オプトメカニカルソフトウエアトレースプロで

だれでもできる照明設計

2025

ユーザーズマニュアル

〒 256-0816　神奈川県小田原市酒匂 5-16-17
電話 0465-25-3974 Fax 0465-25-1351
http://www.tracepro.jp
株式会社
ノーツアンドクロス

著作権および商標

著作権

TracePro® ソフトウェアは Lambda Research Corporation が著作権を有しています、この日本語マニュアルは株式会社ノーツアンドクロスが著作権を有しています。無断複写・転載を禁じます。

このソフトウェアは、シングルユーザーライセンスまたはネットワークライセンスのいずれかで提供されます。シングルユーザーライセンスは、一度に 1 人のユーザーが 1 台のコンピューターでのみ使用できます。ネットワークライセンスは、ネットワークライセンス用に購入された数までの 1 人以上のユーザーが、ネットワーク経由でライセンスサーバーに接続された任意のコンピューターで使用できます。

TracePro マニュアルには、専有情報が含まれています。この情報およびマニュアルの残りの部分は、Lambda Research Corporation の書面による事前の同意なし、また株式会社ノーツアンドクロスの書面による事前の同意なしに、全部または一部をコピーしたり、あらゆる手段で複製したり、あらゆる形式で送信したりすることはできません。

商標

TracePro および OSLO は、Lambda Research Corporation の登録商標です。

RayViz、TracePro Bridge、および RepTile は、Lambda Research Corporation の商標です。

以下は、米国および / またはその他の国における Kubotek Corporation の商標または登録商標です。：KUBOTEK® KUBOTEK3D™ KEYCREATOR® KUBOTEK KOSMOS KCM

ACIS は、Spatial Corporation の登録商標です。

Autodesk および Autodesk Inventor は、Autodesk, Inc. の登録商標です。

Code V は、Synopsys, Inc. の登録商標です。
PRO-E および Pro/ENGINEER は、Parametric Technology Corporation の登録商標です。
Wildfire は、Parametric Technology Corporation の商標です。
SolidWorks は、SolidWorks Corporation の登録商標です。
Windows は、米国およびその他の国における Microsoft Corporation の登録商標です。
ProSource は、Radiant Vision Systems の登録商標です。
Zemax は、Zemax の登録商標です。
CodeMeter® は、WIBU-SYSTEMS AG の登録商標です。

ライセンス契約

TracePro の購入者は、以下の制限および制約に従って本製品を使用するライセンスを付与されます。

1. 本ライセンスは最初の購入者のみに付与され、Lambda Research Corporation の書面による許可なしに譲渡することはできません。
2. シングルユーザーライセンスでは、一度に一台のコンピューターでのみソフトウェアのコピーを一つ使用できます。ソフトウェアは別のコンピューターで使用するために転送できますが、複数の同時使用のために追加のライセンスが購入されない限り、複数のコンピューターで同時にソフトウェアを使用することはできません。
3. ネットワークライセンスは、ネットワーク経由でライセンスサーバーに接続された任意のコンピューターで、ネットワークライセンスのために購入された数までの 1 人または複数のユーザーが使用できます。ライセンスキーを移動し、新しいサーバーコンピューターにライセンスサーバーソフトウェアをインストールすることにより、ライセンスを別のサーバーコンピューターに転送できます。
4. 最初の購入者は、本ライセンス契約の使用制限に従い、自己使用のためだけに元のソフトウェアのバックアップコピーを作成できます。
5. 最初の購入者は、以下のいずれも行ってはならず、第三者が行うことを許可してはなりません。

. Lambda Research Corporation によって個別にライセンスされていないユーザーへのコンピューターサービス事業、ネットワーク、またはタイムシェアリングでのソフトウェアの使用の提供。

. 上記で特に許可されている場合を除き、ソフトウェアのあらゆる種類の変更またはコピーの作成。

. いかなる方法でもソフトウェアを逆アセンブル、逆コンパイル、またはリバースエンジニアリングしようとすること。

. ハードウェアキーまたはライセンス管理ソフトウェアを無効にしようとすること。

6. ライセンス製品は、米国法およびライセンス製品を取得した管轄区域の法律によって許可されている場合を除き、使用またはその他の方法で輸出または再輸出することはできません。特に、制限なしに、ライセンス製品は、(a) 米国の禁輸国、または (b) 米国財務省の特別指定国民リストまたは米国商務省の取引禁止人リストまたはエンティティリストに掲載されている者に対して輸出または再輸出することはできません。ライセンス製品を使用することにより、お客様は、そのような国に所在していないこと、またはそのようなリストに掲載されていないことを表明および保証します。また、ミサイル、または核兵器、化学兵器、もしくは生物兵器の開発、設計、製造、もしくは生産を含むがこれらに限定されない、米国法で禁止されている目的でこれらの製品を使用しないことに同意します。

保証

Lambda Research Corporation は、TracePro が技術的に正確であることを保証するためにあらゆる努力を払ってきましたが、Lambda Research は、本書の内容または本書に記載されているソフトウェアに関して、直接的または間接的に、いかなる種類の表明または保証も行いません。Lambda Research は、本書または本書に記載されているソフトウェアに含まれる誤り、あるい

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

は本製品の提供、性能、使用、または使用不能によって引き起こされた、またはそれに関連して発生した偶発的または派生的な損害について責任を負いません。

本書に同梱されている物理的な CD-ROM、ハードウェアキー、およびドキュメントに関して、Lambda Research は、購入日から 30 日間、材料および製造上の欠陥がないことを保証します。Lambda Research は、この保証期間内に欠陥のある製品を受け取り次第、欠陥のある CD-ROM、キー、またはドキュメントを交換します。
Lambda Research は、いかなる人にもそのような改訂または変更を通知する義務を負うことなく、TracePro ソフトウェアまたはドキュメントに変更を加える権利を留保します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ドキュメントの表記規則

TracePro マニュアル全体を通して、以下の表記規則が用いられています。

メニュー項目とメニューの順序は、「Define|Edit Property Data|Material Properties」、または「編集｜プロパティデータの編集｜マテリアルプロパティ」のように示されます。この順序は、まず「Define」または「編集」メニューを選択し、次に「Edit Property Data」または「プロパティデータの編集メニューを選択し、最後に「Material Properties」または「マテリアルプロパティ」メニューを選択することを意味します。

TracePro の特定の Edition（エディション）で利用可能な機能は、以下の Edition（エディション）アイコンによって示されます。

トレースプロ　エキスパート

トレースプロ　スタンダード

トレースプロ　LC

目次

著作権および商標 2

著作権 2

商標 2

ライセンス契約 3

保証 3

ドキュメントの表記規則 5

第 1 章 はじめに34

TracePro とは？ 34

なぜソリッドモデリングなのか？34

TracePro はどのようにソリッドモデリングを実装するのか？ 35

なぜモンテカルロ光線追跡なのか？ 35

TracePro グラフィカルユーザーインターフェイス 36

ツールバー 36

モデルウィンドウ 37

複数モデルの複数ビュー 37

システムツリーウィンドウ 39

システムツリーの選択 41

システムツリーのリアレンジ 42

コンテキスト依存メニュー 42

モデルウィンドウのポップアップメニュー 42

ユーザーデフォルト 44

オブジェクトと表面 44

名前の変更 44

オブジェクトと表面の選択 44

システムツリー経由 44

モデルウィンドウ経由での選択 45

高度な選択ダイアログ 45

オブジェクトの移動とその他の操作 (Moving Objects and Other Manipulations) 46

インタラクティブな表示と編集 47

法線ベクトルと上向きベクトル 47

モデリングのプロパティ 48

プロパティの適用 48

モードレスダイアログボックス 48

式評価機能 49

コンテキスト依存型オンラインヘルプ 50

コマンドライン引数 50

英語以外の言語の使用 51

第 2 章 ソリッドモデルの作成 53

ソリッドモデリング入門 53

モデル単位 53

位置と回転 53

基本立体オブジェクトの定義 54

ブロック 55

円柱 / 円錐55

トーラス 56

球 57

薄板 58

ラバーバンドプリミティブ： 60

TracePro ソリッドの定義： 61

レンズエレメント： 61

エレメントタブ 62

Surfaces tab（サーフェスタブ） 63

回転対称非球面 (Rotationally Symmetric Asphere) 66

非対称非球面 (Asymmetric Asphere) 66

「非対称一般非球面」 67

円柱 (Cylinder) 67

トーラス (Torus) 67

二重円錐面 (Biconic Surface) 67

ISO X-Toric サーフェス 68

ISO X-Toric 68

ISO Y-Toric 69

非対称円錐 69

非対称円錐面 (Asymmetric Cone Surface) 70

非対称ツェルニケ面 (Asymmetric Zernike Surface) 70

「アナモルフィック」 71

用語の解説 :
cx, cy: x 方向と y 方向の曲率（curvature）です。曲率とは、サーフェスの曲がり具合を示す値です。
kx, ky: x 方向と y 方向の円錐定数（conic constants）です。円錐定数は、サーフェスがどのような種類の円錐曲線に近いかを示す値です。 71

奇数コサイン面 : 72

超円錐面 72

放射状スプライン 72

アパーチャタブ 73

遮蔽タブ 74

「位置」タブ 75

フレネルレンズ 76

反射鏡 77

円錐 78

3D 複合体 80

放物線集光器 80
トラフ（円筒） 81
複合トラフ 83
長方形集光器 84
ファセットリムレイ 84
チューブ 86
バッフルベーン 87
ブール演算 88
交差 (Intersect) 88
減算 (Subtract) 89
結合 (Unite) 90
オブジェクトの移動、回転、拡大縮小 91
移動 (Translate) 91
移動コピー (Translate Copy) 91
移動コピー (Move Copy): 92
回転 (Rotate): 92
回転軸と回転中心 93
回転コピー 94
スケール（拡大縮小） 94
スケールコピー 95
オリエンテーション（向き） 95
TracePro モデルの保存 96
.omlb ファイル形式 96
.tracepro ファイル形式96
サーフェスのスイープと回転 96
スイープ 96
回転 97
ノートエディタ 98
ファイルのインポートとエクスポート 99
CAD トランスレータ 99

モデルファイルのプロット形式について： 99

レンズ設計ファイル 100

ファイルの結合 101

ファイルの挿入 102

RayViz からの更新 102

モデルビューの変更 103

ズーム操作 104

パン操作 105

ビューの回転 105

名前付きビュー 105

直前の表示 106

全マウスモード 106

オブジェクトの外観の制御 106

オブジェクトの表示 106

すべて表示 106

オブジェクト WCS の表示 107

RepTile 表示 Expert 107

境界のみ 108

ボクセルを表示 108

重要度を表示 Standard Expert 108

ビューオプション 109

一般 110

プロパティデータベース 110

自動ロードスキーム 110

TracePro 起動時のモデルウィンドウ 110

光線追跡スレッドの優先度 110

実行時のテンポラリファイル用ドライブ 110

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

最近開いたファイルの数　111
テキストファイルの保存形式　111
起動時に更新プログラムを確認する　111
Spaceball（スペースボール）を有効にする　111
レイトレースのキャンセル時に警告する 111
コーティング DLL ディレクトリ　111

色 111

背景色　111
オブジェクト / サーフェスの色 112

光線表示　112

メニューのデフォルト設定：解析 | 光線表示　112
光線方向矢印の表示　112
交差しないレイの表示 112
光線描画時間制限の有効化　113

ビュー　113

システムツリーの配置 113
モデルウィンドウの xx% でシステムを開く　113
シミュレーション光線追跡に入る前にプロンプトを表示する　113
重要度ターゲットラベルを表示する　113
重要度ターゲットラベルのフォントサイズ　114
デフォルトのモデルビュー　114
ズームパラメータ　114
ビューの回転 114
モデルを開くとき　114

モデル　114

モデルを適切な単位にする　114
デフォルト温度　Standard Expert　115
環境 115
レイ トレース モード (Raytrace Mode)　116
デフォルトのリセット (Reset Defaults)　116

色の変更 (Changing Colors) 117

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

色の選択 117

フォトリアリスティックレンダリング 117

フォトリアリスティックレンダリング設定 118

環境光輝度 119

レンダリング品質 119

トレースする最大フォトン数 119

フォトリアリスティックレンダリングオプション 120

おおよその輝度の表示 120

CIE xy と CCT 結果の表示 121

蛍光を使用したフォトリアリスティックレンダリング 121

フォトリアリスティックレンダリング結果の保存 121

第 3 章 プロパティの定義 124

概要 124

プロパティとは？ 124

プロパティの定義または適用 124

プロパティエディタ 124

「ツールバーとメニュー」 126

コマンドパネル 126

情報パネル 127

グリッドパネル 127

マテリアルプロパティ 128

材料カタログ 128

マテリアルプロパティデータベース 128

新しいマテリアルプロパティの作成 129

既存のマテリアルプロパティの編集 130

マテリアルプロパティのエクスポート 130

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マテリアルプロパティのインポート　131
バルク吸収　131
複屈折　132
Bulk Scatter Properties (バルク散乱プロパティ) Standard Expert 133
バルク散乱プロパティエディタ　134
インポート / エクスポート機能　135
Scatter DLL (散乱 DLL)　136
Fluorescence Properties (蛍光プロパティ) Expert　136
蛍光プロパティの定義手順 136
蛍光プロパティジェネレーターの使用 138
蛍光計算　138
蛍光光線追跡　139
レイトレースオプション　140
蛍光オプション　140
サーフェスソースプロパティ　141
サーフェスソースプロパティエディタ 141
新しいサーフェスソースプロパティの作成　142
既存のサーフェスソースプロパティの編集　143
サーフェスソースプロパティのエクスポート 143
サーフェスソースプロパティのインポート　143
サーフェスソースプロパティジェネレータの使用 144
勾配屈折率プロパティ Standard Expert 144
勾配屈折率プロパティエディタ　144

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

既存の屈折率勾配プロパティを編集する　145
屈折率勾配プロパティをエクスポートする　146
屈折率勾配プロパティをインポートする　146
サーフェスプロパティ　146
サーフェスプロパティデータベースの使用　146
サーフェスプロパティエディタの使用　147
「Solve for（解を求める）」について　151
方向依存プロパティ　152
新しいサーフェスプロパティの作成　153
既存のサーフェスプロパティの編集　153
サーフェスプロパティのエクスポート　153
サーフェスプロパティのインポート　154
サーフェスプロパティプロットタブ　154
入射媒質（Incident Medium）　155
基板媒体　156
角度（度）で 156
波長（μ m）別　156
値の表示　156
テーブルタイプ BSDF 156
テーブルタイプ BSDF プロパティの作成 157
非対称テーブル BSDF を持つサーフェスプロパティを作成するには：　162
非対称テーブル BSDF プロパティの使用 164
BSDF コンバーターの使用　164
BSDF プロパティの使用　165
BSDF プロパティを使用したサーフェスプロパティの作成 165
ワイヤーグリッドポラライザ　166
ワイヤーグリッドサーフェスプロパティの適用　166

薄膜スタック Standard Expert 167
スタックエディタの使用 167
薄膜スタック編集に関する注意 167
BSDF プロパティ 170
BSDF プロパティエディタの使用 171
BSDF プロパティのインポートとエクスポート 171
RepTile サーフェス 172
概要 172
RepTile サーフェスの指定 172
RepTile 形状 173
Ring（リング）タイル 173
Segment（分割）リングタイル 173
長方形タイル 174
Staggered（千鳥配置の）長方形タイル 174
六角形タイル 175
RepTile ジオメトリ 176
フレネルレンズの形状： 178
円錐形状： 178
球面ジオメトリ 179
ヒップルーフ（寄棟屋根）ジオメトリ 181
プリズムジオメトリ 183
丸みを帯びたプリズム形状 184
拡張プリズムジオメトリ 185
ログジオメトリ（Log geometry） 186
平坦化された円錐ジオメトリ 187
尖った円錐形状 188
ブロックジオメトリ 188
DMD ミラージオメトリ 190
トーラスジオメトリ 191

非球面形状　193
ポリゴン　193
キューブコーナー　195
ピラミッド形状　195
円形寄棟屋根形状　195
四面体形状　196
テクスチャファイル　196

RepTile のパラメータ化　198

変数 199

長方形および千鳥状長方形　199
リング　199

パラメーター化された入力フィールド　199

レプタイル形状のディセンタリング　203

プロパティデータベースツール　204

プロパティデータベースの更新 204
インポート　204
エクスポート 205

第 4 章 プロパティの使用と適用　206

プロパティの使用　206

既存のプロパティデータの制限　206

プロパティデータの適用　206

マテリアルプロパティ　209

材料カタログ　209

マテリアルプロパティの適用　209

複屈折マテリアルプロパティの適用　210

バルク散乱　210

蛍光プロパティ　Expert　212

蛍光プロパティの適用　213

勾配屈折率プロパティ　Standard Expert　213

サーフェスプロパティ　214

サーフェスプロパティデータベースの使用　215

サーフェスソースのプロパティ　215

黒体サーフェスソース　220

黒体と灰色体の計算　220

プリスクリプション　Standard Expert　221

インポータンスサンプリング　Standard Expert　222

インポータンスサンプリングターゲットの手作業による定義　223

インポータンスサンプリングのターゲットの追加225

重要度光線の数　225

重要度ターゲットの形状、寸法、および位置　225

セル 225

層化インポータンスサンプリング　226

インポータンスサンプリングプロパティの適用　227

インポータンスサンプリングの自動設定　227

処方の定義　227

ターゲット形状の選択 227

ガットレイ、マージナルレイ、主光線（1 つまたは 2 つ）の指定　227

環状ターゲット　228

長方形ターゲット　228

ターゲットの適用、キャンセル、または保存　229

インポータンスサンプリングターゲットの編集 / 削除　229

終了サーフェス 230

事前定義された放射照度マップの向き　231

回折 231

TracePro での回折の定義 232

TracePro での回折のモデル化の要否 232

回折の設定方法 232

レイトレースフラグの使用 233

ミュラー行列 Standard Expert 233

Temperature（温度） 236

クラスおよびユーザーデータ Standard Expert 237

RepTile サーフェス Expert 238

概要 238

RepTile サーフェスの指定 238

パラメータ化された RepTile の奥行き 241

境界形状 241

円形境界 241

長方形境界 242

サーフェス境界の使用 242

エクスポート 242

視覚化とサーフェスプロパティ 242

RepTile テクスチャファイルサーフェスの指定 244

テクスチャ RepTile の凹凸指定 246

テクスチャ RepTile のベース平面指定 250

温度分布 251

温度分布の適用 252

第 5 章 レイ トレーシングとオプティマイズ 254

レイ トレーシング入門 254

ソースの組み合わせ 254

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

システム ツリーによるソースの管理 254

ソース / 波長セレクターによるソースの管理 255

ソースの定義 255

グリッドソース 256

グリッドの設定 259

グリッド境界 259

形状 260

寸法 260

グリッドパターン 260

円形 260

矩形グリッド 261

ディザー 262

クロス 262

ランダムグリッド 263

チェッカーボード 263

グリッド密度： 265

点 / リング数、リング数 /Y グリッド点数： 265

X グリッド点数： 265

総光線数： 265

光束（光束）: 265

グリッドの原点： 265

グリッドの向き： 265

法線ベクトルと上向きベクトル： 265

オイラー角 266

ビーム設定 266

ビームの空間プロファイル 266

ビームの空間重み付け 266

ビームの空間的寸法 268

空間 X 軸方向のビームウエスト半径 268

ビームの角度重み付け 269

ビームの半角 X & Y 269

株式会社 ノーツアンドクロス

半角半径（半角 R） 269
ビームの向き 269
グリッドに垂直： 270
方向ベクトル： 270
オイラー角： 270
一点に収束 / 一点から発散： 270

波長 270

偏光 Standard Expert 270

偏光状態 271
部分偏光と偏光度 272
カスタム偏光 272

サーフェスソース 272

サーフェスソースからのインポータンスサンプリング Standard Expert 272

ファイルソース 273

Radiant Zemax データからの光線ファイルの作成 273

入射光線テーブルからの光線ファイルの作成 273
理論的または測定されたデータからの光線ファイルの作成 274
ソースの挿入 274
光線の一部（%）をトレースする機能 276
光束をスケールする機能 276
ファイルソースの変更 276

イメージソース： 277

Ray File Wavelength Editor（レイファイル波長エディタ） 280

Source Builder（ソースビルダー） 281

ソースの方向付けと選択 282

ソースの複数選択 282

移動と回転のダイアログ 283

ソースエディタ 284

複数ソースの全光線数スケール 284

光線の追跡（光線追跡） 285

標準（順方向）光線追跡 285

逆光線追跡 Standard Expert 286

逆追跡光線の指定 286

逆線追跡の理論 287

輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）光線追跡 287

光線追跡オプション 291

オプション 291

光線分割 292

RepTile での光線分割なし 292

鏡面光線のみ Standard Expert 292

インポータンスサンプリング Standard Expert 293

開口回折 293

ランダム光線 293

蛍光 Expert 293

偏光 Standard Expert 293

ボディ内からの光線開始の検出 294

乱数シード 294

閾値 294

シミュレーションと出力 295

出口サーフェスデータ収集 296

軽から出てゆく光線によるカンデラデータ収集 296

経路ソートデータ収集 296

インデックスファイル名 296

光線追跡中のディスクへのデータ保存 297

ディスクへの光線履歴の保存 297

ディスクへのバルク散乱データの保存 297

TracePro LC のシミュレーションオプション 297

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

出口サーフェスデータ収集　297

お武衛 j 久斗と交わらない光線によるカンデラデータ収集 297

高度なオプション　298

ボクセル化のタイプ　298

ボクセルパラメータ　299

光線追跡とスプラインサーフェス　301

勾配屈折率サブステップ許容誤差　Standard Expert　301

光線追跡モード 302

解析モード　302

光線追跡の保存と復元 303

シミュレーションモード　303

シミュレーションダイアログ　304

シミュレーションオプション　Standard Expert　304

LC のシミュレーションデータ　LC　306

オプティマイズ　Standard Expert 306

インタラクティブオプティマイザ306

テクスチャオプティマイザ II　306

第 6 章 解析結果　308

レイ トレース結果の検証と解析結果　308

解析結果メニュー　308

光線を表示　308

光線の表示色　308

フラックスに基づく光線の色　309

カラーパレットの変更 309

カスタムパレットの作成　310

波長に基づく光線の表示色　310

ソースに基づく光線の表示色　310

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

すべての光線を単色で表示 310

パスソートテーブル 310

シミュレーションモード 311

アナリシスモード 311

メモリ消費量 311

Path Sort Filter Editor（パスソートフィルタエディタ） 312

パスソートフィルタのインターセプトタイプウィンドウ 313

照射照度マップ 314

放射照度マップオプション 315

マップデータ 316

表示オプション 318

等高線レベル 321

トゥルーカラーオプション 322

放射照度データへのアクセス 323

エンスクエアードフラックス 323

輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップ 326

3D イラジアンス / イルミナンス 329

3D イラジアンス / イルミナンスオプション 330

マップデータ 330

表示オプション 331

等高線レベル 332

トゥルーカラーオプション 333

3D イラジアンス / イルミナンスデータの保存 334

カンデラプロット 334

カンデラオプション 335

オリエンテーションと光線 336

極座標等カンデラ 337

矩形等照度曲線図（矩形プロット） 339

カンデラ分布 : 341

IESNA および Eulumdat 形式 343

カンデラ / 光度データへのアクセス 347

囲まれたフラックス 348

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

偏光マップ　350

偏光オプション　351

偏光データの保存　352

OPL/ 飛行時間プロット　353

OPL/ 飛行時間プロットのオプション　353

入射光線テーブル　357

入射光線テーブルデータのコピー＆ペースト　359

入射光線テーブルのファイルへの保存　359

入射光線テーブルの光線ファイルとしての保存　360

選択した光線の表示　360

パスソーティング（Path Sorting）　361

光線ファイル - バイナリファイル形式（Ray Files - Binary file format）　361

光線履歴　362

光線履歴テーブルデータのコピー＆ペースト　364

光線履歴テーブルのファイルへの保存　364

光線のソート　365

レポートメニュー　369

光束レポート（各サーフェスでの光束レポート）　369

プロパティデータレポート　370

光線追跡レポート　370

光線追跡の保存と復元　370

ツールメニュー　371

検証（検証）　371

光線データメモリの削除　371

体積フラックス収集　371

概要　371

体積フラックスの観察 373

概要 373

フラックスタイプ 374

法線（Normal Axis)」と「向き（Orientation)」 375

スライス 375

カラーマップ 375

単位 375

勾配 (Gradient) 表示 376

対数 (Logarithmic) 表示 376

シミュレーションファイルマネージャー (Simulation File Manager) 376

出射サーフェスファイル (Exit Surface files) 376

Candela「オブジェクト・サーフェスと交わらない光線」ファイル 377

イラジアンス / イルミナンスビューアー 377

概要 377

保存されたイラジアンス / イルミナンスマップの表示 377

イラジアンス / イルミナンスビューアーのオプション 378

イラジアンス / イルミナンスマップの加算と減算380

カンデラプロットビューア 381

*.txt ファイルを開いて保存されたカンデラプロットを表示する 381

*.sim ファイルを開いてカンデラプロットを表示する 382

3D イラジアンス / イルミナンスビューア 382

保存された 3D イラジアンス / イルミナンスマップの表示 382

3D イラジアンス / イルミナンスビューアのオプション 382

3D イラジアンス / イルミナンスビューアのビュー 382

TracePro モデルオブジェクトのロード 383

解析結果ツールキット 383

ソーラエミュレーターについて：383

シーケンスエディタ 384

概要 384

シーケンスエディタのファイルメニュー 384
シーケンスリボン（Sequence Ribbon） 385
レンズグループ 385
解析グループ 391
レシピグループ 395
光線追跡グループ 395
TracePro グループ 395
カメラグループ 396
レンズセットウィンドウ 396
レンズビューウィンドウ 397
一般設定リボン 398
ヘルプ 398

IES/LDT プロットのヘルプ 398

照明ツールキット 398

Stray Light Analyzer（迷光解析ツール）399

Measurement Dialog（計測ダイアログ） 399

第 7 章 テクニカルリファレンス 401

概要 401

モンテカルロシミュレーションにおける光線分割の使用 401

インポータンスサンプリング Standard Expert 402

インポータンスサンプリングとランダム光線 403

インポータンスサンプリングが必要な場合 404

インポータンスサンプリングのターゲットの選択方法 404

インポータンスサンプリングの例405

マテリアルプロパティ 407

マテリアルプロパティデータベース 407

マテリアルプロパティの補間 407

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

勾配屈折率プロファイル多項式 409

複素屈折率 415

サーフェスプロパティ 416

一致サーフェス 416

BSDF 416

ハーベイ - シャック BSDF 417

ABg BSDF モデル 418

BRDF、BTDF、および TS 419

非対称 BSDF 420

非対称テーブル BSDF 422

楕円 BSDF 422

楕円 ABg BSDF モデル 423

楕円形ガウス BSDF 425

1D ABg BSDF モデル 425

1D テーブル BSDF モデル 426

光線追跡中のフレネル係数の計算427

異方性サーフェスプロパティ Standard Expert 427

異方性サーフェスタイプ 428

異方性データの取得 429

ユーザー定義のサーフェスプロパティ Expert 429

概要 429

サーフェスプロパティ DLL の作成 429

サーフェスプロパティ DLL の作成 432

サーフェスプロパティの適用 432

拡張コーティング DLL の API 仕様 433

ドキュメントのレイアウト 434

呼び出し頻度 434

リターンコード、シグナル、および定数 -- TraceProDLL.h 434

リターンコードの説明 434

関数 : fnInitDll 435

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

関数：**fnEvaluateCoating** 436
関数：fnAnnounceOMLPath 438
関数 : fnAnnounceDataDirectory 439
関数：fnAnnounceSurfaceInfo 440
関数 : fnAnnounceLocalBoundingBox 441
関数 : fnAnnounceRaytraceStart 441
関数 : fnAnnounceWavelengthStart 442
関数 : fnAnnounceWavelengthFinish 442
関数：fnAnnounceRaytraceFinish 443
拡張コーティング DLL の例 444

基板内で測定された角度 448

基板内で測定された角度はいつ使用すべきか？ 448
背景と理論 448

サーフェスソースプロパティ 451

スペクトルタイプ 452

矩形 452
ソーラータイプ 454
テーブルスペクトルタイプ 455

Angular Types（角度タイプ） 455

Lambertian（ランバート） 455
Uniform（均一） 456
Gaussian（ガウス分布） 456
テーブル (Table) 457

ミューラー行列とストークスベクトル 457

バルク散乱 461

ヘニー＝グリーンスタイン位相関数 461

Gegenbauer 位相関数 462

散乱係数 462

TracePro でのバルク散乱の使用 462

ユーザー定義のバルク散乱 463

散乱 DLL の使用 463

TracePro が呼び出す必要関数 463

DLL エクスポート定義 469

不均一な温度分布 469

概要 469

分布のタイプ 469

直交座標 470

円形座標 470

円筒座標 471

温度分布の定義 472

温度分布ストレージファイルのフォーマット 473

タイプ 0：補間点を持つ矩形 475

タイプ 1：多項式分布を持つ長方形 476

タイプ 2：補間点を使用した円形パターン 477

タイプ 3: 多項式分布を持つ円形 479

タイプ 4：補間点を持つ円柱 481

タイプ 5: 多項式分布を持つ円柱 483

温度分布の多項式近似 484

ルジャンドル多項式 - 長方形平面 485

ゼルニケ多項式 - 円形平面 485

ルジャンドル - フーリエ多項式 - 円柱 485

極座標等カンデラ図の解釈 489

プロパティのインポート / エクスポートフォーマット 492

マテリアルプロパティフォーマット 492

サーフェスプロパティフォーマット 493

サーフェスプロパティデータ列 495

回折格子データ列 495

BSDF データ列の表 496

スタックプロパティフォーマット496

勾配屈折率プロパティフォーマット 497

勾配屈折率データ列（非 GRADIUM タイプ） 498

GRADIUM (Buchdahl) 型の屈折率勾配データ列 500

GRADIUM（セルマイヤー）型屈折率勾配データ列 501

バルク散乱プロパティフォーマット 502

蛍光プロパティフォーマット 503

レプタイルプロパティフォーマット 506

テクスチャファイルフォーマット 508

第 8 章 マクロ言語の使用 514

Scheme 言語 514

Notepad++
概要 514

Notepad++ でオートコンプリートを有効にする 515

TracePro に Scheme コマンドを送信する 515

マクロレコーダー 515

記録状態 515

マクロの形式と例 515

マクロコマンドの例 516

コマンドラインからマクロコマンドを実行する 517

Scheme プログラムをファイルから実行する 517

ジオメトリの作成 518

ソリッドブロックの作成： 518

blk1 という名前のソリッドブロックの作成： 518

ソリッドシリンダ（円柱）の作成： 518

ソリッド楕円柱の作成： 518

ソリッド円錐の作成： 519

ソリッド楕円錐の作成： 519

ソリッドトーラスの作成： 519

株式会社 ノーツアンドクロス

ブーリアン演算 520

ブーリアン減算 520

ブーリアン結合 520

ブーリアン交差 520

マクロプログラム 520

Scheme を使用した TracePro メニュー選択へのアクセス 520

Scheme の詳細について 520

TracePro COM インターフェース 521

TracePro COM 521

TracePro タイプライブラリ 521

TracePro< エディション > オブジェクト 521

TracePro インターフェース 522

TracePro COM サーバーの変更 523

TracePro DDE インターフェース 523

はじめに 523

サービス名 524

トピック 524

アイテム 524

クリップボードフォーマット 525

TracePro DDE サーバー 525

会話の確立 525

Excel 97/2000 の例 525

第 9 章 例 528

RepTile の例 Expert 528

フレネルレンズ 528

円錐穴形状、可変形状、長方形タイル、長方形境界 539

株式会社 ノーツアンドクロス

千鳥状のリングタイルを持つパラメータ化された球状バンプ形状　547

開口による回折の例　Standard Expert　550

回折サーフェスへのインポータンスサンプリングの適用 554

ボリュームフラックスの計算例　557

サーフェス押出（掃引）の例　561

サーフェス旋回の例　564

コピーと移動 / 旋回機能の使用　566

異方性サーフェスプロパティ　569

TracePro での異方性サーフェスプロパティの作成 570

サーフェスに異方性サーフェスプロパティを適用する　570

楕円 BSDF 571

楕円 BSDF プロパティの作成　571

サーフェスへの楕円 BSDF サーフェスプロパティの適用 572

TracePro 回折グレーティングの使用　574

TracePro で回折グレーティングを使用する　574

グレーティングサーフェスプロパティのレイトレーシング　577

逆光線追跡を用いた例　579

逆光線の指定　580

インポータンスサンプリングのターゲットを設定する　581

逆光線の追跡 582

解析結果の表示　583

複数の出口面を使用した例　590

輝度 / 放射輝度マップの使用例　593

フォトリアリスティックレンダリングの使用例　595

ホログラフィック光学素子の例　598

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

コンピュータ生成ホログラムの例 Standard Expert 601

Zernike 位相の例 Standard Expert 603

第 1 章　はじめに

TracePro とは？

TracePro は、ソリッドモデルの光学解析を行うための光線追跡プログラムです。TracePro は「一般化光線追跡」を用いて光線を追跡します。この技術により、オブジェクトや表面が交差する順序を仮定することなく、モデルに光線を投入できます。各交差点で、個々の光線は吸収、反射、屈折、回折、散乱の影響を受ける可能性があります。

光線がソリッドモデル全体でさまざまな経路を伝播するにつれて、TracePro は各光線に関連付けられた光束を追跡します。TracePro は、吸収、鏡面反射と屈折、回折、および光の散乱を完全に考慮します。

TracePro を最大限に活用するには、新しい TracePro プロジェクトを開始するために、以下の概要に従うのが最善です。これらのステップは、以下のセクションでより詳しく説明されます。

第 2 章「ソリッドモデルの作成」- 最初のステップは、解析したいシステムを表現する幾何学的モデルを構築またはインポートすることです。モデルをゼロから構築する場合、通常、ジオメトリは単純な状態から始まり、プロジェクトのライフサイクルを通じて、システムを非常に正確かつ詳細に表現するように成長します。

第 3 章「プロパティの定義」- 反射、屈折、吸収、散乱などの目的の属性を表す材料および表面プロパティが、幾何学的モデルに対して定義されます。必要に応じて、TracePro プロパティデータベースで既に定義されているプロパティを使用するか、特定のニーズを満たすようにプロパティを調整できます。

第 4 章「プロパティの適用」- プロパティが定義されたら、モデル内の適切なオブジェクトおよび表面にプロパティを適用できます。

第 5 章「光線追跡と最適化」- 光線は、光線の開始点をグリッドソース、表面ソース、またはインポートされたソースとして定義することにより、モデルを介して追跡されます。光線がモデルに投入される方法と、どの光線追跡パラメータが呼び出されるかは、通常、後でシステムに対して実行したい分析に密接に関連しています。

第 6 章「解析」- 光線追跡からの結果の光束の位置、範囲、および分布を決定するために、さまざまな解析オプションが利用可能です。解析オプションは広範囲に及び、放射照度、照度、カンデラ、および体積光束マップだけでなく、後処理のためにデータファイルに保存できる詳細な光線履歴情報も含まれます。

TracePro を初めて使用する場合は、ユーザーインターフェイスが習得しやすいことがわかり、これらの各ステップを非常に短時間で習得できるはずです。

なぜソリッドモデリングなのか？

ソリッドモデリングは、実際の材料から実際のハードウェアを構築するのと同じように、「ソリッド」な仮想材料のピースを使用して幾何学的システムのコンピュータモデルを構築する技術です。ソリッドモデリングを使用することにより、物理的に構築可能なものをモデリングし

ていることを確信でき、多くのモデリングエラーを回避する一貫したモデリングが得られます。ソリッドモデリングは、機械設計者の間で広く受け入れられています。多くの有限要素解析（FEA）プログラムおよび機械コンピュータ支援設計（CAD）プログラムで使用されています。

ソリッドモデリングを光学解析プログラムで使用することは、いくつかの理由で理にかなっています。非一様有理 B スプライン（NURBS）表面を含む、物理システムをモデリングするための確立された技術を使用します。

他の設計および解析プログラムとデータを共有または交換します。

屈折率などの関連するマテリアルプロパティを、モデル内のソリッドオブジェクトに接続します。

5 つの側面しかないソリッドキューブを作成するなど、最も一般的なモデリングエラーの一部を防止します。

TracePro はどのようにソリッドモデリングを実装するのか？

TracePro は、ソリッドモデリングエンジンに基づいています。このモデラーを使用して、TracePro は、組み込みのトランスレータを使用して、IGES、STEP、およびその他の CAD 形式を介して、他のほとんどのベース CAD および解析プログラムとデータを交換できます。TracePro は、一般的なレンズ設計プログラムからレンズ設計ファイルをインポートすることもできます。

TracePro で作成するエンティティは、総称して「モデル」と呼ばれます。このモデルには、「オブジェクト」と呼ばれる個々のソリッドジオメトリのピースが含まれています。ソリッドモデリングアプローチを使用することにより、TracePro は、すべてのソリッドオブジェクトが表面で囲まれている必要があることを要求します。オブジェクトは、TracePro 内で定義することも、他の場所（CAD プログラムなど）で定義して TracePro にインポートすることもできます。TracePro ソリッドモデル内のオブジェクトは、2 つ以上のオブジェクトを単一のオブジェクトに結合するアクションなど、さまざまな方法で操作できます。これにより、オブジェクトが持つ表面は、オブジェクトの「境界」または「外側」の表面のみになります。

なぜモンテカルロ光線追跡なのか？

TracePro モデリングでは、モンテカルロ法は光の散乱と回折をシミュレートし、ソースから放射される光線の分布をサンプリングするために使用されます。散乱と回折のプロセスがない場合、光は離散的な方向に進み、これは光線追跡によって正確にモデル化されます。しかし、光が表面から散乱すると、連続的な光の分布が生成されます。原理的には、この分布を次の表面に伝播し、次にこの分布を次の表面で生成される分布とカスケード接続し、光場の放射照度が無視できるほど低くなるまで、これを繰り返すことによって、光の伝播を正確に計算することができます。この方法で光の伝播をモデル化するには、非常に複雑なコンピュータプログラムが必要になる可能性があります。

モンテカルロ法は、ランダムなプロセスの結果を計算するための手法です。統計によってのみ記述できる量子力学的プロセスをモデル化するために使用されます。光の伝播に適用されるモンテカルロ法は、数値積分手法としても記述できます。そのため、解決すべき問題が従来型の数値積分手法に適さないため、それらの手法を使用できない場合に使用されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

モンテカルロ光線追跡では、散乱と回折はランダムなプロセスとして扱われます。光の分布を伝播する代わりに、分布の離散的なサンプル、つまり光線が伝播されます。サンプルは、散乱分布を確率密度として使用してランダムに選択されます。これにより、光線追跡の確立された手法を使用して散乱をモデル化できます。

「ブルートフォース」モンテカルロ光線追跡では、光線の方向はランダムに選択され、非常に多数の光線を追跡することによって信頼性の高い答えが得られます。TracePro は、信頼性の高い結果を得るために必要な光線の数を減らすために、分散低減手法を使用します。

TracePro グラフィカルユーザーインターフェイス

TracePro は、モデルの表示、固体オブジェクトの追加、および材料特性、サーフェスプロパティ、およびソース特性の適用を容易にする、使いやすいグラフィカルインターフェイスを提供するように設計されています。コマンドにすばやくアクセスするための多くのツールバーボタンがあり、頻繁に使用されるコマンドを含むポップアップメニューが利用可能です。ポップアップメニューは、マウスの右ボタンをクリックすると開きます。

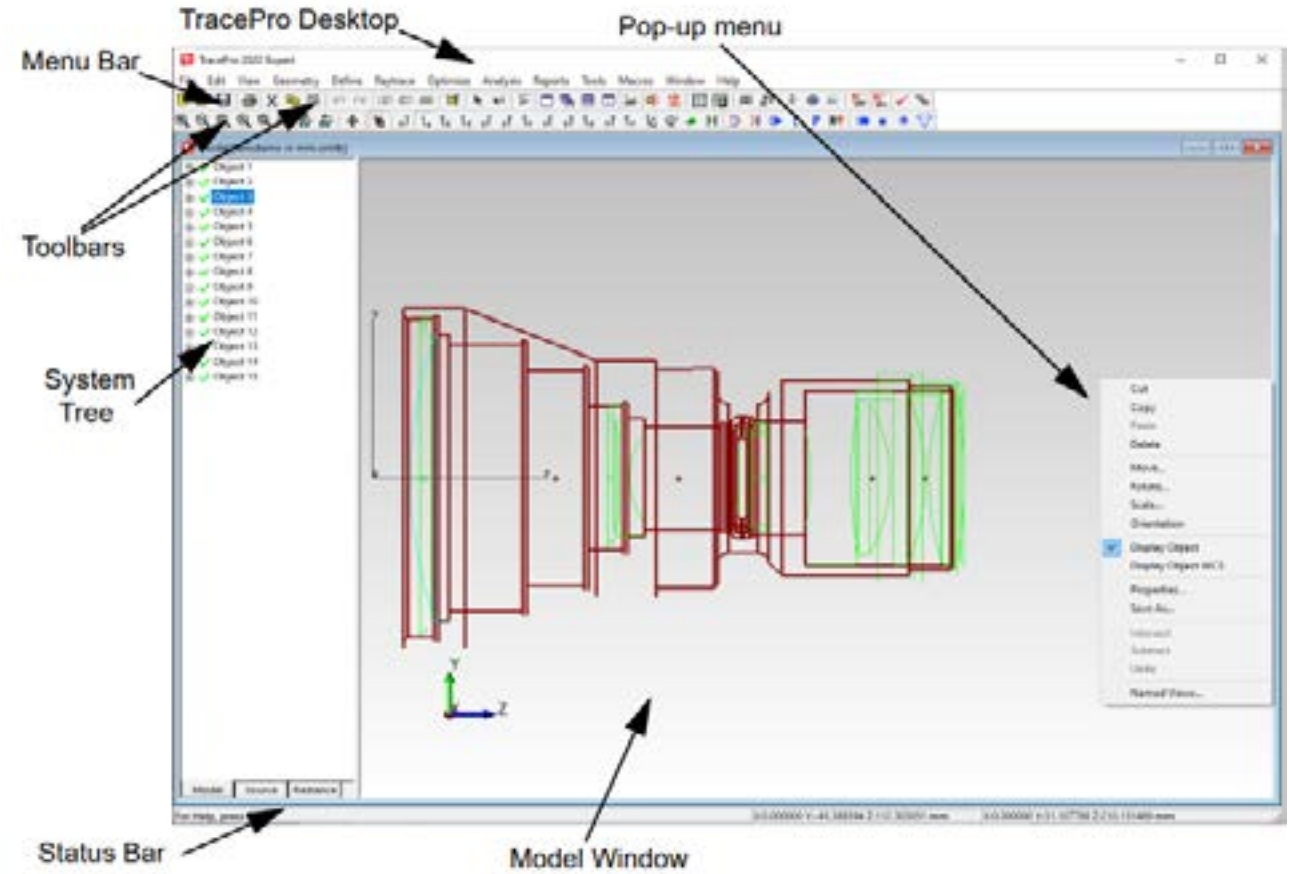


FIGURE 1.1 - TracePro desktop and window features.

ツールバー

ツールバーのボタンを使用すると、TracePro の多くの機能に素早くアクセスできます。

ツールバーはドッキング可能で、必要に応じて別の場所に移動できます。ツールバーの設定は、[表示 | ツールバー] で制御できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

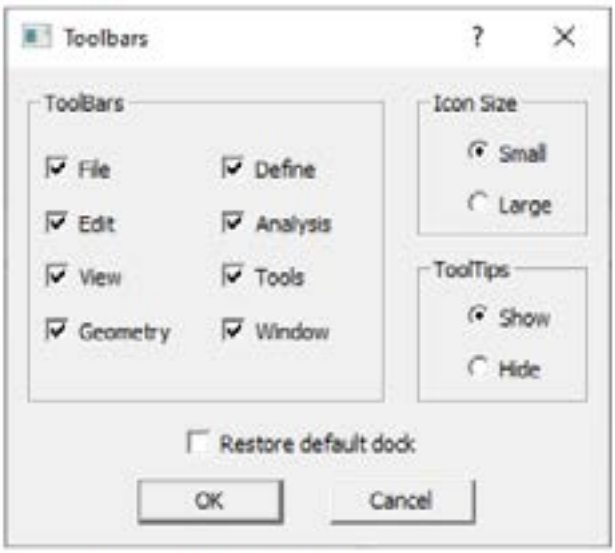


FIGURE 1.2 - Toolbar settings

モデルウィンドウ

ジオメトリが表示されるウィンドウはモデルウィンドウです。TracePro ファイル（モデルと呼ばれる）を開くと、モデルウィンドウが開き、ジオメトリが側面図のシルエットとして表示されます。これは y-z ビューであり、y 軸が上向き、z 軸が右向きで、光学分野で一般的な慣例です。

「表示 | プロファイル」コマンド（YX、ZY、ZX、XY、XZ、YZ）を使用すると、適切な直交ビューを選択できます。

マウスホイールを使用してズームインおよびズームアウトでき、マウスと Ctrl または Shift キーを使用してパン、ズーム、およびオービットを行うこともできます。

機能とキー割り当ては以下の通りです。

表示	パン（画面移動）	Ctrl キーと右マウスボタンを押すことで実行されます。
表示	回転	オービット（自由回転）	Shift キーと右マウスボタンを押すことで実行されます。
表示	ズーム	カーソル	Ctrl キーと中央マウスボタン（またはマウスホイール押し込み）を押すことで実行されます
表示	ズーム	ウィンドウ	Shift キーと中央マウスボタン（またはマウスホイール押し込み）を押すことで実行されます。

注：まずキーを押し、次にマウスボタンを押してください。適切なツールバー項目が有効になるのが確認できます。

複数モデルの複数ビュー

TracePro は、マルチドキュメント / マルチビューインターフェースを備えています。これは、複数のモデルまたはファイルを同時に開くことができ、各モデルの複数のビューも同時に開くことができることを意味します。

同じモデルの複数のビューを開くには、マウスでクリックして目的のモデルウィンドウを選択し、次に「ウィンドウ | 新しいウィンドウ」メニュー項目を複数回選択します。また、「新しいウィンドウ」ツールバーボタンを複数回押すことで、これを素早く実行することもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 1.3 - Window control Toolbar buttons: A) New Window, B) Cascade Windows, C) Tile Windows Horizontally, D) Tile Windows Vertically

複数のモデルウィンドウが作成されると、各ビューでモデルを個別に表示できます。ウィンドウは、ウィンドウメニューまたは図 1.3 に示すツールバーで使用できる通常の Windows コントロールを使用して、重ねて表示、並べて表示、最小化することができます。

異なるモデルを同時に開きたい場合は、ファイル | 開く ... メニュー項目から開くか、開くツールバーボタンを使用します。目的のモデルは新しいウィンドウで開かれます。目的のモデルウィンドウが開いたら、図 1.4 のように、モデルとモデルウィンドウを個別に操作できます。

（光線追跡、プロパティの適用など）実行するすべてのアクションは、選択したウィンドウの現在アクティブなモデルに適用されることを覚えておくことが重要です。TracePro で複数のウィンドウを操作する場合は、実行するアクションを選択する前に、目的のモデルウィンドウを選択する必要があることを覚えておく必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

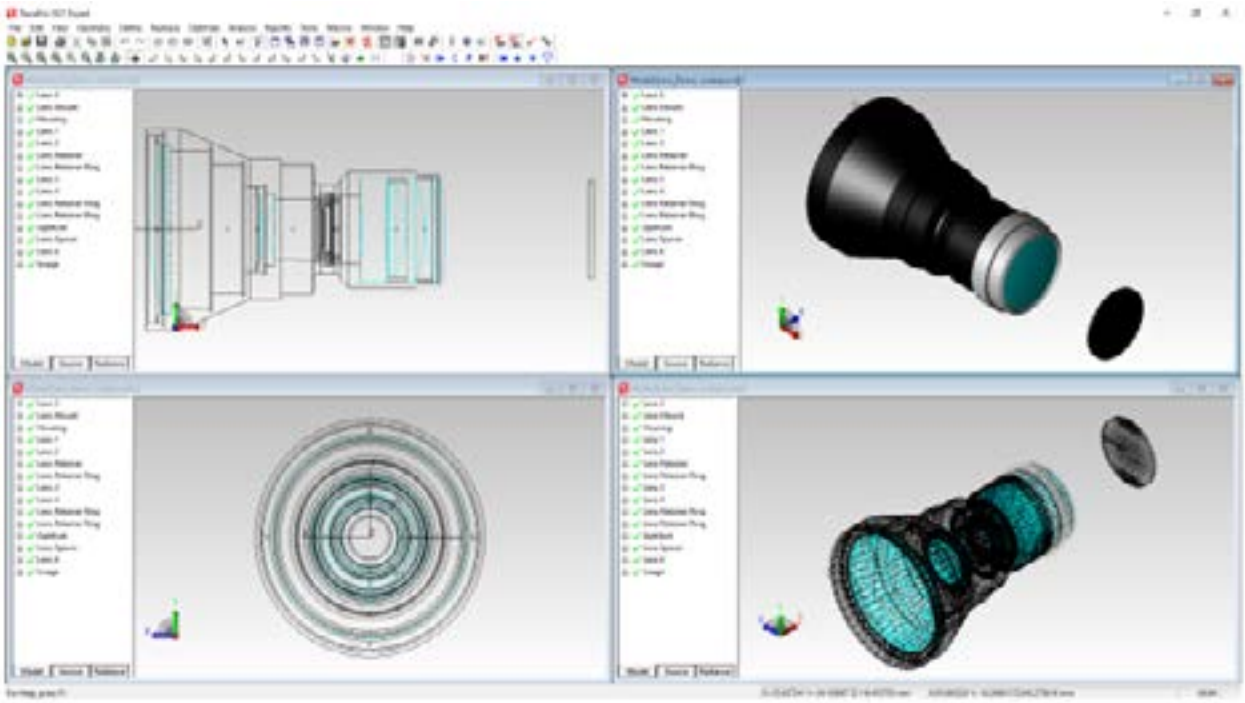


FIGURE 1.4 - A single model viewed in different orientations in multiple model windows. The image also includes a Rendered view (upper right), and Wireframe view (lower right).

システムツリーウィンドウ

モデルウィンドウの側面にあるシステムツリーウィンドウでは、様々なシステム項目を階層的なツリー形式で表示および管理できます。システムツリーウィンドウの下部には、表示可能な項目を説明する 3 つのタブがあります。

- モデルタブ : モデルツリーを表示し、モデルのオブジェクトと表面を管理できます。
- ソースタブ : ソースツリーを表示し、モデル内のソースを管理できます。（5.3 ページ参照）
- 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）タブ : 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）ツリーを表示し、輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）計算の設定を管理できます。（6.18 ページ参照）システムツリーウィンドウの輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）タブの文言は、モデルの解析単位に応じて TracePro によって自動的に輝度または放射輝度のいずれかに設定されることに注意してください。

システムツリーウィンドウがまだ表示されていない場合は、モデルウィンドウの側面にある分割バーをマウスでクリックしてドラッグすることで表示できます。分割ウィンドウのデフォルトの位置はモデルウィンドウの左側ですが、これは [表示 | オプション] ダイアログボックスの [表示] ページで変更できます。

分割バーは、デフォルトの位置で図 1.5 に示されています。[ウィンドウ | 分割] メニューを選択して、分割カーソルを表示することもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

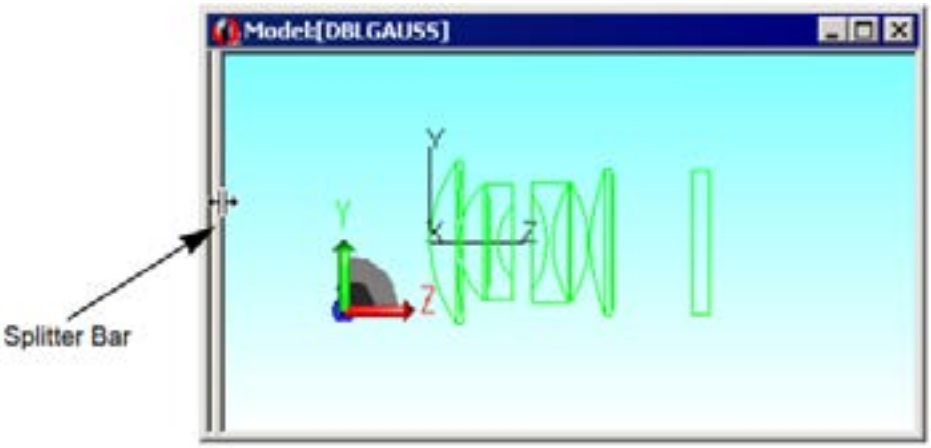


FIGURE 1.5 - The System Tree Splitter Bar at the default location

システムツリーの分割ウィンドウを開いた後、"+" 記号を探すことで、オブジェクトを「展開」してその表面を表示できることを示しています。さらに、システムツリーを使用して、"+" 記号のある表面を選択し、展開することができます。

これは、階層構造を持つシステムで、"+" 記号がそのノードにさらに詳細な情報（この場合は表面）があることを示す一般的なユーザーインターフェースのパターンです。

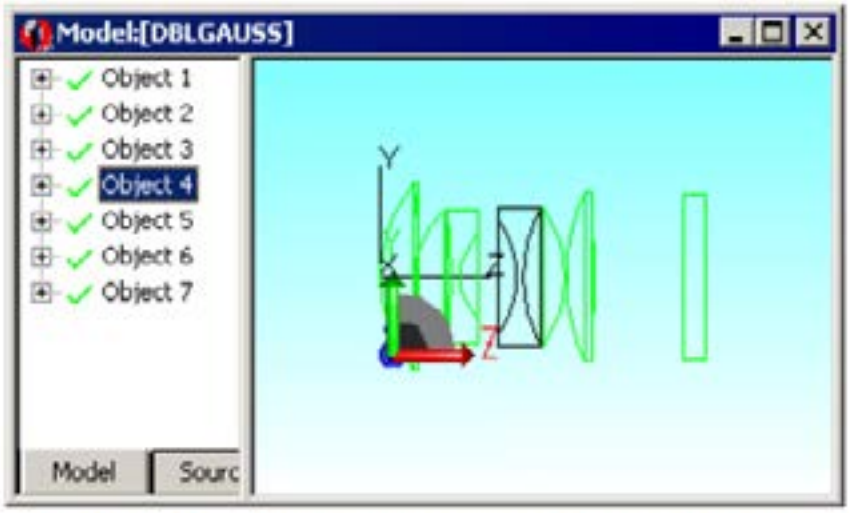


FIGURE 1.6 - The System Tree made visible by moving the splitter bar

システムツリーでオブジェクトまたはサーフェスを選択すると、選択されたことを示すためにそのオブジェクトまたはサーフェスが黒色に変わります。同様に、モデルウィンドウでオブジェクトまたはサーフェスを選択すると、システムツリーで選択箇所がハイライト表示されていることを確認できます。

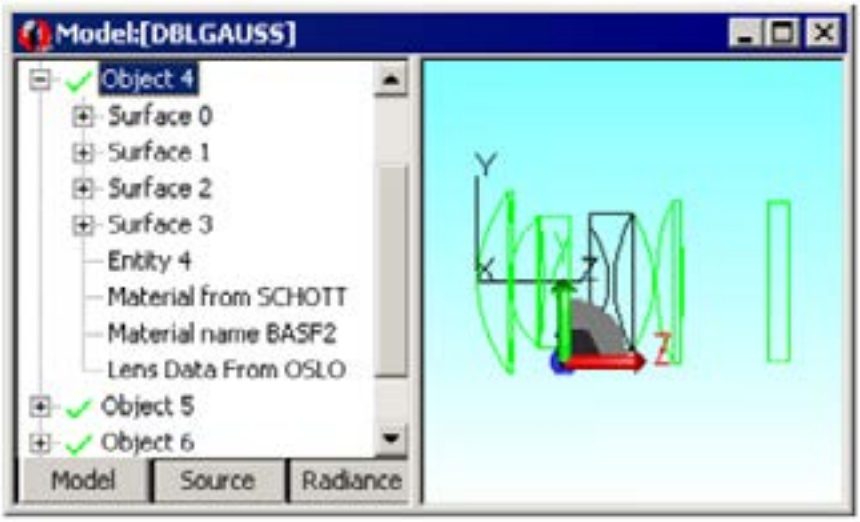


FIGURE 1.7 - The System Tree window after expanding Object 4

オブジェクト 4 を展開すると、以下のものが表示されます。

- 個々の表面
- 材料特性カタログ
- 材料特性名

システムツリーで表面を選択すると、モデルウィンドウでその表面が強調表示されます。システムツリーで表面を選択して展開すると、以下のものも表示されます。

- サーフェスプロパティ
- オプションのソース特性

システムツリービューを開いたままにしておくことをお勧めします。開いたシステムツリービューは、以下の点で役立ちます。

- 作業を視覚化する
- 表面やオブジェクトを選択する

システムツリーの選択

システムツリーには、スプライン表面の追加の表面タイプ情報が含まれています。さらに、データ項目をダブルクリックすることで、プロパティ情報に直接アクセスできます。図 1.8 は、ツリー項目を展開した一般的なオブジェクトを示しています。

ページが表示されます。いずれかの表面項目をダブルクリックすると、「表面」ページが表示されます。エンティティ番号などのプロパティ以外の項目をクリックしても、何も起こりません。

各オブジェクトの前には、緑色のチェックマークまたは赤色の X が表示されます。このフラグをクリックすると、レイトレースの「レイトレースフラグ」を有効または無効にできます。項目に赤い X がある場合、レイトレースフラグはオフになり、オブジェクトはレイトレースから除外されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

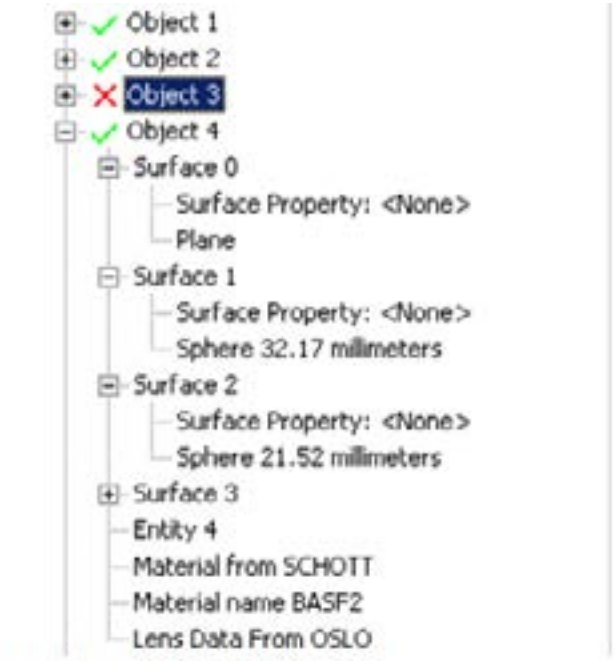


FIGURE 1.8 - System Tree

システムツリーのリアレンジ

オブジェクトの順序を変更したり、オブジェクトのグループを作成したりすることで、システムツリーを再編成できます。新しいグループを作成するには、グループを作成したい場所のツリーを右クリックし、ポップアップメニューから「新しいオブジェクトグループ」を選択します。

オブジェクトやグループの選択範囲を新しいグループまたはシステムツリー内の新しい場所に移動するには、まず右クリックして「ドラッグ / ドロップを有効にする」を選択します。次に、移動したいオブジェクト / グループを選択し、ツリー内の新しい場所に選択範囲をドラッグします。ツリーの再編成が完了したら、他の操作中に誤ってツリーを再編成しないように、「ドラッグ / ドロップを有効にする」の選択を解除する必要があります。

コンテキスト依存メニュー

TracePro は、アクティブなウィンドウに基づいてコンテキスト依存メニューを提供します。モデルウィンドウは最も一般的に表示されるウィンドウであり、独自のメインメニュー（ファイル、編集、表示など）を持っています。プロパティエディタまたは解析ウィンドウが開いてアクティブになると、メインメニューは変化します。これらのウィンドウについてはマニュアルの後半で説明しますが、アクティブなウィンドウがメニューバーを制御することに注意することが重要です。特定のメニューに戻るには、目的のウィンドウをクリックするか、ウィンドウメニューのリストから選択します。

モデルウィンドウのポップアップメニュー

メインメニューに加えて、各ウィンドウには 1 つ以上のポップアップメニューがある場合があります。これらのメニューは、マウスを右クリックすることで表示されます。図 1.9 は、現在の選択状態に応じて変化する 3 つのモデルウィンドウメニューを示しています。詳細については、1.11 ページの「オブジェクトとサーフェスの選択」を参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 1.9 - Model window popup menus for No Selection, Object Selection, Surface Selection.

図 1.10 は、クリックされた項目によって内容が異なる 2 つのシステムツリーのポップアップメニューを示しています。つまり、システムツリー内のどの要素（フォルダやファイルなど）をクリックしたかによって、表示されるメニューの内容が変わるということです。

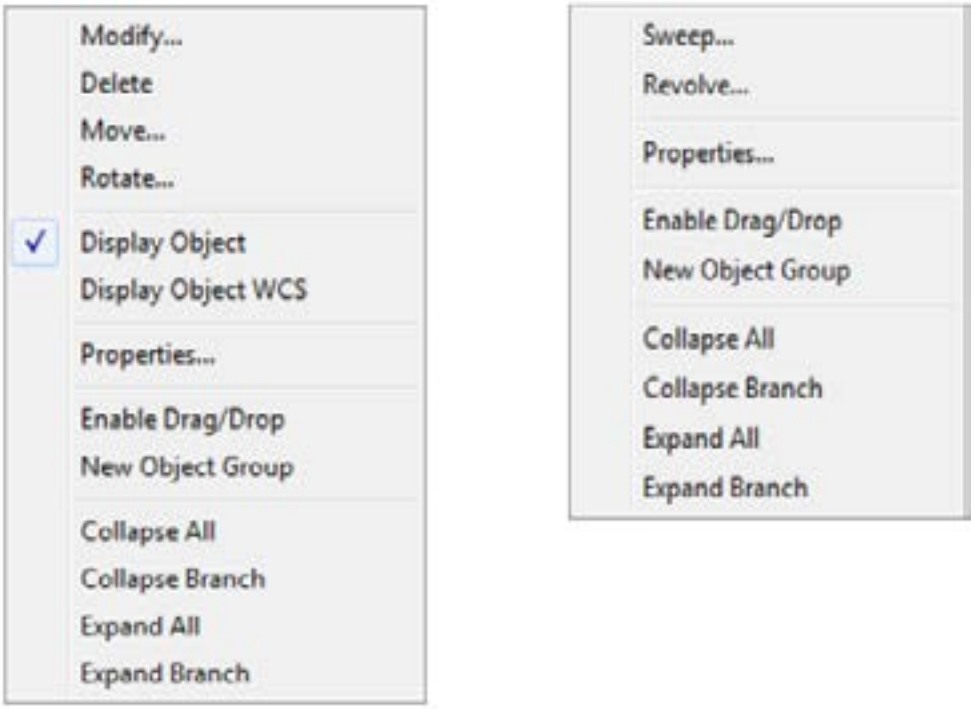


FIGURE 1.10 - System tree menus for Object and Surface Selection.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ユーザーデフォルト

ユーザーデフォルトは、初期ダイアログ入力を tpdefs.ini というファイルに保存します。レイトレースおよび解析ダイアログには、「デフォルト設定」ボタンがあり、ダイアログデータを保存するために使用されます。「デフォルト設定」ボタンを押すことは、「適用」ボタンを押すことと同じです。デフォルトが更新されると、TracePro は次回プログラム起動時に新しい値を使用します。工場出荷時のデフォルトに戻すには、「表示」|「オプション」|「デフォルトのリセット」を選択し、必要に応じて一部またはすべてのデフォルト値をリセットします。

オブジェクトと表面

名前の変更

モデルをより良く整理するために、「オブジェクト 1」や「表面 1」のようなデフォルト名をオブジェクトや表面に適用する必要があります。Microsoft Windows 環境でほとんどの項目の名前を変更するのと同様に、システムツリーでデフォルト名を一度クリックし、再度クリック（またはキーボードの F2 キーを押す）して名前編集を有効にします。

たとえば、デフォルト名「オブジェクト 1」を「最初のレンズ」に変更するには、システムツリーで「オブジェクト 1」を選択し、再度クリックします。「オブジェクト 1」という単語を 2 回目にクリックすると、名前が強調表示され、名前編集モードに入ります。新しい名前を入力してデフォルト名を置き換えます。名前は一意の識別子ではありません。注意してください！任意の数のオブジェクトまたは表面に同じ名前を付けることができます。

TracePro ダイアログボックスからオブジェクトが作成されると、オブジェクトの名前を設定するためのエントリが提供されます。作成されたオブジェクトのタイプと、指定されたタイプのオブジェクト数に 1 を加えた数に基づいて、デフォルト名が提供されます。たとえば、最初に入力されたブロックは「ブロック 1」という名前になります。任意の名前を入力でき、名前は一意である必要はありません。

オブジェクトと表面の選択

システムツリー経由

システムツリー経由でオブジェクトを選択するには、オブジェクトの名前をクリックするだけです。モデル内の特定の表面を選択するには、適切なオブジェクトが展開されていることを確認し（1.6 ページの「システムツリーウィンドウ」のセクションを参照）、目的の表面名をクリックします。システムツリーの名前は変更可能であり、システムツリーで表面またはオブジェクトを選択すると、モデルウィンドウで対応する項目が強調表示されることを覚えておいてください。システムツリーからエッジを選択することはできません。

Shift キーまたは Ctrl キーで選択範囲を拡張することにより、複数のオブジェクトを選択できます。Shift キーを使用するには、最初の項目を選択し、Shift キーを押しながら 2 番目の項目を選択します（これは Shift 選択と呼ばれます）。最初の選択と 2 番目の選択の間のすべてのオブジェクトが現在の選択セットに追加されます。2 番目の選択で Ctrl キーを使用すると、最初の項目と 2 番目の項目のみが追加されます。Ctrl 選択メソッドを使用して、選択セットに複数の項目を追加できます。
注：Shift 選択メソッドは、同じタイプの項目を選択する場合にのみ機能します。最初の選択が

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

オブジェクトで、Shift 選択が表面の場合、表面項目のみが選択されます。

モデルウィンドウ経由での選択

オブジェクトを選択するには、まず「オブジェクト選択」ツールバーボタンを押すか、「編集 | オブジェクト選択」メニュー項目を選択し、モデルウィンドウ内のオブジェクトをクリックします。

ラバーバンドモードで選択ツールを使用することもできます。領域の一方の角でマウスボタンを押し下げ、カーソルを反対側の角までドラッグして放すと、領域内のすべてのオブジェクトが選択されます。選択されたオブジェクトは強調表示されます。

サーフェスを選択するには、まず「サーフェス選択」ツールバーボタンを押すか、「編集 | サーフェス選択」メニュー項目を選択し、サーフェスをクリックします。ラバーバンドモードで選択ツールを使用することもできます。領域の一方の角でマウスボタンを押し下げ、カーソルを反対側の角までドラッグして放すと、領域内のすべてのサーフェスが選択されます。選択されたサーフェスは、ハイライト色で強調表示されます。
ラバーバンド選択ツールには 2 つのモードがあります。

- 左から右にドラッグ：長方形内に一部でも入っているサーフェスはすべて選択に含まれます。
- 右から左にドラッグ：長方形内に完全に囲まれているサーフェスはすべて選択に含まれます。これは、Shift キーを押しながら左から右にドラッグすることでも実行できます。

高度な選択ダイアログ

サーフェスとオブジェクトは、高度な選択ダイアログを使用して、タイプとプロパティで選択することもできます。たとえば、TracePro モデルのミラーに現在「完全ミラー」というサーフェスプロパティが適用されているが、モデルの精度上、散乱と吸収を含むより詳細なプロパティに置き換える必要がある場合、高度な選択機能を使用して、現在「完全ミラー」が適用されているモデル内のすべてのサーフェスを選択し、それらをすべて 1 つのステップで新しいミラープロパティに変更できます。

「編集 | 選択 | 高度な選択」を選択して、高度な選択ダイアログを開きます。

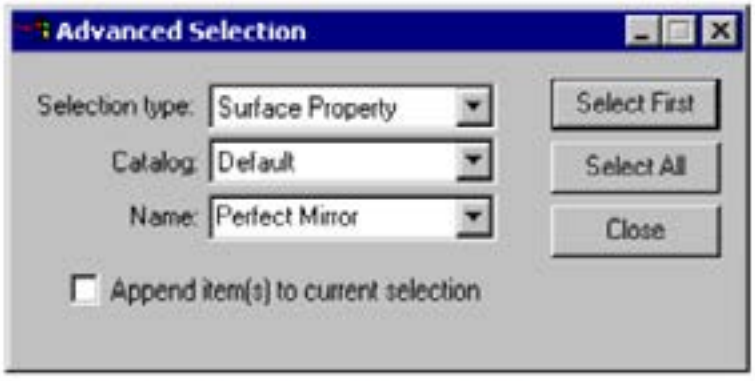


FIGURE 1.11 - Advanced Selection Dialog.

- このダイアログには、以下のオプションと機能があります。
- 選択タイプ (Selection Type) – 選択タイプは以下の通りです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 材料特性 (Material Property)
- サーフェスプロパティ (Surface Property)
- 体積散乱特性 (Bulk Scattering Property)
- 屈折率勾配特性 (Gradient Index Property)
- RepTile 特性 (RepTile Property)
- 表面ソース (Surface Source)
- TracePro レンズ (TracePro Lens) (「レンズ要素挿入」ダイアログから生成されたジオメトリとして認識される)
- TracePro 反射体 (TracePro Reflector) (「反射体挿入」ダイアログから生成されたジオメトリとして認識される)
- クラスとユーザーデータ (Class and User data)

カタログ (Catalog) – プロパティカタログの名前 (プロパティエディタに対応)

名前 (Name) – プロパティの名前 (プロパティエディタに対応)

最初を選択 (Select First) – このボタンは、選択タイプ、カタログ、および名前フィールドの基準を満たす最初のオブジェクトおよび / または表面のみを選択します。「最初を選択」が有効になると、ボタンは「次を選択 (Select Next)」に変わり、選択基準を満たす後続のオブジェクトおよび / または表面を複数回選択するために使用できます。

すべてを選択 (Select All) – 選択タイプ、カタログ、および名前フィールドの基準を満たすすべてのオブジェクトおよび / または表面を選択します。

閉じる (Close) – 高度な選択ダイアログを閉じます。

現在の選択にアイテムを追加 (Append item(s) to current selection) – このボックスがチェックされている場合、「最初を選択」または「すべてを選択」ボタンの操作は、オブジェクトおよび / または表面の以前の選択に新しい選択を追加します。このボックスがチェックされていない場合、「最初を選択」または「すべてを選択」ボタンの操作は、オブジェクトおよび / または表面の以前の選択を置き換えます。

オブジェクトの移動とその他の操作 (Moving Objects and Other Manipulations)

オブジェクトの操作は、上記のように選択することから始まります。選択にさらにオブジェクトを追加するには、キーボードの Ctrl キーを押しながら、マウスでオブジェクトをクリックします。

選択したオブジェクトを移動するには、変換ツールバーボタンを押すか、「編集 | オブジェクト | 変換 (Edit|Object|Translate)」メニュー項目を選択し、左マウスボタンを押しながらマウスで新しい場所にドラッグします。

マウスでドラッグしながら Ctrl キーを押すと、選択のコピーをドラッグできます。これらはすべて標準の Windows 編集機能です。

「編集 | オブジェクト | 移動 (Edit|Object|Move)」ダイアログボックスを使用してオブジェクト

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

を数値的に正確な場所に移動したり、「編集 | オブジェクト | 回転 (Edit|Object|Rotate)」ダイアログボックスを使用してオブジェクトを回転したりすることもできます。

標準の Windows 編集コントロールを使用して、ソリッドオブジェクトを切り取り、コピー、貼り付けできます。

最後に、「編集 | オブジェクト | 移動」および「編集 | オブジェクト | 回転」ダイアログボックスの「コピー」ボタンをクリックして、オブジェクトの配列を作成できます。

インタラクティブな表示と編集

「表示」および「編集」メニューのコントロールを使用することで、マウスを使って表示を操作し、オブジェクトまたはオブジェクトのグループを移動および回転させることができます。例えば、ズームインまたはズームアウト、マウスで描画した矩形領域へのズーム、およびビューの回転が可能です。

TracePro アプリケーションウィンドウの下部にあるステータスバーには、常にマウスの座標が表示されます。右側の座標セットは、現在のカーソル位置を示します。左側に表示される値は、最後のマウスクリックの座標を示します。2.50 ページの「モデルビューの変更」を参照してください。

法線ベクトルと上向きベクトル

TracePro は、グローバル原点と X、Y、Z ベクトルを持つ 3 次元座標系を使用して、方向を示します。多くの場合、モデルの表示方法やデータの表示方法を確立するために平面を定義する必要があります。この平面の向きは、2 つの方向ベクトル、法線ベクトルと上向きベクトルで定義されます。

法線ベクトルは、単に平面に垂直な方向です。平面を、コンピュータの画面やテーブルに平らに置かれた本の紙のように考えると良いでしょう。画面または紙に垂直な方向が法線ベクトルです。

上向きベクトルは、一般に、上または Y 方向とみなされる方向を任意に参照するために使用されます。たとえば、長方形の平面には高さと幅があり、サイズが異なります。長い辺に沿って上向きベクトルを定義すると、高さが長い寸法、幅が短い寸法として定義されます。逆も同様に有効です。

TracePro は、モデルが空間内でどのように定義されるかについて一切の仮定をしないため、これらのベクトルを定義することによってユーザーが介入する必要があります。光学エンジニアやレンズ設計者にとって、像面は X=0、Y=0、Z=1 の法線ベクトルと、X=0、Y=1、Z=0 の上向きベクトルを持つことになります。照明設計者は、通常、ターゲットの上にあるライトを考慮するため、モデルの向きに応じて、XZ 平面内のゼロ方位角の方向を定義する上向きベクトルを持つ、X=0、Y=-1、Z=0 の法線ベクトルに対応するこのターゲット平面を考えることがよくあります。

法線ベクトルと上向きベクトルは、TracePro が単位長 1.0 に正規化する単位ベクトルとして定義されます。各値は以下のようにスケーリングされます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

$$t = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1.1)$$

$$X_n = \frac{X}{t} \quad (1.2)$$

$$Y_n = \frac{Y}{t} \quad (1.3)$$

$$Z_n = \frac{Z}{t} \quad (1.4)$$

ここで、t はスケールファクタ（拡大縮小率）です。X、Y、Z の正規化された値は、それぞれ Xn、Yn、Zn で表されます。
法線ベクトルと上向きベクトルで方向付けられた平面の概念は、モデルを構築および分析するための柔軟な環境を提供しますが、TracePro での使用に慣れるには多少の練習が必要になるかもしれません。

モデリングのプロパティ

TracePro には、光学および機械的な材料特性とサーフェスプロパティをモデリングするためのプロパティデータのデータベースが含まれています。TracePro 内で既に利用可能なデータに加えて、測定データを入力してプロパティをカスタマイズできます。

- オブジェクトプロパティはオブジェクトに適用され、オブジェクトの体積全体に影響を与えます。これらには、バルク材料の屈折率と吸収係数を指定するマテリアルプロパティ、温度、バルク散乱、蛍光が含まれます。
- 表面はオブジェクトの境界を定義します。表面プロパティは、表面プロパティ（吸収率、正反射率、正透過率、BRDF、BTDF）、表面ソースプロパティ、表面温度など、オブジェクトの表面に適用されるパラメータを指定します。
- 表面ソースプロパティは、表面がどのように光を放出するかを指定します。他のプロパティは、表面またはオブジェクトの特別な特性を識別するために使用されます。

これらのプロパティがどのように定義され、どのように変更できるかの詳細は、第 3 章で説明されています。

プロパティの適用

TracePro モデルで光線追跡または分析を行う際に、モデルが適切に動作するためには、適切なオブジェクトと表面に光学、機械、ソースのプロパティを適用する必要があります。プロパティの適用方法の簡単なプレビューを取得する良い方法は、[定義 | プロパティの適用] メニュー項目をクリックすることです。[プロパティの適用] ダイアログボックスが開き、左側のリストをクリックしてアクセスできる複数のペインが表示されます。これらのプロパティの適用方法については、第 4 章で説明します。

モードレスダイアログボックス

多くの TracePro 操作は、ダイアログボックスを使用して実行されます。多くの TracePro ダイアログボックスはモードレスです。モードレスダイアログボックスとは、ダイアログボックス

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が開いている間に他のタスクを実行できることを意味します。

モードレスダイアログボックスを使用すると、複数のダイアログボックスを同時に開くことができます。たとえば、モードレスダイアログボックスである [プロパティの適用] ダイアログボックスを開いた場合、[表面の選択] ツールバーボタンを押すことができます。次に、[プロパティの適用] ダイアログボックスに戻り、[表面プロパティ] タブを選択できます。

次に、モデルウィンドウに移動し、表面プロパティを適用する予定の表面をクリックします。ダイアログボックスに戻り、適用するプロパティを選択し、[適用] ボタンを押して表面に適用できます。

式評価機能

TracePro 内の多くのダイアログボックスで、黄色の背景色の数値データ入力フィールドが表示されます。この色は、フィールドに組み込みの式評価機能があることを示します。（2.58 ページの「背景色」を参照してください。）これらのフィールドに、目的の数値に評価される数式を入力できます。使用できる算術演算子には、+、-、*、/、および三角関数が含まれます。式評価機能がフィールド入力を数式として解釈するためには、式が等号（=）で始まる必要があります。式評価機能の結果はフィールドボックスに表示されませんが、式の代わりに適切な値がモデルで使用されます。

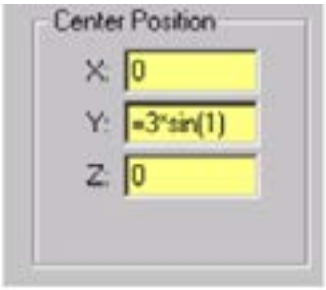


FIGURE 1.12 - Portion of a dialog box showing an example of the Expression Evaluator. The Expression Evaluator can be used in any numerical data entry field which has a yellow (default) background.

