”パラメータに先行して常に Z00 修飾子が指定されなくてはなりません。例えば、第3面の面間隔をズーム/多重構成系の変数にするには、コマンド入力は、

Z00 THI S3 1.0 12.0 16.0

となります。ここで指定するパラメータの数は、Z00 n_pos コマンドであらかじめ指定したズームポジション数と一致させなければなりません。もし入力したパラメータの数がズームポジション数よりも少ない場合、残りのパラメータはゼロが入力されたものとみなします。

コマンドの文法は、下記のとおりです。

Z00 n_pos	ズームポジションの数を定義します。
EDI Z00	ズームパラメータ編集用のエディタを起動します。50 ポジションまでのズームパラメータを扱えます。それを越えるポジション数を扱う場合には ZED コマンドを使って、テキストベースで編集してください。
Z00 operand parameter_1 ... parameter_n	ズーム化されていないパラメータをズーム化します。“operand”は任意の OpTaliX のコマンド、“parameter”はオペランドに見合った任意の値です。入力例は、この表に続いて示します。
ZED	ズームパラメータを編集するための、テキストベースのエディタを起動します。このコマンドは、テキストでズームパラメータを設定するために使われるものです。パラメータの編集は、それに相当するコマンド列を編集することによって行います。50 ポジションを越えるレンズデータを取り扱う場合に利用されます。それ以下のポジション数であれば、EDI Z00 コマンドを使って専用のダイアログからズームパラメータを編集するのが便利です。
POS zoom_pos	ズーム光学系をズームポジション “zoom_pos” に設定します。するとそれが現在のズームポジションとなります。以降のすべての光学特性解析 (例えば、MTF,PSF など) は選択されたポジションに対して行われます。すべてのズームパラメータを有効にすることが重要です (DEZ コマンドに関連しています。下欄を参照してください)。 設定例: POS 3 は現在のズームポジションとして第 3 ポジションを選択します。以降は光学系のリスト (LIS コマンド) や MTF 解析などがズームポジション 3 において実行されます。 なお、特定のズームポジションだけを描画するには PPOS コマンド (186 ページ) を使います。
DEZ zoom_pos	Dezoom はズーム化 (多重化) された光学系をズーム化 (多重化) されていない単一光学系に固定します。その際、“zoom_pos” ポジションのデータが残されます。他のズームデータは失われます。
次ページに続く	

前ページから続く	
ZOO POX value(z1) ... value(zn) ZOO POY value(z1) ... value(zn) ZOO POZ value(z1) ... value(zn)	紙面の描画領域の中心位置を基準に各ズームポジションをオフセットします。オフセット量は mm で与えます。指定した各値はレンズ配置の描画を配置するために各ズームポジションに対して個別に用いられます。 例: zoo poy 80 40 0 -40 -80 ! ズームポジション 1-5 のレンズのレイアウトプロットを紙面で Y 方向に垂直に描画します。ポジション 1 は紙面中心よりも 80mm 上方に、ポジション 2 は紙面中心よりも 40mm 上方に描画します。

例:

ZOO 3	ズームポジション 3 を選択します。
ZOO THI s2 2 4 6	ズームポジション 1 から 3 に対する第 2 面の面間隔がそれぞれ 2,4,6mm となるように多重化します。
ZOO ADE s3..6 10 20 30	第 3 面から第 6 面に対して、ズームポジション 1 から 30 に対する X ティルト量を 10,20,30 に多重化します。
DEZ 2	ズームを解除します。その際、ポジション 2 のデータが残されます。例えば上記 3 行に示すとおりズームパラメータが設定されていたとすると解除後に残されるデータは THI s2 4 と ADE s3..6 20 に固定されます。
ZOO STO s1 s4 s6	絞り面の指定をズーム化
ZOO STO 1 4 6	上記と同じですが面修飾子を省略しています。
ZOO GLA s1 bk7 sf6 f2	第 1 面のガラス材をズーム化します。

11.3 表形式のズームエディタ (Zoom Editor Window)

ズーム化されたパラメータを簡単に編集できるよう、OpTaliX には“表形式のズームエディタ”が用意されています。これを用いれば、最大で 50 ポジションまでのズーム (多重構成) までのズームパラメータを表形式で編集できます。50 ポジションを越えるパラメータを扱う場合には、コマンドラインか、あるいは ZED コマンドで起動されるテキストベースのエディタを使って、データ設定および編集を行ってください。

表形式のズームエディタを起動するには、次のようにします。

EDI ZOO

エディタ中の各パラメータは個別のセル内に表示されます。例えば 3 方向の視野方位 (YAN) と 3 カ所の面間隔 (THI) が多重化された例をファイル \$i¥examples¥zoom¥laikin-35-1.otx に示します。

コマンドラインからであれば、ズームパラメータは次のように入力します。

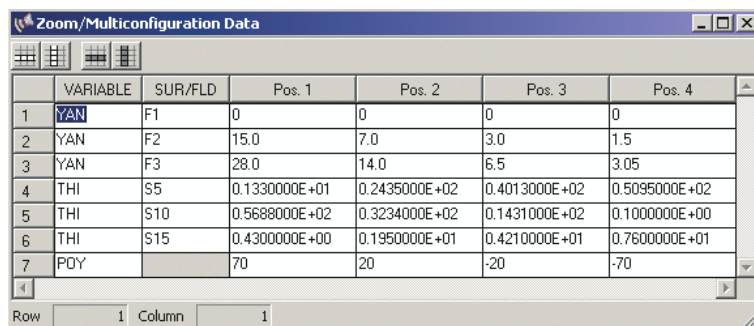
zoo 4

```

zoo yan f1 0 0 0 0
zoo yan f2 15.0 7.0 3.0 1.5
zoo yan f3 28.0 14.0 6.5 3.05
zoo thi s5 0.1330000E+01 0.2435000E+02 0.4013000E+02 0.5095000E+02
zoo thi s10 0.5688000E+02 0.3234000E+02 0.1431000E+02 0.1000000E+00
zoo thi s15 0.4300000E+00 0.1950000E+01 0.4210000E+01 0.7600000E+01
zoo poy 70 20 -20 -70

```

この入力を表形式のズームエディタを使って参照すると、図 11.1 のように表示されます。



	VARIABLE	SUR/FLD	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4
1	YAN	F1	0	0	0	0
2	YAN	F2	15.0	7.0	3.0	1.5
3	YAN	F3	28.0	14.0	6.5	3.05
4	THI	S5	0.1330000E+01	0.2435000E+02	0.4013000E+02	0.5095000E+02
5	THI	S10	0.5688000E+02	0.3234000E+02	0.1431000E+02	0.1000000E+00
6	THI	S15	0.4300000E+00	0.1950000E+01	0.4210000E+01	0.7600000E+01
7	POY		70	20	-20	-70

図 11.1: \$i¥examples¥zoom¥laikin-35-1.otx に関するズームデータを表示させた場合

表形式のズームエディタは、50 までのズームポジションと、120 要素までのズーム化されたパラメータを取り扱えます。この制限は、OpTaliX を実行するコンピュータのメモリ資源が有限であることを考慮して設定されたものです。

“VARIABLE” と表記された 1 つ目のカラムには常にズーム化されたパラメータが表示されます。ここには光学系を規定する任意のパラメータ、例えば曲率 (CUY)、曲率半径 (RDY)、距離 (THI)、ティルト/偏芯 (XDE,ADE,...)、波長 (WL)、アパチャ (EPD,NA,NAO) などが含まれます。コマンドラインから変更可能なパラメータであれば、どれでもズームエディタで取り扱えます。

“SUR/FLD” と表記された 2 つ目のカラムは、面の番号や画角番号、波長番号などを規定します。ズームエディタの各セルにはコマンドラインから入力されたパラメータがそのまま表現されますので、面や画角、波長を表記する文字 (S,F,W など) を数値の前に適切に与えなくてはなりません。つまりコマンドライン入力の場合と同様、第 3 面であれば “s3” と指定します (実際には引用符 “ ” は不要)。また画角番号 2 ならば “f2”、波長番号 4 ならば “w4” と指定します。

これらに続くカラムは各ズームポジションに対するパラメータデータです。

注意:

画角や面、波長のいずれにも依存しないパラメータがいくつかあります。‘PIM’、‘POX’、‘POY’、‘POZ’、‘DEF’、‘EPD’、‘FNO’、‘NA ’、‘NAO’、‘MAG’、‘RED’、‘STO’、‘WRX’、‘WRY’、‘ZWX’、‘ZWY’、‘RCX’、‘RCY’、‘M2 ’、‘MFR’ などです。これらに対応する 2 つ目のカラムはグレーで表記されます。これは、このセルには入力する必要のないことを示しています。

MTF, PSF のような解析オプションは常に、その時点で選択されているズーム/多重構成ポジションに対して計算されます。複数のズームポジションについて光学特性を評価するには、評価に先駆けてそれぞれズームポジション選択しておく必要があります。ズームポジションを選択するためのコマンドは “POS i” です。ここで “i” は、選択すべきズームポジションです。スポットダイアグラム (SPO)、横収差図 (FAN) やレンズ描画 (VIE) のようにいくつかのオプションは全ポジションを 1 枚のグラフに描画します。

11.4 ズームポジションの挿入、コピー、削除 (Insert, Copy, Delete Zoom Positions)

INS zi..j	ズームポジション zi..j を挿入します。挿入場所よりも上位のポジションのデータは、そのままシフトします。
DEL zi..j	ズームポジション zi..j を削除します。削除場所よりも上位のポジションのデータは、そのままシフトします。
COP zk target_pos	ズームポジション zk のデータを ポジション target_pos にコピーします。このコマンドは、コピーされる側のポジション (target_pos) のデータを、コピー元 (ポジション zk) のデータで上書きします。誤操作によるデータの消失を防ぐには、INS zi..j コマンドでいったん新しいポジションを追加し、その後、コピーを実行することをお勧めします。このコマンドは、1 ポジションごとのコピーのみを実行できます。例：cop z4 3 ! ズームポジション 4 のデータを ポジション 3 にコピーします。

ズームポジションは、ズームエディタのツールバーに表示された 図 11.1記載の各アイコンをクリックすることによっても、挿入、削除が可能です。



ズームパラメータの行を追加します。



ズームポジションを指定の列に 1 ポジション挿入します。ポジションの選択は、所望のポジションの任意のセルにカーソルを移動するか、そのセルをマウスでクリックすることによって行います。こうすることで、次のようにして、ポジションの挿入が実行されます。すなわち、挿入を指定したポジションを含む、それより上位の各ポジションが 1 ポジションずつ上位側にそれぞれシフトし、空欄となった所望のポジション位置には、その下位側のポジションのパラメータが自動的にコピーされます。



ズームパラメータの行を削除します。



ズームエディタ中でカーソルが位置するポジションを削除します。

11.5 テキスト形式のズームエディタ (Text based Zoom Editor)

表形式のズームエディタだけでなく、テキスト形式のエディタからズーム/多重構成パラメータを設定することもできます。コンピュータのメモリ資源の制約から表形式のエディタは 120 個までのズームパラメータまでの取り扱いに制限されますが、テキスト形式のエディタであれば、このような制限はありません。テキスト形式のズームエディタは、次のコマンドで起動できます。

ZED テキスト形式のズームエディタを起動します。この時点で表形式のズームエディタが起動している場合は、表エディタは自動的に閉じられます。

このコマンドは、図 11.2 に類似のエディタを起動します。

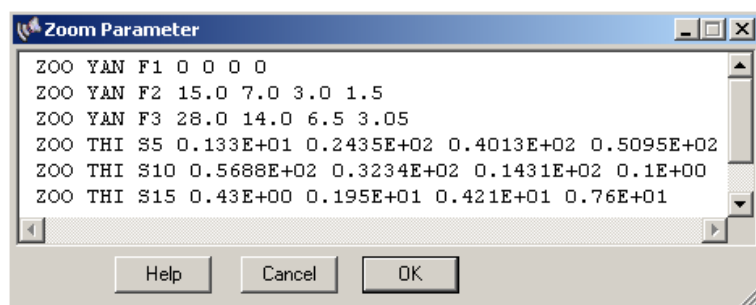


図 11.2: ZED コマンドで起動されるテキスト形式のズームエディタ。例として表示されているのは `$i¥examples¥zoom¥laikin-35-1.otx` のパラメータ。表形式のズームエディタを起動する場合は EDI ZOO コマンド。

11.6 ズーム光学系におけるソルブ (Solves in Zoom Systems)

ソルブは第 1 ズームポジションにだけ有効です。残りのズームポジションに対するソルブは変更されません。ご注意ください。

第12章 ツールとユーティリティ

– Tools and Utilites –

12.1 オートフォーカス (Autofocus)

バックフォーカス距離または任意に選ばれた軸上間隔 (光軸に沿って計った面間隔) を調整することで、光学系の最良像を見いだします。この機能は、簡単かつ迅速に最良像面を評価面に位置させる方法を提供します。最良像面を定義するための評価方法には何通りもあり、それは **RMS** スポットサイズ最小 (X,Y 方向とも)、波面収差最小、MTF 最大あるいは結合効率最大です。最良像の位置は、これらのうちどの基準を採用したかに依存します。軸上間隔の調整による最良像面の移動は選択された画角や波長に対して実行されるか、あるいは視野全体 (全画角の平均) に対して実行されます。多重化された光学系 (ズーム光学系) の場合には、常にその時点で選択されているズームポジションに対して実行されます (**POS** コマンドを参照)。

この機能は軸上間隔だけしか変更しないので、像面がティルトしている場合には適切に機能するとは限りません。例えば非軸対称光学系のように像面が傾いている場合には、適切な面ティルト (**ADE**, **BDE**, **CDE**) を変数に設定して最適化を実行するとうまく調整できます。

```
AF fkn.type [ fi..j | wi..j | si | ? ]
```

軸上間隔 (面間隔) を調整することにより選択された画角および波長に対してオートフォーカスを実行します。デフォルトでバックフォーカス距離が調整されます。“**PIM yes**” が指定されている場合にはデフォーカス (**DEF**) 量の変更され、“**PIM no**” の場合には最終面の軸上間隔が変更されます。この機能は指定された面の軸上間隔を変数として必要とします。

fkn.type は像の評価基準を示す 3 文字の文字列です。下記から 1 つを選んで指定します。

SP0	RMS スポット直径
SPX	X 方向だけの RMS スポット直径
SPY	Y 方向だけの RMS スポット直径
WAV	RMS 波面収差
MTF	変調伝達関数 (MTF)。MTF オートフォーカス を実行する、空間周波数を AFR で設定 (274ページ参照)
CEF	結合効率

例:

- af

パラメータを何も指定しないでオートフォーカスを実行すると、その時点で選択されているズームポジションの全波長と全画角に対して共通のバックフォーカス量を求めます。
- af ?

オートフォーカスに関連した種々のパラメータを選択するためのダイアログボックスの起動します。
- af spo f1..3 w3

画角 1 から 3 において、波長番号 3 の波長に対する RMS スポット径が最小となる像位置を求めます。
- af mtf s4 f1

画角 1 において MTF が最大になるような像位置を求めます。その際、第 4 面の面間隔を変数として使用します。

12.2 スケーリング (Scaling)

光学系全体、あるいはその一部をスケーリング (拡大、縮小) します。その書式は ;

SCA si..j scale_factor	面範囲 si..j をスケーリングします。スケーリング倍率は scale_factor です。
SCA sa scale_factor	光学系全体をスケーリングします (sa は全面=surface all の意味)。スケーリング倍率は scale_factor です。
SCA [EFL OID SYL EPD OAL] target_value	光学系全体を EFL, OID, SYL, EPD, OAL のいずれかが所定の値となるようにスケーリングします。 例： sca efl 100 ! 焦点距離 (EFL) が 100mm となるように光学系全体をスケールします。

12.3 光学系の反転 (Invert System)

光学系全体、あるいはその一部を反転 (前後を逆転) します。しかし、光学系の使用状況を示すパラメータ (たとえば、口径比や画角など) は変更しません。

INV si..j	面範囲 si..j を反転します。
-----------	-------------------

12.4 仮想ガラスを実在するカタログガラスに変換 (Convert fictitious Glasses to real Catalogue Glasses)

仮想ガラスを実在する (通常の) カタログガラスに変換します。仮想ガラスは 6 桁の数字に表現された MIL コードで指定されます。詳細は 224 ページまたは 234 ページに記述されている DNO および DVO オフセットの説明を参照してください。変換にあたっては n_d や v_d を元にカタログ中で最も近いガラスを検索します。部分分散は考慮していません。
一部の特殊光学材料 (GRIN 材料や“赤外領域用”の材料など) は MIL コードによる表現にはなじみません。このような材料については、ここで紹介する変換機能は適切に機能しないことにご注意ください

い。

```
REG [si...j | cat_code1 ... cat_code10  
| ? ]
```

仮想ガラスを $n-v$ のガラスマップ上で最も近似の実存するカタログガラスに変換します。
cat_code は、アルファベット 3 文字からなるガラスの製造メーカー識別名 (221 ページの表 13.2 参照) です。最大 10 社の識別名まで同時に設定できます。

Examples:

REG sa SCH: すべての仮想ガラスを 最も近似する Schott 社のカタログガラスに置き換えます。

REG s2..5 HOY HIK: 第 2 面から第 5 面までの仮想ガラスを、HOYA または光ガラスのカタログガラスに置き換えます。

実存ガラスへの置き換えにあたり、探査の対象とすべきカタログメーカーをダイアログから簡便に設定することもできます (図 12.1)。それにはメインメニューの “Tools → Fictitious glass to catalogue glass” とたどってください。ここで設定したすべてのカタログが探査の対象となります。

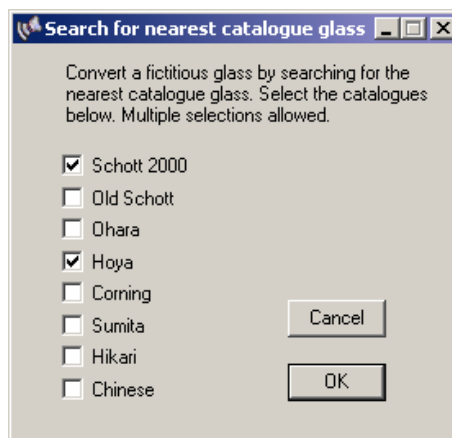


図 12.1: 仮想ガラスを通常のカテゴリガラスに変換する際に探査対象とするカテゴリの設定画面

12.5 代替ガラスの検索 (Find Alternative Glasses)

元となるガラス (ベースガラス) に対して互換性が期待される他社製ガラスを代替ガラスとして検索します。ベースガラスの屈折率と分散は、ベースガラスと比較して、ほぼ同等ですからそれを置換したとしても、通常は顕著な問題を生じません。代替ガラスの検索にあたっては、所定の屈折率差 (Δn_d) およびアッベ数の差 (Δv_d) まで許容します。その許容差は、コマンドにより任意に設定できます。

ALG base_glass [delta_n delta_V]	任意の base_glass との互換性が期待される代替ガラスを検索します。 デフォルトでは、屈折率の許容差(Δn_d)は0.001、アッペ数の許容差 Δv_d は0.8%ですが、それぞれ delta_n および delta_V を指定することにより変更できます。
-------------------------------------	--

この機能は、 Δn_d と Δv_d だけを考慮していますから、可視波長範囲外を対象とする光学系には有効ではありません。また、部分分散、屈折率の温度変化係数、線膨張係数も考慮していません。その意味で、この機能は光学設計者が他社製ガラスを探索することを支援する以上のものではないといえます。代替ガラスの適用にあたっては、この点に十分注意してください。

12.6 重量と体積 (Weight and Volume)

このオプションはレンズの重量や体積、重心を求めます。光学部品だけを計算の対象とします。機構部品、例えばスペーサや鏡筒などは考慮されません。円形開口を有する球面レンズの体積を解析的に計算します。矩形や楕円形状のアパーチャをもつ非球面やレンズは数値積分により求められます。重量はガラスカタログに登録されている各光学材料の密度を使って求められます。

特に指定のない限り、レンズの外径は面の**最大有効径**を基準に決定されます。(8.32章を参照)。その際、対象とする面が“固定アパーチャ”でなければ小さな有効径をもつ側のレンズ径は大きな有効径を持つ側のレンズ径まで広げられます。

一方、8.32章に記載の **EDG** コマンドを用いれば、レンズの外径を明示的に規定することもできます。この機能はレンズ外径と光線有効径の間に適度な余裕を持たせたり、外径を鏡筒の設計に合わせたりする場合に便利です。

表面反射鏡の体積と重量は、その厚さ (**THM** コマンドで設定) と比重 (**SPG** コマンドで設定) から計算されます。表面鏡の裏面は常に平面が仮定されます。

WEI [si..j]	レンズの体積と重量それに重心が計算されます。円形、矩形、楕円形状のアパーチャを正確に扱います。遮蔽やホールも考慮されますが、面のティルトには対応していません。ミラーについてこれらを適切に計算するには、その厚さを THM コマンドで、鏡材の密度を SPG コマンドであらかじめ設定しておかなければなりません。
SPG [sk si..j] gravity	ガラスカタログにあらかじめ登録されている比重に変えて、ここで設定した値が重量計算に用いられます。 gravity にゼロを設定すると、ここで設定した値は削除され、再びカタログ登録値が使われます。
THM [si..j] mirror_thickness	ミラーの厚さ。このコマンドは体積・重量計算および ISO 形式の図面描画 においてのみ必要です。光学パラメータとしての意味はありません。

例 1:

図 12.2 に示す標準ダブルガウスレンズ (OpTaliX の examples ライブラリ

(`%optix%examples%misc\double_gauss.otx` から呼び出せます) による例示です。WEI オプションにおいて、どのようにエッジ形状が仮定されるかについても示します。

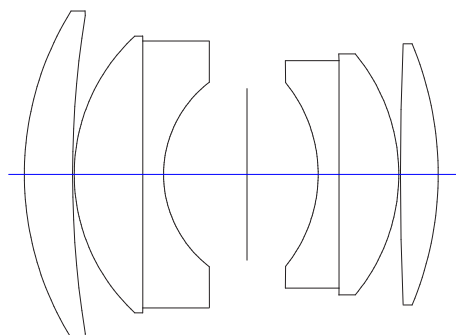


図 12.2: 体積・重量計算において用いられるエッジ形状の例、ダブルガウス型レンズの場合

出力テーブルは面およびエレメントの番号、体積、密度、重量、重心位置を含みます。ここで各レンズの重心位置はそれぞれ前側の面の頂点を基準に表示されます。また系全体の重心位置は第1面の頂点を基準に表示されます。

WEIGHT CALCULATION:

Surf.	Element Number	Volume (cm ³)	Gravity (g/cm ³)	Weight (g)	---- Center of Gravity ----		
					X	Y	Z
1-2	1	2.05929	6.300	12.974	0.000	0.000	3.280
3-4	2	1.84480	3.560	6.567	0.000	0.000	4.052
4-5	3	2.34401	3.480	8.157	0.000	0.000	2.676
7-8	4	1.31742	3.480	4.585	0.000	0.000	-0.163
8-9	5	1.35685	3.580	4.858	0.000	0.000	1.947
10-11	6	0.96652	3.580	3.460	0.000	0.000	1.299
Total :		9.88889		40.600	0.000	0.000	16.629

Notes: Center of gravity of lenses are referred to the front surface of each element.
Center of gravity of total system is referred to first surface.

ここで全ての面を非球面に設定します (`sut sa a` コマンド使用)。こうすると、体積は解析的な方法ではなく数値積分によって求められます。このため、体積や重量がわずかに異なって表示されます。

WEIGHT CALCULATION:

Surf.	Element Number	Volume (cm ³)	Gravity (g/cm ³)	Weight (g)	---- Center of Gravity ----		
					X	Y	Z
1-2	1	2.05960	6.300	12.975	0.000	0.000	3.280
3-4	2	1.84512	3.560	6.569	0.000	0.000	4.052
4-5	3	2.34416	3.480	8.158	0.000	0.000	2.676
7-8	4	1.31743	3.480	4.585	0.000	0.000	-0.163
8-9	5	1.35702	3.580	4.858	0.000	0.000	1.947
10-11	6	0.96664	3.580	3.461	0.000	0.000	1.299
Total :		9.88996		40.605	0.000	0.000	16.628

Notes: Center of gravity of lenses are referred to the front surface of each element.
Center of gravity of total system is referred to first surface.

例 2:

この例は、(前面が反射面であるような) ミラーを含んだ光学系の重量計算法を示しています。妥当な計算結果を得るために、ミラーの中心厚や鏡材密度を適切にミラー面に割り当てる必要があります。そのためにはコマンド **THM** や **SPG** を使用します。

`examples` ライブラリ からカゼグレイン望遠鏡のデータを呼び出し (`%optix%examples%mirror%cassegrain.otx`)、主鏡と副鏡に次のとおり中心厚を割り当てます。

```
thm s1 10.0
thm s2 5.0
```

ミラーの厚さには常に正の値を与えることに注意してください。さらに密度 ρ を指定しなければなりません。例えば、

```
spg s1 3.1
spg s2 2.5
```

ここで、 ρ は g/cm^3 を単位に指定します。適切なデータが入力された結果、WEI コマンドは正しく重量と重心を出力します。

WEIGHT CALCULATION:

Surf.	Element Number	Volume (cm^3)	Gravity (g/cm^3)	Weight (g)	---- Center of Gravity ----		
					X	Y	Z
1-2	1	349.23284	3.100	1082.622	0.000	0.000	3.812
	(	379.59602	circular, transmit)				
	(	-30.36318	circular, obstruct)				
2-3	2	13.46352	2.500	33.659	0.000	0.000	-2.731
Total :		362.69636		1116.281	0.000	0.000	-12.279

Notes: Center of gravity of lenses are referred to the front surface of each element.
Center of gravity of total system is referred to first surface.

中央遮蔽が定義された主鏡 (第 1 面) の結果には、中央遮蔽がない場合の全重量と、そこから除去された遮蔽部分の重量も併記されています。

12.7 屈折率分布面に最適なコーティング剤の屈折率 (Optimal Coating Indices for Gradient Index Surfaces)

このオプションは、屈折率分布型レンズの前後面に共通の反射防止膜 (AR コーティング) を施す際の、膜材の最適屈折率を求めます。曲率が小さな場合には屈折率は特に急峻に変化します (それが設計プロセスにおけるねらいです)。しかしこのような基板の事情にかかわらず、膜材料の屈折率はある特定の値に一義に定めなくてはなりません。一般には光線有効径の 70% 位置における基板 (レンズ) の屈折率が適用されますが、より好ましいと考えられるもうひとつの方法は領域に渡って重み付けされた屈折率を求めるものです。これは以下のように計算されます。

$$n = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (r_i^2 - r_{i-1}^2)}{r_{\max}^2} \quad (12.1)$$

上記 2 つの考え方に加え、軸上および光線有効径位置における膜屈折率の最適値が求められます。コマンドの書式は次のとおりです。

CIND sk[ape1 ape2]	前側の面と後側の面に対してそれぞれ光線有効径が ape1 と ape2 であるような屈折率分布面 sk に対するコーティングに用いられる屈折率を出力します。ここで ape1 と ape2 が省略されると、その時点で設定されている有効径が用いられます。 例： cind s2 10 9 ! 光線有効径が10mm(前面)および9mm(後面) の場合に対する膜材料の最適屈折率を計算
--------------------	---

テキストウィンドウの典型的な出力は次のとおりです。

```
Refractive index values for AR-coating of gradient index lenses:
Wavelength :      0.58760
Surf      Area      70%      full      Clear
  weighted aperture on-axis aperture aperture
  1  1.7062033  1.7071323  1.7173626  1.6962368  12.500
  2  1.6816796  1.6816665  1.6815213  1.6818191  11.255
```

12.8 面のサグ量 (Surface Sag)

面のサグ量は、光学系の任意の面のどの位置においても計算できます。このコマンドの書式は次のとおりです。

SAG sk x_height y_height [?]	sk 面における面座標 x_height , y_height における面サグ (z 成分) をティルトや偏芯に関わらず面頂点を基準に求めます。
------------------------------	--

12.9 ユーザ定義グラフィック (User Defined Graphics)

あらかじめ OpTaliX に組み込まれたグラフィック機能に加えて、ユーザがその内容を定義する図も簡単に描画できます。OpTaliX が求め得るあらゆる光学特性量が、任意の変数に対して 2 次元でプロットできます。パラメータや関数は、あたかもコマンドラインから入力されたかの様に例えば、ファイバ結合系においてファイバの光軸方向の位置を変化させるには次のコマンドを用います。

```
FRY .001
```

これは受光ファイバを像面における主光線のノミナルな交点から 1 μm だけシフトさせるものです。ユーザ定義グラフィック (UGR) では、このミスアライメントを単に **'fry'** と記述するだけで可変パラメータとして取り扱えます。この変数に依存する任意の関数が、任意の評価量に対して指定できます。例えば **'SPD f3'** と指定した場合には、画角番号 3 における RMS スポット直径が採用されます。

一例として、ファイバのミスアライメントに対する結合効率の変化を描画したいとしましょう。これを実現するためのコマンドは

```
UGR X 'fry' LIM -0.005 0.005 0.001
UGR Y 'cef' LIM 0 1.0
```

となります。1 行目は可変パラメータとして ‘fry’ を X 軸に対して規定しています。2 行目はそれに従属する関数として ‘cef’ を Y 軸に対して規定しています。いずれも LIM という表記に続く値は、パラメータの上限値と下限値、それに変数ステップを示します。ユーザ定義グラフィック (UGR) を定義するために必要な設定は、たったこれだけです。X, Y 軸ラベルやプロットのタイトルを追加したい場合には、次のように定義します。

```
UGR TIT 'Coupling efficiency vs. fiber misalignment'
UGR XLAB 'fiber decenter'
UGR YLAB 'CEF'
```

これで準備が整いました。実際の描画は次のコマンドによって実行されます。

```
UGR go
```

ユーザ定義グラフィックス (UGR) に関する種々の設定を簡便に行うには、*TOOLS* メニューから *User defined graphics* を選択すると起動するダイアログを使う方法もあります。その例を図 12.3 に示します。また描画結果を図 12.4 に示します。

UGR に関連する全てのコマンドの一覧は下記のとおりです。

<pre>UGR X var_string [LIM xlow xhigh xstep]</pre>	UGR において X 軸 (横軸) に沿った変数として取り扱うべきパラメータを設定します。変数を <code>var_string</code> にアポストロフィでくくって記述することで設定されます。LIM はオプションです。これを適切な数値を指定すれば X 軸のプロット端と変化量が明示的に設定されます。省略した場合は、自動的に設定されます。 例： <pre>ugr x 'thi s4' ! UGR 中では第 4 面の面間隔は変数です. ugr x '\$myvar' ! UGR 中のユーザ定義変数 \$myvar の生成. ugr x 'yde s3 lim 0 30 .5' ! UGR 変数の範囲とステップの明示的な設定</pre>
<pre>UGR Y func_string [LIM ylow yhigh]</pre>	UGR において Y 軸 (縦軸) に沿った変数として取り扱うべきパラメータを設定します。変数を <code>var_string</code> に引用符 (“ ”) でくくって記述することで設定されます。LIM はオプションです。これを適切な数値を指定すれば Y 軸のプロット幅が明示的に設定されます。省略した場合は、自動的に設定されます。 例： <pre>ugr y 'efl' ! 焦点距離 (EFL) X 軸の変数に対する関数として計算し、プロットします。 ugr y 'efl lim 100 200' ! 焦点距離を計算し、100mm から 200mm の範囲に限ってでプロットします。</pre>

次ページに続く

前ページから続く	
UGR TIT title_string	ユーザ定義グラフィックス中に表示されるタイトルを title_string に文字列として設定します。タイトル中に空白文字がある場合は、タイトル全体を引用符 (“ ”) でくくらなければなりません。空白文字がないならば、引用符は省略できます。 例： ugr tit 'My Title' ! タイトルとなる文字列の設定。タイトル中に空白文字を含むので全体を引用符でくくっています。 ugr tit stuff ! この場合は空白文字を含まないので引用符を省略できます。
UGR XLAB x.label_string	X 軸に付けるラベルです。空白文字を含む場合には、ラベル全体を引用符 (“ ”) でくくらなければなりません。空白文字がない場合は引用符を省略できます。 例： ugr xlab 'X variable' ! X 軸のラベルとして 'X variable' が表示されます。引用符はラベルそのものではないので表示されません。 ugr xlab x-value ! X 軸のラベルとして 'x-value' が表示されます。ただし引用符は表示されません。
UGR YLAB y.label_string	Y 軸に付けるラベルです。空白文字を含む場合には、ラベル全体を引用符 (“ ”) でくくらなければなりません。空白文字がない場合は引用符を省略できます。 例： ugr ylab 'spd f1' ! Y 軸のラベルとして 'spd f1' が表示されます。引用符はラベルそのものではないので表示されません。 ugr xlab spd ! Y 軸のラベルとして 'spd' が表示されます。ただし引用符は表示されません。
UGR LOG floor	対数表示を設定します。

可変パラメータの文字列や関数名のフィールドは編集可能です。また各コマンドに与えられた書式ルールの範囲で拡張することもできます。種類は限られますが、あらかじめ OpTaliX に定義された変数関数をプルダウンメニューをクリックすることでアクセスできます。これらには “!” 記号で分割された簡単な説明が付与されています。いずれも “!” 記号に続くテキストはコメントとして扱われ、したがって機能上は無視されます。つまり、これは変数/関数定義の一部ではないということです。

UGR の定義は拡張子 ***.ugr** を持つマクロファイルに保存できます。また、マクロファイルから復元(呼び出し) できます。

ユーザ定義グラフィックとして生成できる描画パターンはあまりに多種類に及ぶので独立変数や従属関数に対するデフォルト値は設定されていません。UGR オプションを実行する前にはコマンドライン入力を用いて結果があきらかなコマンドと関数を組み合わせたテストを実施されるようにお勧めします。

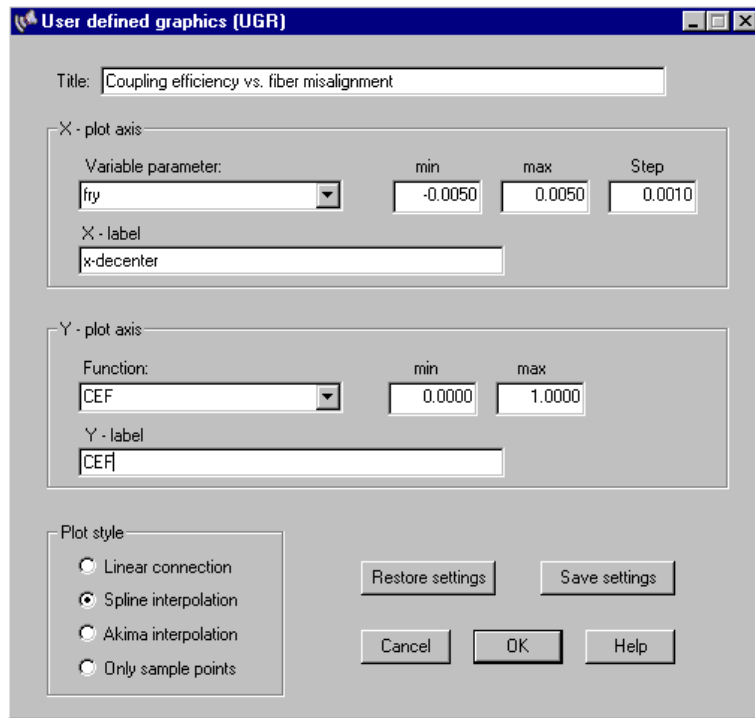


図 12.3: ユーザ定義グラフィックを定義するダイアログボックス

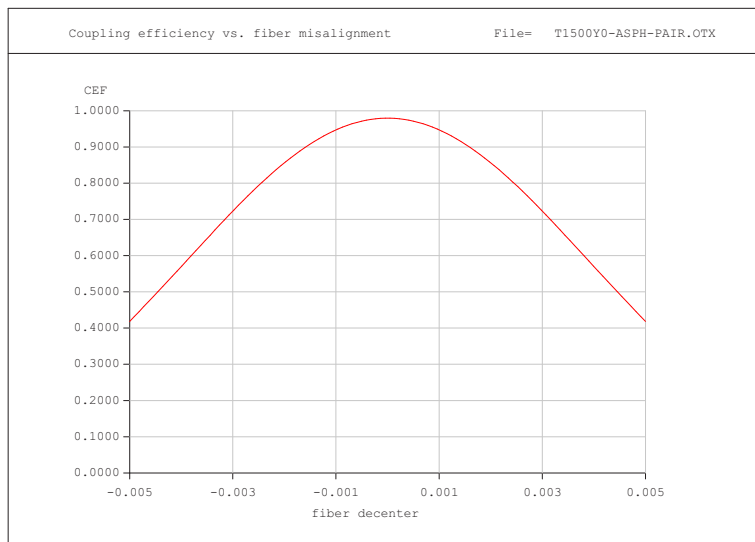


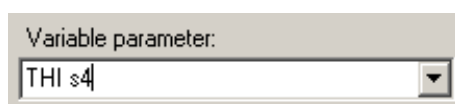
図 12.4: ユーザ定義グラフィックの出力例: 結合効率 (CEF) のファイバ調芯誤差依存性

また、幾種類かの可変パラメータは、対応する光学パラメータが適切に定義されている場合にのみ作用することにも注意してください。例えば平行偏芯 (XDE,YDE) を可変パラメータに指定するには、面は偏芯可能でなくてはなりません。(面タイプに“D”を加えます)。

12.9.1 ユーザ定義グラフィックスにおける変数 (Variable Parameters in User-defined Graphics)

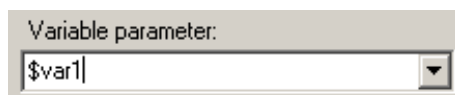
ユーザ定義グラフィックス (UGR) において、変数を使うことができます。

- コマンドラインから入力できる、あらゆる構成パラメータ、レンズデータを UGR における独立変数として扱えます。独立変数の変化は、ユーザ定義グラフィックスの結果として出力されるグラフの横軸の変化として表示されます。例えば **THI s4** (第 4 面の面間隔) はコマンドラインから入力可能なレンズデータのひとつですが、この場合は引用符等でくくることなくそのまま独立変数として設定できます。



構成パラメータまたはレンズデータは、どれでも UGR 用の独立変数として設定できます。その操作は、コマンドラインに入力する要領と同じです。

- ユーザ定義変数を設定することも可能です。ユーザ定義変数名は、“\$” 記号で始まり、1 文字以上の英数字からなります。



ユーザ定義変数をここで定義できます。その時点で既に定義されている変数名であってはなりません。この変数は UGR の実行中だけ有効です。

12.9.2 ユーザ定義グラフィックスにおける関数およびマクロ (Functions and Macros in User-defined Graphics)

ユーザ定義グラフィックスでは、Y 軸にプロットする関数 (従属変数) を定義するための方法が、いくつか用意されています。

- **レンズ データベース アイテム (LDI)** を使えば、もっとも簡便にレンズ構成パラメータをできます。結合効率 (CEF) を図示するための設定画面例が図 12.3 に示されています。

下記例では、データベースアイテム名が関数欄 (function field) にカギ括弧でくくって設定されています。



レンズ データベース アイテム (LDI) を直接した例。関数 (従属変数) は焦点距離 (EFL)。

- レンズ データベース アイテム (LDI) やユーザ定義変数を数式と組み合わせることもできます。



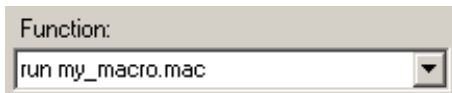
LDI と数式を組み合わせた例

- あらかじめ定義された**マクロ関数**か、あるいはマクロそのものを指定できます。例えば、事前に次の関数 “myfunc == \$x^2” が定義されていたら (実際には引用符は不要)、UDG の結果は、変数 \$x の自乗として得られます。



マクロ関数を利用するには、あらかじめ関数として定義が完了していなければなりません。

- 関数の値を返すことのできるマクロを RUN コマンドとともに設定します。実行するマクロ中に **RETURN 文** (467ページ) を記述しておくことで、マクロによる計算の結果を UDG に戻すことができます。



関数の値を計算させるマクロを実行するように設定します。 **RETURN 文** (467ページ) および **RUN コマンド** (452ページ) についても参照してください。なお、マクロファイルは**プログラムの規定値** (5ページ) として定義されたフォルダに保存されていると仮定されます (デフォルトでは c:\program files\optalix\macro)。それ以外に保存されたマクロを実行するには、明示的にそのパスを記述する必要があります。

12.9.3 UGR コマンドの例 (UGR Command Example)

前節では、主にダイアログを活用してユーザ定義グラフィックスの機能を利用する方法について説明しました。ここでは、主にコマンドラインおよびマクロからの利用方法の例を紹介します。

```
ugr X 'thi s2' LIM 0.5 1.0 0.05
```

X 軸に沿ったパラメータ (独立変数) として第 2 面の面間隔 (thi s2) が設定されています。そのプロット範囲は 0.5 から 1.0 でありプロットの間隔は 0.05 です。

```
ugr Y 'spd f1 w1' LIM 0 0.1
```

Y 軸に沿ったパラメータ (従属変数、関数値) として第 1 視野、第 1 波長のスポットダイアグラム径 (spd f1 w1) が設定されています。Y 軸のプロット範囲は、0.0 から 0.1 です。

```
ugr tit 'My UGR Graphics'
```

プロット画面に表示されるタイトルを 'My UGR Graphics' とする設定です。実際のプロット時には引用符は表示されません。

12.10 解析的な手法によるレンズデータのセットアップ (Analytical Setup)

いくつかの光学系についてはわずかな基本パラメータ、たとえば焦点距離や開口径、画角などを入力するだけで新規に生成できます。これらの光学系は、3次収差理論をベースに自動的に生成されます。このことは結果として得られる光学系が3次収差について補正されており、それ以上の高次収差は無視されていることを意味しています。しかし、ここで得られる一連の光学系は、さらに改良を施すための良い出発点として用いられますし、より複雑な光学系を構成するための一部を構成する光学ブロックとして用いることもできます。

12.10.1 ベストフォームレンズ (Lens of best Form)

ベストフォームを持つレンズを生成します。このレンズは、与えられた物体距離 s とパワー ϕ に対して3次の球面収差が最小であるようなレンズです。3次収差理論を何度も繰返し使用しなくすむように、最初に補助変数を定義します。

$$A = \frac{2n+1}{n-1}, \quad B = \frac{n+1}{n}, \quad C = \frac{n+2}{n} \quad (12.2)$$

$$c_1 = \frac{A\phi + 4B \cdot \frac{1}{s}}{2C} \phi \quad (12.3)$$

$$c_2 = \left(c_1 - \frac{1}{n-1} \right) \phi \quad (12.4)$$

コマンド:

SETUP SLE	このコマンドはダイアログボックスを起動します。3次の球面収差が最小となるようにベンディングされた単レンズを生成します。
-----------	---

12.10.2 2枚構成の色消しレンズ (Achromatic Doublet)

選択された材質を用いて、所望の焦点距離をもつ2枚構成の薄肉色消しレンズを生成します。Laikin [29] によるアルゴリズムを使用しています。

コマンド:

SETUP ACR	このコマンドはダイアログボックスを起動します。2枚構成の薄肉色消しレンズを生成します
-----------	--

12.10.3 Lulie-Houghton 式 望遠鏡 (Lurie-Houghton Telescope)

Lulie-Houghton 式の catadioptric 望遠鏡を構成します。“Lurie-Houghton” 望遠鏡は、Lulie [31] がオリジナルに提案した2枚構成の全開口補正レンズ系と Houghton [21] 望遠鏡 (球面補正系) のエレメントを組み合わせることによって得られます。いずれの提案も製造難度を改善しますが、その代わり非点収差

を犠牲にしています。この方式の長所は他の catadioptric 望遠鏡 (Schmidt-Newton, Wright) と比較してコマ補正が改善されている点です。Lulie-Houghton 型望遠鏡の設計例は `examples\catadiop` ディレクトリにあります。

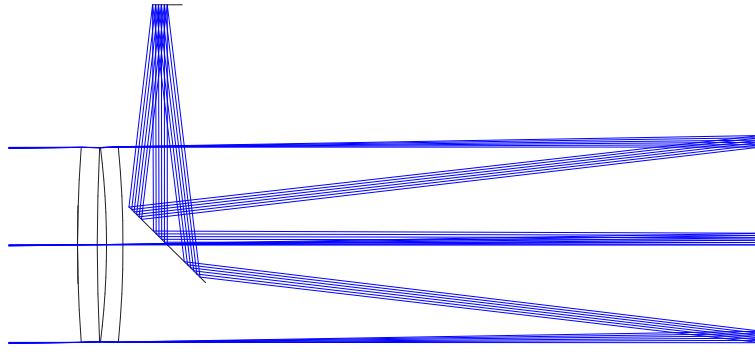


図 12.5: Lulie-Houghton 型の望遠鏡

Lulie-Houghton 型はいくつかの簡単な方程式によって解析的に求められます。補助変数として

$$A = \frac{n+2}{n(n-1)^2}, \quad B = \frac{2(2n+1)}{(n-1)^2}, \quad C = \frac{2(n+1)}{n(n-1)} \quad (12.5)$$

$$D = d \cdot \varphi, \quad L = \frac{(D-2)(2A-B)}{C}, \quad Q = \frac{(2-D)L^2}{2C} \quad (12.6)$$

を導入すれば、補正レンズの曲率半径を次の様に求められます。

$$r_1 = -r_3 = \frac{2L(n-1)}{(Q+1)\varphi} \quad (12.7)$$

$$r_2 = -r_4 = \frac{2L(n-1)}{(Q-1)\varphi} \quad (12.8)$$

ここで

φ 最初のミラーのパワー $= 2/r_m$

d 補正レンズの最後の面から主鏡までの距離

コマンド:

SETUP LURIE

このコマンドはダイアログボックスを起動します。Lulie-Houghton 望遠鏡を生成します。

12.10.4 反射望遠鏡 (Reflecting Telescopes)

この節では基本的な反射望遠鏡 (例えば、放物面鏡、Cassegrain、Gregory、Ritchey- Chretien など) の設定に関する理論を示します。

コマンド:

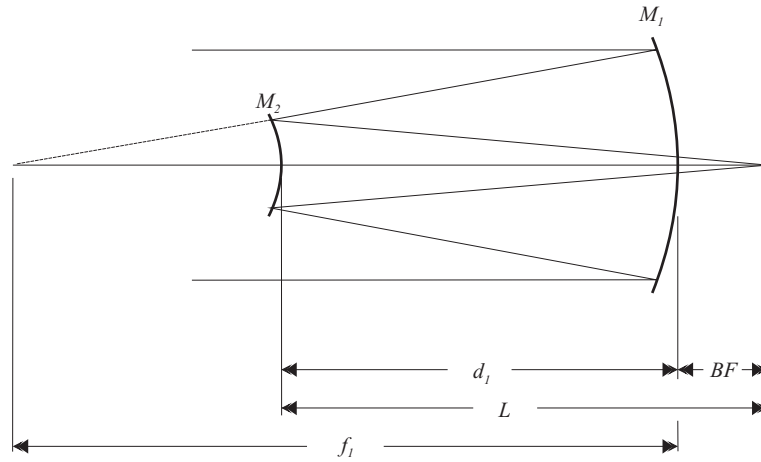


図 12.6: 2 枚鏡望遠鏡の近軸量

SETUP TEL	このコマンドにより各設計フォームを選択できるダイアログボックスが起動されます。Cassegrain, Gregory, Ritchey- Chretien あるいは放物面鏡のような反射望遠鏡を生成します。
-----------	--

下記に紹介する方程式および公式は R.N.Wilson [59] の記述をベースにしたものです。図 12.6 に示される変数は次のように定義されます。

- d_1 主鏡と副鏡間の距離
- L 副鏡から焦点までの距離
- BF バックフォーカス (主鏡から焦点までの距離)
- f_1 主鏡の焦点距離
- f_2 副鏡の焦点距離
- m_2 副鏡の倍率

符号に関する規約は 2 章で示した定義に従っています。3 ページを参照してください。

12.10.4.1 古典的な Cassegrain および Gregory (Classical Cassegrain and Gregory Form)

これらの形式は、主鏡は放物面 ($K_1 = -1$) であるとして定義されます。副鏡の位置は次のように求められます。

$$d_1 = \frac{m_2 f_1 + BF}{1 - m_2} \quad (12.9)$$

副鏡のパワー Φ_2 は、

$$\Phi_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{BF - d_1} - \frac{1}{f_1 - d_1} \quad (12.10)$$

したがって副鏡のコーニック係数は副鏡の倍率 m_2 の関数であり、

$$K_2 = - \left(\frac{m_2 - 1}{m_2 + 1} \right)^2 \quad (12.11)$$

12.10.4.2 アプラナティック望遠鏡およびその一形態である Ritchey-Chretien 型 (The Aplanatic Telescope and its Ritchey-Chretien Form)

Ritchey-Chretien(RC) 型は、Cassegrain 望遠鏡の重要な一形態です。RC 法を用いて 2 枚鏡のコマ収差を求めます。アプラナティック条件を満足するにはこれがゼロでなくてはなりません。この解法は主鏡および副鏡のコーニック係数を次のようにして求めます。

$$K_1 = -1 + \frac{2L}{d_1 m_2^3} \quad (12.12)$$

$$K_2 = - \left[\left(\frac{m_2 - 1}{m_2 + 1} \right)^2 + \frac{2f'}{d_1 (m_2 + 1)^3} \right] \quad (12.13)$$

副鏡のパワー M_2 は式 12.10 から得られます。

12.11 スライダー コントロール (Slider Control)

任意の面パラメータあるいは構成パラメータを連続的・対話的に変更するにはスライダーの機能を使うのが便利です。スライダーを使って変更した光学系の断面図や光学特性 (評価結果) は、その時点で開いているどの解析ウインドウに対しても直ちに反映されます。

スライダーは、SLID コマンドで起動できます。あるいはメインメニューから *Tools* → *Sliders* とたどっても起動できます。スライダーは同時に 5 本まで表示できます (図 12.7 参照)。

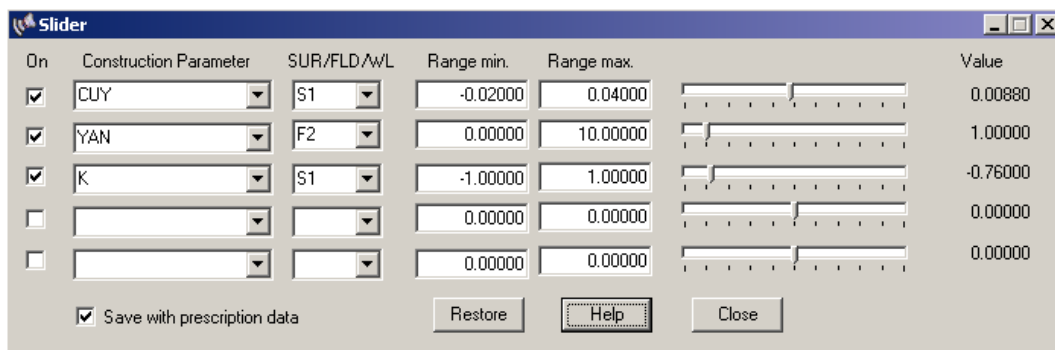


図 12.7: スライダーダイアログ。任意の光学パラメータの値を対話的に調整でき、その結果が直ちに評価ウインドウに反映されます。

スライダーの使い方：

On	特定のスライダを on/off に設定します。
Construction Parameter	任意の構成パラメータ、あるいは光学パラメータです。コマンドラインから設定できるものであれば何でも選択できます。プルダウンメニューを使えば、選択される頻度の高いパラメータを簡単に設定できます。もちろん、個別のパラメータ名を直接入力することもできます。
SUR/FLD/WL	この入力欄には面番号、視野番号あるいは波長番号を修飾子の形で指定します。具体的には、S3, F2, あるいは W4 の要領です。その時点で設定可能な面/視野/波長識別子の範囲はプルダウンメニューから選択できます。
Range min.	パラメータの調整下限値。
Range max.	パラメータの調整上限値。

- 注意:
- スライダーからなされたパラメータの変更は直ちに面エディタに反映されます。しかし、面エディタから直接なされたどんな変更もスライダーダイアログには反映されません (面の挿入や削除を行った場合も同様です)。このため、光学系を変更した場合には、その更新を反映させるためにいったんスライダーダイアログを閉じ、再び開くようにしてください。
 - 結果を得るのに時間を要する評価ウインドウ (MTE,PTF など) が開いていると、ウインドウの更新のため OpTaliX の動作が著しく遅くなります。状況に応じて、そのようなウインドウは閉じてください。
 - スライダーダイアログが表示される前に、パラメータ値のコピーが作られています。"Restore" ボタンを押せば、ダイアログが起動する以前の状況に復帰できます。
 - スライダーの設定をレンズデータの一部としてファイルに保存できます。ダイアログの右下にある "save with prescription data" にチェックを入れてください。
 - スライダーダイアログを閉じると、その時点のパラメータに固定され、その後のすべての解析に使われるようになります。元のパラメータに戻して評価を続ける場合には、ダイアログを閉じる前に "Restore" ボタンを押してダイアログ起動以前の状態に戻してください。

12.12 入力コマンド列のエコー出力 (ECHO Command Line)

ECHO Y N	コマンドラインに設定したコマンド列を、テキスト出力ウインドウにそのまま出力します (エコー出力)。“Y” を設定した直後からエコー出力が開始され、“N” を設定した直後に終了します。デフォルトの設定は“ECHO N”です。ECHO コマンドは、コマンドラインからの設定においてのみ有効です。マクロからの利用はできません。もしもすべてのテキスト出力を抑制したければ、その時には 447 ページに記載の “OUT SILENT” を利用してください。
----------	---

12.13 テキストウィンドウのクリア (CLS (Clear Screen))

CLS	テキスト出力ウィンドウの表示内容を消去します (“CLS:CLear Screen”)。Code V との互換性を確保するため、CLS コマンドは、描画色の設定を実行するコマンドでもあります。詳しくは下記を参照してください。 7.2章 (32ページ): 視野に関する描画色の設定 20.1章 (384ページ): コーティングの分光特性描画色の設定
-----	--

12.14 時間 (Time)

TIM	現在の時刻を 24 時間のフォーマット HH:MM:SS の文字列で出力します。
-----	--

12.15 日付 (Date)

DAT	本日の日付を DD MMMM YYYY フォーマットの文字列で出力します。
-----	---------------------------------------

12.16 ファイル名 (File Name)

FILENAME	ファイル名を示す文字列を出力します (パス名は除きます)。
----------	-------------------------------

12.17 ファイルパス (File Path)

FILEPATH	ファイルパスを示す文字列を出力します。
----------	---------------------

12.18 オペレーティングシステムのコマンド (Operating System Command)

SYS ['cmd_string' ?]	オペレーティングシステム (OS) コマンドを実行するためのコマンドウィンド (DOS-ボックス) を開きます。この段階で制御はオペレーティングシステムに移行し、OpTaliX はそのウィンドウが閉じる (終了) まで待機します。Windows 95/98/Me の場合、あわせて <code>command.com</code> が起動されます。Windows NT/2000/XP の場合にはデフォルトで <code>cmd.exe</code> を起動します。オプションのパラメータ <code>cmd_string</code> はオペレーティングシステムコマンドです。アポストロフィでくくる必要があります。“?” を指定した場合には、ウィンドを開いたままにします。“?” を省略した場合には <code>cmd_string</code> はサイレントモードで実行されます。ただし SYS が何らのパラメータを指定されなかった場合を除きます。
---------------------------------	---

例:

SYS OS のコマンドウインドウを起動します。ウインドウを開いたままです。OS のコマンドウインドウを閉じて OpTaliX に制御を戻すには ‘exit’ (実際の入力の際はアポストロフィは不要) を入力します。

SYS ‘dir *.*’ ? OS コマンドウインドウを起動し、システムコマンド ‘dir *.*’ を実行したのち、さらなる OS コマンドを待ちます。OS コマンドウインドウを閉じて OpTaliX に制御を戻すには ‘exit’ (実際の入力の際はアポストロフィは不要) を入力します。

SYS ‘copy a.txt b.txt’ OS コマンドを実行した後、直ちに OpTaliX に制御を戻します。

オペレーティングシステムのコマンドはマクロからも使えます。この場合は “?” を省略して SYS を実行することでマクロの実行を中断しないことを推奨します。

12.19 光線データの記録 (ファイルへの保存) (Logging Ray Data)

追跡した光線の面への到達点座標を参照したくなることがあります。とりわけ、スポットダイアグラムや照明解析のように多量の光線追跡をする際に、そのような要求が生じがちです。このような場合には、RAYLOG コマンドを使ってください。

<pre>RAYLOG sk off FIL log_file</pre>	指定の面 sk における光線通過点の座標の記録を開始します。記録先は、文字 ‘FIL’ に続いて (空白文字で区切って) log_file に指定します。面指定は必須です。もし省略したときにはコマンドは無効になります。 記録を停止するには、“off” オプションを指定するかあるいは対象の面番号として s0 を指定します。 光線座標は、ごく一般的なアスキー形式のファイルにヘッダなしで記録されます。書式の詳細については、32.12章を参照してください。 例: raylog s4 FIL rays.txt ! このコマンド以降のどのコマンドによる光線追跡によるものであれ、第 4 面を通過するすべての光線の通過座標をファイル rays.txt に保存します。 raylog off ! 光線座標の記録を停止します。 raylog s0 ! 光線座標の記録を停止するためのもうひとつのコマンド表現です。
---------------------------------------	--

このコマンドは十分な注意をもってお使いください。PSF あるいは MTF、スポットダイアグラム、照度解析等のコマンドは、著しく多数の光線追跡を実行します。このため、出力されるファイルも膨大なサイズとなりがちです。ですから、コマンドの実行前にハードディスクに十分な容量が残されていることを確認してください。同じ理由で、ファイルへの出力が終了した時点で、“RAYLOG off” コ

マンドにより記録の停止をすることを忘れないようにしてください。また、1つの光線座標のファイルへの書き込みに要する時間は僅かでも、それが光線本数分だけ積算される結果、光学評価に要する時間が非常にかかることに注意してください。

このような事情から、RAYLOG コマンドは [マクロ環境](#) から使うことをお勧めします。一例として、照明解析における像面上の光線座標データをファイルに保存する場合を考えてみます。この場合には；

```
raylog si fil my_rays.txt    ! 像面における光線座標の記録を開始
ill ?                       ! 照明解析のためのダイアログを起動し
                             パラメータを設定の後、実行
raylog off                  ! 光線座標の記録を停止
```

上記例の場合、光線座標のデータは、ファイル `my_rays.txt` に記録されます。その書式については [32.12章 \(522ページ\)](#) を参照してください。

第13章 材料 – Materials –

OpTaliX は多数の光学材料を扱えます。透過光学材料の光学的・物理的定数がファイルに保存されています。現状で利用可能な光学材料カタログは：

Identifier	Manufacturer
SCH	ショット (Schott), 2000 カタログ catalogue
SCO	ショット (Schott), 旧版カタログ
OHA	オハラ
COR	コーニング (Corning)
SUM	住田光学ガラス
HIK	光ガラス
HOY	HOYA
CAR	Cargille liquids
CHI	中国材 (中国製のガラス)
LPT	LightPath, 軸上 GRIN レンズ
SEL	日本板硝子 (NSG), Selfoc TM ラジアル型 GRIN レンズ
GLC	Gradient Lens Corp.
GRT	Grintech, Jena
ARC	Archer OpTx
SPE	Special materials (紫外・赤外領域用ガラス、プラスチック材料、液晶)

上記には均質な屈折率を持つ材料だけでなく、屈折率勾配をもつ材料も含まれます。これらには、波長 200nm から 30 μ m におよぶ幅広い波長帯域に対する材料供給メーカー各社の標準材が含まれます。屈折率に関する情報の他、下記のとおり光学特性と物理的特性を幅広く備えています。

- 部分分散
- 屈折率の温度依存性
- 内部透過率
- 線膨張係数
- ガラス転移温度および融点温度
- 熱伝導率
- 密度
- 硬度

- ヤング率
- 化学的特性

これらのほとんどは“glass manager” (24章,435ページ) を使って参照できますし、一部については編集もできます。

GLA [si..j] [zi..j zk] [man:] glass_name	材料メーカーが定める材料名です。面 si..j のレンズデータとして指定します。man は材料メーカーを特定するオプションです。ショット社の BK7 であれば、SCH:BK7 のように入力します。13.3章も参照してください。
GL1 [si..j] gl1_name	面の手前 (ローカル座標 Z の負の方向を占める材料名です。古典的なつまりシーケンシャルな光学系では gl1_name は GLA に一致します。
GL2 [si..j] gl2_name	面の後方 (ローカル座標の Z の方向) を占める材料名です。ノンシーケンシャル面についてのみ指定の必要があります。
AIR [si..j]	媒質が空気であることを指定します。
REFL [si..j]	着目する光学面が反射面 (鏡) であることを示します。
REFR [si..j]	着目する光学面が透過面 (レンズ) であることを示します。
RMD [si..j] REFR REFL TIR	屈折/反射モードの指定。設定可能なモードは REFR = 面範囲 si..j に入射する光線は屈折、デフォルト REFL = 面範囲 si..j に入射する光線は反射 TIR = 全反射条件 を満足する光線のみが反射。それ以外の光線 は追跡中断 各モードは、それぞれ REFR、REFL、TIR コマンドによって設定することもできます。
IND [si..j wi..j] val_1 val_2 val_n	あらかじめ定義されている波長に対する屈折率 (常光線屈折率) を指定します。波長の定義方法は 34ページをご覧ください。この機能はプライベートガラス (屈折率だけを入力して簡易的に定義した光学材料) に対してだけ有効です。13.4章にはプライベートガラスに関する詳細が記述されています。OpTaliX にあらかじめ登録されているカタログガラスへの追加は、“溶解ガラス (Melt Glass)” という別の機能 (24.7章) によります。 例: ind s3 1.541 1.540 1.490 ! あらかじめ規定された 3 波長に対する屈折率を定義 ind s3 w2 1.540 ! 波長番号 2 に対する屈折率を定義
INE [si..j] val_1 val_2 val_n	あらかじめ定義されている波長に対する屈折率 (異常光線屈折率) を指定します
DVO [si..j] delta_nue	屈折率分散のシフト量 Δn を絶対値で指定します。 例 : DVO s3..5 4.2 主分散の定義については 13.1.4を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
DNO [si..j] delta.n	参照波長における屈折率シフト量 Δn を指定します。参照波長は REF コマンドで定義できます。
PGO [si..j] delta.P(g,F)	カタログ値からの部分分散のオフセット量 $P_{g,F}$ を指定します。 ($P_{g,F}$ の定義は 13.1.5 を参照)
PCO [si..j] delta.P(C,s)	カタログ値からの部分分散のオフセット量 $P_{C,s}$ を指定します。 ($P_{C,s}$ の定義には 13.1.5 を参照)

13.1 分散 (Dispersion)

屈折率の波長に対する変化を分散といいます。分散は光学材料を選択する際の最も重要な要素のひとつです。分散を表す式にはショット社の分散式およびセルマイアの分散式が広く用いられています。分散式の係数はカタログファイルに保存されているので、ガラス名だけを指定すれば引用できます。分散係数を用いた計算により、適合波長域の全域で十分に精度の高い屈折率が求められます。

13.1.1 ショット社の分散式 (Old Schott Formula)

ショット社は公式に可視域の屈折率をローレンツ (Laurent) 級数で表現してきました

$$n^2(\lambda) = A_0 + A_1 \cdot \lambda^2 + A_2 \cdot \lambda^{-2} + A_3 \cdot \lambda^{-4} + A_4 \cdot \lambda^{-6} + A_5 \cdot \lambda^{-8} \quad (13.1)$$

ここで n は波長 $\lambda(\mu\text{m})$ における屈折率です。

13.1.2 セルマイアの分散式 (Sellmeier Formula)

セルマイアの分散式は近年、ショット社および他の光学ガラスメーカーで採用されています。

$$n^2(\lambda) - 1 = \frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2 \lambda^2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3 \lambda^2}{\lambda^2 - C_3} \quad (13.2)$$

ここで n は波長 $\lambda(\mu\text{m})$ における屈折率です。

13.1.3 ヘルツバーガの分散式 (Herzberger Formula)

ヘルツバーガの分散式は、セルマイアの分散式にべき級数を組み合わせたものです。この式は当初は光学ガラス用として用いられましたが、後に赤外領域用の光学結晶にも適用されました。

$$n = A + \frac{B}{(\lambda^2 - \lambda_0^2)} + \frac{C}{(\lambda^2 - \lambda_0^2)^2} + D\lambda^2 + E\lambda^4 + F\lambda^6 \quad (13.3)$$

$\lambda_0^2 = 0.028$ は、あらゆる光学材料に適合するように選ばれた定数です。波長は $\lambda(\mu\text{m})$ で与えます。

13.1.4 主分散 (Primary Dispersion)

F 線 ($0.4861\mu\text{m}$) と C 線 ($0.6563\mu\text{m}$) の屈折率の差を主分散といいます。これを d 線 ($0.5876\mu\text{m}$) における屈折率と比較し、下記のように記述したものをアッベ数といいます。

$$v = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (13.4)$$

13.1.5 部分分散比 (Partial Dispersion)

任意に選んだ 2 つの波長 X と Y に対する屈折率差と、主分散 (F 線と C 線の屈折率差) との比をとり、

$$P_{x,y} = \frac{n_x - n_y}{n_F - n_C} \quad (13.5)$$

と表現したものを部分分散比といいます。OpTaliX では可視および近赤外域における部分分散比として下記を用いています。

$$P_{g,F} = \frac{n_g - n_F}{n_F - n_C}, \quad P_{C,s} = \frac{n_C - n_s}{n_F - n_C} \quad (13.6)$$

13.2 屈折率 n の温度 T に対する変化係数 (dn/dT)

シヨット社のモデルは常温・常圧における絶対屈折率の変化を表現するように作られています。

$$\frac{dn_{abs}(\lambda, T)}{dT} = \frac{n^2(\lambda, T_0) - 1}{2 \cdot n(\lambda, T_0)} \cdot \left(D_0 + 2 \cdot D_1 \cdot \Delta T + 3 \cdot D_2 \cdot \Delta T^2 + \frac{E_0 + 2 \cdot E_1 \cdot \Delta T}{\lambda^2 - \lambda_{TK}^2} \right) \quad (13.7)$$

ここで

T_0 = 基準温度 (20°C)

T = 温度 ($^\circ\text{C}$)

ΔT = T_0 との温度差

λ = 真空中の波長 (μm)

λ_{TK} = 平均共鳴波長 (μm) (シヨット社のカタログより得られます)

D_0, D_2, E_0, E_1 = モデル係数 (シヨット社のカタログより得られます)

何社かのガラスメーカーは、離散的な波長および温度に関する dn/dT データしか公表していません。このような場合には、それを補間するような dn/dT を求めるために式 13.7 に基づいたフィッティングにより必要なデータを計算します。この結果、任意の温度における屈折率、または LIS DNDT コマンドでリストされる結果には、いくらかの誤差が含まれることがあります。しかし、その程度は一般に無視できる程度に小さいと考えてかまいません。

13.3 カタログガラス (Catalogue Glasses)

各レンズ面に割り付けられる材料名はアルファベットのコードで識別されます。このコードは文字列として構成されますが、それにはガラスメーカーを示す 3 文字のメーカー識別名を含ませてもかま

ません。この場合にはメーカー識別名と材料名との間を記号 : で分離してください。一般的書式は、次のとおりです。

`gla si..j [manuf:]name`

! name には製造メーカーのカatalogに記載
の材料名を指定します。

例:

```
gla s1..3 BK7
gla s4 lak9
gla s2 sch:bk7
```

製造メーカーの識別名は、メーカー名の最初の 3 文字をとっています。具体的には表 13.2 に示してあります。

識別名	製造メーカー
SCH	Schott 2000
SCO	Schott (old catalogue)
OHA	Ohara
HOY	Hoya
COR	Corning
SUM	Sumita
CAR	Cargille (liquids)
LPT	LightPath (Gradium glass)
NSG	Nippon Sheet Glass Company
GLC	Gradient Lens Corp.
CHI	Chinese catalogue
ARC	Archer OpTx
SPE	Special Materials (Infrared, plastics, etc.)

表 13.2: ガラス製造メーカーの識別名

材料名および製造社識別名は大文字・小文字の区別をしません。例えば、BK7 と bk7 は同じ材質として扱われます。

13.4 プライベートガラス (Private Glasses)

多くの場合、屈折率は材料名によって暗に定義されます。ガラスの屈折率は、ガラスカatalogに登録されている係数から計算されます。正確な屈折率を得るために OpTaliX のユーザはガラス名を指定する以上のことは何もする必要がありません。しかし、限定的にはあらかじめ定めた波長に対する屈折率を明示的に入力しなくてはならない場合もあります。たとえば OpTaliX が屈折率を計算するための係数が定かではない場合です。

プライベートガラスの場合、まず任意のガラス名を入力し、次いで屈折率を入力します。プライベートガラスはメモリー上のレンズデータの一部を構成し、そのレンズだけに適用されます。また、レンズデータの一部としてファイルに保存されます。

プライベートガラスを、24.7章 (442ページ) に記載のガラスマネージャで設定する“溶解ガラス”と混同しないでください。溶解ガラスもまた、波長と屈折率をペアにして定義しますが、そのままレンズデータとして取り扱われるのではなく、独立したガラスカタログに保存されますから、OpTaliX全体を通していつでも (他のレンズデータからでも) 引用できます。

プライベートガラスは、それを定義したレンズデータにだけ有効です。プライベートガラスを他のレンズにまで適用するには、マクロファイル (拡張子は“mac”) を作成し、その中に所望のプライベートガラス全てを記述します。その上で、新しくレンズデータを作成するごとにまず、このマクロファイルを実行します。プライベートガラスは、それを含む面を設定するよりも前に定義しておかなくてはなりません。

プライベートガラスは波長と屈折率をペアにし、それらを PRV, END コマンドで はさんで使います。たとえば、

```
PRV
PWL      0.435    0.479    0.547    0.587    0.656
'myBK7'  1.527    1.523    1.519    1.5168   1.514
END
```

PRV と END の間に定義できるプライベートガラスの最大数は 40 です。

波長と屈折率のペアの入力にあたり、波長の順に並べ替える必要はありません。波長はミクロン (μm) を単位に入力してください。これが OpTaliX のデフォルトです。しかし、CodeV との互換性から、ナノメータを単位とする入力も許されています。具体的には OpTaliX は入力された波長が 100 よりも大きいとき、その単位が ナノメータ (nm) であると認識し、それ以下であれば、ミクロン (μm) であると認識します。

プライベートガラスは、一般のカタログガラスと同様に定義されます。ただし、その名前をアポストロフィで括らなくてはならない点のみが異なります。一例を示します。

```
gla s2 'MYBK7'
```

プライベートガラス名には大文字と小文字の区別があります。例えば、'MYBK7' と 'mybk7' は別のガラスとして扱われます。

PRV	プライベートガラスの定義を開始します。このコマンドに続いて、PWL コマンドと ' ガラス名' が入力できます。これらは END コマンドが現れるまで、何組でも設定できます。PRV ... END の間であっても、OpTaliX のその他のコマンドを記述してかまいません。
次ページに続く	

前ページから続く	
PWL wavel_1 ... wavel_20	波長を設定します。20 波長まで指定可能です。波長の単位はデフォルトではミクロン (μm) ですが、ナノメータ (nm) を単位に入力してもかまいません。OpTaliX は、設定された波長が 100 より大きければその単位がナノメータ (nm) であると解釈します。それ以外はデフォルトどおりミクロン (μm) を単位に設定されている解釈されます。ここで設定する波長帯域は、少なくとも光学系の評価や設計計算に用いられる帯域幅よりも広くなければなりません。必要に応じ、ここで設定したデータに基づいて、実際の光線追跡波長に対する屈折率が内挿により求められます。このコマンドを用いて設定した波長範囲外における屈折率の外挿も実行されますが、その精度は保証されません。
' ガラス名' index_1... index_20	任意のガラス名をアポストロフィで括って設定します。ガラス名に続いて、それに対応する屈折率を、このコマンドに先行して PWL コマンドで設定した波長の順に指定します。設定する屈折率の数と、あらかじめ設定済みの波長数は一致しなくてはなりません。設定したプライベートガラス名がカタログガラスの名称と一致する場合には、常にカタログガラスが優先して使われます。この場合、プライベートガラスの設定は無視されます。
END	PRV で開始したプライベートガラスの設定終了を示します。
IND sk [wk]	レンズデータベースの参照を介して、第 sk 面の波長番号第 wk に対応する屈折率を返します。wk の指定を省略した場合は、主波長の屈折率を返します。注意: "IND" は従来の OpTaliX バージョンではコマンド名として使われていました。混同しないように注意してください (下欄参照)。
旧バージョン (5.21 以前) との互換コマンド:	
次ページに続く	

前ページから続く	
IND sk si..j index_1 ... index_11	現在の評価波長 (WL コマンド、34ページを参照) における屈折率を、屈折率分散モデルを介することなく直接に設定します。つまり、sk si..j の各面に設定される屈折率は、OpTaliX に設定されている波長にぴったりと適合している必要があります。ガラス名は、必ず 'PRI' でなくてはなりません (アポストロフィは不要)。下段の説明も参照してください。PRV コマンドの実装に伴い、IND コマンドの使用は現在では推奨されていません。しかし、引き続き利用することはできます。IND を使用する場合には、このコマンドによって定義した屈折率が、波長変更の有無によらず、常に一定値に維持されるということに注意なくてはなりません。つまり、いったん IND コマンドで屈折率を定義した後、WL コマンド、または EDI CNF コマンド (28ページ) としても、各面に割り当てられた屈折率情報が波長に対応して更新されることはないということです (PRV コマンドによる屈折率定義は、波長の設定変更に伴い、屈折率情報の更新が自動的に行われます)。つまり、IND コマンドで定義する屈折率と評価波長との関連は、ユーザに完全に任されているということになります。
GLA sk si..j PRI	屈折率を直接入力するタイプのプライベートガラスを設定します。屈折率は IND を用いて設定します。例: WL .450 .546 .650 ! 3 つの波長を定義 GLA s3 pri ! プライベートガラスを定義 IND s3 1.514 1.529 1.532 ! 屈折率 (通常) の設定 INE s3 1.51 1.52 1.54 ! 異常屈折率の設定 ! (複屈折性の材質の場合のみ必要)

プライベートガラスに関する一般的な注意:

すでに設定されたプライベートガラスと同じ名前 で定義されたプライベートガラスは、それまでの屈折率データを新しく設定された値に書き換えます。つまり後から指定した屈折率が有効となります。適用波長に対する屈折率は、オールドショットの式 (13.1式を参照) で内挿近似されます。

13.5 仮想ガラス (Fictitious Glasses)

実在するガラスの種類が限られているのとは対照的に、仮想ガラスは任意の屈折率とアッペ数を指定することができるので、原理的に無限種類が存在できます。仮想ガラスの屈折率分散は、アッペ

数 v と部分分散比 $P_{g,f}$ および $P_{C,s}$ から OpTaliX の内部で決定されます。仮想ガラスは次の 2 つのパラメータによって定義されます。

- d 線 (波長 $\lambda = 587.56\text{nm}$) における屈折率 n_d
- F 線 (波長 $\lambda = 486.13\text{nm}$) と C 線 (波長 $\lambda = 656.27\text{nm}$) における屈折率 n_F, n_C を用いて定義されるアッペ数 (13.1.4 章を参照)

仮想ガラスは、つぎのように数値の数字列によって表します。

xxx.yyy ただし、 $xxx = n_d - 1$, $yyy = 10v_d$
 あるいは
 xxxyyy ここで、 $xxx = n_d - 1$, $yyy = 10v_d$

数字列の長さは、10 字までです。仮想ガラスは、小数点 (それが数字列のどの位置にあっても) あるいは最初の文字によって それとして識別されます。したがって、最初の文字が小数点または数字でなければプライベートガラスとは認識されません。仮想ガラスは OpTaliX のカタログガラスではないので、屈折率および分散以外の特性は参照できません。仮想ガラスの分散モデルの適用範囲は可視波長域、つまり 400 nm から 700 nm に限定されます。これよりも波長が短い領域、または波長が長い領域でも屈折率の計算はしますが、得られる屈折率の妥当性は低下します。

例:

GLA s3 514.642	第 3 面で $n_d = 1.514$ と $v_d = 64.2$ の材料を定義
GLA s3 514642	ショット社のコードナンバ (MIL ナンバ) による仮想ガラスを定義

注意: 仮想ガラスは、198 ページ、12.4 章で記述されているような最も近い (レギュラー) カタログガラスへと自動変換できます。

13.6 特別な光学材料 (Special Materials)

“特別な” 光学材料とは、プラスチックや結晶、液晶、半導体など、いわゆる光学ガラス以外の光学材料です。ショット社の色ガラスフィルタも特別な光学材料 (“SPECIAL”) カタログに登録してあります。SPECIAL カタログに登録した各種の物性データは様々な文献や、製造メーカーのデータシートから収集したものです。その中には正確さに欠けていたり、十分に細かな波長間隔で屈折率が測定されていないかったりするものもあります。各文献ごとに系統的な不一致が認められます。このような測定に関連した不確定性とは別に、多くのデータが 20°C 以外の雰囲気中で測定されていることにも注意が必要です。測定温度以外の温度環境をベースとする解析、たとえば 20°C の雰囲気を前提として OpTaliX による光学評価を実行する場合には十分に正確ではない結果が導かれることがあります。このことにも注意してください。

13.6.1 赤外領域用の光学材料、プラスチック (Infra-red Materials, Plastics)

材料名	スペクトル領域 (μm)	概要	参考文献
AIR	0.2 - 15	Air	Kohlrauch [28], see also section 13.7 on page 233.
AGCL	0.5 -14	Silver Chloride	JOSA Vol.40, No.8, p.540
AGCL_IR	6.0 - 20.0	Silver Chloride, infrared band	JOSA Vol.40, No.8, p.540
ALON	0.4 - 2.3	Aluminum Oxynitride (ALON) Spinel	Handbook of Optics, Second Edition, Vol2, 1995
AMTIR1	7.0 - 12.0	$\text{Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$	P.Klocek, Handbook of Infrared Optical Materials
AMTIR1A	1.5 - 12.0	$\text{Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$	Amorphous Materials, (www.amorphousmaterials.com)
AQUEOUS	0.36 - 1.1	Ocular medium	Navarro et.al., JOSA A, Vol2., No.8, pp.1274
AS2S3	1.0 - 9.0	Arsenic Sulfide	Handbook of Optics, 1978
B270	0.36 - 1.06	Desag float glass, super-white	Desag data sheet
BAF2	0.4 - 10.0	Barium Fluoride	JOSA Vol.40, No.8, p.540
BATIO3	0.4 - 0.7	Barium Titanate (BaTiO_3)	Handbook of Optics, Second Edition, Vol2, 1995
BGG	0.4 - 5.5	Barium Gallogermanate Glass	Appl. Opt., Vol.41, No.7, March 2002, pp. 1366
CAF2	0.42 - 5.0	Calcium Fluoride	Appl.Optics, Vol.2, No.11, p.1103
CAF2_IR	3.0 - 9.0	Calcium Fluoride, infrared band	Appl.Optics, Vol.2, No.11, p.1103
CAF2_UV	0.15 - 2.0	Calcium Fluoride, ultraviolet band	Schott Lithotec datasheet
CAF2_VIS	0.365 - 1.06	Calcium Fluoride, visible band, enhanced interpolation accuracy	Appl.Optics, Vol.2, No.11, p.1103
CERAM-Z	0.4 - 1.6	Clearceram-Z	Zero-expansion glass-ceramics, Ohara data sheet
CERAM-ZHS	0.4 - 1.6	Clearceram-Z HS	Zero-expansion glass-ceramics, Ohara data sheet
CDTE	1.0 - 30.3	Cadmium Telluride	Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press 1985
CLEARTRAN	0.45 - 10.0	"Cleartran" (water clear ZnS)	Rohm & Haas Advanced Materials data sheet (www.cvdmaterials.com)
COR9754	0.42 - 5.2	Germanate glass	Corning, France, data sheet

次ページに続く

前ページから続く			
CORNEA	0.36 - 1.1	Ocular medium	Navarro et.al., JOSA A, Vol2., No.8, pp.1274
CSBR	0.5 - 22.0	Cesium Bromide	Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 51, No.3, 1953, p.123
CSJ	0.3 - 26.0	Cesium Iodide	JOSA, Vol.45, No.11, p.987
CSJ_IR	9.0 - 40	Cesium Iodide	JOSA, Vol.45, No.11, p.987
DIAMOND	0.3 - 20	CVD-Diamond	Diamond Materials, www.diamond-materials.com
EYELENS	0.36 - 1.1	Ocular medium	Navarro et.al., JOSA A, Vol2., No.8, pp.1274
GASIR1	2.0 - 14.0	Ge22As20Se58	Umicore technical data sheet
GASIR2	2.0 - 14.0	Ge22Sb15Se65	Umicore technical data sheet
GERMANIUM	2.99 - 13.2	Germanium, poly-crystalline	JOSA, Vol.48, Aug.1958, p.579, Salzberg & Villa
GE_POLY	2.99 - 13.2	Germanium, poly-crystalline	JOSA, Vol.48, Aug.1958, p.579, Salzberg & Villa
GE_MONO	2.9 - 22.0	Germanium, mono crystalline	JOSA, Vol.48, Aug.1958, p.579, Salzberg & Villa
HERASIL	0.22 - 2.3	Fused quartz	Heraeus datasheet
HOMOSIL	0.22 - 2.3	Fused quartz	Heraeus datasheet
INFRASIL	0.22 - 2.3	Fused quartz	Heraeus datasheet
IRG2	0.405 - 4.59	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRG3	0.656 - 4.59	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRG7	0.486 - 3.3	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRG9	0.404 - 3.3	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRGN6	0.486 - 3.3	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRG100	1.0 - 14.0	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRG11	0.58 - 4.59	Chalcogenide glass	Schott datasheet
IRTRAN1	1.1 - 6.2	MgF ₂	P.Klocek, Handbook of Infrared Optical Materials
KBR	0.5 - 12.0	Potassium Bromide	SPIE, Vol.400, p.141
KCL	0.5 - 12.0	Potassium Chloride	SPIE, Vol.400, p.141
KRS5	1.0- 22.0	Thallium Bromiodide	JOSA, Vol.46, No.11, p.956
LIF	0.19 - 5.5	Lithium Fluoride	The Infrared Handbook, IRIA, William L. Wolfe
LIF_IR	5.0 - 11.0	Lithium Fluoride, IR-band	Handbuch der Physik
LIF_UV	0.19 - 1.2	Lithium Fluoride, UV-band	Handbuch der Physik
次ページに続く			

前ページから続く			
LUMICERA	0.40 - 0.7	Lumicera, transparent ceramics	Datasheet from Murata Manufacturing Co. Ltd., 4-4-1 Higashi-Okino, Yokaichi city, Shiga 527-8558, Japan.
MACROLON	0.36 - 1.06	"Bayer" trade name	
MGF2	0.2 - 7.0	Magnesium Fluorite, ordinary index, wide spectral range, Sellmeier equation	Appl.Optics, Vol.23, No.12, p.1980
MGF2.O	2.2 - 7.0	Magnesium Fluorite, ordinary index	Appl.Optics, Vol.23, No.12, p.1980
MGF2.E	2.2 - 7.0	Magnesium Fluorite, extraordinary index	Appl.Optics, Vol.23, No.12, p.1980
MGF2.VO	0.2 - 3.0	Magnesium Fluoride	Appl.Optics, Vol.23, No.12, p.1980
MGO	0.5 - 5.1	Magnesium Oxide	E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids II
MGO.IR	2.5 - 5.55	Magnesium Oxide	E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids II
NACL	0.5 - 12.0	Sodium Chloride	
NOA61	0.36 - 2.3	Norland adhesive cement	Norland data sheet
PBF2	0.4 - 10.0	Lead Fluoride	
PMMA	0.36 - 1.06	Polymethyl Methacrylate (Lucite, Plexiglass)	Photonics design and applications handbook, 1996
POLYCARB	0.36 - 1.06	Polycarbonate (Lexan, Merlon)	Germanow Simon Corp. datasheet
QUARTZ	0.2 - 3.5	Fused quartz	equivalent to Suprasil, data from Heraeus datasheet
QUARTZ.IR	0.9 - 3.4	Fused quartz	Heraeus datasheet
SAPPHIRE	0.27 - 5.4	Sapphire	JOSA, Vol.52, No.12, p.1377
SILICA	0.2 - 3.5	Fused quartz (Suprasil)	Heraeus datasheet
SILICON	2.43 - 11.2	Silicon	Applied Optics, Vol.19, No.24, pp.4130, (1980), Salzberg & Villa data. It appears that these data are also used in Code V.
SILICON2	1.4 - 9.0	Silicon	Eagle Pitcher data sheet
SILICON3	1.5 - 12.0	Silicon	H.H.Li, Refractive Index of Silicon and Germanium and its Wavelength and Temperature Derivatives, J.Phys.Chem. Ref.Data, Vol.9, No.3, 1980
STYRENE	0.36 - 1.06	Polystyrene (Dylene, Styron, Lustrex)	Germanow Simon Corp. datasheet
次ページに続く			

前ページから続く			
SUPRASIL	0.27 - 3.5	fused quartz	Heraeus datasheet
TGG	0.38 - 1.6	Terbium Gallium Garnet	U.Schlarb, B. Sugg, "Refractive Index of Terbium Gallium Garnet", physica status solidi (b) 182, K91 (1994)
TOPAS5013	0.4 - 1.07	Cyclic olefin copolymer (COC)	Ticona datasheet
VACUUM	0.2 - 1.1	Vacuum	F.Kohlrauch, "Praktische Physik", 1968, Vol.1, p.408
VITREOUS	0.36 - 1.1	Ocular medium	Navarro et.al., JOSA A, Vol2., No.8, pp.1274
WATER	0.38 - 0.72	Water	
WATER2	0.40 - 0.80	Water with dn/dt data	R.C.Millard, G.Seaver [38]
SEAWATER	0.40 - 0.80	Seawater with dn/dt data	R.C.Millard, G.Seaver [38]
ZEONEX330R	0.36 - 0.80	Cyclo Olefin Polymer	Zeon-Europe
ZEONEXE48R	0.36 - 1.7	Cyclo Olefin Polymer	Zeon-Europe
ZEONEX480R	0.40 - 1.0	Cyclo Olefin Polymer	Zeon-Europe
ZERODUR	0.4 - 0.7	Zerodur	Schott datasheet
ZNS	0.4 - 0.8	Zink Sulphide, visible and medium infrared (Trade name:Cleartran)	Morton datasheet
ZNS_IR	3.0 - 12.0	Zink Sulphide, infrared	Morton datasheet
ZNS_M	0.4 - 8.0	Zink Sulphide, multispectral	Morton datasheet
ZNS_M_IR	3.0 - 12.0	Zink Sulphide, multispectral	Morton datasheet
ZNSE	0.54 - 10.2	Zink Selenide	Morton datasheet
ZNSE_IR	7.8 - 18.2	Zink Selenide, infrared	Morton datasheet

13.6.2 ショット社の色ガラスフィルタ (Schott Filter Glasses)

BG3	FG03	GG385	KG01	NG01	OG515	RG09	UG01	VG06	WG225
BG4	FG13	GG395	KG02	NG03	OG530	RG610	UG05	VG09	WG280
BG7		GG400	KG03	NG04	OG550	RG630	UG11	VG14	WG295
BG12		GG420	KG04	NG05	OG570	RG645			WG305
BG18		GG435	KG05	NG09	OG590	RG665			WG320
BG20		GG455		NG10		RG695			
BG23		GG475		NG11		RG715			
BG24		GG495		NG12		RG780			
BG25						RG830			
BG26						RG850			
BG28						RG1000			
BG34									
BG36									
BG38									
BG39									
BG40									
BG42									

13.6.3 ショット社の耐放射線ガラス (Schott Radiation Resistant Glasses)

高エネルギーフォトンや放射性粒子がガラスに衝突すると、光学材料の分光透過率が低下します。例えばトータルドーズが 10^3 rad (1.25 MeV) 程度のガンマ線照射により、ガラスのブラウニング (browning, 茶褐色化) が観測されています。このようなガラスの着色の度合いは照射方法やドーズ (照射量) だけの関数ではなく、イオン化放射のエネルギーにも依存します。

光学ガラスにあらかじめ酸化セリウム (CeO_2) をドーピングしておくことで放射線による着色が抑制され、放射線に対して安定になることが知られています。このようなガラスが放射線によって着色を始める閾値は典型的には 10^6 rad 程度ですが、そのかわり青色領域の透過率は照射の有無にかかわらず最初から高くありません。

CeO_2 をドーピングしたガラスの名前は、その末尾に “G” という記号とドーピング量を示す 2 桁の数字が添えられます。たとえば、BaK1 G12 であれば、1.2% の CeO_2 がドーピングされていることを示します。

カタログに登録済みのショット社製耐放射線ガラスのリストです。

BK7G18	SSK5G06	BK7G25
LAK9G15	K5G20	LF5G15
BAK1G12	F2G12	SK4G13
SF5G10	SK5G06	SF6G05
SK10G10	SF8G07	KZFS4G20
GG375G34		

13.6.4 屈折率分布型材料/GRIN 材料 (Gradient Index (GRIN) Glasses)

OpTaliX のガラスカタログには、光軸方向と動径方向に屈折率分布をもつ材料が登録されています。それらは日本板硝子社 (NSG)、Gadient Lens Corporation 社 (GLC)、LightPath 社 (LPT) の材料です。登録済みの材料は下記のとおりです。

製造メーカー	メーカー・コード	ガラス名	z_{max}	n (587nm)	分布	注釈
LightPath	LPT	G14SFN	5.800	1.8049	axial	
LightPath	LPT	G14SFP	5.800	1.6489	axial	
LightPath	LPT	G22SFN	9.100	1.7860	axial	
LightPath	LPT	G22SFP	9.100	1.6569	axial	
LightPath	LPT	G23SFN	9.400	1.7758	axial	
LightPath	LPT	G23SFP	9.400	1.6561	axial	
LightPath	LPT	G32SFN	12.100	1.7666	axial	
LightPath	LPT	G32SFP	12.100	1.6731	axial	
LightPath	LPT	G41SFN	12.10	1.7443	axial	
LightPath	LPT	G41SFP	12.10	1.6961	axial	
LightPath	LPT	G51SFN	14.800	1.7446	axial	
LightPath	LPT	G51SFP	14.800	1.6982	axial	
LightPath	LPT	G4LAKN	13.931	1.7384	axial	
LightPath	LPT	G4LAKP	13.931	1.6726	axial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLN20	-	1.5845	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLS10	-	1.5477	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLS20	-	1.5477	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLW10	-	1.5868	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLW18	-	1.5868	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLW20	-	1.5868	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLW30	-	1.5868	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLH18	-	1.6294	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA06	-	1.5238	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA09	-	1.5845	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA12	-	1.5930	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA06A	-	1.5238	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA09A	-	1.5845	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA12A	-	1.5900	radial	
Nippon Sheet Glass	SEL	SLA20A	-	1.6098	radial	
Gradient Lens Corp.	GLC	EG10	-	1.5204	radial	
Gradient Lens Corp.	GLC	EG20	-	1.5204	radial	
Gradient Lens Corp.	GLC	EG27	-	1.5204	radial	
Gradient Lens Corp.	GLC	EG31	-	1.5204	radial	
Grintech	GRT	GT050-06	-	1.62885	radial	at 670nm
Grintech	GRT	GT100-06	-	1.62885	radial	at 670nm
Grintech	GRT	GT180-06	-	1.62885	radial	at 670nm
Grintech	GRT	GT050-08	-	1.623	radial	at 810nm

次ページに続く

前ページから続く

Grintech	GRT	GT100-08	-	1.623	radial	at 810nm
Grintech	GRT	GT180-08	-	1.623	radial	at 810nm
Grintech	GRT	GT050-13	-	1.616	radial	at 1310nm
Grintech	GRT	GT100-13	-	1.616	radial	at 1310nm
Grintech	GRT	GT180-13	-	1.616	radial	at 1310nm
Grintech	GRT	GT050-15	-	1.615	radial	at 1550nm
Grintech	GRT	GT100-15	-	1.615	radial	at 1550nm
Grintech	GRT	GT180-15	-	1.615	radial	at 1550nm
Grintech	GRT	GT100	-	1.530	radial	
Grintech	GRT	GT180	-	1.530	radial	
			-			
Grintech	GRC	GC050-06	-	1.524	cylindrical	at 670nm
Grintech	GRC	GC100-06	-	1.524	cylindrical	at 670nm
Grintech	GRC	GC130-06	-	1.524	cylindrical	at 670nm
Grintech	GRC	GC050-08	-	1.624	cylindrical	at 810nm
Grintech	GRC	GC100-08	-	1.624	cylindrical	at 810nm
Grintech	GRC	GC130-08	-	1.624	cylindrical	at 810nm
Grintech	GRC	GC050-09	-	1.621	cylindrical	at 940nm
Grintech	GRC	GC100-09	-	1.621	cylindrical	at 940nm
Grintech	GRC	GC130-09	-	1.621	cylindrical	at 940nm

13.6.5 液晶およびゲル (Liquids and Gels)

Cargille Laboratories Inc.[8] 社製の何種類かの特種な光学液晶が、OpTaliX のガラスデータベースに保存されています。これらは、メーカーによってアプリケーションごとにグループ化して推奨されています。

- Immersion** : 液晶に浸すことで透明材質の光学的不完全性 (ひずみや変形) を検出する用途に適します。
- Laser** : レーザ波長に対して高い安定性と高い透過率を発揮する材料です。
- EC-Series** : 高屈折率、異常分散液晶です。安定性は高くありません。
- E, H, M-Series** : 超高屈折率。しかし毒性・腐食性があります。
- Matched** : 合成石英の屈折率に正確に一致します。分散特性も非常によく近似しています。
- Gel** : 光ファイバに用いる光学接触用のゲルです。内部反射損失を減少させるか除去し、モード損失を防ぎます。

名前	アプリケーション	$n_D(589.3\text{nm}), 20.0^\circ\text{C}$
CG1050.1	Immersion	1.400
CG1050.2	Immersion	1.425

次ページに続く

前ページから続く

CG1050.3	Immersion	1.458
CG5040.4	Immersion	1.475
CG5040.5	Immersion	1.500
CG5040.6	Immersion	1.535
CG5040.7	Immersion	1.570
CG4550	Immersion	1.452
CG433	Laser	1.295
CG3421.1	Laser	1.320
CG3421.2	Laser	1.400
CG1056.1	Laser	1.400
CG1056.2	Laser	1.455
CG5610	Laser	1.475
CG5763.1	Laser	1.600
CG5763.2	Laser	1.630
CGEC.164	EC-Series	1.640
CGM.178	M-Series	1.780
CGH.181	H-Series	1.810
CGE.155	E-Series	1.550
CG50350	Matched	1.4587
CG06350	Matched	1.4587
CG0607	Gel	1.457
CG0608	Gel	1.457

液晶の屈折率の温度依存性が非常に高いことに注意が必要です。一般的に、液晶の dn/dT は光学ガラスのそれより 100 倍以上大きな値を示します。ガラスカタログに登録されている分散係数は常に 25.0°C を基準としています。

13.7 空気、真空 (Air, Vacuum)

OpTaliX には、“光学材料”としてあらかじめ空気と真空が定義されています。物理的には、通常の温度 (20°C) と圧力 ($0.101325 \cdot 10^6$ Pascal) 下における空気の屈折率は真空に対して $n_{air} = 1.000273$ です。しかし実務では空気の屈折率を 1.0 と置き直し、光学材料の屈折率は空気を基準とした比屈折率 (相対屈折率) で表示するのが一般的な慣習です。真空用に設計し使用する光学系の頻度は高くなく、大多数の光学系は通常の大気条件 (地表) のもとで使用され、これを前提に設計されますから、この方法は妥当です。このため OpTaliX は、媒質として “AIR” が入力されると波長によらず、空気の屈折率はすべて 1.00000 に設定します。

なお厳密には m 、空気の屈折率は雰囲気温度や圧力によって変化します。その波長依存性まで考慮した良い近似式として、下記があります [28, 47]。

$$n_{Air}(\lambda, T, p) = 1 + \frac{n_{Air}(\lambda, 15C, p_0) - 1}{1 + 3.4785 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 15)} \cdot \frac{p}{p_0} \quad (13.8)$$

$$n_{Air}(\lambda, 15C, p_0) = 1 + \left\{ 6432.8 + \frac{2949810 \cdot \lambda^2}{146 \cdot \lambda^2 - 1} + \frac{25540 \cdot \lambda^2}{41 \cdot \lambda^2 - 1} \right\} \cdot 10^{-8} \quad (13.9)$$

p_0 = 0.101325 · 10⁶ Pa (標準大気圧)
 p = 大気圧 (Pa)
 λ = 真空中の光の波長 (μ m)
 T = 温度 (°C)

空気の屈折率の温度依存性は [47] で与えられます。

$$\frac{dn_{Air}(\lambda, T)}{dT} = -0.00367 \cdot \frac{n_{Air}(\lambda, T, p) - 1}{1 + 0.00367 \cdot T} \quad (13.10)$$

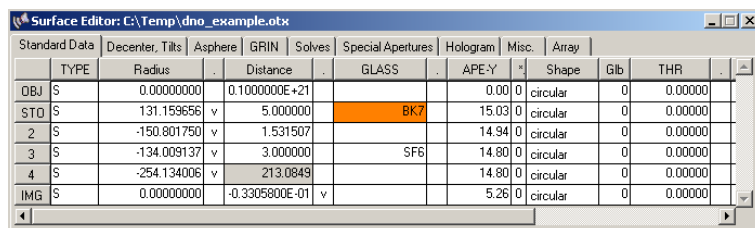
13.8 屈折率と分散のオフセット (Index and Dispersion Offsets)

屈折率と屈折率分散のオフセットをカタログ登録材料と仮想ガラスに適用できます。DNO コマンドおよび DVO コマンドを使います。

DNO delta_ind	屈折率のオフセット量を指定します。
DVO delta_nue	屈折率分散のオフセット量を指定します。delta_nue の値は、絶対値で与えたアッベ数 ν_d に対する差分です。 例 : Schott BK7 のアッベ数 ν_d は 64.17 です。分散オフセットとして DVO 3.0 を指定すると分散量は $\nu_d = 67.17$ に変更されます。特別な材質 (例えば赤外領域用の材料) で、DVO を指定する際には実際の波長域において妥当といえる ν 値を設定してください。

DNO と DVO コマンドを使う際には十分な注意が必要です。n と ν は MIL 標準ガラスの特性をベースに計算されるので、異常分散性を有するガラスは適切に扱われません。なお、DNO と DVO は自動設計 (最適化機能) において、屈折率と分散を変化させる変数としても用いられます。

DNO または DVO によってオフセットされたガラスは面エディタで赤色表示されます。また、LIS によるリスト出力の際にはガラス名の後ろにアスタリスク (*) が付与されます。一例として、図 13.1 に示すレンズデータは、下記のようにリスト出力されます。



	TYPE	Radius	Distance	GLASS	APE-Y	Shape	GIB	THR
OBJ	S	0.00000000	0.1000000E+21		0.00	0 circular	0	0.00000
ST0	S	131.159656	5.000000	BK7	15.03	0 circular	0	0.00000
2	S	-150.801750	1.531507		14.94	0 circular	0	0.00000
3	S	-134.009137	3.000000	SF6	14.80	0 circular	0	0.00000
4	S	-254.134006	213.0849		14.80	0 circular	0	0.00000
IMG	S	0.00000000	-0.3305800E-01		5.26	0 circular	0	0.00000

図 13.1: DNO または DVO によって屈折率または分散がオフセットされたガラスは面エディタでは赤色表示されます

#	TYPE	RADIUS	DISTANCE	GLASS	INDEX	APE-Y	AP	CP	DP	TP	MP	GLB
OBJ	S	Infinity	0.10000E+21		1.000000	0.00	C	0	0	0	0	0
STD>	S	131.1597	5.00000	BK7*	1.520304	15.03	C	0	0	0	0	0
2	S	-150.8018	1.53151		1.000000	14.94	C	0	0	0	0	0
3	S	-134.0091	3.00000	SF6	1.812665	14.80	C	0	0	0	0	0
4	S	-254.1340	213.03629		1.000000	14.80	C	0	0	0	0	0
IMG	S	Infinity			1.000000	5.26	C	0	0	0	0	0

GLASS OFFSETS:

#	Index-offset	Nue-offset	P(g,F)-offset	P(C,s)-offset	MIL-Code
1	0.001500000	-2.347000000	0.000000000	0.000000000	5183.6181

13.9 部分分散のオフセット (Partial Dispersion Offsets)

部分分散のオフセットは、実存するガラスおよび仮想ガラスの異常分散をシミュレートします。PGO コマンド および PCO コマンドを使って入力するオフセット値の基準量は次のとおりです。

- 実在するガラス (つまり OpTaliX のガラスカタログに登録されているガラス) の場合には、実際の部分分散
- 仮想ガラスの場合は、部分分散図上に引かれたアッペの標準ライン

部分分散のオフセットは屈折率分布型 (GRIN) 材質に適用できません。

コマンドの書式:

PGO delta_P(g,F)	通常 (カタログ) ガラスの場合、実際の部分分散 $P_{g,F}$ からのオフセット量を指定します。仮想ガラスの場合は、アッペの標準線からのオフセット量を指定します。
PCO delta_P(C,s)	通常 (カタログ) ガラスの場合、実際の部分分散 $P_{C,s}$ からのオフセット量を指定します。

このページは白紙です。

第 14 章 結像状態の評価 – Image Evaluation –

14.1 幾何光学的評価 (Geometrical Analysis)

14.1.1 近軸解析 (Paraxial Analysis)

一般的な近軸量は、[LIS コマンド \(177ページ参照\)](#) によって出力される prescription リストにまとめられています。そのうちの主要な量について、図 [14.1](#) に示しました。これらは基本的には光学系全体に対する量として出力されますが、面の範囲やズームポジションの範囲を指定することによって、所望の範囲に対する量だけを出力することもできます。具体的な指定法は次のとおりです。

FIR	焦点距離、倍率等の近軸量 (1 次量) の評価と表示。						
EFL [si..j wi..j zi..j]	zi..j で指定されたズームポジションにおいて、面範囲 si..j における焦点距離を、波長 wi..j に対して求めます。パラメータを省略した場合は、すべてのズームポジションに対して全系の焦点距離を求めます。その際に用いられる波長は主波長です。 例: <table><tr><td>EFL</td><td>! すべてのズームポジションにおける主波長の全系焦点距離</td></tr><tr><td>EFL z1</td><td>! ズームポジション 1 における主波長の全系焦点距離</td></tr><tr><td>EFL s1..4 z2 w3</td><td>! 第 1 面から 4 面までの焦点距離。ただしズームポジション 2 における第 3 波長での値。</td></tr></table>	EFL	! すべてのズームポジションにおける主波長の全系焦点距離	EFL z1	! ズームポジション 1 における主波長の全系焦点距離	EFL s1..4 z2 w3	! 第 1 面から 4 面までの焦点距離。ただしズームポジション 2 における第 3 波長での値。
EFL	! すべてのズームポジションにおける主波長の全系焦点距離						
EFL z1	! ズームポジション 1 における主波長の全系焦点距離						
EFL s1..4 z2 w3	! 第 1 面から 4 面までの焦点距離。ただしズームポジション 2 における第 3 波長での値。						
BFL [wk wi..j zi..j]	波長番号 i から j とズームポジション m から n に対するバックフォーカス (光学系の最終面から像面 までの距離)。物体距離として有限値が設定されている場合には、その共役関係のもとでの値であることに注意してください。オプションとして、i 番目から j 番目までの波長、i 番目から j 番目までのズームポジションを指定できます。もし波長の特定 (wk) がなされない場合 には、BFL は主波長に対する評価結果が得られます。						
SEP [zi..j]	光学系の第 1 面から入射瞳までの距離 (現行バージョンには未実装です)						
SAP [zi..j]	光学系の最終面から射出瞳位置までの距離。明示的に指定した場合はズームポジション i から j についてのみ出力。						
次ページに続く							

前ページから続く	
SAPI [zi..j]	光学系の最終面から射出瞳位置までの距離の逆数。すなわち、 $SAPI = 1/SAP$ です。この量は自動設計と組み合わせるとき、特に有用です。SAPI の目標値をゼロにするということは射出瞳位置を無限大にするという指定、つまり像側テレセントリックを目標にするということと同じ意味です。この条件を光学系が満たすとき、SAPI の値は無限大に発散しますし、その付近で±無限大の値を取るために解が不連続になります。これは結局、自動設計が期待どおりに進まないという状況を作ります。したがって、自動設計においては SAP ではなく、SAPI を使ってください。
PRD [zi..j]	瞳間隔。入射瞳位置と射出瞳位置間の光軸距離です。ズームポジション zi..j の指定はオプションです。
PRDI [zi..j]	瞳間隔 (入射瞳位置と射出瞳位置間の光軸距離) の逆数、つまり、 $PRDI = 1/PRD$ です。自動設計では、この量の目標値をゼロにすることで、瞳距離を無限大に導きます。
OAL si..j zm..n	指定のズームポジション zm..n のそれぞれにおける、面範囲 si..j に渡る光軸距離。パラメータの指定を省略すると、第 1 面から最終面までの距離、すなわち光学系の全厚が仮定されます。これは“物体面の直後の面”から“像面の直前の面までの距離”のことで、明示的に指定する場合の、OAL S1..i-1 に相当します。
SYL si..j	面範囲 si..j に渡る光軸間距離。つまり、指定の面範囲における面間隔 (thi) の総和。面範囲を省略する場合、第 1 面から最終面 (物体と像を除く) までの面範囲を仮定します。
OOS [si..j]	従来のバージョンで使われていたこのコマンドは名称が変更され、OID となりました。互換性の維持のためにのみ、引き続き認識されます。
OID [si..j]	物体面から像面までの軸上間隔。共役点間距離。物体距離が無限遠の場合には、第 1 面から像面までの距離が仮定されます。面範囲 (si..j) が指定された場合は第 i 面から j 面までの距離が光軸にそって計算されます。
SH1 [si..j] [zi..j]	第 i 面を起点に測った、面範囲 si..j における前側主点 (第 1 主点) の位置。面範囲の指定を省略した場合は 光学系全系に対する前側主点の位置。
SH2 [si..j] [zi..j]	第 j 面を起点に測った、面範囲 si..j における後側主点 (第 2 主点) の位置。面範囲の指定を省略した場合は 光学系全系に対する後側主点の位置。
関連コマンド	
UMY si..j zi..j	近軸マージナル光線の傾角
HMY si..j zi..j	近軸マージナル光線の高さ
UCY si..j zi..j	近軸主光線の傾角
次ページに続く	

前ページから続く	
HCY si..j zi..j	近軸主光線の高さ

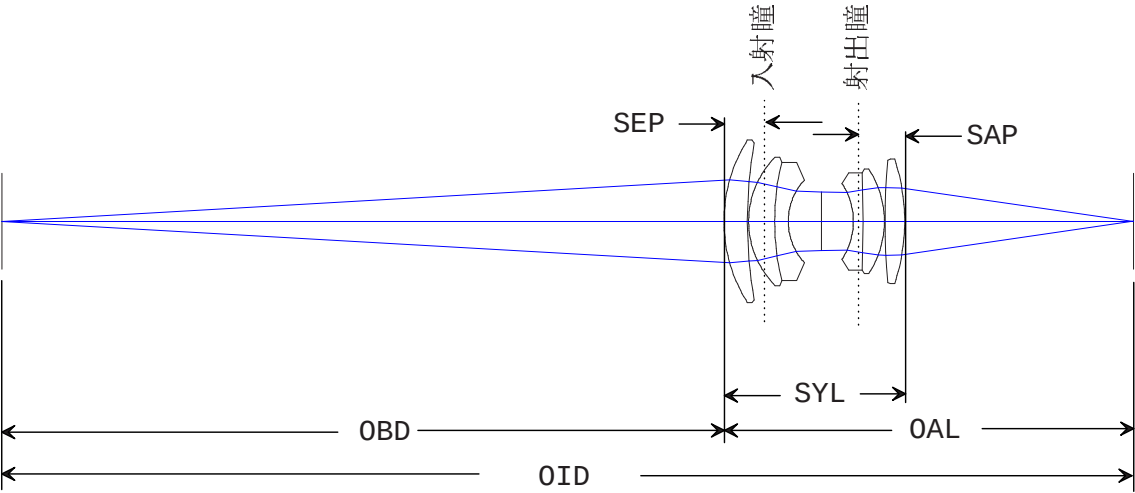


図 14.1: 主要な近軸量の定義

14.1.2 単光線追跡 (Single Ray Tracing)

一般にレンズを通過するのは幅を持った光束ですが、計算と表現の便宜上、それを代表する多数の光線群を一括して追跡することで、光束全体の振る舞いを調べます。しかし、時として特徴ある 1 本だけに着目して評価したくなることもあります。このような場合、その光線の事を特に“単光線”と呼びます。光学系を通過する単光線を追跡するための方法が 2 種類あります。

ひとつは任意の面上の指定座標を通過する単光線を追跡するもので、これは次節で説明します。もうひとつは入射瞳面上の指定座標を通過する単光線を追跡するものです。これは次のコマンドで実行されます。

```
sin [ si..j | gk | wi..j | zi..j | fi..j ] ape_absX ape_absY
および
rsi [ si..j | gk | wi..j | zi..j | fi..j ] ape_relX ape_relY
```

’sin’ は入射瞳面上で指定した絶対座標を通過する単光線を追跡します。これに対し、’rsi’ は、近軸入射瞳半径を 1 に正規化した入射瞳面上の相対値で指定した座標を通過する光線を追跡します。

オプションとして指定する面範囲 (si..j)、波長 (wi..j)、ズームポジション (zi..j)、視野 (fi..j) に対して、入射瞳面上の点 (ape_relX, ape_relY) を通過する光線の情報が表示されます。各面上の光線座標は、その面の頂点を原点とするローカル座標で示されます。ただし、GLO Y コマンドでグローバル参照をアクティブに設定した場合には、光線座標は GLO sk コマンドによってあらかじめ設定し

た第 k 面の座標系で示されます (181 ページ参照)。

グローバル座標の出力に関する注意事項:

いったん `GLO sk` を設定すれば、その効果は継続的に有効です。つまり、以降は常にあらゆる光線座標が第 k 面の座標系で表現されるようになります。これをグローバル参照といいます。グローバル参照を終了するには `GLO N` を設定します。

`GLO` コマンドとは対照的に `rsi gk` コマンド (あるいは `sin gk` コマンド) の実行時にグローバル参照面 `gk` を設定した場合には、`GLO Y|N|sk` の設定内容に関わらず、そのコマンドの実行ただ 1 回だけ有効です。

`ape_relX` X 方向の入射瞳座標、1.0 に正規化した瞳半径に対する相対値。

`ape_relY` Y 方向の入射瞳座標、1.0 に正規化した瞳半径に対する相対値。

`ape_absX` X 方向の入射瞳座標、瞳面上の実座標。単位は mm。

`ape_absY` Y 方向の入射瞳座標、瞳面上の実座標。単位は mm。

例:

<code>rsi f1 w1 g3 0 1</code>	第 1 視野、第 1 波長における 周辺光線 (Y 方向の上側マージナル光線) を追跡します。光線座標は第 3 面のローカル座標系で表現されます。
<code>rsi f1 w1 0 1</code>	第 1 視野、第 1 波長における 周辺光線を追跡します。光線座標は各面のローカル座標系で表現されます。
<code>sin f1 w1 0 15</code>	第 1 視野、第 1 波長、瞳面上の絶対座標 (X/Y = 0mm/15mm) を通過する単光線の追跡です。光線座標は各面のローカル座標系で表現されます。

14.1.3 面座標を参照する単光線追跡 (Ray Aiming)

`aim si [ wi..j | zi..j | fi..j ] ape_relX ape_relY`

波長 (`wi..j`)、ズームポジション (`zi..j`)、視野 (`fi..j`) の指定はそれぞれオプションです。光線通過点は、面を特定 (`si`) した上で、その面の頂点を原点とするローカル座標で (`ape_relX`, `ape_relY`) に与えます。ただし、グローバル参照が定義されているならば、光線座標は `GLO` コマンドによって参照された面の座標系で与えます。

14.1.4 単光線の縦収差 (Single Ray Longitudinal Aberration)

<code>LAX [wi..j zi..j ri..j] ape_relX ape_relY</code>	単光線の X 面内 (サジタル面) 内における収差を評価します。収差は常に像面における値です。
<code>LAY [wi..j zi..j ri..j] ape_relX ape_relY</code>	単光線の Y 面内 (タンジェンシャル面内) における収差を評価します。収差は常に像面における値です。

注記:

縦収差は、‘光軸と平行に’定義されます。例えば、瞳の中心 ($\text{ape_relX} = 0, \text{ape_relY} = 0$) を通過する光線の LAX と LAY は、それに対応する画角および波長のサジタル方向、タンジェンシャル方向の非点収差に一致します。

14.1.5 ファン光線の収差曲線 (Fan Aberration Curves (RIM Rays))

入射瞳いっぱいを横切って、タンジェンシャル(メリジオナル)面内、あるいはサジタル面内をちょうど、扇子(ファン/fan)の骨が広がるようにして通過する光線を“ファン光線”といいます。ファン光線を追跡することにより、光線収差が縦収差表現か横収差表で示されます。あるいは光路差 (OPD:Optical path difference) で示されます。

FAN [scale ?]	ファン光線の横収差表示です。オプションのパラメータ scale は、プロット時の収差のスケールです。これを省略した場合は、最後に FAN コマンドを実行した際の値が使われます。“?” はプロットスケールを設定するためのダイアログボックスを起動します。
RIM [scale ?]	FAN と同等です。CodeV のコマンド名との互換性を考慮したものです。
FANL [scale ?]	ファン光線の縦収差表示です。オプションのパラメータ scale は、プロット時の収差のスケールです。これを省略した場合は、最後に FAN コマンドを実行した際の値が使われます。“?” はプロットスケールを設定するためのダイアログボックスを起動します。
OPDFAN [scale ?]	光路差 (OPD) を求めます。主波長を単位とする比率で表示されます。ファン光線の縦収差表示です。オプションのパラメータ “ scale ” は、プロット時の収差のスケールです。これを省略した場合は、最後に FAN コマンドを実行した際の値が使われます。“?” はプロットスケールを設定するためのダイアログボックスを起動します。

ファン光線の収差図において、開口に対応する軸 (相対入射瞳座標に対応する軸) を縦軸として表現するか、横軸として表現するかを設定しておくことが可能です。具体的な操作は次のとおりです。OpTaliX のメインメニューから、*File* → *Preferences* を選び、‘Operation’ タブにある ‘Align ray fan curves horizontally’ にチェックをいれる (横軸とする場合) か、あるいはチェックをはずして (縦軸とする場合) ください。

14.1.6 スポットダイアグラム (Spot Diagrams)

物点を出射し、光学系を通過する 1 本の光束を瞳面上で等間隔に分割してできた格子に対して、それぞれ 1 本の光線を追跡すると、結果として光線と像面の交点座標が多数得られます。スポットダイアグラムとは、これらの座標を 1 枚の図にプロットしたものです。回折の影響は無視されます。

像面に到達する光線の本数は、おおむね **NRD** コマンド (40ページ参照) で定義した瞳分割数の自乗程度に比例します。**NRD** による分割数が多いほど、スポットダイアグラムはより細部を表現するようになりますが、計算時間も増加します。なお、あまりに細かく分割すると **OpTaliX** を実行するとコンピュータのメモリ容量からの制約を受けることがあります。

スポットダイアグラムは一般に視野、波長あるいはズームポジションの関数として示されます。

オプションパラメータである “?” を入力すると、スポットダイアグラムの表示スケールを設定するためのダイアログボックスが起動します。もちろん、コマンドラインから直接明示的に表示スケールを設定することもできます。

SPO [plot_scale] SPO FLD [?] [plot_scale]	スポットダイアグラムを画角に対してプロットします。 plot_scale はスポットダイアグラムのプロットスケール。これはプロット図の右上にスケールバーとして表示されます。
SPO LAM [?] [plot_scale]	スポットダイアグラムを波長 (色) に対してプロットします。
SPO THF [?] [plot_scale] [def_range]	スルーフォーカスのスポットダイアグラム。 plot_scale にはスポットダイアグラムをプロットするためのスケールバーの長さを与えます。 def_range には、スルーフォーカスの範囲を光軸に沿った±デフォーカス量として与えます。
SPO RIS [sk ?] [plot_scale]	指定の面と光線の交点をプロット、光線の到達範囲のプロット。いわゆるフットプリントに相当。詳細は 14.1.8 章を参照。
SPO ZOO [?] [plot_scale]	スポットダイアグラムを画角およびズームポジションに対してプロットします。
SPO FF [?] [plot_scale] [num_fields]	最大視野を 2 次元に展開して像面全面に渡るスポットダイアグラムをアレイ状にプロット。アレイの対角長が最大視野に対応します。 plot_scale はスポットダイアグラムのプロットスケールです。これはプロット図の右上にスケールバーとして表示されます。 num_fields は、X, Y 方向のそれぞれに対する視野点の数 (デフォルトは 3) です。 例: spo ff 0.02 5! 5×5 のアレイ状にスポットダイアグラムプロットします。スケールは 0.02mm です。
SPR [fi..j, zm..n] SPD [fi..j, zm..n]	スポットダイアグラムの RMS 直径 (SPot Rms) を画角 fi..j 、ズームポジション zm..n に対して評価します。結果は数値で与えられ、テキストウインドに表記されます。
次ページに続く	

前ページから続く	
SPR FLD [plot_scale] [?]	スポットダイアグラムの RMS 直径の視野依存性をプロットします。ズーム系の場合には POS コマンドによりその時点で選択されたズームポジションについてプロットします。評価視野範囲は、軸上から光学系のシステムデータとして設定された最大視野までを含みます。plot_scale の指定を省略すると、それを指定するためにダイアログボックスが起動します。オプションのパラメータ “?” を指定すると起動するダイアログボックスからは RMS 値を求める際の基準座標を主光線位置とするか、スポット重心とするかを指定できます。さらに視野の方向を X 方向あるいは Y 方向のうちどちら向きにとるかを指定できます。
SPR LAM plot_scale [fi..j] [?]	画角 fi..j に対して、WL コマンドで指定した波長に対するスポットダイアグラムの RMS スポット直径をプリントします。
SPO [fi..j wi..j zi..j] FILE ファイル名	スポットダイアグラムを構成する各光線の像面座標をアスキーファイルに出力します。グラフィック出力はされません。ファイル名の前に 'FILE' という文字を置かなければなりません。ファイル名を省略した場合には、ファイル設定のためのサブウィンドウが開きます。デフォルトのファイル拡張子はありません。ファイルの出力書式は、次のとおりです。 <pre>pos field color X-abe Y-abe</pre> ここで pos = ズームポジションの番号 (整数), field = 視野番号 (整数), colour = 波長番号 (整数), X-abe = 主光線の像面座標との差 (X 方向の成分), Y-abe = 主光線の像面座標との差 (Y 方向の成分)
SPMS marker_size	スポットダイアグラムの描画において、各光線の描画サイズ (マーカーサイズ) を一時的に変更します。マーカーのサイズは、A4 サイズの用紙に印刷した場合の実スケールを mm を単位に指定します。デフォルトのマーカーサイズは 0.5mm ですが、OpTaliX のメインメニューから、File → Preferences → Miscellaneous タブとたどれば、それ自体を変更することもできます。

14.1.7 スポットダイアグラムの重心 (Spot Gravity Center)

あらかじめ設定されている全画角、全波長に対する幾何光学的なスポットダイアグラムの重心を求められます。

XGR [fi..j wi..j] YGR [fi..j wi..j]	スポットダイアグラムの重心を X および Y 方向の座標で示します。XGR コマンドと YGR コマンドは機能的に全く同一です。どちらのコマンドも、X, Y 方向の重心座標を出力します。一方、最適化、ユーザ定義グラフィックあるいは公差解析の各機能からスポット重心を参照する場合には、X 座標と Y 座標とを独立に識別する必要があります。コマンドが 2 種類あるのは、そのことに関連しています。このコマンドが出力する重心位置には、WTW コマンドによって指定される波長重みが反映されています (35 ページの WTW コマンドを参照)。
--	---

コマンド例:

```
ygr f3
```

は“テキストウインドウ”に次の結果を出力します。

Field	Wavel.	Rel.Wgt	X-Grav.	Y-Grav.	rel.Grav-X	rel.Grav-Y
3	0.54600	1.00	0.000000	18.147916	0.000000	-0.002189
3	0.45000	1.00	0.000000	18.141295	0.000000	-0.008810
3	0.65000	1.00	0.000000	18.146546	0.000000	-0.003559
Weighted gravity center:			0.000000	18.145252	0.000000	-0.004853

左側から順に、

Field: 視野番号、Wavel.: 波長 (μm)、Rel.wgt: 波長重み、X-Grav.: スポットダイアグラムの重心座標 (X 成分) 像面のローカル座標系における絶対値で表記、Y-Grav.: スポットダイアグラムの重心座標 (Y 成分) 像面のローカル座標系における絶対値で表記、rel.Grav-X: 主波長における主光線の像面座標に対するスポット重心の座標 (X 成分)、rel.Grav-Y: 主波長における主光線の像面座標に対するスポット重心の座標 (Y 成分)

14.1.8 面と光線との交点プロット (Surface Ray Intersection Plot)

入射瞳面を均等に分割した矩形グリッドのそれぞれに 1 本ずつ割り当てた光線を追跡します。この光線群の指定の面における通過座標がプロットされます。その例を図 14.2 に示します。この図にプロットされているのは、視野、波長、ズームポジションにわたるすべての光線です。ただし、指定した面の前後にかかわらず、いずれかの面でビネッティングされた光線はプロットされません。つまり、像面まで到達する光線についてのみ、指定の面上における通過座標がプロットされるということです。グリッドに含まれる光線の数 **NRD** コマンドで決定できます。“面と光線との交点プロット”は機能的には **FOO** コマンド (417 ページ参照) による **フットプリント** 解析と同じものです。いずれも光束が到達する面上の範囲 (境界) を示します。ただし、“面と光線との交点プロット (SPO RIS)” は遮蔽の影響を考慮しますので、より一般的であるといえます。一方、光束をサンプリングする光線は、あくまでも離散的なものですから、光線の到達境界を正確に求めるには限界があります。もし到達境界を正確に求めたいならば、**FOO** コマンドを使ってください。

<code>SPO RIS [sk plot_extent ?]</code>	第 <code>sk</code> 面と光線との交点をプロットします。 <code>sk</code> の指定を省略すると、直前に <code>SPO RIS</code> コマンドを実行した際の対象面について、プロットします。もし起動後はじめての実行であれば、デフォルトの面 (<code>S1</code>) についてプロットします。オプションのパラメータ <code>plot_extent</code> には表示領域の大きさを指定します。 <code>plot_extent</code> の指定を省略した場合、もしくはゼロが入力された場合は、直前の実行値を採用するか、あるいは <code>OpTaliX</code> が自動的に決定します。
---	--

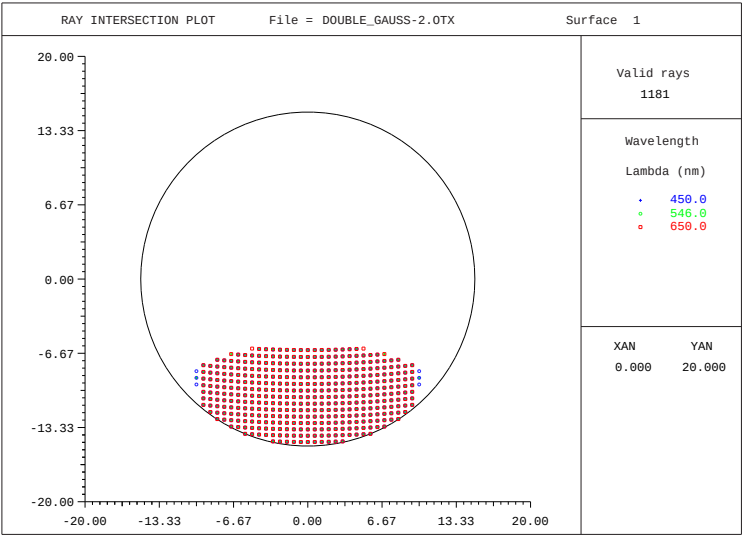


図 14.2: 面と光線との交点が、面上の有効径と共に示されます。ここでは単一の物点からの光線群に関して示しています。

14.1.9 瞳の強度マップ (Pupil Intensity Map)

瞳の強度マップとは、所望の視野、波長、ズームポジションに対する射出瞳面上の強度分布を示すものです。簡便には射出瞳に渡る強度分布は一樣であると仮定しますが、現実には光学材料の吸収、あるいは表面反射損失の影響により、瞳上の光強度には空間的な変化が生じます。また、光源の放射分布が空間的に非一樣である場合、つまり光源がアポダイゼーションを有する場合 (例として、ビーム断面の強度分布がガウシアンプロファイルを持ったレーザ光からの放射の場合など) にも、射出瞳の強度分布に一樣ではない影響が現れます。同様の影響をもたらす任意の効果は、INT ファイル (32.10節) から読み込む強度フィルタ (136ページ) によって任意の面上で定義できます。

要約すると、瞳の強度マップは次に示す光学的効果を反映したものとなっています。

- 瞳のアポダイゼーション (これは光学系全系に関わるデータを設定するための [system configuration](#) ダイアログの Aperture タブか、あるいは、[PUI](#)、[PUX](#)、[PUY](#) コマンド (41ページ) によって定義されます)。
- 光学材料の吸収または表面反射損失 (コーティングの影響を含む)。ただしこれらは [POL](#) (341ページ)、[TRA](#) (333ページ) コマンドによってあらかじめ、それぞれの影響を考慮するように設定した場合に限られます。
- 強度フィルタ (アポダイゼーション・フィルタ)。詳細は [INT ファイル](#) に関する説明を参照してください。

原因が何であれ、射出瞳上の強度分布が一樣でなくなったとすると、それは結像性能に変化が現れる、ということと同じ意味です。光学系の点像分布関数 (PSF : Point Spread Function) は瞳面の複素振幅のフーリエ変換によって求められるからです。したがって、瞳の強度マップを使って射出瞳面上の強度分布を確認する作業は、光学特性を適切に計算するために非常に重要だといえます。

瞳強度マップは、光学系の全系に渡って光線群の追跡を行うことで得られます。OpTaliX はその際、光線 1 本ごとに上述の各原因による強度の低下を評価し、瞳の強度マップを正確に求めます。瞳の強度マップは次のコマンドによって求められます。

PMA zk fk wk [WIR GRY FAL CON XY ?]	視野 fk、波長 wk、ズームポジション zk に対する射出瞳面上の強度マップを示します。デフォルトではワイヤグリッド表示ですが、オプションを指定することによりグレイレベル (GRY)、疑似カラー (FAL)、コンター (等強度線 CON) および XY 断面表示も選択できます。
--	---

コマンド PMA ?は、プロットパラメータを編集するためのダイアログボックスを起動します。

指定した視野と波長、ズームポジションに対して 1 枚のプロットが得られます。“*Include transmission*(透過率を考慮する)” および “*include polarization* (偏光を考慮する)” のチェックボックスはそれらを考慮するか否かを指定するものであり、TRA コマンドや POL コマンドによる指定に優先して、この 1 枚のプロットに対してのみ有効です。

例えば、システム構成データとして “TRA yes” (14.1 節参照) が指定されてたとしてもダイアログボックスの “*include transmission*(透過率を考慮する)” のオプションにチェックをいれなければ、透過率の影響は考慮されません。つまり、システムデータは一時的に上書きされるということです。ただ

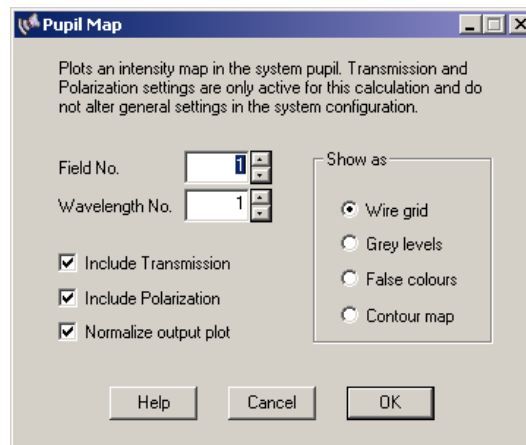


図 14.3: 瞳の強度プロットパラメータを編集するためのダイアログボックス

し、ダイアログボックスでの設定は、この 1 枚のプロットにのみ適用される限定的なものであり、システム構成データの設定には影響しません。

下記各図 (図 14.4 から 図 14.6) は、瞳の強度マップに関する種々の出力例です。

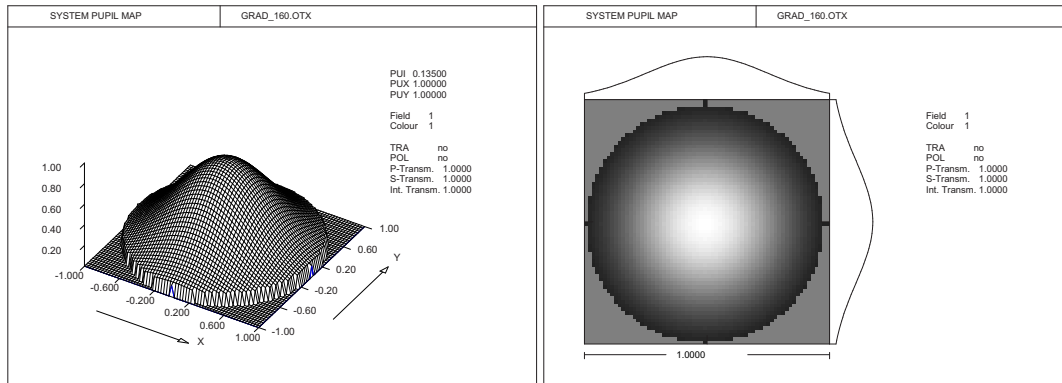


図 14.4: 瞳の強度マップ。

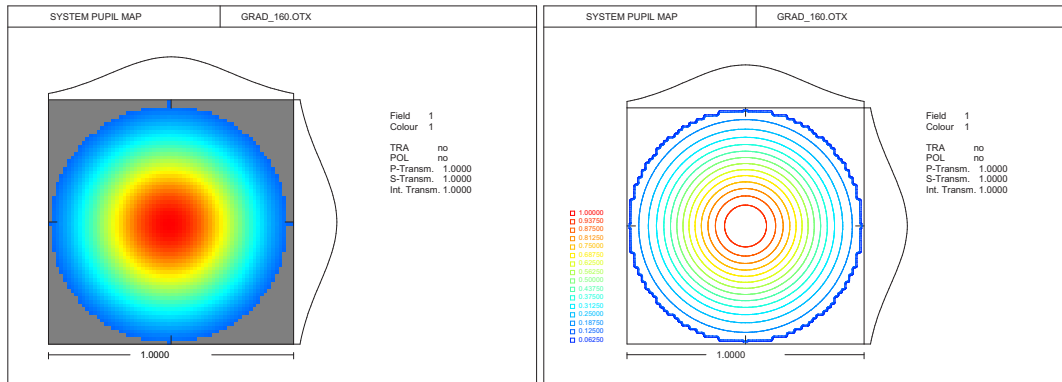
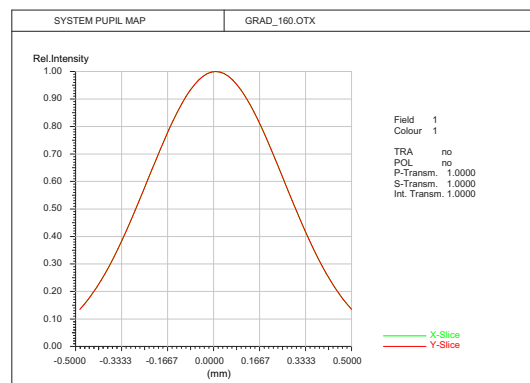
左: ワイヤグリッド表示。コマンド `PMA z1 f2 w3 WIR`右: グレイレベル表示。コマンド `PMA z1 f2 w3 GRY`

図 14.5: 瞳の強度マップ。

左: 擬似カラー表示。コマンドは `PMA z1 f2 w3 FAL`右: 等強度線表示。コマンドは `PMA z1 f2 w3 CON`図 14.6: 瞳の強度マップ。XY 断面表示。コマンドは `PMA z1 f2 w3 XY`

14.1.10 ディストーション (Distortion)

ディストーションは、近軸像の座標と実像の座標の関係を示すものとして表現されます。実像の座標とは、通常は主光線の像面座標、またはスポットダイアグラムの重心座標のことです。これを用いてディストーションは次式で求められ、パーセント表記されます。

$$D = \frac{y_{chief_ray} - y_{paraxial}}{y_{paraxial}} \cdot 100 \quad (14.1)$$

$$D = \frac{y_{gravity} - y_{paraxial}}{y_{paraxial}} \cdot 100 \quad (14.2)$$

ここで

y_{chief_ray} = 実際の主光線の像高

$y_{gravity}$ = スポットダイアグラムの重心座標

$y_{paraxial}$ = 近軸像高 (ディストーションのない光学系において期待される実像高)

近軸像高 $y_{paraxial}$ の定義には 2 種類あります。

$y_{paraxial} = \tan(w) \cdot EFL$ ごく一般的な光学系の場合。近軸像高は、視野角のタンジェントに比例します。

$y_{paraxial} = w \cdot EFL$ **F θ** 光学系の場合。近軸像高は、ごく一般的な光学系の場合。近軸像高は、視野角のタンジェントに比例します。ポリゴンミラーと組み合わせたスキヤニング光学系に多用されます。

アフォーカル光学系 (平行光が入射すると平行光が出射するような光学系) の場合は、上記に示したディストーション定義式では適切に記述できません。そこでノミナルな (ディストーションのない) 出射角からの角偏差をもって “角ディストーション” を定義します。それはつまり、

$$D_{\alpha} = \frac{\alpha_{real} - \alpha_{paraxial}}{\alpha_{paraxial}} \cdot 100 \quad (14.3)$$

ここで、 α は出射光線と光軸とがなす角です。

いわゆる **F θ** ディストーションは、物体距離が無限遠の場合にしか意味がありません。像高は **F θ** レンズへの光線入射角に比例しています。厳密にいうとディストーションは平面を像面として持つ共軸回転対称系においてのみ有効です。これは、近軸像高の計算には偏芯や像面の湾曲の影響が考慮されていないからです。

ビネッティングの影響は、主光線を基準とするディストーションでは無視されます。しかし、実像高としてスポットダイアグラムの重心座標を使う場合には、ビネッティングの影響が考慮されることとなり、結果、ディストーションの計算にいくらかの影響を与えます。

コマンド書式:

種々のディストーション解析
次ページに続く

前ページから続く	
DISX [fi..j, zi..j, GRAV]	視野およびズームポジションに渡る X 方位のディストーションオプションのパラメータ “GRAV” を指定すると、主光線の代わりにスポットダイアグラムの重心座標を実像高として用います。 例: DISX f1..3 第1画角から第3画角にわたる X 方位のディストーション DISX GRAV f3 w2 実光線座標としてスポットダイアグラムの重心座標を参照
DISY [fi..j, zi..j, GRAV]	視野およびズームポジションに渡る Y 方位のディストーション
FDISX [fi..j, zi..j, GRAV]	X 方位の $F\theta$ ディストーション
FDISY [fi..j, zi..j, GRAV]	Y 方位の $F\theta$ ディストーション
ディストーションのプロット	
PLO DISY	Y 方位のディストーション。指定したすべての視野に渡るプロットです。
PLO DISX	X 方位のディストーション。指定したすべての視野に渡るプロットです。
PLO FDISY	Y 方位の $F\theta$ ディストーション。指定したすべての視野に渡るプロットです。
PLO FDISX	X 方位の $F\theta$ ディストーション。指定したすべての視野に渡るプロットです。
PLO DIG	ディストーション格子です。具体的にはディストーションにより変形したグリッド状物体の像がプロットされます。指定したすべての視野に渡るプロットです。

14.1.11 ディストーション格子の描画 (Grid Distortion Plot)

ディストーションを評価するコマンドのうち、DISX, DISY, FDISX, FDISY は、Y/Z 面内でのみ光線追跡を実行します。そのため、光軸に対して対称性をもった光学系においてのみ、正しい結果を与えます。一方、ディストーション格子の描画 (PLO DIG コマンド) は、光軸対称性のない光学系にも対応しています。

ディストーション格子の計算では、物体面に歪みのない矩形格子が配置されていると仮定しています。この格子の各点を出発した光線が光学系を通過した後に像面上に作る像が、ディストーション格子です (図 14.7)。

この解析では、視野が X および Y 方向のどちらにも展開しているものとして計算されます。そのため、仮に Y 方向視野のみが定義されている場合 (つまり X 方向の視野がゼロとして定義されている場合) には、いったん Y 方向に定義された最大視野径からなる円形領域が仮定され、それを対角線として内接する矩形の視野が設定されることになります。

得られる像の最大径は、近軸量によって決定されることに注意してください。

魚眼レンズのように、非常に大きな視野を持つ光学系の場合には、視野が 180° に近づくにつれて像

サイズは無限大に発散してしまうため、そのままでは図形描画上の問題が生じてしまいます。このような不都合は像の最大径をユーザが明示的に設定することで回避されます。そのためのコマンドは下記のとおりです。

PLO DIG [CHF GRA PSF] [enlargement_factor]	矩形グリッドを物体として形成された像をプロットします。enlargement_factor は、ディストーションを誇張して表示するための強調率です。1 よりも大きな数値を設定することにより、実際よりもディストーションの影響が大きく表現されます。ディストーション格子は、主光線 (CHF) を基準に表示できる他、スポットダイアグラムの重心 (GRA) や、PSF の重心 (PSF) を基準に表示することもできます。デフォルトの設定は主光線 (CHF) です。 例： plo dig 10.0 ! 10 倍に誇張したディストーション格子を描画します。基準は主光線座標です。 plo dig gra 10 ! 上記と同様です。ただしスポットダイアグラムの重心が基準です。
---	--

ディストーションが小さい場合には、強調率 (**enlargement_factor**) を設定することで実際のディストーションを誇張して表現すれば、像歪みの様子を判別しやすくなります。強調率はディストーション格子の描画において次のように作用します。

$$x_{plot} = d_f (x_{ideal} - x_{real})$$

(14.4)

ここで d_f は 強調率 **enlargement_factor** です。強調率として 1 よりも大きな数値を設定することにより、ディストーションは実際よりも大きな歪みをもって描画されます。一方、理想グリッドは常に同じサイズで表現されます。

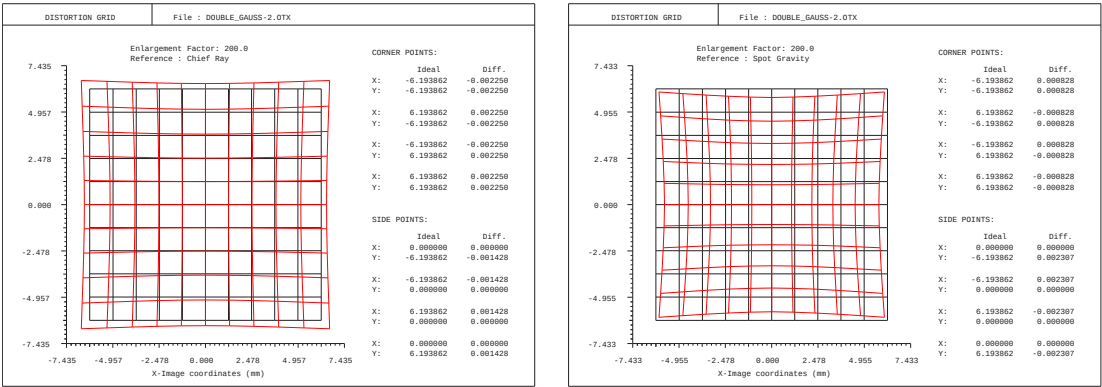


図 14.7: 格子プロット。左:主光線を基準とする場合。 右: スポットダイアグラムの重心を基準とする場合

14.1.12 フィールド収差 - 非点収差とディストーションの解析 (Field Aberrations - Astigmatism and Distortion Analysis)

フィールド収差の解析機能は、非点収差とディストーションに加え、オプションで縦の球面収差を評価するものです。評価の結果は1枚の図表にまとめてプロットされます。球面収差は視野に依存する収差ではありませんが、非点収差図との比較から最良デフォーカス像面を見定めることから、慣習として併記されます。

FIE [LSA] [?]	視野に依存する収差、つまり非点収差およびディストーションを評価します。オプションのパラメータである LSA を指定した場合は、縦の球面収差もプロットします。パラメータの代わりに “?” マークを指定すると、収差のプロットスケールを設定するためのダイアログが起動されます。ここでゼロを設定した場合には、スケールは自動設定されます。ズーム光学系の場合には POS コマンドによって その時点で選択されているズームポジションに関する評価結果がプロットされます。図 14.8 にプロット例を示します。
---------------	--

ディストーションとは倍率の視野位置依存性のことです。実光線追跡によって求めた主光線の像高と近軸像高の差異を、近軸像高に対する比率としてパーセントで表現します。非点収差は、主光線に沿った光束の縦のデフォーカス量をいくつかの像高に対してタンジェンシャル方向 (Y 方向) と サジタル方向 (X) に対して求めたものです。

これらを一括してではなく、各収差を個別にプロットすることもできます。ディストーションについては、249ページの 14.1.10章を、縦の球面収差については 241ページの 14.1.5 章を参照してください。

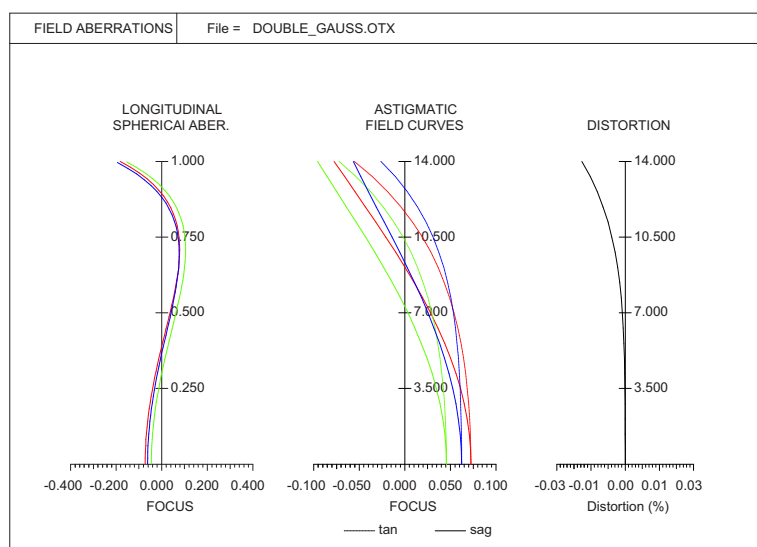


図 14.8: 球面収差、非点収差、ディストーションが1枚にプロットされた例

14.1.13 1次解析 (近軸解析) (First Order Analysis)

FIR	近軸量、すなわち焦点距離やレンズ全長など1次解析量を全てのズームポジションの一覧表を出力します。近軸量は LIS コマンドでも出力できます。詳しくは 177 ページの LIS PAR に関する説明を参照してください。
FIO [sk si..j zk zi..j]	近軸主光線および近軸マージナル光線に関する光線追跡結果を、指定の面範囲、指定のズームポジションについて示します。

OpTaliX が光学系の評価に用いている光線追跡方程式は正確ではありますが、それでも適切な評価結果を得るには、像形成の過程を理解を要するなどいくらかの面倒が伴います。単純化された解析結果に至るには、1次近似 (近軸近似) がしばしば良好な出発点となりますし、それは多くのアプリケーションにおいて十分に正確であるとみなせます。

この近似は、特に各レンズが光軸を共有し、光線がその軸と入射光線のなす角が小さいとき、特に有効です。このような光線は、近軸光線と呼ばれ、この光線領域を取り扱う光学分野を、特に近軸光学と呼んでいます。近軸近似は既に 17 世紀の初期には良く知られており、ケプラー (Kepler) が最初に望遠鏡の理論を定式化した際にも、この近似が用いられていました。

近軸計算式は、スネルの法則 $n \cdot \sin\theta = n' \cdot \sin\theta'$ から導かれます。正弦 (サイン) 関数を級数に展開すると、

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \quad (14.5)$$

となりますが、ここで θ が十分に小さいと仮定して第 2 項以降を省略するとスネルの法則は次のように近似できます。

$$\sin\theta \approx \theta.$$

これ故に、この領域を取り扱う光学理論を近軸理論 (または 1 次理論) と呼びます。

近軸量は、LIS、または LIS PAR、FIR コマンドのいずれを使っても表示されます。表示内容の詳細は 9.1 章 (177 ページ) を参照してください。

14.1.14 3次収差 (Third Order Analysis)

3 次収差は実光線 (スキュー光線) 追跡によって得られる収差の近似を与えます。3 次収差¹には近軸量だけを用いて迅速かつ簡便に結果を得られるという強みがあります。それとは逆に、厳密な光線追跡は光線傾角そのものではなく、その正弦 (サイン) を扱わなくてはならないという複雑さがあります。

3 次収差は、14.5 式に示した正弦関数の級数展開において、初項と θ^3 次の項だけを残し、 θ^5 よりも高次の項を無視することによって得られます。このようにして求めた収差量は、厳密に求めた収差量の 3 次成分になっていますが、これはちょうど、全収差成分の第 1 近似に相当しています。このことを図 14.9 を用いて説明します。この図は実光線追跡によって求めた球面収差 (細線) と 3 次の球

¹これを体系化した研究者の名をとって、ザイデル (Seidel) 収差ともいいます

面(太線)を横収差形式で重ねて描いたものです。近軸領域および3次収差領域は、ちょうど図の原点近傍に相当しますが、ここでは実収差と3次収差は良い一致を示します。しかし、その両側に離れるほど、両者の差が著しくなります。

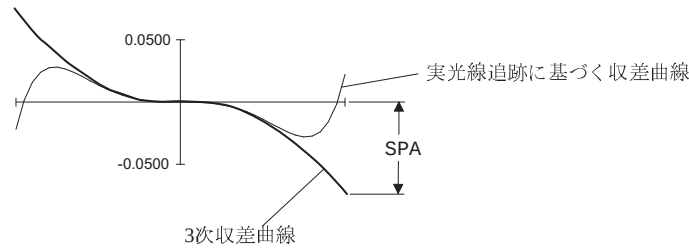


図 14.9: 球面収差(横収差表現)。 実光線追跡によって求めた収差と3次収差の比較例

図 14.9 に示した3次収差は、実収差(実光線追跡によって求めた収差)の近似にしかすぎません。とりわけ、光学系が大口径であるほど、あるいは広い画角をもっているほどその傾向は顕著になります。どの程度まで妥当に近似できているかは光学系によって異なります。以上のとおり、3次収差は実収差の近似ではありますが、しかし、光学系全体の収差に対する各面の寄与を示すことができるという非常に有意義な特徴をもっています。賢明な読者ならより高次の収差、例えば5次収差を含む近似を用いれば、なお一層、深い光学的洞察が可能となると考えるでしょう。しかし実際には、5次(あるいは7次)方程式は、実光線方程式と同程度に複雑ですから、コンピュータが十分に高速である現在では実光線追跡、すなわちすべての次数を含む光線追跡を行っても、その計算時間はさほど変わりません。このため、5次収差を計算する意味は従来と比較してかなり低くなっています。

Command:

THO	光学系全体の3次収差(ザイデル収差)と、各面の寄与を表示します。
-----	----------------------------------

3次収差の定義式:

5.3章で導出した近軸量を用いて、光学定数を定義します。

$$H = nu_a h_b - nu_b h_a \quad (\text{ヘルムホルツ・ラグランジェの不変量}) \quad (14.6)$$

$$S = \frac{Y'}{2H} \quad (14.7)$$

$$S_p = \frac{Y' \cdot \Delta\omega}{H} \quad (14.8)$$

$$S_s = \frac{Y'}{H} \cdot \left(\frac{\Delta\omega}{2} \right)^2 \quad (14.9)$$

近軸像高 Y' とブーフダールのクロマチック座標 ω は次のように定義されます。(詳細は参考文献 [7]、[45] を参照),

$$\omega = \frac{\lambda - \lambda_0}{1 + 2.5(\lambda - \lambda_0)} \quad (14.10)$$

ここで λ_0 は主波長。ここで各面に対して次の補助量を定義します。

$$i = c \cdot h_a + u_a \quad (14.11)$$

$$j = c \cdot h_b + u_b \quad (14.12)$$

$$b_a = \frac{n}{n'} (n - n') h_a (u_a + i) \quad (14.13)$$

$$b_b = \frac{n}{n'} (n - n') h_b (u_b + j) \quad (14.14)$$

$$a = (n - n') (k \cdot c^3 + 8A_4) \quad (14.15)$$

$$d_p = \frac{\partial n}{\partial \omega} - \frac{n}{n'} \cdot \frac{\partial n'}{\partial \omega} \quad (14.16)$$

$$d_s = \frac{\partial^2 n}{\partial^2 \omega} - \frac{n}{n'} \cdot \frac{\partial^2 n'}{\partial^2 \omega} \quad (14.17)$$

これらの定数から、各面の 3 次収差に対する寄与が得られます。

	spheric terms:	aspheric terms:
Spherical: $A_i =$	$S \cdot b_a \cdot i^2$	$+ S \cdot a \cdot h_a^4$
Coma: $B_i =$	$S \cdot b_a \cdot i \cdot j$	$+ S \cdot a \cdot h_a^3 \cdot h_b$
Astigmatism: $C_i =$	$S \cdot b_a \cdot j^2$	$+ S \cdot a \cdot h_a^2 \cdot h_b^2$
Petzval: $P_i =$	$S \cdot H^2 \cdot \frac{n-n'}{n \cdot n'} \cdot c$	$+ 0$
Distortion: $V_i =$	$S \cdot \left[b_b \cdot i \cdot j + H \left(u_b'^2 - u_b^2 \right) \right]$	$+ S \cdot h_a \cdot h_b^3$
Axial Color: $Fl_i =$	$S_p \cdot d_p \cdot h_a \cdot i$	$+ 0$
Lateral Color: $Fq_i =$	$S_p \cdot d_p \cdot h_a \cdot j$	$+ 0$

全系の 3 次収差は光学系を構成する各面の寄与の合計として得られ、それは次のとおりです。

$$SPA = \sum_{i=1}^n A_i \quad (14.18)$$

$$COMA = \sum_{i=1}^n B_i \quad (14.19)$$

$$ASTI = \sum_{i=1}^n C_i \quad (14.20)$$

$$PETZ = \sum_{i=1}^n P_i \quad (14.21)$$

$$DIST = \sum_{i=1}^n V_i \quad (14.22)$$

$$LCA = \sum_{i=1}^n Fl_i \quad (14.23)$$

$$TCA = \sum_{i=1}^n Fq_i \quad (14.24)$$

14.1.15 2 次の色収差 (Secondary Spectrum)

2 次色収差 (残存色収差ともいう) は波長の関数として近軸焦点位置の変化を示したものです。

SSP	2 次色収差を数値でプリントします。
PLO SSP [plot_scale ?]	2 次色収差をプロットします。オプションのパラメータとして ? を指定すると、プロットスケールを入力するためのダイアログボックスを起動できます。
SSR[wi..j zi..j]	ズームポジション zi..j ごとに、近軸像点の 2 次色収差による変化量を、波長重みを考慮した RMS 値 として表示します。この評価は、あくまでも近軸量を元に計算したものであるため、明るい光学系、画角の大きな系、偏芯系において、無視できない計算誤差を持つことがあります。

14.1.16 横の色収差、倍率の色収差 (Lateral Color)

像面上における主波長、主光線の到達座標と指定波長の到達座標間の距離です。波長に沿ってプロットします。

ごく稀に倍率の色収差は、最短波長および最長波長に関する主光線の像面における到達座標間の距離として定義されることがあります。しかし、この定義から得られる軸上色収差が最悪値を与えるという保証はなく、判断ミスの原因となることもあります。OpTaliX の採用している一般的な定義であれば、そのような心配はありません。

LAC wi..j [fi..j, zi..j]	波長域 wi..j における倍率の色収差。波長域の指定は必須です。視野およびズームポジションの指定はオプションです。主光線について、主波長の像面座標と各波長の像面座標との差が表示されます。この解析には波長重みは反映されません。
PLO LAC	倍率の色収差量の画角依存性をプロットします。主光線について、主波長の像面座標と各波長の像面座標との差がプロットされます。オプションのパラメータ“?”を入力すると、プロットスケールを入力するためのダイアログボックスが起動します。

14.1.17 ゴースト解析 (Ghost Image Analysis)

どの面も、そこに入射する光の一部を反射します。その反射率は光学材料の屈折率、あるいはその面に成膜した反射防止膜のタイプによって異なります。いずれにせよ、通常の光学面はゼロでない反射率を持つので、光学系の内部のある面からの反射光は、再び別の面で反射して、像面付近でほどほどに明瞭な像をつくります。光学設計者の意図に反して現れるこの疑似像を“ゴースト”と呼びます。また、それがどの面の反射に関連するものであるかを調べたり、ゴーストの位置や明瞭さを調べたりすることを**ゴースト解析**といいます。

ゴーストの生成に寄与し得る面の組み合わせ (ペア) の数は $n(n-1)/2$ です。ここで、 n は光学系を構成するレンズの面数です (枚数ではありません)。面の数が増えるとゴーストが発生する可能性も増

加します。例えば、10 枚のレンズ (合計 20 面) をもつズームレンズは、原理的には 190 通りのゴースト像を生成します。

ガラスの内部吸収を無視した場合、面間のすべての多重反射を考慮すると光学系の全透過率は、次のとおり与えられます [22]。

$$t = \frac{1-r}{1+(N-1)r} \quad (14.25)$$

ここで r は、各面の反射率で、 N は面の数です。反射率 $(1-r)$ は像の生成には寄与せず、かわりに迷光になります。上述した 20 面の空気界面をもつズームレンズを例にとると、光学系を通過する全光束に対する面反射の総量は、何らの蒸着膜がないガラスレンズの場合には 45% 程度にも達します。しかし、もし反射防止膜により各面の残留反射率が 1% に押さえられている場合には、それは 17% にとどまります。

面反射の大部分が十分な拡散性をもっているならばゴーストという意味では、さほど問題にならないかもしれません。しかし、もしそれが像面付近で集光するならば、反射防止膜が成膜されている場合でさえ、ゴーストとしての大きな影響と持つことになります。したがって、ゴースト成分の総エネルギーだけでなく、それが像面上で作る強度分布についても最大限、制御することが重要です。

OpTaliX には、ゴースト解析のための機能が 4 種類あります。

- ゴーストの位置と直径を近軸的に求めます。ゴースト位置はターゲットとなる面を基準に表示します。ターゲット面は一般には像面ですが、他の面も同様に指摘できます。
- ゴーストを生成する繰り返し反射の光路に沿った実光線追跡により、ゴースト像のスポットダイアグラムを求めます。
- ゴーストを生成する光路を描画します。
- 反射防止膜の効果とゴースト像の分布を表現する写真のようにリアルな画像を生成します。

GHP si..j target_sur [ALL] GHO si..j target_sur [ALL]	ゴーストの位置と直径を 近軸的 に求めます。ゴースト位置はターゲットとなる面を基準に表示します。ゴーストに関与する 2 つの反射面は、 si..j によって設定します。オプションのパラメータ ALL を設定した場合には、この面範囲のすべての反射面の組み合わせについて解析します。GHP と GHO は機能的には全く同等です。GHO は CodeV と共通のコマンド名を用意するために実装されました。
GHS si..j target_surf GHO SPO si..j target_surf	面 si および sj の間の繰り返し反射によるゴースト像のスポットダイアグラムを、実光線追跡により target_surface 上で求めます。 target_surface には像面を含む任意の面を指定できます。
次ページに続く	

前ページから続く	
GHV si..j target_surf GHO VIE si..j target_surf	ゴースト光路を含むレンズ断面図を描画します。描画ウインドの左上の矢印をクリックすると反射面を変更できます。矢印は2組あります。それぞれ最初の反射面に関するものと、再反射面に関するものです。
GHR si..j target_surf x_rel_aperture y_rel_aperture GHO RAY si..j target_surf x_rel_aperture y_rel_aperture	単ゴースト光線の追跡。si..j は、ゴースト反射が最初に生じる面と再反射面です。
GHO RGB si..j target_surf [ALL] [FILE file_spec]	ゴースト像をリアルにカラー表示 (RGB 表示) します。si..j には、ゴースト像の形成に寄与する両端の反射面を設定します。オプションのパラメータ all を指定した場合には、面範囲 si..j におけるすべての2回反射面の組み合わせによって生成されるゴースト像が波長重みを考慮のうえ、計算されます。その際、POL Y が指定されていればコーティングの影響が考慮されます。また、TRA Y が指定されていれば、材料吸収の影響も考慮されます。 ゴースト像は、パラメータ target_surf で指定した面上で計算されます。通常は最終像面 (収差を評価するの同一の面) に設定しますが、必要に応じて他の面を指定してもかまいません。 オプションのパラメータ FILE file_spec に続いて任意のファイル名を file_spec の位置に設定すれば、ゴースト像の強度を RGB 別にファイルに保存できます。現状では一般的なアスキー形式と MicrosoftTM 社のエクセル形式が選択できます。ファイル名の拡張子が .xls の場合にはエクセル形式、それ以外の拡張子であればアスキー形式で出力されます。 さらに詳しい説明は、260の、“ゴースト像のレンダリングによる表現”の項を参照してください。 例: gho rgb s3..7 12 all FILE c:%temp%ghostrgb.xls
次ページに続く	

前ページから続く	
GHO SAV Y N	他の光学パラメータとともに、ゴースト解析用のパラメータも保存する場合は“GHO SAV Y”、しない場合は“GHO SAV N”

制限:

ゴースト解析に関する OpTaliX の現状の機能 (解析の基礎となる逆進光線追跡を含む) は、球面および非球面を考慮します。また平行偏芯やティルトにも対応します。屈折率分布 (GRIN) 材料も正確に逆進追跡されます。ただし OpTaliX の現バージョンは、GRIN 材料の両端面が偏芯している系には対応していません。ご注意ください。

14.1.17.1 近軸領域のゴースト解析に関する注意 (Notes on paraxial ghost analysis)

近軸計算に基づくゴースト解析は、ゴーストに最も影響のある面を非常に素早く特定できる使い勝手のよい方法といえます。しかし光学設計者は、その影響について判断を下す際には十分な注意が必要です。

当然ながらゴースト像は尖鋭な像が得られるように収差補正されていません。このため一般的にゴースト像は大量の球面収差やコマ収差、像面湾曲などによってにじんだ像を呈します。ところが近軸計算に基づくゴースト解析は、ゴースト光路に沿った幾何光学的な収差を全く考慮しません。

そのことを、図 14.10 に示したガウス型レンズを例にとりて説明します。下記に示すとおり、近軸計算が予測する (第 5 面と第 7 面の間の繰り返し反射による) ゴースト像の直径は、さほど大きなものではありません (0.89666mm)。しかしながら実光線追跡によれば図示のとおり像面において大きな拡散が認められます。これは近軸計算では考慮されなかったゴースト光路の球面収差によるものです。

このように近軸解析が予測するゴースト像は実光線追跡による結果と必ずしも一致しません。一致するのは、小さな開口と狭い視野しか持たない光学系の場合だけです。このような光学系であれば、近軸的な解析であっても、現実に見えるゴーストの大きさを妥当に再現できるでしょう。

近軸ゴースト解析の結果だけをもって信頼に足るゴースト解析が達成されたと即断しないようにお勧めします。必ず、他の方法 (例えば、ゴーストスポット、ゴースト光路図、RGB 解析) と相互比較して下さい。

```
PARAXIAL GHOST ANALYSIS:

All ghost aberrations are referred to surface 12

1st.Ref1  2nd.Ref1      GhostNA  GhostDiam  GhostFocus
      7          5      0.18700    0.89666    -2.39748
```

繰り返しになりますが、近軸ゴースト解析が潜在的に持っている限界を意識してください。近軸解析は、F ナンバの大きな暗い光学系では比較的妥当な結果を与えますが、大きな開口をもつ系、あるいは広角光学系では意味のある結果を示すことができるとは限りません。

例:

ダブルガウス型レンズ (参照 `$i%examples%misc%double_gauss-2.otx`) を使った例です。次のコマンド

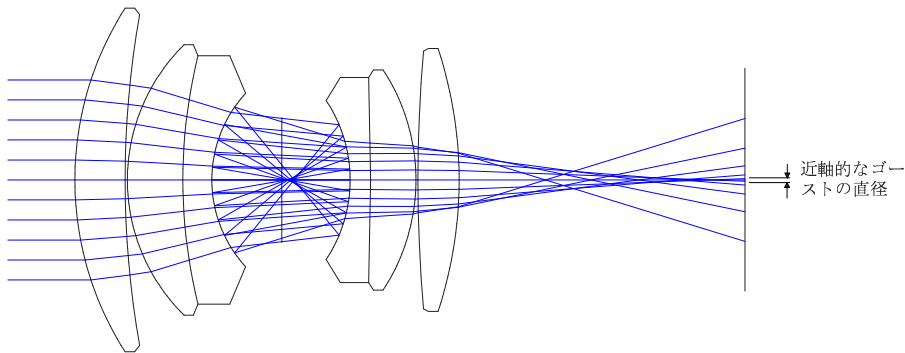


図 14.10: ゴースト像の評価例。近軸解析で予測されるゴースト像の直径に反して、実光線追跡によって得られるゴースト像は大きな広がりをもっています。この差異はゴースト光路の球面収差によって生じています。

ghv s5..7 12

は、第5面と第7面の間の反射によるゴースト光路を描画します。3つめのパラメータは第12面がターゲット面であることを示します。図 14.11は通常の光線追跡による光路図と、上記コマンドによって得られるゴースト光路図を示しています。いずれの場合も物理的に同じ面には同一の面番号が割り振られています。ゴースト光路を記述するために新たな面を追加する必要はありません。

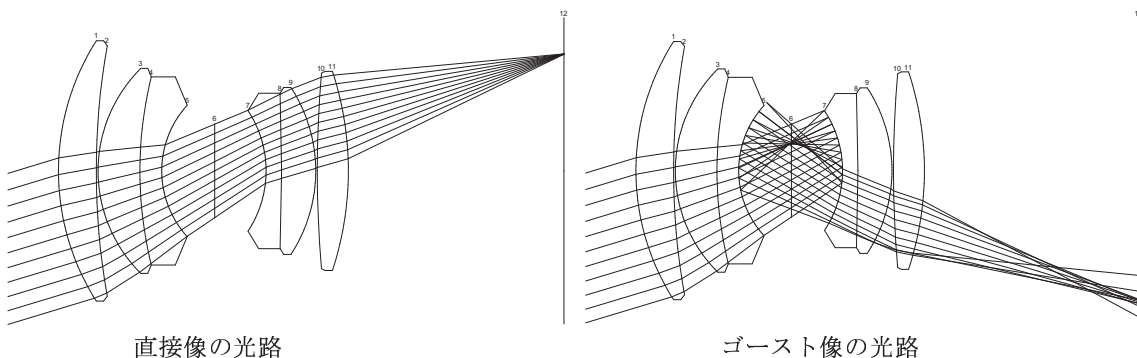


図 14.11: ゴースト像の評価例。左) 直接像の光路、右) 第5面と第7面の間のゴースト光路

14.1.17.2 ゴースト像のレンダリングによる表現 (Photo-realistic rendering of Ghost Effects)

“GHO RGB” コマンドを使えば、リアルで正確なゴースト解析を実行できます。パラメータとして ALL を指定するとゴーストに寄与する全ての面の組み合わせによるゴーストの影響が自動的に探索、解析され、写實的に表現されます。材料吸収の影響および反射面の影響をこの解析に加味するには、TRA Y および POL Y の設定が必要です。

RGB プロットにおける表示色は、可視波長域用の光学系についてのみ‘実世界’の色彩を再現します。その波長域は、おおむね 400nm から 700nm です。もし、それ以外の波長域 (例えば 近赤外ある

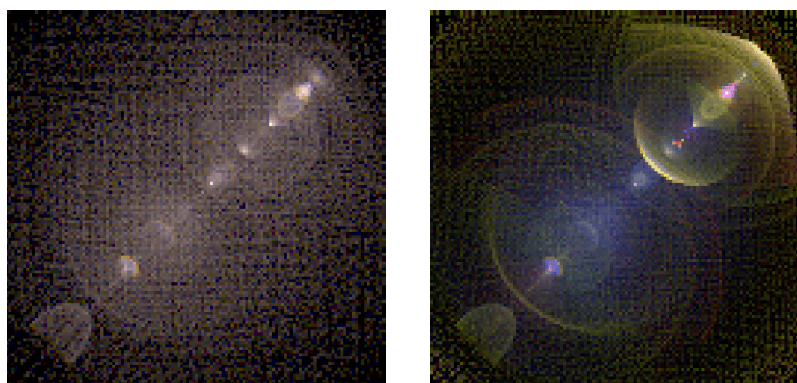


図 14.12: ゴースト像の影響をリアルな カラー (RGB) イメージで表現した例。
`examples\high_na\15.33.otx` の場合。左図はコーティングおよびフレネル反射の影響を無視して得た例、右図は “POL Y”、“TRA Y” を指定してコーティングおよび材料吸収の影響を考慮した、より現実に即した例。

いは熱赤外領域) が用いられる場合には、その範囲内の短波長帯に対して青色が、長波長帯に対して赤色が用いられます。このような場合には、もはや色再現は擬似カラーとしての意味しかもちません。解析の結果をよりの確に得るため、あらかじめ下記を適切に設定することをお勧めします。

- ゴースト光源として、視野内または視野外の単一物点を定義します。
- 全ての面のアパーチャは、固定されなければなりません ([FHY sa 1](#))。そうすることで、設定したアパーチャの外側に到達したゴースト光が意図どおりブロックされます。
- ゴースト反射をより現実に即してモデル化するため、各面には適切にコーティングデータを設定してください ([ATT](#) コマンド)。
- ゴースト解析の際、コーティングおよびフレネル反射の影響や、材料吸収の影響を加味するためには、あらかじめ POL コマンドを POL Y に、TRA コマンドを TRA Y にセットしておかなくてはなりません。これらの設定は、ゴースト解析の条件設定ダイアログからも行えます。ただし、表面反射の影響の解析を考慮する場合 (POL Y の場合には追跡する光線の 2 乗に比例して、計算に要する時間が増加します。したがってゴースト解析の初期段階では POL and TRA をそれぞれ N に設定し表面反射と吸収の影響評価を折り込まない解析を実行することで幾何的な特性のみを把握し、その後、より精密な解析を実行する段階では、それらを折り込んでゴースト強度を含む緻密な結果を得るという方法が考えられます。このような段階を踏んだ解析による結果は、例えば [14.12](#) 図に示す差異となって現れます。

RGB ゴースト解析を実行すると、ゴーストに影響を与える反射面の各組み合わせごとに、ゴースト像の位置と相対強度がプリントされます。この情報は、特定のゴースト像が どの面間の繰り返し反射に由来するものであるかを識別するのに有用です。RGB ゴースト解析における典型的な解析出力は、次のようなものです。

```
Surface sequence: 0 --> 4 --> 3 --> 21
  WL      Rays    X-grav.    Y-grav.    Rel.Int.
0.55000   187     2.59402    2.19795    0.000000506
0.43000   186     2.66335    2.25453    0.000003985
0.62000   187     2.58922    2.19467    0.000000319
```

```

Surface sequence: 0 --> 5 --> 1 --> 21
  WL      Rays      X-grav.      Y-grav.      Rel.Int.
  0.55000      97      2.25870      2.26849      0.000000940
  0.43000      95      2.26453      2.25057      0.000001150
  0.62000      97      2.26605      2.27590      0.000000163
Surface sequence: 0 --> 5 --> 2 --> 21
  WL      Rays      X-grav.      Y-grav.      Rel.Int.
  0.55000     145     -2.21976     -2.28230      0.000001083
  0.43000     145     -2.10141     -2.16481      0.000000826
  0.62000     145     -2.25932     -2.32177      0.000000173

```

一連の出力は、あらかじめ光学データとして設定された波長ごとに出力されます。“X-grav”および“Y-grav”の欄には、光線ごとにその強度で重み付けされたゴースト像のスポット重心が得られます。これらの結果は解析実行時に指定したゴースト評価面上の座標として得られます。この一覧表はRGBゴースト像に現れた任意のゴースト像が、どの面間の反射に由来するかを特定する際の一助となります。相対強度(Rel.Int.)の欄には、光学系に入射する光強度に対する相対値として、各ゴースト像の平均強度(照度ではない)が出力されます。

14.1.17.3 ゴースト解析結果のファイルへの保存 (Writing Ghost Data to Files (ASCII or Excel))

フォトリアリスティックなゴースト像のRGB(red-green-blue)解析の結果をファイルに保存することもできます。その書式は、エクセル形式またはアスキー形式を選択できます。指定するファイルの拡張子が.xlsであればエクセル形式、それ以外の任意の拡張子であれば、アスキー形式です。ファイルにはred、green、blueのチャンネルが順次保存され、最後に白色のチャンネルが保存されます。

ASCII形式による保存:

ゴースト像のRGB各チャンネルのデータに先行して、2行のコメントが付与されます。ここにはチャンネルの名称と、チャンネル内のゴースト強度の最大値が記されます。その後、最大値で規格化された相対的なゴースト強度が保存されます。その一例は下記のとおりです。

```

! red:
! max value = 581.4250488281250
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
! green:
! max value = 406.0000000000000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
! blue:
! max value = 635.9754028320312
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....

```

```

0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
! white:
! max value = 1623.400390625000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 .....

```

エクセル形式による保存:

ゴースト像の解析結果は、RGB(red-green-blue) 各チャンネルのデータとしてエクセル形式でも保存できます。これらは単一の xls ファイル中の、それぞれ個別のシートに保存されます。また、RGB 像を合成した白色ゴースト像についても 1 枚のシートが割り当てられ、そこに結果が保存されます。

53	4.311024	11.49606	26.86614	31.17717	11.49606	4.311024	4.748032
54	5.748032	12.93307	57.48032	63.22835	12.93307	5.748032	4.311024
55	5.748032	15.80709	177.189	200.1811	15.80709	5.748032	5.748032
56	8.622047	11.93307	43.11024	48.85827	11.93307	8.622047	5.748032
57	7.18504	11.05906	20.11811	24.42913	11.05906	7.18504	5.748032
58	6.18504	10.05906	7.18504	10.05906	10.05906	6.18504	2.437008
59	5.748032	5.748032	5.748032	8.622047	5.748032	5.748032	1.437008
60	2.874016	5.748032	4.311024	8.622047	5.748032	2.874016	1.437008
61	0	0	2.874016	4.311024	0	0	0

図 14.13: RGB(red-green-blue) 各チャンネルのデータに置き換えられたゴースト像の解析結果は、RGB の合成チャンネル (白色像) とともにエクセル中の個別のシートに保存されます。これらに先行する 3 つのシート、つまり “tabelle1” から “tabelle3” はダミーですから無視してください。

14.1.18 ビネッティング (ケラレ) の解析 (Vignetting Analysis)

ビネッティング (ケラレ) とは、光学系を通過する光束端がいずれかの面で制限される結果、軸外物点に対する入射瞳の大きさが減少することをいいます。この定義による限り軸上ではビネッティングは存在しないことになります。ビネッティングは一般に視野端ほど多くの照度減少をもたらします。また、設計段階において収差をより好ましく調整するためにも用いられます。OpTaliX の場合、ビネッティングはもっぱら FHY コマンド (168 ページの 8.32.3 章を参照) で設定された “固定アパーチャ径” によってのみ規定されます。

ビネッティングの解析は常に第 1 画角 (F1) を参照しています。これは解析の対象となる光学系が共軸対象系であり、かつ軸上物点が第 1 画角である場合にはまったく妥当な仮定です。OpTaliX は非共軸系の場合、たとえば光学系が平行偏芯面やティルト面を含んでいる場合や、非対称な画角設定がなされている系についても、第 1 画角を基準にビネッティングの解析を実施することに注意してください。

コマンド:

VIGP	画角の関数としてビネッティングをプロット。ズーム光学系の場合はすべてのポジションに対するビネッティングが重ね描きされます。
VIG [fi...j wi...j zi...j]	fi...j および zi...j で指定した画角とズームポジションに対するビネッティングを数値で出力します。ビネッティングは wi...j で指定した波長に対して重み付けの上で積分されます。こので表示される値がゼロのとき、それは 100% のビネッティング、つまり光線が通過できないことを意味します。一方、1.0 が表示されるとき、それはビネッティングが発生していないということを意味しています。この定義は相対像面照度と強い相関があります。画角を指定しないでこのコマンドを起動した場合には最大画角が指定されたものとみなされます。またズームポジションを指定しない場合には第 1 ポジションが仮定されます。

14.1.19 幾何光学的 MTF (Geometric Modulation Transfer Function (MTF))

変調伝達関数 (MTF : Modulation Transfer Function) の幾何光学的な近似値を計算します。この解析に用いている近似は、波面収差が波長と比較して大きな場合に有効です。つまりここで計算する幾何光学的 MTF は、次の近似が成り立つものとして求めるものです [34]。

$$\hat{H}(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} A(x, y) e^{i(\Delta_x \omega_x + \Delta_y \omega_y)} dx, dy \quad (14.26)$$

ここで

$$\begin{aligned} \omega_x &= 2\pi/f_x \\ \omega_y &= 2\pi/f_y \end{aligned} \quad (14.27)$$

Δ_x と Δ_y は横収差であり、 f_x と f_y は所望の空間周波数です。また $A(x, y)$ は、各光線に関連づけられた相対振幅です。この式を幾何光学的な計算に対応させるには、瞳面を基盤の目状の小領域に分割し、その各領域について 1 本ずつ光線追跡を行うことで光学系が有する幾何収差 (Δ_x, Δ_y) を求めます。このようにするなら幾何光学的な MTF は次のように表現できます。

$$\hat{H}(f_x, f_y) = A(x, y) \left\{ \sum_{i=1}^N \cos(\Delta_x \omega_x + \Delta_y \omega_y) + \sum_{i=1}^N \sin(\Delta_x \omega_x + \Delta_y \omega_y) \right\} \quad (14.28)$$

このようにしてスポットダイアグラムを構成する全ての光線 (N 本) に対する収差の総和が求められます。この結果は波面収差が数波長よりも大きな場合には、かなりの精度を与えます。一方、収差が良く補正された光学系、たとえば残存収差がエアリディスク径と同程度かそれ以下の場合には、波動光学的に求めた MTF のほうが信頼できる結果が得られますから、そちらを使った評価をお勧めします。波動光学的 MTF に関する詳細は 272 ページの 14.2.1 章を参照してください。

MTF FRE FLD DEF [NUM] GEO	幾何光学的 MTF を求めます。オプション指定の順序は問いません。偏光の効果は考慮されません。 Examples: MTF FLD GEO ! 幾何光学的 MTF の視野依存性を出力します。 MTF GEO FLD NUM ! 幾何光学的 MTF の視野依存性を数値でのみ出力します。
GMTFT [fk zk]	タンジェンシャル方向に対する幾何光学的 MTF の視野依存性です。ここで zk はズームポジションです。最適化における目標関数の設定、ユーザ定義グラフィクス (UGR)、EVA コマンドにのみ有効です。
GMTFT [fk zk]	サジタル方向に対する幾何光学的 MTF の視野依存性です。ここで zk はズームポジションです。最適化における目標関数の設定、ユーザ定義グラフィクス (UGR)、EVA コマンドにのみ有効です。
GMTFA [fk zk]	タンジェンシャルとサジタル方向に対する幾何光学的 MTF の平均値の、視野依存性です。つまり GMTFA = 0.5(GMTFT + GMTFS) です。最適化における目標関数の設定、ユーザ定義グラフィクス (UGR)、EVA コマンドにのみ有効です。
IFR frequency_increment	空間周波数の増分。周波数の単位は結像系に対して 本/mm、アフォーカル系では、本/mrad です。設定のない場合のデフォルト値は MFR の 1/20 に相当する空間周波数です。

14.1.20 幾何光学的 PSF(点像分布関数) Geometric Point Spread Function (GPSF)

GPSF コマンドによる PSF(点像分布関数) の解析は、純粹に幾何光学的な手順で行われます。つまり、幾何的な収差だけが考慮され、波動光学的な効果は一切含まれていないということです。したがって、このコマンドによる解析は、評価の対象となる光学系が回折限界性能に達しておらず、むしろ、幾何光学的な収差が支配的である場合に有効です。

回折限界に近い光学性能を持つ光学系の評価を行う場合など、波動光学的な影響を考慮すべきケースについては、[PSF コマンド \(275ページ\)](#) を使ってください。

GPSF コマンドは、[system configuration](#) ダイアログの wavelength タブで設定される波長重みや、全系透過率の影響 (POL yes および TRA yes が設定されている場合のみ)、瞳の[アポダイゼーション](#)の影響を考慮します。

特に指定しない限り、解析はあらかじめ設定されたすべての視野と波長に対して行われます。

GPSF zk fi..j wi..j img-size [VIE CON FAL XY] [?]	幾何光学的な手法で求めた PSF(点像分布関数)。この解析は幾何光学的な収差だけを対象として評価されます。大きな幾何収差を持った光学系に対して特に有用です。波動光学的な影響(回折の影響)を考慮した点像分布関数を評価する場合には、275ページの PSF コマンドを使ってください。 img_size は、解析結果を表示する際の、像面上の範囲です。 描画オプション: VIE: ワイヤーグリッドによる鳥瞰図表示 FAL: 疑似カラー表示. 青色で表示される領域は低照度領域。赤色は高照度領域に対応 CON: コンター(等強度線)表示 XY: XおよびY軸に沿った断面強度分布による表示 GPSF は、指定されたすべての視野と波長のそれぞれについて、瞳に渡る多数の光線を均一な密度で追跡することにより、像面上に生成される像の相対的な強度分布を描画するものです。
GNRD num_rays_diam	GPSF コマンドによって幾何光学的な点像分布関数を求めるために追跡される光線の密度。NRD と同様に入射瞳径に渡る光線の本数で設定します。任意の正の整数が許されます。GPSF コマンドに対してのみ影響を与えます。GNRD の設定内容が NRD の設定値に影響を与えることはありません。

例:

GPSF f2..3 0.05 FAL

第2,3視野に対して幾何的な PSF(点像分布関数)を計算し疑似カラーで表示します。表示範囲は像面上の 0.05mm 角の領域です。

GNRD 30

入射瞳径に渡る光線追跡本数を 30 本に設定します。この設定は GPSF コマンドに対してのみ有効です。

GPSF ?

GPSF コマンドの実行に先駆けて、計算パラメータを設定するためのダイアログを起動します。

14.1.21 エンサークルド/スクエアドエネルギー (幾何光学的) (Encircled / Ensquared Energy - Geometric)

光学系を通過し、像面上で指定された特定サイズの円または矩形内に到達する光線の本数をカウントすることにより、その結像に寄与するエネルギー全体に対する割合を求めます。円の場合は直径で、矩形の場合は辺の長さで指定します。

この計算は、入射瞳を仮想的に均一なサイズを持つ矩形グリッド (NRD 章参照) に分割し、その上で各微小領域を通過する 1 本ずつの光線を像面まで、指定の波長、視野角、ズームポジションに対して追跡することによって行われます。追跡される各光線は、それぞれ **WTW** で指定される波長重み、**アポダイゼーション**、**相対透過率** に比例したエネルギーを搬送すると仮定されます。

RAD fi..j [wi..j] diam_x [diam_y] [X posx Y posy]	diam_x, diam_y で定義される像面上の微小領域に含まれる光線エネルギーの割合を、その結像に寄与するすべての光線エネルギーに対する割合として示します。幾何光学的な効果だけが考慮され、回折の影響は無視されます。波動光学的なエンサークルド/エンスクエアドエネルギーについては、284 ページに記載の ECE コマンドを参照してください。diam_x だけが指定され、diam_y の設定が省略された場合には、評価の対象となる微小領域の形状は円であると仮定されます。矩形領域を指定するには diam_x と diam_y の両方を設定してください。一連の評価には、波長重み (WTW)、透過率およびアポダイゼーションの影響が考慮されます。 評価の対象となる微小領域 (の中心) は、デフォルトで各視野における主光線の像面座標位置に取られます。しかし文字 X と Y に続いて像面上の座標を [X posx Y posy] の要領で設定した場合には、評価の対象となる微小領域は、像面上の座標 (posx, posy) に固定されます。つまり、微小領域の位置と各視野点に対する主光線位置の関係は解消され、すべての視野点、ズームポジションに渡って、共通の微小領域で光線数がカウントされることとなります。
次ページに続く	

前ページから続く	
ECG fi..j zk image_radius [NUM GRV]	幾何光学的な光線追跡により、エンサークルド/エンスクエアドエネルギーをプロットします。これらは各像点を構成するエネルギーに対して、像面上で定義された微小の円または矩形中に含まれる幾何光学的なエネルギーの割合を示すものです。回折の影響は無視されます。波動光学的な取り扱いを要する場合は 284 ページに 記載の ECE コマンドを参照してください。diam_x だけが指定され、diam_y の設定が省略された場合には評価の対象となる微小領域の形状は円であると仮定されます。しかし、diam_x と diam_y の両方が設定された場合には、矩形領域を評価の対象としているということを意味します。 別途設定をすれば 材料吸収および表面反射による透過損失が考慮されます。(TRA/POL コマンド)。また、アボダイゼーションの影響も考慮されます(PUI/PUX/PUY コマンド)。 評価の対象となる微小領域 (の中心) は、デフォルトで各視野における主光線の像面座標位置に取られます。ただし オプションのパラメータ GRV を付加した場合には、主光線座標の代わりに スポットダイアグラムの中心座標が使われます。 なお、数値による出力が必要な場合には、NUM オプションを利用して下さい。

例 :

- RAD f3 0.01 0.02

! 第 3 視野点について、1 辺が それぞれ 0.01mm(X 方向), 0.02mm(Y 方向) の矩形領域に含まれるエネルギーの割合を出力します。
- RAD f1..4 .5 X 0.0 Y 0.0

! 像面上の座標 X = 0, Y = 0 に配置された 直径 0.5mm の円内に含まれる幾何光学的なエネルギーの割合を求めます。
- ECG f1..2 z3 0.1 NUM

! ズームポジション 3 に対する第 1 視野点および第 2 視野点について、像面上における直径 0.1mm の円の内部に含まれる幾何光学的なエネルギーを求め、それを数値で出力します。

14.1.22 4 分割ディテクタ解析 (Quadrant Detector Analysis)

4 分割ディテクタ解析 (QUA コマンド) は、各像点（視野点）に置かれた 4 分割ディテクタに対する スキャン応答を解析する際に用います。この解析は幾何光学的に行われます。回折の影響は考慮されません。

4 分割ディテクタは、4 つの検出領域に分割された半導体フォトダイオードです。この素子は、典型的には、対向位置に配置された分割検出部上の照度を互いに比較した結果から、光学系のアライメ

ント情報を得るために使われます。

評価の結果は、各像点に配置した検出器に対するスキャン応答として出力されます。スキャンは、X および Y 方向に対して行われます。対向する分割領域を持つ光電気的特性は、それぞれ同等であると仮定されます。図 14.14 もご参照ください。

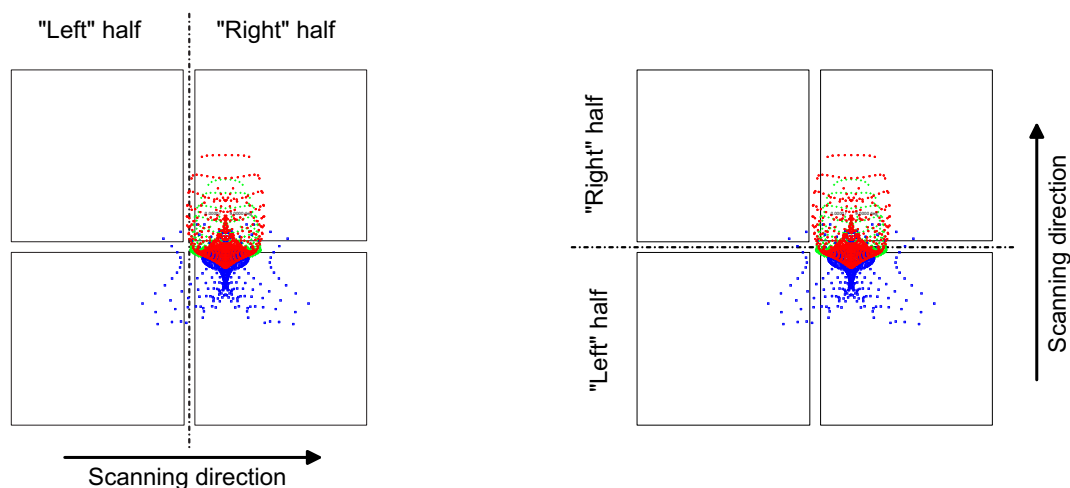


図 14.14: 所定の画角におけるスポットダイアグラムに対する 4 分割ディテクタのスキャン方法。左図は X 方向にスキャンする場合。右図は Y 方向にスキャンする場合。いずれの場合もディテクタは“Left half (左半分)”と“Right half (右半分)”に分割されます。

QUA [STE scan_step_size] [fi..j] [zk]	4 分割ディテクタ解析、つまり 視野番号 fi..j 、ズームポジション zk において、4 分割ディテクタに対するスキャン応答解析を実行します。回折の影響は無視されます。
QST scan_step_size	4 分割ディテクタが像をスキャンするステップです。像面上の寸法を、レンズデータと同じ入力単位で設定します（レンズデータが mm で設定されていればステップも mm を単位に設定）。
QSM smooth_diam	スポット直径をガウス分布関数でスムージングする際の直径を分布ピークの 50% の位置で設定します。設定の単位は、レンズデータにあわせます (mm または インチ)。スムージングは必ず実行されます。

注記

4 分割ディテクタ解析は、瞳の直径を横切る光線本数 (**NRD**) をベースに、アポダイゼーションと波長重みを考慮して解析されます。**TRA Y** および **POL Y** の設定により、材料吸収および表面反射の影響も考慮されます。しかし、回折やゴーストの影響は考慮されません。

スキャン応答は、ガウス分布状の重みを持つ微小スポットでスムージングされます。スムージング用のガウス分布半径は **QSM** コマンドにより、分布ピークに対して 50% の位置にあるものとして定義します。

出力の読み方

プロット出力に加え、その時点でアクティブな視野点 (FACT コマンドを参照) に対する数値データも出力されます。この出力リストには、スキャン方向 (X および Y 方向) に対してそれぞれ左半分と右半分に分割された 2 枚のディテクタ片の応答出力と その比率がスキャン位置の関数として表示されます。

一例として、OpTaliX のサンプルデータライブラリから “Double-Gauss” レンズのデータを読み込み (\$i%optalix%examples%double_gauss.otx)、QST 0.02 および QSM 0.02 を設定し、QUA f1 により 4 分割ディテクタ解析を実行した出力を示します。

QUADRANT DETECTOR ANALYSIS:

```
Field : 1      X =      0.00000      Y =      0.00000

      X-Shift      Left Half      Right Half      Ratio
-0.06000      0.00000      1.00000      0.000000
-0.04000      0.00250      0.99750      0.002507
-0.02000      0.02293      0.97707      0.023464
 0.00000      0.47937      0.52063      0.920737
 0.02000      0.97707      0.02293      42.618182
 0.04000      0.99750      0.00250      398.833333
 0.06000      1.00000      0.00000      1000000.000000

      Y-Shift      Left Half      Right Half      Ratio
-0.06000      0.00000      1.00000      0.000000
-0.04000      0.00250      0.99750      0.002507
-0.02000      0.02293      0.97707      0.023464
 0.00000      0.47937      0.52063      0.920737
 0.02000      0.97707      0.02293      42.618182
 0.04000      0.99750      0.00250      398.833333
 0.06000      1.00000      0.00000      1000000.000000
```

14.1.23 両眼視解析 (Biocular Analysis)

両眼視解析は、両眼を用いて共通の光学系越しに物体を観察する光学特性の解析に用います。このような光学系の例として、小サイズのディスプレイにかぶせてそのサイズを大きくみせる拡大レンズ系や、ヘッドアップディスプレイ (Head-Up-Displays /HUD) などがあります。これらは両眼が同一の光学系を用いる点で、2 本の光学系を並列で用いる双眼鏡 (binocular) とは異なります。

BIO コマンドによって実行されるこの解析機能は、視角グリッドを通過する主光線群を計算し、像位置の差異を表示します。また、次にあげるパラメータの解析を行えます。

- 輻輳 (Convergence):

裸眼で有限距離にある物体を観察するとき両眼が同時に内側寄りに近づく現象です。

- 輻輳 (Divergence):

無限よりも遠方にある物体を観察するとき、両眼が外寄りに離れる現象をいいます。この状況は、何らかの光学系によって形成された像が、観察者の後方に実像として配置されるとき発生します。両眼融像はもはや成立せず、眼精疲労や頭痛の原因となります。

- 傾斜度 (Dipvergence):

左右眼で観察される像が鉛直方向に位置ずれを生じている状態。視線間の俯角の差です。右眼の像が左眼の像の下側にあるとき、傾斜度は正の値をとります。眼精疲労や頭痛の要因になります。

- 両眼視野 (Biocular FOV):
両眼が同時に観察可能な視野角です。一般に視野角 (FOV) とは、左眼および右眼がそれぞれ独立に観察可能な視野角をいいます。両眼が同時に観察できるのはその一部です。双眼視野は、それらが重なった領域のみを対象として規定されます。

左眼および右眼のモデリングは、ズーム (多重構成) の機能を用いて行います。開口絞りは通常、眼の位置に配置し、その標準的な瞳孔距離である 64mm だけ光軸と直交方向に偏芯させます。具体的には、左眼用として第 1 ポジションを-32mm だけ X 方向に偏芯させ、右眼用は第 2 ポジションを +32mm だけ X 方向に偏芯させます。開口絞りの直径は、眼の瞳径に一致させます。その典型値は 5mm です。図 14.15 には好ましい条件設定の例を示します。

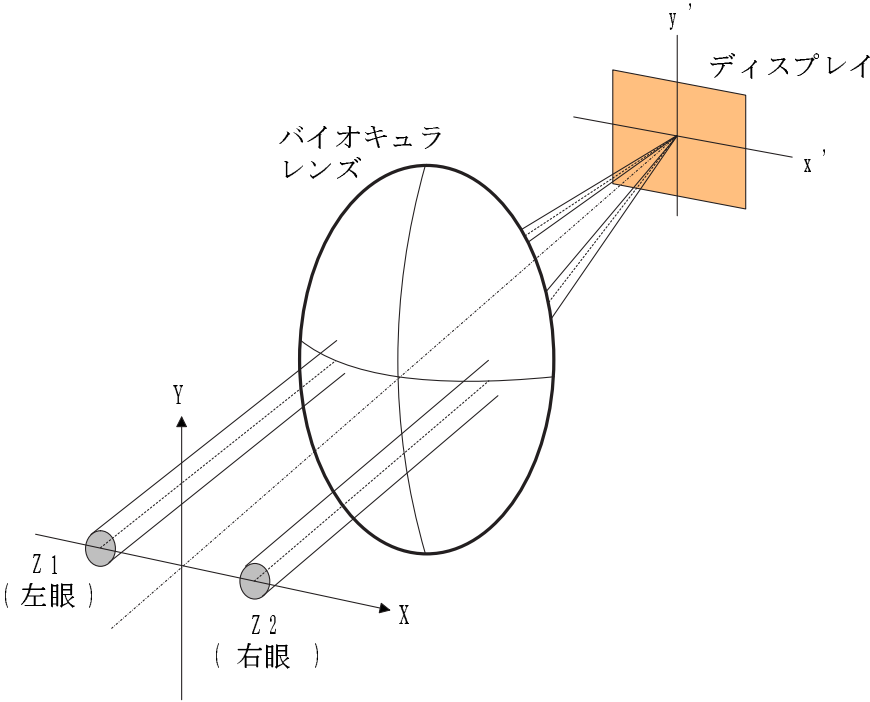


図 14.15: 両眼視解析のためのモデリング。ズームポジションを 2 つ用意して、左眼および右眼位置を偏芯によりモデル化しています。

BIO FOV CON DIP [?:NUM]	両眼視解析です。 . FOV : 両眼視野を描画します。 CON : 輻輳に関する情報を描画します。 DIP : 傾斜度を描画します。 NUM : 解析結果を数値で出力します。 例 : BIO FOV NUM ? : 両眼視野を描画します。また数値でも出力します。加えて解析パラメータを設定するためのダイアログを起動します。 次ページに続く
--------------------------------	--

前ページから続く	
BIO FOVX FOVY fov_min fov_max	視野 (FOV) を設定します。鉛直方向は FOVY、水平方向は FOVX を用います。入力値の単位は度 (°) です。 例 : BIO FOVX -15 +15 : 水平方向の視野を -15° から +15° に設定します。 BIO FOVY -12 +12 : 鉛直方向の視野を -12° から +12° に設定します。
BIO STPX STPY step_x step_y	視野グリッドの分割角です。水平方向は STPX、鉛直方向は STPY にその値を設定します。したがって、全視野に渡る分割数は、水平方向に FOVX/STPX ポイント、鉛直方向に FOVY/STPY ポイントになります。
BIO LEFT RIGHT zk	設定済みのズームポジションにそれぞれ左眼または右眼を対応付けます。この設定を行うことで、傾斜度の解析結果などにおいて、その符号が適切に設定されるようになります。 例 : BIO LEFT z1 : 第 1 ポジションが左眼として取り扱われます。 BIO RIGHT z2 : 第 2 ポジションが右眼として取り扱われます。
BIO FACT scale_factor	ディスプレイ上の像位置のずれ量を角収差量に変換する際の係数を設定します。scale_factor は全視野角に渡って定数として取り扱われます。その際、OpTaliX の内部では理想光学系が付加されています。

14.2 波動光学的評価 (Diffraction Analysis)

14.2.1 波動光学的 MTF (Diffraction Modulation Transfer Function (MTF))

波動光学的 MTF は、広がりを持った物体の性質を考慮します。つまり、さまざまな物体が持つ空間周波数成分が、像として、どの程度正確に再現されるかを評価します。デフォルトでは正弦的に変化する物体に対する MTF を評価します。MTF 評価の正確さは光学系を通過する光線グリッドの密度に依存します (40ページに記載の [NRD](#) コマンド)。ズーム光学系の場合には、[POS](#) コマンドによってその時点で選択されているポジションにが評価されます。

MTF FRE FLD DEF [NUM]	波動光学的 MTF を、下記に対する関数としてプロットします。 FRE = 空間周波数 FLD = 画角 (デフォルト) DEF = デフォーカス オプションのパラメータ NUM はプロットの代わりに結果を数値で出力します。
MTFA [fi..j wi..j zi]	指定された視野点 (fi..j)、波長 (wi..j)、ズームポジション (zi) において、サジタルおよびタンジェンシャル MTF の平均値を求めます。数値出力だけが可能です。評価の対象となる空間周波数は MFR コマンド (下記参照) を用いて設定します。評価結果の値域は 0 から 1 です。ユーザ定義グラフィクス (UGR) あるいは最適化の関数として引用される場合には、一つの視野、一つのズームポジションのみを指定できます。
MTFS [fi..j wi..j zi]	指定された視野点 (fi..j)、波長 (wi..j)、ズームポジション (zi) における、サジタル MTF を求めます。数値出力だけが可能です。評価の対象となる空間周波数は MFR コマンド (下記参照) を用いて設定します。評価結果の値域は 0 から 1 です。ユーザ定義グラフィクス (UGR) あるいは最適化の関数として引用される場合には、一つの視野、一つのズームポジションのみを指定できます。
MTFT [fi..j wi..j zi]	指定された視野点 (fi..j)、波長 (wi..j)、ズームポジション (zi) における、タンジェンシャル (メリジオナル) MTF を求めます。数値出力だけが可能です。評価の対象となる空間周波数は MFR コマンド (下記参照) を用いて設定します。評価結果の値域は 0 から 1 です。ユーザ定義グラフィクス (UGR) あるいは最適化の関数として引用される場合には、一つの視野、一つのズームポジションのみを指定できます。
MTF2D [fi zi max_freq]	画角点 fi、ズームポジション zi に対する MTF を最大空間周波数 max_freq までの帯域について 2 次元で描画します。パラメータを全く使用しない場合には、視野番号 1、ズームポジション 1 が使用されます。
MFR max_frequency	評価の対象となる空間周波数の最大値を指定します。周波数の単位はフォーカル系に対して本/mm (Line pairs/mm) で、アフォーカル系に対して本/mrad (Line pairs/rad) です。MTF の画角依存性に関する最大周波数を指定する場合は MFRF コマンドです。
MFRF max_frequency	MTF の画角依存性を評価する際の最大周波数です。フォーカル系に対して本/mm (Line pairs/mm)、アフォーカル系には本/mrad (Line pairs/rad) を単位に指定します。周波数依存性に関する最大周波数を指定する場合は MFR です。
次ページに続く	

前ページから続く	
IFR frequency_increment	空間周波数の増分。周波数の単位は結像系に対して 本/mm、アフォーカル系では、本/mrad です。設定のない場合のデフォルト値は MFR の 1/20 に相当する空間周波数です。
AFR autofocus_frequency	最良像面位置を求める AF コマンド (オートフォーカス、12.1 章参照) で用いる基準空間周波数を指定します。周波数の単位は結像系に対して本/mm (Line pairs/mm) で、アフォーカル系に対して本/mrad (Line pairs/rad) です。
MFRA autofocus_frequency	ARF コマンドと同じ機能です。最良像面位置を求める AF コマンド (オートフォーカス、12.1 章参照) で用いる基準空間周波数を指定します。周波数の単位は結像系に対して本/mm (Line pairs/mm) で、アフォーカル系に対して本/mrad (Line pairs/rad) です。

MTF の計算手順は、Malacara[33] の取り扱いに従っています。

$$\hat{H}(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} \hat{P}(x, y) \hat{P}^*(x - \lambda R f_x, y - \lambda R f_y) dx dy \quad (14.29)$$

ここで R は参照半径、 (f_x, f_y) は X, Y 方向それぞれの空間周波数です。カレット記号[^]の付いたパラメータは複素量です。 $\hat{P}(x, y)$ は次式で定義される瞳関数です。

$$\hat{P}(x, y) = A(x, y) e^{ik \cdot W(x, y)} \quad (14.30)$$

ここで $W(x, y)$ は波面のデフォーメーション、 $A(x, y)$ は波面の振幅、 (x, y) は射出瞳面上の座標です。つまり、瞳関数は光学系の射出瞳にわたる振幅と位相の変化を与えます。ここで位相は波面収差から得られ、振幅は系の射出瞳を通過する各光線²の強度から得られます。また振幅と強度の関係は次のとおりです。

$$I(x, y) = [A(x, y)]^2 \quad (14.31)$$

光学に関するほとんど全てのテキストは、瞳にわたる振幅 $A(x, y)$ あるいは強度 $I(x, y)$ が一様であることを前提としています。しかし光学系の透過率に瞳位置の依存性がある場合、たとえば中心遮蔽があるとか、アポダイゼーションがある場合には、振幅係数を使って、その影響を正確にモデル化しなくてはなりません。

この影響を考慮すると、冒頭の式 14.29 は、次のように書き改められます。

$$\hat{H}(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} \bar{A} \cdot e^{ik \cdot W(x, y)} e^{-ik \cdot W(x - \lambda R f_x, y - \lambda R f_y)} dx dy \quad (14.32)$$

ここで

$$\bar{A} = A(x, y) \cdot A(x - \lambda R f_x, y - \lambda R f_y) \quad (14.33)$$

²異なる瞳座標 (x, y) を通過するそれぞれの光線の強度から、その瞳座標における振幅が求められるという意味です。例えば光学材料の内部吸収や表面反射損失によって光学系の透過率が瞳座標の関数として表現される場合 (大開口レンズで顕著)、あるいは光源の放射分布が空間に対して一様ではない場合には瞳面の強度分布もまた、一様ではなくなります。

式 14.32 を $f_x = f_y = 0$ における値で正規化したものを、**光学的伝達関数** (OTF: Optical transfer function) といいます。

方程式 14.32 の積分は光学的伝達関数 (OTF) と呼ばれます。これは瞳と瞳自身を横にずらして畳み込んだコンボリューションとして表現されています。つまり、インコヒーレント照明に対する空間周波数レスポンス $\hat{H}(f_x, f_y)$ は、瞳関数の自己相関関数であるということです。光学的伝達関数 OTF (Optical Transfer Function) は、複素関数ですが、その実部は変調伝達関数 MTF (Modulation Transfer Function) とよばれ、虚部は位相伝達関数 PTF (Phase Transfer Function) とよばれます。

矩形的に強度が変化する物体に対する MTF: (OpTaliX の将来版に関する予告)

MTF の矩形波応答は矩形波をフーリエ成分に分解し、正弦波応答を媒介にそれらを表現すれば求められます。

$$S(v) = \frac{4}{\pi} \left[M(v) - \frac{M(3v)}{3} + \frac{M(5v)}{5} - \frac{M(7v)}{7} + \dots \right] \quad (14.34)$$

ここで

$S(v)$ = 矩形波 MTF

$M(v)$ = 正弦波 MTF

v = 空間周波数

USAF のテストチャートなど、輪郭の明確なバー状の繰り返しパターンを評価する場合にはこの機能が有効です。

14.2.2 点像分布関数 (Point Spread Function (PSF))

点像分布関数 (PSF) とは、物空間におかれた点光源の像を光学系によって生成させたときに得られる回折像の強度を示すものです。点像分布関数は、式 14.37 で与えられるようにフーリエの二重積分によって、光学系の射出瞳上の波面から計算されます。瞳の遮蔽と瞳照明の非一様性も適切に考慮されます。多波長にわたる解析の場合には、単色の PSF が波長にわたり指定の波長重みにしたがって積分されます。

複素瞳関数 $P(x, y)$ は、射出瞳の振幅分布 $A(x, y)$ と、それに対応する波面収差 $W(x, y)$ によって定義されます。ここで (x, y) は瞳の正規化座標です。

$$P(x, y) = \begin{cases} A(x, y) e^{2\pi j \cdot W(x, y) / \lambda} \\ 0 \end{cases} \quad (14.35)$$

瞳関数 P は瞳の外側ではゼロです。射出瞳の強度分布 $I(x, y)$ は次のように与えられます。

$$I(x, y) = [A(x, y)]^2 \quad (14.36)$$

点光源の回折像が持つ放射輝度 $|h(u, v)|^2$ は、直交座標 (u, v) によって表現される像面において良好

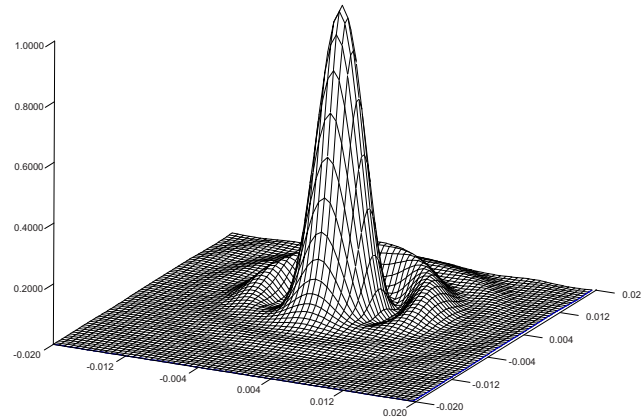


図 14.16: 斜視図表現した PSF

に近似され、それは次式のように記述できます。

$$|h(u,v)|^2 = \frac{\left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x,y) e^{-2\pi j(x \cdot u + y \cdot v)} dx dy \right]^2}{\left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x,y) dx dy \right]^2} \quad (14.37)$$

14.2.2.1 パッチサイズ (Patch Size)

式 14.37 の積分は高速フーリエ変換 (FFT) を用いて計算されます。フーリエ変換の単位変換特性に起因して射出瞳面上のサンプリング間隔 (光線グリッドを用いて定義、NRD コマンド参照) と像面のサンプリング間隔との間には、ある関係があります。つまり、計算によって得られる像面上の面積は、射出瞳のサンプリング間隔、参照波長、開口数の関数です。デフォルトでは、射出瞳は 32×32 (NRD = 32) の格子です。計算結果として得られる像面上の面積は次式で計算されます。

$$x_{image} = \frac{\lambda N_p}{2 \cdot \sin(u')} \quad (14.38)$$

ここで

- λ = 波長 μm
- $\sin(u')$ = 像空間の開口数
- N_p = 瞳を通過するサンプリング点の数 (NRD コマンドを参照)

像範囲が“奇数”個の要素でプロットされる理由は、この関係にあります。時として PSF プロットのピッチを、きりの良い大きさに丸めたいことがあります (例えば、ディテクタのピクセルサイズにあわせて)。このような場合には、PSF ZOO コマンドが使えます。このコマンドは所望のピッチにあわせて PSF をサンプリングしなおします。

PSF を求めるためのもう一つの方法は、複素瞳関数を直接に積分することです。この方法は直接に

像範囲を規定できますが、かなりの計算量を要します。このため、直交する 2 断面の計算のみ有効です (PSF XY コマンド)。

PSF fk [zk] [VIE GRY CON XY ZOO norm log] [img_size]	点像分布関数 PSF の計算とプロット。パラメータは下記のとおります： PSF VIE： PSF の斜視図をプロット PSF GRA： PSF のグレースケールで描画 PSF TRU： PSF をトゥルーカラーで描画。PSF の色成分、つまり各波長の PSF への寄与を RGB モデルに展開することで表現します。こうすることで色収差の影響を直感的に把握できます。 PSF FAL： PSF の“疑似”カラー表示。強度の小さな部位は青色で、大きな部位は赤色で表示します。 PSF CON： PSF のコンタープロット PSF XY： X と Y 方向のそれぞれの PSF 断面をプロット PSF ZOO： PSF を所望の像範囲 (サンプリングピッチ) に再構成してプロット norm： PSF VIE と同様。ただし実際に計算されたストレーン比とは関係なく PSF の最大値を 1 に正規化します。 log： PSF VIE と同様。ただし PSF の強度は対数圧縮されて表示されます。 img_size： イメージパッチのサイズ。パッチサイズに関する詳細は 14.2.2.1 章を参照してください。
PSF FF patch [FIL file_name] [?]	全画角の PSF。最大視野に渡って 9 カ所の視野点に対するグレースケール PSF を描画します。計算結果は 1 枚のビットマップ画像にまとめられます (図 14.18)。詳細は 14.2.4 章を参照してください。
PSF DF [img_size fi..j]	対角視野に沿った PSF。指定したすべての視野点についてグレースケールで PSF を描画します。計算結果は 1 枚のビットマップ画像にまとめられます (図 14.17)。詳細は 14.2.3 章を参照してください。

14.2.2.2 PSF データのエクスポート (Exporting PSF-Data)

点像分布関数 (PSF) に関する強度分布の計算結果を、ファイルにエクスポートできます。その書式はごく一般的なアスキー形式です。詳細は [32.11](#) 章を参照してください。

PSF fk [zk] [img_size] FIL file_name	点像分布関数 (PSF) の強度分布データをファイル <code>file_name</code> にエクスポートします。書式は 4 × NRD の列と行からなるアスキー形式です。詳細は、 32.11 章を参照してください。
--------------------------------------	--

14.2.3 対角視野に渡る PSF (Diagonal Field PSF)

グレースケール PSF は、[PSF GRY](#) コマンドで描画できます。しかし、このコマンドは指定した視野に対してのみ作用します。一方実務では、視野全域、つまりシステム構成データとして指定したすべての視野点について、一括して PSF を計算し、PSF の視野位置依存性を 1 枚の画像にまとめてしまう方が便利だということが、よくあります。これを実現するコマンドは、次のとおりです。

PSF DF ! 対角視野 (Diagonal Field) に対する PSF をグレースケールで描画
一般の軸対象光学系 (回転対称光学系) の場合、視野は軸上 (視野中心) から最大視野点に向かって指定しますが、その範囲は視野の対角長に対応していると考えられます。これが、このコマンドを“対角視野”に対する PSF と呼ぶ理由です。なお、視野点の指定が適切に対角に沿うように指定されているならば、偏芯光学系に対しても問題なく適用できます。対角視野に対する PSF の出力例は図 [14.17](#)を参照してください。

PSF DF [patch] [FIL file_name] [?]	最大視野径の対角にそって設定された離散的な視野点の PSF を計算します。パッチサイズ <code>patch</code> を設定することで像面上における PSF の描画範囲を指定できます。この設定を省略したり、ゼロを設定した場合には、NRD と波長、光学系の開口数をもとに自動的に適切な値が設定されます。 PSF 画像をビットマップファイルに保存することもできます。その際、ファイル名と共に拡張子を指定することで、所定のファイル形式が選択されます。 *.bmp = Windows のビットマップ形式 BMP *.pcx = ZSoft 社のペイントブラシ形式 PCX *.png = Portable Network Graphics 形式 例： psf df 0.05 fil c:%psf.bmp
------------------------------------	---

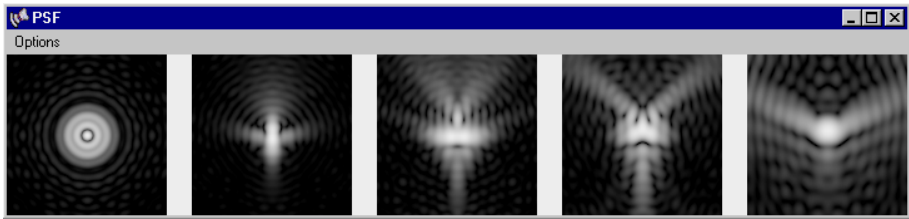


図 14.17: 対角線視野に対する PSF の出力例。PSF DF コマンドによる。

14.2.4 全視野に渡る PSF (Grid Field PSF)

このオプションは、グリッド状に設定した離散的な視野点における波動光学的な PSF を計算し、グレースケール像として 1 枚のビットマップ画像を生成するものです。

注：描画はグレースケールですが、実際の計算は波長と波長重みの影響が考慮されていることに注意してください

計算に用いる視野点を決定するため、まず [設定視野 \(30ページ\)](#) の最大高さを半径とする円が定義され、次にそれに内接する正方状のグリッドが決定されます。視野点はこのグリッドに沿って離散的に配置されます。グリッドの分割数は 3×3 または 5×5 を選択できます。OpTaliX の現バージョンでは、グリッド分割数は、ダイアログからのみ設定できます。ダイアログは PSF FF ? コマンドで起動できます。

<pre>PSF FF [patch] [FIL file_name] [?] あるいは PSF GRD [patch] [FIL file_name] [?]</pre>	最大視野径に内接する正方視野をグリッド状に分割しその各点に対する PSF を求めます。パッチサイズ patch を設定することで 像面上における PSF の描画範囲を指定できます。この設定を省略したり、ゼロを設定した場合には、NRD と波長、光学系の開口数をもとに自動的に適切な値が設定されます。 パッチサイズ (patch) を指定することで、PSF を描画するための像面上の範囲を設定できます。この設定を省略したり、ゼロを設定した場合には、NRD と波長、光学系の開口数をもとに自動的に適切な値が設定されます。 PSF 画像をビットマップファイルに保存することもできます。その際、ファイル名と共に拡張子を指定することで、所定のファイル形式が選択されます。 *.bmp = Windows のビットマップ形式 BMP *.pcx = ZSoft 社の ペイントブラシ形式 PCX *.png = Portable Network Graphics 形式 例： psf grd 0.05 fil c:¥psf.bmp
--	---

コマンドの設定例

psf ff	グリッド PSF を計算。パッチサイズ (描画領域) は自動設定
psf ff ?	グリッド PSF の計算条件を設定するダイアログの起動
psf ff 0.05	グリッド PSF を計算。各 PSF 像の描画領域は像面上の 0.05mm × 0.05mm の範囲
psf ff 0.05 fil 'c:¥temp¥psf.bmp'	グリッド PSF を像面上の 0.05mm × 0.05mm の範囲で描画。 さらに ファイル c:¥temp¥psf.bmp に保存。引用符は、ファイル名やフォルダ名に空白文字を含む場合のみ必要です。

全視野に渡るグリッド PSF の計算例を 2 例示します (図 14.18)。

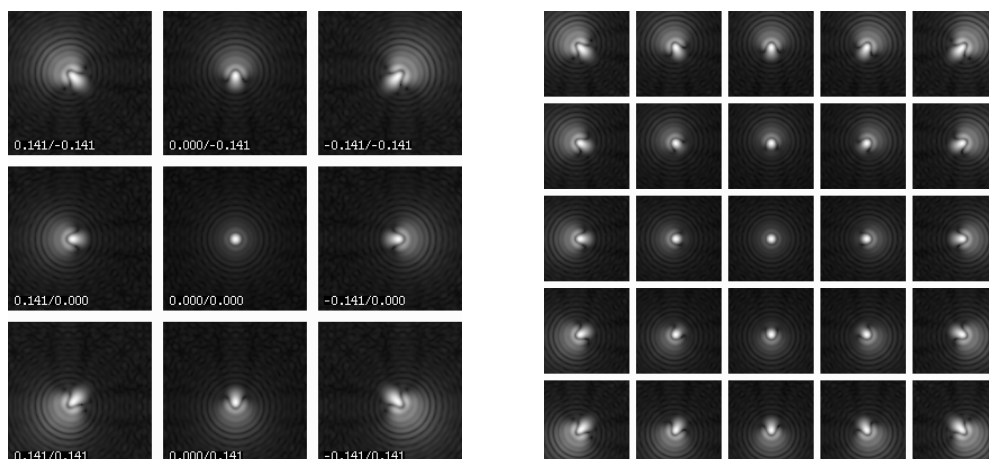


図 14.18: 全視野に渡るグリッド PSF。左図:3 × 3 正方グリッドの場合。右図:5 × 5 グリッド

物体と最終像面の間に ”中間像面” を持つ光学系の PSF 画像の正立または倒立が逆転して表示される場合に、それを反転表示させることができます。そのための設定は OpTaliX の現行バージョンでは、PSF GRD ? からのみ行えます。