式の有効な入力の完全なリストについては、表 1.1 を参照してください。

表 1.1：式評価コマンド

	Name	Example	Result
Operators			
u	Unary Minus	=-6	-6
+	Add	=12 + 2	14
-	Subtract	=12 – 2	10
*	Multiply	=12 * 2	24
/	Divide	= 12 / 2	6
^	Power	= 12 ^ 2	144
%	Modulus	=12%6=12%5	02
Constants			
PI	pi	=PI	3.14159
E	e	=E	2.71828
Functions			
SIN	Sin (Radians)	=sin(PI/4)	0.707107
COS	Cosine (Radians)	=cos(PI/4)	0.707107

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TAN	Tangent (Radians)	=tan(PI/4)	1.0
SIND	Sin (Degrees)	=sind(45)	0.707107
COSD	Cosine (Degrees)	=cosd(45)	0.707107
TAND	Tangent (Degrees)	=tand(45)	1.0
ASIN	ArcSin (Radians)	=asin(0.707107)	0.785398
ACOS	ArcCos (Radians)	=acos(0.707107)	0.785398
ATAN	ArcTan (Radians)	=atan(1)	0.785398
ASIND	ArcSin (Degrees)	=asind(0.707107)	45
ACOSD	ArcCos (Degrees)	=acosd(0.707107)	45
ATAND	ArcTan (Degrees)	=atand(1)	45
ABS	Absolute Value	=abs(-12)	12
MAX	Maximum Value	=max(1.2,3.4)	3.4
MIN	Minimum Value	=min(1.2,3.4)	1.2
LOG	Log base 10	=log(12.3)	1.08991
LN	Natural Log	=ln(12.3)	2.5096
EXP	Exponential	=exp(2.03)	7.61409
SQRT	Square Root	=sqrt(144)	12
RAN	Random Number 0.0 - 1.0	=ran	.3801
STEP	Step Function	=step(2)	1
DELTA	Delta Function	=delta(-2)	0
SQRWV	Square Wave(x, period, phase)	=sqrwv(2,3,1)	1

コンテキスト依存型オンラインヘルプ

TracePro には、コンテキスト依存型オンラインヘルプ機能があります。プログラム内の機能に関するヘルプは、ヘルプツールバーボタンを使用するか、Shift + F1 キーを押すことで利用できます。これは標準的な Windows 機能です。ヘルプボタンを押してから、ヘルプが必要なメニュー項目、ダイアログボックスを選択するか、ツールバーボタンを押してください。また、カーソルがメニュー項目をハイライトしているときに F1 キーを押すと、その選択に関するヘルプが表示されます。

TracePro には参照資料もあります。参照資料を入手するには、ヘルプトピックメニューまたはマクロリファレンスメニューを使用してください。

コマンドライン引数

TracePro は通常、他のアプリケーションと同様に Windows から起動します。ただし、TracePro はコマンドライン、[ファイル名を指定して実行] ダイアログから起動したり、Windows の TracePro ショートカットにコマンドラインオプションを追加したりすることもできます。これらの方法は Windows のドキュメントに記載されています。

以下に、TracePro のコマンドラインオプションの構文とパラメータを示します。

TracePro [/m] [/nologo] [/SNxxxx]

[scheme_file]

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

["(scheme command)"]

[/d] [/h heap_size]

[/tnn]

例：

TracePro /nologo g:/test.scm "(test2 123)"

引数は次のとおりです。

- /m を設定すると、TracePro が最小化モードで起動します。
- /nologo を設定すると、TracePro のスプラッシュ画面の表示を抑制します。
- /SNxxxx を設定すると、デフォルトで TRACEPRO である DDE サービス名を「xxxx」にします。これは、複数の TracePro インスタンスを DDE でアクセスできるようにするために使用されます。
- Standard Expert scheme_file は、ロードおよびオプションで実行する TracePro マクロコマンドを含む、SCM 拡張子で終わる ASCII ファイルです。scheme command は、2 つの二重引用符で囲まれたオプションの引数の有無にかかわらず、有効なマクロコマンドのセットです。左かっこ (と右かっこ) は必須です。コマンドは、コマンドラインまたは自動ロードマクロからロードされたファイルに含まれる関数にすることができます。
- Standard Expert /d を設定すると、[表示 | カスタマイズ] ダイアログで定義された自動ロードマクロを抑制します。

Standard Expert /h を設定すると、Scheme ヒープサイズをキロバイト単位で指定します。デフォルトは、x86 システムでは 32768、x64 システムでは 16384 です。大規模な Scheme プログラムをロードする場合は、これを増やす必要がある場合があります。
/t を設定すると、TracePro が使用する最大スレッド数を指定します。たとえば、最大 2 つのスレッドを指定するには、/t2 を使用します。

注：コマンドライン引数を区切るために、スラッシュ / はハイフン - と同等です。ファイルの場所とパスを入力する場合、スラッシュ / はバックスラッシュ \ と同等です。

TracePro /nologo g:/test.scm "(test2 123)"

は

TracePro -nologo g:\test.scm "(test2 123)"

と同等です。

英語以外の言語の使用

TracePro は、中国語（簡体字）、中国語（繁体字）、日本語、韓国語、イタリア語、スペイン語など、英語以外のいくつかの言語で使用できます。

TracePro をインストールして初めて起動すると、言語は英語に設定されます。別の言語に設定するには、**[ツール]** | **[言語の変更]** を選択し、使用したい言語を選択します。新しい言語でメニューを表示するには、TracePro を閉じて再度開く必要があります。オンラインヘルプは、言語設定に関係なく英語です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 2 章 ソリッドモデルの作成

ソリッドモデリング入門

ソリッドモデリングは、実際の材料で実際のハードウェアを構築するのと同じように、「ソリッド」な仮想材料の部品を使用してコンピュータモデルを構築する技術です。ソリッドモデルでは、オブジェクトはサーフェスによって境界が定義された 3 次元エンティティです。ソリッドモデリングを使用することで、多くのモデリングエラーを回避する一貫したモデリングを本質的に得ることができます。物理的に実現可能なものをモデリングしていると確信できます。

ソリッドモデリングでオブジェクトを定義および操作する方法は多数あります。それ自体が独立した分野です。TracePro は、ソリッドオブジェクトを作成および操作するためのいくつかの方法を提供します。

- ソリッドモデリングプログラムからデータをインポートする。
- レンズ設計プログラムからデータをインポートする - TracePro はソリッドモデルを自動的に作成します。
- ブロック、円柱、円錐、球、トーラス、薄板などのプリミティブなソリッドオブジェクトを作成する。
- 光学エレメント、反射器、集光器、フレネルレンズ、チューブ、バッフルベーンなど、光機械システムに必要なソリッドオブジェクトを作成する。
- ブール演算子（交差、減算、結合）を使用して、プリミティブなソリッドから複雑なソリッドオブジェクトを作成する。
- スイープおよび回転コマンドを使用して、ソリッドオブジェクトを変更する。

モデル単位

TracePro モデルは、いくつかの測定単位で構築および表示できます。この章およびマニュアル全体で説明するダイアログは、モデル単位を参照しています。モデル単位はプリファレンスとして設定され、TracePro OML ファイルのモデルデータとともに保存されます。「一般」の 2.57 ページを参照してください。

内部的に TracePro は、ジオメトリデータをミリメートル（mm）単位で保存し、計算を実行します。モデル単位は、ダイアログ入力のスケールとミリメートルから目的の寸法単位への出力表示に使用されます。

位置と回転

多くのダイアログには、位置と回転のオプションがあります。構築中、TracePro はグローバル原点にオブジェクトを構築し、入力データに基づいて方向(位置と回転)を変更します。オブジェクトの位置は、グローバル原点からのオブジェクトの作業座標系（WCS）によって設定されます。TracePro は、オブジェクトの WCS を表示するオプションを提供します。これは、サーフェス頂点の中央または一致に配置できます。「オブジェクト WCS の表示」の 2.54 ページを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

回転は、オイラー角を使用してオブジェクト WCS を基準にして実行されます。これは、レンズ設計プログラムでサーフェスを回転させるのと同様です。回転は、最初に x 軸を中心に、次に y 軸を中心に、最後に z 軸を中心に行われます。結果の方向は必ずしも一意ではありません。たとえば、オブジェクトを x 軸を中心に 90 度回転させてから z 軸を中心に回転させることは、オブジェクトを y 軸を中心に 90 度回転させてから x 軸を中心に 2 回目の 90 度回転を実行するのと同じです。オブジェクトの中心位置の並進は、回転後に行われます。

基本立体オブジェクトの定義

TracePro では、単純なまたは基本の立体オブジェクトは、「Geometry|Primitive Solid」メニュー項目と、それが開くダイアログボックスを使用して作成されます。これはタブ付きのダイアログボックスで、ブロック、円柱 / 円錐、トーラス、球、薄板のタブがあります。

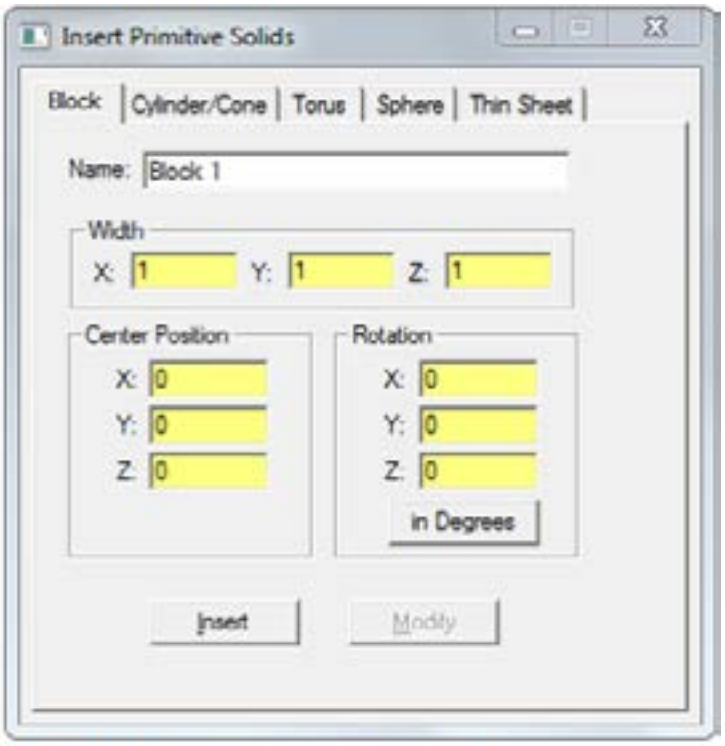


FIGURE 2.1 - Insert Primitive Solid dialog box

ブロック、円柱 / 円錐、トーラスのタブでは、ソリッドの回転角度を指定できます。これらの角度はそれぞれ、座標軸を中心とした回転です。挿入ボタンを選択すると、ソリッドは原点で作成され、最初に x 軸を中心に回転し、次に y 軸を中心に回転し、最後に z 軸を中心に回転し、入力した位置に移動します。

TracePro で作成されたオブジェクトの多くは、作成に使用した同じダイアログで修正できます。図 2.1 の修正ボタンに注目してください。既存の基本オブジェクトを選択し、ジオメトリ | 基本ソリッドのダイアログボックスを使用して、修正ボタンを押すことでデータにアクセスして変更できます。モデルウィンドウで適切な基本ソリッドが選択されていない場合、修正ボタンは無効になることに注意してください。

ブロック

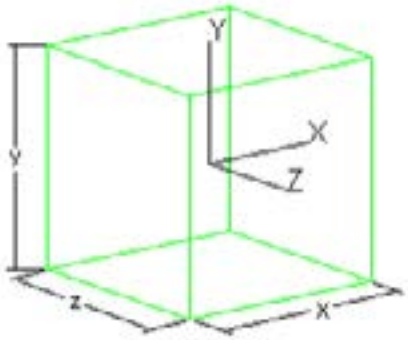


FIGURE 2.2 - Block primitive object

1. 「プリミティブ立体挿入」ダイアログボックスの「ブロック」タブを選択します。
2. ブロックの X、Y、Z の幅寸法を入力します。
3. 「中心位置」の下に、ブロックの中心の X、Y、Z 座標を入力します。
4. ブロックを回転させる場合は、X、Y、Z 座標の回転角度を入力します。
5. 「挿入」ボタンを押してブロックを作成します。

現在のビューに表示されない場合は、小さすぎて見えないか、ビューの外にあります。表示するには、「ウィンドウズーム」(小さすぎる場合)、「全ズーム」(大きすぎる場合、またはビューの外にある場合)、または「選択ズーム」を使用します。

円柱 / 円錐

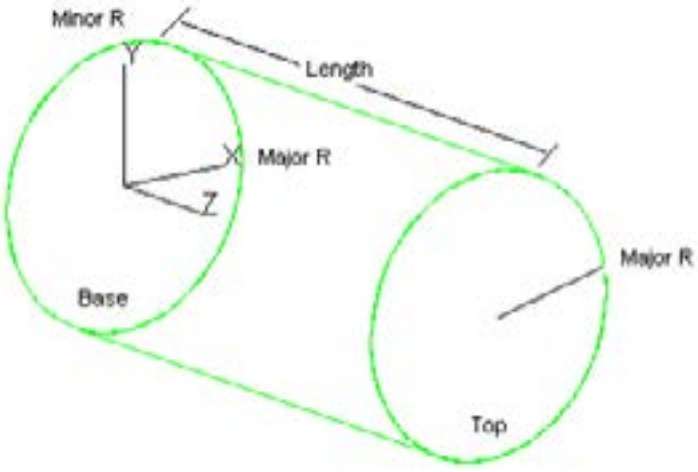


FIGURE 2.3 - Cylinder primitive object

1. 「プリミティブソリッドの挿入」ダイアログボックスの「円柱 / 円錐」タブを選択します。
2. 「円柱」ラジオボタンを選択します。
3. 円柱の底面の X、Y、Z 座標位置を入力します。
4. 円柱の半径を入力します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

5. 円柱の長さを入力します。
6. 円柱を回転させる場合は、X、Y、Z 座標の回転角度を入力します。 回転していない円柱の軸は z 軸に沿っています。
7. 「挿入」ボタンを押して円柱を作成します。

楕円柱が必要な場合は、「楕円」ボックスにチェックを入れ、短半径を入力します。

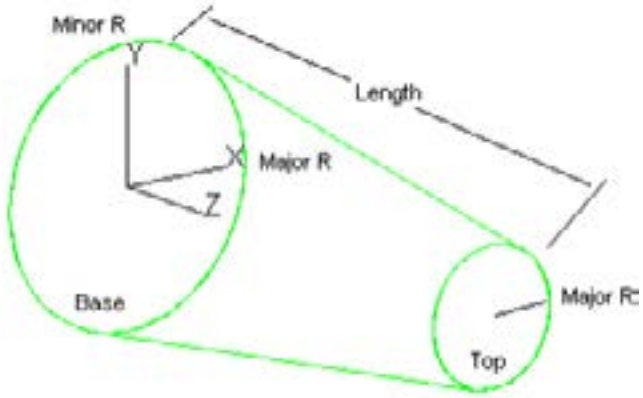


FIGURE 2.4 - Cone primitive object

1. 「基本プリミティブソリッドの挿入」ダイアログボックスの「円柱 / 円錐」タブを選択します。
2. 「円錐」ラジオボタンを選択します。
3. 円錐の底面の X、Y、Z 座標位置を入力します。
4. 円錐の底面の半径を入力します。
5. 円錐の高さを入力します。
6. 円錐の頂点の半径を入力します。
7. 円錐を回転させたい場合は、X、Y、Z 座標の回転角度を入力します。回転していない円錐の軸は z 軸に沿っています。
8. 「挿入」ボタンを押して円錐を作成します。

楕円錐を作成したい場合は、「楕円」チェックボックスをオンにし、底面の短半径を入力します。

現在のビューに表示されない場合は、小さすぎて見えないか、ビューの外にあります。表示するには、「ウィンドウズーム」（小さすぎる場合）、「全ズーム」（大きすぎる、小さすぎる、またはビューの外にある場合）、または「選択ズーム」を使用します。

トーラス

トーラスはドーナツ型のオブジェクトです。長半径と短半径が図 2.5 に示されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

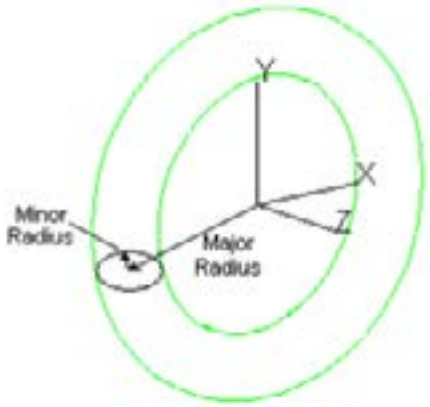


FIGURE 2.5 - Torus primitive object showing major and minor radii

トーラス（円環体）を作成するには：

1. 「ジオメトリ | 基本立体」ダイアログボックスの「トーラス」タブを選択します。
2. 「大半径」と「小半径」を入力します。
3. 「中心位置」の下に、トーラスの中心の X、Y、Z 座標を入力します。
4. トーラスを回転させたい場合は、X、Y、Z 座標の回転角度を入力します。回転していないトーラスは、z 軸に沿って軸があります。
5. 「挿入」ボタンをクリックして、トーラスを作成します。

現在のビューに表示されない場合は、小さすぎて見えないか、ビューの外にあります。「ウィンドウズーム」（小さすぎる場合）、「全ズーム」（大きすぎる場合、またはビューの外にある場合）、または「選択ズーム」を選択して、表示させることができます。

球

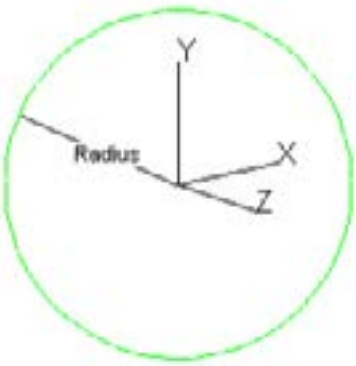


FIGURE 2.6 - Sphere primitive object

球を作成するには：

1. 「ジオメトリ | プリミティブソリッド」ダイアログボックスの「球」タブを選択します。
2. 球の半径を入力します。
3. 「中心位置」の下に、球の中心の X、Y、Z 座標を入力します。
4. 「挿入」ボタンをクリックして球を作成します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

現在のビューに表示されない場合は、小さすぎて見えないか、ビューの外にあります。表示するには、「ウィンドウズーム」（小さすぎる場合）、「全ズーム」（大きすぎる場合またはビューの外にある場合）、または「選択ズーム」を選択します。

薄板

薄板とは、平面が 1 つしかないため、厚さや体積がないソリッドオブジェクトです。これは、「光線を捕捉する」ため、または真のソリッドオブジェクトを作成するためのスイープまたは回転の開始平面として役立ちます。薄板オブジェクトは、いくつかの可能な境界形状で定義できます。

- 円
- 楕円
- 長方形
- 正多角形
- 不規則多角形

不規則多角形を除き、境界は以下によって指定されます。

- 寸法
- 中心位置
- 回転角度

回転角度なしで薄板オブジェクトを作成すると、不規則多角形でない限り、法線が +Z 方向のサーフェスになります。したがって、サーフェスに沿った後続のスイープまたは回転操作は、+Z 方向になります。

正多角形とは、辺の長さと角度が等しい多角形です（例：正三角形、正方形、五角形、六角形など）。半径は、中心から頂点まで、つまり外接円の半径として測定されます。

不規則多角形は、X、Y、Z の値で構成される少なくとも 3 つの異なる位置を使用して指定されます。すべての位置は、同じ平面上にある必要があります。X、Y、Z は現在のモデル単位です。位置は線形エッジで接続され、最後の点は最初の点に接続されて境界が閉じられます。この閉じたループは、サーフェスで覆われ、両面になります。注：不規則多角形薄板のサーフェス法線は、位置のシーケンスの「カール」を使用して右手の法則に従います。

薄板は、反射板または基準面として使用でき、押し出し（スイープ）または回転して通常の厚いオブジェクトを作成できます。

薄板は、光線がモデルを伝播するときに放射照度マップによって表示可能な「観測」サーフェスとして、たとえばライトパイプ内の基準面などとしても使用できます。

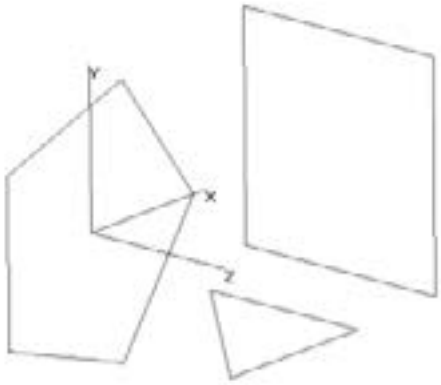


FIGURE 2.7 - Thin Sheet primitive objects

新しい薄板を作成するには、まず「ジオメトリ」メニューから「プリミティブソリッド」コマンドを選択します。次に、「薄板」タブをクリックし、適切なデータを入力します。最後に、「挿入」をクリックすると、薄板が作成されます。

薄板が現在のビューに表示されない場合は、小さすぎて見えないか、ビューの外にあるかのいずれかです。表示するには、「ウィンドウズーム」（小さすぎる場合）、「全ズーム」（大きすぎるかビューの外にある場合）、または「選択ズーム」を選択します。

FIGURE 2.8 - Insert Primitive Solids dialog box: Thin Sheet tab

Name Enter a name for the object

Shape Choose the shape as either Circle, Ellipse, Rectangle, Regular Polygon, or Irregular Polygon

Dimension(s) Enter radii or widths depending on the shape choice

(except for Irregular Polygon)

Center Position Enter the center position with X, Y and Z values

(except for Irregular Polygon)

Rotation Enter the rotation angles about the X, Y and Z axes

(except for Irregular Polygon)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Points Enter each vertex point with X, Y and Z values
(Irregular Polygon only).
Insert Create a new thin sheet object
Modify Modify a previously created thin sheet object
Clear Grid Erases all data from the cells

制限事項：

薄板の境界は閉じていなければなりません。境界の一部が別の部分に重なることは許されません。TracePro は、最後の点を最初の点に接続することで境界を閉じます。

通常、薄板は平面として定義されます。平面上にない境界点を定義した場合、TracePro はポリゴンを埋めるためにスプライン曲面を作成します。

薄板は厚さや体積を持たないため、薄板に材料特性を適用すると、レイトレース中に誤解を招くようなエラーが発生する可能性があります。このため、薄板への以下の特性タイプの適用は禁止されています：材料、ミューラー行列、勾配屈折率、体積散乱、および RepTile。

ラバーバンドプリミティブ：

上記で説明したダイアログに加えて、一部のプリミティブソリッドは、ラバーバンドツールを使用してインタラクティブに定義できます。球、円柱、円錐、およびブロックにはラバーバンドツールがあります。

球を作成するには：

1. 球ツールを選択します。
2. 左マウスボタンを押したままドラッグして、球の半径を定義します。
3. マウスを離してオブジェクトを表示します。

円柱を定義するには：

1. 円柱ツールを選択します。
2. 左マウスボタンを押したまま上下にドラッグして、円柱の底面半径を定義します。底面半径は、画面の垂直軸に沿って定義されます。
3. マウスボタンを離し、左右にドラッグして長さを定義します。長さは、画面の水平軸に沿って定義されます。
4. 左マウスボタンをクリックして円柱を完成させます。

円錐の定義：

1. 円錐ツールを選択します。
2. 左マウスボタンを押したまま上下にドラッグして、底面の半径を定義します。底面の半径は、画面の垂直軸に沿って定義されます。
3. マウスボタンを離し、左右にドラッグして円錐の頂点を定義します。長さは、画面の水平軸に沿って定義されます。
4. 左マウスボタンをクリックして円錐を完成させます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ブロックの定義 :

1. ブロックツールを選択します。
2. 左マウスボタンを押したまま左右にドラッグして、ブロックの正方形の底面の長さを定義します。長さは、画面の水平軸に沿って定義されます。
3. マウスボタンを離し、上下にドラッグして高さを定義します。高さは、画面の垂直軸に沿って定義されます。
4. 左マウスボタンをクリックしてブロックを完成させます。

TracePro ソリッドの定義 :

TracePro では、オプトメカニカルシステムで一般的に使用されるオブジェクト、すなわちレンズエレメント、フレネルレンズ、反射板、チューブまたはバッフルベーンを定義できます。

レンズエレメント :

「Geometry|Lens Element」メニューまたは「Insert Lens」ツールバーボタンを開くと、曲率（または半径）、厚さ、材料、開口部と遮蔽形状および寸法、およびエレメントの位置と向きを含むレンズエレメントを完全に指定できるタブ付きダイアログボックスが開きます。「Geometry|Lens Element」を使用して鏡を作成するには、目的の形状で鏡を作成し、反射コーティングを適用します。

注：遮蔽はレンズ設計からの一般的な用語です。TracePro の遮蔽は、レンズに穴を作成します

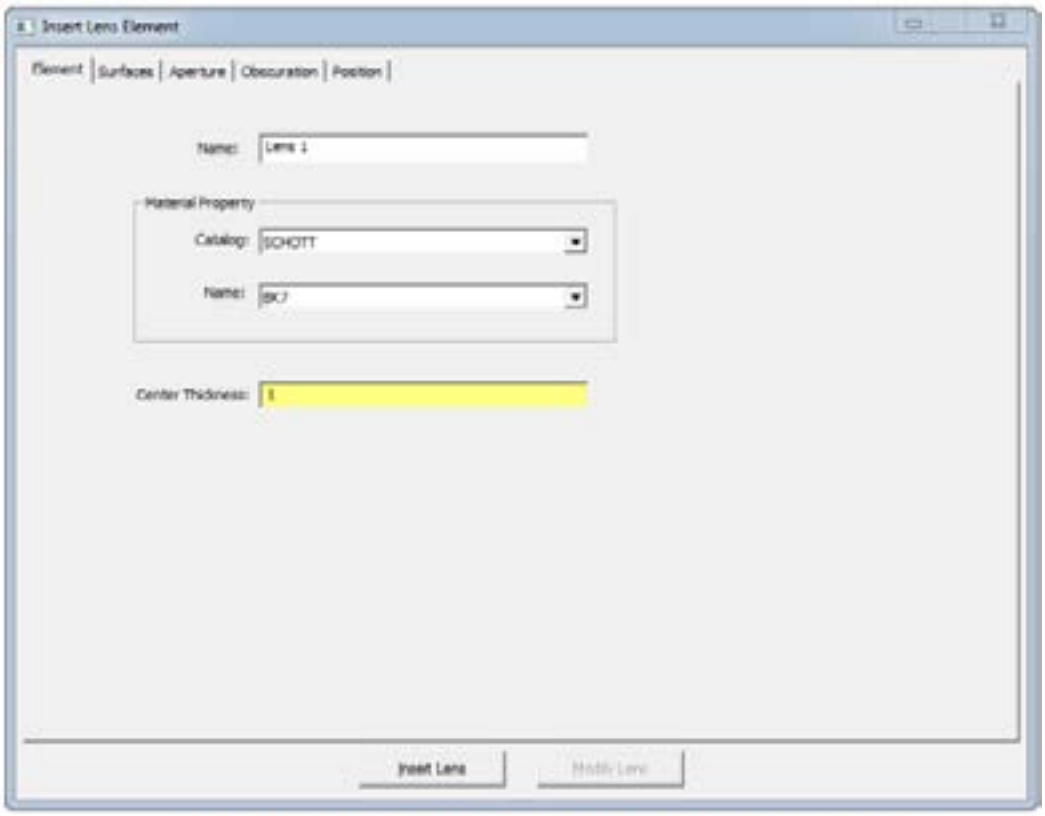


FIGURE 2.9 - Insert Lens Element dialog box: Element tab

指定されたエレメントのすべてのデータを入力したら、ダイアログボックスの下部にある「レンズ挿入」をクリックしてエレメントを作成します。必要な数のエレメントを作成できます。新しいエレメントのデータを編集し、「レンズ挿入」を再度クリックするだけです。

ダイアログボックスを閉じるには、ダイアログボックスの上部バーにある閉じるボタンをクリックするか、キーボードの Esc キーを押します。

「ジオメトリ | レンズエレメント」ダイアログボックスはモードレスダイアログボックスであるため、他のソリッドオブジェクトの挿入、オブジェクトの移動、ビューの変更、プロパティの適用など、他の操作を行っている間も開いたままにできます。

図 2.9 の「レンズ変更」ボタンに注目してください。既存のレンズオブジェクトを選択し、「ジオメトリ | レンズエレメント」ダイアログボックスを使用して、「レンズ変更」ボタンをクリックしてデータにアクセスし、変更できます。モデルウィンドウで適切なレンズが選択されていない場合、「変更」ボタンは無効になることに注意してください。

OSLO レンズ設計ソフトウェアで開発されたレンズを挿入する例は、9.41 ページの「異方性サーフェス特性」に示されています。

エレメントタブ

エレメントタブを使用すると、以下を入力できます。

1. エレメントの名前
2. 中心厚：2 つのサーフェス間の中心から中心までの距離。
3. 材料カタログ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

4. 材料名

デフォルトのガラスは SCHOTT BK7 です。

レンズエレメントを編集するには、エレメントを選択し、エントリを変更して、**[ジオメトリ | レンズエレメント]** ダイアログボックスの [変更] ボタンをクリックします。[変更] ボタンを使用すると、一連の連続した編集を行うことができます。

レンズエレメントを修正する手順は次のとおりです。

1. モデルウィンドウまたはシステムツリーでレンズオブジェクトを選択します。
2. [ジオメトリ | レンズエレメント] を選択します。
3. データを編集し、ダイアログボックスの [レンズの変更] をクリックします。

TracePro は変更を適用します。

別のツールを使用してレンズエレメントを編集した場合（たとえば、ブール演算のいずれかを選択した場合）、TracePro はレンズエレメントがまだ「レンズエレメント」であることを認識しなくなります。たとえば、ブール演算によってレンズから円柱を減算すると、TracePro は結果をレンズオブジェクトではなく一般的なオブジェクトとして認識します。円柱がレンズの軸に沿って配置されている限り、「障害物」タブ付きダイアログを使用して同じステップを実行できます。この場合、レンズオブジェクトのステータスは保持されます。

レンズエレメントの変更は、[ジオメトリ | レンズエレメント] ダイアログボックスから [レンズの変更] を使用するのが最適です。この方法でレンズエレメントを編集すると、さらに変更を加えるために何度でも戻ることができます。

Surfaces tab（サーフェスタブ）

「Surfaces tab（サーフェスタブ）」は、(First Surface（第一面）と Second Surface（第二面）の) 各サーフェスの形状を定義します。各サーフェスには、局所的なサーフェス中心または頂点に対するレンズサーフェスの形状を定義するために使用される独自のサグ式があります。ダイアログボックスの上部にある「Base Sphere（基準球）」の選択は、そのような入力を必要とするサーフェスタイプに対して半径または曲率のどちらを入力するかを決定します。

レンズエレメントを作成するために、以下のサーフェスタイプが利用可能です。

- Plane（平面）
- Sphere（球面）
- Conic（円錐面）
- Q-type asphere (Qcon)（Q 型非球面（Qcon））
- Q-type asphere (Qbfs)（Q 型非球面（Qbfs））
- Rotationally symmetric asphere（回転対称非球面）
- Asymmetric asphere（非対称非球面）
- Asymmetric general asphere（非対称一般非球面）
- Cylinder（円筒面）
- Torus（トーラス面）

- Biconic（二円錐面）
- ISO X-Toric（ISO X トーリック面）
- ISO Y-Toric（ISO Y トーリック面）
- Symmetric cone（対称円錐面）
- Asymmetric cone（非対称円錐面）
- Asymmetric Zernike（非対称ツェルニケ面）
- Anamorphic（アナモルフィック面）
- Odd Cosine（奇数コサイン面）
- Superconic（超円錐面）
- Radial Spline（放射状スプライン面）

「Plane（平面）」サーフェスタイプはデータを必要としません。「Sphere（球面）」サーフェスタイプは球面の半径（または曲率）のみを必要とします。残りのサーフェスタイプはより多くのデータを必要とします。各サーフェスタイプについては、以下のセクションで説明します。

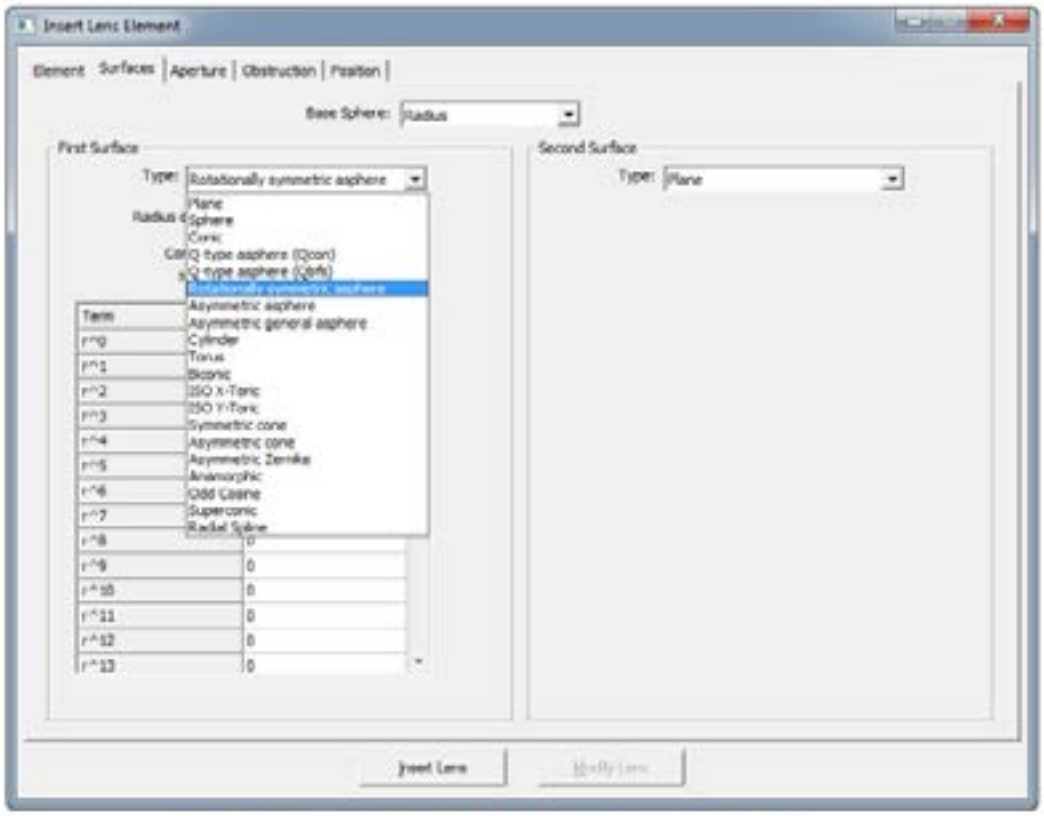


FIGURE 2.10 • Surfaces Tab in Insert Lens dialog

「Conic（円錐）」は、円錐曲線が回転して作られる曲面であり、「sag（サグ）」を持ちます。

$$z(x,y) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1-(1+k)c^2r^2}}$$

c (頂点曲率): 円錐断面の頂点における曲がり具合を示します。

k (円錐定数): 円錐断面の形状を決定する定数です。テーブル 2.1 に、この定数の値とそれに対応する形状が示されています。

r (対称軸からの半径方向距離): 対称軸からの距離を示します。

表 2.1：円錐定数の値

K (Conic Constant)	Conic Type
K < -1	hyperboloid
K = -1	paraboloid
-1 < K < 0	ellipsoid (prolate spheroid)
K = 0	spheroid
K > 0	oblate spheroid

Q 型非球面（Qcon）

グレッグ・フォーブスによって開発された Q 型非球面（Qcon）は、基本円錐曲線と一連の放射状対称な直交多項式から構成されます。多項式は正規化半径 u の関数であり、u = r/r0、r0 は正規化半径です。Qcon 多項式曲面のサグ方程式は以下の通りです。

$$z(r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + u^4\sum_{i=0}^{N} a_i Q_i^{con}(u^2)$$

ここで、c は頂点曲率、k は円錐定数、r は対称軸からの半径距離です。Qcon 多項式は再帰的に評価するのが最適です。それでも、最初のいくつかの Qcon 多項式を明示的に示します。

$$Q_0^{con}(x) = 1$$

$$Q_1^{con}(x) = -(5-6x)$$

$$Q_2^{con}(x) = 15-14x(3-2x)$$

$$Q_3^{con}(x) = -\{35-12x[14-x(21-10x)]\}$$

$$Q_4^{con}(x) = 70-3x\{168-5x[84-11x(8-3x)]\}$$

Q 型非球面（Qbfs）

グレッグ・フォーブスによって開発された Q 型非球面（Qbfs）は、最適適合球と一連の放射状対称な直交多項式から構成されます。多項式は正規化半径 u の関数であり、u = r/r0、r0 は正規化半径です。Qbfs 多項式曲面のサグ方程式は以下の通りです。

$$z(r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-c^2r^2}} + \frac{u^2(1-u^2)}{1+\sqrt{1-c^2r_0^2u^2}}\sum_{i=0}^{N} a_i Q_i^{bfs}(u^2)$$

“c” は、最適適合球の曲率を表します。

“r” は、対称軸からの半径方向距離を表します。

Qbfs 多項式は、再帰的に評価するのが最適です。

補足 :

サグ（sag）: 光学面における基準面からの距離を表す用語です。
円錐曲線（conic）: 円、楕円、放物線、双曲線の総称です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

正規化半径（normalized radius）: 実際の半径を基準となる半径で割った値です。

直交多項式（orthogonal polynomials）: 特定の重み関数に関して直交する多項式の集合です。

これらの Qcon と Qbfs は、光学設計において非球面レンズの形状を精密に記述するために使用される数学的なモデルです。

$$Q_0^{bfs}(x) = 1$$

$$Q_1^{bfs}(x) = \frac{1}{\sqrt{19}}(13 - 6x)$$

$$Q_2^{bfs}(x) = \sqrt{\frac{2}{95}}[29 - 4x(25 - 19x)]$$

$$Q_3^{bfs}(x) = \sqrt{\frac{2}{2545}}[207 - 4x[315 - x(577 - 320x)]]$$

$$Q_4^{bfs}(x) = \frac{1}{3\sqrt{131831}}(7737 - 16x[4653 - 2x[7381 - 8x(1168 - 509x)]])$$

回転対称非球面 (Rotationally Symmetric Asphere)

回転対称非球面は、円錐と一連の半径方向単項式で構成されます。
サグ方程式（sag equation）は、サーフェスの高さ（サグ）を計算するための式です。
回転対称非球面を指定するには、基本円錐のデータ、必要な項の数、および各項の係数を入力します。

$$z(x,y) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=0}^{N} a_i r^{i}$$

非対称非球面 (Asymmetric Asphere)

非対称非球面は、円錐と |x|^j|y|^k の形式の一連の単項式で構成されます。
サグ方程式（sag equation）は、サーフェスの高さ（サグ）を計算するための式です。

$$z(x,y) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=0}^{N} a_i |x|^j |y|^k$$

ここで

$$i = \frac{1}{2}[(j+k)^2 + j + 3k]$$

累乗 j と k は i から決定できます。

$$o = floor\left(\frac{\sqrt{1+8i}-1}{2}\right)$$

$$k = i - o(o+1)/2$$

$$j = o - k$$

「非対称一般非球面」

「非対称一般非球面」のサーフェスは、円錐曲線に xj y k の形式の単項式の系列を加えたもので構成されます。

$$z(x,y) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=0}^{N} a_i x^j y^k$$

$$i = \frac{1}{2}[(j+k)^2 + j + 3k]$$

指数 j と k は i を用いて決定可能です。

$$o = floor\left(\frac{\sqrt{1+8i}-1}{2}\right)$$

$$k = i - o(o+1)/2$$

$$j = o - k$$

円柱 (Cylinder)

円柱面は、名目上 x 軸に沿って押し出された断面形状であり、その断面形状は円錐断面に等しい。

円柱は、その半径（または曲率）と円錐定数によって指定される。

円柱は、ガンマ回転角（度単位）を使用して x 軸から回転させることができる。

トーラス (Torus)

トーラス面は、名目上 x-z 平面にある円に沿って掃引された断面形状であり、その断面形状は円錐断面に等しい。

トーラスは、その半径（または曲率）、円錐定数、および掃引半径（または曲率）によって指定される。

トーラスの掃引円は、ガンマ回転角（度単位）を使用して x-z 平面から回転させることができる。

二重円錐面 (Biconic Surface)

二円錐面は、x および y 子午線両方に円錐断面形状を持つが、一般に異なる半径および円錐定数を持ちます

さらに、|x| および |y| の単項式の系列が基本二円錐面に追加される場合があります。
一般的な二円錐面のサグ方程式は以下のとおりです。
補足

「サグ方程式」とは、光学面などのサーフェスの形状を数学的に記述する式です。

「円錐断面」とは、円錐を平面で切断したときに現れる断面のことで、円、楕円、放物線、双曲線などがあります。

「ガンマ回転角」とは、特定の軸を中心とした回転角度のことです。

$$z(x,y) = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}} + \sum_{i=3}^{N} a_i |x|^i + \sum_{j=3}^{M} b_j |y|^j$$

cx と cy: それぞれ x 方向と y 方向の曲率を表します。曲率は、サーフェスの曲がり具合を示す値です。

kx と ky: それぞれ x 方向と y 方向の円錐定数を表します。円錐定数は、サーフェスの形状が円錐曲線（楕円、放物線、双曲線）のどのタイプに近いかを示す値です。

ガンマ回転角 (Gamma rotation angle): z 軸を中心とした回転角で、二重円錐面を回転させるために使用されます。

ISO X-Toric サーフェス

ISO X-Toric サーフェスは、x-z 平面内のプロファイルを y-z 平面上にほぼ位置する円に沿ってスイープすることによって生成されるサーフェスです。プロファイルは、円錐断面と |x| の単項級数で構成されます。トーラスは、半径（または曲率）、円錐定数、スイープ半径（または曲率）、および単項係数によって指定されます。

- スイープ円 (Sweep circle): トーラスを形成するためにプロファイルをスイープする円です。
  単項係数 (Monomial coefficients): |x| の単項級数の各項の係数です。
- サグ方程式 (Sag equation): サーフェスのサグ（基準面からの垂直方向の距離）を計算するための数式です。
- ガンマ回転角 (Gamma rotation angle): トーラスのスイープ円を y-z 平面から回転させるために使用されます。

これらのサーフェスは、光学レンズやその他の精密部品の設計に使用され、複雑な形状を数学的に表現するために使用されます。二重円錐面は、x 方向と y 方向で異なる曲率と円錐定数を持つサーフェスを定義し、ISO X-Toric サーフェスは、円錐断面と単項級数を組み合わせたプロファイルをスイープすることによって生成される複雑なトーラス形状を定義します。

$$z(x,y) = \frac{c_y(y^2 - g^2(x)) + 2g(x)}{1 + \sqrt{1 - c_y(c_y(y^2 - g^2(x)) + 2g(x))}}$$

ここで

$$g(x) = \frac{c_x x^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 x^2}} + \sum_{i=0}^{N} a_i |x|^i$$

ISO X-Toric

定義 :

cx と cy はそれぞれ x 方向と y 方向の曲率を表し、kx は x 方向の円錐定数を表します。
このサーフェスは、ガンマ回転角（度単位）を用いて z 軸を中心に回転させることができます。
要約 :
ISO X-Toric サーフェスは、x 方向と y 方向の曲率と円錐定数によって定義され、z 軸周りの回転が可能なサーフェスです。

ISO Y-Toric

定義 :

ISO Y-Toric サーフェスは、y-z 平面内のプロファイルを、名目上 x-z 平面内にある円に沿って掃引したものです。プロファイルは、円錐断面と |y| の単項級数の組み合わせです。トーラスは、半径（または曲率）、円錐定数、掃引半径（または曲率）、および単項係数によって指定されます。

トーラスの掃引円は、ガンマ回転角（度単位）を使用して x-z 平面から回転させることができます。

要約 :

ISO Y-Toric サーフェスは、y-z 平面内のプロファイルを x-z 平面内の円に沿って掃引して作成され、その形状は半径、円錐定数、掃引半径、単項係数、および回転角によって定義されます。

全体的な理解

これらのサーフェスは、光学設計において複雑な形状を表現するために使用され、回転角度（ガンマ）によって、サーフェスの向きを調整できることが重要な特徴です。

$$z(x,y) = \frac{c_x(x^2 - g^2(y)) + 2g(y)}{1 + \sqrt{1 - c_x(c_x(x^2 - g^2(y)) + 2g(y))}}$$

ここで

$$g(y) = \frac{c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_y)c_y{}^2 y^2}} + \sum_{j=0}^{M} b_j |y|^j$$

そして、cx と cy はそれぞれ x 方向と y 方向の曲率であり、ky は y 方向の円錐定数です。ISO YToric サーフェスは、ガンマ回転角（度単位）を使用して z 軸を中心に回転させることができます。

対称錐のサーフェスは、円錐と一連の放射状単項式で構成されています。対称錐のサグ方程式は次のとおりです。

$$z(x,y) = c\sqrt{x^2 + y^2} + \sum_{i=3}^{N} a_i r^i$$

ここで、円錐定数 c = 1/tan(θ) であり、θ は円錐の半頂角です。

非対称円錐

非対称円錐面は、楕円形の円錐と |x| と |y| の単項式の数列で構成されています。非対称円錐のサグ方程式は以下の通りです。
補足 :

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- cone constant (円錐定数): 光学や幾何学で、円錐曲面の形状を表す定数です。
- half-angle of the cone (円錐の半頂角): 円錐の頂点から底面の円周までの角度の半分です。
- Asymmetric cone (非対称円錐): 通常の円錐とは異なり、対称性を持たない円錐です。
- elliptical cone (楕円形の円錐): 底面が円ではなく楕円の円錐です。
- monomials (単項式): 一つの項からなる代数式です。
- |x| and |y| (絶対値 x と絶対値 y): x と y の絶対値を表します。
- sag equation (サグ方程式): 光学などで、サーフェスの凹凸を記述する方程式です。

非対称円錐面 (Asymmetric Cone Surface)

Z 軸を中心とした回転 : 非対称円錐面は、ガンマ (Gamma) 回転角（度単位）を用いて Z 軸を中心に回転させることができます。これにより、円錐面の向きを調整できます。

$$z(x,y) = c_z\sqrt{\frac{x^2}{c_x{}^2}+\frac{y^2}{c_y{}^2}} + \sum_{i=3}^{N} a_i |x|^i + \sum_{j=3}^{M} b_j |y|^j$$

非対称ツェルニケ面 (Asymmetric Zernike Surface)

基本円錐とツェルニケ多項式 : 非対称ツェルニケ面は、基本となる円錐と一連のツェルニケ多項式から構成されます。

- サグ方程式 : このサーフェスのサグ（sag：光軸からの高さ）は、基本円錐のサグにツェルニケ多項式の項を加えることで計算されます。
- 柔軟性 : ツェルニケ多項式を加えることで、基本円錐の形状を細かく調整し、非対称な形状を表現できます。
- サグ方程式の概念
- サグ方程式は、光学面などのサーフェス形状を数学的に記述するためのものです。非対称ツェルニケ面の場合、基本となる円錐の形状に、ツェルニケ多項式による補正を加えることで、より複雑な形状を表現します。
- 重要なエレメント
- 回転角 (Gamma): サーフェスの向きを調整します。
- 基本円錐 : サーフェスの基本的な形状を決定します。
- ツェルニケ多項式 : サーフェスの細かな形状を調整します。
- サグ : 光軸からのサーフェスの高さです。
- これらのエレメントを組み合わせることで、複雑な非対称光学サーフェスを設計し、解析することができます。

$$z(r,\theta) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=0}^{N} a_i Z_i(r,\theta)$$

ここで Zi はツェルニケ多項式です。ツェルニケ多項式は r と θ に関して分離可能であり、次数

n と m で表現されます。

$$Z_n^m(r,\theta) = R_n^m(r)\cos(m\theta)$$

$$Z_n^{-m}(r,\theta) = R_n^m(r)\sin(m\theta)$$

TracePro におけるツェルニケ多項式は、n = 0, 1, 2, ... の順に並べられ、各次数 n の中では、m = -n, -n+2, ..., n の順に並べられます。特定の多項式における r の最高次数は n に等しくなります。使用されるツェルニケ多項式の数は、n の最大値を設定することで制御されます。ツェルニケ多項式は再帰的に評価されます。表 2.2 は、最初のいくつかのツェルニケ多項式の番号付けを示しています。
ツェルニケ多項式は、正規化された半径 r' = r/r0 と共に使用されます。非対称ツェルニケサーフェスは、度単位のガンマ回転角を使用して z 軸を中心に回転させることができます。

テーブル 2.2. ツェルニケ多項式の番号付け

i	n	m	Zernike polynomial
0	0	0	1
1	1	-1	rsin θ
2	1	1	rcos θ
3	2	-2	r2sin2 θ
4	2	0	2r2-1
5	2	2	r2cos2 θ

「アナモルフィック」

アナモルフィックサーフェスタイプは、二重円錐サーフェスタイプに似ていますが、追加項の系列が異なります。アナモルフィックサーフェスタイプのサグは、

$$z(x,y) = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 x^2 - (1+k_y)c_y^2 y^2}}$$

$$+a_0[(1-a_1)x^2 + (1+a_1)y^2]^2 + a_2[(1-a_2)x^2 + (1+a_2)y^2]^3 + a_4[(1-a_5)x^2 + (1+a_5)y^2]^4 + \cdots$$

用語の解説 :

cx, cy: x 方向と y 方向の曲率（curvature）です。曲率とは、サーフェスの曲がり具合を示す値です。
kx, ky: x 方向と y 方向の円錐定数（conic constants）です。円錐定数は、サーフェスがどのような種類の円錐曲線に近いかを示す値です。

アナモルフィックサーフェス（anamorphic surface）: x 方向と y 方向で曲率が異なるサーフェスのことです。

- ガンマ回転角（Gamma rotation angle）: z 軸を中心としたサーフェスの回転角度（度単位）です。
  奇数コサイン面（Odd Cosine surface）: 基本となる円錐曲線に、放射状の単項式（radial monomials）と、放射距離とコサイン関数の積の項（radial-times-cosine terms）を加えたサーフェス形状です。
- 放射状の単項式（radial monomials）: 放射距離のべき乗で表される項です。
- 放射距離とコサイン関数の積の項（radial-times-cosine terms）: 放射距離のべき乗、振幅（amplitude）、周波数（frequency）、位相（phase）を調整できるコサイン関数で表される項です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- サグ（sag）: 基準面からのサーフェスの高さ（変位）です。

奇数コサイン面 :

奇数コサイン面は、基本となる円錐曲線に、放射状の単項式と、放射距離とコサイン関数の積の項を加えることで、複雑な形状を表現できるサーフェスです。特に、放射距離とコサイン関数の積の項は、サーフェスに周期的な凹凸を付与するのに役立ちます。

重要な点 :

- サーフェスは z 軸を中心にガンマ回転角で回転できます。
- 放射距離とコサイン関数の積の項は、放射距離の指数、振幅、周波数、位相を調整できます。
- このサーフェスのサグ（基準面からの高さ）は、これらのパラメータに基づいて計算されます。
- このサーフェスは、光学系において、特定の収差を補正したり、特殊な光線制御を行うために使用されます。

$$z(x,y) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^{N} a_i r^i + \sum_{i=1}^{M} A_i u^{P_i} \cos(B_i\theta + C_i)$$

ここで、u = r/r0 は正規化された半径、r0 は正規化半径、c は頂点の曲率、k は円錐定数、そして r は対称軸からの半径方向の距離です。奇数コサイン面は、ガンマ回転角（度単位）を使用して z 軸を中心に回転させることができます。

超円錐面

超円錐面タイプは、円筒半径ではなく、頂点からサーフェス上の点までの半径で定義されます。超円錐面は以下の式で定義されます。

$$Az^2 - 2Bz + C = 0$$

ここで

$$A = ck$$

$$B = 1 + \sum_{i=1}^{N} U_i r^{2i}$$

$$C = cr^2 + \sum_{i=1}^{M} V_i r^{2(i+1)}$$

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

c は頂点曲率、k は円錐定数です。これらの係数と A、B、C、Ui、Vi は、超円錐面を定義するために使用されます。

放射状スプライン

放射状スプライン面は、子午線に沿った 3 次スプライン曲線であり、回転させてサーフェスを作成します。頂点曲率 (vertex curvature, c): 光学レンズやミラーの頂点における曲がり具合を

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

示す値です。

- 円錐定数 (conic constant, k): 円錐断面の形状を決定する値で、球面、楕円、放物線、双曲線などの形状を定義します。
- 超円錐面 (superconic surface): 標準的な円錐面よりも複雑な形状を表現できるサーフェスモデルです。
- 放射状スプライン (Radial Spline): 回転対称な複雑なサーフェスを定義するために使用される方法です。子午線に沿ったスプライン曲線を回転させることでサーフェスを作成します。
- 子午線 (meridian): 回転対称なサーフェスの断面を表す線です。
- たるみ (sag): 基準面からのサーフェスのずれを表す値です。

この曲線は、子午線に沿った異なる半径での曲線の傾斜値を指定することによって作成されます。点 i-1 と i の間のサーフェスのたるみは、以下によって決定されます。

$$z = \frac{1}{6}c_{i-1}\frac{(h_i - r)^3}{h_i - h_{i-1}} + \frac{1}{6}c_{i-1}\frac{(r - h_{i-1})^3}{h_i - h_{i-1}} + \left[s_i - \frac{1}{2}c_i(h_i - h_{i-1})\right](r - h_i) + Z_{i-1} - \frac{1}{6}c_{i-1}(h_i - h_{i-1})$$

ここで、hi は点 i における子午線に沿った高さ、si は傾斜、ci は曲率です。各点における曲率とたるみ（サグ）の値は、再帰関係から求められます。

$$c_i = \frac{2(s_i - s_{i-1})}{h_i - h_{i-1}} - c_{i-1}$$

$$Z_i = \left[s_i - \frac{1}{6}(h_i - h_{i-1})(c_{i-1} + 2c_i)\right](h_i - h_{i-1}) + Z_{i-1}$$

アパーチャタブ

アパーチャタブ（図 2.11 参照）では、以下の設定を行います。

1. アパーチャ形状：光軸に垂直なレンズの断面形状を定義します。円、長方形、楕円、角丸長方形、多角形から選択できます。
2. アパーチャ半径：モデル単位での X 方向と Y 方向のレンズ絞りの半径です。円形の場合、Y 方向の寸法は設定できません。
3. アパーチャ偏芯：モデル単位での X 方向と Y 方向のレンズの偏芯です。
4. 角の半径：角丸長方形の絞り形状を選択した場合に適用されます。
5. アパーチャガンマ：光軸に対するレンズ絞りの向きで、X はローカルな水平軸、Y はローカルな垂直軸を表します。角度（度）またはラジアンで指定し、ローカルな Z 軸（つまり光軸）を中心としたレンズ絞りの回転を示します。
6. アパーチャ第二面半径：単一レンズの第二面の半径を第一面の半径と異なる値に設定できます。レンズ設計コード（OSLO など）からの処方箋には、この状況がよく見られます。したがって、この追加パラメータを含めることで、「レンズ変更」ボタンをクリックしたときに絞りデータが失われないようにします。
7. X 点と Y 点：多角形のアパーチャ形状を選択した場合に、多角形の頂点の入力を可能にします。

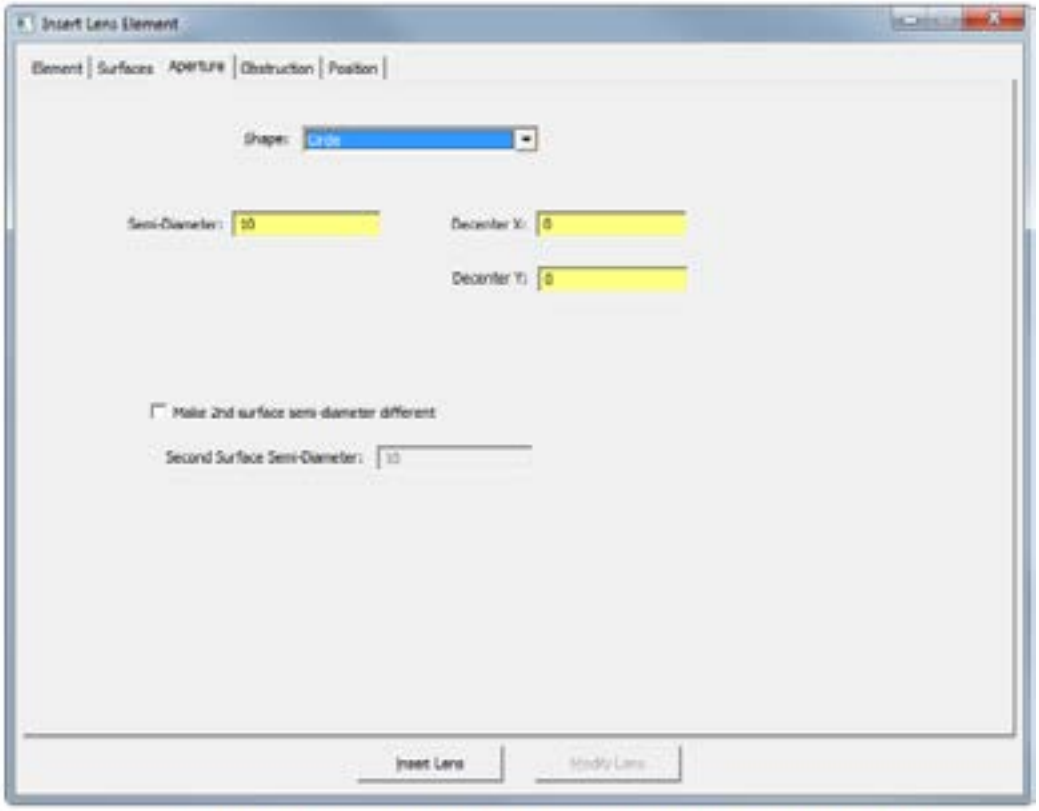


FIGURE 2.11 - Insert Lens Element dialog box: Aperture tab

遮蔽タブ

遮蔽タブ（図 2.12 参照）では、以下の設定を行います。

絞り形状：光軸に垂直なレンズの断面形状を定義します。円、長方形、楕円、角丸長方形、多角形から選択できます。

1. 遮蔽半径：モデル単位での X 方向と Y 方向のレンズ絞りの半径です。円形の場合、Y 方向の寸法は設定できません。
2. 遮蔽偏芯：モデル単位での X 方向と Y 方向のレンズの偏芯です。
3. 角の半径：角丸長方形の絞り形状を選択した場合に適用されます。
4. 遮蔽ガンマ：光軸に対するレンズ絞りの向きで、X はローカルな水平軸、Y はローカルな垂直軸を表します。角度（度）またはラジアンで指定し、ローカルな Z 軸（つまり光軸）を中心としたレンズ絞りの回転を示します。
5. 遮蔽第二面半径：単一レンズの第二面の半径を第一面の半径と異なる値に設定できます。レンズ設計コード（OSLO など）からの処方箋には、この状況がよく見られます。したがって、この追加パラメータを含めることで、「レンズ変更」ボタンをクリックしたときに絞りデータが失われないようにします。
6. X 点と Y 点：多角形の絞り形状を選択した場合に、多角形の頂点の入力を可能にします。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

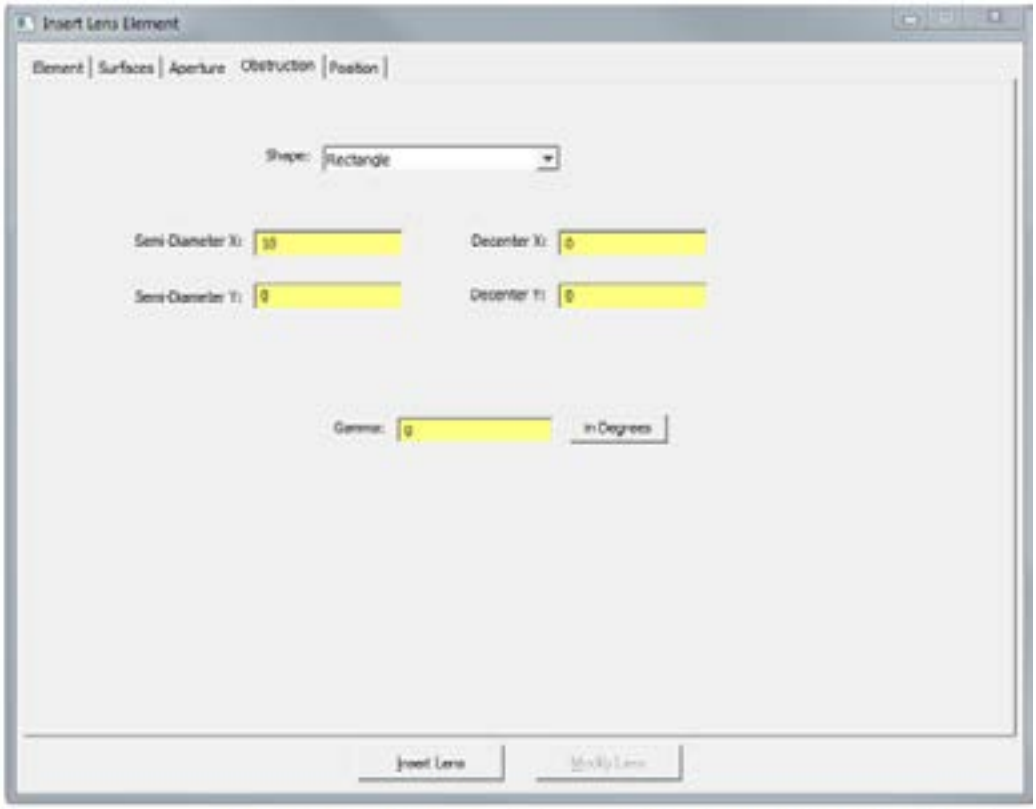


FIGURE 2.12 - Insert Lens Element dialog box: Obstruction tab with Rectangle obstruction selected.

「位置」タブ

「位置」タブ（図 2.13 参照）を使用して、以下の設定を行います。

1. エレメントの最初のサーフェスの頂点の X、Y、Z 座標をグローバル座標で設定します。
2. 最初のサーフェスまたはエレメント全体の X、Y、Z 回転角（傾き）を設定します。
3. 最初のサーフェスに対する 2 番目のサーフェスの X、Y、Z 偏芯（つまり、上記（1）に対するローカルオフセット）を設定します。
4. 最初のサーフェスに対するエレメントの 2 番目のサーフェスの X、Y、A 回転角（傾き）（つまり、上記（2）に対するローカルオフセット）を設定します。

回転角を入力すると、サーフェス / エレメントは最初に x 軸を中心に回転し、次に y 軸を中心に回転し、最後に z 軸を中心に回転します。このダイアログボックスの最初の 2 行はグローバル座標であり、最後の 2 行は最初の 2 行に対するローカル座標であることに注意してください。最後の 2 行にオフセットがない場合、オフセットは最初のサーフェスの中心と傾きに対してグローバルに示されているとおりになります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

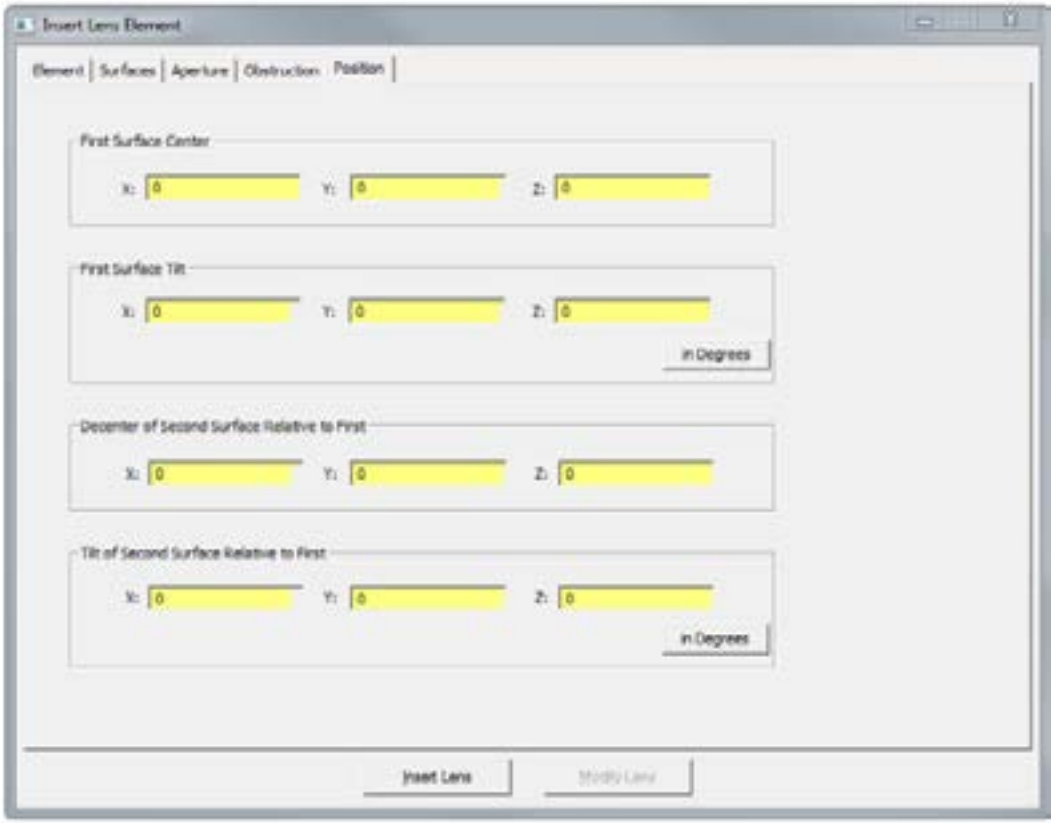


FIGURE 2.13 - Insert Lens Element dialog box: Position tab

フレネルレンズ

「ジオメトリ | フレネルレンズ」メニュー項目を開くと、モーダレスダイアログボックスが表示され、材料、物体距離、像距離に基づいてフレネルレンズを指定できます。このダイアログボックスでは、次の項目を入力できます。

1. リング幅または単位長さあたりの線数
2. 基板の厚さ
3. レンズ基板の半径
4. 材料カタログ、名前、設計波長
5. 物体距離
6. 像距離
7. 部品の中心の原点または位置
8. 向きを指定する回転角度

TracePro は、物体距離または像距離がゼロの場合、無限距離として解釈します。仮想的な物体や像の場合には、負の距離を入力することもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

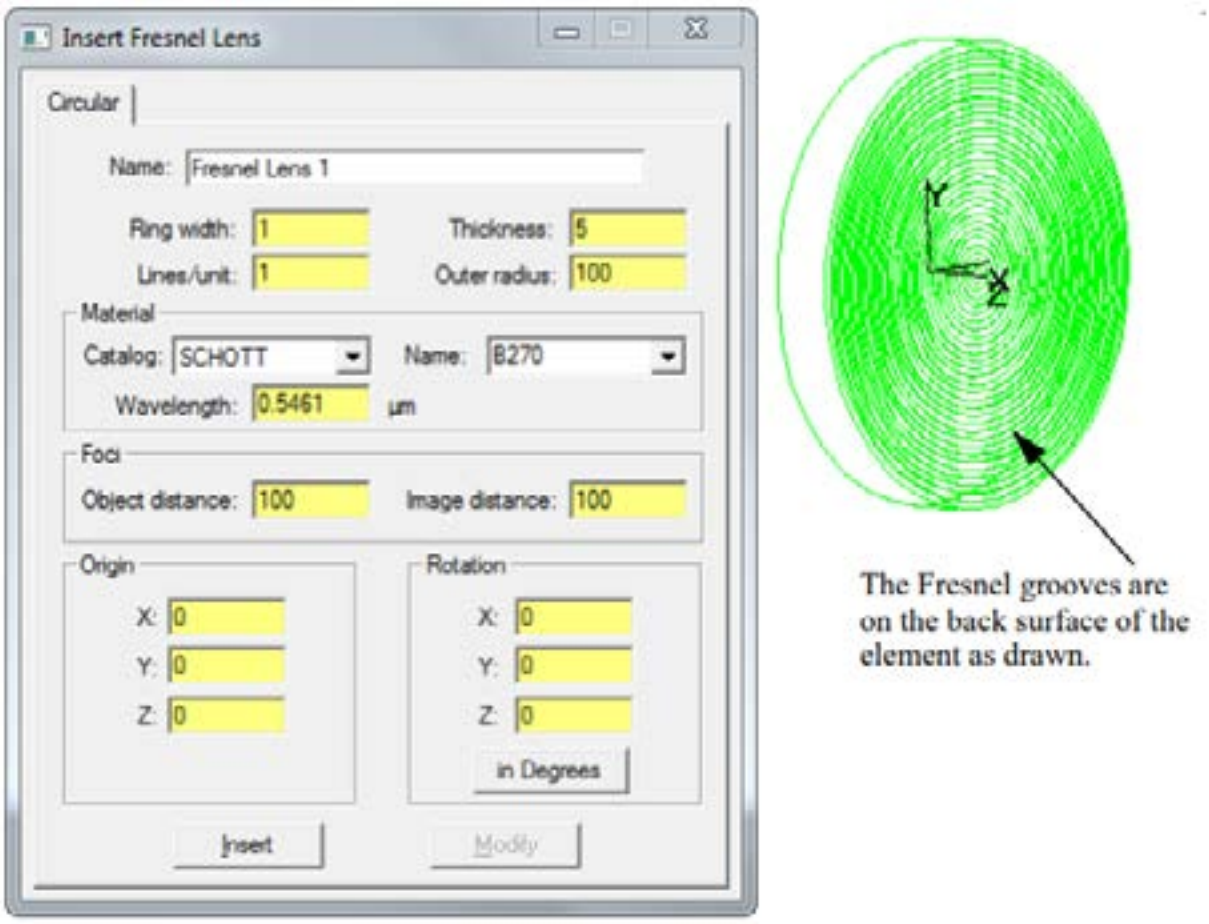


FIGURE 2.14 - *Insert Fresnel Lens* dialog box and resulting Fresnel Lens

リング幅はフレネルレンズの個々のリングの幅を指定し、単位長さあたりの線数はリング幅の逆数、つまり単位長さあたりのリング数（例：50 線 / インチ）を指定します。これらの量のいずれかを指定すると、もう一方が更新されます。

物体距離と像距離は点対点イメージングを指定します。フレネルレンズのすべてのデータを入力すると、TracePro は要求されたイメージングを提供する円錐形のファセットを持つフレネルレンズを作成します。ファセット角度は、選択された材料と波長について、物体距離に等しい距離にあるレンズの左側の点からの光が、像距離に等しい距離にあるレンズの右側の点に最適にイメージングされるように選択されます。

フレネルレンズのファセット角度を計算する式は次のとおりです。

TracePro は、物体距離または像距離がゼロの場合、無限距離として解釈します。仮想物体または仮想像の場合には、負の距離も入力できます。

$$\tan\beta = \frac{\sin\theta_1 + \sin\theta_2}{\sqrt{(n^2 - \sin^2\theta_1)} - \cos\theta_2}, \qquad (2.1$$

「ここで、θ 1 はフレネルレンズへの光の入射角、θ 2 はフレネルレンズから出射する光の角度、n は材料の屈折率、β はファセット角です。この公式は最適化された、または「非球面」フレネルレンズを作成し、球のセグメントを平坦な基板に縮小することとは異なります。」

反射鏡

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

「Geometry|Reflector メニューまたは Insert Reflector ツールバーボタンをクリックすると、ランプや集光器などの反射鏡を指定できるモードレスダイアログボックスが開きます。Insert Reflector ダイアログはタブ付きダイアログボックスで、6 つの異なるクラスの反射鏡と集光器を入力するための 6 つのタブがあります。

- 円錐
- 3D 複合
- トラフ（円柱）
- 複合トラフ
- 矩形集光器
- ファセットリム光線

反射鏡は、ダイアログボックスで指定された厚さと形状を持つ湾曲した材料で構成されています。以下のセクションでは、各クラスの反射鏡について説明します。」

円錐

円錐反射鏡は、回転の円錐断面、すなわち次のいずれかです。

- 球面
- 放物面
- 楕円面
- 双曲面

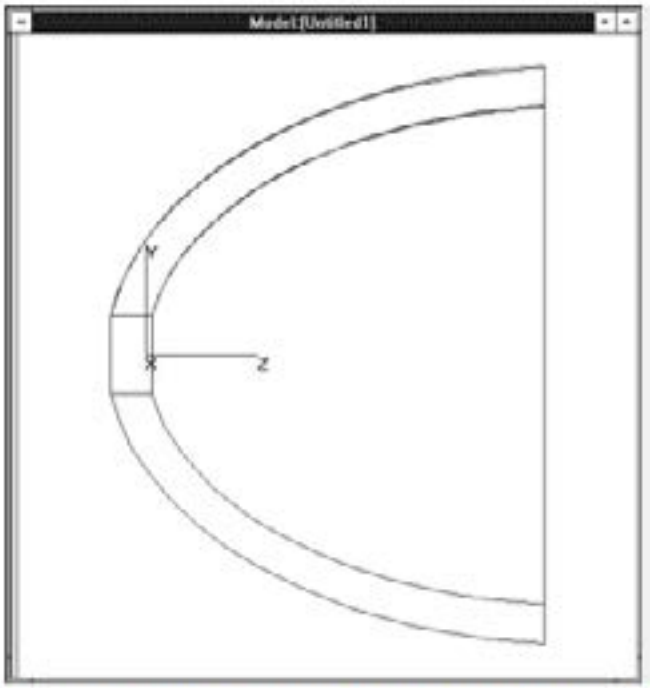


FIGURE 2.15 - Elliptical reflector with a hole at (0,0,0

このダイアログボックスでは、反射器の基本形状（上記の選択肢のいずれか）と、必要に応じて焦点距離または半径を指定できます。また、厚さ、頂点にある穴の半径、反射器の位置と向きも指定します。回転を指定しない反射器は、図 2.15 に示す向きで作成され、対称軸は z 軸

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

に平行で、開口部は +z 軸方向に面します。

図 2.15 は、頂点に穴があり、原点に配置された楕円形の反射器を示しています。原点の X、Y、Z 座標は、反射器の頂点の位置を決定するために使用されます。頂点に穴が必要ない場合は、穴の半径をゼロのままにします。

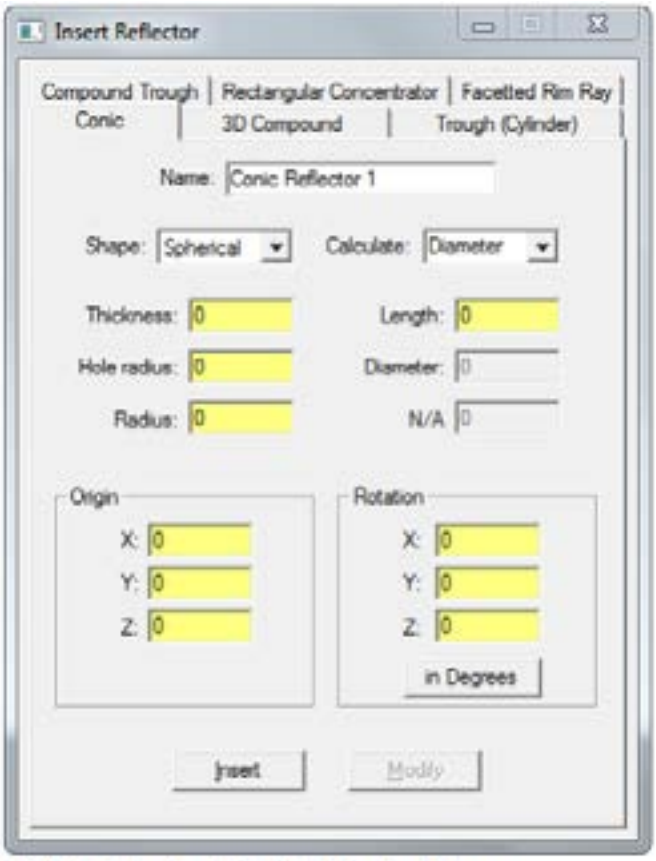


FIGURE 2.16 - Insert Conic Reflector Dialog

円錐形反射鏡を指定するために必要なパラメータは以下の通りです。

- 形状 (例 : 円形、楕円形など)
- 長さ (頂点から反射鏡の端までの距離)
- 直径
- 曲率半径 (球面の場合)
- 焦点距離 (非球面の場合)
- 厚さ
- 穴の半径 (頂点にあるオプションの穴の半径)
- 原点 (頂点の X、Y、Z 座標)
- 回転 (頂点周りの X、Y、Z 回転角度)

長さ、直径、および半径 / 焦点距離は相互に関連しており、「計算」ドロップダウンリストを使用して 1 つの値を計算するように選択し、他の値を入力できます。たとえば、既知の体積内に収まる放物線反射鏡が必要な場合は、長さと直径を入力できます。同様に、直径と焦点距離がわかっている場合は、長さを計算できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

3D 複合体

3D 複合反射器は、3D 複合集光器です。このタブを使用して、以下のものを作成できます。

- CPC（複合放物線集光器）
- CEC（複合楕円集光器）

このダイアログタブでは、実際には放物線と楕円を回転させて形成されるトロイドを作成できます。その特殊なケースが CPC と CEC です。集光器の軸の傾き、横方向のずれ、長さを個別に設定できるため、理想的な CPC や CEC 以外の形状を作成できます。理想的な CPC や CEC を作成するには、これらのパラメータの 1 つを他のパラメータに関して自分で解き、その結果をダイアログに入力する必要があります。

ダイアログボックスのリストから形状を選択することで、中実または中空の集光器を作成できます。

3D 複合反射器を指定するために必要なパラメータは次のとおりです。

- 形状（中空または中実）および（楕円または放物線）
- 前面の長さ（焦点から集光器の入口ポート端までの距離）
- 背面の長さ（焦点から集光器の出口ポート端までの距離）
- 横方向の焦点ずれ（教科書的な集光器の場合、出口ポートの半径に等しい）
- 厚さ
- 軸の傾き（教科書的な集光器の場合、受光角に等しい）
- 焦点距離
- 原点（出口ポートの中心の X、Y、Z 座標）
- 回転（出口ポートの中心を中心とした X、Y、Z 回転角度）

注：円錐反射器は 3D 複合反射器の特殊なケースです。3D 複合反射器のダイアログタブで軸の傾きと横方向の焦点ずれをゼロに設定することで、円錐反射器を作成できます。

集光器の詳細については、教科書「High Collection Nonimaging Optics, W.T. Welford and R. Winston, Academic Press, New York, 1989, ISBN 0-12-742885-2」を参照してください。

放物線集光器

複合放物線集光器（CPC）は、放物線トロイド、つまり対称軸以外の軸を中心に回転させた放物線と考えることができます。放物線集光器は、放物線から始めて、それを（焦点に関して）傾け、横方向にずらし、元の対称軸を中心に回転させてサーフェスを形成することで構築できます。

CPC は、パラメータが Welford と Winston で説明されているように選択されている場合、遠方のソースからの光を集光するための理論的に最適な形状です。TracePro では、最適な集光器サーフェスではない CPC を入力することもできます。

TracePro では、CPC の形状は、サーフェスの前面の長さ、背面の長さ、横方向の焦点ずれ、および軸の傾きによって記述されます。原点と回転角度は、CPC 軸の位置と向きを決定します。背面の長さを使用すると、教科書的な CPC からさらに逸脱できます。教科書的な CPC の背面の長さはゼロです。背面の長さを増やすと、出口ポート端で CPC が長くなり、減らすと全長が

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

短くなります。これは切頭 CPC と呼ばれます。前面の長さと背面の長さは両方とも、放物線の焦点から CPC の両端までの距離を測定したものです。

説明されているパラメータは、図 2.17 に示されています。

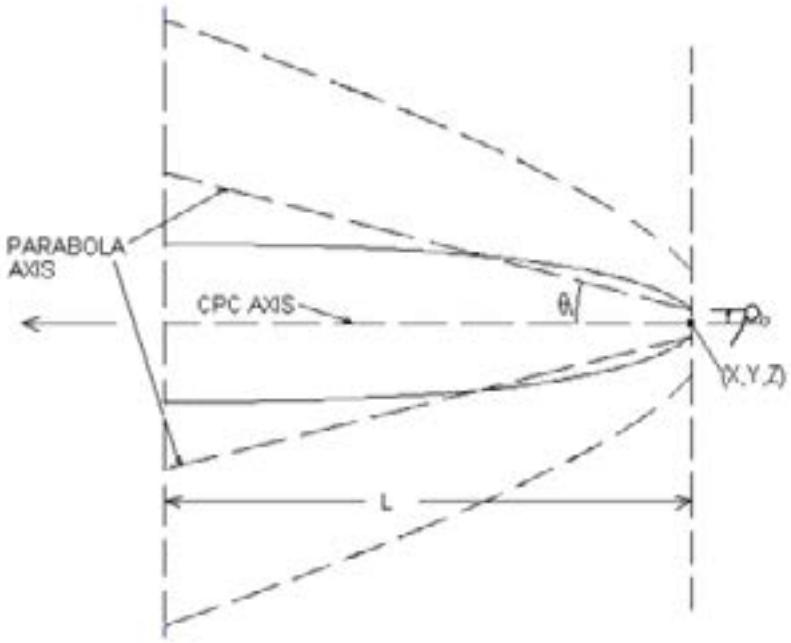


FIGURE 2.17 - Compound Parabolic Concentrator

原点は (X, Y, Z) 座標で表され、L は前面の長さ、θ i は軸傾斜角、ρ 0 は横方向の焦点シフトです。

教科書的な、または最適な CPC（複合放物面集光器）を作成するには、受容角（軸傾斜角と等しい）と出口ポート半径を選択し、次に焦点距離と集光器の全長を求めます。焦点距離 f は、以下の式から求められます。

$$f = a(1 + \sin\theta_i), \qquad (2.2$$

a は出口ポートの半径、θ i は受容角であり、全体の長さ L は以下から求められます。

$$L = \frac{a(1 + \sin\theta_i)\cos\theta_i}{\sin^2\theta_i} = \frac{f\cos\theta_i}{\sin^2\theta_i}, \qquad (2.3$$

これらの 4 つのパラメータのうち任意の 2 つを選択し、これらの 2 つの式を使用して残りの 2 つを解くこともできます。

この最適な CPC（複合放物線集光器）を TracePro に入力するには、前面長を L、背面長をゼロ、軸の傾きをθ i、横方向の焦点シフトを a に設定します。横方向の焦点シフトは、出口開口部の半径に等しくなります。固体 CPC の場合、受光角θ i' は屈折率 n によって増加します。つまり、sin(θ i') = n*sin(θ i) です。3D 複合集光器の詳細については、Welford と Winston を参照してください。

回転角度を入力すると、集光器は最初に x 軸を中心に回転し、次に y 軸を中心に回転し、最後に z 軸を中心に回転します。

トラフ（円筒）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

トラフまたは円筒リフレクターは、断面が均一で一般に円筒形の形状を形成するために押し出された円錐断面です。TracePro で定義できるトラフ形状は次のとおりです。

- 円筒（通常の円筒）
- 放物線円筒
- 楕円円筒
- 双曲線円筒

トラフリフレクターは、トラフの頂点にある長さに沿ってオプションのスリットを持つこともできます。このリフレクタータイプおよび他のリフレクタータイプでより複雑な穴構造を含めるには、境界オブジェクトとのブール演算を使用します。これらのブール演算は、オブジェクトがリフレクターオブジェクトとして認識されなくなるため、このメニューの [変更] ボタンの使用を妨げることに注意してください。

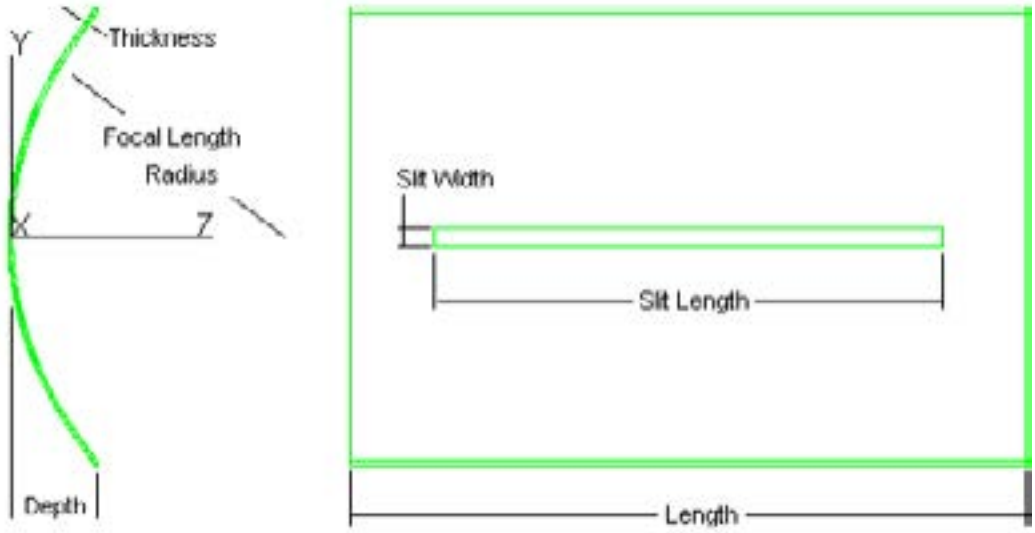


FIGURE 2.18 - Elliptical Trough with Slit

トラフ反射鏡を指定するために必要なパラメータは次のとおりです。

- 形状（円形、楕円形、放物線形、または双曲線形）
- 長さ（円筒軸に沿った長さ）
- 厚さ
- 深さ（頂点から反射鏡の外縁までの距離）
- スリット幅
- スリット長
- 焦点距離（円形反射鏡の場合は半径）
- 原点（頂点の X、Y、Z 座標）
- 回転（頂点周りの X、Y、Z 回転角度）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

複合トラフ

複合トラフ反射鏡は、3D 複合反射鏡に似ていますが、複合形状が回転されるのではなく押し出されてトラフを形成する点が異なります。3D 複合反射鏡に関する説明は、トラフの長さ（押し出し軸に沿った長さ）も指定する必要がある点を除いて、ここでも当てはまります。