14.2.5 PSF の X/Y 断面図 (X/Y Cross Sections of PSF)

X(サジタル) 方向および Y(タンジェンシャル) 方向の PSF の断面図を各視野点に対してプロットします。PSF は主波長における主光線の座標を基準に描画されます。AFO YES が設定された光学系 (アフォーカル系) の場合には描画スケールの単位は ミリラジアン (mrad) が用いられます。

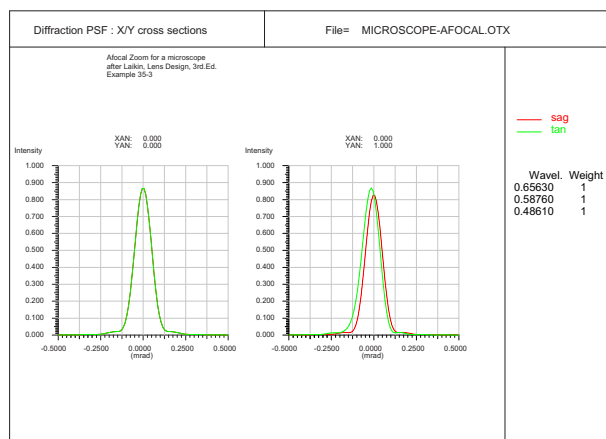


図 14.19: PSF の X/Y 方向の断面図

14.2.6 広がった物体 (Extended Objects (Fourier Method))

この節では、コヒーレントおよびインコヒーレント光で照明された空間的な広がりを持つ物体の像解析について取り扱います。ここでの内容はフーリエ理論に基づいており、像生成に関する実際の光学系の収差と回折の効果、空間周波数応答について考慮しています。

ここでの解析が意味あるものとなるには、ユーザがあらかじめフーリエ光学に慣れておく必要があります。そのための良書として、たとえば J.Goodman の教科書 [17] などがあります。

空間的な広がりを持った物体あるいは像を議論するには、物体の空間的な広がりの中で OTF (Optical Transfer Function) が有意に変化しない程度に、その領域を小さく設定しなくてはなりません。したがって、物体上の着目点は、その周囲で OTF がさほど変化しないような狭い領域に限定される必要があります。

EIMD fm wn obj_type ext_x wxt_y | ? | fil bitmap_file

空間的な広がりを持った物体/像を、波動光学的に解析します。視野 **fm**、波長 **wn** において空間的な広がりを持つ物体の像を計算するための手法にはフーリエ法を使っています。

obj_type は、物体のタイプで下記から選択できます。

CIR = トップハット、円形

ELL = トップハット、楕円

REC = トップハット、矩形 (**ext_x**, **ext_y** を用いて X/Y 方向の幅を指定します)

GAU = ガウシアン分布 (**ext_x**, **ext_y** を用いて比強度が $1/e^2$ となる直径を指定します)

GRA = グレーティング (**ext_x** を用いてグレーティング周期間隔を指定します)

PIN = ダブル・ピンホール (**ext_x**, **ext_y** を用いてピンホールの X および Y 方向の間隔を指定します)

? パラメータとして“?”を入力すると、パラメータを編集するためのダイアログボックスの起動。

fil bitmap_file 物体として INT ファイル、または RGB ビットマップファイル **fil bitmap_file** を指定できます。指定可能な画像形式は、BMP, PCX, PNG です。ビットマップにより定義する物体の広がり、(**ext_x**, **ext_y**) を使って指定できます。ただし、その広がり、物体の最大許容サイズ (図 14.20 参照 / [NRD](#) コマンドを使って調整可能、詳細は後述) を超えることはできません。ファイル名に先行して文字 “fil” を指定することに注意してください。

例:

eimd f3 w2 rec 0.1 0.05 ! 視野番号 3 と波長番号 2 で矩形物体 (幅 = 0.1mm, 高さ = 0.05mm) が生成する像を計算します

eimd f3 w2 fil c:\mybitmap.bmp ! ビットマップファイルを物体定義のために使用

eimd ? ! 関連する全パラメータを編集できるダイアログの起動です。

EIMD の機能を使って計算したイメージをファイルに出力することも可能です。その書式は、現状では INT ファイル (32.10 章を参照)、または “RAW” 形式のみです。“RAW” 形式とは文字通り OpTaliX の内部形式をそのまま出力したもので、強度情報は 0 から 1 の範囲で表現されます。いずれの形式への出力も、EIMD のダイアログウインドウからのみ可能です。

空間的な広がりを持った像を計算するためのアルゴリズムは高速フーリエ変換 (FFT) に基づくものですから、物体アレイの物理的なサイズ x_{object} は自由に選ぶことはできず、最大許容物体/像 サイズを超えることができません。

フーリエ変換の性質により、NRD コマンドで設定した射出瞳のサンプリング間隔と、物体面/像面のサンプリング間隔は密接に関連しています。具体的には、物体/像の空間的な広がり $x_{max.object}, x_{max.image}$ は、次のように射出瞳面におけるサンプリング数 $N_p (= \text{NRD})$ 、使用波長 λ 、開口数 $\sin(u)$ によって定められます。

$$\begin{aligned} x_{max.object} &= \frac{\lambda N_p}{2 \cdot \sin(u)} \\ x_{max.image} &= \frac{\lambda N_p}{2 \cdot \sin(u')} \end{aligned} \quad (14.39)$$

EIMD コマンドの `ext_x, ext_y` で指定する物体の広がり、式 14.39 や図 14.20 で示される最大許容物体/像サイズと混同しないでください。“最大許容物体/像サイズ” とはつまり、“FFT 計算において用いられるアレイがカバー可能な物体/像の広がり” のことです。したがって、“物体の広がり” は、“計算アレイの広がり” よりも常に小さくなくてはなりません。最大許容物体/像サイズを拡大するには、より緻密な開口サンプリング (大きな NRD) が必要です。

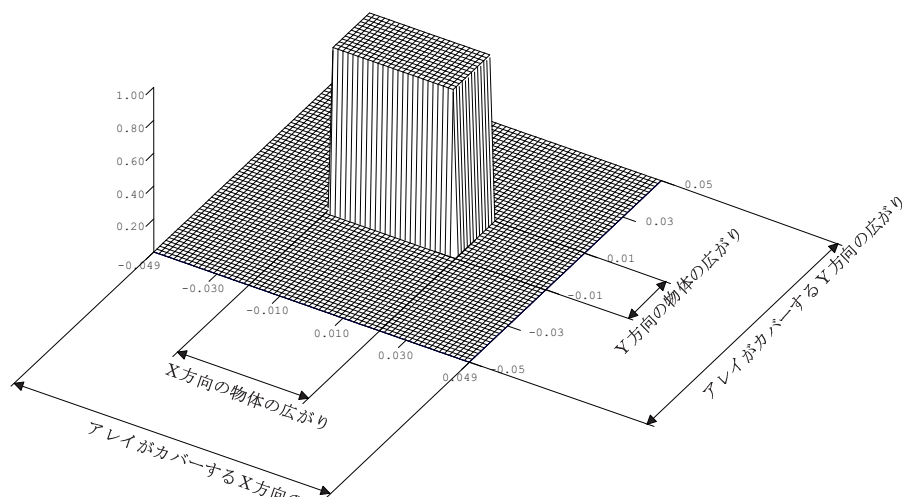


図 14.20: “指定された物体の広がり” と “FFT 計算で用いられるアレイがカバー可能な物体の広がり”

理論:

空間的な広がりをもった物体の像を解析するには、さまざまな仮定が必要です。結像にかかわるすべての像要素は、単一の“ブラックボックス”によって統一的に説明されなくてはなりません。この“ブラックボックス”の光学インターフェースは、それぞれ入射瞳と射出瞳を含む平面です (図 14.21 の

概念図を参照)。さらに、入射瞳と射出瞳間の光線の経路は幾何光学によって(つまり光線によって)完全に記述できなくてはなりません。

つまり、入射瞳および射出瞳に関連した回折の影響とブラックボックスの内部光学系に関連する回折のすべてが無視されます。これらの影響を考慮する、物理光学的なビーム伝搬の考え方(16章、319ページ参照)とは、この点において異なります。

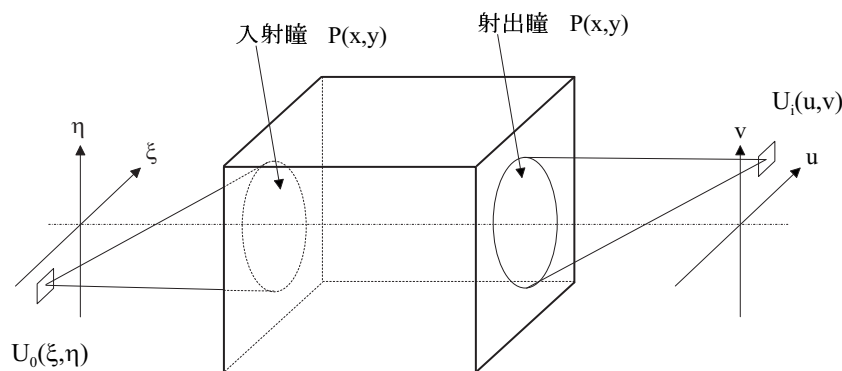


図 14.21: 生成された光学系のブラックボックスモデル

空間的な広がりを持った像の解析のための基礎理論を議論するには、Goodman[17]によるフーリエ光学の良書がたいへんに有効です。この節は、その要点だけに的をしぼることにします。より完全な取り扱いを望むユーザは同書を参照してください。

像の振幅 $U_i(u,v)$ は、畳み込み積分をつかって次のように記述できます。

$$U_i(u,v) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(u,v) U_0(\xi,\eta) d\xi d\eta \quad (14.40)$$

ここで $h(u,v)$ は、座標 (ξ,η) における点光源に対応する像面上の複素振幅であり、 $U_0(\xi,\eta)$ は、物体の振幅分布です。理想的な回折限界光学系の場合、 h は単純に座標 $u = m \cdot \xi$, $v = m \cdot \eta$ を中心とする射出瞳のフラウンホーファ(Fraunhofer)回折パターンです。ここで m は横倍率です。 h の計算については、14.2.2章、特に式 14.37を参照してください。

収差をもった一般的な光学系の場合には、像は、幾何光学によって予測される像とインパルス応答とのコンボリューションであるとみなせます。ここでインパルス応答とは、複素振幅透過率 P を持つ開口のフラウンホーファ(Fraunhofer)回折パターンのことです。ただし P は次式で定義されます。

$$P(x,y) = A(x,y) e^{jkW(x,y)} \quad (14.41)$$

ただし、 $W(x,y)$ は、参照球面を基準として求めた光路差 OPD(Optical Path Difference) から換算される波面収差です。また $A(x,y)$ は射出瞳面上の相対振幅です。式 14.41は、コヒーレント照明における光学的伝達関数 OTF と等価です。

フーリエ光学を使えば、その要素の空間スペクトルは次のように記述できます。

$$G_0(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} U_0(u,v) e^{-2\pi j(f_x u + f_y v)} du dv \quad (14.42)$$

$$G_i(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} U_i(u,v) e^{-2\pi j(f_x u + f_y v)} du dv \quad (14.43)$$

$$H(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(u, v) e^{-2\pi j(f_x u + f_y v)} du dv \quad (14.44)$$

畳み込みの理論によれば、上記は次のような直接の関係をもっています。

$$G_i(f_x, f_y) = H(f_x, f_y) G_0(f_x, f_y) \quad (14.45)$$

以上が、周波数空間における結像論です。

コヒーレント結像の場合:

コヒーレント結像の場合には、光学的伝達関数 $H(f_x, f_y)$ は、直接的に複素振幅透過率 P と対応付けることができ、それは下式のとおりです。

$$H(f_x, f_y) = P(\lambda z_i f_x, \lambda z_i f_y) \quad (14.46)$$

ここで z_i は射出瞳から像面までの距離です。

インコヒーレント結像の場合:

$$H(f_x, f_y) = \frac{\mathcal{F}|h(u, v)|^2}{\iint |h(u, v)|^2 du dv} \quad (14.47)$$

点光源の像の、複素振幅のうち、位相情報を無視したということを除くと、これは 14.44 式と等価です。ここで H は、周波数空間の座標 (f_x, f_y) において光学系が定める伝達関数を規定しています。なお H の絶対値 $|H|$ は変調伝達関数 MTF (Modulation Transfer Function) と呼ばれます。瞳の自己相関によって $|H|$ を計算する手順は、14.2.1 項に記述してあります。

演算子の表記:

コヒーレント結像/インコヒーレント結像、いずれの場合も、演算子を使って上記を表現できます。 $\mathcal{F}$ がフーリエ変換を示し、 $\mathcal{F}^{-1}$ は逆フーリエ変換を示すとすると、

コヒーレントの場合:

$$U_i(u, v) = \mathcal{F}^{-1}[\mathcal{F}[U_0(\xi, \eta)] P(x, y)] \quad (14.48)$$

インコヒーレントの場合、式 14.47 に示した正規化積分としての表記を省略すれば、

$$U_i(u, v) = \mathcal{F}^{-1}[\mathcal{F}[U_0(\xi, \eta)] \mathcal{F}^{-1}[|h(u, v)|^2]] \quad (14.49)$$

14.2.7 線像分布関数 (Line Spread Function (LSF))

将来のバージョンにおいて詳述します。

14.2.8 エンサークルド/スクエアドエネルギー (波動光学的) (Encircled / Ensquared Energy - Diffraction)

エンサークルド/エンサークルドエネルギーは、点光源の結像に関与する総エネルギーに対して、像面上で指定された特定のサイズの円 または 矩形内に含まれるエネルギーの比です。

この解析は、特にピクセルサイズが矩形であるような光検出器 (たとえば CCD) の 1 ピクセルに含まれるエネルギーの、総エネルギーに対する割合を求める際に特に有用です。

エンサークルド/エンスクエアドエネルギーは、波動光学的な点像分布関数 (PSF) の強度を面積に渡って積分することによって求めます。その際、PSF の重心を積分の中心点として用います。

計算の精度は光線グリッドの密度に依存します (NRD コマンドを参照)。瞳を通過する光線の本数を多くするほど、つまり NRD で指定する値が大きくなるほど、より正確な結果が得られます。

ECE fk diam	点像分布関数 (PSF) の重心位置を中心に、指定の直径 (diam) に含まれるエンサークルドエネルギーを画角 fk において求めます。下欄の EQE コマンドも参照してください。
EQE fk diam	点像分布関数 (PSF) の重心位置を中心に、指定のサイズ (diam) を 1 辺とする矩形に含まれるエンスクエアドエネルギーを画角 fk において求めます。エンスクエアドエネルギーは、エンサークルドエネルギーよりも常に大きな値を示します。
PLO ECE EQE fk diam [NUM] [?]	点像分布関数 (PSF) の重心位置を中心に、エンサークルドエネルギー (encircled energy) とエンスクエアドエネルギー (ensquared energy) を求めます。オプションの fk は評価の対象となる画角の番号です。指定のない場合は、前回 PSF または ECE を実行した際の画角が対象となります。(デフォルトは fk = 1) オプションのパラメータ NUM を指定すると、エンサークルドエネルギーおよびエンスクエアドエネルギーの両方が、テキストウィンドウに数値でも出力されます。エンスクエアドエネルギーは、エンサークルドエネルギーのよりも常に大きな値を示します。オプションの “?” 記号を入力すると、プロットおよび計算のためのパラメータを編集するダイアログボックスを起動できます。

注記:

エンサークルドエネルギーは、波動光学的な影響が考慮された点像分布関数 (PSF: Point Spread Function) から計算されます。最初に PSF の重心が計算されます。それからその点を中心として積分半径を広げながら、その内部に含まれるエネルギーの総量が求められます。PSF の形状が非対称性を呈する場合には、その重心位置は PSF を計算する際に用いる FFT グリッドの中心に一致しません。このため、実際の積分範囲が FFT グリッドの総面積よりも小さくなる場合があります。このような場合には要求された領域よりも狭い範囲に対する結果だけが出力されます。

14.2.9 ストレール比 (Strehl Ratio)

ストレール比とは、それと等価な回折限界光学系がもつ PSF のピーク強度と、対象とする光学系が実際に示す PSF のピーク強度の比のことです。したがって、回折限界光学系が持つストレール比は常に 1 です。ストレール比は 0 から 1 の間の数値として得られます。

STREHL [zi...j fi...j wi...j]	ストレール比を、ズームポジション zi...j 、視野 fi...j 、波長 wi...j に対して数値で求めます。
PLO STREHL FLD	ストレール比 の視野角依存性をプロット
PLO STREHL LAM	ストレール比 の波長依存性をプロット
PLO STREHL LAM [y-min y-max]	ストレール比 の波長依存性をプロット Y 軸のプロット範囲は、オプションのパラメータ y-min 、 y-max で変更できます。その範囲は 0 から 1 です。

ストレール比は複素瞳関数 $P(x,y)$ から次の式によって計算されます。

$$STREHL = \frac{\left[\iint P(x,y) dx dy \right]^2}{\left[\iint A(x,y) dx dy \right]^2} \quad (14.50)$$

積分範囲は、その座標が (x,y) で記述される射出瞳面の全面です。 $A(x,y)$ は、式 14.35 で定義される射出瞳面の複素振幅分布です。

微小収差の範囲であれば、ストレール比は、波面の分散 $(\Delta W)^2$ に直接に対応しています。

$$STREHL \sim 1 - \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 (\Delta W)^2 \quad (14.51)$$

14.2.10 波面収差 (光路差) (Wavefront Aberration (Optical Path Difference))

波面収差 (あるいは 光路差) とは、基準となる参照球面からの対象波面の変位量のことです。参照球面の曲率中心は幾何的に理想像点の位置と一致します。参照球面の半径には選択の自由度があります。デフォルトでは、OpTaliX は光学系の射出瞳位置に参照球面を配置します。波面収差を計算する目的に適合するように、参照球面の曲率中心は常に主光線の像面位置が選ばれます。しかし、他の波動光学的評価 (例えば、MTF) の場合には、全波長に対する分散が最小となる波面収差が選択されます。

面にコーティングが定義されている場合、波面収差の計算は、常にコーティングによる位相変化の影響を考慮します。その程度は通常はごく小さいのですが、面への光線の入射角が大きな光学系 (広角レンズまたは開口数 NA が大きな光学系) では無視できなくなります。このことに関する詳細は、20.6章を参照してください。

WAV [TLT] [fi..j wi..j zi..j]	波面収差の RMS 値が、視野 fi..j、波長 wi..j、ズームポジション zi..j において評価され、テキストウィンドウに数値で出力されます。デフォルトでは、評価波面にはティルト成分も含まれますが、TLT オプションを指定した場合には除去されます。
WAVZ [fi..j wi..j zi..j]	波面収差の RMS 値が評価される点において、上記 WAV コマンドと同様ですが、波面のデフォーカス成分やアス成分など、任意の波面成分をツェルニケ係数により指定することで評価量から差し引いて表示できます。差し引かれるツェルニケ波面の設定は、WAVZ コマンドを実行する前に 148 ページに記載の ZWACT コマンドにより行います。結果は、テキストウィンドウに数値で出力されます。
PLO WAV [FLD LAM] [TLT] [zk]	波面収差を画角 (FLD) ごとに、あるいは波長 (LAM) ごとにプロットします。デフォルトは FLD です。?を入力すると、プロットスケールを入力するためのダイアログボックスが起動します。プロットスケールとしてゼロを入力すると、画角/波長/ズームポジションにわたる最大の波面収差量に対して自動的にスケールを調整します。デフォルトでは、評価波面にはティルト成分も含まれますが、TLT オプションを指定した場合には除去されます。
OPD [fi..j wi..j zi..j] rel.apeX rel.apeY	指定された単光線に沿った光路差 (mm) です。
OPDW [fi..j wi..j zi..j] rel.apeX rel.apeY	指定された単光線に沿った光路差です。主波長で正規化されて表現されます。

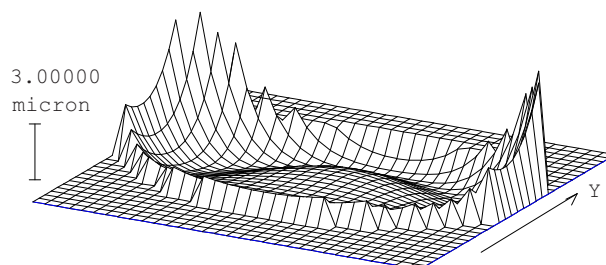


図 14.22: 波面収差図の出力例

14.2.11 コンラディの D-d 色収差 (Conrady D-d Chromatic Aberration)

DMD [fk fi..j wk wi..j] x_ape y_ape	コンラディ(Conrady)の色収差は、与えられた複数の波長における波長差として表現されます。 光学系の構成データ (34ページ) で設定された波長に関する重みが使われます。コンラディ(Conrady)の色収差に関する詳細は、 288ページの 14.2.11章 を参照してください。
--	---

アクロマートあるいはアポクロマートのような色消しレンズの設計において近軸光線の軸上色収差(SSR コマンド)を補正したとしても、そのことがただちにマージナル光線の色収差まで補正されることを意味しません。

波長に対する球面収差の変化を、色球面収差と呼ぶことがあります。色球面収差を制御するコンラディの方法 [9] は次のように定義できます。

$$DMD = \sum_{i=0}^k (D-d) \cdot (n_F - n_C) \quad (14.52)$$

ここで D はアパーチャの中心を通過する光線の光路長であり、 d はマージナル光線の光路長です。ただし、 d を与える光線を 瞳面上でマージナル光線の 70 パーセントの高さを持つ光線 ($y_ape = 0.7$) に変更したほうが良いこともあります。

14.2.12 干渉縞 (Interferogram)

指定された視野に対する波面収差から干渉縞を生成し、それを描画します。プロットは、ビネッティングおよび各種のアパーチャ(中心遮蔽、スパイダなど)を考慮します。(干渉計の) 参照面のティルトを指定すれば、フリンジの密度を調整できます。

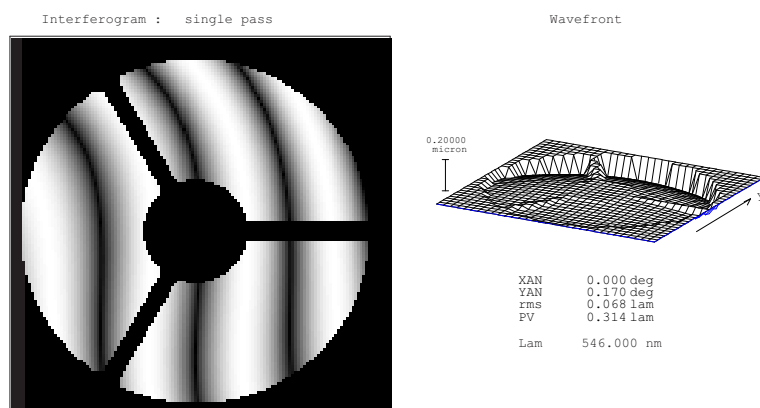


図 14.23: 波面収差から計算された干渉縞の描画例

コマンド書式:

IFG field_number	主波長における波面収差から求めた干渉縞を描画します。オプションのパラメータ?を入力すれば、(干渉計の) 参照面のテイルトを指定するためのダイアログボックスが起動します。
------------------	--

14.3 ガウシアンビーム (Gaussian Beams)

レーザビームのような、ガウシアンビームは指向性が高く、空間的に一様ではない(軸対称)強度分布を持ちます。そのフーリエ変換もまたガウシアンであり、光学系を通過する伝播経路に沿ったどの点においてもガウシアン分布のままです。ガウシアン分布は、明確な境界を持っていないため、一般的にガウシアン分布のサイズは、軸上強度の $1/e^2$ に減少する点を半径と定義しています。

BEA [wi..j zi..j ?]	波長番号 i..j、ズームポジション i..j での、ガウシアンビーム解析。波長範囲 (wi..j) が何も指定されていない場合、参照波長が使用されます。 入力ビームはガウシアン強度分布を持ち、物体面から出発します。つまり、ビームウエストは、物体面にあると仮定されます。解析はウエストサイズ(下の WRX, WRY を参照) の適切な設定を必要とします。 オプションのクエスチョンマークは、WRX, WRY, ZWX, ZWY, RCX, RCY, M2 編集のためのダイアログボックスを呼び出します。
WRX x_rad [sk wi..j zi..j]	物体面での X 方向のウエスト径 (単位 mm)。それぞれ、面 sk、ズームポジション zi..j zk、波長 wi..j wk に関連しています。1つのパラメータだけが x_rad あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。WRX が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk,zi..j zk,wi..j wk (x_rad なし) が適用できます。 例: wrx 0.005 ! 物体面での X 方向のウエスト半径を 0.005mm に設定 wrx s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での X 方向のウエスト半径を返します。 wrx s6 z3 w2 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3、波長 2 の条件での X 方向のウエスト半径を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意下さい。
WRY y_rad [sk wi..j zi..j]	物体面での Y 方向のウエスト径 (単位 mm)。それぞれ、面 sk、ズームポジション zk、波長 wi..j wk に関連しています。1つのパラメータだけが y_rad あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。WRY が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk, zi..j zk,wi..j wk (y_rad なし) が適用できます。

次ページに続く

前ページから続く	
	例: wry 0.005 ! 物体面での Y 方向のウエスト半径を 0.005mm に設定 wry s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での Y 方向のウエスト半径を返します。 wry s6 z3 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3、波長 2 の条件での Y 方向のウエスト半径を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意ください。
RCX wave_rad_x [sk wi..j zi..j]	物体面での X 方向の波面曲率半径。それぞれ、面 sk、ズームポジション zi..j zk、波長 wi..j wk に関連しています。1 つのパラメータだけが wave_rad_x あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。RCX が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk, zi..j zk, wi..j wk (wave_rad_x なし) が適用できます。 例: rcx 0 ! 物体面での X 方向の波面曲率半径を無限に設定 rcx s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での X 方向の波面曲率半径を返します。 rcx s6 z3 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3 の条件での X 方向の波面曲率半径を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意ください。
RCY wave_rad_y [sk wi..j zi..j]	物体面での Y 方向の波面曲率半径。それぞれ、面 sk、ズームポジション zi..j zk、波長 wi..j wk に関連しています。1 つのパラメータだけが wave_rad_y あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。RCY が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk, zi..j zk, wi..j wk (wave_rad_y なし) が適用できます。 例: rcy 1000 ! 物体面での Y 方向の波面曲率半径を 1000mm に設定 rcy s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での Y 方向の波面曲率半径を返します。 rcy s6 z3 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3 の条件での Y 方向の波面曲率半径を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意ください。
ZWX z-waist-x [sk wi..j zi..j]	X 方向のビームウエストの物体面に対する位置。それぞれ、面 sk、ズームポジション zi..j zk、波長 wi..j wk に関連しています。1 つのパラメータだけが z-waist-x あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。ZWX が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk, zi..j zk, wi..j wk (z-waist-x なし) が適用できます。

次ページに続く

前ページから続く	
	例: zwx 1.3 ! X 方向のビームウエストは、物体面から 1.3mm はなれた位置にあります。 zwx s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での X 方向のビームウエスト位置を返します。 zwx s6 z3 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3 の条件での X 方向のビームウエストの位置を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意ください。
ZWY z-waist-y [sk wi..j zi..j]	Y 方向のビームウエストの物体面に対する位置。それぞれ、面 sk、ズームポジション zi..j zk、波長 wi..j wkに関連しています。1 つのパラメータだけが z-waist-y あるいは sk zk wk のいずれかのコマンドで与えられます。ZWY が関数として使用される場合にだけ、オプションの面パラメータは si..j sk, zi..j zk, wi..j wk (z-waist-y なし) が適用できます。 例: zwy 1.3 ! Y 方向のビームウエストは、物体面から 1.3mm はなれた位置にあります。 zwy s6 ! UDG あるいは最適化に使用されて、第 6 面での Y 方向のビームウエスト位置を返します。 zwy s6 z3 ! 上記と同じですが、UDG あるいは最適化に使用されて第 6 面、ズームポジション 3 の条件での Y 方向のビームウエストの位置を返します。zk パラメータはズーム系に対して必須であることにご注意ください。
M2	M^2 ファクタ。これは実際のビームのガウシアン理想からの逸脱を表します。14.58 式も参照してください。M^2 は、ビームウエスト値は同じ波長の理想ガウシアンビームの回折限界を超過する量です。理想ビームの場合には $M^2 = 1$ です。
SRX sk wi..j zi..j	sk 面の X/Z 面内の、ガウシアンスポットサイズを返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX, WRY, RCX, RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。
SRY sk wi..j zi..j	sk 面の Y/Z 面内の、ガウシアンスポットサイズを返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX, WRY, RCX, RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。
GDX sk wi..j zi..j	sk 面の X/Z 面内の、ガウシアンビームの拡き角を返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX, WRY, RCX, RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。
GDY sk wi..j zi..j	

次ページに続く

前ページから続く	
	sk 面の Y/Z 面内の、ガウシアンビームの拡き角を返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX , WRY , RCX , RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。
RRX sk wi..j zi..j	sk 面の X 方向で、ガウシアンビームのレーリー領域を返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX , WRY , RCX , RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。
RRY sk wi..j zi..j	sk 面の X 方向で、ガウシアンビームのレーリー領域を返します。それはガウシアン光源のパラメータ (WRX , WRY , RCX , RCY など) を必要とするため、この関数が使用される前に、それらが適切に設定されていなければなりません。これは UGR あるいは最適化で使用するための関数であり、コマンドではありません。

計算理論:

自己フーリエ変換特性により、ガウシアンビーム伝播を表現するための複素積分は必要とされません。そのためガウシアン半径 (“スポットサイズ”) と波面の曲率半径が変わるだけです。

距離 z に対する、スポットサイズ w と波面曲率半径 R は、次式で記述されます。

$$w^2(z) = w_0^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right] \quad (14.53)$$

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (14.54)$$

スポットサイズは $z=0$ の位置で最小値を持ちます。これはビームウエスト w_0 と同じ値です。波面曲率半径は、図 14.24 で表されているように、ビームウエストの位置で無限になります。ファークフィールドの拡き角 θ は次式で与えられます。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{\pi w_0} \right) \approx \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (14.55)$$

ビーム全体のふるまいは、4 つのパラメータ w, w_0, R, λ のうちのどれか 2 つによって完全に規定されます。レーリー領域は、ウエストから最小波面曲率半径の軸上の点までの距離が変化し、次式で与えられます。

$$z_r = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (14.56)$$

R は、 $z = z_r$ の位置で最小値を持ちます。レンズ間の自由空間において、14.53 式と 14.54 式で完全にビームを記述します。ビームが光学境界面 (レンズ、ミラー) を通過するとき、波面曲率に変化し、結果としてビームウエストのサイズと位置が新しい値になります。光学境界面で、ビーム径は変更しません。

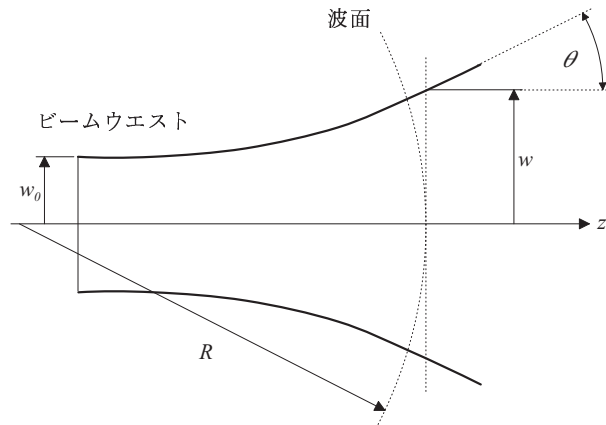


図 14.24: ガウシアンビームの伝播

いわゆる M^2 ファクタは理想ガウシアンビームと実際のビームの差を表現するために、Siegman[49]によって提案されました。14.55式からビームウエストとファーフールド拡き角の積は、与えられた波長に関して一定であることがわかります。

$$w_0 \theta = \frac{\lambda}{\pi} \quad (14.57)$$

実際のビームに対して、対応する積は次式のように書き表されます。

$$M^2 w_0 \theta = M^2 \frac{\lambda}{\pi} \quad (14.58)$$

そのため、 M^2 ファクタによって記述される実際のビームのスポットサイズ伝播は、理想ガウシアン分布と同様の計算で表現されます。

非点収差をもつガウシアンビームの伝播や変換は、近軸領域で垂直特性 ABCD 行列によってモデル化され、さらに 2 本の近軸光線によって表現されることが Kogelnik と Li [27] や Herloski, Marshall と Antos [20] によって示されています。Arnaud [2] のモデルに従って、図 14.25 が示しているように、ウエストの光線 (入力ビームのウエストでの接線) と発散光線 (入力ビームの無限遠での接線) を選択します。Kogelnik と Li の方程式から次式が得られます。

$$w' = \sqrt{y_d^2 + y_w^2} \quad (14.59)$$

$$z' = \frac{y_d v_d + y_w v_w}{v_d^2 + v_w^2} \quad (14.60)$$

$$w_0 = \frac{y_w v_d - v_w y_d}{\sqrt{v_d^2 + v_w^2}} \quad (14.61)$$

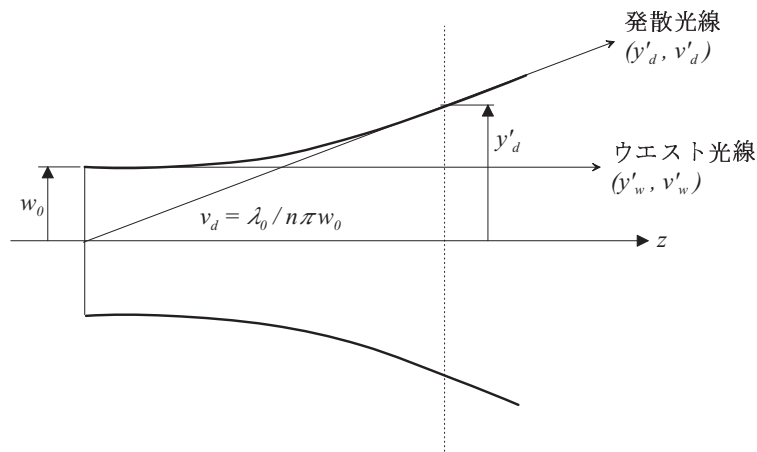


図 14.25: ガウシアンビーム伝播モデルに対応する近軸光線

14.4 ファイバの結合効率 (Fiber Coupling Efficiency)

結合効率 (CEF) の計算は、アポダイゼーション、入力ビームのクリッピング、コーティングされている面あるいはされていない面による反射損失 および バルク吸収を含みます。

CEF [? fi wi]	結合効率 (CEF) の計算。クエスチョンマーク (オプション) は、ファイバの光源や受光ファイバの特性を編集するためのダイアログボックスを呼び出します。
CEFDB [? fi wi]	結合効率 (CEF) の計算。結果をデシベルで出力します。効率を線形値で表示する場合には上欄の CEF コマンドをお使いください。
MPR GAU STE FIL	モードの分布。(下記を) 選択します。 GAU ガウシアンモード分布 STE ステップインデックス FIL ユーザ定義分布を (あらかじめ用意された) ファイルから取り込む
FLO FIX CMP	固定 (FIX) あるいは 補正 (CMP) されたどちらかのファイバ位置。 FIX : ファイバは、像面のローカル座標系の固定された位置にあります (下の FLO コマンド 2 つ目の形式も参照してください)。ファイバの位置はビームの位置と独立しています。 CMP : ファイバの位置は主光線に従います。これはデフォルトのモードです。ファイバは最適化された結合効率を与えるために最適にシフト/ティルトされます。
FLO x_pos y_pos	像面のローカル座標系に対する、(受光) ファイバ位置の座標を指定。
次ページに続く	

前ページから続く	
FSR rad_x rad_y	ファイバ光源の X と Y 方向の半径 (単位 mm)。楕円形の光源分布は、x と y 方向の拡張子に対する異なる値で定義されます。1つの値だけが与えられた場合、ファーフールドは円形であるものと仮定されます。
FSD div_x div_y	ファーフールドファイバ光源の拡き角。楕円形ファーフールドは、X 拡張子と Y 拡張子に対して異なる値で指定されます。1つの値しか与えられていない場合、ファーフールドは円形とみなされます。
FSA alpha_tilt	ファイバの光源の α ティルト (度)。YZ 平面でファイバ光源の回転角度を指定。回転角度はローカル座標系で定義されます。
FSB beta_tilt	ファイバの光源の β ティルト (度)。XZ 平面でファイバ光源の回転角度を指定。回転角度はローカル座標系で定義されます。
FRR mode_radius	受光ファイバのモードフィールド半径 (単位 mm)。
FRD div	受光ファイバのファーフールド拡き角 (単位 rad)。
FRA alpha_tilt	受光ファイバの α ティルト (度)。YZ 平面における受信側ファイバの回転角度を指定。回転角度はローカル座標系で定義されます。符号の定義については、図 14.26 を参照してください。
FRB beta_tilt	受光ファイバの β ティルト (度)。XZ 平面における受信側ファイバの回転角度を指定。回転角度はローカル座標系で定義されます。符号の定義については、図 14.26 を参照してください。
FRX x-offset	主光線に対する受光ファイバの x 方向のオフセット量 (mm)
FRY y-offset	主光線に対する受光ファイバの y 方向のオフセット量 (mm)
WDX wedge_angle_x	ファイバ先端の切断角 (ウェッジ角) の X 方向成分。設定単位は度。ファイバの先端面のローカル座標系において、XY 面 (光軸に直交する面) が XZ 面に向かって倒れこむ状況に対応。符号の定義については、図 14.26 を参照してください。
WDY wedge_angle_y	ファイバ先端の切断角 (ウェッジ角) Y 方向成分。設定単位は度。ファイバの先端面のローカル座標系において、XY 面 (光軸に直交する面) が YZ 面に向かって倒れこむ状況に対応。符号の定義については、図 14.26 を参照してください。
FSN1 source_core_index	光源ファイバ。コア材質の屈折率 n_1
FSN2 source_cladding_index	光源ファイバ。クラッド材質の屈折率 n_2
FSCR source_core_rad	光源ファイバ。コア半径 (mm)
次ページに続く	

前ページから続く	
FRN1 receiver_core_index	受光ファイバ。コア材質の屈折率 n_1
FRN2 receiver_clad_index	受光ファイバ。クラッド材質の屈折率 n_2
FRCR receiver_core_rad	受光ファイバ。コア半径 (mm)
FIBS prod-spec	製品 (例えば、製造会社の型番) によって、光源ファイバを指定。1 つのコマンドでファイバのカタログから該当する全ての光学データを取り込みます。このオプションは現在のところメニューからのみ使用可能です。
FIBR prod-spec	製品 (例えば、製造会社の型番) によって、受光ファイバを指定。1 つのコマンドでファイバのカタログから該当する全ての光学データを取り込みます。このオプションは現在のところメニューからのみ使用可能です。
TGR fft.grid	変換格子。結合 (効率) オプションは高速フーリエ変換 (FFT) を使用しますので、 2^n 変換格子が指定されなければなりません。TGR のデフォルトの値は 128 ですが、64, 128, 256, 512, 1024 に変更できます。計算精度が低下します (サンプリング密度が粗い) ので、あまり小さな TGR の値は勧められません。TGR の変更は NRD (瞳直径を通過する光線本数) にも影響します。その関係は、 $TGR = 4 * NRD$ です。
FSMM max.modes.source	FSMM とは "Fiber Source Maximum Modes" の略です。結合効率計算の対象となる光源側ファイバのモード数の上限値を max.modes.source に設定します。ただし 14.74 式で見積もられる全モード N を上回ってはいけません。なお、FSMM -1 と設定すると、全モード N が設定されたものとみなされます。
FRMM max.modes.receiver	FRMM とは "Fiber Receiver Maximum Modes" の略です。結合効率計算の対象となる光源側ファイバのモード数の上限値を max.modes.receiver に設定します。ただし 14.74 式で見積もられる全モード N を上回ってはいけません。なお、FSMM -1 と設定すると、全モード N が設定されたものとみなされます。
MMF	マルチモードファイバにおいて、所望のモードフィールドの表示します。そのためのダイアログが開かれ、ファイバのパラメータを編集できます。詳細は、14.4.3 章を参照してください。

注意:

- 結合効率は通常、有限な物体距離と像距離を持つ光学系 (ファイバとファイバあるいは、ダイオードとファイバを光学的に結合するアプリケーション) に関して計算されます。デフォルトでは、物体距離が無限である光学系については瞳が一樣に照射されると仮定しますが、コリメートされたレーザ光のようにビームがガウシアン分布を呈する場合には、アポダイゼーションファ

クタ **PUI**, **PUX**, **PUY** を用いてそれを適切に設定する必要があります。一方、物体距離および像距離が有限値をとる場合には **OpTaliX** がファイバのモード分布に基づいたフーリエ変換を施すことで光学系の入射瞳において正確なファースフィールド振幅分布が生成されますので、アポダイゼーションの定義は常に不要です。これはつまり、**PUI = PUX = PUY = 1** と設定しておくことに相当します。なお全ての計算は入射瞳上に入射する総エネルギーで正規化されます。

- 下記で紹介している計算手法は、入射瞳と射出瞳の間で生じる回折の影響だけを無視するという前提にたったものです。多くの場合この近似は十分正確な結果を与えますが、特殊な場合、例えばビームがかなり細い場合、あるいは光学系の自由空間が大きい場合 (自由空間における伝播距離が長い場合) には、ここで示す方法のかわりに回折ビーム伝播手法 (**BPR**) が適用されなければなりません。**CEF** あるいは **BPR** のどちらが適切かを判断する指標には、フレネルナンバーを使うのが良いでしょう。フレネルナンバー N は、ビーム半径 w 、波長 λ 、伝播距離 L によって求められ、 $N = \frac{w^2}{\lambda L}$ です。フレネルナンバーが ($N < 1$) 程度に小さくなる場合には、ビーム伝播 (**BPR**) を使用してください。それ以外は **CEF** で実用上の問題はありません。

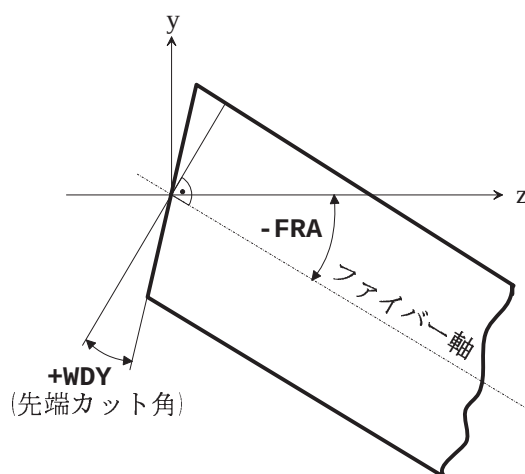


図 14.26: この図は、ファイバそのもののティルト (**FRA**, **FRB**) および先端のカット角 (**WDX**, **WDY**) の定義を示しています。ここでは **Y/Z** 平面のみを示しています。角度の符号は、左手座標系の取り扱いに則っていて、それは面のティルトの定義にも一致しています。つまり反時計まわりが正の符号、時計回りが負の符号で表現されます。

結合効率 (挿入損失) の計算には、光源 (例えばレーザやファイバなど) からの光束を集光して受光ファイバに結合するための全光学系が関係していて、基本的に収差、ファイバのずれ、ファイバモードの不整合の影響が考慮されなくてはなりません。結合効率 T は、像領域の分布 $U(x', y')$ と受光ファイバのモード分布 $\psi(x', y')$ との正規化された重複積分として次式で定義されます。

$$T = \left| \frac{\iint U(x', y') \cdot \psi^*(x', y') dx' dy'}{\sqrt{\iint U(x', y') \cdot U^*(x', y') dx' dy' \iint \psi(x', y') \cdot \psi^*(x', y') dx' dy'}} \right|^2 \quad (14.62)$$

ここで、 $*$ は複素共役を示します。この積分を実行するためのアルゴリズムとして **OpTaliX** では、**Wagner** と **Tomlinson** [55] によって議論された、結合光学系の射出瞳に重複積分が変換される手法を採用しています。このため、パワー結合効率 T は、光源ファイバのモード分布の複素ファースフィールド

ルド分布 $\Psi_S(\zeta, \eta)$ と、受光ファイバのモード分布の複素ファーフールド分布 $\Psi_R(\zeta, \eta)$ 、それに光学系のコヒーレント伝達関数 $L(\zeta, \eta)$ との積を被積分関数とした 1 階積分で表現されます。

$$T = \left| \int \Psi_S(\zeta, \eta) \cdot L(\zeta, \eta) \cdot \Psi_R(\zeta, \eta) d\alpha \right|^2 \quad (14.63)$$

ここで (ζ, η) は、射出瞳面上で正規化された座標です。 Ψ_S と Ψ_R は、それぞれ光源ファイバと受光ファイバのモード分布 Ψ_S と Ψ_R の正規化フーリエ変換です。コヒーレント伝達関数は、 $L = \exp[-ikW(\zeta, \eta)]$ で表されます。ここで W は波面収差で、 $k = 2\pi/\lambda$ です。したがって、すべての収差 (波面収差、ファイバの光軸ズレ、あるいはモードの不一致など) は光学系の射出瞳において議論され、結合の効果もまた、古典光学的な表記によって表現できるのです。

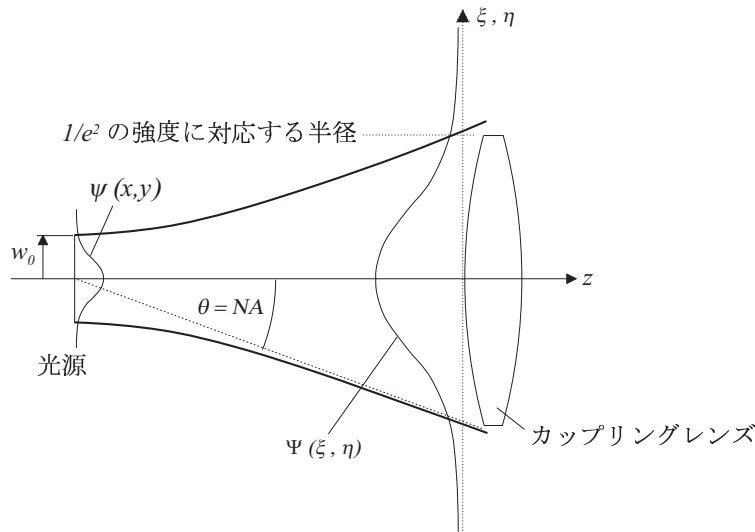


図 14.27: 光源 (ファイバ、レーザ等) の強度分布の光学系の入射瞳への変換例。この例が示すように、結合光学系の開口 (NA) は、光源の $1/e^2$ で定義されたファーフールド拡き角 θ と一致しています。このため、ガウシアン領域の裾野が光学系のアパチャによってけられてしまい、結果として放射されたエネルギーの一部だけが結合光学系によって伝播されることになります。

上記で与えられた量や関係を使用する際、通常 $1/e^2$ 強度で定義されるファーフールド回折角 θ と、ファイバと結合光学系の開口数 (NA) を混同しないように注意してください。マルチモードファイバに関して、ファイバが受光する (あるいはファイバから放射される) ビームの最大角は、コアとクラッド間の屈折率差によって定義され、次式で示されます。

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (14.64)$$

ここで

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (14.65)$$

なお、 n_1 はコアの屈折率、 n_2 はクラッドの屈折率です。NA は従来通りに屈折率の差として計測されます。

シングルモードファイバに関しては、コアとクラッドの屈折率差だけでなく、コアサイズ (正確には、モードフィールド直径)、および光の波長もビームの拡がり角を規定します。このこれらを考慮するとファイバからの放射強度の約 25% が θ (図 14.27 参照) よりも大きな角度で伝播します。ビームが多量にケラレることを防ぐために、レンズの NA は放射された $1/e^2$ のファーフールド拡き角 θ を超えて大きくする必要があります。ファーフールド強度が 1% にまで下がる点の拡き角は、 $1/e^2$ (強度での) 角度よりも約 1.5 倍大きくなります。効率的な結合を得るためには、この比以上にレンズの NA を大きく設定しなければなりません。

光源とファイバのモードの位置を過程すると (例えばガウシアンビームの完全一致) を仮定すると、理論的な結合効率は光学系の開口 (NA) とファイバのファーフールド拡き角 θ の関数として次式のように表現されます。

$$T = \left(1 - \exp \left[-2 \left(\frac{NA}{\theta} \right)^2 \right] \right)^2 \quad (14.66)$$

上記の例においては、 $NA/\theta = 1.5$ とすると、結合効率は 0.978 (−0.097 dB) となります。

14.4.1 シングルモードファイバ (Single-Mode Fibers)

シングルモードファイバのアプリケーションは、光源ファイバ、カップリング光学系、受光ファイバがコヒーレント系を備えているという点において、古典的な光学結像論とは異なります。シングルモードファイバでは、コアサイズ (一般的に、 $5-10\mu\text{m}$) が使用可能な波長 λ に近づくので、1 つのモードだけが伝播します。シングルモードファイバ内でのモードパターンの形状は、ガウス関数によって次式のように表現されます。

$$\psi(x', y') = \exp \left[- \left(\frac{r'}{r_0} \right)^2 \right] \quad (14.67)$$

がまた $1/e^2$ ファーフールドのガウシアンモードは、振幅が $1/e^2$ の値にまで下がる半径 r_0 によって完全に指定されます。14.55 式を用いると、ファイバ端でのモード分布拡き角は次式のように決定されます。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{\pi w_0} \right) \approx \frac{\lambda}{\pi w_0}$$

$w_0 = r_0$ は、 $1/e^2$ 強度におけるモード分布のウェスト半径です。

14.4.2 マルチモードファイバ (Multi-Mode Fibers)

その名前のとおり、マルチモードファイバは 2 つ以上のモードを伝播します。モード数はコア半径 a と 開口 (NA) に依存し、(次式の V を使用して) $V^2/2$ によって与えられます。

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi}{\lambda_0} a n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (14.68)$$

V は、**正規化周波数** あるいは **導波路パラメータ** として知られています。 V の値が増加すると、ファイバを伝播するモード数は増加します。 $V < 2.405$ のとき、ステップインデックスファイバは、1 つの与えられた波長に対してシングルモードになります。

ステップインデックス または グレイデッドインデックスのマルチモードファイバを指定するには、次の 3 つのパラメータ、コア材質の屈折率 n_1 、クラッド材質の屈折率 n_2 、および円柱形のコア半径 a が必要とされます。

導波路性能の劣るファイバでは、基本モードのパターンは次式で与えられます。

$$\psi(r') = \begin{cases} \frac{A}{J_l(U)} J_l\left(\frac{Ur}{a}\right) \begin{bmatrix} \cos l\phi \\ \sin l\phi \end{bmatrix}, & r < a \\ \frac{A}{K_l(W)} K_l\left(\frac{Wr}{a}\right) \begin{bmatrix} \cos l\phi \\ \sin l\phi \end{bmatrix}, & r > a \end{cases} \quad (14.69)$$

ここで、

$$U = a(k_0^2 n_1^2 - \beta^2)^{1/2} \quad (14.70)$$

$$W = a(\beta^2 - k_0^2 n_2^2)^{1/2} \quad (14.71)$$

$k_0 = 2\pi/\lambda$ と β は伝播定数として知られており、 r は、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ で与えられます。導波モードについては、 $k_0^2 n_2^2 < \beta^2 < k_0^2 n_1^2$ でなければならず、あるいは正規化伝播係数を表わす次式において $0 < b < 1$ となる必要があります。

$$b = \frac{\beta^2/k_0^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} = \frac{W^2}{V^2} \quad (14.72)$$

これらを用いて、モード構造に関する固有値方程式を書き表すことができます。

$$\begin{aligned} V(1-b)^{\frac{1}{2}} \frac{J_{l-1}\left(V(1-b)^{\frac{1}{2}}\right)}{J_l\left(V(1-b)^{\frac{1}{2}}\right)} &= -Vb^{\frac{1}{2}} \frac{K_{l-1}\left(V(b)^{\frac{1}{2}}\right)}{K_l\left(V(b)^{\frac{1}{2}}\right)}, & l \geq 1 \\ V(1-b)^{\frac{1}{2}} \frac{J_1\left(V(1-b)^{\frac{1}{2}}\right)}{J_0\left(V(1-b)^{\frac{1}{2}}\right)} &= -Vb^{\frac{1}{2}} \frac{K_1\left(V(b)^{\frac{1}{2}}\right)}{K_0\left(V(b)^{\frac{1}{2}}\right)}, & l = 0 \end{aligned} \quad (14.73)$$

ここで J, K は、 J -ベッセル関数 と K -ベッセル関数です。 l の与えられた値に関して、固有値方程式 (14.73 式) の解は有限の数となり、 m 番目 ($m=1,2,3,\dots$) の解は LP_{lm} モードとして参照されます。このモード構造の導出に関しては、Gloge [15] と Ghatak [13] の文献を参照して下さい。マルチモードファイバ中に生成可能なモードの総数 N は、 $V \gg 1$ である場合には次式で近似できます。

$$N \approx \frac{V^2}{2} \quad (14.74)$$

OpTaliX は、マルチモードファイバ内に存在可能な全てのモード構造を算出し、それぞれのモードに関して独立に結合効率を求めます。個々の結果が加算されて、総合的な結合効率が得られます。

光源側ならびに受光側ファイバの双方について複数のモードを同時に設定すると、モード数の増加とともに計算所要時間が劇的に増加していきます。これは CEF がすべてのモードの組み合わせにつ

いて、それぞれ計算されるからです。たとえば、光源側と受光側のそれぞれについて 10 モードずつを指定したとすると結合効率は合計 100 とおりについて計算されることとなります。これにはかなりの時間を要します。このため、計算するモードの上限を FSMM コマンドならびに FRMM コマンドを使って制限しておくことをお勧めします。

14.4.3 ファイバのモードフィールドの表示 (Display Fiber Modes)

MMF コマンドを使えば、ダイアログからファイバのパラメータを設定の上、マルチモードファイバの個々のモードをグラフィカルに表示できます。(図 14.28 参照)。

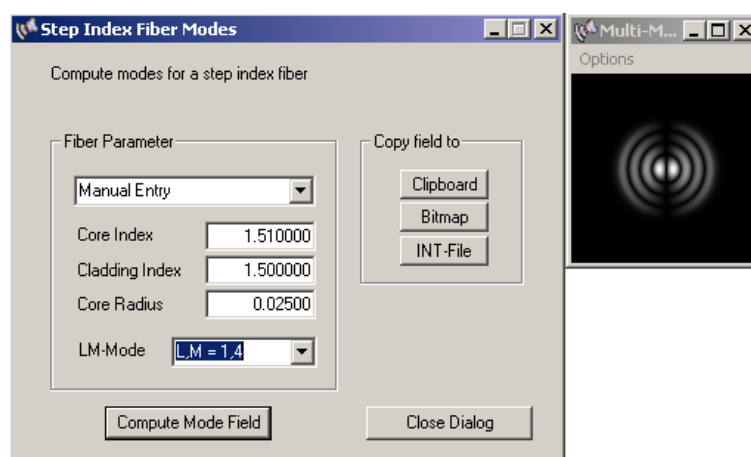


図 14.28: ファイバのモードフィールドのグラフィカル表示

MMF コマンドで取り扱えるモードの最大数は 200 です。コマンドを入力すると起動するダイアログからはファイバパラメータとして コアおよびクラッドの屈折率、コアの半径を数値によって明示的に設定できます。また、あらかじめ登録された何種類かの既製ファイバについてはプルダウンメニューから、それを選択することも可能です。新しいファイバを選択すると、OpTaliX は自動的に存在可能なモード (200) を探索します。このため、お使いのコンピュータの速度によっては、その際にいくらかの時間を要することがあります (通常、数秒以内)。

ダイアログ下部の [Compute Mode Field] ボタンをクリックすると、選択されたモードのプロファイルが表示されます。プロファイルの強度は、ビットマップファイル (BMP, PNG あるいは PCX) または、Code V 互換のある INT ファイルに保存できます。

14.4.4 ファイバカップリング 例 1 (Fiber Coupling Example 1)

NSG 社の SELFOCTM SLW10 屈折率分布 ロッドレンズと、光源と受光ファイバにコーニング社のシングルモードファイバ SMF28 を選択した例を最初に示します。図 14.29 on the next page に示されているとおり、この構成は、examples ライブラリ内に selfoc-coupler.otx というファイル名で保存されています。グラディエントインデックスレンズのピッチは、選択したファイバの最良結合効率を与える倍率 0.5 に設定されています。

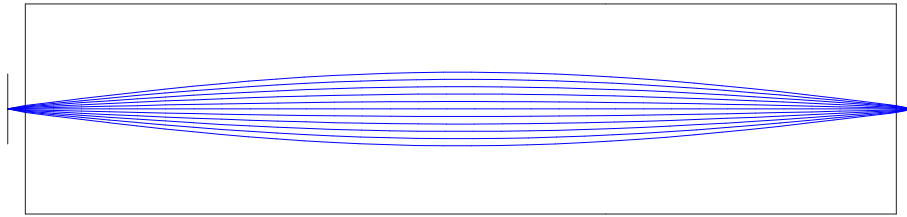


図 14.29: NSG 社の SELFOCTM SLW10 レンズによる 2 つの SMF28 ファイバのカップリング

メインメニューから、*Diffraction Analysis* → *Fiber Coupling* を選択すると、結合効率の計算に関連する全てのパラメータの編集が可能なダイアログボックス (図 14.30) 起動します。この例では、必要なパラメータはファイバのカタログを参照することで、定義されています。ファイバがカタログから選択されると、モードフィールド半径と $1/e^2$ 拡き角が自動的に更新されます。光源ファイバは選択された画角の位置 (XOB と YOB コマンドで定義されている) いる位置に置かれていると仮定され、受光ファイバは像面の主光線座標の位置に置かれているものと仮定されます。

重要: 結合光学系瞳上の正確な振幅分布は、光源ファイバから入射瞳までの変換過程によって自動的に計算されます。それゆえ、アポダイゼーションパラメータ PUI, PUX, PUY によって振幅分布を調整する必要はありません。ファイバ と ファイバ とのカップリングにおいて、正確な結果を得るには、PUI, PUX, PUY は 1 でなければなりません。ただし、平行レーザービームが結合光学系に入射する特殊な場合 (無限遠に物体) にのみ、上記自動計算は実行されませんから、この場合だけはアポダイゼーションを適切に調整してください。

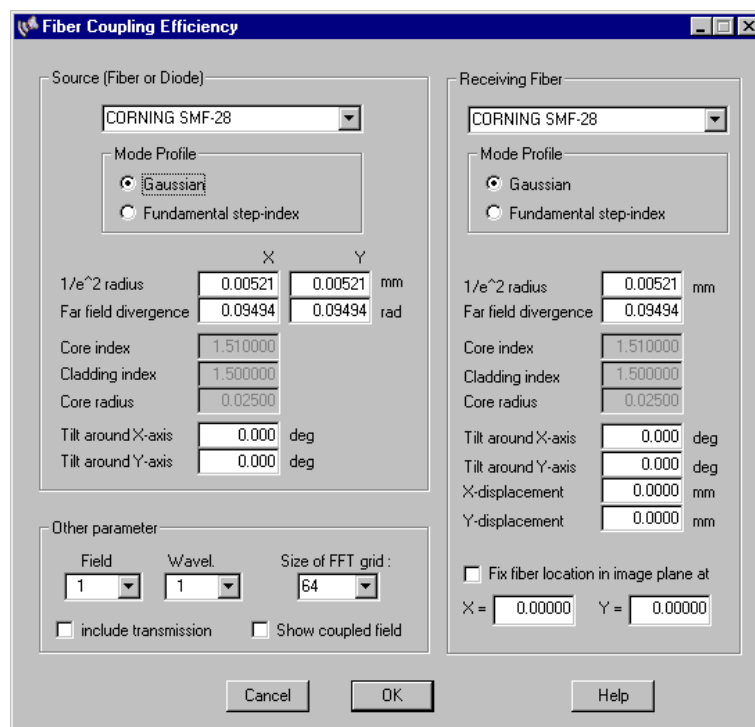


図 14.30: 図 14.29 で表示されている設定の結合効率の計算パラメータを示すダイアログボックス

Fiber Coupling Efficiency:

```

Field number      : 1      ( 0.0000/ 0.0000 )
Image coordinates :      ( 0.0000/ 0.0000 )
Wavelength number : 1      ( 1.5500 micron )
Transformation grid : 64

```

	SOURCE	RECEIVER	Unit
Fiber type	SMF-28	SMF-28	
1/e ² radius	0.00520	0.00520	mm
Far-field divergence	0.09488	0.09488	rad
Tilt around X-axis	0.00000	0.00000	deg
Tilt around Y-axis	0.00000	0.00000	deg
X-displacement		0.00000	mm
Y-displacement		0.00000	mm

```

Transmission      : not considered

```

```

Power coupling      : 0.99271 ( -0.032 dB)
Power coupling (ideal): 0.99953 ( -0.002 dB)

```

この例の場合、結合光学系の NA は、ファイバの拡き角 (0.09488) よりも約 2.1 倍大きいので、たいへん小さな基本入射損失を示しています (−0.032dB)。理想的な結合効率 (−0.002dB) は、光学系に収差がなく、かつビームをトランケートしない場合の理論的最大効率です。それは光源ファイバと受光ファイバがどれほどよく一致するかを表したものです。

14.4.5 ファイバカップリング 例 2 (Fiber Coupling Example 2)

2 つ目の例は、デマルチプレキサです。このデータは、`demux.otx` というファイル名で `examples` ライブラリに保存してあります。この設計には回折格子が含まれますので、この光学系は基本的に、波長 (チャンネル) を異なるファイバへ分割するための分光器であるともみなせます。

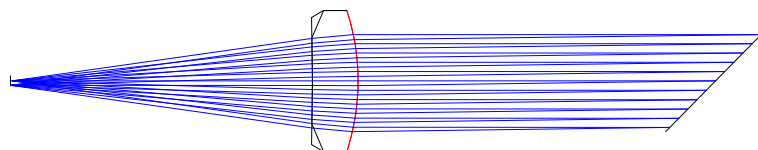


図 14.31: 1 波長だけで示されている、簡単なデマルチプレキサ

この系は、対象となる波長範囲を代表する 3 波長によって定義されていますが、収差評価の基準点を主波長・主光線ではなく、指定された各波長の主光線とするために、評価モードを“分光器”モードに切り替える必要があります。そのための走査は、*configuration* ダイアログ (メインメニューから、*Edit* → *Configuration* をクリックすることで起動するダイアログボックスから “General” タブを選択し、“Spectrometer Mode” にチェックをいれてください。

波長に対する結合効率 (CEF) をプロットするために、ユーザ定義されたグラフィックス UGR (203 ページの 12.9 章) を定義します。ユーザ定義グラフィックスを定義するには、メニューバの *tools* をクリックすると表示される User Defined Graphics (UDG) をさらにクリックすると現れるダイアログを使います。ダイアログが表示されたら、*Restore settings* ボタンをクリックし macro サブディレクトリから `cef_vs_wl.ugr` ファイルを呼び出し (取り込み) ます。ここで、OK ボタンをクリックすれば、すぐに波長-結合効率図がプロットされます。

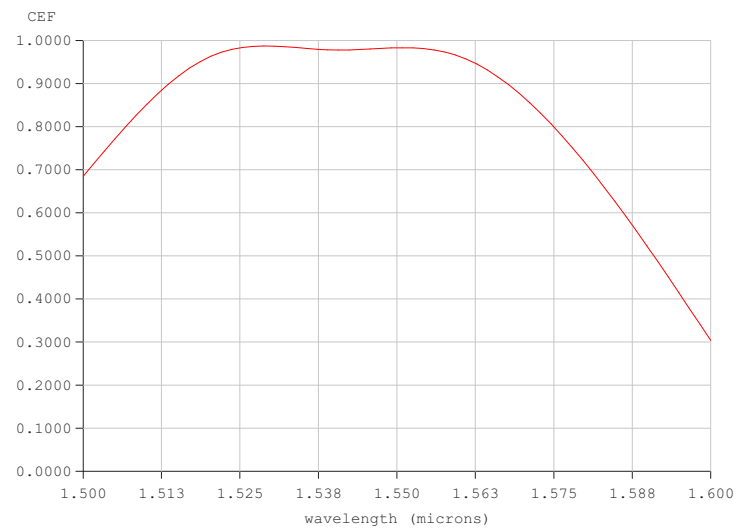


図 14.32: 波長に対する結合効率

第15章 照明解析 – Illumination Analysis –

照明解析の機能は、光学系を構成する任意の面上の照度および放射分布の解析のために使われます。解析の対象となる面は、レンズデータ上の像面に限定されず、それ以外の面であってもかまいません。

第 7.3.1 章 (30 ページ) に記載の “[視野 \(fields\)](#)” によって定義される物点が点光源に相当するのに対し、照明解析に用いられる光源は空間的な広がりを持っています。現状では、OpTaliX は 2 つのタイプの照明用光源を取り扱えます。

- **面光源**。あらかじめ外周形状が定義された面状の光源。選択できる外周形状は、円、楕円、矩形およびダブルピンホール。面内の輝度分布はユニフォーム (均一分布)、ガウシヤンのほか、ビットマップファイル (.BMP, .PCX, .PNG) を用いれば任意の分布を定義できます。
- **光線光源**。光線の集合として定義される光源。体積光源モデルの一種です。

収差を評価するために ([視野情報](#)) として定義される **点光源** (第 7.3.1 章、30 ページ) は常に物体面上に配置されていて、その座標は必ず物体面の原点 (物体面と光軸の交点) を基準に定義されます。物体面それ自体の位置や方位は、光学系の第 1 面までの距離や、物体面に対する任意の偏芯によって定義されます。

照度計算に用いられるどの光源も、必ず有限の広がりを持っています。その位置や方位は視野情報と同様に [物体面座標系](#) (12 ページ) を使って定義することもできますし、あるいは [グローバル座標系](#) (12 ページ) によることも可能です。

15.1 照明解析のための光源の定義 (Defining Illumination Sources)

照明解析用の光源を設定するためのコマンドには2つの書式体系があります。ひとつは標準書式、もうひとつは、その短縮形です。短縮形は OpTaliX のあらゆる場面で使えます。つまり、コマンドライン、マクロ、EVA コマンドによるレンズデータベースの参照など、どの場面でも使えます。一方、標準形は EVA コマンドやズームエディタでは使えませんが、その他の場面であれば、表記が丁寧な分、誤解や誤入力を避けやすいという特長があります。

以降、この章の説明文に現れる修飾子 “sk” は、面番号を表すのではなく照明解析のための光源 (Souce) を識別するためにだけ用いられます。一方、照明解析に関係せず、また、光源に関係しない一般のコマンドを説明する際に使われる “sk” は、あくまでも面番号を識別するための修飾子です。これらを混同しないように注意してください。

SRC n_sources	照明解析で用いる光源の数を n_sources に設定します。 例： src 3 ! 3 個の照明解析光源を設定
次ページに続く	

前ページから続く	
SRC sk TYPE [FIL file_name] 短縮形: Sxxx sk	光源のタイプを設定します。コマンドには2種類の書式、つまり標準形およびその短縮形があります。短縮形は OpTaliX のあらゆる場面で使えます。つまり、コマンドライン、マクロ、EVA コマンドによるレンズデータベースの参照など、どの場面でも使えます。一方、標準形は EVA コマンドやズームエディタでは使えませんが、その他の場面であれば、表記が丁寧な分、誤解や誤入力を避けやすいという特長があります。 標準形は、TYPE には次のいずれかひとつを指定します。sk は光源の番号です。 CIR 外周円形の均一輝度光源 ELL 外周楕円の均一輝度光源 REC 外周矩形の均一輝度光源 GAU ガウシアン分布光源 BMP 外周形状と輝度をビットマップファイル (.BMP, .PCX, .PNG) で設定 INT 外周形状と輝度を INT ファイルで設定 GRA グレーディング PIN ダブルピンホール CHE チェック (格子) 状光源 RAY file_name で光線を定義した RAY-DATA 光源 短縮形の場合は、下記から選んで“S”に続く“xxx”に光源のタイプを指定します。 SCIR 外周円形の均一輝度光源 SELL 外周楕円の均一輝度光源 SREC 外周矩形の均一輝度光源 SGAU ガウシアン分布光源 SBMP 外周形状と輝度をビットマップファイル (.BMP, .PCX, .PNG) で設定 SINT 外周形状と輝度を INT ファイルで設定 SGRA グレーディング SPIN ダブルピンホール SCHE チェック (格子) 状光源 例： src s1 ELL ! 第1光源を楕円光源として設定 srec s2! 第2光源を短縮形で設定。外周矩形の均一輝度光源 src s2 RAY FIL c:¥rayset.dat! 光線光源をファイルで指定
	次ページに続く

前ページから続く	
SRC USE sk Y N 短縮形: SUSE sk Y N	sk 番目の光源の評価に組み込む場合は Y を指定します。一方、評価には組み込まず その光源の評価を一時的に無視する場合は N を指定します。いったん光源を定義した後は、この機能を用いることで、その光源を照明解析に用いるか否かを任意に選択できます。ズーム (多重構成系) を定義する際は短縮形を使ってください。EVA コマンドと組み合わせる場合も短縮形です。 例: src s1 use y ! 光源 1 を照明解析の光源として用います。 src s2 use n ! 光源 2 を照明解析の対象から (一時的に) はずします。
SRC REF sk O G 短縮形: SGREF sk O G	sk 番目の光源の配置に用いる参照座標系を設定します。物体 (Object) 面の座標系を使って定義する場合は O を指定します。一方、グローバル (Global) 座標系を使う場合は G を指定します。 例: src s1 ref o ! 光源 1 は、物体面座標系を使って定義されます。 sgref s2 g ! 光源 2 は、物体面座標系を使って定義されます。
SRC PWR sk power 短縮形: SPWR sk power	sk 番目の光源の放射強度、パワーを設定します。単位はワットです。 例: src pwr s1 1.5 ! 光源 1 の出力を 1.5 ワットに設定します。 spwr s2 3 ! 光源 2 の出力を 3 ワットに設定します。
SRC sk XEXT x_ext 短縮形: SXEX sk x_ext	光源の空間的な広がりを、X 方向について設定します。設定単位は mm です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。図 15.3 も参照してください。
SRC sk YEXT y_ext 短縮形: SYEX sk x_ext	光源の空間的な広がりを、Y 方向について設定します。設定単位は mm です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。図 15.3 も参照してください。
SRC XDE sk x_dec 短縮形: SXDE sk x_ext	光源の配置位置を X 方向について設定します。基準位置は光源座標系の原点で、設定単位は mm です。光源座標系には、物体面の座標系またはグローバル座標系のいずれかを選択できます。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
次ページに続く	

前ページから続く	
SRC YDE sk y_dec 短縮形: SYDE sk y_dec	光源の配置位置を Y 方向について設定します。基準位置は光源座標系の原点で、設定単位は mm です。光源座標系には、物体面の座標系またはグローバル座標系のいずれかを選択できます。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC ZDE sk z_dec 短縮形: SZDE sk z_dec	光源の配置位置を Z 方向について設定します。基準位置は光源座標系の原点で、設定単位は mm です。光源座標系には、物体面の座標系またはグローバル座標系のいずれかを選択できます。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC ADE sk x_tlt 短縮形: SADE sk x_tlt	光源の向きを、光源座標系 (光源定義に用いた参照座標系) の X 軸まわりの回転角で設定します。単位は度です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC BDE sk y_tlt 短縮形: SBDE sk y_tlt	光源の向きを、光源座標系 (光源定義に用いた参照座標系) の Y 軸まわりの回転角で設定します。単位は度です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC CDE sk z_tlt 短縮形: SCDE sk z_tlt	光源の向きを、光源座標系 (光源定義に用いた参照座標系) の Z 軸まわりの回転角で設定します。単位は度です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC DIVX sk div_x 短縮形: SDIVX sk div_x	光源からの X 断面内の放射全角を設定します。単位は度です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC DIVY sk div_y 短縮形: SDIVY sk div_y	光源からの Y 断面内の放射全角を設定します。単位は度です。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC ARAY sk analysis_rays 短 縮 形: SARAY sk analysis_rays	照明解析のために sk 番目の光源が放射する光線の総本数を設定します。sk を省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
SRC PRAY sk plot_rays 短縮形: SPRAY sk plot_rays	照明解析の様子を表示するために用いる光線の本数を指定します。光線追跡のために光線が放射する総本数ではありません。sk は光源の番号です。これを省略すると光源 1 が指定されたものとみなされます。
次ページに続く	

前ページから続く	
LIS SRC [sk]	光源の定義内容を示す表を出力します。sk は光源の番号です。これを省略すると、設定されたすべての光源について一覧表を出力します。
ILL SAV Y N	レンズデータを保存する際、照明解析用の設定もあわせて保存するか否かを設定します。保存する場合は、Y をしない場合は N を指定します。

15.2 照明解析のための光源の定義 - GUI から - (Defining Illumination Sources in the GUI)

光源のパラメータは GUI (Guraphical User Interface) を使った設定画面 (設定ダイアログ) からでも入力できます。このダイアログの起動は、メインメニューから次のようたどることで行えます。

Geom.Analysis → *Illumination*

コマンドラインから起動することもできます。

ILL [?]	照明解析を実行します。 オプションのパラメータ “?” を設定すると照明解析を実行する前に、解析条件を設定するためのダイアログ画面が表示されます。
---------	---

照明解析に用いる光源は、その多くが面光源です。これは、結像特性の解析に用いる物体が点状光源で表現されるのとは対照的です。照明解析に用いる面積光源は、構成データ (configuration data) の設定ダイアログを経由して設定することもできます。

EDI CNF	構成データの設定ダイアログ。 Illum.Source タブをクリックすれば、照明解析用の光源設定ダイアログが開きます。
---------	---

次図 15.1 には、種々の照明解析用光源の設定画面を示します。

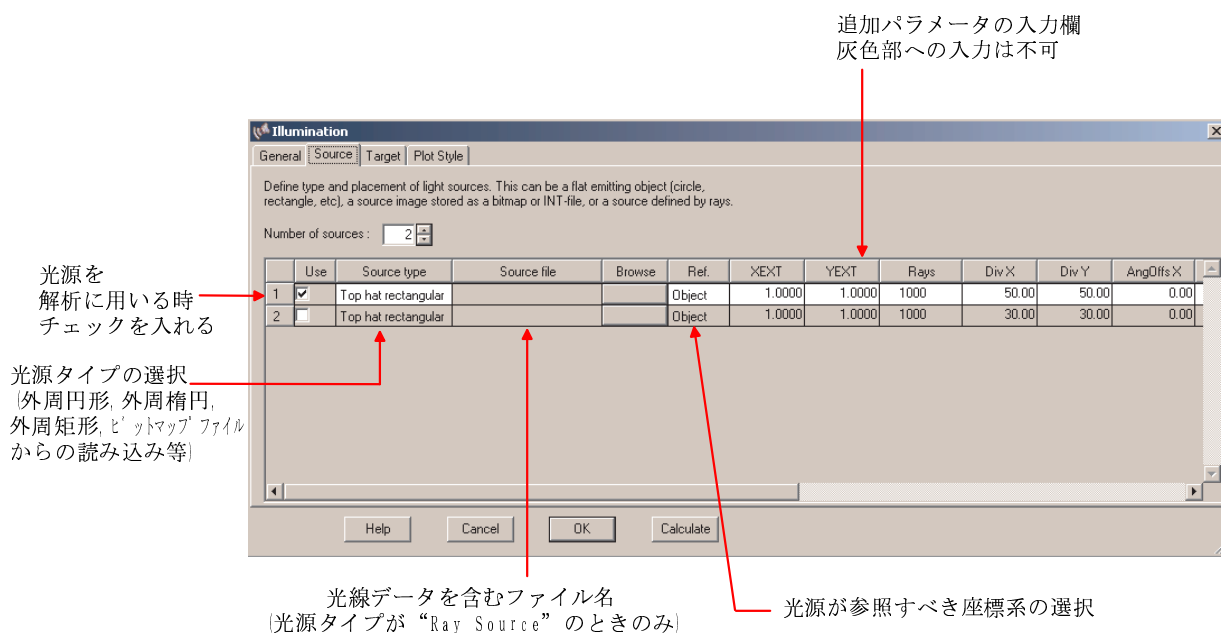


図 15.1: 照明解析用の光源の設定ダイアログ。ILL ? コマンドか、EDI CNF コマンドで起動できます。

15.2.1 光源光線の描画 (Controlling Source Rays in the Lens Layout Plot)

光源が放射する光線を描画れば、光源のパラメータを適切に設定しやすくなります。しかし明示的に指定しない限り、OpTaliX では光源光線の描画はしない設定になっています。これは、照明解析で扱う光線の本数があまりに多いため、もしもすべての光線をレンズ図に描画すると、解析速度が著しく低下するためです。光線光源をレンズ図中に描画するには、レンズ配置図におけるオプションダイアログ (図 15.2) にあるチェックボックス “**Show illumination source rays**” をクリックしてください。

15.2.2 面状光源 (Flat emitting Sources)

光源の外周形状が円形、楕円、矩形の平面であり、輝度分布が均一あるいはガウシアンであったり、あるいはダブルピンホールであるなど比較的に単純な要素から構成されているならば、照明解析の機能に組み込まれた標準的な光源設定機能の範囲でそれらを設定できます。一方、任意の外周形状を持ち輝度分布も複雑な光源の場合には、別途ビットマップでそれを定義しておき、ファイルとしてそれを読みます。

照明解析のための光源情報は 通常の収差計算等に関する視野情報とは独立かつ専用に設定します。収差計算のために設定した視野情報は、照明解析には用いられません。

波長重み (WTW) の設定に関わらず、光源は設定されたすべての波長に対して等しい強度で白色光源のごとく放射されます。つまり波長重みの情報は、光源をモデリングするために用いられるのではないということです。そのかわり、光学系の分光透過率をモデリングするのに用いられ、光源を分光フィルタリングするように作用します。

面状光源の大きさは、コマンド **SXEX** および **SYEX** コマンド を使って、X 方向および Y 方向に設定できます。その際の単位は mm です。

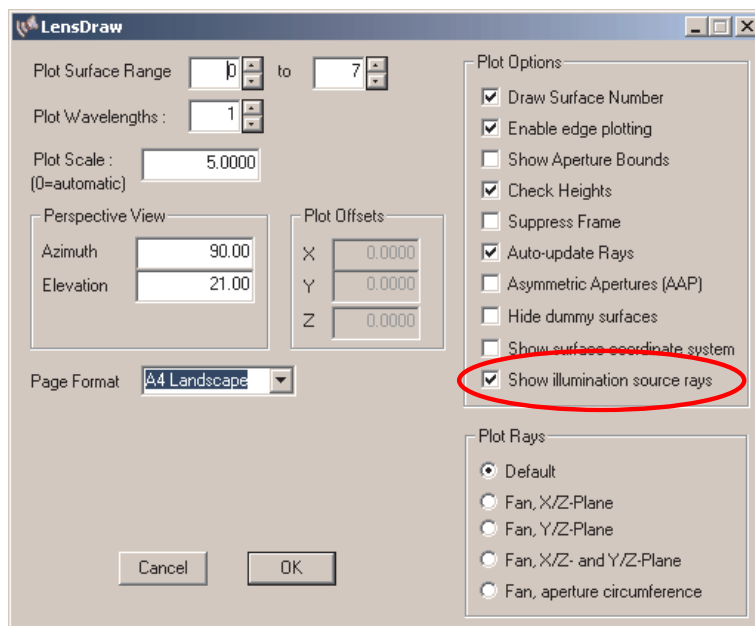


図 15.2: レンズ配置図に光源光線の描画を行うための設定。この設定は、レンズデータとともに保存されます。

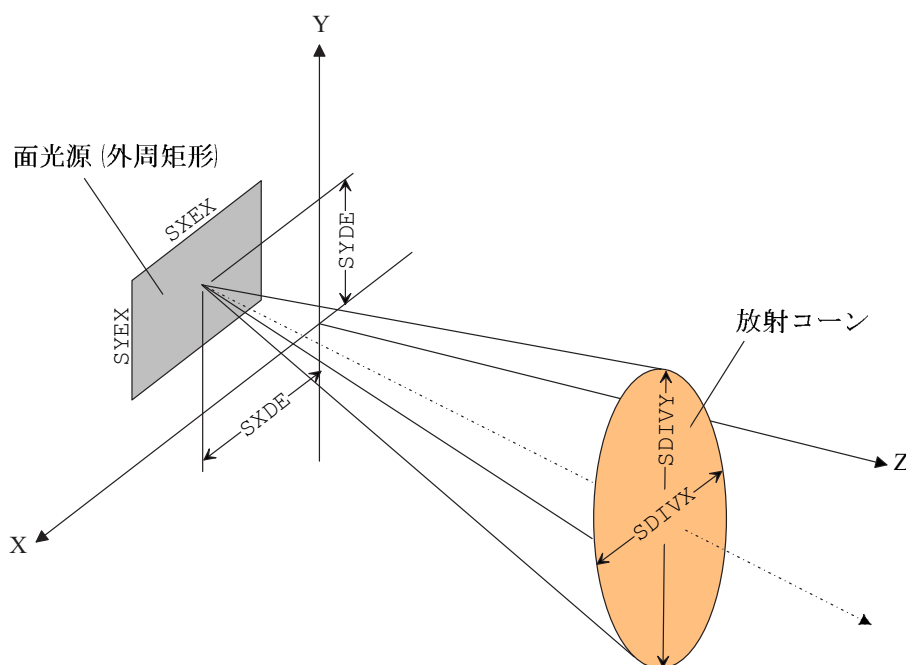


図 15.3: 面状光源の定義

光源の位置は、[グローバル座標系](#)または[物体面座標系](#)のいずれか一方の原点を基準に SXDE, SYDE, SZDE コマンドにより設定できます。その際の単位は mm です。

面状光源の向き、すなわち光線の放射方向は SADE, SBDE, SCDE コマンドを使って、任意にティル

トさせられます。その際の単位は度です。

光線からの放射角は、SDIVX, SDIVY コマンドを使ってコーン状の特定範囲に制限できます。

15.2.3 体積光源 (Volume Sources defined by Rays)

体積光源は電球やLEDあるいは半導体レーザなど現実の光源をモデル化するために使います。OpTaliXでは厳密な幾何的モデルのかわりに、多数の光線の集合を定義することによって、3次元空間に任意の配光分布をもった放射源をモデル化します。このモデルのことをOpTaliXでは光線光源 (ray source) と呼びます。

光線光源を構成する各単光線は、それぞれ光線通過点の座標 (X, Y, Z) と、その方向余弦 (α, β, γ) 強度および波長を情報としてもっています。これらの情報を格納するファイルを“光線光源ファイル (ray source file)”と呼びます。“光線光源ファイル”内の光線情報は、32.12章に示す書式にしたがって記述されなければなりません。

光源を定義する光線群 (多数の光線の集合) を生成するソフトウェアが複数、市販されています。

- ProSourceTM (Radiant ImagingTM 社) [43] ProSourceTM が生成する光線ファイルの詳細に関する詳細は 316ページの 15.2.6章を参照してください。
- “Luca raymaker” (Opsira 社, ドイツ) [39] “Luca raymaker” が生成する光線ファイルの詳細は 317ページの 15.2.7章を参照してください。
- DIS ファイル。光学解析ソフト ASAP 標準のバイナリ形式による光線定義ファイル。拡張子は ‘*.dis’。
- あるいはアスキー形式のテキストファイルとして提供される光線データ。その書式については 522ページの 32.12を参照してください。この書式に従えば、テキストエディタを使ってユーザが任意の光線データを用意することもできます。

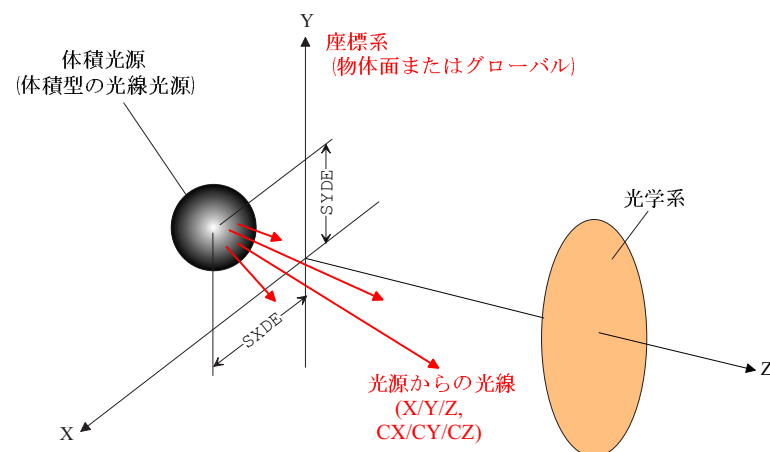


図 15.4: “光線光源”モデルにおける光線定義のための座標系

光源から放射される光線は、物体面の座標系あるいはグローバルな座標系のいずれかに対して位置づけられると仮定されています。これらの座標系に関する説明は、第 5.2章 (11ページ) を参照してください。

15.2.4 光線光源ビューワー (Ray Source Viewer)

“光線光源”は多数の光線の集合として定義された光源です。この光源を構成する一連の光線情報は、ごく一般的なアスキー形式のファイルに保存されます。ですから、光線データを通常のアスキーエディタで数値情報として参照することに全く問題はありません。しかしそれだけで光源全体の特性を把握することは簡単ではありません。

“光線光源ビューワー (ray source viewer)”は、その困難を克服するためのツールです。このビューワーを使えば、光線光源全体の特性を確認、理解することが容易になります。その上このビューワーには、光源を移動したり、回転したり、このような変換結果を新しい光源ファイルとして保存する機能もありますから、大変便利です。

ビューワーは コマンドラインからは次のようにして起動できます。

VIE SRC FIL source_file	source_file に定義されている光線光源のデータを可視化して表示します。アスキー形式のデータファイルであればファイル名に付ける拡張子は、*.txt、*.dat、*.ray のいずれかとします。一方、ASAP のバイナリ形式であれば、*.dis とします。
-------------------------	---

ビューワーをメインメニューから起動するには、次のようにたどって下さい。

Display → Ray Source Viewer

ビューワーを起動すると現れる設定ダイアログからは、光源を見下ろす視点の位置 (方位と高度) の他、拡大率を調整できます (ズーム)。また、光線の放射方向を示す矢印を表示することもできます。

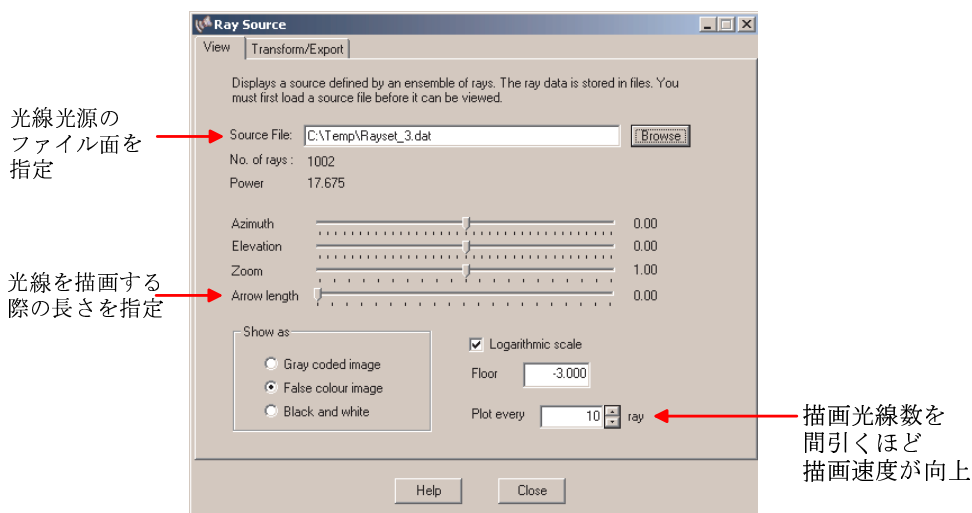


図 15.5: 光線光源を可視化するためのビューワー画面

図 15.6 には 光学を射出する各光線の通過座標と方向余弦が、強度に比例するベクトルとして示されています。

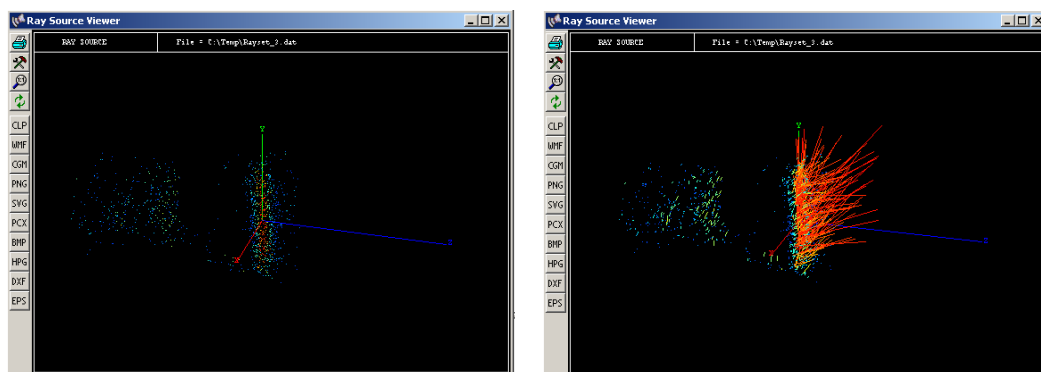


図 15.6: 光線光源の可視化結果。

左) 光線の出発点のみを描画。光線矢印長 (arrow length) は 0。

右) 光線矢印長 ≥ 0 の場合。描画される矢印の長さは光線の相対強度に対応

15.2.5 光線光源の移動、回転 (Transforming Ray Data)

光線光源ビューラーを用いれば、光線光源を 3 次元空間で移動させたり、回転させたりできます。そのための設定は、(ビューラーのダイアログ) から行います。

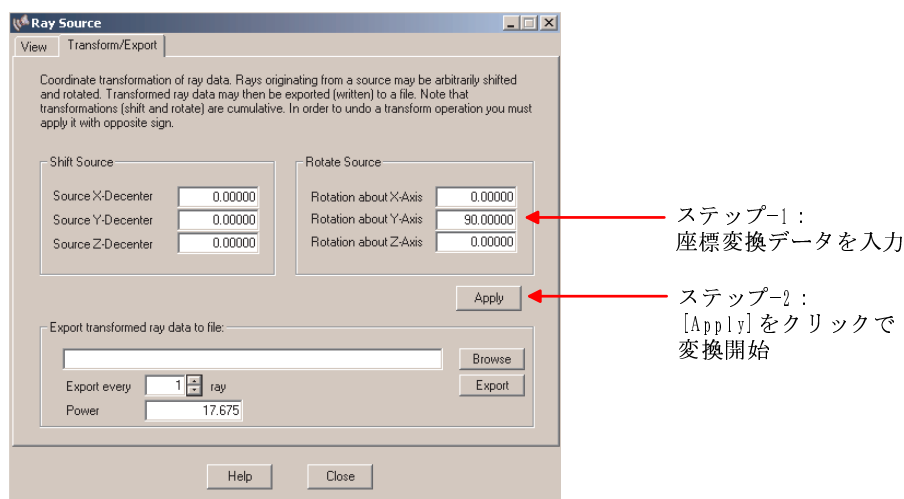


図 15.7: 光線光源の移動と回転

光線光源の移動や回転は積算的に作用します。したがって 'undo' に相当する操作は、逆符号をつけた上で、順次逆順に作用させることによって行えます。移動と回転を同時に設定した場合は、OpTaliX の内部処理の都合により、いずれかの処理が先行して行われます。その順序まで含めてユーザが正しく逆順に戻すことは困難なので、移動や回転の操作はいちどにひとつずつとすることをお勧めします。なお、操作の結果は即座にビューラーに反映されます。

光源光源に移動や回転処理を施した結果を、新たなファイルに保存することも可能です。出力先のファイル名を設定した上で、図 15.7 に示す [Export] ボタンをクリックしてください

15.2.6 ProSourceTM の光源モデル (ProSourceTM Sources)

OpTaliX は、Radiant Imaging [43] 社のソフトウェアである ProSourceTM が生成した光線光源データを、OpTaliX の光源モデルとして取り込みます。

ProSourceTM は種々の光源 (ランプ、LED、レーザダイオードなど) からの実測の放射輝度分布を多数の光線群に変換してファイルに保存する機能を有しています。その際のファイル形式は、アスキーあるいはバイナリを設定できますが、OpTaliX が読み込めるのは、現状ではアスキー形式 (拡張子は *.txt、*.dat、*.ray) および ASAP のバイナリ形式 (拡張子は .dis) のみであることに注意してください。そのことを含め、ProSourceTM からの出力を OpTaliX に適合させるためには、ProSourceTM のビューソフトウェアにおいて、次の設定とするのが妥当です (図 15.8 も参照してください)。

- ASCII format: generic
- Coordinate system: left handed
- Ray origination: undefined

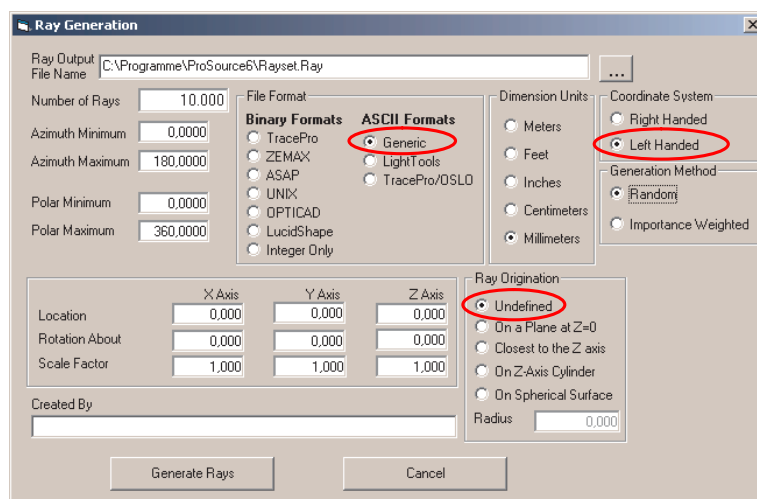


図 15.8: ProSourceTM の設定ダイアログ。赤色楕円で示す部分が OpTaliX に適合させるための設定

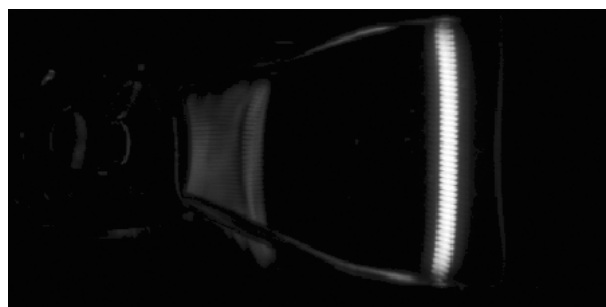


図 15.9: ProSourceTM ソフトウェアによる裸電球の表示画面

15.2.7 “Luca Raymaker” が生成した光源モデル (Generating Source Rays from “Luca Raymaker” Software)

Opsira GmbH 社 [39] のソフトウェアである “Luca raymaker” は、種々の光源、例えば電球、LED、半導体レーザ等の放射輝度分布を多数の光線のデータに置き換えて出力できます (光線光源)。

OpTaliX はそれを OpTaliX の光源モデルとして取り込めますが、その際のファイル形式はアスキー形式 (拡張子は *.txt、*.dat、*.ray) および ASAP のバイナリ形式 (拡張子は .dis) のみであることに注意してください。

15.3 照明解析オプション (Illumination Analysis Options)

ILL [?]	照明解析のための設定画面 (ダイアログボックス) を起動します。現状では、照明解析用のパラメータはこの画面からのみ設定できます。これらに対応するコマンドは今後、実装されます。
ILL SAV Y N	レンズデータをファイルに保存する際、照明解析用のパラメータもあわせて保存する場合は ILL SAV Y、しない場合は ILL SAV N。
ILL TAR sk	照明解析の対象となる面番号を設定。 例： ill tar s5 ! 第 5 面が照度解析の対象面 ill tar si ! 像面を照度解析の対象面として設定。
ILL IMX x_ext	照度解析の対象面の X 方向のサイズを全幅で設定。
ILL IMY y_ext	照度解析の対象面の Y 方向のサイズを全幅で設定。
ILL NXI X_Img_Cells	照度解析の対象面の X 方向サイズ (IMX) を NXI 個の小片に分割
ILL NYI Y_Img_Cells	照度解析の対象面の Y 方向サイズ (IMY) を NYI 個の小片に分割
ILL FIL out_file [RAW INT XLS]	解析対象面の照度分布をファイルに保存。ファイル名はフォルダ名を含めてフルパスで設定する必要があります。保存時のファイル形式は、RAW (OpTaliX の内部データ形式)、INT (INT ファイル)、XLS (エクセルファイル) のうちから選択します。デフォルトは、RAW です。

このページは白紙です。

第16章 物理光学的ビーム伝播

– Physical Optics Propagation –

カメラレンズのような“通常の”光学系では回折の影響は小さく、ビームのエッジ部分に局在化しています。このため、通常の光学モデルでは光を波面に垂直な光線群とみなして幾何的に取り扱います。つまり、始めに光線追跡によって瞳関数を求め、これを元にファースフィールド回折を解析します。この解法は 14.2.1 と 14.2.2 章に記述されているとおり波動光学的な MTF や PSF を迅速かつ的確に求めるための方法として確立されています。

しかし光路中で顕著な回折が発生する場合には、この解法は正しい結果を与えません。典型的な例にレーザー光学系の焦点に置かれたスペーシャルフィルタ (単純なピンホール) があります。幾何光学も波動光学も、いずれも幾何光学的な光線追跡をベースに組み立てた“光線光学”ですから、ピンホール上で波面収差が改善する様子を再現することができません。また、ガウシアンビームの拡がりも考慮することもできません。14.3 項で記述されているガウシアンビーム解析 (BEA) も単に理想ガウシアンビームの近軸量をモデル化しているにすぎず、波面収差さえ考慮していないことに注意してください。

ピンホールが波面収差を取り除く効果を適切にモデル化するには物理光学的な手法が必要です。これは、コヒーレント光のビーム断面内での様子を複素関数 (振幅と位相) を用いてモデル化するものです。OpTaliX の内部では、光ビームをその断面内で離散的にサンプリングされた各点における複素情報として表現し、それを 2 次元アレイに格納します。そしてアレイ全体 (ビームそのもの) が光学系の中を伝播していきます。この手法は一般に物理光学的ビーム伝搬と呼ばれます。

物理光学的な伝播は、以下の章に記述されているようないくつかのアルゴリズムを基礎としており、伝播ビームの光学的な状況に応じてこれらを組み合わせることで適切にモデル化することができます。物理的な原理の詳細は Goodman [17] の文献を参照してください。

16.1 角スペクトルの伝播 (Propagation of the Angular Spectrum)

振幅と位相からなる複素場が面を通過する現象がフーリエ変換に帰着できるとき、複素場の空間フーリエ成分はそれぞれ異なった方向に伝播する平面波として捕らえることができます。任意の面を伝播する複素場は、平面波がその伝播中に受けた位相シフト量から計算できます。

いま第 1 面に入射する波動を $U(x,y,z_1)$ とし、その面から距離 z 離れた平行な第 2 面での波動を $U(x,y,z_2)$ とします。 $z = 0$ の平面上における U の 2 次元フーリエ変換 ($\mathcal{F}$) は次式で与えられます。

$$A(f_x, f_y, 0) = \iint_{-\infty}^{\infty} U(x,y,z_1) e^{-2\pi j(f_x x + f_y y)} dx dy \quad (16.1)$$

これに対応して波動 U は、そのスペクトルの逆フーリエ変換 ($\mathcal{F}^{-1}$) により次式で与えられます。

$$U(x, y, z_1) = \iint_{-\infty}^{\infty} A(f_x, f_y, z_1) e^{2\pi j(f_x x + f_y y)} df_x df_y \quad (16.2)$$

物理的には、16.2式の被積分関数は、波数ベクトル $\vec{k}$ ($|\vec{k}| = 2\pi/\lambda$) を持つ平面波の伝播として解釈されます。 $\vec{k}$ は、図... に示すように方向余弦 (α, β, γ) をもちます。XY 面と平行な (つまり、Z = 定数であるような) 平面を通過する平面波の複素位相振幅は次式で与えられます。

$$P(x, y, z) = e^{j\vec{k} \cdot \vec{r}} = e^{\frac{2\pi j}{\lambda}(\alpha x + \beta y)} \quad (16.3)$$

複素指数関数 $e^{2\pi j(f_x x + f_y y)}$ は、下記に示す方向余弦で示される方向に伝播する平面波を表しています。

$$\alpha = \lambda f_x \quad (16.4)$$

$$\beta = \lambda f_y \quad (16.5)$$

$$\gamma = \sqrt{1 - (\lambda f_x)^2 - (\lambda f_y)^2} \quad (16.6)$$

各平面波成分の複素振幅は、 U のフーリエ空間内の空間周波数 $f_x = \alpha/\lambda, f_y = \beta/\lambda$ から評価することができます。

$$A(f_x, f_y, z_1) = \iint_{-\infty}^{\infty} U(x, y, z_1) e^{-2\pi j(f_x x + f_y y)} dx dy \quad (16.7)$$

この関数は波動 $U(x, y, z_1)$ の角スペクトルと呼ばれます。 z_1 面に平行で、距離 z だけ離れた面を通過する U の角スペクトルは次式で与えられます。

$$A(f_x, f_y, z_2) = A(f_x, f_y, z_1) \exp \left[\frac{2\pi j}{\lambda} \Delta z \sqrt{1 - (\lambda f_x)^2 - (\lambda f_y)^2} \right] \quad (16.8)$$

よってある面から別の面への複素場の伝播は、フーリエ変換 $\mathcal{F}\{U(z_1)\}$ と自由空間の伝播 $\mathcal{T}\{z_2 - z_1\}$ の演算によって記述でき、

$$U(z_2) = \mathcal{F}^{-1} [\mathcal{T}\{z_2 - z_1\} \mathcal{F}\{U(z_1)\}] \quad (16.9)$$

光の伝播を演繹的に取り扱う手順としては、まず光学系に入射する波動場をフーリエ変換 (周波数成分に分解) し、平面波の伝播による位相変化 (角スペクトル成分の相対位相) を加算し、結果として得られた分布を逆フーリエ変換します。角スペクトル法は初期波動場と伝播の結果得られる波動場がともに平行かつ平面であるという近似が成り立つ領域でのみ有効な伝播解析法ですので、これ以降は PTP 演算子 (Plane-to-plane operator) と呼ぶことにします。

平面波の方向余弦は以下の条件を満たさなくてはなりません。

$$\alpha^2 + \beta^2 < 1 \quad (16.10)$$

これを満たさない場合、エバネッセント波となり、角スペクトルモデルでは扱えません。

16.2 フレネル近似を用いた伝播 (Propagation using the Fresnel Approximation)

フレネル近似では、 $z = z_2$ における波動 $U(x, y, z_2)$ は、 $z = z_1$ における $U(\xi, \eta, z_1)$ を用いて次式から得られます。ただし、 $\Delta z = z_2 - z_1$ は波動の伝播距離です。

$$U(x, y, z_2) = \frac{e^{jkz_2}}{j\lambda\Delta z} e^{\frac{jk}{2\Delta z}(x^2+y^2)} \iint_{-\infty}^{\infty} \left\{ U(\xi, \eta, z_1) e^{\frac{jk}{2\Delta z}(\xi^2+\eta^2)} \right\} e^{-j\frac{2\pi}{\lambda\Delta z}(\xi x + \eta y)} d\xi d\eta \quad (16.11)$$

これは初期波動に 2 次の位相指数を乗じて得られた複素場のフーリエ変換に他ならず、次のようにも記述できます。

$$U(z_2) = \left[\frac{e^{jkz_2}}{j\lambda\Delta z} \right] \mathcal{Q}\{x, y, \Delta z\} \mathcal{F}[\mathcal{Q}\{\xi, \eta, \Delta z\} U(\xi, \eta, z_1)] \quad (16.12)$$

ここで、 $\mathcal{Q}\{\xi, \eta, \Delta z\} = e^{\frac{jk}{2\Delta z}r^2}$ は 2 次の位相指数、 r は $r^2 = \xi^2 + \eta^2$ です。もし結果として得られる波動場が平面ではなく、半径 z の球面とみなせる場合には積分の外にある項 $\mathcal{Q}\{\}$ は省略されます。このとき波動場は $(\xi, \eta) \ll z$ というフレネル近似の範囲に限定してではありますが、放物面上で定義されます (2 次近似)。波面の位相を評価する際、球面を基準にとるのは好ましい選択といえます。平面を基準にとるよりも位相偏差がずっと小さいからです。16.12 式はビームウエストから球面波への演算子 WTS (Waist-to-Sphere) として次式のとおりに再定義できます。

$$U(z_2) = \left[\frac{e^{jkz_2}}{j\lambda\Delta z} \right] \mathcal{F}^s[\mathcal{Q}\{\xi, \eta, \Delta z\} U(\xi, \eta, z_1)] \quad (16.13)$$

$$s = \frac{\Delta z}{|\Delta z|} \quad (16.14)$$

球面波からビームウエストへの伝播 STW (Sphere-to-Waist) は、逆演算をすることによって得られます。

$$U(z_2) = \left[\frac{e^{jkz_2}}{j\lambda\Delta z} \right] \mathcal{Q}\{x, y, \Delta z\} \mathcal{F}^s[U(\xi, \eta, z_1)] \quad (16.15)$$

16.13 式および 16.15 式内の e^{jkz_2} の項は、定数位相項であるので通常は無視できます。

高速フーリエ変換 (FFT) アルゴリズムを使用して 2 次元複素アレイによる場を表現するために、 z_2 の平面または球面でのサンプリング間隔は一定ではなく、次式の関係で線形にスケールされます。

$$\Delta x = \frac{\lambda |\Delta z|}{N \Delta \xi} \quad (16.16)$$

ここで N は、アレイ内のサンプリング数です。

16.3 境界面での伝播 (Propagation through Optical Interfaces)

均質な空間の伝播には、角スペクトルおよびフレネル伝播を使用します。光学境界面においては、光学部品 (レンズ、回折面、非球面など) 通過後の複素振幅を計算するのに、光学部品の複素伝達関数が必要となります。これらの関数は厳密近軸解を除いて解析的には知られていないので、古典的な光線追跡と波動光学の組み合わせが用いられます。そのためには、自由空間の複素伝播情報の光線への変換と、逆に光学境界面での屈折や反射の結果として生じる光線から複素伝播への変換が必要です。

16.3.1 複素場の情報から光線への変換 (Converting Field into Rays)

角スペクトルやフレネル伝播に関する演算の結果として得られた複素振幅場を球面上または平面上で考えると、データポイントの2次元アレイ座標 (x, y) における複素波振幅は次式で与えられます。

$$U(x_m, y_n) = a(x_m, y_n) e^{j\Phi(x_m, y_n)} \quad (16.17)$$

ここで a は振幅、 Φ は $2\pi/\lambda$ を単位とした位相です。座標 (x_m, y_m) は等間隔に切つてあると仮定します。波動光学的な伝播では位相 $2\pi \times$ 整数 からの余剰分が伝わるので、位相接続法アルゴリズムを併用する必要があります。ノイズが無い場合には、これは簡単に実行できます。グリッドデータを通過する任意の連続経路を追うために次の判断基準が適用されます。

$$\Phi_{k+1} = \begin{cases} \Phi_k + \Delta_k - 2\pi & \Delta_k > \pi \text{ の場合} \\ \Phi_k + \delta_k + 2\pi & \Delta_k < \pi \text{ の場合} \\ \Phi_k + \delta_k & \text{上記以外} \end{cases} \quad (16.18)$$

ここで k は経路の番号、 Δ_k は近接したピクセルの位相差です。位相接続により光線方向ベクトル $\vec{v}$ は、次のように与えられます。

$$\vec{v} = \frac{\lambda}{2\pi} \left[\frac{\partial \Phi}{\partial x}, \frac{\partial \Phi}{\partial y}, \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 - \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)^2 - \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)^2} \right] \quad (16.19)$$

16.3.2 光学境界面における伝播 (Transfer at Optical Interfaces)

入射側の参照球面から発した光線は、幾何光学な手法を用いて光学境界面を通過し、出射側の参照球面まで追跡されます (図 16.1 を参照)。一般に入射側の参照球面も出射側の参照球面も光学境界面のすぐ近くに存在します。

波面収差に相当する位相 Φ は、入射参照面と出射参照面間の光路長 L から得られ、複素入射振幅に加えられます。

$$L = \frac{2\pi}{\lambda} \sum n_i \cdot L_i \quad (16.20)$$

ここで n_i は部分経路 L_i に沿った屈折率です。全光路長はある特定の光学境界に関するだけとは限らず、一般には一連の複数境界面を含みます。

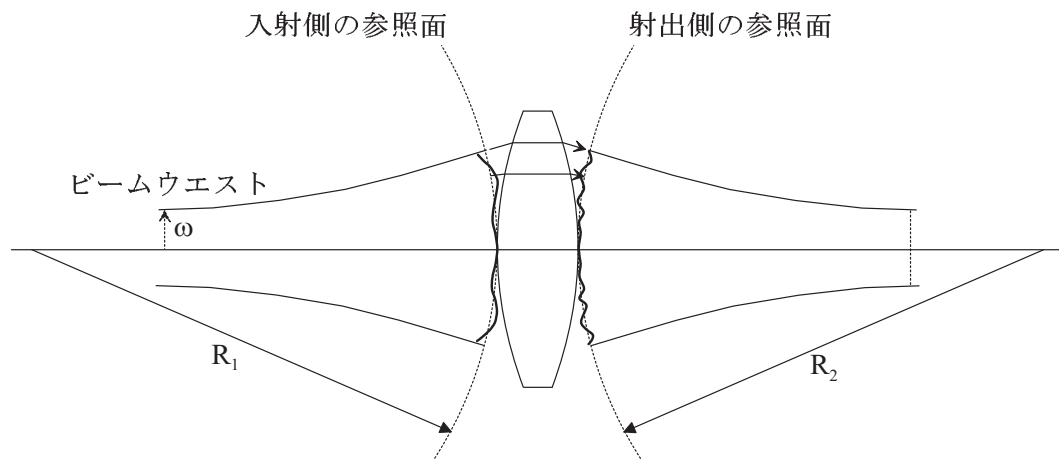


図 16.1: 回折を基礎にしたビーム伝播と幾何学的光線追跡の関係を示すガウシアンビームの例

16.3.3 光線情報から複素振幅場への変換 (Converting Rays into Field)

光路の幾何光学的な追跡の節で導入した位相差 $\Delta\Phi$ は、入射側参照球面と射出側参照球面の間の光路長から導き出され、複素振幅の位相成分に加算されます。したがって、出力複素振幅場の実部と虚部は次式で与えられます。

$$R = a(x_m, y_n) \cos(\Phi + \Delta\Phi) \quad (16.21)$$

$$I = a(x_m, y_n) \sin(\Phi + \Delta\Phi) \quad (16.22)$$

もし、出力側アレイのメッシュが入射側に対して著しく変形する場合には、各矩形グリッドのデータポイントを再サンプリングする必要があります。

16.4 伝播のコントロール (Propagation Control)

伝播解析に使用すべきアルゴリズムを選択するのに、擬似ガウシアンビームを使用します。このビームはほぼ正確に実ビームを近似していると考えられ、また空間内のどの点に対してもビーム幅の値を容易に求められるという性質をもっています。このため複素振幅場の情報を格納する 2 次元アレイの大きさを決定する手段として有効です。どんな複素入射振幅もスポット半径 ω 、位相半径 R のガウシアンビームにほぼ一致します。これらの値からガウシアンウエストサイズ ω_0 とウエストまでの距離 z_w が計算できます。これらを用いることで、入射ビームの曲率半径 R_1 は次式によって得られます。

$$R_1(z) = z \left[1 + \left(\frac{\pi \omega^2}{\lambda z} \right) \right] \quad (16.23)$$

ここで z はビームウエストからの距離です。曲率半径 R_2 はレンズの公式から計算されます。

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{f} \quad (16.24)$$

ここで、 f は光学境界面を作る光学エレメントの焦点距離です。回折によりビームが拡がるので、2次元アレイは一杯に満たされることがあります。幸いニアフィールド伝播(角スペクトル)とファーフールド伝播(フレネル)はアレイのサイズをコントロールして結合できますので、有限サンプリングによって生じるエイリアシングは十分に抑制できます。ニアフィールド伝播(角スペクトル)のサンプリング間隔は一定ですが、ファーフールド伝播(フレネル)のサンプリング間隔は伝播距離 Δz に比例して 16.16式によりスケールアップされます。一定間隔サンプリング法とリニアスケールサンプリング法のうち、用いるべきサンプリング法が変移する光軸上の点は、レーリー領域 $z_R = \omega_0^2 \pi / \lambda$ によって決めています。この方法によれば参照平面をレーリー領域内にとり、参照球面をレーリー領域外にとる場合に位相誤差が最小になります。図 16.2はレーリー領域内外のアレイサイズを示します。

空間内のある点から別の点への複素振幅の変換を適切に実行するには、以前に定義した基本演算子、「平面から平面 (PTP)」、「ウエストから球面 (WTS)」、「球面からウエスト (STW)」を適切に組み合わせなくてはなりません。これらの演算子を使って、ビーム伝搬において生じ得るすべてのケースをあらためて 4 つの演算子として定義しなおすと (図 16.2参照)、

$$\begin{aligned}
 \text{II}(z_1, z_2) &= \text{PTP}(z_2 - z_1) && \text{inside } z_R \text{ の内側から } z_R \text{ の外側まで} \\
 \text{IO}(z_1, z_2) &= \text{WTS}(z_2 - z_\omega) \text{PTP}(z_\omega - z_1) && \text{inside } z_R \text{ の内側から } z_R \text{ の外側まで} \\
 \text{OI}(z_1, z_2) &= \text{PTP}(z_2 - z_\omega) \text{STW}(z_\omega - z_1) && \text{inside } z_R \text{ の外側から } z_R \text{ の内側まで} \\
 \text{OO}(z_1, z_2) &= \text{WTS}(z_2 - z_\omega) \text{STW}(z_\omega - z_1) && \text{inside } z_R \text{ の外側から } z_R \text{ の内側まで}
 \end{aligned} \tag{16.25}$$

となります。基本演算子はそれぞれ 16.9, 16.13そして 16.15式で定義されています。

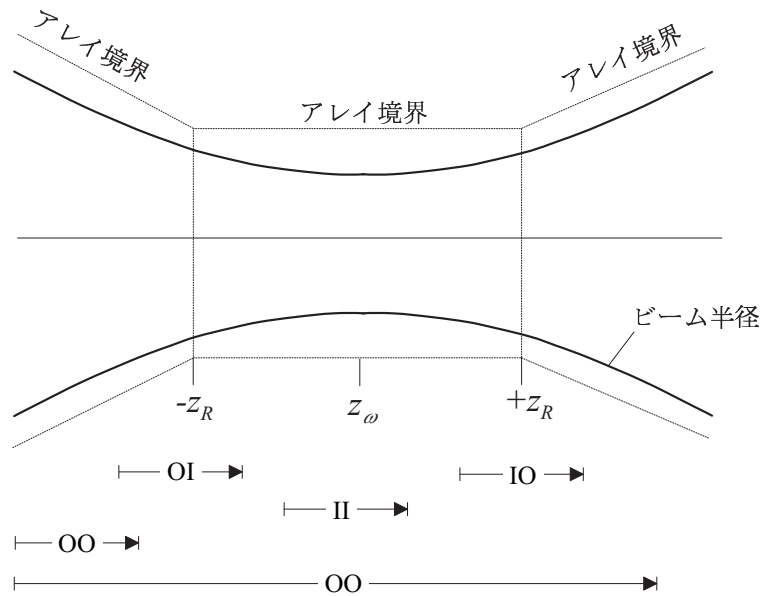


図 16.2: レーリー領域内外でのアレイサイズの変化。レーリー領域を通過するビームの、4 つの異なる伝播パターンを II, IO, OI, OO で示す。

上記で説明したアルゴリズムの実際の使用にあたっては、以下の 3 つの主要事項を考慮する必要があります。

- サンプリング間隔
- ビームサイズに対するアレイのオーバーサイジング
- 参照面の使用

サンプル間隔 Δx と Δy が、描写できる最大空間周波数を決定します。 M と N をそれぞれ x および y 方向のサンプル点数とすると、全アレイに含まれる空間領域は $M\Delta x$ と $N\Delta y$ となります。サンプル間隔、つまりアレイサイズはビームの 3 から 5 倍の大きさになるように選択されなくてはなりません。この倍率係数の適正值は入射ビームのプロファイルに大きく依存します。ガウシアンビームの場合には係数 3 が適正ですが、トップハット形状の場合の推奨値は 5–10 です。もしアレイの幅が小さすぎる場合には、エイリアシングが生じます。エイリアシングは、離散的サンプリングであることと計算するアレイが有限範囲であることに起因して生じます。コリメートされたビームは伝播により拡がり、その領域はアレイの境界を越えて大きくなることがあります。アレイから溢れたビームは“折り返し”を生じて、エイリアシングを引き起こします。

16.5 コマンド概要 (Command Overview)

EDI BPR	ビーム伝搬パラメータを編集するためのダイアログボックスを起動します。OpTaliX の現行バージョンでは、パラメータはダイアログボックスからのみ設定可能であり、コマンドラインから設定するためのコマンドはまだ実装されていません。各パラメータに関する詳細説明は、16.6 章 (伝搬パラメータ) を参照してください。
BPR	ビーム伝搬計算を実行し、結果を出力します。

16.6 伝搬パラメータ (Propagation Parameters)

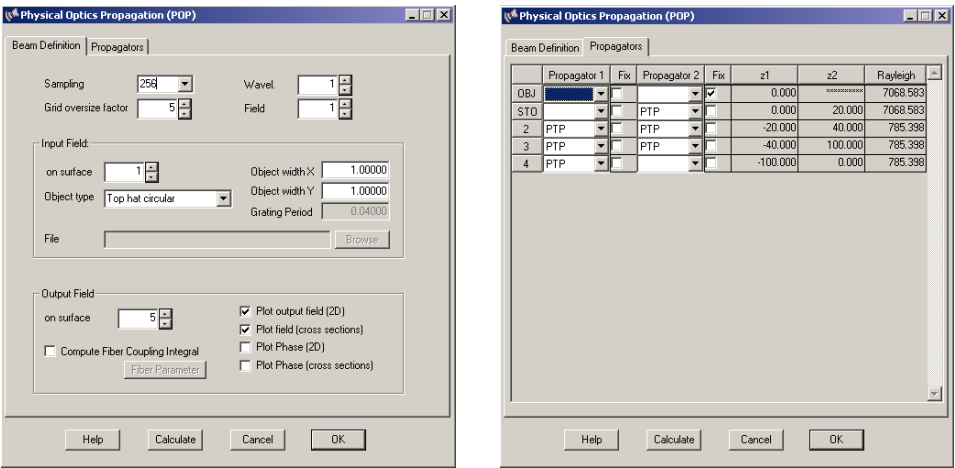


図 16.3: 自由空間の伝搬に関するパラメータ設定画面の例

図 16.3 に示す自由空間の伝搬に関するパラメータ設定画面において、'Beam Definition' と表記されたタブは、ビーム伝搬パラメータならびに その補助的パラメータを設定するものです。

ビーム設定タブ (Beam Definition Tab) :

Sampling: データグリッドに渡るサンプリング点の数を設定します。この数は計算結果に人為的な影響を与えることに注意してください。一般には大きな数を指定するほど計算精度が向上します。比較的小さな数 (たとえば ≤ 128) は、ガウス分布のように光源が高空間周波成分を含まないなめらかな特性を有している場合や、あるいはビーム発散角が小さな場合のみ、指定してください。一方、いわゆるトップハット型の光源分布はそのエッジ部に高空間周波数成分を含んでいるため、サンプリング点として比較的大きな数 (たとえば ≥ 256) の設定をお勧めします。なお、計算時間がサンプリング数の自乗に比例することに注意してください。たとえばサンプリング点が 128 点の場合と比較すると、256 点を指定した場合には 4 倍の計算時間が必要になります。

Grid oversize factor: ビーム寸法に対するアレイの物理サイズを設定します。アレイは常にビーム全体を覆う以上に大きくなければならず、その割合はこのパラメータ、'oversize factor' を用いて設定します。こうすることで、ビームプロファイルに含まれるすべての空間周波数成分がアレイに含まれることを確実なものとしします。'oversize factor' の適値は、ビームプロファイルによって異なりますが、典型的には、ガウスビームの場合で 3-5、トップハットの場合で 8-10 程度です。

Object type: あらかじめ定義したビームプロファイルを選択してファイルから読み込みます。

Object width: X 方向 および Y 方向の光源ビームの広がりをも物理的な寸法の最大値として設定します。ビーム伝搬に用いられるアレイの物理的な寸法はしたがって次式で記述されます。'grid oversize factor' * max(object_width_X, object_width_Y)。

Input field surface: 光源ビーム (物体) が置かれる面の番号を設定、ビームの伝搬解析は、この面を出発面とします。

Grating period: この項は、振幅が格子状に変化する光源 (amplitude grating source) の場合のみ設定できます。X 方向に対する 1 周期の長さを設定します。

Output field surface: 物理光学的なビーム伝搬の計算を終える面の番号を設定します。ここで指定した面上の複素場の成分が表示されます。

Fiber Coupling Integral: 計算の結果得られた複素場と受光ファイバのモードプロファイルを畳み込み、回折効率を求めます。

プロパゲータ・タブ (Propagators Tab) :

Propagator: 全部で5種類のプロパゲータ (伝搬演算子) があります。

PTP 演算子: 距離 z に渡る平面場から、他の平面場へのビーム伝搬を角スペクトル法 (16.1章) で求めます。

WTS 演算子: ウェストから球面への伝搬です。ビームウェスト近傍の平面場から参照球面までの距離 z に渡る伝搬を、フレネル近似 (16.2章) により求めます。ここで距離 z は、レーリー領域よりも2倍以上大きくなくてはなりません。

STW 演算子: 球面場からウェストへの伝搬です。ビームウェストから離れた球面上に定義された複素場から、距離 z にわたる平面場への伝搬をフレネル近似により求めます (16.2章を参照)。ここで距離 z は、レーリー領域よりも2倍以上大きくなくてはなりません。

Ray 演算子: 幾何光学的な光線追跡を、距離 z に渡って行います。回折の影響は全く考慮されません。この演算子は、屈折率分布型材料 (GRIN) に対して用いて下さい。GRIN 媒質の内部では、FFT を使った伝搬はうまく機能しないことに留意して下さい。他の伝搬演算子と比較すると高速です。

Blank : ブランクを設定した場合には伝搬演算は実行されません。

Fix: ここにチェックをいれると、もはや演算子の選択は固定されそのままで変化しなくなり自動的な演算子の選択はされなくなります。下記に示す注記を参照してください。

注記:

OpTaliX はビーム伝搬演算子を実行する前に、あらかじめ予備的な光線追跡を行います。その光線は近軸ガウスビームに相当しており、ビームウェストの位置をきわめて高速に求め、レーリー領域を計算し、光学面に対する参照球面/参照平面を決定します。ここで得られる情報に基づいて最適な演算子が選択され、その結果がダイアログボックスに表示されます (図 16.3の右側)。この選択はユーザによって変更可能です。'Fix 1' または 'Fix 2' の欄を使って、変更すべき演算子を特定してください。

面間の伝搬は典型的には2段階を経て実行されます。その際、2つの伝搬演算子が続けて用いられます。このことを図 16.4を使って具体的に説明します。

球面場から球面場への演算子は、OpTaliX の現在のバージョンには実装されていないので、複素場は、まず、第2面の参照面から距離 z_1 だけ離れたビームウェストに向かって STW (sphere-to-waist, 球面からウェスト) 演算子によって伝搬します。その上で、複素場は距離 z_2 だけ離れた第3面の参照球面にむかって WTS 演算子によって (負の方向に向かって) 伝搬します。

これが、BPR のダイアログボックス (図 16.3) において1つの面に2つの伝搬演算子を設定しなくてはならない理由です。

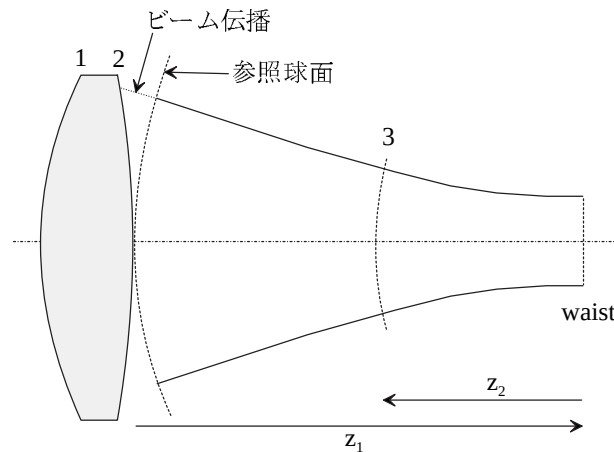


図 16.4: 第 2 面から第 3 面への伝搬

レーリー z_R は、適用すべき演算子を判断するための材料として有用です。

$$z_R = \omega_0^2 \pi / \lambda \quad (16.26)$$

ここで ω_0 はビーム断面の半径です。レーリー領域はビームの波面が平面であると近似することが妥当であると見なされる、ビームウエスト周辺の光軸に沿った範囲を示しています。レーリー領域の外側では波面はもはや平面として近似できませんから、ビームの広がりや波面の曲率を考慮しなくてはなりません。このような場合に考慮すべきビーム伝搬のパターンには 4 つのタイプがあり、それぞれ伝搬演算子が設定されています。その詳細は 16.25 式や、図 16.2 に示されています。

そのうち、もっとも単純なケースは、'inside-inside' (II) と呼ばれる伝搬です。これは、伝搬距離 z がレーリー領域の幅 ($\pm z_R$ よりも狭い場合に相当します。この場合、波面の曲率半径は無限大かあるいは、ほぼ無限大です。したがってこの領域内を伝搬するビームは、平面 (曲率半径無限大) 間の伝搬モデルである **角スペクトル法** を用いて良好に近似できます。この伝搬はしたがって、**PTP** (plane-to-plane、平面-平面) と呼ばれます。

もし伝搬距離がレーリー領域 z_R を越えるならば、それは **OI** ('outside-inside') または、**IO** ('inside-outside') と呼ばれる伝搬に相当します。OI における伝搬の出発面、および IO における伝搬の終端面では波面の曲率半径はもはや平面ではありません。このような場合には伝搬子としてフレネル近似が用いられ、それぞれ球面からビームウエストへの伝搬 (STW)、ビームウエストから球面への伝搬が取り扱われます。

16.7 解析例 (Examples)

ここでは、コヒーレント (単色) ビームが光学系を伝搬する様子をシミュレーションするためのステップを順をおって例示します。ここに示されるすべての OpTaliX ファイルは、次のフォルダに格納されています。

```
¥optalix¥examples¥pop¥.
```

16.7.1 自由空間における伝搬 (Free-Space Propagation)

図 16.5 は、平面波がいくらかの距離だけ離れた自由空間を伝搬する様子を計算するための光学配置を示しています。この配置は次の OpTaliX ファイルに設定済みです。

```
¥optalix¥examples¥pop¥freespace.otx.
```

第 1 面上にトップハット型の振幅を持ち断面が直径 1mm の円形であるようなビームが存在するとして、ここからの伝搬を、第 1 面からそれぞれ異なる位置におかれた後続面 (第 2 面から 5 面上) 上で計算します。



図 16.5: 光学配置の例。単純な自由空間伝搬の場合。

メインメニュー上の BRP アイコンをクリックするか、あるいはコマンドラインから `EDI BPR` と入力することで起動する BRP のパラメータ編集ダイアログには、この例に適した推奨パラメータが表示されています。ビームの出発点は第 1 面であり、ビーム断面が円形で、その直径が 1mm であることや、振幅がトップハット型であることが記述されています。平面波から計算を始めるので、ビームウェスト位置もまた、第 1 面にあるとしています。グリッドアレイの大きさは 256 x 256 であり、ビーム径の 5 倍の領域をカバーさせる指定となっています。

物理光学的伝搬の計算を終える面、つまり計算結果である場を表示する面は、第 1 面から第 5 面までの間で任意に選択できます。結果は、図 16.6 のように得られます。

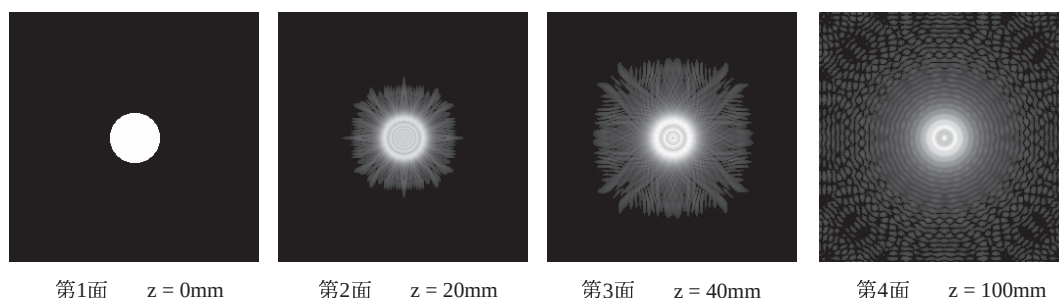


図 16.6: さまざまな伝搬距離に対する場

16.7.2 タルボットの干渉縞 (Talbot Imaging)

タルボットの干渉縞は、どんな周期構造によっても得られます。任意の指定距離において波長と周期構造 (典型的には振幅グレーティング) の周期によって定義され、明瞭な像として現れます。

この像の多様性は、周期構造さえあればレンズの助けを借りなくとも現れます。ただしその像を観察するには像位置 z が下記条件式を満たさなくてはなりません。

$$z = \frac{2nL^2}{\lambda} \quad (16.27)$$

ここで、 L は、周期構造の周期を表します。 n は任意の整数です。

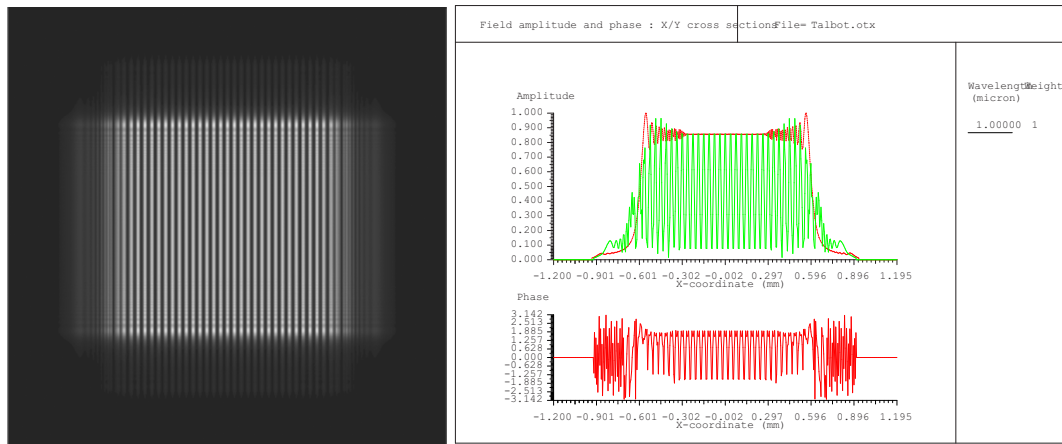


図 16.7: タルボットの干渉縞の解析例

周期構造の大きさが有限であることに関連して、タルボット像にサイドローブが現れることに注意してください。

16.7.3 結合効率の評価例 (Coupling Efficiency Example)

ここでは、シングルモードファイバの出力を、他のシングルモードファイバに導入するための回転対称光学系を例にとり、結合効率の評価について示します。この例で用いるレンズデータは下記にあります。

`¥optalix¥examples¥pop¥coupling-efficiency.otx.`

すでに 14.4 章 (294 ページ) に示されているとおり、ファイバの幾何光学的な光線追跡のアルゴリズムに基づく結合効率 (CEF: fiber coupling efficiency) は、光学系の内部で生じる波動光学的な影響を無視できる場合のみ、妥当な評価結果を与えます。これに対しこの節では、光学系の内部で生じる波動光学的な振る舞い顕著な影響を与えるケースを取り扱います。2 枚の非球面レンズが 200mm の距離を隔てて対向しているとします。レンズの径が小さいので回折の影響が現れ、射出光は自由空間を伝搬する間にいくらか発散します。その結果、受光側のレンズに到達したときにはビームの直径は幾何光学的な光線追跡で予想される径よりも大きくなっていて、かつその波面も、もはや平面波ではなくなっています。そのため、幾何光学的な評価によってスポットサイズが最小となる位置とは別の位置に最良集光位置が移動することになります。

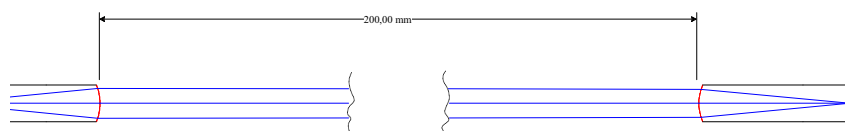


図 16.8: ファイバカップリング用 等倍率リレー光学系

光源側、および受光側のファイバーは、標準的に用いられているコーニング社製の SMF-28 を例に

とりました。このファイバのモードフィールド径は $5.2\mu\text{m}$ です。

このファイバはシングルモード伝送用なので、そこから出射するビームはほぼガウス分布とみなせます。そこで期待すべきビームパラメータをざっと調べておくために、あらかじめガウスビーム解析 (14.3章の BEA オプションを参照) を実行します。

Gaussian Beam Analysis:

Wavelength = 1.55000 micron
M-squared = 1.00000

Y/Z-Plane :

#	Spot Size SRY	Waist Size WRY	Waist Dist ZWY	Divergence GDY	RFR Radius RCY	Rayleigh R. RRY	Fresnel No.
0	0.005200	0.005200	0.000000	0.094598		Inf	
1	0.005200	0.005200	0.000000	0.065612	-0.14440E+21	0.054806	0.003
2	0.338163	0.294006	99.561456	0.001678	0.40786E+03	175.198763	0.738
3	0.294007	0.294006	-0.438544	0.001678	-0.69992E+05	175.198763	0.558
4	0.338893	0.005189	5.146211	0.065750	0.51474E+01	0.054574	14.399
5	0.005189	0.005189	0.000146	0.094797	0.20344E+02	0.054574	1000000.000
6	0.005189	0.005189	0.000146	0.094797	0.20344E+02	0.054574	

この解析からビームの集光位置 (ここではビームウエストの位置) が、実質的に第6面の位置に一致することがわかります。しかしながら、幾何光学的な評価 (スポットダイアグラムや収差図) をみれば分かりますが、この系には明らかなデフォーカスが存在します。

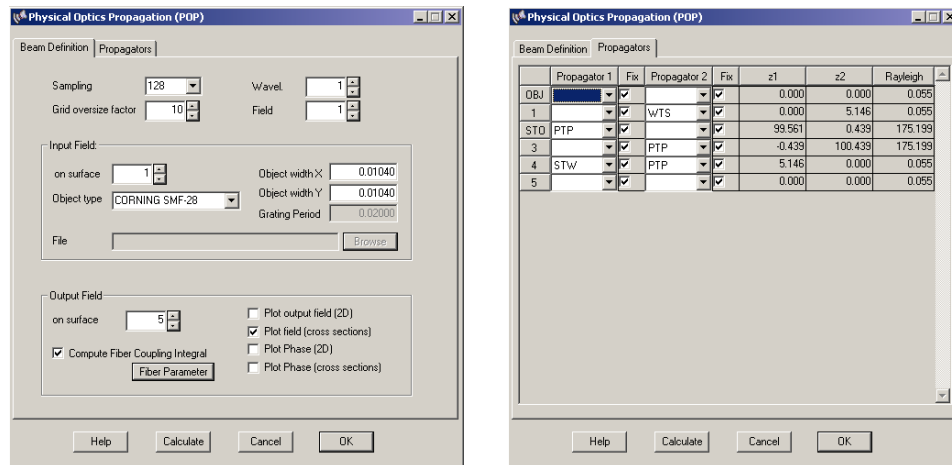


図 16.9: 物理光学的な伝搬を考慮した結合効率のダイアログ

この例はまた、レーリー領域を適切に認識して伝搬子を設定するための、課題演習ともいえます。第2面から第3面までの伝搬距離は 100mm を越えていますが、レーリー距離 $z_R = 175.199\text{mm}$ と比較すると、明らかにその内側にあります。したがって、選択すべき演算子として OpTaliX が提案するのは PTP 演算子です。しかしながら、BEA オプションによる解析結果はビームウエストがちょうど第3面の位置にあるのではなく、それよりも 0.439mm 手前にあることを示しています。

伝搬は常にビームウエストに対して求められるので、計算プロセスは2つのステップに分割されます。第1ステップの PTP は伝搬距離 99.561mm に対して適用され、第2ステップの PTP は、 0.439mm の伝搬距離に対して適用されます。第3面が十分にビームウエストに近いので、第2ステップの伝搬を無効にセットします。そのための操作は、第3面の伝搬子の設定欄を空欄に設定し、‘FIX’欄にチェックをいれます。

この操作により計算時間を節約できます。OpTaliX の現行のバージョンでは、このような状況に対応するのはマニュアル操作によるしかありませんが、将来のバージョンでは自動化される予定です。

受光エネルギーの計算するために、受光側のファイバの仕様も規定する必要があります。ダイアログボックスの‘Output Field’と表記された部分に‘Fiber Parameter’ボタンを押して下さい。そうすると新たにもう一つ、ダイアログが開きます。これは幾何光学的な追跡に基づく CEF オプションで使われているダイアログそのものですが、ここではそのうち受光ファイバに関する設定だけを編集でき、光源側ファイバのパラメータ (つまり光源としての場を表すパラメータ) は灰色に塗りつぶされています。これは光源に関するパラメータの設定欄が、BRP のダイアログに設けてあるからです。

テキストウインドウへの出力は次のとおりです。

BEAM PROPAGATION :

Source Parameter:

```
Object width : X =      0.01040   Y =      0.01040
Object patch : X =      0.10400   Y =      0.10400
Sampling      : 128
Source type   : CORNING SMF-28
```

```
Linear coupling efficiency :    0.9935
Coupling loss              :   -0.0283 dB
```

すでに 331 ページで実行したガウスビーム解析 (BEA) で予測されたとおりカップリングはほぼ完全に行われています。これとは対照的に CEF オプションによる幾何光学的な解析結果は、相対的に大きな損失を示しています。これは幾何光学的なデフォーカスの影響が現れているからです。

```
Linear coupling efficiency :    0.619749
Coupling loss              :   -2.0778 dB
```

16.8 制約事項 (Restrictions)

BPR オプションが扱う回折ビーム伝搬は完全なコヒーレント (単色) 放射を前提としています。したがって、部分コヒーレントあるいは非単色光はこのオプションでは解析できません。また現行の OpTaliX は、共軸系を伝搬する軸上ビームについてのみ妥当な結果を出力します。偏芯系あるいはスキュービームには適用できません。これらに対する対応は、将来のリリースにおいて実施されます。

第17章 透過率解析 – Transmission Analysis –

光学系を通過する単光線あるいは光束の透過率を評価します。偏光の影響も考慮されます。透過率は、光学系を射出する光線の強度を入射強度に対する比として求めるものです。透過率の計算にあたっては、次の各現象の影響が考慮されます。すなわち、アパーチャおよび遮蔽に起因する光線のクリッピング (ケラレ)、全反射等による光線のロスコーティング (光学薄膜) あるいはガラス表面における表面反射損失、材料の内部吸収損失、瞳のアポダイゼーション、面強度フィルタ、光源から放射される偏光の状態が考慮されます。

OpTaliX には透過率の評価に影響を与えるオプションが 4 つあります (図 17.1 も参照)。

1. 光学材料の内部吸収損失を考慮するか否かを **TRA** コマンドで指定できます。**TRA yes** の場合には、内部吸収損失を考慮した評価を実行します。**TRA no** の場合には、内部吸収損失を考慮しません。
2. 屈折率境界面 (レンズ表面) の表面反射損失を考慮するか否かを **POL** コマンドで指定できます。**POL yes** の場合には、表面反射損失が考慮されます。**ATT** コマンドを用いて屈折率境界面に薄膜コーティングのデータを貼り付けてある場合にはコーティングの分光反射特性も考慮されます。コーティングを貼り付けてない場合には、面のフレネル反射損失が考慮されます。いずれも偏光成分の影響を含めた評価です。**POL no** の場合には、表面反射損失の影響は考慮されません。この場合には屈折率境界面の表面透過率は常に 100% であるとみなされます。
3. 面の強度フィルタ (面のアポダイゼーション) を使えば、光路ごとに異なった透過率を定義できます。強度フィルタは **INT** ファイルから読み込まれ、所望の光学面に貼り付けられます。
4. 光学系全体としての瞳面には、**PUI**, **PUX**, **PUY** コマンドで定義されるガウシアン・アポダイゼーションを定義できます。この機能は例えばレーザのように放射輝度の空間分布が一様ではない光源をモデル化するために用いられます。

たとえば、材料の内部吸収損失と表面反射損失の両方を透過率の評価に反映させるには、次のとおり 2 つのオプションを有効にしなくてはなりません。

TRA yes

POL yes

一方、材質の内部吸収損失の影響を考慮し、かつコーティングの有無に関わらず全ての面の表面反射損失を無視する (レンズ表面の透過率を 100% とみなす) 場合の指定は下記のとおりです。

POL yes を指定すると OpTaliX の内部では偏光光線追跡の機能が起動されます。したがって光源の偏光状態にあわせて、無偏光、部分偏光、完全偏光のいずれをも取り扱えます。デフォルトでは、光源は無偏光であると仮定されます。光源の偏光状態を変更する方法については 18 章をご覧ください。

光学系を構成する各光学材料の内部吸収損失は、光学材料データに基づいて計算されます。吸収損失の程度は光学材料の種類、光線の波長、それに光学材料を通過する光路長に依存します。光学材料

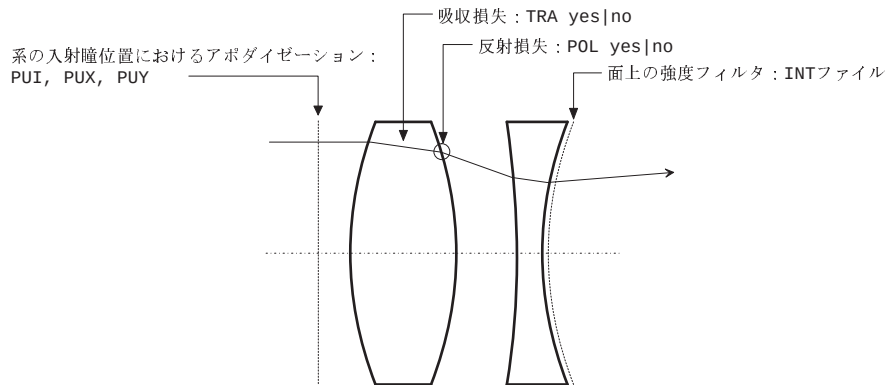


図 17.1: 透過率評価への影響

データに光学材料の吸収データが登録されていない場合、あるいは仮想ガラスのようにもともと吸収データが定義されていない場合には、その材料に関する吸収損失はゼロとして扱われます。

17.1 透過率計算におけるコーティングおよび接合面の取り扱い (Effect of Coatings/Cement on Transmission)

デフォルトでは、ガラスと空気との境界面 (レンズ表面) にはコーティング処理がされていないと仮定しています。したがって偏光光線追跡が有効 (POL yes) になっていれば、特に指定のない限り、各境界面ではガラスと空気の屈折率差に対応するフレネル反射率が計算されることになります。同様に特別に指定のないミラー面であれば反射率は 100% であると仮定されます。しかし一般には光学面の表面には単層あるいは多層膜コーティングが施されます。その効果を正確に透過率の計算に反映させるには、コーティングの構成データを 383 ページに記載の ATT コマンドで所望の面に貼り付けます。コーティングの構成データの作成方法、最適化および評価、ファイルからの読み込みおよび保存方法は 20.1 章を参照してください。なお、いったん貼り付けたコーティングの構成データを削除するには、DEL MUL コマンドを使います。

デフォルトのコーティングを、透過率解析のために各面に貼り付ける事もできます。これは近軸計算における参照波長を主波長とする MgF_2 単層コーティングです。デフォルトコーティングは、次のコマンドを使って設定します。(383 ページに記載の ATT コマンドも参照してください)

```
ATT si..j|k DEF
```

または、面エディタのコーティング設定の欄に DEFCOAT と設定する方法もあります (図 17.2)。

ガラス接合面は、コーティングされていないものと仮定されます。したがって、透過損失は接合面の両側の光学材料の屈折率から計算されるフレネル反射損失によって生じます。接合面の効果を正確にモデリングするには、ガラス面を分離し、その間を実際に即した厚さの接合材料で埋めます。

17.2 主光線に沿った透過率 (Transmission along Chief Ray)

デフォルトでは、透過率が関連するすべての評価において主光線の光路に沿って求めた透過率だけが評価されます。つまり透過率は画角ごとに 1 本の光線追跡だけで評価され、入射光束全体が与える

デフォルトコーティング (MgF_2 単層膜) を
第1, 2面に定義

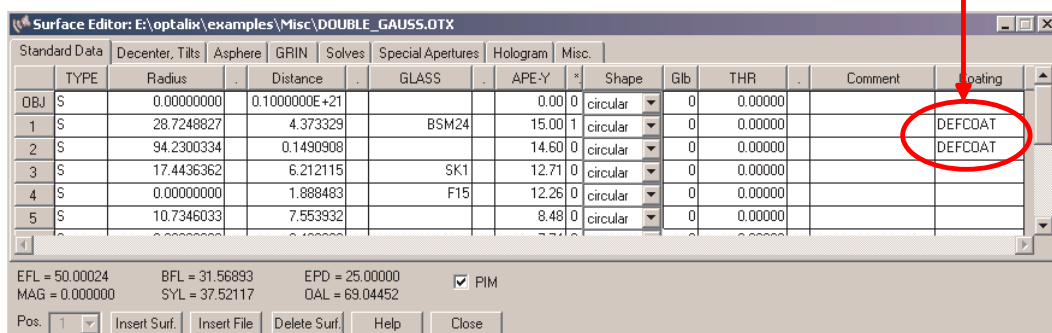


図 17.2: 各面にデフォルトのコーティング (MgF_2 単層膜) を定義した様子

影響は取り扱われません。もし解析の対象となる光学系が大きな開口 (明るい Fno) を持っていたり、広い画角をもっている場合には、デフォルトの設定ではなく、開口全体を評価の対象にしてください (詳細は 17.3 章)

TRA yes/no Includes bulk	透過率の評価の際、光学材料の内部吸収損失を反映させるかどうかを指定します。 yes を指定すると後続のすべての評価において吸収損失が考慮されます。 no を指定した場合には吸収損失は考慮されません (吸収はゼロとみなされます)。
TRA STEPS n_steps	あらかじめ設定された波長範囲を何分割するかを設定します。下欄で説明する TRA LAM コマンドに対する設定です。
TRA LAM	主光線の経路に沿った透過率の波長依存性をプロット。瞳全体を満たす光束に渡る平均値を評価の対象にする方法は 17.3 章を参照。
TRA FLD	主光線の経路に沿った透過率の画角依存性をプロット。瞳全体を満たす光束に渡る平均値を評価の対象にする方法は 17.3 章を参照。
TRA SUR	全画角、全波長に対する主光線の透過率を各面の寄与に分解してプロット。瞳全体を満たす光束に渡る平均値を評価の対象にする方法は 17.3 章を参照。
TRA NUM	光学系で定義された全画角と全波長に対する主光線の透過率をプリント。瞳全体を満たす光束に渡る平均値を評価の対象にする方法は 17.3 章を参照。
TRR	ユーザが定義したプロット光線 (189 ページの SET RAY, SET FAN コマンドを参照) の光路に沿った透過率をプリント。

例:

単純な分離型ダブレット (2 枚の単レンズが空気スペースにより隔てられたレンズ構成) がすでに設定されているとします。その第 1 面と第 2 面に反射防止膜 (AR コート) “ar_1” を ATT コマンドで、貼り付けます。このコート膜のデータは OpTaliX のコーティングライブラリに登録された 3 層の W-タイプコートです。第 3 面と第 4 面は、コーティング処理がされないものと仮定します。この場合のコマンド列は次のとおりです。

```
att s1..2 file ar_1 ! コート膜データ“ar_1”を第1面と第2面に貼り付け
tra num             ! 各面が透過率に与える影響をプリント
```

下記のプリント表示は、`tra num` コマンドによる透過率の評価結果例です。`REF` の欄は、各面のそれぞれに正規化強度 1 が入射した場合にその面が呈する透過率です。`ABS` も同様に、それぞれ各材料に対する透過率を示しています。最下行には、すべての `REF` と `ABS` を掛け合わせた値が表示されています。これが光学系全系を通した透過率です。これらは波長ごとに計算されています。

Wavel.:	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600	0.650
----- Field 1 -----						
REF: 0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
REF: 1	0.9747	0.9990	0.9982	0.9968	0.9991	0.9996
ABS:	0.9980	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990
REF: 2	0.9747	0.9990	0.9982	0.9968	0.9991	0.9996
REF: 3	0.9085	0.9124	0.9149	0.9166	0.9179	0.9188
ABS:	0.9697	0.9960	0.9988	0.9994	0.9994	0.9994
REF: 4	0.9085	0.9124	0.9149	0.9166	0.9179	0.9188
Total	0.7588	0.8268	0.8322	0.8336	0.8397	0.8422

“REF:” という表記のすぐ右側には、該当の面番号が表示されています。“ABS:” の表記は、その上を “REF:” という表記に挟まれています。これは吸収損失を発生させる光学材料が、面に挟まれていることに対応しています。空白行はちょうどその位置が空気間隔に相当しているからです。第3面と第4面はコーティングを指定していないので、これらの面についてはフレネル反射損失の分だけ、入射強度 (1.0) より減衰しています。減衰の程度はコーティング処理を指定した第1面や第2面と比較して、明らかに大きくなっているのが分かります。

コーティング処理のない面、つまり光学材料そのものの表面におけるフレネルのエネルギー反射率 R は、光線が面に垂直に入射する場合には次式で与られます。

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (17.1)$$

全系の透過率が、長波長側から短波長側に向かうにつれて (450nm – 400nm)、急激に低下していることが分かります。その原因のひとつはガラス材料の屈折率が短波長ほど高くなり、その結果、第3面と第4面の表面反射損失が大きくなることにあります。しかし、もっと大きな要因は、第2レンズの内部吸収損失が短波長帯で急激に増大することと、第1面と第2面のコーティングの短波長域における反射防止効果が低いことにあります。それらを `TRA` の出力結果から読み取ることができます。

17.3 瞳全体を満たす光束による透過率 (Transmission integrated over Aperture)

主光線 1 本ではなく、瞳全体を満たす光束を用いて透過率を求める方法もあります。この方法は多数の光線追跡を必要とします。このため評価結果の出力までいくらかの計算時間が必要です。1 画角、1 波長あたりに追跡する光線の本数は、`NRD` コマンドで調整できます。透過率の評価にあたっては、アパーチャのクリッピングによるビネッティング (ケラレ) および遮蔽、全反射等による光線ロ

スおよび、コーティングの特性評価を含む屈折率境界面の分光透過特性、光学材料の内部吸収損失が考慮されます。

TRA LAM AVG	瞳全体を満たす光束による透過率の波長依存性をプロット
TRA FLD AVG	瞳全体を満たす光束による透過率の画角依存性をプロット
TRA SUR AVG	全画角、全波長に対して、それぞれ瞳全体を満たす光束による透過率を各面の寄与に分解してプロット
TRA NUM AVG	全画角、全波長に対して、それぞれ瞳全体を満たす光束による透過率を各面の寄与に分解してプリント

TRA NUM AVG の出力例を示します。

TRANSMISSION ANALYSIS (full aperture):

TRA yes
POL no

Wavelength: 0.656 0.588 0.486

----- Field 1 -----

Transmittance :	0.9626	0.9787	0.9803
Proj. solid Angle	0.1937	0.1939	0.1938
Effective NA	0.2483	0.2484	0.2483
Relative Illum.	1.0000	1.0000	1.0000

----- Field 2 -----

Transmittance :	0.9627	0.9787	0.9805
Proj. solid Angle	0.1418	0.1419	0.1405
Effective NA	0.2124	0.2125	0.2115
Relative Illum.	0.7321	0.7319	0.7252

----- Field 3 -----

Transmittance :	0.9637	0.9793	0.9809
Proj. solid Angle	0.0966	0.0962	0.0956
Effective NA	0.1753	0.1750	0.1745
Relative Illum.	0.4991	0.4964	0.4939

POS コマンドで指定したズームポジションについて、画角別に波長ごとの全系透過率、投影立体角、像側の実効NA、像面の相対照度が出力されています。

Transmittance

全系の透過率です。空気とガラスの境界面における反射損失が考慮されます (**POL yes** が設定されている場合)。また、光学材料による内部吸収損失が考慮されます (**TRA yes** が設定されている場合)。

Proj.solid Angle

像点から見込んだ光束の立体角です。この値は、各画角における見かけの **NA** の 2 乗に一致 ($\sin(u)^2$) する、純粹に幾何的なものです。ビネッティング (光学系を通過する光束のケラレ) は、この値を小さくします。

Effective NA

各画角における実効的な開口数 (**NA**) です。上述の “Proj. solid Angle” にも関連しています。ビネッティング (光学系を通過する光束のケラレ) は、この値を小さくします。

Relative Illum.

第 1 画角に対する相対的な像面照度です。相対像面照度図は、**RIRR** コマンドで得られます。

17.4 像面の相対照度 (Relative Irradiance)

RIRR [NUM]	像面の相対照度図を出力します。視野点毎にコサイン 4 乗則とビネッティングが考慮されます。POL yes が指定されていれば、光学材料と空気の界面のフレネル反射損失も考慮されますし、TRA yes が指定されている場合には、光学材料の内部吸収も考慮されます。オプションのパラメータとして NUM を指定すると数値データが出力されます。
------------	---

像面の相対照度分布の画角依存性がプロットされます。照度計算にあたっては、全系の透過率の変化だけでなく、コサイン 4 乗則、ディストーション、ビネッティング、像点から見込む射出瞳径の変化、瞳収差、波長重みが考慮されます。射出瞳の面積は、入射瞳をぴったりと満たす光線群を追跡することによって求めますがその計算精度は追跡する光線群の本数に依存します。これは **NRD** コマンド (**NRD** : Number of Ray across Diameter) によって増減できます。より多くの光線を追跡することによって計算精度は向上しますが、一方で評価に要する時間は **NRD** の 2 乗に比例して増加します。

OpTaliX では、見かけの瞳の面積は像点から見込んだ立体角として $\sin(u)$ を単位として表現されます。この手法は、回転対称光学系に限定されることなく任意の一般光学系に対して有効に適用できます。照度計算に対するさらに詳しい議論は [41] を参照してください。

ガラスと空気界面のフレネル反射損失の影響を加味する場合は POL **yes** を、光学材料の内部吸収損失の影響を加味する場合には、TRA **yes** を設定する必要のあることに注意してください。

注意:

評価の対象となる光学系が著しい収差を持っている場合には、光線追跡によって求めた射出光束の立体角の結果は、照度計算にとって十分に正確なものではなくなってしまいます。この場合は物体面が像面となるように光学系モデルを反転してください。そうすることで収差の影響をうけることなく、全系透過率と物空間における投影立体角の積が、すなわち、像面照度がより正しく評価されます。

17.5 カラーコード (Colour Code)

カラーコードとは、カラー写真の色再現性に対するレンズの影響度を数値で示した指標です。ドイツ工業規格では可視波長域、つまり 370nm から 680nm に対して、中心画角についてのみ定義されています。しかし OpTaliX は、これをすべての画角について計算することで画角依存性を示します。とりわけ広角レンズにおいて有効です。この機能は多層膜コートの分光特性を考慮します (ATT コマンドによりコーティングデータが面に貼り付けてある場合)。

カラーコードは次の手順を経て計算されます。まず、計算すべき画角を決めます。この画角について、370nm から 680nm の範囲で 10nm おきに光学系全系に渡る透過率を求めます。その後、各波長の透過率 $T(\lambda)$ は、表 17.1 および表 17.2 に示す標準的な写真フィルムの分光感度 $W(\lambda)$ と掛け合わされ、下記のとおりカラーコード T_{eff} が求められます。

$$T_{eff} = \frac{\sum T(\lambda) \cdot W(\lambda)}{\sum W(\lambda)} \quad (17.2)$$

詳細は、ドイツ工業規格 DIN 5422 の 5 章を参照してください。

CLC [fi..j zi..j AVG]	カラーコードを式 17.2 に従って求めます。ドイツ工業規格 DIN 5422 の第 5 章の規定に準拠しています。すべてのズームポジションに対して評価します。デフォルトでは透過率計算は主光線に沿った光路の透過率を使って評価しますが、オプションのパラメータ AVG を指定すると、瞳全域に渡る光束の平均透過率を使います。ただし追跡する光線本数によっては、評価時間がきわめて長時間におよびます。妥当な計算時間に抑えるには、 NRD コマンドを使って、瞳を覆う光線の総本数を適切に設定する必要があります。 NRD を小さくするほど、計算時間は短くなります。
-----------------------	---

写真用レンズに対する波長重み					
$\lambda(\text{nm})$	$W_{blue}(\lambda)$	$\lambda(\text{nm})$	$W_{green}(\lambda)$	$\lambda(\text{nm})$	$W_{red}(\lambda)$
370.00	1.00	470.00	1.00	550.00	1.00
380.00	1.00	480.00	1.00	560.00	1.00
390.00	3.00	490.00	1.00	570.00	1.00
400.00	7.00	500.00	2.00	580.00	2.00
410.00	10.00	510.00	4.00	590.00	3.00
420.00	12.00	520.00	5.00	600.00	4.00
430.00	12.00	530.00	8.00	610.00	6.00
440.00	13.00	540.00	15.00	620.00	8.00
450.00	13.00	550.00	25.00	630.00	12.00
460.00	12.00	560.00	13.00	640.00	19.00
470.00	8.00	570.00	13.00	650.00	22.00
480.00	4.00	580.00	9.00	660.00	16.00
490.00	2.00	590.00	2.00	670.00	4.00
500.00	1.00	600.00	1.00	680.00	1.00
510.00	1.00				

表 17.1: 写真用レンズのカラーコード

映画用レンズに対する波長重み					
$\lambda(\text{nm})$	$W_{blue}(\lambda)$	$\lambda(\text{nm})$	$W_{green}(\lambda)$	$\lambda(\text{nm})$	$W_{red}(\lambda)$
370.00	1.00	490.00	1.00	560.00	1.00
380.00	2.00	500.00	2.00	570.00	2.00
390.00	4.00	510.00	3.00	580.00	2.00
400.00	10.00	520.00	6.00	590.00	3.00
410.00	13.00	530.00	10.00	600.00	3.00
420.00	13.00	540.00	15.00	610.00	4.00
430.00	11.00	550.00	18.00	620.00	6.00
440.00	11.00	560.00	17.00	630.00	9.00
450.00	10.00	570.00	14.00	640.00	14.00
460.00	8.00	580.00	10.00	650.00	22.00
470.00	6.00	590.00	3.00	660.00	24.00
480.00	5.00	600.00	1.00	670.00	8.00
490.00	3.00			680.00	2.00
500.00	2.00				
510.00	1.00				

表 17.2: 映画用レンズのカラーコード

第18章 偏光解析 – Polarization Analysis –

OpTaliX の偏光解析は古典的な光線追跡を拡張をした手法、具体的には各光線に偏光ベクトルとしての特性を付随させるという手法に基づくものです。光線が光学系中の面と相互作用することによって、それらのベクトル特性つまり偏光状態が変化します。

POL yes no POL y n	偏光光線追跡のオン/オフ yes : これ以後の全ての解析について偏光光線追跡をオンにします。 no : 偏光光線追跡をオフにします。
POL LAM	偏光解析 vs. 波長
POL APE	瞳を通過する全ての光線の偏光度を計算します。
POL ELL	瞳を通過する全ての光線の偏光楕円 (電気ベクトルの軌跡) を表示します。
POR	ユーザー定義光線を用いて偏光光線追跡を行います。(ユーザー定義光線とは、例えば SET RAY や SET FAN コマンドによってあらかじめ定義されてある光線のことです。)
PA1 x1 y1 phase1	電気ベクトル 1 の振幅と位相を定義します。位相の単位はラジアンです。
PA2 x2 y2 phase2	電気ベクトル 2 の振幅と位相を定義します。位相の単位はラジアンです。電気ベクトル 2 は、無偏光や部分偏光を定義する際に必要になります。完全単色 (コヒーレント) 光の場合は、 PA2 は偏光の計算には用いられません。
POLSTATE 0 1	入射光の偏光状態： 0 = 入射光は無偏光。 PA1 および PA2 ベクトルが使われます。 1 = 入射光はコヒーレントな偏光。 PA1 だけが使われます。

18.1 入射光の偏光の定義 (Definition of Input Polarization)

偏光の計算を行うには、入射光束の偏光特性を余すことなく指定する必要があります。いかなる偏光状態も、進行方向に対して垂直で、かつ互いに独立な方向に振動する 2 つの電気ベクトルによって表現することができます。図 18.1 には、ある光線に付随する偏光ベクトルのイメージを描いています。

偏光状態を決定する互いに独立な電気ベクトル a_1, a_2 の方向は、任意に選んだ座標系の (x,y) 座標軸に沿うように定義した方が便利です。任意に選んだ座標系は、典型的には光学系を記述するための座標系そのものです。その時、2 つの偏光ベクトルは $a_1 = (0,1), a_2 = (1,0)$ になります。コヒーレント光 (単色光) の場合は完全偏光 (100% 偏光) であるので、その表現には一つの電気ベクトル (a_1) のみで十分です。その場合 a_2 は無視されます。

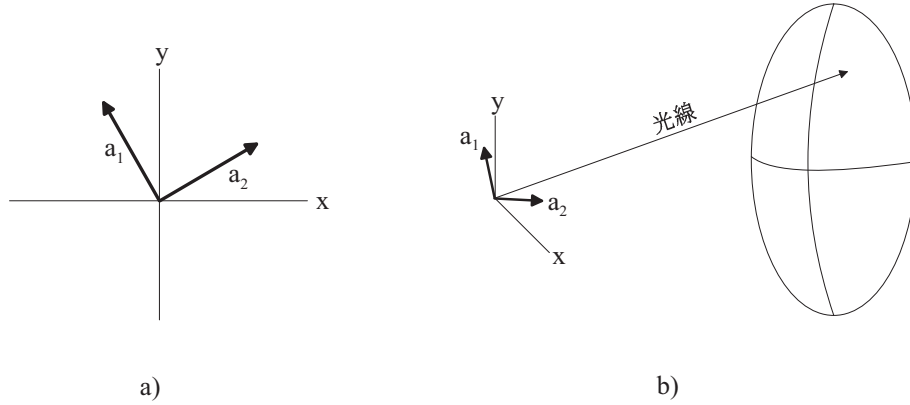


図 18.1: 偏光ベクトルの定義、a) 互いに直行する電気ベクトル、b) 光線に伴伴する偏芯ベクトル

偏光状態を記述するのには、例えば Borm & Wolf [4] にも紹介されている光波のコヒーレンスマトリックス $\mathbf{J}$ が最適です。コヒーレントマトリックスは、次のように定義されます。

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \langle a_1^2 \rangle & \langle a_1 a_2 e^{i(\Phi_1 - \Phi_2)} \rangle \\ \langle a_1 a_2 e^{-i(\Phi_1 - \Phi_2)} \rangle & \langle a_2^2 \rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{xx} & J_{xy} \\ J_{yx} & J_{yy} \end{bmatrix} \quad (18.1)$$

ここで $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ はそれぞれのベクトル間の位相差です。 $\mathbf{J}$ の直交成分は実数で、 x 成分と y 成分の強度に対応します。非直交成分は一般的には複素数で、それらは互いに共役関係を満たします。特定の幾つかの場合については、極簡単な形式によってコヒーレンスマトリックス $\mathbf{J}$ を表現することができます。それらを以下に示します。

18.1.1 完全無偏光（自然光）(Completely unpolarized (natural) light)

自然界で見かける光のほとんどは、その進行方向に対して垂直なあらゆる方向の電気ベクトルが同強度であるという性質を持っています。そうした光を完全無偏光 (= 自然光) といいます。強度 I_0 の自然光のコヒーレンスマトリックスは以下になります。

$$\frac{1}{2} I_0 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.2)$$

18.1.2 完全偏光 (Completely polarized light)

光線が厳密な意味での単色光であれば、その振幅 a_1 と a_2 ならびに位相 Φ_1 と Φ_2 は時間に依存しません。(なぜなら、単色光は、無限空間を一様に満たすからです。) その特別な場合として、下記のコヒーレンスマトリックス

$$I \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad I \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

は、強度 I の直線偏光を表します。それぞれのマトリックスは、電気ベクトルが x 軸方向に沿ってい

るとき ($a_2 = 0$) と y 軸方向に沿っているとき ($a_1 = 0$) に対応します。円偏光の場合は、コヒーレンスマトリックスは以下になります。

$$\frac{1}{2}I \begin{bmatrix} 1 & \pm i \\ \mp i & 1 \end{bmatrix}$$

ここで I は光の強度です。 i の前の上下符号は、右回り偏光か左回り偏光かによって決まります。

18.1.3 等価表現について (Some equivalent representations)

ここでは、自然光の表現に立つ形式について述べます。自然光のコヒーレンスマトリックスは以下の形式でも表現できます。

$$\frac{1}{2}I \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2}I \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{2}I \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18.3)$$

これは、強度 I の自然光波は、その強度に $\frac{1}{2}I$ を持ち、互いに直交しかつ進行方向に垂直に振動する独立な 2 つの直線偏光と等価であることを示しています。

自然光の別表現としては、

$$\frac{1}{2}I \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{4}I \begin{bmatrix} 1 & +i \\ -i & 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{4}I \begin{bmatrix} 1 & -i \\ +i & 1 \end{bmatrix} \quad (18.4)$$

があります。これは、強度 I の自然光波は、その強度に $\frac{1}{2}I$ を持ち、左回りと右回りに回転する独立な 2 つの円偏光と等価であることを示しています。

したがって、光学系における偏光の振る舞いを決定するに際し、2 つの直線偏光波 (それらは光線として表現される) は、式 18.3 に従いそれぞれ独立に追跡されます。入射光波の振動面は、振幅 a_1, a_2 と、 a_1, a_2 の間の位相差 δ を正しく設定することで定義できます。

18.2 偏光度 (The Degree of Polarization)

光線の全強度に占める偏光した部分の強度比を偏光度 P と呼びます。 P の計算には、図 18.1 に示したように、互いに直交する 2 つの電気ベクトルが必要です。2 つの電気ベクトルを用いて、 P を表現 (計算) する方法を以下に示します。

18.2.1 コヒーレンスマトリックスを使った偏光度の表現 (Polarization expressed by Coherence Matrix)

コヒーレンスマトリックスを出発点にすると、偏光度は次のように与えられます。

$$P = \frac{I_{pol}}{I_{tot}} = \sqrt{1 - \frac{4|J|}{(J_{xx} + J_{yy})^2}} \quad (18.5)$$

ここで $|\mathbf{J}|$ は式 18.1 から得られるコヒーレンスマトリックスの行列式で、

$$|\mathbf{J}| = J_{xx}J_{yy} - J_{xy}J_{yx} \geq 0 \quad (18.6)$$

を満たします。

18.2.2 ストークスベクトルを使った偏光度の表現 (Polarization expressed by Stokes Vectors)

偏光度はストークスベクトルを用いても表現できます。

$$P = \frac{\sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}}{s_0} \quad (18.7)$$

ここで、ストークスベクトルの各成分は以下のように定義されます。

$$\begin{aligned} s_0 &= \langle a_1^2 \rangle + \langle a_2^2 \rangle \\ s_1 &= \langle a_1^2 \rangle - \langle a_2^2 \rangle \\ s_2 &= 2 \langle a_1 a_2 \cos \delta \rangle \\ s_3 &= 2 \langle a_1 a_2 \sin \delta \rangle \end{aligned} \quad (18.8)$$

18.3 全反射 (Total Internal Reflection)

フレネルの公式は、全反射には適用できません。この現象は、光線がより屈折率の高い媒質からより屈折率の低い媒質に入射する時で、かつ屈折の法則

$$\sin \theta_t = \frac{\sin \theta_i}{n_{12}} n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

によって得られる屈折角 θ_t に実数解が存在しない場合に生じます。全反射した TE 波と TM 波の強度は入射波の強度と同じです。しかし、両偏光成分間には異なる位相のとびが生じます。反射波と入射波の間の位相のずれ量 δ_s, δ_t は以下のように表現できます。

$$\tan \frac{\delta_s}{2} = - \frac{\sqrt{\sin^2 \theta_i - n^2}}{n^2 \cos \theta_i} \quad (18.9)$$

$$\tan \frac{\delta_t}{2} = - \frac{\sqrt{\sin^2 \theta_i - n^2}}{\cos \theta_i} \quad (18.10)$$

ここで、 $n = n_2/n_1$ です。結果として、直線偏光は全反射の際に楕円偏光に変化します。楕円偏光をなす 2 つの電気ベクトルの相対位相差は $\delta = \delta_s - \delta_t$ です。

第19章 最適化(自動設計) – Optimization –

光学系の最適化は、高い非線形を持つ問題の解を必要とします。これは、選ばれたレンズデータ (“設計変数”あるいは単に “変数”) を変更することによってレンズの収差を最小化するプロセスです。メリット関数は種々の収差 (一例としてスポット直径とディストーション) に対する到達目標や、厳格に満たされるべき制約条件 (焦点距離やレンズの全長) によって構成されます。光学系を最適化するにはメリット関数と変数の両方が定義されなければなりません。メリット関数のすべての要素は、設計変数の関数として計算できなくてはなりません。OpTaliX では、2 種類の最適化アルゴリズムを利用できます。

KT-最適化 ラグランジェの未定定数法による厳密な等式拘束を前提とし、クーン・タッカ最適条件の適用により複雑な不等式制約条件を考慮しながら正確に極小解を求められるように改良された減衰最小自乗法による最適化です。

LM-最適化 改良型の Levenberg-Marquardt アルゴリズムによる最適化です。

これより、アルゴリズムの概要を示します。より詳細な理解をするためには、以下の3節に掲げる引用文献を参照してください。

19.1 KT 法による最適化 (KT - Optimization)

KT 法とは、減衰最小自乗法 (いわゆる DLS 法) をベースに、ラグランジェの未定定数法による厳密な等式拘束条件処理と、クーン・タッカ条件 *Kuhn-Tucker 条件*¹の適用による複雑な不等式制約条件を組み合わせて、正確に極小解を求められるように構築された最適化アルゴリズムです。クーンタッカ条件の導入により (光学系が非線形性を有することを前提とした) 最適化過程の各繰り返しサイクルにおいて、与えられた制約範囲における真の極小値を得ていることが保証されます。クーンタッカ条件は、古典的な DLS 法に対する拡張として導入されています。より詳細には、スペンサー (Spencer) [50] およびフィーダー (Feder) [11] の文献を参照してください。

スペンサーは、最適化問題を下式の最小化問題に帰着させました。

$$\sum_{m=1}^M w_m^2 \left(\sum_{j=1}^J a_{mj} q_j - d_m \right)^2 \quad (19.1)$$

これに加えて複数の線形方程式を解くことも同時に考えるならば、下式を考慮することになります。

$$\sum_{j=1}^J b_{nj} q_j = e_n, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (19.2)$$

¹Karush-Kuhn-Tucker 条件としても知られています。

ここで、

$a_{mj} = \partial g_m / \partial p_j$	最小化の対象となる関数の微係数
$b_{mj} = \partial h_m / \partial p_j$	厳格に制約条件を満たすべき関数の微係数
q_j	= パラメータの増分
d_m	= 最小化の対象となる関数 (一般には収差)
e_m	= 厳格に制約条件を満たすべき関数
w_m	= 重み,

この問題の解をマトリクスで記述すると

$$(\mathcal{M}^T \mathcal{M} + \mathcal{C} \mathcal{I}) q - \mathcal{B}^T \lambda = \mathcal{M}^T r \quad (19.3)$$

ここで、

$\mathcal{M} = \mathcal{W} \mathcal{A}$	= 最小化関数に関する重み付きの微係数マトリクス
$\mathcal{B}$	= 厳格に制約条件を満たすべき関数の微係数マトリクス
$\mathcal{I}$	= 単位行列
$\mathcal{C}$	= ダンピング ファクタ
$r = \mathcal{W} d$	= 収差 (重み付き)
λ	= ラグランジュの未定乗数

個別の非線形問題が、その前提となる複数の制約条件のもとで最適解となっているかどうかについては、最適化過程の各繰り返しサイクルごとに式 19.3 の解を DLS 法によって得た後に 1 次のクーラタカ条件を用いてチェックされます。

$$\begin{aligned} I \quad & \frac{\partial L}{\partial p_j} = \frac{\partial g}{\partial p_j} - \lambda \frac{\partial h}{\partial p_j} = 0 \quad \text{stationary point} \\ II \quad & h(p) \leq 0 \quad \text{feasibility} \\ III \quad & \lambda h(p) = 0 \quad \text{complementary slackness} \\ IV \quad & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (19.4)$$

19.2 LM 法による最適化 (LM - Optimization)

変形 Levenberg - Marquardt アルゴリズムと有限差分法によって求めた Jacobian (選定した収差を各設計変数で偏微分して求めた、“収差感度表”に対応) [10, 30, 35] を使用して、制約条件を考慮しながら問題を解きます。この方法は、国内では一般に DLS 法とよばれているものに、ほぼ相当しています。これは下記のように定式化できます。

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \frac{1}{2} F(x)^T F(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m f_i(x)^2 \quad (19.5)$$

ここで、 $m \geq n$ で $f_i(x)$ は、 i 番目の $F(x)$ 成分関数です。初期レンズデータを出発点として、このアルゴリズムは Jacobian の線形近似が成立する範囲で解に近づき、新たな出発点 x_n を見つけます。

$$x_n = x_c - [J(x_c)^T J(x_c) + \mu_c I]^{-1} J(x_c)^T F(x_c) \quad (19.6)$$

$F(x_c)$ と $J(x_c)$ は、それぞれ関数の値と、現在地 x_c で求めた Jacobian です。この手順は終了条件が満たされるまで繰り返されます。

最適化を実行するにはまず、変数、目標値、制約条件を明確にしなくてはなりません。

- VAR:** ズーム化された、あるいはされていない光学系について変数を定義します。設計変数や収差の目標値、制約条件を定義します。
- TAR:** メリット関数を定義するため、収差の選択と目標値の設定、および制約条件を定義します。
- OPT:** 最適化を実行するコマンドです。

上記コマンドにより起動するダイアログボックスを使えば、設計変数および設計目標を表形式で簡便に入力できます。このダイアログボックスはメインウインドウ上の **VAR** ツールボタンをクリックするか、コマンドラインから **EDI VAR** コマンドを使っても起動できます。その後、**OPT** コマンドによって、最適化を実行します

19.3 設計変数の編集 (Editing Variables)

コマンドラインから、設計変数の追加と削除ができます。

VAR	VAR コマンドをパラメータなしで指定すると、設計変数および設計目標・制約条件を編集するダイアログボックスが起動します。設計変数はズーム化されていてもされていなくてもかまいません。ダイアログボックスには設計変数として指定可能な主要な変数の一覧が提示されていますが、これらがすべてではありません。ここに提示されていない変数のセットや解除はコマンドラインから行ってください(下欄のコマンド参照)。
次ページに続く	

前ページから続く	
<pre>VAR si..j sk vstr1 vstr2 ... VARZ si..j sk vstr1 vstr2 ...</pre>	指定した面において、vstr1, vstr2... で指定した面要素が設計変数として設定されます。VAR コマンドは、ズーム化されていない要素 (ズームポジションに渡って同じ値を取る要素) を設計変数として指定する際に使います。一方、VARZ コマンドはズーム化された要素 (ズームポジションごとに異なる値を取ることが許された要素) を設計変数として設定する際に使います。ひとつの面上の複数の要素を 1 行で設定できます。また複数の面に渡る同一種類の要素を 1 行で設定できます。 例: <pre>var s4 cuy thi ! 第 4 面の曲率 (CUY) と面間隔 (thi) を設定 var s3..4 cuy ! 第 3 面および 4 面の曲率を設計変数として設定 var s3..4 cuy thi ! 第 3 面および 4 面の曲率と面間隔を設計変数として設定</pre>
<pre>DEL VAR si..j sk vstr1 vstr2 ...</pre>	指定した面の各要素 vstr1, vstr2... を設計変数から解除し最適化過程において定数要素とします。 例: <pre>del var s3 thi ! 第 3 面の面間隔を設計変数から解除。</pre>

19.4 設計変数の定義 (Definition of Variables (VAR))

設計変数は **VAR** コマンドを使って定義・編集します。このコマンドは設計変数がズーム化されていても、いなくても扱えます。

多重構成光学系 (ズーム) の場合、何らかの設計変数を定義すると、それはまず、すべてのズームポジションに対して適用されます。つまり全部で **n** ポジションが定義されていれば、設計変数もまた、最初に **n** 個生成されるということです。

コマンドラインからその値を変更できるレンズパラメータであれば、基本的に最適化の設計変数として使えます。すべての変数タイプを一覧表にまとめます。

CUY	ZY 断面内の曲率
CUX	ZX 断面内の曲率 (トーリック状に変形させる場合)
THI	面間隔
THR	参照面間隔
DEF	デフォーカス量
K	コーニック定数
A	非球面係数 4 次 (even 非球面のとき)、2 次 (odd 非球面のとき)
B	非球面係数 6 次 (even 非球面のとき)、3 次 (odd 非球面のとき)
C	非球面係数 8 次 (even 非球面のとき)、4 次 (odd 非球面のとき)
D	非球面係数 10 次 (even 非球面のとき)、5 次 (odd 非球面のとき)
次ページに続く	

前ページから続く	
E	非球面係数 12 次 (even 非球面のとき)、6 次 (odd 非球面のとき)
F	非球面係数 14 次 (even 非球面のとき)、7 次 (odd 非球面のとき)
G	非球面係数 16 次 (even 非球面のとき)、8 次 (odd 非球面のとき)
H	非球面係数 18 次 (even 非球面のとき)、9 次 (odd 非球面のとき)
ADE	X 軸まわりのティルト
BDE	Y 軸まわりのティルト
CDE	Z 軸まわりのティルト
XDE	X 方向の平行偏芯
YDE	Y 方向の平行偏芯
ZDE	Z 方向の平行偏芯
GZ0	屈折率勾配の Z 方向オフセット量 (アキシタル GRIN レンズ)
DVO	屈折率分散のオフセット量
DNO	屈折率のオフセット量
GLA	屈折率 (DNO) と屈折率分散 (DVO) を同時に指定します。
H2	HOE の係数 2 (対称型 HOE の h 項、非対称型 HOE の線形項 x)
H3	HOE の係数 3 (対称型 HOE の h^2 項、非対称型 HOE の線形項 y)
H4	HOE の係数 4 (対称型 HOE の h^3 項、非対称型 HOE の線形項 x^2)
H5	HOE の係数 5 (対称型 HOE の h^4 項、非対称型 HOE の線形項 $x \cdot y$)
H6	HOE の係数 6 (対称型 HOE の h^5 項、非対称型 HOE の線形項 y^2)
H7	HOE の係数 7 (対称型 HOE の h^6 項、非対称型 HOE の線形項 x^3)
H8	HOE の係数 8 (対称型 HOE の h^7 項、非対称型 HOE の線形項 $x^2 \cdot y$)
H9	HOE の係数 9 (対称型 HOE の h^8 項、非対称型 HOE の線形項 $x \cdot y^2$)
H10 から H28	HOE の係数 10 から係数 28。つまり、 H_i は HOE の係数 i であり、対称型 HOE の場合 $h^{(i-1)}$ 項、非対称型 HOE の場合は上欄の例にならない各線形項の係数)
HX1	2 点 HOE の物光源点 x 座標
HY1	2 点 HOE の物光源点 y 座標
HZ1	2 点 HOE の物光源点 z 座標
HX2	2 点 HOE の参照光源点 x 座標
HY2	2 点 HOE の参照光源点 y 座標
HZ2	2 点 HOE の参照光源点 z 座標
Uxx	ユーザー定義面、SPS-ODD 面、SPS-XYP 面の係数。ここで v ‘xx’ は各係数に対応する係数番号。 例: U7
Zxx	ツェルニケ面の係数です。‘xx’ は、係数番号を意味しています。 例えば、VAR s4 Z7

19.5 目標 (メリット) 関数 (Target (Merit) Function (TAR))

最適化を実行するには、最小化すべき設計目標が必要です。設計目標の例にはスポット径 (SPD) の最小化あるいは、軸上横収差 (LAC) の最小化などがあります。設計目標と似ていますが、その目的が最小化ではなく値の正確な維持であったり、あるいは下限内、上限内にその値をとどめる場合には、特に制約関数あるいは制約条件といいます。

設計目標や制約関数は全体として“メリット関数”を構成します。

OpTaliX にはあらかじめ規定されたメリット関数はありません。メリット関数を設定するには、コマンドラインから **TAR** コマンドを実行してください。そうすると **VAR** コマンド実行時と同じダイアログボックスが開きます (このダイアログには、設計変数だけでなくメリット関数の構成要素、つまり各設計目標および制約関数も指定できます)。OpTaliX のほとんどのコマンドを設計目標あるいは制約関数として関連させられます。メリット関数の指定にあたっては、複雑な数式表現、たとえば $2\sqrt{2}/3$ の他、(面間隔や曲率半径のように) レンズデータベースのアイテムが使えます。制約関数は、比較演算子や目標値に関連づけて使います。

指定可能な比較演算子は下記のとおりです。

- = 制約関数を指定の値に正確に一致させます。
- > 制約関数を指定された値以上に制約します。
- < 制約関数を指定された値以下に制約します。

制約関数以外の設計目標は最小化を目的とすることが明らかですから、演算子の指定は必要はありません。

EFL = 100.	焦点距離 (EFL) を正確に 100mm に維持します。これは制約関数 (制約条件) です。
SPD 0	目標値をゼロとして、スポット直径を最小化します。画角、波長、ズームパラメータが指定されていないので、すべての波長、画角、ズームポジションに対するスポット直径を最小化します。
SPD f2..3 w4 0	目標値をゼロとして、スポット直径を最小化します。ただし、第 2・第 3 画角の波長番号 4 に関連したスポットダイアグラムのみを対象とします。
! This is a comment line	“!” マークはコメントを示します。このマーク以降、その行の記述は無視されます。各行の先頭に記述します。これを用いて個別の目標関数の設定を“オン”あるいは“オフ”にすることも可能です。
WAV f1 0 ! wavefront	第 1 画角の rms 波面収差を最小化します。エクスクラメーションの右側のコメントを無視します。
SPD F3 Z2 0 ; wt = 0.7	第 3 画角、ズームポジション 2 のスポット直径を最小化します。目標値は 0 で、相対的な重み (1.0 を基準とする相対的な重要度) は 0.7 です。
SPD F4 0	第 4 画角、全波長のスポット径を最小化します。重みの指定がないので、重みは 1.0 であると仮定します。

上記に示した設計目標リストに基づき、メリット関数は収差量 (その時点の収差の達成値と目標値との差) を重み付きで合計したものとして構成されます。メリット関数の値は、**ERRF** コマンドを使って表示させられます (369 ページ)。一般的には光学系の仕様を満たすには、上記リストよりも詳細な

メリット関数の指定が必要です。

19.5.1 設計目標に対する重みの設定 (Weights on Error Functions)

“>” または “<” を用いて設定する不等号制約条件以外を除けば、メリット関数を構成するすべての要素、つまり “=” を使って指定する等号制約条件および、等号も不等号も使わずに設定する設計目標には、他の条件や目標に対する相対的な重要度に応じて**重み**を割り当てられます。重みは任意の正の実定数として表現します。数式表現は使えません。重みは“WT”修飾子を使って、個別に設定します。

設計目標に対して明示的に重みを設定しない場合の仮定値は 1.0 です。等号制約条件に対して明示的に重みを設定しない場合の仮定値は **LM 最適化** の場合、1.0 ですが、**KT 最適化** の場合には仮定値はありません。(KT 最適化の等号制約条件には、そもそも重みという概念そのものはありません。ラグランジェの未定定数法によって直接に線形近似で求解するためです。)。しかし、KT 法の場合であっても、等号制約条件に“WT”修飾子を使って重みを設定することは可能です。この場合にはもはや等号制約条件として未定定数法による求解はされることはなく、設計目標として収差と同様に扱われることになります。

重みの指定例を具体的に示します。

```
spd 0 ; wt = 2
```

この例の場合、スポットダイアグラムの RMS 径 (SPD) に対して、相対重み 2.0 を割り当てています。このことの意味するところは、SPD は他の収差に対して 2 倍の重要度であるということです。

重みを指定する際には、設計目標または等号制約条件と、“WT”修飾子の間をセミコロン “;” で区切ります。次の表に示す各例もまた、重みの概念やさらなる特徴を示しています。

EFL = 100	焦点距離を正確に 100mm に制約します。
MFL s4..5 = 25	第 4 面と第 5 面において定義されている、“モジュールレンズ”の焦点距離が 25mm に維持されるよう、制約します。
bfl > 160.	(近軸領域の) バックフォーカス長を 160mm に等しいか、あるいは大きくします。
et s3..4 12.0 > 5.	光軸から 12mm の高さにおける、第 3 面と第 4 面の間のコバ厚 (レンズのエッジ厚) が 5mm 以上となるように制約します。ただし、エッジ間隔 (ET) は制約関数としてだけではなく、“SOLVE (8.15 章)” として解くこともできることに着目してください。この面に SOLVE の指定がなければ、制約関数の指定は当然に最適化の対象項目です。しかし、SOLVE であれば (光学系の設計自由度は低下しますが)、計算処理に関する負荷は抑えられます。
spd f1 0 ; wt = 2	第 1 画角のスポット直径を最小化します。重みは 2 です。
spd f2 0 ; wt = 1	第 2 画角のスポット直径を最小化します。重みは 1 です。
spd f3 w1..3 0 ; wt = 0.5	第 3 画角、第 1-3 波長のスポット直径を最小化します。重みは 0.5 です。
次ページに続く	

前ページから続く	
disx f3 0.1	第3画角のX方向のディストーションが0.1%となるように最小化します。明示的な指定がないので、重みは1が仮定されます。
disy f3 0.1	第3画角のY方向のディストーションが0.1%となるように最小化します。明示的な指定がないので、重みは1が仮定されます。
y f1 w1 s5 0 1 = 0	第1画角、第1波長、第5面のマージナル光線のY座標(像高: 相对瞳座標は、 $x_p = 0, y_p = 1$ です)を0にコンストレインツします。1本の光線を指定するにも一連のパラメータすべてを入力しなくてはなりません。例えば、画角修飾子(f1)を省略すると、すべての画角に対して同じ光線Y座標が目標値として設定されます。異なる画角は異なる像高を持つように指定されているので、これは通常解くことができません。

19.5.2 重み付き等号制約条件 (Weighted Constraints)

”=”を使って設定する等号制約条件に重みを設定した場合には、この条件はもはや厳密な求解を意図した制約条件としてではなく、設計目標として扱われることになります。

WTC weight_on_constraint	等号制約条件に重みを設定し、メリット関数に組み込みます。不等号制約条件には設定できません。
--------------------------	---

目標値が光学系の現状とあまりにかけ離れている場合には、設計解が発散しやすくなります。この機能を使う際には、まずは現状値付近を指定し、徐々に最終的な目標値に近づけていく方法のがコツです。また、

等号制約条件に重みを設定する場合は、設計解を制御可能な範囲で、極力小さな値を設定するのがコツです。小さめの重みを設定することにより、目標値から比較的離れた特性値(収差)を有するレンズデータに適用した場合でも、解を発散させづらくなります。大きめの値は、目標値と現状値が近い場合にのみ設定してください。目標値から遠く離れているにも関わらず、大きな重みでないと設計解の制御が思い通りにできない場合にはいきなり最終目標値を指定するのではなく、いったん現状値付近の値を中間段階の目標値として設定し、徐々に最終的な目標値に近づけていくのも良い方法です。

WTCを使うのが最良の設計手法であるとは限りません。この方法が有効なのは、現在のレンズデータがもつ特性値(収差)が目標値から遠く離れている場合に、小さな重みをかけつつ徐々に目標に近づけていく場合や、等号制約条件として“強い”制約をかけると設計解が発散してしまうような場合です。このような場合には、目標値の近くまで設計解が変化するまで、一時的に **LM 最適化** に切り替え、その後、制約条件をきっちりと制御するために **KT 最適化** を使うというのも一案です。どちらの最適化アルゴリズムをもちいるべきかは、[370](#)ページの **19.9.1**章も参考に決めてください。

重み付き制約条件 (WTC) の例

```
efl = 100 ; wtc = 2
efl 100 ; wt = 2
```

どちらの形式で指定しても、まったく同じ結果が得られます。下側の設定には“EFL”と“100”の間に“=”記号がありません。これが省略されていた指定と同じ結果が上側の設定(“=”あり)と同じ結果に至ることから、重み付き制約条件とは実は重み付きの目標設定と全く同質であることが分かります。

19.5.3 メリット関数の、ファイルからの設定 (Include Targets from File)

#include オプションを使えば、メリット関数や制約条件、目標値を外部のファイルから設定できます。例えば、

```
#include mytargets.txt
```

と指定すると、**mytargets.txt** という名前のファイルに保存された内容が OpTaliX に読み込まれ、あたかも **targets/constraint** エディタ (メリット関数・制約条件・目標値を設定するためのダイアログ形式のエディタ) に直接記述したのと同じ状態が得られます。検索パスのないファイル名を指定した場合には、現在設定されているレンズデータと同じディレクトリから検索されます。もちろん、検索パスを明示すれば、対象となるファイルが他のディレクトリにあっても、そこから正しく読み込まれます。

ファイル名に付ける拡張子名に制約はありません。**#include** は、エディタ中のどの位置にあってもかまいません。したがって、エディタ中に直接にメリット関数や目標値を記述しつつ外部ファイルの読み込む指定を混在させることさえ、問題ありません。その一例は、次のとおりです。

```
efl = 100
#include mytargets.txt
spd f1..3 0
```

ひとつのリスト中に**#include** をいくつ設定してもかまいませんが、多重に定義してはいけません。つまり、**#include** によって読み出されるファイル中には**#include** 自身を含んではいけないということです。

19.5.4 レンズデータベースアイテムを用いた目標値の設定 (Targets using Lens Database Items)

レンズデータベースアイテム (27章を参照) を用いてメリット関数構築すれば、よりいっそう柔軟な指定が可能となります。いくつかの例を示します。

<code>thi si-1 = [thi s5]</code>	最終面の面間隔である <code>thi si-1</code> (像面の手前のスペース) を、第 5 面の面間隔である <code>thi s5</code> に一致させます。もし <code>thi s5</code> も変数として指定してあれば、 <code>thi si-1</code> はその従属変数として、最適化の過程でも常に (動的に) それに一致するよう 制約されます。
<code>thi s7 = [thi s5..6]</code>	第 7 面の面間隔が、第 5 面と第 6 面の面間隔の和に一致するように制約されます。
<code>y s5 f1 w1 0 1 > -1/(2*[fno])</code>	目標値として、データベースアイテムを引用した数式も使えます。

目標関数、あるいは制約関数の指定を正しく行えるかどうかは、最適化を実行する前にコマンドラインから判定できます。例えば、上記の表における最下段の制約関数は 26.6 章に示した EVA コマンドで確認できます。具体的には

```
eva -1/(2*[fno])
```

のようにします。これでエラーが発生しなければ、このデータベースアイテムは最適化のための関数指定に使えます。この例はまさに、OpTaliX のコマンド書式と目標関数の指定法が一致しているということを示しています。

ここで重要なことは、データベースアイテムを意味するカギ括弧 [] が目標関数の指定の右辺にのみ記述されていることです。基本的に、データベースアイテムは、数値を返す (与える) 関数ですから、たとえば、`[thi s5] > 3*[thi s2]` における `thi s5` のように、左辺に記述することはできません。この例の場合、正しくは `thi s5 > 3*[thi s2]` と記述します。

重要:

すべてのパラメータは、少なくとも 1 文字の空白 (半角) で分離しなくてはなりません。

近軸量 (例えば、EFL, BFL, SAP や 3 次の収差) を目標関数に指定する場合には注意が必要です。例えば、多重構成光学系 (ズーム) において、もしポジションに関する修飾子を指定しなかったとすると、その目標値はすべてのズームポジションに対して計算されます。いま、2 つのポジションからなるズームレンズがあるとします。各ポジションの焦点距離が 50mm と 100mm となるように意図していたとしても “EFL = 50” のように修飾子を省略すると、**両方の**ポジションともに焦点 50mm が目標値として設定されます²。これを避けるにはそれぞれのポジションに対して独立に焦点距離を指定しなくてはなりません。つまり、“EFL z1 = 50” と “EFL z2 = 100” のように明確に 2 つの指定が必要だということです。同じ議論が面範囲の指定が付随する場合においても成り立ちます。例えば、“EFL s1..4 z3 = 50” のような場合です。

19.5.5 ユーザ定義の制約条件 (User-defined Constraints)

ユーザが定義する **変数** や **関数** は最適化における制約条件にも適用可能です (文法等に関する詳細は 26.9 章, 26.15 章を参照)。ここで紹介するユーザ定義の変数と、最適化のパラメータとしての設計変数とを混同しないでください。これらは別のものです。設計変数が面の曲率半径や空気間隔など、最適化において変化させる光学パラメータそのものであるのに対し、ユーザ定義の変数は、任意

²ズームポジションの修飾子 “z” を省略すると、**全ての**ポジションが指定されたものとみなされます

の計算結果を一時的に保存し、後にそれを別の数式や制約条件から参照するために使われるものです。ユーザ定義の変数ならびに関数を用いれば、あらかじめ OpTaliX に実装されていない複雑な制約条件であっても任意に定義できます。これら変数ならびに関数は、いずれも最適化中に動的にその値が更新されます。

```
$x = 5                ! 変数の定義。
@xxx == [efl]+[bfl]-$x ! 関数の定義。"==" が使われていることに注意
@xxx = 100           ! 関数に制約条件を設定。"=" が使われていることに注意
```

この例では、最適化の制約条件に関して、“==”と“=”が使い分けられていることに注意してください。“==”は、関数そのものの定義を意味しますが、それだけでは最適化のための制約条件としては認識されません。一方、単独の“=”を伴う関数文は事前に定義された関数のその時点における値を、制約条件におけるパラメータとして使うことを意味します。

制約条件は等号条件(=)だけでなく、不等号条件(<,>)も設定できます。

19.5.6 デフォルトの制約条件 (Default Constraints)

デフォルトの制約条件を自動的に目標関数の一部として組み込む様に設定できます。デフォルトの制約条件を使えば、OpTaliX は最適化のプロセスにおいて、レンズや空気間隔を適切な範囲に自動的に維持しようとします。例えば、デフォルトの制約条件はコバ厚 (レンズのエッジ厚) を常に製造可能な範囲 (例えばレンズの直径に対する所定の割合で定義される、ある範囲) に維持しようとします。この取り扱い隣接するレンズ間のエッジ間隔についても同様に機能しますから、レンズが互いに “食い込む” ような解に至ることを抑制できます。

デフォルトの制約条件を使うために、レンズ厚やエッジ厚を目標関数として明示的に指定する必要はありません。デフォルトの制約条件を目標関数の一部として組み込むか、組み込まないかは、DEFC コマンドを使って、一括して行えるのです。あるいはメインメニューから *Optimization -> Parameters* とたどると開くダイアログボックスの ‘Default Constraints’ タブ (356 ページの図 19.1) から指定することもできます。

当初はデフォルトの制約条件は組み込まれない様に設定されています。組み込みを設定するには最適化を実行する前に、ダイアログボックスの ‘Enable default constraints’ の欄にチェックを入れるか、コマンドラインから DEFC Yes と設定してください。

デフォルトの制約条件は、KT-最適化においてのみ、適用されることに注意してください。LM-最適化には適用されません。

デフォルトの制約条件は、ユーザ定義の制約条件とは異なります。制約条件をユーザが明示的に設定した場合には、それは特定の面やズームポジションにおいてのみ作用します。しかしデフォルトの制約条件の場合には、すべての面とすべてのズームポジションに対して等しく作用します。デフォルトの制約条件を面ごとに、あるいはズームポジションごとに設定することはできません。すべてのデフォルトの制約条件は、常に境界条件として作用し、けして等号制約条件として作用することはありません。なお、デフォルトの制約条件が侵害抑制の制御に用いているのはラグランジェの未定定数法です。

デフォルトの制約条件が機能するのは、設計変数に指定したレンズ厚と間隔だけです。変数に指定していないレンズ厚および間隔は、その制御対象には含まれないので注意してください。また、ユー

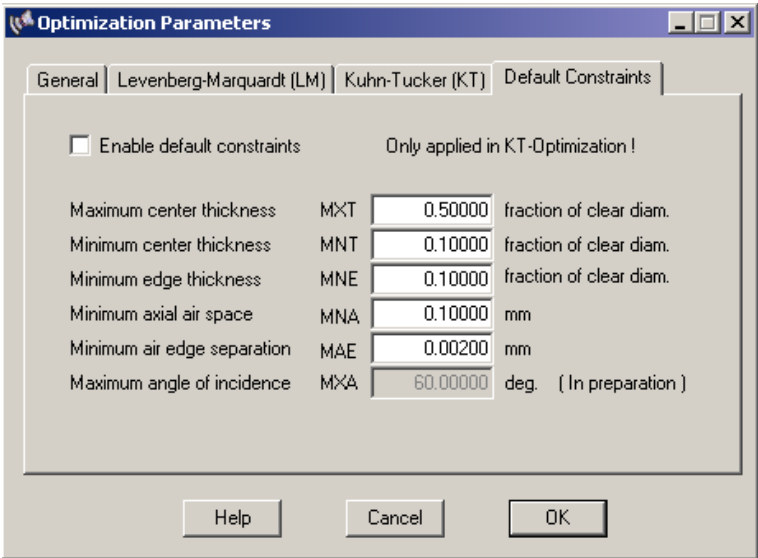


図 19.1: デフォルトの制約条件を設定するためのダイアログボックス

が定義の制約条件としてレンズ厚や間隔を明示的に設定した場合には、その対象として設定した面において、デフォルトの制約条件よりもユーザ定義の制約条件が優先されることにも注意してください。

デフォルトの制約条件の設定値は、レンズの構成データや最適化条件とともに保存されます。このため個別のレンズ設計に対して、それぞれ独立した設定が可能です。

DEFC Yes No	デフォルトの制約条件を適用する場合には Yes を指定し、適用しない場合には No を指定します。
MXT max_ele_center_thi	設計変数として指定されたすべてのレンズの軸上厚の最大値を制約します。ただし、THI または ET によって明示的に制約条件が指定された面を除きます。MNT は、最大光線有効径に対する割合で指定します。デフォルトの MNT は各面の光線有効径に対して 0.5 (50%) です。
MNT min_ele_center_thi	設計変数として指定されたすべてのレンズの軸上厚の最小値を制約します。ただし、THI または ET によって明示的に制約条件が指定された面を除きます。MNT は、光線有効径に対する割合で指定します。デフォルトの MNT は各面の光線有効径に対して 0.1 (10%) です。
MNE min_ele_edge_thi	設計変数として指定されたすべてのレンズのコバ厚 (エッジ厚) の最小値を制約します。ただし、THI または ET によって明示的に制約条件が指定された面を除きます。MNE は、光線有効径に対する割合で指定します。デフォルトの MNE は各面の光線有効径に対して 0.1 (10%) です。

次ページに続く

前ページから続く	
MNA min_air_center_thi	設計変数として指定された空気間隔のうち、中心間隔のほうがエッジ間隔よりも狭い面について、空気間隔の最小値を制約します。ただし、THI または ET によって明示的に制約条件が指定された面を除きます。MNA のデフォルト値は 0.1mm です。
MAE min_air_edge_thi	エッジ間隔よりも中心間隔のほうが狭い面について、コバ厚 (エッジ厚) の最小値を制約します。ただし、THI または ET によって明示的に制約条件が指定された面を除きます。MNE のデフォルト値は 0.002mm です。
MXA max_angle_inc	この機能は準備中です。すべての視野角について、面への入射角の最大値を制約します。MXA のデフォルト値は 60° です。

デフォルトの制約条件は、図 19.2 に示されているとおり、レンズの厚さや空気間隔に関連しています。デフォルトの制約条件が機能するのは、それに関連した面間隔が設計変数として設定されている場合に限られることに注意してください。もしも面間隔あるいは空気間隔が設計変数として指定されていないのであれば、その面に関するデフォルトの制約条件は機能しません。しかし、一般的な面間隔の制約侵害が発生する可能性があります。

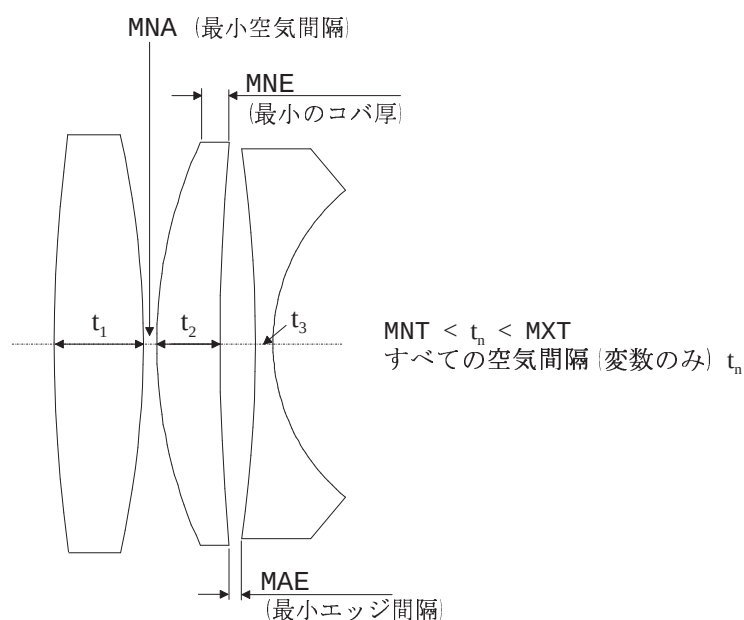


図 19.2: レンズ厚および空気間隔に関するデフォルトの制約条件

19.6 通覧、メリット関数/制約条件 (Target/Constraints Overview)

EFL [si..j wi..j zi..j]	焦点距離。面範囲、波長、ズームポジションを指定できます。指定のない場合は、第1ズームポジションの全系に対する主波長における焦点距離です。
BFL [si / wi / zi]	面番号 si、波長番号 wi、ズームポジション zi のバックフォーカス。設定された共役関係における値。つまり、物体距離が有限である場合には繰り出し量を含みます。
SYL [zi]	(像面を除く、第1面から光学系の最終面までの) 光学系距離
MAG [zi]	横倍率
SAP [zi]	最終面から射出瞳位置までの距離
THI si..j	第 i 面から j 面までの面間隔。 例: thi s3..5 < 5.0
IMD [zk]	ズームポジション zk における像距離。最終光学面と像面の間の軸上間隔に相当。zk を省略した場合、IMD は第1ズームポジションに対して求められます。
IMC [zk]	像側クリアランス。最終光学面と像面の間の軸上距離 (IMD) と最終光学面の光線有効径位置と像面の間の距離のうち、小さいほうの値。zk を省略した場合、IMC は第1ズームポジションに対して求められます。
RDY si..j	第 i から第 j 面までの曲率半径。 例: rdy s5 > 100
OAL [si..j]	光学系の全長、つまり第 i 面から j 面までの軸上間隔の総和です。面範囲に関する修飾子がない場合、その範囲は第1面から像面までが仮定されます。(像面の手前、つまり光学系の最終面までの面間隔を第1面から合計した SYL と混乱しないで下さい)。 例: oal s2..6 = 50
AOI si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi に対する光線の面 si への入射角。rel_apeX, rel_apeY は入射瞳上の光線の通過点を示す相対座標です。パラメータの省略はできません。結果は度 (degree) を単位として得られます。 例: aoi s3 f5 w1 0 1 < 15.
AOR sk fi zi wi rel_apeX rel_apeY	画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi に対する光線の面 si への入射角。rel_apeX, rel_apeY は入射瞳上の光線の通過点を示す相対座標です。パラメータの省略はできません。結果は度 (degree) を単位として得られます。 例: aor s3 f5 w1 0 1 < 15.
X si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の X 座標。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: x s3 f5 w1 0 1 = 10
次ページに続く	

前ページから続く	
Y si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の Y 座標。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: y s3 f5 w1 0 1 = 10
Z si fi zi / wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の Z 座標。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: z s3 f5 w1 0 1 = 10
CX si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の方 向余弦の X 成分。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上 における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: cx s3 f5 w1 0 1 = 0.1
CY si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の方 向余弦の Y 成分。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上 における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: cy s3 f5 w1 0 1 = 0.1
CZ si fi zi wi rel_apeX rel_apeY	面 si、画角 fi、ズームポジション zi、波長 wi の光線の方 向余弦の Z 成分。rel_apeX, rel_apeY の値はこの光線の瞳面上 における相対座標です。パラメータは省略できません。 例: cz s3 f5 w1 0 1 = 0.1
CXN si	面 si における面頂点の法線の X 方向余弦。 例: cxn s3 = 0.1
CYN si	面 si における面頂点の法線の Y 方向余弦。 例: cxn s3 = 0.1
CZN si	面 si における面頂点の法線の Z 方向余弦。 例: cxn s3 = 0.1
XSC si	面 si の頂点の X 座標。sk 面にグローバル座標系が設定さ れている (GLO sk) 場合には、si 面の X 座標は面 sk の頂点座 標を原点として参照します。 例: xsc s3 = 50
YSC si	面 si の頂点の Y 座標。sk 面にグローバル座標系が設定さ れている (GLO sk) 場合には、si 面の X 座標は面 sk の頂点座 標を原点として参照します。 例: xsc s3 = 50
ZSC si	面 si の頂点の Z 座標。sk 面にグローバル座標系が設定さ れている (GLO sk) 場合には、si 面の X 座標は面 sk の頂点座 標を原点として参照します。 例: xsc s3 = 50
XSG si	光学系全体のグローバル座標に対する面 si の頂点の X 座標。 この面に先行する他の面をグローバル原点として設定する場 合は、XSC および GLO コマンドを利用してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
YSG si	光学系全体のグローバル座標に対する面 si の頂点の Y 座標。この面に先行する他の面をグローバル原点として設定する場合は、YSC および GLO コマンドを利用してください。
ZSG si	光学系全体のグローバル座標に対する面 si の頂点の Y 座標。この面に先行する他の面をグローバル原点として設定する場合は、YSC および GLO コマンドを利用してください。
PATH si...j fi zi wi rel_apeX rel_apeY	画角 fi 、ズームポジション zi 、波長 wi の光線の面範囲 si...j に渡る物理的な光線長。(屈折率が乗ぜられた、いわゆる光路長ではありません) rel_apeX , rel_apeY の値は瞳面上における、この光線の相対座標です。
OPL si...j fi zi wi rel_apeX rel_apeY	画角 fi 、ズームポジション zi 、波長 wi の光線の面範囲 si...j に渡る光路長。これは物理的な光線長と指定された波長における屈折率として与えられます。 $n \cdot \text{PATH}$ 。ここで n は指定された波長における光学材料の屈折率です rel_apeX , rel_apeY の値は瞳面上における、この光線の相対座標です。
ET si...j sk height_X height_Y	面座標 (面の X および Y 方向の高さ) height_X , height_Y で計った第 si 面から第 sj 面の間のコバ厚 (エッジ厚)
SPD [wi...j fi...j zi...j]	スポットダイアグラムの直径 (rms)
SPX [wi...j fi...j zi...j]	スポットダイアグラムの X 成分のスポット直径 (rms)
SPY [wi...j fi...j zi...j]	スポットダイアグラムの Y 成分のスポット直径 (rms)
WAV [wi...j fi...j zi...j]	波面収差 (rms).
SPA [zi]	3 次の球面収差
COMA [zi]	3 次のコマ収差
ASTI [zi]	3 次の非点収差
PETZ [zi]	3 次のペッツバーレル和
DIST [zi]	3 次のディストーション
LCA [zi]	3 次の縦の色収差
TCA [zi]	3 次の横の収差
LAC wi...j [fi...j zi...j]	実光線の横の色収差
DISX [zi...j fi...j]	X 方向のディストーション (%)
DISY [zi...j fi...j]	Y 方向のディストーション (%)
FDISX [zi...j fi...j]	X 方向の $F\theta$ ディストーション (%)
FDISY [zi...j fi...j]	Y 方向の $F\theta$ ディストーション (%)
MTFA [wi...j zi...j fi...j]	サジタル MTF とタンジェンシャル MTF の平均値。値域は 0 から 1 です。MFR コマンドで規定した空間周波数における MTF を使います。最適化プロセスにおいて MTF は通常、目標値を 1 として最大化されます。
次ページに続く	

前ページから続く	
MTFT [wi..j zi..j fi..j]	タンジェンシャル MTF です。値域は 0 から 1 です。MFR コマンドで規定した空間周波数における MTF を使います。最適化プロセスにおいて MTF は通常、目標値を 1 として最大化されます。
MTFS [wi..j zi..j fi..j]	サジタル MTF、値は 0 から 1 の間です。MFR コマンドで定義される空間周波数で、MTF を計算します。通常、MTF は目標値 1 とする最大化を実施します。
UA [si..j zi..j] UMY [si..j zi..j]	近軸マージナル光線の傾角。UA と UMY は同義です。
HA [si..j zi..j] HMY [si..j zi..j]	近軸マージナル光線高。HA と HMY は同義です。
UB [si..j zi..j] UCY [si..j zi..j]	近軸主光線の傾角。UB と UCY は同義です。
HB [si..j zi..j] HCY [si..j zi..j]	近軸主光線の光線高。注意:HB と HCY は同義です。
WEI [si..j]	レンズエレメントの重量 (g/cm^2)。
MFL	レンズモジュールの焦点距離。
VIG [fk]	ビネッティング係数。視野番号 1 として指定した画角における入射瞳径に対する相対値。100% のビネッティングが生じて光線がまったく通過できない状態のとき、1.0 であり、まったくビネッティングのない状態のとき、0.0。fk が省略された場合は、最大視野角が指定されたものと見なされます。
TSF [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	ニュートンフリンジに関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLF 2.0 が使われます。このことに関する関連情報については、DLF コマンドに関する説明や、408 ページに記載の面の曲率半径に関する公差に関する説明を参照してください。
TSR [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	曲率半径の変化に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLR 0.0025(mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLR コマンドに関する説明を参照してください。
TSI [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	面のイレギュラリティ(いわゆるアス成分)に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は IRR 0.4 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの IRR コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TST [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	面間隔に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLT 0.02 が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLT コマンドに関する説明を参照してください。
TSN [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLN 0.001 が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLN コマンドに関する説明を参照してください。
TSV [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率分散 (アップベ数) に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLV 0.008 (0.8%) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLV コマンドに関する説明を参照してください。
TSH [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率の一樣性に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は HOM $50(50 \cdot 10^{-6})$ が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの HOM コマンドに関する説明を参照してください。
TSX [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 方向の平行偏芯に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLX 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLX コマンドに関する説明を参照してください。
TSY [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 方向の平行偏芯に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLY 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
TSZ [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 方向の平行偏芯に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLZ 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TSA [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLA 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLA コマンドに関する説明を参照してください。
TSB [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLB 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLB コマンドに関する説明を参照してください。
TSG [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLG 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLG コマンドに関する説明を参照してください。

19.7 コントラストおよび解像力の制御方法 (Controlling Contrast vs. Resolution)

スポットダイアグラムの RMS 径や波面収差量の RMS 値の最小化を設定するだけでは所望の収差特性を得られないことがあります。このような場合には、スポットダイアグラムや波面収差の状態を具体的に指定し、調整する必要があるかもしれません。これは同じ RMS 直径を持つスポットダイアグラムであっても、スポット全体の広がりや中心集中性の度合いが異なる様々なバリエーションが存在することに関連しています。たとえば、スポットダイアグラムの中心集中性を向上させることは、設計対象である光学系のコントラストの低下と引き換えに、空間改造力を向上させることに対応しています。下記で紹介する WTA コマンドは、コントラストと改像力のバランスをとるのに有効です。

WTA [zk] aperture_weight	開口に対する重みです。aperture_weight に大きな値を設定することは、瞳に入射する光束の外周部と比較して相対的に主光線付近 (光束中心部) に重点的に重みをかけることに相当します。軸上光束についていえば、これは低次の球面収差を高次の球面収差よりも重視することにも相当しています。また、軸外収差の場合には、コマ収差よりも像面湾曲や非点収差の影響を強く意識している状況に相当します。aperture_weight に設定すべき典型的な値としては:	
	重み	目標とする状況
	0.0	高いコントラスト、ほぼ良好な解像力
	0.5	ほぼ良好なコントラストと解像力
	1.0	低いコントラスト、非常に高い解像力.
	19.3図 および 19.4図 の例も参照してください。	

開口重みは、入射瞳に渡って次のように定義されています。

$$W = e^{-(WTA \cdot r)^2}$$

(19.7)

ここで、 r は入射瞳を通過する光線の相対的な開口高さ（瞳径を 1 に正規化して得られる瞳面上の光線通過点の相対高さ）です。また W は、その光線に適用される相対的な重みであって、これ自体、すべての W に関してゼロから 1.0 に正規化されます。この関数は、41ページの 7.3.5 章で紹介している瞳のアポダイゼーション関数の機能と良く似ています。しかし、適用範囲に明確な違いがあります。瞳のアポダイゼーションは (いったんそれが定義されれば) すべての設計および評価に対して常に適用されるのに対し、WTA は、最適化におけるスポットダイアグラムと波面収差の計算にのみ適用されます。19.7式は、形式的には任意の重み (WTA 値) を設定できる形をしていますが、効率よくこの機能を利用するには、 $0 \leq WTA \leq 1$ の範囲で設定することを推奨します。