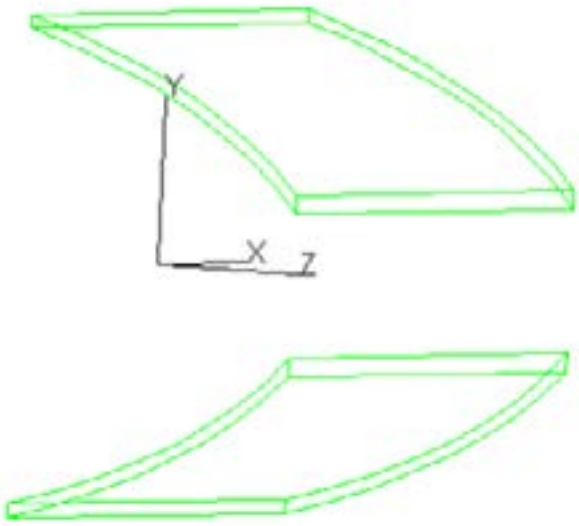


FIGURE 2.19 - Compound Trough Reflector

複合トラフ反射器を特定するために必要なパラメータは以下の通りです。

- 形状 (中空または固体) および (楕円形または放物線形)
- 前面深度 (焦点から集光器の入口ポート端までの距離)
- 背面深度 (焦点から集光器の出口ポート端までの距離)
- 横方向焦点シフト (教科書的な集光器の場合、出口ポート半径に等しい)
- 厚さ
- 長さ (押し出し軸に沿って)
- 軸の傾き (教科書的な集光器の場合、受容角に等しい)
- 焦点距離
- 原点 (出口ポートの中心の X、Y、Z 座標)
- 回転 (出口ポートの中心を中心とした X、Y、Z 回転角度)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

長方形集光器

長方形集光器は、互いに直角に配置された 2 つの複合トラフ反射器で構成されています。これにより、x-z または y-z 断面で複合円錐となり、任意の xy 断面で長方形となる集光器が生成されます。長方形集光器ダイアログタブには、通常の反射器パラメータに加えて、2 つの複合円錐の入力があります。

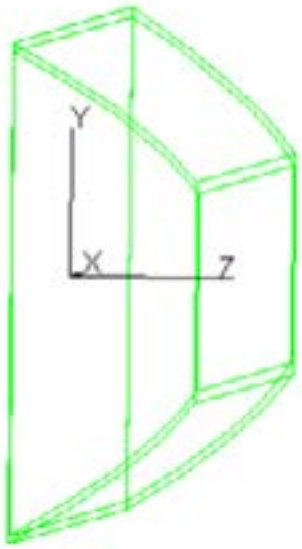


FIGURE 2.20 - Rectangular Concentrator Reflector

矩形集光反射器を指定するために必要なパラメータは以下の通りです。

- 形状（中空または固体）および（楕円または放物線）
- 前面深度（焦点から集光器の入口ポート端までの距離）
- 背面深度（焦点から集光器の出口ポート端までの距離）
- X および Y 方向の横方向焦点シフト（教科書的な集光器の場合、出口ポート半径に等しい）
- 厚さ
- X および Y 方向の軸傾斜（教科書的な集光器の場合、受光角に等しい）
- X および Y 方向の焦点距離
- 原点（出口ポートの中心の X、Y、Z 座標）
- 回転（出口ポートの中心を中心とした X、Y、Z 回転角度）

ファセットリムレイ

ファセット反射器は、拡張ソースに対して均一な放射照度分布を生成するためによく使用されます。ファセットは、物体の結像品質を摂動させることによって、反射器の出力を平滑化します。TracePro のファセットリムレイは、特定のソース、パッケージ（またはエンクロージャ）、および放射照度平面に対して最適化された反射器です。パッケージは、反射器を囲む目的の物体の寸法によって定義されます。

反射器を指定するには、図 2.21 に示すように、パッケージの高さ Yp と深度位置（位置）Zp を特定することから始めます。ソースのサイズ(ソースの高さ)と反射器の頂点からの距離(ソー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

スの位置）を入力します。次に、目的の出力寸法（ターゲットの高さと位置）を入力します。TracePro は、ソースの上部からパッケージ位置（Yp、Zp）へ、ターゲットの上部へと光線をトレースします。反射の法則を使用して、ファセットエッジの角度を決定します。次に、TracePro はファセットエッジを延長し、ソースの下部からファセットエッジの下部へ、ターゲットの下部へと光線をトレースできるようにします。これにより、最初のファセットエッジが定義されます。反射器の頂点を横切るまで、追加のファセットエッジが定義されます。プロファイルは、# ファセット / 行に基づいてステップごとに回転され、固体反射器が作成されます。

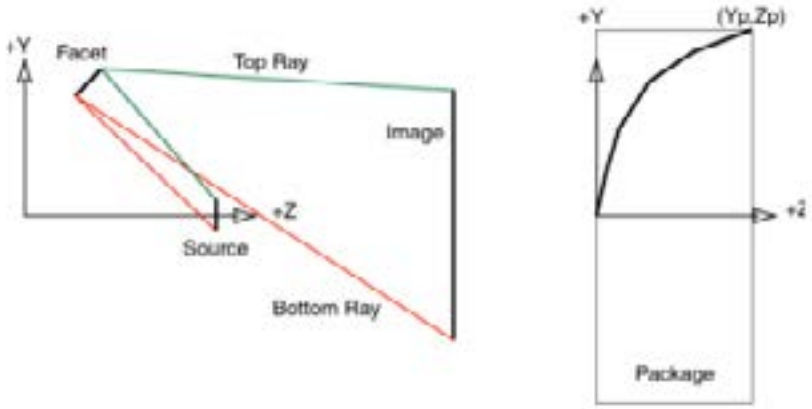


FIGURE 2.21 - Left: top and bottom rim rays traced for a single facet edge; Right: package and facet edges

注 : 図 2.21 に示されている光線は、最初のファセットの端を定義するために使用されます。その端は掃引され、最初のファセットが作成され、繰り返し掃引されてすべてのファセットが作成されます。したがって、円形リム光線反射器の場合、最終的な反射器にトレースされた光線は、図 2.21 に示されている光線トレースを生成しません。なぜなら、それは構築のみに使用されるからです。

ファセット化されたリム光線反射器を指定するために必要なパラメータは次のとおりです。

厚さ

ファセット数 / 行（これは、プロファイルが Z 軸を中心に掃引されたときに作成されるファセットの数であり、円形反射器の場合です。）

長さ（トラフ反射器の場合）

高さ（パッケージの半分の高さ）

位置（パッケージの深さを定義する反射器頂点からの Z 距離）

ソースの高さ（Y 軸に沿ったソース範囲の半分の直径）

ソースの位置（反射器頂点からの Z 距離としてのソースの原点）

ターゲットの高さ（Y 軸に沿ったターゲット範囲の半分の直径）

ターゲットの位置（反射器頂点からの Z 距離としてのターゲットの原点）

原点（反射器の頂点の X、Y、Z 座標）

回転（反射器の頂点に関する X、Y、Z 回転角度）

解説 :

- 「ファセット」は、多面体の面を意味します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 「掃引」は 3D モデリングで特定の形状を特定の軌道にそって移動させて立体を生成する事を示します。
- 「トラフ反射器」は、溝状の反射器です。
- 「リム」は、縁を意味します。

チューブ

「ジオメトリ | チューブ」メニューまたは「チューブ挿入」ツールバーボタンをクリックすると、レンズ鏡筒やサンシェードなどに使用されるチューブを指定できるモードレスダイアログボックスが開きます。チューブは、楕円形または長方形の断面形状で作成できます。円筒形チューブは、チューブの両端で幅または半径が同じですが、円錐形チューブは両端で幅または半径が異なります。長方形チューブは、両端で幅と高さの寸法が異なり、テーパー付き長方形チューブを形成できます。

チューブダイアログを使用して、以下の設定を行います。

- 壁の厚さ
- チューブの長さ
- 断面形状（楕円形または長方形）
- 楕円形チューブの底面と上面の内側半径
- 長方形チューブの X 半幅と Y 半幅
- チューブの底面の位置
- チューブ軸の回転角度

底面または上面が閉じているかどうか 回転角度を入力すると、チューブは最初に x 軸を中心に傾斜し、次に y 軸を中心に傾斜し、最後に z 軸を中心に傾斜します。回転していないチューブは、軸が z 軸に沿っています。 チューブダイアログボックスはモードレスダイアログボックスであるため、他のソリッドオブジェクトの挿入、オブジェクトの移動、ビューの変更、プロパティの適用など、他の操作をしながら開いたままにすることができます。

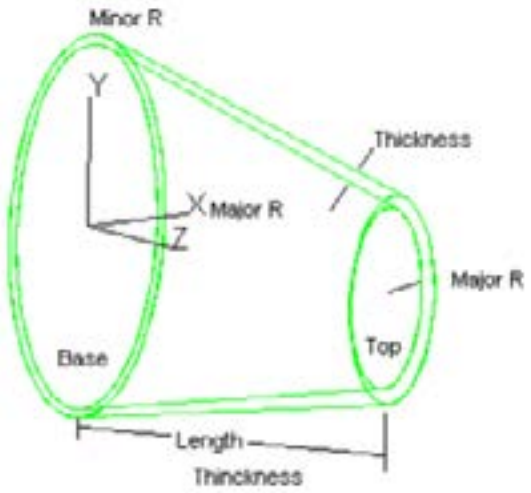


FIGURE 2.22 - Elliptical Tube

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

バッフルベーン

バッフルベーンは通常、図 2.23 に示すように、穴が開けられた平らなまたは円錐形の金属板で作られています。穴の縁は通常、片側が尖った形状（つまり、ノミのような形状）になっており、縁からの散乱を低減します。ただし、製造上の現実から、縁が完全に鋭利になることはありません。ナイフエッジの有限半径は、丸みを帯びた断面またはフィレットでモデル化され、TracePro 内のこの形状はトーラスの断面から生成されます。バッフルベーンの外縁は円筒形であり、円筒形のチューブまたはレンズバレル内に配置されます。図 2.23 は、位置 (0,0,0) および回転 (0,0,0) に配置されたバッフルベーンの断面図を示しています。

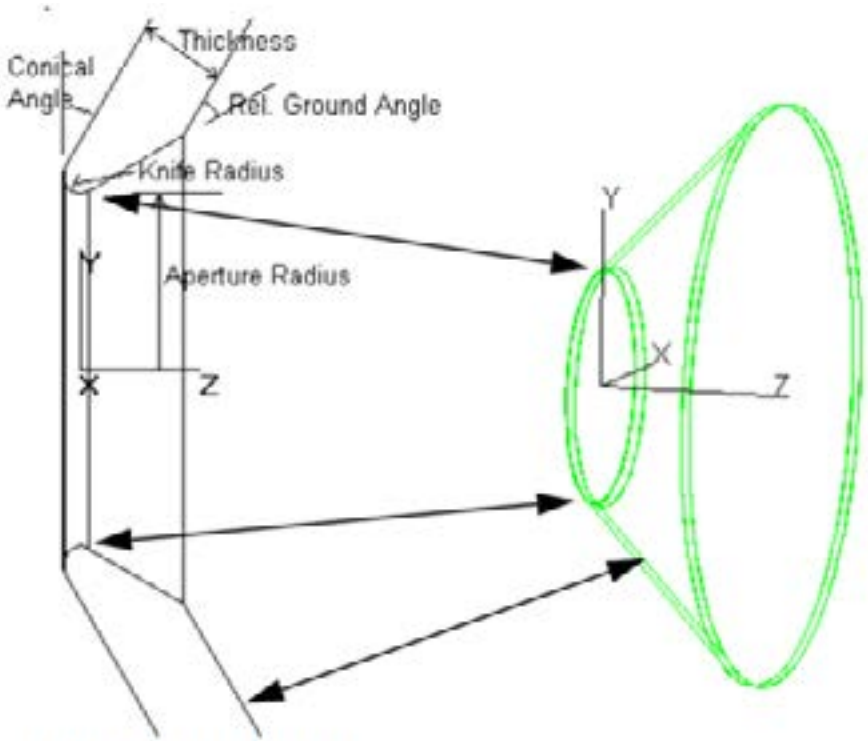


FIGURE 2.23 - Baffle Vane

「ジオメトリを選択 | バッフルベーン」またはバッフルベーンツールバーボタンを押して、バッフルベーンダイアログを開きます。バッフルベーンを指定するために必要なすべての寸法が表示されます。

- 開口半径 (Aperture Radius) - バッフルベーンの穴の半径。
- チューブ半径 (Tube Radius) - ベーンの外半径。これは、ベーンが収まるチューブの半径と等しく設定する必要があります。
- 厚さ (Thickness) - バッフルベーンの製造に使用される板金の厚さ。
- ナイフ半径 (Knife Radius) - ナイフエッジの断面の有限半径。
- 円錐角 (Conical Angle) - バッフルベーンが切り出される円錐の半角。平面バッフルベーンの場合はゼロです。
- 相対研磨角 (Relative Ground Angle) - 板金のサーフェスに対してナイフエッジが研磨される角度。
- 位置 (Position) - バッフルベーン開口の中心の (X, Y, Z) 座標。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 回転 (Rotation) - 回転がない場合、バッフルベーンの対称軸は z 軸に沿っています。

回転角を入力すると、バッフルベーンは最初に x 軸を中心に回転し、次に y 軸を中心に回転し、最後に z 軸を中心に回転します。

バッフルベーンダイアログボックスはモードレスダイアログボックスであるため、他のソリッドオブジェクトの挿入、オブジェクトの移動、ビューの変更、プロパティの適用などの他の操作を実行しながら開いたままにすることができます。

ブール演算

ソリッドモデリングプログラムでソリッドオブジェクトを操作する一般的な方法は、ブール演算を使用することです。ブール演算を使用すると、単純な形状から複雑な形状を作成できます。ブール演算はオブジェクトのプロパティを変更することもできます。したがって、使用には注意と計画が必要です。

TracePro で使用される 3 つのブール演算子 (交差、減算、和) はすべて、算術演算子と同様に、2 つ以上の選択またはオペランドを取ります。最初の選択は材料を表し、2 番目の選択はツールを表します。たとえば、ブロックに「穴を開ける」には、ブロック内に円柱を配置し、ブロック、次に円柱を選択し、次に「編集 | ブール | 減算」を選択します。ブロックから円柱が減算された場所に穴が開きます。TracePro では、Shift (または Ctrl) 選択を使用して、材料の最初のオブジェクトとツールの追加の複数のオブジェクトを選択して、1 つのオブジェクトに対して複数の操作を実行できます。ツールを選択するときは、左マウスボタンを押しながら Shift (または Ctrl) キーを押したままにします。

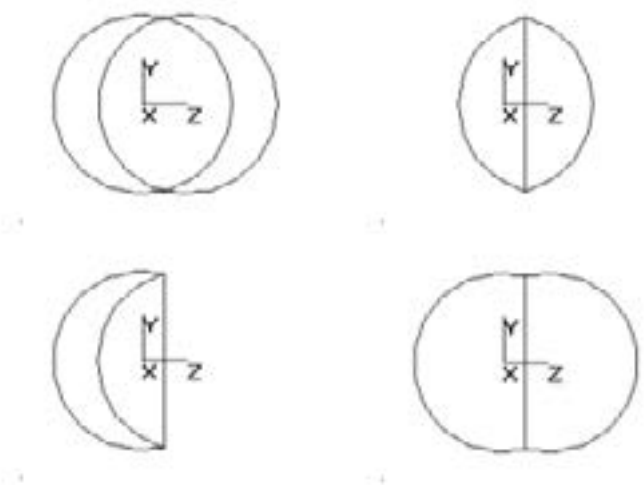


FIGURE 2.24 - Boolean Operations: Two Spheres, Intersection of Two Spheres, Subtraction of Two Spheres, and Union of Two Spheres

プロパティ値（マテリアルプロパティ、サーフェスプロパティ、ソースプロパティ）を割り当てる前に、ブール演算を実行してください。

注意：ブール演算を実行すると、結果のオブジェクトに適用する既存のプロパティの選択が曖昧になることがよくあります。TracePro はブール演算中に一部のプロパティを削除する可能性があります。

交差 (Intersect)

交差演算子は、2 つ以上のオブジェクトを受け取り、それらの固体オブジェクトの重なり合う体積を生成します。オブジェクトが重なり合わない場合、交差の結果はオブジェクトの削除に

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

なります。

例えば、わずかに重なり合う 2 つの球を作成し、交差演算子を使用して 2 つの球の交差部分を作成することで、両凸レンズエレメントを作成できます。両方の球の内側にある空間は両凸レンズの形状をしているため、交差演算の結果はレンズを生成します。

交差演算子を使用するには、2 つ以上のオブジェクトを選択する必要があります。TracePro で Shift キーまたは Ctrl キーを使用して複数選択を行います。例えば、4 つのオブジェクトを交差させるには：

1. 「**編集 | 選択 | オブジェクト**」を選択するか、オブジェクト選択ツールバーボタンをクリックします。
2. 最初のオブジェクトを選択します。モデルウィンドウでオブジェクトをクリックするか、システムツリーを使用できます。
   Shift（または Ctrl）キーを押しながら、2 番目、3 番目、4 番目のオブジェクトを選択します。
3. 「**編集 | ブール演算 | 交差**」を押すか、交差ツールバーボタンをクリックして、交差操作を完了します。

結果のオブジェクトは、4 つのオブジェクトすべての重なり合う体積です。

注意：ブール演算を実行すると、結果のオブジェクトに適用する既存のプロパティの選択があいまいになることがよくあります。TracePro は、ブール演算中に一部のプロパティを削除する場合があります。

減算 (Subtract)

減算演算子は、2 つ以上のオブジェクトを受け取り、各 2 番目以降のオブジェクトの重なり合う体積を最初のオブジェクトから減算します。2 番目以降のオブジェクトが最初のオブジェクトと重なり合わない場合、何も起こりません。いずれかのオブジェクトが最初のオブジェクトを完全に囲む場合、減算の結果はすべてのオブジェクトの削除になります。

注意：ブール減算の結果は、オブジェクトが選択された順序に大きく依存します。

例えば、オブジェクト A からオブジェクト B、C、D、E を減算したい場合、最初にオブジェクト A、B、C、D、E を複数選択し、次に減算演算子を選択して操作を完了します。結果は次のようになります。

結果 = A - B - C - D - E

最初にミラーを作成し、次にミラーの中央を貫通する円柱を作成することで、中央に穴のあるミラーを作成できます。次に、減算演算子を使用して、ミラーから円柱を減算し、穴を作成します。機械加工操作との類似性が役立ちます。最初のオブジェクトを部品、2 番目のオブジェクトを工具と考えてください。減算操作は、工具が部品を切断するようなものです。

減算演算子を使用するには、2 つ以上のオブジェクトを選択する必要があります。TracePro で Shift キーまたは Ctrl キーを使用して複数選択を行います。例えば、「ベース」オブジェクトから 3 つの後続オブジェクトを減算するには：

1. 「**編集 | 選択 | オブジェクト**」を選択するか、オブジェクト選択ツールバーボタンをクリックします。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

2. 最初のオブジェクトを選択します。モデルウィンドウでオブジェクトをクリックするか、システムツリーを使用できます。
3. Shift（または Ctrl）キーを押しながら、2 番目、3 番目、4 番目のオブジェクトを選択します。
4. 「編集 | ブール演算 | 減算」を押すか、減算ツールバーボタンをクリックして、交差操作を完了します。

結果のオブジェクトは、最初のオブジェクトから他の 3 つのオブジェクトが連続して減算されたものです。

注意：ブール演算を実行すると、結果のオブジェクトに適用する既存のプロパティの選択があいまいになることがよくあります。TracePro は、ブール演算中に一部のプロパティを削除する場合があります。

結合 (Unite)

結合演算子は、2 つ以上のオブジェクトを受け取り、オブジェクトの総体積を結合して 1 つのオブジェクトを形成します。オブジェクトが重なり合わない場合でも、それらは結合され、事実上結合されます。あるオブジェクトが別のオブジェクトを完全に囲む場合、結合操作の結果は、小さいオブジェクトを事実上削除することになります。

球と球に突き刺さる細い円柱（棒）を作成することで、ロリポップの形状を作成できます。次に、結合演算子を使用して、球と円柱を結合します。操作後、ロリポップの形状の 1 つのオブジェクトが残ります。

結合演算子を使用して、バッフルベーンをチューブに取り付けることもできます。**「編集 | 選択 | オブジェクト」**を選択するか、オブジェクト選択ツールバーボタンを押し、チューブを選択し、shift+ バッフルベーンを選択し、**「編集 | ブール演算 | 結合」**を選択するか、結合ツールバーボタンを押します。ベーンがチューブと結合されると、**「編集 | 元に戻す」**を使用してすぐに行わない限り、ベーンを分離する方法はないことに注意してください。

結合演算子を使用するには、2 つ以上のオブジェクトを選択する必要があります。TracePro で Shift キーまたは Ctrl キーを使用して複数選択を行います。例えば、4 つのオブジェクトを結合するには：

1. 「編集 | 選択 | オブジェクト」を選択するか、オブジェクト選択ツールバーボタンをクリックします。
2. 最初のオブジェクトを選択します。モデルウィンドウでオブジェクトをクリックするか、システムツリーを使用できます。
3. Shift（または Ctrl）キーを押しながら、2 番目、3 番目、4 番目のオブジェクトを選択します。
4. 「編集 | ブール演算 | 結合」を押すか、結合ツールバーボタンをクリックして、結合操作を完了します。
5. 結果のオブジェクトは、4 つのオブジェクトすべての総体積です。

注意：ブール演算を実行すると、結果のオブジェクトに適用する既存のプロパティの選択があいまいになることがよくあります。TracePro は、ブール演算中に一部のプロパティを削除する場合があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

オブジェクトの移動、回転、拡大縮小

オブジェクトまたはオブジェクトのグループを移動、回転、拡大縮小するには、それぞれ**「編集 | オブジェクト | 移動」**、**「編集 | オブジェクト | 移動」**、**「編集 | オブジェクト | 回転」**、**「編集 | オブジェクト | 拡大縮小」**のメニュー項目を使用します。任意の数のオブジェクトをグループとして操作できます。マウスでオブジェクトを選択し、目的のメニュー項目を選択するだけです。オブジェクトを選択するには、マウスでクリックします。追加のオブジェクトを選択するには、Ctrl キーを押しながらマウスでクリックするか、ラバーバンドモードの選択ツールを使用して、ラバーバンドの長方形でオブジェクトのグループを囲みます。

すべてのダイアログボックスはモードレスであるため、開いたままにして、移動、回転、拡大縮小する新しいオブジェクトを選択したり、他の操作を実行したりできます。ダイアログボックスを開いたまま、パラメータを小さい値に設定し、「適用」を繰り返し押すことで、オブジェクトを小さい増分で回転、移動、または拡大縮小できます。

オブジェクトの配列を作成するために移動と回転を使用する例については、9.38 ページの例「移動 / 回転とコピーの使用」を参照してください。

移動 (Translate)

1 つまたは複数のオブジェクトのグループをインタラクティブに移動するには、マウスでオブジェクトを選択し、「編集 | オブジェクト | 移動」を選択するか、移動ツールバーボタンをクリックします。マウスを使用して、左マウスボタンを押して選択範囲を新しい場所にドラッグします。移動は、現在の深度座標（3D 空間でどのようなものであっても）を維持しながら、画面の平面に沿ってオブジェクトを移動します。移動ツールは、新しいツールが選択されるまでアクティブになります。

移動コピー (Translate Copy)

マウスのドラッグ中に Ctrl キーを押すと、選択範囲をコピーできます。左マウスボタンを離すと、選択したオブジェクトから新しいオブジェクトが作成され、移動した位置に配置されます。

移動 (Move)

1 つまたは複数のオブジェクトのグループを移動するには、マウスでオブジェクトを選択し、「編集 | オブジェクト | 移動」を選択して「選択範囲の移動」ダイアログボックスを開きます。ダイアログボックスには、「相対」、「絶対」、「距離」のいずれかを選択するためのボタンと、X、Y、Z の値が含まれています。「相対」オプションを使用してオブジェクトを自身の中心に対して相対的に移動し、「絶対」オプションを使用してオブジェクトを指定されたグローバル座標に配置できます。たとえば、選択したオブジェクトを z 軸に沿って 2 単位移動するには、相対移動を使用し、次のように値を設定します。

X 中心	0
Y 中心	0
Z 中心	2

次に「適用」を押すと、オブジェクトは z 軸に沿って 2 移動します。
「絶対」オプションを選択すると、ダイアログは更新され、選択範囲内の最初のオブジェクトの現在の位置が表示されます。

また、「距離」オプションを選択し、モデル単位で入力された（X、Y、Z）の方向と距離を指定することで、選択範囲を目的のベクトルに沿って目的の距離だけ移動することもできます。これは、距離がオブジェクトの元の位置に対する相対距離であるという点で、相対移動に似ています。

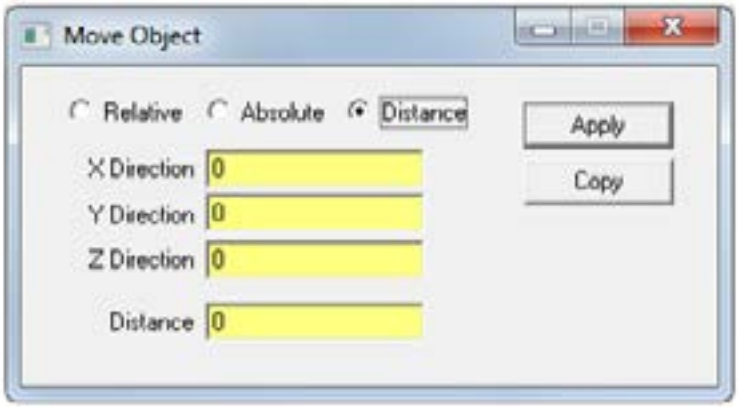


FIGURE 2.25 - Move dialog with the distance option selected

複数のオブジェクトが選択された場合、最初に選択されたオブジェクトが指定された位置に移動し、他のオブジェクトは最初のオブジェクトに対する相対的な位置を維持します。

移動コピー (Move Copy):

移動コピーを使用すると、オブジェクトのコピーを作成し、それを一度の操作で移動できます。これは、コピーされたオブジェクトが元のオブジェクトに重ねて配置される手動でのコピーよりもはるかに便利です。移動コピーは、相対移動コピー (Move Copy Relative) を使用してオブジェクトの配列を作成するための強力なツールでもあります。なぜなら、移動コピーは選択されたオブジェクトのコピーを作成し、元のオブジェクトを指定された座標に移動させるからです。X、Y、Z の値を定義し、オブジェクトを選択したら、[コピー] ボタンを繰り返し押して、ボタンを押すたびにオブジェクトの行を作成できます。行が完成したら、オブジェクトの行全体を選択し、X、Y、Z の値に異なる方向を入力して再度 [コピー] を押すと、配列を作成できます。

注意 : 移動コピーを実行する前にサーフェスおよび材料のプロパティを適用すると、プロパティもコピーされるため、後で手間を省くことができます。

回転 (Rotate):

1 つまたは複数のオブジェクトのグループを回転させるには、マウスでオブジェクトを選択し、[編集] | [オブジェクト] | [回転] を選択して [オブジェクトの回転] ダイアログボックスを開きます。ダイアログボックスには、回転角度、回転軸、および回転点を指定するための X、Y、Z の値が含まれています。テキストボックスに回転角度を指定する数値を入力できます。その横にあるボタンを使用すると、その角度の単位を度またはラジアンで指定できます。回転は右手の法則に従います。回転のデフォルトの単位は度です。ラジアンを使用する場合は、[度] と表示されたボタンを押すと、[ラジアン] に変わります。回転角度はラジアンで適用されます。

回転角度、回転軸、および回転点を入力したら、[適用] を押すと、選択したオブジェクトが回転します。

回転軸と回転中心

回転軸（Axis of Rotation）：回転軸とは、物体が回転運動を行う際の中心となる直線のことです。

例えば、地球の自転における回転軸は、北極と南極を結ぶ線です。機械工学においては、モーターの回転軸や車輪の車軸などが挙げられます。

回転中心（Center of Rotation）：回転中心とは、物体が回転運動を行う際の中心となる点のことです。例えば、円運動における回転中心は、円の中心点です。剛体（変形しない物体）の場合、回転中心は回転軸上に存在します。

回転軸と回転中心の関連性：回転軸は回転運動の「線」であり、回転中心はその「点」です。剛体においては、回転軸上の任意の点が回転中心となり得ます。回転運動を理解するためには、回転軸と回転中心の両方を把握することが重要です。

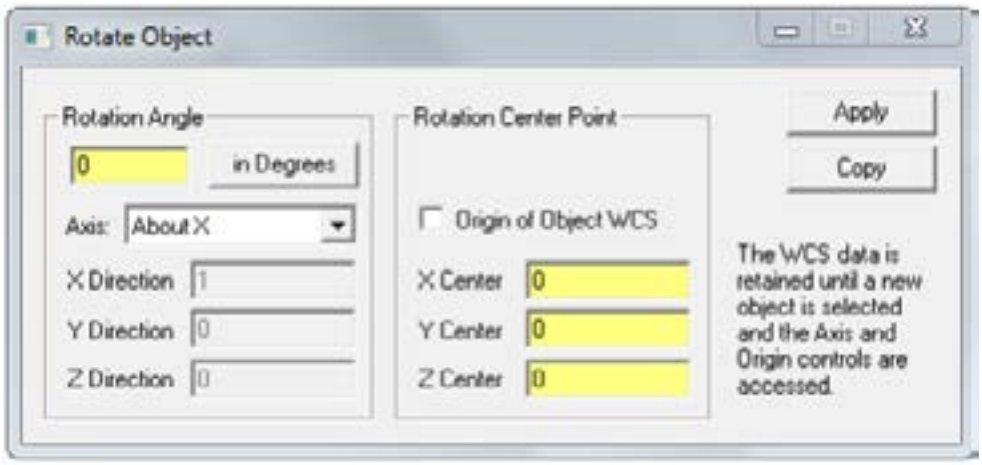


FIGURE 2.26 - Rotate Object Dialog Box

軸コンボボックスには、回転軸を選択するための 7 つの選択肢があります。

About X グローバル座標系の X 軸であり、ベクトル (1.0, 0.0, 0.0) で表されます。
About Y グローバル座標系の Y 軸であり、ベクトル (0.0, 1.0, 0.0) で表されます。
About Z グローバル座標系の Z 軸であり、ベクトル (0.0, 0.0, 1.0) で表されます。
About Object X　オブジェクトのローカル座標系の X 軸であり、ベクトル (1.0, 0.0, 0.0) で表されます。「View|Display Object WCS」を使用します。WCS は World Coordinate System の略で、ワールド座標系を意味します。つまり、オブジェクト自身の座標系を表示するということです。

About Object Y　オブジェクトのローカル座標系の Y 軸であり、ベクトル (0.0, 1.0, 0.0) で表されます。「View|Display Object WCS」を使用します。

About Object Z　オブジェクトのローカル座標系の Z 軸であり、ベクトル (0.0, 0.0, 1.0) で表されます。「View|Display Object WCS」を使用します。

Customize (カスタマイズ)　　グローバル座標系内の任意のベクトルを回転軸として使用できます。

最初の 3 つの選択肢は、グローバル軸を中心とした回転です。次の 3 つの選択肢は、オブジェクトの WCS 軸を中心とした回転です。複数のオブジェクトが選択されている場合は、選択された最初のオブジェクトが使用されます。「カスタマイズ」を選択すると、「X 方向」、「Y 方向」、「Z 方向」を入力して任意の軸を指定できます。軸コンボボックスで選択を行うたびに、選択さ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

れた軸情報が「X 方向」、「Y 方向」、「Z 方向」の編集ボックスに更新されます。

中心点を入力するか、「オブジェクト WCS の原点」をチェックして、最初に選択されたオブジェクトの WCS の原点を中心点として使用できます。「オブジェクト WCS の原点」をチェックすると、最初に選択されたオブジェクトの原点座標が「X 中心」、「Y 中心」、「Z 中心」の編集ボックスに表示されます。グローバル座標を使用する場合は、回転中心点を指定する数値を入力します。これは、ダイアログボックスの「適用」ボタンをクリックした後に選択されたオブジェクトが回転する点になります。

回転コピー

回転コピーを使用すると、オブジェクトのコピーを作成し、1 つの操作で回転させることができます。これは、コピーされたオブジェクトが元のオブジェクトの上に重ねられる手動でのコピーよりもはるかに便利です。回転コピーは、オブジェクトの配列を作成するための強力なツールでもあります。これは、回転コピーが選択されたオブジェクトのコピーを作成し、指定された値で元のオブジェクトを回転させるためです。回転値が定義され、オブジェクトが選択されたら、「コピー」ボタンを繰り返し押して、ボタンを押すたびに 1 つのオブジェクトの湾曲した列を作成できます。

注：回転コピーを行う**前に**サーフェスおよび材料特性を適用すると、プロパティがコピーされ、後で手間が省けます。

スケール（拡大縮小）

1 つまたは複数のオブジェクトのグループを拡大縮小するには、マウスでオブジェクトを選択し、次に**「編集 | オブジェクト | スケール」**を選択して「選択範囲のスケール」ダイアログボックスを開きます。ダイアログボックスには、拡大縮小の大きさを指定するためのスケールファクター（倍率）が含まれています。スケールファクターが 1 より大きい場合は選択範囲が拡大され、1 より小さい場合はオブジェクトが縮小されます。

すべての拡大縮小はオブジェクトの原点を基準に行われるため、オブジェクト内のすべての点（原点を除く）は拡大縮小操作が行われると移動したように見えます。「位置をスケール」ボックスをチェックすることで、選択範囲の位置も拡大縮小できます。これは、互いにぴったりと収まる必要のあるオブジェクトのグループを拡大縮小する場合に便利です。

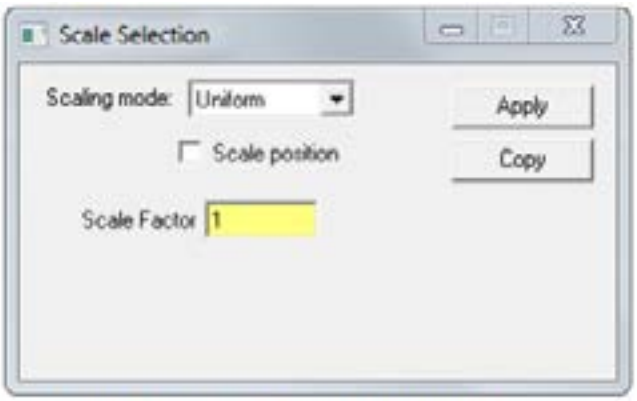


FIGURE 2.27 - Scale Selection Dialog Box

スケーリングは、X、Y、Z 方向のスケール係数が同じ「均一」と、異なるスケール係数を使用する「不均一」のいずれかになります。例えば、一方のスケール係数を他の 2 つと異なる値に設定することで、球を楕円体にスケールできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

不均一スケーリングのオプションには、「ローカル WCS」と「グローバル WCS」の選択が含まれます。スケーリングは 3 方向で実行されますが、グローバル座標系またはオブジェクトの座標系を基準にすることができます。

スケール係数を入力したら、「適用」を押すと、オブジェクトがスケールされます。

図 2.28 は、ローカルオプションとグローバルオプションを使用した不均一スケーリングの結果を示しています。2 つの正方形のブロックが x 軸を中心に 45 度回転して作成され、Y スケール係数 2 でスケールされました。左側のブロックはグローバル WCS でスケールされ、右側のブロックはブロックのローカル WCS でスケールされました。

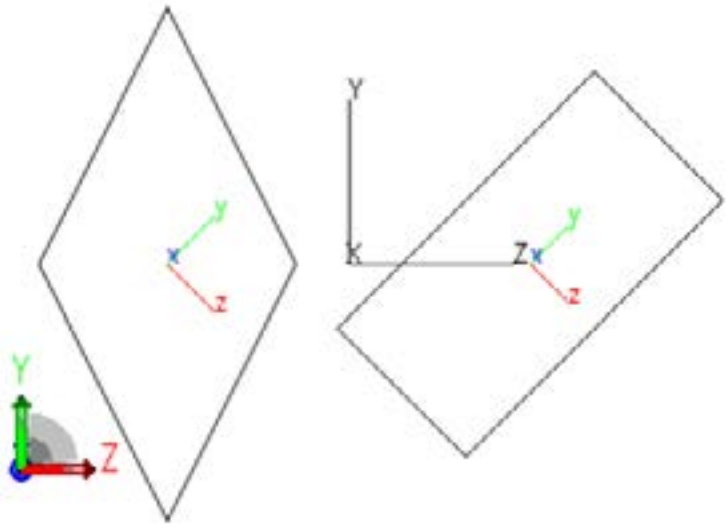


FIGURE 2.28 - Two blocks after non-uniform scaling

スケールコピー

スケールコピーは、オブジェクトのコピーを作成し、同時に拡大縮小を行う機能です。これは、オブジェクトを手動でコピーするよりもはるかに便利です。手動コピーでは、コピーされたオブジェクトが元のオブジェクトの上に重ねられてしまいます。スケールコピーは、同心円状またはテーパー状のオブジェクトの配列を作成する強力なツールでもあります。これは、スケールコピーが選択されたオブジェクトのコピーを作成し、指定されたスケールファクターで原点を基準に元のオブジェクトを拡大縮小するためです。スケールファクターを定義し、オブジェクトを選択したら、コピーボタンを繰り返し押すことで、同心円状のオブジェクトセット（オブジェクトが原点に中心がある場合）またはテーパー状のオブジェクトセット（元のオブジェクトが原点に中心がない場合）を作成できます。

注意：スケールコピーを行う前にサーフェスと材料のプロパティを適用すると、プロパティもコピーされ、後で手間を省くことができます。

オリエンテーション（向き）

編集 | オブジェクト | オリエンテーションを選択すると、選択されたオブジェクトの位置とオイラー角回転が表示されます。データはオブジェクトの変換行列から参照されます。中心位置の列には、現在のモデル単位でのオブジェクトの中心が表示され、オイラー列にはオブジェクトのオイラー回転が表示されます。回転は、TracePro で最初に X 軸を中心に、次に Y 軸を中心に、最後に Z 軸を中心に行われます。オブジェクトのオリエンテーションは、新しい位置や

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

オイラー角を入力し、適用ボタンを押すことで変更できます。

TracePro モデルの保存

TracePro モデルは、**ファイル | 保存またはファイル | 名前を付けて保存**を使用して保存できます。利用可能な TracePro ファイル形式は、.tracepro と .omlb の 2 種類です。

.omlb ファイル形式

.omlb ファイル形式は、モデルの形状データとモデルで使用されるプロパティへのリンクを保存します。プロパティファイル自体は .omlb ファイルとともに保存されません。カスタムプロパティを含む .omlb ファイルを、プロパティデータベースにそれらのプロパティが含まれていない別の TracePro のコピーで使用しようとすると、レイトレースは実行されず、警告メッセージが返されます。プロパティデータは、ツール | データベース | エクスポートを使用して保存し、ツール | データベース | インポートを使用して別のプロパティデータベースに追加できます。

.tracepro ファイル形式

.tracepro ファイル形式は、.omlb のすべてのデータに加えて、デフォルトおよびカスタムプロパティを含むプロパティデータ、シーケンシャルレイトレースのシーケンスデータ、およびレイを保存します。プロパティデータは .tracepro ファイルの一部として保存されるため、これらのファイルを他の TracePro のコピーで使用するために追加の手順は必要ありません。将来、追加機能が追加される予定です。

サーフェスのスイープと回転

編集 | サーフェス メニューを選択すると、TracePro でサーフェスをスイープおよび回転できます。スイープと回転は、サーフェスを拡張してオブジェクトの新しい形状を作成する方法です。たとえば、ソリッドシリンダーを作成した場合、平面の端面の 1 つを選択し、編集 | サーフェス | スイープを使用してシリンダーの軸に沿ってスイープすることにより、それを長くすることができます。端面を別の方向にスイープすることにより、シリンダーの端に角を作ることができます。ドラフト角度でスイープすることにより、シリンダーの端に円錐形の延長部を作成できます。最後に、端面を回転させることにより、シリンダーの端に曲がりを作成できます。

スイープ

サーフェスをスイープするには：

1. マウスでクリックするか、システムツリーで選択して、スイープするサーフェスを選択します。
2. 編集 | サーフェス | スイープを選択して、スイープサーフェス選択ダイアログボックスを開きます。
3. 距離とドラフト角度を入力します。
4. 次に、サーフェス法線に沿ってスイープするか、X、Y、および Z ベクトルを使用してスイープ方向を手動で入力するかを選択する必要があります。
5. 最後に、適用を押してサーフェスをスイープします。

スイープコマンドの例は、9.33 ページの「スイープサーフェスの例」にあります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

回転

編集 | サーフェス | 回転を選択して、回転サーフェス選択ダイアログボックスを使用してサーフェスを回転できます。回転は平面サーフェスに制限されています。

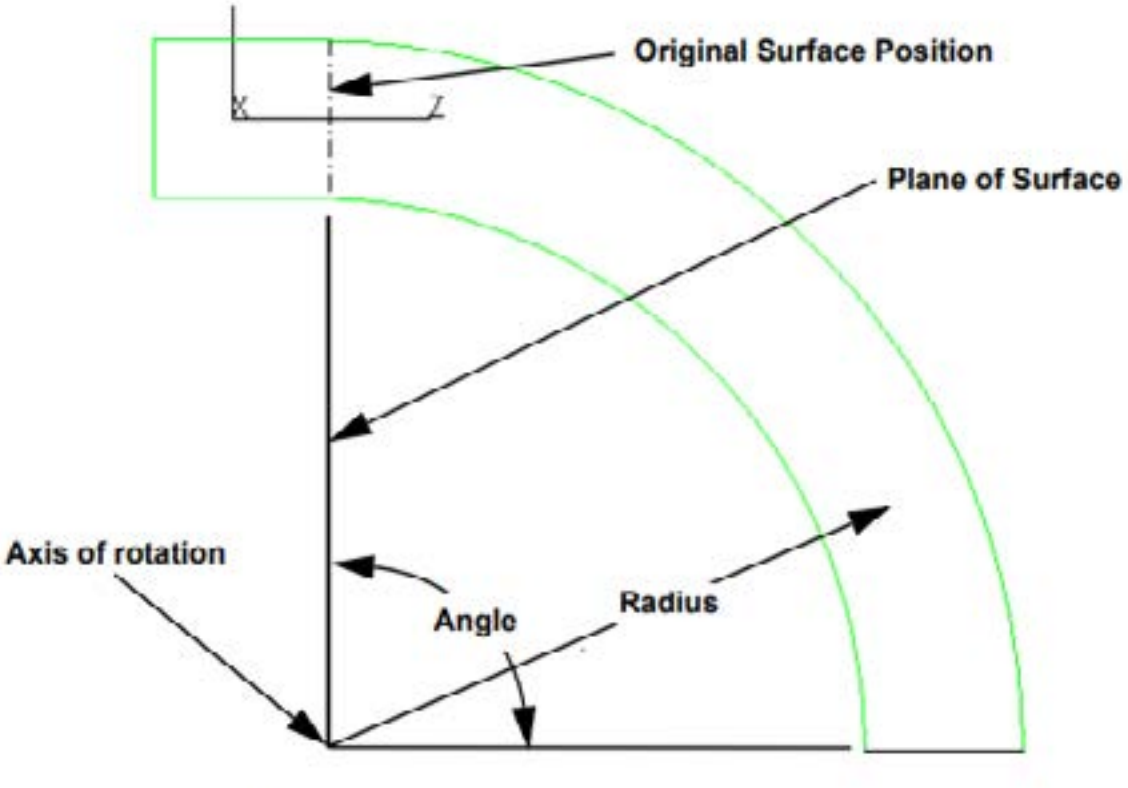


FIGURE 2.29 - Surface Revolve parameters.

1. 平面を選択します。
2. **「編集｜サーフェス｜回転」**を選択して、「回転サーフェス選択」ダイアログボックスを開きます。
3. 角度、ドラフト角度、半径、ステップ数を入力します。
4. 回転軸の方向データを入力します。
5. 回転の中心となる点を選択します。以下のいずれかの方法で行います。a) 点の x、y、z 値を直接入力する。b) モデルウィンドウ内の位置をクリックし、「最後のマウス位置を取得」をクリックする。c)「選択したサーフェスを使用して位置を計算」をクリックする。オプション c を選択すると、サーフェスと同一平面上にあり、サーフェスの中心から「半径」だけ離れた点が選択されます。点の方向は、右手の法則によって決定されます。つまり、回転軸とサーフェスの法線の外積の方向になります。
6. 「適用」をクリックしてサーフェスを回転させます。

TracePro は、面が回転する点を計算し、「グレー表示」で「位置」として表示します。ダイアログボックスの値の意味は以下の通りです。

角度： サーフェスが回転する角度。

ドラフト角度： 回転サーフェスがテーパー状になる角度。

半径： サーフェスの中心から回転軸までの半径。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ステップ数：

=0：連続的な曲げを作成します。

>0：段階的な曲げ（N+1 個のマイター付きスイープのシーケンス）を作成します。「スイープ」コマンドの例は、9.36 ページの「回転サーフェスの例」にあります。

ノートエディタ

ノートエディタは、TracePro モデルに関する情報をノートのように保存するためのテキストウィンドウを提供します。コメントは OML ファイルに保存されます。エディタには、ポイントの強調、リストの作成、テキストの色の変更など、一般的なテキスト書式設定機能が含まれています。すべてのデータは、テキストの書式設定を保持するためにリッチテキスト形式（RTF）で保存されます。

「編集｜ノート」またはノートツールバーのアイコン（ ）を使用して、ノートエディタを開きます。

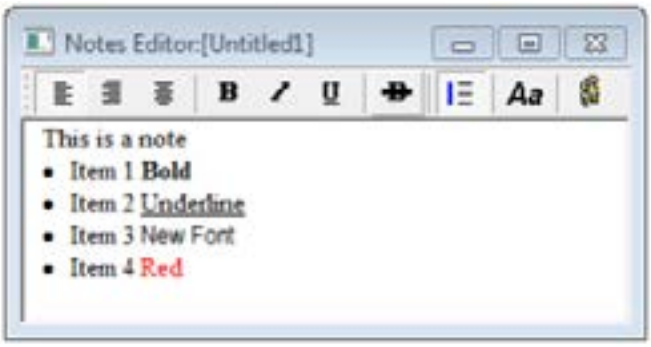


Figure 2 Notes Editor

テキストを左揃えにする

テキストを右揃えにする

テキストを中央揃えにする

テキストを太字にする

テキストを斜体にする

テキストに下線を引く

テキストに打ち消し線を引く

箇条書きにする

テキストフォントを設定する

テキストの色を設定する

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

メモは、ファイル | 保存メニューを押すことで TracePro モデルとともに保存されます。

ファイルのインポートとエクスポート

TracePro は、多くの一般的な CAD 形式のファイルをインポートできます。

CAD ファイルを「インポート」するには、ファイル | 開くを使用して TracePro で開き、「ファイルの種類」を選択してインポートしたいファイルの種類に一致させます。CAD ファイルをエクスポートするには、ファイル | 名前を付けて保存を選択します。

TracePro は、IGES（.igs、.iges）および STEP（.stp、.step）の交換規格を介してファイルをインポートおよびエクスポートでき、一般的なレンズ設計アプリケーションからファイルをインポートできます。

CAD トランスレータ

次の CAD トランスレータは、対応する「ファイルの種類」または「名前を付けて保存の種類」を選択することにより、**ファイル | 開くおよびファイル | 名前を付けて保存ダイアログ**からアクセスできます。このマニュアルを作成した時点で、以下がサポートされています。

表 2.3：トランスレータとファイル拡張子

FIle Type	Read Versions	Write Versions
ACIS	*.sat	*.sat
AutoCAD	*.dwg, *.dxf	
Catia V4	*.exp, *.mod, *.model	
Catia V5	*.catpart, *.catproduct	
IGES	*.igs, *.iges	*.igs, *.iges
Inventor	*.ipt	
NX	*.prt	
Creo/ProE	*.prt, *.prt.*, *.asm, *.asm.*	
SolidEdge	*.par, *.psm, *.asm	
STEP	*.stp, *.step	*.stp, *.step

モデルファイルのプロット形式について：

モデルウィンドウの画像は、ビットマップ（BMP）形式と Windows 拡張メタファイル（EMF）形式で保存できます。**「ファイル｜名前を付けて保存」**ダイアログと、対応する「ファイルの種類」を使用してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

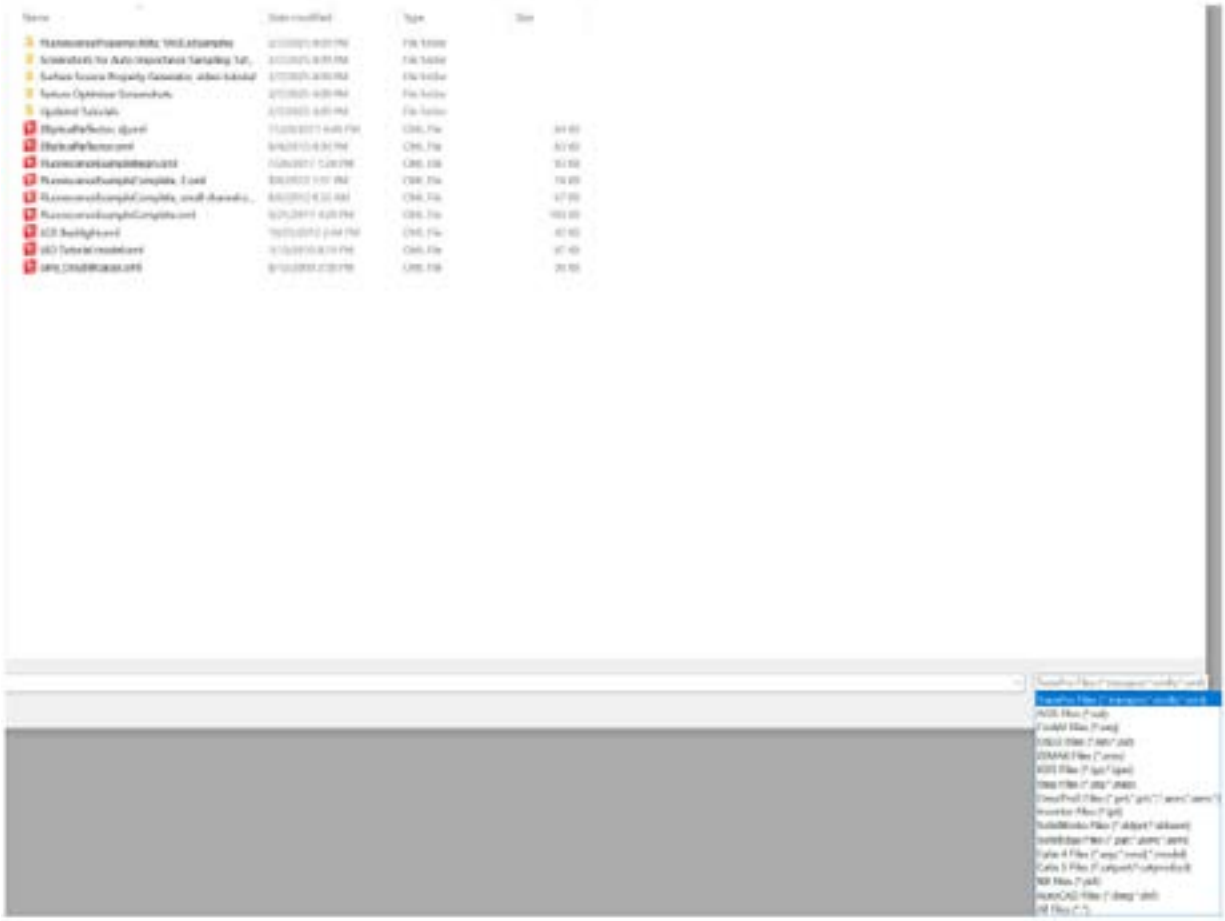


FIGURE 2.30 - File|Open dialog displaying selection of "Files of type"

レンズ設計ファイル

TracePro では、Code V、OSLO、Zemax などの一般的なレンズ設計プログラムからレンズ設計データをインポートできます。ファイル | 開くを選択して、他のファイルと同様にレンズ設計データファイルを開くことができます。TracePro は、曲率、厚さ、材料、有効径のデータを使用してレンズ設計のソリッドモデルを自動的に作成し、OML ファイルとして保存します。変換中、TracePro はレンズ設計材料を同等の TracePro 材料に変換します。レンズ設計ファイルに有効径のデータがない場合、TracePro は非常に大きな有効径を作成する可能性があります。TracePro でファイルを開く前に、レンズ設計プログラムで有効径を定義する方が簡単でしょう。

ファイルがインポートされると、モデルが TracePro で作成された場合と同様に、通常の方法でサーフェス特性を適用できます。TracePro はレンズ設計ファイル内の材料名を読み取り、適切な材料特性を適用します。一部の材料特性が正しく適用されない場合は、通常の方法で手動で適用できます。システムツリーを使用してオブジェクトを展開し、割り当てられた材料を確認することで、これをすばやく確認できます。オブジェクトに材料名はあってもカタログ名がない場合、レイトレースを実行しても見つかりません。プロパティの適用ダイアログのドロップダウンリストを使用して材料を検索し、正しいプロパティを適用する必要があります。

ファイルは、表 2.4 に示すように、ファイルの拡張子によってレンズ設計プログラムで識別されます。これらは、各プログラムでサポートされている唯一のファイルタイプです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

表 2.4 ファイル拡張子

拡張子	レンズデザインプログラム
SEQ	Code V Sequence file
LEN	OSLO file
OSL	OSLO file
ZMX	ZEMAX file

ファイル | 開く ダイアログボックスでは、ダイアログボックス下部の「ファイルの種類：」ドロップダウンリストに、ファイル形式ごとの個別の選択肢があります。

TracePro は、レンズ設計ファイルにおいて以下の機能をサポートしています（すべてのレンズ設計プログラムがすべての機能を提供しているわけではありませんのでご注意ください）。

- 半径または曲率入力
- 円錐定数（回転円錐面）
- 回転非球面（最大 r30）
- グローバル座標入力
- ガラス名とメーカーによる材料の指定
- サーフェスの傾き
- 偏心サーフェス
- 偏心と復帰（Code V）
- 光軸の曲げ（Code V と OSLO）
- 逆傾斜 / 偏心（Code V）
- 円形、楕円形、および長方形のクリアアパーチャ
- 偏心クリアアパーチャ
- クリアアパーチャの回転
- 円形、楕円形、および長方形の遮蔽
- 偏心遮蔽
- 遮蔽の回転
- サーフェスピックアップ（半径、厚さ、材料、アパーチャ、遮蔽、非球面係数）
- 「トレースなし」フラグが設定された薄板としてのダミーサーフェス
- サーフェスラベルと注釈

注：プリズムを含むファイルは、TracePro へのインポートが困難です。ほとんどのファイルは TracePro に正しくインポートされます。プリズムは顕著な例外です。単純なウェッジは正しくインポートされる場合がありますが、複雑なプリズムは多くの場合、重なり合うオブジェクトとして表示されます。TracePro 内で手動でプリズムを構築する必要があります。

ファイルの結合

レンズ設計データを CAD プログラムのデータと結合する際、座標系が一致しないことがよくあります。**「ファイル | 結合」**ダイアログボックスを使用すると、一方のファイルを他方の座標系

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

に変換することで、座標系の違いを解決できます。

機械系 CAD プログラムでは、x 軸を右向き、y 軸または z 軸を上向きにしてモデルを構築するのが一般的です。TracePro を含むほとんどの光学プログラムでは、z 軸が右向き、y 軸が上向きで、x 軸は画面の奥を向いています。

「結合」を使用するには、2 つのモデルのうち 1 つが TracePro ウィンドウで開いている必要があります。次に、「マージ」を使用して 2 番目のファイルを開いているファイルと結合できます。

いずれかのモデルを開いた状態で、**「ファイル | マージ」**を選択して「マージ」ダイアログを開きます。2 番目のモデルの最初のモデルに対する回転角度と平行移動を手動で入力するか、デフォルトの回転角度を使用できます。「デフォルトのモデル回転」ボタンのいずれかを押すと、TracePro は上記のア規則に従って「新しいモデルの回転角度」エントリに入力します。開いているモデルが CAD 座標系にあり、光学設計をマージする場合は「CAD へ」ボタンを使用します。レンズ設計を開いていて、CAD ソリッドモデルをマージする場合は「光学へ」ボタンを使用します。オプションで、「新しいモデルの平行移動」フィールドに 2 つのモデル間の座標シフトを入力します。最後に、「マージ」を押すと「ファイルを開く」ダイアログが表示されます。マージするファイルを選択し、「OK」を押します。

回転は右手系によるオイラー回転です。これを記憶するには、「y-z-x」というニーモニックを使用できます。すべての回転は、軸が常に x-y-z-x-y-z の順序であるこの規則を使用して記憶できます。したがって、x 回転は y から z へ、z 回転は x から y へとなります。

ファイルの挿入

「ジオメトリ | 部品の挿入」メニュー項目を使用して、あるモデルを別のモデルに挿入できます。標準部品のファイルをディスクに保存し、既存のモデルに挿入できます。「ジオメトリ | 部品の挿入」メニュー項目を選択すると、「ファイルを開く」ダイアログが開きますが、ファイル内のモデルは新しいウィンドウに入るのではなく、現在開いているモデルに挿入されます。

RayViz からの更新

「ジオメトリ |RayViz からの更新」メニュー選択により、RayViz を介して SOLIDWORKS から TracePro モデルを更新できます。SOLIDWORKS を RayViz アドインとともに使用している場合は、RayViz を使用して SOLIDWORKS から更新されたモデルをエクスポートするだけです。次に、TracePro で「ジオメトリ |RayViz からの更新」を選択して、モデルを現在の TracePro モデルに挿入します。TracePro は、どのオブジェクトが SOLIDWORKS から来たかを記憶し、RayViz エクスポートモデルの新しいオブジェクトでそれらを置き換えます。TracePro で変更されたオブジェクトは影響を受けません。

モデルビューの変更

TracePro では、モデルの表示を完全に自由に変更できます。各モデルに対して、必要なだけ多くのウィンドウを同時に開くことができます。各ウィンドウの表示は、[表示] メニューのメニュー項目を使用して変更します。これらの多くは、[表示] ツールバーでも利用できます。

TracePro では、シルエット、ワイヤーフレーム、レンダリングの 4 種類の表示が可能です。シルエットはデフォルトの表示で、TracePro または新しいモデルを開いたときにアクティブになります。ワイヤーフレーム表示では、サーフェスの上にワイヤーグリッドを配置して、その形状の 3D 印象を与えます。レンダリング表示では、外部の仮想ソースの入射角に基づいて陰影が付けられ、オブジェクトが立体的に表示されます。レンダリング表示では、ソースはビューアの視点位置にあると想定されます。TracePro のすべての機能は、どのタイプの表示でも実行できます。たとえば、シルエット、レンダリング、またはワイヤーフレームでオブジェクトまたはブール演算を選択できます。

図 2.31 は、レンダーモードで表示されたモデルの例を示しています。

FIGURE 2.31 - Render view of the Elliptical Reflector

「表示｜表示設定」ダイアログボックスは、TracePro における表示設定の基本的な考え方を示しています。このダイアログボックスでは、以下の項目を設定できます。

- 視点位置（Eye position）
- 目標位置（Target Position）
- 上方向ベクトル（Up Vector）
- 透視図表示のオン / オフ（Perspective View On/Off）

視点位置、目標位置、上方向ベクトルは、このダイアログボックスに数値を入力するか、後述のインタラクティブな操作で設定できます。

視点位置は、ジオメトリを見る 3D 空間内の点です。目標位置は、視点が向いている 3D 空間内の点です。目標位置を設定すると、TracePro は現在のモデルウィンドウを、目標位置がウィンドウの中心になるように設定します。

TracePro では、表示がクリップされ、モデルの一部が消えたり切り取られたりすることがあります。これは、視点がモデル内部にある場合に発生します。視点の背後にあるモデルの部分は表示されません。「表示｜表示設定」を使用して視点の座標をモデルの外側に変更するか、「表示｜全体表示」を選択することで、この問題を改善できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

上方向ベクトルは、表示の向きを決定する 3D 空間内のベクトルです。上方向ベクトルを設定すると、TracePro は上方向ベクトルが画面の平面上に上向きに位置するように表示を回転させます。

透視図チェックボックスを使用すると、モデルの視覚化を助けるために透視図表示をオンまたはオフにできます。

表示を制御するために必要な数値を入力したら、「適用」をクリックして結果の表示を確認します。ただし、インタラクティブな表示コントロールを使用する方が便利であることが多いでしょう。

ズーム操作

TracePro では、ウィンドウの表示を拡大・縮小するための様々な方法が用意されています。

ズームイン (Zoom In) — 設定された倍率で拡大します。倍率は「表示 (View)| オプション (Options)| 表示 (View)」で設定します。

ズームアウト (Zoom Out) — 設定された倍率で縮小します。倍率は「表示 (View)| オプション (Options)| 表示 (View)」で設定します。

ズーム比率 (Zoom Ratio) (アイコンなし) — ズーム倍率を入力するためのダイアログボックスを開きます。

カーソルズーム (Zoom Cursor) — TracePro モデルウィンドウ内で左マウスボタンを押しながらマウスを上に移動すると拡大、または —左マウスボタンを押しながらマウスを下に移動すると縮小します。または、—ホイールマウスを使用している場合は、ホイールを回転させて拡大または縮小できます。または、—Shift キーを押しながらマウスの中央ボタンをクリックします。

ウィンドウズーム (Zoom Window) — カーソルでドラッグして作成した長方形に合わせてズームします。これは Ctrl キーを押しながらマウスの中央ボタンをクリックしても実行できます。

全体ズーム (Zoom All) — モデル内のすべてのオブジェクトがウィンドウに表示されるように、周囲に 10% の余白を設けて拡大または縮小します。

選択ズーム (Zoom Selection) — 現在選択されているすべてのオブジェクトがウィンドウに表示されるように拡大または縮小します。

ズームインとズームアウトのプリセット倍率は、「表示 (View)| オプション (Options)| 表示 (View)」ダイアログボックスの「ズーム (Zoom)」タブで変更できます。工場出荷時のプリセット値はそれぞれ 2.0 と 0.5 です。ホイールマウスのズームには、デフォルトで 1.1 の別の値が使用されます。

「単回ズームウィンドウ (Single-use zoom window)」を選択すると、ウィンドウズームコマンドの完了後にズームウィンドウモードが終了し、ツールバーボタンが非選択状態になります。デフォルトモード（「単回ズームウィンドウ (Single-use zoom window)」ボックスがオフになっている場合）では、ズームウィンドウツールバーボタンをクリックして切り替えるか、別のズー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ムまたは選択ツールを選択するまで、ズームウィンドウが有効なままになります。

ズームイン、ズームアウト、ウィンドウズーム、カーソルズーム、選択ズーム、全体ズームの各コマンドは、「表示 (View)」ツールバーで使用できます。

パン操作

「表示 (View)| パン (Pan)」メニュー項目（表示ツールバーからも利用可能）を使用すると、ビューを左右および上下に移動できます。まず、「表示 (View)| パン (Pan)」メニュー項目を選択するか、パンツールバーボタンを押してパンモードに入ります。次に、マウスボタンを押しながら、ビュー内でマウスカーソルをドラッグします。あたかもウィンドウ内のオブジェクトをドラッグしているように見えますが、実際にはビューをドラッグしています。パンツールは、Ctrl キーを押しながら右マウスボタンを押すことでも有効化できます。

パン操作は、視点とターゲット位置を同時に移動し、ターゲット位置を 2 点間の線に垂直な平面内に維持することと同等です。

ビューの回転

ビューを回転させるには、さまざまな方法があります。そのうちの 2 つは、メニュー項目からアクセスできます。

- 「表示 (View)| プロファイル (Profile)」
- 「表示 (View)| 回転 (Rotate)」

「表示 (View)| プロファイル (Profile)」では、5 つのプリセット表示角度（3 つの直交ビューと 2 つの斜視ビュー）から選択できます。これらは、「表示 (View)| プロファイル (Profile)」メニューだけでなく、ツールバーからも選択できます。メニューでは、直交ビューは各ビューに表示される軸に応じて XY、XZ、YZ としてリストされます。斜視またはアイソメトリックビューは、ツールバーのボタンで示されます。最初の Iso 1 は、y 軸が上向き、z 軸が右方向および手前方向、x 軸が右方向および奥方向を指します。2 番目の Iso 2 は、y 軸が上向き、z 軸が右方向および奥方向、x 軸が左方向および奥方向を指します。回転ツールは、Shift キーを押しながら右マウスボタンを押すことでも有効化できます。

キーボードの矢印キーを使用してビューを回転させることもできます。

名前付きビュー

名前付きビューには、「表示 (View)| 名前付きビュー (Named Views)」を選択してアクセスします。以下に示すように、名前付きビューダイアログが表示されます。5 つのデフォルトのビュー方向がリストされており、表示メニュー、表示ツールバー、または名前付きビューダイアログから有効化できます。これらのビューは、モデルウィンドウのズーム倍率を変更しません。新しいデフォルトビューである「法線方向 (Normal To)」は、選択された平面のサーフェス法線にビュー方向を変更します。選択が無効な場合は、メッセージが表示されます。

ダイアログボックスにビュー名を入力して「ビューを保存 (Save View)」を押すと、任意のビューを保存できます。回転やパンを含むズームおよびビューデータが保存され、後で呼び出すことができます。新しいビューは、ダイアログのリストに追加され、モデルの OML ファイルに保存されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 2.32 - Named Views dialog

直前の表示

表示履歴には、過去 10 件の表示が保存されます。「表示｜前の表示」を選択するか、前の表示ツールを選択すると、表示が切り替わります。

全マウスモード

このコマンドを使用すると、マウスを使用してモデルウィンドウ内のモデルの表示を移動できます。全マウスモードがアクティブな場合、左マウスボタンを使用して表示を回転させ、右マウスボタンを使用して表示をズーム（ズームカーソルと同様）、両方のマウスボタンを使用して表示をパンします。

オブジェクトの外観の制御

オブジェクトの表示

「表示｜オブジェクトの表示」オプションを使用して、各オブジェクトの表示を個別に制御できます。すべてのオブジェクトのデフォルトは、すべてのモデルウィンドウに表示（つまり、可視）されることです。選択したオブジェクトが表示されると、編集メニューの「オブジェクトの表示」コマンドの横にチェックマークが表示されます。オブジェクトを非表示にするには、まずモデルウィンドウまたはシステムツリーでオブジェクトを選択し、「表示｜オブジェクトの表示」を選択するか、モデルビューまたはシステムツリーで右マウスボタンをクリックして表示されるポップアップメニューから「オブジェクトの表示」を選択します。オブジェクトは表示されなくなり、「オブジェクトの表示」の横のチェックマークが消えます。「オブジェクトの表示」コントロールは、通常のシルエット表示、レンダリング表示、およびワイヤーフレーム表示に影響します。

非表示になっているオブジェクトを表示するには、システムツリーを使用してオブジェクトを選択する必要があります。オブジェクトが非表示になっているため、モデルウィンドウを使用することはできません。オブジェクトを選択したら、「表示｜オブジェクトの表示」を選択してオブジェクトを再表示します。すべてのオブジェクトの表示をオンにするには、後述の「すべて表示」コマンドを使用します。

すべて表示

「表示｜すべて表示」を使用して、すべてのオブジェクトを可視にすることができます。この機能は、モデルビューのシルエットを再計算し、通常表示またはレンダリング表示でオブジェク

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

トを再表示します。

オブジェクト WCS の表示

すべての TracePro オブジェクトは、作業（ローカル）座標系（WCS）を使用し、これは X、Y、Z 軸で表示されるグローバル原点から変換されます。オブジェクトを移動する場合、絶対位置はグローバル原点に対する相対位置で定義されます。WCS 表示は、オブジェクトを選択し、**「表示｜オブジェクト WCS」**メニューを選択することで有効になります。

図 2.33 は、それぞれの WCS が表示されたリフレクタ、レンズ、およびプリミティブ球を示しています。リフレクタの WCS 原点は反射面の頂点にあり、レンズの WCS 原点は最初の面の頂点にあり、球の WCS 原点は球の中心にあります。

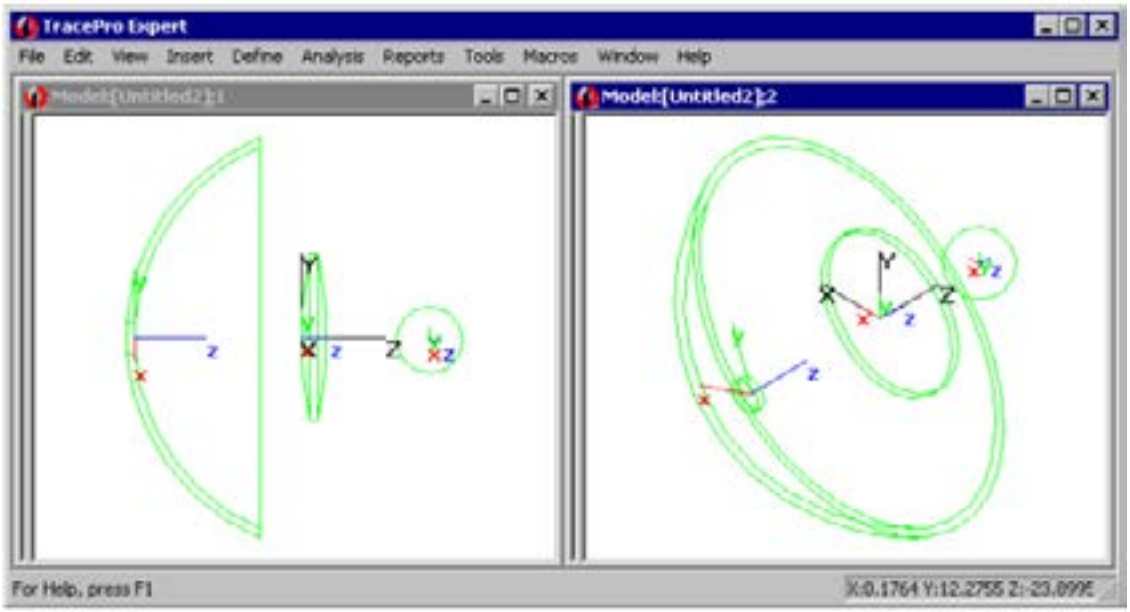


FIGURE 2.33 - WCS of three TracePro objects

RepTile 表示 Expert

RepTile 表示オプションは、モデルウィンドウに仮想の RepTile ジオメトリを描画します。対応する RepTile ジオメトリを表示するには、[表示 |RepTile 表示] を選択します。[プロパティ適用] ダイアログで定義された RepTile の境界は、個々のタイル境界とジオメトリと共に表示されます。9.1 ページの「RepTile の例」を参照してください。テクスチャ付き RepTile もこのオプションで表示されます。[RepTile 境界タイプ:サーフェス境界を使用] が選択されている場合、RepTile 境界は表示されません。

図 2.34 は、プリズムタイプの RepTile サーフェスを持つブロックを示しています。RepTile プロパティは、完全吸収体サーフェスプロパティで適用されました。光線の扇形が、サーフェスの中央部分にある RepTile フィーチャに吸収され、RepTile 境界の外側のブロックから出ている様子が示されています。

注： RepTile が多数のタイルまたはフィーチャー（特徴）を持っている場合、表示に時間がかかることがあります。Esc キーを使用すると、RepTile フィーチャーの表示を中断できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

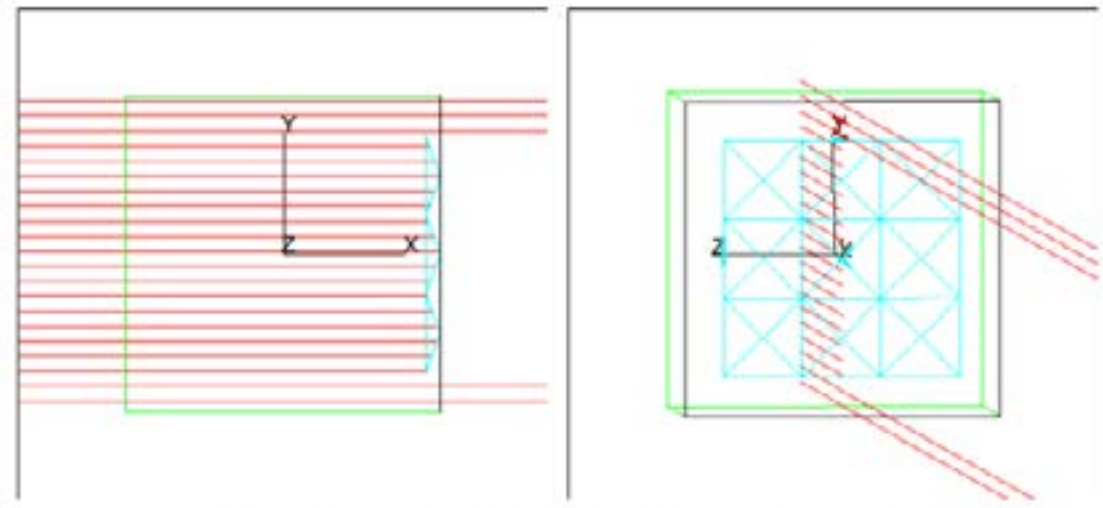


FIGURE 2.34 • Block with Prism RepTile surface displayed

境界のみ

「表示」＞「RepTile| 境界のみ」オプションは、フィーチャー情報を含まずに RepTile 領域の境界線のみを表示したい場合に利用できます。

「RepTile 境界タイプ：サーフェス境界を使用」が選択されている場合、このコマンドは効果がありません。

ボクセルを表示

モデルに対して監査またはレイトレースが実行されると、「表示」＞「ボクセルを表示」を選択することでボクセルを表示できます。このメニュー項目を再度選択してチェックマークを外すと、ボクセル表示をオフにできます。

ボクセル化とは、レイトレース速度を向上させるために、モデル内のジオメトリを特定のゾーンに「割り当てる」方法です。ボクセル数を増やすと、監査速度とメモリ使用量が増加する代わりに、レイトレース速度が向上します。ボクセル設定は、「解析」＞「レイトレースオプション」＞「詳細」で選択します。

重要度を表示 Standard Expert

TracePro には、モデルウィンドウにサーフェスおよびソースの重要度ターゲットのサイズ、向き、位置を表示するオプションがあります。表示は、「表示」＞「重要度ターゲット」メニュー項目から有効にします。7.2 ページの「重要度サンプリング」を参照してください。

図 2.35 は、ターゲットの原点に IT（重要度ターゲット）が表示された単一の重要度ターゲットを持つレンズを示しています。ある光線群はレンズの焦点に収束します。別の光線群は重要度ターゲットに収束し、重要度サンプリングされた光線です。他の光線はランダムな散乱光線です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

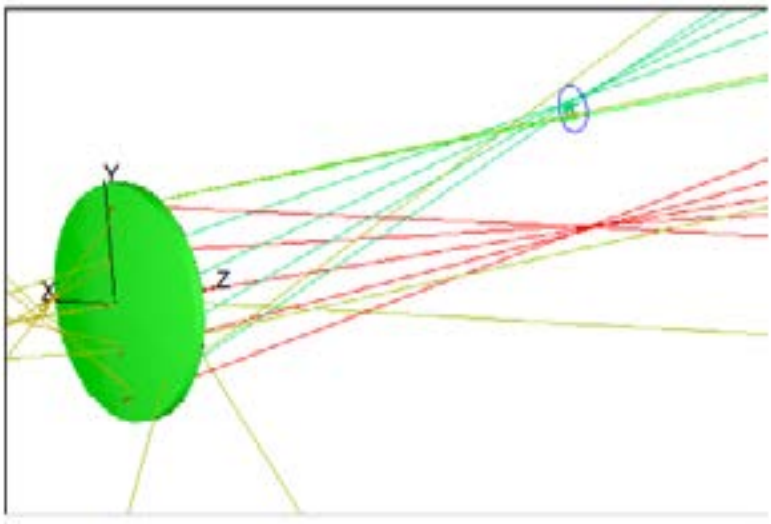


FIGURE 2.35 - Lens showing rays and importance target.

ビューオプション

「表示」＞「オプション」メニューを選択すると、TracePro の動作をカスタマイズしたり、デフォルト設定を変更したりできます。このメニューを選択すると、設定を変更するためのダイアログボックスが開きます。ダイアログで使用されるデフォルト値を保存する方法については、1.11 ページの「ユーザーデフォルト」も参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

一般

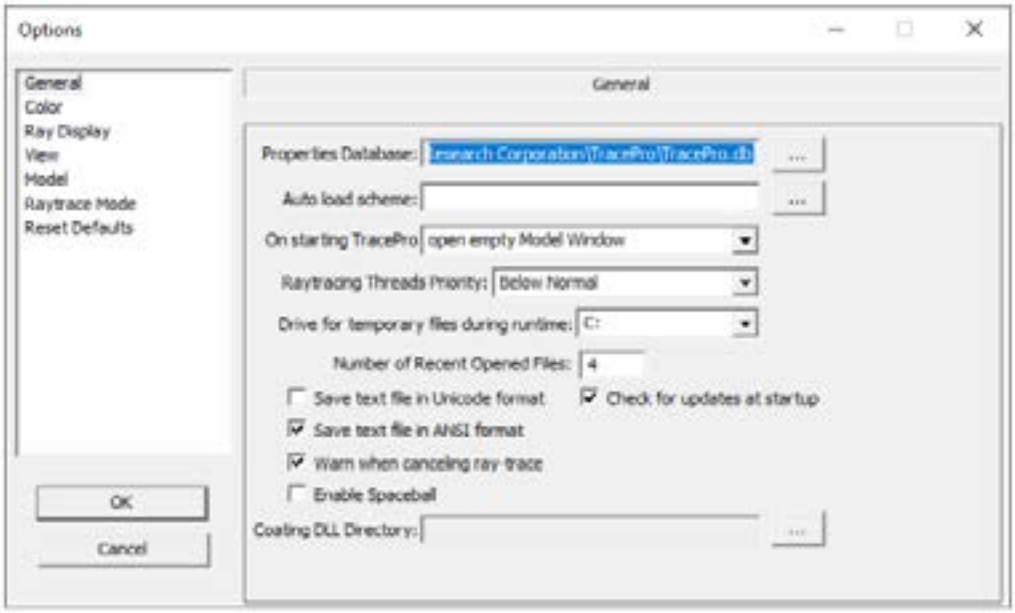


FIGURE 2.36 - View|Options, General tab.

プロパティデータベース

この項目では、プロパティデータベースファイルの場所を設定します。新しいパスとファイル名を直接入力するか、「参照」機能を使用してデータベースファイルを指定できます。プロパティは、初期設定では「TracePro.db」という名前でインストールされるファイルに保存されます。デフォルトのデータベースをコピーして、異なるプロパティデータセットを持つ別のデータファイルを作成できます。

自動ロードスキーム

自動ロードマクロを使用すると、「マクロ | 実行」を呼び出すことなく、オプションと機能を設定するファイルをロードできます。8.7 ページの「マクロプログラム」を参照してください。

TracePro 起動時のモデルウィンドウ

TracePro の起動時にモデルウィンドウを開く設定は、次の 4 つのオプションから選択できます。

- 空のモデルウィンドウを開く
- 最後に編集したモデルを開く
- 最後に編集したモデルを開くかどうかを尋ねる
- モデルウィンドウを開かない

光線追跡スレッドの優先度

TracePro プロセスの優先度を選択できます。TracePro の実行中に他のタスクを実行する必要がある場合は、デフォルトの「通常より低い」または「低い」を使用してください。

実行時のテンポラリファイル用ドライブ

TracePro は、シミュレーションモードのレイトレース中にテンポラリファイルを作成して使用

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

します。これらのファイルは C: ドライブに保存され、レイトレースの完了後に削除されます。大規模なレイトレースの場合、ファイルが非常に大きくなることがあります。C: ドライブに十分な空きディスク容量がない場合は、より多くの空きディスク容量を持つドライブを選択してください。

最近開いたファイルの数

この選択では、「ファイル | 開く」ダイアログボックスの下部に表示される最近開いたファイルの数を設定します。

テキストファイルの保存形式

テキストファイルは、Unicode または ANSI の 2 つの形式のいずれかで保存できます。Unicode 形式は、ローマ字アルファベットに含まれない文字（アフリカ、アジア、中東の言語など）を導入するワイド文字セットにアクセスする必要があるユーザー向けです。標準の ASCII 文字セットのみを使用する場合は、ANSI 形式を推奨します。また、Unicode 形式は ANSI 形式の約 2 倍のファイルサイズを必要とします。

起動時に更新プログラムを確認する

この選択がオンになっている場合、TracePro は Lambda Research の Web サイトで TracePro の新しいリリースを照会します。サポートサブスクリプションでこの新しいリリースを利用できる場合、TracePro は自動的にリリースをダウンロードしてインストールするように促します。

Spaceball（スペースボール）を有効にする

Spaceball 入力デバイスのサポートが利用可能です。適切なデバイスドライバなしで Spaceball モードを有効にしないでください。

レイトレースのキャンセル時に警告する

この選択がオンになっている場合、レイトレースをキャンセルするたびに、レイトレースを後で再開できないことを警告します。

コーティング DLL ディレクトリ

この項目では、独自のコーティング DLL を記述するときに使用できるディレクトリを設定します。新しいパスとファイル名を直接入力するか、「参照」機能を使用してディレクトリを指定できます。この項目を空白のままにすると、TracePro は Windows のデフォルトディレクトリをコーティング DLL ディレクトリとして使用します。

色

背景色

これらの項目では、モデルウィンドウ、システムツリー、およびダイアログ評価ツールの背景色を選択します。色をクリックしてカラーパレットを表示し、選択を変更します。1.15 ページの「式評価ツール」を参照してください。

モデルウィンドウには、ウィンドウの上部から下部への色のグラデーションを定義する 2 つの色を設定できます。両方の色が同じ場合、色のグラデーションは使用されません。

オブジェクト / サーフェスの色

これらの項目は、TracePro でオブジェクトが作成されたとき、およびオブジェクトまたはサーフェスが選択後に強調表示されたときに使用される色を選択します。色をクリックすると、カラーパレットが表示され、選択を変更できます。

光線表示

メニューのデフォルト設定：解析 | 光線表示

この選択は、作成される新しいモデルの解析 | 光線表示メニュー項目のデフォルト状態を設定します。多数のレイを使用したレイトレースの後、これには数分かかり、メモリを過剰に消費する可能性があるため、この機能によりレイの自動描画を無効にできます。現在のモデルでレイを表示するかどうかの制御は、解析 | 光線表示メニュー項目から直接制御されます。

光線方向矢印の表示

このチェックボックスは、各レイセグメントに伝播方向を示す小さな矢印を付けるかどうかを制御します。このオプションは、すべてのアクティブなモデルウィンドウにグローバルです。レイ方向矢印の表示をチェックすると、以下に示すようにオプションが有効になります。

交差しないレイの表示

このオプションは、TracePro のデフォルトケースであり、古いリリースのモードです。このオプションをオフにすると、TracePro はサーフェス交差を持たないレイを無視します。サーフェスソースから離れるレイ、レイグリッドまたはファイルソースから開始するレイは、どのサーフェスにも当たらずにモデル空間を離れる場合、交差しないと見なされます。

開始光線描画制限の有効化

このオプションがチェックされている場合、描画する開始レイの数を入力でき、TracePro は入力された数よりも小さい開始レイ番号を持つレイのセグメントのみを描画します。レイソートを使用する場合、ソートされたセット内の入力された数よりも小さい開始レイ番号を持つレイのみが描画されます。開始レイ番号は、入射レイおよびレイ履歴テーブルに表示されます。

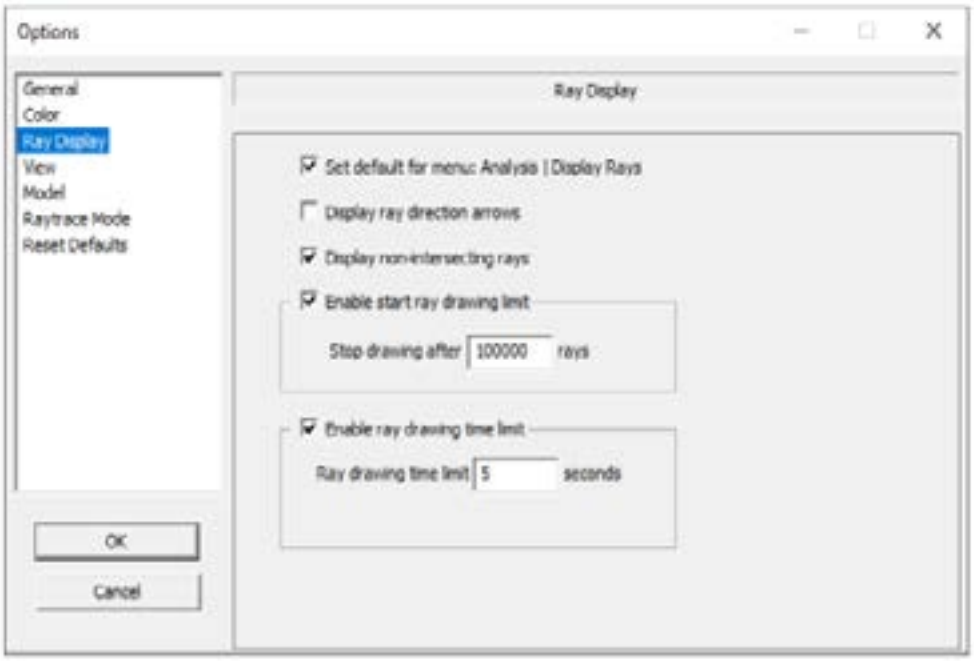


FIGURE 2.37 - Options dialog window with the Ray Display pane chosen.