19.3図と 19.4図は、スポットダイアグラム (あるいは波面収差) の様相に与える WTA の影響を示しています。

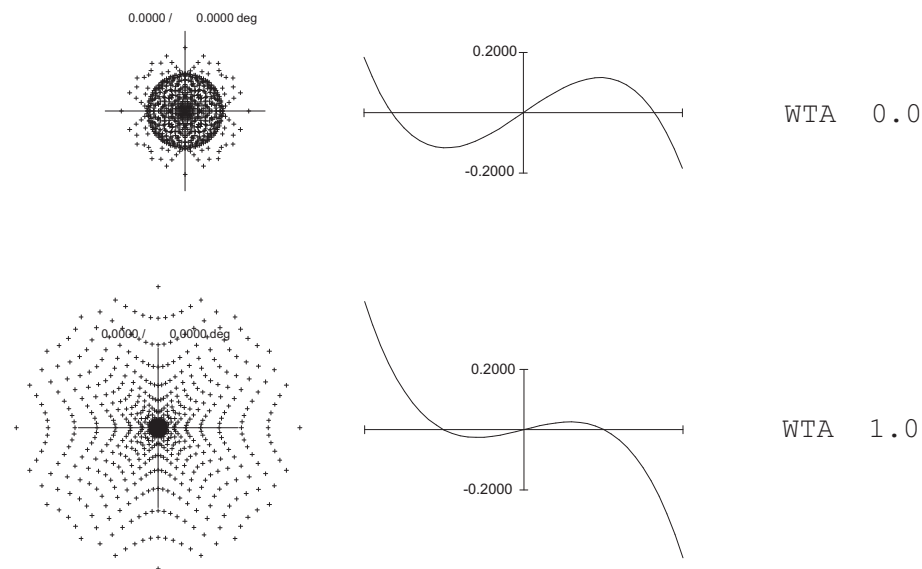


図 19.3: 開口に対する重み WTA がスポットダイアグラムの様相に与える効果。右図：スポットダイアグラムの **RMS** 径を最小にした状態、つまり **spd f1 0** が最小であるような状態における横収差図。 WTA に大きめの値を設定することによって、スポットダイアグラムのフレア成分が増加することと引き換えに、その中心核が強調され、スポットの中心集中度が高められることが分かります。

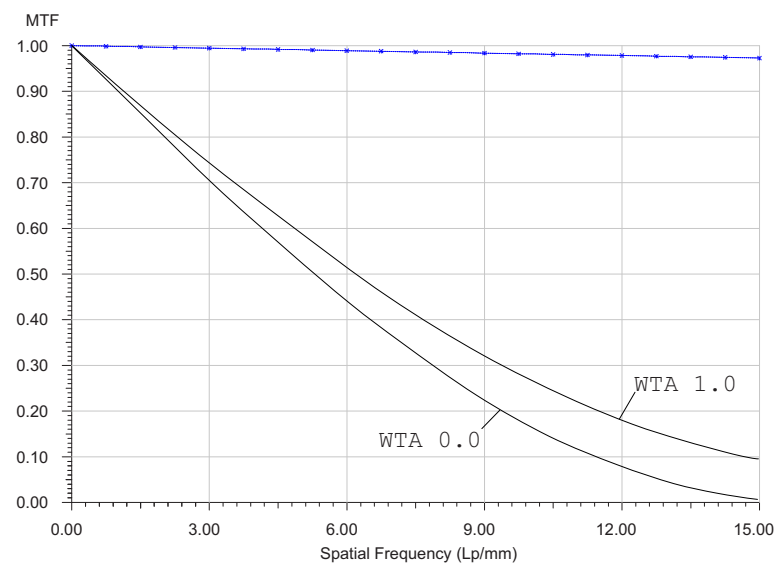


図 19.4: 開口に対する重み WTA が **MTF** に与える効果。より大きな WTA を与えることにより、高周波成分ほど **MTF** が良好な特性を呈します。これは、解像力が向上していることと同じ意味です。 WTA に小さな値を設定すると、**MTF** の低周波成分ほど大きな改善効果が得られます。こちらは、コントラストが向上していることに相当します。ただし上図は、高周波成分が向上しているケースだけを示していることに注意してください。

19.8 ガラスの選択範囲・マップ上の多角形状境界 (Glass Map Boundary Points)

光学設計の変数として光学ガラスを指定するには、屈折率と分散のオフセット量をそれぞれ変数として指定します。つまり、OpTaliX はガラスの屈折率と分散そのものを変数とするのではなく、あらかじめ設定されている光学ガラスを基準として、そこからの屈折率/分散からのオフセット量を変数にするということです。このようにして、OpTaliX の内部では光学ガラスを仮想ガラスとして取り扱うことで、最適化に対応させています。屈折率のオフセット量を可変にするには **DNO** を設計変数に設定します。また、分散のオフセット量を可変にするには **DVO** を設計変数に設定します。しかしながら、このようにして得られる仮想ガラスの特性が入手可能な光学ガラスの屈折率範囲や分散の範囲を越えてしまうこともあります。このため、自動設計 (最適化) のプロセスでは、光学ガラスの選択範囲をガラスマップ上の $n-v$ 領域内に拘束したくなることがあります。

これを達成するためには **DNO** と **DVO** が変化可能な領域を、実際にガラスが存在する範囲に限定すれば良いのです。その範囲は標準的なガラスマップ ($n-v$ ダイアグラム) 上で、最大 20 個の頂点をもつ多角形の頂点座標として定義できます。

OpTaliX デフォルトのガラス境界は次のとおりです。この範囲には主要なショット社製ガラスが含まれています。

Point	n_d	v_d
1	87.00	1.4800
2	41.00	1.8900
3	20.00	1.9300
4	25.00	1.7700
5	37.00	1.5700
6	57.00	1.4900
7	87.00	1.4800

表 19.9: デフォルトのガラス境界

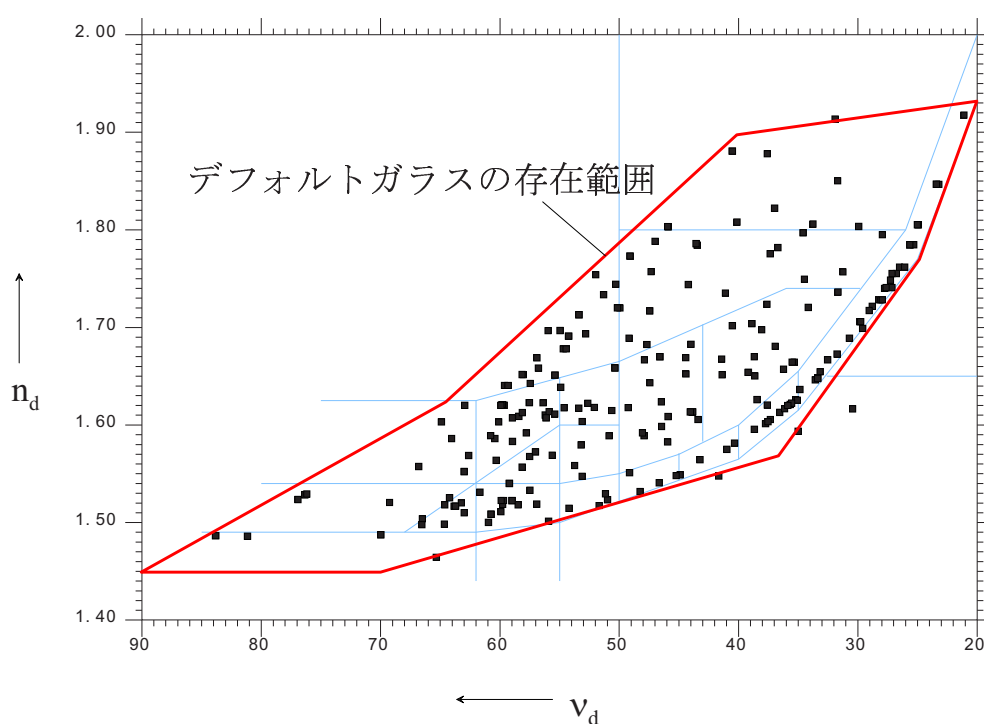


図 19.5: デフォルトのガラス境界

ガラスマップ上で座標 $n-v$ に位置する仮想ガラスのガラス境界から逸脱量は、各境界線からの距離として定義されます。その値が負であるとき、仮想ガラスはその境界線の内側 (領域内に相当する側) に存在しています。

ガラス境界 (ガラスマップ上の多角形状境界) は、次のコマンドにより設定できます。

GLP corner1 corner2 ... n あるいは GLP DEF	ガラス境界を示す多角形の頂点を示します。頂点の指定法には 3 種類あります。 xxx.yyy 仮想ガラスを示すガラスコードによる指定 – 例えば 514.643 nnnnnnnn 6 桁のガラスコードによる指定 – 例えば 514643 カタログガラス名による方法 最大 10 文字からなるカタログガラス名による指定 – 例えば BK7 頂点ごとに異なった方法によって指定してもかまいません。ただし、ここで指定する多角形は外に向かって凸でなくてはならず、またガラスマップ上で右まわりに指定しなくてはなりません。また、多角形は閉じていなくてはなりません。すなわち、最後の頂点は最初の頂点に一致していなくてはなりません。 例： GLP 481.850 820.501 900.234 560.410 481.850 GLP BK7 N-Lak9 SF6 F2 BK7 GLP BK7 683542 SF6 531.422 BK7 GLP DEF を指定した場合には、表 19.9 に示す、デフォルトの境界が設定されます。
EDI GLP	ガラス境界をダイアログボックスを使って編集します

設定されているガラスマップの頂点座標は、LIS GLP コマンドで確認できます。デフォルトのガラス境界は、SCHOTT 社のガラスの存在範囲にあわせて、ガラスマップ上で 7 つの頂点をもつポリゴン状の領域として定義されています。表 19.9 および図 19.5 を参照してください。

レンズデータとして指定されているガラス材料からの屈折率オフセット量 DNO と、屈折率分散のオフセット量 DVO は、ガラスマップ ($n-v$ ダイアグラム) 上で連続に変化することに注意してください。このことは、実際のガラスが離散的にしか実存しないことと対照的です。繰り返しになりますが、DNO と DVO は、あくまでも当該の面にその時点で設定している実存ガラスに対するオフセット量として設定されているにすぎません。OpTaliX の内部計算に用いられる各波長の屈折率は、MIL 標準ガラスの分散特性に基づいています。したがって、異常分散性を有するガラスは適切に扱われないことがあります。

光学ガラスをコストごとに $n-v$ ガラスマップ上に色分けすると、明確な特徴のあることが分かります。たとえば、マップ上の左上のガラス群は他の領域に属するガラスと比較して、相対的に高価です。また、マップ上の右上のガラス群は、他の領域のガラスと比較して短波長帯における透過率が低いという特徴があります。また、左下端のガラスは摩耗度 (あるいは針入度) が高いだけでなく、熱衝撃に弱いので研磨が難しいという特徴があります。これらを踏まえてガラスの選択範囲を適切に設定することも有効です。

最適化の結果として得られた仮想ガラスは、198 ページに記載の REG コマンドを用いれば簡単に通常のカatalogガラスに変換できます。REG コマンドは 屈折率とアッベ数のオフセット量 (最適化のスタート地点となったガラスからの変化量に相当) をよりどころに、もっとも近似の実存カatalog

ガラスで仮想ガラスを置き換えます。しかしながら、REG コマンドは DNO/DVO を変数のまま維持しますので、ご注意ください。

19.9 最適化の実行 (Run the Optimization (OPT))

変数、目標値、コンストレインツを定義すれば、光学系の最適化機能 (自動設計機能) を実行できます。

OPT [LM KT n.steps]	最適化を実行します。オプションのパラメータ LM と KT によって使用するアルゴリズムを選択します。いずれか一方だけを指定することもできますし、両方を同時に指定することもできます。どちらのアルゴリズムを選択すべきかはガイドラインを参照してください。もし LM も KT も指定しなければ、直前に最適化を実行した際に選択した手法を繰り返しますが、それが初めての最適化であれば KT アルゴリズムを使用します。n.step は最適化ステップ (繰り返し) の最大数を定義します。もし何もパラメータを与えなければ、デフォルトの繰り返し計算の回数は n.steps = 10 です。
UNDO OPT	最後の最適化の Undo。つまり、最適化直前の光学系の状態に戻します。このコマンドは最適化計算がうまく収束しなかった場合に特に有用です。例えば、コンストレインツが不適切であったり、矛盾している場合、最適は計算不可能な状態に陥ることがあります。Undo は最後の最適化だけを取り消すことができます。
ERRF	各コンストレインツ寄与を含む、メリット関数の詳細なレポートを作成します。これはメリット関数に最も影響の大きな収差を特定するための解析ツールです。最適化は実行されません。

例:

opt

! 最適化を実行します。それが初めての実行なら KT-最適化を、2 回目以降なら直前に実行した最適化手法を使います。

opt lm 5

! LM-最適化を 5 回繰り返し計算して終了します。

opt lm kt 10

! LM-最適化と QP-最適化を連続して実行。それぞれを各 10 回繰り返します。

opt kt

! KT-最適化のみ。

19.9.1 適切なアルゴリズムを選択するためのガイドライン (Guidelines for selecting the appropriate algorithm)

Kuhn-Tucker (KT) アルゴリズムは等号および不等号制約条件 (つまり $=, >, <$) を厳密に解く一方、他の関数 (設計目標としての収差など) は DLS 法により最小自乗的に解きます。KT アルゴリズムは、制約のコントロールを精密に行う高度な能力を持っているため、他のアルゴリズムのように制約条件に対する重みを設定する必要はありません。また、新たな制約条件を付加したり、あるいは削除した場合にも解空間を歪ませることはないため、解の収束速度が高く動作が安定している点に特徴があります。しかしそれでも WTC コマンドを使って一時的に等式制約条件の厳密な適用を避け、LM 最適化における重み付きの目標関数と同様に扱うほうが良い場面もあります。

仮に何らかのレンズパラメータ、例えば物像間距離 OAL が制約条件として設定されると KT 最適化はそれを厳密に解こうとします。しかし、光学系の収差がいずれも高次の非線形性を持っているために一度で解を定められるとは限りません。それでも数回の繰り返しによって、その制約が満たされるようなパラメータが定められます。

しかしながら、経験の浅い設計者にとっては制約の設定方法によっては、KT 法をうまく使えない場合もあります。整合性のないことに気付かないままに複数の制約条件を設定してしまうような場合です。例えば、曲率半径が小さくなることを規制しておきながら (つまり曲率半径を大きく保つように設定した上で)、それに見合わないほどに短い焦点距離に拘束しようとする場合などが、これに相当します。このような場合には、もはや解を求めることはできず、OpTaliX は警告メッセージを出力し、整合性のない制約条件を提示します。

注: OpTaliX では、KT 法がデフォルトです。

基本的に、**Levenberg - Marquardt (LM)** 法とは、特別な制約条件処理法をもたない減衰最小自乗法 (DLS: Dumped Least square) のことです。このアルゴリズムは制約関数 (つまり、 $=, >, <$) の処理を内部的に大きな重みを生成することにより、収差の処理と同様に扱います。このアルゴリズムは設計が初期段階にあって光学性能が所望の補正状況からかけ離れている場合に適しています。たとえ制約関数の定義に不都合があっても設計解が発散してしまう (壊れてしまう) ことはほとんどなく、むしろ (望んでいるのではない別の方向に向かって) 滞ることなく進むという意味で依然として計算可能です。いずれにせよ、LM 法は制約関数 ($=, >, <$) を厳格に解いていませんが、所望の値にかなり近づきます。この処理方法の特長のひとつは、制約関数の重要度に応じて重みを調整できるということです。しかし逆にいえば、所望の結果が得られるように適切にバランスさせる必要があるということでもあります。

最適化アルゴリズムが解くことができるのは、ユーザが適切に設定した設計課題だけです。したがって、次のような課題は解くことはできません。

- 光学の原理に反する制約条件を含む課題
- 定義した変数の数よりも制約条件の数が多い課題
- 制約条件を満たすために必要な変数が定義されていない課題
- 系を通過する光線が見いだせなくなるほど、光学系に著しい変更を加えた課題
- もともと補正不能な収差を制約条件として指定した場合 (たとえば、ダブルレットにおける非点収差や、単レンズにおける軸上色収差など)

19.9.2 MTF 最適化 (MTF Optimization)

MTF を最適化の目標として直接指定しても良い結果の得られない場合があります。MTF 最適化をうまく実行するためには、MTF 値が光学系の構成パラメータに対して振動するということを良く理解する必要があります。このことを説明するために図 19.6 を用意しました。ここには像面のデフォーカスすることで、つまり、像面が光軸に沿って前後に移動することで MTF 値が振動することを示しています。MTF の最大値は像面の最良位置 (軸座標 $Z = 0$ の位置) において得られますが、像面がそこから離れると MTF 値はいったん下がり、再び上昇します。このような場合、最適化を成功裡に実行するかどうかは像面の初期位置に依存します。

仮に最適化の出発点を軸座標 $z \approx 0.6$ の位置、つまり図中の点 (1) に選んだとすると、最適化の結果として得られる最終解は、サイドローブの最大地点にとどまります。LM 法 (DLS 法) も、QP 法も局所最適化アルゴリズムですから、隣接する極値にはジャンプできないからです。より良い出発点は図中の点 (2) です。この場合には局所最適化アルゴリズムは余計な極値にまどわされず、“本来の” MTF 最大値を直接見つけられます。現実問題として、MTF 最適化がその威力を発揮するのは設計解が最適解にほぼ近づいており、最終的な微調整を必要としているような場面です。MTF 最適化を実行するのに先駆けて、スポットダイアグラム (SPD) や波面収差 (WAV) を使った最適化を実行するように強くお勧めします。

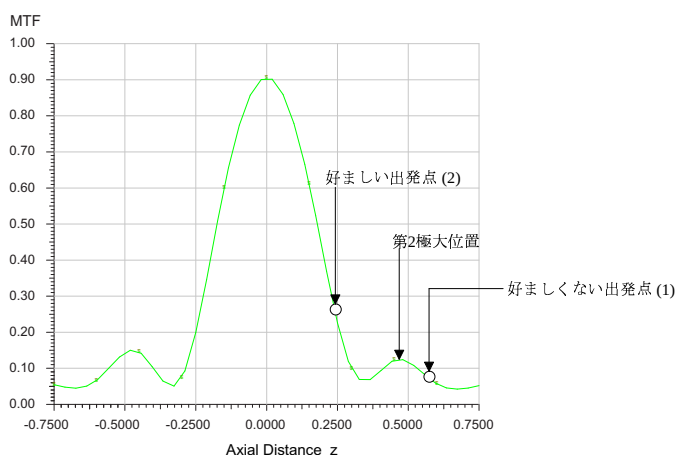


図 19.6: 理想レンズに関する波動光学的 MTF のデフォーカス量依存性

19.10 製造公差に関する最適化 (Optimizing for Tolerance Sensitivity)

光学系を設計する際、収差量を最小化を目指すだけでなく、公差の緩い系を求めたくなることがあります。曲率半径や面間隔のみならず偏芯も含め、公差が緩くなれば、その分だけ製造が容易になるからです。

このような要請に応えるために、OpTaliX では像特性と公差の両方を同時に設計対象とするための機能を有しています。ここでいう“公差”とは、厳密には、光学系の構成要素が Δx だけ変化した際の特性の変化を、メリット関数の変化量 $\Delta\Phi$ として定義したものです。したがって以降は公差という用語は、光学系に与える摂動そのものを表すために用い、特性の変化量を意味する場合は“敏感度”という用語を使うことにします。

このように用語の使い方を定めれば、OpTaliX は、収差とともに下式で定義される敏感度 S を最小化しようとするのだと表現できます。

$$S = \sqrt{\sum_i^N \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta x} \right)^2} \quad (19.8)$$

ここで i は、面番号です。光学特性の変化 $\Delta\Phi$ は、どんな種類の公差についても常に波面収差 (WAV) を使って評価されます。光学系の性能 Φ の改善と、敏感度 S の最小化は一般に相反しています。そのため、性能を犠牲にすることなく敏感度を下げることは容易ではなく、結局は、 Φ と S のバランスをいかに取るかという問題に至ります。つまるところ、良好なバランスを得るには、設計者の経験と技量が必要だということです。このことに関連するさらなる議論は、Grey [16]、あるいは Isshiki 他 [23] によって紹介されています。

19.10.1 敏感度を設定可能な公差要素 (Tolerance Sensitivity Items)

OpTaliX は、敏感度を計算するための公差要素を複数用意しています。それらは TSF, TST, TSI, TSN, TSV, TSX, TSY, TSZ, TSA, TSB, TSG であり、19.6章 (358ページ) に詳細がまとめられています。敏感度に関連したこれらのコマンドは、あらかじめ敏感度を計算するための変分量 (Δx) が、レンズ構成パラメータに対して妥当に割り振られていることを仮定しています。変分量の設定は、公差エディタ (407ページ) を使って行えます。もしも Δx が未設定であったなら、OpTaliX は変分量として、下記を用います。

Item	Effect	Default tolerance
TSF	曲率半径に関する変分量 (ニュートン本数換算 (DLF))	$\Delta x = 2$ フリンジ
TSR	曲率半径に関する変分量 (DLR)	$\Delta x = 0.0025$
TSI	面のイレギュラリティに関する変分量 (IRR)	$\Delta x = 0.4$ フリンジ
TST	面間隔に関する変分量 (DLT)	$\Delta x = 0.1$ mm
TSN	屈折率に関する変分量 (DLN)	$\Delta x = 0.001$
TSV	屈折率分散 (アッベ数) に関する変分量 (DLV)	$\Delta x = 0.008$ (0.8%)
TSH	屈折率の一様性に関する変分量 (HOM)	$\Delta x = 50 \cdot 10^{-6}$
TSX	X 軸方向の平行偏芯に関する変分量 (DLX)	$\Delta x = 0.02$ mm
TSY	Y 軸方向の平行偏芯に関する変分量 (DLY)	$\Delta x = 0.02$ mm
TSZ	Z 軸方向の平行偏芯に関する変分量 (DLZ)	$\Delta x = 0.05$ mm
TSA	X 軸周りのティルト (α) に関する変分量 (DLA)	$\Delta x = 5$ 分角
TSB	Y 軸周りのティルト (β) に関する変分量 (DLB)	$\Delta x = 5$ 分角
TSG	Z 軸周りのティルト (γ) に関する変分量 (DLG)	$\Delta x = 5$ 分角

敏感度計算のための公差要素を設定するコマンド一覧	
TSF [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	ニュートンフリンジに関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLF 2.0 が使われます。このことに関する関連情報については、DLF コマンドに関する説明や、408 ページに記載の面の曲率半径に関する公差に関する説明を参照してください。
TSR [fk fi..j wk wi..j] sk si..j TSI [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	曲率半径の変化に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLR 0.0025(mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLR コマンドに関する説明を参照してください。 面のイレギュラリティ(いわゆるアス成分)に関する敏感度です。対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は IRR 0.4 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの IRR コマンドに関する説明を参照してください。
TST [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	面間隔に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLT 0.02 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLT コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TSN [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLN 0.001 が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLN コマンドに関する説明を参照してください。
TSV [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率分散 (アップベ数) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLV 0.008 (0.8%) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLV コマンドに関する説明を参照してください。
TSH [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率の一意性に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は HOM $50(50 \cdot 10^{-6})$ が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの HOM コマンドに関する説明を参照してください。
TSX [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLX 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLX コマンドに関する説明を参照してください。
TSY [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLY 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
TSZ [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLZ 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TSA [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLA 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLA コマンドに関する説明を参照してください。
TSB [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLB 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLB コマンドに関する説明を参照してください。
TSG [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLG 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLB コマンドに関する説明を参照してください。

19.10.2 最適化における敏感度の使い方 (Using Tolerance Sensitivity Items in Optimization)

敏感度を最適化の対象に加えるには個々の敏感度要素を、メリット関数を構成する収差 (目標関数または制約関数) のひとつとして捉えなければなりません。

個々の敏感度要素を最適化のためにどのように定義するかは、478 ページの 27.1 章に示されています。下記は、目標関数および制約関数の設定例です。

efl = 100	焦点距離を厳密に 100mm に一致させます。
spd 0	すべての視野、波長、ズームポジションに対して、スポットダイアグラムを最小化します。
tsa s1..5 f1..2 w1 0	第 1 面から第 5 面に対する X 軸まわりのティルトによって生じる収差の変化を 第 1 および第 2 視野、第 1 波長について最小化します。
tsy 0	すべての面に対して Y 軸に沿った平行偏芯が発生したときに生じる収差の変化を構成データとして指定したすべての視野、すべての波長に対して最小化します。

注意：

- 敏感度を厳格にゼロとするような制約関数を設定してはいけません。たとえば 'TSA = 0' がそれに該当します。レンズの構成パラメータを変化させても特性に変化がないということは通常、

起こりえないからです。敏感度を小さくする（公差を緩くする）ための設定を行うには、'TSA 0' のように、等号をとりのぞくことで敏感度を目標関数として設定してください。

- 敏感度を最適化の目標関数として設定する際には、十分に小さな重みから始めることをお勧めします。たとえば、`tsa sa f1 0 ; wt = 0.1` のような設定です。その後、メリット関数の変化を見ながら、光学特性と敏感度のバランスが取れるように、重みを調整してください。

19.11 出力の読み方 (Description of Output)

典型的な目標関数を想定し、出力の読み方について説明します。これと同じ出力を得るには、`%optalix%examples\Misc%double_gauss-2.otx` を読み込んで下さい。

```
KT OPTIMIZATION:
  Number of variables      :   13
  Number of functions      :  2754
  Number of equality constraints :    1
  Number of inequality constraints :    4
  Number of internal constraints :    4

OPTIMIZATION PARAMETERS :
  Number of iterations      : min =  2   max = 15
  ORGR (Optimization Ray Grid) : 16
  IMPR (Fractional Improvement) : 0.01000
  WTA (Weight on Aperture)      : 0.00000
  DEFC (Default Constraints)    : Yes

Targets/Constraints          Target      Function      Error      Violation
efl = 60.                    60.000000    49.999580    -10.000420  **
spd 0                        0.000000     0.009321     0.009321

Default Constraints          Target      Function      Error
MAE S6                      >  0.002000    5.274917     5.272917
MXT S7                      < 10.147716    2.009000    -8.138716
MNT S7                      >  2.029543    2.009000    -0.020543  *
MNE S7                      >  2.029543    4.229104     2.199560

Iter      Min.      Equal.      Inequal.      DumpingF.      Improv.
  0      0.398957    3.162344    0.143329      1.000000
  1      6.332909    1.710547    0.000000      1.000000      -14.87367
  2      1.941585    0.635908    0.000000    0.6250000E-01    0.69341
  3      0.470827    0.452288    0.000000    0.2322369E-02    0.75750
  4      0.217870    0.145856    0.000000    0.1628259E-02    0.53726
  5      0.206532    0.144571    0.000000    0.1017662E-03    0.05204
  6      0.183684    0.066643    0.000000    0.1017662E-03    0.11063
  7      0.168225    0.075135    0.000000    0.1017662E-03    0.08416
  8      0.159436    0.158571    0.000000    0.5045660E-04    0.05224
  9      0.154823    0.011828    0.000000    0.8971902E-04    0.02893
 10      0.152053    0.022684    0.000000    0.1048387E-03    0.01789
 11      0.151615    0.013254    0.000000    0.7260012E-04    0.00288

Optimization stopped. Improvement is less than 0.01000 (1.00%)

Targets/Constraints          Target      Function      Error      Violation
efl = 60.                    60.000000    60.000176     0.000176
spd 0                        0.000000     0.004111     0.004111

Default Constraints          Target      Function      Error
MAE S6                      >  0.002000    11.715292    11.713292
MXT S7                      < 10.147716    5.052111    -5.095605
MNT S7                      >  2.029543    5.052111     3.022568
MNE S7                      >  2.029543    7.034676     5.005132
```

最初に出力されているのは、最適化に用いられている設計変数と制約条件の数です。等号制約条件 (equality constraints) と、不等号制約条件 (inequality constraints) が別々に出力されています。

制約条件が侵害されている場合には、該当する行の右端に アスタリスク記号 (*) が表示されます。記号 1 つが 10% の侵害量に相当します。ただし 最大でも 10 個までしか表示されません。

その次に出力されているのは、ユーザ定義の制約条件を含む目標関数の詳細情報です。具体的には、指定された個別の関数 (Targets/Constraints)、目標値または制約値 (Target)、設計前の初期レンズデータに関する関数の現在値 (Function)、現在値と目標値の差 (Error) が出力されています。デフォルトの制約条件が設定されている場合にも同様に出力されます。ここでデフォルトの制約条件とは、レンズ厚や空気間隔、コバ厚等の最大値/最小値を妥当な値に制約するために設計変数化された全ての空気間隔に対して OpTaliX の内部で設定される制約条件のことです。

次に出力されているのは、最適化のイテレーション情報です。Iter の欄は繰り返し実行されている最適化プロセスのイテレーション番号が表示されています。その右側には制約条件のもとで最小化すべき目標関数の値が記されています (Min)。さらに等号制約条件および不等号制約条件に関する侵害の程度 (Equal. および Inequal.) がダンピングファクタ (DumpingF.) とともに出力され、さらに右側には直前のイテレーションからの目標関数値の相対改善率 (Improv.) が出力されています。例えば改善率が 0.01 と表示されているならば、直前のイテレーションと比較して、目標関数が 1 改善率が出力されるのは、KT (Kuhn-Tucker) 最適化の場合のみです。LM (Levenberg-Marquart) 最適化を選択した場合には出力されません。改善率が IMPR コマンドで設定されている水準を下回った場合には、次のメッセージとともに最適化はその段階で終了します。

```
Optimization stopped. Improvement is less than    0.01000 (1.00%)
```

その後、最適化終了時点における目標関数とデフォルトの制約条件に関する詳細が再び出力されます。

19.11.1 アクティブな制約条件のリスト出力 (List of Active Constraints)

KT 最適化の場合には、不等式制約条件は、それが侵害される場合には最適化過程に組み込まれますし、それが許容範囲に存在する (侵害のない) 場合には最適化過程から解放されます。この処理は、OpTaliX が動的かつ自動的に判断し実行します。制約条件が解放されているならば、それらは解に影響を与えることなく許容された範囲に留まるという状態にあります。一方、その範囲に留まれないと判断されるときには、制約条件処理が実行され、解が定められた境界を逸脱しないように制御されます。このような処理 (組み込みと解放) を遂行するため、最適化の各イテレーションにおいて内部的な繰り返しサイクルが実行されます。

最適化に組み込まれた不等式制約条件のことを、‘アクティブな制約条件’ といいます。アクティブな制約条件は、最適化パラメータの設定ダイアログボックスで出力設定をした場合のみ、レポートされます。具体的には、メインメニューから *Optimization* → *Optimization Parameters* ととり、‘Kuhn-Tucker (KT)’ タブにある、‘Show active constraints for each cycle’ にチェックを入れてください。なお、これに相当するコマンドは用意されていません。

Active Constraints (4)	Value	Target	Cost
thi s3 > 8	7.06120	8.00000	-0.415859E+01
thi s5 > 8	7.50000	8.00000	0.319846E+00
MNE S3	0.63518	2.40000	0.227979E+02
MNE S5	1.65757	2.40000	0.359234E+01

上記は、アクティブな制約条件の出力例です。各行とも左から順に、不等式制約条件、現在値 (Value)、境界値 (制約値/Target)、そして制約条件の達成のために要する負荷を示す値として、‘cost’ が表示されます。この値の絶対値には意味はありませんが、相対的に大きな値を示す制約条件ほど、設計解がより改善されることに強い (悪い) 影響を与えていることを示しています。この表には、アクティブでない制約条件は含まれません。不等式制約条件がアクティブになったとき (制御をしないと境界侵害が発生するとき) のみ、リストアップされます。

19.12 最適化の終了 (Terminating Optimization)

最適化は、次のいずれかの条件が満たされたとき終了します。

- 最適化の繰り返し、規定の回数に達したとき。
- キーボード上の [ESC] キーが押されたとき。
- メリット関数の改善率が所定の値を下回ったとき。
- 光線追跡エラーが所定の回数に達したとき

最適化の繰り返し回数は、最適化パラメータの設定ダイアログで設定できます。あるいは、**MXC** コマンドで設定することもできます。詳しくは [19.14章](#)を参照してください。

最適化の計算処理中に光線追跡エラーが生じた場合、それが所定の回数を越えた時点で最適化は終了します。許容可能な光線追跡エラーの上限は **OERR** コマンドで設定できます。詳細は、[19.14章](#)を参照してください。

メリット関数の改善率が所定の値を下回ったとき、最適化は終了します。改善率の限界値を設定するには、**IMPR** コマンドを使ってください。

キーボードの [Esc] キーを押下しても終了させられますが、この場合に本当に終了して良いかを確認するためのダイアログボックスが現れます。[Esc] キーを押下してから、このダイアログボックスが現れるまでの間、しばらくの時間を要することがあります。その時点で実行中の最適化処理をまず、終了させる必要があるからです。[Esc] キーは一度だけ押下すれば十分です。

[Esc] キーによって最適化を中断した場合、レンズ系の構成データは最適化の最後の繰り返しサイクルの完了状態に維持されます。

19.13 最適化の取り消し (Undo Optimization)

最適化の結果を取り消して、最適化前の状態に戻すことができます。メニューバーから *Optimization -> Undo last optimization step* とたどるかコマンドラインから

UNDO OPT

と入力してください。この機能を用いて取り消せるのは、直前に実行した最適化の結果のみです。それ以前にまでさかのぼって最適化の結果を取り消せるわけではありません。ですので有望な設計解が得られるごとに、個別のファイルに途中結果を保存することをお勧めします。

19.14 最適化のための制御パラメータ (Optimization Parameters)

下記コマンドを使えば、最適化プロセスの振る舞いを制御できます。

EDI OPT	最適化アルゴリズムのためのパラメータを編集します。
MXC max_cycles	最適化プロセスの最大繰り返し回数。最適化プロセスは、その繰り返し回数がここで設定した回数だけ繰り返されると終了します。ただし、繰り返し1回あたりの性能改善率が規定を下回ると、ここで設定した回数に満たなくとも終了します。
MNC min_cycles	最適化プロセスの最少繰り返し回数。ここで設定した回数を繰り返すまで最適化プロセスが終了することはありません。
IMPR min_impr_factor	最適化を終了すべき、光学特性改善率の閾値です。目標関数の改善率が IMPR コマンドで設定した閾値よりも小さくなった場合には、その段階で最適化が終了します。例：IMPR 0.01 という設定は、改善率1%を閾値とすることを意味します。条件にもよりますが、MXC コマンドで指定した回数に到達する前に、ここで指定した閾値に到達して、最適化プロセスが終了することになるかもしれません。
ORGR num_opt_rays	最適化にあたって追跡する光線の数です。瞳を分割するグリッド数として与えます。分割数 num_opt_rays は、4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 だけが許されます。例えば、8 を指定すると、8 × 8 の小領域に分割した瞳の各グリッドにつき、1本ずつ光線が追跡されます。ただし、ここで指定する瞳分割数は NRD コマンドで指定した、光学性能評価のための瞳分割数を越えてはなりません。
OERR error_limit	光線追跡エラーの許容回数を設定します。最適化中に、ここで設定した以上の光線追跡エラーが発生した場合には、最適化はその時点で終了します。

メインメニューからは、*Optimization* → *Parameters* とたどれば、下記に示すとおり、いくつかのタブを含むダイアログボックスが起動します。“General” と表記されているタブからは、最適化アルゴリズムの選択ができます。また、最適化サイクルにおいて生成される出力の詳しさも、ここで設定できます。

“Optimization Ray Grid” を調整すると、最適化プロセスにおいて入射瞳を何本の光線で分割するかを設定できます。この設定を収差等の解析に用いる瞳分割の設定 (NRD コマンド) と混同しないでください。このダイアログで設定する最適化用の瞳分割数が NRD コマンドで設定した分割数よりも少ない場合には、最適化の間に限って光線数が減少することになります。たとえば、最適化用に 16x16 の光線グリッドを設定したとすると、NRD 32 を指定した場合に選択される光線が1本おきに最適化時に使われるということになります。この設定の場合、最適化に要する光線追跡時間は 1/4 に減少します。また、性能評価は依然として 32x32 の光線グリッドで実施されます。

“Levenberg-Marquardt[LM]” のタブをクリックすると、LM アルゴリズムの内部で使用されている最大ステップ長を設定できます。デフォルト (0.1e+6) のままでもかなり広い範囲の光学系に対して適切に機能しますが、きわめて極端な場合には最大ステップ長を減らすことにより、最適化がよりうまく実行されるかもしれません。一般に、最大ステップ長が大きほど光学系の潜在的変化は大きくなりますが、うまく収束しなくなる可能性も増加します。また、小さいほど設計解の変化は緩やかになり、逐次計算回数をより多く繰返さなくてはならなくなります。

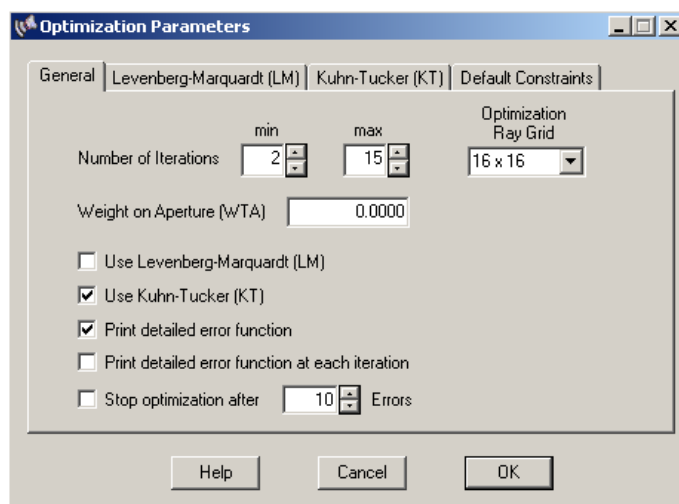


図 19.7: 最適化パラメータの設定用ダイアログボックス

”Kuhn-Tucker[KT]” のタブにある、”Show active constraints for each cycle” ラジオボタンにチェックを入れると、各最適化サイクルごとに最適解を実際に制約した制約条件がリストアップされます。これは、どの制約条件が実際の解の範囲を制約しているかを調べるのに有効な機能です。

第20章 コーティング – Coatings –

光学部品は一般に非常に薄い固体の膜をコートしますが、その目的は光学部品の表面の光学的または物理的な特性の改善にあります。アプリケーションにもよりますが、所望の光学特性を得るために単層膜、あるいは 50 層、100 層を超える多膜層が用いられています。今後この章では“コーティング”や“多層膜”あるいは単に“膜”という用語を光学面上の単層膜あるいは光学多層薄膜に対する一般的な用語として使用します。

OpTaliX は光学多層膜に関する評価機能と最適化機能がシームレスに統合されています。そのため、レンズ設計とは別のプログラムで多層膜設計をしておき、それから OpTaliX にデータを転送するといった手間は全く必要ありません。

OpTaliX のコーティングに関する機能は一度にひとつの膜データについて設計・評価を実行できます。この機能は光学系 (レンズ系) の設計・評価機能とは独立しています。この機能によりアプリケーションに適合する光学的特性が得られたら、それを任意のレンズ面に貼り付けて、光学系全体にわたる透過率特性を計算することもできます。その際には、レンズ面ごとに異なる膜データを貼り付けてもかまいません詳細は 20.5 章を参照してください。

OpTaliX には、他のコーティング設計ソフト (“The Essential MacLeod” および “Thin-Film-Calc (TF-Calc)” で作成したデータをを読み込む機能があります。このことに関する詳細は、487 ページに記載の 29 章を参照してください。

表記上の注意: OpTaliX のコマンドまたはオプションに続いて、“COA” という表記がある場合には、それは膜構成の編集用ダイアログエディタに読み込まれた膜データそのものを意味します。このデータは、光学系 (レンズ系) のデータとは独立に編集したり、最適化したりできます。

一方、コマンドまたはオプションに続いて “MUL” という表記がある場合には、光学系 (レンズ系) のある面 (光学面) に貼り付けられた膜 (単層膜、あるいは光学多層薄膜) を意味しています。光学面に対応付けられた膜は、編集できません。できるのは、光学面から膜を除去することと (DEL MUL)、ファイルに保存してあるか、その時点で膜のダイアログエディタに読み込まれている膜データに貼り代える (ATT COA) ことのいずれかだけです。もし、光学面に貼り付けられた膜の構成を変更したければ、いったん膜構成用のダイアログエディタに読み込んで編集したのち、改めて貼り付け直す必要があることに注意してください。

20.1 膜データの編集 (Editing Coating Data)

コマンドライン (6章) からでも、スプレッドシート (コーティング エディタ) からでも膜データに関するあらゆる設定が可能です。コーティング エディタの起動は、次のコマンドで行えます。

コマンド: EDI COA

コーティング エディタは膜材料、膜厚、層数など、薄膜そのものに関する構成データのみを変更できるという点に注意してください。光線入射角や評価結果の出力方法等は、“coating configuration” とよばれる別のダイアログ画面で設定します。

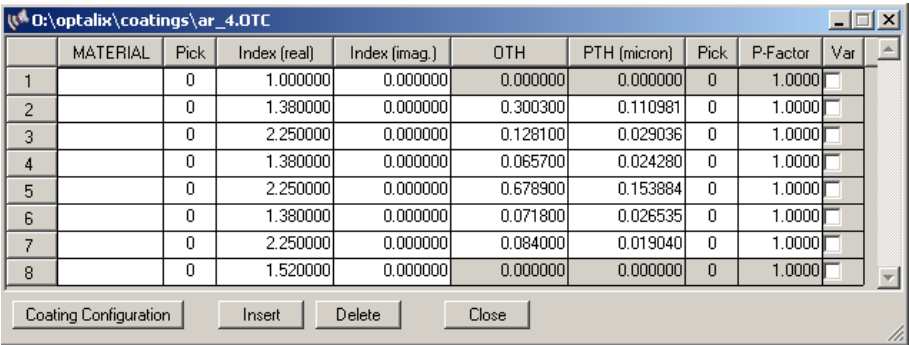


図 20.1: EDI COA によって起動されるコーティング エディタの画面

20.2 膜構成 (Coating Configuration)

20.3 膜構成のコマンドラインからの設定 (Coating Configuration)

コマンドラインから入力する場合

EDI CCFG	膜構成データを編集するダイアログボックスを起動します。
RES COA [coating_name]	膜構成データをファイルから読み込み、レンズデータとは独立にメモリ上に格納します。ファイル名の拡張子は、標準では “.otc” です。指定を省略した場合は、自動的にこれが付加されます。オプションのパラメータ coating_name を省略した場合はダイアログボックスが起動します。メモリ上に読み込んだ膜構成データは、ATT コマンドを用いて任意のレンズ面に貼り付けることもできます。coating_name に指定するファイルは、 \$i%coatings ディレクトリ (デフォルトの場合) に保管しなくてはなりません。パス情報を明示的に指定する必要はありません。RES コマンドの有効な指定例としては、 res coa ar.coat.otc res coa ar.coat
次ページに続く	

前ページから続く	
SAV COA [coating_name]	膜データファイルを“coating_name”に保存します。デフォルトではこのファイルは\$ i%coatings ディレクトリに作成されます。後にファイルを読み込む際、このディレクトリに保存されていることが前提になりますので、ディレクトリの設定を変更しないでください。ファイル名の指定 coating_name を省略すると、ダイアログボックスが開きます。
LIS MUL	面に貼り付けられた膜データのリストを表示。
DEL MUL [sk si,,j]	指定の光学面 (光学系の面 sk あるいは面範囲 si..j) に貼り付けてあった膜データを削除します。削除された面は、次に膜が貼り付けられるまで、コーティング処理がされていない面として扱われます。すなわち、この面の反射率の計算にはフレネルの式が使われます。
EDI COA	ダイアログボックスを用いて表形式で膜データを編集。
OTH li..j layer_thickness	光学的位相膜厚、または単に位相膜厚 (nd/λ_0 ; 膜の屈折率 n , 幾何的膜厚 d , 中心波長 λ_0)。幾何的な膜厚は自動的に換算されます。
PTH li..j phys_thick	指定の層 lk li..j の、幾何的な膜厚 (単位は mm)。光学的位相膜厚は自動的に計算されます。
INS li..j	i 層から j 層を挿入
DEL li..j	i 層から j 層を削除
GLA li..j material	層番号 i..j の膜材料名を、OpTaliX のガラスカタログの登録材料から指定
IND li..j real_index imag_index	i 層から j 層に対する複素屈折率を指定。GLA による膜材料の指定がないときのみ設定可能。
ATT si..j [FILE coating_name]	膜データを光学面 (レンズ面) に貼り付け。オプションのパラメータ [FILE coating_name] を指定しない場合にはその時点で OpTaliX に読み込まれているデータを貼り付けますが、指定した場合には、そのファイルを貼り付けます。ファイルは必ず OpTaliX 標準の膜データ用ディレクトリ\$ i%coatings に保存されていなければなりません。
MAN [R T A] [ANG incid_angle]	膜の分光特性を数値で出力します。評価の対象となる特性量として次のいずれかを選択できます。 R = 反射率 (reflection) T = 透過率 (transmission) A = 吸収率 (absorbance) 評価すべき特性量 (R、T、A) が省略されたときは、反射率、透過率、吸収率のすべてが出力されます。 入射角 (度) を指定することもできます。この場合、入射角の前に識別子として文字列 ANG ANG の指定がない場合には、EDI CCFG で開く膜構成のダイアログに指定されている入射角が使われます。
次ページに続く	

前ページから続く	
COA LAM R T RP TP	波長を横軸に指定の膜特性をプロット。LAM は波長 (λ/ラムダ) の意味 R = 分光反射率 T = 分光透過率 RP = 反射波の偏光に関する位相変化 TP = 透過波の偏光に関する位相変化
COA FLD R T	透過率または反射率を入射角に対してプロット。波長は膜の中心波長を使用。これは光学系 (レンズ系) の主波長 (REF コマンド) とは独立に定義されたものであることに注意してください。 R = 反射率の光線入射角依存性 T = 透過率の光線入射角依存性
COA FLA R T	透過率または反射率を入射角と波長に対して 2 次元プロット。 R = 反射率の光線入射角依存性 T = 透過率の光線入射角依存性
COA GD R T	反射率の光線入射角依存性 R = 反射成分 T = 透過成分
COA GDD R T	群速度の波長分散をプロット R = 反射成分 T = 透過成分
FTAR	膜特性の最適化において、性能目標値の設定 (詳細は 20.8.2 章 を参照)
FOPT	膜特性の最適化を実行
CLS COA [colour...n]	コーティングの分光特性を描画する際、S、P 偏光成分およびその平均値をプロットするための 描画色を選択します。描画色を特定しない場合は、デフォルトの設定にリセットされます。 例: <code>cls coa red gre blu!</code> S、P および 平均成分に対する描画色を 赤 緑 青に設定します。 <code>cls coa!</code> 描画色が設定されていないので、デフォルトの設定に戻ります。 描画色の名称および、デフォルトの描画色の定義については、28.1 章 (485 ページ) を参照してください。

膜構成データのスプレッドシートを使った設定:

スプレッドシートを使えば、膜構成データを簡単に設定できます。コマンドラインから [EDI COA](#)

と入力するか、メインメニューから *Coatings* → *Edit Layers* を選択すると起動します。

	MATERIAL	Index (real)	Index (imag.)	OTH	PTH (micron)	P-Factor	Var
1		1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000	☐
2	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☒
3	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☒
4	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☒
5	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☐
6	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☐
7	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☐
8	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☐
9	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☐
10	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☐
11	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☐
12	SiO2	1.444018	0.000000	0.250000	0.268348	0.0000	☐
13	TA205	1.997176	0.000091	0.250000	0.194024	0.0000	☐

図 20.2: スプレッドシートを使った膜データの編集

スプレッドシートの各欄の意味は次のとおりです。

Material 膜材料名です。OpTaliX のガラスカタログに登録されているどのガラス/材料名でも指定できます。カタログに登録された屈折率分散が考慮されます。膜材料名を指定しない場合は、主波長に対する屈折率を入力する必要があります。この場合、膜材料の屈折率分散は考慮されず、同一の屈折率が全波長に対して使用されます。

Index (real) 複素屈折率 ($n - ik$) の実部 n 、いわゆる屈折率です。

Index (imag.) 複素屈折率 ($n - ik$) の虚部 k 、いわゆる消衰係数です。

OTH 光学的位相膜厚 (または単に位相膜厚とも言います)。これはノギスで計るような幾何的な膜厚 PTH に膜材料の屈折率をかけて中心波長 λ_0 で割ったものです。つまり、 $OTH = n \cdot PTH / \lambda_0$ です。例えば、 $OTH = 0.25$ はその層が $\lambda/4$ 膜であること、つまり光路長がぴったり 4 分の 1 波長相当であることを示します。

PTH 幾何的な膜厚。表示単位は常にミクロンです。

P-Factor P-Factor はパッキング密度 (充填密度) です。薄膜の材料特性がバルク状態の特性をそのまま呈することはほとんどありません。薄膜は通常、空隙だらけの円柱積層構造を示し、円柱と隣の円柱の間には隙間があいています。その結果、膜の充填密度が下がり、膜材料の光学特性はそれに連れて変化します。充填密度は主に成膜条件によって変化し、0 と 1 の間で値でその程度を定義します。 P が 1 のとき、膜全体が隙間なく膜材料で満たされます。これはバルク材と同等です。充填密度の変化に伴う膜の屈折率 n は次のようにモデル化されます。

$$n = (1 - P) [(1 - f) + fn_v] + Pn_s$$

Var 該当のチェックボックスをチェックすると、膜の設計において膜厚を変数に設定できます。

20.4 膜データの新規設定 (Composing a new Coating)

$\lambda/4$ 膜の単層膜を基本単位とする簡単な記法を用いて、新しい膜データを作成します。最初に屈折率の異なる 2 つ以上の材料を、それぞれアルファベットの大文字一文字 (例えば **H**, **L**, **A**, **B** など) に置き換えて定義します。一般には文字 **H** は高屈折率材料を、**L** は低屈折率材料を示すのに使います。各文字を **HLHL** あるいは **AH2LHB** のように組み合わせで一連の式を構成します。この式の左側に光線入射側の媒質が、右側に基板が配置されると仮定します。空気と基板は別途自動的に付加されますから、この式表現に加える必要はありません。位相膜厚が $\lambda/4$ ではない膜を表現するには乗算によってあらわします。

例えば、**2.5H** は、 2.5×0.25 波長 ですから全体としては **0.625** 波長であることを示します。多層膜の繰り返しパターンは該当の式表現を括弧でくくり、これに指数または乗数を表記することで取り込めます。指数は “^” 記号で表記できます。また乗数は “*” で表記できます。例えば、高屈折率膜と低屈折率膜からなる膜構成 **HL** が多層膜全体で 3 回繰り返される場合、すなわち **HLHLHL** であれば **(HL)^3** あるいは **(HL)*3** のように表現します。こうすることで式表現は意図どおりに解釈され、実際の膜構成に展開されます。次の表は式表現の正しい例と誤った例の両方を示します。

正	誤	無効なタイプの注釈
HL	(HL)	指数がある場合に、括弧を使用します
2HL	(H^2L)	括弧内で指数は使用できません
(HL)^2	(HL)^	指数に数字がありません
(HL)^2 L(HL)^3	(HL)^2L(HL)^3	指数の後にブランクがありません

指数の後には空白を挿入しなければなりません。そうでないと式表現は正しく解釈されません。括弧はネスティングできません。たとえば **(AB(HL)^3)*2** のような指定はできません。入射側媒質 (空気) と基板材料は自動的に付加されますから指定する必要はありません。

ダイアログボックスからの新規設定 (Dialog based entry):

メインメニューから *Coatings* → *Compose new coating* をクリックすると、ダイアログボックスが起動します。材料名に置き換える 1 文字のアルファベットを “**SYMBOL**” 欄に設定し、その右側の “**Material**” 欄にドロップダウンリストから選択した材料名を設定します。各 “**SYMBOL**” は、それ自身が $\lambda/4$ 膜に相当する位相膜厚をもった単層膜であることを意味しているので、このダイアログボックスには膜厚を設定する欄はありません。“**SYMBOL**” 欄の内容を定義すると、下方の文字列入力欄に膜構成の式表現を入力できます。下記は、**H,L,B** で表される 3 種類の膜材料からなる合計 19 層の膜の定義例です。

コマンドラインからの新規設定 (Command Line Entry):

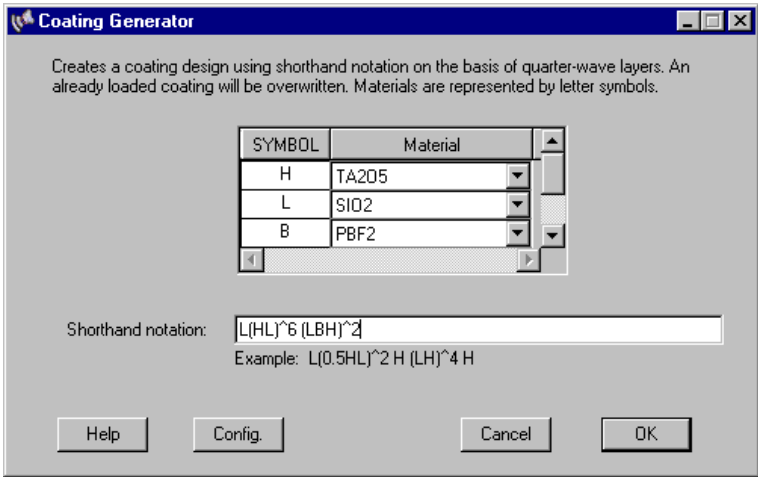


図 20.3: 多層膜を新規に定義するためのダイアログボックス。まず、HやLなどのシンボル (SYMBOL) と実際の材料を対応付け、次に L(HL)^6 の要領で、膜構成を定義します。

FCOMP 'formula'	アルファベットの大文字 1 文字で表記された $\lambda/4$ 単層膜を式表現に組み合わせて、多層膜全体の構成を設定します。式表現にはブランクが含まれる場合もありますから、全体をコーテーションで括らなければなりません。 例: fcomp 'L(HL)^3 B(HL)^6'
FSYM symbol material	アルファベットの大文字 1 文字を膜材料に対応付けます。例えば、FMAT H TiO2 は、記号“H”を膜材料“TiO2”に割り当てます。 この操作によりシンボルとしての文字“H”を多層膜の構造を示す式表現で利用できるようになります。式表現は FCOMP コマンド (上記参照) で定義します。

20.5 コーティングを光学系の各面に貼り付ける (Specifying Coatings on Surfaces)

光学系の各面にコーティングを割り当てるには ATT コマンドを使用します。こうすることで、コーティングを考慮した全光学系の分光透過率を求められます (詳細は 14 章参照)。ATT コマンドによるコーティングの光学面への割り当てには、2 つの方法があります。

1. ファイルに保存されている膜データを直接指定します。具体的には膜データが格納されているファイル名を指定します。
2. 膜データをいったんコーティングエディタに呼び出して、必要に応じて描画、解析、最適化をします。十分な膜性能を有していると確認できたら、ATT コマンドを使って 所望のレンズ面にそれを割り当てます。デフォルトのコーティング (膜材料が MgF_2 で膜厚が $\lambda/4$ の単層反射防止膜) を面に貼り付ける場合は “ATT sk—si..j DEF” を使います。

何も指定しなければ、空気とガラスの境界面はコーティングされていないものと見なされます。また、ミラー面 (REFL) および 全反射面 (TIR 面) の場合には、その反射率は 100% であると見なされます。

20.5.1 デフォルトのコーティング (単層 MgF_2 コーティング) (Default Single Layer MgF_2 Coating)

ユーザ定義のコーティングを設定していない面には、中心波長における位相膜厚が $\lambda/4$ の MgF_2 単層膜を“デフォルトの”コーティングとして貼り付ける事もできます (中心波長については 17.1 を参照)。コマンドラインからは、デフォルトのコーティング (単層 MgF_2 膜) は、次のコマンドで貼り付けられます。

ATT sk|si..j DEF

面エディタからは、各面の“Coating”欄に“DEFCOAT”と設定します (図 20.4 を参照)。

デフォルトコーティング (MgF_2 単層膜) を
第1, 2面に定義

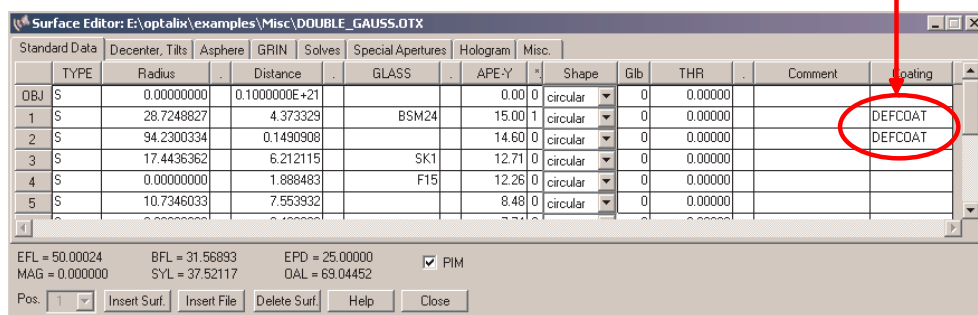


図 20.4: 面エディタにおける デフォルトコーティング (単層 MgF_2 膜) の設定例

20.6 コーティングに由来する光路長 (位相) の変化 (Phase Changes introduced by Coatings)

偏光光線追跡の機能をオンに設定 (POL YES) した場合には、光線が各面のコーティングを通過する際の位相変化が、光路長の変化として自動的に考慮されます。つまり、面に貼り付けられたコーティングに起因する光路差が、光路長 (OPL) に加算されます。

コーティングの貼り付けにより光路差 (OPD) が変化することに伴い、波動光学的な評価 (波面収差の評価や PSF、MTF など) はコーティングを貼り付ける前とは異なった結果が得られることに注意してください。特に、開口数 (NA) の大きな光学系や、レンズ面に大きな入射角で光線が入射する広角レンズでは、この影響について慎重な検討が必要です。しかし、ごく一般の光学系の場合には、その程度は小さく無視できるものとして取り扱えます。

20.7 膜厚の非一様性に関する取り扱い (Coating Thickness Variation)

通常、多層膜の各層の膜厚はレンズ面の全領域において一様であると仮定されます。しかし実際には、この仮定が成立しない特別な状況となることがあります。例えば、急峻な傾斜を含む面 (曲率半径の小さなレンズ面) に一様にコーティングするのは困難です。膜の製造プロセスに関連して、急峻な勾配をもつレンズのエッジ部では、多層膜全体の膜厚が面の頂点付近と比較して薄くなる傾向が顕著です。そのため、面の頂点付近 (面の法線に沿って光線が入射する傾向が強い) と、面のエッジ付近とはコーティングの特性が異なっているのが一般的です。このことの影響をモデリングするため、膜厚の変化を多項式で定義できます。現状では 2 種類の表現が可能です。

- 光軸対称性のある膜厚変化。
面高さ r の多項式関数で定義します。
- 光軸対称性のない膜厚変化。
 XY 多項式関数で定義します。

20.7.1 膜厚の非一様性・軸対称性のある場合 (Radial Thickness Variation)

面に渡る膜厚の変化が軸対称性を持っているならば、光軸からの面高さ r を使って次のように表現できます。

$$s_c = a_1 + a_2 r^2 + a_3 r^4 + a_4 r^6 + a_5 r^8 \quad (20.1)$$

ここで、 s_c はノミナルな膜厚設計値に対するスケーリングファクタで、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ は面頂点を基準とするラディアル座標 (半径) です。与えられたコーティングの全層を s_c でスケーリングします。 s_c は 0 から 1 の間の実数で指定します。特別な事情のない限り、面頂点における s_c は 1.0 です。負の s_c は許されず、解析においては $s_c = 0$ に置き換えられます。係数 a_1 から a_5 はコマンドで指定します。

CTV NO RAD XY sk si..j ck ci..j coeff_1 coeff_2 ...	面に渡る膜厚の変化を 光軸対称性多項式 (RAD) または非光軸対称性多項式 (XY) で定義することを示します。多項式の係数は、式 20.1 の定義に従い、coeff_1, coeff_2..., の部分に設定します。すべての係数にゼロが設定されたとき、膜厚の不均一性に関するデータは削除されます。 例: <pre>ctv rad s3 c2 -0.002 ctv rad s3 c2..5 0.01 0.02 0.03 ctv xy s2..3 c4 -0.002</pre> 光軸対称性のない膜厚変化は、XY 多項式によって表現されます。このことに関する詳細は、第 20.7.2 章を参照してください。
EDI CTV	膜厚の非一様性を規定する係数をスプレッドシートから設定します。
PLO CTV sk [style]	sk 面に関する膜厚の変化をプロットします。プロットの方法をオプションのパラメータ style で指定できます。style: WIR : ワイヤフレーム CON : 等厚線 FAL : 疑似カラー表現 XY : XY 断面 指定のない場合は、ワイヤフレームで表現されます。

関連コマンド : LIS MUL レンズ面に割り付けられたコーティングのリスト
PMA 射出瞳面上の強度分布図。瞳マップ。

例:
膜厚が 2 次関数に沿って薄くなり、レンズのエッジでは面頂点における厚さの 50% になると仮定すると式 20.1 から

$$0.5 = a_1 + a_2 r^2$$

そのレンズの直径が 50mm(半径 $r = 25mm$) の場合には

$$0.5 = a_1 + a_2 \cdot 25^2$$

膜厚のスケーリングファクタ d は $r = 0$ (面頂点) では 1 なので a_1 は必ず 1。したがって a_2

$$a_2 = \frac{d - 1}{r^2} = -0.0008$$

以上のことからこの例に沿った指定を第 3 面において指定すると次のようになります。

```
ctv s3 c1 1          ! a1 = 1
ctv s3 c2 -0.0008    ! a2 = -0.0008
```

20.7.2 膜厚の非一様性・対称性のない場合 (Non-symmetrical Thickness Variation)

膜厚の変化に対称性のない場合であっても、下記に示す 2 次元 XY 多項式を用いれば、多くの場合、適切なモデルを作成できます。

$$s_c = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5y + a_6y^2 + a_7y^3 + a_8xy + a_9x^2y + a_{10}xy^2 \quad (20.2)$$

ここで s_c は、面頂点を基準とする直交座標値 (x,y) における膜厚のスケーリングファクタです。与えられたコーティングの各層のノミナルな膜厚設計値を、面内座標に応じて $s_c(x,y)$ でスケーリングします。 s_c は 0 から 1 の間の実数です。特別な事情のない限り、面頂点における s_c は 1.0 です。負の s_c は許されず、解析においては $s_c = 0$ に置き換えられます。

係数 a_1 から a_{10} は CTV コマンドを使って設定します。膜厚変化の様子は、PLO CTV で表示できます。これらに関する詳細は、(第 20.7.1 章、389 ページ) を参照してください。

20.8 薄膜の最適化 – 改良 – (Thin Film Optimization (Refinement))

最適化は設計性能を向上させるためのプロセスです。そのためには出発点としての初期設計データを必要とします。最適化プロセスは、膜層そのものを追加しながら全くのゼロから膜構造を創造したり、シミュレーティッドアニーリング法のように全くの別構成に到達したりするものではありません。初期設計データの各パラメータを調整して、所望の特性に最も適合するパラメータの組み合わせを探索するものです。

20.8.1 変数 (Variables)

膜設計において変数は各層の膜厚です。変数は膜データを設定するためのスプレッドシートエディタで定義できます。エディタの該当欄にチェックを入れることで該当する膜厚が変数され、最適化プロセスがその値を変更します。チェックを入れなければ、最適化プロセスにおいても膜厚は変更されず、その値のまま維持されます。20.1 章にコーティングデータの編集に関する詳細が記載されています。あわせて 385 ページを参照してください。

20.8.2 目標値 (Targets)

コーティングの最適化を実行するには、目標となる膜性能を明確に定義しなくてはなりません。実際の膜性能は目標性能と比較され、その差はメリット関数によって表現されます。

コーティングの最適化において目標値とは、離散的に選ばれた各波長における反射率または透過率の希望値のことです。複雑な設計では、かなり多くの目標値を指定したくなることもありますが、ダイアログボックスを使えば、それらを要領よく定義できます。ダイアログボックスはメインメニューから *Coatings* → *Targets* を選択すれば、起動します。

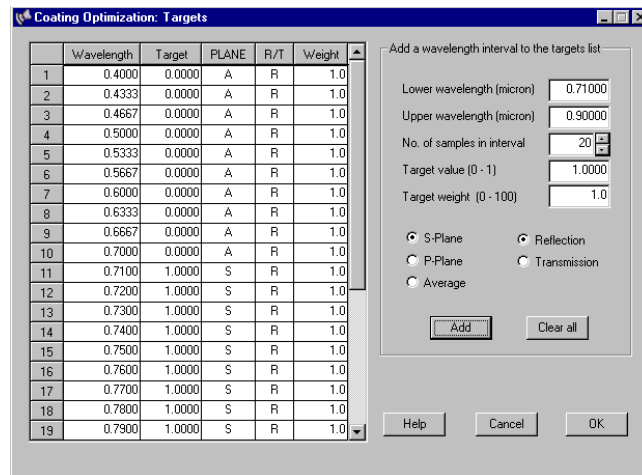
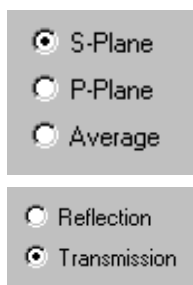


図 20.5: 膜設計のための目標値ダイアログボックス

ダイアログボックスでは、対象とする波長範囲や、その範囲内における波長間隔を指定すれば、目標として設定する波長を個別に生成できます。このようにして生成した各波長に対する共通の目標値として透過率あるいは反射率が 0 と 1 の間の数 (つまり 0%あるいは 100%に相当) で指定します。反射率および透過率は、S 偏光成分および P 偏光成分、または両成分の平均値のいずれかに対応するものとして、ラジオボタンを使って選択できます。



S-plane: S 偏光成分を目標値とする。

P-plane: P 偏光成分を目標値とする。

Average: 両成分の算術平均 $(S+P)/2$ を目標値とする。

目標値を透過率とするか反射率とするかを選択

Weights:

通常は 1 に設定しますが、0 から 100 の範囲で変更できます。重みゼロは、その性能目標値がメリット関数に反映されないことを意味します。より大きな重みを設定するほど、その性能目標値と実際の性能との差がより大きくメリット関数に反映されます。

Add ボタンをクリックすることで指定の目標値が作成されます。複数の波長範囲に対する種々の目標値 (反射、透過、偏光成分) を組み合わせて、より複雑なメリット関数を構成することもできます。

Clear all:

このボタンをクリックすることで全ての目標値を一括消去します。

Deleting targets:

ダイアログボックスに表示された性能目標の一覧表のうち、任意の目標設定だけを個別に消去できま

す(つまり行単位で消去できるということです)。例えば、2 行目から 4 行目までに定義されている性能目標を削除する場合を考えます。まず、表の最左欄の行番号 2 をクリックします。すると列全体が黒く反転表示します。次にキーボードの **Shift** キーを押し、そのまま行番号 4 をクリックします。すると 2 行目から 4 行目までの全行が黒く反転表示されます。そこでキーボードの **Del** ボタンを押すと反転表示していたすべての行が削除されます。**Del** ボタンの代わりにキーボードの **Ctrl-X** キーを押すことでも目標値を削除できます。この場合は削除された行の内容はクリップボードにコピーされています。

20.8.3 コーティング最適化の実行 (Run Coating Optimization)

設計変数と性能目標を定義すればいつでもコーティングの最適化を実行できます。コマンドラインから FOPT と入力するか、あるいはメインメニューから *Coatings* → *Optimize coating* を選択します。

FOPT [n.iter]	薄膜の最適化は、 目標値 と 変数 の適切な設定が必要です。最適化プロセスは最良解に到達するかどうかとは関係なく、 n.iter サイクル後、終了します。もし、 n.iter を省略すると、最適化プロセスは目標値を最もよく満足する膜構成を最小自乗的に見い出した段階で終了します。
---------------	---

20.9 膜材料エディタ (Coating Material Editor)

膜材料エディタ (coating material editor) は、コーティングの設計・評価の機能に関連して参照される膜材料データベースを管理するために使います。OpTaliX はあらかじめ主要な膜材料を登録したデータベースを用意していますが、その内容をユーザが変更することはできません。その代わり、ユーザ定義可能な膜材料データベースが別途用意されていて、こちらは新規に材料を登録したり、その内容を編集修正したり、不要となった材料の登録を抹消したりできます。

薄膜材料は屈折率の波長分散のみならず、多くの場合、吸収分散を伴います。この点が、屈折率分散のみによってモデル化され、光線追跡に用いられる“通常の”光学ガラスとの相違点です。BK7 に代表される通常の光学ガラスであれば、分散係数が有効となる波長域では吸収をおおむね無視できます。しかし、膜材料の場合は通常の光学ガラスとは異なり、吸収分散を無視できず、屈折率 n と消光係数 k (複素屈折率の虚部) を波長 λ の関数として定義しなくてはならないことが頻繁に発生します。(OpTaliX の場合、波長はミクロンを単位として設定します)。

必要に応じて、屈折率だけでなく消光係数も波長に対して内挿または外挿されます。その際、内挿においては線形近似が適用されます。外挿の場合は定義端となる波長に対して設定された値がそのまま維持されます。複素屈折率 (n,k) が分散式ではなく線形近似によって決定されるのは、幅広い波長域と状況に対して、さまざまな膜材料が想定されるからです。例えば、誘電体膜(吸収なし)についてのみ妥当な結果が期待される通常の分散式、(例えば **Sellmeier** 分散式や **Herzberger** 分散式) を金属材料に適用したとしても、ごく限定的な波長帯を越えて適切に屈折率を再現することはできません。

ユーザ指定の膜材料は、膜材料エディタを用いれば編集可能です。膜材料エディタはメインメニューから *Coatings* → *Material Editor* を選択するか、あるいはコマンドラインから EDI CMAT コマンドを入力することによって起動できます。

EDI CMAT	膜材料を登録、編集、削除するためのエディタ (膜材料エディタ図 20.6) を起動します。材料ごとに最大 100 波長に対する (n,k) を設定できます。波長間隔を等間隔にする必要はありません。
----------	--

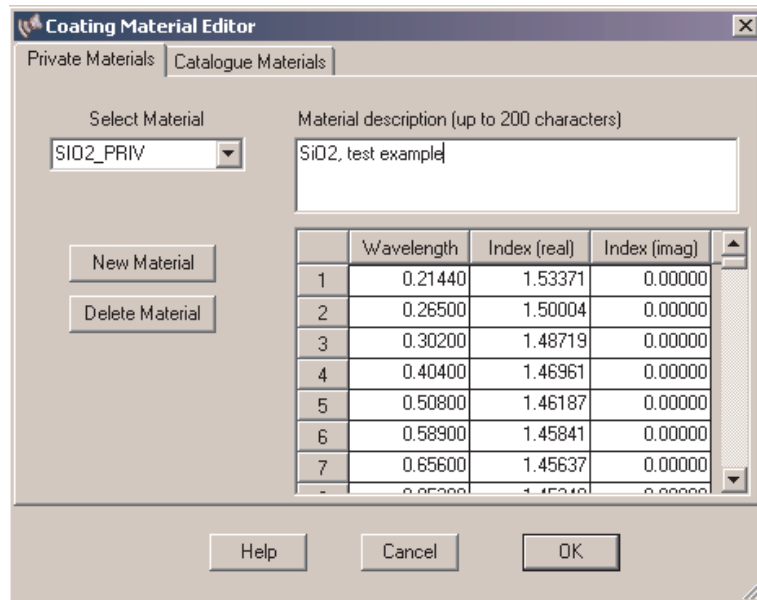


図 20.6: 膜材料エディタ

20.10 膜屈折率のプロファイル (Coating Index Profile)

膜厚方向 (屈折率界面に直交する方向) に沿った屈折率のプロファイルを図示できます。コマンドラインからは、“COA PLO” と入力してください。メインメニューからは *Coatings* → *Index Profile* とたどります。図 20.7はその一例です。図中、左側側が光線入射側 (典型的には空気)、右側が基板側に相当します。プロファイルが図示されたダイアログの左上にあるハンマー型のアイコンをクリックし、表示モードを “Plot real + imaginary part” に変更すると、屈折率の実部だけでなく虚部も表示できます。

20.11 基本的な関係式 (Basic Relations)

光学多層薄膜は特定の方向に対して垂直であるような平面のいたるところが一定の物理的・光学的特性を有し、かつそれが層状に積み上られた媒質、いわゆる “層状媒質” の一種です。この章で示す光学多層薄膜の光学的特性に関する計算手順は、Macleod [32] による取り扱いに従っています。同様の取り扱いは、Born and Wolf[4] にも紹介されています。

電場 E と磁場 H はある膜境界において他の膜境界における E' と H' に対して 2 つの線形同次方程

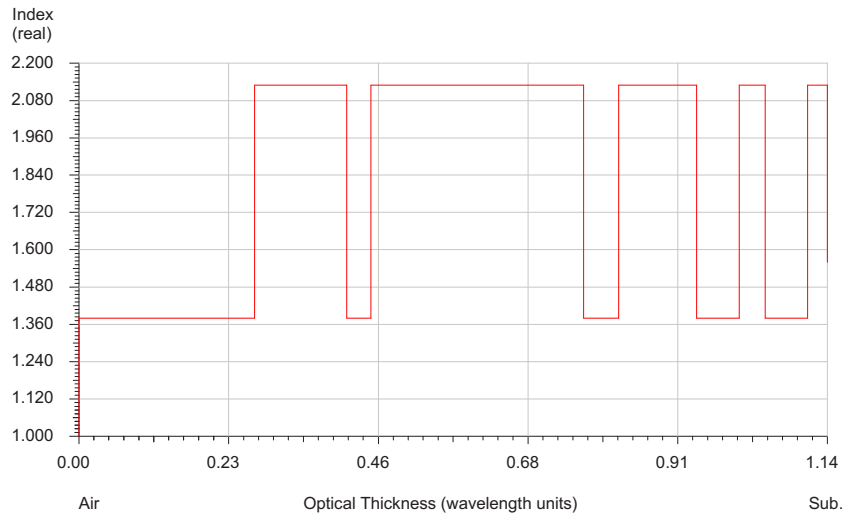


図 20.7: 膜屈折率のプロファイル

式で関連付けられますが、それは行列式で表現できます。

$$\begin{pmatrix} E \\ H \end{pmatrix} = M_j \cdot \begin{pmatrix} E' \\ H' \end{pmatrix} \quad (20.3)$$

ここで M は各層の特性行列です。

$$M_j = \begin{bmatrix} \cos(\delta_j) & -\frac{i}{p_j} \sin(\delta_j) \\ -ip_j \sin(\delta_j) & \cos(\delta_j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (20.4)$$

全体で m からなる多層膜については、多層膜全体の特性行列は各層の特性行列を順次掛け合わせた積として表現できます。

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^m \begin{bmatrix} \cos(\delta_j) & -\frac{i}{p_j} \sin(\delta_j) \\ -ip_j \sin(\delta_j) & \cos(\delta_j) \end{bmatrix} \right\} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ p_{sub} \end{bmatrix} \quad (20.5)$$

ただし、

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

N_j = 第 j 層の複素屈折率であり、 $N = n - ik$ と表記できます。ここで n は複素屈折率の実部です。また k はその虚部であって、吸収係数 α とは $\alpha = 4\pi k/\lambda$ の関係にあります。

d_j = 第 j 層の物理的 (幾何的) な膜厚です。

θ_j = スネルの法則より $n_0 \sin \theta_0 = n_j \sin \theta_j$ で計算される第 j 層の膜境界における屈折角。ここで屈折率の添え字 0 は、それが入射側空間 (物界) の媒質に対するものであることを示しています。

$$\delta_j = 2\pi N_j d_j \cos \theta_j / \lambda$$

$$i = \sqrt{-1}$$

P 偏光成分と S 偏光成分の特性行列はそれぞれ異なります。

式 20.4における $p_j = n_j \cdot \cos \theta_j$ は S 成分に関するものですが P 成分については式の形式はそのままに p_j のかわりに $q_j = \frac{1}{n_j} \cos \theta_j$ によって置き換えられた q_j を使用します。これより薄膜の振幅反射率 r と振幅透過率 t は次のように表現されます。

TE 波 および TM 波に対する特性行列は、それぞれ異なります。¹ TE 波については、 $p_j = N_j / \cos \theta_j$ を適用します。TM 波については式全体の形はそのままに、 p_j の部分を $q_j = N_j \cdot \cos \theta_j$ と置き換えます。以上の準備の後、膜全体の振幅透過率と振幅反射率は次のように求められます。

$$r = \frac{m_{11}p_0 + m_{12}p_0p_{sub} - (m_{21} + m_{22}p_{sub})}{m_{11}p_0 + m_{12}p_0p_{sub} + (m_{21} + m_{22}p_{sub})} = \frac{p_0B - C}{p_0B + C} \quad (20.6)$$

$$t = \frac{2p_0}{m_{11}p_0 + m_{12}p_0p_{sub} + (m_{21} + m_{22}p_{sub})} = \frac{2p_0}{p_0B + C} \quad (20.7)$$

これより、いわゆる膜全体の エネルギー反射率 と エネルギー透過率は

$$\mathcal{R} = |r|^2 = \frac{(p_0B - C)(p_0B - C)^*}{(p_0B + C)(p_0B + C)^*} \quad (20.8)$$

$$\mathcal{T} = \frac{p_0}{p_{sub}} |t|^2 = \frac{4p_0 \text{Real}(p_{sub})}{(p_0B + C)(p_0B + C)^*} \quad (20.9)$$

反射波の複素振幅 r の位相成分 ϕ_r は“反射の位相変化”とも呼ばれます。これは膜入射面 (入射媒質側の第 1 面) に入射する光波の位相に対する反射波の位相変化量として示されます。透過波の複素振幅 t の位相成分 ϕ_t は“透過の位相変化”と呼ばれ、こちらは膜全体に入射する光波と出射側媒質に抜け出た光波の位相差として示されます。

S 偏光成分と P 偏光成分はそれぞれ異なった位相変化を呈するので、結局反射および透過のそれぞれについて下記が得られます。

$$\begin{aligned} \phi_r &= \phi_{r(S\text{-plane})} - \phi_{r(P\text{-plane})} \\ \phi_t &= \phi_{t(S\text{-plane})} - \phi_{t(P\text{-plane})} \end{aligned} \quad (20.10)$$

位相膜厚が $\lambda/4$ である場合には、膜の構成と光学特性の間にシンプルな関係が成り立ちます。そのいくつかをここにまとめます。ただし、 n_0 は入射媒質の屈折率、 n_{sub} は基板の屈折率です。

単層膜において反射率をゼロにするには

$$n_1 = \sqrt{n_0 \cdot n_{sub}}$$

$\lambda/4$ 膜の 2 層構成において、反射率が 1 つの極値を持ち、それがゼロであるには

$$\frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{n_{sub}}{n_0}}$$

¹TE 波 = “transverse electric wave”: 電界ベクトルが入射面に対して直交する光波の成分です。ドイツ語の “senkrecht” から、S 偏光ともいいます。TM 波 = “transverse magnetic wave”: 磁界ベクトルが入射面に対して直交する光波の成分です。ドイツ語の “parallel” から、P 偏光ともいいます。

$\lambda/4$ 膜の 2 層構成において、反射率が 2 つの極値を持ち、それがゼロであるには

$$n_1 \cdot n_2 = n_0 \cdot n_{sub}$$

3 層膜において、反射率が極小となるには

$$\begin{aligned} n_1 \cdot n_3 &= n_0 \cdot n_{sub} \\ n_2^2 &= n_0 \cdot n_{sub} \end{aligned}$$

このページは白紙です。

第21章 環境解析

– Environmental Analysis –

環境解析の機能は、温度と圧力が変化することで生じる光学パラメータの変化を取り扱います。変化後の光学パラメータがこの後に続くすべての光学特性評価に使われます。変化後の光学パラメータを保存することもできますし、また、環境による変化を補償するのに有効なコンペンセータを探索するために最適化を実行することもできます。環境変化をモデリングするために温度および圧力の変化を定義できます。環境変化は全光学系に対して適用することもできますし、個別の部品についてのみ適用することもできます。

どのレンズデータについても初期環境条件に注意する必要があります。

- ノミナル温度は、20°C です。
- 物空間および像空間、レンズ間のスペースを含む全空間は、海拔ゼロメートルにおける標準の気圧下の空気を満たされています (1013.25 hPa)。
- 空気の比屈折率を 1.0 とします。この値はガラスカタログにおける前提でもあります。13.7章も参照して下さい。

これらの条件はデフォルトで仮定されているので、あらためて入力をする必要はありません。温度か圧力のどちらか一方でも変化させると (実際には変化させるためのコマンドを実行するだけで)、設定済みの屈折率は空気に対する比屈折率から、真空を 1.0 とする絶対屈折率に変換されます。この変換は自動的に実行され、ユーザからの指示を必要としません。この変換の前後で環境条件が同じ (20°C, 760 mmHg) だとすると光学的な特性評価もまた同じ結果が得られます。違いはただ、屈折率の基準値が空気から真空に変わったというだけです。例えば、コマンドラインから **TEM sa 20** と入力するとすべての面に環境温度として 20°C が割り当てられます。しかし、これはデフォルトの環境温度そのものですから、光学系特性はそれ以前と同じ結果になります。面情報のリスト出力 (**LIS** コマンドを参照) は、いまや真空に対する屈折率を表示します。例えば可視波長で、空気は真空に対して 1.000273 程度の屈折率を示します。レンズ間の空気間隔は自動的に既定の媒質名である **AIR** に置き換えられます。その結果、空気自身の屈折率分散も考慮されるようになります (参考: カタログに保存されている“通常の”ガラス屈折率は、空気に対する比屈折率です。このため空気自身の屈折率分散は、ガラスの性質としてガラスの屈折率のなかに折り込まれています。)

21.1 環境温度 (Temperature)

温度分布を任意の面範囲か、あるいは全光学系に割り当てられます。

TEM si..j sa temperature	面 si..j の環境温度を設定します。この設定により、光学パラメータは即座データに当該温度におけるモデルパラメータに変換されます。異なる温度を個々の面範囲 si..j に割り当てれば光軸に沿った温度勾配をモデリングできます。 例: TEM sa 30 ! 全光学面の温度を一様に 30°C に設定
DEL TEM si..j sa	面 si..j あるいは全面 sa の環境温度の設定を解除します。ただしレンズパラメータはそのままの状態に維持されます。例えば、高温環境 (例えば 80°C) を設定した状態で温度データを削除しても、その温度におけるどの光学パラメータも変化しません。もし常温 (20°C) のデータに戻したければ、まず TEM sa 20 を適用し、それから温度設定を削除します (DEL TEM sa)。
EXC si..j sa expansion_coef	マウント材 (鏡筒材) の線膨張係数。仮定値は 10^{-6} です。
EXM si..j sa expansion_coef	表面鏡に対する線膨張係数。仮定値は 10^{-6} です。指定した面 (si..j) あるいは全面 (sa) に割り当てられます。
EXR sk si..j ref_expansion_coef	グローバル参照された面間隔に対して適用される線膨張係数。詳細は 21.1.1 章の説明を参照してください。
DNDT si..j wi..j dndt DNDT si..j dndt(w1) ... dndt(wn)	絶対屈折率の温度変化係数 dn/dT です。ガラスカタログに登録のない場合は、明示的に指定する必要があります。仮定値は 10^{-6} です。2 つめの入力形式は、あらかじめ WL コマンドで定義した波長の順に dn/dT データが入力されることを前提としています。したがって、波長が 3 つ定義してある場合には、 dn/dT データもまた 3 つ入力しなくてはなりませんし、波長と dn/dT データは正しく対応したものでなくてはなりません。2 つめの入力形式において、もし定義された波長数よりの方が dn/dT データよりも多い場合には余った波長に対する dn/dT データはゼロが設定されます。 例 1: dndt s3 w1..5 -1.5 例 2: dndt s3 1.5 2.5 3.5 第 27 章 (471 ページ) のレンズ・データベース・アイテム (LDI) による DNDT の問い合わせについても参照してください。 絶対屈折率と相対屈折率それぞれに対する dndT については 220 ページの 13.2 章に記載があります。

環境温度の変化に伴い、どのガラスエレメントも線膨張係数 (EXC) にしたがって膨張または収縮します。そのため曲率半径、面間隔、アパチャ半径、非球面係数は次式に沿って変化します。

$$L(T + \Delta T) = (1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot L_0 \quad (21.1)$$

ここで、 L は変化後の環境温度における長さ、 T は基準温度、 ΔT は環境温度の変化、 α は線膨張係数です。

空気間隔は、光線有効径におけるエッジ厚の変化が計算された後、これを軸上間隔に加えることで変更されます。先行する面に対してグローバルに参照された面の場合には、同じ手順でエッジ厚の変

化を計算した後、軸上間隔の代わりにグローバル参照によって定義した参照面間隔 (THR) を変更します。なお、マウント材 (鏡筒材) の線膨張係数は、EXC コマンドを使用して設定します。

表面鏡の線膨張係数は、EXM コマンドで設定します。

屈折率は、その材料の dn/dT を係数として変化します。 dn/dT は各ガラス/材料において一意に決まるので登録されていればガラスカタログから引用します。登録されていない場合は DNDT コマンドを使用してゼロに設定するか、あるいは妥当な値を設定しなくてはなりません。

21.1.1 グローバル参照面に適用される膨張係数 (Expansion Coefficients on Global References)

熱収差を補償した光学系 (アサーマル光学系) がそうであるように、光学系の熱的補償にきちんと対応するには、単レンズまたは組レンズ群が個別のレンズ鏡筒に保持されるなど、特別な技法の適用が求められます。このため、一般とは異なる熱膨張係数をもった鏡筒部材を用いて、駆動部を設けることなく熱的な焦点移動を補償することさえ、めずらしくありません (パッシブ・アサーマライゼーション)。

環境温度が変化したとき、レンズ (またはレンズ群) は、周囲の他のレンズに対して相対的にその位置が変化します。典型的には、他のレンズに先がけて、まず最初にいずれかのレンズが移動しますが、この現象は、光学系を構成するいずれかひとつの鏡筒部材の熱膨張係数によって規定されるレンズ間隔の変化だけで説明できるとは限らず、より複雑な事情が関連している場合もあります。

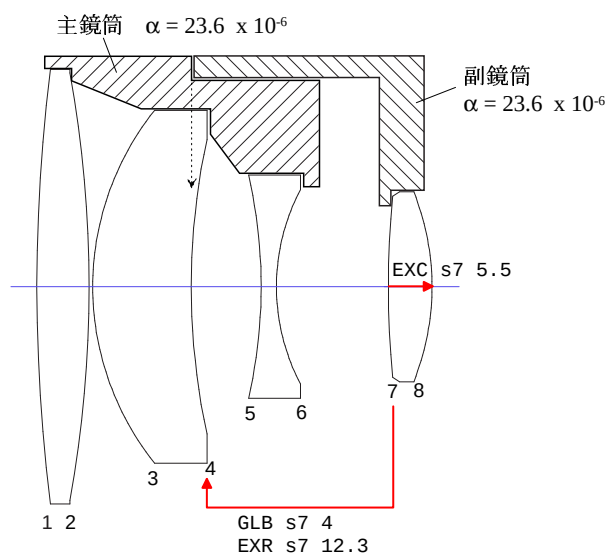


図 21.1: グローバル参照面を含む光学系の熱膨張モデルの例

図 21.1は比較的単純な4枚構成のレンズ系を示しています。ここで最終レンズ (第7面-第8面) は左側3枚のレンズを保持する主鏡筒に取り付けられた独立の副鏡筒に保持されています。もしも主鏡筒と副鏡筒が異なる材料で作られているならば、第3レンズと最終レンズの間の空気間隔は2種類の鏡筒材料の膨張係数の差にしたがって変化するはずですが。

このような光学-機械構造を適切にモデル化するためには、図中の第7面が第4面をグローバルに参照している必要があります (グローバル参照に関する詳細は、111ページの8.21章を参照してくだ

さい)。図中の第 6 面と第 7 面の間の空気間隔に関する膨張係数を定義するかわりに、第 4 面に対する第 7 面の参照面間隔に対する膨張係数を設定できます。そのためには、**EXR** コマンドを使います。ここで指定した値は、このコマンドを適用した面の前方の空間に対して適用されます。言い換えると **EXR** は、つまり、参照面間隔 (**THR**) に対する線膨張係数ということになります。

21.2 環境気圧 (Pressure)

環境気圧を任意の面範囲あるいは光学系全体に対して割り当てられます。異なる面範囲に対して、異なる圧力を割り当てることで、軸上方向で不均一な圧力分布をモデル化できます。

PRE si..j sa pressure	面範囲 si..j あるいは全面 (sa) に対する気圧 (mmHg) を設定します。例: PRE sa 760 ! 環境気圧を 760mmHg に設定します (ノミナル気圧と同じ)。
DEL PRE si..j sa	面範囲 si..j あるいは全面 (sa) に対する気圧データを削除します。

第22章 公差解析

– Tolerance Analysis –

製造上の理由により製品が設計データどおり製造されないことを許容するとき、その許容製造誤差を公差といいます。また、要求された性能を光学系全体 (製品) が満たすように各光学部品の製造誤差範囲を組み合わせること、あるいはその程度を調べることを公差解析といいます。

設計者にとって公差解析を注意深く実行することは製品の性能を設計の意図どおり発揮させるためにたいへん重要です。製造誤差の光学性能への影響を評価するために、種々の公差があらゆる組み合わせで検討されます。公差解析は、その時点で設定されている光学データに対して種々の微小変化 (摂動) を加え、その際の収差変動の程度を評価することによって行います。OpTaliX の場合、そのための摂動量は解析前に任意の大きさに設定できます。解析の結果求められた公差は、レンズデータファイルと共に自動的に保存されます。

光学系の公差解析において、陥りがちな状況が2つあります。ひとつは仕様割れです。製品に求められる性能が十分に議論されないままに公差解析が実行されると、ときとして得られる公差が緩すぎることとなり、光学系が本来達成すべき要求性能を満たさなくなります。もうひとつの状況は、製品性能を過剰に求めることです。これは本来要求されるべき公差よりもずっと厳しい結果を生みます。したがって、公差の設定は、下記によって制約される複雑なプロセスであるといえます。

- a) 光学系に対する要求性能
- b) 光学系の適用分野ごとに許される製造経費と所用時間

指針として、公差は製造された光学製品が満足のいくものとなるために過不足なく設定されるべきものだとします。OpTaliX において有効な公差計算は次の3つのカテゴリに区分されます。

- 感度解析
- 逆公差解析
- モンテカルロ解析

いずれのカテゴリにおいても、公差項目 (*tolerance items*)(22.1章、403ページ)、および公差判定基準値 (*tolerance criteria*) (22.2章、410ページ) の設定が必要です。これらは続く2つの節で議論されます。

22.1 面に関する公差 (Surface Tolerance Items)

面に割り付け可能な公差項目は、EDI TOL コマンドで起動するダイアログボックスで編集できます。また、後述するとおり、コマンドラインからも直接定義できます。各公差項目の詳細な定義方法については、下表、および次節に示されています。

コマンド:

EDI TOL	面に関する公差項目を編集するためのダイアログボックスを起動します。
DEL TOL [si..j]	指定された面範囲 si..j に設定されていた全ての公差を削除します。 例: del tol s1..3 ! 第1面から第3面までの公差設定を削除します。 del tol sa ! すべての面に対する公差設定を削除します。
DLF si..j tol_testplate_fit	光線有効径に渡るニュートン原器のフリンジ本数を公差項目に設定します。フリンジの本数は波長 546nm で観察した場合を想定しています。22.1.3章に詳細情報があります。 フリンジ本数に関する公差は、TSF 関数 (361ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すればフリンジ本数の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
IRR si..j tol_irregularity	面のイレギュラリティ、つまりシリンダ成分を公差項目に設定します。これは非対称性をもつ面形状誤差のうち、もっとも低次に属するもの(つまり通常はもっとも顕著に発生するもの)です。摂動量はフリンジ本数で指定します。フリンジの本数は波長 546nm で観察した場合を想定しています。この公差は(球面の場合には)球面度誤差に対応しており、XZ 子午面において測った曲率半径と YZ 子午面内で測った曲率半径との差をフリンジ本数に換算したものです。シリンダ成分は XZ 面内に対して $\Delta R/2$ 相当が加算され、YZ 面内に対して $\Delta R/2$ 相当が減算されます。イレギュラリティに関する公差は、TSI 関数 (361ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すればイレギュラリティの微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。

次ページに続く

前ページから続く	
DLT si..j tol_thickness	軸上面間隔 (THI) を公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。面間の軸上面間隔を変化させる作用があります。指定した面以降のすべての面も、この面の公差の影響をうけて空間的に移動します。ただし、先行面に対してグローバル座標系でその位置を固定した面は移動しません。より詳細には 22.1.4章 と 22.1.5章 を参照してください。面間隔に関する公差は、 TST 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば面間隔の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DTR si..j tol_ref_thickness	参照面間隔 (THR) を公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。参照面間隔を移動させる作用があります。この公差項目は、先行面をグローバル座標系で参照している面についてのみ設定可能です。 22.1.4章 および 22.1.5章 を参照してください。
DLN si..j tol_index	参照波長における屈折率に対する公差を設定します。摂動量 tol_index は絶対値で定義してください。 例: dln s3 0.001 ! 屈折率を 0.001 だけ増加させます。 屈折率に関する公差は、 TSN 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば屈折率の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLV si..j tol_V-number	d 線 (波長 586.6nm) に対するアッペ数を公差項目に設定します。摂動量は、ノミナルなアッペ数 v に対する割合で設定します。 例: dlv s3 0.008 ! アッペ数を 0.8% だけ変化させます。 アッペ数に関する公差は、 TSV 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すればアッペ数の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLR si..j tol_radius	曲率半径そのものを公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。
次ページに続く	

前ページから続く	
HOM si..j tol_homogeneity	屈折率の均質性を公差項目に設定します。実際の屈折率摂動量を 10^{-6} 倍して設定します。 屈折率の均質性に関する公差は、 TSH 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば屈折率均質性の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
AXG si..j tol_axial_grin	軸勾配型の屈折率分布を公差項目に設定します。
RAG si..j tol_radial_grin	動径 2 次勾配型の屈折率分布を公差項目に設定します。
DLX si..j tol_x_decenter	面の X 方向シフトを公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。 面の X 方向シフトに関する公差は、 TSX 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば面の X 方向シフト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLY si..j tol_y_decenter	面の Y 方向シフトを公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。 面の Y 方向シフトに関する公差は、 TSY 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば面の Y 方向シフト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLZ si..j tol_z_decenter	面の Z 方向シフトを公差項目に設定します。摂動量の単位は mm です。 面の Z 方向シフトに関する公差は、 TSZ 関数 (362ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば面の Z 方向シフト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLA si..j tol_a_tilt	面の X 軸まわりのティルトを公差項目に設定します。摂動量は角度の分 (arcmin) で与えます。 面の X 軸まわりのティルトに関する公差は、 TSA 関数 (363ページ) を使って最適化に組み込みます。この機能を利用すれば、面の X 軸まわりのティルト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
次ページに続く	

前ページから続く	
DLB si..j tol_b.tilt	面の Y 軸まわりのティルトを公差項目に設定します。摂動量は角度の分 (arcmin) で与えます。 面の Y 軸まわりのティルトに関する公差は、 TSB 関数 (363ページ) を使って最適化に組み込みます。 この機能を利用すれば、面の Y 軸まわりのティルト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。
DLG si..j tol_c.tilt	面の Y 軸まわりのティルトを公差項目に設定します。摂動量は角度の分 (arcmin) で与えます。 面の Z 軸まわりのティルトに関する公差は、 TSG 関数 (363ページ) を使って最適化に組み込みます。 この機能を利用すれば、面の Z 軸まわりのティルト量の微小変化に対して光学性能の劣化の少ない光学系の設計を試みる事が可能です。

22.1.1 公差エディタ (Tolerance Editor)

面に関連する公差項目および [公差判定基準値](#)、[コンペンセータ](#)を編集するにはメインメニューから、*Edit* → *Tolerances* を選択するか、あるいは TOL ボタンをクリックすることで起動するダイアログボックスから行えます。ダイアログボックスの表示例を図 22.1 に示します。

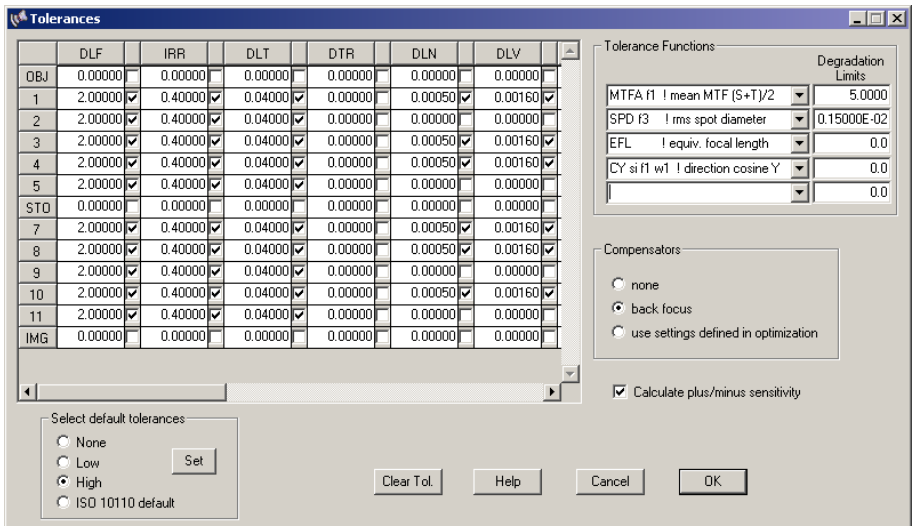


図 22.1: 面に関連する公差項目と公差判定基準値に関するスプレッドシートの例

面に関する公差は縦方向が面番号に、横方向に公差タイプが並んでいます。各公差項目を解析の対象に加えるには、入力欄の右側にあるチェックボックスをクリックしなければなりません。チェックをはずした状態では、たとえ摂動量が入力されていたとしても、公差解析の対象としては取り扱われません。

種々の等級のデフォルト公差を各面に与えられます。これについては [22.1.2](#) 章を参照してください。

5種類までの公差判定基準 (公差による性能の低下を判定する光学特性の種類) をプルダウンメニューから選択できます。その例を図 22.1 に示します。この例では 4 つの公差判定基準を定義しています。

MTFA f1	! 第 1 画角の MTF
SPD f1	! 第 1 画角における RMS スポット直径
EFL	! 焦点距離
CY si f1 w1	! 第 1 画角における像面の方向余弦 (Y 方向)。この指定は、照準の安定性をうまく表現します。

このスプレッドシートから、コンペンセータを定義することもできます。

コンペンセータとは指定した公差項目の変動による光学特性の低下を補うように機能させる光学パラメータのことです。例えば曲率半径を公差項目に設定するとき、それが摂動を受けることにより最良像面位置もいくらか摂動を生じます。そのままでは当然に光学性能が低下しますが、もしも像面移動に追従してバックフォーカスを移動させて良いことにすれば、性能の低下は最小限に抑えられます。このときバックフォーカスを、曲率半径公差のコンペンセータであるといえます。

コンペンセータはデフォルトでは設定されません。

22.1.2 デフォルト公差 (Default Tolerances)

各レンズ面に個別に公差項目を設定するのは手間のかかる作業です。これを一括して行えば便利です。それがデフォルト公差です。この機能を使えば、ごく一般的な公差をまとめて設定できます。デフォルトの公差量 (各公差項目の摂動量) として設定される値には 3 種類あり ISO 規格の 10110-5 に沿った設定の他、低い要求性能に対応する “Low” (緩い公差) と、高い要求性能に対応する “High” (厳しい公差) から選べます。

ただし、デフォルト公差の設定のままで個別製品の光学的要求に十分に適合しているとは限りません。むしろ過不足があるのが普通です。したがって、デフォルト公差は各レンズパラメータが性能に与える影響の大小を加味して、各案件ごとに適切な公差を設定するための出発点と考えるのが妥当です。デフォルト公差のどの項目を削除し、あるいは変更すべきかは設計者に委ねられています。

22.1.3 面の曲率半径に関する公差 (Tolerance on Test-Plate Fit (DLF))

面の曲率半径に関する公差は通常、その値そのもので規定するのではなく、ニュートン原器あるいは干渉計によって得られる干渉縞の本数¹で管理しています。これはもっぱら製造上の都合です。同一の面であっても干渉縞の本数は、それを観察する波長によって異なります。そこで、用いるべき波長のデフォルト波長 λ_1 として、ISO 規格 10110-5 は、546.07nm (e 線) を規定しています。もし製造現場で用いられている波長 λ_2 が λ_1 からずれているなら、求めるべき公差の既定値は次のように換算される必要があります。

$$DLF_{\lambda_2} = DLF_{\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (22.1)$$

¹ニュートン原器および干渉計はダブルパス干渉縞を生成するので、フリンジ本数 × 波長のさらに 2 倍の量に相当する面誤差が生じます。ここでいう面誤差とは、ニュートン原器または干渉計が作る基準球面波と、被検球面とのサグ (面深さ) の差、つまり 2 つの面に挟まれてできる空隙距離のことです。

ここで DLF_{λ_1} と DLF_{λ_2} はそれぞれそれぞれ λ_1 と λ_2 における干渉縞の本数です。

ここで DLF は幾何的な曲率半径公差に対応づいており、それは微小変化領域において下記のように記述できます。

$$DLF = \frac{2\Delta R}{\lambda} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D}{2R} \right)^2} \right] \quad (22.2)$$

もし D/R が十分に小さければ、22.2式は次のように近似できます。

$$DLF = \left[\frac{D}{2R} \right]^2 \frac{\Delta R}{\lambda} \quad (22.3)$$

22.1.4 面間隔に関する公差 (Tolerance on axial Thickness (DLT))

軸上面間隔の公差 (DLT) は、レンズの肉厚にも レンズ面間の空気間隔にも影響します。影響の仕方は、後続の面がどのように参照されるかに依存します。図 22.2は DLT の影響を 2 つのケースについて示したものです。

- a) すべての面が順次参照される場合には、面の位置は直前の面からの相対位置によって単純に定義されます。したがって、最初の面に対して面間隔の公差 (DLT) を指定するとその分だけ、後続のすべての面の絶対座標値が移動することになります。
- b) 光学系の第 3 面だけがグローバルに第 1 面を参照 (THR) し、第 2 面と第 4 面は先行面を相対的に参照 (通常の THI) している場合を考えます。ここで第 1 面に対して面間隔公差 (DTR) を指定すると、その影響は第 1 面にも生じます。しかし、第 3 面のようにグローバルに参照している場合には、その影響を受けません。したがって、それを参照している第 4 面もその影響を受けません。結果として、第 1 面が公差によって厚く (薄く) なる分だけ、第 1 面の後方の空気間隔は薄く (厚く) なります。

このような状況において、第 3 面の絶対位置を公差に指定するには、DTR 公差をこの面に適用しなくてはなりません。DTR については 19.1.5 章に詳細な説明があります。

22.1.5 グローバルな面間隔に対する公差 (Tolerance on global Thickness (DTR))

DTR 公差は軸上位置を変化させますが、それは先行する参照面を THR でグローバルに参照している場合だけです。THR のノミナル値 (公差を含まない値) は、参照される面 (グローバルな基準面) の頂点からの間隔を定義していて、DTR 公差は、これを変化させるのです。このような性質を持つ DTR 公差を、それと同じ面上で指定する DLT 公差 (次に続く面までの間隔公差) と混同しないように注意してください。

DLT 公差と DTR 公差を適切に使い分ければ、複雑な鏡筒や相互依存関係のある配置を取り扱えます。例えば図 22.2a は 2 枚目のレンズの位置は 1 枚目のレンズ厚に影響を受けます。これは 2 枚のレンズの間隔がその間隔を埋めるスペーサによって決まっていることに起因します。一方、図 22.2b の場合には 2 枚のレンズの間隔は、それらを保持する鏡筒の工作精度によって決まり、1 枚目のレンズ厚の影響を受けません。前者の場合は、面間隔は通常どおりシーケンシャルに THI で決定し、公

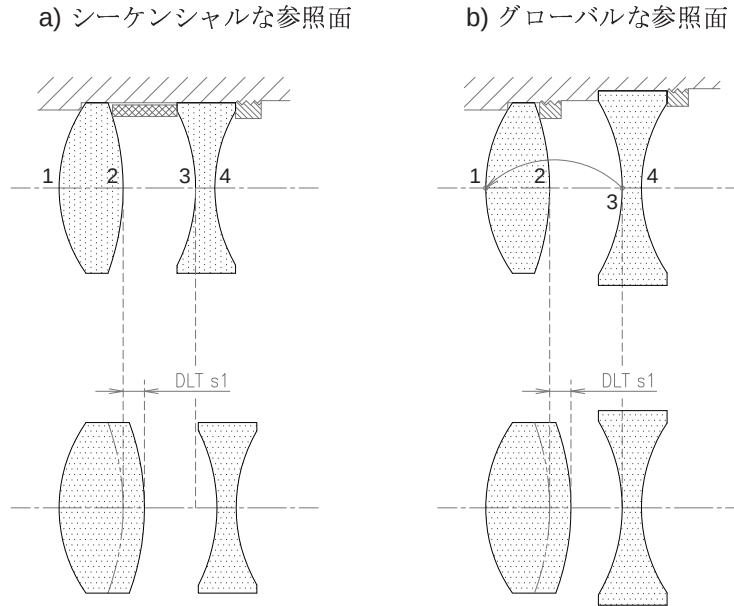


図 22.2: 面間隔の参照方式の違いによる、軸上面間隔に関する公差の取り扱い。順次ローカル座標を参照する場合 (a) とグローバル座標系で参照する場合 (b)

差も DLT で設定します。後者の場合は面間隔は GLB コマンドによりグローバル参照を定義した上で、DTR 公差で設定します。このように面間隔公差を設定するコマンド DLT と DLR は光学ユニットの機械構造と密接な関係をもつ別の公差であることに注意してください。なお、このことに関連した説明が前節にもあります。

22.1.6 屈折率の均質度 (ホモジニティ) に関する公差 (Tolerance on Homogeneity (HOM))

OpTaliX における屈折率の均質度 (ホモジニティ:HOM) は、同径方向に勾配をもつ軸対称性のある屈折勾配 (ラジアル型 GRIN) によってモデル化されています。これは、焦点位置の補償機構によって完全にキャンセルされません。ここで採用されている GRIN モデルは、具体的には

$$n = n_0 + c_t r^2 \quad (22.4)$$

と記述できます。ここで n_0 は基準屈折率 (頂点屈折率)、 r は光軸からの動径距離、 c_t は、設定された屈折率公差 $\Delta n = n - n_0$ です。なお Δn は 10^{-6} を単位として設定するように注意してください。

22.2 公差判定基準 (Tolerance Criteria)

公差項目を設定したら、次に公差判定基準を規定します。公差判定基準とは公差が与える光学性能への影響を評価する性能指標のことです。公差判定基準には、OpTaliX で扱えるすべての光学性能評価量が選択できます。逆にいえば、目的に応じて任意の性能評価指標を利用可能です。公差判定基準として良く利用される性能評価関数として、たとえば RMS スポット直径や MTF、ストレール

(Strehl) 比、ボアサイトなどがありますが、それ以外にも光学性能評価量として計算可能な量を、あるいは最適化の対象として指定できるあらゆる量 (19.6章、358ページを参照) を公差解析の判定基準として利用できます。つまり、“どんな評価量でも公差解析” 可能ということです。

TOLC fcn_no fcn_string	公差判定基準 (つまり敏感度解析に用いる性能指標) を設定します。敏感度解析には同時に最大 5 個まで設定できます。fc_n_no は公差判定基準を識別する番号で 1 から 5 までの範囲で設定します。EDI TOL で起動されるダイアログボックスからも編集できます。 fc_n_string は公差判定基準を指定する文字列ですが、通常これは空白文字を含みます。したがってこれをコマンドラインから指定する場合にはアポストロフィでくる必要があります。 例: tolc 2 'spd f3' ! 識別番号 2 番の公差判定基準として、第 3 画角の RMS スポット直径設定します。 tolc 3 'mtfa f3' ! 識別番号 3 番の公差判定基準として、第 3 画角の MTF の平均値 (ラディアル方向およびタンジェンシャル方向について)。ただし、MTF は常に % 表記ですから 0 から 100 の範囲で指定するように注意してください。
TOCL fcn_no limit	逆敏感度解析で用いる公差判定基準値の設定。fc_n_no は、公差を判定基準を識別する番号で 1 から 5 の範囲で設定します。 例: tocl 3 5 ! TOLC コマンドの説明 (上記欄) の 2 番目の例 (tof 3 'mtfa f3') について、MTF 値の公差項目による性能低下限界を 5% に設定します。MTF 値の指定は常に % 表記で行います。

22.3 公差項目に関するコンペンセータ (Tolerance Compensators)

コンペンセータとは公差が適用された後に変化する可変光学パラメータのことです。最も一般的なコンペンセータとしてバックフォーカスがあります。いったんバックフォーカスがコンペンセータとして指定されると、常に評価像面が最良像面に維持されるようにバックフォーカスの値が調整されます。これ以外のコンペンセータも任意の光学特性評価量に対して適用できます。

公差の計算に先駆けたコンペンセータの導入は、光学系の公差敏感度を低下させるために重要な手段です。OpTaliX では、基本的に 2 種類のコンペンセーションを実行できます。

- a) バックフォーカスのみをコンペンセータとして使用
- b) 最適化の機能を活用して、複数のコンペンセータを同時に使用

公差項目に関するコンペンセータは次のコマンドで定義できます。

TOCM NO BF OPT	コンペンセーションの方法を指定します。 NO コンペンセーションの機能を無効にします。 BF バックフォーカスだけをコンペンセータに指定します (22.3.1章を参照) OPT 最適化機能を使ったコンペンセーションを指定します (22.3.2章を参照)
----------------	--

22.3.1 コンペンセータとしてのバックフォーカス (Back Focus Compensator)

バックフォーカスの調整は、[オートフォーカス](#)の機能によって実現されます。デフォルトではすべての画角と波長に渡る RMS スポットダイアグラムが、最適像面位置 (バックフォーカス量) を求めるのに使われます。もし特定の画角や波長をその対象としたり、あるいはスポットダイアグラム以外の公差評価基準を使ってコンペンセーションを実行したいときは、最適化の機能をコンペンセーション機能の一部として利用する必要があります (詳細は次節を参照)。

22.3.2 最適化の機能を利用したコンペンセーション (Compensation using Optimization)

コンペンセーションを最適化機能によって行う場合には、任意のレンズ構成データと公差判定基準を選択できます。これを実現するには、コンペンセータと公差判定基準を明確かつ適切に設定しなくてはなりません。その際、コンペンセータは最適化機能における設計変数 (曲率半径や面間隔など) と同じ方法で指定します。しかしその設定内容についてはコンペンセーションの主旨にかなうように良く吟味することが望まれます。つまり、設計段階と比較して、ごく少数のパラメータだけが公差項目のコンペンセーションとして利用できることに配慮しなくてはならないということです。これはレンズ製作の工程に関連しています。例えば、レンズの研磨が完了した段階で曲率半径とレンズ厚はそれぞれ製造誤差を有しています。したがってこれらをコンペンセートするための変数は、もはや空気間隔とバックフォーカスだけしか残りません。

公差解析を実行する前に、指定の設計変数が、コンペンセータとして採用しようとしているパラメータに一致していることを確認してください。設計変数と設計目標の設定方法については [19章](#)、[345ページ](#)を参照してください。

最適化の機能を利用したコンペンセーションは、単にバックフォーカスを調整するのと比較すると、圧倒的に強力です。その理由は、OpTaliX で編集可能などんなレンズ構成パラメータであってもコンペンセータとして利用できるからです。コンペンセータの数に制限はありません。なお、公差解析において典型的なコンペンセータは、レンズ間の空気間隔とレンズ (群) のティルトまたは平行偏芯です。

最適化の機能を利用したコンペンセーションは、[22.2章](#)に示した公差判定基準とは全く独立に処理されます。したがって、コンペンセーションの対象となる性能評価基準は公差判定基準に合わせる必要はありません。

22.4 敏感度解析 (Sensitivity Analysis)

この解析は、部品の製造誤差および鏡筒への保持誤差に対する光学系の全体性能への直接の影響度 (敏感度) に関する情報を提供します。各パラメータはあらかじめ設定された公差分だけ微小変化を与えられ、その結果として変化した光学性能が計算によって求められます。

TOL SEN	面に与えた公差 (EDI TOL で指定した公差項目と公差判定基準) に基づき、敏感度を解析します。
---------	--

ほとんどの性能評価指標の変化は、一般的にレンズパラメータの変化に対して 2 次式で近似できます。この近似に対して、プラスおよびマイナス方向それぞれの公差に対する敏感度は 22.5 式の形式で記述できます。

$$F = A \cdot T^2 + B \cdot T + C \tag{22.5}$$

独立したすべての公差項目および公差判定基準の各ペアについて、この 2 次近似が計算されます。例えば、5 種類の公差項目が 10 個の面について設定されており、3 つの公差判定基準が規定されているならば、 $5 \times 10 \times 3 = 150$ 個の 2 次近似式が生成されます。

公差項目 (22.1 章) と、公差判定基準 (22.2 章) が設定されれば、敏感度解析を実行するための準備が整ったことになります。OpTaliX のレンズライブラリ

(¥optix¥examples¥misc¥cooke.otx) からクックの 3 枚構成レンズ (Cooke Triplet) を呼び出して、敏感度解析の一例を示します。簡単のため、ここでは公差項目に曲率フリッジ本数 (DLF)、イレギュラリティ (IRR)、軸上面間隔 (DLT)、平行偏芯 (DLX) だけを最初の 3 面に設定します。コンペンセータとしてバックフォーカスを指定し、像面が軸方向に移動することを許容します。この設定により、OpTaliX のオートフォーカスの機能は敏感度解析の実行中、常に像面全域に渡ってスポット像のサイズ (デフォルト設定の場合) が最小化されるようにバックフォーカスを調整し続けます。公差判定基準として、最大画角の 70% 位置に相当する第 2 画角において、タンジェンシャルとサジタル方向を、軸上 MTF に加えて定義します。これらは光学系の性能判定指標であり、レンズパラメータの変化に対して、それがどう変化するかを調べるのがここでの目的です。ここで、LIS TOL コマンドを実行すれば、設定内容が次のようにリストアップされます。

```
TOLERANCE DATA :
DLF s1      3.0000
IRR s1      2.0000
DLT s1      0.10000
DLX s1      0.50000E-01
DLF s2      3.0000
IRR s2      2.0000
DLT s2      0.10000
DLX s2      0.50000E-01
DLF s3      3.0000
IRR s3      2.0000
DLT s3      0.10000
DLX s3      0.50000E-01

Compensator:  back focus.

Tolerance Criteria:
MTFA f1  ! mean MTF (S+T)/2
MTFT f2  ! tangential MTF
MTFS f2  ! sagittal MTF
```

なお、コンペンセータの機能を使うべきかそうでないかは、レンズ系に求められる要求仕様によります。またバックフォーカス以外のコンペンセータも最適化機能を利用することで設定可能です (22.3.2 章と 19 章を参照)。

敏感度解析は、SEN コマンド、あるいはメニューバーから *Manufacturing* → *Tolerances* → *Sensitivity analysis* で実行できます。

TOLERANCE SENSITIVITY ANALYSIS

Compensator: back focus (BFL)

Nominal value(s)			MTFA f1 91.62532	MTFT f2 47.32400	MTFS f2 35.41631	BFL-Change
Sur	Tol. (fringes)					
1	DLF	3.0000 (+)	0.19083	-1.31205	1.72375	0.00244
		(-)	0.38478	-0.43768	1.98080	0.01047
2	DLF	3.0000 (+)	0.37379	0.42367	1.40129	0.01046
		(-)	0.13386	-1.94613	1.81060	0.00080
3	DLF	3.0000 (+)	-0.05128	-1.11433	0.85838	-0.01033
		(-)	0.51189	-0.77738	2.93915	0.02351
	RSS		0.77896	2.77957	4.63812	
Sur	Tol. (fringes)					
1	IRR	2.0000 (+)	-0.14500	-3.56583	-3.22650	0.02389
		(-)	-0.12578	1.52675	7.49339	-0.00928
2	IRR	2.0000 (+)	-0.14084	1.75238	7.72477	-0.00927
		(-)	-0.19613	-3.71870	-3.59981	0.02318
3	IRR	2.0000 (+)	-1.64383	-6.54326	-7.60950	0.04369
		(-)	-1.76839	4.15559	12.38967	-0.02792
	RSS		2.43403	9.59317	18.72432	
Sur	Tol. (mm)					
1	DLT	0.1000 (+)	0.33377	-1.69334	2.79460	0.01194
		(-)	0.24226	-0.07476	0.85278	0.00087
2	DLT	0.1000 (+)	0.48737	4.42504	2.10420	0.03149
		(-)	-0.58395	-5.42251	0.79647	-0.02039
3	DLT	0.1000 (+)	-0.56635	-7.47778	2.78950	-0.01111
		(-)	0.52615	6.20604	-0.76605	0.01977
	RSS		1.16026	12.09503	4.68692	
Sur	Tol. (mm)					
1	DLX	0.0500 (+)	0.03605	-1.48804	1.98951	0.00730
		(-)	0.03597	-1.48800	1.98886	0.00729
2	DLX	0.0500 (+)	0.29881	-0.98564	1.93998	0.00706
		(-)	0.29878	-0.98563	1.93977	0.00706
3	DLX	0.0500 (+)	-3.09337	-2.01578	-1.17260	0.01254
		(-)	-3.09320	-2.01357	-1.17472	0.01255
	RSS		4.39522	3.80646	4.26555	
	Total RSS		5.21493	16.14106	20.30455	

敏感度表 (あるいは変化表) の最上行には、公差判定基準のノミナル値が表示されます。この値は、公差を考慮しない設計値そのものの値です。その下に各公差種別 (フリッジ、イレギュラリティ等) ごとに公差判定基準 (ここでは、MTF) に対する変化量がグループ化して表示されます。各グループは一覧表形式に面番号の順に表示されます。

バックフォーカスによるコンペンセーションの量は、“BFL-Change” というタイトルとともに最も右側の欄に表示されます。複数の公差判定基準が規定されている場合には、それらのうち最も大きなコンペンセーション量が表示されます。各公差タイプごと各公差判定基準ごとに光学性能の劣化量が RSS の欄に表示されますが、これは各性能劣化量 ΔF に対する“統計和”であって、次式で定義される量です。

$$RSS = \sqrt{\Delta F^2} \quad (22.6)$$

敏感度は通常、公差がプラス方向に振れた場合とマイナス方向に振れた場合について表示されます。敏感度表ではこれをそれぞれ (+) と (-) の欄に示しています。

22.5 最適化における公差の取り扱い (Tolerance Sensitivity in Optimization)

一般に、コストおよび寸法や重量の制約を守りつつ、高い光学特性を達成しながら、製造の容易な光学系を設計することは困難です。そのため光学設計者は、これらの狭間で妥協を迫られることになります。製造が容易であるためには、製造誤差に由来する性能劣化の程度が小さくなくてはなりません。

このような事情を反映して、光学設計の手順としてはまず概念設計、その後、収差の最適化、公差解析という手順を踏むことになります。解析の結果を踏まえながら、さらに一連の過程を必要なだけ反復したのち、経済性を考慮した設計に改良します。

この煩雑な過程を改善するため、OpTaliX は最適化過程に公差設定の機能を統合し、“公差設計”を可能としました。つまり特定の面あるいは全ての面に単部品の製造公差や組み立て公差を割り当て、それらに由来する性能の変化を最小化できるということです。これは、光学性能と公差を同時に最大化できるということに相当します。

最適化の過程に公差の最大化を組み込むためには次の各コマンド、TSF, TST, TSI, TSN, TSV, TSX, TSY, TSZ, TSA, TSB, TSG を使います。詳細は、[19.10章 \(361ページから 362 ページ\)](#) を参照してください。

最適化の過程では、どの公差も波面収差 (WAV) で評価されます。OpTaliX で採用している公差設計アルゴリズムの概要は、Grey [16] を、その実例については Isshiki 他 [23] によって議論されています。

22.6 逆公差解析 (Inverse Tolerancing)

逆公差解析は、あらかじめ性能劣化の許容量を定めることから始まり、これを元に各レンズパラメータに対する公差を決定します。この解析は、公差と光学性能の間に存在する 2 次近似関係 (22.5式) を利用しています。

TOL INV	逆公差解析を、TOLC および TOCL で指定した公差判定基準に則って実行します。
---------	--

22.7 モンテカルロ解析 (Monte Carlo Analysis)

詳細を今後の改訂版で記述します。

このページは白紙です。

第23章 製造サポート

– Manufacturing Support –

23.1 フットプリント解析 (Footprint Analysis)

フットプリントは光学系を通過する光ビームの指定の面上における境界をプロットする機能です。この機能は所望の面におけるビームと面の交点を計算することによってプロットすべき座標を計算します。面が曲率を持っている場合、ビームと面との交点は面頂点の接平面上にローカル **Z** 軸と平行に投影してプロットされます。全ての波長、画角、ズームポジションに関してプロットすれば、結果として得られるフットプリントはその面を光線が使用する領域全体を表すことになります。ビネットリングは、面に固定アパーチャを指定した場合だけ、考慮されます (**FHY** コマンド)。面に指定した遮蔽はフットプリント解析の機能では考慮されませんが、フットプリントと同じ目的で使われる別コマンド **面と光線との交点** 解析 (14.1.8章参照) は遮蔽も考慮されるように、グリッド状の光線群が追跡され、プロットされます。

<pre>F00 [sk fi..j plot_extent NUM ?]</pre>	画角 fi..j に対する sk 面のフットプリントを作成します。“ズーム化された”(多重構成)光学系については、その時点で選択されているポジションを使用します (POS コマンド参照)。オプションのパラメータ plot_extent は最大表示領域を定義します。plot_extent を指定しなかったり、あるいはゼロの場合は、sk 面でのプロット領域を OpTaliX が自動的に決定するか、あるいは以前に入力した plot_extent の値を使用します。オプションのパラメータである NUM を指定するとフットプリントとして囲まれた領域の面積、その重心位置、フットプリントの X および Y 方向の最大広がりを示す座標値を出力します (詳細は 23.1 ページ)。 例: <table border="0"> <tr> <td>F00</td><td>全画角のフットプリントをプロット。デフォルトは 1 面です。</td></tr> <tr> <td>F00 ?</td><td>面、画角を選択するダイアログボックスを呼び出して、出力範囲を作成します。</td></tr> <tr> <td>F00 s4 f4..6</td><td>第 4 画角から第 6 画角に対する第 4 面のフットプリントを作成します。</td></tr> <tr> <td>F00 s4 25.0</td><td>すべての画角に対するフットプリントを、明示的に定義した plot_extent(ここでは 25.0) の範囲で作成</td></tr> </table>	F00	全画角のフットプリントをプロット。デフォルトは 1 面です。	F00 ?	面、画角を選択するダイアログボックスを呼び出して、出力範囲を作成します。	F00 s4 f4..6	第 4 画角から第 6 画角に対する第 4 面のフットプリントを作成します。	F00 s4 25.0	すべての画角に対するフットプリントを、明示的に定義した plot_extent (ここでは 25.0) の範囲で作成
F00	全画角のフットプリントをプロット。デフォルトは 1 面です。								
F00 ?	面、画角を選択するダイアログボックスを呼び出して、出力範囲を作成します。								
F00 s4 f4..6	第 4 画角から第 6 画角に対する第 4 面のフットプリントを作成します。								
F00 s4 25.0	すべての画角に対するフットプリントを、明示的に定義した plot_extent (ここでは 25.0) の範囲で作成								

OpTaliX の多くのオプションと同じように“フットプリント”の場合も主光線は追跡可能でなくてはなりません (そのように光学系がモデリングされていなくてはなりません)。これは光学系が遮蔽を含む場合にもいえることです。**OpTaliX** によるビームの境界計算は、絞り面のアパーチャかまたは他の面に設定された固定アパーチャに到達するまで、探索光線を主光線から放射方向に外側に向かって移動させるというアルゴリズムによって達成されます。このアルゴリズムは、(ちょうど反射望遠鏡の副鏡を保持する) スパイダのように、瞳を 3 つあるいは 4 つ (この場合は瞳を正面からみて十字状) に分割するような遮蔽サブアパーチャを扱うようには設計されていません。このように、開口の内部に遮蔽を含む場合には、フットプリントの機能を使うかわりに、光線と面との交点を描画する機能 ([14.1.8](#) ページ) を使用を検討してください。この機能は指定した面と、グリッド状の多数の光線との交点を、各視野角、各ズームポジションにおいてプロットするものです。この機能であれば、遮蔽も考慮にいたれた評価が可能です。

下の例 (図 [23.1](#)) は、ダブルガウスレンズの後に光軸を折り曲げるミラーを追加したモデルです。9 方向の物点からのビームによって作成されたミラー上のフットプリントは、これらのビームがさらなるビネッティングを生じないために、ミラーがどの程度大きくなければならないかを示しています。

フットプリント解析の **NUM** オプションについて:

フットプリント解析のコマンドライン指定には、**NUM** オプションを追加できます。このオプション

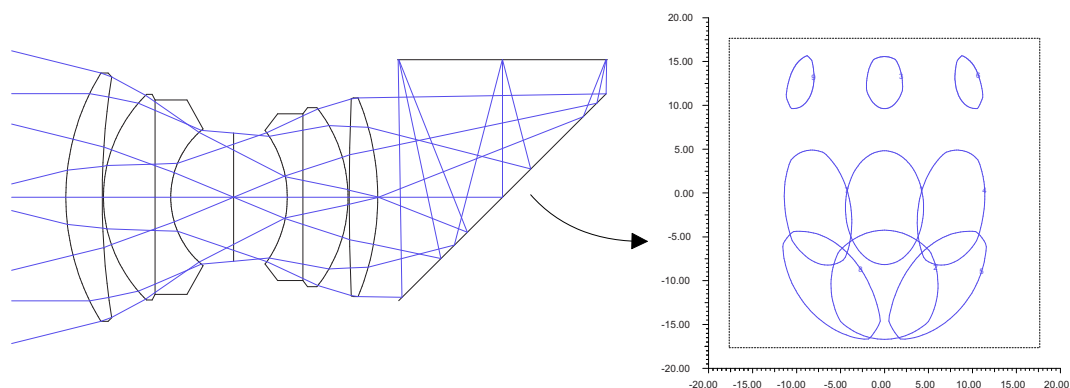


図 23.1: 光束のフットプリント: ダブルガウス型レンズの後方に配置した折り曲げミラー上にて

ンを指定すると、通常の実出力に加えて、さらにフットプリントで囲まれた領域の面積、その重心および、X,Y 方向の最大広がりを示す座標値が、画角およびズームポジションごとに出力されます (下記参照)。ただしこの出力には、遮蔽の影響が考慮されないことに注意してください。

FOOTPRINT DATA on Surface 1

Pos.	Field	X-Center	Y-Center	Area (mm ²)	X-min	X-max	Y-min	Y-max
1	1	0.0000	0.0000	313.57982	-9.994	9.994	-9.994	9.994
1	2	0.0000	-4.1785	306.45888	-9.996	9.996	-13.943	5.578
1	3	0.0000	-9.3060	251.48431	-10.006	10.006	-16.999	-2.024
					-10.006	10.006	-16.999	9.994

23.2 非球面形状 (球面とサグの差) (Aspheric Deformation)

この章で説明する機能を用いれば非球面量を求めることができます。非球面量は 任意の曲率半径をもつ理想的な完全球面と 非球面との面形状の差 (サグ量の差) として定義されます。非球面量を計算する際の基準球面を参照球面と呼びます。参照球面の曲率半径を設定するための基準の取り方にはさまざまな流儀があります。OpTaliX では、それらのうちのいずれかを選択するだけで、簡便に参照球面の曲率半径を設定できます。

ASD sk [ref] [ref_rad] [?]	非球面量を面頂点 (光軸と面の交わる点) からの面高さの変化に沿って計算します。面の空気側から 1 輪帯または 2 輪帯に空気側で接するように設定された参照球面を基準にサグ量の差として表現されます。 sk 面番号 ref 参照球面半径を決定するためのタイプです。次のいずれかを選択できます。 VER : 非球面の頂点曲率半径 CEN : 中心とリムで接する球の曲率半径 RIM : リムでのみ接する球面の曲率半径 BFR : ベストフィット球面の曲率半径 ref_rad 参照球面の球面半径 例 : ASD s3 CEN : 非球面の頂点とリムに接する球面の曲率半径を基準に非球面のサグ量をプロットします。
ASD2 [sk ?] [ref_rad]	面全域に渡って、非球面量 (非球面と参照球面のサグの差) を表示します。ref_rad は、参照球面の曲率半径です。ref_rad を省略するか、あるいはゼロを指定した場合には、当該の面の頂点曲率半径が仮定されます。

23.2.1 放射方向に沿った非球面量の表示 (Aspherization in radial Direction)

コマンドラインから、“ASD ?” と入力するか、あるいは メインメニューから *Manufacturing* → *Aspheric Deformation* → *in radial direction* とたどれば、参照球面の曲率半径の決定方法を選択するためのダイアログボックスを起動できます。このダイアログからは次の 4 つの決定方法を選択できます。

1. 非球面の頂点曲率半径を、参照球面の曲率半径として用いる方法です。
2. 非球面の中心とリム (縁) に接するように参照球面を定める方法です。
3. 非球面のリム (縁) だけが接するように参照球面を定める方法です。
4. “ベストフィット” 球面を仮定する方法です (この場合、参照球面はアパチャの半径を 1 とするとき 0.7 の開口高さで非球面に接します)。

各オプションは、それぞれ明確な特徴を持っています。(図 23.2 も参照)

オプション 1:

非球面の頂点曲率半径を採用: このオプションは非球面の数学的定義を直接反映しており、おそらく最初に選択されるであろう最も単純な決定方法です。しかしこの方法の妥当性は高くありません。このようにして定めた参照球面形状は実際の非球面の形状を必ずしも近似しておらず、非球面の製造まで考慮する場合、除去すべきガラス材の量がかなり大きくなるからです。加えて、図 23.2 に示すとおり非球面の勾配が急な (コーニック) 非球面の場合には、実行不能な解が導かれる可能性があります。

つまり非球面のアパーチャ径よりも参照球面の曲率半径の方が小さく、そのために非球面全体を参照球面が覆えなくなるような解が導かれてしまう可能性があるということです。

オプション 2:

中心とリムで接する: 参照球面の曲率半径は、参照球が 2 つの輪帯 (面の回転中心と最大アパーチャ位置) で非球面に接点を持つように決定されます。したがって非球面の製造にあたっては、中間帯の材料だけが取り除かれます。

オプション 3:

リムでのみ接する: この場合、参照球面は 1 つのゾーンつまりリム (縁) でだけ非球面に接します。上記に示したオプション 2(中心とリムで接する) と比べて、研削や研磨加工において、かなり多くの材料を除去する必要があります。しかし、有利な点もあります。この方法によればアパーチャの内部を研削する工程で“縁ダレ (ターンダウン)”を回避するための、さらなるエッジ部の面形成を施す必要がありません。

オプション 4:

ベストフィット: これはオプション 3(リムでのみで接する) と基本的に同じ考え方によっているのですが、参照球面が非球面の最大アパーチャ半径 1 に対して 0.7 の位置で非球面に接するという点で異なります。オプション 3 と比較すればごく僅かな材料を取り除くだけですみますが、研磨工程において“縁ダレ (ターンダウン)”が発生するリスクがあります。

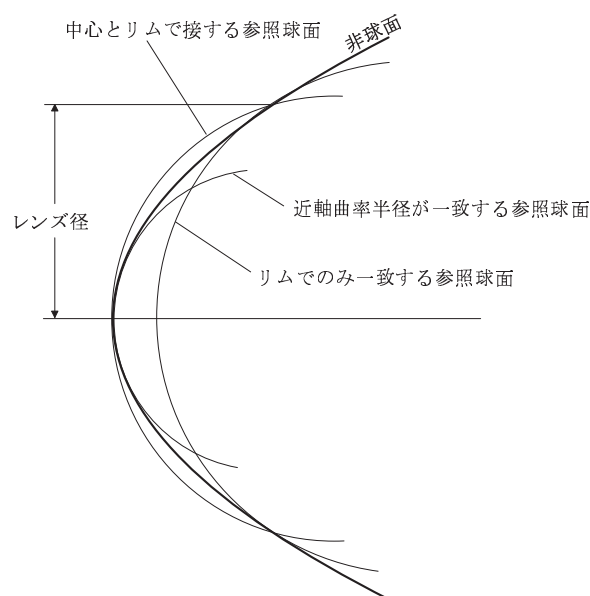


図 23.2: 非球面に対する、種々の参照球面の決定法

非球面形状のプロットに加え、面の Y 方向に沿った 21ヶ所のサグ量 (面座標) も表示されます。下記に示すのは、典型的な出力例です。面情報 (曲率半径、円錐係数、高次の非球面係数) に続いて、Y 軸方向に等間隔で面の Z 座標 (サグ量) が表示されています。

ASPHERIZATION DATA:

```

File      : F15_33.OTX
Surface   : 15
Vertex Curvature : -0.17277313E-01
Vertex Radius   : -57.87937061E+00
Conic Constant  : 0.00000000E+00
A           : 10.77564552E-06
B           : 23.69965431E-09
C           : -53.48477648E-12
D           : 441.68107450E-15
E           : 0.00000000E+00
F           : 0.00000000E+00
G           : 0.00000000E+00
H           : 0.00000000E+00

```

Aspherization is determined for zero deviation at center and rim. Radius = -91.49306

Radial height (mm)	Z-Sphere (mm)	Z-Asphere (mm)	Difference (mm)	Slope (micron/mm)	----- Surface Normal -----		
					CXN	CYN	CZN
0.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	0.000000	0.000000	1.000000
0.70000	-0.002678	-0.004231	-0.001553	-2.22	0.000000	0.012079	0.999927
1.40000	-0.010712	-0.016893	-0.006181	-6.61	0.000000	0.024069	0.999710
2.10000	-0.024103	-0.037897	-0.013794	-10.88	0.000000	0.035878	0.999356
2.80000	-0.042855	-0.067093	-0.024238	-14.92	0.000000	0.047410	0.998876
3.50000	-0.066969	-0.104261	-0.037291	-18.65	0.000000	0.058560	0.998284
4.20000	-0.096452	-0.149108	-0.052657	-21.95	0.000000	0.069219	0.997601
4.90000	-0.131306	-0.201261	-0.069955	-24.71	0.000000	0.079263	0.996854
5.60000	-0.171540	-0.260255	-0.088715	-26.80	0.000000	0.088557	0.996071
6.30000	-0.217159	-0.325522	-0.108363	-28.07	0.000000	0.096949	0.995289
7.00000	-0.268173	-0.396376	-0.128204	-28.34	0.000000	0.104264	0.994550
7.70000	-0.324589	-0.471991	-0.147401	-27.43	0.000000	0.110291	0.993899
8.40000	-0.386419	-0.551366	-0.164947	-25.07	0.000000	0.114768	0.993392
9.10000	-0.453673	-0.633286	-0.179614	-20.95	0.000000	0.117354	0.993090
9.80000	-0.526363	-0.716246	-0.189883	-14.67	0.000000	0.117587	0.993063
10.50000	-0.604502	-0.798349	-0.193847	-5.66	0.000000	0.114832	0.993385
11.20000	-0.688104	-0.877160	-0.189056	6.84	0.000000	0.108190	0.994130
11.90000	-0.777185	-0.949495	-0.172310	23.92	0.000000	0.096392	0.995343
12.60000	-0.871760	-1.011118	-0.139358	47.07	0.000000	0.077646	0.996981
13.30000	-0.971847	-1.056340	-0.084493	78.38	0.000000	0.049448	0.998777
14.00000	-1.077464	-1.077464	0.000000	120.70	0.000000	0.008382	0.999965

各欄の意味は次のとおりです。

Radial height	光軸から Y 軸に沿って等間隔に取った面高さです。
Z-Sphere	参照球面のサグ量です。参照球面の曲率半径は、非球面の中心曲率半径か、あるいは上述のオプションを設定した場合には、非球面形状に対する球面フィッティングから求めた値が用いられます。ここで表示されるサグ量は Radial height の位置での面の深さを Z 軸に沿って求めた値に相当します。
Z-Asphere	非球面のサグ量です。
Difference	球面のサグ量を基準として計った非球面のサグ量との差です。
Slope	非球面形状の、参照球面形状に対する変化率
Slope	非球面形状と参照球面形状の勾配の差。図 23.3 も参照してください。
CX, CY, CZ	非球面の法線の方向余弦

23.2.2 非球面全面に渡る非球面量の表示 (Aspherization as 2D Surface Deformation)

コマンドラインから、“ASD2 ?” と入力するか、あるいはメインメニューから *Manufacturing* → *Aspheric Deformation* → *as 2D-surface deviation* とたどると、図 23.4 に示すダイアログを起動できます。

このダイアログで非球面量を表示すべき面の番号を選択し、参照球面の曲率半径を任意に設定すれば、非球面全面に渡る非球面量がプロットされます。なお、このダイアログで指定すれば、非球面量を X-Y-Z 座標値としてファイルにエクスポートすることも可能です。

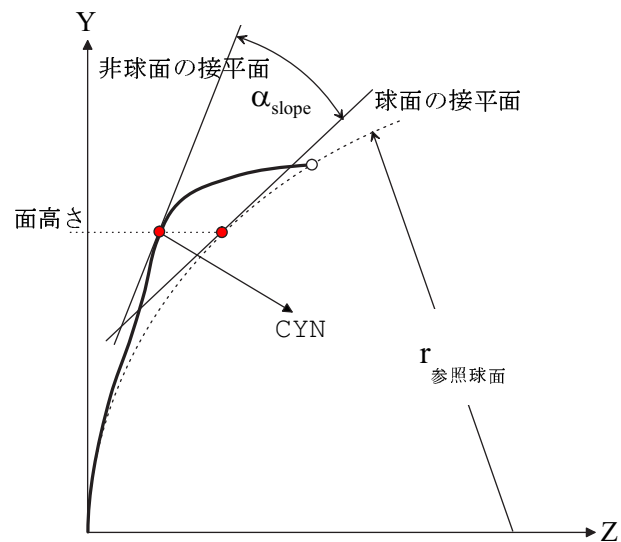


図 23.3: 参照球面を基準とする非球面の勾配、“Slope”。

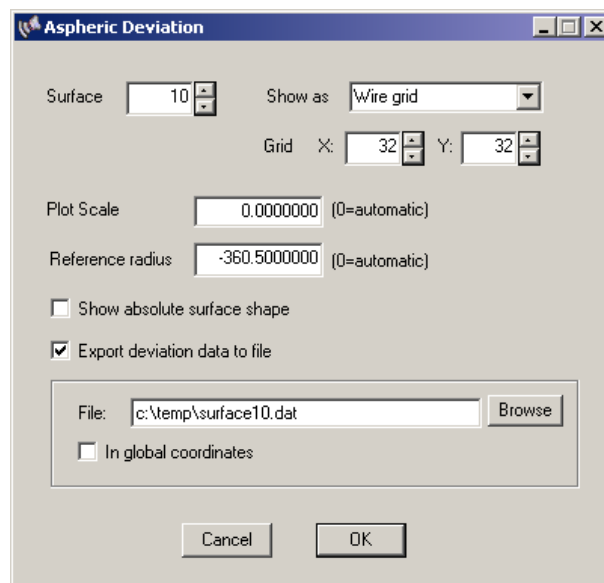


図 23.4: 面全面に渡る、非球面量の表示のためのダイアログボックス

23.3 コバ厚 または縁厚、エッジ厚 (Edge Thickness)

ET si..j x_height y_height	面範囲 si..j の各面における、面座標 x_height、x_height でのコバ厚です。もし x_height あるいは x_height を省略した場合には、面の有効径 Y-height が使われます。
----------------------------	--

23.3.1 偏芯面のコバ厚計算 (Calculating edge thickness at tilted/decentered surfaces)

指定の面範囲 si..j のうち、任意の面が偏芯(ティルトまたはシフト)していたならば、コバ厚 (ET) は、面範囲の最初の面のローカル座標系で定義されます。つまり、ET は 最初の面の Z 軸と平行に計算されるということです。

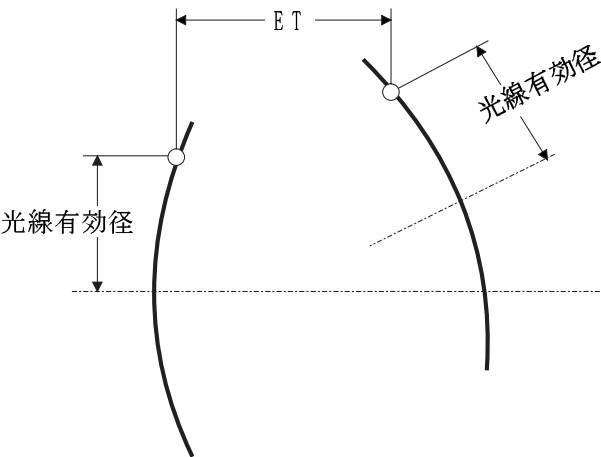


図 23.5: 偏芯面のコバ厚

23.4 ニュートンゲージ・フィッティングいわゆる原器あわせ (Test Plate Fitting)

対象とする製造メーカーの原器リストに、面の曲率半径を自動的にフィッティングします。すべての原器情報はいずれも製造メーカー各社から供給されたものです。

TPL [si...j manuf]	製造メーカーの原器リストから最も近い曲率半径を検索して、レンズデータの各面の曲率半径と置き換えます。 manuf 表示は製造メーカーを識別する指標です。最初の 3 文字にだけ意味があります。表 23.1 に選択可能な原器リストの一覧表を示します。 manuf を指定しなければ、ダイアログボックスが開きます。 例: tpl s4..7 ROD は、Rodenstock 社の原器リストを選択して、レンズデータの 4 面から 7 面の半径を、直近の原器曲率半径に置き換えます。
LIS TPL [manuf]	manuf の原器リストを出力します。製造メーカーを識別する文字列 manuf は最初の 3 文字にだけリストを識別するための意味があります。 manuf の指定がない場合は、製造メーカーを選択するためのダイアログボックスを起動します。

23.5 原器リストの追加 (Adding a Test Plate List)

原器リスト (TPL:Test Plate List) は拡張子を TPL とした ASCII 形式の書式なしファイルに保存します。TPL ファイルの構成方法さえ守れば、新たなリストを追加するのは簡単です。ファイル構成方法の詳細は 32.6 章に記載されています。

.¥testplat ディレクトリの “tplinfo.txt” ファイルには作成済みの原器リストの一覧が、簡単な説明とともに登録されています。新規の (ユーザ定義) 原器リストを作成したら、2 つの情報をこのファイルの 1 行に 1 つ以上のブランクで区切って登録しなければなりません。

情報の一つは原器リストのファイル名です。もう一つは “簡単な説明” ですが、これはメインメニューから *Manufacturing* → *Test plate fitting* とたどるか、あるいはコマンドラインから LIS TPL を入力することで起動されるダイアログコンボボックスに選択メニューとして表示されます。このため通常は供給元の会社名などを記載するのが便利です。“簡単な説明” がブランクを含むならば、それ全体を記号 ” でくくらなければなりません。

下記は、tplinfo.txt ファイルの一例です。

```
din.tpl "DIN (Deutsche Industrie Norm)"
kreischer.tpl Kreischer
s&h.tpl Spindler&Hoyer
kodak.tpl Kodak
liebmann.tpl Liebmann
lightnin.tpl Lightning
ofr.tpl OFR
rop.tpl "Rodenstock Praezisionsoptik"
optolyth.tpl Optolyth
```

略称	製造メーカー
app	Applied Optics
ber	Bern Optics
br1	Brighten Optics, Shop 1
br2	Brighten Optics, Shop 2
br3	Brighten Optics, Shop 3
coa	Coastal Optical Systems
com	Computer Optics Inc.
con	Continental Optical Corp
din	DIN (Deutsche Industrie Norm)
har	Harold Johnson Optical Lab.
jan	Janos
jlw	JLWood Optical Systems
kod	Kodak
kre	Kreischer
lig	Lightning
lie	Liebmann
mel	Melles Griot
mod	Model Optics
med	MediVision
ofr	OFR (Optics for Research)
ogf	OGF (Optico Glass Fabrication)
opt	Optimax
opl	opl Optolyth
rmi	Rocky Mountain Instruments
rod	Rodenstock
sil	Sill Tools
spe	Special Optics
lin	Linos (Spindler & Hoyer)
tro	Tropel Corp.
tuc	Tucson Optical Research Corp.
tow	Tower

表 23.1: 初期インストールの状態で利用可能な原器リストと、3 文字からなる略称。

23.6 ISO 標準に準拠したレンズ図面の作成 (ISO Element Drawing)

ISO-10110 標準 (または JIS B 0090) に準拠したレンズ図面を入力データにしたがって作成します。このような図面は、設計が製造段階に向かう際に有用です。図面の作成にあたって用いられる公差は、前もって入力した値か、あるいは OpTaliX の公差設定機能を用いて指定された値が採用されます。

コマンドによって、レンズ図面を作成します。

ELE [sk ?]	面 sk から始まるレンズ図面を ISO-10110 標準に準拠して作成します。作図に必要な項目は前もって入力した値が用いられるか、あるいは OpTaliX の公差設定機能を用いてあらかじめその値が指定されていれば、それが採用されます。オプションの?マーク を指定した場合には、作図項目を編集するためのダイアログボックス (図 23.6) が起動されます。作成された図面はリダイレクションの機能を ELE s3 > plt のように使うことで、随時 プリントまたはプロットされます。
----------------	--

個々のレンズにつき、1 枚の図面が作成されます。複数レンズで構成される光学系については各レンズ図面を個別に作成しなければなりません。ただし 2 枚貼り合わせ (ダブルレット) レンズであれば 1 枚の図面として作成できます。共心 (軸対称) レンズだけが正確に作成されます。エレメントのティルトや偏芯は図面に反映されません。

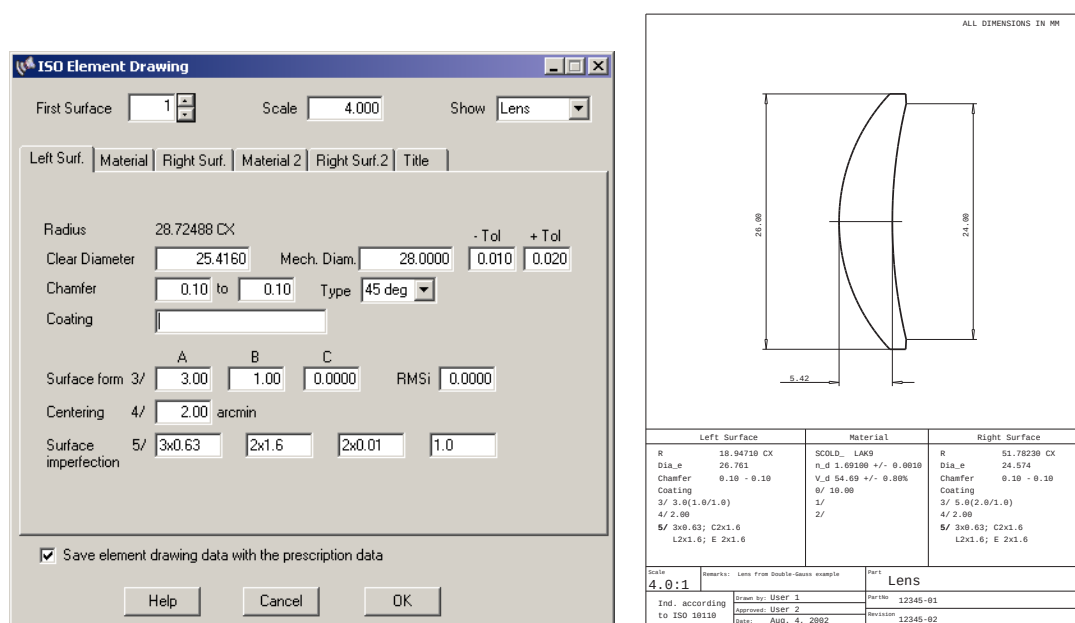


図 23.6: ISO レンズ図面の作図情報を編集するためのダイアログボックス (左) とその情報を反映して生成した図面 (右) ダイアログボックスはコマンドラインから、“ELE ?” と入力することで起動されます。

図 23.6 に示した ISO 図面ダイアログボックスは、レンズ図面の作成を管理し情報を編集するために中心的な役割を果たします。このダイアログボックスが開いている間は常にプレビューのためのウインドも提示され、入力値が更新されるとすぐに対話的に図面に反映されます。

ダイアログボックスへの入力データはタブで分類された区分にグループ化されています。最初の 3 つのタブは順にレンズの光線入射面の面情報、光学材料に関する情報、光線出射面に関する情報に関連します。図面の名称や図面番号など図面そのもののタイトルに関連する情報は 6 番目のタブ情報として入力できます。4 番目と 5 番目のタブは貼り合わせレンズ (Doublet) の図面を作成する際に用いられ、ダイアログボックスの右上のメニュー “Show” の欄で “Doublet” を選択した場合のみ入力可能な状態となります。

もし公差スプレッドシートエディタ (22章参照) に公差が指定してあるなら、ISO レンズ図面ダイアログボックスの公差指定欄にはその値が自動的に引用されます。しかしそれはいつでも手動入力による値で上書きできます。

図 23.6 のダイアログの左下部にあるチェックボックス “Save element drawing data with the prescription data” をチェックしておけば、レンズ図面用のデータはレンズデータとともにファイルに保存されます。ここにチェックがない場合には、図面データは OpTaliX を終了するか、あるいは他のレンズを読み込んだ時点で失われます。

ISO レンズ図面ダイアログボックスの全てのデータ入力フィールドの概要を下記のとおり説明します。ただしこれらは ISO-10110 の Part 1-11 の規格を詳細に解説するために用意したものではありません。

曲率半径 (Radius):

曲率半径はあらかじめ入力されているレンズデータから引用します。ダイアログからは変更できません。製造にそのまま適用できる図面を前提としているので、曲率半径の値はすでに原器にフィッティング (23.4章参照) されていると仮定されます。凹面を “CC” で、凸面を “CX” で示します。

光線有効径 (Clear Diameter):

光線有効径はまずレンズデータから引用し、ついで定義されたすべての光束が要求する光線有効径を構成します。光線有効径は SET MHT (set maximum heights) コマンドを用いることで自動的に決定されることに注意してください。光線有効直径はこのダイアログからいつでも上書き可能です。

外径 (Mech. Diameter / Mechanical Diameter):

レンズエレメントの機械的外径を公差 (上限値/下限値) と合わせて指定できます。この値は光線有効径よりも大きくするか、あるいは少なくとも同じでなければなりません。

面取り (Chamfer):

最小と最大許容見込みの面取り幅。明示的に指定されないすべてのエッジとコーナに対して適用されます。

コーティング (Coating):

コーティングに関する記述はテキストで入力できます。この項には前提となる設定値がありません。それは通常、コーティングについては別途仕様書を必要とするからです。一般にはこの欄には他のドキュメントを参照する旨が記載されます。

面精度 (Surface Form):

面精度の定義と仕様は ISO 10110 の Part5 に詳細に規定されています。面形状の偏差とは「テストに供される光学面と基準となる理論面との隔たり。理論面に対して垂直に測定され、理想的にはテスト面に平行となるべきもの」と定義されています。

面形状の精度は次の3つの形式のうち1つをフリンジ本数で表します。フリンジ1本は波長 546nm の半分の間隙に相当します。

3/A(B/C)

3/A(B/C) $\text{RMSx} < D$, ここで x は、t, i, a

3/- $\text{RMSx} < D$

ここで、

A はフリンジ本数で表現した放射方向誤差の最大許容量

B はフリンジ間隔で表現した不規則誤差の最大許容量

C はフリンジ間隔で表現した回転対称性の不規則誤差の最大許容量

D は基準となる理論面からの偏差の最大許容量。この値のみ、ダイアログボックスから指定できます。

偏芯許容量 (Centering):

最大許容量をティルト量 (分角、arcmin) で指定

外観 (Imperfections):

ダイアログ下部の入力欄に引っかきキズや突きキズ、コーティング欠陥の許容量を指定します。入力欄には、それぞれ **5/N×A**; **C N'×A'**; **L N''×A''**; **E A'''** と名付けられた欄があります。

ここで

5/N×A の欄には一般的な面欠陥の数 **N** とサイズ **A** を規定します。 **N×A** の形式で 3×0.63 の様に入力します。

C N'×A' の欄にはコーティングの傷の許容量を規定します。 **N'×A'** の形式で規定します。 **N'** は傷の数です。 **A'** はグレード数です。

L N''×A'' の欄には引っかき傷 ($> 2\text{mm}$) の数 **N''** と引っかき傷のグレード **A''** を用いて長めの引っかき傷の許容量を規定します。

E A''' の欄にはピリ (レンズエッジ部の微細なカケ) **A'''** の最大許容限界を規定します。

レンズ材料 (Material):

レンズ材料名 (ガラス名) です。レンズデータから引用するので編集はできません。

屈折率 (nd):

d 線 (587.6nm) におけるレンズ材料の屈折率です。屈折率公差のみ指定可能です。デフォルト値は 0.001 です。

アッベ数 (Vd):

d 線 (587.6nm) 基準のアッベ数。公差のみ指定可能です。デフォルトは 0.8% です。

応力複屈折 (Stress Birefringence):

応力複屈折に関する規定です。光路長 1cm あたりの偏光成分の光路差 (nm) で規定します。デフォルトは 10nm/cm です。

泡および包有物 (Bubbles and Inclusions):

泡および包有物に関する規定です。 **1/ N×A** の欄に **N×A** の形式で規定します。ここで **N** は泡と包有物の数、**A** はグレード数を意味します。詳細は ISO-10110 Part3 を参照してください。

不均質性と脈理 (Striae and Inhomogeneity):

不均質性と脈理に関する規定です。 **2/ A;B** の欄に **A;B** の形式で規定します。ここで **A** は不均質性、**B** は脈理に関する許容量です。不均質性は単位 10^{-6} で与えられた屈折率の最大許容変位により特徴付けられます。脈理は 5 クラスに分類して規定します。クラス 1-4 は、脈理密度に関連します。クラス 5 は仮想的に脈理がない状態で、注釈を添えて更なる情報を明示する必要があります。詳細は ISO-10110 Part4 を参照してください。

肉厚または中心厚 (Thickness):

光軸に沿って計った中心厚の公差を規定します。

ミラー厚 (Mirror Thickness):

ミラーを図面化する場合にのみ入力可能です。ミラーの厚みとはミラー表面から裏面までの中心厚のことです。 **THM** コマンドから指定できます。

部分名 (Part):

部品名です。これを用いてレンズエレメントを特定できます。全ての面に部品名を入力できるのですが左端の面に関する部品名のみが図面に記載されます。

部分番号 (Part No.):

部品を特定するための識別番号です。64 文字まで入力できます。

リビジョン (Revision):

図面の改訂番号、つまりリビジョンを指定します。64 文字まで入力できます。

注釈 (Remarks):

追加で記載する注釈です。64 文字まで入力できます。

23.7 カム計算 (CAM Calculation)

CAM オプションを用いれば、光学系内の可動レンズ群の相対的な位置関係を正確に計算した表を得られます。OpTaliX のこの機能は、単に面間隔を可変要素とする通常のズームレンズのカム計算に適用できるではありません。つまりスキャン光学系のようにティルトやシフトなどを多重構成パラメータとするような広義の”ズーム”レンズの可変要素の変化の仕方を関連づけられる、高度な汎用性を備えています。

CAM オプションは、光学系の各カム位置に対して最適化の機能を適用することでカム表を作成します。作表にあたり、あらかじめ全てのズームパラメータからひとつだけ線形に変化させるパラメータを決めておきます。OpTaliX はそのパラメータの値を STE コマンドで設定したピッチで増加させながら、他のズームパラメータの値を最適化のプロセスを通して次々に求めるという仕組みです。CAM オプションは“ズーム光学系”としての定義を必ずしも必要としてはいません。むしろ、カム計算を実行する前に一時的にズームを解除し“固定焦点レンズ”として定義しなおす操作を施します。カム計算のモードはズーム系にも非ズーム系にも区別なく適用できるのです。

CAM オプションが最適化の機能を OpTaliX の内部で起動しているからといって、カム計算のための変数や目標関数、制約条件等が設計作業に影響を与えることはありません。これは OpTaliX の内部には、それらを区別するために完全に独立した 2 つのデータ領域を有しているからです。したがって、’通常の’最適化とカム表作成は、同一のレンズデータに対してまったく独立に定義・機能させられます。2 つのモード、すなわち ’通常の’ズームモードと、カム計算モードの 2 種類が用意されています。これらのモードの切り替えは、“CAM Y” コマンドおよび “CAM N” コマンドによって行います。この意味を十分に解説するための題材として、以下の説明ではもっともありがちな例として機械補正型ズームレンズに集中することにします。つまり、移動群間の軸上距離の表を作成しようということです。

カム計算の対象となるレンズデータがズーム系として設定してあろうと非ズーム系として設定してあろうと、カム計算モードに移行できます。その上でカム計算用の第 2 の最適化セットを定義しカム計算を実行できます。その後カム計算モードから通常のズーム/多重構成モードに戻ってズーム光学系の最適化や光学特性評価を続行できます。OpTaliX はどちらの最適化セットもレンズデータとともにファイルに保存します。したがって、いったん保存したデータを再び OpTaliX に読み込んだだけで、通常の最適化や評価だけでなく、(OpTaliX が内部的に最適化の機能を起動する) カム表の計算も、そのまま継続できます。

なお、カム計算用のパラメータを編集するためのメニュー項目は、OpTaliX のメインメニューのうち、最適化 (Optimization) および製造 (Manufacturing) のメニューの両方から、アクセスできます。このようなメニュー構成が採用されているのは、カム表を計算するための第 2 の最適化セットと設計作業のための通常の最適化セットの関連性をできるだけ確保しやすい作業環境を実現するためです。

ズーム光学系に対してカム計算モードに移行すると、OpTaliX は一時的に光学系を非ズーム系に変換します (しかしズームデータが失われたということではありません)。その上で、カム表が計算されます。なお “CAM N” コマンドを実行してカム計算モードから通常モードに復帰する際にはズーム

データは元の状態に自動的に復元されます。

CAM Y N zk RUN [XLS file.xls]	Y を指定するとカム計算モードに移行します。この場合、ズーム系は自動的に第 1 ポジションのデータにデズーム (非ズーム化) されます。ただし、zk を指定した場合は、そのポジションにデズームされます。カム計算モード中で CAM RUN コマンドを実行すれば、カム表が作成されます。N を指定すると通常モードに戻ります。カム計算モードで、CAM RUN を実行すればカム計算が実行されます。RUN の指定時に XLS オプションを付与すればカム表はエクセルで読み込み可能な書式で出力されます。このことの詳細についてはエクセルへのエクスポート (500 ページ) を参照してください。 例: CAM Y ! 第 1 ポジションのデータを使ってカム計算モードに移行 CAM z2 ! 第 2 ポジションのデータを使ってカム計算モードに移行 CAM RUN ! カム計算を実行し、その結果をカム表として出力 CAM N ! 通常のズームモードに移行。いったん退避していたズームデータは元の状態に復帰 CAM RUN XLS c:¥my_data.xls ! カム計算を実行し、その結果をエクセルのファイルに出力
STE sk param あるいは CAM STE sk param	すべてのズームパラメータから、線形で (等ピッチ) で変化させるパラメータを選択します。もしも patam が省略され、面の識別子だけ (面番号だけ) が設定された場合には、その面の面間隔が設定されます。つまり、sk とだけ設定された場合には、それは “THI sk” という指定があったものとみなされるということです。しかし面間隔だけしか設定できないということではありません。param 部分には、任意のパラメータ名を指定できます。 例: STE s5 ! 第 5 面の面間隔 (THI s5) が等ピッチで解かれます。 STE ADE s7 ! 第 7 面の x 軸ティルトが線形パラメータとして扱われます。 STE 'ADE s7' ! 上記と同等。パラメータを文字列によって設定した例。
INC step_size あるいは CAM INC step_size	STE コマンドで設定した線形パラメータの等間隔なピッチ幅を設定
次ページに続く	

前ページから続く	
LIM max_value あるいは CAM LIM max_value	STE コマンドで設定した線形パラメータがこの値をこえたらカム計算を終了
CAM OUT param_string1..10	カム表の出力対象となる可変パラメータの設定。最大 10 個まで設定可能。パラメータは、文字列として設定されなくてはなりません。つまり、引用符ではさんで設定する必要があるということです。パラメータ間には少なくとも 1 文字以上の空白をはさんでください。文字列には、レンズデータベースアイテムや数式表現を含むことは(今のところ)できません。 例: CAM OUT 'thi s5' 'thi s10' 'efl' 'oal'
BAS offset あるいは CAM BAS offset	カム表に出力される各パラメータの値に加算される定数を設定。この値を適切に設定することで、機構設計上の基準点に対応したカム表を作成できます。
LIS CAM	CAM オプションに関連する種々のパラメータおよび最適化変数、制約条件の一覧表を出力します。
EDI CAM	CAM パラメータとそれに関連する最適化変数および制約条件を編集するダイアログボックスを起動します。

カム計算が終わった時点で、OpTaliX の内部には、カム計算の最後のステップに相当するレンズデータが残ったままになっています。必要であればその状態をあらたなスタート地点としてさらにカム計算を実行できます。その際、カムの計算パラメータを変更しても問題ありません。通常のズームモードに戻した場合 (CAM N コマンドを参照) には、レンズデータはポジション 1 の状態にセットしなおされ、ズームデータも元の状態に復元されます。

例:

¥optalix¥examples¥optimization ディレクトリに保存されている CAM.Example.otx を題材にカム計算の実際を示します。このレンズデータは、第 5, 10, 15 面の面間隔を可変間隔とする各移動群によって構成されています。このうち、第 5 面の面間隔を所定の範囲 (ここでは 1mm~50mm) で等間隔に変化させます。残りの可変面間隔、つまり第 10 面および第 15 面は光軸上の定位置に像を作り、かつレンズ全長 (OAL) が変化しないように調整されます。具体的に示します。まず、カム計算モードに移行します。

CAM Y

それから、線形に変化させる面と関連パラメータを指定します。

STE THI s5 ! 線形に変化させるのは、第 5 面
INC 2.0 ! 変化の間隔は 2mm (第 5 面に対して)
LIM 50.0 ! 最大値は 50mm (第 5 面に対して)

カム計算のための変数と制約条件の設定は、通常の場合と同様に行えます。つまり、var? で起動するダイアログボックスを使って設定することもできますし、コマンドラインから次のように設定することも可能です。


```
VAR s10 THI
VAR s15 THI
```

カム計算のための目標関数と成約条件も通常の最適化の場合と同様に行えますが、実際に設定される内容は通常の最適化と比較するとずっと単純です。例えば、**var?** で起動するダイアログボックスにおいて、下記を設定するだけです。

```
spd f1 0      ! 第1画角(例えば軸上)のスポットダイアグラムの直径を最小化
oal = 121.5   ! レンズ全長を一定値に保つ
```

最後の準備として出力すべきパラメータの一覧を定義します。ここでは、第10面と第15面の面間隔がそれに相当します。加えて、確認のため焦点距離(EFL)とレンズ全長(OAL)、さらに第1画角のスポットダイアグラムのRMS直径(spd f1)も出力します)

```
CAM OUT 'thi s10' 'thi s15' 'efl' 'oal' 'spd f1'
```

出力するパラメータは、引用符で囲んだ文字列として表記しなくてはなりません。また、それらは少なくとも1文字以上の空白で分離される必要があります。これら一連の設定内容を表示するには、**LIS CAM** コマンドを使います。下記は、その出力例です。

```
CAM CALCULATION PARAMETERS:
Linear stepping parameter (STE) : THI S5
Stepping increment (INC) : 2.00000
Maximum of stepped parameter (LIM) : 50.00000

List Parameter      Offset
1 : THI S10         0.0000
2 : THI S15         0.0000
3 : EFL             0.0000
4 : OAL             0.0000
5 : SPD F1          0.0000

CAM VARIABLES :
S10    THI
S15    THI

CAM TARGETS AND CONSTRAINTS :
spd f1 0
oal = 121.5
```

カム計算は CAM RUN コマンドにより次のように実行されます。

CAM CALCULATION

FILE = CAM_Example.otx

	THI S5	THI S10	THI S15	EFL	OAL	SPD F1
1	1.00000	56.47201	1.12499	5.90331	121.50000	0.00367
2	3.00000	54.37153	1.22547	6.25214	121.50000	0.00354
3	5.00000	52.26517	1.33183	6.63267	121.50000	0.00343
4	7.00000	50.15151	1.44549	7.04912	121.50000	0.00338
5	9.00000	48.03185	1.56515	7.50546	121.50000	0.00330
6	11.00000	45.90509	1.69191	8.00707	121.50000	0.00324
7	13.00000	43.76938	1.82762	8.56059	121.50000	0.00325
8	15.00000	41.62445	1.97255	9.17309	121.50000	0.00333
9	17.00000	39.46936	2.12764	9.85319	121.50000	0.00348
10	19.00000	37.30302	2.29398	10.61110	121.50000	0.00373
11	21.00000	35.12420	2.47280	11.45900	121.50000	0.00411
12	23.00000	32.93149	2.66551	12.41154	121.50000	0.00463
13	25.00000	30.72328	2.87372	13.48641	121.50000	0.00529
14	27.00000	28.49768	3.09932	14.70510	121.50000	0.00609
15	29.00000	26.25255	3.34445	16.09395	121.50000	0.00700
16	31.00000	23.98536	3.61164	17.68545	121.50000	0.00801
17	33.00000	21.69320	3.90380	19.51995	121.50000	0.00913
18	35.00000	19.37267	4.22433	21.64797	121.50000	0.01033
19	37.00000	17.01982	4.57718	24.13323	121.50000	0.01159
20	39.00000	14.63009	4.96691	27.05663	121.50000	0.01284
21	41.00000	12.19831	5.39869	30.52153	121.50000	0.01397
22	43.00000	9.71879	5.87821	34.66022	121.50000	0.01478
23	45.00000	7.18589	6.41111	39.64128	121.50000	0.01493
24	47.00000	4.59570	7.00130	45.67467	121.50000	0.01383
25	49.00000	1.95113	7.64587	53.00207	121.50000	0.01075

INFORMATION: The system has been left at the last step in the CAM
Enter "CAM N" to restore all zoom positions (Zoom systems only).

第24章 ガラスマネージャ

– Glass Manager –

OpTaliX は、ガラス材の光学特性を可視化したり解析したりする多数の補助ツールを実装しています。

24.1 ガラスマップ (Glass Map)

ほとんどの光学ガラス製造メーカがそれぞれ何種類かのガラスマップを提供しています。ガラスマップには屈折率とアッペ数 ν の関係を示すダイアグラムや、屈折率と屈折率分散 $n_F - n_C$ の関係を示すダイアグラムなどが含まれます。一連のガラスマップは、いずれもメインメニューの “Glass Manager” をクリックすることで選択できます。

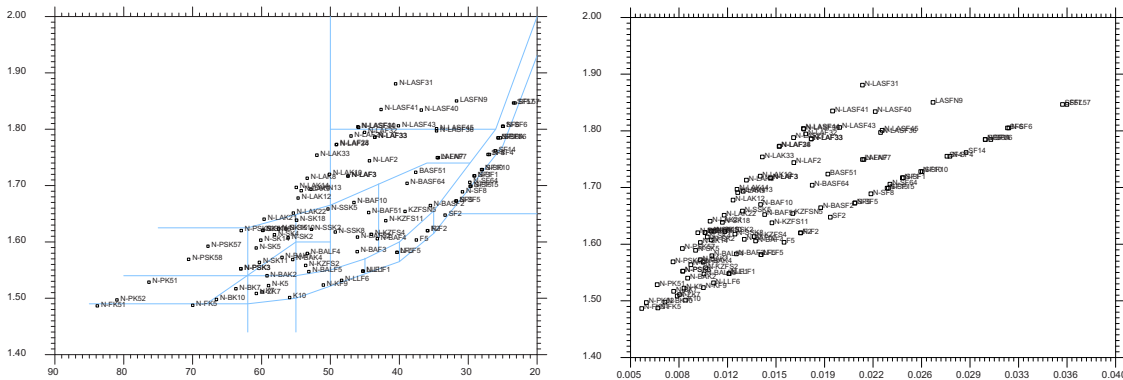


図 24.1: ショット社のガラスマップ。左：屈折率とアッペ数の関係図。右：屈折率と屈折率分散 $n_F - n_C$ の図

NNU	屈折率とアッペ数の関係を示すマップを表示します。 “NNU ?” と指定するとマップの表示に先駆けて、製造メーカや、対象とする波長領域を設定できるダイアログボックスを起動します。
NFNC	屈折率と屈折率分散 $n_F - n_C$ の関係を示すマップを表示します。

24.2 部分分散マップ (Partial Dispersion Plots)

部分分散マップは、標準的な分散線 (ショット社の光学硝子 K7 と F2 に対する分散関係を結ぶ直線) からの偏差を示します。部分分散の定義は $P_{g,F}$ または $P_{C,s}$ のいずれかを選べます。また、部分分散

の差 $P_{g,F} - P_{d,c}$ や、これに加えて Buchdahl 係数 η_1, η_2 をプロットすることもできます。また、波長域 $1-2\mu\text{m}$ と $3-5\mu\text{m}$ に対して任意の部分分散を定義しプロットできます。

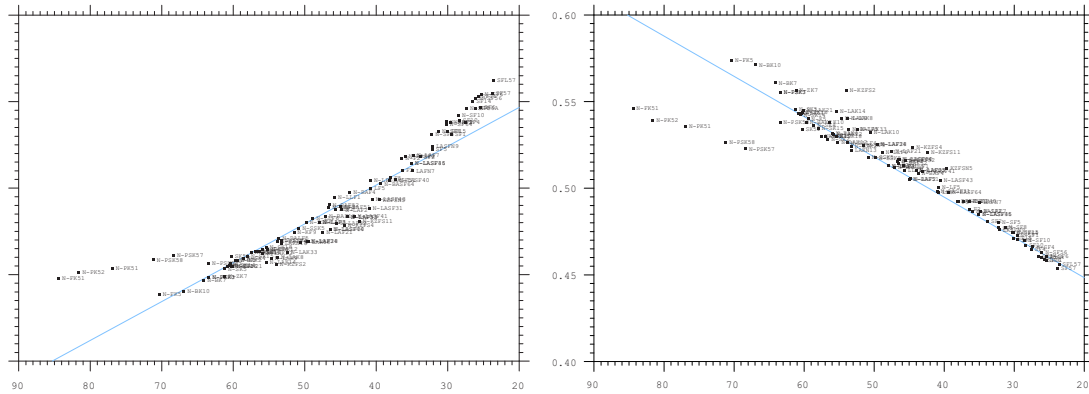


図 24.2: 部分分散図のプロット。ショット社の光学ガラスを対象にした場合。左：屈折率と $P_{g,f}$ の関係図。右：屈折率と $P_{c,s}$ の関係図。

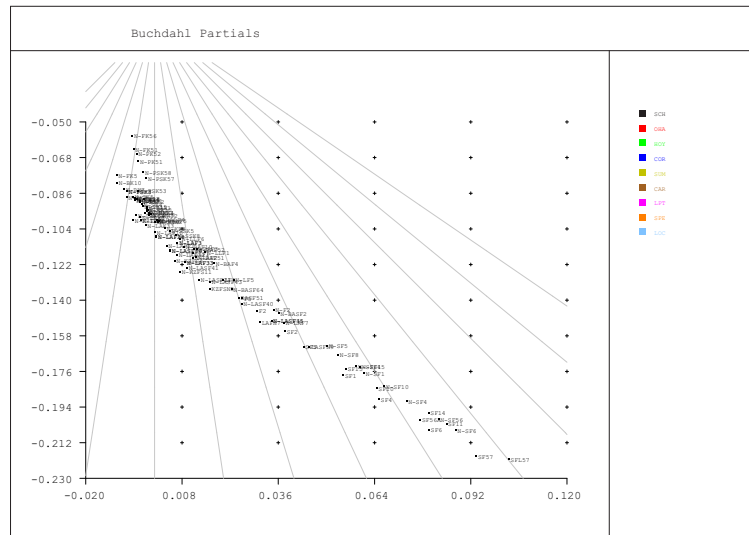


図 24.3: ブーフダー (Buchdahl) 係数 η_1, η_2 による部分分散図。ショット社のガラスを対象にした場合。

24.3 アサーマルマップ (Athermal Map)

アサーマルマップ (athermal map) とは、波長分散力と熱分散力の対比図のことです。図 24.4 をご覧ください。この図は色収差と温度変化に渡る波長シフト (これを熱収差といいます) の両方が同時に補正された光学系を見いだすために有益なツールといえます。

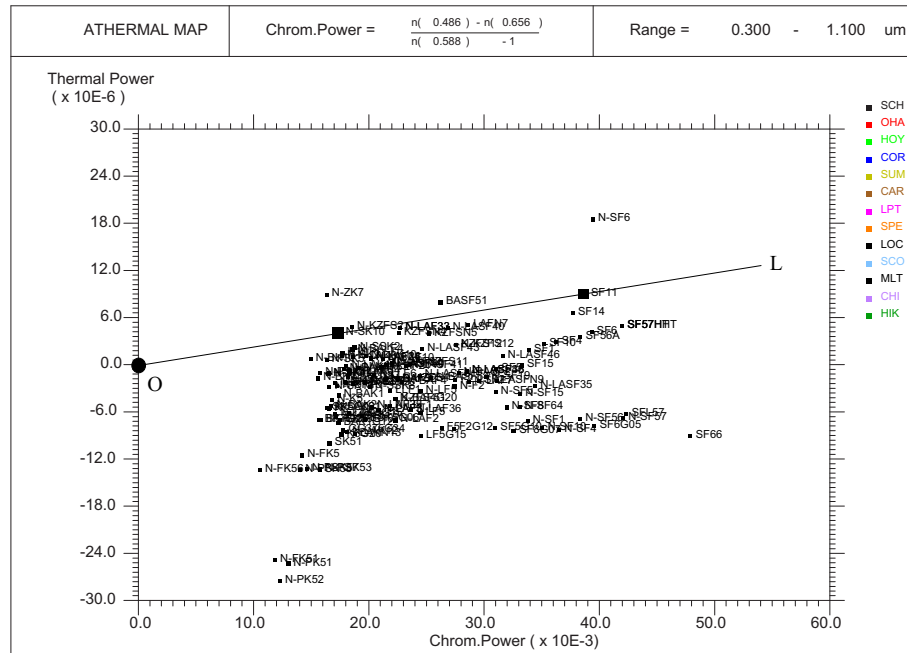


図 24.4: アサーマルマップ。波長分散力と熱分散力をショット製のガラスについて可視波長域でプロットしてあります。

いずれの材料についても、波長分散力 φ と熱分散力 ψ は次の様に計算されます。

$$\varphi = -\frac{(\partial n / \partial \lambda) \Delta \lambda}{n - 1} \quad (24.1)$$

$$\psi = \frac{\partial n / \partial T}{n - 1} - \alpha \quad (24.2)$$

ここで α は光学材料の線膨張係数です。波長分散力 φ が $1/\nu$ に比例していることに注意してください。ただし、 ν は 13.4 章 で定義されたアッベ数です (220 ページ)。

簡単のために、2 種類の光学材料からなる薄肉ダブルレットを考えます。今、2 波長に対して色収差の補正、すなわちアクロマートを意図し (波長分散力ゼロ)、同時にアサーマライズ (温度変化があっても焦点位置が変化しない、つまり温度分散力ゼロ) を意図したとします。これを実現するには 3 本の線形方程式が必要です。

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 1 \quad (24.3)$$

$$\Delta \Phi = \varphi_1 \cdot \Phi_1 + \varphi_2 \cdot \Phi_2 \quad (24.4)$$

$$\frac{d\Phi}{dT} = \psi_1 \cdot \Phi_1 + \psi_2 \cdot \Phi_2 \quad (24.5)$$

図 24.4 を参照すると、これは 2 種類の材料がアサーマルマップの原点 O を通過する直線 $O-L$ 上に存在しなくてはならないことを意味すると分かります。もしもこの条件に合致する材料が見つから

なかったら(そして、それは赤外用レンズなど可視域外を対象とする光学系の場合に起こりがちですが)、その場合には目指す効果を実現するためには3種類の材料を組み合わせなければなりません。このことに関するさらに詳しい考え方は次の論文を参照してください。Tamagawa et.al. [53],[54].

注記:

アサーマルマップは、鏡筒の構造からくる熱効果を考慮にいていません。また、レンズ厚の変化、高次光線収差の影響も考慮していません。したがって、現実の光学系の設計にあたっては、アサーマルマップはアサーマライゼーション(熱収差の補償)に適した光学材料の選定のためのガイドラインとしてのみ位置づけてください。

24.4 屈折率分布型材料 (GRIN 材料) の屈折率分布 (Gradient Index Profile)

GRIN 材料の屈折率分布は、ローカルな z 座標値の関数として示します。OpTaliX の現行バージョンでは、*axial gradient GRIN* (軸にそって屈折率勾配をもつ GRIN) としてあらかじめ登録された材料についてのみプロットできます。プロット図は選択された波長において作成されます。メインメニューから、*Glass Manager* → *Gradient Profile* とたどってください。

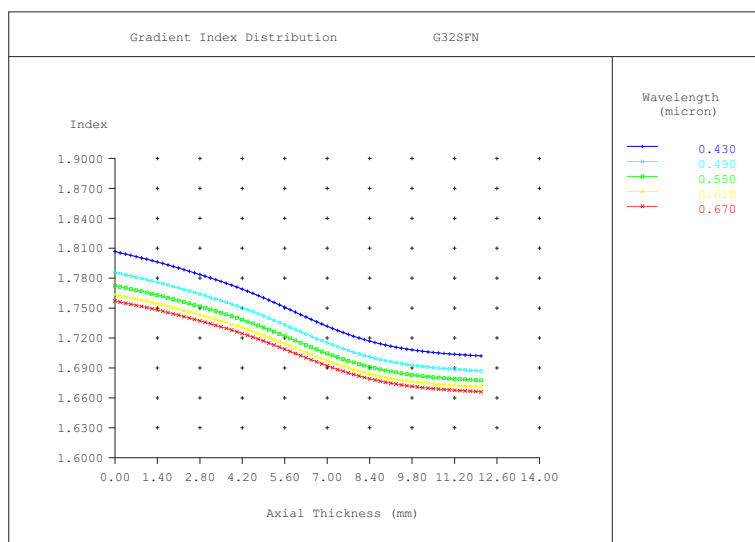


図 24.5: 5 種類の波長に対する屈折率分布図。

24.5 薄肉アポクロマート (超色消し) レンズのための材質選択 (Glass Selection for Thin-Lens Apochromats)

このオプションは、アポクロマティックな特性を有するガラスの組み合わせを選択する際に役立ちます。2枚または3枚からなる構成についてサポートします。適切な組み合わせを見いだすために、OpTaliX はすべてのガラスの分散特性をベースとなるガラスと比較し、それぞれのレンズに要求されるパワー (屈折度、焦点距離の逆数) を表示します。

このオプションは ブーフダール (Buchdahl) のモデル分散式によっています。これは波長 λ の変化に対してクロマティック座標 ω (chromatic coordinate ω) の変化を考え、これを変数として分散関係を取り扱うものです。ここで ω は次のように定義されます。

$$\omega = \frac{\lambda - \lambda_0}{1 + \frac{5}{2}(\lambda - \lambda_0)} \quad (24.6)$$

ただし λ_0 はベース波長です。

いったんクロマティック座標 ω を導入すれば、任意の波長 λ における屈折率は次のように多項式で表現できます。

$$n = n_0 + v_1\omega + v_2\omega^2 + \dots + v_i\omega^i \quad (24.7)$$

ここで n_0 は波長 λ_0 における屈折率で、 ω に対する係数 $v_1, v_2, \dots$, は材質の分散特性を特徴づけます。この近似式は急速に収束する (ω と n の線形性は非常に高い) ことが知られており、可視領域 (400–700nm) では 2 次の項まで、400–1000nm では 3 次の項まで考慮すれば十分に正確に屈折率分散をモデル化できます。

ただし、この考え方は近軸領域のみを考慮したものであることに注意してください。実存するガラスを用いて実際の光学系に適用すると予想に反して期待したガラスの組み合わせが適切に機能しないこともあり得ます。このような場合の多くは、高次の球面収差や、球面収差の波長依存性によるものです。これらは上記で考慮した近軸量では説明できません。

24.5.1 2 枚構成のアポクロマート (Two-Glass Apochromats)

AP02 [base_glass ?]	近軸領域でアポクロマティックな色収差補正が達成される 2 枚種のガラスの組合せを探索します
-------------------------	---

例：

ベースとして与えられたガラス材に対し、部分分散の比ができるだけ等しいガラスの組み合わせを探します。

出力として得られるリストには、適合するガラス名が、一般的に通用する互換材のガラス名とともに示されます。また、ダブレット (2 枚構成のレンズ全体) のパワーを 1 とする場合にそれぞれの材料が有すべきパワーも、あわせて示されます。さらにリストの最右欄には、近軸領域において見込まれる縦色収差量、つまり 2 次色収差量が RMS 量で示されます。一般にそれぞれのレンズのパワー (Phi1, Phi2) が小さな組み合わせにおいて、小さな RMS エラーが見込まれます。しかしながら、リストに示される RMS エラーが小さい場合であっても、大きなレンズパワー (個々のレンズの焦点距離が短い場合に相当) は、多量の高次色収差 (Spherochromatism : 球面収差の波長依存性に等価) の発生を示唆するものですから、注意が必要です。

Glass dispersion coefficients based on Buchdahl chromatic coordinates :

```
Baseglass : KZFSN4
Eta_1    : -0.14080
Eta_2    :  0.04012
Ref.wavelength : 0.5500 micron
```

Glass	Equiv.Glass	Phi1	Phi2	RMS
SCH:LLF1	N-LLF1	-30.308	31.308	0.3855
SCH:N-BAF3	BAM3	-19.172	20.172	0.2716
SCH:N-BAF10	S-BAH10	-15.614	16.614	0.0964

SCH:N-BAF51	N-BAF51	-64.353	65.353	0.9895
SCH:N-KF9	N-KF9	-6.107	7.107	0.0631
SCH:N-KZFS4	N-KZFS4	-206.546	207.546	0.7215
SCH:N-KZFS11	N-KZFS11	23.824	-22.824	0.0012
SCH:N-LAF2	N-LAF2	-75.176	76.176	0.9451
.....				

24.5.2 3枚構成のアポクトマート (Three-Glass Apochromats)

AP03 [base_glass ?]	近軸領域でアポクロマティックな色収差補正が達成される3枚種のガラスの組合せを探索します。
-------------------------	--

次の出力はベースガラスとしてショット社の KZFSN4 を指定した場合の例です。

Glass dispersion coefficients based on Buchdahl chromatic coordinates :					
Baseglass : KZFSN4					
Eta_1 : -0.14080					
Eta_2 : 0.04012					
Ref.wavelength : 0.5500 micron					
Glass1	Glass2	Glass3	Phi1	Phi2	Phi3
SCH:KZFSN4	SCH:F2	SCH:N-FK51	-2.906	1.238	2.669
SCH:KZFSN4	SCH:F2	SCH:N-FK56	-2.387	1.074	2.313
SCH:KZFSN4	SCH:F2	SCH:N-PK52	-2.913	1.171	2.742
SCH:KZFSN4	SCH:F5	SCH:N-FK56	-2.568	1.294	2.274
SCH:KZFSN4	SCH:LAFN7	SCH:N-FK56	-2.533	1.105	2.428
SCH:KZFSN4	SCH:LASFN9	SCH:N-FK51	-2.458	0.756	2.701
SCH:KZFSN4	SCH:LASFN9	SCH:N-FK56	-1.993	0.655	2.337
SCH:KZFSN4	SCH:LASFN9	SCH:N-PK52	-2.489	0.715	2.774
SCH:KZFSN4	SCH:SF1	SCH:N-FK51	-2.359	0.613	2.747
.....					

24.6 ガラスカタログの表示と編集 (View and Edit Glass Catalogues)

GCAT [cat_name]

OpTaliX のガラスカタログに登録されているガラスデータを表形式 (スプレッドシート) で呼び出します。オプションのパラメータ `cat_name` は、カタログを指定する 3 文字からなる文字列です。下記から選択してください。

cat_name	ガラス製造メーカー
SCH	Schott
SCO	Old Schott
OHA	Ohara
HOY	Hoya
COR	Corning
SUM	Sumita
CAR	Cargille liquids
LPT	LightPath Gradium
SPE	Specials catalogue (infrared, plastic, etc.)
HIK	Hikari
CHI	Chinese catalogue
MLT	Melts (user defined glasses)

例 :

`gcat`

`gcat sch`

ガラスカタログのうち、MLT、つまりユーザ定義ガラスカタログだけはその内容の編集や保存が可能です、しかし他のどのカタログも表示だけしかできません。これは後日のカタログのアップデートにおいて、その確からしさを間違いなく維持するためです。

Glass Catalogue Editor - Schott								
	Glass Name	Equiv.Name	Index (d)	Nue (d)	Coef. 1	Coef. 2	Coef. 3	
Schott	F2	F2	1.620037	36.35	1.3453336	0.20907318	0.93735716	
Old Schott	F5	F5	1.603417	38.01	1.3104463	0.19603426	0.96612977	
Ohara	K7	K7	1.511119	60.38	1.1273555	0.12441230	0.82710053	
Hoya	K10	K10	1.501369	56.39	1.1568708	0.64262544E-01	0.87237614	
	LAFN7	LAFN7	1.749498	34.94	1.6684262	0.29851280	1.0774376	
Corning	LAKN13	LAKN13	1.693499	53.31	1.2579237	0.55340286	1.0633574	
Sumita	LASFN9	LASFN9	1.850250	32.16	1.9788819	0.32043530	1.9290075	
Hikari	SF1	SF1	1.717355	29.50	1.5591292	0.28424629	0.96884293	
	SF10	SF10	1.728245	28.40	1.6162598	0.25922933	1.0776232	
Cargille	SF11	SF11	1.784714	25.75	1.7384840	0.31116897	1.1749087	
LightPath	SF14	SF14	1.761814	26.52	1.6918254	0.28591993	1.1259515	
	SF15	SF15	1.698947	30.06	1.5392593	0.24762093	1.0381641	
Special	SF2	SF2	1.647685	33.83	1.4030182	0.23176750	0.93905655	
	cc4	cc4	1.755196	27.57	1.6195783	0.33949319	1.0765659	

図 24.6: ガラスカタログの表示および編集用のスプレッドシートの一部。

スプレッドシートの各項目の意味は次のとおりです。

Glass Name	製造メーカーが定めたガラスの名称
次ページに続く	

前ページから続く	
Equiv.Name	光学特性がごく近いガラスの名称です。この名称のガラスが他の製造メーカー製から供給されています。
Index(d)	d 線 (波長 $0.58756\mu\text{m}$) における屈折率です。
Nue (d)	d 線 (波長 $0.58756\mu\text{m}$) を基準とするアッペ数です。
Coef. 1-6	分散係数です。分散式のタイプはこのシートの“Eq”の欄に示されています。
Eq.	分散式を識別するための番号です。 0 = ショット社が定義した分散式。詳細は 219 ページの式 13.1。 1 = セルマイアの分散式。詳細は 219 ページの式 13.2。 2 = ヘルツバーガの分散式。詳細は 219 ページの式 13.3。
L-min	分散式を適用可能な最短波長を μm 単位で示します。
L-max	分散式を適用可能な最長波長を μm 単位で示します。
D0 D1 D2 E1 E2 LTK	屈折率の温度変化係数、 dn/dT です。220 ページの式 13.2 の係数です。
TCE	線膨張係数です。 10^{-6} 単位。つまり表示される値を 10^{-6} 倍した値が実際の値。
Rho	密度 ρ (g/cm^3)
RTI	内部透過率の表記に相当するガラス材の厚さ (mm)
2500 - 250	板厚 RTI (上記欄参照) における内部透過率です。表面反射損失は含みません。

24.7 溶解ガラスまたはユーザ定義ガラス (Melt Glasses)

実際に製造された光学ガラスや他の光学材料 (以後、これらを溶解ガラスといいます) の屈折率は、製造をするたびにそのノミナル値またはカタログ記載の値に対していくらか変動します。出荷されるガラスの屈折率およびアッペ数の公差は典型的には屈折率について ± 0.001 以下、アッペ数については 0.8% 以下です。この程度の標準的な公差は、高分解能を要求される長焦点レンズなど、厳しい評価が必要とされる用途には十分とはいえません。このため光学特性の解析にあたっては実際に測定された正確な屈折率データを使った評価が必要です。

この作業に供するため、ガラス製造メーカーは製造バッチごとに溶解データシート (国内ではメルトデータとも呼びます) を発行しています。

ここに記載されたデータを用いれば、レンズ面の曲率半径やレンズ厚、空気間隔などを調整できます。一般にはデータシートにはいくつかの波長における測定結果だけが記載されています。このため、光学系を設計する波長における屈折率を得るためには、いくらかフィッティングの処理が必要となります。このための内挿式として、OpTaliX では、式 13.2 に示すセルマイア (Sellmeier) の分散式を使います。

実測の屈折率を利用するためには、ガラス製造メーカー発行の溶解データシートをベースに、OpTaliX

のガラスカタログに新規にガラス材を登録しなくてはなりません。いったん登録してしまえば、あとは通常のカatalogガラスと同様に利用できます。

この方法は非常に一般性が高いため、必ずしも溶解ガラス (これはあらかじめ登録されたカタログガラスからの偏差がごく僅か) だけではなくそれ以外にまったく新しいガラスにも適用できます。つまり可視域だけでなく、その材料がレンズ材料として使用可能な限り、任意の波長範囲を入力できます。このため、赤外領域用の光学ガラスや、紫外領域用の光学材料などであっても同様に登録可能です。ただし、現在は有意な屈折率分布を持たない均質(homogeneous) な光学ガラス/光学材料だけしか登録できないことに注意してください。屈折率分布型材料 (GRIN 材料) のように、不均質 (inhomogeneous) な材料は、この機能では扱えません。

コマンド :

<pre>MELT [?:fil melt_file_name]</pre>	融解ガラスを 1 組の波長/屈折率データから作成します。セルマ イア (Sellmeier) の分散係数が計算され、ついで、“melts” カタ ログに追加されます。コマンドラインからの入力では波長と屈折率 のデータを拡張子 “.ind” をもつ ASCII ファイルに保存しておか なくてはなりません。そのファイル書式については 32.7 章を参照 してください。“?” オプションを使用すると、対話式のダイア ログボックスが起動します。 例 : <pre>melt fil c:¥optix¥glasses¥my_melt.ind</pre> ファイル内の屈折率データをフィッティングします。 <pre>melt ?</pre> メルトデータを編集するダイアログボックスを起動します。
--	--

ダイアログボックスを用いた溶解ガラスの生成 :

溶解ガラスをフィッティングし生成するための非常に便利な方法は、ダイアログボックスを利用することです。これは “MELT ?” コマンドを使うか、あるいはメインメニューから、Glass Manager → Create Melt Glass をクリックすれば起動できます。

屈折率のデータ入力形式には 2 種類あります、いずれか一方を選択します。

- ショット社が発行する溶解データシートと同じ書式で入力できます。このデータは手動で入力しなくてはなりません。この入力形式を選択するには、“Schott melt data sheet” ボタンをクリックしてください。
- 波長と屈折率データをペアして何波長分かのデータを入力します。データは手動で入力するか、あるいは拡張子 “.ind” をもつファイルから読み込みます。ファイルは ¥optix¥melts¥フォルダに保存するのが標準です。この入力形式を選択するには、“Measured index data” ボタンをクリックしてください。

図 24.7 に示したダイアログボックスを例にとり、溶解ガラスを作成する手順を示します。

1. ペアとなる波長/屈折率データを手動で入力します。あるいはダイアログボックスの中央下にある “load indices” ボタンをクリックし、拡張子 “.ind” を持つファイル (¥melts フォルダに保存

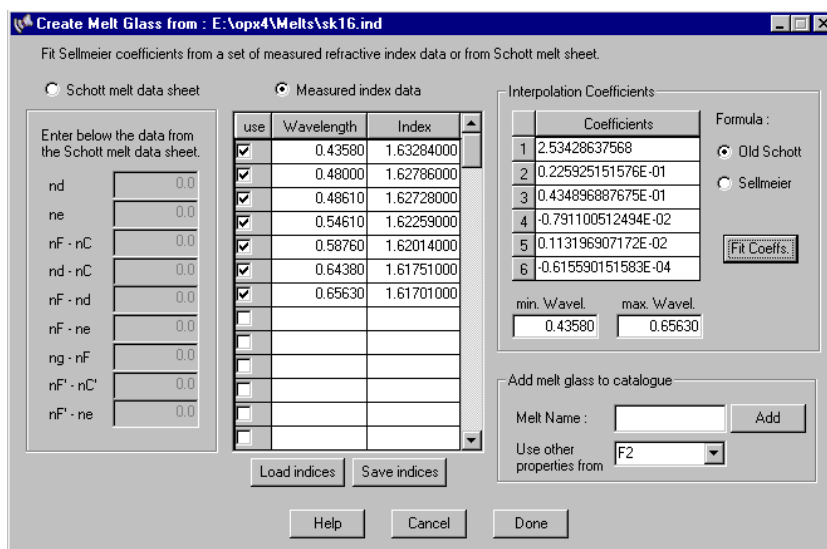


図 24.7: 溶解ガラス、あるいは新規ガラスをフィッティングし登録するためのダイアログボックス。

されるのが標準) からそれを読み込みます。フィッティングの対象とするデータペアの“USE”欄にチェックを付けます。最大で 100 組の波長/屈折率データを入力可能です。

2. フィッティングに用いる分散式を選択します。OpTaliX の現行のバージョンでは Schott の分散式 (式 13.1、219 ページ) またはセルマイアーの分散式 (式 13.2、219 ページ) を選択できます。ダイアログボックス右端の “Old Schott” ボタンあるいは “Sellmeier” ボタンのいずれかをクリックしてください。
3. “fit coeffs” ボタンをクリックし、選択した分散式に従って一連のデータをフィッティングします。フィッティングの結果得られる分散係数は最も右寄りの表に表示されます。またフィッティングの精度とともにテキストウィンドウにもレポートされます。
4. “Add melt glass to catalogue” と表示されたすぐ下の “Melt Name” 欄に、新しい融解ガラスの名前を入力します。他のカタログガラスと区別してこの溶解ガラスを特定するために、既存の登録ガラスとは異なる名前 (最大 10 文字) を与えます。
5. 屈折率以外のガラス特性 (内部透過率、 dn/dT 、CTE、密度などのような) を設定するため、ベースとなる材料名を “Use other properties from” 欄に設定します。直接手動で入力することもできますし、メニューから選択することもできます。こうすることで溶解ガラスは、屈折率以外のすべての物性をベース材料から引き継ぎ、以降のあらゆる解析、すなわち、透過率、熱膨張、重量などの解析においてベース材料とまったく同様に振る舞うことになります。
6. “Add” ボタンをクリックし、フィッティングされたガラスを “melts” カタログに追加します。
7. ダイアログボックスを閉じます。

第25章 プリントとプロット – Printing and Plotting –

この章では一貫して、“プリント”という用語をプリンタでテキストを印刷することと解釈します。テキスト出力の例としては、コンピュータ画面のテキストウインドウに通常表示されるすべてのコメントや解析結果の出力があります。また“プロット”という用語は Windows のプリントマネージャを利用してプリンタにグラフィックを“プリント”することを意味します

デフォルトではグラフィックスや解析結果の出力はモニタ画面上のウインドウに向けられています。プリントおよびプロットの出力先を切り替えるには出力デバイスの変更する必要があります。いったん出力先を変更すると、以降の全ての出力はそのデバイスに向けられます。グラフィックおよびテキストの一方あるいは両方を再びモニタ画面に表示するには、出力デバイスをスクリーンに戻さなくてはなりません。これはちょうど、電灯のスイッチと同じ概念でとらえられます。ちょうど付けたり消したり、といった具合です。その時点で選択されている出力デバイスはグラフィック用もテキスト用も図 25.1 に示すように、OpTaliX のルートウインドウの下部に配置されたステータスバーに表示されます。

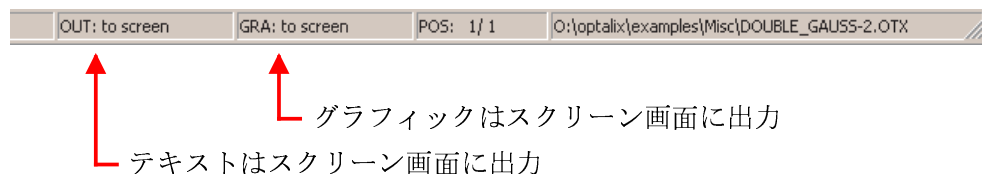


図 25.1: プリント/プロットの出力先は、ルートウインドウの下部に配置されたステータスバーに表示されます

プリントやプロットの出力先をコマンドラインから切り替えるには次の節で説明するとおり、明示的な設定が必要です。一方、GUI からであれば、OpTaliX が自動的に出力先を切り替えます。

25.1 コマンドラインからのプリント/プロット (Printing and Plotting from the Command Line)

次の例は出力をプリンタに向け、ついでスクリーンに戻すものです。

```
out prn    ! 出力はデフォルトのプリンタに向けられます (出力デバイスは “prn”)
out t      ! 出力をスクリーンに戻します (ターミナル)
```

同様にプロット先の変更であれば、

`gra prn` ! グラフィック出力はデフォルトのプリンタに向けられます (出力デバイスは”prn”)。

`gra t` ! グラフィック出力をスクリーンに戻します。

テキストの印刷先およびグラフィックスのプロット先として、次の出力デバイスがあります。

<code>prn</code>	デフォルトプリンタ	テキスト + グラフィック
<code>plt</code>	プロッタ	グラフィックのみ
<code>t</code>	画面 (ターミナル)	テキスト + グラフィック
<code>file</code>	ファイルにテキスト/解析を出力	テキストのみ
<code>silent</code>	テキスト出力を抑制 (つまり非表示)	テキストのみ
<code>hpgl</code>	HPGL (ヒューレットパカードグラフィック言語)	グラフィックのみ
<code>dxf</code>	AutoCAD の DXF ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>eps</code>	Encapsulated Postscript (EPS) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>wmf</code>	Windows Metafile (WMF) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>cgm</code>	Computer Graphics Metafile (CGM) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>bmp</code>	Windows Bitmap format (BMP) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>pcx</code>	Paintbrush file format (PCX) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>png</code>	Portable Network Graphics (PNG) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ
<code>svg</code>	Scalable Vector Graphics (SVG) ファイルにグラフィックを出力	グラフィックのみ

クリップボードへの出力だけでなく、BMP や PCX、PNG のようなラスターイメージとして出力されたファイルであっても、スクリーン上のグラフィックスのピクセル数と同じ大きさの画像ファイルが得られます。つまり、スクリーン上で小さなグラフィックス・ウインドに出力するほど小さなラスターイメージ・ファイルとして保存されることになります。逆に、ウインドウのサイズが増加すると、保存される画像のファイルサイズも増加することに注意してください。

25.1.1 グラフィックデバイスの変更 (Changing the Graphics Device)

デフォルトのグラフィック出力デバイスはスクリーンです。しかし他のグラフィック出力デバイスを選択することも可能です。これをグラフィック出力のリダイレクションといいます。そのためのコマンドとして以下があります。

`gra dxf [file filespec]` ! グラフィックを DXF ファイルにリダイレクト

`gra hpgl [file filespec]` ! グラフィックを HPGL ファイルにリダイレクト

`gra prn` ! グラフィックをデフォルトのプリンタにリダイレクト

`gra plt` ! グラフィックをデフォルトのプリンタにリダイレクト

“`gra prn`” と同義です。

`gra t` ! グラフィックをデフォルトのスクリーンにリダイレクト

グラフィックスを画面、プリンタ、クリップボード以外のデバイスに出力設定するということは、すなわちファイルに書き込むということです。その意味では、グラフィック出力のリダイレクションとは、グラフィックウインドウの内容を所定の書式でファイルに“エクスポートすること”とも解釈できます。

1枚の図だけであれば、一時的にプリンタまたはプロッタにリダイレクトすれば良く、この際にはリダイレクション記号“>”を使って

```
fan > plt
lds > plt
```

のように指定できます。ここで“plt”とはプリンタまたはプロッタのことです。この例では横収差および光学系の配置図は直ちに所定の出力デバイスにリダイレクトされます。この指定をする際には、少なくとも1文字以上のブランクによってコマンド入力を分離することに注意してください。また、この方法でリダイレクトした場合には、リダイレクトは当該のコマンドを実行したその時のみ有効であり、以降に続くどのコマンドもそれまで以前に選択していた出力デバイス (通常はスクリーン) に表示されることに注意してください

25.1.2 プリンタデバイスを変更 (Changing the Printer Device)

テキスト出力に関するデフォルトのデバイスはスクリーン (ターミナルデバイス) です。しかしテキストの出力先として それ以外のデバイスを選択することもできます。これをテキスト出力のリダイレクションと言います。そのためのコマンドとして以下があります。

<code>out prn</code>	以降のすべてのテキスト出力をデフォルトのプリンタにリダイレクト
<code>out file filespec</code>	以降のすべてのテキスト出力をファイルにリダイレクト
<code>out t</code>	以降のすべてのテキスト出力をデフォルトのスクリーンにリダイレクト
<code>out silent</code>	テキスト出力を非表示 (silent operation) にする。再度テキスト出力をするには“out t”あるいは“out prn”コマンドのうちいずれかを実行します。

いったん出力がプリンタに向けられると (`out prn`)、以降のすべてのテキストはデフォルトのプリンタに出力されます。この状態はテキストの出力先がスクリーンに戻される (`out t`) まで維持されます。リダイレクション記号“>”を使えば、それを指定したコマンドの出力についてのみ、一時的に指定の出力先にリダイレクトされます。

例えば、

```
lis > prn      ! デフォルトプリンタで直ちにリストを印刷します。
rsi f1 w1 > prn ! 単光線追跡データをプリンタに出力します。
lis > xxx.txt   ! リスト出力を ファイル xxx.txt に出力します。
```

リダイレクト記号を使って出力先を変更する場合には、少なくとも1文字以上のブランクによってコマンド入力を分離することに注意してください。また、この方法でリダイレクトした場合には、リ

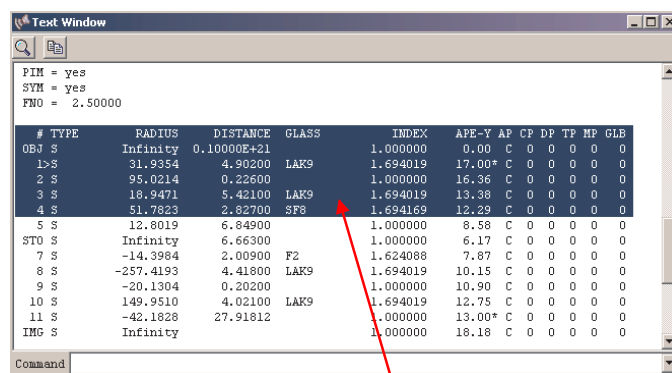
ダイレクトは当該のコマンドのみに有効であり、以降に続くどのコマンドもそれまで選択していた出力デバイス (通常はスクリーン) に表示されることに注意してください

25.2 GUIからのプリント/プロット (Printing and Plotting from the GUI)

前節ではコマンドラインからの設定によって、テキストやグラフィクスをプリントしたり、プロットしたりする方法について紹介しました。この節では より便利な方法として、GUI よりマウスでドラッグしたり、クリックしたりすることによってプリントやプロットする方法を紹介します。

25.2.1 GUIからのテキスト印刷 (Printing Text from the GUI)

テキスト出力ウインドウに表示された全てのテキストを出力する方法です。出力すべき範囲をドラッグしておけば、そのテキスト部分のみを出力することも可能です。

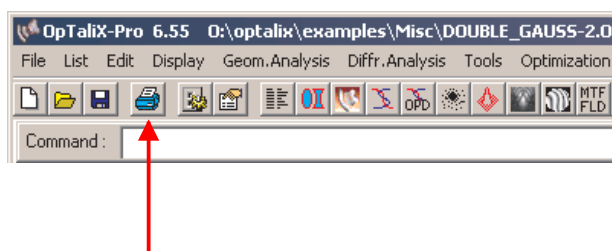


印刷領域をマウスでドラッグして指定

図 25.2: テキスト出力ウインドウの表示のうち、印刷対象とすべき範囲をマウスでドラッグして選択します。その後、メインメニューのプリンターアイコンをクリックします (図 25.3を参照)。出力範囲の選択のないままプリントを開始すると、その時点までにテキスト出力ウインドウに表示されていた全てのテキストが印刷されます。参考: テキストウインドウの内容を消去するには [CLS](#) コマンドを使ってください。

メインメニューのプリンターアイコンをクリックすることで、テキストの印刷が始まります。(図 25.3).

注: 出力すべきテキストの範囲を選択しないまま印刷を開始すると、それまでにテキストウインドウに出力された全てが印刷の対象となります。テキストウインドウを消去して初期状態に戻すには、[CLS](#) コマンドを使ってください。



全テキストの印刷 あるいは 部分印刷

図 25.3: テキスト印刷を開始するためのアイコン。グラフィックスの印刷は ここではなく、各グラフィックスウインドウの左上のアイコンを使ってください。(図 25.4).