光線描画時間制限の有効化

この選択を有効にすると、モデルウィンドウ内の光線は指定された秒数のみ描画されます。**ビュー | オプション**ダイアログで光線描画時間制限が変更された後、モデルウィンドウ内の光線は自動的に再描画されないことに注意してください。TracePro が時間のかかる可能性のある手順を開始するのを防ぐために、**解析 | 光線ソート**を更新するか、モデルウィンドウのサイズを変更して、モデルウィンドウ内の光線の再描画をトリガーする必要があります。

ビュー

システムツリーの配置

この項目は、システムツリーの分割ウィンドウの位置を設定します。各モデルウィンドウの右側または左側に配置できます。

モデルウィンドウの xx% でシステムを開く

システムツリーを開くオプションは、モデルウィンドウが開いたときにシステムツリーを自動的に表示するために使用されます。入力された値は、モデルウィンドウサイズのパーセント（0 ～ 100）です。

シミュレーション光線追跡に入る前にプロンプトを表示する

デフォルトでチェックされているシミュレーション光線追跡に入る前にプロンプトを表示するボックスは、チェックを外すと、ユーザーの操作なしにスキームマクロで繰り返しの光線追跡を実行できます。

重要度ターゲットラベルを表示する

重要度ターゲットオブジェクト / サーフェスラベルの表示は、重要度ターゲット表示がオンの場合のラベルを制御します。2.55 ページの「重要度表示」を参照してください。ビューを乱雑

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

にする場合は、ラベルをオフにすることができます。ラベルが表示される場合、ラベルの視認性を向上させるためにフォントサイズを変更できます。

重要度ターゲットラベルのフォントサイズ

このエントリは、重要度ターゲットラベルのフォントサイズを設定します。

デフォルトのモデルビュー

このコントロールは、モデルを開くか新しいモデルを作成するときに、デフォルトのビューの向きを設定します。

ズームパラメータ

ズームパラメータを使用すると、ズーム機能を制御できます。ズームイン：およびズームアウト:エントリは、**ビュー | ズームイン**および**ビュー | ズームアウト**、およびズームインおよびズームアウトボタンのズームファクターを制御します。ホイールズームファクターは、マウスホイールを使用するときにズームを制御するために使用されます。

単一使用ズームウィンドウチェックボックスをオンにすると、ズームウィンドウモードがズームウィンドウを 1 回使用した後にオフになります。ズームウィンドウボタンも押されていない状態になります。別のズームウィンドウを実行するには、再度ズームウィンドウを選択する必要があります。

ビューの回転

モデルウィンドウのビュー方向は、キーボードの矢印キーを使用して回転できます。このコントロールを使用すると、各キーを押したときに発生する回転角度を設定できます。

モデルを開くとき

モデルを開くとき、TracePro をすべてのオブジェクトを表示するか、表示（つまり非表示ではない）として設定されているオブジェクトのみを表示するように設定できます。

モデル

TracePro では、モデルのジオメトリで使用する線形単位を自由に選択できます。利用可能な単位は、ミリメートル、センチメートル、メートル、インチです。「表示｜オプション」を選択し、ダイアログボックスの「モデル」ペインを選択します。ドロップダウンリストから希望の単位を選択し、「適用」をクリックします。モデルの寸法は選択した単位に変換されます。この選択は現在のモデルに適用されます。プログラムのデフォルトでは、新しいモデルはミリメートルで作成されます。「モデル単位」については 2.1 ページを参照してください。

モデルを適切な単位にする

TracePro の外部からジオメトリをインポートする場合、後続の光学解析を実行する前に、モデルのジオメトリが適切な線形単位になっていることを確認することが重要です。ほとんどのコンピュータプログラムではこれらの単位を指定でき、TracePro へのデータ転送は正しく行われます。そうでない場合でも、TracePro はこれらの調整を簡単に行うことができるため、解析に進むことができます。

TracePro でこれを実行するための推奨される手順は次のとおりです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

1. モデルをインポートした後、現在モデルを表示している単位を確認します。この情報は、マウスカーソルがモデルビューにあるときは常に、TracePro ウィンドウの下部にあるステータスバーに表示されます。
2. 表示されている単位以外の単位で作業したい場合は、「表示｜オプション」を選択し、ダイアログボックスの「モデル」ペインを選択します。ドロップダウンリストから目的の線形単位を選択し、「適用」をクリックします。（新しく選択した単位でモデルが表示されていることを確認します。）
3. 次に、数値の大きさを確認します。正しいですか？大きすぎたり小さすぎたりしませんか？モデル全体（すべてのオブジェクト）を適切にスケールするためのスケールファクターを決定する必要があります。
4. ヒント：ほとんどのコンピュータプログラムは、ジオメトリを指定するためにミリメートル、センチメートル、インチ、またはメートルを使用するため、目的のスケールファクターは通常、10、100、1000、2.54、25.4、またはこれらの数値の逆数です。これらのスケールファクターは、これらの測定単位間のスケーリングを表します。
5. モデル内のオブジェクトの寸法が正しくない場合（インポートされた CAD ファイルで単位が指定されていない場合に発生する可能性があります）、モデル内のすべてのオブジェクトを選択し（1.11 ページの「オブジェクトとサーフェスの選択」を参照）、「編集｜オブジェクト｜スケール」メニュー項目を選択します。「スケール選択」ダイアログボックスに適切なスケールファクターを入力し、「適用」をクリックします。
6. 作業を確認し、ファイルを保存します。これで解析に進む準備ができました。

デフォルト温度 Standard Expert

現在のモデルのデフォルト温度は、このダイアログで指定できます。この温度は、特定の温度が適用されていないモデル内のすべてのオブジェクトとサーフェスに効果的に適用されます（「定義｜特性の適用｜温度」）。温度特性の適用については、4.36 ページの「温度」を参照してください。

環境

環境の材料特性とバルク散乱特性を変更できます。ユーザーのデータベースにある材料特性とバルク散乱特性を適用できます。ユーザーデータベース内の材料特性およびバルク散乱特性が適用可能です。環境は、オブジェクトの内側にないすべての空間です。

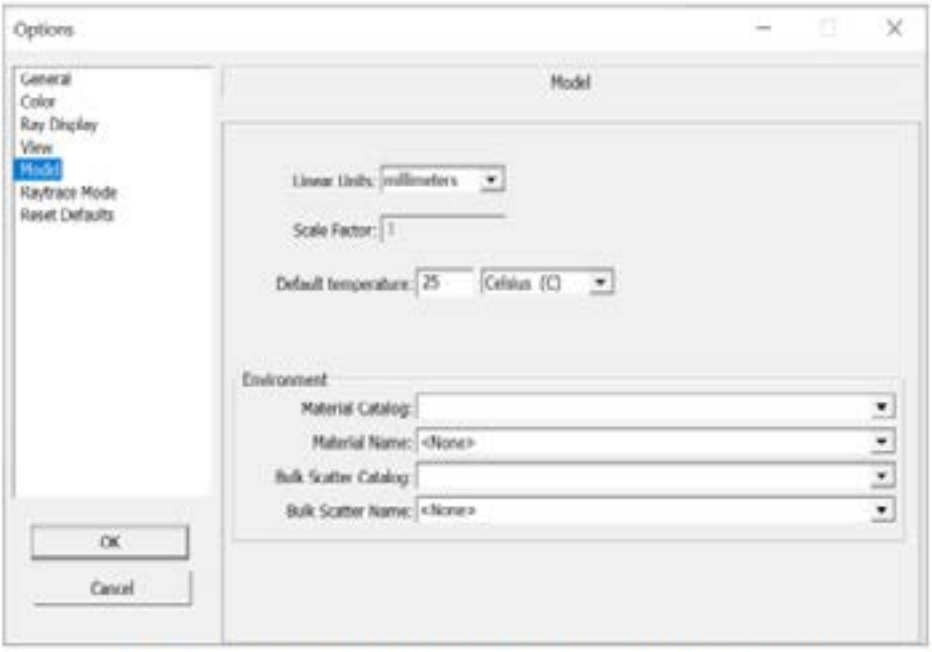


FIGURE 2.38 - Options dialog window with the Menu pane chosen.

レイ トレース モード (Raytrace Mode)

「**表示 | オプション | レイトレースモード**」を選択することで、設定を変更できます。
レイトレース開始前にレイトレースモードの確認プロンプトを表示するかどうかも設定できます。

デフォルトのリセット (Reset Defaults)

様々なダイアログボックスにある「デフォルトの設定」ボタンを使用してデフォルト値を変更した場合に、インストール時の状態に戻すために使用します。

各ダイアログボックスごとに個別にリセットするか、「上記のすべてのデフォルト値をリセット」ボタンを使用してすべてのダイアログボックスを一度にリセットできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

色の変更 (Changing Colors)

デフォルトのオブジェクトの色、モデルウィンドウのハイライト選択、ウィンドウの背景、ダイアログ評価コントロールを指定するために、色選択ダイアログを使用する方法について説明しています。

図 2.39 に表示されるダイアログが TracePro 全体で一貫して使用されます。
要するに、TracePro の表示や動作に関するデフォルト設定の変更方法について説明している文章です。

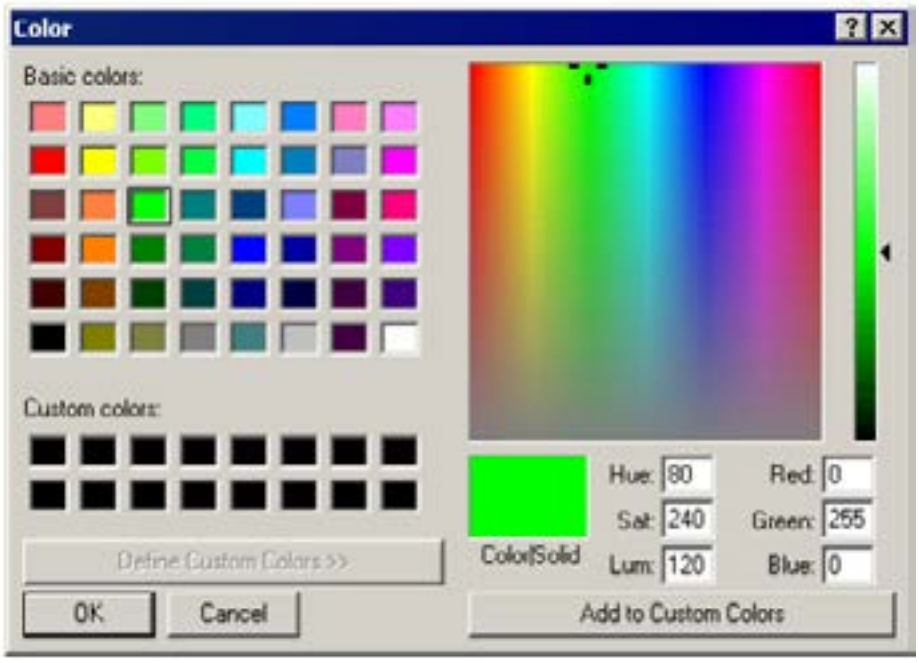


FIGURE 2.39 - Color selection dialog

色の選択

色はパレットから選択するか、カスタムカラーインターフェースを使用して選択できます。カスタムカラーを選択した後、「カスタムカラーに追加」を押して新しい色の定義を保存します。

フォトリアリスティックレンダリング

モデルに TracePro のプロパティを適用した際の見た目を確認するために、フォトリアリスティックレンダリングを作成できます。定義したサーフェスソースを使用してモデルがどのように見えるか、または環境光を追加して確認できます。モデルの見た目だけを確認したい場合は、環境光のみを使用することもできます。モデルの「照明された外観」、つまりソースをオンにしたときの見た目を確認するには、環境光の有無にかかわらずフォトリアリスティックレンダリングを使用します。

フォトリアリスティックレンダリングは、光線追跡に必要なモデルのセットアップが完了した後にのみ使用してください。フォトリアリスティックレンダリングは、モデルに対して定義した TracePro のプロパティ、サーフェスソース、および光線追跡設定を使用します。

レンダリングプロセスは、フォトンマップを定義する順方向光線追跡と、レンダリングされた画像を構築する逆方向光線追跡で構成されます。順方向追跡は、フォトンマップに保存されたフォトンを使用して、シーン内の相対輝度を評価します。レンダリング計算を開始すると、順

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

方向光線追跡の進行状況ダイアログボックスが表示され、次に逆方向光線追跡の進行状況ダイアログボックスが表示されます。

レンダリングを設定して計算するには、次の手順に従います。

1. **「光線追跡 | 光線追跡オプション」**を選択します。**「閾値」**タブで、最初の推定値として「フラックス閾値」を 0.001 に設定します。**「詳細」**タブで、**「ボクセルパラメータ」**を**「光線追跡最速」**に設定します。モデルがオクトリーボクセルを使用している場合は、高速光線追跡のパラメータを設定します。
2. **「表示 | フォトリアリスティックレンダリング > 設定」**を選択し、最初の推定値として**「レンダリング品質 = 低」**を選択します。必要に応じて**「環境光」**を設定します。
3. **モデルウィンドウ**をレンダリングしたい向きに設定し、高速レンダリングのためにウィンドウサイズを比較的小さく設定します。
4. **「表示 | フォトリアリスティックレンダリング > レンダリング」を**選択して、レンダリングを開始します。モデルビューと同じサイズの新しいウィンドウが開き、順方向光線追跡が開始され、次に逆方向光線追跡が開始されます。レンダリングの完了時間は、モデルとプロパティの複雑さ、**モデルビュー**ウィンドウのサイズ、フラックス閾値、レンダリング品質設定、およびコンピュータで使用可能なプロセッサの数に応じて、数分から数時間かかる場合があります。部分的な結果を確認するために、いつでもレンダリングを停止できます。
5. レンダリングが完了したら、**「表示 | フォトリアリスティックレンダリング | オプション」**を使用して、明るさ、コントラスト、およびガンマを調整できます。
6. 通常の光線追跡と同様に、精度と速度をトレードオフするためにフラックス閾値を上下に調整します。
7. レンダリング品質を向上させるために、より多くのレンダリングパス（つまり、ピクセルあたりの光線数）のために**「レンダリング品質」**設定を調整します。各レンダリング品質設定は、次の低い設定よりも 10 倍多くの光線をピクセルあたり追跡します。

ヒント：モデルウィンドウを好みのビューに設定したら、「表示 | 名前付きビュー」を使用してビューを保存し、後でレンダリングを簡単に繰り返せるようにします。

TracePro のフォトリアリスティックレンダリングの制限は次のとおりです。

1. 分散はモデル化されません。つまり、例えば、プリズムや回折格子による色の分離はモデル化されていません。透明材料の有効屈折率は、視感効率で重み付けされた可視スペクトル全体の平均屈折率として計算されます。回折が指定されている場合、すべての色に対して波長 0.55μm で計算されます。
2. 偏光はモデル化されていません。（「光線追跡 | 光線追跡オプション、オプション」タブの設定に従って）偏光をオンにしてレンダリングを開始すると、TracePro はレンダリングを開始する前に偏光設定をオフに変更します。
3. コーティング DLL サーフェスプロパティはモデル化されません。
4. コーティングスタックサーフェスプロパティはモデル化されません。
5. バルク散乱 DLL プロパティはモデル化されません。
6. グリッドソースはモデル化されません。

フォトリアリスティックレンダリング設定

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

フォトリアリスティックレンダリング設定ダイアログボックスでは、レンダリングの環境光を制御し、レンダリング品質とレンダリング時間のトレードオフを行うことができます。フォトリアリスティックレンダリングを開始する前に、これらのパラメータを指定してください。これらの値を設定するには、**フォトリアリスティックレンダリング | 設定**を選択します。

環境光輝度

環境光輝度設定を使用すると、背景光を追加して、レンダリングするオブジェクトを見やすくすることができます。

環境光輝度を指定するには、cd/m2（ニト）単位で輝度を指定します。屋外およびオフィスで使用可能な輝度値から選択するか、カスタムを選択して独自の輝度値を入力できます。

フォトリアリスティックレンダリングの照明は、モデル内のサーフェスソースと環境光輝度で構成されます。環境光輝度のソースは仮想半球です。環境光輝度は、半球の内側から効果的に放射されます。環境光方向の（X、Y、Z）値は、半球の極を指すベクトルを指定します。たとえば、モデルの y 軸がビューの「上」方向であり、上から環境光を当てたい場合は、（X Y Z）環境光方向ベクトルに（0 1 0）を指定します。

レンダリング品質

レンダリングには 5 つの異なる品質設定があります。

- 低
- 中
- 高
- 非常に高
- 極めて高

各高設定は、前の設定よりもレンダリングに約 10 倍の時間がかかります。

ノイズが許容される場合にレンダリングのクイックビューを表示するには、低を選択します。

多くのアプリケーションでは、高設定で満足のいくレンダリングが得られます。

設計が非効率的またはシミュレートが難しい場合は、より高い設定を使用する必要がある場合があります。

トレースする最大フォトン数

TracePro は、フォトリアリスティックレンダリングを計算するためにフォトンマッピングの手法を使用します。これは、順方向レイトレースまたはフォトン追跡（ソースから放射される光線）と、逆方向レイトレース（視点から放射される光線）で構成されます。順方向レイトレースはフォトンマップを生成し、逆方向レイトレース中に評価されてレンダリング結果が生成されます。良好なレンダリングには、フォトンマップの適切なサンプリングと、それに続く逆方向レイトレースの適切なサンプリングが必要です。フォトンマップのサンプリングは、トレースする最大光子数設定によって制御されます。ほとんどの場合、この設定を 0 のままにして、TracePro がトレースする最適な光子数を決定できるようにする必要があります。

フォトリアリスティックレンダリングオプション

レンダリングが完了したら、フォトリアリスティックレンダリングオプションを使用してレンダリングの外観を制御できます。図 2.40 に示すフォトリアリスティックレンダリングオプションダイアログボックスを開くには、**表示 | フォトリアリスティックレンダリング | オプション**を選択するか、完了したレンダリングを右クリックしてフォトリアリスティックレンダリングオプションを選択します。オプションを使用すると、レンダリングされた画像の明るさとコントラストを 0 ～ 1、ガンマを 0 ～ 3 に調整できます。

正規化:には、なし、最高色、露出レベルの 3 つのオプションがあります。最高色を選択すると、プロットに表示される色値が正規化されます。露出レベルを選択すると、プロットが単色であっても、飽和した白色を表示するようにプロットが正規化されます。たとえば、緑色の光の場合、飽和値は（0,255,0）になります。

飽和色を使用すると、飽和色をオンまたはオフにできます。RGB 値の範囲は 0 ～ 255 です。飽和色は、RGB 値のいずれかが 255 であるピクセルを表示します。カラーバーをクリックすると、飽和ピクセルの色を変更できます。

値モードには、Raw 値と整数の 2 つのオプションがあります。この設定は、マウスカーソルをマップまたはレンダリングの上に移動したときにステータスバーに表示される値を制御します。生の値は、TracePro がトゥルーカラー画像を作成するために計算した浮動小数点 RGB 値をステータスバーに表示します。整数が選択されている場合は、画像で使用される実際の整数値（0 ～ 255 RGB）が表示されます。

正規化：が露出値に設定され、露出補正の計算ボックスがオンになっている場合、飽和白色の露出補正値が自動的に計算されます。露出補正の計算ボックスがオフになっている場合は、露出補正値を手動で入力できます。

ガウススムージング半径（ピクセル）設定は、ガウススムージングカーネルの半径（ピクセル単位）でレンダリングのスムージングを制御します。スムージングはノイズを低減しますが、解像度も低下させます。

フォトリアリスティックレンダリングでは、cd/m2 単位のおおよその輝度がステータスバーに 4 番目の値として表示されます。

おおよその輝度の表示

レンダリングアルゴリズムによって決定されたおおよその輝度値を表示することもできます。マップタイプ：輝度を選択して、次のコントロールのロックを解除します。

- カラースキーム - グレースケールまたはカラー（虹）
- 対数スケール - 輝度の対数が表示されます
- 凡例の表示 - レンダリングウィンドウ内に凡例を描画します
- 最大値と最小値の設定 - 表示する最小輝度値と最大輝度値を設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

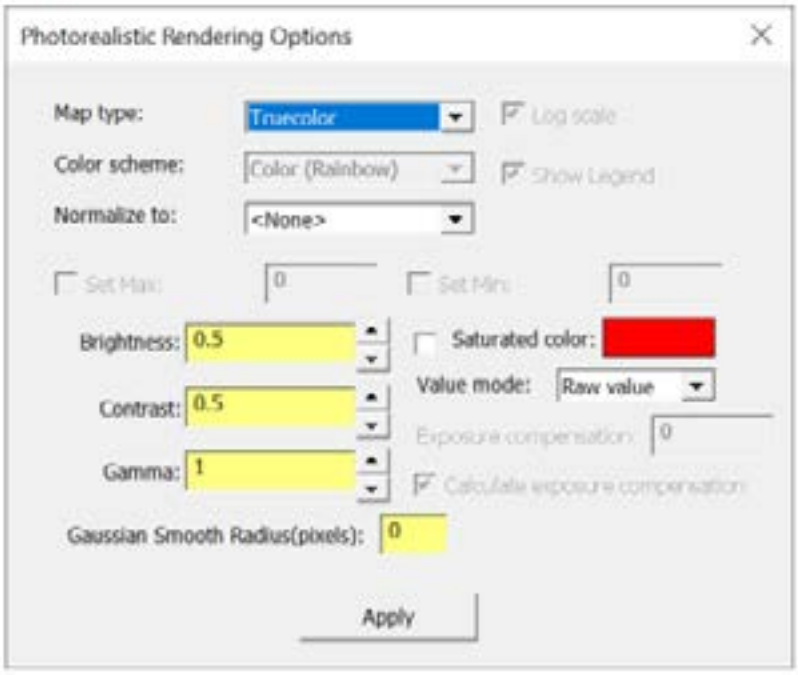


FIGURE 2.40 - Photorealistic Rendering Options

CIE xy と CCT 結果の表示

「マップタイプ:」ドロップダウンメニューから「CIE xy」または「CCT」を選択することで、CIE xy と CCT の結果を表示できます。

蛍光を使用したフォトリアリスティックレンダリング

TracePro は、ファイルソースから生成された蛍光を使用して、フォトリアリスティックレンダリングを実行できます。これを実行するには、いくつかの手順に従う必要があります。

1. **「レイトレース | レイトレースオプション | オプション」**で「蛍光をオン」にします。
2. 同じダイアログボックスで「ファイルソースを挿入」を選択します。
3. ドロップダウンメニューから「放射ソースのみを生成」を選択します。
4. レイトレースを実行します。
5. **「レイトレース | レイトレースオプション | オプション」**で「蛍光をオフ」にします。
6. ソースツリーで励起ソースをオフにします。
7. 上記のようにフォトリアリスティックレンダリングを実行します。
8. 高品質の結果を得るには、多数の光線をトレースする必要があることに注意してください。

フォトリアリスティックレンダリング結果の保存

レンダリングが完了すると、結果はいくつかの方法で保存できます。結果を保存するには、完了したレンダリングを右クリックし、「名前を付けて保存」を選択します。結果は、次の形式で保存できます。

- ビットマップファイル (*.bmp)
- JPEG ファイル (*.jpg)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- PNG ファイル (*.png)
- RGBL 生データ (*.txt)
- RGB データ (*.txt)
- 輝度データ (*.txt)
- CIExy (*.txt)
- CCT データ (*.txt)

第 3 章 プロパティの定義

概要

プロパティとは？

プロパティとは、光線がオブジェクトやサーフェスとどのように相互作用するかを決定する、オブジェクトやサーフェスに対する修飾子です。プロパティの例としては、材料、サーフェス仕上げ、温度、ソース、透過プロパティなどがあります。事前定義されたプロパティがありますが、独自のプロパティを定義することもできます。

プロパティの定義または適用

この章では、モデルで使用できるカスタムプロパティの定義について説明します。通常、プロパティを「適用」する前に「定義」する必要があります。ただし、プロパティを正しく定義するには、定義したいプロパティの測定データが必要です。たとえば、ソリッドモデルの特定のサーフェスで使用したい特殊な塗料がある場合、その塗料のプロパティを測定してから、TracePro のプロパティを定義する必要があります。

TracePro データベースの事前定義されたプロパティのみを使用する場合は、この章の最初の数節を読み、第 4 章「プロパティの適用」を参照してください。カスタムプロパティを定義する必要がある場合は、この章に戻ってください。

この章の残りの部分では、第 4 章でプロパティの適用についてすでに読んだことを前提としています。プロパティはプロパティエディタを使用して定義されます。たとえば、**[定義 | プロパティデータの編集 | マテリアルプロパティ]** を選択すると、マテリアルプロパティを作成および編集するための新しいウィンドウが開きます。すべてのプロパティエディタはこのように機能します。

プロパティエディタ

TracePro プロパティエディタは、このセクションで説明する共通の機能を共有しています。各エディタは、コマンドパネル、情報パネル、およびグリッドパネルで構成されています。

図 3.1 にマテリアルプロパティエディタを示します。コマンドパネルは左側、情報パネルは上部、グリッドパネルは下部にあります。

ツールバーボタンは、目的のタブを拡張するためにエディタタブを非表示にするために提供されています。マテリアルプロパティの場合、データタブはテーブルタイプ入力のテーブルビューと補間係数の数式ビューの間で分割されています。ツールバーには、編集を有効にするために使用されるロック / ロック解除アイコンが含まれています。

図 3.2 にサーフェスプロパティエディタを示します。いくつかの列が折りたたまれ、データコンテキストコンテキストポップアップメニューが表示されています。他の一般的な変更に加えて、サーフェスプロパティエディタのデータの個々の行は、ポップアップメニューから行ごとに [解決] 機能を使用できます。

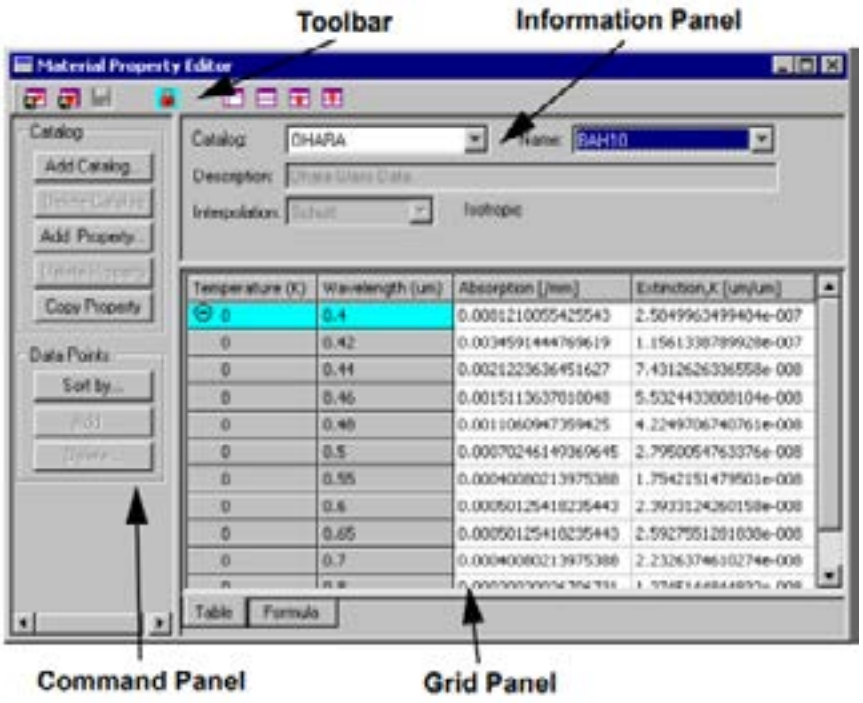


FIGURE 3.1 - Material Property Editor

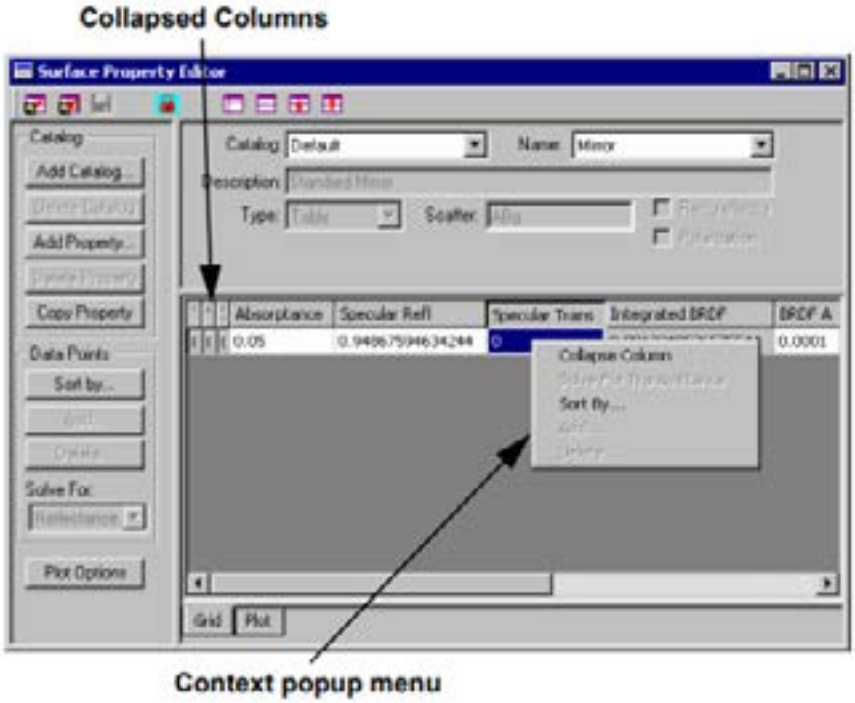


FIGURE 3.2 - Surface Property Editor with a cell popup menu

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

「ツールバーとメニュー」

各ツールバーのアイコンには、対応するメニュー項目があります。

表 3.1. エディタのメニューとツールバーのコマンド

メニュー	ツールバー	説明
ファイル	プロパティのインポート		ASCII ファイルからプロパティデータをインポートします。
ファイル	プロパティのエクスポート		現在のプロパティを ASCII ファイルにエクスポートします。
ファイル	保存		現在のプロパティデータを保存します。
編集	プロパティのロック		このアイコンは、現在のプロパティが編集モードであることを示しますメニューを選択するか、アイコンをクリックすると、プロパティがロックモードになり、それ以上の編集が無効になります。
編集	プロパティのロック解除		このアイコンは、現在のプロパティがロックモードであることを示します。メニューを選択するか、アイコンをクリックすると、プロパティが編集モードになり、データの変更が許可されます。
表示	すべてのパネル		エディタ内の 3 つのタブまたはパネルをすべて表示します。
表示	情報とグリッド		情報タブとグリッドタブの幅を最大化するために、コマンドタブを非表示にします。
表示	情報のみ		情報タブを最大化します。
表示	グリッドのみ		グリッドタブを最大化します。
(メニューなし) 展開アイコン		行のセットが折りたたまれている場合に表示されます。アイコンをダブルクリックすると、行が復元されます。
(メニューなし) 折りたたみアイコン		行の後に同じデータ値を持つ行が続く場合に表示されます。アイコンをダブルクリックすると、後続の行が非表示になります。

コマンドパネル

コマンドパネルは、カタログ、プロパティ、およびデータを操作するためのボタンを提供します。コマンドパネルは、分割ウィンドウタブ内のエディタの左側に配置されています。タブの幅は、分割バーをドラッグして設定できます。オプションの一部は、表示されているプロパティの種類によって異なります。

表 3.2. コマンドパネルのボタン

「カタログを追加」	このボタンをクリックすると、新しいカタログの名前を入力するダイアログが表示されます。新しいカタログは空の状態で作成され、エディタ内の現在のカタログになります。
「カタログを削除」	このボタンをクリックすると、現在のカタログが TracePro データベースファイルから削除されます。警告ダイアログが表示されます。カタログを削除すると、取り戻すことはできません。「プロパティデータベース」2.57 ページを参照してください。
「プロパティを追加」	このボタンをクリックすると、プロパティ名およびその他の初期プロパティデータを入力するダイアログが表示されます。プロパティは現在のカタログに追加されます。
「プロパティを削除」	このボタンをクリックすると、現在のプロパティがカタログから削除されます。警告ダイアログが表示されます。プロパティを削除すると、取り戻すことはできません。
「プロパティをコピー」	このボタンをクリックすると、新しいカタログとプロパティ名の入力を求められます。データがコピーされ、選択されたカタログに新しいプロパティが追加されます。
「並べ替え ...」	このボタンをクリックすると、並べ替えダイアログが表示されます。2 つ以上の従属変数を持つプロパティは、選択された変数の順序に基づいて並べ替えることができます。たとえば、テーブルタイプデータを持つマテリアルプロパティは、温度、次に波長、または波長、次に温度で並べ替えることができます。
「追加 ...」	このボタンをクリックすると、データ追加ダイアログが表示されます。ダイアログに入力された値に対して、1 つ以上のデータ行がプロパティに追加されます。追加機能は、各温度、波長、および入射角を整合させるために必要なすべての行を自動的に作成します（つまり、各並べ替え可能なインデックスのすべてのデータが必要です）。
「削除 ...」	このボタンをクリックすると、データ削除ダイアログが表示されます。プロパティから削除する 1 つ以上の値を選択すると、選択された行が強調表示されます。データを削除すると、取り戻すことはできません。
「解を求める対象：」	サーフェスプロパティには、他のデータ項目の値に基づいて 1 つのデータ値を解くオプションがあります。解を求める対象リストは、サーフェスプロパティエディタでのみ表示され、データセット全体に対して機能します。 個々の行の解を求めるには、解く値を選択し、ポップアップメニューを使用します。「解を求めるを使用する」3.28 ページを参照してください。
「プロットオプション」	サーフェスプロパティには、グリッドパネルにプロットビューがあります。プロットオプションは、プロットに表示されるデータを制御するために使用されます。「サーフェスプロパティプロットタブ」3.31 ページを参照してください。

情報パネル

情報パネルは、エディタの右上タブにあります。このパネルには、プロパティのカタログと名前、説明、およびその他の一般的なプロパティデータが表示されます。一部の定義済みプロパティは読み取り専用であり、変更できません。これらのプロパティは Lambda Research によって管理されています。読み取り専用プロパティを変更する場合は、「プロパティのコピー」機能を使用してコピーを作成し、コピーを変更して適用してください。

グリッドパネル

グリッドパネル（またはデータパネル）は、エディタの右下タブにあります。このパネルには、テーブルタイプのデータと係数が表示されます。場合によっては、データが複数のタブ付きタブに分割されます（3.2 ページの図 3.1 を参照）。グリッドには、ほとんどのデータセルに対してコンテキストに応じたポップアップメニューを備えたスプレッドシートテーブルが含まれています。行と列を折りたたんで一部のデータを非表示にし、他のセルを表示できます。列見出しをクリックすると、その列が折りたたまれたり展開されたりします。行を並べ替えて、編集を容易にするためにさまざまな方法でデータを表示することもできます。行の並べ替えは、コ

株式会社 ノーツアンドクロス

マンドパネル領域の「並べ替え ...」ボタンを押すか、グリッド内のテーブルタイプデータを右クリックして「並べ替え ...」を選択することで実行できます。

マテリアルプロパティ

TracePro におけるオブジェクトのマテリアルプロパティは、屈折率とバルク吸収率を指定します。マテリアルプロパティを使用するには、**[定義 | プロパティの適用]** ダイアログボックスを選択し、「材料」とラベル付けされたタブを選択します。4.4 ページの「マテリアルプロパティ」を参照してください。

材料カタログ

TracePro には、メーカーデータのいくつかのカタログが付属しています。独自のカタログと材料を追加することもできます。これらのカタログと材料は、情報パネルの選択肢として表示されます。

マテリアルプロパティデータベース

事前定義された材料カタログと材料を含むデータベースが存在します。それらの中から選択することも、マテリアルプロパティエディタを使用してユーザー定義の材料を追加または変更することもできます。

[定義 | プロパティデータの編集 | マテリアルプロパティ] を選択して、プロパティデータベース内の材料を追加または変更できます。これにより、他の多くの機能のような単なるダイアログボックスではなく、TracePro に新しいウィンドウが開きます。

マテリアルプロパティエディタを使用すると、特定の材料の名前、補間タイプ、説明、温度、波長を変更できます。TracePro に付属する事前定義された材料データの一部は読み取り専用であり、編集できません。

スプレッドシートのようなウィンドウには、補間が補間式による場合は屈折率と吸収係数が表示され、テーブルタイプデータの場合は波長と屈折率の値が表示されます。吸収係数データは、1/mm 単位の α、または無次元の k として入力できます。3.8 ページの式 3.4 を参照してください。

カタログを選択し、材料名を入力するか、リストから選択すると、TracePro はエディタウィンドウにその材料のデータを表示します。エディタウィンドウのコマンドパネルにあるそれぞれの [追加] ボタンを使用して、新しい材料とカタログを追加できます。マテリアルプロパティデータには 10 個の補間式を使用できます。マテリアルプロパティエディタを使用する場合は、補間タイプを選択する必要があります。たとえば、次のページの図 3.3 は、セルマイヤー補間法の係数を入力するための [式] タブを示しています。

注：プロパティエディタは、それぞれがダイアログボックスではなくウィンドウであるため、TracePro のほとんどの機能とは異なります。エディタウィンドウにいる場合、メニューバーには異なるオプションセットが表示されます。エディタにいる場合、[ウィンドウ] メニューからモデル項目を選択してモデルウィンドウに戻ることができます。

表 3.3. マテリアルプロパティ情報パネルで使用されるフィールド

カタログ	マテリアルプロパティカタログを選択します。

名前	マテリアルプロパティ名選択ボックス。名前はドロップダウン矢印を使用するか、テキストボックスに名前を入力して選択できます。データベースに名前が見つかった場合、そのデータが表示されます。
説明	説明にはマテリアルプロパティに関する注記が含まれています。
補間	補間方法を選択します。ショット、セルマイヤー、拡張ショット、テーブル、およびその他の補間方法が利用可能です。7.7 ページの「マテリアルプロパティ補間」を参照してください。
タイプ Expert	プロパティのタイプが補間方法の横に表示されます。利用可能なタイプは、等方性と一軸性です。等方性プロパティは単一の屈折率を持ち、一軸性プロパティは複屈折性です。タイプは、プロパティが最初に定義されたときに「プロパティ追加」ダイアログで設定されます。

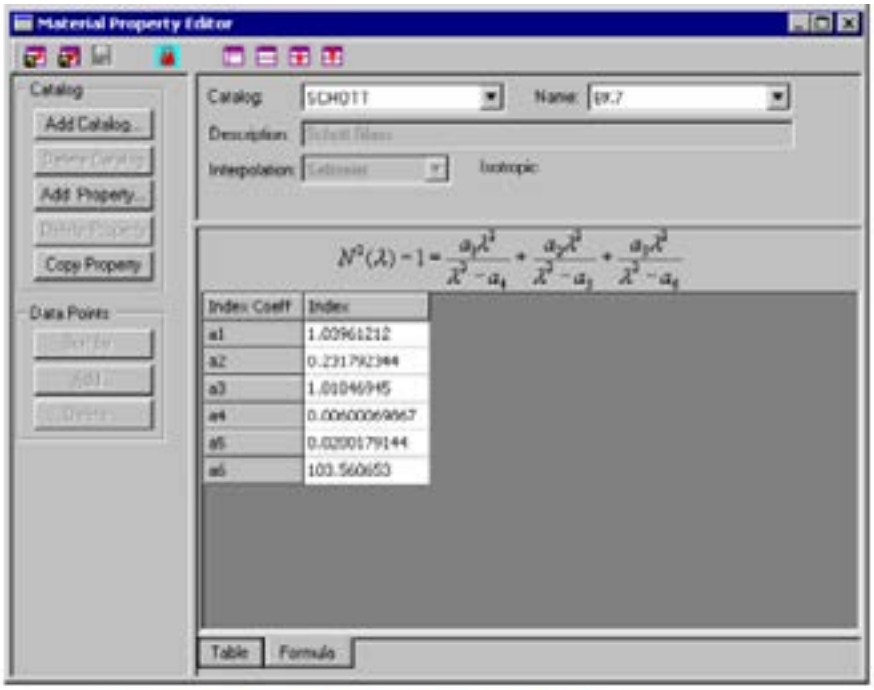


FIGURE 3.3 - The Material Property Editor

新しいマテリアルプロパティの作成

以下の手順は、「マテリアルプロパティ」内で新しいプロパティを作成する方法を示しています。

1. **「定義｜プロパティデータ編集｜マテリアルプロパティ」**を選択して、「マテリアルプロパティ」エディタを開きます。
2. ドロップダウンカタログリストを使用して、新しいマテリアルプロパティを追加するカタログを選択します。既存のカタログに材料を追加するか、「カタログ追加」ボタンを使用して独自のカタログを作成します。
3. 「プロパティ追加」ボタンをクリックし、新しいプロパティの名前を入力して「OK」をクリックします。TracePro Expert のユーザーは、材料が等方性（単一の屈折率）か一軸性（複屈折性）かも選択します。
4. 補間タイプを選択します。テーブルタイプのデータでない場合は、グリッドパネル領域の下部にある「数式」タブをクリックし、その方程式の値を入力します。この件に関する詳細は、7.7 ページの「マテリアルプロパティの補間」に記載されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

5. 「テーブル」タブをクリックし、「追加」ボタンを使用して、複数の波長で吸収データまたはテーブルタイプのインデックスデータを追加します。このデータは、スプレッドシートのような形式です。
6. セルまたはフィールドを選択して数値を入力するだけで、プロパティを定義する値を編集できます。ただし、ツールバーにロック解除アイコン が表示されていることを確認してください。
7. **「ファイル｜保存」**を選択するか、「マテリアルプロパティ」エディタを閉じて、「プロパティデータが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。新しいプロパティは、次回プロパティにアクセスするときに、将来の使用のためにデータベースで利用可能になります。

既存のマテリアルプロパティの編集

以下の手順は、「マテリアルプロパティ」内で既存のプロパティを編集する方法を示しています。

1. **「定義｜プロパティデータ編集｜マテリアルプロパティ」**を選択して、「マテリアルプロパティ」エディタを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. 名前ドロップダウンリストからプロパティの名前を選択します。
4. 編集を有効にするために、ツールバーのロックアイコン をクリックします。読み取り専用のプロパティは変更できません。事前定義されたメーカープロパティは、テキスト形式にエクスポートし、ステータスをユーザー定義に変更して、TracePro に再インポートしない限り編集できません。7.93 ページの「マテリアルプロパティ形式」を参照してください。
5. セルまたはフィールドを選択してデータを入力することにより、プロパティを定義する値を編集します。
6. **「ファイル｜保存」**を選択するか、「マテリアルプロパティ」エディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」というプロンプトに「はい」と答えます。編集されたプロパティは、データベースで利用可能になります。

マテリアルプロパティのエクスポート

以下の手順は、「マテリアルプロパティ」内でプロパティをエクスポートする方法を示しています。

1. **「定義｜プロパティデータ編集｜マテリアルプロパティ」**を選択して、「マテリアルプロパティ」エディタを開きます。
2. カタログのドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. ドロップダウンリストからプロパティの名前を選択します。
4. 「ファイル｜プロパティエクスポート」コマンドを使用して、選択したプロパティの情報を含むテキストファイルを作成します。7.93 ページの「マテリアルプロパティ形式」を参照

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

してください。エクスポートされたファイルは、スプレッドシートプログラムで開くことができるタブ区切りテキストファイルです。

マテリアルプロパティのインポート

以下の手順は、マテリアルプロパティにプロパティをインポートする方法を示しています。

1. **「定義 | プロパティデータの編集 | マテリアルプロパティ」**を選択して、マテリアルプロパティエディタを開きます。
2. **「ファイル | プロパティのインポート」**コマンドを使用して、マテリアルプロパティの情報を含むテキストファイル（適切な形式）をインポートします。テキストファイルの名前と場所を入力するように求められます。プロパティはインポート時に保存されます。

バルク吸収

吸収係数の単位は 1/mm です。ゼロでない吸収係数を持つ材料に入射する光線は、ベール・ランベルトの透過法則に従って減衰します。

$$\Phi_T = \Phi_0 e^{-\alpha t}, \qquad (3.1)$$

ここで、Φ t と Φ 0 は透過フラックスと入射フラックスであり、α は吸収係数、t は光線が通過する物質の厚さです。物質に吸収されるフラックスは、このとき以下のようになります。

$$\Phi_A = \Phi_0(1 - e^{-\alpha t}). \qquad (3.2)$$

注：バルク吸収の単位 :
テーブル補間タイプで定義された材料のバルク吸収を入力する際、単位は逆ミリメートル（1/mm）であることを忘れないようにしてください。
ランベルトの法則の適用例 :
表 3.4 は、厚さが 1mm と 2mm の 2 つのサンプルにおけるランベルトの法則の適用例を示しています。

バルク吸収の単位 :

テーブル補間タイプで定義された材料のバルク吸収を入力する際、単位は「逆ミリメートル (inverse millimeters)」である必要があります。

ランベルトの法則 :

表 3.4 は、厚さが 1mm と 2mm の 2 つのサンプルについて、ランベルトの法則を使用したバルク吸収の例を示しています。

バルク吸収（体積吸収）とは :

物質中を光が通過する際に、物質によって光が吸収される現象です。バルク吸収係数は、単位長さあたりの光の吸収量を示します。

表 3.4：逆ミリメートル単位でのバルク吸収

吸収係数	厚さ 1 mm の時の吸収率	厚さ 2 mm の時の吸収率
0.0001	0.9999	0.9998
0.001	0.999	0.998002
0.01	0.99005	0.980199

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

0.1	0.904837	0.818731
1	0.367879	0.135335

この記述は、データベースに吸収データが吸収係数（α）として保存されていることを説明しています。α の単位は逆ミリメートル（mm ☒ 1）です。また、複素屈折率の式 3.3 に出てくる消衰係数（k）を使ってデータを入力することもできます。消衰係数 k は無次元量です。

要するに、吸収データを 2 つの方法で扱えることを示しています。

吸収係数 (α): 単位は mm ☒ 1 で、データベースに保存されている形式。

消衰係数 (k): 無次元量で、別の入力方法として使用可能。

$$N = n + ik \tag{3.3}$$

「k と α は次のように関連しています。

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \tag{3.4}$$

k と α の間で変換を行う場合、λ をミリメートル単位で使うように注意する必要があります。

複屈折

光線が複屈折媒体を通過する際、光線は常光線と異常光線という二つの部分に分裂します。複屈折プロパティは一軸性と分類され、常光線と異常光線それぞれに対する二組の屈折率と吸収率データを定義するために追加の情報が必要です。

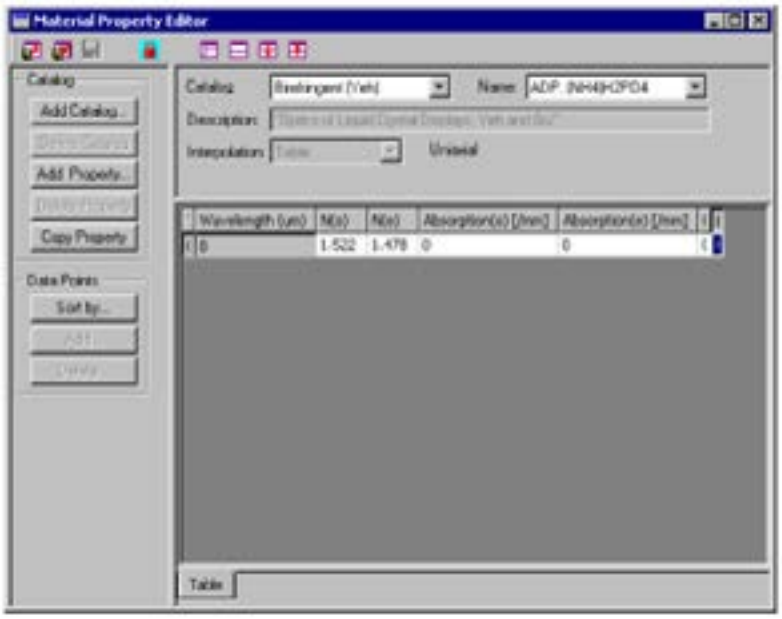


FIGURE 3.4 - Material Editor for a Birefringent Property

複屈折材料に関する情報については、以下を参照してください。

- M. Born and E. Wolf,「光学の原理」、Pergamon Press、第 6 版、第 14 章（1980 年）、ISBN: 008026481
- P. Yeh and C. Gu,「液晶ディスプレイの光学」、John Wiley & Sons、第 3 章（1999 年）、ISBN: 047118201X

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- E. Collett,「偏光」、Marcel Dekker, Inc.、第 23 章（1993 年）、ISBN: 0824787293

Bulk Scatter Properties (バルク散乱プロパティ)

Standard Expert

バルク散乱プロパティエディタは、以下の目的で使用されます。

- バルク散乱プロパティデータベースに保存されているプロパティを編集する。
- バルク散乱データベースに追加するための新しいプロパティを作成する。

TracePro に実装されている散乱分布関数（SDF）の 1 つは、ジャックとワン[1]の論文に基づいています。この論文では、生物学的組織における散乱について説明し、ヘニーグリーンスタインモデルを使用しています。式 3.5

$$SDF = p(\theta) = \frac{1-g^2}{4\pi(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}} \qquad (3.5)$$

ここで g は異方性因子と呼ばれ、g は -1 から 1 までの値を取ります。g が正の場合、光線は前方方向に多く散乱され、g が負の場合、後方方向に多く散乱されます。g がゼロの場合、散乱は等方性、つまり全ての方向に同じになります。7.61 ページの「体積散乱」を参照してください。

光線が散乱媒体に入ると、確率分布によって決まるランダムな距離 x を伝播します。

$$P(x) = e^{-\mu_s x}dx \qquad (3.6)$$

ここで、散乱係数と呼ばれるものがあります。散乱係数の逆数は、物質中の光線の平均自由行程です。光線が平均自由行程に比べて薄い物質に入射すると、散乱されずに物質を通過する可能性が高くなります。逆に、物質が平均自由行程に比べて厚い場合、光線は物質内でほぼ確実に散乱されます。強い散乱係数と強い吸収係数が組み合わされると、光線は物質をほとんど透過しません。

2 つ目の SDF（散乱分布関数）として、Gegenbauer モデルが利用可能です。Henyey-Greenstein[2] モデルは、alpha を 1/2 に設定した Gegenbauer モデルの特殊なケースです。

$$SDF = p(\theta) = \frac{K}{(1+g^2-2g\cos\theta)^{\alpha+1}} \qquad (3.7)$$

$$K = \alpha g \frac{(1-g^2)^{2\alpha}}{\pi[(1+g)^{2\alpha}-(1-g^{2\alpha})]} \qquad (3.8)$$

1 S. L. Jacques and L.-H. Wang, “Monte Carlo modeling of light transport in tissues,” in Optical Thermal Response of Laser Irradiated
Tissue, edited by A. J. Welch and M. J. C. van Gemert (Plenum Press, New York, 1995), pp. 73-100.

2 2. A. N. Yaroslavsky, I. V. Yaroslavsky, T. Goldbach, and H.-J. Schwarzmaier, “Influence of the scattering phase function approximation on the optical properties of blood determined from the integrating sphere measurements”, Journal of Biomedical Optics
4(1), 47-53 (January 1999)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TracePro Expertは、ユーザー定義DLL散乱のための3つ目のオプションを提供します。7.63ページの「散乱 DLL の使用」を参照してください。

補足説明 :

「Bulk Scatter Properties」は、光などが物質の内部で散乱するプロパティを指します。

「Bulk Scatter Property Editor」は、そのプロパティを編集するため[3]のソフトウェアツールです。

「scattering distribution function (SDF)」は、散乱の方向や強度の分布を表す関数です。

「Henyey-Greenstein model」は、光の散乱をモデル化するための一般的な手法です。

バルク散乱プロパティエディタ

バルク散乱プロパティエディタは、TracePro プロパティデータベースに保存された散乱プロファイルを定義および変更します。エディタウィンドウを開くには、定義 | プロパティの編集 | バルク散乱プロパティを選択します。

表 3.5. バルク散乱情報パネルで使用されるフィールド

カタログ	プロパティのカタログ名について説明します。
Name (名前):	「Scatter Property Name (散乱プロパティ名)」ドロップダウンボックスです。ドロップダウンリストから名前を選択するか、テキストボックスに名前を入力します。名前がデータベースに見つかると、そのデータが表示されます。
Description (説明)	「Bulk Scatter Property (バルク散乱プロパティ)」に関するメモが含まれています。
Type (タイプ):	「Type (タイプ)」は、選択された散乱モデルを表示します。散乱モデルは、データベースに「New Property (新しいプロパティ)」が追加されたときに定義されます。利用可能な 3 つのモデルは次のとおりです： Henyey-Greenstein (ヘニー・グリーンスタイン) Gegenbauer (ゲーゲンバウアー) User DLL (ユーザー DLL) Expert

3 1. S. L. Jacques and L.-H. Wang, “Monte Carlo modeling of light transport in tissues,” in Optical Thermal Response of Laser Irradiated Tissue, edited by A. J. Welch and M. J. C. van Gemert (Plenum Press, New York, 1995), pp. 73-100.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 3.5 - The Bulk Scatter Property Editor

テーブル 3.6「Bulk Scattering Grid Panel（バルク散乱グリッドパネル）」で使用されるフィールド

異方性 (Anisotropy)	異方性因子 (Anisotropy Factor, g) 選択された波長における異方性因子「g」を入力します。この値は、光の伝播の不均一性を表し、+1（前方）から -1（後方）までの範囲で変化します。g=1 は、光が完全に前方に伝播することを意味し、g=-1 は、完全に後方に伝播することを意味します。g=0 は、等方性散乱（あらゆる方向に均等に散乱）を意味します。
散乱係数 (Scatter Coefficient)	散乱係数 (μ s): 選択された波長における散乱係数「μ s」を、1/mm の単位で入力します。この値は、光が媒質中で散乱される頻度を表します。μ s の値が大きいほど光は散乱されやすくなります。
アルファ (Alpha)	アルファ係数 (Alpha) これは、Gegenbauer 散乱モデルが使用される場合に表示されます。Gegenbauer 散乱モデルにおける散乱の角度分布を調整する係数です。
係数 0-5 (Coeff 0-5) Expert	DLL 散乱モデル係数 (Coeff 0-5): これらの列は、DLL 散乱モデルが使用される場合にデータ列を置き換えます。入力されたデータは DLL に渡され、DLL 計算を変更するための変数入力として使用されます。DLL(Dynamic Link Library) 散乱モデルとは、外部のプログラムライブラリを利用した散乱モデルであり、より複雑な散乱の計算を行うことが可能です。

要約 :
これらのパラメータは、光が媒質中をどのように伝播し、散乱するかを記述するために使用されます。異方性因子と散乱係数は基本的なプロパティを決定し、アルファ係数と DLL 係数はより高度な散乱モデルで使用されます。

インポート / エクスポート機能

フォーマット :
データのインポート / エクスポート形式は、ドキュメントの「Bulk Scatter Property Format」（7.105 ページ）に記載されています。
メニュー :
エディタが開いているとき、「ファイル」メニューに「プロパティのインポート」と「プロパティのエクスポート」のメニューが表示されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

つまり、このエディタでは、特定の形式（Bulk Scatter Property Format）でプロパティデータをインポートまたはエクスポートできるということです。

Scatter DLL (散乱 DLL)

TracePro Expert は、コンパイルされたダイナミックリンクライブラリ（DLL）を通じてバルク散乱の位相関数を定義する機能を提供します。レイトレース中、TracePro からのデータは DLL に渡されます。DLL は結果を計算し、その結果は TracePro に返され、レイの散乱に使用されます。バルク散乱エディタは、目的の DLL を選択し、DLL で実行される計算を制御するためのユーザーパラメータデータを追加するために使用されます。「ユーザー定義バルク散乱」の詳細については、7.63 ページを参照してください。

Fluorescence Properties (蛍光プロパティ) Expert

蛍光は、オブジェクトのマテリアルプロパティと組み合わせて蛍光プロパティを使用することにより、TracePro でモデル化されます。蛍光には、ピークモル吸光係数に正規化された相対吸収および相対励起、ならびに相対発光が含まれます。すべての値は、温度と波長に対する変動とともに作成できます。蛍光材料の濃度は、固体オブジェクトにプロパティを適用するときにモル濃度を入力することにより、モデルで設定できます。レイトレースオプションで蛍光が有効になっている場合、2 段階のレイトレースが使用されます。レイトレースの最初の段階では、材料スペクトルの励起部分でレイがトレースされます。レイトレースの最初の段階の副産物として、蛍光材料のサイトから発せられるレイを含む TracePro レイファイルが生成されます。レイトレースの 2 番目の段階では、レイファイルを使用して蛍光光線をトレースします。

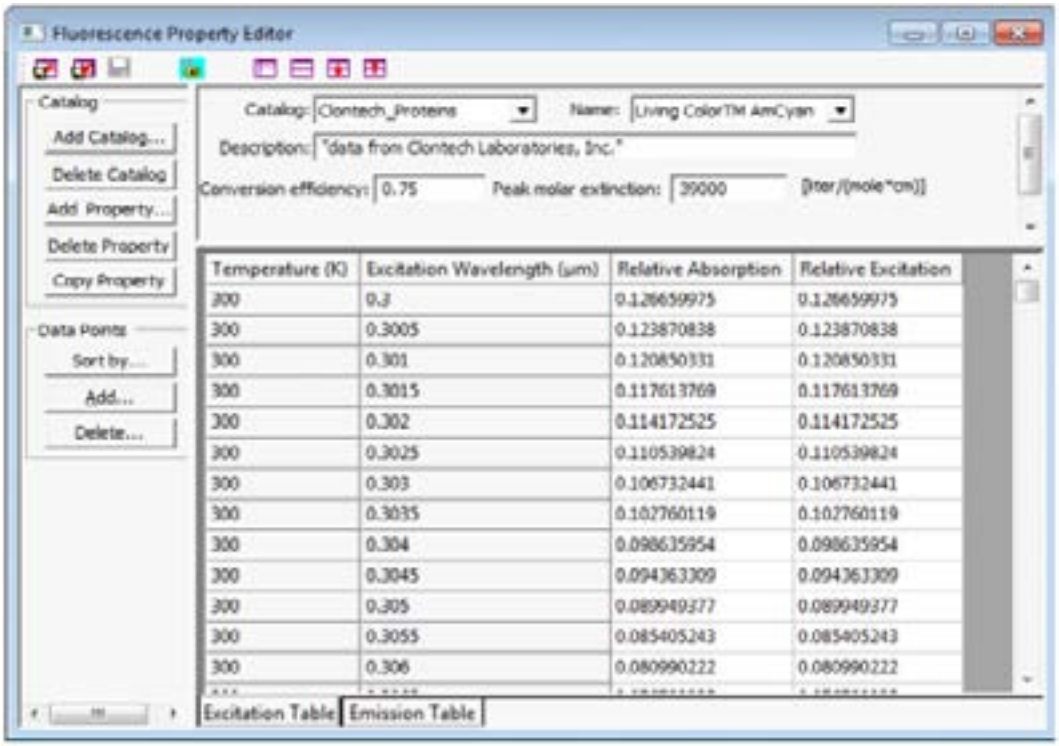


FIGURE 3.6 - Fluorescence Property Editor: Excitation Table

蛍光プロパティの定義手順

カタログセクションにある「Add Property」ボタンをクリックして、蛍光プロパティの追加を

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

開始します。

基本情報の入力 (Figure 3.6 上部タブ):

以下の情報を入力します。

- 説明文 (オプション): 蛍光プロパティに関する説明文（任意）。
- 変換効率 : 蛍光の変換効率。
- 最大モル吸光係数 : 最大モル吸光係数。

この時点で画面下部のタブを使って、励起データ（excitation data）と発光データ（emission data）の入力画面を切り替えることができます。

励起データの入力 (Figure 3.6):

励起データの入力画面で、以下の情報を入力します。

データ点の追加 :「Add」ボタンをクリックして、温度と励起波長のデータ点を追加します。

- 温度と励起波長 : 各データ点における温度と励起波長。
- 励起段階における相対吸収 : 励起段階における相対的な吸収率。
- 励起段階における相対励起 : 励起段階における相対的な励起率。

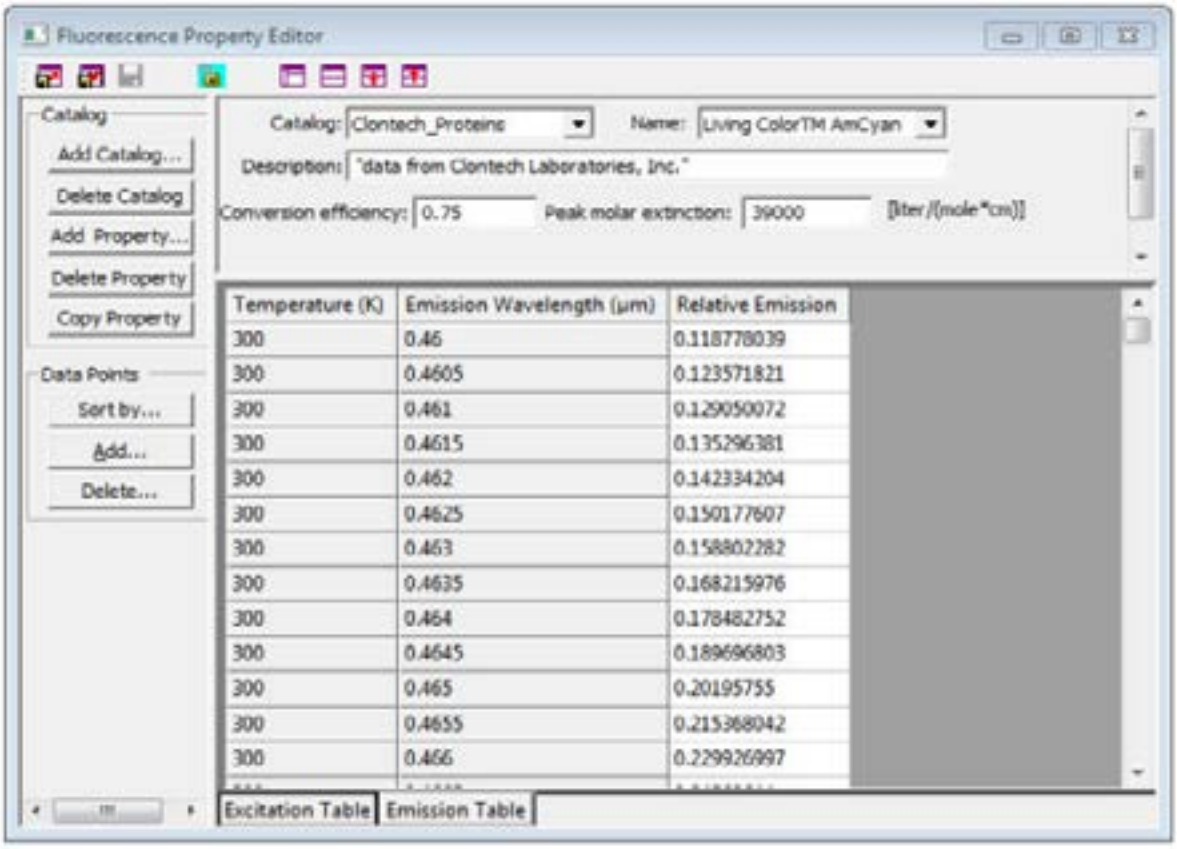


FIGURE 3.7 - Fluorescence Property Editor: Emission Table

以下の情報がテーブルに記録されます。

- 温度 (Temperature)、励起波長 (Excitation Wavelength): データポイント
- 相対発光 (Relative Emission): 発光段階における相対的な発光量。

これらのデータは、「データポイント」セクションの「追加」ボタンをクリックすることでテー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ブルに入力されます。つまり、ユーザーが実験や測定を行い、それぞれの温度、励起波長、相対発光量のデータを入力していくことで、発光テーブルが作成されます。

相対吸収、相対励起、相対発光値の正規化
蛍光スペクトル測定において、相対吸収、相対励起、相対発光の各値は通常、正規化されます。これは、測定されたスペクトルの形状を比較しやすくするためです。正規化により、ピーク強度の違いを排除し、スペクトルの形状のみに焦点を当てることができます。

蛍光プロパティジェネレーターの使用

蛍光プロパティジェネレーターは、公開されている吸収、励起、発光スペクトルのデータから蛍光プロパティを作成するためのツールです。このツールを使用することで、実験データに基づいて蛍光物質のプロパティを定義できます。

アクセス方法 : Define|Generate Property Data|Fluorescence Property を選択します。
機能 : 公開データから吸収、励起、発光スペクトルを生成します。
ヘルプ : 専用のヘルプシステムが組み込まれています。

蛍光計算

蛍光スペクトルの測定では、ピークモル吸光係数を自然対数（底 e）ではなく常用対数（底 10）で表すことが一般的です。これは、化学分野で常用対数が一般的に使用されるためです。

常用対数（底 10）の吸光係数 : 一般的に表示される吸光係数です。

自然対数（底 e）の吸光係数 : 物理学や一部の化学分野で使用されます。

与えられた情報から、蛍光スペクトルの測定と解析において、データの正規化、専用ツールによるプロパティ生成、および吸光係数の単位変換が重要な要素であることがわかります。

$$\mu_a^{10}(\lambda) = ab(\lambda) K_{peak} C_{molar}$$

ここで Kpeak は ab（λ）で相対吸収が最大値（1）を示す時のモル吸光係数、Cmolar はサンプルのモル濃度です。

厚さ t の試料を透過する透過率は

$$\tau = 10^{-\mu_a^{10} t}$$

TracePro の非蛍光マテリアルプロパティで使用される吸収係数は、常用対数（底 10）の吸収係数と以下の関係があります。

$$\mu_a = \mu_a^{10} \ln 10$$

これはランベルト・ベールの法則の吸光度に使用されています。厚さ t の透過率は以下の通りです。

$$\tau = e^{-\mu_a t}$$

TracePro 内部では、光線追跡（raytrace）のために光学吸収係数 μa が計算されます。相対励

起値（relative excitation values）についても同様のルールが適用されます。

重要な注意点

単位の統一 : 吸収係数（底 10 または底 e）と厚さ（t）は、計算式の有効性を確保するために同じ単位でなければなりません。例えば、吸収係数がミリメートル単位であれば、厚さもミリメートル単位でなければなりません。

ピークモル吸光係数（Kpeak）の単位 : TracePro はデフォルトでミリメートル単位で動作しますが、ピークモル吸光係数（Kpeak）は通常、逆センチメートル（1/cm）単位で提供されます。

これらの計算でセンチメートル単位を使用する際には、一貫性を保つ必要があります。
詳細 :

TracePro は、光線追跡を行う際に、物質内での光の吸収を計算するために光学吸収係数 μa を使用します。この係数は、光が物質を通過する際にどれだけ減衰するかを表します。

文章では、吸収係数と厚さの単位を統一することの重要性を強調しています。これは、計算式が正しい結果を出すために不可欠です。

また、ピークモル吸光係数の単位が逆センチメートルであることに注意を促しています。

TracePro のデフォルト単位がミリメートルであっても、ピークモル吸光係数を使用する際には、センチメートル単位で計算を行う必要があることを示しています。

つまり、TracePro で光学吸収係数を計算する際には、単位の統一に十分注意し、特にピークモル吸光係数の単位に注意する必要があるということです。

蛍光光線追跡

「蛍光光線追跡」は、2 つの段階で行われます。

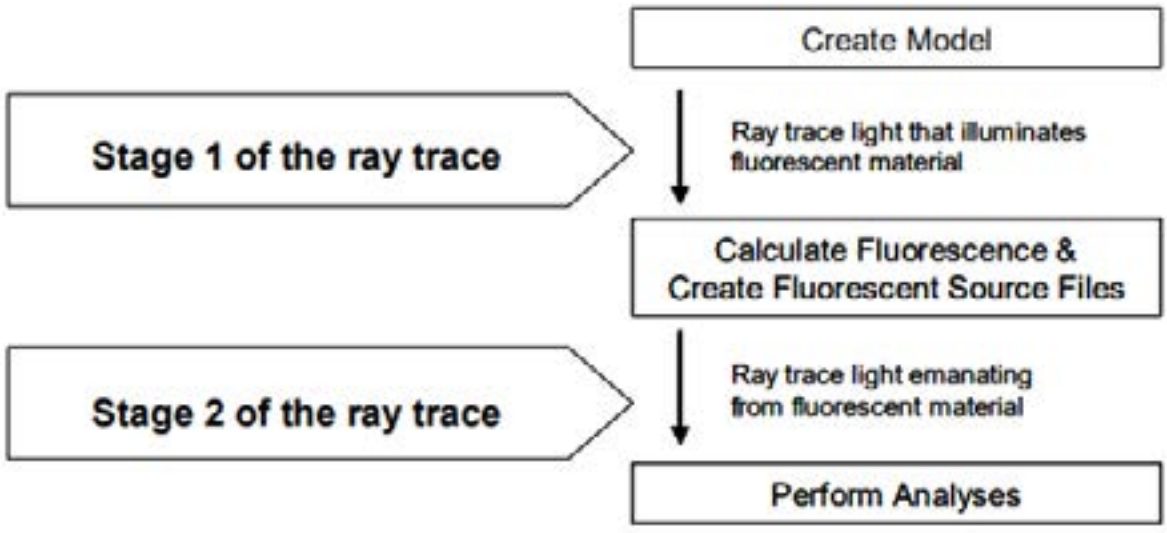


FIGURE 3.8 - Fluorescence ray trace involves two stages

ステージ 1：初期光線が TracePro モデル内で追跡されます。モデル内の蛍光物質の励起帯域内にあるソース波長はすべて、蛍光計算に関与します。蛍光発光波長帯の選択で定義された波長は、TracePro 内の蛍光物質の励起には無効であることに注意してください。この光線追跡の最終結果は、蛍光光線データを含む光線ファイルが作成されることです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ステージ 2：以前に生成された光線ファイルから、[プロパティの適用] ダイアログボックスの [蛍光] タブで各蛍光オブジェクトに対して定義された蛍光発光波長帯の中間点で蛍光光線が追跡されます。最高波長帯（$\lambda_N \sim \infty$）の場合、中間点が不明確であるため、蛍光波長は波長帯内の最低波長の 2 倍になります。つまり、$\lambda = 2\lambda_N$ となります。

図 3.9 は、プロパティと光線追跡データが蛍光モデリングプロセスの各ステップでどのように使用されるかを示しています。

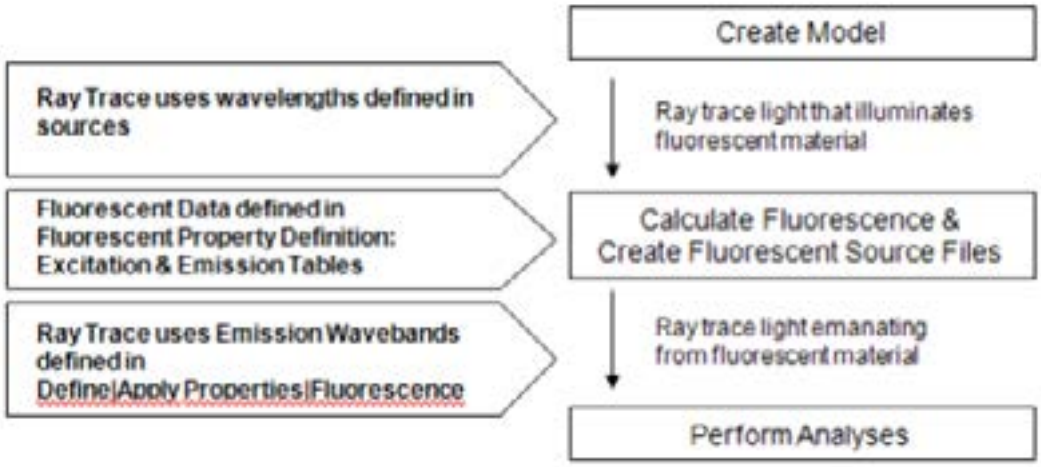


FIGURE 3.9 - Process to perform Fluorescence simulation in TracePro.