25.2.2 GUI からのグラフィックス印刷 (Printing Graphics from the GUI)

各グラフィックスウインドウの右上に、グラフィックスの印刷を開始するためのアイコンがあります。これをクリックすれば、グラフィックス表示の内容がプリンタに出力されます。

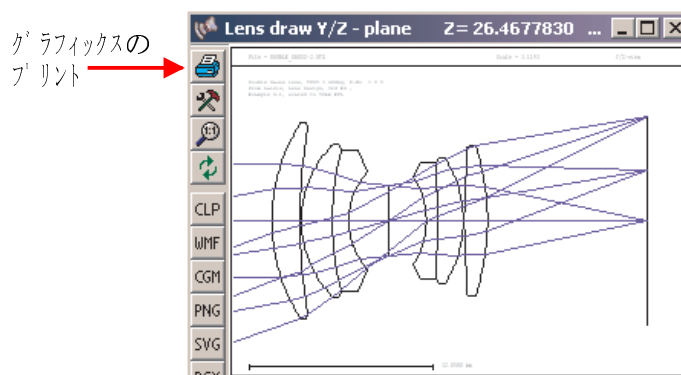


図 25.4: グラフィックスの印刷用アイコン

このページは白紙です。

第26章 マクロ言語 – Macro Language –

マクロとは、OpTaliX のコマンドや数式、データベースアイテムを一連の手続きとして順序よく並べたシーケンスで、ファイルに保存されます。マクロコマンドはコマンドラインから対話式に入力したり、実行したりできます。いずれのコマンドもコマンドラインから実行されてもファイルに保存されていても機能上の違いはありません。

主にマクロは頻繁に繰返されるコマンド列を 1 つのコマンドに集約したり、あるいはユーザがその内容を定義したり、ユーザ特定の機能を規定したりして OpTaliX の能力を強化するために記述されます。

マクロを作成したり実行したりするには 2 つの段階を踏みます。まず始めにテキストファイルにその内容をマクロコマンドによって記述します。ファイルの拡張子は 標準的には `.mac`(例:`test.mac`) が用いられますが、それ以外であってもかまいません。ファイルの編集にはアスキー文字を扱える任意のエディタが使えます。または、OpTaliX に内蔵されているマクロエディタを使うこともできます。内蔵のマクロエディタは 20 本までのマクロを同時に編集できます。OpTaliX 内蔵のマクロエディタを起動するにはコマンドラインから

EDI MAC と入力するか、あるいはメニューバーから *Edit* → *Macro files* とたどります。

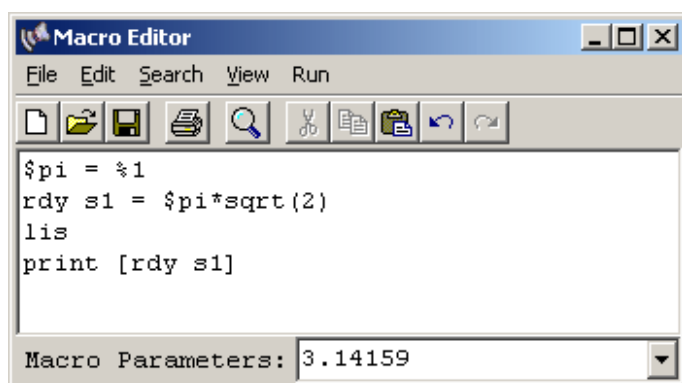


図 26.1: マクロエディタ画面。この例はマクロのパラメータとして 3.14159 を与えるものです。マクロ中に記述された `%1` はマクロ外部から与えられた 1 つめのパラメータを受け取り、マクロの一行目の変数 `$pi` に引き渡します。2 行目では、それに `sqrt(2)` を乗じて 第 1 面の曲率半径として設定しています。3 行目では レンズデータをリストとして出力し、最後の行で さらに 第 1 面の曲率半径をテキスト画面に出力しています。

マクロを記述後、マクロエディタ上部のメニュー項目にある **‘Run’** をクリックすれば、直ちにその内容を実行できます。この際、マクロに引き渡されるべきマクロ外部からのパラメータがあるならば、マクロエディタの下部にある **“Macro Parameters:”** と表記された欄にその値を入力します(図 26.1 参照)。

マクロ中に %i の記述があるにも関わらず、その値が適切に設定されなかったり、あるいは定義そのものがなされない場合には、ゼロ (数値の場合) または空白文字 (文字変数の場合) が仮定されます。

マクロエディタは、編集しようとするマクロと同じ数だけの編集画面を提供できます。そのためには、マクロエディタのメインメニューから 'File' → 'New' を選択するか、あるいはマクロエディタのメニューにある  アイコンをクリックしてください。編集画面の選択は、マクロエディタのメインメニューの 'View' をクリックすることで行えます。エディタの終了は、メインメニューから 'File' → 'Exit' を選択するか、エディタ右上の  アイコンをクリックすることにより行われます。エディタの終了時点でマクロがファイルに保存されていないければ、それをファイルに保存するかどうかを確認する画面が起動します。

いったんファイルにシーケンスを保存すれば、その後は OpTaliX の RUN コマンドにより いつでもその内容を読み込み、実行できます。

26.1 ラン文 (RUN Statement)

ラン (RUN) 文は (フルパスで与えられている) マクロファイルの内容を読み込み、実行します。

```
run filename [parameter1...9]
```

ここで [parameter1...9] は、マクロにパラメータとして引き渡す最大 9 個の式です (これは数値または文字列、数式表現のいずれであってもかまいません)。マクロ中でそれぞれのパラメータはその値が評価され、その結果 (数値または文字列) はマクロ中に記述された特殊記号 (%1, %2, ... %9) の代わりに置き換えられます。

下記に示す非常に簡単なマクロ `example.mac` を例にとり

! ある数字の平方根をプリント

```
print 'The root of ' %1 'is ' sqrt(%1)
```

それをコマンドラインから実行します。

```
run example.mac 2
```

ここでマクロ名に続く数字の 2 は、マクロに引き渡す一つ目のパラメータです。この場合の出力は

```
The root of 2.0000000000000000 is 1.414213562373095
```

パラメータは変数ではありません。あくまでもマクロの実行時に定義される定数として扱われることに注意してください。

26.2 数学的表記 (Arithmetic Expressions)

式はオペランドや演算子からなります。オペランドは定数、レンズデータベースアイテム、ユーザ定義変数です。一方、演算子には下記があります。

+	加算
-	引算
*	乗算
/	除算
**	指数
^	指数

また、広範囲に渡る実装済みの内部関数があります。

sin(r)	ラジアン角の正弦
cos(r)	ラジアン角の余弦
tan(r)	ラジアン角の正接
exp(x)	e^x
log(x)	自然対数
log10(x)	常用対数
logn(n,x)	n を底とする対数
sqrt(x)	平方根
acos(r)	アークコサイン
asin(r)	アークサイン
atan(r)	アークタンジェント
cosh(r)	双曲線関数の余弦
sinh(r)	双曲線関数の正弦
tanh(r)	双曲線関数の正接
besj0(x)	ベッセル関数 1 種、0 次
besj1(x)	ベッセル関数 1 種、1 次
besjn(n,x)	ベッセル関数 1 種、n 次
aint(x)	小数点以下切り捨て
anint(x)	四捨五入
abs(x)	絶対値
min(a,b)	最小値
max(a,b)	最大値
sech(x)	双曲線関数の余弦の逆数 (= $1/\cosh(x)$)
csch(x)	双曲線関数の正弦の逆数 (= $1/\sinh(x)$)

数値はすべて全て実数と仮定されます。FORTRAN 言語における通常の倍精度定数の表現方法を用いて入力します。#記号は整数の 1 桁を示します。

例:

#	1
.#	.1
#.#	1.2
##d#	1.2d3
##d-#	1.2d-3
##d+#	1.2d+3

#.#e#	1.2e3
#.#e-#	1.2e-3
#.#e+#	1.2e+3
#.#D#	1.2D3
#.#D-#	1.2D-3
#.#D+#	1.2D+3
#.#E#	1.2E3
#.#E-#	1.2E-3
#.#E+#	1.2E+3

注意：数式中では空白文字を使うことはできません。ただし括弧 () でくくった場合は、例外として空白文字も使えます。

有効な数式表現の例を示します。

```
print 2+3
print (2 + 3)
print ([EFL] + 2)
```

無効な数式表現の例を示します。

```
print 2 + 3
print [EFL] + 2
```

26.3 レンズデータベースアイテム (Lens Database Items)

マクロの式には、レンズデータベースのアイテムを含ませてもかまいません。データベースアイテムは、その時点で定義されている光学系から抽出されます。コマンドラインから入力可能なほとんどのすべての項目は、それに相当するデータベースアイテムを持っています (使用可能なレンズのデータベースアイテムの完全なリストが 27 章にあります)。データベースアイテムのなかには、それを特定するために面やズームポジション等を指定するための修飾子を持ちますが、修飾子の有無にかかわらずそれらを参照するにはカギ括弧 [と] でデータベースアイテム名をくくる必要があります。データベースアイテムの記述法 (書式) は、コマンドライン入力に各項目を入力する際に用いる記述法 (書式) と同じです。

一例を示します。

```
rdy s1 43.5
```

は第 1 面の曲率半径を指定するものです。したがって、この時点で OpTaliX は値 43.5 が第 1 面の曲率半径であると認識し、OpTaliX 内部のデータベースにそれを登録します。この状態で上記入力書式から数値 43.5 の部分だけを除いて全体をカギ括弧でくくり、コマンドラインから入力すれば

```
[rdy s1]
```

OpTaliX のマクロ機能がレンズのデータベースを参照し、該当するアイテムの値 43.5 を出力します。

このシンタックスは下記の例で与えられているように他のコマンドと組み合わせることもできます。

```
thi s2 [EPD]      ! 第 2 面の面間隔は、入射瞳径と同じ値に設定されます。
cuy s3 -[cuy s4]  ! 第 3 面の曲率は、4 面の曲率を負にしたものに設定されます。
```

最後の例 (`cuy s3 -[cuy s4]`) については注意事項があります。これが入力され、かつマクロがそれを実行した時点において、第3面の曲率 (`cuy s3`) は第4面の曲率 (`cuy s4`) に一致しましたが、このことは必ずしも永続的に両者が同じ値をとり続けると関連付けられた (`pickup`) のではありません。

なお、データベースアイテムは数値入力をすべきどの入力においても数式を構成するために数学演算子を組み合わせられます。

```
fno [EFL] / [EPD]      ! F ナンバーを設定
thi s3 2*sqrt(3)*[thi s1]
```

26.2章で説明したとおり、数式中では空白文字を使うことはできません。ただし、レンズデータベースアイテムの中や、括弧 `()` でくくった場合は例外として使えます。例えば；

```
正しい表現:    fno [EFL]/[EPD]
正しい表現:    fno ([EFL] / [EPD])
間違った表現:  fno [EFL] / [EPD]
```

26.4 プリント文 (Print Statement)

プリント (PRINT) 文はデータを出力装置 (テキスト出力ウィンド、またはファイルなど) に送出するために用います。出力装置の選択については 25章 (445ページ) を参照してください。また、桁位置をあわせた書式付のプリントについては、456ページの 26.5章を参照してください。“PRINT” の後には、出力リスト (式など) が続きます。

```
print 'The entrance pupil diameter is' [epd]
```

とすれば

```
The entrance pupil diameter is    12.00000
```

のように出力されます。

文字列はコーテーション記号 `'` でくくる必要があります。数値データはそれが数式表現であれ定数であれ、64 ビットの倍精度を表現できる“書式なし形式”で出力されます。ただし、`format` オプションを追加した場合には、桁位置をあわせた書式付の出力が可能です。このことの詳細は、456ページの 26.5章を参照してください。

出力リスト中の数式はプリント文自身が解きます。また、出力リストはカンマ記号 `,` で区切らなくてはなりません。ただし、文字列については不要です。例えば、

```
$pi = 3.14159
$diam = 10.0
print 'Area of a circle with 10mm diameter = ' pi*(diam/2)**2 'mm^2'
print 'Some expressions:' 2*[EFL] , atan([NA]), 4*3.14159
```

その結果は

```
Area of a circle with 10mm diameter =    78.53975000000000 mm^2
Some expressions: 100.00000000 , -0.156695310466 , 12.566360000
```

のとおり出力されます。マクロシーケンスにおいて出力装置を変更する例としては

```
out file c:\yen test.txt      ! 出力先としてファイルを指定
print 'System focal length' [EFL] ! 焦点距離 (EFL) を出力
                                ! test.txt ファイルにプリント
out t                        ! 出力先をスクリーン (ターミナル)
                                ! に戻す
```

複数の数式表現やデータベースアイテムを 1 行にプリントする場合には、適切な区切り文字でそれらを分離する必要があります。有効な区切り文字の例として、',' (カンマ) や '' (コーテーションで挟んだ任意の文字) などがあります。

例:

```
print 'Two expressions:' [efl], 2*[bfl]
print 'Two expressions:' [efl] 2*[bfl]
```

26.5 書式付のプリント (Formatted Output)

フォーマット (FORMAT) 文は、[プリント \(PRINT\) 文](#)と組み合わせて用いる際に、数値データや文字列がどのような書式でプリントされるかを明示的に示します。フォーマット文の文法は、プログラミング言語である FORTRAN における表現を概ね引き継いでいます。

FORTRAN 言語との主な相違点は、書式付の出力が引用符で括られた文字列によって定義され、それがプリント (PRINT) 文に付随するように記述されることです。

表 26.1: 書式の定義方法

'format format-items'	プリントする際の書式を定義します。全体を定義を引用符 (' または ") で括ることに注意してください。フォーマット文は通常、 プリント (PRINT) 文 に添えるようにして使います。その文法は概ね FORTRAN 言語の表現に沿っています。format-items の構成方法は、下記に示す例を参照してください。
-----------------------	--

format-items の記述方法:

format-items は、データの出力書式を示す “データ編集記述子” (B, O, Z, F, D, E, EN, ES, G, L, A) および 空白文字を出力することでプリント位置を制御する “制御編集記述子” (X) をカンマで区切って記述したリストです。各編集記述子の詳細は次のとおりです。

表 26.2: 書式の編集記述子

編集記述子	解 釈	適合する変数の型
Iw[.m]	フィールド幅 w で、m 桁を表示。 例 : I3	整数型
次ページに続く		

前ページから続く		
Fw.d	フィールド幅 w 。そのうち小数点以下の表示は d 桁。べき表示はしません。例：F8.5 を指定すると、12.345 は 12.34500 と表示されます。	実数型
Ew.d	フィールド幅 w 、うち小数点以下 d 桁をべき表示します。例：E12.5 を指定すると、12.345 は 0.12345E+02 と表示されます。	実数型
ENw.d	フィールド幅 w 。うち小数点以下 d 桁を工学表記で出力します。例：EN12.5 を指定すると、12.345 は 12.34500E+00 と表示されます。	実数型
Gw.d	数値をフィールド幅 w 、うち小数点以下 d 桁で表示します。必要に応じて、べき表示になります。例：G12.5 は 0.12345 を 0.12345 と表示します。一方、0.012345 は 0.12345E-01 と表示されます。	実数型 および整数型
A[w]	テキスト (文字列) をフィールド幅 w で表示します。例：A10 は、'This is another example' を "This is an" と表示します (" " は含みません)。テキストが w 桁よりも長い場合には、左詰となり余分は切り捨てられます。テキスト長が不定の場合は、編集記述子として "A" のように w を省略できます。この場合、テキスト長に一致する w が指定されたものとして扱われます。	文字型
Zw[.m]	フィールド幅 w に m 桁で 16 進数として表示します。例：Z4 は、10 進数の 43 は、2B と 16 進表記されます。	整数型
ow[.m]	フィールド幅 w に m 桁で 8 進数として表示します。	整数型
nX	現在の表示位置を n 桁右に移動させます。つまり、 n 個の空白文字を挿入します。	なし

例 1:

```
print 'format F7.3,F10.1' 12.3 14.5
```

実定数である 12.3 および 14.5 が下記のとおり、浮動小数 F7.3 および F10.1 で表示されます。

```
12.3000000014.5
```

ここで `12.30000000` は説明のため、空白文字を明示的に示したものです。

例 2:

```
print 'format F7.3,2X,A12' 12.3 'This is a long text'
prints
```

```
12.300 This is a lo
```

A12 は、出力する文字数を 12 文字に制限しています。そのため、テキストの後半が切り捨てられています。出力する文字列の長さが分からないときには、次の例のように一般表現として、A とだけ

記述します。 この場合には、文字列が切り捨てられることはありません。 ただし出力位置が不定となる点に注意してください。

例 3:

```
print 'format F7.3,2X,A,I4' 12.3 'This is a long text' 17

prints

12.300  This is a long text  17
```

26.6 EVA 文、つまりマクロ表現の評価文 (Evaluate Statement “EVA”)

マクロ表現の評価文 EVA は機能的にはプリント文 (前節参照) と等価です。 OpTaliX の EVA 文は CodeV の EVA コマンドとの互換性を有していますが、それに加えて、EVA コマンドは、文字列も受け付けます。例えば；

```
print 'The half focal length is' [EFL]/2
eva 'The half focal length is' [EFL]/2
```

これらはいずれも同様に機能します。また、EVA コマンドは、変数や関数の値を評価することもできます。

```
eva $x
eva @myfunc
```

26.7 マクロファイルのインクルード (File Inclusion)

マクロファイルには他のマクロファイルをインクルードできます。そのためのコマンドは

```
#include filename
```

です。こうすれば、“filename”の中身があたかもそこに直接記述されているかのように解釈されます。このコマンドはファイル中に記述する他、コマンドラインからも入力できます。インクルードされたファイルはさらに#include コマンドを使って他のファイルをインクルードできます。

一例として、マクロファイル“macro1.mac”が“macro2.mac”を呼び出す (インクルードする) 例を示します。

```
! macro1.mac
#include macro2.mac
print 'Result' pi
```

そして

```
! macro2.mac
$pi = 3.14159
```

この例では、上記すべてのマクロ文が一つのファイルから入力されたように実行されます。インクルードしたファイルがさらにインクルードをする、いわゆるネストは 10 段階まで許されます。

```
! macro1.mac
$pi = 3.14159
print 'Result' pi
```


26.8 定数 (Constants)

\$文字で始まる変数に定値を代入してください。OpTaliX の以前のバージョンでは、`#define` 文を使って定数を定義していましたが、現在では、`#define` 文は廃止されています。

26.9 変数 (Variables)

変数は、何らかの値を (一時的に) 保存するために用いられます。変数は、データとして数値をもつことも文字列を持つこともできます。変数の型は、それが持つデータの型として定義されます。整数型と実数型の区別もなく、いずれも倍精度実数として保持されます。文字列は 256 文字まで許されます。

スカラー変数だけが許されます。つまり、変数は単独の値だけを保持でき、アレイ (またはディメンション、ベクトル型等) としては使えないということです。LVR コマンド (List VaRiables コマンド) は、その時点で定義されている変数の一覧を示します。明示的に定義された変数の初期値は数値変数についてはゼロ、文字型変数については空白文字です。

変数名は、常にドルマーク (\$) で始まり、少なくとも英数字または下線 () が続かなくてはなりません。変数名に空白文字を用いることはできません。また、変数名は大文字と小文字の区別をしません。したがって、\$xy と \$XY は同じ変数として扱われます。下記は変数名として適切な例と、不適切な例を示すものです。

適切	不適切
\$x	\$ (少なくとも 1 文字以上の英数字が必要です。)
\$xy	\$x y (空白文字は使えません。)
\$a_long_name	x (ドルマーク\$が必要です)
\$1a	\$a-b (演算子 (マイナス記号) は使えません)

変数は常に“グローバル変数”として宣言されます。したがって一度定義した変数であれば OpTaliX の実行中、いつでも任意のモジュール (マクロ、コマンドライン、ユーザ定義グラフィクスなど) から、それを参照できます。

変数は、面番号、視野番号、波長番号、ズームポジション番号の識別子と組み合わせて用いる事もできます。例えば、変数を \$x = 2 の様に定義し、s\$x の様に引用すれば、それは面番号 s2 と設定したのと同じ意味になります。この用法の詳細については 19ページの 6.2.3章 を参照してください。

26.10 代入文 (Assignment Statement)

代入文は、変数に値を割り当てるために用いられます。代入演算子 (=) は、その前後に空白文字を必要とします。代入文の書式は、次のとおりです。

\$user_var = 数式

ここで

`user_var` = この部分には変数名を記述します。
 数式 = この部分には変数に割り当てるべき数式を記述します。

例：

`$x = 2` ユーザ定義変数 `$x` に 2.0 を代入します。
`$y = 3*$x` ユーザ定義の変数 `$y` に `3*$x` を代入します。ここで、`$x` はそれ以前に定義された変数でなくてはなりません。
`$z = 2*[ef1]` レンズデータベースを参照した代入操作。
`$glass = BK7` 文字列 'BK7' を変数 `$glass` に代入

26.11 インプット文 (INPUT Statement)

インプット (INPUT) 文は、マクロの実行を一時停止してキーボードからの数値あるいは文字データの入力を促すダイアログボックスを起動します。ひとつのインプット文で入力できるパラメータは最大 5 個です。

<pre>INPUT 'text' \$var1 [\$var2 \$var3 \$var4 \$var5]</pre>	マクロ実行中にデータを入力するために用います。インプット (INPUT) 文が実行されると、マクロの進行は一時的に停止し、マクロ変数に設定する値を入力するためのダイアログボックスが起動されます。値が設定されるとマクロの実行が再開されます。インプット文中、引用符 ("" または ') で括った文字列 'text' は入力すべき変数の説明文としてダイアログに表示されます。'text' は省略してもかまいません。少なくともひとつ以上の変数 (\$var1) が定義され、実際に入力されなければなりません。ひとつも定義されない場合、マクロはその時点で終了します。
--	--

例 1:

```
input 'Enter x and Y coordinates:' $x $y
print $x $y
```

このマクロを事項すると、変数 `$x`, `$y` を表示するためのダイアログボックスを起動できます (図 26.2)。パラメータの値を設定の後、OK のボタンをクリックするとマクロの実行を再開できます。また、CANCEL をクリックすると終了します。

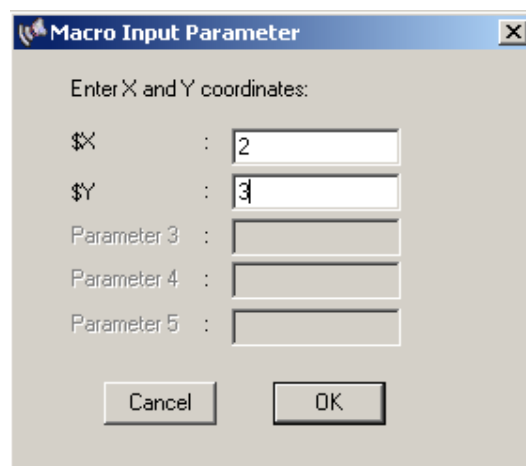


図 26.2: データ入力用のダイアログボックス

例 2:

表示テキストを省略した INPUT 文を実行することもできます。

```
input $x $y  
print $x $y
```

26.12 オープン文 (OPEN Statement)

オープン (OPEN) 文は、マクロ内部の入出力ユニットと、外部ファイルを関連付けるために用います。オープン文を実行することで、ファイルへの入出力が可能となります。オープンしたファイルは常にアスキー形式として扱われます。

<pre>OPEN (unit = external-file-unit, file = 'filename')</pre>	‘filename’ をファイル名とする外部ファイルを開き、マクロ内部の入出力ユニット external-file-unit と対応づけます。 external-file-unit は外部ファイルに対応させるべき内部入出力ユニットの番号です。任意の正の整数で指定します。 filename 外部ファイル名です。アポストロフィ (‘’) で括られた文字列で指定します。ファイル名にはパスを含めて記述できます。 例： <pre>open(unit=3, file='c:\temp\test.txt') open (unit = 1 file = c:\temp\test.txt)</pre> OPEN 文と対で使われる CLOSE 文 および SELECT 文 についても参照してください。
--	--

数値データをファイルに書き出すマクロの例：

```
open (unit=1, file='c:\temp\test.txt')
print 'format F10.4,2X,F7.4' EFL BFL
close (1)
```

26.13 クローズ文 (CLOSE Statement)

クローズ (CLOSE) 文は、マクロ内部の入出力ユニットと、外部ファイルとの関連付けを解消します。クローズ文を実行するには、あらかじめ解消の対象となる関連付けが オープン (OPEN) 文によって定義されていなくてはなりません。

<pre>CLOSE (external-file-unit)</pre>	マクロ内部の入出力ユニットと、外部ファイルとの関連付けを解消します。 例： <pre>close (3)</pre> クローズ (CLOSE) 文と対で使われる OPEN 文 および SELECT 文 についても参照してください。
---------------------------------------	--

26.14 セレクト文 (SELECT Statement)

マクロからの入出力処理の対象となるユニット番号を選択します。ユニット番号は、あらかじめ OPEN 文によって外部ファイルと対応付けられていなければなりません。この文は、複数のファイルに対して異なった操作 (読み込みおよび書き出し) をする場合に特に有用です。

SELECT (external-file-unit)	入出力処理の対象となるユニット番号を選択します。ユニット番号は、あらかじめ OPEN 文によって外部ファイルと対応付けられていなければなりません。 例： select (3)
---	--

複数のファイルを用いた入出力の例

```
open (unit=1, file='input.txt')
open (unit=2, file='output.txt')
select (1)
    print 'Writing text to unit 1'
select (2)
    read $x $y
close (2)
close (1)
```

26.15 ユーザ定義関数 (User-defined Functions)

任意の数式に任意の名称を定義することでユーザ定義関数として扱えます。ユーザ定義関数名は、アットマーク (@) とそれに続く 60 文字以内の英数字または下線 (_) によって構成します。関数の定義は専用の代入演算子 (==) を用いることでなされます。2 つの等号 (=) 中に空白を含んではいけません (連続していなければなりません)。ユーザ定義関数の定義式には、一般的な [数学的表記](#) と演算子 (+ - / * ** ^)、レンズデータベースアイテム、あるいは [組み込み関数](#) を使えます。定義式 (数学的表現) の長さは 128 文字まで許されています。

例：

```
@my_fkn == 2*[ef1]    ! レンズデータベースアイテムを用いてユーザ定義関数 “my_fkn”
                     を定義。
@123 == 12+sin(1)    ! 関数名には数字を含めることもできます。
```

誤った関数定義の例：

```
@my_fkn = 2*[ef1]    ! 関数の定義には 2 つの連続する等号 == が必要です。
abc == 12+sin(1)     ! 関数名はアットマーク (@) で始まらなければなりません。
```

定義された関数の一覧は、LFK コマンドで得られます。

LFK	定義済みの関数名とそれに対応する数式定義のリストを得ます。
-----	-------------------------------

注意：

OpTaliX の旧バージョンで用いられていた `#define` 形式の関数定義は廃止されており、現在のバージョンでは使えません。

26.16 制御文 (Control Statements)

制御文は、マクロを構成する文の実行順序を変更するために使います。すべての制御文はネスト (入れ子) が可能です。

26.16.1 繰り返し (DO 構文) (DO construct)

DO 構文は、ひとまとまりのマクロ文を所定の回数だけ繰り返し実行する構造 (ループ構造) を定義するものです。DO 構文を開始するには DO 文を用います。また DO 構文の末尾、つまり繰り返しの対象となるブロックの末尾は ENDDO によって示します。繰り返しの構造はネスト (繰り返し構造の内部に独立した別の繰り返し構造を持つ多重構造) が可能ですが、その深さは最大 20 です。ENDDO 文は最も内側のループに対して作用します。

文法:

```
do $user_var expr1, expr2 [,expr3]
  { マクロ文 }
enddo
```

ここで

<code>\$user_var</code>	繰り返しの回数をカウントする変数名 (ループ変数)。
<code>expr1</code>	ループ変数 <code>\$user_var</code> の初期値。
<code>expr2</code>	ループ変数の最終値。
<code>expr3</code>	ループ変数の増分。正の値、負の値のいずれも指定できますがゼロは無効です。増分の指定は省略可能です。省略した場合には +1.0 が設定されます。
<code>{ マクロ文 }</code>	DO 文に始まり ENDDO で終わる構造に含まれ、繰り返しの対象となる 1 つ以上のマクロ文を設定します。

注意： `expr1`, `expr2` および `expr3` の定義には、定数や変数はもちろん、変数、関数あるいはレンズデータベースアイテムを含む任意の数式表現を用いることができます。

例 1：

数値計算を実行する単純な例です。

```
do $x = 2,10,2
  $y = 2*$x
  print $x $y
enddo
```

例 2：

像面の面間隔 (デフォーカス) を $\pm 0.1\text{mm}$ の範囲において 0.02mm ピッチで変化させる例です。各デフォーカス量に対する結合効率 (CEF) がプリントされます。

```
    print $x [cef]
enddo
```

例 3 :

マクロ中に定義された繰り返し構造に対して、その繰り返しパラメータをコマンドラインから与える例です。例えば、`'RUN my_macro.mac 2 10 2'` の要領でマクロを起動すれば、コマンドラインに設定した値がそれぞれ、下記 DO ループのパラメータ %1、%2 および %3 に引き渡されます。

```
do $x = %1, %2, %3
    print $x
enddo
```

26.16.2 繰り返し (WHILE 構文) (WHILE construct)

WHILE 構文は、所定の条件が満たされている間、ひとまとまりのマクロ文を繰り返し実行する構造 (ループ構造) を定義するものです。この構造は、ネスト (繰り返し構造の内部に独立した別の繰り返し構造を持つ多重構造) が可能ですが、その深さは最大 20 です。WHILE 構文は WHILE 文によって始めます。その終端は ENDWHILE 文または ENDDO 文で定義しますが、これらはネスト構造のうち、最も内側のループに対して作用します。

文法 :

```
while (while_expr)
    {statements}
endwhile
```

WHILE 構文のループ制御は、論理式 `while_expr` が評価されることによって行われます。評価の結果が "偽" のとき、ループは終了します。この論理式 `while_expr` には変数、関数およびレンズデータベースのアイテムを伴う数式表現も使用できます。論理式の定義方法については、[イフ \(IF\) 文](#) の説明を参照してください。

例 1:

```
$x = 0
while ($x < 10)
    $x = $x+1
    print $x
endwhile
```

例 2:

```
$x = 0
while ([thi s1] < 5)
    $x = $x+1
    thi s2 $x
    print [mtfa f1]
endwhile
```

26.16.3 条件分岐 (IF 構文) (IF construct)

IF 構文を使えば、論理式の値によって一連のマクロブロックを実行するかどうかを制御できます。その文法は次のとおりです。

```
IF (expr) THEN
    {statements}
ELSEIF (expr) THEN
    {statements}
ELSE
    {statements}
ENDIF
```

ここで *expr* は論理式です。論理式は順次評価され最初に真と評価されたとき、その式に随伴する *statements* が実行されます。ELSE が記述されている場合は、いずれの論理式も真と評価されない場合のみ、それに随伴する *statements* が実行されます。論理式の評価は ELSE または ENDIF が現れたとき終了します。

論理式が真のとき、その論理式に続くブロックに記述された一連のマクロが直ちに実行されます。残りの IF 構文中の ELSEIF 文は評価されず、したがってそれに関わる *Statements* が実行されることはありません。どの論理式も真と評価されないときには、ELSE 文に続くマクロブロックが実行されます。ELSE 文およびそれに続く *statements* を記述する場合には、IF 構文の最後のブロックとして配置しなければなりません。

IF/ELSEIF は括弧 () または大括弧 { } でくくらなければなりません。論理式には `2*sqrt($x)` のように数式を含ませられまし、`2*[ef1]` の要領でデータベースアイテムを引用することもできます。

IF 構文 (IF-ELSEIF-ELSE-ENDIF) は ネスト (IF 構分の内部に独立した別の IF 構文を持つ多重構造) が可能ですが、その深さは最大 20 です。

論理式の記述上の注意:

- 論理式は 括弧 () または 大括弧 { } で括らなければなりません。
- 論理式は 論理演算子 (=, ==, !=, >, >=, <, <=) を含まなければなりません。
- 論理式の中に 空白文字を記述できます。ただし数式中には記述できません。例えば
IF (2*2 > 3) は正しい構文ですが IF(2 * 2 > 3) は数式中に空白文字が含まれており正しくありません。

IF 構文における論理演算子:

IF 構文には 次の論理演算子が使えます。


```

=    と等しい
==   と等しい
/=   と一致しない
<    より小さい(未満)
>    より大きい(を越えて)
<=   より小さいか等しい(以下)
>=   より小さいか等しい(以上)

```

例 1:

```

$x = 0
if($x > 3) then
    print '$x is greater than 3'          ! $x が 3 より大きい場合
elseif ($x > 0 ) then
    print '$x is greater than 0 but less than 3' ! $x は 0 より大きく 3 以下の場
合
elseif ($x < 0) then
    print '$x is less than zero'          ! $x が 0 より小さい場合
else
    print '$x is zero'                    ! $x はゼロ
endif

```

例 2:

```

$x = 0
if( [bfl] <= sqrt(10)) then
    $r = 0.5*[rdy s1]
    rdy s3 $r
    print 'Radius at s3 has been adjusted to ' $r
else
    print 'BFL is greater than 10'
endif

```

例 3:

```

if ([gla s2]='n-bk7') then
    print 'true'
else
    print 'false'
endif

```

26.17 Return 文 (Return)

`return` 文を使えば、そのマクロを呼び出した親マクロにひとつ以上の変数値を返すことができます。`return` 文に変数の指定がないときには、何も起きません。`return` 文に数式表現を使うことは

できません。

例 1:

```
$x = sqrt(2)
return $x      ! 親マクロに変数 $x の値を返します。
```

例 2:

```
$x = sqrt(2)
$y = sin(1)
return $x $y   ! 親マクロに変数 $x および $y の値を返します。
```

例 3:

```
return          ! 変数の指定がないので、何も起きません
return 3*($x+2) ! 誤りです。return 文には数式表現を書けません。
```

26.18 コメント (Comments)

文字 `!` は、それに続く内容がコメントであることを示します。ただし、文字列 (文字定数) に現れる場合を除きます。

```
$a = 3          ! この部分はコメントです。
print 'variable $a ' $a ! 変数$a の値がプリントされるというコメント
```

26.19 行の論理的な分割、つまりマルチステートメント (Logical Line Separation)

記号 `;` は、物理的な 1 行を、論理的に複数の行に分割します。例えば、

```
THI s1..3 12 ; LIS; fan
```

はあたかも次に続く行が個別に入力されたかのように処理されます。

```
THI s1..3 12
LIS
fan
```

26.20 論理的な行の継続、つまり継続行 (Logical Line Continuation)

文字 `&` が後続のブランクなく行の最後に記述されるならば、それは入力中のコマンド列が論理的には次の物理行に継続することを示します¹。マクロファイル中で継続行を意図して文字 `&` を使う場合、それに続く同じ物理行中にコメントを含むことはできません。また、物理行においてブランク

¹& が行の継続という意味を持つのは、マクロファイル中だけです。コマンドライン中ではエラーが発生します。

以外の最初の文字が“&”の場合、継続行はその位置から直ちに始まります (つまり次の物理行に移行しません)。そうでなければ、次の行に移行し、1 文字目から継続が始まります。

例:

```
The first line will be &  
continued by a second line
```

は下記のとおり、1 行として解釈されます。

```
The first line will be continued by a second line
```

このページは白紙です。

第27章 レンズデータベース

– Lens Database Reference –

この章には、ユーザが参照可能なレンズデータベースのアイテム (以降は単にデータベースアイテムといいます) をまとめました。ほとんど全てのコマンドは、それに相当する結果を返すデータベースアイテムを持っています。データベースアイテムを参照するための書式はコマンドライン入力で使用される書式と同じです。特に説明をしない限り参照の結果として戻ってくる値は数値です。

データベースアイテムはコマンドラインからの入力やマクロファイルだけでなく、最適化のメリット関数の定義におけるコンストレインツや目標値を設定する際にも 共通の名称と書式によって参照できます。

データベースアイテムは常にカギ括弧 [と] でくくる必要があります。下記に有効な (正しい) 指定の例と無効な (正しくない) 例を示します。

[thi s3]	有効
thi s3	無効、カギ括弧がありません。
[EFL]	有効
[EFL]	有効
[E F L]	無効、データベースアイテムの名称にブランクを含んではいけません。

データベースアイテムを数式中で参照することもできます。例えば、

```
thi s3 sqrt(2*[SYL]+3.14159)
```

データベースアイテムは **print** コマンドと併用することも可能です。例えば、

```
print 'Radius = ' [rdy s3]
```

によって、第3面の曲率半径が出力されます。

データベースアイテムは変数と組み合わせて参照することもできます。この変数は、画角や波長、ズームポジションに関連づけて定義します。例えば、

```
thi s$var 10.5
```

のようにします。ここで **\$var** は整数を格納する変数です。仮に **\$var = 3** であれば、識別子 “s” (実際には引用符はありません) と変数 **\$var** の値が連結し “s3” と解釈されます。

構成データ:	
REF [zk]	主波長番号
WL wk [zk]	波長番号 wk、ズームポジション zk の波長
XAN fi [zk]	画角番号 fi の X 方向の主光線入射角 (度)。 注記) 視野の定義が XAN によってされていない場合には、近軸的に換算された値が返されます。たとえば、XIM によって X 方向の視野が規定されている場合には $XAN = \tan^{-1}(XIM/EFL)$ が返されます。
YAN fi [zk]	画角番号 fi の Y 方向の主光線入射角 (度)。 XAN の欄の注記も参照してください。
XOB fi [zk]	画角番号 fi の X 方向の物体高。 XAN の欄の注記も参照してください。
YOB fi [zk]	画角番号 fi の Y 方向の物体高。 XAN の欄の注記も参照してください。
XIM fi [zk]	画角番号 fi の X 方向の近軸像高 (歪曲収差は考慮されません)。 XAN の欄の注記も参照してください。
YIM fi [zk]	画角番号 fi の Y 方向の近軸像高 (歪曲収差は考慮されません)。 XAN の欄の注記も参照してください。
FNO [zk]	近軸 F ナンバ
NA [zk]	像側開口数
NAO [zk]	物体側開口数
EPD [zk]	入射瞳の直径
APD [zk]	射出瞳の直径 ¹
PUI	瞳に渡る強度のアポダイゼーション
PUX	アポダイゼーションに関連して、その強度が PUI に一致する瞳面上の X 座標 (EPD に対する相対座標で指定)
PUY	アポダイゼーションに関連して、その強度が PUI に一致する瞳面上の Y 座標 (EPD に対する相対座標で指定)
近軸データ:	
EFL [zk]	等価焦点距離 Y/Z 断面内で規定。デフォルト
EFLX [zk]	等価焦点距離 X/Z 断面内で規定
PWR [zk]	光学系のパワー つまり屈折度であり、EFL の逆数、1/EFL
BFL [wk] [zk]	バックフォーカス。 wk を指定しないときは主波長における値が参照されます。
OAL [si..j] [zk]	si 面から sj 面までの面頂点間の距離 (Z 軸に沿った値)
SYL [si..j] [zk]	si 面から sj 面までの面頂点間の距離 (Z 軸に沿った値) 面修飾子の指定をしない場合、第 1 面から像面までの距離を返します。
次ページに続く	

¹APD はドイツ語で 射出瞳径 (Exit pupil diameter) のことを 'Austrittspupillendurchmesser' と表記することに由来しています。

前ページから続く	
SH1 [zk] SH2 [zk] OAL [zk] OID [zk] MAG [zk] RED [zk] EPD [zk] SAP [zk] SAPI [zk] SEP [zk] PRD [zk] PRDI [zk] UMY sk [zk] UA sk [zk] HMY sk [zk] HA sk [zk] UCY sk [zk] UB sk [zk] HCY sk [zk] HB sk [zk]	前側主点の位置。第 1 面の頂点を基準に計ります。 後ろ側主点の位置。最終面の頂点から計ります。 共役長 (物面から像面までの距離)。ただし物体距離無限のときは第 1 面から像面までの距離。 物体面から像面までの距離 横倍率 縮率 (= -MAG) 入射瞳孔 レンズ系の最終面から射出瞳までの距離 SAP の逆数、1/SAP 入射瞳位置。第 1 面の頂点を基準に計ります。 瞳間の距離 (入射瞳から射出瞳までの距離) PRD の逆数、1/PRD 近軸マージナル光線の傾角 UMY と同じ 近軸マージナル光線の高さ HMY と同じ 近軸主光線の傾角 UCY と同じ 近軸主光線の高さ HCY と同じ
面形状および位置:	
so ss si	物体面の面番号、整数値 絞り面の面番号、整数値 像面の面番号、整数値
THI sk [zk] THR sk [zk] IMD [zk] IMC [zk]	第 sk 面、ズームポジション zk における面間隔 第 sk での参照面間隔 ズームポジション zk における像距離。最終光学面と像面の間の軸上間隔に相当。 像側クリアランス。最終光学面と像面の間の軸上距離 (IMD) と最終光学面の光線有効径位置と像面の間の距離のうち、小さいほうの値
IND sk wk ABBE sk CUX sk [zk] CUY sk [zk] RDX sk [zk] RDY sk [zk] ADE sk [zk]	波長番号 wk の波長における第 sk 面の屈折率 第 sk 面のアッベ数 X/Z 平面内の曲率 Y/Z 平面内の曲率 X/Z 平面内の曲率半径 Y/Z 平面内の曲率半径 X 軸まわりのティルト角度 (度)
次ページに続く	

前ページから続く	
BDE sk [zk]	Y 軸まわりのティルト角度 (度)
CDE sk [zk]	Z 軸まわりのティルト角度 (度)
XDE sk [zk]	X 方向の平行偏芯
YDE sk [zk]	Y 方向の平行偏芯
ZDE sk [zk]	Z 方向の平行偏芯
AADE sk [zk]	アレイのセルの ローカルな X 軸に対するティルト角 (単位は度)
ABDE sk [zk]	アレイのセルの ローカルな Y 軸に対するティルト角 (単位は度)
ACDE sk [zk]	アレイのセルの ローカルな Z 軸に対するティルト角 (単位は度)
XSG sk [zk]	sk 面の頂点の X 座標。参照座標系は常にグローバル座標。
YSG sk [zk]	sk 面の頂点の Y 座標。参照座標系は常にグローバル座標。
ZSG sk [zk]	sk 面の頂点の Z 座標。参照座標系は常にグローバル座標。
XSC sk [zk]	sk 面の頂点の X 座標。si 面にグローバル座標系が設定されている (GLO si) 場合には、sk 面の X 座標は面 si の頂点座標を原点として参照します。XSG コマンドの項も参考にしてください。
YSC sk [zk]	sk 面の頂点の X 座標。si 面にグローバル座標系が設定されている (GLO si) 場合には、sk 面の X 座標は面 si の頂点座標を原点として参照します。XSG コマンドの項も参考にしてください。
ZSC sk [zk]	sk 面の頂点の X 座標。si 面にグローバル座標系が設定されている (GLO si) 場合には、sk 面の X 座標は面 si の頂点座標を原点として参照します。XSG コマンドの項も参考にしてください。
CXG sk [zk]	グローバル座標に対する面の法線の方法余弦 (X 成分)
CYG sk [zk]	グローバル座標に対する面の法線の方法余弦 (Y 成分)
CZG sk [zk]	グローバル座標に対する面の法線の方法余弦 (Z 成分)
A sk [zk]	4 次の非球面係数
B sk [zk]	6 次の非球面係数
C sk [zk]	8 次の非球面係数
D sk [zk]	10 次の非球面係数
E sk [zk]	12 次の非球面係数
F sk [zk]	14 次の非球面係数
G sk [zk]	16 次の非球面係数
H sk [zk]	18 次の非球面係数
次ページに続く	

前ページから続く	
K sk [zk]	コーニック定数 (円錐係数)
DNDT sk wk [TEMP PRE]	sk 面における波長 wk に対する 絶対屈折率の温度変化係数 (dn/dT)。絶対屈折率は真空に対する光学材料の屈折率であって、OpTaliX では光学系の温度を定義した際のデフォルトの設定です。オプションのパラメータ TEMP は dndT に対応付けられた 温度 (°C) であり、PRE は気圧 (mmHg) です。明示的に設定されない場合は、TEMP として 20°C、気圧は 760mmHg が仮定されます。
ADNDT sk wk [TEMP PRE]	DNDT コマンドと機能的に同一です。絶対屈折率 (Absolute) の dndT という意味です。
RDNDT sk wk [TEMP PRE]	sk 面における波長 wk に対する 比屈折率の dndT です。比屈折率は大気に対する光学材料の屈折率です。絶対屈折率との関係については、 13.2章 (220ページ) を参照してください。
SAG sk x_height y_height	第 sk 面のサグ量。x_height and y_height は対象となる面の接平面上のローカル座標
DEF	デフォーカス量
アレイ:	
ARX sk	アレイ面の X 方向の間隔
ARY sk	アレイ面の Y 方向の間隔
ARXO sk	アレイ全体の X 方向オフセット量
ARYO sk	アレイ全体の Y 方向オフセット量
AMX sk	アレイ全体の存在範囲 (単位は mm, ± X 方向)
AMY sk	アレイ全体の存在範囲 (単位は mm, ± X 方向)
AADE sk	各アレイセルの α - ティルト角 (°)
ABDE sk	各アレイセルの β - ティルト角 (°)
ACDE sk	各アレイセルの γ - ティルト角 (°)
グレーティング / ホログラム:	
GRO sk	回折次数
GRX sk	1mm あたりの溝本数 (X 方向)
GRY sk	1mm あたりの溝本数 (Y 方向)
HWL sk	ホログラム設計波長 (単位は μm)
材質:	
GLA sk [zk]	ガラス名を文字列で返します。
GL1 sk [zk]	ガラス名を文字列で返します。GLA コマンドと同じです。
GL2 sk [zk]	面の “右” 側のガラス名を文字列で返します。
EXC sk [zk]	線形膨張係数。実際の値を 10^6 倍して指定します。
DNO sk [zk]	屈折率に関するオフセット量 (オリジナルの屈折率からの変化分)
次ページに続く	

前ページから続く	
DVO sk [zk]	アッベ数に関するオフセット量 (オリジナルのアッベ数からの変化分)
GADE sk [zk]	GRIN レンズにおける、屈折率分布の回転量 (X 軸まわりの成分)
GBDE sk [zk]	GRIN レンズにおける、屈折率分布の回転量 (Y 軸まわりの成分)
GCDE sk [zk]	GRIN レンズにおける、屈折率分布の回転量 (Z 軸まわりの成分)
GXDE sk [zk]	GRIN レンズにおいて、屈折率分布の X 方向移動量
GYDE sk [zk]	GRIN レンズにおいて、屈折率分布の Y 方向移動量
アパーチャ:	
CIR sk pk [zk]	第 sk 面、瞳番号 pk、ズームポジション zk における円形開口の半径
REX sk pk [zk]	矩形開口の X 方向半値
REY sk pk [zk]	矩形開口の Y 方向半値
ELX sk pk [zk]	楕円開口の X 方向半値
ELY sk pk [zk]	楕円開口の Y 方向半値
ADX sk pk [zk]	開口の X 方向の偏芯量、pk は瞳番号
ADY sk pk [zk]	開口の Y 方向の偏芯量、pk は瞳番号
ARO sk pk [zk]	開口の回転 (単位は度)
SD sk [fi..j] [zi..j]	第 k 面の光線有効径 (半径) です。指定の視野範囲、ズームポジション範囲に渡って求められます。指定がない場合には光学データとして設定されているすべての視野点、すべてのズームポジションが考慮されます。
WTA [zk]	開口に対する重み。(最適化においてのみ、使えます)
環境データ:	
TEM sk [zk]	温度 (°C)
PRE sk [zk]	圧力 (mmHg)
光線データ:	
AOI sk fi zi wi [zk] rel_apeX rel_apeY	面への光線入射角。半径 1.0 に正規化された入射瞳面上の相対座標 rel_apeX、rel_apeY を通過する光線が第 si 面に到達したとき、光線入射点における法線となす角。fi は視野番号、zi はズームポジション番号、wi は波長番号。これらは必ず、すべて指定する必要があります。結果は度 (degree) で出力されます。例: aoi s3 f5 w1 0 1
次ページに続く	

前ページから続く	
AOR sk fi zi wi [zk] rel_apeX rel_apeY	面からの屈折角、または反射角。半径 1.0 に正規化された入射瞳面上の相対座標 rel_apeX 、 rel_apeY を通過する光線が第 si 面で屈折または反射した際に、光線出射点における法線となす角。 fi は視野番号、 zi はズームポジション番号、 wi は波長番号。これらは必ず、すべて指定する必要があります。結果は度 (degree) で出力されます。例: aor s3 f5 w1 0 1
X sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における X 座標。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
Y sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における Y 座標。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
Z sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における Z 座標。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
XGR wi..j fk [zk]	波長範囲 wi..j 、画角 fk に対する像面上のスポット像の重心座標 (X 成分)
YGR wi..j fk [zk]	波長範囲 wi..j 、画角 fk に対する像面上のスポット像の重心座標 (Y 成分)
CX sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の面 sk における方向余弦 (X 成分)。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
CY sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の面 sk における方向余弦 (Y 成分)。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
CZ sk wk fk rx ry [zk] [gj]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の面 sk における方向余弦 (Z 成分)。 gj を指定した場合は、第 j 面の座標系で出力
CXG sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における X 方向の方向余弦。
CYG sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における Y 方向の方向余弦。
CZG sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における Z 方向の方向余弦。
CXN sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk 、画角 fk 、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における通過点の法線の方向余弦 (X 成分)
次ページに続く	

前ページから続く	
CYN sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk、画角 fk、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における通過点の法線の方向余弦 (Y 成分)
CZN sk wk fk rx ry [zk]	波長 wk、画角 fk、瞳面上の x/y 方向の相対座標が rx/ry であるような単光線の、面 sk における通過点の法線の方向余弦 (Z 成分)
公差の敏感度:	
TSF [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	ニュートンフリッジに関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLF 2.0 が使われます。このことに関する関連情報については、DLF コマンドに関する説明や、408 ページに記載の面の曲率半径に関する公差に関する説明を参照してください。
TSI [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	面のイレギュラリティ(いわゆるアス成分)に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は IRR 0.4 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの IRR コマンドに関する説明を参照してください。
TST [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	面間隔に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLT 0.02 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLT コマンドに関する説明を参照してください。
TSN [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLN 0.001 が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLN コマンドに関する説明を参照してください。
TSV [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率分散 (アップベ数) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLV 0.008 (0.8%) が使われます。このことに関する関連情報については、403 ページの DLV コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TSX [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLX 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLX コマンドに関する説明を参照してください。
TSY [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLY 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
TSZ [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 方向の平行偏芯に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLZ 0.02 (mm) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLY コマンドに関する説明を参照してください。
TSA [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	X 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLA 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLA コマンドに関する説明を参照してください。
TSB [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Y 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLB 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLB コマンドに関する説明を参照してください。
TSG [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	Z 軸回りの回転 (ティルト) に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は DLG 5 (分角) が使われます。このことに関する関連情報については、403ページの DLB コマンドに関する説明を参照してください。
次ページに続く	

前ページから続く	
TSH [fk fi..j wk wi..j] sk si..j	屈折率の一樣性に関する敏感度です。 対象となる面 (sk 面) に対して、あらかじめ公差エディタで敏感度計算の前提となる変分量を設定しておいてください。設定のない場合は HOM 50($50 \cdot 10^{-6}$) が使われます。このことに関する関連情報については、 403 ページの HOM コマンドに関する説明を参照してください。
幾何光学的解析:	
SPD fk wk [zk] SPX fk wk [zk] SPY fk wk [zk] SPDPV fk wk [zk] SPXPV fk wk [zk] SPYPV fk wk [zk] LAC fk [wi..j] [zk] LAX fk wk [zk] ape_relX ape_relY LAY fk wk [zk] ape_relX ape_relY SSR [wi..j] [zi..j] SPA [zk] COMA [zk] ASTI [zk] PETZ [zk] PTZ [zk] DIST [zk] DST [zk] LCA [zk] TCA [zk] AX [zk] DISX fk [zk] DISY fk [zk] FDISX fk [zk] FDISY fk [zk]	スポットダイアグラムの直径 (RMS 値) スポットダイアグラムの直径 (X 成分のみを考慮、RMS 値) スポットダイアグラムの直径 (Y 成分のみを考慮、RMS 値) スポットダイアグラムの直径 (PV 値=peak-to-valley 値) スポットダイアグラムの直径 (X 成分のみを考慮、PV 値=peak-to-valley 値) スポットダイアグラムの直径 (Y 成分のみを考慮、PV 値=peak-to-valley 値) 横の色収差 縦収差 (X 断面) X 縦収差 (Y 断面) Y 波長重みをつけて求めた 2 次色収差の RMS 値 3 次の球面収差 3 次のコマ 3 次の非点収差 3 次のペッツバール和 (像面の曲率) PETZ と同義。Code V 互換名 3 次の歪曲収差、ディストーション DIST と同義。Code V 互換名 3 次の軸上色収差 3 次の倍率色収差 TCA と同義。Code V 互換名 X 方向のディストーション Y 方向のディストーション X 方向の $F\theta$ ディストーション Y 方向の $F\theta$ ディストーション
次ページに続く	

前ページから続く	
VIG [fk] [zk]	軸上光束を 1 とする、ビネッティング・ファクタ。この値が 0 のとき 100% ビネッティング (ケラレ最大) の状態であり、1 のときビネッティングがまったく生じていない状態であることを示します。
ECG fk [wi..j] diam_x diam_y	幾何光学的なエンサークルド/エンスクエアドエネルギーです。 diam_x だけを設定した場合は、それを直径とする円が、 diam_y も設定した場合には、矩形形状が、エネルギー評価のための微小形状として設定されます。
GMTFT [fk zk]	視野点 k、ズームポジション k に対するタンジェンシャル方向の幾何的 MTF。
GMTFS [fk zk]	視野点 k、ズームポジション k に対するサジタル方向の幾何的 MTF。
GMTFA [fk zk]	視野点 k、ズームポジション k に対する幾何的 MTF のタンジェンシャル・サジタル平均値。すなわち $GMTFA = 0.5(GMTFT + GMTFS)$
ASTT fk wk rx ry [zk]	非点収差のタンジェンシャル成分。視野 fk において、瞳半径を 1 に正規化した瞳面上の相対座標 $(x,y) = (rx,ry)$ を通過する波長 wk の単光線に沿って像面上で計算されます。
ASTS fk wk rx ry [zk]	非点収差のサジタル成分。視野 fk において瞳半径を 1 に正規化した瞳面上の相対座標 $(x,y) = (rx,ry)$ を通過する波長 wk の単光線に沿って像面上で計算されます。
ASTD fk wk rx ry [zk]	非点隔差。視野 fk において、瞳半径を 1 に正規化した瞳面上の相対座標 $(x,y) = (rx,ry)$ を通過する波長 wk の単光線に沿って像面上で計算されます。
波動光学的解析:	
CEF [fk wk zk]	ファイバの結合効率 (リニアな効率値を出力)
CEFDB [fk wk zk]	ファイバの結合効率 (デシベルで出力)
STREHL fk [wi..j] [zk]	ストレール比
DMD [fk fi..j wk wi..j] ape_x ape_y	コンラディの D-d 値を画角 fk において計算します。波長の範囲は wi..j で指定します。詳細は 14.2.11 章を参照してください。
MTF fk [wi..j] [zk]	MTF (サジタルとタンジェンシャルの平均値)。MTFA と透過です。
MTFA fk [wi..j] [zk]	MTF (サジタルとタンジェンシャルの平均値)
MTFS fk [wi..j] [zk]	MTF (サジタル成分について)
MTFT fk [wi..j] [zk]	MTF (タンジェンシャル成分について)
WAV fk wk [zk]	波面収差 (RMS 値)
WAVPV fk wk [zk]	波面収差 (RMS 値) (PV 値=peak-to-valley 値)
次ページに続く	

前ページから続く	
WAVZ fk wk [zk] ECE fk diam EQE fk diam	あらかじめ指定されたツェルニケ係数によって合成された波面を差し引いた後の波面収差 (RMS 値)。ツェルニケ係数の指定は、148ページに記載の ZWACT コマンドで行います。 エンサークルドエネルギーです。画角 fk において指定の直径 (diam) の内部に収斂するエネルギーの、全入射エネルギーに対する割合を示します。 エンスクエアドエネルギーです。画角 fk において指定サイズ (diam) を辺の長さとする矩形の内部に収斂するエネルギーの、全入射エネルギーに対する割合を示します。
ガウシアンビーム:	
WRX [sk] WRY [sk] ZWX [sk] ZWy [sk] RCX [sk] RCY [sk] SRX [sk] SRY [sk] GDx [sk] GDY [sk] RRX [sk] RRY [sk]	面 sk におけるガウシアンビームの X 方向のウエスト半径 (mm) 面 sk におけるガウシアンビームの Y 方向のウエスト半径 (mm) 面 sk に対するガウシアンビームの X 方向ウエストの相対位置 面 sk に対するガウシアンビームの Y 方向ウエストの相対位置 面 sk におけるガウシアンビームの X 方向の曲率半径 面 sk におけるガウシアンビームの Y 方向の曲率半径 面 sk の X/Z 平面におけるガウシアンビームのスポットサイズ X 方向成分 面 sk の X/Z 平面におけるガウシアンビームのスポットサイズ Y 方向成分 面 sk の X/Z 平面における ガウシアンビームの拡き角。ガウシアン光源パラメータ WRX, WRY, RCX, RCY を正確に設定しておく必要があります。 面 sk の Y/Z 平面における ガウシアンビームの拡き角。ガウシアン光源パラメータ WRX, WRY, RCX, RCY を正確に設定しておく必要があります。 面 sk の X/Z 平面におけるガウシアンビームのレイリー (Rayleigh) 範囲 面 sk の Y/Z 平面におけるガウシアンビームのレイリー (Rayleigh) 範囲
ファイバのデータ:	
FSR [zk] FSD [zk] FSA [zk] FSB [zk] FSN1 [zk] FSN2 [zk] FSCR [zk]	光源側ファイバの モードフィールド半径 (単位は mm) 光源側ファイバの ファーフィールド拡き角 (単位は rad) 光源側ファイバの X 軸まわりのティルト量 (単位は度) 光源側ファイバの Y 軸まわりのティルト量 (単位は度) 光源側ファイバの コア材の屈折率 n_1 光源側ファイバの クラッド材の屈折率 n_2 光源側ファイバの コア半径 (単位は mm)
次ページに続く	

前ページから続く	
FRR [zk]	受光ファイバのモードフィールド半径 (単位は mm)
FRD [zk]	受光ファイバのファーストフィールド発散角 (単位は rad)
FRA [zk]	受光ファイバの α -ティルト (単位は 度)
FRB [zk]	受光ファイバの β -ティルト (単位は 度)
FRX [zk]	受光ファイバの X-方向のオフセット (単位は mm) 主光線基準
FRY [zk]	受光ファイバの Y-方向のオフセット (単位は mm) 主光線基準 y
FRN1 [zk]	受光ファイバのコア材料の屈折率 n_1
FRN2 [zk]	受光ファイバのクラッド材料の屈折率 n_2
FRCR [zk]	受光ファイバのコア半径 (単位は mm)
照明解析用の光源データ:	
SUSE sk 0 1	照明解析用光源の解析への組み込み (0=適用しない, 1=適用する)
SPWR sk pwr	光源の強度
SXEX sk x.extension	光源のサイズ X 方向 (全幅, 単位は mm)
SYEX sk y.extension	光源のサイズ Y 方向 (全幅, 単位は mm)
SXDE sk x.dec	光源の X 方向への移動 (シフト, 単位は mm)
SYDE sk y.dec	光源の Y 方向への移動 (シフト, 単位は mm)
SZDE sk z.dec	光源の Z 方向への移動 (シフト, 単位は mm)
SADE sk alpha	光源の X 軸まわりの回転 (α ティルト 単位は 度)
SBDE sk beta	光源の Y 軸まわりの回転 (β ティルト 単位は 度)
SCDE sk gamma	光源の Y 軸まわりの回転 (γ ティルト 単位は 度)
SARAY sk analysis_rays	照明解析に用いる光線の本数
SPRAY sk plot_rays	表示に用いる光線の本数
SGREF sk 0 G	光源を定義する座標系の指定 (O = 物体面座標, G = グローバル座標)
SDIVX sk x.div	光源からの光放射の広がり角 X-方向 (全幅, 単位は 度)
SDIVY sk y.div	光源からの光放射の広がり角 Y-方向 (全幅, 単位は 度)
SOFA sk x.off	光放射角の基準方位のオフセット X-方向 (単位は 度)
SOFB sk y.off	光放射角の基準方位のオフセット Y-方向 (単位は 度)
種々の関数:	
RAIS	光線追跡座標の探索時に使われる探索ステップの最大値。1.0 に規格化された入射瞳径に対する相対値で設定 (デフォルト値は 1.0)
RAIT	光線追跡座標の探索誤差の許容値。1.0 に規格化された入射瞳径に対する相対値で設定 (デフォルト値は 0.001)
TIT	レンズタイトルを 80 文字からなる文字列で返します。
COM sk	面 sk のコメント文字列を返します。
DAT	その時点の日付を DD MMM JJJJ という 12 文字の書式からなる文字列で返します。
TIM	その時点の時刻を HH:MM:SS という 8 文字の書式からなる文字列で返します。
次ページに続く	

前ページから続く	
POX [zk]	プロット位置のオフセット量。紙面上の座標系における X 成分
POY [zk]	プロット位置のオフセット量。紙面上の座標系における Y 成分
POZ [zk]	プロット位置のオフセット量。紙面上の座標系における Z 成分
WEI [si..j]	レンズエレメントの重量 (単位はグラム)
SPG [sk]	レンズエレメントの密度 (単位は g/cm ³)

第28章 描画色の名称

– Colour Names –

この章では、OpTaliX がグラフィック出力する際に用いる規定の描画色の名称について説明します。OpTaliX の現バージョンは、描画色を視野情報とコーティングの偏光成分についてそれぞれ独立に設定できるのみですが、今後の改訂により、同様に波長とズームポジションについても描画色を設定できるように改良されます。

種々の図出力や解析出力における描画色は、CLS コマンドを使えば変更できます。その詳細については、[32ページ](#) (視野情報関連)、[384](#) (コーティング関連) を参照してください。

描画色の設定は、個別のレンズデータごとに保存されます。新規のレンズデータを作成した場合には明示的な設定がなされるまで、デフォルトの描画色が使われます。

28.1 規定の描画色 (Predefined colours)

規定の描画色は、その名称によって特定されます。各色の名称の最初の 3 文字のみが、その識別のために使われます。

	識別名	描画色名	RGB 値
	RED	red (赤)	255,0,0
	GRE	green (緑)	0,255,0
	BLU	blue (青)	0,0,255
	MAG	magenta (マゼンタ)	255,0,255
	CYA	cyan (シアン)	0,255,255
	YEL	yellow (黄)	255,255,0
	BLA	black (黒)	0,0,0
	BRO	brown (茶)	185,92,0
	ORA	orange (橙)	255,128,0
	GRY	grey (灰)	192,192,192
	VIO	violet (紫)	192,128,255
	TUR	turquoise (碧青)	0,194,194
	SAL	salmon (ピンク)	255,128,128

28.2 視野情報の描画におけるデフォルト色 (Default Colours in Field Plots)

視野情報に関連づけられたデフォルトの描画色は、RED, GREEN, BLUE, MAGENTA, CYAN です。5 つ以上の視野が定義されている場合は、この順に繰り返されます。例えば、光路図を描画すると、第 1 視野 (一般に軸上物点) に対する光路が赤で描画され、第 2 視野については緑の順で光路が描画されます。デフォルトの描画色を変更するには 32 ページに記載の **CLS FLD** コマンドを使うか、あるいは、configuration ダイアログを起動して “field タブ” を選択すると現れるダイアログの “color” 欄をクリックすることによっても変更できます。

28.3 コーティングの描画におけるデフォルト色 (Default Colours in Coating Analysis)

コーティングの解析結果、つまり分光特性をプロットする際のデフォルトの描画色は、S,P 偏光成分、その平均成分の順に RED GREEN BLUE です。384 ページに記載の **CLS COA** コマンドを使えば、この設定を変更できます。また、Coating Configuration のダイアログを開くと現れる、各色のアイコンをクリックすることによっても、変更できます。

第29章 レンズおよびコーティングデータのインポート

– Importing Lens and Coating Data –

この章では、他のレンズ設計ソフトウェアのレンズデータを OpTaliX にインポート (変換して入力) する方法を示します。これまでにサポートできている設計ソフトウェアは、CodeV, ZEMAX, OSLO, MODAS, ATMOS, Accos, Kidger-Optics です。

ここではまた、カタログメーカーが提供するレンズデータベースからインポートする方法についても示します。対応可能なメーカーは、Melles Griot, NEWPORT などです。このことの詳細は、[29.12章](#)をご覧ください。

ソフトウェアの開発は継続的に進められるので、どのソフトウェアについても主要な機能だけしか適切に移行できません。しかし OpTaliX も、より多くのコマンドや機能を取り扱うように進歩し続けているので、インポートの能力は日々高まっています。

インポートは“IMP” コマンドに添えて、インポート元のソフトウェアを識別するパラメータを付加することで実行します。

29.1 CodeV シーケンシャルファイルのインポート (Import of CodeV Sequential Files)

コマンドラインから CodeV のシーケンシャルファイルのインポートを実行するには、

<code>imp seq codev file_spec</code>	CodeV のシーケンシャルファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。 例: <code>imp seq c:¥codev¥dblgauss.seq</code>
--------------------------------------	--

メニューからは、*File* → *Import* → *CodeV* を選択して下さい。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.2 ZEMAX ファイルのインポート (Import of ZEMAX Files)

コマンドラインからは

<pre>imp zmx zemax file file_spec</pre>	ZEMAX ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。ファイル拡張子 <code>.ZMX</code> を添えなくてはなりません。 例: <pre>imp zmx file c:%zmx_examples%dblgauss.zmx</pre>
---	---

メニューからは、*File* → *Import* → *Zemax* を選択して下さい。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.3 OSLO ファイルのインポート (Import of OSLO Files)

コマンドラインからは、

<pre>imp osl[o] file file_spec</pre>	OSLO ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。ファイル拡張子 <code>.LEN</code> を添えなくてはなりません。 例: <pre>imp oslo file c:%oslo_examples%dblgauss.len</pre>
--------------------------------------	--

メニューからは、*File* → *Import* → *Oslo* を選択して下さい。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.4 MODAS ファイルのインポート (Import of MODAS Files)

MODAS (MODAS : Modern Optical Design and Analysis Software) はオーストリアの Ivan Krastev 氏が作成、配布するシェアウェアです。フリーウェア版もあります。

コマンドラインからは、

<pre>imp mod[as]as file file_spec</pre>	MODAS ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。ファイルの拡張子 <code>.dsg</code> を添えなくてはなりません。 例: <pre>imp modas file c:%modas_examples%cassegr.dsg</pre>
---	---

メニューからは、*File* → *Import* → *Modas* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

非球面に関する注意: MODAS は、[8.1式 \(62ページ\)](#) で定義した非球面方程式に加えて 2 次の項 A_2h^2 を考慮します。この項はコーニック係数 K を -1 とすることでモデル化される放物面を取り扱うために用いられます。MODAS は純粋な円錐面 (2 次曲面)、または高次非球面を、それらが単独であれば扱えますが同時に扱うことはできません。これは MODAS だけの特徴です。このため 2 次の項を次のように変換します。

$$c = 2 \cdot A_2 \quad (29.1)$$

このようにして MODAS から OpTaliX にインポートした非球面のコーニック係数 K は、 -1 (放物面) に設定され、曲率は c に設定されます。MODAS へのエクスポートは、この逆手順を適用します。

29.5 ATMOS ファイルのインポート (Import of ATMOS Files)

ATMOS はイタリアの Massimo Riccardi が記述、配布するシェアウェアです。フリーウェア版もあります。

コマンドラインからは、

<pre>imp atm[os] file file.spec</pre>	ATMOS ファイルを <code>file.spec</code> からインポートします。ファイル拡張子 <code>.atm</code> を添えなくてはなりません。 例: <pre>imp atmos file c:\modas_examples\cassegr.atm</pre>
---------------------------------------	--

メニューからは、*File* → *Import* → *Atmos* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.6 WinLens ファイルのインポート (Import of WinLens Files)

コマンドラインからは、

<pre>imp winl[ens] file file.spec</pre>	WinLens ファイルを <code>file.spec</code> からインポートします。ファイルの拡張子 <code>.spd</code> を添えなくてはなりません。 例: <pre>imp winl file c:\examples\dblgauss.spd</pre>
---	---

メニューからは、*File* → *Import* → *WinLens* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.7 Accos ファイルのインポート (Import of Accos Files)

コマンドラインからは、

<pre>imp acc[os]</pre>	Accos フォーマットで光学系をインポートします。このコマンドはライブラリファイルから光学設計を選択するダイアログボックスを開きます。Accos は、約 2Mbyte ごとにレンズライブラリに光学系を登録します。各ライブラリは 98 個の光学系を含むことができます。これはレンズライブラリブロックと呼ばれ、光学系はその時点で開かれているブロックに加えられます。面の総数、有効径などいくつかの項目において制約があります。
------------------------	---

メニューからは、*File* → *Import* → *Accos* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.8 Kidger-Optics のシグマファイルのインポート (Import of Sigma Files from Kidger-Optics)

コマンドラインからは、

<pre>imp sigma sigmapc file file_spec</pre>	Kidger-Optics のシグマファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。次のフォーマットがサポートされます。 Sigma-PC これは拡張子 <code>.DAT</code> で特定されます。 Sigma 2000 これは拡張子 <code>.LEN</code> で特定されます。 例: <pre>imp sigma file c:\examples\dblgauss.len imp sigmapc file c:\examples\dblgauss.dat</pre>
---	--

メニューからは、*File* → *Import* → *Kidger - Optics* → *Sigma* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

29.9 MacLeod ファイルのインポート (Import Coatings from “The Essential MacLeod” Thin-Film Package)

コマンドラインからは、

<pre>imp macl file file_spec</pre>	“Essential MacLeod” 形式の薄膜ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。 例: <pre>imp macl file c:\ar_coat.dds</pre>
------------------------------------	--

メニューからは、*COATINGS* → *IMPORT* → *MacLeod* とたどってください。ファイルを選択するボックスが起動します。

29.10 TFCalc ファイルのインポート (Import Coatings from the “TF-Calc” Thin-Film Package)

コマンドラインからは、

<pre>imp tfc file file_spec</pre>	“TFCalc” 形式の薄膜ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。 例: <pre>imp tfc file c:\ar_coat.dds</pre>
-----------------------------------	--

メニューからは、*COATINGS* → *IMPORT* → *TFCalc* とたどってください。ファイルを選択するボックスが起動します。

29.11 Optilayer ファイルのインポート (Import Coatings from the “Optilayer” Thin-Film Package)

コマンドラインからは、

<code>imp opti file file_spec</code>	“Optilayer”形式の薄膜ファイルを <code>file_spec</code> からインポートします。 例: <code>imp tfc file c:\far_coat.ods</code>
--------------------------------------	--

メニューからは、*COATINGS* → *IMPORT* → *Optilayer* とたどってください。ファイルを選択するボックスが起動します。

29.12 各社レンズカタログからのインポート (Import from Lens Catalogs)

OpTaliX には多くのカタログメーカー (Melles Griot, Newport, Linos など) が提供する多くのレンズデータが収録されています。OpTaliX には、これらを簡単な操作で抽出し、読み込む機能があります。メニューバーからこの機能を起動するには

FILE → *IMPORT* → *Catalogues*

あるいは

FILE → *Catalog Lenses*

とたどると、そのためのダイアログが起動します。

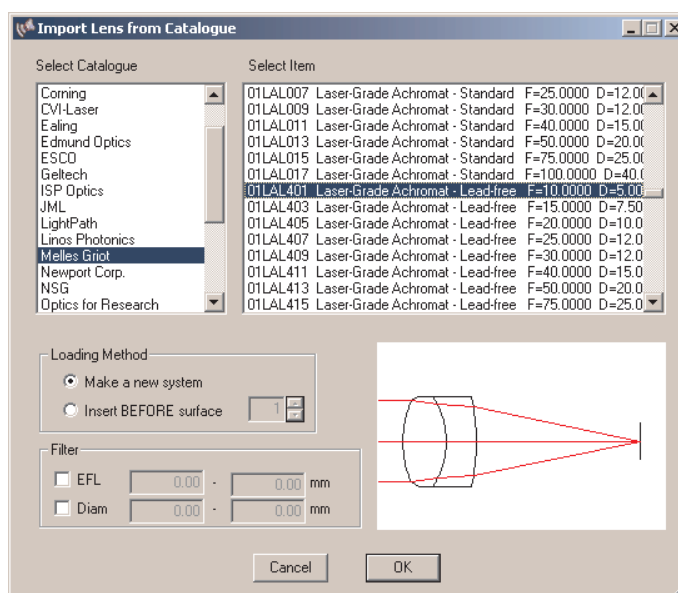


図 29.1: カタログメーカーからのレンズデータの読み込み画面

コマンドラインから指定する場合は次のとおりです。

```
imp cat [cat_ident code_string] [sk]
```

ここで **cat_ident** はそのデータが収録されているカタログ名であり、**code_string** はレンズ名です。もしもこれらが省略された場合にはレンズデータを特定するためのダイアログが起動します。面番号 **sk** が指定された場合には、その時点で設定されている既存レンズの第 **k** 面の直前に挿入されます。面番号の指定がない場合は、既存レンズのデータは破棄され、カタログからのデータに置き換えられます。

カタログ名 (**cat_ident**) は、各メーカー名を特定するための略称で、下記のうち 1 つを指定します。略称名に続く文字があっても無視されます。例えば、略称名が **ABC** であれば **ABCde** も同じカタログを指すことになります。

ARCH	Archer OpTx
COHE	Coherent Scientific
CORN	Corning
CVI	CVI-Laser
EAL	Ealing
EDMU	Edmund Optics
ESCO	Esco
GELT	Geltech
ISP	ISP-Optics
JML	JML
LPT	LightPath Inc.
LINO	Linos Photonics
MELL	Melles Griot
NEWP	Newport Corporation
NSG	Nippon Sheet Company
OFR	Optics for Research
OPTO	OptoSigma
PHIL	Philips
QUAN	Quantum
ROLY	Rolyn Optics
ROSS	Ross Optical
SIGM	Sigma-Koki, Japan
SPEC	Special Optics
THOR	ThorLabs
3M	3M Precision Optics

例：

```
imp cat mell 01lpx027
```

```
imp cat melles 01lpx027
```

```
imp cat    !ダイアログボックスが開きます
```

```
imp cat linos 322286 s4    !Linos 社製レンズを第 4 面の位置に挿入します。
```

第30章 レンズデータのエクスポート

– Exporting Lens Data –

この章では、OpTaliX のレンズデータを他のレンズ設計ソフトウェアにエクスポート (変換して出力) する方法を示します。これまでにサポートできているのは、CodeV, ZEMAX, OSLO など下記のとおりです。これらのソフトウェアの開発は継続的に進められるので、どのソフトウェアについても主要な機能だけしか適切に移行できません。しかし OpTaliX も、より多くのコマンドや機能を取り扱うように進歩し続けているので、エクスポートの能力は日々高まっています。

エクスポートは、“EXP” コマンドに添えて、エクスポート先のソフトウェアを識別するパラメータを付加することで実行します。

30.1 CodeV へのエクスポート (Export to CodeV)

コマンドラインからは

<code>exp seq file_spec</code>	CodeV のシーケンシャルファイルにエクスポートします。 例: <code>exp seq c:%temp%dblgauss.seq</code>
<code>wrl file_spec</code>	CodeV の .seq 形式でレンズデータを保存します。

メニューからは、*File* → *Export* → *CodeV* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

30.2 ZEMAX へのエクスポート (Export to ZEMAX)

コマンドラインからは

<code>exp zmx file file_spec</code>	ZEMAX ファイルにエクスポートします。ファイル拡張子.ZMX を添えなくてはなりません。 例: <code>exp zmx file c:%temp%dblgauss.zmx</code>
-------------------------------------	--

メニューからは、*File* → *Export* → *Zemax* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

30.3 OSLO へのエクスポート (Export to OSLO)

コマンドラインからは

<code>exp oslo file file_spec</code>	OSLO ファイルにエクスポートします。ファイル拡張子 <code>.LEN</code> を添えなくてはなりません。 例: <code>exp oslo file c:\temp\mydblgauss.len</code>
--------------------------------------	--

メニューからは、*File* → *Export* → *Oslo* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

光学系に使われているガラスは OSLO の仕様に合わせた書式でプライベートガラスカタログに書き出されます。テキストエディタを使えば、`\optalix\temp\oslo-private.glc` フォルダのガラスを OSLO のプライベートガラスカタログにマージできます。

30.4 ASAP へのエクスポート (Export to ASAP)

ASAP は、Breault Research Organization [5] が開発/提供している 光学モデリングツールです。

<code>exp asap file file_spec</code>	ASAP 形式のファイルにエクスポートします。ファイル拡張子 <code>.INR</code> を添えなくてはなりません。 もしも <code>file_spec</code> (パス名前+ファイル名) に空白文字や特殊文字 (<code>-</code> , <code>&</code>) が含まれる場合には、全体を引用符でくくってください。 例: <code>exp asap file c:/temp/dblgauss.inr</code> <code>exp asap file 'c:/temp/my-dbl gauss.inr'</code>
--------------------------------------	---

30.4.1 ASAP への特殊面のエクスポート (Exporting Special Surfaces to ASAP)

ASAP に等価な定義のない特殊な面形状をエクスポートする場合は、`USERFUNC` オプションを使ったモデリングが不可欠です。つまり、ASAP のスクリプトを使ってユーザ定義関数を記述する必要があります。

もしも光学系に特殊な面形状が含まれているならば、OpTaliX は適切なコマンドをエクスポートされた ASPA スクリプト (`*.INR`) に加えます。例えばアナモフィック面 ([AAS](#)) の場合なら、下記のようにエクスポートされます。

```
$READ BICONIC_FUNC.INR

USERFUNC EXPLICIT 0 0 0 BICONIC_FUNC 0.03125 0.031313 0.003 0.001,
0.1E-06 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
```

これに相当する関数定義が OpTaliX によって生成され、`$i%usersur%asap.` に保存されます。それを `"BICONIC_FUNC.INR"` ファイルにコピーし ASAP の作業フォルダに置いてください。

30.5 MODAS へのエクスポート (Export to MODAS)

MODAS (MODAS : Modern Optical Design and Analysis Software) は、オーストリアの Ivan Krastev が開発、配布するシェアウェアです。フリーウェア版もあります。

コマンドラインからは

<code>exp modas file file_spec</code>	MODAS ファイルにエクスポートします。ファイル拡張子 <code>.dsg</code> を添えなくてはなりません。 例: <code>exp modas file c:¥temp¥cassegr.dsg</code>
---------------------------------------	---

メニューからは、*File* → *Export* → *Modas* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。非球面のエクスポートについては 29.4 章の注意を参照して下さい。

30.6 ATMOS へのエクスポート (Export to ATMOS)

ATMOS は、イタリアの Massimo Riccardi が記述、配布するシェアウェアです。フリーウェア版もあります。

コマンドラインからは

<code>exp atmos file file_spec</code>	ATMOS ファイルにエクスポートします。ファイル拡張子 <code>.atm</code> を添えなくてはなりません。 例: <code>exp atmos file c:¥temp¥cassegr.atm</code>
---------------------------------------	---

メニューからは、*File* → *Export* → *Atmos* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

30.7 Aberrator への波面収差のエクスポート (Export of Wavefront to Aberrator)

“Aberrator”^[1] は、オランダの Cor Berrevoets によって記述されたフリーウェアです。このソフトウェアはアマチュア天文家が光学収差の星像への影響を実際に確かめる際に役立つように、その像をシミュレートします。OpTaliX から任意の波面収差をエクスポートすれば、Aberrator はそれから波動光学的な PSF(点像強度分布) を計算します。結果はモノクロの多階調ビットマップで表示します。OpTaliX の PSF DF あるいは PSF FF コマンドで得られる結果に相当するものです。

コマンドラインからは、

<code>exp wav [fi wi] file file_spec</code>	波面収差を “Aberrator” フォーマットに変換し出力します。ファイル拡張子 <code>.opd</code> を添えなくてはなりません。 例: <code>exp wav file c:¥temp¥wavefront.opd</code>
---	--

メニューからは、*File* → *Export* → *Wavefront to Aberrator* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

30.8 Persistence of Vision (POV) へのエクスポート
(Export to Persistence of Vision (POV))

“Persistence of Vision (POV)” は、レンダリングおよびアニメーションのためのフリーウェアです。光学設計においては、関連する画像を写真のようにリアルに生成するために用います。

コマンドラインからは

<code>EXP POV file file_spec [ray]</code>	“Persistence of Vision (POV)” にエクスポートします。ファイルの拡張子 “.POV” を添えなくてはなりません。パス情報が無い場合には、ファイルは現在のワーキングディレクトリに保存されます。オプションのパラメータ <code>ray</code> は、 <code>SET FAN</code> コマンドで定義されたユーザ定義光線をエクスポートします。 例: <code>exp pov file c:¥pov_examples¥dblgauss.pov</code>
---	--

メニューからは、*File* → *Export* → *POV* を選択してください。ファイルを選択するボックスが開きます。

POV フォーマットのファイルを出力するだけなら同じコンピュータに POV がインストールされる必要はありません。しかし種々のテストを行ったり、光学系がうまく変換されているかどうかを確認するために POV のワーキングインストール (working installation) をお勧めします。OpTaliX がどのように POV にインターフェースするかは、10.1章 (187ページ) を参照してください。

注意:
上記と類似の仕組みがレンズ描画のオプションにおいて使われています (`REN` コマンドを参照)。ただし、そこでは POV が直接起動されるのでユーザは明示的にエクスポートを実行する必要がありません。

30.9 IGES ファイルへのエクスポート (Export to IGES)

光学面の情報を 3 次元モデルとして 外部の 3D-CAD にエクスポートします。ファイルの形式は IGES 5.3 (Initial Graphics Exchange Specification) です。エクスポートされたモデルには、各面の開口形状、面取り、トリム (切り欠き)、光線が反映されます。ワイヤフレームモデルでも出力できます。

<pre>exp igs [sur ray wir ape edg all] [si..j sk] [zk] [?] file file_spec</pre>	光学モデルを IGES 形式で出力します。ファイル名の拡張子は.igs でなくてはなりません。出力の内容は下記に示すオプションのパラメータで設定できます。 sur 面の出力 (=デフォルトの設定) ray VIE コマンドで設定した光線情報の出力 wir ワイヤフレームモデルを出力 (VIE VPT コマンドの出力に類似) ape 固定アパーチャ径にマークを出力 edg エッジ形状を出力 all すべてのオプション (sur + ray + edg + wir) を設定して出力 いずれのオプションも設定されない場合は、すべての面に SUR が設定されます。多重構成レンズの場合は、ズームポジション 1 に対して適用されます。 例： <pre>exp igs sur ray file c:/temp/test.igs exp igs ape ?</pre>
---	--

30.9.1 IGES ファイルへの出力例 (Illustration of IGES Export Options):

IGES へのエクスポートに関するオプション SUR, RAY and WIR を設定した際の出力例を示します。一般に、レンダリングのカラー (表示色) の変更は 3D-CAD 側で行えます。

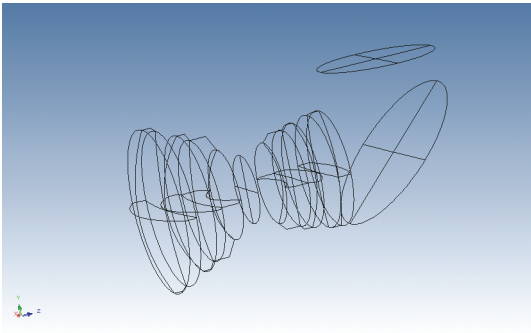


図 30.1: ワイヤフレームのみをオプション設定して出力 (コマンド ‘exp igs wir’)

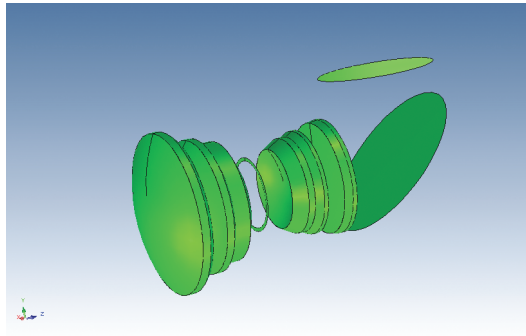


図 30.2: 面のエクスポートだけをオプション設定して出力 (コマンド ‘exp igs wir’)

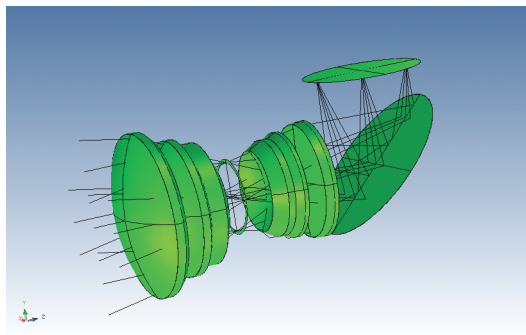


図 30.3: 面および光線の出力をオプション設定して出力 (コマンド ‘exp igs sur ray’)

30.9.2 IGES のエンティティ (Supported IGES Entities):

エンティティの番号	内容	コメント
102	複合曲線	書式番号 12
106	多量のデータ	
108	平面	
110	直線	
112	パラメトリックなスプライン曲線	
114	パラメトリックなスプライン面	準備中
120	面の回転	
124	変換マトリクス	
128	パラメトリックな B スプライン面	
142	パラメトリック面上の湾曲	
144	トリムされたパラメトリック面	

30.9.3 IGES へのエクスポートに関する制限 (IGES Export Limitations):

OpTaliX は 極力多彩な構成要素を IGES ファイルにエクスポートできるように開発を続けていますが、現行のバージョンではすべての要素に対応できていないわけではありません。

- 軸対称性のある面形状は連続面として表現されますが、軸対称性をもたない面形状 (例えばシリンдриカル面、トロイダル面、自由曲面など) は連続面としてではなくグリッドで表現されます。
- 円形開口または矩形開口面のみをサポートしています。楕円開口あるいは多角形開口を持つ面のサポートは将来のバージョンで行われます。
- 楕円開口あるいは多角形開口、偏芯した円形開口に対するエッジ部のエクスポートには対応していません。

30.9.4 IGES - トラブルシューティング (IGES Trouble Shooting):

CAD データへの変換は複雑な過程を経て行われます。変換の結果がどれほど期待に添ったものになっているかは、OpTaliX および 3D-CAD を操作するオペレータが変換に かける手間の程度に大きく依存するのが実情です。

IGES はほぼ 20 年にわたり標準書式の地位を保ってきており、最新版は version 6 を数えています。その後継書式は STEP (Standard for Exchange of Product information) として知られています。IGES の version 5.1 以降には STEP 1.0 に変換する機能が装備されています。しかし産業界全体からみると STEP への移行は進んでいません。IGES のユーザは引き続き あまりに多く、かつ STEP のユーザが少なすぎるので、IGES を廃版にできないのです。この現実を踏まえて、OpTaliX でも IGES 形式でエクスポートする機能を実装しました。

IGES は全てのアプリケーションに常に完全な結果を提供できているわけではありません。IGES ファイルに関して人々が遭遇するあらゆる問題のリストは、本としてまとめられるほど多数、存在しています。下記には、それらのうち、OpTaliX に関わる問題を分類して示します。

- IGES の規定には解釈によって随意性が入り込む余地があります。多年にわたって複数の CAD メーカーが IGES 規定のあちこちで異なった解釈を行い、結果として互換性のない状況を生み出してしまいました。
- IGES データを記述するための多くの書式が存在しています。例えば、ユーザは円錐や平面など解析的な式で記述可能な面を スプライン面として表現することも可能です。ある CAD では解析的な式を好む一方、別の CAD はスプライン表現を好みます。3 次のスプラインは IGES のエンティティ 112 あるいは 126 として表現されますが、線分群 (polyline) や点列 (IGES エンティティ 106) でも表現できます。
- 誤差、正確さ、分解能: これらが原因となって、IGES ファイルが 2 種類のソフトウェア間を異なった精度で行き来する際に問題が生じます。大きな誤差を伴う IGES ファイルを精緻な取り扱いをするソフトウェアに読み込ませると面の境界が閉じなくなったり重なってしまうこともあります。逆に、精緻な IGES ファイルを 誤差の取り扱いの甘いソフトウェアに読み込むと微細な形状が損なわれます。
- OpTaliX は 2D あるいは 軸対称性を持たない一般面を表現する際に 3 次のスプライン (IGES エンティティ 108) を使いますが、一部の 3D-CAD はそれをサポートしていません。
- IGES エンティティ 126 や 128 (スプライン面) で表現される面はしばしば 3D-CAD への読み込みにおいて 多量のトラブルを伴います。

- トリムされた面 (IGES エンティティ 144) を使う場合には特に注意が必要です。3D-CAD との相性によって、トリミングした曲線が本来とは異なる位置に置かれたり、自己接点をもってしまったりします。
- 曲面、曲線および直線については、その範囲の外側に本来は存在しない要素が生成されていないかよく注意してください。
- 一般的な注意事項として、OpTaliX が生成する IGES エンティティ (30.9.2) 章、498 ページ) が 3D-CAD 側でも対応しているものであることを確認してください。

30.10 マイクロソフト社のエクセルへのエクスポート (Export to Microsoft Excel File)

マイクロソフト社の表計算ソフト“エクセル”が読み込み可能な書式で OpTaliX の計算結果を出力できます。これは任意のテキスト出力に適用できる汎用性のある機能ではなく、表形式に表現され得る (グリッド状の) データに対してのみ適用できるものです。

エクセル互換書式による出力は、今のところ **カム計算** だけが対応しています。しかし今後、他の出力についても順次対応していきます。

この機能、つまり、エクセル互換書式による出力はマイクロソフト社の ODBC ドライバをインストールすることによって利用できるようになります。もし OpTaliX を実行しようとするコンピュータにエクセルがインストールされていれば、ODBC もまた、既にインストールされています。そうでない場合には、マイクロソフト社のウェブサイト <http://www.microsoft.com/downloads> から無償で “Microsoft Data Access Components (MDAC)” をダウンロードし、インストールしてください。エクセル互換書式による出力は ODBC ドライバを媒介として行われるので、ODBC の制約をそのまま受けることになります。具体的には、

- 新しいデータは追加だけが可能です。任意のセルを選択して書き込むことはできません。
- 対象となるデータタイプは 数値、日付および時刻、文字列、通貨、それに論理型だけです。これらを数式や他の書式等に変換することはできません。
- テキスト文字の修飾 (文字色、フォント等) は指定できません。
- 各欄につける名前は、最大でも 63 文字までです。

出力されるデータは追加のみが許されているという制限から、“Data”という名前のついたシートを探せば、それが OpTaliX からの出力だとわかります。例として図 30.4 をご覧ください。

	A	B	C	D	E	F	G
1	THI_S5	THI_S10	THI_S15	EFL	OAL	SPD_F1	
2	1	56.47201	1.124986	5.903314	121.5	0.003671	
3	11	45.90509	1.691911	8.007072	121.5	0.003243	
4	21	35.1242	2.472802	11.459	121.5	0.004108	
5	31	23.98536	3.611642	17.68545	121.5	0.008013	
6	41	12.19831	5.398692	30.52153	121.5	0.013969	
7							

図 30.4: エクセル TM ファイルへの出力例 OpTaliX からの出力は、すでに定義されている (標準のシート) の後方にシート名、“Data” で出力されます。

このページは白紙です。

第31章 設計サンプルのライブラリ

– Examples Library –

OpTaliX には、広範囲に渡る設計データライブラリが付属しています。500 例を超えるこれらのデータは、書籍や特許などから抽出したものです。このライブラリは、“Handbook of Optical Design(Wiley 社)” の第 4 巻に記載されている (Arthur Cox、Warren Smith) の内容をすべて含んでいます。

ライブラリは、OpTaliX がインストールされているフォルダのサブフォルダ、`$i¥examples` に格納されています。OpTaliX からは、このライブラリを簡単にブラウズできるようになっています。コマンドラインからであれば EXAMP コマンドを使います。

EXAMP	設計データライブラリをブラウズするためのダイアログを起動します。
-------	----------------------------------

メインメニューからダイアログを起動することもできます。

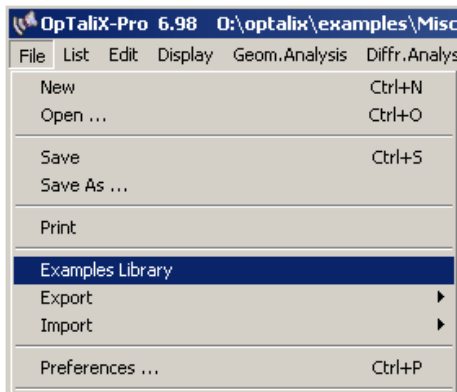


図 31.1: 設計データライブラリを起動するためのメニュー選択画面

図 31は、ダイアログボックスの典型的な表示例です。まず、左側画面のツリー・ビューから光学系の種別と設計ファイルを選択します。ここで [OK] をクリックすると、選択したレンズのデータが読み込まれます。[CANCEL] をクリックすると、ダイアログを起動する前のレンズデータに戻ります。

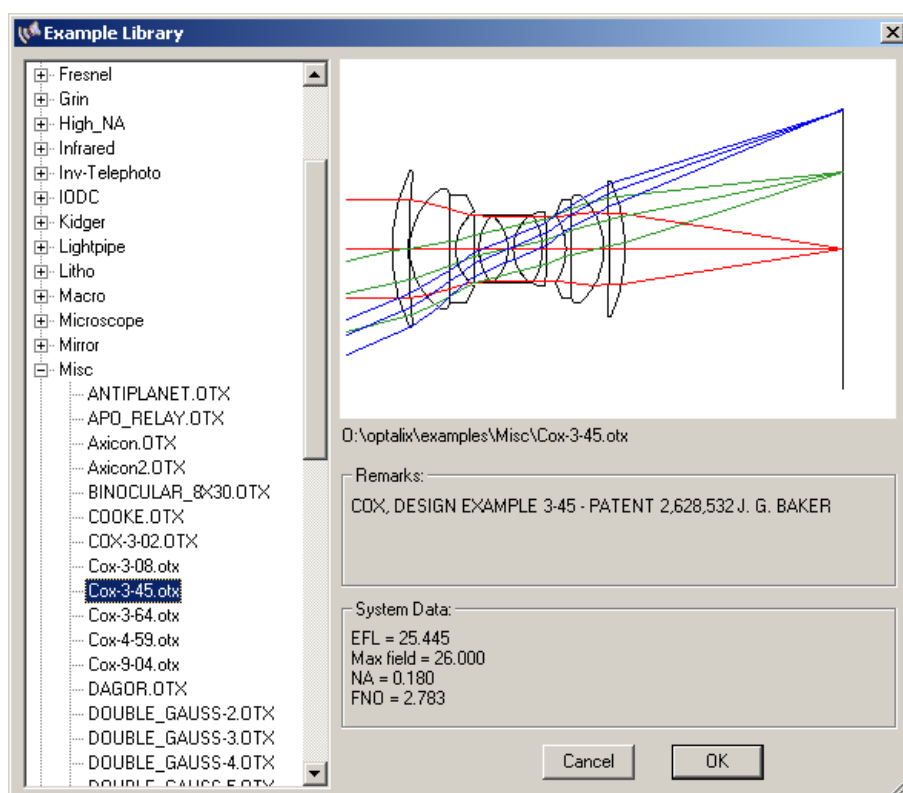


図 31.2: 設計データライブラリからのデータ選択画面

第32章 ファイルフォーマット

– File Formats –

32.1 OpTaliX の設定ファイル (OpTaliX Configuration File “optix.cfg”)

OpTaliX の設定ファイル “optix.cfg” は、各機能が使用する多くの設定 (主にパス情報) を格納しています。このファイルは OpTaliX がインストールされているのと同じディレクトリに存在していません。各設定は自由書式の ASCII フォーマットで記述します。したがって、どんなテキストエディタでも読んだり編集したりできます。

全ての入力項目は少なくとも 1 文字のブランクで分離されます。複数のブランクであってもかまいません。“!” マークに続く記述は、コメントとみなされます。

設定項目の種類を示すキーワードとその内容を示すパラメータは、等号 “=” を使って分離します。キーワードとそれに対応するパラメータは次のとおりです。

RENDER = path_string	陰影表現を含む立体図を描画するための (外部描画) プログラムへのパス設定。この機能を使用するには、“ Persistence of Vision (POV) ” というフリーウェアの公式バージョンを別途インストールする必要があります。
HTML = path+exe_string	(外部の)HTML ブラウザへのパス設定。このパスはオンラインヘルプマニュアルにアクセスするには必須です。この項目はインストール時に自動的に作成されます。もし、それとは別のブラウザを使用ならば、パス設定を変更してください。
GLASSES = path_string	ガラスカタログへのパス設定。この入力デフォルトではコメントアウトされています。通常、設定変更の必要はありません。
COATINGS = path_string	コーティングファイルへのパス設定。
TEMP = path_string	テンポラリワーキングディレクトリへのパス設定。
MACRO = path_string	マクロファイルやユーザ定義グラフィックへのパス設定。
SAVDEFAULTONEXIT = int	OpTaliX 終了時に、光学系をファイルに保存するか否か。int は整数です。0 = 保存しないで終了, 1 = 保存
SAVWINONEXIT = int	OpTaliX 終了時に、ウインドウ設定 (位置、サイズ) を保存するか否か。0 = 保存しないで終了, 1 = 保存
TEXTFOREGR = int	新しい出力を行うたびにテキスト出力ウインドウを最前面に配置するか否か。0 =no, 1 = yes

OpTaliX 設定ファイルの一例を示します。

```
! Optix configuration file
! Entries must be separated at least by one blank character
! Characters are case insensitive
! Path names containing blanks must be enclosed in quote character (")

HTML =
RENDER = "f:%pov3la%bin%pvengine.exe"

! Uncomment and edit the following lines only if you wish a
! different search path for glasses,coatings or temp.

! GLASSES = "e:%optix%GLASSES%"
! COATINGS = "e:%optix%coatings%"
! TEMP = "e:%optix%temp%"
```

この例からもわかるように、いくつかのキーワード (GLASSES, COATINGS, ..) はコメントアウトされています。このような場合はデフォルトのパスが使われます (つまりは OpTaliX がインストールされたディレクトリの下位ディレクトリ)。

32.2 光学系データを記述するファイル (Lens Prescription Format “.otx”)

光学系のデータは標準的な書式なし ASCII ファイルに保存します。このファイルの拡張子は “.otx” です。ファイルの各行において、光学系のデータを記述するパラメータをキーワードで特定します。全ての入力は少なくとも 1 つのブランクで分離されます。複数のブランクであってもかまいません。“!” マークに続く記述は、コメントとみなされます。

下表には、キーワードをアルファベット順に示し、それに対応して設定可能なパラメータを説明します。各パラメータには型があります。“int” と表記したパラメータは、整数値をとる型です。“real_val” は実数値を、“cfar” ならば文字列をとります。

AAP int	レンズ断面の描画時における非対称アパーチャの取り扱い int = 0: アパーチャ全面を描画 int = 1: 光束が通過する面だけを描画
ADE real_val	X 軸まわりのティルト
AFO int	アフォーカルモードの設定。int = 1: アフォーカル光学系
次ページに続く	

前ページから続く	
APE int val1 val2 val3 val4 val5 int2 int3 int4	アパーチャの定義 int = 瞳番号 (デフォルトは 1) val1 = X 方向のアパーチャ半径 val2 = Y 方向のアパーチャ半径 val3 = 面頂点からのアパーチャの X オフセット量 val4 = 面頂点からのアパーチャの Y オフセット量 val5 = 回転角 (度) int2 = 瞳のタイプ (1=円形、2=矩形、3=楕円形、4=多角形) int3 = 論理演算子 (0=ベースとなる瞳、1=論理和、2=論理積) int4 = 透過特性 (0=内部、1=遮蔽、2=ホール)
APEC int val1 int2 int3	円形アパーチャ int = 瞳番号 (デフォルトは 1) val1 = Y 方向のアパーチャ半径 int2 = 論理演算子 (0=瞳基準、1=論理和、2=論理積) int3 = 透過特性 (0=内部、1=遮蔽、2=ホール)
AFR real_val	MTF オートフォーカスを決定する際の空間周波数 (lps/mm)
ASP val1 val2 val7	非球面係数 val1 = コーニック定数 val2 ... val7 = 多項式の係数
ARX real_val	アレイ面の X 方向のチャンネル間隔
ARY real_val	アレイ面の Y 方向のチャンネル間隔
ARX0 real_val	アレイ面全体の X オフセット量
ARY0 real_val	アレイ面全体の Y オフセット量
AXG real_val	公差: 軸方向の屈折率勾配
BDE real_val	Y 軸まわりの面ティルト (度)
BIR val1 ... val11	複屈折材料の屈折率
CDE real_val	Z 軸まわりの面ティルト (度)
COA string	現在の面に添付されたコーティングファイルの名前
COM string	各面に付けたコメント
CON string	最適化における制約関数
CTV icoeff real_val	コーティングにおける膜厚の変化係数。 icoeff は、1 から 5 までの係数番号。real_val は係数番号に対応する係数。
CUX real_val	X 方向の曲率
CUY real_val	Y 方向の曲率
DEF real_val	近軸焦点からの実像面のデフォーカス量
DLA real_val	公差: X 軸まわりのティルト
DLB real_val	公差: Y 軸まわりのティルト
DLG real_val	公差: Z 軸まわりのティルト
DLF real_val	公差: ニュートン原器に対するフリッジ本数
DLN real_val	公差: 屈折率
次ページに続く	

前ページから続く	
DLR real_val	公差: 面の曲率半径 (mm) そのものとの差
DLT real_val	公差: 軸上の面間隔 (mm)
DLV real_val	公差: アッベ数 (%)
DLX real_val	公差: X 方位の平行偏芯
DLY real_val	公差: Y 方位の平行偏芯
DLZ real_val	公差: Z 方位の平行偏芯
DTR real_val	公差: 参照面間隔 (mm)
DNO real_val	屈折率のオフセット量 Δn
DVO real_val	アッベ数のオフセット量 Δv
EPD real_val	入射瞳直径
EXC real_val	線膨張係数 (10^{-6} を 1 単位として記述)
FACT i_active1 i_active2 ...	画角指定の有効化、無効化の指定。特定の画角指定を評価の対象から外します。i_active は整数 (0 = 無効, 1 = 有効)。パラメータの入力順に第 1 画角から順に (FLDX と FLDY で定義した) 最大画角数まで数えます。
FH int	固定アパーチャの高さ int = 0: アパーチャは光束を制限/トランケートしません。 int = 1: アパーチャは光束を制限/トランケートします。
FIBS string	光源側ファイバを製品名 (メーカー型番等) で指定
FIBR string	受光側ファイバを製品名 (メーカー型番等) で指定
FILE string	ファイル名 (オプション)
FNO real_val	F ナンバ
FLDX val1 ... val11	物点座標 (X 方向成分)
FLDY val1 ... val11	物点座標 (Y 方向成分)
FLD int x_field y_field weight active	物点定義の種別を指定。FLDX/FLDY の代替表現。 int = 画角番号 x_field = X 方向の物点座標。座標値の意味は FTXP で決定される。 y_field = Y 方向の物点座標。座標値の意味は FTYP で決定される。 weight = 画角の重み active = 0/1。画角点を評価に使用するかどうかを定義。
FRES val1 val2	フレネル面のパラメータ val1 = フレネル面の X 軸まわりのティルト val2 = フレネル面の Y 軸まわりのティルト
FRA alpha_tilt	受光側ファイバの X 軸まわりの回転 (度)
FRB beta_tilt	受光側ファイバの Y 軸まわりの回転 (度)
FRD real_val	受光側ファイバに関するファースフィールド拡き角 (単位は rad)
FRN1 real_val	受光側ファイバのコア材の屈折率 n_1
FRN2 real_val	受光側ファイバのクラッド材の屈折率 n_2
次ページに続く	

前ページから続く	
FRCR real_val	受光側ファイバのコア半径 (mm)
FRR mode_radius	受光側ファイバのモードフィールド半径 (mm)
FRX x-offset	受光側ファイバの X 方向オフセット量 (mm)
FRY y-offset	受光側ファイバの Y 方向オフセット量 (mm)
FSA alpha_tilt	光源側ファイバの X 軸まわりの回転 (度).
FSB beta_tilt	光源側ファイバの Y 軸まわりの回転 (度)
FSD div_x div_y	光源側ファイバに関する X および Y 方向のファーストフィールド発散角 (単位は rad)
FSN1 real_val	光源側ファイバのコア材の屈折率 n_1
FSN2 real_val	光源側ファイバのクラッド材の屈折率 n_2
FSCR real_val	光源側ファイバのコア半径 (mm)
FSR rad_x rad_y	光源側ファイバのモードフィールド半径 (mm)
FTH f_thick	フレネルレンズの厚さ
FTYP int	物点座標の指定方法 int = 1: 物点座標を視野半角 (度) で定義 int = 2: 物点座標を物体面の XY 座標系そのもので定義 (mm) int = 3: 物点座標の代わりに近軸像面上の近軸座標で定義 int = 4: 物点座標の代わりに実像面上の実光線座標で定義
FWGT int1 ... int10	物点 (画角) に対する重み
GIC val1 ... val50	屈折率分布係数。係数番号は NGIC の定義による
GIS real_val	屈折率分布型レンズの光線追跡ステップ ds 。光線経路に沿って計る積分距離
GIT string	屈折率分布のタイプ (例えば、SEL, AXG, LPT, URN,...)
GLA string	材料名 (10 文字まで)
GL1 string	NSS において、面の左側の材質 (ローカル座標系で $-Z$ 方向) の材料名
GL2 string	NSS において、面の右側の材質 (ローカル座標系で $+Z$ 方向) の材料名
GRO real_val	グレーティングの回折次数
GRX real_val	格子定数の X 方向成分。直線状格子にのみ適用可能 (grooves/mm)
GRY real_val	格子定数の Y 方向成分。直線状格子にのみ適用可能 (grooves/mm)
GTILT val1 ... val6	屈折率分布のティルトおよび平行シフト val1 ... val3: 屈折率分布の X,Y,Z 方向の平行シフト量 val4 ... val6: X, Y, Z 軸まわりのティルト
GZO real_val	面頂点からの屈折率勾配の Z 方向 (光軸方向) オフセット。Light-Path 社の軸勾配型にのみ適用可能
HWL real_val	ホログラムの設計波長 (単位はミクロン)
HCO icoeff real_val	ホログラム係数。icoeff は、1 から 28 の係数番号。
次ページに続く	

前ページから続く	
HOM real_val	公差: 屈折率の均質性
HOR order	ホログラムの回折次数
HOT int	ホログラムのタイプ int = 0: 直線状の位相関数をもつグレーティング int = 1: 対称性位相関数 int = 2: 非対称性 (2D) 位相関数
HX1 obj_source_x	ホログラフィック面に対する物点光源の X 座標
HY1 obj_source_y	ホログラフィック面に対する物点光源の Y 座標
HZ1 obj_source_z	ホログラフィック面に対する物点光源の Z 座標
HX2 ref_source_x	ホログラフィック面に対する参照光源の X 座標
HY2 ref_source_y	ホログラフィック面に対する参照光源の Y 座標
HZ2 ref_source_z	ホログラフィック面に対する参照光源の Z 座標
IRR real_val	公差: ニュートンフリンジのイレギュラリティ
KLDR	OpTaliX の内部パラメータ。定義の必要なし (プロット表示をコントロール)
LINK int1 int2 int3 int4	面 (曲率、面間隔、ティルト、材質) のリンク (ピックアップ)
LMOD val1 ... val5	レンズモジュール (理想レンズ) val1: 焦点距離 val2 ... val5: 未定義 (将来のために予約済)
M2 val	レーザ光の品質係数 M^2 。いわゆるエムスクウェア
MFR real_val	MTF 計算における最大空間周波数 (lm/mm)
MPRS string	光源側ファイバのモードプロファイル。“string”には下記のいずれかを指定 GAU: ガウシアンモードプロファイル STE: ステップインデックス FIL: ユーザ定義プロファイル。モードプロファイルはファイルから読み込み
MPRR string	受光側ファイバのモードプロファイル。“string”には下記のいずれかを指定 GAU: ガウシアンモードプロファイル STE: ステップインデックス FIL: ユーザ定義プロファイル。モードプロファイルはファイルから読み込み
MXH int	ノンシーケンシャル面において光線がこの面に到達する最大回数 (この回数までに制限)
NA real_val	像側開口数
NAO real_val	物体側開口数
NGIC int	GRIN 係数の数
次ページに続く	

前ページから続く	
NSS int	ノンシーケンシャル面の設定 int = 0 : 通常のシーケンシャル面 int = 1 : NSS 面
NTOF int	公差関数の数
OSP spectrum_name	光学スペクトラム。スペクトラム名を osp.dat ファイルで定義
PCO real_val	部分分散比 $P_{C,s}$ のオフセット量
PGO real_val	部分分散比 $P_{g,F}$ のオフセット量
PLSC ...	OpTaliX の内部パラメータ。定義の必要なし (プロットスケール)
POL int	偏光の取り扱いの規定 int = 0 : 偏光を無視 int = 1 : 偏光を考慮
POL1 val_x val_y val_ph	入力波 1 の偏光状態 val_x = X 方向の振幅 val_y = Y 方向の振幅 val_ph = 位相
POL2 val_x val_y val_ph	入力波 2 の偏光状態 val_x = X 方向の振幅 val_y = Y 方向の振幅 val_ph = 位相
PRI val1 ... val11	プライベートガラス。val1..val11 は、WL で定義された波長における屈折率。
PRE real_val	気圧 (mmHg)
PUI real_val	瞳強度 (PUX,PUY と組合せて使用)
PUX real_val	PUI の値に対する相対 X 座標 (基準は入射瞳半径)
PUY real_val	PUI の値に対する相対 Y 座標 (基準は入射瞳半径)
RAG real_val	公差: ラジアル方向への屈折率勾配 (2 次勾配)
RAY string val1 ... val5	入射瞳でのユーザ定義光線の座標 string = 光線のタイプ val1 = 光線の X 座標 val2 = 光線の Y 座標 val3 ... val5 = X, Y, Z 方向の方向余弦
RAIM int	光線探索法の指定 int = 0 : 光線は近軸入射瞳に向かう (逐次探索はしない) int = 1 : 光線は実絞りを繰返し追跡 (逐次探索をする) int = 2 : テレセントリック光線による追跡
RAIT real_val	実絞り面における光線探索誤差の最大許容量 (mm)
RCX val	物体面における波面の曲率半径 (XZ 断面)
RCY val	物体面における波面の曲率半径 (YZ 断面)
次ページに続く	

前ページから続く	
REF int	参照波長番号
REM int string	注釈。“int”は面番号。“string”は注釈テキスト(80文字まで)
SREF iref val1 ... val7	面の参照に関する情報 iref: 参照する面 val1: 参照面間隔 (THR) val2 ... val4: 参照面 iref における X,Y,Z 方向の平行偏芯 val5 ... val7: それぞれ X,Y,Z 軸まわりのティルト
SPLR icoeff rad z_deform	ラジアル・スプライン・デフォメーション。 icoeff: 一連のデフォメーション点の番号 rad: icoeff に対応する面高さ z_deform: icoeff に対応する Z 方向デフォメーション量 (mm)
SUR int	面の識別子。各コマンドで面番号を省略した際に仮定される番号
SUT string	面のタイプ
STO	(この) 面は実絞り面
TEM real_val	雰囲気温度 (°C)
TGR int	(FFT 変換における) 変換グリッドのサイズ
THI real_val	次の面までの間隔
TILT val1 ... val6	面のティルトおよび平行偏芯 val1 ... val3: X,Y,Z 方向の平行偏芯 val4 ... val6: それぞれ X,Y,Z 軸まわりのティルト
TLM int	ティルトモード
TOLC fkn_tol string	fkn_tol: 公差評価関数の許容限界値 string: 公差評価関数の識別名
TOCM int	公差の補償 (コンペンセーション) 方法 int = 0: 補償しない int = 1: バックフォーカスで補償 int = 2: 最適化機能を利用して補償
TOPM int	± 敏感度の計算 int = 0: 計算しない int = 1: 計算する
TRA int	透過率の計算における材料吸収の取扱い int = 0: 吸収を無視 int = 1: 吸収を透過率計算に反映させる
VERS real_val	バージョン番号
VAR ...	最適化における設計変数
VARZ ...	最適化におけるズーム変数
WL val1 ... val11	評価波長 (単位はミクロン)
次ページに続く	

前ページから続く	
WRX val	ビームウエストの X 方向半径 (mm)
WRY val	ビームウエストの Y 方向半径 (mm)
WTW int1 ... int11	波長の重み。0 から 100 までの整数で指定。
XDE real_val	X 方向の平行偏芯量
YDE real_val	Y 方向の平行偏芯量
ZDE real_val	Z 方向の平行偏芯量
ZOO	多重化 (ズーム) 化されたパラメータの名称
ZPOS int	ズームポジション数
ZRN val1 ... val40	ツェルニケ係数
ZWX val	X 方位におけるビームウエスト位置 (物体面に対して)
ZWY val	Y 方位におけるビームウエスト位置 (物体面に対して)

32.3 多層膜コーティングに関するファイルフォーマット (Multilayer Configuration File Format “.otc”)

多層膜コーティングに関するファイルは通常、`$i¥coatings` ディレクトリに保存されます。ここで `$i` は、OpTaliX のインストールディレクトリ、つまり実行可能な OpTaliX プログラムが保存されているディレクトリです。しかし、“`optix.cfg`” ファイルの COATING エントリを編集すれば、別のコーティングディレクトリに指定を変更することもできます。

コーティングに関するパラメータは標準的な書式なし ASCII ファイルに保存されます。このファイルの拡張子は “.OTC” です。このファイルの各行において、コーティングに関する設定項目の種類はキーワードで識別します。キーワードとそれに対応するパラメータは次のとおりです。

VERS	コーティングファイルを作成した OpTaliX のバージョン番号
COM string	コメント文字列を コーテーションマークで括って指定。コメント文字列の長さは 256 文字までです。例: COM "AR-Coating for visible"
NLY real_val	層の数 (膜への入射空間の媒質と出射空間の媒質 (一般に空気と基板) は数えません)
LAM0 real_val	主波長 (単位はミクロン)
LAM1 real_val	最短波長。プロット時のみ必要。
LAM2 real_val	最長波長。プロット時のみ必要。
TSMIN TSMAX	透過率プロットの最小と最大の範囲。パラメータの範囲は 0 から 1 です。プロット時のみ必要。
RSMIN RSMAX	透過率プロットの最小と最大の範囲。パラメータ範囲は、0 から 1 です。プロット時のみ必要。
ANGLE real_val	光線入射角度 (度)。プロット時のみ必要。
PLOT_S	S 成分のプロット 0 = しない, 1 = する
PLOT_T	T 成分のプロット 0 = しない, 1 = する
PLOT_A	平均成分のプロット 0 = しない, 1 = する
次ページに続く	