レイトレースオプション

蛍光オプション

「レイトレース | レイトレースオプション」ダイアログの「オプション」タブにあるチェックボックスを使用して、蛍光線の計算を有効にできます。蛍光オプションをチェックすると、関連するオプションが表示されます。

2 つの選択肢があるドロップダウンリストがあります。

放射波長を即座にトレース : 励起レイトレースの終了時に、放射レイトレースが自動的に開始され、放射線が励起線と「混合」されます。すべての照度マップ機能、カンデラプロット、フラックスレポートなどは、励起線の結果とともに蛍光放射線の結果を報告します。

放射ソースのみを生成 : 励起レイトレースの終了時に、放射線ファイルが生成されますが、放射線はトレースされません。次の手順で、後で任意にトレースできます。

a. モデル（または選択した任意のモデル）に放射線ファイルを挿入します。

b. ソースツリーまたはソース / 波長セレクターで他のすべてのソースを無効にします（またはモデル内の任意のサーフェスソースをゼロ線にするか、ソースプロパティを完全に削除する）

c. レイトレースオプションダイアログボックスで蛍光オプションのチェックを外します。

d. レイトレースを開始します。

ファイルソースを挿入 : 蛍光光線トレース中に、TracePro は蛍光放射をシミュレートするために線の発射位置と角度を生成します。これらの生成された線は、レイトレースの放射部分で使用するために線ファイルに保存されます。このオプションは、生成された線ファイルをモデル

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

に自動的に含めるために使用されます。

サーフェスソースプロパティ

サーフェスソースプロパティは、温度、波長、角度に対するサーフェスソースの放射を記述します。サーフェスソースプロパティを作成するには、プロパティのスペクトルタイプと角度タイプを選択します。

Spectral Types: スペクトル型	Angular Types: 角度型
Rectangular Lambertian 矩形ランバート	Gaussian Uniform: ガウス一様
Solar Gaussian　太陽ガウス	Table Solar: テーブル太陽
	Table テーブル

あらゆるスペクトルタイプは、あらゆる角度タイプと組み合わせることができます。プロパティを完全に特定するために必要なデータは、選択するタイプによって異なります。

サーフェスソースプロパティエディタ

TracePro では、サーフェスソースプロパティは名前で識別され、データベースに保存されます。

サーフェスソースプロパティエディタでは、サーフェスソースプロパティデータベースに存在するすべてのサーフェスソースプロパティを編集したり、新しいサーフェスソースプロパティを作成したりできます。

サーフェスソースエディタを開くには、**[定義 | プロパティデータの編集]** を選択し、次に **[サーフェスソースプロパティ]** を選択します。ダイアログボックスとして開く代わりに、エディタはウィンドウとして開きます。[ウィンドウ] メニューの下部にあるモデルを選択すると、モデルウィンドウに戻ることができます。

注：TracePro のメインメニューバーには、エディタウィンドウにいるときは異なるオプションが表示されます。サーフェスソースプロパティエディタウィンドウに入ったら、[ウィンドウ] メニューからモデル項目を選択するか、モデルウィンドウのタイトルバーをクリックするだけで、モデルウィンドウに戻ることができます。

サーフェスソースプロパティエディタには、いくつかの部分があります。

- カタログ、名前、説明
- スペクトルタイプと角度タイプ
- 放射
- 放射率スプレッドシート

放射値は、選択された単位で、ソースが放出する総フラックスまたは放射照度 / 照度を指定します。スプレッドシートの放射率の値は、重み付け係数としてのみ機能し、絶対放射率ではありません。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

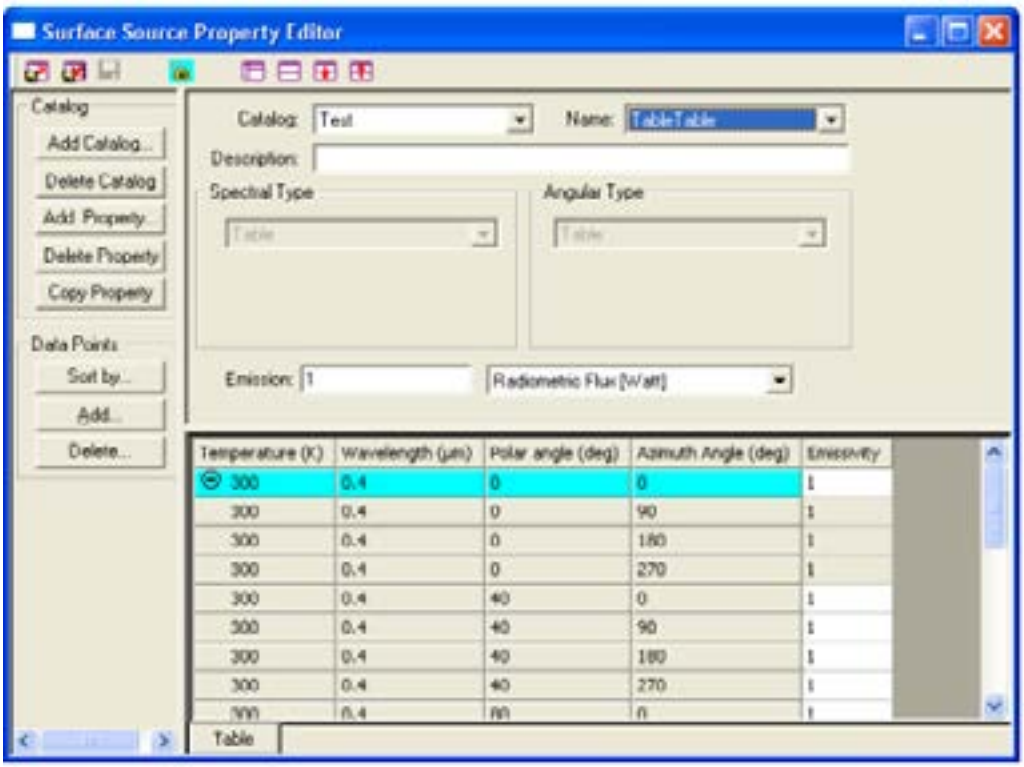


FIGURE 3.10 • The Surface Source Property Editor

表 3.7. サーフェスソースプロパティエディタのフィールド - 情報およびグリッドパネル

カタログ	カタログプロパティのカタログ名
名前 (Name)	名前ドロップダウンボックス。ドロップダウンリストから名前を選択するか、テキストボックスに名前を入力します。データベース内に名前が見つかると、そのデータが表示されます。
説明 (Description)	説明には、サーフェスソースプロパティに関する注記が含まれます。
スペクトルタイプ (Spectral Type)	スペクトルタイプには、プロパティの追加時に行われた選択が表示されます。テーブル以外のタイプの場合、スペクトルを指定するための追加のデータフィールドが利用可能です。
角度タイプ (Angular Type)	角度タイプには、プロパティの追加時に行われた選択が表示されます。テーブル以外のタイプの場合、角度形状を指定するための追加のデータフィールドが利用可能です。
放射 (Emission)	放射は、ソースから放射される総フラックスまたは放射照度 / 照度を指定します。ソースの単位の選択肢は、放射束（ワット）、光束（ルーメン）、放射照度（W/m^2）、または照度（ルクス）です。

新しいサーフェスソースプロパティの作成

新しいサーフェスソースプロパティエディタ作成する方法は以下の通りです。

1. 定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスソースプロパティを選択し、サーフェスソースプロパティエディタウィンドウを開きます。プロパティを追加したいカタログを選択するか、カタログの追加をクリックして新しいカタログを追加します。
2. プロパティの追加をクリックします。
3. 新しいプロパティの名前を入力し、スペクトルタイプと角度タイプを選択して、OK をクリックします。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

4. 上部のペインとスプレッドシートで、値を変更したい箇所を選択し、新しい値を入力してデータを編集します。テーブルスペクトルまたはテーブル角度タイプのプロパティの場合は、データポイントボックスの ** 追加 ...** ボタンを使用して新しい波長と角度を追加します。

5. ファイルメニューから保存を選択するか、サーフェスソースプロパティエディタを閉じ、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問にはいと答えます。

既存のサーフェスソースプロパティの編集

以下の手順は、サーフェスソースプロパティエディタで既存のプロパティを編集する方法を示しています。

1. 定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスソースプロパティを選択し、サーフェスソースプロパティエディタウィンドウを開きます。

2. 編集したいプロパティのカタログと名前を選択し、ロック解除を選択します。編集のためにプロパティをロック解除しないと変更はできません。TracePro に付属のプロパティは読み取り専用であり、ロック解除または編集はできません。

3. 変更を行い、ファイルメニューから保存を選択するか、サーフェスソースプロパティエディタを閉じ、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問にはいと答えます。

4. 編集したプロパティを確認します。更新されたプロパティは、今後の使用のためにサーフェスソースプロパティデータベースで利用可能になります。

サーフェスソースプロパティのエクスポート

以下の手順は、サーフェスソースプロパティ内で既存のプロパティをエクスポートする方法を示しています。

1. 定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスソースプロパティを選択し、サーフェスソースプロパティエディタウィンドウを開きます。

2. ドロップダウンリストからサーフェスソースプロパティのカタログと名前を選択します。

3. **ファイル | プロパティのエクスポート**を選択して、選択したサーフェスソースプロパティを定義する情報を含むテキストファイルを作成します。ダイアログボックスが表示され、ファイルの名前と場所を入力するように求められます。「勾配屈折率プロパティ形式」の詳細については、7.99 ページを参照してください。

サーフェスソースプロパティのインポート

以下の手順は、サーフェスソースプロパティ内で既存のプロパティをインポートする方法を示しています。

1. 定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスソースプロパティを選択し、サーフェスソースプロパティエディタウィンドウを開きます。

2. ファイル | プロパティのインポートを選択して、サーフェスソースプロパティの定義を含むテキストファイル（適切な形式）をインポートします。ダイアログボックスが表示され、インポートするファイルの名前と場所を入力するように求められます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

サーフェスソースプロパティジェネレータの使用

サーフェスソースプロパティジェネレータを使用すると、ソースの放射と方向および波長に関する公開されたデータからサーフェスソースプロパティを作成できます。サーフェスソースプロパティジェネレータには独自のヘルプシステムがあります。サーフェスソースプロパティジェネレータを開くには、**定義 | プロパティデータの生成 | サーフェスソースプロパティ**を選択します。

勾配屈折率プロパティ Standard Expert

勾配屈折率（GRIN）プロパティは、物体の範囲全体で屈折率が一定ではない材料を記述します。例としては、端から中心に向かって屈折率が変化するガラスレンズ（例えば、一部の眼鏡に見られるようなもの）や、断面全体で屈折率が変化する光ファイバー（例えば、ステップ型または勾配型光ファイバー）などがあります。これらの材料は、拡散、ゾルゲル、溶融など、さまざまな方法で製造されます。

勾配屈折率は、パラメータプロファイルに沿って屈折率を変化させます。勾配屈折率プロパティは、名前で識別され、データベースに保存されます。勾配屈折率プロパティエディタを使用すると、勾配屈折率プロパティを編集したり、新しい勾配屈折率プロパティを作成したりできます。「勾配屈折率プロファイル多項式」の詳細については、7.9 ページを参照してください。

注意：勾配屈折率プロパティエディタの「タイプ」ドロップダウンボックスにあるタイプの 1 つである「GRADIUM」は、異なる扱いをする必要があります。GRADIUM は、独自のデータ処理を行う企業の商標です。他のものとは異なり、GRADIUM 勾配屈折率はマテリアルプロパティデータを含み、マテリアルプロパティとの関連付けを必要としません。このような場合、「Gradium」タイプのものにはマテリアルプロパティを適用しないでください。

他のすべての勾配屈折率プロパティについては、基本屈折率を提供するためにマテリアルプロパティを適用する必要があります。例えば、図 3.11 に示すデータを使用して、軸方向 - 半径方向プロファイルを定義できます。

勾配屈折率プロパティエディタ

TracePro では、材料の GRIN プロパティは名前で識別され、データベースに保存されます。

勾配屈折率プロパティエディタを使用すると、GRIN プロパティデータベースに存在するすべての GRIN プロパティを編集したり、新しい GRIN プロパティを作成したりできます。

GRIN エディタを開くには、**「定義 | プロパティデータの編集」**を選択し、**「勾配屈折率プロパティ」**を選択します。ダイアログボックスとして開く代わりに、エディタはウィンドウとして開きます。「ウィンドウ」メニューからモデル項目を選択すると、モデルウィンドウに戻ることができます。

注意：エディタウィンドウにいる場合、メニューバーには異なるオプションセットが表示されます。勾配屈折率プロパティエディタウィンドウにいる場合、「ウィンドウ」メニューからモデル項目を選択すると、モデルウィンドウに戻ることができます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

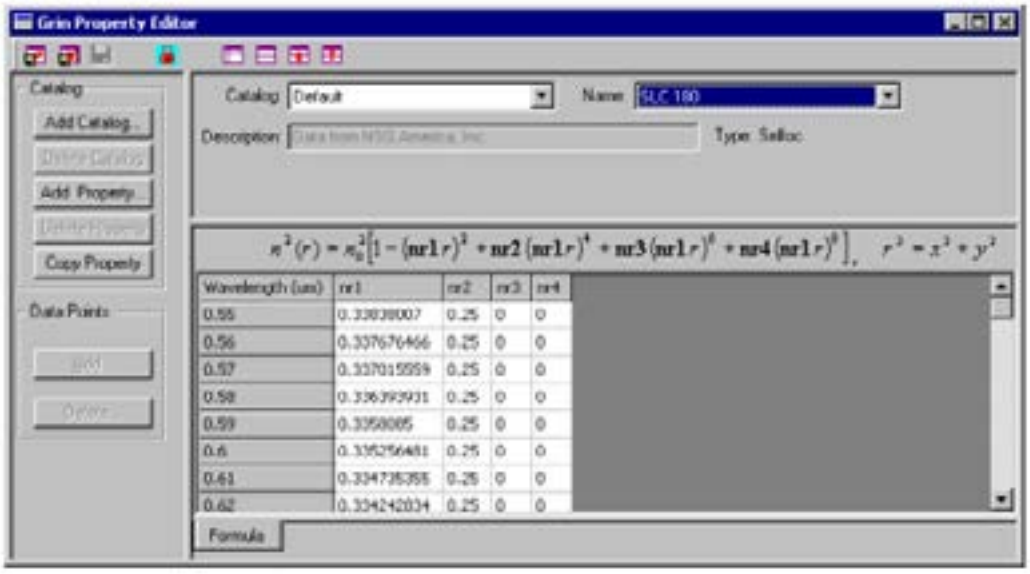


FIGURE 3.11 - The Gradient Index Property Editor

テーブル 3.8 は、「勾配屈折率プロパティエディタ」の「情報」パネルと「グリッド」パネルに表示されるフィールドです。

カタログ	プロパティのカタログ名
名前（Name）	勾配プロパティの名前をドロップダウンボックスから選択するか、テキストボックスに直接入力します。入力された名前がデータベースに存在する場合、そのプロパティのデータが表示されます。
説明（Description）	勾配プロパティに関するメモや説明が含まれます。
タイプ（Type）	プロパティ定義時に選択された勾配指数プロファイルの種類を示します。詳細は「勾配指数プロファイル多項式」(7.9 ページ参照)に記載されています。
係数（Coefficients）	各勾配タイプには、プロファイル多項式に対応する係数のセットが関連付けられています。

新しい屈折率勾配プロパティの作成

以下の手順は、屈折率勾配プロパティ内で新しいプロパティを作成する方法を示しています。

1. 「定義｜プロパティデータ編集｜屈折率勾配プロパティ」を選択し、屈折率勾配プロパティエディタウィンドウを開きます。
2. 「プロパティ追加」を選択します。
3. 新しいプロパティの名前を入力し、タイプを入力するかドロップダウンボックスから選択し、初期波長の値を入力します。
4. スプレッドシート内の係数を編集するには、値を選択し、変更後の値を入力します。
5. ファイルメニューから「保存」を選択するか、屈折率勾配プロパティエディタを閉じ、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」では「はい」(Yes(と答えてください。

既存の屈折率勾配プロパティを編集する

以下の手順は、屈折率勾配プロパティ内の既存のプロパティを編集する方法を示します。

1. **定義 | プロパティデータ編集 | 屈折率勾配プロパティ**を選択して、屈折率勾配プロパティエディタウィンドウを開きます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

2. ロック解除を選択します。編集のためにプロパティをロック解除しないと、変更を加えることはできません。TracePro に付属のプロパティは読み取り専用であり、編集できません。
3. ファイルメニューから保存を選択するか、屈折率勾配プロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。
4. 編集したプロパティを確認します。更新されたプロパティは、今後の使用のために屈折率勾配プロパティデータベースで利用可能になります。

屈折率勾配プロパティをエクスポートする

以下の手順は、屈折率勾配プロパティ内の既存のプロパティをエクスポートする方法を示します。

1. **定義 | プロパティデータ編集 | 屈折率勾配プロパティ**を選択して、屈折率勾配プロパティエディタウィンドウを開きます。
2. ドロップダウンリストから屈折率勾配プロパティを選択します。
3. ファイル | プロパティエクスポートを選択して、選択した屈折率勾配プロパティを定義する情報を含むテキストファイルを作成します。ダイアログボックスが表示され、ファイルの名前と場所を入力するように求められます。「屈折率勾配プロパティフォーマット」の詳細については、7.99 ページを参照してください。

屈折率勾配プロパティをインポートする

以下の手順は、屈折率勾配プロパティ内の既存のプロパティをインポートする方法を示します。

1. 定義 | プロパティデータ編集 | 屈折率勾配プロパティを選択して、屈折率勾配プロパティエディタウィンドウを開きます。
2. ファイル | プロパティインポートを選択して、屈折率勾配プロパティの定義を含むテキストファイル（適切なフォーマット）をインポートします。ダイアログボックスが表示され、インポートするファイルの名前と場所を入力するように求められます。

サーフェスプロパティ

サーフェスプロパティは、サーフェスでの吸収率、BRDF（双方向反射率分布関数）、BTDF（双方向透過率分布関数）、鏡面反射率、透過率を定義します。TracePro では、サーフェスプロパティは名前とカタログによって識別され、データベースに保存されます。

BRDF や BTDF などのサーフェスプロパティの構成要素の詳細な説明については、7.15 ページにある「BSDF」に関する情報を参照してください。

サーフェスプロパティデータベースの使用

TracePro には、事前定義されたサーフェスプロパティで満たされたデータベースがリソースとして存在します。サーフェスプロパティエディタを使用して独自のサーフェスプロパティを追加できます。エディタは別のウィンドウです。サーフェスプロパティウィンドウに入ったら、ウィンドウメニューからモデルウィンドウを選択して戻ることができます。

サーフェスプロパティデータベースのレコードを編集するには、**[定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ]** を選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- サーフェスプロパティエディタを使用すると、既存のユーザー定義プロパティのデータ型、説明、およびデータエントリを変更できます。
- エディタは、入射角、波長、温度ごとにデータの行を表示するスプレッドシートスタイルのウィンドウです。
- 複数の波長、温度、入射角に対してデータを入力できます。TracePro は、テーブルタイプのデータに対してレイ追跡中に波長、温度、角度の間で線形補間を実行します。
- サーフェスプロパティの名前とカタログはモデルデータに適用され、TracePro プロパティデータベースからデータを検索するための参照を提供します。
- サーフェスプロパティは、いくつかのタイプのデータを使用して入力できます。3.26 ページの表 3.10「サーフェスプロパティタイプ」を参照してください。
- 散乱、つまり BSDF データは、いくつかの散乱モデルのいずれかに基づいてサーフェスに入力できます。透過（BTDF）と反射（BRDF）の散乱は、サーフェスプロパティの各温度、波長、角度のデータテーブルに入力されます。「BSDF」の詳細については、7.15 ページを参照してください。

サーフェスプロパティエディタの使用

[定義 | プロパティの編集 | サーフェスプロパティ] を選択してエディタウィンドウを開きます。

サーフェスプロパティエディタには、以下のセクションで説明されているように、いくつかのエントリがあります。特に、単一の名前で、複数の温度、波長、入射角のプロパティを入力できます。

テーブル 3.9 サーフェスプロパティ情報パネルに使用されるフィールド

カタログ名	ドロップダウンリストから選択されたプロパティカタログの名前。
名前	「名前」ドロップダウンリストから名前を選択するか、データに含まれていないサーフェスプロパティの名前を入力します。サーフェスプロパティの名前は、TracePro のすべての部分でその参照として機能します。入力した名前がデータベース内のコーティングの名前と一致する場合、そのデータはサーフェスプロパティエディタのスプレッドシート部分に表示されます。新しいサーフェスプロパティを追加するときは、最初にその名前を入力するように求められます。これは、サーフェスプロパティを定義するために必要な最小限のデータであるためです。
説明	説明はオプションです。名前だけでは十分に説明できないサーフェスプロパティをより詳細に説明するための場所を提供します。
タイプ	次のドロップダウンリストから選択します。フレネル、テーブル、スタック、グレーティング、異方性、またはコーティング DLL。新しいプロパティを定義すると、デフォルトで「テーブル」タイプが表示され、「計算対象」フィールドがアクティブになり、計算する値の選択を待ちます。3.26 ページの表 3.10「サーフェスプロパティタイプ」を参照してください。
散乱	プロパティで使用される散乱モデルを表示します。散乱モデルは、プロパティの追加ダイアログで選択することにより、プロパティが作成されるときに選択されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

再帰反射	サーフェスに透過ではなく再帰反射のプロパティを与えるには、このチェックボックスをオンにします。新しいサーフェスプロパティを定義すると、デフォルトで「再帰反射」ボックスがオフになります。サーフェスを再帰反射としてモデル化するサーフェスプロパティを作成するには、「再帰反射」ボックスをオンにします（注：グレーティングタイプでは「再帰反射」は使用できません）。「再帰反射」チェックボックスをオンにすると、鏡面透過率と BTDF の列が鏡面再帰反射率と BRRDF（双方向再帰反射分布関数）に変更されます。これにより、鏡面再帰反射係数と再帰反射方向を参照する散乱を入力できます。再帰反射面では透過は許可されません。BRRDF は実際にはサーフェスプロパティの総 BRDF への寄与因子であることに注意してください。サーフェスの実際の総 BRDF は、TracePro BRDF と BRRDF の合計に等しくなります。
偏光 Standard Expert	このチェックボックスをオンにすると、偏光項が表示され、S 偏光と P 偏光の列、およびプロパティの鏡面反射成分の位相データが追加されます。
スタック Standard Expert	「スタック」ドロップダウンリストには、利用可能な薄膜スタック定義の選択肢が表示されます。これは、スタックタイプのサーフェスプロパティに対して表示されます。サーフェスプロパティで使用する前に、スタックエディタを使用してスタックを定義する必要があります。3.44 ページの「薄膜スタック」を参照してください。
間隔	グレーティングサーフェスプロパティの場合、プロパティのグレーティング間隔を提供する「間隔」エントリが表示されます。
サイド 1/2 マテリアルプロパティ Standard Expert	方向依存性のある特性に使用されます。これは、特性の各面に適用されるマテリアルを定義します。プロパティ値は、光線がどちらの側面に当たるかに応じてサーフェスの挙動を定義するために、サイド 1 とサイド 2 のパネルに入力されます。

DLL 名 Standard Expert	コーティング DLL サーフェスタイプの場合、使用されるユーザー定義コーティング DLL のパスとファイル名を提供する「DLL 名」と「参照」ボタンが表示されます。7.28 ページの「ユーザー定義サーフェスプロパティ」を参照してください。

以下の表は、TracePro でサポートされているサーフェスプロパティの種類を説明しています。

TABLE 3.10. サーフェスプロパティタイプ

フレネル (Fresnel)	フレネルタイプは、サーフェスにコーティングが施されていないことを前提とし、TracePro はサーフェスの両側のオブジェクトのマテリアルプロパティデータを使用してフレネル反射と透過を計算します。散乱データを含めることができます。フレネルタイプは、微細な粗さによる散乱、つまりシフト不変に従う散乱を持つ、コーティングされていない研磨された光学サーフェスに使用します。このサーフェスプロパティタイプは、拡散サーフェスを意図したものではなく、正しく機能しません。このトピックの詳細については、7.26 ページの「レイトレース中のフレネル係数の計算」を参照してください。
テーブル (Table)	テーブルタイプは、さまざまな入射角、波長、温度のデータをテーブルタイプで保存します。反射率と透過率は、偏光項の有無にかかわらず入力できます。散乱項を含めることができ、データは「解決」機能を使用できます。通常、テーブルタイプのデータは測定から得られます。
スタック (Stack) Standard Expert	スタックタイプは、薄膜スタックとサーフェスの両側のオブジェクトのマテリアルプロパティデータを使用して、正反射データを計算します。偏光効果はスタック計算に含まれます。散乱データは、グリッドパネルにテーブルタイプで追加できます。3.44 ページの「薄膜スタック」を参照してください。
グレーティング (Grating) Standard Expert	グレーティングタイプはテーブルタイプに似ていますが、正反射と透過のエントリは、エディタのグリッドパネルに入力された反射および透過グレーティング効率から計算されます。光線は、定義されたグレーティング次数ごとに分割されます。散乱データを含めることができ、データは「解決」機能を使用できます。グレーティングパラメータは、GSolver[4] からインポートすることもできます。グレーティングタイプは方位角の入力を許可するため、異方性グレーティングを定義できます。
方向依存 (Direction Sensitive) Standard Expert	このタイプでは、光線が当たる側によって異なる動作をするサーフェスプロパティを許可します。プロパティの各側にはマテリアルプロパティが割り当てられ、側面 1 および側面 2 として指定されたそれぞれのサーフェス側のプロパティ値を定義するための入力タブが含まれます。3.29 ページの「方向依存プロパティ」を参照してください。方向依存タイプは方位角の入力を許可するため、異方性サーフェスを定義できます。
異方性 (Anisotropic) Standard Expert	異方性タイプはテーブルタイプで入力され、入射角、波長、温度ごとに 1 つ以上の方位角が含まれます。散乱データを含めることができ、データは「解決」機能を使用できます。7.26 ページの「異方性サーフェスプロパティ」を参照してください。

4 GSolver (http://www.gsolver.com/gsprod.html) is a diffraction grating design and analysis software program produced by Grating Solver Development Co. GSolver now includes an option to export a TracePro grating type surface property which can then be imported into TracePro. See “Importing a Surface Property” on page 3.31.

株式会社 ノーツアンドクロス

コーティング DLL (Coating DLL) Expert	このタイプは、ユーザーが提供する DLL を使用して、プロパティの正反射成分を計算します。散乱データはグリッドパネルに含めることができます。7.28 ページの「ユーザー定義サーフェスプロパティ」を参照してください。
HOE (Holographic Optical Element)	ホログラフィック光学素子は、2 つの球面波の干渉によって形成されるホログラフィックサーフェスです。回折格子のように動作し、不要な回折次数による迷光をシミュレートするために、目的の回折次数に加えて回折次数を定義できます。
CGH (Computer Generated Hologram)	コンピュータ生成ホログラムタイプを使用すると、多項式表現を使用してホログラムの位相を直接指定できます。3 つの多項式タイプを使用できます。対称 (Symmetric) 非対称 x-y(Asymmetric x-y) 非対称 x-y 絶対値 (Asymmetric x-y absolute value)CGH プロパティは回折格子のように動作し、不要な回折次数による迷光をシミュレートするために、目的の回折次数に加えて回折次数を定義できます。標準 (Standard) エキスパート (Expert)
ゼルニケ位相 (Zernike Phase) 標準 (Standard) エキスパート (Expert)	このタイプでは、ゼルニケ多項式の系列として位相を直接指定できます。散乱データはグリッドパネルに含めることができます。ゼルニケ位相プロパティは回折格子のように動作し、不要な回折次数による迷光をシミュレートするために、目的の回折次数を定義できます。標準 (Standard) エキスパート (Expert)

表 3.11. 散乱モデルの選択

ABg	回転対称な BSDF のための 3 つのパラメータを持つ数学モデル。
楕円 ABg	非対称で楕円的に補間された ABg 散乱モデル。
楕円ガウス	直交する方向にある 2 つのガウス関数の積。2 つの分散値を等しく設定することで、円形のガウス関数も作成可能。
テーブル BSDF	| β - β 0| に対する BSDF 値のテーブルを持つ回転対称な BSDF モデル。
非対称テーブル BSDF	TracePro が提供する最も一般的な完全非対称 BSDF モデル。 β - β 0 の半径方向成分と方位角成分に対する値のテーブルを入力。
1D ABg	二軸対称性を持つ BSDF モデル。局所的な x 方向の ABg モデルと局所的な y 方向のガウス関数の積であり、散乱半球の狭いスライスに光を散乱させるサーフェスのモデル化に使用される。
1D テーブル	1D ABg モデルと同様に、局所的な x 方向の挙動は BDSF 値のテーブルによって決定される。テーブルは、局所的な x 軸に沿った非対称性を可能にするために、(β - β 0)x の正と負の値を使用できる。
BSDF プロパティを使用	サーフェスプロパティ内で BSDF を明示的に定義する代わりに、BSDF データベースから 1 つ以上の BSDF プロパティを使用。

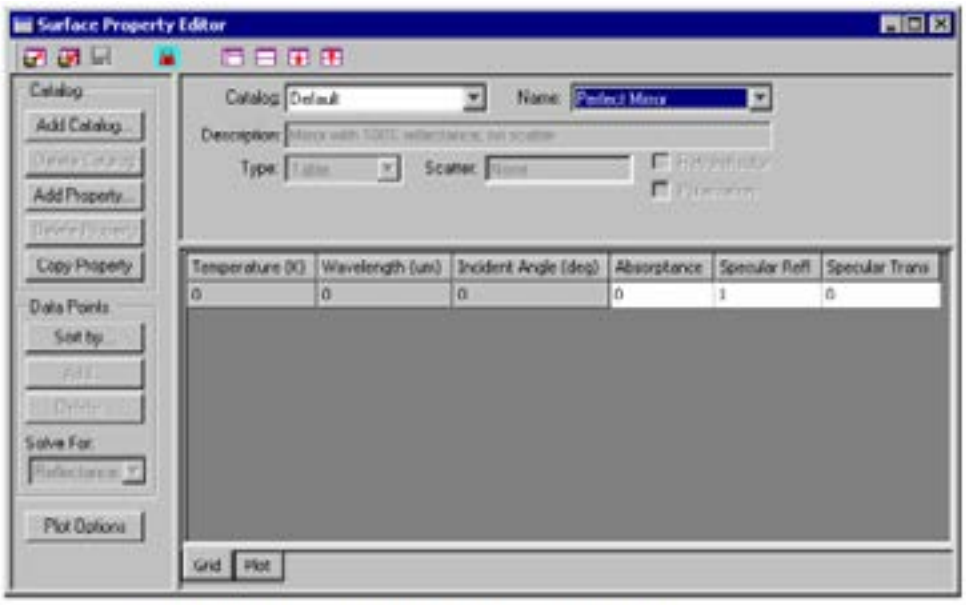


FIGURE 3.12 - The Surface Property Editor

「Solve for（解を求める）」について

「Solve for（解を求める）」機能は、エディタのスプレッドシート上の値を使用して、「Solve for（解を求める）」ドロップダウンリストで指定された値を算出します。正確な結果を得るには、値がエネルギー保存の法則に従っている必要があります。つまり、吸収率、正反射率、正透過率、積分 BRDF、および積分 BTDF の合計が 1 になる必要があります。TracePro は、エネルギーを保存しないプロパティの保存を許可しません。

「Solve for（解を求める）」は、Table（テーブル）、Anisotropic（異方性）、および Grating（グレーティング）タイプのプロパティでのみ使用可能です。「Type（タイプ）」フィールドが「Table」、「Anisotropic」、または「Grating」に設定されている場合、「Solve for（解を求める）」フィールドがアクティブになります。

Table および Anisotropic タイプの場合、「Solve for（解を求める）」を選択して、次のいずれかの値を導出します。

- 吸収率
- 正反射率
- 正透過率
- BRDF
- BTDF（または BRRDF）

Grating タイプの場合、「Solve for（解を求める）」を選択して、次のいずれかの値を導出します。

- 吸収率
- BRDF
- BTDF

「Solve for（解を求める）」ドロップダウンリストには「NONE（なし）」も選択可能です。「NONE（なし）」を選択し、計算結果が合わない値を入力した場合、エディタを閉じることができず、メッセージが表示されます。たとえば、吸収率が 0.3 に設定され、他のすべての値がゼロの場合、メッ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

セージが表示されます。解を求める機能が無効になっている場合でも、エディタは数値の合計が 1 であるかどうかをチェックします。

FIGURE 3.13 - Conservation Warning Dialog.

例：鏡の新しいサーフェスプロパティを開発する場合

測定データから BRDF（双方向反射率分布関数）を知っており、おそらく公開されたデータや測定から吸収率も知っているでしょう。完全なサーフェスプロパティを入力するには、次の手順を実行します。

1. 測定値に従って BRDF の A、B、g を入力します。
2. 吸収率を入力します。
3. 「計算対象」ドロップダウンボックスから「反射率」を選択します。

「反射率」を選択すると、鏡面反射率のエントリが更新されます。

方向依存プロパティ

「方向依存」サーフェスは、サーフェスプロパティにさらなる柔軟性を提供します。プロパティを定義する際には、側面 1 と側面 2 の媒体を選択する必要があります。

注：マテリアルプロパティを「<None>」にする場合は、どのカタログを使用してもかまいません。つまり、Schott | <None>、OHARA | <None>、HOYA | <None> はすべて同等です。

- 「方向依存」サーフェスを作成する場合、側面 1 のマテリアルプロパティと側面 2 のマテリアルプロパティを指定します。これは、回折格子の効率を界面の両側の媒体に一致させるように定義されます。
- 光線追跡時、TracePro はこの情報を使用して、光線がサーフェスに入射したときにどちらの効率セット（側面 1 または側面 2）を使用するかを決定します。
- サーフェス交点において、TracePro は入射媒体がプロパティに割り当てられた 2 つの媒体のいずれかであるかどうかを確認します。

1. 入射媒体が定義されたマテリアルプロパティのいずれにも一致しない場合、TracePro は警告を発し、側面 1 のデータが使用されることを通知します。
2. TracePro が一致するものを見つけた場合、一致する側のデータを使用します。

- TracePro は、交点の反対側（透過側）の媒体も確認します。

1. 透過側が一致しない場合、TracePro はメッセージウィンドウに警告を表示します。
2. 透過側が一致する場合、警告は不要です。モデルは意図したとおりに設定されています。

方向感度サーフェスについて

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

方向依存サーフェスの場合、サーフェスプロパティエディタには、各面の効率を入力するための個別のページが含まれています（サーフェスプロパティエディタウィンドウの下部にある「面 1」と「面 2」のタブを参照）。

温度、波長、入射角、方位角、および回折次数は、プロパティの両面で完全に同期されます。これらのパラメータのいずれかがプロパティに追加されると、両面に同時に追加されます。

新しいサーフェスプロパティの作成

以下の手順は、サーフェスプロパティ内で新しいプロパティを作成する方法を示しています。

1. **「定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ」**を選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. 「プロパティの追加」をクリックし、新しいプロパティの名前と初期角度および初期波長の値を入力します。
4. 値を変更するには、値を単に選択して変更を加えます。
5. サーフェスプロパティエディタウィンドウ内で**「ファイル | 保存」**を選択するか、サーフェスプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。これで、新しいプロパティが将来の使用のためにプロパティデータベースで利用可能になります。

既存のサーフェスプロパティの編集

以下の手順は、サーフェスプロパティ内で既存のプロパティを編集する方法を示しています。

1. 「定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ」を選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. ドロップダウンの名前カタログからプロパティの名前を選択します。
4. ツールバーのロックアイコンを押して、編集を有効にします。読み取り専用のプロパティは変更できません。事前定義された製造元のプロパティは、テキスト形式にエクスポートし、ステータスをユーザー定義に変更して、TracePro に再インポートしない限り編集できません。最新情報については、「サーフェスインポート / エクスポート形式ヘルプ」のトピックを参照してください。
5. 変更する値を選択し、新しいデータを入力します。
6. 「ファイル | 保存」を選択するか、サーフェスプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。編集されたプロパティがサーフェスプロパティデータベースで利用可能になります。

サーフェスプロパティのエクスポート

以下の手順は、サーフェスプロパティ内の既存のプロパティをエクスポートする方法を示しています。

1. **「定義 | プロパティデータ編集 |** サーフェスプロパティ」を選択して、サーフェスプロパティ

エディタウィンドウを開きます。

2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. ドロップダウン名前カタログからプロパティの名前を選択します。
4. **「ファイル | プロパティエクスポート」**コマンドを使用して、選択したサーフェスプロパティの情報を含むテキストファイルを作成します。ダイアログボックスが表示され、作成するテキストファイルの名前と場所を入力するように求められます。TracePro がこれらのファイルに使用する形式の詳細については、TracePro ヘルプファイルの「サーフェスインポート / エクスポート形式」セクションを参照してください。エクスポートされたファイルはタブ区切りのテキストファイルであり、スプレッドシートプログラムで開くことができます。

サーフェスプロパティのインポート

以下の手順は、サーフェスプロパティ内のプロパティをインポートする方法を示しています。

1. **「定義 | プロパティデータ編集 | サーフェスプロパティ」**を選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. **「ファイル | プロパティインポート」**コマンドを使用して、サーフェスプロパティの情報を含むテキストファイル(適切な形式)をインポートします。ダイアログボックスが表示され、インポートするファイルの名前と場所を入力するように求められます。TracePro がこれらのファイルに使用する形式の詳細については、TracePro ヘルプファイルの「サーフェスインポート / エクスポート形式」セクションを参照してください。

サーフェスプロパティプロットタブ

サーフェスプロパティプロッタは、サーフェスの光学プロパティを評価します。多くのプロパティは、波長、角度、またはその他のパラメータによって変化します。プロパティプロッタは、表示パラメータを定義するオプションを使用して、そのようなプロパティの視覚化を提供します。波長または入射角に対する性能のプロットを作成できます。プロッタは TracePro モデルから独立しており、異なるサーフェスプロパティの組み合わせを評価するために「What if」スタディを実行するために使用できます。

図 3.14 では、波長に対して測定された AR コーティングされた Schott BK7 ガラスのプロットが表示されます。

サーフェスプロパティエディタから、エディタの「プロット」タブをクリックします。選択したプロパティが、現在のプロットオプションのセットで表示されます。

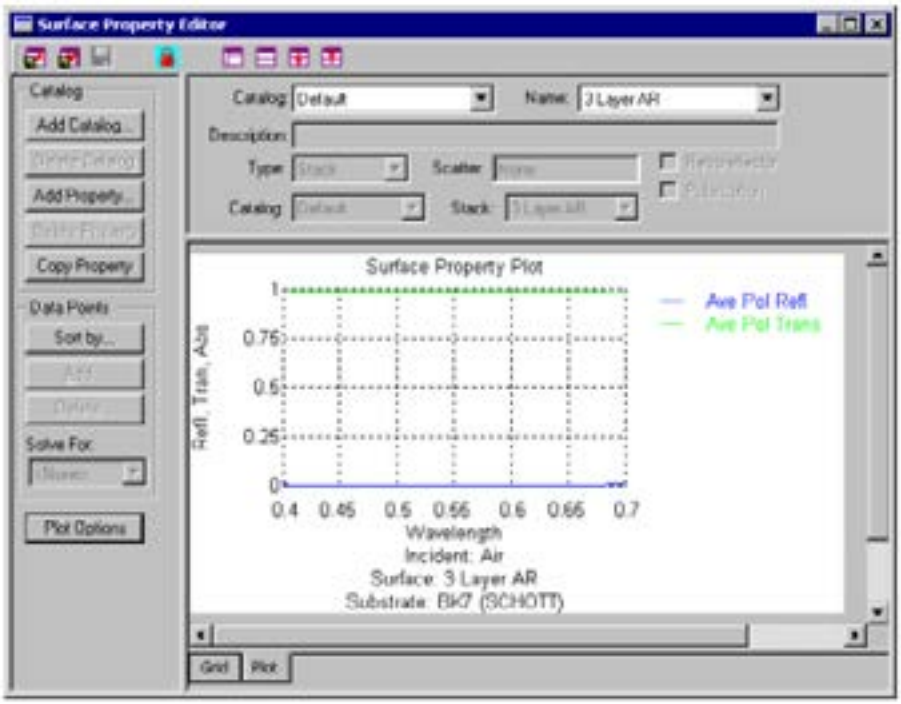


FIGURE 3.14 - Surface Property Editor Window

計算で使用される表示パラメータや材料を修正するには、「プロットオプション」ボタンを選択してプロットパラメータを修正してください。

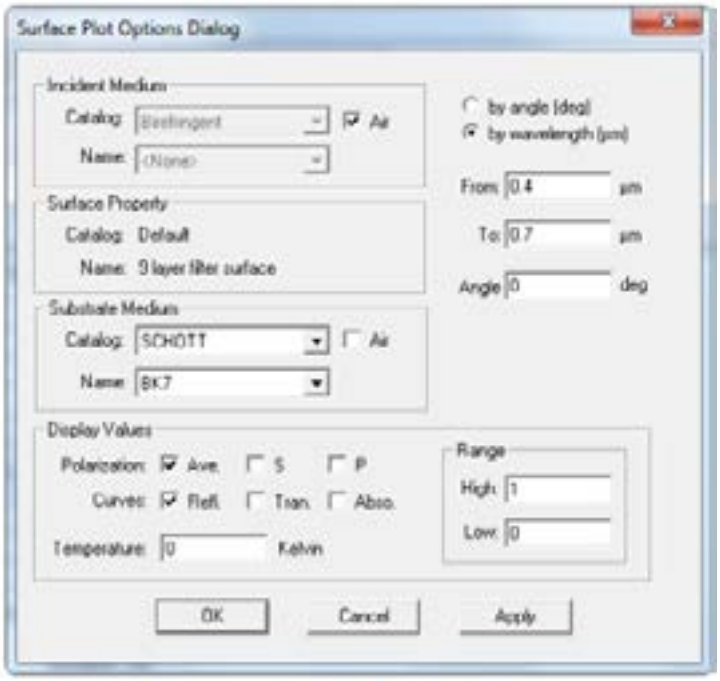


FIGURE 3.15 - Surface Plot Options Dialog

入射媒質（Incident Medium）

プロットされるサーフェスプロパティの一方の界面となる物質を選択してください。この選択は、光線がサーフェスに到達する前に通過する物質を指定します。

カタログ	ドロップダウンリストから適切な光学材料のカタログを選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

「空気」	チェックボックスにチェックマークが入っている場合、このボックスはグレー表示になります。
名前	ドロップダウンリストから入射媒体のプロパティ名を選択します。
「空気」	チェックボックスにチェックマークが入っている場合、このボックスはグレー表示になります。
空気	光線がプロットされるサーフェスプロパティに到達する前に光線の経路に物体がない場合は、「空気」チェックボックスにチェックマークを入れます。

基板媒体

カタログと名前を選択して基板媒体のマテリアルプロパティを選択するか、光線が出射するサーフェスプロパティ側に物体や界面が存在しないことを示すために「空気」を選択します。

カタログ	ドロップダウンリストから適切な光学材料のカタログを選択してください。
名前	名前のドロップダウンリストから基板媒体の名前を選択してください。
空気	光線がサーフェスプロパティの側面から出て行く場所に物体や界面が存在しないことを示すために、空気のチェックボックスにチェックマークを入れて、空気を選択してください。

角度（度）で

角度の範囲を度で、波長をミクロン単位で入力してください。

from	角度範囲の開始値を 0 から 90 の間の任意の数で入力してください。
to	角度範囲の終了値を 0 から 90 の間の任意の数で入力してください。
wave (um)	波長をマイクロメートル（um）単位で入力してください。

波長（μ m）別

波長の範囲と角度を入力してください。

from	長範囲の開始番号を入力してください。
to	波長範囲の終了番号を入力してください。
angle	角度を入力してください [任意の数 0-90]。

値の表示

プロットする曲線を選択してください。偏光と温度は、これらのパラメータに入力されたデータのレベルに応じて曲線を変化させる可能性があります。偏光の選択がない場合、一部の曲線はプロットできません。

偏光選択	Ave（平均）、S（S 軸）、P（P 軸）のうち、1 つ以上のチェックボックスにチェックを入れて選択してください。
曲線選択	Refl（反射）、Tran（透過）、Abso（吸収）のうち、1 つ以上のチェックボックスにチェックを入れて選択してください。
温度	テキスト入力ボックスにケルビン単位で温度を入力してください。
範囲	プロットの縦軸の最小値と最大値を入力してください。

テーブルタイプ BSDF

TracePro は、テーブルタイプ BSDF モデルと非対称テーブルタイプ BSDF モデルという 2 種類のテーブルタイプ BSDF モデルをサポートしています。テーブルタイプ BSDF モデルを使用す

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

るには、| β - β 0| の半径成分に対する BSDF 値の表を入力します。7.16 ページの「ハーベイ・シャック BSDF」を参照してください。レイトレース中、TracePro はテーブルタイプの値の間を線形補間します。非対称テーブルタイプ BSDF モデルを使用するには、| β - β 0| の半径成分と方位角成分に対する BSDF の二次元表を入力します。レイトレース中、TracePro は二次元表を双線形補間して BSDF を決定します。テーブルタイプ BSDF モデルの選択は、TracePro サーフェスプロパティが異方性であるかどうかとは独立しています。

テーブルタイプ BSDF プロパティの作成

テーブルタイプ BSDF でサーフェスプロパティを作成するには：

1. **「定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ」**を選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. 「プロパティの追加」をクリックします。図 3.16 に示すように「新しいサーフェスプロパティの入力」ダイアログボックスが表示されたら、散乱モデルリストから「テーブルタイプ BSDF」を選択し、新しいプロパティの名前と初期角度および初期波長の値を入力して、「OK」をクリックします。
4. 値を単に選択して変更することで、他の値を編集します。
5. サーフェスプロパティエディタウィンドウ内で**「ファイル | 保存」**を選択するか、サーフェスプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。新しいプロパティは、今後の使用のためにプロパティデータベースで利用可能になります。

FIGURE 3.16 - Selecting Table BSDF from the Scatter Model list in the Enter New Surface Property dialog box.

新しい Table BSDF（双方向散乱分布関数）のサーフェスプロパティは、図 3.17 に示すようにスプレッドシートに表示されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

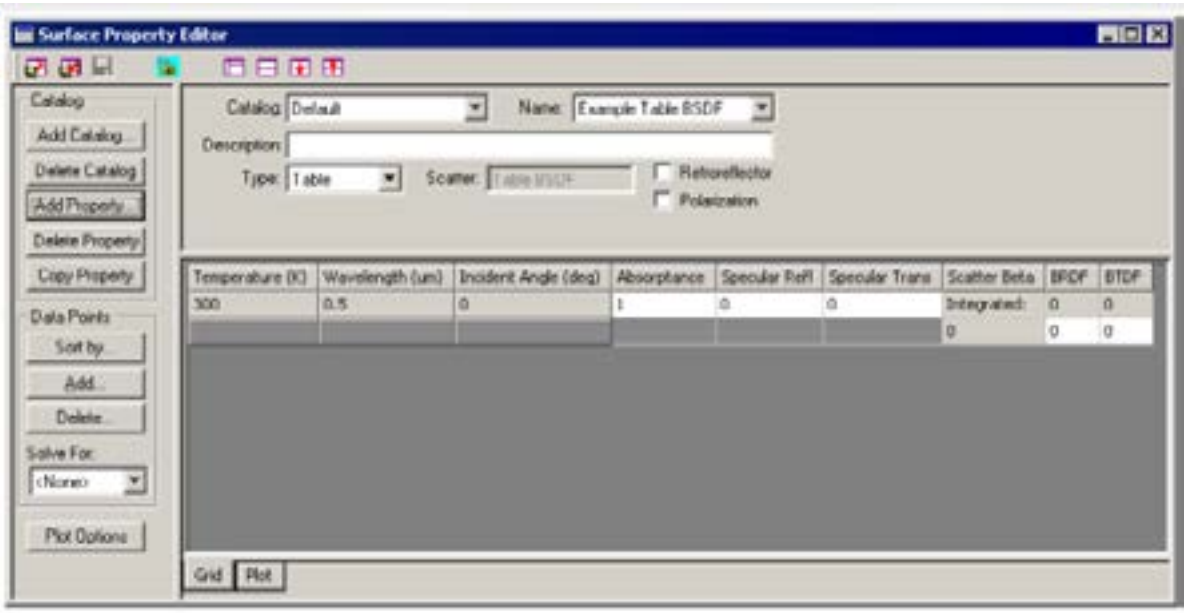


FIGURE 3.17 - Surface Property editor created with Table BSDF type.

スプレッドシートの右側には、散乱ベータ、BRDF、および BTDF の列があります。散乱ベータ列は、BRDF と BTDF の両方を表にするための | β - β 0| の値を提供します。これらの値は、サーフェスプロパティの入射角の値とは独立しています。提供された入射角の最初の行（3 列目に表示）は、この角度の積分 BRDF と BTDF を提供します。積分 BRDF と BTDF は、サーフェス法線からの半球への全散乱フラックスです。積分量の後の行は、| β - β 0| の値と、鏡面方向からのこれらの角度オフセットにおけるそれぞれの BRDF と BTDF を表します。このプロセスの詳細については、7.15 ページを参照してください。

| β - β 0| の行をさらに追加するには、[追加] をクリックして、図 3.18 に示す [サーフェスプロパティ - データ追加] ダイアログボックスを開きます。[散乱ベータ] を選択し、ダイアログボックスに | β - β 0| の値を入力し（値 0.01 が表示されています）、[OK] をクリックします。

FIGURE 3.18 - Adding a new value of $|\beta-\beta_0|$ to the BSDF table.

概要 :

散乱ベータ値は、必要に応じていくつでも追加できます。テーブル BSDF プロパティのテンプレートを作成し、テキストファイルにエクスポートし、BSDF 値を入力してプロパティをインポートすると、サーフェスプロパティのスプレッドシートにすべての BSDF 値を入力するよりも簡単です。これには 9 つのステップが必要です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

手順 :

1. テーブル BSDF サーフェスプロパティの作成 : 値 | β - β 0| を持つテーブル BSDF サーフェスプロパティを作成します。プロパティに必要なデータの一部を追加します。このデータは、以降のステップでテンプレートとして機能します。
2. プロパティのデータベースへの保存 : **ファイル | 保存 |** を使用して、プロパティをデータベースに保存します。
3. プロパティのテキストファイルへのエクスポート : **ファイル | エクスポート** | を使用して、プロパティをテキストファイルにエクスポートします。結果はタブ区切りのテキストファイルであり、Microsoft Excel などのスプレッドシートプログラムで最適に動作します。
4. スプレッドシートプログラムへのファイルのインポート : Excel などのスプレッドシートプログラムにファイルをインポートします。(図 3.19 は、Excel にインポートされたサンプルプロパティを示しています。プロパティの右側にはさらに列がありますが、この例では表示する必要はありません。)
5. 散乱ベータ、BRDF、BTDF の新しい値の入力 : 利用可能なデータに基づいて、散乱ベータ、BRDF、BTDF の新しい値を入力します。図 3.20 は、鏡に適した BRDF データのみのサンプルを示しています。
6. テキストファイルの保存と Excel の終了 : テキストファイルを保存し、Excel を閉じます。
7. サーフェスプロパティエディタでのテキストファイルのインポート : 図 3.21 に示すように、**ファイル | インポート |** を使用して、サーフェスプロパティエディタでテキストファイルをインポートします。
8. その他のプロパティテーブル係数の値の入力 : 吸収率、鏡面反射率、鏡面透過率など、その他のプロパティテーブル係数の値を入力します。
9. エネルギー保存のための解決機能の使用 (必要に応じて) : 必要に応じて、解決機能を使用して、プロパティがエネルギーを保存するようにします。完成したサンプルサーフェスプロパティを図 3.22 に示します。

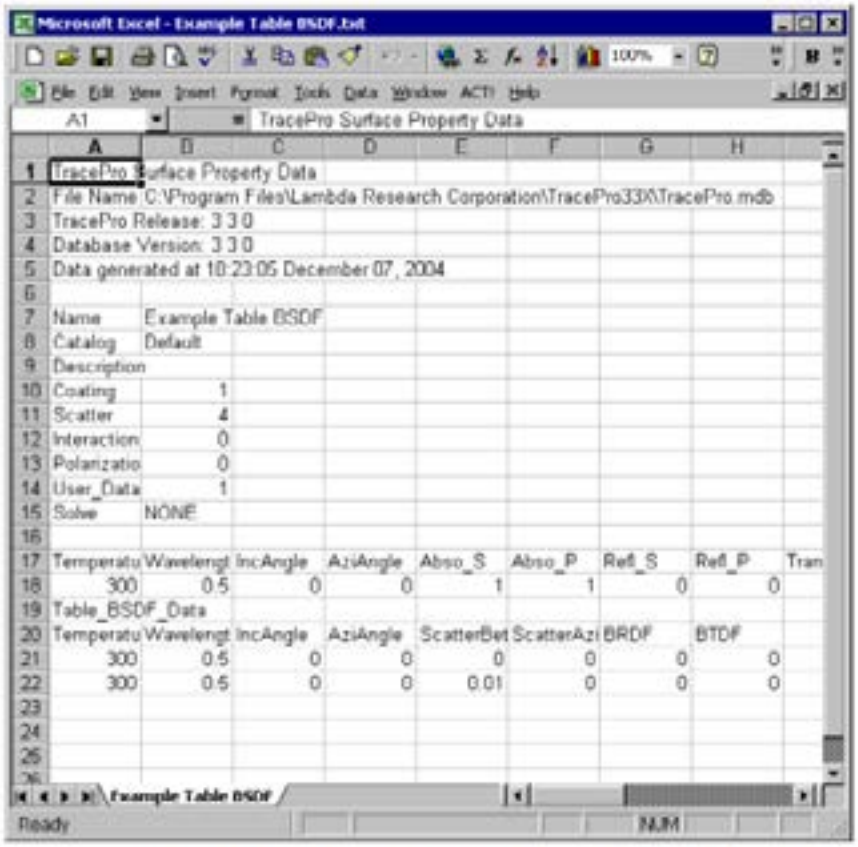


FIGURE 3.19 - Table type surface property with Table BSDF model after importing into Excel.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

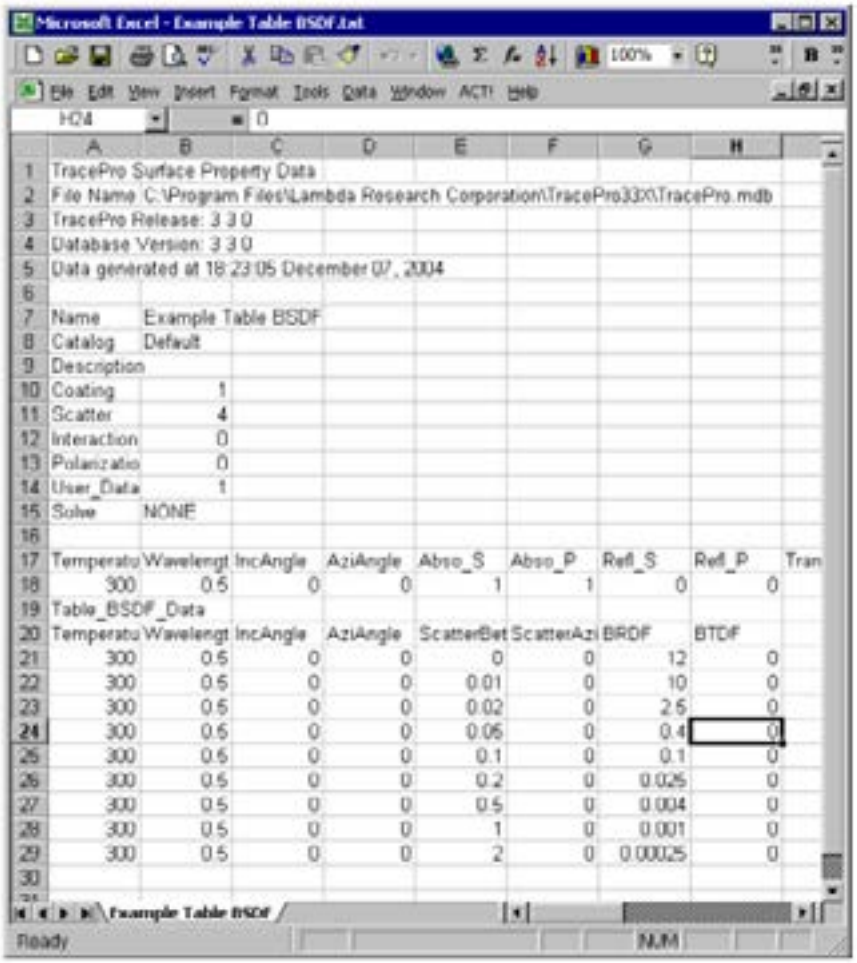


FIGURE 3.20 - Surface property after filling in example values for $|\beta-\beta_0|$ and BRDF.

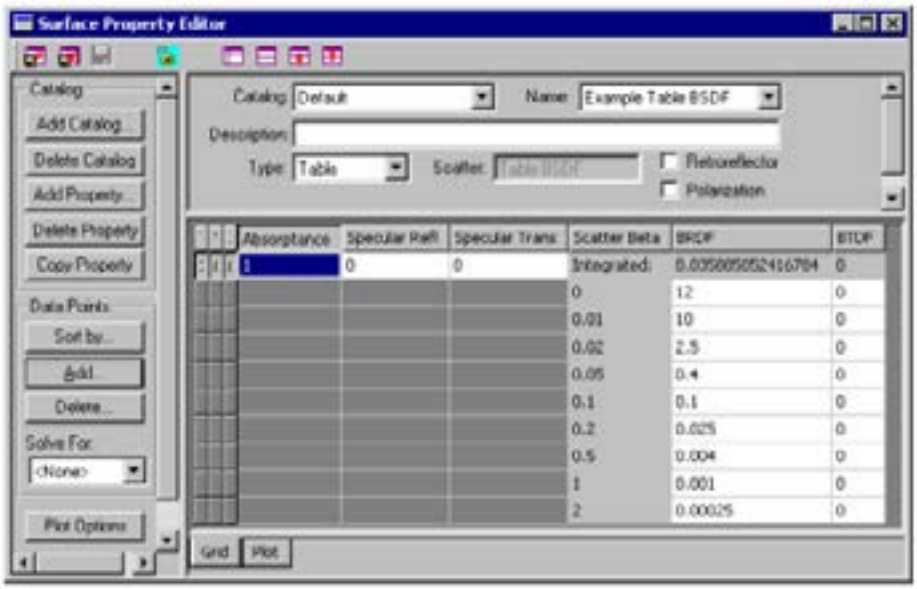


FIGURE 3.21 - Example table BSDF after importing back into the Surface Property Editor. TracePro has computed the Integrated BRDF.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

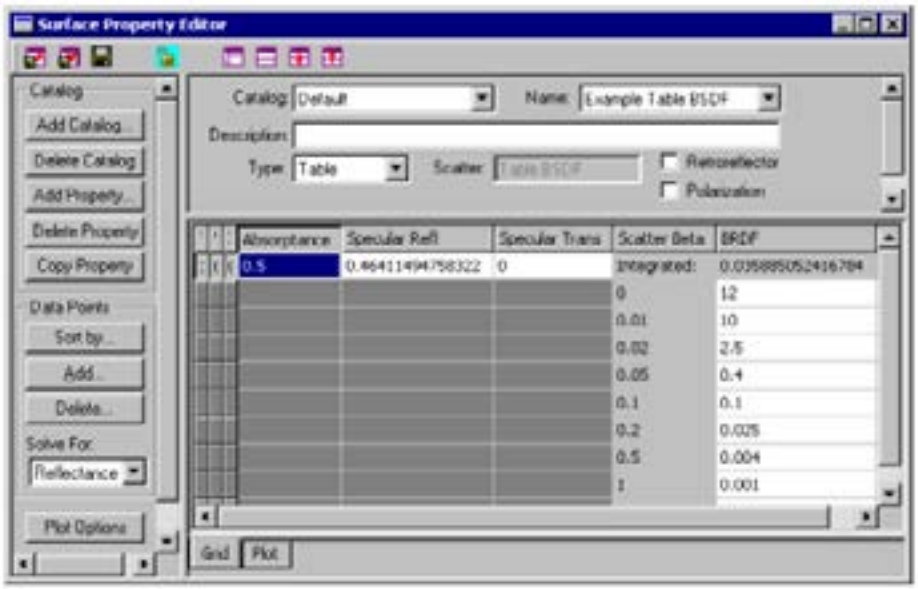


FIGURE 3.22 - Table BSDF surface property after entering 0.05 for absorptance and solving for Reflectance. The property is complete and ready for use.

「Solve For」機能を使用すると、テーブル BSDF モデルを用いて BRDF と BTDF を計算できますが、BRDF または BTDF の各セルに係数を入力する必要があります。これらの係数は、「Solve For」による計算時にセル内の実際の BRDF または BTDF 値の比率を表します。このプロセスにより、厳密な計算を行う複雑さを無視しつつ、エネルギー保存を確実にすることができます。

非対称テーブル BSDF プロパティの作成

非対称テーブル BSDF を持つサーフェスプロパティを作成するには：

1. **「定義 | プロパティデータの編集 |** サーフェスプロパティ」を選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. 「プロパティの追加」をクリックします。図 3.23 に示すように「新しいサーフェスプロパティの入力」ダイアログボックスが表示されたら、散乱モデルリストから「非対称テーブル BSDF」を選択し、新しいプロパティの名前と初期角度および初期波長の値を入力して、「OK」をクリックします。
4. 値を単純に選択して変更することで、他の値を編集します。
5. サーフェスプロパティエディタウィンドウ内で「ファイル | 保存」を選択するか、サーフェスプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。新しいプロパティは、将来の使用のためにプロパティデータベースで利用可能になります。

FIGURE 3.23 - Selecting Asymmetric Table BSDF from the Scatter Model list in the Enter New Surface Property dialog box.

新しいサーフェスプロパティは、図 3.24 に示すようにスプレッドシートに表示されます。この例では、テーブルタイプのサーフェスプロパティを選択しましたが、必要に応じて他の任意のプロパティタイプを選択できます。

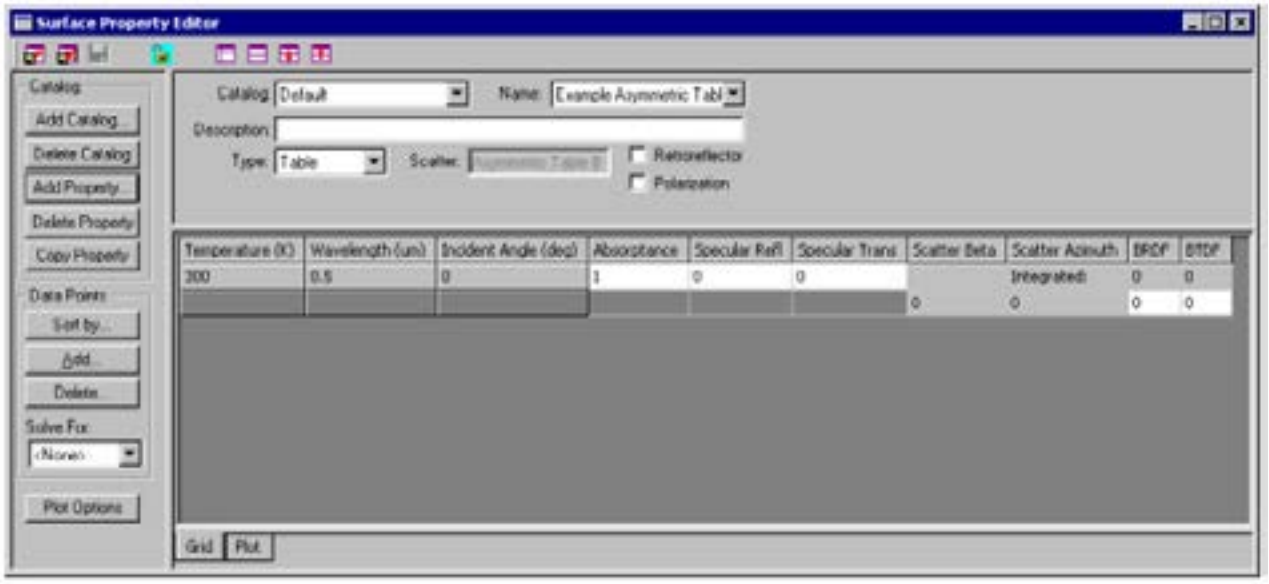


FIGURE 3.24 - Surface Property editor created with Table Asymmetric BSDF type.

与えられた入射角（3 列目に表示）の最初の行は、その角度に対する積分 BRDF と BTDF を提供します。積分 BRDF と BTDF は、サーフェス法線からの半球への全散乱フラックスです。積分量の後の行は、$|\beta - \beta_0|$ 値、方位角、および鏡面方向からのこれらの角度オフセットにおけるそれぞれの BRDF と BTDF を表します。このプロセスに関する詳細は、7.15 ページを参照してください。

$|\beta - \beta_0|$ または散乱方位角の値をさらに追加するには、**「追加」**をクリックして、図 3.25 に示す「サーフェスプロパティ – データ追加」ダイアログボックスを開きます。「散乱ベータ」または「散乱方位角」を選択し、ダイアログボックスに値を入力し（値 $|\beta - \beta_0| = 0.01$ が表示されています）、「OK」をクリックします。TracePro データベースのすべてのデータと同様に、データは長方形の配列で配置されます。つまり、新しい散乱ベータの値を入力するたびに、TracePro は新しいベータ値に対するすべての散乱方位角の値を入力します。逆に、新しい方位角を入力すると、TracePro はすべてのベータ値を入力します。したがって、M 個のベータ値と N 個の方位角値を入力すると、テーブルには MxN 個の行が存在します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 3.25 - Adding a new value of $|\beta-\beta_0|$ to the BSDF table.

「Scatter Beta（散乱ベータ）」と「Scatter Azimuth（散乱方位角）」の値は、必要に応じていくつでも追加できます。非対称テーブル BSDF プロパティのテンプレートを作成し、テキストファイルにエクスポートして BSDF 値を入力し、プロパティをインポートすると、より簡単になる場合があります。通常、サーフェスプロパティのスプレッドシートにすべての BSDF 値を入力するよりも、この方法の方が簡単です。手順については、上記のテーブル BSDF のセクションにある例を参照してください。

非対称テーブル BSDF プロパティの使用

非対称テーブル BSDF を持つサーフェスプロパティを使用するには、通常の方法でサーフェスにプロパティを適用するだけです。楕円 ABg BSDF サーフェスプロパティや楕円ガウス BSDF サーフェスプロパティと同様に、向きベクトルを指定する必要があります。「サーフェスプロパティ」の詳細については、4.10 ページを参照してください。

BSDF コンバーターの使用

BSDF コンバーターを使用すると、さまざまなファイル形式から測定された BSDF データをインポートし、そのデータに基づいてサーフェスプロパティを作成できます。

BSDF コンバーターは、次のファイル形式をインポートできます。

- FRED ファイル (*.txt):FRED（フレッド）は光線追跡ソフトウェアの名前です。このファイルは、そのソフトウェアで使用されるテキスト形式のデータファイルです。
- Radiant Imaging IS-SA ファイル (*.bsdf):Radiant Imaging（ラディアントイメージング）社の IS-SA（イメージングスフィア - スペクトル角度）ファイルです。BSDF（双方向散乱分布関数）形式のファイルで、光の反射や透過プロパティを記述します。
- Radiant Imaging Imaging-Sphere ファイル (*.txt):Radiant Imaging（ラディアントイメージング）社のイメージングスフィアファイルです。テキスト形式で、光の測定データを保存します。
- Scattermaster ファイル (*.csv):Scattermaster（スキャッターマスター）ファイルです。CSV（カンマ区切り値）形式で、光の散乱データを保存します。
- ALANOD ファイル (*.txt, *.ind):
- ALANOD（アラノッド）社のファイルです。テキスト形式（.txt）またはインデックス形式

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

（.ind）で、反射板などの光学プロパティデータを保存します。

- SPEOS ファイル (*.bsdf):SPEOS（スペオス）は光学シミュレーションソフトウェアの名前です。BSDF（双方向散乱分布関数）形式のファイルで、光の反射や透過プロパティを記述します。
- opsira ファイル (*.csv):opsira（オプシラ）社のファイルです。CSV（カンマ区切り値）形式で、光の測定データを保存します。Ophir バイナリ (*.prw):Ophir（オフィール）社のバイナリ形式のファイルです。光のパワーやエネルギー測定データを保存します。
- Oxytech ファイル (*.csv):Oxytech(オクシテック) 社のファイルです。CSV(カンマ区切り値) 形式で、光の測定データを保存します。PIDC ファイル (*.xls):PIDC(ピーアイディーシー) 社のファイルです。xls(エクセル) 形式で、光の測定データを保存します。
- LTW ファイル (*.ltw):LTW 形式のファイルです。光の測定データを保存します。
- TracePro カンデラファイル (*.txt):TracePro(トレースプロ) は光線追跡ソフトウェアの名前です。カンデラ (光度) の測定データをテキスト形式で保存します。
- CASI および ASTM ファイル :CASI(シーエーエスアイ) と ASTM(アメリカ材料試験協会) の規格に準拠したファイルです。光の測定やマテリアルプロパティに関するデータを保存します。

これらのファイルは、光学測定、シミュレーション、およびマテリアルプロパティの分野で使用されます。

コンバータは、データを ABg モデルまたは非対称テーブル BSDF タイプの TracePro サーフェスプロパティとしてエクスポートできます。BSDF コンバータを開くには、**定義 | プロパティデータ生成 |BSDF** を選択します。BSDF コンバータには独自のヘルプシステムがあります。

BSDF プロパティの使用

サーフェスプロパティを作成する際、サーフェスプロパティで明示的に定義する代わりに、BSDF データベースから 1 つ以上の BSDF プロパティを使用することを選択できます。

BSDF プロパティを使用したサーフェスプロパティの作成

1. BSDF プロパティを使用してサーフェスプロパティを作成するには：
   定義 | プロパティデータ編集 | サーフェスプロパティを選択して、サーフェスプロパティエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. プロパティ追加をクリックします。図 3.16 に示すように新しいサーフェスプロパティ入力ダイアログボックスが表示されたら、散乱モデルリストから BSDF プロパティを使用を選択し、新しいプロパティの名前と初期角度および初期波長の値を入力して、OK をクリックします。
4. 値を単純に選択して変更することで、他の値を編集します。
5. BSDF プロパティタブを選択し、使用する BSDF プロパティのグリッドでカタログと名前を選択します。さらにプロパティを追加するには、追加 ... ボタンをクリックします。
6. サーフェスプロパティエディタウィンドウ内から**ファイル | 保存**を選択するか、サーフェスプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」

という質問に「はい」と答えます。新しいプロパティは、今後の使用のためにプロパティデータベースで利用可能になります。

ワイヤーグリッドポラライザ

Lambda Research は、MOXTEK, Inc. の現行のワイヤーグリッドポラライザラインから得られたデータを組み込むためのダイナミックリンクライブラリ（DLL）を作成しました。これらのポラライザの詳細情報については、MOXTEK（www.moxtek.com）に直接お問い合わせください。

TracePro のサーフェスプロパティ情報は、以下のファイルに含まれています：

- Moxtek のプロパティは、TracePro に付属するデフォルトのプロパティデータベースに含まれています。
- Surface Properties\Moxtek\PBFxx.dll（データ DLL、ワイヤーグリッドポラライザのタイプごとに 1 つ）。これらは、www.lambdares.com の TracePro テクニカルサポートセクションのプロパティページからダウンロードする必要があります。zip ファイルをダウンロードした後、DLL は任意の便利なフォルダに保存できます。
- www.lambdares.com の Surface Properties\Moxtek_SurfacePropertyCatalog.txt には、データ DLL に関連付けられたサーフェスプロパティの連結ファイルが含まれています。非常に古い TracePro データベースのインストールをアップグレードする場合を除き、このファイルを使用する必要はありません。

サーフェスプロパティは、それぞれの DLL の <TBD> の場所を参照しています。これらのサーフェスプロパティを使用するには、まずサーフェスプロパティを編集する必要があります。特に DLL ファイルの場所を編集します。サーフェスプロパティエディタでプロパティを開いてロックを解除し、DLL 名を編集します。場所を参照するか、テキストボックスに直接入力できます。

ワイヤーグリッドサーフェスプロパティの適用

ワイヤーグリッドサーフェスプロパティをデータベースに配置した後、TracePro の標準的な方法でこれらのプロパティを適用します。つまり、[プロパティの適用] ダイアログボックスの [サーフェス] タブを使用します。

これらのプロパティを適用すると、場所と方向の情報も求められます。これは、原点、法線方向、上方向の x、y、z 成分を指定することによって行われます。

原点は、3D 空間におけるプロパティの位置を特定します。

法線方向は、ローカルの z 方向と見なすことができ、ポラライザを通る伝播方向を指定します。

最後に、上方向は、ローカルの y 方向と見なすことができ、ワイヤーグリッドポラライザのワイヤーの方向を指定します。

この場所と方向の情報がサーフェスに適用されると、TracePro オブジェクトのその後の移動または回転は、光学ベンチ上にあるかのように、このようなコンポーネントの実際の再方向付けをシミュレートするために、この情報を自動的に更新します。

補足 <TBD> は「To Be Determined（未定）」の略です。

DLL は Dynamic Link Library の略です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

薄膜スタック Standard Expert

TracePro は、誘電体多層スタックの鏡面プロパティを計算するために薄膜を使用します。TracePro における薄膜計算は、コヒーレントな平面波の光を想定し、Born & Wolf のセクション 1.6.3（ケンブリッジ、1999 年、第 7 版拡張版）の理論に従います。入射角が浅い場合も「特別なケース」ではないため、「コヒーレンスの仮定」が成り立つ限り、すべての入射角に対して計算は有効です。

薄膜は、屈折率と吸収係数のためのマテリアルプロパティ、膜の層を定義するためのスタックエディタ、およびサーフェスプロパティの構成要素としてのサーフェスプロパティと連携して機能します。TracePro では、薄膜をサーフェスに直接適用することはできず、薄膜を含むサーフェスプロパティを適用します。スタックエディタを図 3.26 に示します。

材料が波長と温度依存性で入力されている場合、スタックとそれに続くサーフェスプロパティは完全に分散的になります。

任意の数の層を使用して薄膜スタックを定義できます。厚さはゼロより大きい必要がありますが、ゼロの厚さが入力された場合、層は評価中にスタックから事実上削除されます。

スタックエディタの使用

スタックエディタは、スタックにさまざまな層を追加または変更する手段を提供します。

[定義 | プロパティの編集 | 薄膜スタック] を選択して、スタックエディタウィンドウを開きます。

スタックはテーブルのように入力され、最初の層（最上行）は入射媒体と接触し、最後の層（最下行）は基板媒体と接触します。基板媒体は、サーフェスプロパティが適用されるオブジェクトに対応します。

TracePro スタックは、マテリアルプロパティデータベースを使用して構築されます。さまざまな材料カタログで定義された任意の材料を層として挿入できます。各スタック層には、厚さ（ミクロン単位）も必要です。

テーブル 3.12. スタックエディタの情報パネルとグリッドパネルのフィールド

カタログ名	ドロップダウンリストから選択されたプロパティカタログの名前。
名前	プロパティ名選択ボックス。名前ドロップダウンリストボックスから名前を選択するか、名前テキストボックスに名前を入力します。入力された名前がデータベース内で一致する場合、そのデータがスプレッドシートに表示されます。
説明	説明は、プロパティに関する追加情報を含むことを目的としたテキストフィールドです。
厚さ	この列を使用して、層の物理的な厚さをミクロン単位で受け入れるか編集します。
材料カタログ	この列を使用して、利用可能なカタログの名前を受け入れるか編集します。
材料名	この列を使用して、材料の名前を受け入れるか編集します。

薄膜スタック編集に関する注意

薄膜スタックは、サーフェスプロパティに従属する特殊なケースです。つまり、薄膜スタックエディタでスタックプロパティを作成した後、次のステップはサーフェスプロパティエディタを開き、サーフェスプロパティ内でスタックプロパティを使用することです。サーフェスプロパティエディタで、タイプ = スタックを設定します。これで、薄膜スタックエディタでは利用できない散乱を追加できます。サーフェスプロパティの一部になることで、スタックプロパティ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

はサーフェスに適用される前に散乱によって強化されます。手順のシーケンスは次のとおりです。

1. スタックプロパティエディタでスタックプロパティを作成します。
2. サーフェスプロパティエディタでサーフェスプロパティを作成します。タイプ = スタックを設定します。
3. モデル内のサーフェスにサーフェスプロパティを適用します。

レンズの多くは、可視光領域における一般的な反射防止コーティングであるフッ化マグネシウム（MgF2）の単層でコーティングされています。通常、これは可視スペクトルの中心における四分の一波長光学的厚さ（QWOT）です。特定の波長で最大の透過率を得るためには、四分の一波長光学的厚さを達成するために、0.25 λ /n の物理的厚さを選択します。要するに、レンズの反射を抑えるために、特定の薄さのフッ化マグネシウムの膜をレンズのサーフェスにコーティングするということです。この膜の厚さは、特定の波長（光の色）に対して最適な効果が得られるように調整されます。

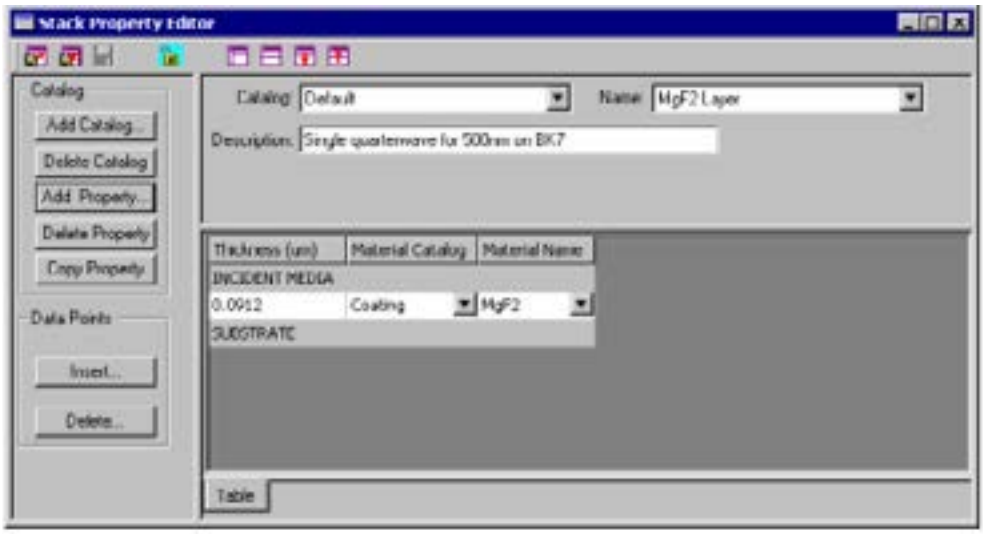


FIGURE 3.26 - Stack Property Editor

薄膜スタックを作成するには：

1. **「定義｜プロパティデータの編集｜薄膜スタック」**を選択して、スタックエディタウィンドウを開きます。
2. カタログドロップダウンリストからカタログを選択します。
3. 「プロパティの追加」をクリックし、新しいプロパティの名前を入力して「OK」をクリックします。
4. スタック内の各層の厚さと材料を編集します。データ列はドロップダウンリストであり、そこから「カタログ」を選択し、次に「名前」を選択します。
5. 「挿入」または「削除」ボタンを押して、層を追加 / 削除します。
6. スタックプロパティエディタウィンドウ内で**「ファイル｜保存」**を選択するか、スタックプロパティエディタを閉じて、「プロパティが変更されました。データを保存しますか？」という質問に「はい」と答えます。これで、新しいプロパティが将来の使用のためにプロパティデータベースで利用可能になります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

注：マテリアルプロパティデータベースが使用されるため、材料データに波長と温度のデータが含まれている場合、スタックは完全に分散性になります。

薄膜スタックを定義した後、**「定義｜プロパティデータの編集｜サーフェスプロパティ」**を選択してサーフェスプロパティエディタにアクセスし、スタックタイプのサーフェスプロパティを定義します。「新しいサーフェスプロパティの作成」の詳細については、3.30 ページを参照してください。

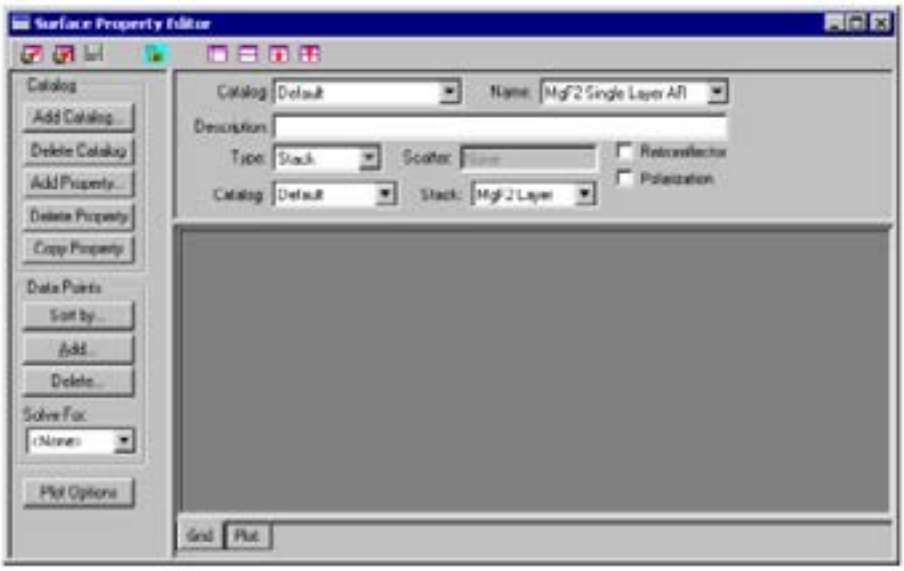


FIGURE 3.27 - Stack Entered Into Surface Property Editor

AR サーフェスプロパティがショット BK7 ガラス製の物体に適用されると、可視波長領域において 4% 未満の反射率が見られます。コーティングされていない BK7 ガラス片の反射率は、わずかに 4% を超えます。3.48 ページの図 3.28 を参照してください。このプロットは、サーフェスプロパティエディタのプロットタブを開き、入射媒体を空気、基板をショット BK7 ガラスに設定してプロットオプションを設定することで表示されます。「サーフェスプロパティプロットタブ」の詳細については、3.31 ページを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

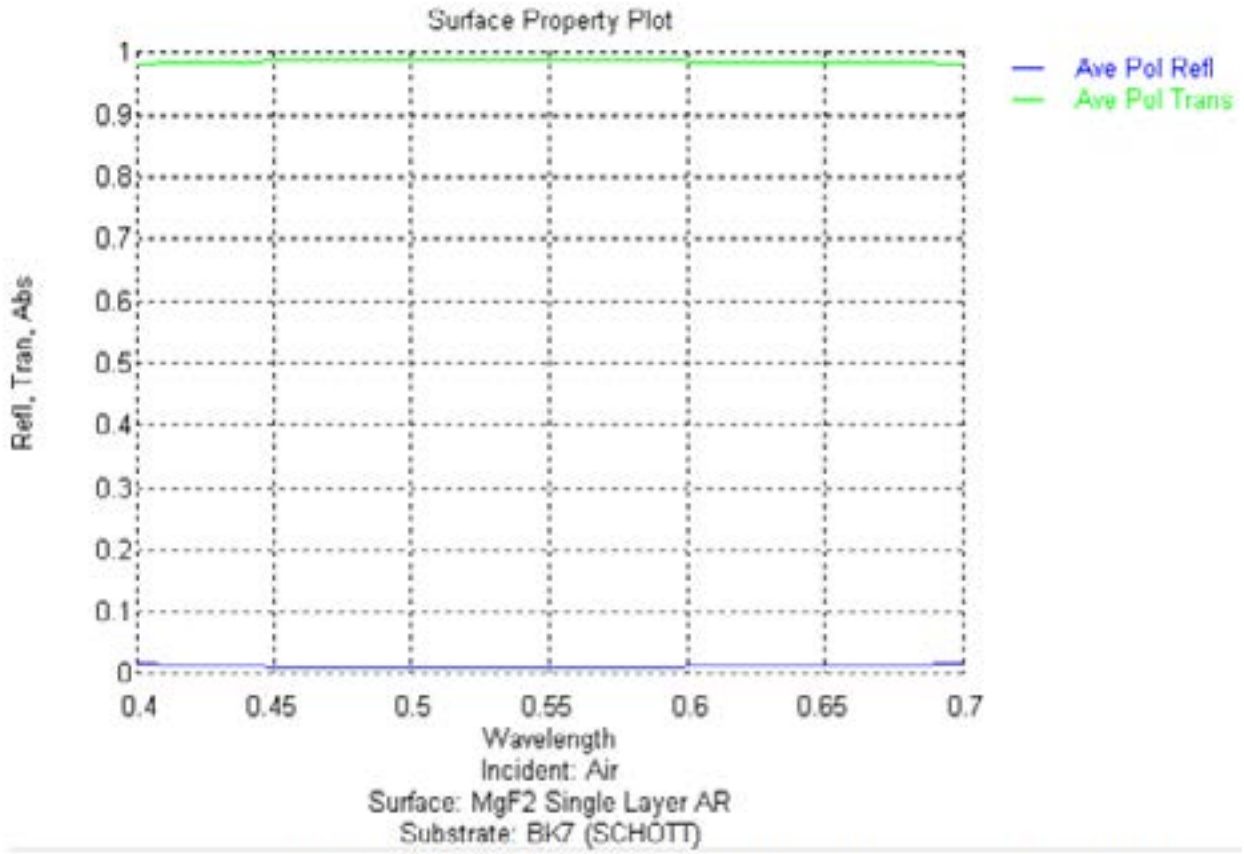


FIGURE 3.28 - Reflectance after the AR Surface Property is Applied to the Schott BK7 Glass

BSDF プロパティ

BSDF プロパティエディタを使用すると、サーフェスプロパティの一部ではない「独立した」BSDF プロパティを作成できます。BSDF プロパティは、サーフェスプロパティのようにサーフェスに直接適用することはできません。代わりに、サーフェスプロパティ内でアドホックに BSDF を作成するのではなく、サーフェスプロパティの散乱部分を定義するために使用されます。サーフェスプロパティで BSDF プロパティを使用すると、サーフェスプロパティを定義する際に複数の BSDF プロパティを使用できるため、柔軟性が向上します。TracePro は、BSDF プロパティを組み合わせて複合 BSDF を作成します。これにより、たとえば、1D および 2D の BSDF を 1 つのサーフェスプロパティに組み合わせたり、複数の BSDF モデルを使用して測定データを適合させることができます。たとえば、ABg モデルが測定データにうまく適合しない場合でも、異なる係数を持つ 2 つの ABg モデルを組み合わせることでうまく機能する場合があります。

サーフェスプロパティではなく BSDF プロパティで BSDF を定義するもう 1 つの利点は、BSDF プロパティで異なる独立変数セットを使用できることです。たとえば、分光計を使用して多くの波長で透過率と反射率を測定するのは簡単ですが、BSDF は通常、数波長でのみ測定されます。これは、BSDF が通常、波長によって急速に変化せず、BSDF 測定は数波長であっても高価であるためです。

BSDF プロパティデータベースで利用可能なすべての散乱モデルタイプは、サーフェスプロパティデータベースのアドホック散乱モデルとしても利用可能であり、その逆も同様です。TracePro でサポートされているすべての BSDF モデルの詳細については、テクニカルリファレンスセクションを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

BSDF プロパティエディタの使用

BSDF プロパティエディタは、BDSF プロパティを追加または変更するための手段を提供します。**定義 | プロパティの編集 |BSDF** プロパティを選択して、BSDF プロパティエディタウィンドウを開きます。新しい BSDF プロパティを作成するには、[追加] ボタンをクリックし、図 3.29 に示すように、[新しい BSDF プロパティの入力] ダイアログボックスの項目に入力します。

FIGURE 3.29 - Adding a new BSDF Property using the Enter New BSDF Property dialog box. ABg BSDF is shown.

BSDF プロパティエディタは、サーフェスプロパティエディタと外観が似ています。図 3.30 は、ABg 散乱モデルと、温度、波長、入射角をそれぞれ 1 つずつ持つプロパティを表示しているエディタを示しています。

BSDF プロパティエディタは、サーフェスのプロパティを編集するツールで、図 3.30 では、特定の散乱モデルや環境条件を設定している様子が描かれています。

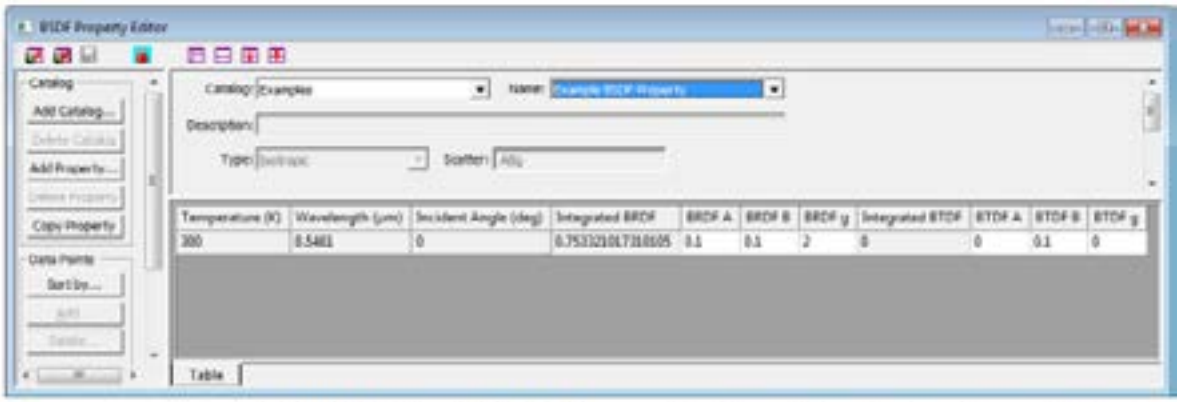


FIGURE 3.30 - The BSDF Property Editor with an ABg scatter model and one wavelength, temperature, and incident angle.

既存のプロパティを編集するには、まずリストからカタログと名前を選択して、編集したいプロパティのデータを表示します。次に、3.3 ページで説明されているように、エディターウィンドウ上部のツールバーにあるロックアイコンをクリックします。

BSDF プロパティのインポートとエクスポート

他のプロパティと同様に、ツールバーアイコンを使用して BSDF プロパティをテキストファイルとしてインポートおよびエクスポートできます（3.3 ページで説明）。プロパティは、ファイルメニューを使用してエクスポートすることもできます。ファイルメニューでは、カタログを

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テキストファイルとしてエクスポートすることもできます。

RepTile サーフェス

概要

多数の小さな繰り返し構造を持つ物体をモデリングする場合、TracePro や他のソリッドモデリングプログラムを使用して構造を作成することは、しばしば現実的ではありません。例えば、フラットパネル LCD で使用される輝度向上フィルムは、数千または数百万の繰り返しサーフェス構造要素を持つことがあります。このようなシステムを時間内に効果的に光学解析でモデリングするには、2 つの方法があります。BSDF 散乱関数を含めるか、複製された構造の形状と分布の関数形式を実装するかです。前者は遠視野で動作するシステムには適切ですが、ほとんどすべてのシステムでは、後者の関数形式を使用する方が優れています。TracePro の RepTile サーフェス機能は、1 つのタイルの形状を指定することでこれらのオブジェクトを作成し、RepTile 機能がこの形状を複製してタイルの配列を作成することにより、これを実現します。この機能により、ソリッドジオメトリを使用した同等のモデルと比較して、モデルサイズ、監査時間、およびレイトレース時間を大幅に削減して、複雑なモデルを作成できます。

RepTile プロパティの定義と使用方法については、9.1 ページの「RepTile の例」を参照してください。

RepTile サーフェスの指定

TracePro で RepTile サーフェスを作成するプロセスは、サーフェスプロパティを適用するのと類似しています。TracePro には基本的な RepTile サーフェス形状とジオメトリのデータベースがあり、データベースに追加することで追加の RepTile パラメータを定義できます。データベースには、RepTile プロパティエディタからアクセスします。異なるタイル形状（リング、セグメントリング、長方形、千鳥状長方形、および六角形）とタイルジオメトリ（円錐、球形、寄棟、コーナーキューブ、プリズム、丸みを帯びたプリズム、およびフレネルレンズ）が利用可能です。これらのタイル形状とジオメトリについては、以下のセクションで説明します。一般に、ジオメトリは「バンプ」または「穴」として定義できます。

RepTile プロパティがデータベースに入力されると、「プロパティの適用」ダイアログボックスの RepTile タブを使用して、平面サーフェスに適用できます。さらに、RepTile を適用するには、タイルが存在する平面サーフェスの境界データと、キー参照タイル（0,0）の位置が必要です。

RepTile サーフェスを平面サーフェスに適用すると、TracePro はタイル状の空間を含むセルを定義します。セルは、境界（円形、長方形、またはサーフェスの境界）の形状と深さを持ちます。セルは RepTile サーフェスを所有するオブジェクト内に完全に含まれている必要があるため、深度計算に注意する必要があります。このルールに違反すると、誤ったレイが生成されます。

RepTile サーフェスのタイルの向きは、上向きベクトルによって指定されます。これはサーフェスのローカル y 軸を定義し、平面法線ベクトルはローカル z 軸を定義し、ローカル x 軸は y 軸と z 軸に直交し、右手座標系を形成します。タイル形状とジオメトリの幅はローカル x 軸に沿った寸法であり、高さはローカル y 軸（上向きベクトル）に沿った寸法です。穴 / バンプの深さ / 高さはローカル z 軸に沿った寸法です。「バンプ」は、選択したサーフェスの上ではなく、その下にあり、オブジェクトの外部にあることに注意してください。

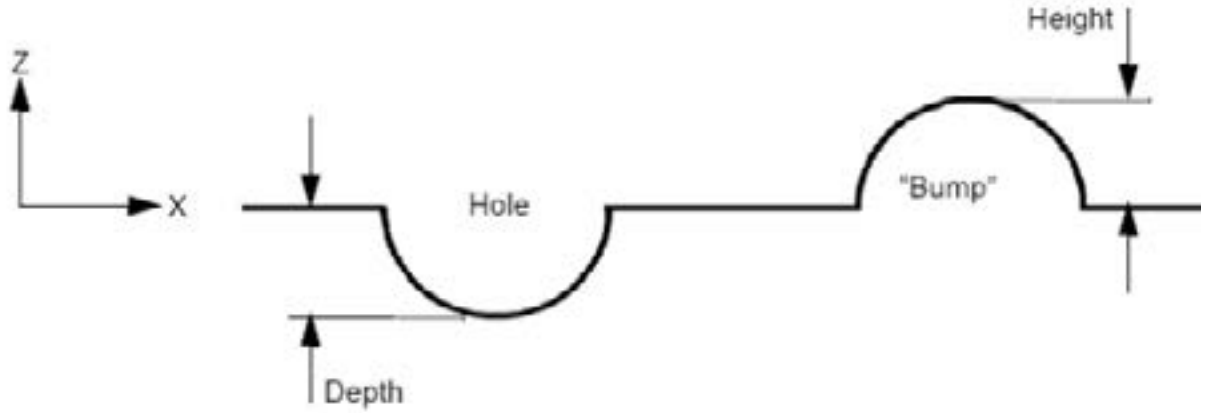


FIGURE 3.31 - Orientation of dimensions along the z-axis.

RepTile 形状

RepTile サーフェスのタイル形状は、以下のいずれかになります。

- リング (Ring)：環状（輪状）の形
- セグメント化リング (Segmented Ring) (パラメータ化リングタイル)：分割された環状の形（パラメータによって形状が変化するリングタイル）
- 長方形 (Rectangular)：四角形の形
- 千鳥状長方形 (Staggered Rectangular)：互い違いに配置された長方形の形
- 六角形 (Hexagonal)：六角形の形

Ring（リング）タイル

リングタイルとは、幅によって定義される同心円のリングのことです。中心のリングタイルは半径 r0 の円です。リングタイルはフレネルレンズの指定に使用されます。(0,0) タイルはリングの中心に位置します。

FIGURE 3.32 - Example of ring tiles geometry.

Segment（分割）リングタイル

分割リングタイルは、放射状のリング幅、角度セグメント幅、開始角度、およびリングあたりの角度セグメント数によって定義されます。セグメント幅とセグメント数は独立したパラメー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

タです。セグメント角度幅とセグメント数の積が 360 度未満の場合、TracePro は完全な 360 度を完了するために最終的なタイルを作成します。この最終的なタイルには、RepTile ジオメトリはありません。セグメント角度幅とセグメント数の積が 360 度を超える場合、TracePro はタイルを切り捨て、それによって 360 度でジオメトリを切り捨てます。図 3.33 は、分割リングタイルの例を示しています。

このトピックの詳細については、3.78 ページの「RepTile パラメータ化」を参照してください。

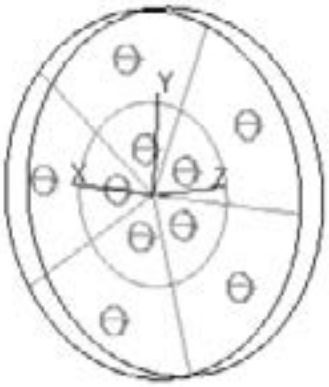


FIGURE 3.33 - Example of segmented ring tiles with spherical hole geometry.

長方形タイル

長方形タイルは、その名の通り長方形の形をしており、長方形の配列で配置されます。図 3.34 には、円錐形の「突起」を持つジオメトリの長方形タイルの配列が示されています。長方形タイルは、高さと幅で指定されます。詳細については、3.78 ページの「RepTile のパラメータ化」を参照してください。

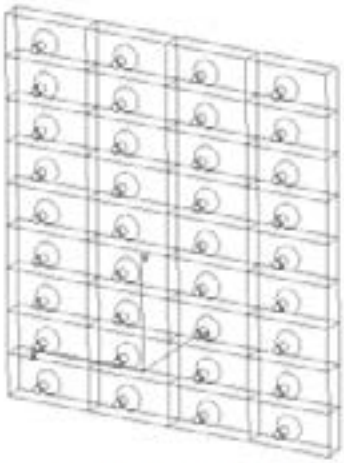


FIGURE 3.34 - Example of rectangular tiles with conical "bump" geometry.

Staggered（千鳥配置の）長方形タイル

千鳥配置の長方形タイルは、通常の長方形タイルと似ていますが、交互の列がタイルの幅の半分だけずらして配置される点が異なります。これはレンガ積みに似ています。円錐形の「突起」形状を持つ千鳥配置の長方形タイルの例を図 3.35 に示します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

千鳥配置の長方形タイルは、その高さと幅を指定します。一定（C）または可変列（V）のバリエーションタイプでは、後続の列はタイルの幅の半分だけずらされます。パラメータ化（P）のバリエーションタイプでは、「行オフセット」のデータ入力ポイントで行変数 iRow を使用して、ずらし値を入力する必要があります。そうしないと、ずらされていない長方形の配列になります。この「行オフセット」の値を使用すると、行番号の関数としてずらしを変化させることができます。実際、行オフセットに入力する関数によっては、非線形に依存させることができます。

このトピックの詳細については、3.78 ページの「RepTile のパラメータ化」を参照してください。

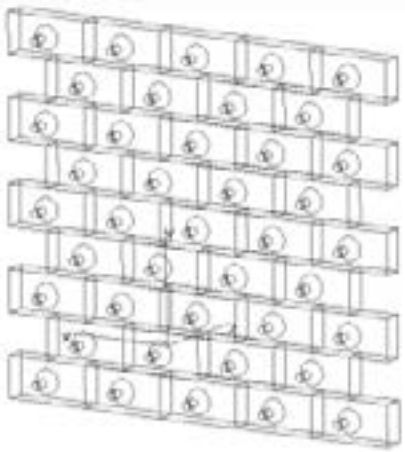


FIGURE 3.35 - Example of staggered rectangular tiles with conical "bump" geometry.

六角形タイル

六角形のタイルは、蜂の巣のように詰められた六角形です。六角形の幅は、図 3.36 に示すように、一方の平らな辺から他方の平らな辺までの距離であり、ローカルな x 軸に沿ってあります。六角形は、図 3.36 に示すように、ローカルな y 軸または上向きベクトルによって定義される垂直方向に沿って点が詰められています。

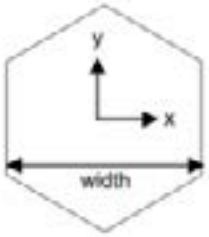


FIGURE 3.36 - Hexagonal tile with local x and y axes and width parameter

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

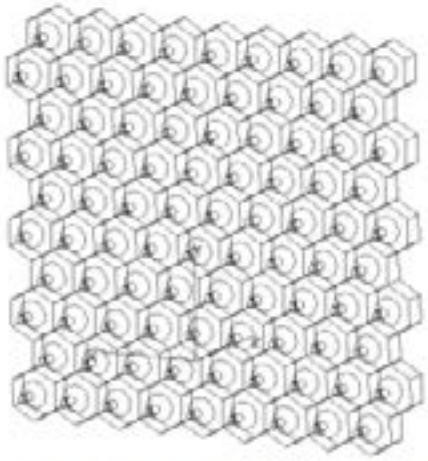


FIGURE 3.37 - Example of hexagonal tiles with conical "bump" geometry.

RepTile ジオメトリ

RepTile サーフェスでタイルを定義するために、いくつかのジオメトリが利用可能です。TracePro の進化に伴い、さらに多くのジオメトリが追加される予定です。ほとんどのジオメトリは、突起（バンプ）または穴として定義できます。突起はサーフェスから突き出ており、穴はサーフェスにへこんでいます。ジオメトリは、行ごとまたはリングごとに変化させることも可能です。すべてのジオメトリがすべてのタイル形状と互換性があるわけではありません。ジオメトリとタイル形状の互換性は、表 3.13 にまとめられており、RepTile インターフェースの他の側面（「突起」/「穴」の互換性、タイル内の偏心、行 / リングからの変化、パラメータ化機能）も含まれています。

表の「タイル形状とジオメトリ」の部分では、サポートされている 3 つのバリエーションタイプを示すために、次の凡例が使用されています。

- C - 一定
- V - 可変行
- P - パラメータ化
- N/A - 該当なし

セルが空白の場合、その形状 / ジオメトリの組み合わせは利用できません。

テーブル 3.13 は、幾何学的形状とタイル形状の互換性、および「突起（bump）」/ 穴の形状と配置を決定する要因について説明しています。具体的には、以下の要素が含まれています。

幾何学的形状 (Geometry): 正方形、六角形、三角形、円などの基本的な形状。

タイル形状 (Tile Shape): 実際に使用されるタイルの形状。これも正方形、六角形、三角形、円などが考えられます。

突起 / 穴の形状 (Bump/Hole Shape): タイル同士を接続するための突起や穴の形状。これも同様に、正方形、六角形、三角形、円などが考えられます。

突起 / 穴の配置 (Bump/Hole Placement): 突起や穴がタイルのどこに配置されるか。中心、角、辺、ランダムな配置などがあります。

要因 (Factors): 形状と配置を決定する要因。対称性、充填密度、テセレーション（敷き詰め）、美観などが挙げられます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

このテーブルは、異なる幾何学的形状とタイル形状を組み合わせる際に、どのような突起 / 穴の形状と配置が適切かを判断するための参考になるでしょう。また、対称性や充填密度などの要因を考慮することで、より効率的で美しいタイル配置を実現することができます。

この表は、様々な幾何学的形状（Geometry）における「凹凸（Bump/Hole）」「偏心（Decenter）」「タイル内（within tile）」のプロパティと、それが「行 / リング（Row/ring）」によって変化するかどうか、パラメータ化（parameterized）可能かどうか、そしてタイル形状（Tile shape）について説明しています。

Geometry	"Bump"/ Hole	Decenter within tile	Can Vary versus Row/ring	Can be para-meterized	Tile shape		
					Ring/ Segmented ring	Rectangle/ Staggered rectangle	Hexagonal
Fresnel Lens	X		X	X	C,V,P		
Cone	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Sphere	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Ellipsoid	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Hip Roof	X	X	X	X	P	C,V,P	
Prism	X		X	X		C,V,P	
Rounded Prism	Bump		X	X		C,V,P	
Enhanced Prism	X	X	X	X	X	C,V,P	
Log	X	X	X	X	X	C,V,P	
Flattened Cone	X	X	X	X	X	C,V,P	C
Pointed Cone	X	X	X	X	X	C,V,P	C
Block	X	X	X	X	X	C,V,P	C
Chiseled Log	X	X	X	X	X	C,V,P	C
Cube Corner	Bump						C
DMD Mirror	X	X	X	X	P	C,V,P	
Torus	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Asphere	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Polygon	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Pyramid	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Texture File	X	N/A	N/A		N/A	N/A	N/A
Circular Hip Roof	X	X	X	X	P	C,V,P	C
Tetrahedron	X	X	X	X	P	C,V,P	C

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

フレネルレンズ形状に関する注意点：フレネルレンズの形状は、個々の突起や穴ではなく、リングによって記述されます。

ほとんどの形状は、タイル内でパラメータ化および偏心させることができます。これらの機能については、3.78 ページの「RepTile のパラメータ化」および 3.83 ページの「RepTile 形状の偏心」で説明されています。

誤った光線追跡結果を生じる形状を定義することも可能です。これらの状況については、以下の各セクションで説明します。

フレネルレンズの形状：

フレネルレンズの形状は、線形ファセットに限定されます。最初のファセットは円錐形のファセットに光学パワーを提供し、2 番目のファセットはドラフトファセットを提供します。

フレネルレンズの形状には、定数リング、可変リング、パラメータ化リングの 3 つの選択肢があります。これらの選択により、各リングの線形ファセット角度を異ならせたり、一定にしたりすることができます。「突起」形状を指定すると正のパワーを持つフレネルレンズが得られ、「穴」形状を指定すると負のパワーを持つフレネルレンズが得られます。

タイル領域の境界で光線が未定義の動作をする可能性を排除するために、リングは領域全体を完全に埋める必要があります。標準は中心配置のフレネルレンズです。境界の中心と (0,0) タイルの位置が同じ座標を持つ場合です。偏心フレネルレンズは、これらの 2 つの座標を異ならせることによって作成されますが、前述のように、領域全体が指定されたリングで埋められていることを確認する必要があります。

フレネルレンズの形状とタイル形状は、リングに対して変化するように定義する必要があり、境界を完全に埋めるのに十分なリングが必要です。そうしないと、光線は最外側のリングの端で未定義の動作をします。

中心配置のフレネルレンズを作成するには、境界の中心と (0,0) タイルの位置の両方に同じ座標を入力します。(0,0) タイルの中心と境界の中心を異なる座標にする事で「偏心」フレネルレンズを作成できます。

円錐形状：

円錐形状は、切頭円錐とオプションの面取りで構成されます。図 3.38 に示すように、円錐の端半径、円錐の角度、円錐の高さ、およびオプションで面取りの高さと角度を指定します。円錐とオプションの面取りは、基準平面から突出します。

互いに重なり合ったり「衝突」したりする円錐形の「突起」または「穴」を作成するには、面取りがタイル内に収まらないような円錐半径、面取り高さ、および面取り角度の組み合わせを指定します。これを選択した場合、形状は行に対して変化してはならず、そうしないとサーフェスの不連続が生じます。円錐形状は、リング、セグメント化リング、長方形、千鳥長方形、または六角形のタイルで使用できます。

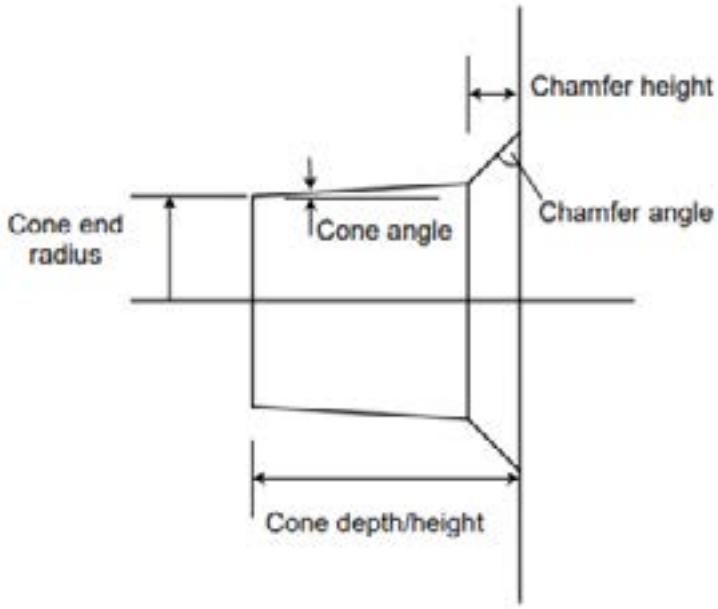


FIGURE 3.38 - Parameters for defining conical geometry.

球面ジオメトリ

球面ジオメトリは、球状の「盛り上がり」または「穴」と、基準となる平面で構成されます。

球状の「盛り上がり」は、基準平面からの高さと球の半径によって指定されます。「盛り上がり」または「穴」の深さ / 高さは、それぞれ泡や浮遊する球を可能にするために半径を超えることができます。互いに「ぶつかり合う」球状の盛り上がりや穴（例えば、レンズレットの配列）を作成するには、タイル内で球が基準平面と交差しないように、十分な高さと半径を指定します。球面幾何学を指定するために必要な寸法は、図 3.39 に示されています。

球面幾何学は、リング、セグメント化されたリング、長方形、千鳥状の長方形、または六角形のタイルで使用できます。

要約すると、球面幾何学は、平面上の球状の形状を定義する方法であり、その形状は高さと半径によって制御され、様々なタイル形状で使用できます。

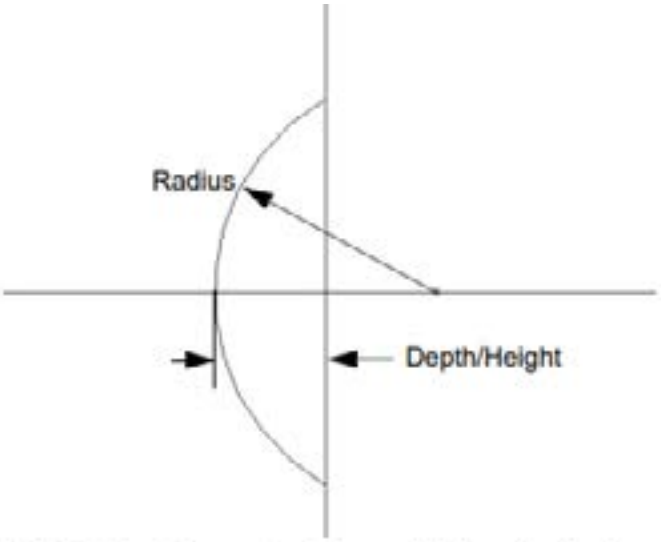


FIGURE 3.39 - Parameters for specifying spherical geometry.

楕円体ジオメトリ（Ellipsoid geometry）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

楕円体ジオメトリは、楕円形の「隆起」または「穴」と、基底平面で構成されます。楕円体は、ローカルな x 軸、y 軸、z 軸に沿った 3 つの半径によって定義されます。Z 軸は、プロパティが適用されるサーフェスの平面に対して垂直に定義されます。Y 軸は、タイルアップベクトルによって定義されます。また、楕円体を x 軸、y 軸、z 軸の周りに回転させるための 3 つの回転も利用可能です。楕円体ジオメトリは、リングタイル、セグメント化されたリングタイル、矩形タイル、千鳥状の矩形タイル、または六角形タイルと共に使用できます。

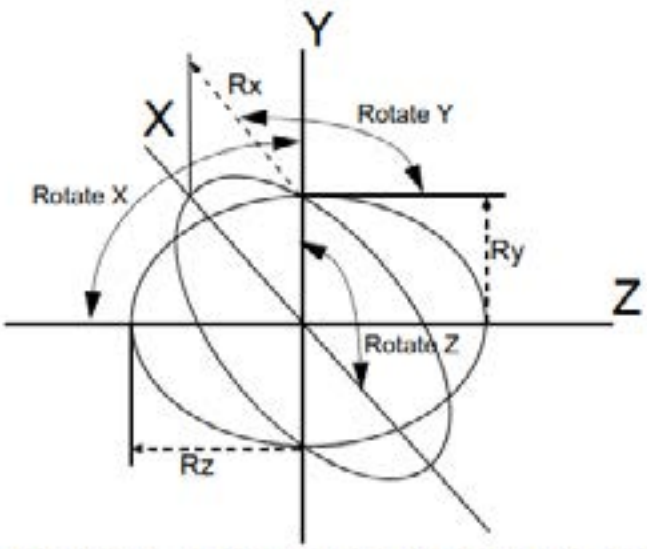


FIGURE 3.40 - Dimensions for Ellipsoid geometry. The X-Y plane is the base plane.

基準平面の位置による、サーフェスに対する楕円体の高さや深さの決定。

基準平面の高さ：

- 基準平面の高さが正の値の場合、楕円体の中心はサーフェスの上に配置されます。
- 基準平面の高さが負の値の場合、楕円体の中心はサーフェスの下に配置されます。

変動タイプ（パラメータ化）：

プロパティの変動タイプが「パラメータ化」として指定されている場合、基準平面の高さは Z 半径を超えることができます。この場合、RepTile 機能は、サーフェスの上に浮かぶ完全な楕円体、またはサーフェス内に埋め込まれた楕円体になります。

視覚的な説明：

Figure3.41 を参照することで視覚的に理解を深めることが出来ます。

座標系：

X,Y,Z の座標軸、Rx,Ry,Rz の回転軸に沿って楕円体の位置や回転を制御することが出来ます。

つまり、基準平面の高さを調整し、変動タイプを適切に設定することで、楕円体をサーフェスに対して自由に配置できるということです。

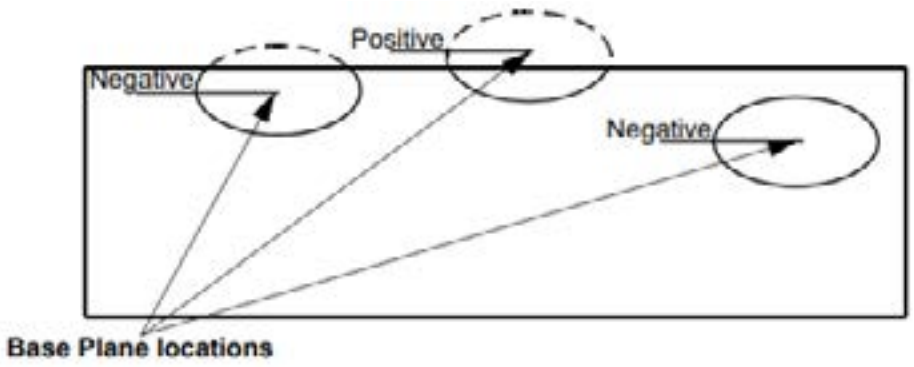


FIGURE 3.41 - Effect of base plane height on Ellipsoid hole geometry.

ヒップルーフ（寄棟屋根）ジオメトリ

ヒップルーフの形状は、入力されたパラメータに応じて、一点に尖ったピラミッド、線状の稜線、または平坦な頂部を持つ形状になります。パラメータは以下の通りです。

- x 軸と y 軸の角度（同じである必要はありません）
- 傾斜した辺の x 軸と y 軸の幅（同じである必要はありません）
- 平坦な縁の x 軸と y 軸の幅（踊り場と呼ばれ、同じである必要はありません）
- 平坦な屋根を作るための切断量

ヒップルーフを指定するために必要な寸法は図 3.42 に、マンサードルーフの寸法は図 3.43 に示されています。ヒップルーフの形状に指定された奥行き / 高さが、傾斜した平面の交点よりも小さい場合、上部が切り取られ、マンサードルーフが作成されます。そうでない場合は、ヒップルーフが作成されます。タイルを「互いに食い込ませる」には、x 軸または y 軸の縁をゼロにします。

寄棟屋根の形状は、リング状、分割リング状、長方形、またはずらした長方形のタイルと組み合わせて使用できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

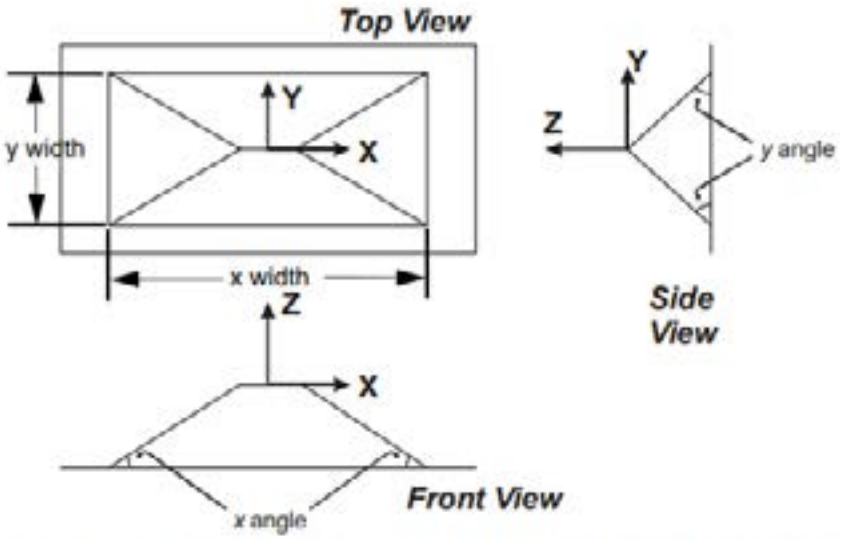


FIGURE 3.42 - Hip-roof "bump" geometry showing front, side and bottom views. The local coordinate axes are shown in each view. The outer rectangle in the front view is the rectangular tile. In this example the y angle is 45 degrees and the x angle is 30 degrees.

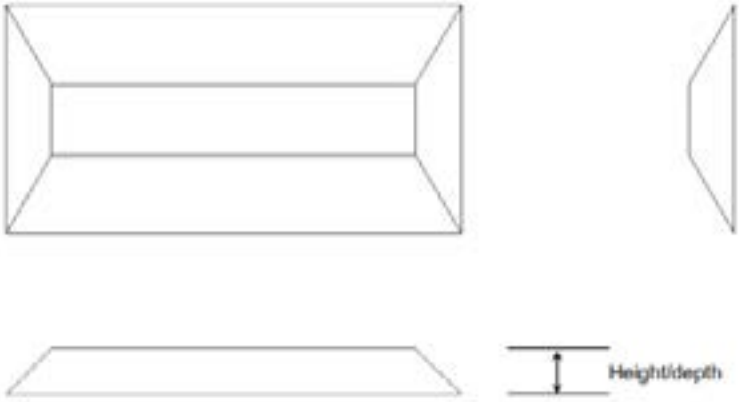


FIGURE 3.43 - Mansard roof tile showing the effect of truncating the roof. In this example, the x and y borders are both zero. The y angle is 30 degrees and the x angle is 45 degrees.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

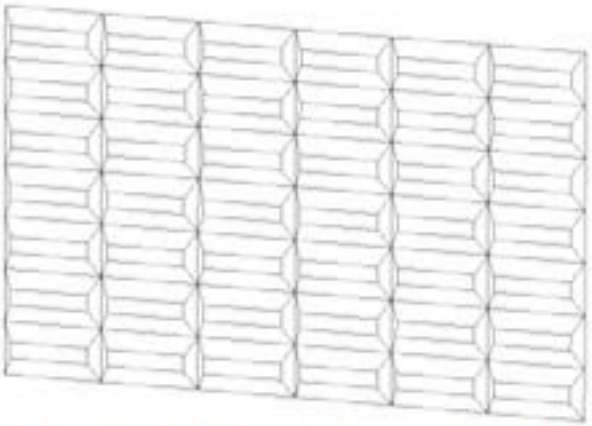


FIGURE 3.44 - A surface tiled with the mansard roof tile illustrated in Figure 3.43. The x and y borders are zero, so there is no flat region between the tiles.

注記 : 現在利用可能なパラメータ化 RepTile 機能（例えば、「境界」が一定でなくなる状況を解決するため）と RepTile ジオメトリの互換性を確保するため、Hip（マンサード）屋根 RepTile プロパティを定義するパラメータが変更され、X 境界と Y 境界の代わりに X 幅と Y 幅を含むようになりました。古いプロパティ定義は、次のように自動的に変換されます。

- X 幅 = 幅 - 2 * X 境界
- Y 幅 = 高さ - 2 * Y 境界

プリズムジオメトリ

プリズムジオメトリは、異なる先端と後端の「x」角度（x0 と x1）、および異なる先端と後端の「y」角度（y0 と y1）を持つことができるピラミッド形状で構成されています。プリズムジオメトリを指定するために必要な寸法を図 3.45 に示します。ヒップ屋根ジオメトリとは異なり、プリズムジオメトリには境界や「着地部」がないことに注意してください。角度は、プリズムが個々のタイル内で「オフセット」に見えるように定義できます。このため、タイルの中心がプリズムの頂点と一致しない場合があります。互いに「つながる」プリズムを作成し、連続したプリズム屋根ラインを作成するには、隣接するタイルと接する面が 90° の角度で定義されていることを確認してください。4 つの角度はすべて、特定のタイル列内で変化する可能性があります。プリズムジオメトリは、長方形または千鳥状長方形のタイルでのみ使用できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

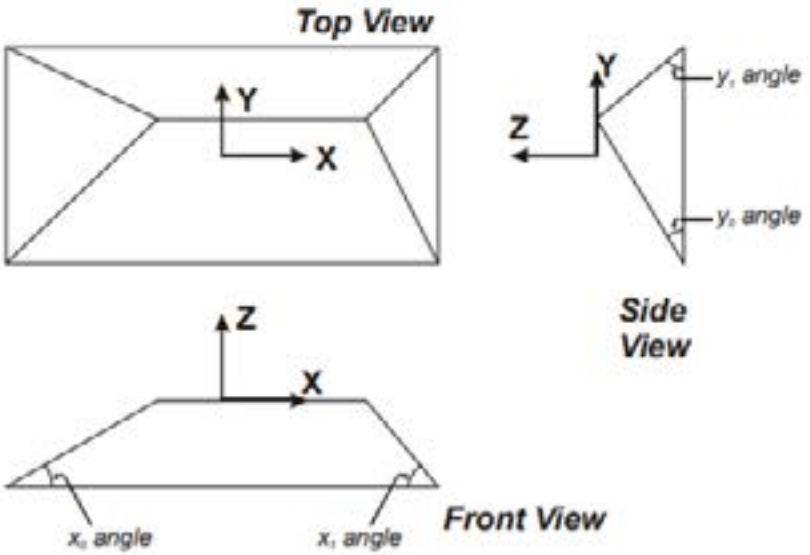


FIGURE 3.45 - Prism geometry showing top, side and front views. The local origin and coordinate axes are shown in each view. Due to the angles chosen, the local origin does not line up with the "peak" of the prism structure.

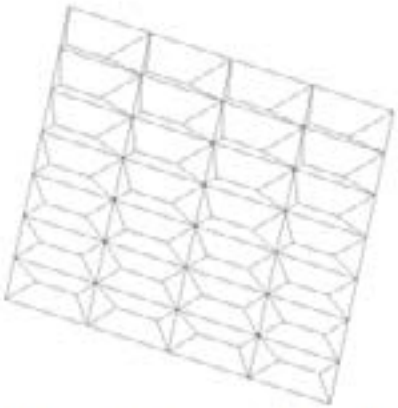


FIGURE 3.46 - A surface tiled with the Prism geometry illustrated in Figure 3.45. Note that all four facet angles change as a function of row, so all tiles vary in appearance from the top to the bottom of this figure.

丸みを帯びたプリズム形状

丸みを帯びたプリズム形状は、異なる先端と後端の y 角度（y0 と y1）を持つ円筒状の三角形で構成されますが、x 方向には角度を持ちません。丸みを帯びたプリズム形状を指定するために必要な寸法は、図 3.47 に示されています。ヒップルーフ形状とは異なり、丸みを帯びたプリズム形状には境界や「着地部」はありません。また、プリズム形状とは異なり、「x」角度は 90°に制限されています。「y」角度は、プリズムが個々のタイル内で「オフセット」して見えるように定義できます。このため、タイルの中心がプリズムの頂点と一致しない場合があります。角度は、タイルの特定の列内で変化する可能性があります。プリズム形状は、長方形または千鳥状の長方形タイルでのみ使用できます。タイルが 1 列しかない場合、つまりタイル幅（x 方向）が RepTile 境界幅（Define|Apply Properties|RepTile で定義）以上の場合、レイトレースは高速になります。

要約すると：

丸みを帯びたプリズム形状は、円筒状の三角形であり、y 方向に角度を持ちますが、x 方向に

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

は持ちません。

境界や着地部はありません。

x 角度は 90°に制限されます。

y 角度を調整することで、プリズムをオフセットさせることができます。

タイル列内で角度を変化させることができます。

長方形または千鳥状の長方形タイルでのみ使用できます。

タイル列が少ないほど、レイトレースが高速になります。

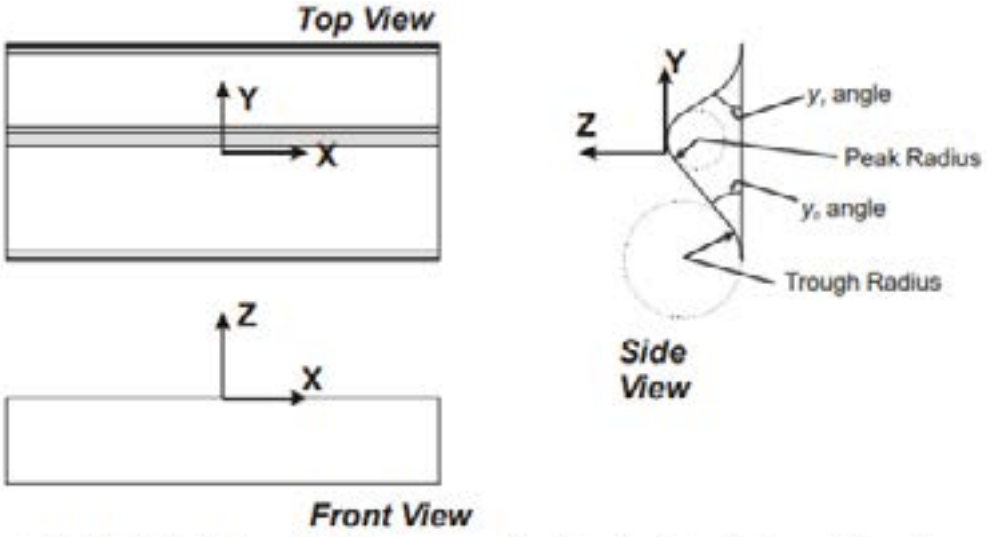


FIGURE 3.47 - Rounded Prism geometry showing front, side and top views. The local origin and coordinate axes are shown in each view. Due to the angles chosen, the local origin does not line up with the "peak" of the prism structure.

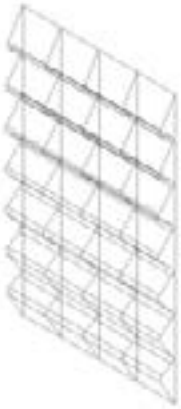


FIGURE 3.48 - A surface tiled with the rounded prism illustrated in Figure 3.47. No "x" angles can be defined when using a rounded prism so the prism "roof" lines are continuous. Note that the angles change as a function of row, so all tiles vary in appearance from the top to the bottom of this figure.

拡張プリズムジオメトリ

拡張プリズムジオメトリは、寄棟屋根、プリズム、丸みを帯びたプリズムのジオメトリの機能を組み合わせたものです。x 幅と y 幅で指定された長方形の平面形状を持ち、寄棟屋根ジオメトリのように、1 つまたは複数の辺に平らな「着地部」を持つことができます。プリズムジオメトリのように、4 つの面すべてが異なる角度を持つことができ、寄棟屋根ジオメトリのよう

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

に平らな屋根を持つこともできます。丸みを帯びたプリズムジオメトリのように、y 角度の面には丸みを帯びた頂点と谷を持つことができます。拡張プリズムは着地部と平らな屋根を持つことができるため、指定する半径は 4 つあり、「谷」用に 2 つ、「頂点」用に 2 つです。最後に、拡張プリズムに指定された高さが y 平面側の交差高さよりも大きい場合、2 番目の頂点半径は無視され、頂点は丸みを帯びたプリズムジオメトリのように表示されます。

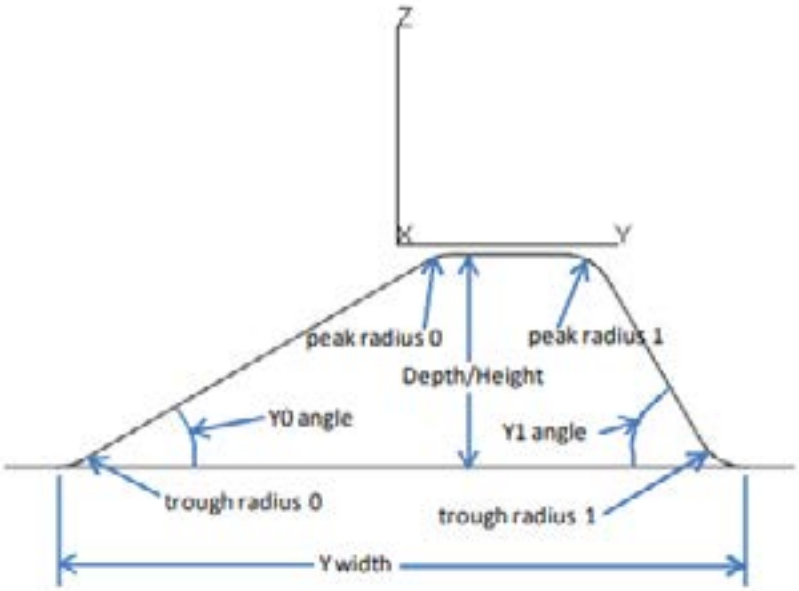


FIGURE 3.49 - Enhanced Prism geometry showing Y-Z profile for "bump" geometry. Due to the angles chosen, the local origin does not line up with the center of the roof of the prism structure.

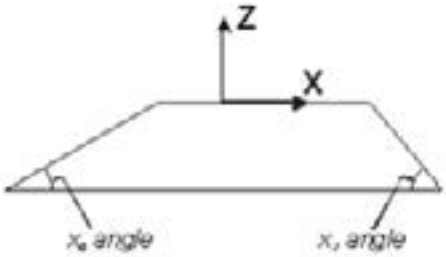


FIGURE 3.50 - Enhanced Prism X-Z profle view, showing X0 and X1 angles for bump geometry.

ログジオメトリ（Log geometry）

ログ形状は、水に浮かぶ丸太に似ていることからそう呼ばれています。ログ形状は、基本的に横たわった円柱または円錐の切頭体であり、その深さと向きを指定できます。向きは、x、y、z 軸周りの回転角によって制御されます。すべての回転角がゼロの場合、ログの軸はローカルの x 軸に沿っています。円柱または円錐の断面は楕円形の場合もあります。すべての回転角がゼロの場合、半径比（Radius Ratio）が 1 より大きいと、楕円の長軸は Z 軸に沿って配置されます。

要約すると：

ログ形状とは：横たわった円柱や円錐の切頭体。

向きの調整：x, y, z 軸周りの回転角で調整可能。

初期状態：回転角が全てゼロの場合、軸は x 軸に沿う。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

断面形状：円形または楕円形。

楕円の場合：半径比で長軸の向きを調整可能。

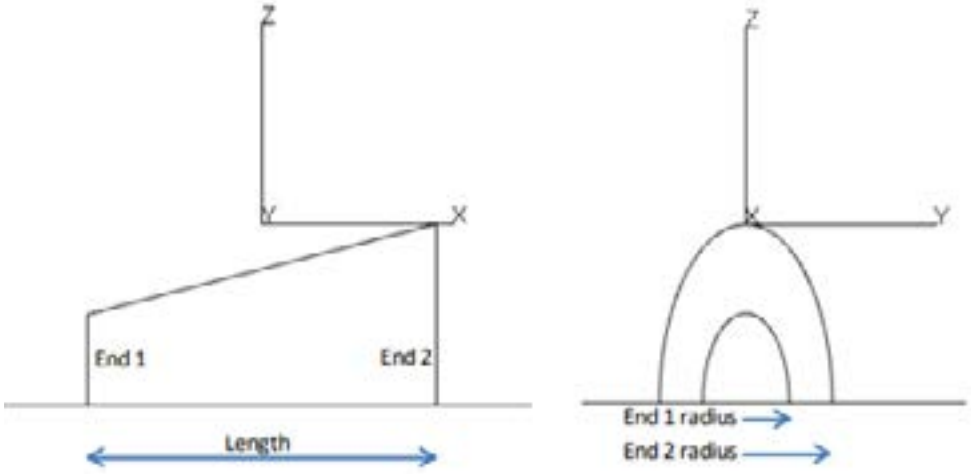


FIGURE 3.51 - Log "bump" geometry showing X-Z and Y-Z views. The log shown has a Radius Ratio of 2, putting the long axis of the elliptical cross-section along the Z axis.

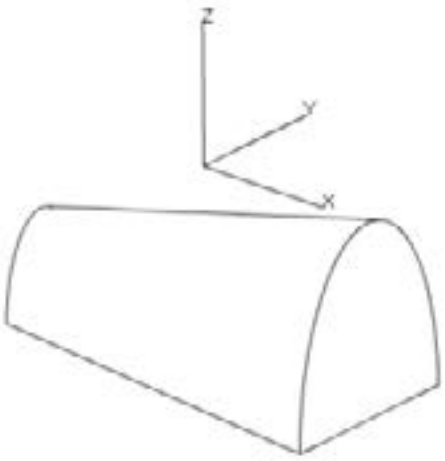


FIGURE 3.52 - Log "bump" geometry oblique view.

平坦化された円錐ジオメトリ

平坦化された円錐ジオメトリは、通常の円錐形状と似ていますが、角が面取りされておらず、上部と下部の縁が丸くなっています。平坦化された円錐形状の入力項目は、終端の半径、深さ（高さ）、円錐の角度、頂点の半径、底の半径です。パラメータ化された形状では、x 方向と y 方向の偏心量も入力可能です。

株式会社 ノーツアンドクロス

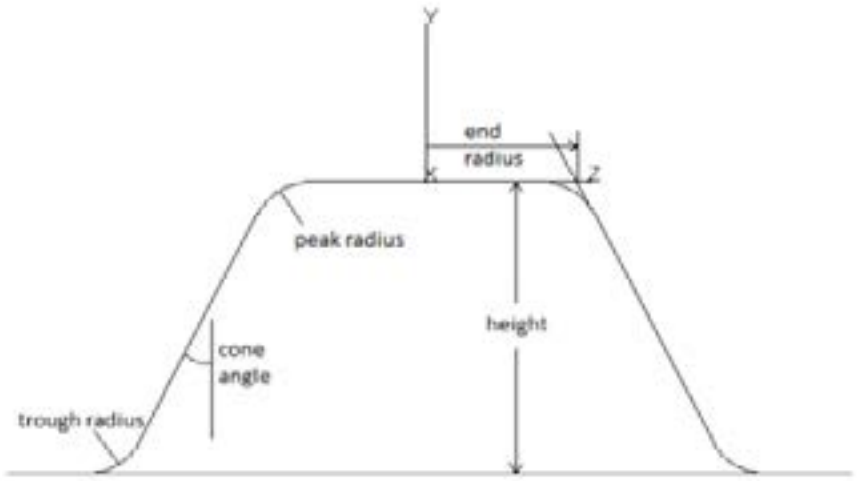


FIGURE 3.53 - Flattened Cone "bump" geometry.

尖った円錐形状

尖った円錐形状は、逆円錐であり、隆起形状の場合は先端が上向き、穴形状の場合は先端が下向きで、先端と底が丸みを帯びています。尖った円錐の入力は、深さ / 高さ、円錐角度、先端半径、底半径です。パラメータ化された形状の場合、x と y の偏心を入力することもできます。

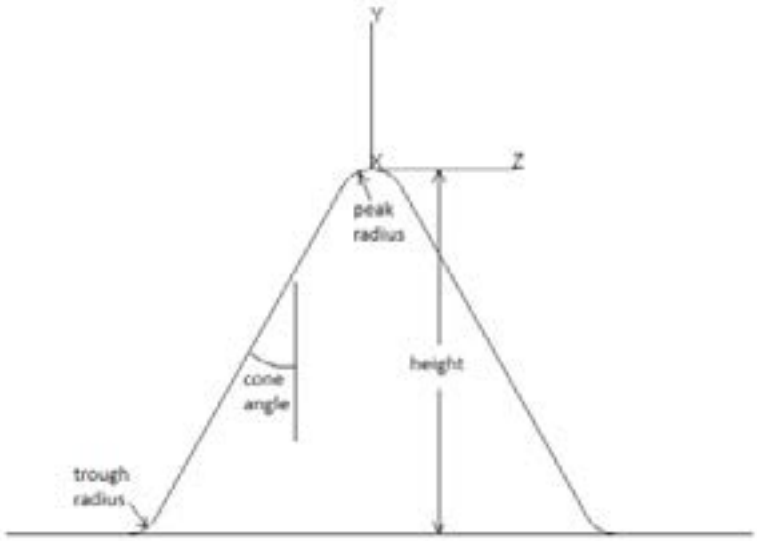


FIGURE 3.54 - Pointed Cone "bump" geometry.

ブロックジオメトリ

ブロックジオメトリは、基準平面の上に浮遊するブロック（バンプジオメトリ）を作成したり、基準平面の下に埋め込まれたブロック（ホールジオメトリ）を作成するために使用されます。ブロックは任意の向きに回転させることができます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

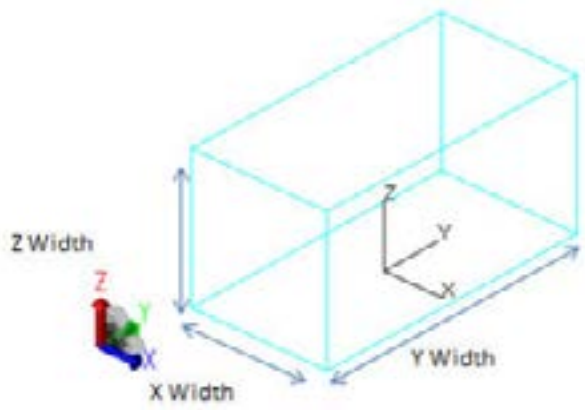


FIGURE 3.55 - Block dimensions.

ブロック状の RepTile（反復タイル）ジオメトリを作成するには、中心の奥行き / 高さ、X 幅、Y 幅、Z 幅、X 回転角度、Y 回転角度、Z 回転角度を指定します。また、パラメータ化されたジオメトリの場合は、X 方向と Y 方向（またはリングタイルの場合は R と phi）の偏心も指定します。ブロックは、中心点を軸として、X 軸、Y 軸、Z 軸の順に回転されます。

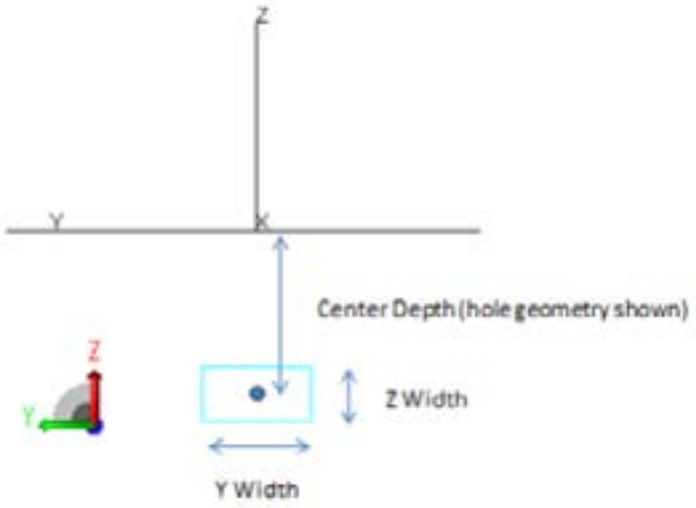


FIGURE 3.56 - Block depth/height and rotation center.

Chiseled Log（チゼルログ）ジオメトリは、楕円錐の切頭体であり、両端はオプションで角度をつけて切断または削り出しが行われます。チゼルログは、隆起または穴として作成できます。また、xy 平面内で回転可能です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

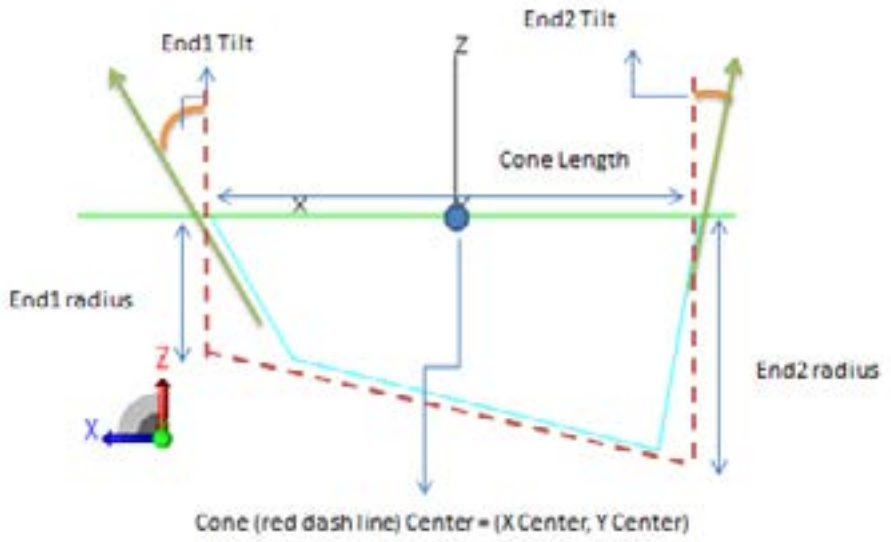


FIGURE 3.57 - Chiseled Log dimensions.

Chiseled Log（削り出し丸太）のジオメトリ作成について

Chiseled Log（削り出し丸太）のジオメトリを作成するには、中心の奥行き / 高さ、長さ、端 1 と端 2 の半径、端 1 と端 2 の傾斜角度、半径比（楕円錐の場合）、方位角度（Z 軸周りの回転）、そしてパラメータ化されたジオメトリの場合は、X と Y（またはリングタイルの場合は R と phi）における偏心量を指定します。

半径比は、Z 方向の半径を X-Y 平面の半径で割ったものです。

DMD ミラージオメトリ

DMD ミラーのジオメトリは、デジタルマイクロミラーデバイス（DMD）内の個々の反射鏡をモデル化するために使用されます。

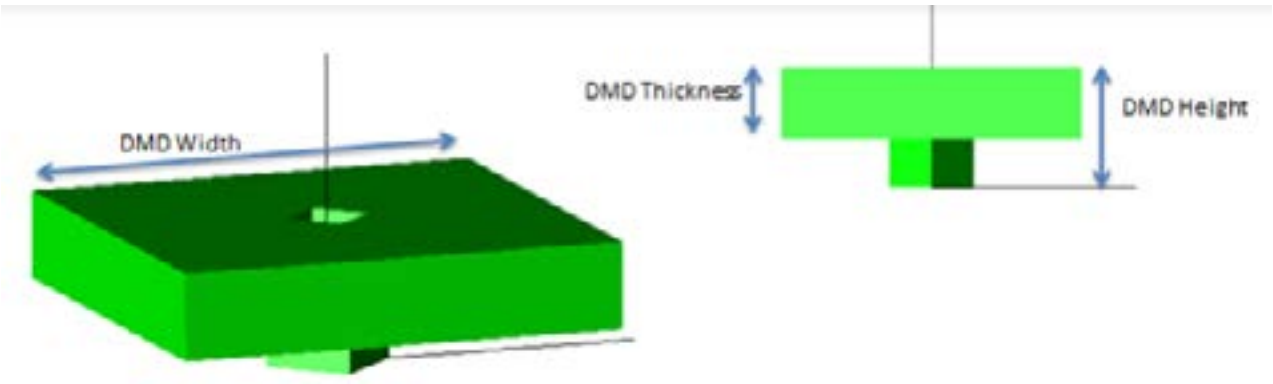


FIGURE 3.58 - DMD Mirror geometry.

DMD ミラーの形状は、正方形のポストに取り付けられた正方形のミラーで構成され、オプションとしてミラーの中央に正方形の穴があり、ミラーに対して 45°の角度で配置されています。各 DMD ミラーを作成するには、深さ / 高さ、厚さ、幅、穴の幅、ポストの幅、傾斜角、およびパラメータ化された形状の場合は、方位角と X および Y（またはリングタイル用の R および

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

phi）の偏心量を指定します。ミラーは、ローカル座標（方位角 = 0）で（1 1 0）方向に沿った対角線を中心に傾斜し、回転の中心は図 3.60 に示すようにミラーの基部にあります。

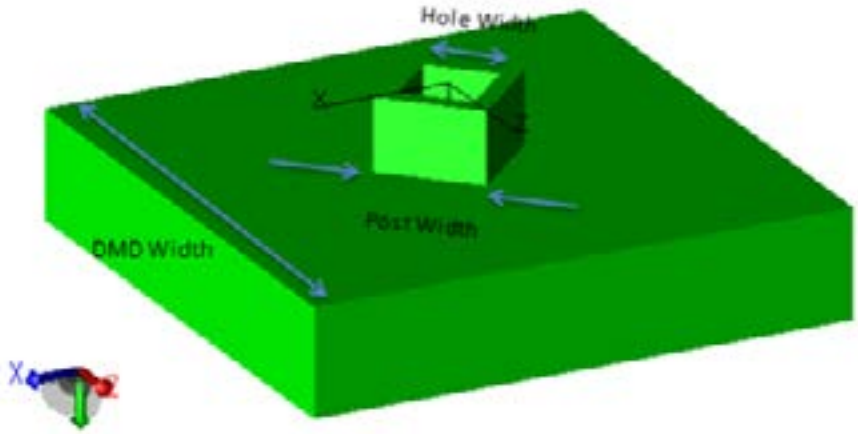


FIGURE 3.59 - DMD Mirror dimensions.

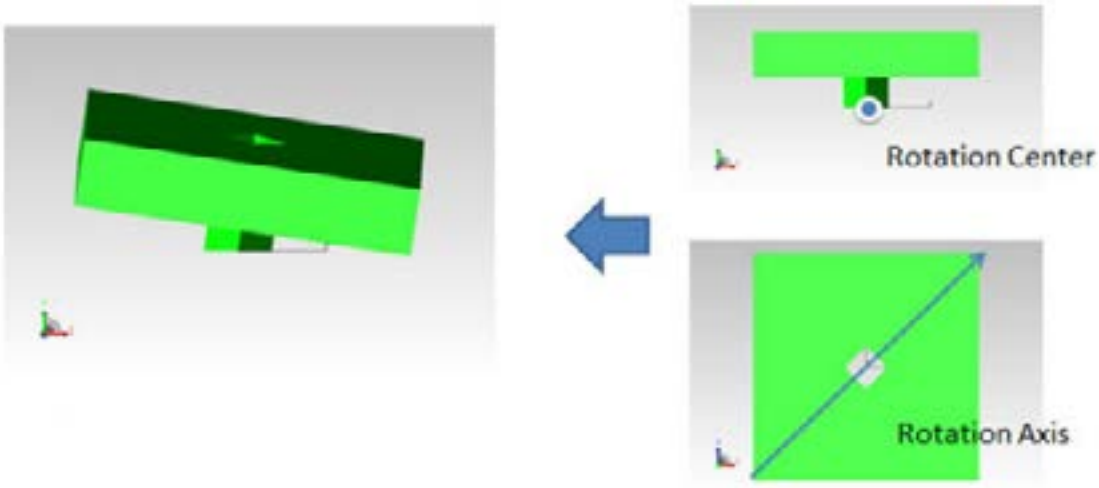


FIGURE 3.60 - DMD Rotation axis and rotation center.

トーラスジオメトリ

トーラスジオメトリは、主半径、副半径、x 中心、y 中心、および深さ / 高さによって指定されます。パラメータ化されたトーラスは、x および y で中心をずらすこともできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

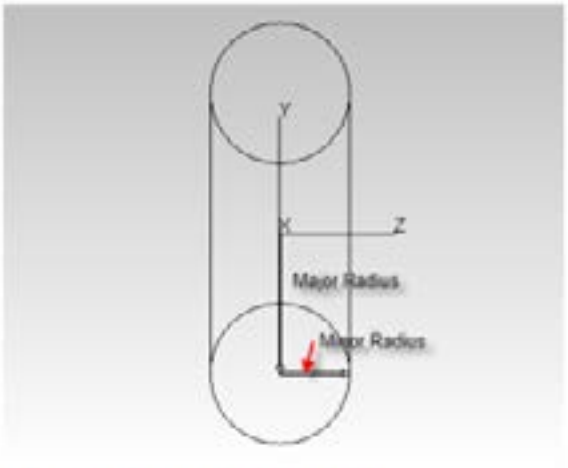


FIGURE 3.61 - Torus major and minor radii.

トーラス（円環体）は、図 3.61 に示すような通常のリング状のトーラスとして指定することも、図 3.62 に示すような自己交差する「リンゴ」または「レモン」トーラスとして指定することもできます。通常のトーラスでは、主半径は副半径よりも大きくなります。自己交差するトーラスでは、主半径は副半径よりも小さくなります。リンゴトーラスでは、主半径は正の値であり、レモントーラスでは、主半径は負の値です。副半径よりも絶対値が大きい負の主半径でトーラスを作成しようとすると、サーフェスはまったく生成されません。

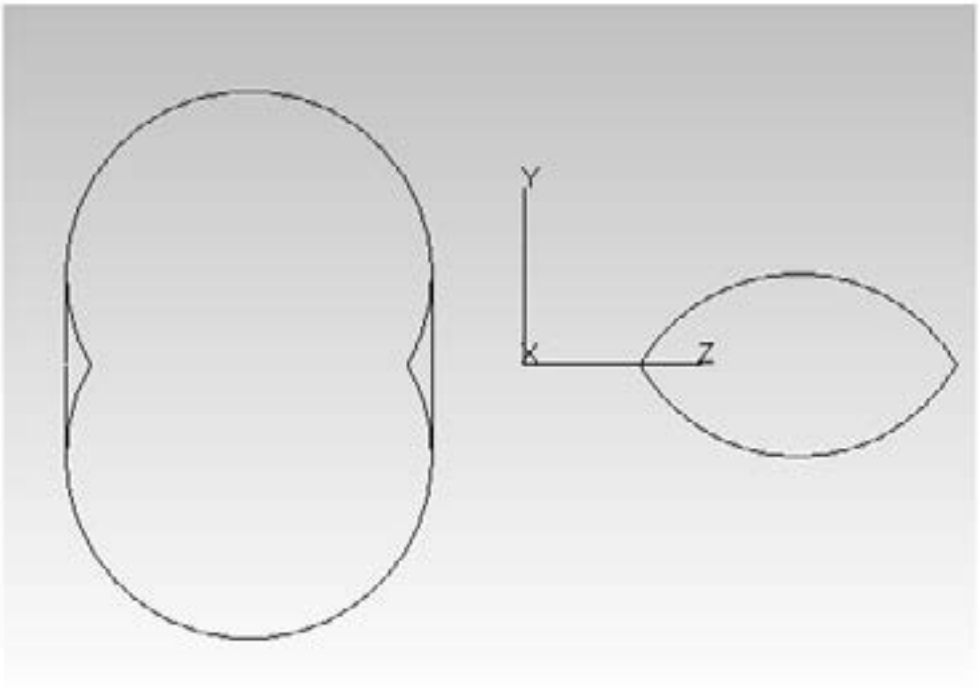


FIGURE 3.62 - Example of an apple torus (left, with major radius =1, minor radius = 2) and a lemon torus (right, with major radius = -1, minor radius = 2).

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

非球面形状

「非球面 RepTile 形状は、回転対称レンズのサグ（矢高）方程式に従って定義される単一のサーフェスです。

$$z = \frac{c_v \rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K) c_v^2 \rho^2}} + \sum_{i=1}^{8} A_i \rho^i , \qquad (3.9)$$

ここで、ρ ² = X² + Y²、c ν はサーフェスの頂点曲率、K は円錐定数、Ai は非球面係数です。上記の X、Y、Z 座標は、サーフェスの頂点を基準とした局所座標です。

非球面を指定するには、サーフェスの半径（すなわち、半直径）、頂点曲率、円錐定数、および 8 つの非球面係数を入力します。サーフェスの高さを指定する必要はありません。高さは、外縁を定義する円が RepTile セルの基準平面上にあるように調整されるためです。したがって、サーフェスの頂点高さはサグ方程式によって決定されます。

解説 :

ρ ² = X² + Y²: これは、X と Y の座標から半径（ρ）の二乗を計算する式です。

c ν (vertex curvature): サーフェスの頂点における曲がり具合を示します。

K (conic constant): サーフェスの形状を決定する円錐定数です。

Ai (aspheric coefficient): 非球面形状を定義するための係数です。

local coordinates: サーフェスの頂点を基準とした座標系です。

RepTile cell: 特定のソフトウェアやシステムにおけるセルの名称です。

sag equation: サーフェスのサグ（垂下量）を計算する方程式です。

$$height = \frac{c_v R^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K) c_v^2 R^2}} + \sum_{i=1}^{8} A_i R^i , \qquad (3.10)$$

R はサーフェスの半径（半直径）です。

ポリゴン

ポリゴンジオメトリ」は、以下のパラメータで指定されるソリッドな正多角形です。多角形を外接する円の半径、厚さ、辺の数、中心の x 座標、中心の y 座標、奥行き / 高さ、(x,y,z)、回転角度。
パラメータ化された多角形は、x 方向と y 方向で中心をずらすことも可能です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

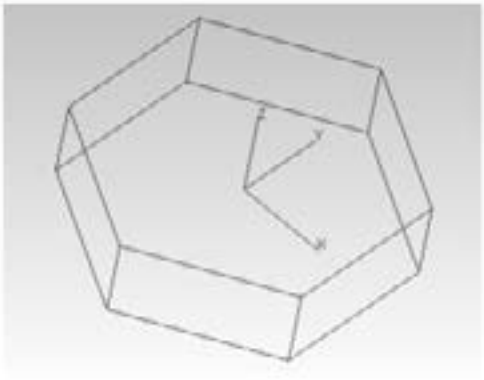


FIGURE 3.63 - Example of a six-sided regular polygon (hexagon) RepTile feature.

深度 / 高さは、基準平面からポリゴンの中心までの距離を指定します。バンプジオメトリの場合、深度 / 高さは基準平面からの高さであり、穴ジオメトリの場合、深度 / 高さは基準平面より下の深さです。

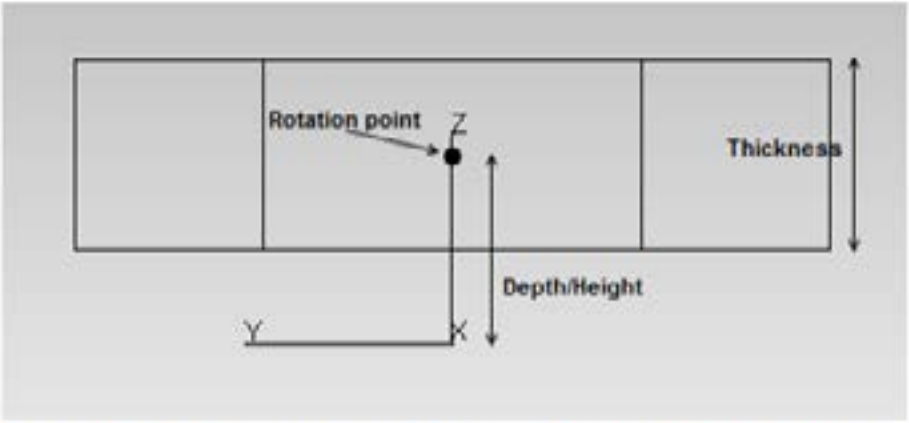


FIGURE 3.64 - Depth/Height, Thickness, and Rotation point of a polygon RepTile feature.

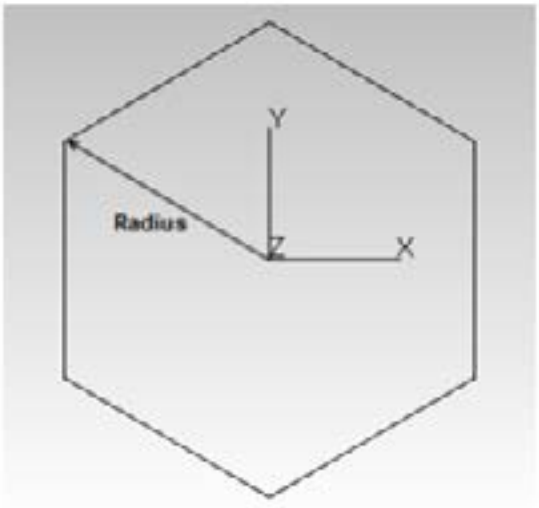


FIGURE 3.65 - Radius of a polygon RepTile feature.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

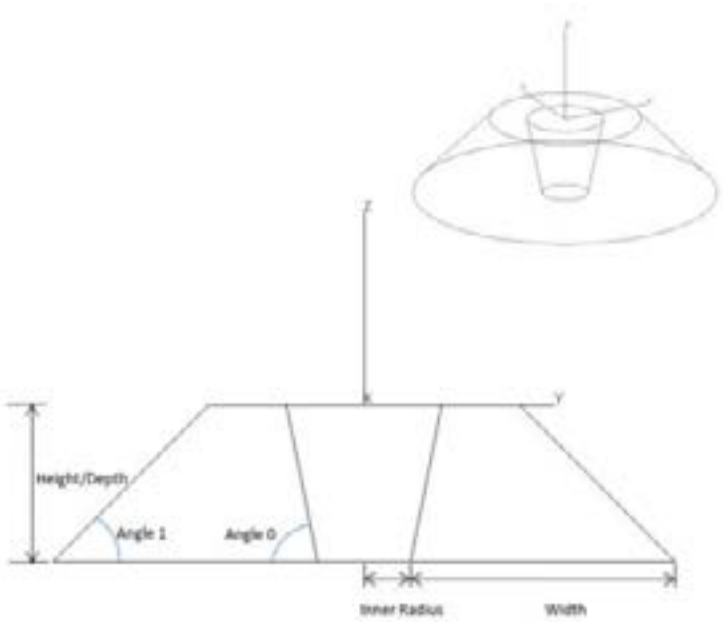


FIGURE 3.66 - Circular hip roof RepTile feature.

キューブコーナー

キューブコーナー形状は、六角形のパターンで配置されたキューブコーナー再帰反射器で構成されています。キューブコーナーを指定するために必要なパラメータは、タイル幅以外にはありません。キューブコーナーは、図 3.67 に示すようにタイル内に配置されます。キューブコーナー幾何学は、六角形のタイルでのみ使用できます。その形状のため、キューブコーナータイルの外周エッジは一定の高さではありませんが、外周エッジは隣接するキューブコーナータイルとうまく結合します。

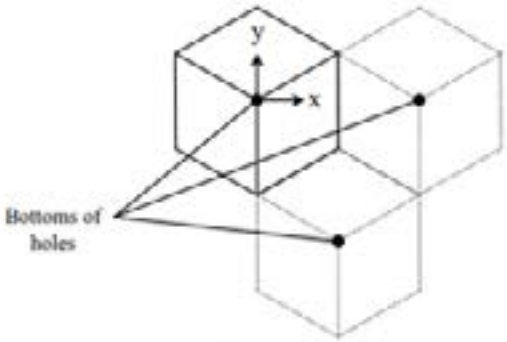


FIGURE 3.67 - A cube corner is oriented in a hexagonal tile as shown (along with two neighboring tiles). The cube corner tile is always concave, that is, the vertex (at the origin in this illustration) is at the bottom of a hole.

ピラミッド形状

ピラミッド形状は、正ピラミッドで構成され、バンプ形状の場合は頂点が上を向き、穴形状の場合は下を向きます。ピラミッドの入力は、ピラミッドを外接する円の半径、ピラミッドの角度、および辺の数です。ピラミッドの角度は、ピラミッドの側面と底面との間の角度です。パラメータ化された形状では、x 方向と y 方向の偏心も入力できます。

円形寄棟屋根形状

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

円形寄棟屋根 RepTile 形状は、内半径、高さ / 深さ、幅、および角度によって指定されるソリッドな円形寄棟屋根です。パラメータ化された円形寄棟屋根は、x 方向と y 方向に偏心させることもできます。

四面体形状

四面体 RepTile 形状は、4 つの頂点コーナーの位置によって指定されるソリッドな四面体です。パラメータ化された四面体は、x 方向と y 方向に偏心させることもできます。深さ / 高さは、底面から四面体の頂点コーナーまでの距離を指定します。バンプ形状の場合、深さ / 高さは底面からの高さであり、穴形状の場合、深さ / 高さは底面からの深さです。

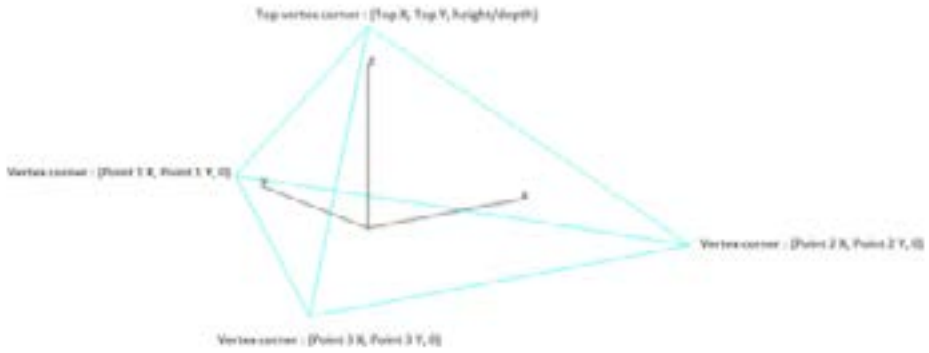


FIGURE 3.68 • Thetrahedron RepTile feature

テクスチャファイル

テクスチャファイルは、RepTile（レプタイル）タイプのジオメトリをサーフェスに適用するための手法です。これらのテクスチャファイルには、RepTile ジオメトリを構成するフィーチャーに関する数値データが含まれています。ただし、RepTile テクスチャファイルと標準の RepTile ジオメトリにはいくつかの違いがあります。

- フィーチャーを記述するデータは、他の手段（CAD やスプレッドシートプログラムなど）で生成された外部ファイルから取得されます。
- テクスチャファイルは、規定のデータ形式に従う必要があります（7.111 ページの「テクスチャファイル形式」を参照）。
- テクスチャファイル内の各フィーチャーは個別に区別されます。つまり、フィーチャーは選択された RepTile 領域にタイル状に配置されるのではなく、それぞれがテクスチャファイル内に明示的にリストされる必要があります（そのため、ファイルが非常に大きくなる可能性があります）。
- フィーチャーデータは特定の順序である必要はなく、フィーチャーの空間位置、サイズなどはファイル内で可変（つまり、ランダム）にすることができます。
- 複数のフィーチャーが同じ RepTile タイル / ピクセル内に存在できます。
- フィーチャーが重なり合うと、予期しない結果が生じ、レイトレースエラーが発生する可能性があります。これは推奨されません。
- テクスチャファイルにはバンプとホールの両方を含めることができますが、フィーチャーの重なり合いが非物理的な RepTile ジオメトリ（つまり、アンダーカット）につながる可能性があるため、ユーザーは注意する必要があります。TracePro 内では、このような

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

事態を回避するためのプロトコルが採用されています（4.52 ページの「テクスチャ付き RepTile のベース平面指定」を参照）。

- RepTile プロパティエディタのバンプ / ホールボタンを使用して、各フィーチャーのバンプ / ホールの指定を反転させる機能。
- RepTile バッファは 1 x 10-10 mm です。
- RepTile 境界と重なるテクスチャファイルのフィーチャーは無視されます。

それ以外の場合、RepTile テクスチャファイルの定義、適用、レイトレースは、他の RepTile プロパティと同じ方法で実行されます。RepTile テクスチャファイル内に含めることができるフィーチャージオメトリタイプの現在の機能は、3.56 ページの表 3.13 に示されています。

RepTile プロパティエディタウィンドウで、新しい RepTile テクスチャファイルを定義するには、次の手順に従います。

- 目的のカタログで、[プロパティを追加 ...] を選択します。これにより、[新しい RepTile プロパティの入力] ダイアログが表示されます（図 3.69 を参照）。

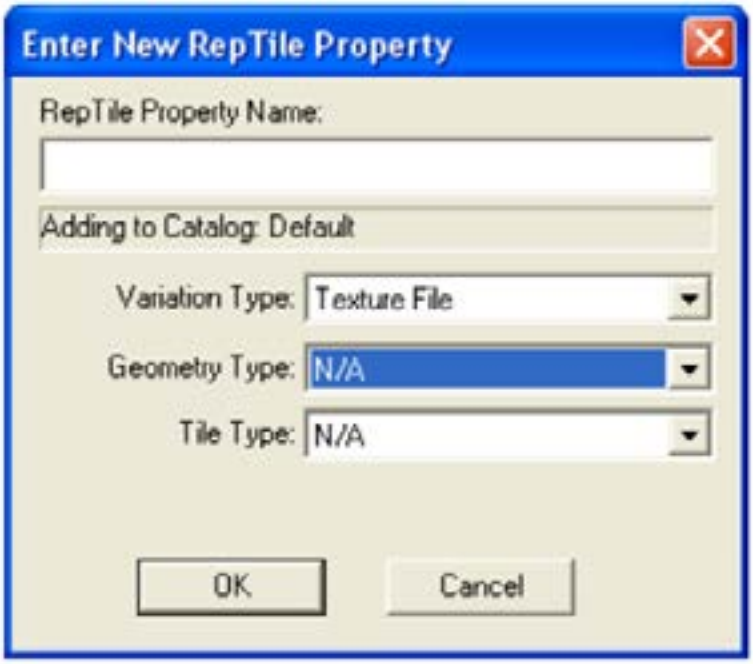


FIGURE 3.69 - Enter new RepTile property for a Variation Type of Texture File.

RepTile テクスチャファイルの設定手順

- RepTile 名の入力とバリエーションタイプの選択 :RepTile 名を入力し、バリエーションタイプとして「テクスチャファイル」を選択します。タイルタイプとジオメトリタイプは適用されないため、「N/A（該当なし）」と表示されます。
- 「OK」を選択すると、RepTile プロパティエディタにフォーカスが戻ります。
- 説明の入力 : テキストによる説明を入力できます。
- バンプ / 穴の反転 : テクスチャファイル内の各フィーチャーには、バンプ（凸）または穴（凹）の指定がありますが、「バンプ / 穴」ボタンを使用することで、この指定を反転できます。このボタンで「穴」を表示することで、レイ・トレースにおけるフィーチャーの方向（バンプまたは穴）が反転します。コンボボックスを使用して、デフォルトのバンプ / 穴の設

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

定を「バンプ」、「穴」、「混合」、「反転」に設定できます（各タイプの詳細については、4.48 ページの「テクスチャ付き RepTile のバンプ指定」を参照）。

- RepTile タイプの表示 :RepTile プロパティエディタの RepTile タイプ領域には、「バリエーションタイプ：テクスチャファイル」、「タイルタイプ：N/A」、「ジオメトリタイプ：N/A」と表示されます。
- タイルパラメータの入力 :
  RepTile プロパティエディタのタイルパラメータ領域では、現時点では「ファイル」と、ファイルを探すための「参照（…）」ボタンのみが表示されます。パスを含むファイル名を入力するか、参照ボタンを使用してファイルを探します。更新された RepTile プロパティエディタは、3.78 ページの図 3.70 に示されているように表示されます。
- デフォルトの幅と高さの設定 : ファイルを選択すると、「デフォルト幅」と「デフォルト高さ」のデータ入力セルが編集可能になります。これらは、それぞれデフォルトのタイル幅と高さです。初期値は 0 ですが、それぞれに正の空間寸法を入力することをお勧めします。タイル幅と高さに対してモデル固有の値を入力することもできます（4.46 ページの「RepTile テクスチャファイルサーフェスの指定」を参照）。

プロパティの保存 :
上記の手順を完了すると、RepTile テクスチャファイルのプロパティ設定は完了です。RepTile テクスチャファイルのプロパティを指定するために追加のデータを入力する必要はありません。プロパティの保存アイコンを選択して、新しく作成されたプロパティをデータベースに保存します。

テクスチャファイルの作成 : テクスチャファイルの作成については、7.111 ページの「テクスチャファイル形式」を参照してください。これらの手順で RepTile テクスチャファイルの設定が完了します。

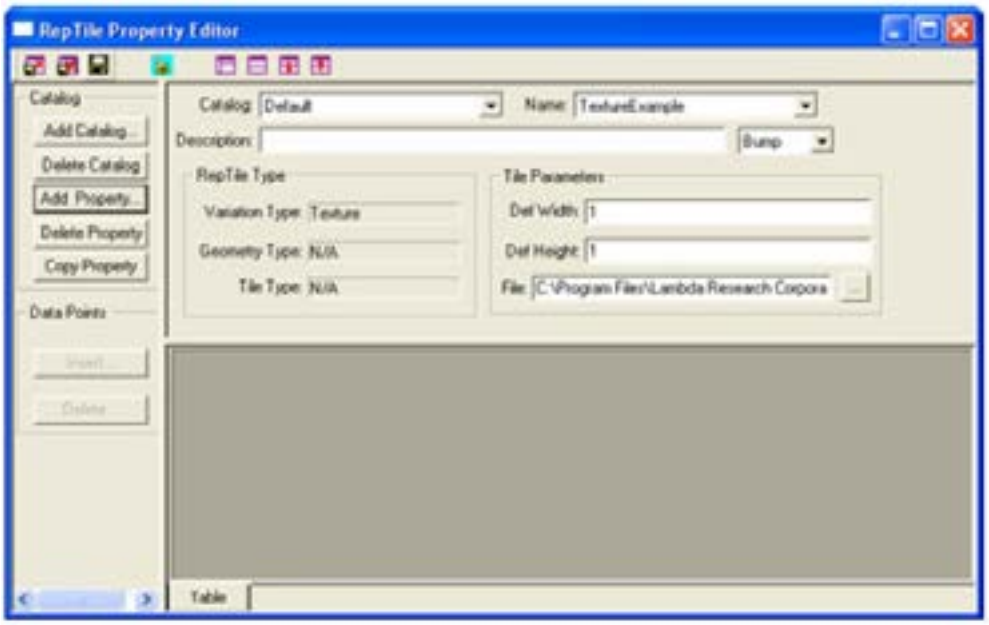


FIGURE 3.70 - RepTile Property Editor for the input of a Texture File after the File has been entered or selected and the default width and heig have been set.

RepTile のパラメータ化

RepTile の形状とタイルパターンは、パラメータ化（数式で定義）することができ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ます。この機能を利用するには、新しい RepTile プロパティを作成する際に、「バリエーションタイプ」を「Parametarized）（パラメータ化」に選択してください。

FIGURE 3.71 - New RepTile Property dialog.