前ページから続く	
LOG int_val	結果を対数圧縮して表示するかどうか選択。0 = しない, 1 = する FLOOR と併用してください。
FLOOR real_val	結果を対数圧縮して表示する際の下限值です。例えば FLOOR -3.0 であれば、プロットの際に表示される最小値は 0.001 です。
SHOWTARG int_val	設計目標値を分光透過率/反射率のプロット中に表示するか否か。0 = しない, 1 = する
PLOT_COL col1 col2 col3	S,P, 平均成分それぞれのプロット色の定義。色設定 col1 col2 col3 は 24bit RGB カラー空間に対応しており、red + green*256 + blue*256**2 で規定されます。
LAY	層の番号。膜への入射前の媒質には層番号 1 が付与され、以降 1 ずつ大きな番号が付きます。最終層の層番号は NL+2 です。この層は基板に対応します。
GLA	膜材料名です。64 文字まで設定できます。ただし、空白文字や制御文字 (リターンコードやタブコードなど) を含めることはできません。OpTaliX のガラスカタログに登録されているどの材慮でも指定できます。または IND を使って屈折率を直接定義します。屈折率 (IND 参照) を使用します。ただし、屈折率分散を考慮させる場合には必ず材料名で指定しなくてはなりません。
OTH	LAMO を用いて定義した波長を基準単位とする光学的膜厚。つまり位相膜厚。膜に鉛直に計った値。
PTH	物理的膜厚 (mm)。このパラメータはオプション。OTH が指定されていない場合に限り、物理的膜厚 (PTH) から OTH が換算されます。
IND [layer_num]	複素屈折率。この屈折率は全波長に対して適用されます。屈折率分散の影響は無視されます。分散を考慮する必要がある場合は、IND ではなく、GLA を使ってください。layer_num はファイルの可読性を向上させるためだけに用いられているオプションです。層の番号には影響を与えません (層の番号を増加させるには LAY だけを単独で記述する必要があります)。
PICKUP i_mat i_thi	膜材料や膜厚を、それよりも先行する面の値と一致させる (ピックアップする) ための設定です。i_mat は膜材料のピックアップ対象となる層の番号。i_thi は膜厚に関する層の番号です。
PFAC real_val	膜の充填密度です。0 から 1 の間の数値で指定します。ただし現状では計算に反映されません。

あらかじめ OpTaliX が規定している膜材料の屈折率はファイル `coat.asc` に格納されています。それに追加して膜材料を定義する場合はファイル `coatp.asc` が使われます。また、どの層にどのような膜材料が使われるかは、コーティングファイル `*.otc` に多層膜データとして定義されます。コーティングファイルにおける膜材料の特性は表 32.4 に示す書式で定義されます。

表 32.4: コーティングファイルに埋め込まれる膜材料データの書式

<pre> BEGIN MATERIAL mat_name DATA lam n k DATA lam n k ... END MATERIAL </pre>	“BEGIN MATERIAL” および “END MATERIAL” に挟まれた行範囲において膜材料の屈折率を定義します。屈折率の実部と虚部 (n,k) はコーティングファイル (*.otc) に埋め込まれます。膜材料名、mat_name は 64 文字以内に設定してください。DATA は、それに続いてパラメータ lam, n, k が定義されていることを示します。ここで、lam は波長 (μm) を示し、n と k はそれぞれ複素屈折率の実部と虚部を示します。
---	---

コーティングファイルの例:

```

VERS = 2.82
COM = "Antireflection coating for visible range"
NLY = 4
LAM0 = .5460000
LAM1 = .4000000
LAM2 = .8000000
TSMAX = .0000000e+00
TSMIN = .0000000e+00
RSMAX = .5000000e-01
RSMIN = .0000000e+00
ANGLE = .0000000e+00
PLOT_S = 1
PLOT_T = 1
PLOT_A = 1
LAY = 1
  GLA =
  OTH = 0.0000000e+00
  PTH = 0.0000000e+00
  IND = 1.0000000 0.0000000e+00
LAY = 2
  GLA = mgf2
  OTH = 0.24819737
  PTH = 0.98300005e-04
  IND = 1.3785938 0.0000000e+00
LAY = 3
  GLA =
  OTH = 0.50558242
  PTH = 0.12960001e-03
  IND = 2.1300000 0.0000000e+00
LAY = 4
  GLA =
  OTH = 0.20545055
  PTH = 0.68400003e-04
  IND = 1.6400000 0.0000000e+00
!
BEGIN MATERIAL NewMat
  DATA 0.45 1.50 0.0001
  DATA 0.55 1.48 0.0002
  DATA 0.65 1.46 0.0003
END MATERIAL

```

注意:

キーワードとパラメータは“=”記号で分離します。1行に複数のパラメータを入力する場合は、“;”を使うか、あるいは1文字以上の空白で区切ります。OpTaliXは下記のどの書式をも正確に解釈します。

```
IND 1.521 0.0d0
IND = 1.521 0.0d0
IND = 1.521,0.0d0
```

32.4 ツェルニケのデフォメーションに関するファイルフォーマット (Zernicke Deformation File Format “.znr”)

ツェルニケ係数をファイルから読み出すことは容易です。各係数は自由書式のASCIIファイルに登録されています。ファイルは拡張子“.znr”を持ちます。ファイルの各行は係数の番号と係数そのものを含みます。

```
coeff_no coefficient
```

係数とパラメータは1つ以上の空白文字で区切ります。“!”マーク以降の記述はコメントであるとみなされます。正しく作成したツェルニケ係数ファイルの例を示します。

```
! Zernike coefficients at surface 1
! here follows more descriptive text
1 0.0003
3 1.743E-5
14 0.1 ! this is coefficient no. 14
16 -2.345d-12
! end of Zernickes
```

1つの面あたり、ファイルを1つ必要とします。つまり、別の面に対する係数は、別のファイルに保存する必要があります。ファイル名はDOSの慣習に従い8.3形式(ファイル名8文字、拡張子3文字)でつけます。ロングファイル名を使うこともできますが、その場合にはファイル名全体をコーテーションマークでくくる必要があります。例えば、

```
"this is my file.txt"
```

32.5 動径スプライン・デフォメーションに関するファイルフォーマット (Radial Spline Deformation File Format)

ラジアルスプライン・デフォメーション係数をファイルから読み出すことは容易です。各係数は自由書式のASCIIファイルに登録されています。ファイルの各行は2つの実数を含みます。

```
radial_distance deformation
```

ここで、

```
radial_distance は、サンプル点までのラジアル距離 (光軸高)
deformation     サンプル点のデフォメーションです。
```

パラメータは1つ以上のblankで区切ります。“!”マーク以降の記述はコメントであるとみなされます。正しく作成したラジアルデフォメーション係数ファイルの例を示します。

```
! Spline deformation at surface 1
  ! here follows more descriptive text
1.234    0.0003
3.5 1.743E-5
4.56      0.1      ! deformation is +0.1mm at 4.56mm radial height
  5.9 -2.345d-12
! end of deformations
```

1つの面あたり、ファイルを1つ必要とします。つまり、別の面に対する係数は、別のファイルに保存する必要があります。ファイル名はDOSの慣習に従い8.3形式(ファイル名8文字、拡張子3文字)でつけます。ロングファイル名を使うこともできますが、その場合にはファイル名全体をコーテーションマークでくくる必要があります。例えば、

```
“this is my file.txt”
```

32.6 ニュートン原器に関するファイルフォーマット (Test Plate File Format “.tpl”)

ニュートン原器のリスト(TPL)は書式なしのASCIIファイルに保存されています。各ニュートン原器は4つのパラメータを1行に記述することで登録してあります。

```
plate_ID      RADIUS      MAX_DIAM      CVCX
```

ここで、

PLATE_ID	固有の識別文字列
RADIUS	曲率半径 (mm)
MAX_DIAM	原器直径
CVCX	原器の入手可能性 -1 = 凹面原器のみ 使用可能 0 = 凹凸両面の原器が使用可能 1 = 凸面原器のみ 使用可能

“!”マーク以降の記述はコメントであるとみなされます。タブも使えますが、1文字とblankとして解釈されます。コメント行の数に制約はありません。

一例として、原器ファイルの最初の数行を示します。

```
! My Company Inc.
!
10000-1 1.00000 1.96 0
14330-1 1.43220 2.81 0
```

```
15679-1 1.56800 3.07 0
20833-1 2.08320 4.08 0
21288-1 2.12880 4.17 0
```

32.7 溶解ガラスのファイルフォーマット (Melt Glass File Format “.ind”)

波長と実測屈折率をペアにして拡張子 “.ind”(必須) を持つファイルに格納します。このファイルは書式なしの ASCII ファイルです。各データペアはそれぞれ 1 行に記述しなくてはなりません。波長は μm で指定します。パラメータ間は 1 つ以上のブランクで区切ります。“!” マーク以降の記述はコメントであるとみなされます。溶解ガラスの典型的なデータファイルの例は次のとおりです。

```
! wavel.    index
  0.435800  1.825150
  0.480000  1.816510
  0.486100  1.815500
  0.546100  1.807510
  0.587600  1.803390
  0.643800  1.799020
  0.656300  1.786080
!
! Data for Schott Lasfn30, batch no. 123456-1
```

32.8 GRIN レンズの屈折率分散に関するファイルフォーマット (GRIN Dispersion Coefficients File Format)

屈折率分布型材料 (GRIN) の屈折率分散データは、GLASS ディレクトリの `grindisp.asc` ファイルに登録されています。屈折率分散の係数には名前が割り当てられており、[GDISP](#) コマンドで参照できます。`grindisp.asc` ファイルは 10 行単位のブロックを複数持っています。ファイルフォーマットの構造は次のとおりです。

```
Dispersion name
min_wavelength  max_wavelength
ref_wavelength
K_max  L_max
K11  K12  K13  K1K_max
K21  K22  K23  K2K_max
K31  K32  K33  K3K_max
L11  L12  L13  L1L_max
L21  L22  L23  L2L_max
L31  L32  L33  L3L_max
```

材料を追加する場合は、既に登録された材料の直後に 1 ブロック (10 行) 登録します。ブロック間にはブランク行をいれてはいけません。ブロックは連続して登録しなければなりません。

屈折率分散名で定義される分散係数は、面に材料名 GRIN が必要です。あらかじめ OpTaliX に登録済みの屈折率分布型材料をユーザ定義の屈折率分散係数と組み合わせることはできません。現状では、LightPath (LTP) 社型の分布と、ロチェスタ大学型 (URN) の分布においてのみ、屈折率分散係数と組み合わせられます。

2 種類の屈折率分散タイプ、“GLAK”と“GSF”を含む `grindisp.asc` のサンプル:

```
GLAK
0.365 0.725
0.58756
4 1
0.00522664 0.0206983 -0.00450304 0.006873
0.0472841 0.0429402 -0.00724884 -0.0445419
0.988601 0.057962 0.0941671 0.152672
0.0421634
0.0368588
110
GSF
0.38 2.2
0.58756
6 3
-0.0683636 -0.0323639 -0.0286748 -0.0169163 0.00256909 0.0174719
-0.00109783 0.0334663 0.0388098 0.0370413 0.017429 -0.0405421
0.931075 -0.0306245 -0.0392756 -0.0423487 -0.0256629 0.0437821
0.00498103 0.000410271 2.44E-05
0.082168 0.0343531 -0.0337717
110 0.000285988 0.000362547
```

32.9 GRIN レンズ (カタログ品) に関するファイルフォーマット (GRIN Catalogue Glasses File Format (`grin.asc`))

既存のカタログ品など、あらかじめ屈折率分布が定義された GRIN レンズの屈折率分布関数は、自由書式の ASCII ファイル、`$i¥glasses¥grin.asc` に保存されています。ファイル中の各データは 1 文字以上の空白文字で分離します。連続する複数の空白文字は 1 文字であるとみなされます。

免責事項: `grin.asc` に記載された各データは、その妥当性と正確性を確保するために細心の注意をもって取り扱われています。したがって Optenso 社はこのファイルを編集することをお勧めしません。ユーザがこのファイルを改変されることによってもたらされる結果は、ユーザご自身の責に帰するものである旨、あらかじめご理解をお願いします。不適切なデータの投入は OpTaliX がハングアップする可能性があるばかりでなく、誤った計算結果を生ずる原因になります。

`grin.asc` の最初の行はコメントであり、事実上、何の意味ももっていません。続く各行は、個別の GRIN 材料の屈折率分布と分散係数を含みます。最初の 12 個のデータはすべての GRIN 材料に対して共通であり、それぞれの意味は下記のとおりです。

データ番号	データの意味
1	GRIN タイプ
2	材料名
3	等価な材料名 (つまり別名など)
4	分布式のタイプ
5	係数 K_{ij} の数
6	係数 L_{ij} の数
7	参照波長 (μm)
8	適用可能な最短波長 (μm)
9	適用可能な最長波長 (μm)
10	未使用 (将来のために予約)
11	比重 g/cm^3
12	線膨張係数 (CTE)
13 - 70	屈折率分布および分散係数 (下記参照)

13 番目以降のデータは、屈折率分布および分散係数に関するものです。屈折率分布係数が先行し、その後 分散係数が続きます。係数の数は GRIN のタイプによって異なるので、タイプごとに書式もまた異なります。例えば、日本板硝子社の SELFOC レンズ (SEL タイプ) の場合には n および $\sqrt{A}$ という 2 つの係数によって分布が記述されます。したがって屈折率の分布係数は 13 番目と 14 番目 (12+1 番目 および 12+2 番目) のデータとして記述され、それに続いて分散係数が 15 番目から始まります。

LightPath 社のレンズ (LPT タイプ) は 11 個の屈折率分布係数を必要としますから、13 番目から 23 番目のパラメータにそれが記述され、24 番目以降に分散係数が記述されます。

32.10 INT ファイルフォーマット (INT File Format “.int”)

干渉法によるデフォーメーションを拡張子 “.int” をもつファイルに保存します。このファイルは通常 INT ファイルと呼ばれます。INT ファイルは格子状に分割した面形状のデフォーメーション、波面パターベーション、強度アポダイゼーションフィルタ、ラジアルデフォーメーションあるいはツェルニケ多項式などを幅広く表現できます。OpTaliX がサポートするのはその一部 (サブセット) です。いまのところ、面のデフォーメーション、波面パターベーション、強度アポダイゼーションフィルタを 2 次元を (格子) データとして取り扱えます。

INT ファイルは 80 文字以内を 1 レコード (テキストエディタ上の 1 行) とする可変長の ASCII ファイルです。レコードの終了を示す文字は CR (carriage return, 16 進の ASCII コードで 0dH) です。各ファイルは 3 つの主要なセクションで構成されます。

1. **タイトル:** 80 文字以内の 1 レコード長からなる記述情報です。“!” で始めてはいけません。
2. **パラメータ:** 次レコード以降に含まれるコードやデータを解釈するための情報が記述されます。格子化された 2 次元データの場合、その書式は、GRD x_size y_size SUR|WFR|FIL WVL wavelength SSZ scale_size
[NDA no_data_value]
各記述が意味するところは次のとおりです。

GRD x_size y_size: 修飾子 “GRD” は格子データを表します。省略できません。x_size と y_size は X,Y 方向の格子点の数です。

SUR|WFR|FIL: データ内容を示します。SUR あれば面のデフォメーション。WFR であれば波面のパータバージョン。FIL であれば強度アポダイゼーションフィルタ

SUR: データとして記述される内容が、面のデフォメーションであることを示します。

WFR: データとして記述される内容が、波面のパータバージョンであることを示します。

FIL: データとして記述される内容が、強度アポダイゼーションフィルタであることを示します。

SSZ scale_size: デフォメーションの 1 波長に対応する入力データの値を定義

WVL wavelength: 干渉縞の観測波長 (単位はミクロン)

NDA no_data_value: indexNDA@NDA—seeINT-file 欠測値と解釈すべき値。この値がデータとして記述されていても解釈上は無視します。たとえば光線がブロックされている領域の波面データに適用します。

3. 格子データ: -32768 から 32768 の範囲の整数で与えます。各レコードには 10 個のデータを入力します。全データを入力できるだけの十分なレコード数を使います。入力データの総数は x_size・y_size の積と一致する必要があります。

グリッドフォーマットの例:

```
0019-002-009 Time: 10:58:22 Date: 02/13/01
GRD 368 240 SUR WVL 0.632800 SSZ 24131 NDA 32767 XSC 0.857143
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
|
4763 4722 4723 4674 4621 4619 4583 4305 4204 4225
4140 4017 3945 3834 3693 3723 3605 3515 3548 3461
3442 3477 3333 3275 3167 3154 3035 2886 2767 2767
2619 2619 2505 2436 2449 2392 2366 2099 1927 1927
|
-4844 -4844 -4829 -4756 -4685 -4672 -4567 -4536 -4483 -4427
-4319 -4205 -4113 -4018 -3908 -3818 -3774 -3684 -3589 -3501
-3400 -3318 -3226 -3170 -3089 -3000 -2936 -2810 -2680 -2559
|
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767 32767
```

32.11 PSF ファイルフォーマット (PSF File Format)

点像分布関数 (PSF) の強度分布は ごく一般的なアスキー形式のファイルに保存されます。このファイルは、N 行 N 列のマトリクスに PSF データを配置したものとなっています。ここで N は、NRD コマンドにあらかじめ設定された瞳の分割数と、次の関係にあります。

$$N = 4 \cdot \text{NRD}$$

したがって、PSF の計算を 32×32 のグリッド光線 (NRD 32) で行ったとすると像面上に得られる PSF の強度分布マトリクスは 128×128 になります。ファイルに保存されるデータも同様に、128 列 128 行です。データの区切りは空白文字です。

保存されるアスキー形式のファイルには、PSF データだけが記録されます。ヘッダー等の説明書きは含まれません。データ形式の説明のため、保存されたファイルの一部を抜粋して下記に示します。

```

0.0027 0.0047 0.0061 0.0069 0.0072 0.0072 0.0072 0.0069 0.0061 0.0047 0.0027 0.0010
0.0067 0.0079 0.0078 0.0071 0.0064 0.0061 0.0064 0.0071 0.0078 0.0079 0.0067 0.0043
0.0073 0.0059 0.0041 0.0030 0.0026 0.0026 0.0026 0.0030 0.0041 0.0059 0.0073 0.0071
0.0040 0.0028 0.0038 0.0065 0.0091 0.0102 0.0091 0.0065 0.0038 0.0028 0.0040 0.0061
0.0035 0.0083 0.0161 0.0238 0.0290 0.0308 0.0290 0.0238 0.0161 0.0083 0.0035 0.0032
0.0119 0.0235 0.0336 0.0394 0.0417 0.0423 0.0417 0.0394 0.0336 0.0235 0.0119 0.0041
0.0259 0.0363 0.0387 0.0369 0.0358 0.0357 0.0358 0.0369 0.0387 0.0363 0.0259 0.0119
0.0363 0.0371 0.0335 0.0401 0.0565 0.0655 0.0565 0.0402 0.0335 0.0371 0.0363 0.0235
0.0387 0.0335 0.0491 0.1088 0.1872 0.2240 0.1872 0.1088 0.0491 0.0335 0.0387 0.0336
0.0369 0.0401 0.1088 0.2684 0.4501 0.5313 0.4501 0.2684 0.1088 0.0402 0.0369 0.0394
0.0358 0.0565 0.1872 0.4501 0.7338 0.8579 0.7338 0.4502 0.1872 0.0565 0.0358 0.0417
0.0357 0.0655 0.2240 0.5313 0.8579 1.0000 0.8580 0.5314 0.2240 0.0655 0.0357 0.0423
0.0358 0.0565 0.1872 0.4501 0.7338 0.8579 0.7338 0.4502 0.1872 0.0565 0.0358 0.0417
0.0369 0.0401 0.1088 0.2684 0.4501 0.5313 0.4501 0.2684 0.1088 0.0402 0.0369 0.0394
0.0387 0.0335 0.0491 0.1088 0.1872 0.2240 0.1872 0.1088 0.0491 0.0335 0.0387 0.0336
0.0363 0.0371 0.0335 0.0401 0.0565 0.0655 0.0565 0.0402 0.0335 0.0371 0.0363 0.0235
0.0259 0.0363 0.0387 0.0369 0.0358 0.0357 0.0358 0.0369 0.0387 0.0363 0.0259 0.0119
0.0119 0.0235 0.0336 0.0394 0.0417 0.0423 0.0417 0.0394 0.0336 0.0235 0.0119 0.0041
0.0035 0.0083 0.0161 0.0238 0.0290 0.0308 0.0290 0.0238 0.0161 0.0083 0.0035 0.0032
0.0040 0.0028 0.0038 0.0065 0.0091 0.0102 0.0091 0.0065 0.0038 0.0028 0.0040 0.0061
0.0073 0.0059 0.0041 0.0030 0.0026 0.0026 0.0026 0.0030 0.0041 0.0059 0.0073 0.0071

```

32.12 光線ファイルフォーマット (Ray File Format)

多数の光線の集合あるいは光線のセットは、光線光源または体積光源として取り扱えます。この章では、そのファイル書式について説明します。光線は下記いずれかのコマンドによりファイルに保存できます。

RAYLOG

任意の面における光線追跡結果をアスキー形式のファイルに保存します。

VIE SRC

光源ビューからファイルに保存することも可能です。この場合には、アスキー形式だけでなく、バイナリ形式にも対応できます。

32.12.1 汎用の光線書式 (General Ray Format)

光線のデータは、光線の通過点座標 (X,Y,Z) および進行方向の方向余弦 (CX, CY, CZ) とその強度 (Int) によって記述されます。

X,Y,Z	指定の面に到達した光線の XYZ 座標
CX,CY,CZ	視点の面に到達した光線の方向余弦
Int	光線の相対強度

光線情報は、1 組ごとに (X Y Z CX CY CZ Int) 1 行に書き出されます。各データは、空白 (ブランク) で区切られます。

32.12.2 光線データファイル：アスキー形式の場合 (Ray Data in ASCII Format)

ヘッダ情報を 1 行だけでもアスキー形式の光線データファイルの例です。

```

!      X      Y      Z      CX      CY      CZ      Int
0.4989970E-05 -0.4989970E-05 0.000000 -0.0103698 0.0103698 0.9998924 0.278626
0.1225654E-04 -0.2451308E-04 0.000000 -0.0103690 0.0207380 0.9997311 0.278469
0.2378184E-04 -0.7134551E-04 0.000000 -0.0103677 0.0311031 0.9994624 0.278206
0.3868464E-04 -0.1547386E-03 0.000000 -0.0103659 0.0414639 0.9990862 0.277838
0.5572287E-04 -0.2786143E-03 0.000000 -0.0103638 0.0518190 0.9986027 0.277364

```



```

0.7328871E-04  -0.4397322E-03  0.000000  -0.0103613  0.0621679  0.9980119  0.276783
0.8939704E-04  -0.6257793E-03  0.000000  -0.0103585  0.0725100  0.9973138  0.276093
0.1016761E-03  -0.8134084E-03  0.000000  -0.0103556  0.0828455  0.9965085  0.275293
0.1073549E-03  -0.9661943E-03  0.000000  -0.0103528  0.0931753  0.9955958  0.274383
0.1032513E-03  -0.1032513E-02  0.000000  -0.0103500  0.1035008  0.9945755  0.273359
.....

```

アスキー書式の場合には、光線データに先行してヘッダ行を何行でも記録できます。ただし、ヘッダ行の最初の文字は “!” マークでなくてはなりません。

32.12.3 光線データファイル：バイナリ形式の場合 (Ray Data in Binary Format)

バイナリ形式で光線データファイルを生成すれば、きわめて小さなファイルサイズに収められます。しかしその程度は PC のオペレーティングシステムに依存します。バイナリ形式の光線データは、常に単精度で保存されます。光線データに先行して、140 バイトのヘッダが必ず配置されます。

パラメータ	バイト	内容
ヘッダ	140	光線データに先行するヘッダ行。任意の情報を記録可能。ブランク文字も可。
X	8	参照座標系における光線の X 座標。
Y	8	参照座標系における光線の Y 座標。
Z	8	参照座標系における光線の Z 座標。
CX	8	光線の X 方向の方向余弦。
CY	8	光線の Y 方向の方向余弦。
CZ	8	光線の Z 方向の方向余弦。
Int	8	光線がもつ強度。相対値。

下記に示す FORTRAN 言語のソースプログラムは、OpTaliX のバイナリ書式で光線データを書き出すための一例をテンプレートとして示すものです。読み込みの場合も同様です。

```

! Declarations:
      real                :: dx,dy,dz,dcx,dcy,dcz,di
      character (len=140) :: header,filename
      integer             :: nrays, iunit = 12

! Open unit:
      open(iunit, file=filename, access='TRANSPARENT', &
           form='BINARY', status='UNKNOWN', action='WRITE')

! Write header:
      header = 'OpTaliX ray data'
      write(iunit,'(A)') header

! Write ray data:
      do k = 1,nrays
         write(iunit, err=600) dx,dy,dz,dcx,dcy,dcz,di
      end do

```

```
        enddo

! Close unit:
600      close(iunit)
```

参考文献

- [1] Aberrator: <http://www.aberrator.astronomy.net/>
- [2] J.A. Arnaud, "Hamiltonian Theory of Beam Mode Propagation", Progress in Optics, Vol.11, E. Wolf Ed. (Amsterdam 1973)
- [3] M.Berek, "Grundlagen der praktischen Optik", Walter de Gruyter & Co. , Berlin 1970, Nachdruck der 1.Auflage 1930
- [4] M.Born, E.Wolf, "Principles of Optics", 6th edition, Pergamon Press
- [5] Breault Research Organization, <http://www.breault.com/>
- [6] E.Oran Brigham. "FFT, Schnelle Fouriertransformation", Oldenburg Verlag, München,Wien 1982
- [7] H. A. Buchdahl, "Many-color correction of thin doublets", Applied Optics, Vol. 24, No. 12, June 1985
- [8] Cargille Laboratories Inc., 55 Commerce Rd., Cedar Groove, N.J. 07009, USA
- [9] A.E. Conrady, Mon. Not. Royal astr. Soc., 64 (1904) 182
- [10] J.E. Dennis Jr., R.B. Schnabel, "Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1983)
- [11] Donald P. Feder, "Automatic optical design", Appl. Opt., Vol.2, No.12, Dec. 1963, pp. 1209
- [12] W.G.Driscoll, W.Vaughan, "Handbook of Optics" Mc.Graw Hill, 1978, ISBN 0-07-047710-8
- [13] A. Ghatak, K. Thyagarajan, "Optical Electronics", Cambridge University Press, 1989, ISBN 0 512 30643 4
- [14] P.E. Gill, W.Murray, M.A. Sanders and M.H. Wright, "Model building and practical aspects of non-linear programming", Computational Mathematical Programming (edited by K. Schittkowski), NATO ASI series, 15, Springer-Verlag, Berlin, Germany (1985)
- [15] D. Gloge, "Weakly Guiding Fibers", Appl.Opt., Vol.10, No.10, Oct.1971, pp.2252-2258
- [16] D. S. Grey, "The inclusion of tolerance sensitivities in the merit function for lens optimization", SPIE Vol. 147, Computer-Aided Optical Design (1978).
- [17] J.W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, New York, (1988), 2nd edition
- [18] H.Haferkorn. "Optik, Physikalisch technische Grundlagen und Anwendungen". Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/M. 1981

- [19] H.Haferkorn, "Bewertung optischer Systeme", VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1986, ISBN 3-326-00000-6
- [20] R.Herloski, S.Marshall, R.Antos, "Gaussian beam ray-equivalent modeling and optical design", Appl.Opt. 22, No.8, pp. 1168-1174, April 1983
- [21] J.L.Houghton, US Patent 2,350,112 (30.May 1944)
- [22] R.A. Hull, "Transmission of light through a pile of parallel plates", Proc.Phys.Soc., 574-575 (1936)
- [23] M.Isshiki et.al., "Lens Design: Global optimization of both performance and tolerance sensitivity", SPIE, Vol. 6342, International Optical Design Conference 2006
- [24] M.J. Kidger, "Intermediate Optical Design", SPIE Press monograph, PM 134, ISBN 0-8194-5217-3
- [25] T.Kita et.al., Appl.Opt., Vol. 22, No.4, pp. 512
- [26] W.A. Kleinbans, "Aberrations of curved zone plates and Fresnel lenses" Appl. Opt. 16, pp. 1701-1704, (1977)
- [27] H.W. Kogelnik, T.Li, Appl.Opt. 5, 1550 (1966)
- [28] F. Kohlrauch, "Praktische Physik", 1968, Vol.1, p.408.
- [29] M. Laikin, "Lens Design", 3rd edition, Marcel Dekker Inc., (2001)
- [30] K. Levenberg, "A method for the solution of certain problems in least squares", Quarterly of Applied Mathematics, 2, 164-168
- [31] R.J.Lurie, "Anastigmatic Catadioptric Telescopes", Journal of the optical society of America (JOSA), Vol.65(3), 1975, p261-266,
- [32] H.A. Macleod, "Thin-film optical filters", 2nd Ed., Adam Hilger Ltd., Bristol ISBN 0-85274-784-5
- [33] D.Malacara, "Diffraction Performance Calculations in Lens Design", SPIE, Vol.1354, June 1990, pp.2-14
- [34] D.Malacara, "Handbook of Lens Design", Marcel Deccer, Inc., (1994), ISBN 0-8247-9225-4
- [35] D.Marquardt, "An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters" SIAM Journal on Applied Mathematics, 11, 431-441
- [36] M.Mansuripur, "Classical Optics and its Applications", Cambridge University Press, (2002), ISBN 0 521 80093 5
- [37] R. I. Mercado, "Design of apochromats and superachromats", SPIE Critical Review Vol. CR41, Lens Design, ed. Warren J.Smith (Jan 1992).
- [38] R.C.Millard, G.Seaver, "An index of refraction algorithm for seawater over temperature, pressure, salinity, density and wavelength", Deep-Sea Research, Vol. 37, No.12, pp.1909-1926, (1990)
- [39] OpsiraGmbH, Leibnitzstr. 20, D-88250 Weingarten, Germany, <http://www.opsira.de>
- [40] Matthew P. Rimmer, "Ray tracing in inhomogeneous media", SPIE Proc. 399, p.339, (1983)

- [41] Matthew P. Rimmer, "Relative illumination calculations", SPIE Proc. 655, p.99, (1986)
- [42] M.J.D. Powell, "A fast algorithm for nonlinearly constrained optimization calculations", Numerical Analysis Proceedings, Dundee 1977, Lecture Notes in Mathematics (edited by G.A. Watson), 630, pp.144-157, Springer-Verlag, Berlin, Germany
- [43] Radiant Imaging, <http://www.radimg.com/index.htm>
- [44] J.L. Rayces, L.Lebich, "Modeling of diffractive optical elements for optical design", SPIE Vol. 2000, pp. 43, 0-8194-1249-X/93
- [45] P.N.Robb, R.I.Mercado, "Calculation of refractive indices using Buchdahl's chromatic coordinate", Appl.Optics, Vol.22, No.8, April 1983, pp.1198
- [46] J.B.Scarborough, "Numerical Mathematical Analysis", Johns Hopkins U.P., Baltimore, 1966; Chap.13, Article 116.
- [47] SCHOTT Glaswerke, "Dispersionsformel fuer die Temperaturkoeffizienten der Brechzahlen von Glaesern". Technische Information Nr. 19 (4/1988) der Schott Glaswerke, Postfach 2480, D-6500 Mainz.
- [48] A.Sharma, D.V.Kumar, A.K.Ghatak, "Tracing rays through graded-index media: a new method", Applied Optics, Vol.21, No. 6, March 1982
- [49] A.E. Siegman, Proc. SPIE 1224, 2, 1990
- [50] Gordon H. Spencer, "A flexible automatic lens correction procedure", Appl. Opt., Vol.2, No.12, Dec. 1963, pp. 1257
- [51] W.C. Sweatt, "Describing holographic optical elements as lenses" J.Opt.Soc.Am. 67, pp.803-808, 1977
- [52] W.C. Sweatt, "Mathematical equivalence between a holographic optical element and an ultra-high index lens" J.Opt.Soc.Am. 69, No.3, pp.486-487, 1979
- [53] Y. Tamagawa et.al., "Multilens system design with an athermal chart", Appl.Opt., Vol. 33, No. 34, pp. 8009, Dec. 1994
- [54] Y. Tamagawa, T. Tajime, "Expansion of an athermal chart into a multilens system with thick lenses spaced apart", Opt. Eng. 35(10), pp. 3001, Oct. 1996
- [55] R.E. Wagner, W. J. Tomlinson, "Coupling efficiency of optics in single-mode fiber components", Appl.Optics, Vol.21, pp. 2671-2688 (1982)
- [56] W.T.Welford, "A vector raytracing equation for hologram lenses of arbitrary shape". Optics Communications, Vol.14, No. 3, July 1975, p.322
- [57] E.Waluschka, "Polarization Ray Trace", Optical Engineering, Feb. 1989, Vol.28, No.2
- [58] J.Y.Wang, D.E.Silva, "Wave-front interpretation with Zernike polynomials", Applied Optics, Vol. 19(9), pp. 1510-1518, May 1980
- [59] R.N. Wilson, "Reflecting Telescope Optics I", Springer Verlag Berlin-Heidelberg 1996, ISBN 3-540-58964-3

索引

Symbols

\$c, coating directory	3
\$g, glass directory	3
\$i, installation directory	3
\$t, temporary directory	3
*	3
.....	3
;	3, 17
>	18, 447
?	3
#define	17
#include	458
.....	3
GRO grating order	75

A

A 4 th order aspheric	55
AAP	186
AAS, anamorphic	61
AAS, anamorphic surface	68
ABBE, Abbe number	473
Abbe number	220
Aberrations	
fan curves	241
longitudinal, plot	241
longitudinal, single ray	240
spot diagram	241, 242
third order	253
transverse	241
transverse, plot	241
ADE, x-tilt	101, 197
ADNDT	475
ADX	163
ADY	163
AF autofocus	197
AFO, afocal	29
Afocal	29, 49, 274

maximum frequency	274
AFR	274
AIM	240
Air	233, 399
AIR	218
ALG find alternative glasses	200
Alternative glasses (list)	179
AMX,array max-X	132
AMY	99
AMY,array max-Y	132
Anamorphic asphere	67
AOI, angle of incidence	358, 476
AOR, angle of refraction/reflection	358, 477
AP, 4 th order anamorphic coeff.	68
APD, Exit pupil diameter	471
APD, exit pupil diameter	472
Aperture	
EPD (entrance pupil diam.)	39
NA (num. aperture)	39
NA(num.aperture)	298
NAO (num. aperture, object)	39
circular	162
elliptical	162
fixed	168
hole	162, 167
polygon	165
from file	166
rectangular	162
surface	162
system	38
aplanatic	80
AP02	439
AP03	440
Apochromat	438
three-glass	440
two-glass	439

- Apodization 41, 142, 246, 275
 analysis 246
 filter 142
 AR, 4th order aspheric coeff. 68
 AR0 163
 ARR, array 132
 Array surface/element 59, 131
 ARX, array x-spacing 132
 ARX0, array x-offset 132
 ARY, array y-spacing 132
 ARY0, array y-offset 132
 ASD, aspheric deformation, radial 420
 ASD2, aspheric deformation, 2D 420
 ASF, astigmatic focus shift 33
 ASO, astigmatic source orientation 33
 ASP 54, 60
 Asphere 59, 60
 anamorphic 61, 67, 68
 axicon 72
 biconic 61, 67
 conic section 62
 cylinder 62, 68
 Eccentricity, numerical 63
 Ellipse 64
 even power polynomial 62
 Hyperbola 63
 odd power polynomial 63, 65
 toroidal 69
 type 61
 XY polynomial 71
 Y-toroid 61
 Aspheric deformation
 as 2D surface deformation 422
 in radial direction 420
 Aspheric deviation 419
 ASTD, astigmatic difference on a ray 471
 ASTI 360
 Astigmatic objects 33
 ASTS, sagittal astigmatism on a ray 471
 ASTT, tangential astigmatism on a ray 471
 Athermal Map 436
 ATT, attach coating ... 173, 334, 382, 384, 387, 388
 ATY, asphere type 61, 68
 Auto-correlation 275
 Autofocus 197, 412
 AVG 337
 AXG, tolerance on axial gradient 406
 Axicon 72
- ## B
- B 6th order aspheric 55
 Back focal length 237
 BAS 432
 BDE, y-tilt 101, 197
 BEA Gaussian beam analysis 289
 Beam propagation 319
 BEN
 compound tilts 107
 BEN, bend surface 104
 BFL 44, 237, 358
 Biconic → Anamorphic asphere
 Biocular analysis 270
 convergence 271
 dipvergence 271
 divergence 271
 BLD blaze depth 76
 BLN, number of levels 76
 BLT, blaze type 76
 BMP, Windows Bitmap format 446
 BP, 6th order anamorphic coeff. 68
 BPR, beam propagation 325
 BR, 6th order aspheric coeff. 68
- ## C
- C 8th order aspheric 55
 CAD Export 496
 CAM 430
 CAM, calculate CAM table 431
 Catalog lens import 491
 CDE, z-tilt 101, 197
 CEF, coupling efficiency 294
 CEFDB, coupling efficiency in decibel 294
 CGM, Computer Graphics Metafile 446
 Characteristics matrix 395
 CIND, gradient index surface coating indices ... 203
 CIR 162
 CIY, curvature increment 56
 CLC, colour code 339

- CLOSE 462
- CLS
- clear screen 214
 - coating plot colour 384
 - field plot colour 32
- COA 384
- COA coating 382
- Coating 333
- attach to surface 387
 - calculating 394
 - configuration 382
 - default coating (single layer M_gF_2) ... 334, 388
 - editing 382
 - Group delay 384
 - Group delay dispersion 384
 - index profile 394
 - material editor 393
 - new 386
 - optimal index at GRIN surfaces 202
 - optimization 391, 393
 - phase change 382
 - phase change introduced on optical path .. 388
 - plot colour 384
 - reflectivity 396
 - shorthand entry 386
 - thickness variation 389
 - non-symmetrical 391
 - radial 389
 - transmissivity 396
- Coatings
- colours in plots 384
- coherent 319
- Colour
- coatings 384
 - fields 32
 - longitudinal 256
 - names 485
- Colour code 338
- Colours 8
- COM 45
- COMA 360
- Command
- functions 22
 - lens database items 22, 454
 - line 17, 471
 - parameters 18
 - rules 24
- Command Syntax 18
- Comments 170
- surface 170
- CON conic constant 55
- Configuration data 28
- Conrady D-d aberration 288, 481
- Contrast 363
- Coordinate system 11
- global 12
 - object 12
- Coordinates
- definition 11
 - Euler angles 12
 - global 181
 - tilt angles 12
- COP, COPY 171, 195
- Coupling efficiency 294
- Coupling efficiency 197
- CP, 8th order anamorphic coeff. 68
- CPI curvature pick-up 55
- CPI curvature pickup 93
- CPD curvature pickup offset 93
- CR, 8th order aspheric coeff. 68
- CTV, coating thickness variation 390
- CUX, x-curvature 54, 69
- CUY, y-curvature 54, 69
- CX 359
- CXG, global X-direction cosine of surface normal
471, 477
- CXN, X-direction cosine at ray intersection point 471
- CY 359
- CYG, global Y-direction cosine of surface normal 471,
477
- CYL, cylinder 62, 68
- Cylinder surface 68
- CYN, X-direction cosine at ray intersection point 471
- CZ 359
- CZG, global Z-direction cosine of surface normal 471,
477
- CZN, Z-direction cosine at ray intersection point 471

D

- D 10th order aspheric 55
- Damped-least-squares 345
- DAR, decent. and return 103–105
- DAT, date 214
- DEF 197
- DEF 43, 44
- Default coating 334, 388
- Default file 9
- DEFC, default constraints enable/disable 356
- DEL
 - APE, aperture 163
 - COA, coating 384
 - EPD, (Entrance pupil diam.) 39
 - FNO, (F-number) 39
 - MUL, delete multilayer coating 383
 - NA, (num. aperture) 39
 - NAO, (num. aperture object) 39
 - NSS 90
 - PRE, pressure 402
 - SOL, solve 99
 - TEM, temperature 400
 - TOL, surface tolerance items 404
 - VIG 50
 - plot rays 189
 - RED, reduction ratio 99
 - zoom position 195
- DEL, layer 384
- DEL, surface 173
- Delete
 - coating 384
 - layer 384
 - pickup 97
 - surface 173
 - zoom position 195
- DEZ dezoom 192
- dezoom 191
- Diffraction
 - diagonal field PSF 278
 - efficiency 83, 85
 - Encircled energy 284
 - extended object 281
 - grating 80
 - grid field PSF 279
 - hologram 78
 - interferogram 288
 - Line spread function 284
 - MTF 272
 - PSF 275
 - Strehl ratio 285
 - X/Y cross sections of PSF 280
- DIM 27
- Dispersion 218, 219, 234
 - Abbe number 220
 - offset 218, 234
 - partial 220, 225
 - plot 435
 - partial dispersion offset 235
 - primary 220
- Display
 - interferometric deformation 145
- DIST 360
- Distortion 249
 - afocal 249
 - F-Theta 249
 - grid 251
 - plot 250
- DISX 250, 360
- DISY 250, 360
- DLA, tolerance on X-tilt 406
- DLB, tolerance on Y-tilt 407
- DLF, tolerance on test-plate fit 404
- DLG, tolerance on Z-tilt 407
- DLN, tolerance on index of refraction 405
- DLR, tolerance on radius 405
- DLT, tolerance on axial thickness 405
- DLV, tolerance on dispersion 405
- DLX, tolerance on lateral X-displacement 406
- DLY, tolerance on lateral Y-displacement 406
- DLZ, tolerance on lateral Z-displacement 406
- DMD, Conrady weighted D-d difference 288, 481
- dn/dT 220
- DNDT 178, 400, 475
- DNO, index offset 219, 234
- DO construct, in macros 464
- DOE, diffractive optical element .. → Hologram, 79
- DP, 10th order anamorphic coeff. 68

- DPI distance pick-up 55
- DPI distance pickup 93
- DR, 10th order aspheric coeff. 68
- Drawing, element 426
- DTR, tolerance on reference thickness.....405
- DVO, dispersion offset 218, 234
- DXF, Data eXchange Format from AutoCAD...446
- ## E
- E 12th order aspheric.....55
- ECE, encircled energy, diffraction based 285
- ECE,encircled/ensquared energy, diffraction based284
- ECE,encircled/ensquared energy 284
- ECG, encircled energy, geometric.....267
- ECHO command line 213
- EDG
- aperture option 163
 - edge drawing.....187
- Edge thickness 424
- EDI 30, 34, 451
- BPR, beam propagation parameter 325
 - CCFG, coating configuration.....382
 - CMAT, edit coating (thin-film) materials ... 394
 - CNF, configuration 28
 - CTV, coating thickness variation 390
 - FLD, field 28, 30
 - GLP, glass polygon.....368
 - LAM, (wavelength) 34
 - LAM, wavelength 28
 - LDR 187
 - OPT, optimization operating parameters...379
 - VAR, variables/targets 347
 - ZOO, zoom 28, 191–193
 - ZRN, zernike coefficients.....148
- CAM, edit cam 432
- COA, coating editor.....382
- PREF, program preferences.....5
- SUR, surface editor 54
- UDS, user-defined or SPS surface 66
- UDS, user-defined or XYP surface 72
- Editor
- coatings 382
 - multilayer
 - seecoatings 382 - surface.....54
- EFL 237, 358
- EIMD, extended object/image,diffraction based .281
- ELE, element drawing.....427
- Element Drawing 426
- Ellipse
- at major axis 64
 - at minor axis 64
- ELX 162
- ELY 162
- Encircled Energy 284
- geometric 267
- END, terminate PRV environment 223
- ENDDO, in macros 464, 465
- ENDWHILE, in macros 465
- Entrance pupil 237
- Environmental analysis 399
- EPD 39, 473
- EPD, entrance pupil diameter 472
- EPS, Encapsulated Postscript 446
- EQE, ensquared energy, diffraction based.....285
- ERRF, optimization error (merit) function 369
- ET, edge thickness.....99
- ET, edge thickness.....99, 360, 424
- Euler angles 12, 107, 182
- EVA, evaluate 458
- Even power polynomial asphere 62
- Example Library 503
- EXC, expansion coefficient 400
- Excel 500
- EXI, exit from program 2
- Exit pupil 237
- Exit pupil, reciprocal 238
- EXM, first surface mirror expansion coefficient .. 400
- EXP, export lens file 494
- Export
- Aberrator 495
 - ASAP 494
 - USERFUNC.....494
 - Atmos 495
 - Code V 493
 - Excel 431, 500
 - graphics 446
 - IGES 496

- lensprescription 493
- Modas 495
- Oslo 494
- POV-Ray 496
- PSF-data 277
- Zemax 493
- EXR 400, 402
- Extended object 281
- F**
- F 14th order aspheric 55
- F-number 38
- FACT, field activation 32
- FAN 241
- Fan curves 241
- FANL 241
- Fast Fourier Transform (FFT) 321
- FCOMP, film compose 386, 387
- FDISX 250, 360
- FDISY 250, 360
- FFT 276
- FHY 169
- Fiber 59, 129
 - coupling efficiency 294
 - display modes 301
 - graded-index 300
 - indexfiber 129
 - mode profile 299
 - multi-mode 299
 - normalized frequency 299
 - single-mode 299, 300
 - step-index 300
 - tapered 59, 129, 130
- Fictitious glasses 224
- FIE, field aberrations 252
- Field
 - FTYP (field type) 32
 - FWGT (field weight) 32
 - XAN 31
 - XIM 31
 - XOB 31
 - XRI 31
 - YIM 31
 - YOB 31
 - YRI 31
 - aberrations (FIE option) 252
 - activation 32
 - plot colour 32
- Field points 30
- FIL → INT-file
- File formats
 - interferometric deformation (.int) 520
 - radial spline (.spl) 516
 - coating (.otc) 513
 - configuration 9, 505
 - GRIN catalogue glasses 519
 - GRIN dispersion data 518
 - lens data (.otx) 506
 - melt data (.ind) 518
 - PSF 521
 - ray data 522
 - test plates (.tpl) 517
 - Zernicke (.zm) 516
- FILENAME, file name 214
- FILEPATH, file path 214
- FIO, first order ray trace 253
- FIR, first order analysis 253
- FIR, first order properties 237
- First order 253
 - ray trace 253
 - system data 253
- FLO, fiber location 294
- FNO 38
- Focal length 237
- F00 418
- Footprints 417
- FOPT, coating (film) optimization 384
- FOPT, thin film optimization 393
- FORTTRAN 453
- Fourier Transform 319–321
- FRA 295
- FRB 295
- FRCR 296
- FRD 295
- Fresnel 59, 336
 - reflection losses 336
- Fresnel surface 86
- FRMM 296

- FRN1 296
 FRN2 296
 FRR 294
 FRX 295
 FRY 295
 FSA 294
 FSB 294
 FSCR 295
 FSD 294
 FSMM 296
 FSN1 295
 FSN2 295
 FSR 294
 FSYM, film symbol 387
 FTAR, coating (film) targets 384
 FTH, fresnel thickness 87
 FTYP 32
 FTYP, field type 32
 Function
 user-defined 463
 Functions 183
 in optimization 354
 intrinsic 22
 FWGT 32
- G**
- G 16th order aspheric 55
 GADE, gradient x-tilt 117
 Gaussian Beams 289
 Gaussian beams 319
 GBDE, gradient y-tilt 117
 GCAT, glass catalogue view/edit 441
 GCDE, gradient z-tilt 117
 GDISP, gradient index dispersion name ... 116, 518
 GDX, Gaussian divergence X 292
 GDY, Gaussian divergence Y 292
 Gels 232
 General lens data 28
 GH0, ghost analysis 257
 Ghost images 256
 GHP, ghost paraxial 257
 GHS, ghost spot 257
 GHV, ghost view 258
 GIC gradient index profile coefficient 116
 GIS gradient index step 117
 GIT gradient index type 117
 GL1 218
 GL2 218
 GLA, glass name 115, 218, 221, 225, 384
 Glass
 GL1 90
 GL2 90
 alternative glasses 179
 apochromatic selection 438
 athermal map 436
 bulk absorption 333
 catalogue 200, 219, 220, 225, 435, 441
 fictitious 224
 filter 230
 gradient index 231
 Infra-red 225
 manager 435
 map 435
 melt glass 442
 MIL-number 225
 new 443
 plastics 225
 polygon, used in optimization 366
 private 221
 radiation resistant 230
 Sellmeier coefficients 442
 special 225
 view, edit 441
 Glasses 217
 GLB, global reference 111
 GLO global 181
 Global
 coordinates listing 181
 coordinates/references 111
 ray coordinates 239
 surface coordinates 474
 Global surface coordinates 182
 GLP glass polygon 368
 GMTFA, MTF, geometric, average 265, 471
 GMTFS, MTF, geometric, sagittal 265, 471
 GMTFT, MTF, geometric, tangential 265, 471
 GNRD 266
 Goos-Hanchen effect 88

- GPSF, geometric PSF 265
- GRA 446
- Gradient index 114
- AXG 117, 122
- GLC 117, 121
- GRC 122
- GRT 117, 121
- LPT 117, 122
- LUN 123
- MAX 117, 124
- SEL 117, 120
- SPG 117, 124
- UDG 124
- URN 117, 123
- coating indices 202
- Gradient Lens Corp. 231
- Grintech 231
- LightPath 231
- NSG 231
- profile 438
- step length 117
- tilt of profile 110
- user-defined 124
- Gradientindex
- LUN 117
- Graphics
- export 446
- file formats 446
- outputdevice 446
- printing, plotting 446
- user defined 203
- Grating 59, 80
- conversion of coefficients (VLS-grating) ... 82
- straight-line ruled 80
- variable line spacing 81
- Gravity
- center of 200
- specific 200
- Gravity center 244
- GRD → INT-file
- grin.asc 519
- GRO grating order 57
- Group delay 384
- Group delay dispersion 384
- GRX, grating frequency X 57, 75, 80
- GRY, grating frequency Y 57, 75, 80
- GSC global surf. coord's. 181, 182
- GSM global surface matrix 181
- GZO 117
- ## H
- H 18th order aspheric 55
- HCi 75
- HCO, hologram coefficients 75
- HCY 239, 361
- Herzberger dispersion formula 219
- HMX 99
- HMY 99
- HMY 238, 361
- HOE, holographic optical element 73, 79
- HOL → Aperture
- Hologram 73
- asymmetric phase function 76
- Diffraction efficiency 85
- Sweatt model 77
- symmetric phase function 77
- two-point hologram 78
- HOM, tolerance on index homogeneity 406
- HOR, hologram order 57, 80
- HOR, hologramorder 75
- HOT, hologram type 75
- HPGL, Hewlett Packard Graphics Language 446
- HWL, hologram designwavelength 75
- HX1, object point source X of HOE 76
- HX2, reference point source X of HOE 76
- HY1, object point source Y of HOE 76
- HY2, reference point source Y of HOE 76
- HZ1, object point source Z of HOE 76
- HZ2, reference point source Z of HOE 76
- ## I
- IBZ, block rays at zero intensity 144
- IC, intersection direction 62, 70
- Ideal lens → Lens module (ideal lens)
- IFG 289
- IFR, increment in frequency 265, 274
- IGES 496
- export limitations 498

- supported entities 498
- trouble shooting 499
- ILL
 - FIL, write irradiance to file 317
- ILL, illumination analysis 310, 317
- Illumination 305
 - analysis 317
 - bitmap sources 311
 - flat sources 311
 - relative 337
 - source 305
 - source display in lens layout plot 311
 - target surface 317
 - volume (real) sources 313
- ILN, store interferometric deformation/filter data as
 - link 139
- Image
 - diffraction analysis 272
 - diffraction MTF 272
 - extended object 281
 - geometric analysis 237
 - point spread function (PSF) 275
- Image surface 173
- IMC, image clearance 358, 473
- IMD 44
- IMD, image distance 358, 473
- IMG, image surface 173
- IMP
 - import catalog lens 491
- Import 487
 - Accos 489
 - Atmos 489
 - catalog lens 491
 - CodeV 487
 - MacLeod coating design 490
 - Modas 488
 - Optilayer coating design 491
 - Oslo 488
 - Sigma-PC, Sigma 2000 490
 - TFCalc coating design 490
 - WinLens 489
 - Zemax 488
- IMPR, improvement factor 379
- IMY 99
- INC, stepping increment 431
- IND 218, 383
- IND, direct index specification 224
 - in macros or LDI 223, 473
- Index of refraction
 - Herzberger formula 219
 - layer 383
 - offsets 234
 - old Schott formula 219
 - Sellmeier formula 219
- Index profile (of coatings) 394
- INE 218
- Infinity values 58
- INPUT variables in macros 460
- INR 146
- INS, insert 171, 195, 384
- Insert
 - layer 384
 - zoom position 195
- Insertion loss 297
- INT, interferometric deformation 136
- INT-file 42, 520
- Intensity
 - in exit pupil 246
- Interferogram 288
- Interferometric deformation 136
- Interferometric deformation, display 145
- INV, invert 198
- Invert
 - surface 173
- Invert system 198
- INX, 2-dim deformation x-offset 138
- INY, 2-dim deformation y-offset 138
- IRR, tolerance on irregularity 404
- Irradiance
 - relative 337
- IRX, 2-dim deformation x-extension 138
- IRY, 2-dim deformation y-extension 138
- ISF, deformation scale factor 138
- ISO element drawing 426
- K** 55
 - K 55
 - Kinoform 83

- KX, X-conic constant 68
- KY, Y-conic constant 68
- ## L
- LAC 256, 360
- LAX, longitudinal aberration X 240
- LAY, longitudinal aberration Y 240
- LCA 360
- LD → VIE
- LDS 185
- LEN 27
- Lens layout plot
- illumination source 311
- Lens module (ideal lens) 59, 160
- LFC, list user-defined functions 183
- LFK, list function definitions 463
- Light pipe 59, 129
- LIM, maximum of stepped separation or parameter
 432
- Line spread function 284
- Liquids 232
- LIS 17, 170, 177, 384
- SOL solves 99
- TPL, test plates 425
- ALG, alternative glasses 177, 179
- ALL 177
- APE, apertures 177
- CAM, cam parameter 177, 432
- CNF, configuration 177
- COM, surface comments 177
- DNDT, dn/dT 177
- EXC, linear expansion coefficient 177
- GLA, glass name 178
- IND, refractive indices 178
- MUL, multilayer 178
- OPT, optimization 178
- OSP, optical spectrum 178
- PAR, paraxial system data 178
- PIK, pick up 178
- PIK, pickup 94
- RAY, all rays 178
- REM, remarks 178
- TOL, tolerances 178
- TPL, test plate fitting 178
- ## List
- coating prescription data 384
- global surface coordinates 181, 182
- global surface matrix 181
- lens prescription data 177
- pickups 94
- user defined functions 183
- user defined variables 183
- Log ray data 215, 522
- Luca raymaker software 317
- LVR, list user-defined variables 183
- ## M
- M2, quality factor M^2 292
- MacLeod coating package 490
- Macro 17, 451, 471
- #include 458
- arithmetic expressions 22, 452
- CLOSE statement 462
- comments 468
- constants 459
- control statements 464
- DO construct 464
- Editor 451
- evaluate 458
- file inclusion 458
- formatted output 455
- IF construct 466
- INPUT statement 460
- lens database items 22, 454
- list functions 183
- list variables 183
- logical line continuation 468
- logical line separation 468
- OPEN statement 461
- parameter 452
- print 455
- return 467
- run 452
- SELECT statement 462
- user-defined functions 463
- variables 459
- WHILE construct 465
- MAE, minimum air edge thickness 357

- MAG 358
- Magnification 29
- MAN multi-layer analysis 383, 384
- Manufacturing
- aspheric deviation 419
 - CAM calculation 430
 - edge thickness 424
 - footprint analysis 417
 - ISO element drawing 426
 - test plate fitting 424
- Marker
- in spot diagrams 243
- Materials 217, 225, 443
- air 233
 - gels 232
 - gradient index 231
 - Infra-red 225
 - infrared 225
 - liquids 232
 - plastics 225
 - radiation resistant 230
 - thin-film (coating) 393
- Matrix
- surface tilts and decenters 108
- MAXFLD, max. number of fields 30
- MELT 443
- Melt glass 442
- data sheet 442
- Merit-function 345, 350
- MFL, module focal length 57, 161
- MFR 273
- MFRA, maximum frequency in autofocus calculations
274
- MFRF 273
- MHT maximum heights 169
- Mirror 59, 334
- MMF, multi-mode field 296
- MNA, minimum air center thickness 357
- MNC, min cycles 379
- MNE, minimum edge thickness 356
- MNT, minimum center thickness 356
- MOD 161
- Modulation transfer function. 197, 272, 275, 286
- diffraction based 272
 - geometric 264
- Module → Lens module (ideal lens)
- MOV move 173
- MPI material pick-up 56
- MPI material pickup 93
- MPR, mode profile 294
- MRD, module reduction ratio 161
- MTF 197, → Modulation transfer function, 371
- diffraction based 272
 - geometric 264, 265
 - increment in frequency, IFR 272
 - maximum frequency, MFR 272
- MTF 197, 272
- MTF2D, 2-dimensional MTF 273
- MTFA 273, 360
- MTFS 273, 361
- MTFT 273, 361
- Multi-configuration 191
- MXA, minimum angle of incidence 357
- MXC, max cycles 379
- MXG, max. GRIN iterations 117
- MXH 90
- MXH, maximum hits 57
- MXT, maximum center thickness 356
- ## N
- NA 39
- NAO 39
- NAX, new axis 104
- NAX, new axis 106
- new lens 27
- NFLD 30
- NFLD, number of fields in use 30
- NFNC 435
- NNU 435
- Non-sequential 89
- MXH maximum hits 90
 - converting 90
 - coordinate system 91
 - entrance port 92
 - exit port 92
 - glasses 91
 - ray transfer 92
 - surface type 59, 90

NOR, "no-raytrace" surface 55, 113
 NRD 40, 282
 NSS, non-sequential 58, 90
 NWL, no. of wavelengths 34

O

OAL 238, 358
 Object
 extended 281
 Objects 30
 OBS → Aperture
 Odd power polynomial asphere 63
 OERR, optimization error limit 379
 OID 238
 OMN, omni-directional min/max angles 46
 Omni-directional beams 48
 OOS 238
 OPD 74, 92, → Optical Path Difference
 OPD, optical path difference 287
 OPDFAN 241
 OPDW, optical path difference in waves 287
 OPEN 462
 Operands 350
 Operating System 215
 Operations 6
 OPL 360
 OPT, optimization 347, 369
 Optical Path Difference 136, 281, 286
 Optical spectrum 35
 Optilayer coating package 491
 Optimization 345, 412
 coating 391
 contrast vs. resolution 363
 damped-least-squares 345
 default constraints 355
 description of output 376
 error limit 379
 fractional improvement 379
 include targets from file 353
 lens database items 353
 Levenberg-Marquardt (LM) 346
 maximum number of cycles 379
 merit-function 345, 350
 minimum number of cycles 379

operating parameters 378
 ray grid 379
 run coating optimization 393
 targets 349, 391, 471
 terminating 378, 379
 undo 378
 user-defined constraints 354
 variables 348, 391
 weight on aperture 363
 weighted constraints 352
 weights 351
 optix.cfg 9
 ORB, Orbscan II deformation 138
 Orbscan Topography System 143
 ORGR, optimization ray grid 379
 OSP, optical spectrum 35
 OTF → Optical transfer function
 OTH, optical thickness of layer 384
 OUT 17, 445, 447

P

PA1, PA2 341
 parabalas 14
 paraxial 14, 43, 237, 253, 319
 PATH 360
 Pathes 5
 PCO, $P_{C,S}$ offset 219, 235
 PCX, Paintbrush graphics format 446
 Perfect lens → Lens module (ideal lens)
 PETZ 360
 PGO, $P_{g,F}$ offset 219, 235
 Photopic 36
 Physical optics 319
 Rayleigh Range 324, 328
 angular spectrum 319
 converting field to rays 322
 coupling efficiency 330
 Fresnel approximation 321
 operator 321
 propagation control 323
 propagation through optical interface 322
 PTP, plane-to-plane 320, 324
 STW, sphere-to-waist 321, 324
 talbot imaging 329

- WTS, waist-to-sphere 324
- Pickup 92
- delete 97
- group pickup 93, 96
- individual pickup 93, 97
- listing pickups 98
- pickup and solves 97
- PIM 43, 99
- Pinhole 319
- PKL pickup list 94
- Planck 35
- PLG, polygon aperture 163
- PLO 250
- DIG 250, 251
- DISX 250
- DISY 250
- FDISX 250
- FDISY 250
- INT 138
- LAC 256
- SSP 256
- STREHL 286
- WAV 287
- ZRN 146
- CTV 390
- interferometric data 145
- Plot colours
- coatings 384
- fields 32
- Plotting 445
- PLT 17
- PMA, pupil intensity map 246
- PMI, light pipe mirror 130
- PNG, Portable Network Graphics format 446
- Point spread function 275
- diffraction based 275
- file format 521
- geometric 265
- write to file 277
- POL 341
- APE, polarization across aperture 341
- ELL, polarization ellipses 341
- LAM, polarization vs. wavelength 341
- Polarization 333, 341
- coherency matrix 342
- degree of 343
- electric vectors 341
- input polarization state 341
- Stokes vectors 344
- total internal reflection 344
- POLSTATE 341
- Polygon aperture 165
- from file 166
- POR 341
- POS, zoom pos. 192
- POV“Persistence of Vision” 496
- POX, POY, POZ, plot offsets 187, 193
- PPOS, plot zoom position 187
- PRD 238
- PRDI 238
- PRE, pressure 402
- Preferences → Program preferences
- Principal planes 237
- Printing 445
- Private glass 221
- PRN, printer device 17, 445
- Program preferences 5
- Propagation 319
- ProSourceTM 313
- ProSourceTM software 316
- PRV, start private glass 222
- PSF 277
- PTH, physical thickness of layer 384
- PUI 41
- Pupil intensity map 246
- Pupil relay distance 238
- Pupils
- entrance 237
- exit 237
- exit pupil 238
- pupil relay distance 238
- pupil relay distance, reciprocal 238
- PUX 41
- PUY 41
- PWL, private wavelength 223
- ## Q
- QSM, Gaussian smoothing diameter 269

- QST, quadrant step size 269
- QUA, quadrant detector analysis 269
- Quadrant detector analysis 268
- Quit → Exit
- QUIT, quit program. See also EXI 2
- R**
- RAD, radial geometric energy 267
- Radiant ImagingTM 313
- RAG, tolerance on radial quadratic gradient 406
- RAIM, ray aiming method 45
- RAIO, ray aiming option 46
- RAIS, ray aiming max. step 46
- RAIT, ray aiming tolerance 45
- RAW2INT, convert raw data to INT format 138
- Ray
- definition 15
 - file format 522
 - global coordinates output 239
 - intersection plot 244
 - logging to file 215, 522
 - single 239
- Ray aiming
- mode
 - omni-directional 45, 48
 - paraxial 45
 - stop surface 45
 - stopsurface 47
 - telecentric 45, 47
 - of single ray 240
 - option 46
 - tolerance 45
 - wavelength dependence 46
- Ray intersection plot 244
- Ray source 305
- Ray source viewer 314
- Rayaiming
- mode
 - paraxial 47
- RAYCX 189
- RAYCY 189
- Rayleigh Range 324, 328
- Rayleigh range 292
- RAYLOG, ray logging 215
- Rays
- grid in entrance pupil 40
- Raytrace
- paraxial 104
- RAYX 189
- RAYY 189
- RCX 289
- RCY 289
- RDM radius mode 27
- RDNDT 475
- RDX, x-radius of curv. 54, 69
- RDY, y-radius of curv. 56, 69, 358
- REC 163
- RED, reduction ratio 99
- Reduction ratio 99
- REF surface reference 111
- References 111
- REFL, reflecting 57, 218
- Reflection 333
- losses 336
- REFR, refracting 57, 218
- REG make regularglass 199
- REM 45
- Remarks 45
- REN, render 186
- REN,render 496
- RES
- COA, coating 382
- RES, restore 28, 382
- Resolution 363
- Restore 382
- coating 382
- Restore lens data 28
- Reverse system 198
- REX 162
- REY 162
- RIM 241
- RIRR, relative irradiance 338
- RMD, refractive/refractive mode 57, 218
- RSI, trace single ray, relative pupil coords. 239
- RSP, single ray plot 186
- RUN, execute macro 452

S

- S 54, 58
- S? 21
- SADE, source alpha-tilt 309
- SAG, surface sag 203
- SAP 237, 358
- SAP, Exit pupil location 471
- SAPI 238
- SARAY, source analysis rays 309
- SAV
 - OSP, optical spectrum 36
- SAV, save 28
 - COA, coating 382
- Save 382
 - coating 382
- Save lens data 28
- SBDE, source beta-tilt 309
- SCA scale 198
- Scale system 198
- SCDE, source gamma-tilt 309
- SCO, special coefficients 66, 72
- SCO, special surface coefficient 61
- Scotopic 36
- SD, max. semi-diameter 476
- SDIVX, source divergence X 309
- SDIVY, source divergence Y 309
- Secondary spectrum 256
- SELECT 463
- Sellmeier 442
- Sellmeier dispersion formula 219
- Sensitivity
 - on tolerances 372, 415
 - tolerances in optimization 372
- SEP 237
- SEP, Entrance pupil location 471, 473
- SET 50
 - FAN 189
 - MAG, magnification 29
 - MHT maximum heights 169
 - RAY 189
 - VIG, vignetting 50
- Setup
 - achromatic doublet 209
 - analytical 209
 - lens of best form 209
 - Lurie-Houghton 209
 - reflecting telescope 210
 - TEL 211
 - ACR, achromatic doublet 209
 - LURIE, Lurie-Houghton telescope 210
 - SLE, lens of bestform 209
- SGREF, illum.source reference 308
- SH1, Front principal plane position 471, 473
- SH1, first (front) principal plane 238
- SH2, Rear principal plane position 471, 473
- SH2, second (rear) principal plane 238
- SIN, trace single ray, absolute pupil coords. 239
- Single layer $M_g F_2$ 334, 388
- SLB 45
- SLID, slider control 212
- Slider controls 212
- SOL solve 99
- Solves 99
 - AMY 99
 - ET 99
 - HMX 99
 - HMY 99
 - IMY 99
 - UMX 99
 - UMY 99
 - UMY, angle solve 99
 - ET 99
 - delete 99
- Source 305, 306, 311, 313
 - coordinate system 305
 - defined by rays 313
 - flat source 311
 - in lens layout plot 311
 - Luca raymaker 317
 - ProSourceTM 316
 - transform source (ray) data 315
 - viewer 314
- SPA 360
- SPD 360
- SPDPV, spot diameter (PV) 480
- Spectrum
 - optical 35

- SPG, specific gravity 58, 200
- SPH 54
- spherochromatism 288
- SPL load spline coeff's. 135
- Spline
- radial 134
- SPLN number of spline points 134
- SPLR, radial spline 135
- SPLR 134
- SPLZ 134
- SPLZ, spline deformation 135
- SPMS, spot marker size 243
- SPO 17, 194, 197, 242
- RIS, ray intersection 244
- Spot
- diagram 242
 - gravity center (centroid) 244
 - marker size 243
 - rms 242
- SPR 242
- SPRAY, illumination plot rays 309
- SPS, special surface 61
- SPWR, source power 308
- SPX 197, 360
- SPXPV, spot diameter (PV) in X 480
- SPY 197, 360
- SPYPV, spot diameter (PV) in Y 480
- SRC
- ADE, source X-tilt 309
 - ARRAY, number of rays per source 309
 - BDE, source Y-tilt 309
 - CDE, source Z-tilt 309
 - DIVX, source divergence X 309
 - DIVY, source divergence Y 309
 - LIS, list (illumination) sources 310
 - NXI, X-image cells 317
 - NYI, Y-image cells 317
 - PRAY, number of plot rays 309
 - PWR, source emitted power 308
 - REF, illum.source reference 308
 - TYPE, source type 307
 - USE, use source 308
 - XDE, source X-decenter 308
 - YEXT, source X-extension 308
 - YDE, source Y-decenter 309
 - YEXT, source Y-extension 308
 - ZDE, source Z-decenter 309
- SRC, source definition 306
- SRX, Gaussian spot size X 292
- SRY, Gaussian spot size Y 292
- SSP 256
- SSR 256
- SSZ → INT-file
- Start OpTaliX
- from DOS windows 2
 - from program group 1
 - from Windows Explorer 1
- Starting designs 503
- STE, linear stepping parameter 431
- STO stop surface 55
- STREHL 286
- Strehl ratio 285
- SUR → INT-file
- Surface
- "no-raytrace" 113
 - ADE x-tilt 101
 - BDE y-tilt 101
 - BEN bend 104
 - CDE z-tilt 101
 - DAR, decent. and return 103–105
 - GADE gradient x-tilt 101
 - GBDE gradient y-tilt 101
 - GCDE gradient z-tilt 101
 - GLB, global reference 111
 - NAX, new axis 104
 - REF surface reference 111
 - THR reference thickness 111
 - TLM tilt mode 102, 104, 106
 - TLT group tilt 102
 - XDE x-decenter 101
 - YDE y-decenter 101
 - ZDE z-decenter 101
 - 2-dimensional deformation 59
 - aperture 162
 - array 59, 131
 - asphere 54, 55, 59
 - axicon 72
 - biconic → Anamorphic asphere

- channel 131
 - comments 45, 170
 - compound tilts on BEND surface 107
 - conic 55
 - copy 172
 - CPI curvature pickup 93
 - CPO curvature pickup offset 93
 - curvature 56, 69
 - curvature increment 56
 - cylinder 56, 69
 - decentered 59
 - deformation 134
 - delete 173
 - DPI distance pickup 93
 - editor 54
 - filter, intensity 142
 - fresnel 59, 86
 - global referencing 111
 - gradient index 59, 114
 - grating 57, 59, 80
 - grating frequency 57
 - hologram 73
 - hologram order 57
 - holographic 59
 - image surface 173
 - insert 171
 - intensity apodization 142
 - interferometric deformation 136
 - invert 173
 - label (comment) 45
 - lens module 59
 - maximum hits 57
 - mirror 59
 - module 57
 - move 173
 - MPI material pickup 93
 - no-raytrace 55
 - non-sequential 57, 59, 89
 - pick-up 55, 56, 92
 - radius of curv. 56
 - reference thickness 57
 - reflecting 57
 - refracting 57
 - sag 203
 - shorthand entry 54, 58
 - special qualifiers 19
 - sphere 54, 59
 - spline 134
 - spline deformation, radial 59
 - step index fiber 59
 - stop 55
 - thickness 56
 - tilt of GRIN media 110
 - tilt sequence 107
 - tilted 59, 101
 - TIR 57, 59
 - total internal reflection (TIR) 87
 - transformation matrix 103, 108
 - two-dimensional deformation 136
 - type 55, 58
 - user-defined 59, 152
 - Zernike 59
 - zernike deformation 145
 - Surface editor 66, 72
 - Surface pointer 20
 - Surface qualifier 19
 - SUSE, use illum. source 308
 - SUT, surface type 55, 58, 115
 - SVG, Scalable Vector Graphics format 446
 - Sweatt model 77
 - SXDE, source X-decenter 308
 - SXEX, source X-extension 308
 - SYEX, source Y-extension 308
 - SYDE, source Y-decenter 309
 - SYL, system length 238, 358
 - SYS, operating system command 214
 - System aperture 38
 - SZDE, source Z-decenter 309
- T**
- T terminal device (screen) 445
 - Talbot imaging 329
 - TAR (targets) 347
 - Targets 349
 - TCA 360
 - Telecentric beams 47
 - Telescope 209
 - Cassegrain 211

- Gregory 211
 Lurie-Houghton 209
 Ritchey-Chretien 212
 Ritchey-Chretien 212
 TEM, temperature 400
 Test plates 424
 adding 425
 file format 517
 fitting 425
 listing 425
 manufacturers 426
 TFCalc coating package 490
 TGR 296
 THI, axial thickness 58, 358
 Thin film → Coating
 Third order aberrations 253
 THM, mirror thickness 58, 200, 429
 THO, third order analysis 254
 THR, reference thickness 57, 111
 Tilt sequence 12, 107
 Tilts
 bend 106
 decenter and return 91, 104
 new axis 106
 TIM, time 214
 TIN, thickness increment 56
 TIR, total internal reflection 57
 TIT 45
 Title 45
 TLM, tilt mode 102, 104, 106
 TLT group tilt 102
 TMAT, transformation matrix 103, 110
 TOL
 INV, inverse tolerances 415
 SEN, sensitivity analysis 413
 TOLC, tolerance criterion 411
 Tolerance sensitivity 372, 415
 Tolerancing 403
 compensators 411
 back focus 412
 optimization settings 412
 default tolerances 408
 inverse 403, 415
 Monte Carlo 403, 415
 optimize sensitivity 372, 415
 performance criteria 410
 RSS 414
 sensitivity 403
 optimize 415
 tolerance items 403
 Tools
 slider controls 212
 TOR toric surface 55
 Toroidal surface 69
 Total internal reflection 344
 Total internal reflection (TIR) 87
 TPF, tilt pick-up factor 56
 TPI tilt pick-up 56
 TPL, test plate fitting 425
 TRA Y/N, enable/disable transmission analysis 335
 TRA 337
 FLD, versus field 335
 LAM, versus wavelength 335
 NUM, numerical output 335
 SUR, versus surface 335
 TRA, transmission 335
 Transform source ray data 315
 Transformation matrix 108
 Transmission 333
 aperture averaged 336
 cement 334
 chief ray based 334
 colour code 338
 default coating 334
 diffraction efficiency 83
 enable/disable transmission analysis 335
 TRR, transmission of predefined rays 335
 TSA
 Tolerance sensitivity on tilt about X-axis 363, 375, 479
 TSB
 Tolerance sensitivity on tilt about Y-axis 375, 479
 Tolerance sensitivity on tilt about Y-axis 363
 TSEQ, tilt sequence 107
 TSF
 Tolerance sensitivity on test plate fit 361, 373, 478

- TSG
Tolerance sensitivity on tilt about Z-axis .. 363, 375, 479
- TSH
Tolerance sensitivity on index homogeneity 362, 374, 480
- TSI
Tolerance sensitivity on surface irregularity 361, 373, 478
- TSN
Tolerance sensitivity on refractive index .. 362, 374, 478
- TSR
Tolerance sensitivity on radius change 361, 373
- TST
Tolerance sensitivity on thickness ... 362, 373, 478
- TSV
Tolerance sensitivity on dispersion .. 362, 374, 478
- TSX
Tolerance sensitivity on X-decenter .. 362, 374, 479
- TSY
Tolerance sensitivity on Y-decenter .. 362, 374, 479
- TSZ
Tolerance sensitivity on Z-decenter .. 362, 374, 479
- U**
UCO, user-defined coefficients 152
UCY 238, 361
UDG, user-defined gradient 124
UDS, user-defined surface 152
UGR, user defined graphics 203
UGR, user-defined graphics 204
ugr 303
UMX 99
UMY 99
UMY 238, 361
UNDO
OPT 369
User-defined
constraints (in optimization) 354
functions 354, 463
in ASAP 494
gradient index 124
graphics 6, 203, 303
functions 207
variables 207
surface type 152
variables 354
User-defined surface 152
- V**
Vacuum 233, 399
VAR, variables 347
VAR, variables (in optimization) 347
Variable line spacing (VLS) grating 81
Variables 183, 348
in optimization 354
in qualifiers 19
VARZ, zoom variables 347
VARZ, zoom variables (in optimization) 347
VIE
SRC, source defined by rays 314
VIE, lens layout plot 185
Viewer
ray source 314
Vignetting 50
SETVIG 50
analysis 263
plot 263
VIGP, vignetting plot 264
VLS grating 76, 81
VLX 50
VLY 50
VPT, viewpoint 185
VUX 50
VUY 50
- W**
WAV 197, 287, 360
Wavefront Aberration 286
Wavefront, perturbation 141
Wavelength
WL 34

- weight 35
- Waves 319
- WAVPV, wavefront (PV) 481
- WAVZ 287
- WDX, fiber wedge angle in X 294, 295
- WDX, waist distance X-plane, function 292
- WDY, fiber wedge angle in Y 294, 295
- WDY, waist distance Y-plane, function 292
- WEI, lens weight and volume 200
- WFR → INT-file
- WHILE construct, in macros 465
- Window 7
- WL 34
- WMF, Windows Metafile Format 446
- WRX, waist radiusx 289
- WRY, waist radiusy 289
- WT, weight on error function 351
- WTA, weight on aperture 364
- WTC, weighted constraint 352
- WTF 32
- WTW 35
- WZRN, wavefront Zernike 148
- WZRN, wavefront Zernike 148
- ## X
- X 358
- XAN, x-field angle 30, 31
- XDE x-decenter 101
- XGR, spot gravity center X 244
- XIM, x-image 30, 31
- XOB, x-object 30, 31
- XRI, real image height 31
- XSC 474
- XSG 359
- XSG, global surface vertex coordinate 474
- XY polynomial asphere 71
- ## Y
- Y 359
- YAN, y-field angle 30, 31
- YDE y-decenter 101
- YGR, spot gravity center Y 244
- YIM, y-image 30, 31
- YOB, y-object 30
- YOB, y-object 31
- YRI, real image height 31
- YSC 474
- YSG 360
- YSG, global surface vertex coordinate 474
- YTO, Y-toroid 61
- ## Z
- Z 359
- ZACT, Zernike activation 147
- ZDE z-decenter 101
- ZED, text based zoom editor 195
- ZED, zoom editor text based 192
- Zernike
- definition 151
 - phase surface 152
 - surface 59
 - surface deformation 145
- ZOO 191
- Zoom 191
- copy position 195
 - delete position 195
 - dezoom 191
 - editor
 - text based 195
 - editor window 193
 - insert position 195
 - number of positions 191
 - solves 196
- ZRN, Zernike 146
- ZSC 474
- ZSG 360
- ZSG, global surface vertex coordinate 474
- ZWACT, Zernike wavefront activation 148
- ZWX 289
- ZWY 289

あ

アキシコン	72
アサーマルマップ	436
アッベ数	220
アナモフィック面	67
アパーチャ	
—円形	162
—矩形	162
—光線有効径の設定	169
—固定アパーチャ	168
—削除	163
—楕円	162
—多角形	165
—ファイルからの読み込み	166
—ホール	162
—一面	162
アフォーカル	49, 274
アポクロマート	438
—2枚構成の	439
—3枚構成の	440
アポダイゼーション	41, 142, 275
—フィルタ	142
アレイ	
—X方向のオフセット (ARXO)	132
—X方向の間隔 (ARX)	132
—Y方向のオフセット (ARYO)	132
—Y方向の間隔 (ARY)	132
—エレメント	131

い

位相伝達関数 (PTF)	275
移動	
—一面	173
色 (OpTaliX ウィンドウの)	8
色収差	
—2次色収差	256
—残存色収差	256
—縦の色収差	256
—倍率の色収差	256

う

ウィンドウ	7
-------	---

え

液晶	232
----	-----

エクスポート

—グラフィクス	446
エクセル (マイクロソフトの)	500
エディタ	
—面の	54
円形アパーチャ	162
エンスクエアド エネルギー	
—幾何光学的な	267
—波動光学的な	284

お

オイラー角	12
オートフォーカス	197, 412

か

開口

—開口数 (結合光学系の)	298
—開口数 (像側の / NA)	39
—開口数 (物体側の / NAO)	39
—光学システムの	38
—口径比 (FNO)	38
—入射瞳径	39

回折

—PSF の X/Y 断面図	280
—エンサークルド エネルギー	284
—干渉縞	288
—グレーティング	80
—効率	83, 85
—ストレール比	285
—線像強度分布	284
—点像分布関数 (PSF)	275
—波動光学的 MTF	272
—広がりを持つ物体の解析	281
—ホログラム	78

回折格子

—不等間隔グレーティング (VLS)	81
--------------------	----

解像力

ガウシアンビーム	289, 319
—のスポットサイズ	292
—の発散角	292
—のビームウエスト位置	292
—のレーリー領域	292

仮想ガラス

カム表の計算	430
--------	-----

- カラーコード (DIN 5422) 338
- ガラス 217
- GRIN 231
 - アサーマルマップ 436
 - アポクロマト用の材料選択 438
 - 液晶 232
 - 仮想ガラス 224
 - カタログ 200, 219, 220, 435, 441
 - ガラス名の指定 218
 - 空気 218, 233
 - 屈折率勾配型 (GRIN) の 231
 - ゲル 232
 - ショットの分散係数 219
 - 新規ガラス 443
 - 真空 233
 - 赤外用の 225
 - セルマイアの分散係数 219, 442
 - 選択範囲、自動設計における 366
 - 代替ガラス 179
 - 耐放射線用の 230
 - 特別な材料 225
 - 内部吸収 333
 - 反射面 218
 - 表示と編集 441
 - プライベートガラス 221
 - プラスチック 225
 - マップ 435
 - マネージャ 435
 - ユーザ定義ガラス 442
 - 溶解ガラス 442
- 環境解析 399
- 温度 400
 - 気圧 402
 - 屈折率の温度変化係数 400
 - 線膨張係数 400
- 干渉縞 288
- 干渉デフォーメーション 136, 145
- RAX データから INT 形式への変換 .. 138
- 関数 183
- 最適化のための 354
 - 内部組み込み関数 22
 - ユーザ定義の 463
- き
- 機械系 CAD へのエクスポート 496
- 幾何光学的 MTF 264
- 奇数次非球面 63
- 起動 (OpTaliX の)
- DOS ウィンドウから 2
 - ウィンドウズ・エクスプローラから 1
 - プログラム・グループから 1
- 強度
- 射出瞳面上の 246
- 近軸 14
- 近軸解析 → 1 次解析
- 近軸量 319
- く
- 空気 233, 399
- 偶数次非球面 62
- 矩形アパーチャ 162
- 屈折率
- 異常光線屈折率 218
 - オフセット 219, 234
 - 常光線屈折率 218
 - 層 (コーティングの) 383
- 屈折率勾配型の光学材料 231
- 屈折率分布型材料
- プロファイル 438
- 屈折率分布面 → 面 - 屈折率分布面
- グラフィクス
- エクスポート 446
 - 出力デバイス 446
 - ファイルの書式 446
 - プリント、プロット 446
 - ユーザ定義 203
- グレーティング 80
- 不等間隔グレーティング (VLS) 81
- グローバル
- 座標/参照 111
 - 座標/参照 (GLB) 111
 - 座標/参照 (REF) 111
 - 座標系の出力 181, 182
 - 参照面間隔 (THR) 111
- け
- 結合効率 197, 294

ゲル 232
 原器 → ニュートン原器
 現在時刻の表示 214
 減衰最小自乗法 345

こ

光学系全系に関わるレンズデータ 28
 光学系のスケールリング 198
 光学系の反転 198
 光学材料 217, 225, 443
 —GRIN 231
 —液晶 232
 —空気 233
 —屈折率勾配型の 231
 —ゲル 232
 —真空 233
 —赤外用の 225
 —耐放射線用の 230
 —プラスチック 225
 光学スペクトル 35
 光学的伝達関数 275
 口径比 (Fno) 38
 光源 305, 306, 311, 313
 —光源光線の描画 311
 —光線データの移動と回転 315
 —座標系 305
 —体積光源 313
 —ビューワー 314
 —面状光源 311
 —Luca raymaker 317
 —ProSourceTM 316
 公差
 —敏感度 372, 415
 —敏感度のさいしょうか 372, 415
 公差解析 403
 —RSS 414
 —感度解析 403
 —逆公差解析 403, 415
 —公差判定基準 410
 —の解析項目 403
 —X 方向シフト (DLX) 406
 —Y 方向シフト (DLY) 406
 —X 方向シフト (DLZ) 406, 409
 —アッペ数 (DLV) 405

—イレギュラリティ (IRR) 404, 408
 —曲率半径 (DLR) 405, 408
 —屈折率 (DLN) 405
 —削除 404
 —参照面間隔 (DTR) 405, 409
 —軸上面間隔 (DLT) 405, 409
 —フリンジ本数 (DLF) 404, 408
 —の編集 407
 —ホモジニティ (HOM) 406
 —動径 2 次勾配型屈折率 (RAG) 406
 —軸勾配型屈折率 (AXG) 406
 —X 軸まわりティルト (DLA) 406
 —Y 軸まわりティルト (DLB) 407
 —Z 軸まわりティルト (DLG) 407
 —コンペンセータ 408, 411
 —最適化の機能による 412
 —バックフォーカス 412
 —デフォルトの公差 408
 —敏感度解析 413
 —モンテカルロ解析 403, 415

構成データ 28

光線

—グローバル座標 239
 —光線座標 15
 —単光線追跡 (任意の面基準) 240
 —単光線追跡 (入射瞳面基準) 239
 —追跡座標の決定法 45
 —近軸入射瞳モード 47
 —実絞りモード 47
 —波長独立な 46
 —全方位モード 48
 —テレセントリックモード 47
 —近軸入射瞳モード 45
 —実絞りモード 45
 —テレセントリックモード 45
 —入射瞳を分割する格子 40
 —ファイルへの出力 522
 —と面との交点プロット 244
 光線光源 305
 光線光源ビューワー 314
 光線データの移動と回転 315
 光線有効径の設定 169
 高速フーリエ変換 (FFT) 321
 光路差 74, 92, 136

- 光路長 281, 286
- ゴースト解析 256
- コーティング 333
- 位相変化 382
 - 位相膜厚 384
 - エネルギー透過率 396
 - エネルギー反射率 396
 - 簡単な記法 386
 - 幾何的な膜厚 384
 - 基本的な関係式 394
 - 屈折率のプロファイル 394
 - 最適化 384, 391
 - 最適化の実行 393
 - 最適化の目標値 391
 - 最適化変数 391
 - 削除 (膜全体) 384
 - 削除 (膜全体) 384
 - 新規設定 386
 - 挿入 384
 - データの保存 382
 - データの読み込み 382
- デフォルトのコーティング (単層 M_gF_2) 334
- デフォルトの～ 388
 - 貼り付け 384, 387
 - 描画色 384
 - 編集 382
 - 膜厚の非一様性 389
 - 軸対称性のある場合 389
 - 対称性のない場合 391 - 膜構成 382
 - リスト出力 384
 - 屈折率勾配面 (GRIN) 面における最適な膜
屈折率 202
- コーティングデータ
- インポート
 - Essential MacLeod からの 490
 - Optilayer からの 491
 - TFCalc からの 490
- コバ厚 424
- コヒーレント 319
- コマンド
- 関数 22
 - の概要 17
 - の書式 18
 - のパラメータ 18
 - ライン 17, 471
 - ルール 24
 - レンズデータベースアイテム 22, 454
- コメント 170
- 面 170
- コンラディの D-d 色収差 288
- ## さ
- 最適化 345
- LM 法) 346
 - MTF 最適化 371
 - 重み 351, 352
 - 重み付き制約条件 352 - 開口に関する重み 363
 - 改善率の閾値、終了条件 379
 - 減衰最小自乗法 345
 - 光線グリッド、最適化のための 379
 - 光線追跡エラーの許容回数 379
 - コントラストと解像力 363
 - 最少繰り返し回数 379
 - 最多繰り返し回数 379
 - 実行 (OPT) 347, 369
 - 実行の取り消し (UNDO) 369, 378
 - 終了 378
 - 出力の読み方 376
 - 制御パラメータ 378
 - 制約関数 350
 - デフォルトの制約条件 355
 - 比較演算子 350
 - 変数 347, 348
 - の編集 347 - メリット関数 345, 350, 471
 - レポート 369 - メリット関数の、ファイルからの設定 353
 - 目標値 347, 349
 - MTF 371 - ユーザ定義の制約条件 354
 - レンズデータベースアイテム 353
- ザイデル収差 253
- 削除
- ピックアップ 97
 - 面 173
- 座標系 11

—オイラー角	12
—グローバル	181
—グローバルな	12
—定義	11
—ティルト	12
—物体面の	12
参照 (面の)	111
残存色収差	256

し

自己相関 (瞳の)	275
システムデータ	28
射出瞳	237
射出瞳の逆数	238
収差	
—光路差のプロット	241
—ザイデル収差	253
—スポットダイアグラム	241
—縦収差図	241
—単光線の縦収差	240
—ディストーション	249
—横収差図	241
—3 次収差	253
重心 (レンズの)	200
終了 (OpTaliX の)	2
重量 (レンズの)	200
主点	237
焦点距離	237
照明解析	305, 317
—光源	305
—光源の描画	311
—照射面	317
—体積光源	313
—ビットマップ光源	311
—面状光源	311
設計初期データ	503
シリンドリカル面	68
真空	233, 399
—のソルブ	196
—テキスト形式のズームエディタ	195
—パラメータの編集	191
—描画位置の設定	193
—表形式のズームエディタ	193
—ポジションの数	191
—ポジションのコピー	195
—ポジションの削除	195
—ポジションの挿入	195
ストレッチル比	285
スプライン面	→ 面 - スプライン
スペクトル	35
スポットダイアグラム	242
—の重心座標	244
—マーカサイズ	243
スライダーコントロール	212

せ

制約関数	350
設計サンプルのライブラリ	503
セットアップ	
—2 枚構成の色消しレンズ	209
—Lurie-Houghton 型	209
—Lurie-Houghton 型望遠鏡	210
—カセグレン	211
—グレゴリアン	211
—ダイアログボックス	209
—反射望遠鏡	210
—ベストフォームレンズ	209
—リッチクレチアン	212
セルマイアの分散式	219, 442
線像強度分布	284
全反射 (TIR)	87, 344

そ

像	
—幾何光学的解析	237
—点像分布関数 (PSF)	275
—波動光学的 MTF	272
—波動光学的評価	272
—広がりを持つ物体の解析	281
双眼解析	
傾斜度	271
輻輳	271

す

ズーム	191
—アクティブなポジションの設定	192
—の解除	191, 192
—の設定	191

- 挿入損失.....297
- 像面.....173
- ソルブ.....99
- アプラナティックな曲率 (Y).....99
 - の解除.....99
 - 近軸像面位置の.....99
 - 光線傾角と曲率 (Y).....99
 - 光線高と面間隔 (X).....99
 - 光線高と面間隔 (Y).....99
 - コバ厚.....99
 - 出射角と面の曲率 (X).....99
 - 出射角と面の曲率半径 (Y).....99
 - の設定.....99
 - 倍率の (RED).....99
 - のリスト.....99
- た
- ターミナルデバイス (T).....445
- 体積 (レンズの).....200
- 代替ガラス.....179
- タイトル.....45
- 楕円アパーチャ.....162
- 多角形アパーチャ.....165
- ファイルからの読み込み.....166
- 多重構成.....→ズーム
- 多層膜.....→コーティング
- タルボットの干渉縞.....329
- 単層 MgF_2 コーティング.....388
- ち
- チャンネル.....131
- つ
- ツールズ
- スライダーコントロール.....212
- ツェルニケ デフォーメーション.....145
- の設定 (ZRN).....146
 - 係数の有効・無効の切り替え.....147
 - ツェルニケ位相面.....152
 - 波面係数の有効・無効の切り替え.....148
 - ファイルからの読み込み (ZRN).....146
 - にフィッティング.....146
 - フィッティング結果をプロット.....146
 - 多項式の定義.....151
- て
- ディストーション.....249
- アフォーカル系の.....249
 - F θ 特性.....249
- デフォーカス.....197
- デフォルトコーティング.....334
- デフォルトのコーティング.....388
- 点像分布関数
- 幾何光学的な.....265
 - 波動光学的な.....275
 - ファイルへのエクスポート.....277
 - ファイルフォーマット.....521
- 点像分布関数 (波動光学的な).....275
- 伝播.....319
- と
- 透過率.....333
- 回折効率.....83
 - カラーコード (DIN 5422).....338
 - 主光線に沿った.....334
 - 接合面.....334
 - 全光束の平均による.....336
 - デフォルトコーティング.....334
 - 内部吸収損失の考慮の有無.....335
 - プロット光線に沿った.....335
- 動作の設定 (選択、OpTaliX の).....6
- 特性行列 (膜の).....395
- トロイダル面.....69
- な
- 波.....319
- に
- 入射瞳.....237
- ニュートン原器.....424
- 一覧表.....425
 - 製造メーカ.....426
 - 追加登録.....425
 - へのフィッティング.....425
- の
- ノンシーケンシャル面. → 面 - ノンシーケンシャル面
- は
- 倍率.....29

- 倍率のソルブ 99
- 薄膜 → コーティング
- パス (ファイルの) 5
- 波長 34
- 重み 35
- 波長情報 35
- バックフォーカス 237
- 波面収差 286
- 波面のパータベーション 141
- 反射
- 損失 336
- 反射率 333
- 反転
- 面 173
- ひ**
- 非球面 60
- のタイプ (ATY) 61
- アキシコン 72
- アナモフィック面 67
- えんすいけいすう 55
- 円錐面 (種々の 2 次曲面) 62
- 拡張・奇数次非球面 65
- 奇数次非球面 63
- 偶数次非球面 62
- 高次非球面係数 55
- 面コーニック係数 55
- コーニック面 (円錐面、2 次曲面) 55
- シリンドリカル 56
- シリンドリカル面 68
- 全面に渡るサグ表示 420
- 双曲面 63
- 楕円面
- 短軸まわりの 64
- 長軸まわりの 64
- トーリック面 55, 56
- トロイダル面 69
- 非球面量の表示 (全面) 422
- 非球面量の表示 (放射方向) 420
- 面タイプを非球面に変更 54
- 離心率 63
- XY 多項式次非球面 71
- 非球面形状 (サグ) 419
- 比重 (レンズの、光学材料の) 200
- ピックアップ 92
- の一覧表 98
- 一括の 93
- グループでの 96
- 個別の 93, 97
- の削除 97
- ピックアップとソルブ 97
- 日付の表示 214
- 瞳間隔 238
- 瞳間隔の逆数 238
- 瞳の強度マップ 246
- ビネッティング
- の解除 50
- の解析 263
- の設定 50
- のプロット 264
- ビューワ
- 光源の 314
- 描画
- 干渉デフォメーション 145
- 描画色
- コーティング 384
- 視野情報 32
- 名称 485
- 広がりを持つ物体の解析 281
- 敏感度の最小化 372, 415
- ピンホール 319
- ふ**
- ファイバ 129
- グレイデッドインデックス 300
- 結合効率 294
- シングルモード 300
- シングルモードファイバ 299
- ステップインデックス 300
- ステップインデックス型の 129
- 正規化周波数 299
- テーパー型の 129, 130
- の位置, FLO 294
- マルチモード 299
- モード分布 299
- ファイルパスを表示 214
- ファイルフォーマット

- GRIN レンズの屈折率分散 (.asc) 518
 - INT ファイル (.int) 520
 - GRIN レンズ (カタログ品) (.zrn) 519
 - 光線 522
 - コーティング膜 (.otc) 513
 - ツェルニケデフォーメーション (.zrn) ... 516
 - ニュートン原器 (.tpl) 517
 - 溶解ガラス (.ind) 518
 - ラジアルスプライン (.spl) 516
 - レンズデータ (.otx) 506
 - PSF 521
 - ファイル名を表示 214
 - フーリエ変換 319–321
 - 物体
 - 広がりを持つ物体の解析 281
 - 物点 30
 - フットプリント 417
 - 物理光学 319
 - 演算子 321
 - 演算子 PTP (plane-to-plane) 320, 324
 - 演算子 STW (sphere-to-waist) 324
 - 演算子 WTS (waist-to-sphere) 321, 324
 - 角スペクトル 319
 - 境界面での伝播 322
 - 結合効率 330
 - タルボットの干渉縞 329
 - 的ビーム伝搬 319
 - 伝播のコントロール 323
 - 複素場の情報から光線への変換 322
 - フレネル近似 321
 - レーリー領域 324, 328
 - プライベートガラス 221
 - ブラックボックスレンズ→面 - レンズモジュール
 - プランク輻射のスペクトル 35
 - プリント 445
 - プリントデバイス 17
 - プリントデバイス (PRN) 445
 - フレネル 336
 - 反射損失 336
 - フレネル面 (フレネルレンズ) → 面
 - プログラム規定値 (デフォルト状態) の変更 5
 - プロット 445
 - プロット専用の光線 188
 - 分散 218, 219, 234
 - アッペ数 220
 - オフセット 218, 234
 - 主分散 220
 - ショットの分散式 219
 - セルマイアの分散式 219
 - 部分分散 225
 - オフセット (PCO) 219, 235
 - オフセット (PGO) 219, 235
 - プロット 435
 - 部分分散比 220, 235
 - ヘルツバーガの分散式 219
- へ
- 変換マトリクス (偏芯の) 108
 - 偏光 333, 341
 - コヒーレントマトリクス 342
 - ストークスベクトル 344
 - 全反射 344
 - 電気ベクトル 341
 - 入射光の偏光状態 341
 - 偏光光線追跡の ON/OFF 341
 - 偏光度 343
 - 偏芯
 - 屈折率勾配の X ティルト 101
 - 屈折率勾配の Y ティルト 101
 - 屈折率勾配の Z ティルト 101
 - グループティルト 102
 - の順序 (偏芯シーケンス) 12, 107
 - ディセンタ アンド リターン (DAR) ... 91, 103–105
 - ニューアキシス (NAX) .. 91, 103, 104, 106
 - 偏芯モード 102, 104
 - ベンド (BEN) 91, 103, 104, 106
 - ベンド面上の複合ティルト 107
 - 変数 183, 347, 348
 - 設計変数 354
 - の編集 347
 - 変調伝達関数
 - 幾何光学的 MTF 264, 265
 - 変調伝達関数 (MTF) 272, 275, 286
- ほ
- 望遠鏡 209, 210
 - Lurie-Houghton 型 209

- カセグレン.....211 面
- グレゴリアン.....211
- 反射望遠鏡.....210
- リッチクレチアン.....212
- ホールアパーチャ.....162
- ホログラフィック面 (HOE).....→ 面
- ま**
- マーカサイズ
 - スポットダイアグラム.....243
- 膜屈折率のプロファイル.....394
- マクロ.....17, 451, 471
 - CLOSE 文.....462
 - INPUT 文.....460
 - OPEN 文.....461
 - SELECT 文.....462
 - インクルード (#include 文).....458
 - 行の分割.....468
 - 繰り返し (DO 構文).....464
 - 繰り返し (WHILE 構文).....465
 - 継続行 (&).....468
 - コメント.....468
 - 算術表現.....22
 - 実行 (RUN 文).....452
 - 条件分岐 (IF 構文).....466
 - 書式付のプリント.....455
 - 数式表現.....452
 - 制御文.....464
 - 定数 (#define 文).....459
 - パラメータ (実行時の引数).....452
 - 評価 (EVA 文).....458
 - プリント (PRINT 文).....455
 - 変数.....459
 - ユーザ定義関数.....183, 463
 - ユーザ定義変数.....183
 - レンズデータベースアイテム.....22, 454
- マトリクス.....108
- マルチコンフィグレーション.....→ ズーム
- み**
- ミラーの厚さ.....200
- ミラーの中心厚.....429
- め**
- メリット関数.....345, 350
- 2 次元デフォーメーション.....136
- X 軸まわりのティルト (ADE).....101
- X 方向への平行偏芯 (XDE).....101
- Y 軸まわりのティルト (BDE).....101
- Y 方向への平行偏芯 (YDE).....101
- Z 方向への平行偏芯 (ZDE).....101
- アナモフィック面.....67
- アパーチャ.....162
- アポダイゼーション.....142
- アレイ.....131
- の移動.....173
- エディタ.....54
- 円錐係数.....55
- 回折格子.....80
 - 格子定数 (X 方向).....57, 80
 - 格子定数 (Y 方向).....57, 80
 - 次数.....57, 80
- 干渉デフォーメーション.....136
- 簡便な入力方法.....54, 58
- 球面.....54
- 強度フィルタ.....142
- 鏡面.....57
- 曲率.....69
- 曲率 (CUY).....56
- 曲率半径 (RDY).....56
- 屈折面.....57
- 屈折率分布面.....114
 - SELFOC 型 GRIN (SEL).....120
 - 屈折率プロファイル.....438
 - 屈折率分布係数 (GIC).....116
 - 屈折率分布名 (GDISP).....116
 - 勾配ステップ長 (GIS).....117
 - 勾配のオフセット (GZO).....117
 - 勾配のティルト.....117
 - 分布のタイプ (GIT).....117
 - 面タイプ.....115
 - ユーザー定義の.....124
 - Gradient Lens 型 GRIN (GLC).....121
 - Grintech 型ラジアル GRIN (GRT) .. 121
 - LightPath 社型 GRIN (LPT).....122
 - Luneberg 型 GRIN (LUN).....123
 - Maxwells の魚眼型 GRIN (MAX)....124
 - 球状 GRIN (SPG).....124

- 軸上線形型 GRIN (AXG) 122
- ロチェスタ大学型 GRIN (URN) 123
- コーティング膜の屈折率 202
- グレーティング 80
- 格子定数 (X 方向) 57, 80
- 格子定数 (Y 方向) 57, 80
- 次数 57, 80
- グローバル参照 111
- グローバル参照 (GLB) 111
- グローバル参照 (REF) 111
- 光線追跡しない面 55
- コーニック円錐係数 55
- のコピー 171, 172
- の削除 173
- サグ量 203
- 参照面間隔 (THR) 57, 111
- 絞り面 55
- 修飾子 18
- シリンドリカル 56
- シリンドリカル面 68, 69
- スプライン面 134
 - 動径スプライン 134
 - ファイブからの読み込み 135
- 全反射面 (TIR 面) 57, 87
- の挿入 171
- 像面 173
- チャンネル 131
- デフォメーション 134
- トロイダル面 69
- に付けるコメント 45, 170
- ノンシーケンシャル面 57, 89, 91
 - の光線追跡 92
 - 材料の指定 91
 - 射出ポート面 92
 - 入射ポート面 92
 - 最大到達回数 57
 - の解除 90
 - への変換 90
 - 面タイプ 90
 - 面への最大到達回数 90
- 反射面 57
- の反転 171, 173
- のピックアップ 92
 - 曲率の 93
- 材料の 93
- 偏芯の 93
- 偏芯のファクタ 93
- 面間隔の 93
- のリスト 93
- 曲率に関するオフセット 93
- 面間隔に関するオフセット 93
- 曲率半径の 55
- 材料の 56
- 偏芯の 56
- 面間隔の 55
- フレネル面 (フレネルレンズ) 86
- 変換マトリクス (偏芯の) 108
- 偏芯 101
 - 屈折率勾配の X ティルト 101
 - 屈折率勾配の Y ティルト 101
 - 屈折率勾配の Z ティルト 101
 - グループティルト 102
 - の順序 (偏芯シーケンス) 107
- ディセンタ アンドリターン (DAR) 103–105
- ニューアキシス (NAX) ... 103, 104, 106
- 偏芯モード 102, 104
- ベンド (BEN) 103, 104, 106
- ベンド面上の複合ティルト 107
- ディセンタ アンドリターン (DAR) . 91
- ニューアキシス (NAX) 91
- ベンド (BEN) 91
- ホログラフィック面
 - 2 点光源ホログラム 78
 - HOE の参照点座標 X (HX1) 76
 - HOE の物点座標 76
 - 回折効率 85
 - 高屈折率法 77
 - 格子定数 (X 方向) 75
 - 格子定数 (Y 方向) 75
 - スウェットモデリング 77
 - 設計波長 75
 - 対称な位相関数 77
 - 非対称な位相関数 76
 - ホログラム係数 75
 - ホログラムの次数 75, 80
 - ホログラムのタイプ 75
 - ホログラフィック面 (HOE) 73

- ミラー厚 (THM) 56
- ミラー面 57
- 面間隔 (THI) 56
- 面タイプ 55, 58, 103
 - 球面 59
 - 鏡面 59
 - 光線追跡しない面 59, 113
 - ノンシーケンシャル面 90
 - 非球面 59
 - フレネル面 59
 - 偏芯面 59
 - ユーザ定義面 59
 - レンズモジュール 59, 161
 - 2次元スプライン面 59
 - 回転対称スプライン面 59
 - 回折格子面 59
 - 屈折率分布面 59
 - グレーディング偏芯面 59
 - ステップインデックスファイバ 59
 - 全反射面 59
 - ツェルニケ面 59
 - ノンシーケンシャル面 59
 - ホログラフィック面 59
 - ライトパイプ 59
 - レンズアレイ 59
- 面ポインタ 20
- ユーザ定義面 → ユーザ定義面
- のリンク → 面 - ピックアップ
- レンズモジュール 57
 - の焦点距離 161
 - への変換 161
- Z 軸まわりのティルト (CDE) 101
- 面タイプ → 面
- 面ポインタ 20
- も** _____
- モードプロファイル,MPR 294
- 目標値 347, 349
- ゆ** _____
- ユーザ定義面 152
 - 係数の指定 152
 - コンパイル 155
 - Compaq FORTRAN 156
 - Intel FORTRAN 156
 - LF95 FORTRAN 155
 - Microsoft C/C++ 158
 - 作成方法 153
 - 面タイプ 152
- ユーザ定義の
 - 関数 354, 463
 - ASAP 494
 - 屈折率分布 124
 - グラフィクス 6, 203, 303
 - 関数 207
 - 変数 207
 - 制約条件 (最適化において) 354
 - 設計変数 354
- よ** _____
- 溶解ガラス 442
 - データシート (メルトデータ) 442
- 4 分割ディテクタ解析 268
- ら** _____
- ライトパイプ 129
 - テーパー型の 129, 130
 - パイプミラー型の 130
- り** _____
- リスト
 - グローバル座標の 182
 - コーティングの仕様データの 384
 - コメントの 170
 - ニュートン原器 425
 - ピックアップ
 - のリスト 93
 - レンズ構成データ 177
- 理想レンズ → 面 - レンズモジュール
- 両眼視解析 270
- れ** _____
- レーリ領域 292, 324, 328
- レンズ図面 426
- レンズデータ
 - CodeV の seq 形式で保存 28
 - インポート 487
 - ACCOS からの 489
 - ATMOS からの 489

CodeV からの	487	Y 方向への平行偏芯 (YDE)	101
MODAS からの	488	Z 軸まわりのティルト (CDE)	101
OSLO からの	488	Z 方向への平行偏芯 (ZDE)	101
Sigma 2000 からの	490		
WinLens からの	489		
ZEMAX からの	488		
各社レンズカタログからの	491		
—エクスポート	493		
Aberator への	495		
ATMOS への	495		
CodeV への	28, 493		
IGED ファイルへの	496		
MODAS への	495		
OSLO への	494		
POV-RAY への	496		
ZEMAX への	493		
エクセルへの	500		
—システム構成パラメータ	28		
—視野・物点の設定	30		
—タイトル	45		
—注釈	45		
—の新規設定	27		
—の保存	28		
—の読み込み	28		
—波長	34		
—ファイルの書式	506		
レンズの描画	185		
レンズファイルのエクスポート	494		
レンズモジュール	→ 面 - レンズモジュール		

英数字

1 次解析	253
—近軸量	253
—光線追跡	253
2 次色収差	256
3 次収差	253
3 次収差解析	254
Luca raymaker ソフトウェア	317
OS のコマンドを実行	214
ProSource TM ソフトウェア	316
XY 多項式次非球面	71
X 軸まわりのティルト (ADE)	101
X 方向への平行偏芯 (XDE)	101
Y 軸まわりのティルト (BDE)	101

【 OpTaliX】 Reference Manual 7.04 -J1 – 日本語版 –

原著者	翻訳/発行所
Optenso	合資会社 エクレシア
Kugelstrasse 205	〒 181-0013 東京都三鷹市下連雀 3-38-4-603
CH-9435 Heerbrugg, Switzerland	電話 : 0422-40-0344 (営業部)
Email : info@optenso.com	Fax : 0422-40-0348 (営業/技術部)
Web : http://www.optenso.com/	Email : sales@ekklesia.co.jp (営業部)
	: sales@ekklesia.co.jp (技術部)

-
- ◇ 本書の一部または全部について、著作権者の承諾を得ずに無断で複写、複製することは著作権法によって禁じられております。
 - ◇ 本書および本製品のご利用によって生じる損害は、一切責任を負いません。
 - ◇ 本書の内容は予告なく変更することがあります。

2009.1