変数

パラメーター化を追加するために、プロパティに選択されたタイルの種類に基づいて変数が定義されました。これらの変数は、RepTile ジオメトリ内のタイルの位置を特定するために使用されます。RepTile パラメーター化を定義することにより、プロパティが適用されるサーフェス上でタイルとジオメトリを変化させることができます。数学的表現で使用される変数は、タイルタイプに応じて次のように変化します。

長方形および千鳥状長方形

iRow = 行番号（+Y 方向のカウント）

jCol = 列番号（+X 方向のカウント）

リング

iRing = リング番号（中心から外側へのカウント）

jAzi = 方位角（度単位、+x 軸から時計回り）

パラメーター化された入力フィールド

RepTile プロパティエディターでは、「背景色」(2.58 ページ参照)で色分けされた評価コントロールに表示される入力フィールドは、数式を受け入れるフィールドです。式は、「式評価器」（1.15 ページ）と題されたセクションで説明されているダイアログボックスコントロールで使用されるものと同じです。関数は、上記で定義された変数を使用できます。これらの式で使用できる変数は、表 3.14 および表 3.15 に示すように、タイルタイプとジオメトリタイプによって異なります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブル 3.14. タイルパラメータ

タイルタイプ	入力フィールド	関連する変数名
リング	リング幅	iRing
	セグメント幅	iRing, jAzi
	開始角度	iRing
	セグメント数	iRing
長方形	幅	jCol
	高さ	iRow
千鳥配置の長方形	幅	jCol
	高さ	iRow
	行オフセット	Row

ずらし矩形タイルにおける行オフセットについて：

「ずらし矩形」タイルタイプにおける「行オフセット」とは、ある行から次の行への水平方向のずれを指します。一定値のオフセット : 一定の値を入力すると、各行のずれが一定となり、通常の矩形タイルと見た目が変わりません。つまり、ずらしの効果が得られません。行ごとに変化するオフセット : 行ごとにずれを変化させるためには、「iRow」変数を使った関数形式の式を入力する必要があります。「iRow」は行番号を表します。半タイル幅のずらし : 例えば、タイル幅の半分だけ各行をずらすには、以下の式を使用します。

行オフセット = (タイル幅) * (iRow % 2) / 2

iRow % 2 は、iRow を 2 で割った余りを計算します。これにより、0 または 1 の値が得られます。/ 2 は、結果を 0 または 0.5 にします。(タイル幅) は、入力したタイル幅の値を明示的に入力する必要があります。単位 : 行オフセットの値は、入力された式に従って、ミリメートル単位で算出されます。

つまり、行ごとにずれを変化させる関数式を入力することで、意図した「ずらし矩形」のパターンを実現することができます。

テーブル 3.15 形状パラメータ

幾何学的形状タイプ	入力フィールド	変数許可
フレネル	ファセット角度	iRing
	抜き勾配	iRing
円錐	端半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	円錐角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	面取り高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	面取り角度	Row / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
球	半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	深さ / 高さ : iRow / iRing, jCol / jAzi	
	偏心 (x, y): iRow, jCol	
	偏心 (r, phi): iRing, jAzi	
楕円体	X 半径 , Y 半径 , Z 半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	中心高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 回転 , Y 回転 , Z 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
寄棟屋根	深さ / 幅	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 幅 , Y 幅	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 角度 , Y 角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	向き	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi): iRing, jAzi	
立方体コーナー	(なし) (なし)	
プリズム	Y(0) 角度 , Y(1) 角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X(0) 角度 , X(1) 角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
丸みを帯びたプリズム	Y(0) 角度 , Y(1) 角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	頂点半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	谷半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
拡張プリズム	X 幅 , Y 幅 , 深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X0, X1, Y0, Y1 角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	頂点 0,1, 谷 0,1 半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
拡張プリズム	向き	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
ログ	中心 深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	長さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	端半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X, Y, Z 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	半径比	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
平坦化円錐	端半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	円錐角度	iRow / iRing, jCol / jAzi

	頂点半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	谷半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi): iRing, jAzi	
尖った円錐	深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	円錐角度	iRow / iRing, jCol / jAzi
	頂点半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	谷半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
ブロック	中心 深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 幅	iRow / iRing, jCol / jAzi
	Y 幅	iRow / iRing, jCol / jAzi
	Z 幅	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	Y 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	Z 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y)	iRow, jCol
	偏心 (r, phi)	iRing, jAzi
多角形	半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	深さ / 高さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	厚さ	iRow / iRing, jCol / jAzi
	辺の数	iRow / iRing, jCol / jAzi
	X 回転	iRow / iRing, jCol / jAzi
	Y 回転 : iRow / iRing, jCol / jAzi	
	Z 回転 : iRow / iRing, jCol / jAzi	
	偏心 (x, y): iRow, jCol	
	偏心 (r, phi): iRing, jAzi	
ピラミッド	半径	iRow / iRing, jCol / jAzi
	角度 : iRow / iRing, jCol / jAzi	
	辺の数	iRow / iRing, jCol / jAzi
	偏心 (x, y): iRow, jCol	
	偏心 (r, phi): iRing, jAzi	

補足 :

iRow, iRing, jCol, jAzi は、インデックスまたは座標を表す変数です。

(x, y) はデカルト座標、(r, phi) は極座標を表します。

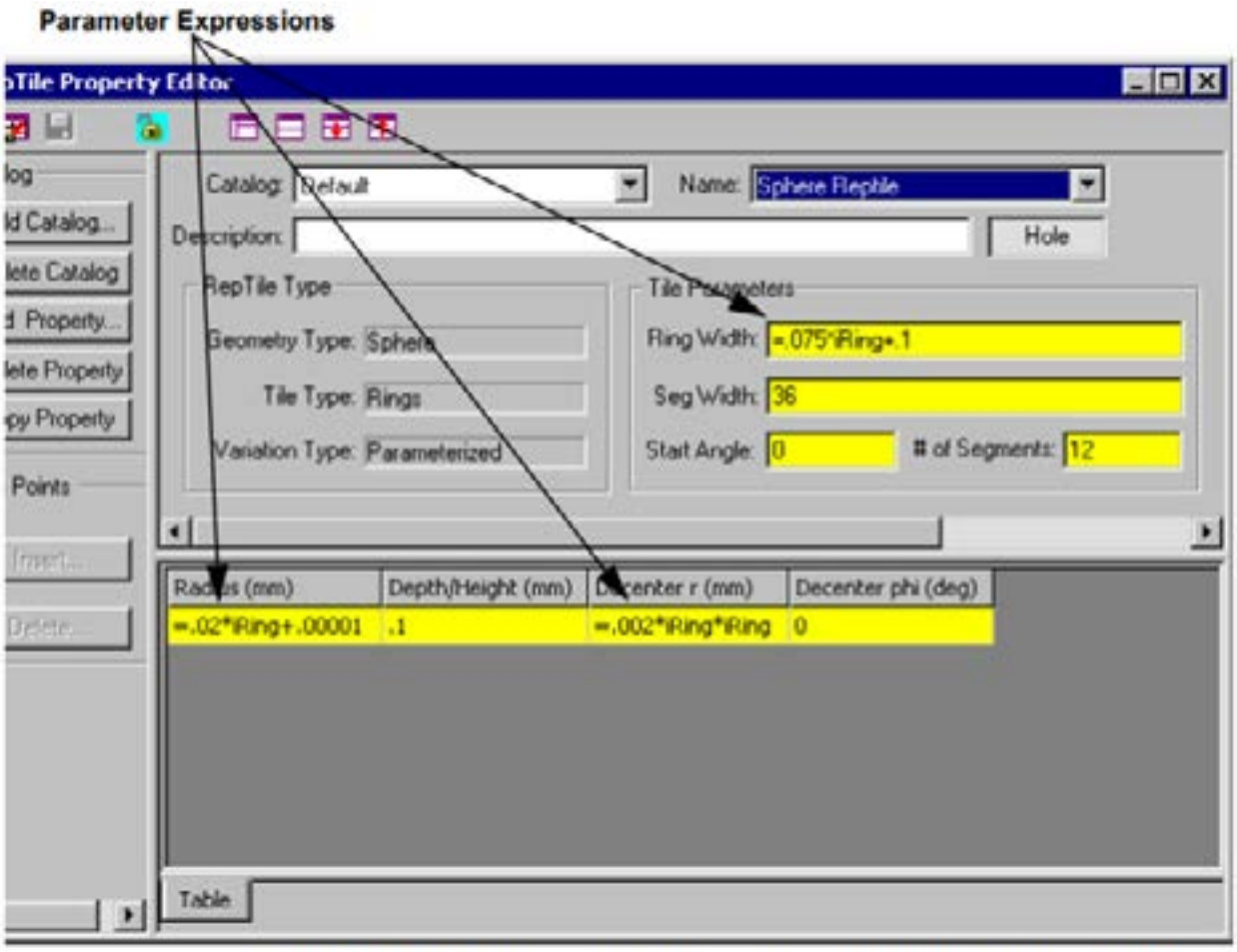


FIGURE 3.72 - Sphere Geometry Expressions using the iRing Variable.

レプタイル形状のディセンタリング

円錐、球、楕円体、腰折れ屋根（マンサード屋根）、拡張プリズム、ログ形状は、プロパティに「変動タイプ:パラメータ化」が指定されている場合、偏心パラメータを提供します。この場合、形状はタイル内で偏心させることができます。長方形および千鳥状長方形のタイルタイプでは、入力パラメータは次のとおりです。

Y 軸回転：i 行 /i リング、j 列 /j 方位角

Z 軸回転：i 行 /i リング、j 列 /j 方位角

偏心（x, y）：i 行、j 列

偏心（r, ϕ）：i リング、j 方位角

ピラミッド半径：i 行 /i リング、j 列 /j 方位角

角度：i 行 /i リング、j 列 /j 方位角

辺の数：i 行 /i リング、j 列 /j 方位角

偏心（x, y）：i 行、j 列

偏心（r, ϕ）：i リング、j 方位角

パラメータ式

偏心 x と偏心 y。リングタイルでは、入力パラメータは偏心 r（正の r は外向き）と偏心 ϕ であ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

り、φ は度単位で、0° は +X 方向です。球形状のリングタイルプロパティの例については、図 3.72 を参照してください。

プロパティデータベースツール

「ツール | データベース」メニューは、TracePro プロパティデータベースを更新および保守するためのツールを提供します。プロパティデータは、デフォルトで「TracePro.db」という名前のデータベースファイルに保存されます。**「表示 | オプション | 一般」**ダイアログボックスで、プロパティデータベースの実際の名前と場所を設定できます。

また、後述するように、「ヘルプ」メニューの選択から Lambda Research のウェブサイトからデータベースを更新することもできます。

プロパティデータベースの更新

TracePro は、正確なモデル構築を支援するために、多くの「組み込み」プロパティとともに公開されています。Lambda Research は、これらの組み込みデータベースを新しいまたは改良されたプロパティで随時更新します。www.lambdares.com のカスタマーサポートセンターから最新のプロパティデータベースをダウンロードしてインストールするには、**「ヘルプ | プロパティデータベースの更新」**を選択します。データベースを更新しても、作成してデータベースに追加したプロパティは上書きまたは削除されません。

インポート

「ツール | データベース | インポート」の選択は、テキストファイルから TracePro にプロパティデータを変換します。さまざまなエディタに関連付けられた「プロパティのインポート」コマンドとは異なり、テキストファイルには、同じまたは異なるタイプの複数のプロパティを「SAVE-DATA」行で区切って含めることができます。したがって、サーフェスプロパティ、マテリアルプロパティ、体積散乱プロパティなどをすべて単一のファイルに連結でき、各プロパティは「SAVE-DATA」行で区切られます。デフォルトのプロパティデータベースからのすべてのデータは、TracePro 配布メディアに含まれています。

注：「SAVE-DATA」は、連結されたプロパティファイルのプロパティの最終行を定義するために使用されます。TracePro インポート用のファイルを読み取るか作成する場合は、7.93 ページの「プロパティのインポート / エクスポート形式」というタイトルのセクションを参照してください。

インポート中、プロパティ名はデータベース内の現在のプロパティと照合されます。名前が既存のプロパティと一致する場合、通知されます。個々のプロパティは上書きまたはスキップできます。多くのプロパティをインポートする場合、図 3.73 に示すように、現在のエントリ、後続のすべてのエントリを上書きするか、現在のエントリをスキップするか、後続のすべてのエントリをスキップするオプションがあります。

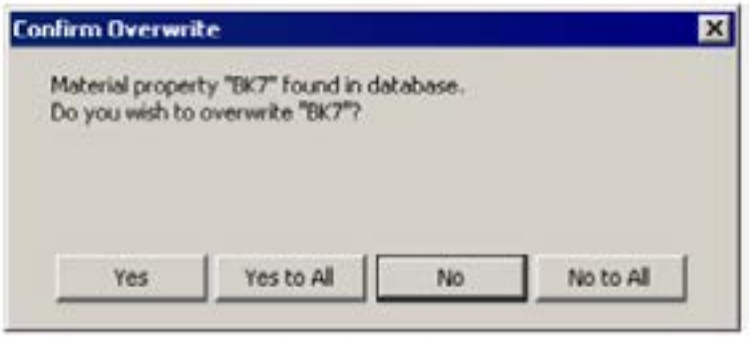


FIGURE 3.73 - Confirm Overwrite dialog.

エクスポート

「プロパティのエクスポート」コマンドは、モデルのすべてのプロパティデータを含む単一のファイルを生成します。「ツール」|「データベース」|「エクスポート」を選択するか、F12 キーを押すと、プロパティデータのテキストファイルが生成されます。「ファイル名を付けて保存」ダイアログが表示され、プロパティファイル名を入力できます。各プロパティは、オンラインヘルプに記載されているように、SAVEDATA 行で区切られます。データは、**「ツール | データベース | インポート」**または F11 キーを使用して再入力できます。

TracePro サポート担当者と作業している場合、または他の TracePro ユーザーと共同作業を行っており、oml ファイルを送信する場合は、モデルプロパティをエクスポートし、oml ファイルと一緒にプロパティファイルを送信する必要があります。これらの 2 つのファイルには、TracePro モデルを開いて分析するために必要なすべてのデータが含まれています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 4 章 プロパティの使用と適用

プロパティの使用

TracePro でジオメトリを作成した後、光線がモデルとどのように相互作用するか、およびモデルウィンドウにどのように表示されるかを決定するために、ジオメトリにプロパティが割り当てられます。TracePro では、独自のプロパティを定義できます（第 3 章「プロパティの定義」を参照）。

既存のプロパティデータの制限

TracePro に付属するプロパティデータの多くは、データシートや公開データから得られたものです。ショット、オハラ、ホヤなどのメーカーの光学ガラスデータのように非常に完全なデータである場合もあります。一方、アラノドやサカールなどの金属メーカーのプロパティのように、ごく限られた範囲の値しか与えられない場合もあります。たとえば、アルミニウムサプライヤーは、DIN 5036 に準拠した正反射と拡散反射を宣言していますが、この測定方法は積分球を使用するものです。これは、TracePro で散乱をシミュレートするために必要な BSDF 分布関数を記述するには不十分です。各ユーザーは、データが自分のニーズに適していることを確認し、材料ベンダーまたは第三者の測定サービスから直接測定データを取得することを推奨します。これは、散乱データや光学コーティングの場合に特に重要です。

プロパティデータの適用

特定の問題をモデル化するには、どのようなプロパティが必要でしょうか？この質問に答えるには、プロパティを物理プロパティとレイトレースプロパティに分けて考えると便利です。

物理プロパティ：モデルまたは設計が完成したときに構築されるハードウェアに変換されます。これらのプロパティは、レイトレースに直接影響し、マテリアルプロパティとサーフェスプロパティが含まれます。表 4.1 の物理プロパティのリストを確認して、特定のモデルにどのプロパティが適用可能かを判断できます。

レイトレースプロパティ：TracePro で利用可能な機能を使用して、レイトレースをより効率的に行うために適用されます。これらのプロパティは、最終的なハードウェアの物理的な属性ではありません。インポータンスサンプリングや出口サーフェスは、レイトレースプロパティの例です。これらのプロパティを特定のモデルに適用する必要はありません。物理プロパティを適用したら、第 5 章「レイトレースと最適化」に進み、モデルに役立つ TracePro レイトレース機能を決定してから、この章に戻って必要なレイトレースプロパティを適用できます。

プロパティを適用する方法は、すべてのプロパティで同じです。唯一の違いは、オブジェクトに適用されるプロパティとサーフェスに適用されるプロパティの間です。概要については、表 4.1 を参照してください。プロパティを追加する手順は次のとおりです。

- メニューから**「定義 | プロパティの適用」**を選択して、「プロパティの適用」ダイアログボックスを開きます。システムツリーまたはモデルウィンドウを右クリックすると、プロパティダイアログボックスへのショートカットが表示されます。1.9 ページの「コンテキスト依存メニュー」を参照してください。
- 更新するプロパティの「プロパティの適用」ボックス内の適切なタブを選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- システムツリーまたはモデルウィンドウでオブジェクトまたはサーフェスを選択して、オブジェクトまたはサーフェスを選択します。1.11 ページの「オブジェクトとサーフェスの選択」を参照してください。
  「プロパティの適用」ダイアログに必要なデータを入力します（各プロパティの詳細については、この章の残りの部分を参照してください）。
- 「適用」ボタンをクリックします。
- プロパティが適用されたことを確認するには、システムツリーでオブジェクトまたはサーフェスを展開し、プロパティ情報を確認します。
- 「プロパティの適用」ダイアログはモードレスダイアログであるため、TracePro で他のタスクを実行しながら開いたままにすることができます。いつでも､開いている「プロパティの適用」ダイアログに戻り、システムツリーでオブジェクトまたはサーフェスを選択し、必要なデータを入力して「適用」をクリックできます。
- サーフェスプロパティは、個々のサーフェスまたはオブジェクトに適用できます。プロパティが選択したオブジェクトに適用されている場合、オブジェクトの各サーフェスはプロパティデータを受け取ります。この便利なショートカットは、便宜のために提供されています。プロパティデータを適用するときは、目的のオブジェクトとサーフェスのセットを慎重に選択してください。

表 41　プロパティの適用カテゴリ

	オブジェクト	サーフェス
物理的プロパティ	材料 温度 ミュラーマトリクス（偏光） 分布屈折率 バルク散乱	サーフェス サーフェスソース 回折 温度 温度分布 RepTile
光線追跡プロパティ	光線追跡フラグ インポータンスサンプリング	サーフェスソース プリスクリプション インポータンスサンプリング 出力サーフェス
他のプロパティ	色 ガラスとユーザデータ	色

＊プロパティを使用するには、プロパティデータベースにそのプロパティが存在している必要があります。多くのプロパティが事前に定義されており、そのまま使用できますが、新しいプロパティを定義することもできます（第 3 章を参照）。

Expert ＊＊ RepTile プロパティは、使用前に定義する必要があり、プロパティデータベースに保存されます（3.50 ページの「RepTile サーフェス」を参照）。

この章で説明する「プロパティの適用」ツールについて、より深く理解していただくために、表 4.2 にプロパティとそれらが使用される目的を記載しています。

表 4.2　プロパティと必要とされる場合

プロパティ	必要な場合
マテリアル	屈折率、フレネル反射、体積吸収、体積散乱、勾配屈折率

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

サーフェス	表面反射（フレネル反射以外）、コーティング、薄膜積層、散乱、表面吸収、回折格子
サーフェスソース	サーフェスソース追跡のソースを定義するために使用。第 5 章「光線追跡と最適化」を参照。
温度	屈折率が温度によって変化する場合など、他のプロパティが温度依存性を持つ場合にのみ必要
ミュラーマトリクス	偏光効果をモデル化する場合にのみ必要。
分布屈折率	屈折率が変化する材料にのみ必要。マテリアルプロパティが必要。
バルク散乱	物体の体積内部からの散乱をモデル化する場合にのみ必要。マテリアルプロパティが必要。（表面散乱については、4.10 ページの「表面プロパティ」を参照。）
蛍光	蛍光材料を使用したモデルをシミュレートするために使用
回折	開口部の端付近に入射する光線の回折効果が重要な場合にのみ必要。通常、迷光解析に使用。
色	オブジェクトまたは表面の表示色をデフォルトの色（緑色）から別の色に変更するため
クラスとその他のデータ	マクロ言語が使用できるリソースを提供
光線追跡フラグ	光線追跡から個々のオブジェクトを削除できるようにする
プリスクリプション	自動インポータンスサンプリングと光学的散乱インターセプト制限に必要
インポータンスサンプリング	インポータンスサンプリングにのみ必要
出力サーフェス	シミュレーションモードの光線追跡と逆光線追跡に必要
RepTile	繰り返し構造を持つ表面をモデル化するために必要
温度分布	空間的に変化する温度分布を表面に適用するために使用。表面プロパティが必要。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マテリアルプロパティ

マテリアルプロパティを使用して、物体の屈折率とバルク吸収を指定します。

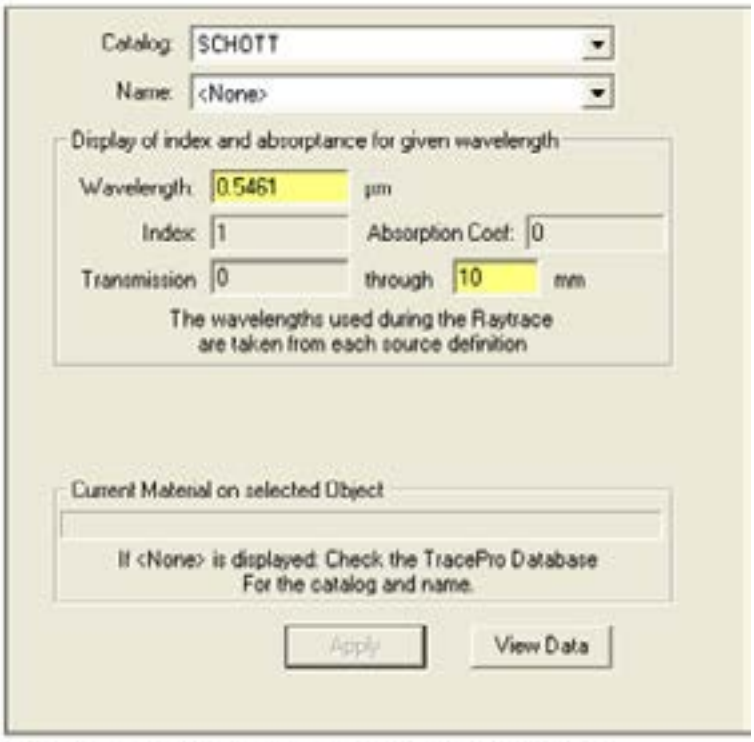


FIGURE 4.1 - Apply Properties Dialog Box - Material

「マテリアル」タブには、一連のボタンとドロップダウンボックスが表示され、以下の操作が可能です。

- プロパティデータベースから既存のマテリアルプロパティを選択する。
- 選択したプロパティのデータを表示する。
- 選択したプロパティをモデル内のオブジェクトに適用する。

材料カタログ

マテリアルプロパティはカタログにグループ化されています。カタログを追加することで、適用したいプロパティを見つけやすくなります。カタログには、製造元のデータ、TracePro に付属するその他のデータ、およびユーザー定義の材料が含まれます。

マテリアルプロパティの適用

モデル内のオブジェクトを選択します。オブジェクトは、

1. システムツリーまたはモデルウィンドウ内でクリックしてオブジェクトを選択します。
2. **「定義｜プロパティの適用」**を選択し、「材料」タブを選択します。
3. ドロップダウンカタログリストを使用してカタログを選択し、ドロップダウン名前リストを使用して目的の材料の名前を選択します。
4. 「適用」をクリックして変更を適用します。
5. システムツリーに新しいプロパティが表示されていることを確認します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

複屈折マテリアルプロパティの適用

モデル内のオブジェクトに複屈折マテリアルプロパティを適用するには：

1. モデル内のオブジェクトを選択します。オブジェクトは、システムツリーまたはモデルウィンドウ内でクリックして選択できます。
2. 「定義｜プロパティの適用」を選択し、「材料」タブを選択します。
3. 「カタログ」リストを使用してカタログを選択し、「名前」リストを使用して目的の材料の名前を選択します。
4. 複屈折プロパティの場合、結晶軸も入力する必要があります。「複屈折結晶軸」ボックスに、結晶軸に平行なベクトルを入力します。オブジェクトが移動および回転されると、結晶軸の向きはオブジェクトに対して相対的に維持されます。図 4.2 を参照してください。
5. 「適用」をクリックして変更を適用します。
6. システムツリーに新しいプロパティが表示されていることを確認します。

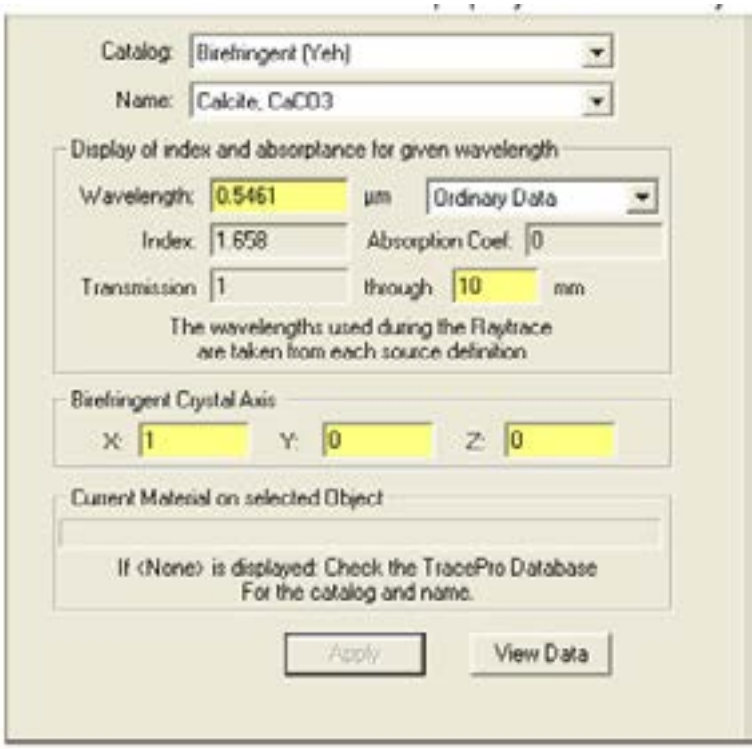


FIGURE 4.2 - Material data for a Birefringent material

バルク散乱

「バルク散乱」とは、物質内部の粒子や介在物によって引き起こされる散乱のことです。バルク散乱プロパティは、物体の材質プロパティと連携して作用します。（詳細については、テクニカルリファレンス 7.61 ページを参照してください。）

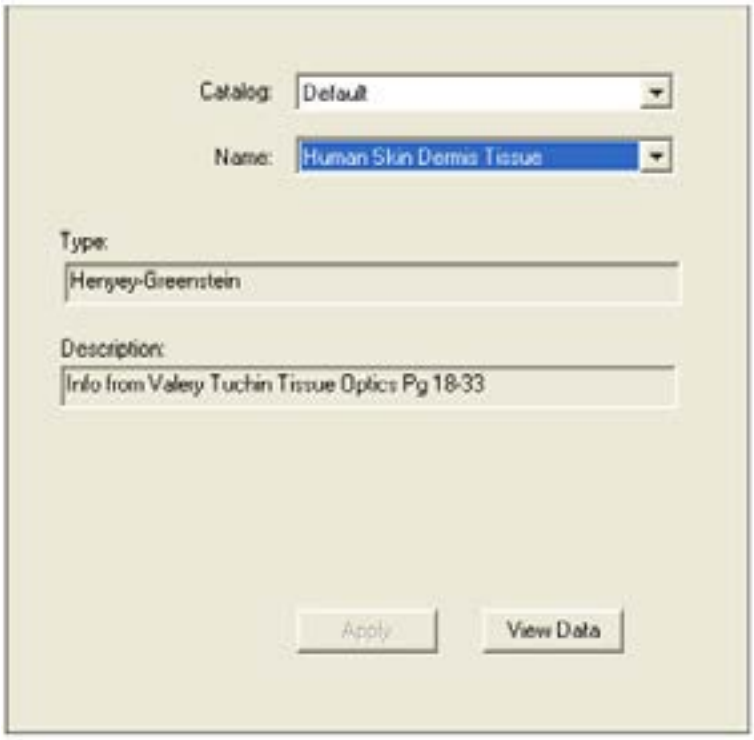


FIGURE 4.3 - Apply Properties Dialog Box - Bulk Scattering

バルク散乱プロパティは、図 4.3 に示すように「**定義 | プロパティの適用 | バルク散乱**」を選択することで適用され、「**定義 | プロパティデータの編集 | バルク散乱プロパティ**」を選択することで編集されます。図 4.4 の左側に示されている簡単な例では、各辺が 1mm のショット BK7 のブロックを使用しています。赤い線で示されている単一の光線は、ブロックの前面に 45 度の角度で入射します。その後、片側から全反射によって反射され、最後に背面を透過して屈折します。青い光線は、フレネル反射によって生じる光線を示しています。

右側の図は、体積散乱プロパティが追加された点を除いて、同じモデルを示しています。

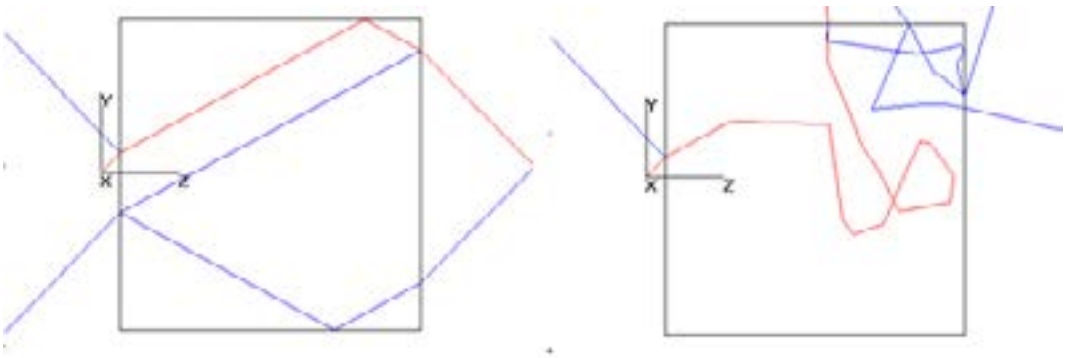


FIGURE 4.4 Block of glass shown before (left) and after (right) Bulk Scattering property is applied.

バルク散乱のサンプリングを強化するために、固体オブジェクトに対してもインポータンスサンプリングを適用できます。図 4.5 を得るために、オブジェクトの基部にある重点ターゲットは、ターゲットに向かって伝播する光線の数を増やします。各重点光線はオブジェクト内部で散乱されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

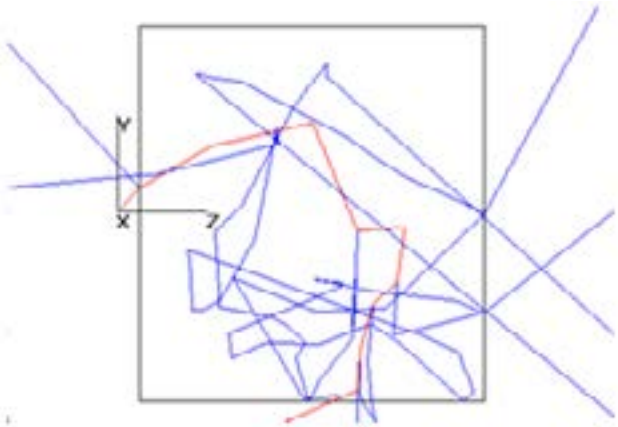


FIGURE 4.5 - Bulk Scattering with Importance Sampling Target

注意 : これらの例のフラックス閾値は 0.0005 に設定されています。5.45 ページの「閾値」を参照してください。体積散乱を使用するには :

1. 散乱をモデル化する体積に適したマテリアルプロパティを適用します。
2. 体積散乱プロパティを適用します。

蛍光プロパティ Expert

蛍光は、オブジェクトに適用される蛍光プロパティと強化されたレイトレース機能の組み合わせによって TracePro でモデル化されます。蛍光プロパティには、ピークモル吸光係数に正規化された相対吸収と相対励起、および相対発光が含まれます。蛍光材料の濃度は、固体オブジェクトにプロパティを適用するときにモル濃度を入力することでモデルに設定できます。モデルがレイトレースされると、レイトレースは 2 つの段階に分割されます。レイトレースの最初の段階では、材料スペクトルの励起部分で光線がトレースされます。レイトレースの最初の段階の副産物として、蛍光材料内のサイトから発する光線を含む TracePro 光線ファイルが生成されます。レイトレースの 2 番目の段階では、光線ファイルを使用して蛍光光線をトレースします。

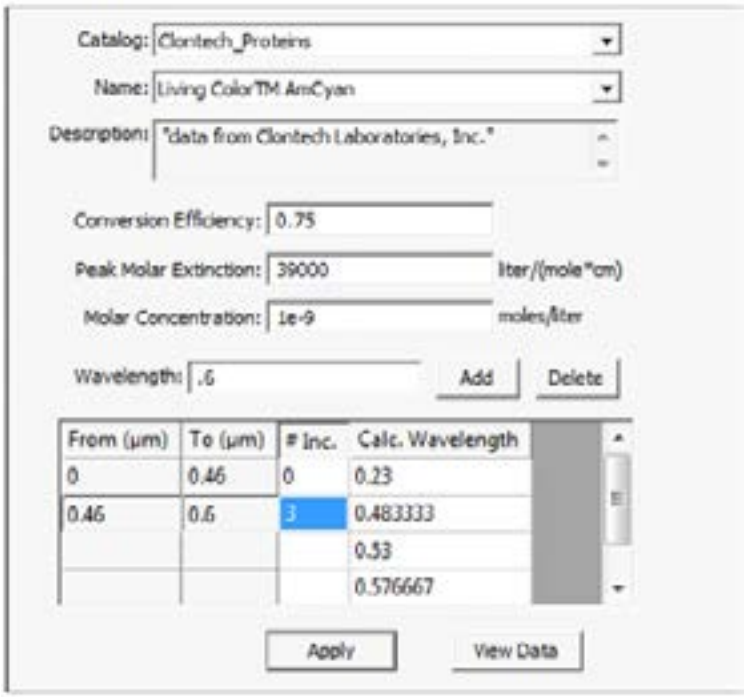


FIGURE 4.6 - Fluorescence Property data.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

蛍光プロパティの適用

蛍光プロパティの定義済みカタログが存在します。これらのカタログから選択するか、蛍光プロパティエディタを使用してユーザー定義の材料を修正または追加することができます。3.12 ページの「蛍光プロパティ」を参照してください。モデル内のオブジェクトに蛍光プロパティを適用するには：

1. モデル内のオブジェクトを選択します。システムツリーまたはモデルウィンドウでオブジェクトをクリックして選択できます。
2. 「定義｜プロパティの適用」を選択し、「蛍光」タブを選択します。
3. ドロップダウンカタログリストを使用してカタログを選択し、ドロップダウン名前リストを使用して目的の材料の名前を選択します。
4. 必要に応じて、変換効率とピークモル吸光係数の値を編集します。
5. モル濃度を入力します。
6. 蛍光発光波長帯域の端を追加し、各帯域内の波長数（#Inc）を入力します。発光光線は各波長で生成されます。#Inc 値に 0 を入力することで、ゼロから最初の波長帯域と最後の波長から無限大までの帯域を簡単に除外できます。
7. 「適用」をクリックして変更を適用します。
8. 新しいプロパティがシステムツリーに明確に表示されていることを確認してください。

蛍光プロパティは、オブジェクトのバルクマテリアルプロパティと組み合わせて使用されます。屈折率と吸収は、オブジェクトに適用されたマテリアルプロパティによって決定されます。4.4 ページの「マテリアルプロパティの適用」を参照してください。

勾配屈折率プロパティ Standard Expert

勾配屈折率プロパティは、不均一な屈折率を持つ材料に適用されます。例としては、中心から端に向かって屈折率が変化するガラスや、中心から端に向かって光の屈折が異なる光ファイバーなどがあります。勾配屈折率は、パラメータプロファイルに沿って屈折率を変化させるために、オブジェクトのマテリアルプロパティと結合されます。

注意：「GRADIUM」（タイプのドロップダウンボックスの種類の 1 つ）は、他のものとは異なる扱いが必要です。他のものとは異なり、GRADIUM 勾配屈折率はマテリアルプロパティデータを含み、マテリアルプロパティとの関連付けを必要としません。このような場合、GRADIUM が適用されたオブジェクトにマテリアルプロパティを適用しないでください。他のすべての勾配屈折率プロパティについては、基本屈折率を提供するためにマテリアルプロパティを適用する必要があります。

例えば、図 4.7 に示すような軸方向 - 半径方向のプロファイルは、次の手順で定義できます。

「定義 | プロパティの適用 | 材料」タブを選択し、ロッドにガラス材料（例：ショット BK7）を適用します。

「定義 | プロパティの適用 | 勾配屈折率」プロパティタブを選択し、プロパティを適用します。

プロファイルは、原点と伝播方向とともにガラスロッドオブジェクトに適用されます。
横方向の対称性を定義するために、上向きベクトルが含まれます。
このデータが適用されると、オブジェクトを移動または回転させた場合、原点と方向ベクトル

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が更新されます。

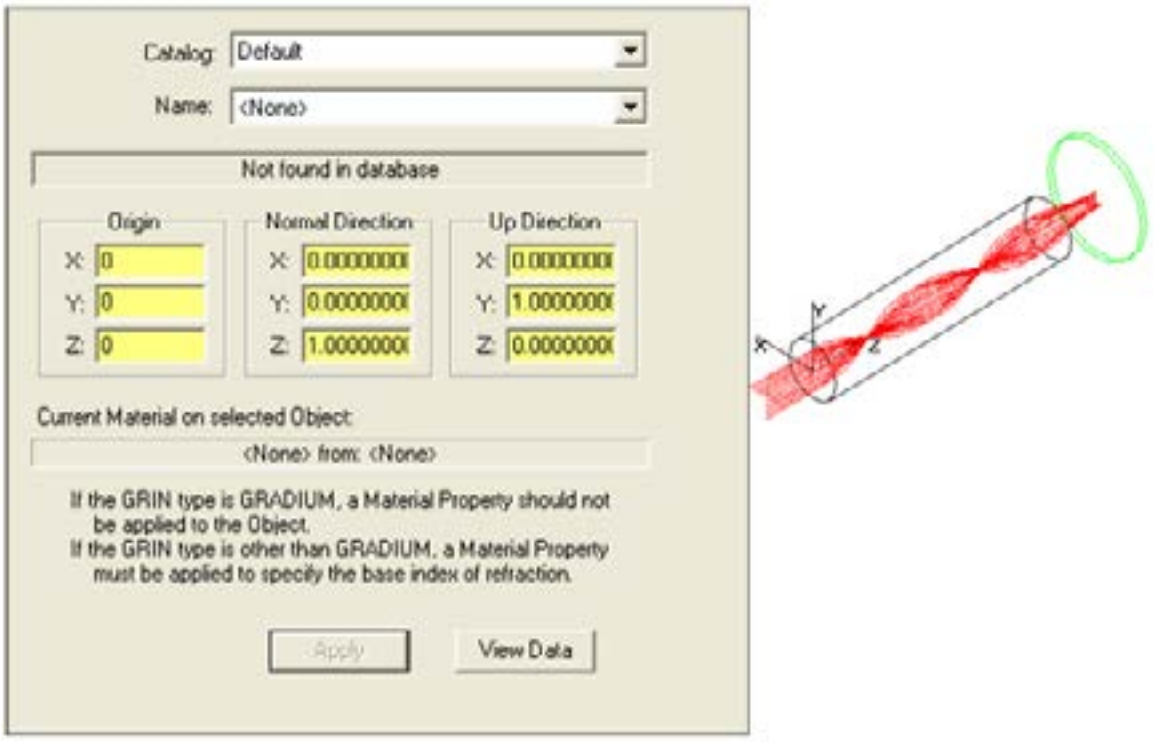


FIGURE 4.7 - Applying a GRIN Property to a Rod

サーフェスプロパティ

サーフェスプロパティは、吸収率、散乱（BRDF および BTDF）、正反射率、正透過率の物理データを提供します。TracePro では、サーフェスプロパティは名前とカタログによって識別され、データベースに保存されます。BRDF や BTDF などのサーフェスプロパティの構成要素の詳細な説明については、第 7 章「技術リファレンス」を参照してください。プロパティを選択してサーフェスに適用するには、次の手順を実行します。

1. モデル内のサーフェスを選択します。モデルウィンドウまたはシステムツリーから選択します。オブジェクトを選択して、オブジェクトのすべてのサーフェスにプロパティを適用することもできます。
2. 「定義 | プロパティの適用」を選択し、「サーフェス」タブを選択します。
3. ドロップダウンリストからサーフェスプロパティのカタログと名前を選択します。
4. テーブルタイプのサーフェスプロパティの場合、「参照データ」タブが表示されます。「空気中で測定された角度」または「基板中で測定された角度」も選択する必要があります。「基板中で測定された角度」オプションは、サーフェスプロパティの作成に使用された生データが空気以外の媒体で測定された場合にのみ必要です。他のすべての場合には、「空気中で測定された角度」のデフォルト選択を使用する必要があります。
5. グレーティングタイプのサーフェスプロパティの場合、上方向の値を入力する必要があります。上方向は正のグレーティング次数の方向であり、異方性および非対称散乱のゼロ方位角方向も指定します。
6. 異方性プロパティまたは楕円 BSDF の場合、方位角方向の 0.0 角度を方向付ける異方性 / 非対称軸を定義する必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

7. 非対称テーブル BSDF の場合、「ゼロ方位角非対称散乱に固定軸を使用する」を選択して、方位角方向の 0.0 角度を方向付ける異方性 / 非対称軸を定義できます。
8. 「適用」ボタンをクリックします。
9. システムツリーで入力した変更を確認します。

隣接するオブジェクトの場合、一致するサーフェスの問題と、これらの 2 つの異なるサーフェスに異なるサーフェスプロパティが適用された場合に TracePro が状況をどのように処理するかという問題があることに注意してください。「一致するサーフェス」の 7.15 ページを参照してください。

FIGURE 4.8 - Surface property with Reference Data and Anisotropic: Asymmetric Axis tabs

サーフェスプロパティデータベースの使用

TracePro のサーフェスプロパティデータベースを使用すると、事前に定義されたサーフェスプロパティが格納されたデータベースがリソースとして利用できます。サーフェスプロパティエディタを使用することで、現在のサーフェスプロパティの定義を表示したり、独自のカタログを追加したり、独自のサーフェスプロパティを追加したりできます（3.23 ページの「サーフェスプロパティ」を参照）。

サーフェスソースのプロパティ

サーフェスソースとは、レイトレースにおいて光線を放出するように指定されたサーフェスのことです。TracePro には、5 種類のサーフェスソースプロパティがあります。2 種類は離散波長（光束、放射照度）を放出し、2 種類は計算された波長（黒体、灰色体）を放出します。5 番目のタイプであるサーフェスソースプロパティは、離散波長または計算された波長のいずれかを放出できます。TracePro モデル内の任意のサーフェスをレイトレースで使用する光線のソースにすることができます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

1. サーフェスソースプロパティを適用するサーフェスを選択します。サーフェスの選択は、システムツリーまたはモデルウィンドウで行うことができます。

注:オブジェクトにサーフェスソースを適用すると、TracePro はそのオブジェクトの各サーフェスにプロパティを適用します。

2. **「定義 | プロパティの適用」**を選択して、「プロパティの適用」ダイアログボックスを開きます。ダイアログボックスには、システムツリーの「ソース」タブまたは**「定義 | サーフェスソース」**メニューからもアクセスできます。
3. 「サーフェスソース」を選択します。
4. サーフェスソースプロパティのタイプを指定します。選択したオプションによって、「サーフェスソース」タブのフィールドが変わります。以下から選択します。

- サーフェスソースプロパティ（図 4.9）
- 光束（図 4.11）
- 放射照度（図 4.11）
- 黒体（図 4.10）
- 灰色体（図 4.10）

5. 単位を選択します（光束または放射照度ソースのみ）。
6. 角度分布を選択します（サーフェスソースプロパティタイプを除く）。
7. 放出する光線を選択します。ほとんどの場合、これは「すべて」に設定されます。
8. 光束（光束ソース）または放射照度（放射照度ソース）または温度（黒体または灰色体ソース）の値を入力します。
9. 任意の波長の最小光線数を入力します。
10. トレースする光線の総数を入力します。
11. スケールファクターを入力します（サーフェスソースプロパティのみ）。サーフェスソースプロパティから放出される光束をスケールする必要がある場合に使用します。
12. 上向きベクトルを入力します（非対称サーフェスソースプロパティ、つまりガウスまたはテーブル角度タイプのみ）。上向きベクトルは、プロパティの方位角 =0 軸の方向を定義します。
13. サーフェスソースプロパティサーフェスの場合は、「離散波長」または「計算された波長」を選択します。
14. 必要な数の波長を入力します。各波長を μ m 単位で入力し、「波長」ボックスの「追加」ボタンをクリックするか、Enter キーを押します。
15. 離散波長の場合は、必要に応じて重みを編集します。
16. 計算された波長の場合は、各波長帯域に必要な #Inc を編集します。
17. 必要な数のサーフェスをソースサーフェスとして定義します。

r. 「定義 | プロパティの適用」を選択するか、モデルウィンドウでマウスの右ボタンをクリックし、ポップアップメニューから「プロパティ ...」を選択して、サーフェスをソースにします。そのメニューで「プロパティの適用」ダイアログボックスが開きます。「プロパティの適用」

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ダイアログボックスの表示については、図 4.10 を参照してください。

s. サーフェスソース」タブを選択し、サーフェスを選択します。

t. ソースを指定するために必要なフィールドに入力し、「適用」ボタンを押します。

光束および放射照度タイプのサーフェスソースは離散波長を放出し、黒体および灰色体タイプのサーフェスソースは計算された波長を放出します。サーフェスソースプロパティサーフェスを使用すると、計算された波長と離散波長のどちらが必要かを選択できます。

また、ダイアログボックスを開き、マウスでサーフェスを選択し、「ソースタイプ < なし >」を選択して「適用」ボタンをクリックすることで、サーフェスからソースプロパティを削除することもできます。

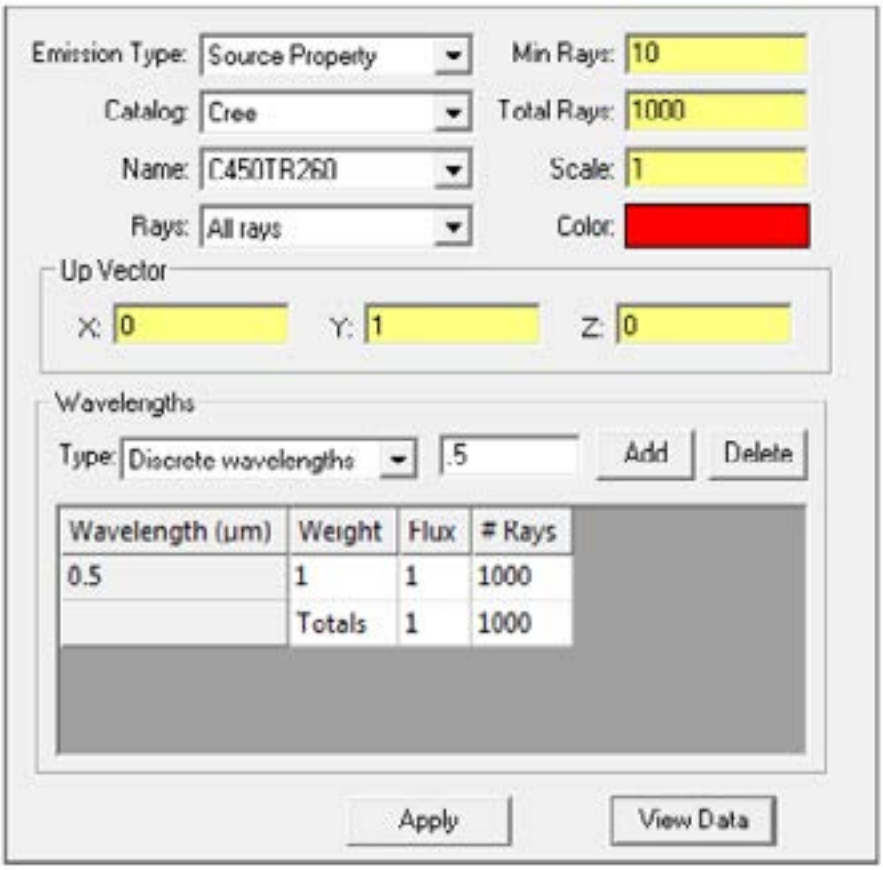


FIGURE 4.9 - Surface Source Property Surface Source (shown with Discrete Wavelengths)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

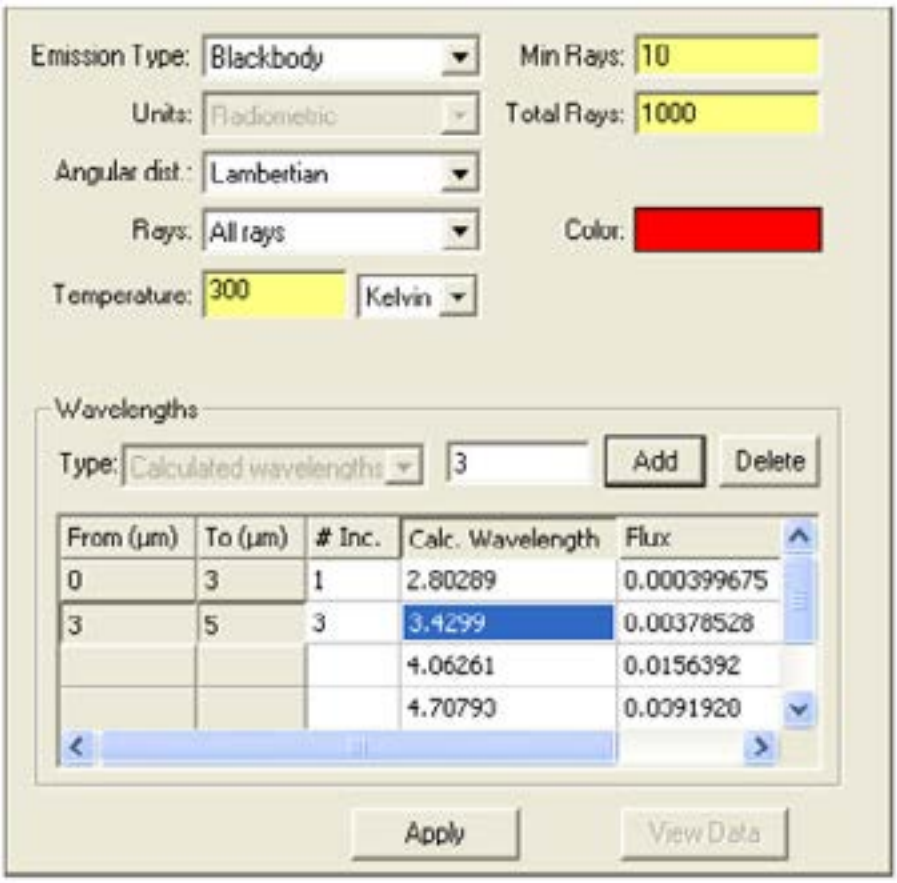


FIGURE 4.10 - Blackbody Source (requires Calculated Wavelengths)

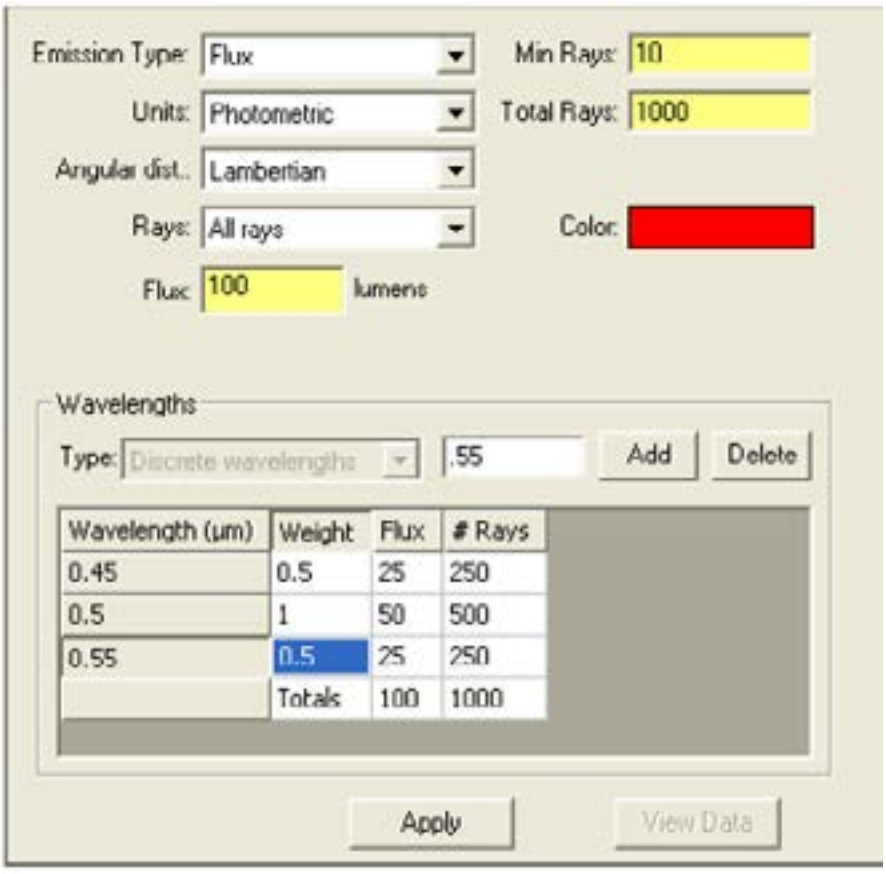


FIGURE 4.11 - Flux Source (requires Discrete Wavelengths)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ソースタイプ	**ソースプロパティ** - サーフェスソースプロパティを使用して、サーフェスソースから放射されるスペクトル分布、単位、および総フラックスまたは放射照度を決定します。離散波長（以下のフラックスまたは放射照度を参照）または計算された波長（以下の黒体または灰色体を参照）を使用します。フラックス - サーフェスから放射される全電力。 **フラックスソース**は、サーフェス積全体に均一に電力を分配します。光線はサーフェスからランダムな位置に放射されます。フラックスソースは離散波長で光線を放射します。全フラックスの一部は、波長重みに従って各波長に割り当てられます。各波長の光線数は、波長に関係なく、各開始光線にほぼ同じフラックスを与えるように計算されます。 **放射照度** - 放射照度ソースは、単位面積あたりの指定されたフラックスを放射します。したがって、総面積が大きいほど、総フラックスが高くなります。離散波長を使用します。全フラックスの一部は、波長重みに従って各波長に割り当てられます。各波長の光線数は、波長に関係なく、各開始光線にほぼ同じフラックスを与えるように計算されます。 **黒体** - 黒体ソースは、温度値と計算された波長を使用して、ソースサーフェスから放射される放射照度を計算する必要があります。TracePro は、連続スペクトルを近似するために波長帯を使用します。各波長帯を表すスペクトル加重波長を計算します。計算では、TracePro は、ほぼ等しいフラックスを持つ光線を生成するために、波長帯ごとの光線数を分配します。「最小光線数」フィールドは、各波長帯で放射される最小光線数を指定します。 **灰色体** - 灰色体ソースは、温度、放射率の値、および連続波長帯を使用して、ソースサーフェスの放射照度を計算する必要があります。TracePro は、連続スペクトルを表すために波長帯を使用します。各波長帯を表すスペクトル加重波長を計算します。計算では、TracePro は、ほぼ等しいフラックスを持つ光線を生成するために、波長帯ごとの光線数を分配します。灰色体計算では、「放射率」フィールドの値を使用して、サーフェス全体の電力分布を決定します。「最小光線数」フィールドは、各波長帯で放射される最小光線数を指定します。

Unit	単位のタイプ（放射測定または測光測定（フラックスまたは放射照度ソースのみ））を指定します。
最小光線数	各波長に（TracePro 計算によって）割り当てられる最小光線数を指定します。

総光線数	サーフェスソースから放射する光線数を要求します。フラックスまたは放射照度（離散波長）レイトレースの場合、要求された光線数が正確にトレースされます。黒体または灰色体（連続波長帯）レイトレースの場合、TracePro は入力された値に基づいて光線数を計算し、要求された数を目標とします。トレースされる実際の光線数は、「波長」グリッドに表示されます。

放射率	灰色体の場合、放射率を示すために 0 から 1 までの数値を指定します。この数値は、サーフェスから放射されるフラックスの計算に使用されます。
適用ボタン	ダイアログボックスの新しい値をサーフェスソースに適用します。
総光線	ダイアログボックスのスプレッドシート領域に表示される、サーフェスソースから放射される実際の光線数とフラックスのカウント。
データ表示	ソースプロパティタイプのサーフェスソースが選択されている場合、「データ表示」ボタンをクリックしてサーフェスソースプロパティエディタを開き、プロパティデータを表示できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

カラー	モデルウィンドウに表示される光線の色を変更できます。これを機能させるには、「解析 | 光線の色」の選択も変更する必要があります。ソースの色で光線を表示するには、ソースベースの光線の色を選択します。
角度分布	ランバート、サーフェスに垂直、サーフェス吸収率、または均一を選択します。サーフェスソースは、4 つの角度分布のいずれかで光を放射します。光線の角度と確率を指定することは、レイトレースの精度にとって重要です。ランバート - コサイン加重角度分布で放射を放射します。サーフェスに垂直 - サーフェスに垂直な方向に放射を放射します。このオプションを使用すると、球を使用して発散する球面波面（点ソースからのように）を生成したり、球面シェルの内側を使用して収束する球面波を生成したりできます。サーフェス吸収率 - 光線を放射するための角度放射率分布として、サーフェスのサーフェスプロパティによって指定された入射角対吸収率プロファイルを使用します。波長依存性も、黒体および灰色体ソースのスペクトル放射率として使用されます。均一 - 半球に均一に光線を生成します。これにより、平面を使用して点ソース、つまり球面対称性を持つソースをシミュレートできます。
光線	すべての光線、ランダムな光線のみ、または重要度光線のみを選択できます。重要度光線のみが選択されている場合に光線が放射されるようにするには、インポータンスサンプリングをサーフェスに適用する必要があります。
離散波長	ここで、波長は単一の離散波長を指します。多くの波長を使用するレイトレースの場合、TracePro では、計算における波長の役割を強調または減少させるために、各波長の数学的重みをオプションで指定できます。
計算波長	各波長帯の「開始」および「終了」制限が表示されます。レイトレース計算で使用される波長帯は多数あります。TracePro は、「# 増分」エントリによって決定されるように、各波長帯に対してゼロ以上のスペクトル加重波長を計算します。計算された各波長は、その波長帯増分における加重平均波長です。黒体および灰色体ソースの場合、加重関数は、オプションでサーフェスプロパティのスペクトル吸収率（「角度分布」が「サーフェス吸収率」に設定されている場合）を乗算した黒体スペクトル放射率であり、サーフェスソースプロパティソースの場合、加重関数はプロパティのスペクトル放射率です。光線は、スペクトル加重波長でトレースされます。計算された波長は、ソースプロパティ、黒体、および灰色体サーフェスソースで使用されます。

黒体サーフェスソース

黒体は、入射するすべての光を吸収し、放射の量子論（プランクの黒体分布）から導き出されたスペクトルで、ランベルト角分布で光を放射します。光線のスペクトル分布は、サーフェスの温度に依存します。黒体の近似は、空洞を作り、小さな穴から光を逃がすことによって行うことができます。ほとんどのサーフェスは黒体の近似としては不十分ですが、一部のサーフェス（例えば、特殊な黒色塗料）は、限られた波長範囲で黒体性能に近づくことができます。

注意：キルヒホッフの放射法則により、サーフェスの吸収率は放射率に等しくなります。TracePro で熱放射を厳密にシミュレートするには、「サーフェス吸収率角分布」を選択する必要があります。すると TracePro は、サーフェスの吸収率を放射率として使用します。この場合、サーフェスソースは真の黒体ではありませんが、サーフェスからの熱放射を正確にシミュレートします。別の角分布を選択すると、TracePro は放射率を 1 に設定します。

黒体と灰色体の計算

TracePro は、定義された各波長帯について、サーフェスソースから放射される放射輝度を計算

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

します。放射される放射輝度は、各波長帯を定義する 2 つの境界波長間の黒体関数の積分です。

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) M(\lambda, T) d\lambda \,. \qquad (4.1)$$

ここで、M は黒体分光放射輝度関数、 ε は分光放射率、T は温度、 λ は波長、そして L は放射輝度を表します。処方（Prescription）:「定義｜プロパティの適用」ダイアログボックスの「処方」選択では、像を形成する光線が通過するレンズサーフェスの交差の順番を指定できます。

プリスクリプション Standard Expert

TracePro は､処方（サーフェスのリスト）を次の 3 つの目的で使用します。(1）光路のソート、(2）インポータンスサンプリングターゲットの自動設定、そして（3）レイトレース中の光学的散乱交差制限に対するテスト。

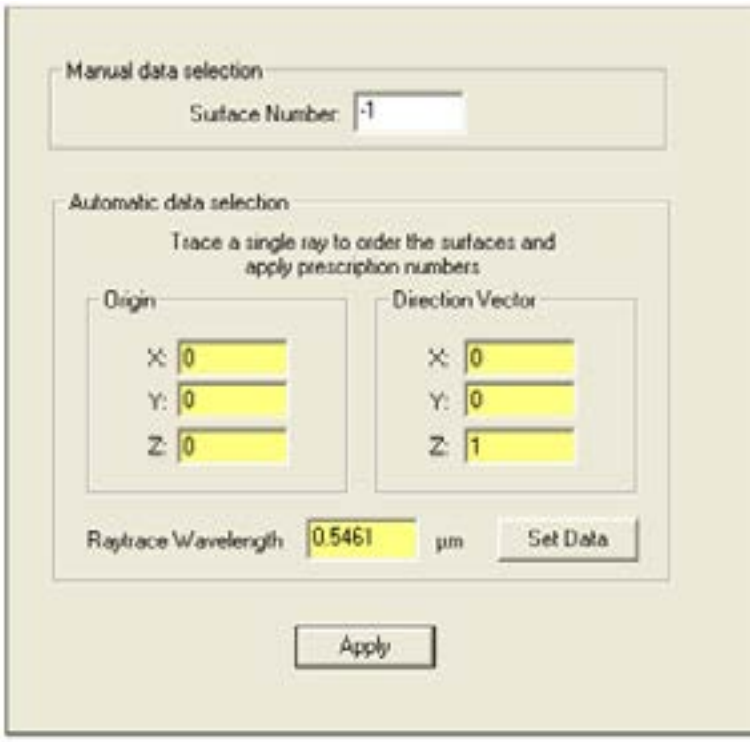


FIGURE 4.12 - Prescription data

交点の順序は、手動または自動で指定できます。このタブでは、光学系のガット光線の開始位置と方向を入力することで、処方箋を自動的に定義できます。結像系では、ガット光線は視野の中心と開口部を通過します。これは光軸を定義します。処方箋サーフェス番号を手動で変更して、処方箋を編集することもできます。サーフェスに適用された処方箋番号 -1 は、そのサーフェスが光学処方箋の一部ではないことを意味します。4.26 ページの「インポータンスサンプリングの自動設定」を参照してください。TracePro では、モデルウィンドウ内のオブジェクトとサーフェスの表示はデフォルトで緑色に、ユーザーがオブジェクトまたはサーフェスを選択すると黒色になります。デフォルトの表示色を変更するには､[表示] | [オプション] を選択し、色の選択を変更します。オブジェクトまたはサーフェスの色を変更するには、[定義] | [プロパティの適用] を選択し、[色] を選択します。[カスタムカラーを使用] ボタンを選択し、カラーバーをクリックしてカラー選択パレットを表示し、新しい色を選択します。パレットから色を選択するか、カスタムカラーを作成します。[適用] をクリックして、選択したオブジェク

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

トやサーフェスの色を変更します。色はモデルデータとともに保存されます。色を適用する場合、サーフェスの色はオブジェクトの色よりも優先され、オブジェクトの色はデフォルトの色よりも優先されます。

FIGURE 4.13 - Color selection

オブジェクトの色と透明度

オブジェクトの色には透明度を含めることができます。透明度は 0.0 から 1.0 の範囲で指定され、0.0 は不透明、1.0 は完全に透明です。これらの値は、色の赤、緑、青の成分に対して設定されます。赤を 1.0、緑と青を 0.0 に設定すると、オブジェクトは赤いオブジェクトに対しては完全に透明になりますが、緑と青のオブジェクトに対しては不透明になります。透明度は、モデルウィンドウでのレンダリングされたオブジェクトの表示にのみ影響します。

インポータンスサンプリング

Standard Expert

インポータンスサンプリングは、モンテカルロ法の一種であり、光学系内で特定方向（必要な結果を決定する上で「重要」な方向）に光線を生成し伝播させる手法です。これにより、目的のサーフェスに到達する光線の数を増やし、サンプリングを改善します。インポータンスサンプリングの概念的な説明（「インポータンスサンプリングはいつ必要か？」というセクションを含む）については、技術リファレンス章の 7.2 ページの「インポータンスサンプリング」を参照してください。インポータンスサンプリングは、以下のアプリケーションの光線サンプリングを改善するために適用できます。

- サーフェス散乱
- 体積散乱（4.6 ページの「体積散乱」を参照）
- 回折（4.32 ページの「回折」を参照）
- サーフェスソース（5.22 ページの「サーフェスソース」を参照）

インポータンスサンプリングの立体角は、インポータンスサンプリングターゲットと呼ばれる

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

円形、環状、または長方形の平面によって定義されます。これらの仮想ターゲットはソリッドモデルの一部ではなく、インポータンスサンプリングにのみ使用されます。インポータンスサンプリングターゲットは、手動または自動の 2 つの方法で定義されます。

インポータンスサンプリングの自動設定

インポータンスサンプリングの自動設定は、サーフェスの逐次的な処方が定義できる光学系に使用でき、通常は迷光解析や結像系に使用されます。複数の潜在的な迷光経路を含むモデルでは、ターゲットの手動設定が必要です。自動設定を使用して重点ターゲットを定義し、手動で追加のターゲットを追加することも可能です。

インポータンスサンプリングターゲットの種類

インポータンスサンプリングターゲットには、サーフェス用とオブジェクト用の 2 つのクラスがあります。サーフェスインポータンスサンプリングターゲットはサーフェスに適用され、サーフェスから生成される光線（つまり、サーフェス散乱、開口回折、サーフェスソースからの放射による光線）に影響を与えます。オブジェクトインポータンスサンプリングターゲットは、体積散乱光線および蛍光放射光線を生成するために使用されます。インポータンスサンプリングターゲットが定義されると、編集、削除、表示も可能です。2.55 ページの「重点表示」を参照してください。

インポータンスサンプリングターゲットの手作業による定義

「定義 | プロパティの適用」を選択し、「インポータンスサンプリング」を選択することで、インポータンスサンプリングターゲットを手動で指定できます（図 4.14 を参照）。インポータンスサンプリングターゲットダイアログボックスでは、インポータンスサンプリングターゲットの位置、向き、寸法を直接指定できます。長方形または環状の重点ターゲットを選択できます。

注：重点ターゲットはモデルウィンドウに表示できます。2.55 ページの「重点表示」を参照してください。

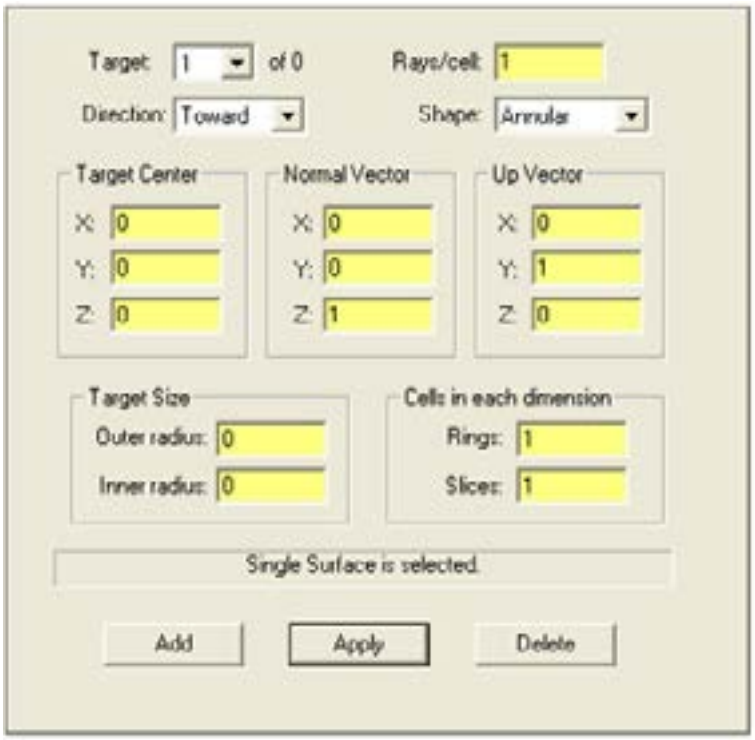


FIGURE 4.14 - The Apply Properties dialog box - Importance Sampling data

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

重要度ターゲットを手動で定義するために必要な手順は以下の通りです。

1. 「追加」を押して、新しいインポータンスサンプリングターゲットを定義します。
2. 重要度レイの数を指定します。これは、散乱、回折などが発生した際に、重要度ターゲットに向かう、またはターゲットから離れるように生成されるレイの数です。
3. 重要度レイの方向（ターゲットに向かうか、ターゲットから離れるか）を指定します。
4. インポータンスサンプリングターゲットの形状を選択し、ターゲットの位置、向き、寸法に関するパラメータを入力します。
5. 「適用」を押して情報を保存し、インポータンスサンプリングプロパティでサーフェスを更新します。

これらの 5 つのステップについては、以下のセクションで詳しく説明します。インポータンスサンプリングは、特定の散乱サーフェスに対して複数のインポータンスサンプリングターゲットを指定することで、さらに強化することができます。各散乱サーフェスに対して、必要な数のインポータンスサンプリングターゲットを指定できます。

表 4.3 インポータンスサンプリングダイアログボックスのフィールド

ーゲッ	追加または変更するターゲット番号
光線 / セル数 (Target Ray/cell Direction):	ターゲットに向かう（または離れる）光線の数を指定します。
方向 (Direction):	択したインポータンスサンプリングターゲットに向かって光線を進めるか、離して進めるかに応じて、「向かう (Toward)」または「離れる (Away)」を指定します。
形状 (Shape):	インポータンスサンプリングターゲットの形状として、「環状 (Annular)」または「矩形 (Rectangular)」を指定します。ダイアログボックスの残りのオプションは、選択したこの 2 つのうちどちらかによって異なります。
ターゲット中心 (Target Center):	重要度サンプルサーフェスの位置を確立するために、座標 x、y、z を指定します。
法線ベクトル (Normal Vector)	ターゲットの法線を確立するために、方向 x、y、z を指定します。
上方向ベクトル (Up Vector):	上方向または高さを確立するために、方向 x、y、z を指定します。
ターゲットサイズ (Target Size):	選択した環状ターゲットの外側半径と内側半径、または矩形ターゲットの X 幅と Y 幅を指定します。内側半径がゼロの環状領域は円になります。
セル数 (Cells):	ターゲットに使用するセグメント数を指定します。デフォルトは 1 セグメントです。「セル数」の詳細については、4.24 ページを参照してください。
追加ボタン (Add Button):	ダイアログボックスの残りの部分で現在定義されているインポータンスサンプリングターゲットを追加するには、このボタンを押します。インポータンスサンプリングを特定のサーフェスに関連付けるには、[追加] ボタンを押す前に、モデル内のそのサーフェスを最初に選択する必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

適用ボタン (Apply Button):	選択したインポータンスサンプリングターゲットのプロパティの定義または編集が完了したら、変更を有効にするためにこのボタンを押します。
削除ボタン (Delete Button):	表示されている重要度ターゲットを削除するには、このボタンを押します。

インポータンスサンプリングのターゲットの追加

1. **「定義 | プロパティの適用」**を選択します。
2. 「プロパティの適用」ダイアログボックスを開いた状態で、「インポータンスサンプリング」タブを選択します。
3. インポータンスサンプリングのターゲットを適用するサーフェス（サーフェス散乱、回折、またはサーフェスソースの場合）またはオブジェクト（体積散乱の場合）を選択します。ダイアログボックスには、選択したサーフェスに現在定義されているインポータンスサンプリングのターゲットの数が小さなドロップダウンボックスに表示されることに注意してください。
4. 「追加」ボタンを押して、空のターゲットを追加します。
5. ターゲットの方向、形状、サイズ、および向きの値を入力します。
6. 各セルにターゲットとする光線の数を入力します。
7. 「適用」を押してデータを保存し、ターゲットを適用します。

インポータンスサンプリングの手動設定には、モデルウィンドウを右マウスボタンでクリックし、表示されるポップアップメニューから「プロパティ」を選択することでもアクセスできます。

重要度光線の数

インポータンスサンプリングは、例えば散乱によって発生するランダムな光線からのフラックスを収集し、定義されたターゲットに向けてそれを向けます。フラックスは、各インポータンスサンプリングターゲットに多くの光線を向けることによって、光線追跡のサンプリングを改善するために複数の光線に分割できます。インポータンスサンプリングターゲットが大きすぎる立体角を占める場合、またはサーフェスの BSDF が占める角度にわたって大幅に（1 桁以上）変化する場合、またはより多くのサンプリングが必要な場合は、ターゲットをセルに分割します。

重要度ターゲットの形状、寸法、および位置

インポータンスサンプリングターゲットを手動で設定する場合、インポータンスサンプリングターゲットによって占められる立体角が 1 ステラジアン未満であることが重要です。各セグメントの立体角を小さく保つために、複数のサンプルを選択する必要がある場合があります。これは、BSDF が角度によって大きく変化する場合（例えば、鏡やレンズなどの研磨されたサーフェスの場合）に特に重要です。ターゲットのサイズを小さくするか、複数のセルを使用することで、この問題を克服できます。

セル

純粋なランダムサンプリングによって提供されるよりも均一なサンプリングが必要な場合は、このオプションを使用してターゲットの各次元をセグメントに分割し、ランダムな光線照準点

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が選択される小さなセルを作成します。

層化インポータンスサンプリング

インポータンスサンプリングターゲットが大きすぎる立体角を占める場合、またはサーフェスの BSDF が占める角度にわたって大幅に（1 桁以上）変化する場合、またはより均一なサンプリングが必要な場合は、インポータンスサンプリングターゲットをセルに分割して層化ターゲットを作成する必要があります。円形または環状のターゲットは、図 4.15 に示すように、等しい面積のセグメント化されたリングに分割されます。これは、環状を角度で等分割し、各セルに等しい面積を与えるように半径を計算することによって行われます。

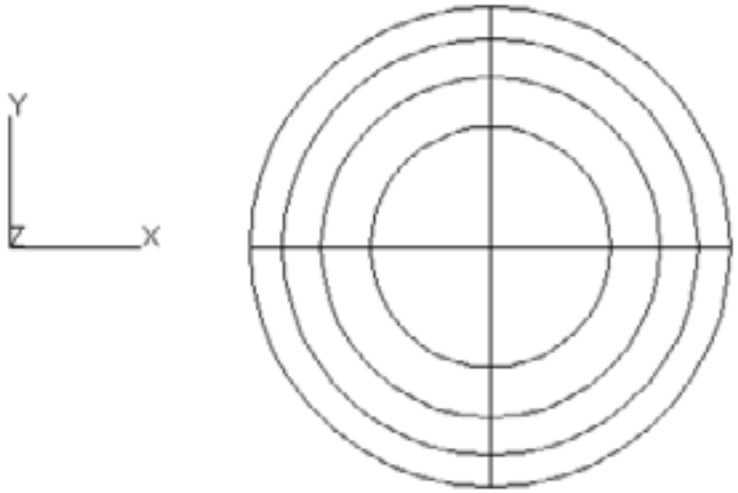


FIGURE 4.15 - Stratified annular (circular in this case) importance sampling target with four radial segments and four azimuthal segments. The 16 resulting cells all have equal area.

リングの半径は、次の公式によって決定されます。

$$r_{i+1} = \sqrt{\frac{A}{\pi n} - r_i^2} \qquad (4.2)$$

ここで、n はリングの数、リングの縁は 0,...i,...n と番号付けられ、A は環状ターゲットの面積（$A = \pi (R^2_{outer} - R^2_{inner})$）であり、$r_i$ はリングの縁 i の半径です。r0 は、環状ターゲットの内半径である R_{inner} に等しいです。円形のターゲットの場合、$R_{inner} = 0$ です。長方形のターゲットは、図 4.16 に示すように、等しい面積の分割された長方形に分割されます。

FIGURE 4.16 - Rectangular target with 2x3 (XxY) segments

矩形のセグメントはすべて同じ形状であり、面積も等しくなっています。インポータンスサンプリングのターゲットのセグメンテーションを指定するには、各方向のセル数（環状ターゲットの場合は半径と角度、矩形ターゲットの場合は x と y）を選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

インポータンスサンプリングプロパティの適用

重要度光線の数、重要度光線の方向、重要度ターゲットの形状、およびターゲットの位置、向き、寸法が定義されたら、システムツリーで適切なサーフェスまたはオブジェクトが選択されていることを確認し、「適用」をクリックしてインポータンスサンプリングプロパティを適用します。

インポータンスサンプリングの自動設定

散乱光および迷光解析を必要とする多数のレンズで構成される複雑な光学システムの場合、各サーフェスのインポータンスサンプリングターゲットを手動で定義することは複雑で時間がかかります。TracePro を使用すると、すべての光学サーフェスに対してインポータンスサンプリングターゲットを自動的に定義できます。以下の説明では、光学イメージングの用語に精通していることを前提としています。

処方の定義

インポータンスサンプリングターゲットの自動設定を行う前に、まず処方（光線が通過するサーフェスのシーケンス）を定義する必要があります。「定義 | プロパティの適用」ダイアログボックスの処方タブを使用して処方を定義します。「処方」の詳細については、4.18 ページを参照してください。

ターゲット形状の選択

処方が正しく設定されたら、「定義 | 自動インポータンスサンプリング」ダイアログボックス（「インポータンスサンプリングの自動設定」と表示される、図 4.17 を参照）を選択します。処方内のサーフェスに対して、インポータンスサンプリングターゲットの形状を環状または矩形として指定します。光学システムの視野の形状に最も近いターゲット形状（環状または矩形）を選択します。環状ラジオボタンを選択することで、円形の視野を選択できます。

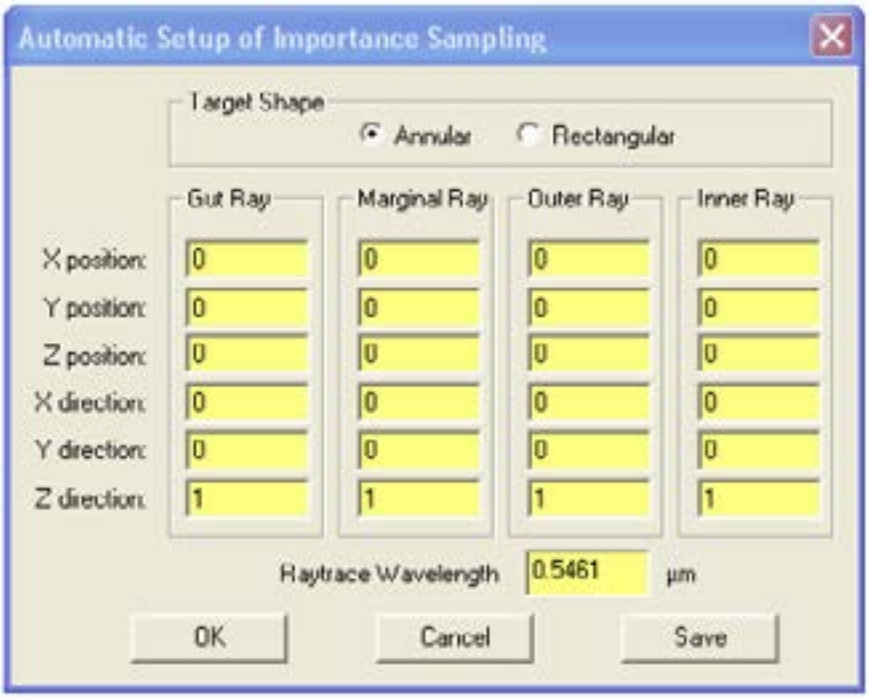


FIGURE 4.17 - Automatic Setup of Importance Sampling Dialog Box

ガットレイ、マージナルレイ、主光線（1 つまたは 2 つ）の指定

株式会社 ノーツアンドクロス

ガットレイ（Gut Ray）：開口絞り（アパーチャストップ）の中心と視野の中心を通る光線

マージナルレイ（Marginal Ray）：　開口絞りの端と視野の中心を通る光線。

主光線（Chief Ray）：開口絞りの中心と視野の端を通る光線。

環状ターゲットの場合

外側主光線（Outer Chief Ray）と内側主光線（Inner Chief Ray）を指定します。

長方形ターゲットの場合

高さ主光線（Height Chief Ray）と幅主光線（Width Chief Ray）を指定します。

場合によっては、OSLO などのレンズ設計プログラムを使用して、光線の開始位置と方向を決定すると便利です。矩形または環状ターゲットを定義するには、2 つの主光線が必要です。円形のインポータンスサンプリングターゲットを定義するには、環状を選択し、内側光線（Inner Ray）のデータをすべてゼロに設定します。

注記：ガットレイが光学系によって遮られている場合（例：カセグレン望遠鏡の副鏡）、ガットレイを遮られた開口部の内側の端に移動し、その方向は同じに保ちます。

環状ターゲット

環状ターゲットのインポータンスサンプリングを定義するには、光線に必要なデータを入力します。図 4.18 に示すように、内側光線は開口絞りの中心と環状の内側の端を通る光線です。外側光線は、ガットレイと内側光線の点を通る線上にある環状の外側の端を通ります。

FIGURE 4.18 - Ray locations for automatic setup of importance sampling targets with an annular field of view

長方形ターゲット

長方形ターゲットのインポータンスサンプリングを定義するには、光線のデータを入力します。図 4.19 に示すように、高さ光線は絞りストップの中心と像長方形の一辺の中心を通過し、幅光線は隣接する辺の中心を通過します。限界光線は絞りの端を通過し、ガット光線と同じ位置で像面と交わります。TracePro は、限界光線とガット光線の交点から像面までの距離と位置を計算します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

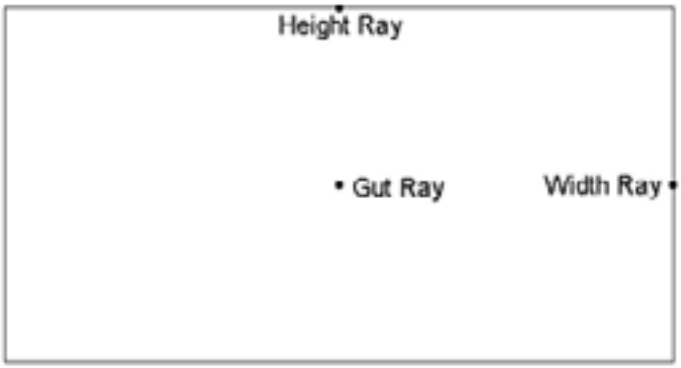


FIGURE 4.19 - Ray locations for automatic setup of importance sampling targets with a rectangular field of view

ターゲットの適用、キャンセル、または保存

処方が定義され、ターゲット形状が選択され、ガット線、マージナル線、およびチーフ線が指定されたら、ダイアログの下部にあるいずれかのボタンをクリックします。

- OK: 定義された光線をトレースし、インポータンスサンプリング設定を実行します。ダイアログは閉じられます。
- キャンセル : 光線をトレースせずにダイアログを閉じます。更新されたデータはすべて失われます。
- 保存 : ダイアログで定義された 4 つの光線に対応するグリッドソースを追加します。光線はトレースされません。ボタンが押されるたびに、新しいグリッドソースがモデルに追加されます。トレースするには、グリッド / すべてのソース光線トレースごとに光線をトレースする必要があります。

インポータンスサンプリングターゲットの編集 / 削除

手動または自動で定義されたインポータンスサンプリングターゲットは、**[定義 | プロパティの適用]** ダイアログボックスの [インポータンスサンプリング] タブを使用して確認および編集できます。インポータンスサンプリングタブが開いている状態でサーフェスを選択し、ドロップダウンリストから編集するインポータンスサンプリングターゲットを選択します。ダイアログボックスのパラメータを変更し、[適用] を選択します。インポータンスサンプリングターゲットを削除するには、ダイアログボックスのドロップダウンリストからインポータンスサンプリングターゲット番号を選択します。[削除] ボタンをクリックして、インポータンスサンプリングターゲットを削除します。

シミュレーションモードを使用して計算の長さと負荷を軽減する場合、照度マップを表示するために、1 つまたは複数のサーフェスを「出口サーフェス」として指定する必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

終了サーフェス

計算時間と負荷を低減する目的でシミュレーションモードを使用する際には、放射照度マップの表示のために、一つ以上の表面を終了サーフェスとして定義しなければなりません。

FIGURE 4.20 - Exit Surface data in Apply Properties dialog box

TracePro は、カンデラプロットのデータ収集に加えて、各サーフェスのフラックス、入射光線の座標、方向をオプションで収集します。光線は必ずしもこのサーフェスで「射出」するわけではありませんが、このサーフェスを指す一般的な用語として使われています。

射出サーフェスが定義されると、シミュレーションモードで光線を追跡できます。解析出力を表示するには、解析モデルを使用する場合と同様にサーフェスを選択し、プロットを表示します。プロットが表示され、何も選択されていない場合は、最初に定義された射出サーフェスのデータが使用されます。オブジェクトまたは射出サーフェス以外のサーフェスが選択された場合、有効な射出サーフェスの選択を要求するメッセージが、開いているプロットまたはテーブルに表示されます。

シミュレーションモードでレイトレースを開始する前に、最初に射出サーフェスを指定する必要があります。これを行うには、次の手順に従います。

1. フラックスと放射照度データを収集するサーフェスを選択します。
2. 「定義 | プロパティの適用」を選択して、ダイアログボックスを開きます。
3. ダイアログボックスの「射出サーフェス」タブを選択します。
4. 「射出サーフェス」チェックボックスをオンにします。
5. ダイアログボックスの下部にある「適用」ボタンをクリックします。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TABLE 4.4. Exit Surface Options.（出口サーフェスオプション）

出口サーフェス	チェックボックスをオン / オフして、面の出射面プロパティを有効 / 無効にします。
逆追跡光線数	逆追跡光線 (標準およびエキスパートのみ) 中に追跡する光線数を設定します。
名前	定義済みのイラジアンスオリエンテーションを選択します
追加	新たにイラジアンスマップのオリエンテーションを追加します
修正	定義済み照度マップの向きを変更します。
削除	照度マップの向きを削除します。

Standard Expert 「出口サーフェス」ダイアログは、逆線追跡を使用する際に追跡する逆線の数を定義するために使用されます。5.36 ページの「逆線追跡」を参照してください。

事前定義された放射照度マップの向き

事前定義された放射照度マップの向きは、放射照度マップと放射照度マップビューアの法線ベクトルと上向きベクトルを定義するために使用されます。6.75 ページの「放射照度 / 照度ビューア」を参照してください。データとダイアログは、それぞれ表 4.5 と図 4.21 に示されています。

表 4.5 放射照度マップの向きのオプション

名前	法線ベクトル 上向きベクトル が事前定義された放射照度マップの向きの名前を設定します。
法線ベクトル	放射照度マップの投影面を方向付けるために使用される 3D 空間内のベクトルです。平面は法線ベクトルに垂直になるように定義され、選択されたサーフェスに入射する放射照度はこの平面に投影されます。
上向きベクトル	放射照度マップの投影面を方向付けるために使用される 3D 空間内のベクトルです。平面は、上向きベクトルが平面の垂直な辺と平行になるように定義されます。選択されたサーフェスに入射する放射照度はこの平面に投影されます。

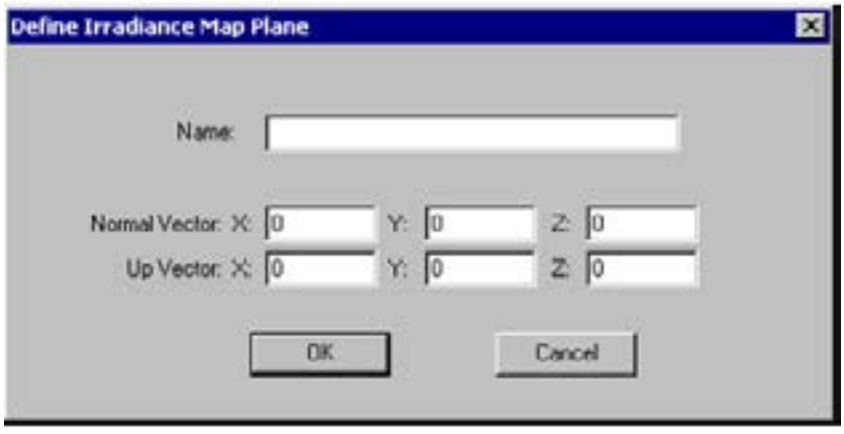


FIGURE 4.21 - Irradiance Map orientation dialog

回折

開口回折とは、光が「障害物の周りを曲がる」現象です。TracePro は、エッジ回折、すなわち開口回折をモデル化できます。これは、光がエッジによって部分的に遮られたときに発生します。TracePro が回折をモデル化するために使用する方法は、漸近的に正確です。つまり、大

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

角度または広角度の回折に対して正確です。この漸近的方法は、光子の位置と運動量に関するハイゼンベルクの不確定性原理に基づいています（文献：Freniere ら、Proc SPIE Vol. 3780 (1999)）。(9.22 ページの「開口回折の例」を参照してください。)

TracePro での回折の定義

回折は、障害物の陰で干渉を引き起こします。光が障害物を通過し、その一部が障害物によって遮られると、回折が発生します。この物理プロセスは、レンズの解像度に制限を与え、迷光を引き起こす可能性があります。回折は干渉現象です。光波が妨害されずに伝播する場合、伝播するにつれて連続的かつ建設的に干渉します。言い換えれば、干渉パターンは平衡状態にあり、エミッターの各点からの伝播を記述する波面を提供します。波が障害物によって中断されると、波面の平衡が乱れます。したがって、さらなる伝播で干渉リップルが発生します。遠方界では、平衡が再確立されます。波が障害物によって中断されると、波面は突然不完全になります。干渉リップルが発生します。

水波が防波堤に衝突すると、二次元の回折干渉現象を観察できます。防波堤に衝突する長い直線波（波が防波堤と平行）は、防波堤の端から放射されるほぼ円形の波になります。防波堤から遠く離れた場所では、元の直線波は中断されずに続きます。円形の波は「スリット」領域で直線波と干渉し、干渉の極大と極小を引き起こし、一般の観察者が波が到達するとは予想しない「影」領域に波が到達するようにします。この効果は、光の回折に類似しています。

回折の完全な理論的扱いは、物理学の数学的なサブディシプリンであり、このマニュアルの範囲を超えています。興味のある読者は、ほとんどの光学教科書で回折の入門的な扱いを見つけることができます。追加の技術的な詳細は、テクニカルリファレンスのセクションにもあります。

TracePro での回折のモデル化の要否

TracePro の回折モデリングの実装は、迷光解析と、回折が透過率に大きな影響を与える可能性のある特殊な光学機器のシステム透過研究のために設計されています。

一般に、像質への回折の影響に関する解析は、OSLO などの光学設計ソフトウェアを使用して行われます。

迷光のために回折をモデル化する場合は、光学システム内の各回折開口に対してインポータンスサンプリングを定義する必要があります。回折開口のインポータンスサンプリングターゲットは、開口のエッジを定義するサーフェスに適用されます。

回折の設定方法

回折は、回折プロパティが定義されたサーフェスで TracePro で発生します。サーフェスに回折を設定するには、4 つのステップがあります。

1. 回折をモデル化するサーフェスを選択します。ミラーまたはレンズのサーフェスにすることができます。回折をモデル化するサーフェスがない場合は、「ダミーオブジェクト」を定義する必要があります。回折を発生させたい場所にダミーオブジェクトを配置し、オブジェクトの 1 つのサーフェスを選択します。
2. **[定義 | プロパティの適用]** ダイアログボックスの [回折] タブにある [開口回折] チェックボックスをオンにします。
3. **[解析]** メニューにある [レイトレースオプション] ダイアログボックスで [開口回折] チェッ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

クボックスをオンにします。これにより、現在のモデルの回折がオンになります。

4. 開口サーフェスに重要度ターゲットを追加します。「インポータンスサンプリング」の詳細については、4.20 ページを参照してください。

レイトレースフラグの使用

レイトレースフラグプロパティを使用すると、レイトレースからオブジェクトを除外でき、レイトレースを高速化できます。レイトレースの開始前の監査中に、レイトレースから除外したサーフェスを通知するメッセージがマクロ / メッセージウィンドウに表示されます。

レイトレースからオブジェクトを除外するには、オブジェクトを選択します。**[定義 | プロパティの適用]** を選択し、[レイトレースフラグ] を選択します。チェックボックスをオフにして、[適用] をクリックします。

ミュラー行列 Standard Expert

ミュラーマトリクスを指定することにより、偏光要素を TracePro オブジェクトに作成および適用できます。TracePro は、偏光モデリングにストークスベクトル - ミュラーマトリクス法（ミューラー計算）を使用します。

[定義 | プロパティの適用] ダイアログボックスを使用し、[ミュラーマトリクス] を選択して、TracePro オブジェクトに偏光を適用します。[グリッドソース] ダイアログボックスの [偏光] タブを使用して、グリッドソース光線の偏光状態を指定できます。

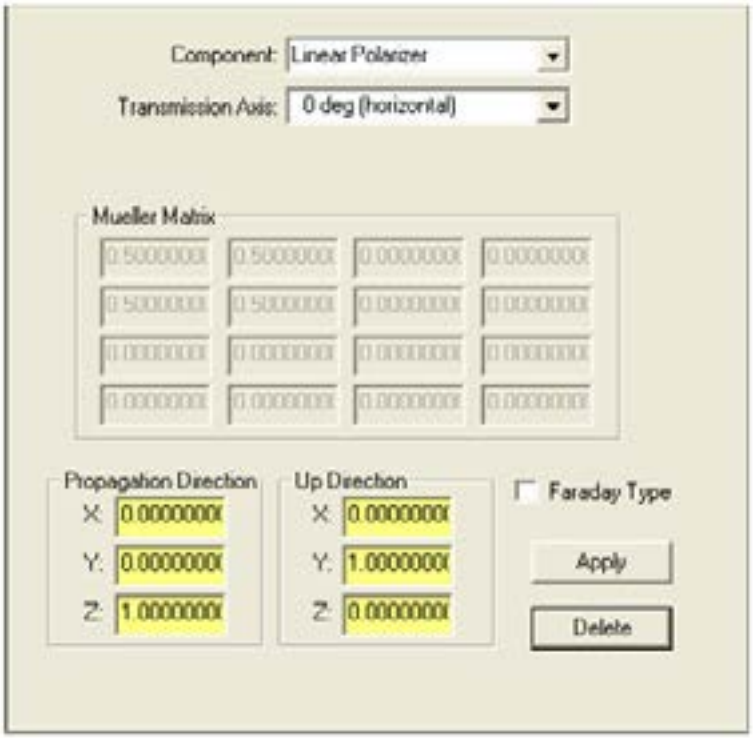


FIGURE 4.22 - The Apply Properties Dialog Box - Mueller Matrix

ミュラー行列を指定する場合、その向きも指定する必要があります。これを行うには、ダイアログボックスの下部にある「上方向」ベクトルと「伝搬方向」ベクトルを指定します。向きベクトルはグローバル座標で指定されます。方向ベクトルは、ミュラー行列が指定された効果を持つときの光の進行方向を示します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TABLE 4.6. Mueller Matrix Options.（ミュラーマトリクスオプション）

コンポーネント	複数の定義済み偏光コンポーネントタイプから 1 つを選択します。
透過軸方向	（直線偏光子の場合、度単位）: 直線偏光子の透過軸の角度を度単位で示します。
掌性	円偏光子および円形 1/2 波長板の左回りまたは右回りの選択肢です。
速軸と X 軸の角度	（直線 1/4 波長板および直線 1/2 波長板の場合、度単位）直線 1/4 波長板および直線 1/2 波長板の速軸と X 軸の角度を度単位で示します。
ミュラーマトリクス	現在の偏光コンポーネントの 4x4 ミュラーマトリクスの項を表示します。カスタムコンポーネントが選択されている場合に、偏光子を定義するためにも使用されます。これらは正規化された項である必要があります。
伝播方向	オブジェクトの全体的な伝播方向です。オブジェクトが回転または移動すると、自動的に更新されます。
上方向	オブジェクトの全体座標における上方向です。オブジェクトが回転または移動すると、自動的に更新されます。
適用	プロパティデータをオブジェクトに適用または更新します。
削除	オブジェクトからプロパティを削除します。

ミュラーマトリクスの値がわかっている場合、またはコンポーネントが標準的なタイプに適合しない場合は、カスタムコンポーネントを選択してください。以下のオプションが表示されます。

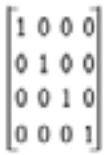
TABLE 4.7. カスタムミュラー行列データ入力のオプション

Manual Entry	ミュラーマトリクスへの直接入力を可能にします。
Compensator	位相差オプションを表示します。位相差は度またはラジアンで入力されます。
Rotator	回転角オプションを表示します。回転角は度またはラジアンで入力されます。
LinearPolarizer（リリニアポララライザ))	配向角オプションを表示します。配向角は度またはラジアンで入力されます。

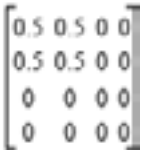
光線が物体を通過するとき、光線のストークスベクトルはミュラー行列の座標系に変換され、ミュラー行列と乗算されて光線の新しい偏光状態が決定されます。ミュラー行列によって吸収されたフラックスは、光線が物体に入射したときに記録されます。つまり、光線が物体から出射する際のサーフェスでの入射フラックスは、バルク吸収と同様に、ミュラー行列によって吸収された量だけ減少します。

ミュラー行列は 4x4 の行列であり、ストークスベクトルは長さ 4 の列ベクトルです。したがって、ストークスベクトルにミュラー行列を乗算すると、新しいストークスベクトルが生成されます。このようにして、ストークスベクトルは光学系を通して伝播することができます。例えば、何も作用しないミュラー行列は単位行列です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス



水平偏光子はつぎによって表されます



無偏光光のストークスベクトル

完全水平偏光のストークスベクトル

技術参考資料のセクションには、ミュラー行列とストークスベクトルの例集があります。ミュラー行列とストークスベクトルに関する議論と例は、多くの教科書で見つけることができます（例：E.L. オニール著『統計光学入門』、ドーバー出版、ISBN: 0486673286 (1992); E. コレット著『偏光：基礎と応用』、デッカー出版、ISBN: 0824787293 (1992); シュルクリフとバラード著『偏光』、ヴァン・ノストランド出版 (1964); クリガー、ルイス、ランドール著『光学および分光法における偏光』、アカデミックプレス出版、ISBN: 0124149758 (1990)）。ミュラー行列は慎重に定義する必要があります。なぜなら、物理的に不可能なミュラー行列、つまり物理的に不可能な結果のストークスベクトルを生成するミュラー行列を作成することが十分に可能だからです。

要点の解説 :

ミュラー行列とストークスベクトル :
これらは偏光のプロパティを記述するために光学で使用される数学的なツールです。
ストークスベクトルは光の偏光状態を表し、ミュラー行列は光学素子（偏光子、遅延板など）が偏光に与える影響を表します。

技術参考資料 :
ミュラー行列とストークスベクトルの具体的な例が提供されていることを示しています。
参考文献 :

この分野の主要な教科書がいくつか挙げられており、さらに詳しい情報を得ることができます。
ミュラー行列の注意点 :

物理的に有効な結果（ストークスベクトル）を生成するためには、ミュラー行列が特定の条件を満たす必要があることを強調しています。

不適切なミュラー行列は、物理的にありえない偏光状態を示すストークスベクトルを生み出す

株式会社 ノーツアンドクロス

可能性があるため、注意が必要です。

この文章は、ミュラー行列とストークスベクトルを扱う上で、適切な知識と注意が必要であることを示唆しています。

Temperature（温度）

TracePro では、温度に関するサーフェス（Surface）と物体（Object）のプロパティがあります。材料（Material）とサーフェス（Surface）のプロパティは、波長と温度に基づいたデータを持っています。レイトレース監査中、プロパティデータは現在のサーフェスと物体の温度を反映するように更新されます。物体に定義された温度があるがサーフェスにない場合、物体の温度がサーフェスに適用されます。温度が定義されていない場合は、プロパティのデフォルト値が使用されます。例として、「温度（Temperature）」という名前の単純なマテリアルプロパティを考えてみましょう。このプロパティは、300K で 1.5 の屈折率を持ち、500K で 2.5 の屈折率を持ちます。2 つのケースのレイトレースを以下に示します。フレネル反射のほとんどを排除するために、フラックス閾値は 5% に設定されています。

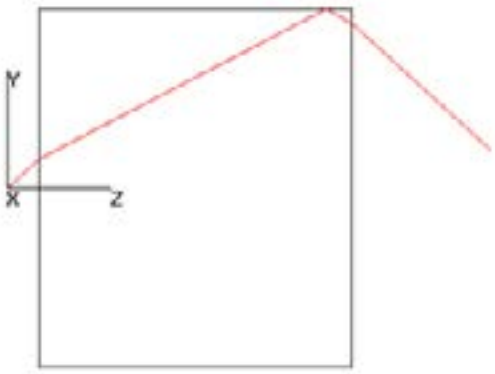


FIGURE 4.23 - Raytrace of block with example "Temperature" material applied, with n = 1.5 at T=300K

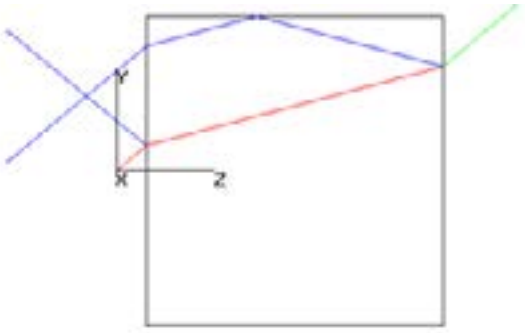


FIGURE 4.24 - Raytrace of block with example "Temperature" material applied, with n = 2.5 at T=500K

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

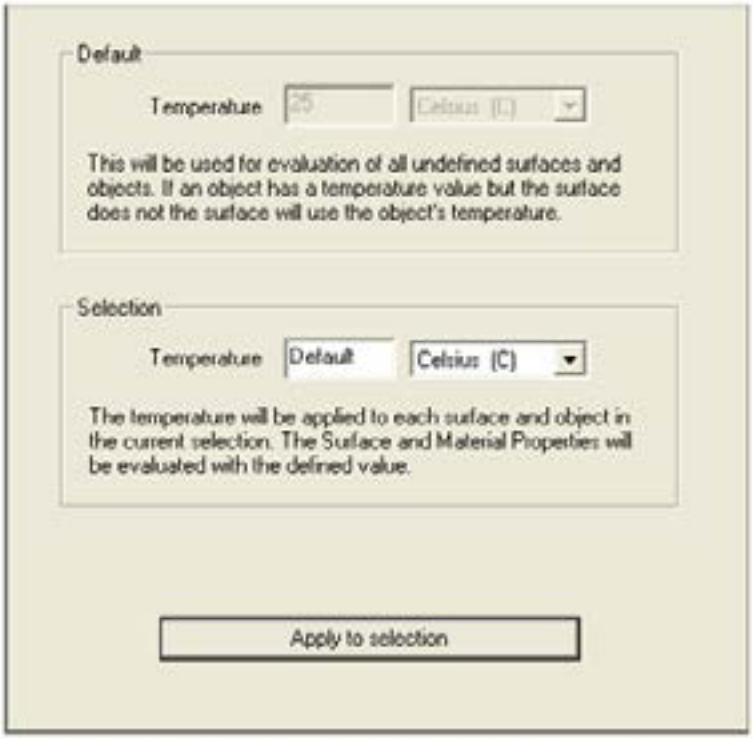


FIGURE 4.25 - Apply Properties Dialog Box, Temperature

温度は、他のプロパティと同様に、「プロパティの適用」ダイアログボックスを通して適用されます。同じ温度のオブジェクトとサーフェスを選択した後、新しい温度を入力し、「適用」を押してモデルを更新します。サーフェス温度については、サーフェス上で連続的に変化する温度分布を定義できます。4.53 ページの「温度分布」を参照してください。温度は、摂氏（° C）、華氏（° F）、またはケルビン（K）の単位で入力されます。注意：プロパティが単一の温度でのみ定義されている場合、サーフェスとオブジェクトの温度は事実上無視されます。注意:デフォルト温度は、「表示｜オプション」で設定されます。

クラスおよびユーザーデータ Standard Expert

クラスデータ機能を使用すると、ユーザーは文字列属性と数値データを 1 つまたは複数のオブジェクトに適用できます。クラス名は、さまざまな出力に表示され、マクロ言語からアクセスできます。特定のマクロコマンドの詳細については、オンラインのマクロリファレンスを参照してください。1 つまたは複数のオブジェクトにクラスデータを適用するには：

1. **「編集｜選択｜オブジェクト」**ツールを使用してオブジェクトを選択します。
2. 「プロパティの適用」ダイアログを開きます。
3. 「クラスとユーザーデータ」タブを選択し、適用する名前を入力します。
4. 「適用」を押してオブジェクトの選択を更新します。クラス名とユーザーデータの値がオブジェクトに付加されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 4.26 - Apply Properties Dialog Box, Class and User Data

ユーザーデータは、1 つ以上のオブジェクトに数値データを適用するためにも利用できます。このデータは、光線追跡の過程で使用される値を保存するために、マクロ操作中に使用されることがあります。

プロパティレポートとシステムツリーには、適用されたクラスデータとユーザーデータが表示されます。

オンラインマクロリファレンスには、クラスデータとユーザーデータで使用されるマクロコマンドの詳細な説明が記載されています。property:get-user-data および property:get-class を参照してください。

RepTile サーフェス Expert

概要

多数の小さな繰り返し構造を持つオブジェクトをモデリングする場合、TracePro または他のソリッドモデリングプログラムを使用して構造を作成することは現実的ではない場合があります。たとえば、フラットパネル LCD で使用される輝度向上フィルムには、数千または数百万の繰り返しサーフェス構造要素が含まれる場合があります。TracePro の RepTile サーフェス機能を使用すると、1 つのタイルまたはタイルの 1 つの列の形状を指定することで、これらのオブジェクトを作成できます。この機能により、ソリッドジオメトリを使用した同等のモデルと比較して、モデルサイズ、監査時間、およびレイトレース時間を大幅に削減して、複雑なモデルを作成できます。

RepTile サーフェスの指定

TracePro で RepTile サーフェスを作成するプロセスは、サーフェスプロパティを適用するのと似ています。TracePro には、さまざまな RepTile サーフェス形状とジオメトリのデータベース

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

があり、さまざまな RepTile パラメーターを定義してデータベースに追加できます。データベースには、RepTile プロパティエディターを介してアクセスします。さまざまなタイル形状（リング、長方形、千鳥状長方形、および六角形）とタイルジオメトリ（円錐形、球形、楕円形、寄棟、コーナーキューブ、プリズム、丸みを帯びたプリズム、およびフレネルレンズ）が利用可能です。一般に、ジオメトリは「バンプ」または「穴」として定義できます。RepTile プロパティがデータベースに入力されると（4.39 ページの「RepTile サーフェス」を参照）、[プロパティの適用] ダイアログボックスの [RepTile] タブを使用して平面サーフェスに適用できます。追加のデータ、つまりタイルが存在する平面サーフェス上の境界（長方形、円形、またはオブジェクトの境界）と、基準タイル（(0,0) タイル）の位置も必要です。これらのデータは、[プロパティの適用] ダイアログボックスの [RepTile] タブに入力されます。

重要な注意：RepTile のレイトレースエラーを回避するには、同一のサーフェスを避けてください。たとえば、RepTile の境界がタイル境界と一致するように境界寸法を設定することを避けるか、またはその逆も同様です。同様に、タイル境界と同一のサーフェスを持つタイル内にフィーチャーを作成しないでください。RepTile レイトレースエンジンは速度のために最適化されており、そのような同一のサーフェスをチェックしません。

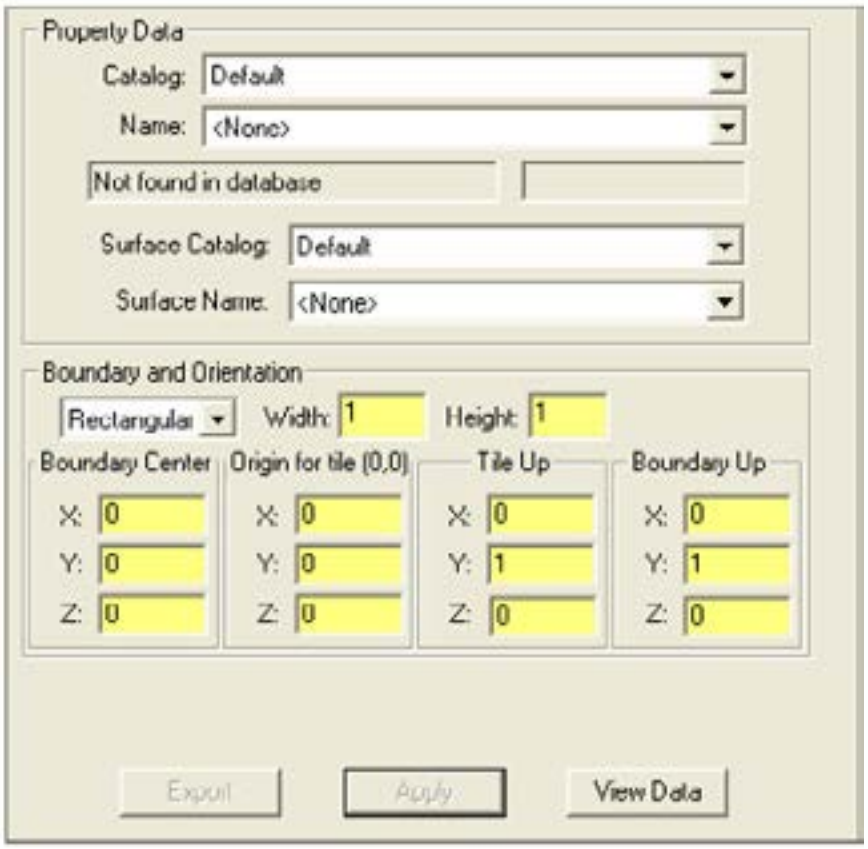


FIGURE 4.27 - RepTile Property data

株式会社 ノーツアンドクロス

TracePro では、1 つのサーフェスにつき 1 つの RepTile プロパティのみ許可されます。したがって、6 つのサーフェスを持つブロックは、各サーフェスに 1 つずつ、最大 6 つの RepTile プロパティを持つことができます。

平面に RepTile プロパティを適用すると、TracePro はタイル状のスペースを含む「セル」を定義します。セルは境界（円形、長方形、またはサーフェス境界）の形状と計算された深度を持ちます。RepTile プロパティがパラメータ化されている場合、セル深度はダイアログに入力されます。そうでない場合、セルの深度は次のようになります。

- 最も深いまたは最も高いジオメトリの深度または高さ d が計算されます。
- 各側に 0.001mm のバッファが追加されます。

セルの合計深度は d + 0.002mm であり、すべてのジオメトリサーフェスはセルを囲む上面および底面から少なくとも 0.001mm 離れています。

この計算された深度に注意する必要があります。なぜなら、セルは RepTile サーフェスを所有するオブジェクト内に完全に含まれていなければならないからです。この規則に違反すると、誤った光線が生じます。別の考え方として、セルは距離 d + 0.002mm だけサーフェスに「突き刺さる」（これは「穴」と「隆起」の両方に当てはまります）。光線が逃げるためには、セルのエッジ周辺にもマージンが必要です。つまり、光線が逃げるためには、セルの境界がオブジェクトのどのサーフェスとも一致してはいけません。このマージンは、たとえば 0.001mm のように小さくてもかまいませんが、ゼロであってはなりません。そうしないと、誤った光線が生じます。

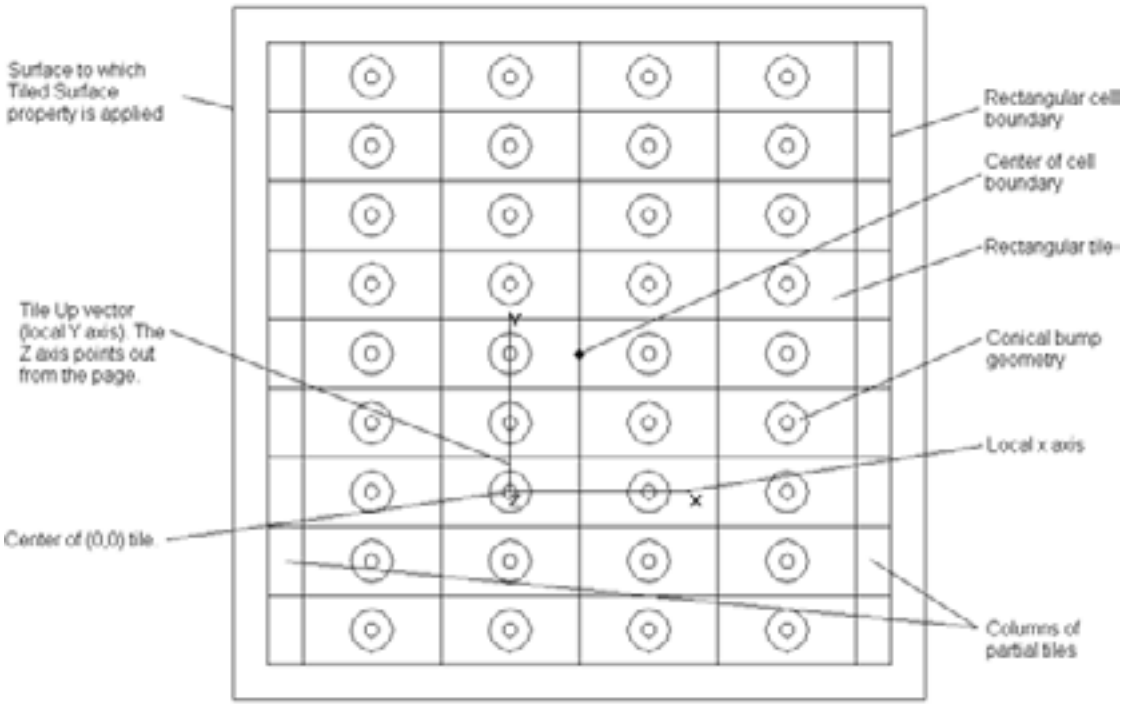


FIGURE 4.28 - A completed RepTile Surface. The tiled region has a rectangular boundary, and the tiles are rectangular with conical geometry. The tile numbering increases along the x and y axes. Tiles along the local x axis are in rows, and those along the local y axis (the Up vector) are in columns.

RepTile サーフェスにおけるタイルの向き

RepTile サーフェスにおけるタイルの向きは、RepTile サーフェスプロパティをサーフェスに適用する際に入力する「タイル上向きベクトル」によって決定されます。タイル上向きベクトル

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

の方向は、タイルのローカル y 軸を定義し、平面法線ベクトルはローカル z 軸を定義します。ローカル x 軸は y 軸と z 軸に直交し、右手座標系を形成します。境界は、入力された「境界上向きベクトル」に従って向き付けられます。境界の高さは、境界上向きベクトルに沿って測定されます。タイル形状とジオメトリの幅はローカル x 軸に沿った寸法であり、高さはローカル y 軸（タイル上向きベクトル）に沿った寸法です。「隆起」/「穴」の奥行き / 高さはローカル z 軸に沿った寸法です。

図 4.28 は、RepTile サーフェスプロパティが適用された長方形の平面を示しています。(0,0) タイルの (x, y, z) 位置を指定します。タイル番号は x 軸と y 軸に沿って増加します。(0,0) タイルの真上のタイルは (0,1) であり、(0,0) タイルの右側のタイルは (1,0) です。一般に、タイルはその座標 (nx, ny) で参照されます。可変ジオメトリを選択すると、ジオメトリは ny の変化に応じて変化するため、特定の ny に対して、すべての nx タイルが図 4.28 に示すように同じになります。

(0,0) タイルの座標を入力する際、サーフェス上にある必要はありません。サーフェスの上下にある場合、点はサーフェス法線に沿ってサーフェスに投影されます。点がサーフェスの境界外にある場合、一部のタイル（またはタイルの断片）は使用されませんが、これは RepTile サーフェス機能を完全に有効に使用する方法です。

パラメータ化された RepTile の奥行き

RepTile プロパティがパラメータ化として定義されている場合、奥行きは「プロパティの適用」ダイアログで入力されます。これらのプロパティにより、RepTile 機能はプロパティを含むオブジェクトによって切り捨てられたり、オブジェクトに埋め込まれたりすることが可能になります。

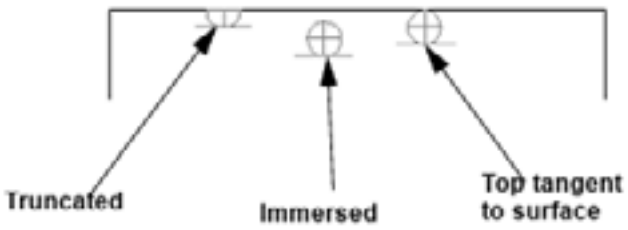


FIGURE 4.29 - Parameterized Spherical Bumps at three different depths.

図 4.29 は、3 つの異なる境界深度における球面ジオメトリの使用例を示しています。

切り捨てられたケースは、境界深度がジオメトリ深度よりも小さい場合です。
埋め込まれたケースは、境界深度がジオメトリ深度よりも大きい場合です。
3 番目のケースは、2 つの深度が等しい場合です。
球の下の水平線は、RepTile プロパティによって定義された境界サーフェスです。

境界形状

円形境界

中心点（x、y、z）と半径を指定して、円形境界を指定します。円形境界を指定すると、TracePro はタイルを格納するためのディスク形状のセルを作成します。円形境界がサーフェスの境界内に完全に収まっていることが重要です。そうでない場合、レイ トレーシングエラーが発生します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

長方形境界

中心点（x、y、z）、境界上向きベクトル、幅、高さを指定して、長方形境界を指定します。長方形境界を指定すると、TracePro はタイルを格納するための長方形セルを作成します。長方形境界がサーフェスの境界内に完全に収まっていることが重要です。そうでない場合、レイ トレーシングエラーが発生します。

サーフェス境界の使用

このタイプの境界を定義するために追加のデータは必要ありません。

サーフェス境界を RepTile 境界として使用する場合、TracePro は RepTile が適用されるサーフェスがオブジェクトの凸部にあると想定します。RepTile セルを上下に定義する 2 つの無限平面を想像してください。光線は、次の 2 つの方法のいずれかでオブジェクトの外側から RepTile セルに入ることができます。1）RepTile が適用されるサーフェスと交差することによって、または 2）これらの 2 つの無限平面間のオブジェクトの別のサーフェスと交差することによって。このタイプの境界では、光線は底面と交差することによってのみオブジェクトの内側から RepTile セルに入ることができます。

エクスポート

RepTile サーフェス情報をファイルにエクスポートできます。TracePro は、定義データを含むプロパティの説明を含むテキスト形式を提供します。ジオメトリは、DXF 形式で 2 次元マスクまたは 3 次元ワイヤーフレームとしてエクスポートできます。いずれの場合も、エクスポート機能を有効にするには、最初にプロパティをサーフェスに適用する必要があります。

視覚化とサーフェスプロパティ

2.54 ページの「RepTile の表示」を参照してください。

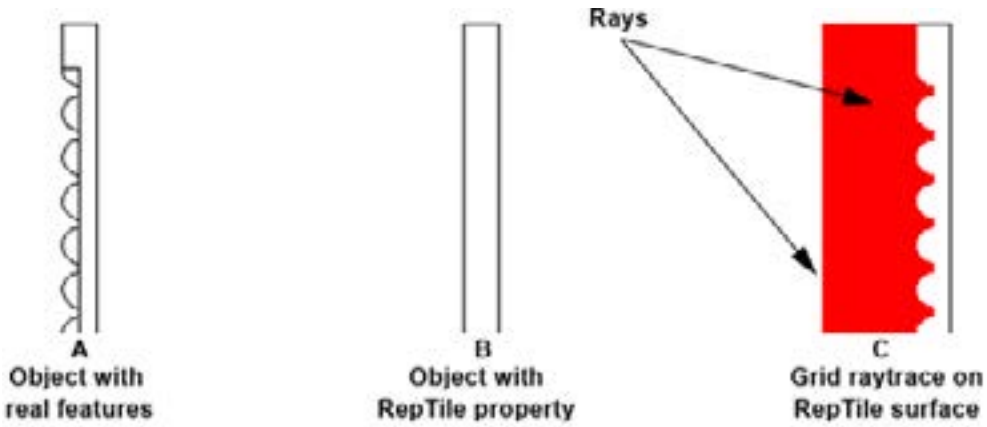


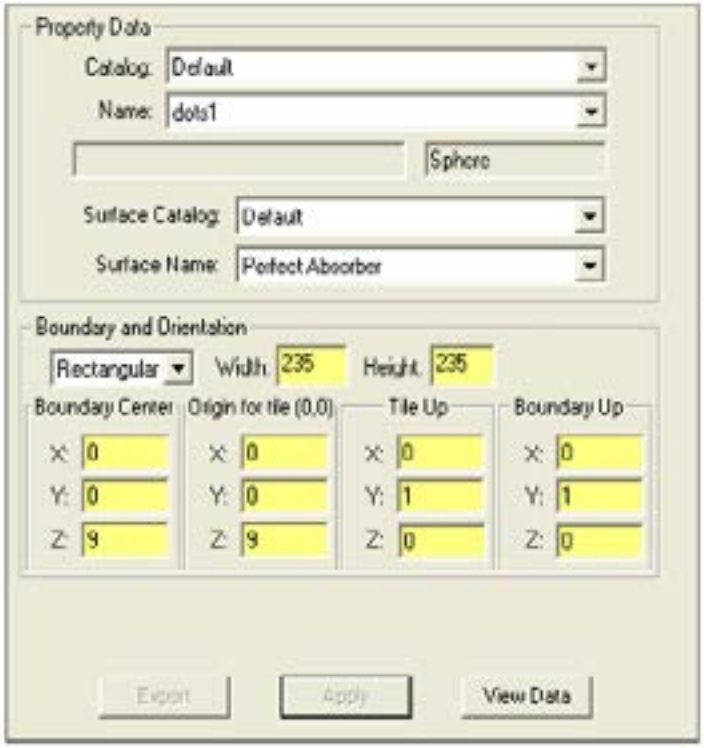
FIGURE 4.30 - Cross section of different representations of objects - each with a surface containing spherical "bumps".

図 4.30 は、TracePro モデルウィンドウ内のオブジェクトの左側に球状の「凹凸」の配列を含むオブジェクトのさまざまな表現を示しています。図 4.30A は、サーフェスの「凹凸」が真のソリッドモデルとして作成された場合のオブジェクトの側面図を示しています。このオブジェクトを作成するには、複数の球を結合して単一のソリッドモデルオブジェクトにする必要がありました。図 4.30B は、別の方法の側面図を示しています。図 4.30A と同じ形状を表す RepTile サーフェスが適用されています。図 4.30B のオブジェクトでは、RepTile サーフェスの

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

特徴が表示されていないことが明確にわかります。図 4.30C は、RepTile サーフェスを視覚化するための推奨される方法を示しています。RepTile サーフェスに完全吸収体サーフェスプロパティが適用され、グリッドレイトレースを使用して間隔の狭い光線の単一の列がトレースされます。光線が RepTile サーフェスに吸収されるにつれて、光線の端がサーフェス形状のプロファイルを表示します。

同じ RepTile サーフェスに異なる方法で 2 つの異なるサーフェスプロパティを適用できます。図 4.31 に示すように、[プロパティの適用] ダイアログの [RepTile] タブで [サーフェスプロパティ] を変更することにより、RepTile 機能にサーフェスプロパティを適用できます。図 4.31 は、[プロパティの適用] ダイアログの [サーフェス] タブで [サーフェスプロパティ名] を指定することにより、基になるサーフェスに異なるサーフェスプロパティを適用できることを示しています。タイルの「境界」領域（つまり、RepTile の「凹凸」、「穴」、またはその他の特徴がない各タイルの端の周囲の領域）には、基になるサーフェスのサーフェスプロパティが割り当てられることに注意してください。同様に、RepTile サーフェスの基になるサーフェスに適用されるサーフェスプロパティは、RepTile セル境界を囲むサーフェスフレームにも適用されます（図 4.32 の概略図の表記を参照）。



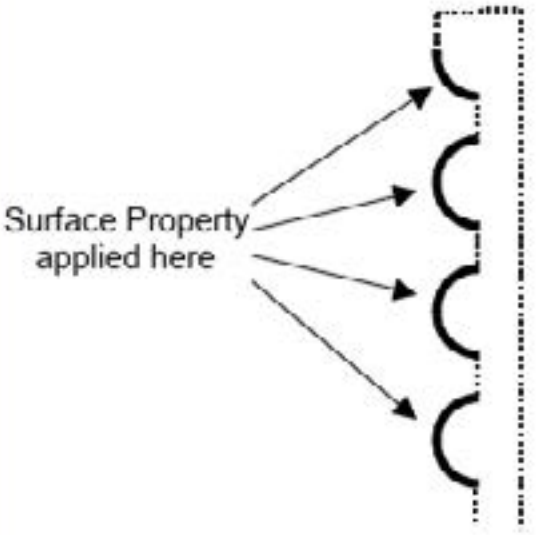


FIGURE 4.31 - Applying a surface property directly to RepTile features in the Apply Properties dialog. The surface property will apply to the surfaces drawn with bold lines in the schematic.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

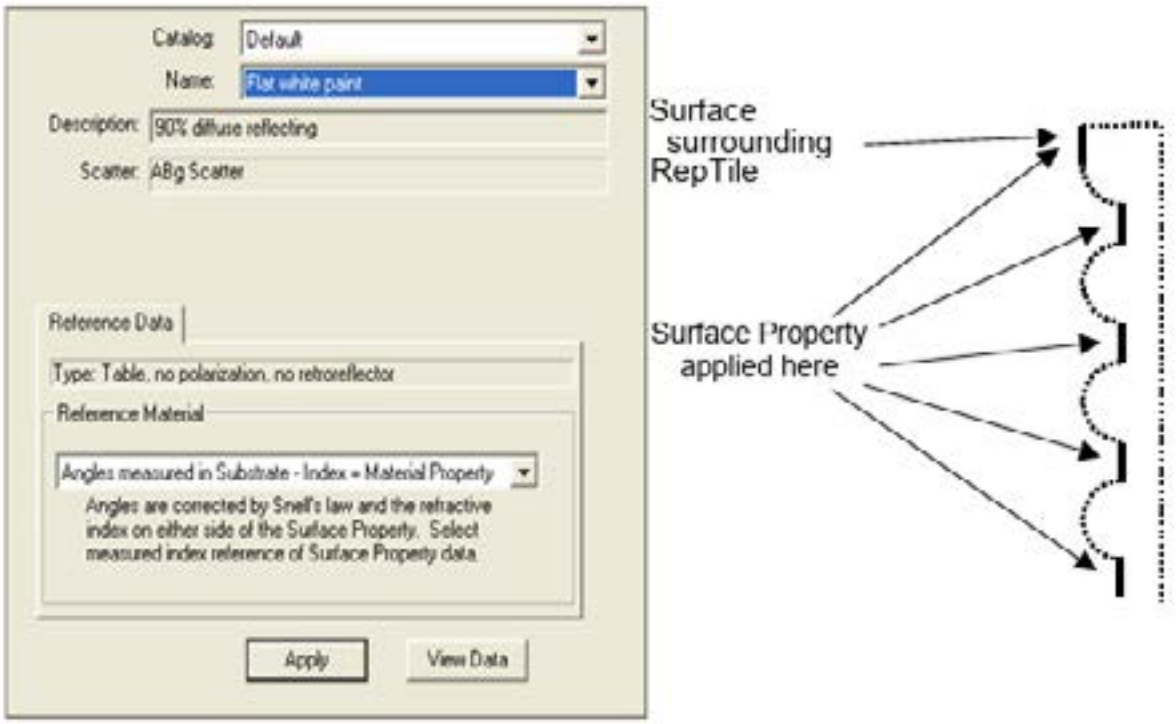


FIGURE 4.32 - Applying a surface property to the underlying surface of a RepTile surface in the Apply Properties dialog. The surface property will apply to the surfaces drawn with bold lines in the schematic.

もし RepTile サーフェスの全ての領域に吸収される光線を追跡することに関心があるならば（図 4.30C 参照）、RepTile 領域のサーフェスプロパティ（図 4.31）と下地サーフェスのサーフェスプロパティ（図 4.32）の両方を完全吸収体に設定する必要があります。

RepTile テクスチャファイルサーフェスの指定

RepTile テクスチャファイルサーフェス A テクスチャファイルプロパティの指定は、RepTile タイプのジオメトリをサーフェスに適用する別の方法です。テクスチャファイルには、RepTile ジオメトリを構成するフィーチャーに関する数値データが含まれています。RepTile テクスチャファイルのプロパティを定義した後、標準の RepTile プロパティをサーフェスに割り当てるのと同じ方法で、それをサーフェスに割り当てることができます。RepTile テクスチャファイルのプロパティの定義に関する詳細については、第 3 章「プロパティの定義」の 3.76 ページにある「テクスチャファイル」のセクションを参照してください。

RepTile テクスチャと標準の RepTile ジオメトリには、いくつかの違いがあります。

- フィーチャーを記述するデータは、他の手段（CAD やスプレッドシートプログラムなど）で生成された外部ファイルから取得されます。
- テクスチャファイルは、所定のデータ形式に従う必要があります（7.111 ページの「テクスチャファイル形式」を参照）。
- テクスチャファイル内の各フィーチャーは個別に異なり、フィーチャーは選択された RepTile 領域全体にタイル状に配置されるのではなく、テクスチャファイルに個別にリストされる必要があります（したがって、このファイルは非常に大きくなる可能性があります）。
- フィーチャーデータは特定の順序である必要はなく、ファイル内でフィーチャーの空間位置、サイズなどを可変（つまり、ランダム）にすることができます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 複数のフィーチャーが同じ RepTile タイル / ピクセル内に存在できます。
- フィーチャーが重複して、RepTile サーフェスに複雑な構造を作成する可能性があります。
- テクスチャファイルには、バンプと穴の両方を含めることができます。
- RepTile プロパティエディタのバンプ / 穴ボタンを使用して、各フィーチャーのバンプ / 穴の指定を反転する機能があります。
- RepTile バッファーは 1 x 10-10 mm です。
- RepTile 境界と重複するテクスチャファイルフィーチャーは無視されます。

それ以外の場合、RepTile テクスチャファイルの定義、適用、および光線追跡は、他の RepTile プロパティと同じ方法で実行されます。RepTile テクスチャファイル内に含めることができるフィーチャージオメトリタイプの現在の機能は、3.56 ページの表 3.13 に示されています。図 4.33 は、テクスチャファイルがサーフェスに適用される場合の「プロパティの適用 |RepTile」ダイアログを示しています。この実際のプロパティ（TextureExample）を定義する手順は、3.55 ページの「RepTile ジオメトリ」に示されています。

次のパラメーターを設定できます。

- カタログ：RepTile テクスチャプロパティが配置されているカタログ。
- 名前：選択されたカタログ内の RepTile テクスチャプロパティの名前。
- 境界:RepTile テクスチャからのフィーチャーが配置される境界の形状（長方形または円形）。
- 幅と高さ：境界のモデル単位の幅と高さ。
- 奥行き：選択された境界のモデル単位の奥行き。奥行き座標は、バンプの選択によって異なります（図 4.33 の下部にあるコンボボックスを参照）。詳細については、4.52 ページの「テクスチャ RepTile のベース平面の指定」を参照してください。
- 境界中心：グローバル座標でのモデル単位の境界中心。
- テクスチャ原点：境界中心に対するテクスチャファイル内のフィーチャーのオフセット。
- テクスチャ上方向：フィーチャーのローカル上向きベクトルを指定するベクトル。
- 境界上方向：境界のローカル上向きベクトルを指定するベクトル。
- ピクセルの高さと幅：2 つの横座標におけるタイル / ピクセルサイズ。デフォルト値は、RepTile プロパティエディタを通じて最初に入力された値に由来します。ここで指定されるのは、現在の表面実装におけるタイル / ピクセル幅です。これは、保存されているプロパティデータを上書きするものではありません。
- バンプ指定コンボボックス：フィーチャの向きを示す（4.48 ページの「テクスチャ RepTile のバンプ指定」を参照）

1. Bump（バンプ）：すべてのフィーチャーがバンプとして扱われます。
2. Ho;e（穴）：すべてのフィーチャーが穴として扱われます。
3. Mixed（混合）：RepTile テクスチャファイルで指定されたフィーチャー。
4. Inverted（反転）：RepTile テクスチャファイルで指定されたフィーチャーが反転されます。

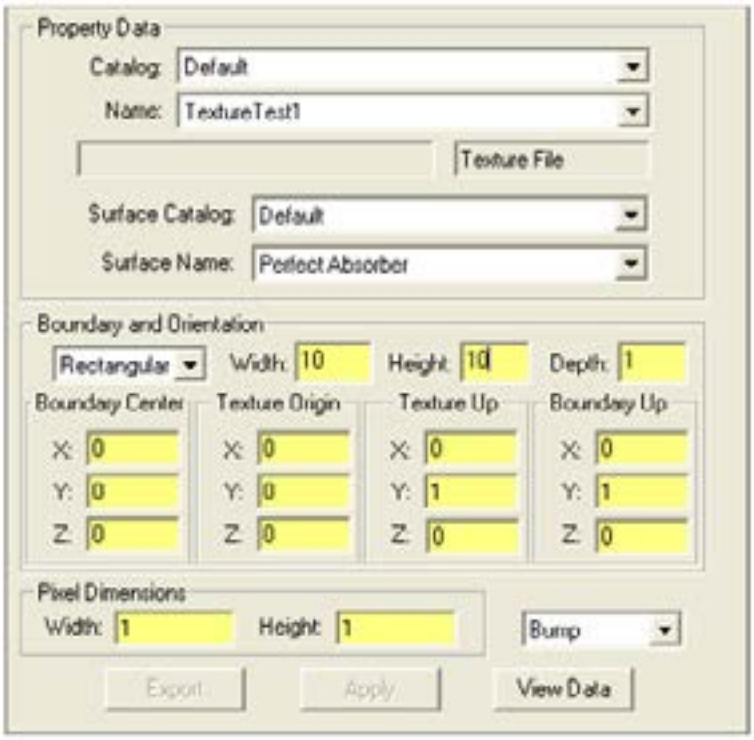


FIGURE 4.33 - Depiction of the Apply Properties: RepTile dialog for a property of Texture File type.

テクスチャ RepTile の凹凸指定

テクスチャ RepTile プロパティ内のフィーチャーの凹凸指定を更新できます。4 つの選択肢があります。

- Bump（凸状）（デフォルト）：すべてのフィーチャーが凸として解釈され、テクスチャファイル内の指定を上書きします。
- Hole：すべてのフィーチャーが穴として解釈され、テクスチャファイル内の指定を上書きします。
- Mixed：凹凸 / 穴の指定はテクスチャファイル内の通りです。
- Inverted：凸が穴に、穴が凸になるように、テクスチャファイルの指定を切り替えます。

デフォルトのプロパティ指定は RepTile プロパティエディタで設定しますが、RepTile プロパティ適用ダイアログタブ（図 4.34）で更新できます。プロパティ適用ダイアログで変更した場合、プロパティデータベースファイル内に保存され表示される RepTile プロパティは変更されません。ローカル（つまり、モデル内）でのみプロパティが変更されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

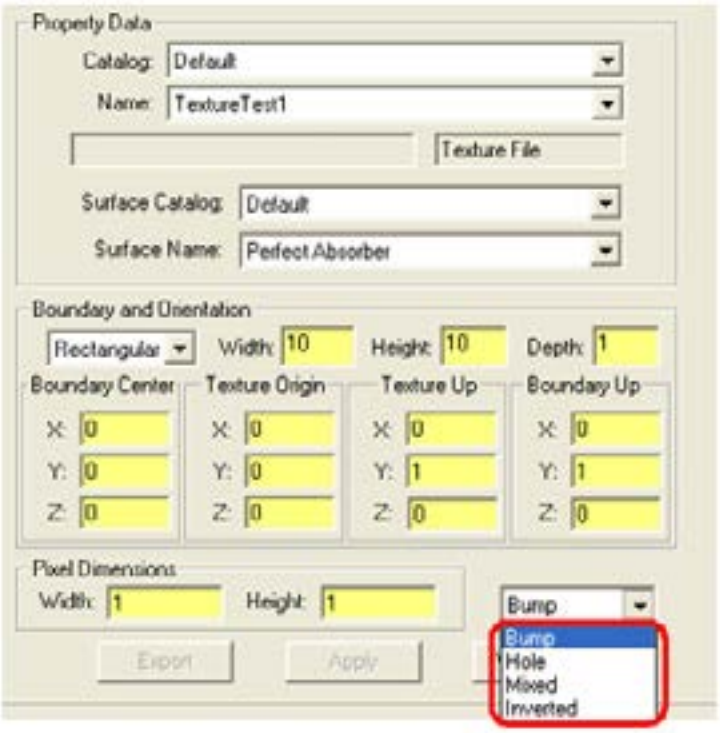


FIGURE 4.34 - Apply Properties RepTile showing a combo box (circled in red) that allows you to set the feature orientation for this application of the property.

例として、以下のプロパティを持つテクスチャファイルが平面に適用されたとします。

- 凸凹と穴が混在している
- 表 3 にリストされているすべてのジオメトリタイプが含まれている

一連の図は、図 4.34 のコンボボックスを介して凹凸の指定を変更した結果を示しています。図は以下の通りです。

- 図 4.35：特徴が混在しているため、向きはテクスチャファイルで指定された通りです。
- 図 4.36：凹凸の特徴であるため、すべての特徴が凹凸として扱われます。
- 図 4.37：穴の特徴であるため、すべての特徴が穴として扱われます。
- 図 4.38：特徴が反転しているため、向きはテクスチャファイルで指定された通りに反転されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

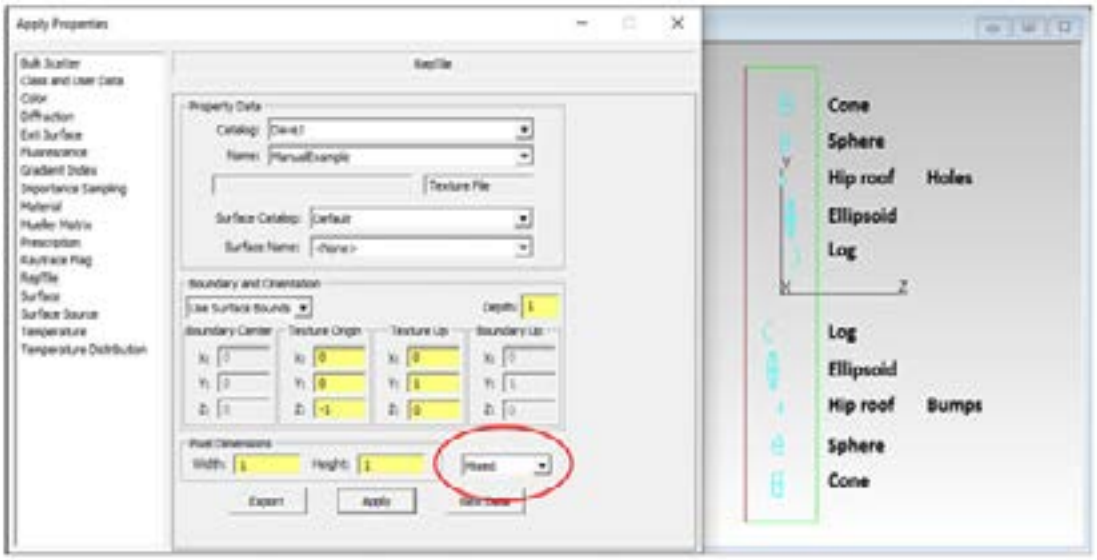


FIGURE 4.35 - Textured RepTile visualization showing the Mixed orientation for a RepTile property that originally contains Holes and Bumps.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

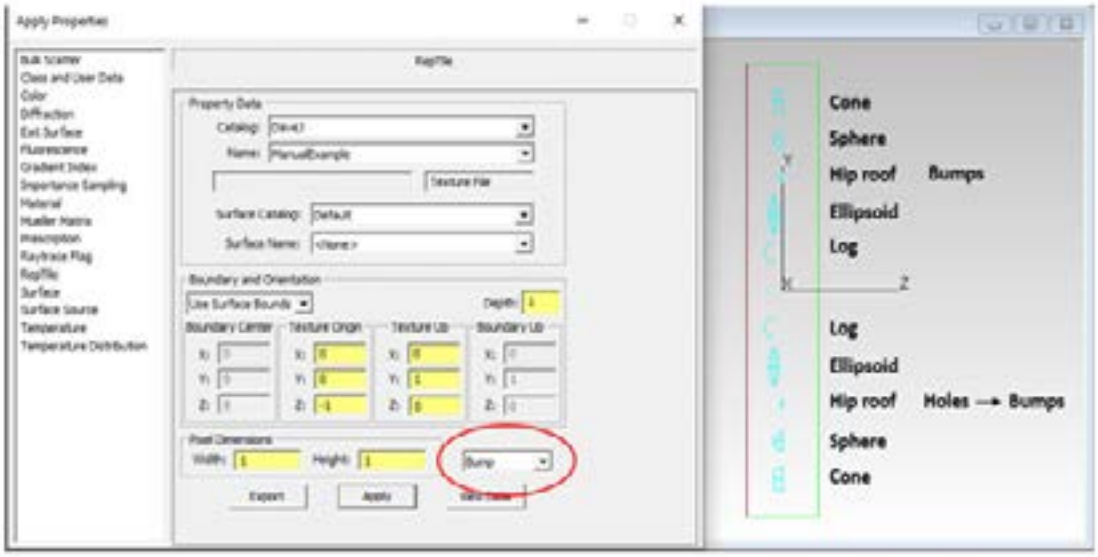


FIGURE 4.36 - Textured RepTile visualization showing the Bump orientation for a RepTile property that originally contains Holes and Bumps.

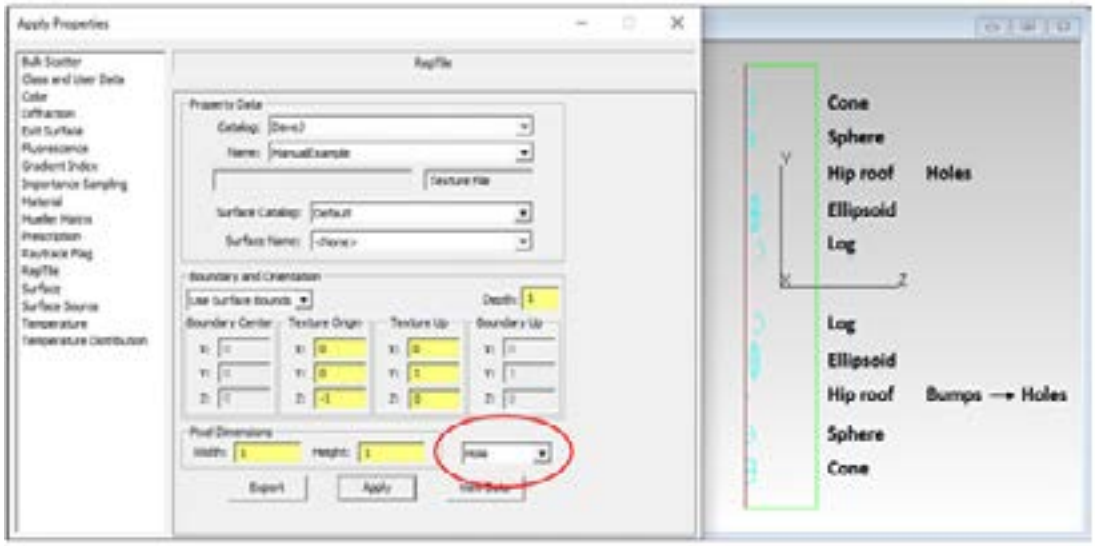


FIGURE 4.37 - Textured RepTile visualization showing the Hole orientation for a RepTile property that originally contains Holes and Bumps.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

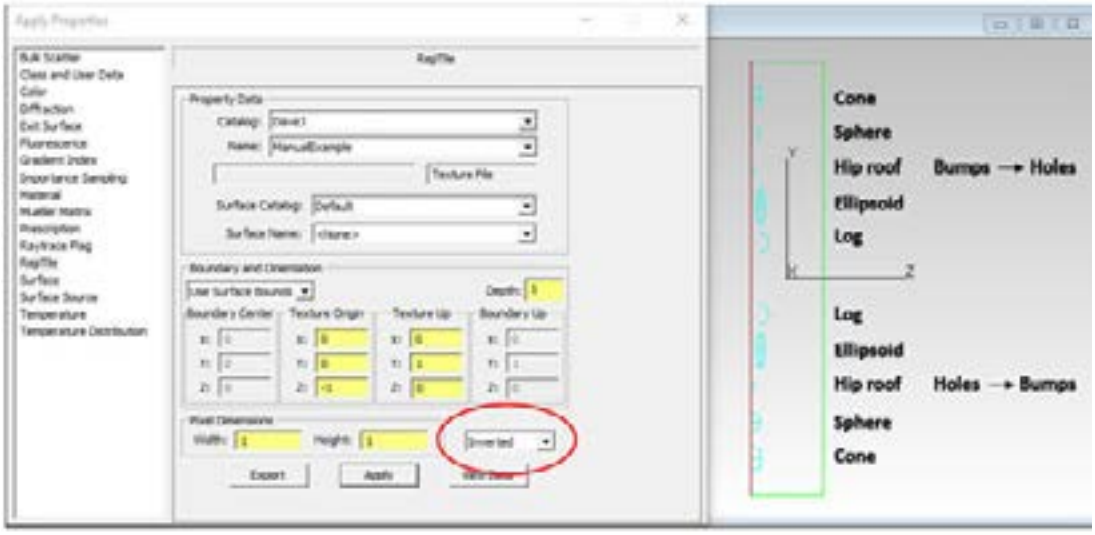


FIGURE 4.38 - Textured RepTile visualization showing the inverted orientation for a RepTile property that originally contains Holes and Bumps.

テクスチャ RepTile のベース平面指定

テクスチャ RepTile は、適用されたサーフェスプロパティの範囲にわたって穴と凹凸の両方を含むテクスチャファイルを処理できます。穴と凹凸の両方を含むテクスチャ RepTile の場合、RepTile ボリュームの厚さは、深さ / 高さの値の 2 倍になります。特徴は、オブジェクトの適用されたサーフェスから深さ / 高さの距離にあるベース平面から放射されます。

さらに、テクスチャパターンで特徴を重ねることができるため、この機能の向上には潜在的な危険性があります。特徴の重複は、以下を引き起こします。

- 特に凹凸が穴に重なる場合の奇妙なジオメトリ。
- レイトレースエラー。

凹凸と穴を重ねることは推奨しません。テクスチャファイルのすべての特徴は、テクスチャ RepTile プロパティが適用されるオブジェクトのボリューム内に含まれている必要があります。これは、標準の凹凸および穴の特徴の向きでは問題になりませんが、混合または反転されたテクスチャ RepTile プロパティでは問題になります（下記参照）。

混合および反転されたテクスチャ RepTile の向きでは、RepTile ボリュームの全体的な厚さは、深さ / 高さの値の 2 倍になります。これらの 2 つの向きでは、特徴はオブジェクトの適用されたサーフェスから深さ / 高さにあるベース平面から放射されます。したがって、混合および反転された向きでは、RepTile ボリュームのこの増加した厚さを許容するために、オブジェクトの全体的な厚さを十分に大きくする必要があります。

表 4.8 は、特徴が参照されるベース / 高さ / 深さ平面の位置を示しています。図 4.39 は、これらのさまざまな平面のグラフィカルな表現を示しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TABLE 4.8. Descriptions Height/Depth value and the surface to which the RepTile Property is applied for the Bump, Hole, Mixed, and Inverted Orientations (see the Section User-Defined Bumps and Holes). See Fig. 23 for a picture.

Feature Orientation	Applied Surface of Object	Height/Depth Plane
Bump	Upper extent to applied RepTile Property	Base Plane
Hole	Base Plane	Lower extent to applied RepTile Property
Mixed	Upper extent to applied RepTile Property	Base Plane
Inverted	Upper extent to applied RepTile Property	Base Plane

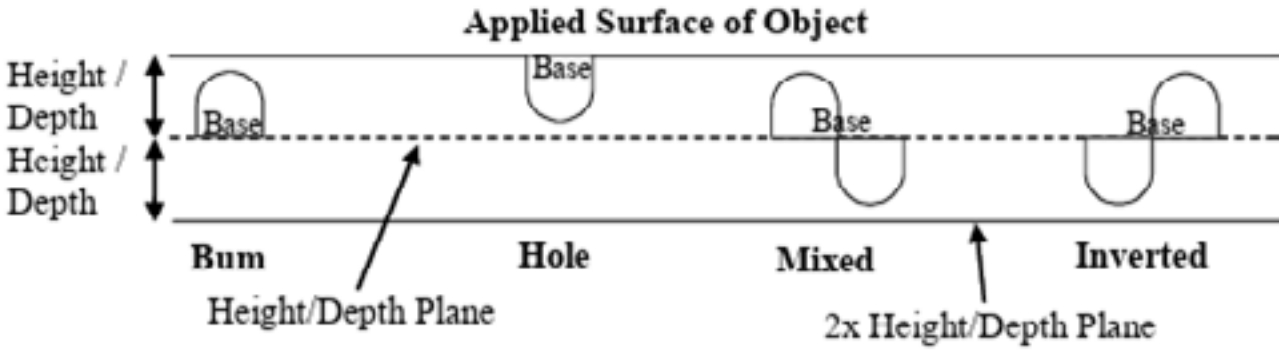


FIGURE 4.39 - Graphical representation of the planes that define the configuration of the Features that comprise a Textured RepTile.

温度分布

温度分布プロパティを使用すると、サーフェス全体に非一様な温度分布を設定できます。これは、**「定義 | プロパティの適用」**ダイアログボックスの「温度分布」ページからアクセスできます。以下のサーフェスタイプに適用できる温度分布には、いくつかの種類があります。

- **平面**
  タイプ 0 - 矩形（x,y）温度値のテーブルグリッド
  タイプ 1 - 矩形（x,y）2D 多項式
  タイプ 2 - 円形（r, θ）温度値のテーブルグリッド
  タイプ 3 - 円形（r, θ）2D 多項式

円筒

- タイプ 4 - 円筒形（z, θ）温度値のテーブルグリッド
- タイプ 5 - 円筒形（z, θ）2D 多項式

分布情報は ASCII ファイルに保存され、次の方法で定義できます。

- サーフェスに沿った点の二次元配列と、与えられた点間の双線形補間。
- ユーザー定義の係数を持つ最大 5 次までの多項式表現。

ダイアログの下部で、分布の原点、寸法、ローカル X 軸を入力できます。平面または円筒に単純な境界がある場合、それらを分布の境界および方向としてオプションで使用できます。平面の単純な境界は、長方形または円です。円筒の単純な境界は、切頭円錐、つまり円筒の軸に垂

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

直な 2 つの平面で区切られた円筒の一部です。

分布がサーフェス全体をカバーしない場合、「温度」プロパティを使用して適用された温度が、分布境界の外側のサーフェス領域に使用されます。4.36 ページの「温度」を参照してください。

ASCII ファイルに保存された分布情報は、次の方法で定義できます。サーフェスに沿った点の二次元配列と、与えられた点間の双線形補間。ユーザー定義の係数を持つ最大 5 次までの多項式表現。7.68 ページの「非一様な温度分布」を参照してください。

温度分布は、複数の温度が定義されたサーフェスプロパティまたはサーフェスソースプロパティで使用すると、プロパティがサーフェス全体で空間的に温度によって変化することを可能にします。レイトレース中、最初にレイ交点の温度分布を補間して温度を評価し、次にこの温度を使用してプロパティを補間します。これは、TracePro に空間的に変化するプロパティを使用させる間接的な方法としても使用できます。現在の分析で温度が重要でない場合は、プロパティを空間的に変化させるためのパラメータとして効果的に使用できます。

温度依存のサーフェスソースプロパティで使用する場合、温度分布プロパティでは計算された波長を使用する必要があります。

温度分布の適用

平面または円筒に温度分布を適用するには：

- 適切な形式でテキストファイルに適切な分布データを定義します。
- 分布を適用するサーフェスを選択します。
- 「定義」>「プロパティの適用」>「温度分布」を選択します。
- 適用する分布を含むファイルを入力するか、参照します。
- 境界データを入力します。
- サーフェスに分布と一致する単純な境界がある場合は、サーフェス境界を分布境界として使用するためのチェックボックスが表示されます。
- 「適用」をクリックします。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 5 章 レイ トレーシングとオプティマイズ

レイ トレーシング入門

レイ トレーシングは、TracePro が解析モードでモデル全体の光束分布をシミュレーションし、シミュレーションモードで選択されたサーフェスにおける光束分布をシミュレーションする手段です。この章では、TracePro におけるレイ トレーシングの背後にあるロジックと、レイ トレーシングを強化するために使用できるテクニックについて説明します。レイがモデルとどのように相互作用するかは、モデル自体（作成したオブジェクトの幾何学的詳細と適用したプロパティ）と、モデルに投入されるレイをどのように制御するかによって部分的に決定されます。レイを定義する基本的な方法は 3 つあります。グリッドソース、ファイルソース、サーフェスソースです。

ソースの組み合わせ

ソースはグリッド、サーフェス、ファイルとして定義されます。グリッドソースは、窓から遠くのソースへの仮想的な窓として定義され、窓からレイが放射されます。サーフェスソースは、オブジェクトのサーフェスにプロパティとして適用されます。ファイルソースは、レイ トレーシング中に TracePro が読み取る外部レイ データで構成されます。各ソースの複数のタイプを定義でき、3 つを組み合わせて、目的のレイ トレーシング シミュレーションを実行するために必要な光束を制御できます。

システム ツリーによるソースの管理

各ソースタイプは、[定義] メニューから、またはシステム ツリーの [ソース] タブを右クリックして定義できます。システム ツリーの [ソース] タブ（1.6 ページを参照）は、モデルに含まれるすべてのソースの中心的なリポジトリとして機能します。各ソースは、ソースツリー内のノードとして表示されます。ノードを展開すると、各タイプのさまざまなソースが表示され、各ソースの関連データがさらに表示されます。各ソースノードの前には、緑色のチェックマークまたは赤い X が表示されます。このフラグをクリックすると、トレースするソースのリストにソースが追加または削除されます。システム ツリーの [ソース] タブでグリッド、サーフェス、またはファイルソースを選択すると、モデル ウィンドウに表示されます。各ソースの表示色は、ソースを定義するときに設定できます。例として、図 5.2 は、システム ツリーで [ソース] タブがアクティブになっているモデルを示しています。「グリッドソース 1」という名前のグリッドソースが選択され、ソースの境界がモデル ウィンドウに表示されます。モデルにはサーフェスソースも定義されていますが、ファイルソースはありません。緑色のチェックマークが設定されているため、グリッドソースとサーフェスソースの両方がレイ トレーシング用に有効になっています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

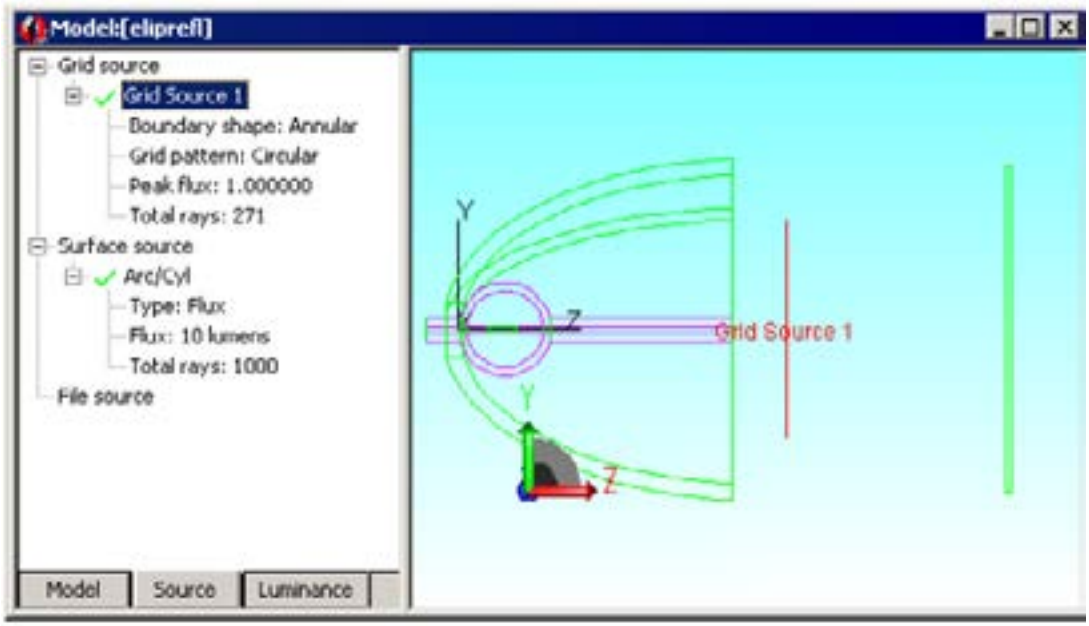


FIGURE 5.1 - Source Tab displayed in the System Tree.

ソース / 波長セレクターによるソースの管理

ソース / 波長セレクターは、光線追跡メニューから利用できます。これは、モデル内のすべてのソースと波長の概要を表示し、個々のソースと波長をオンまたはオフにすることができます。波長またはソースをオフにするには、緑色のチェックマークをクリックして赤色の×印に変更します。図 5.2 は、2 つのソース（1 つのグリッドソースと 1 つのサーフェスソース）を持つソース / 波長セレクターを示しています。グリッドソースには 5 つの波長があり、サーフェスソースには 2 つの波長があります。列見出しをクリックすると、ソースタイプ、ソース名、または波長でソートできます。見出しを再度クリックすると、列が逆順にソートされます。

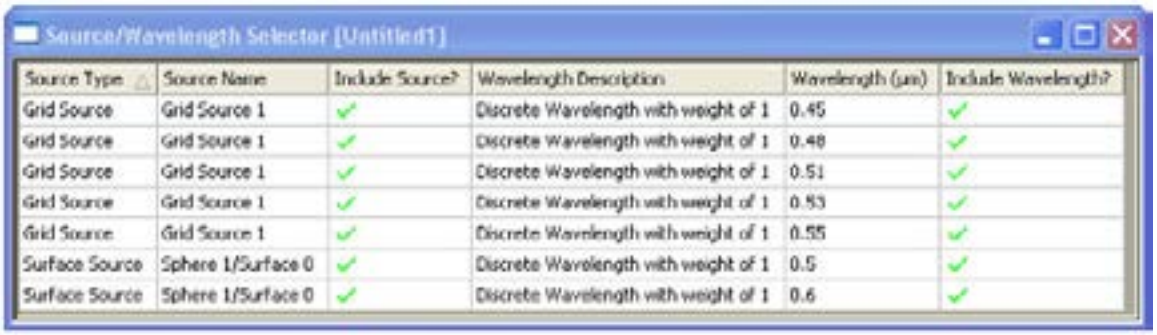


FIGURE 5.2 - Source/Wavlength Selector with two sources and seven wavelengths.

ソースの定義

このセクションでは、各ソースタイプの定義方法について説明します。次のセクションでは、TracePro 内で光線追跡を開始する方法について説明します。最後のセクションでは、光線追跡のパフォーマンスを制御するために使用されるさまざまなオプションについて説明します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

グリッドソース

グリッドソースでは、規則的なグリッドまたはランダムなグリッドにおける光線の空間分布と角度分布を指定します。また、追跡する光線の数とピーク光束も指定します。TracePro は、この仮想平面から光線のグリッドを放出します。初期起動時には、デフォルトのグリッドソースが TracePro 内で定義されています。ダイアログボックスのデフォルトエントリは、必要なデータを入力し、[デフォルトを設定] ボタンをクリックすることで変更できます。入力されたデータは、TracePro デフォルトファイルに保存されます。新しいモデルが作成され、ダイアログが最初に開かれたときを含め、新しいグリッドソースが定義されるたびに、これらのグリッドソースのデフォルト値が使用されます。このデータは、モデルが OML ファイルとして保存されるときにも保存されます。詳細については、1.11 ページの「ユーザーデフォルト」を参照してください。

最初のタブである [グリッド設定] には、グリッドを定義するための一連のパラメータがあり、表 5.1 にまとめられています。グリッドパラメータは、グリッドのサイズ、パターン、および位置を確立します。最初は、グリッドを、すべての光線がコリメートまたは互いに平行である無限遠のソースからの光線のサンプリングとして考えることができます。グリッド平面は、境界を通過し、平面に垂直な光線へのウィンドウを定義します。

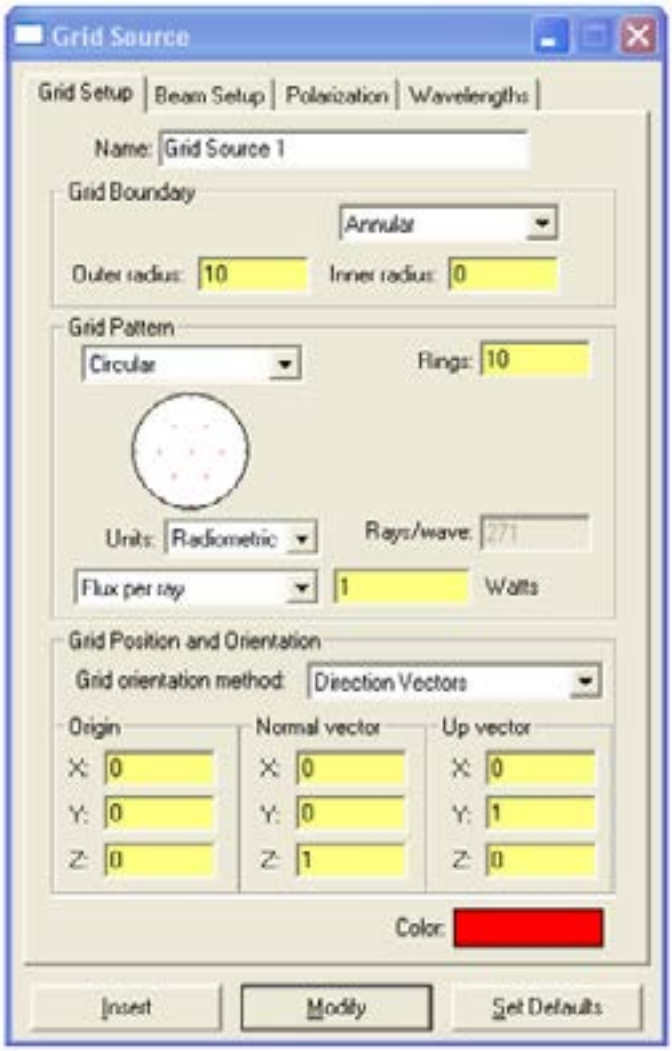


FIGURE 5.3 - From the Define menu, the Grid Source dialog box

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

表 51 グリッドソースオプション - グリッドセットアップ

グリッドセットアップタブ	
アトリビュート	値
名前	システムツリーのソースペインに表示されるグリッドソースの名前です。新規にグリッドソースを作成する場合は、ソース名を入力して「挿入」ボタンをクリックしてください。既存のグリッドソースを編集するには、ソースツリーから対象のソースを選択します。選択したソースの名前を変更する場合は、新しい名前を入力して「変更」ボタンをクリックしてください。
グリッド境界	円環 矩形
グリッド寸法	内半径外半径 Y 高さの半値 X 幅の半値
グリッドパターン	Rectangular: 矩形 Circular: 円形 Cross: 十字（形） Dithered rectangular: ディザ矩形 Random: ランダム Checkerboard: チェッカーボード
グリッド密度	リング数（円形パターン）または X 軸点と Y 軸点（矩形、交差または ディザリンググリッドパターンまたは 適用外（ランダムグリッドパターン）または X 軸主点、Y 軸主点、X 軸副点、Y 軸副点（チェッカーボード）
追跡する光線本数	波長ごとの計算光線数（光の波長ごとに、特定のパターン（矩形、円形など）で光線を計算、 全ての波長に対して、ランダムなグリッドパターンで光線を計算
単位	放射測定（ワットまたはワット毎平方メートル）または測光（ルーメンまたはルクス
光線あたりの光束または総放射束または総照度	ユーザ定義
グリッドの中心座標	原点の x,y,z 座標
グリッドの向き	x,y,z 法線ベクトルまたは x,y,z オイラー回転角
カラー	モデルウィンドウに表示するソースの色を選択するためのカラーパレットを開きます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

表 5.2 は、グリッドソースのビームオプションをリスト表示しています。ビームオプションは、グリッドの空間的および角度的プロファイルを変更します。

表 5.2 グリッドソースオプション - ビームセットアップ

ビームセットアップタブ	
アトリビュート	**値**
ビームの空間プロファイル	均一ガウシアン
ビームの空間的重みづけ	均一光束・ポジション重みづけまたは均一ポジション光束重みづけ
ビームの空間的サイズ（ガウシアンのみ）	x ウエスト 1/e2 半径 y ウエスト 1/e2 半径
ビームの角度的プロファイル	均一ガウシアンランバーシアンソーラー
ビームの角度的重みづけ	均一光束・角度に重みづけまたは均一角度分布で光束に重みづけ
ビームの角度的寸法	半径または x ー半角、y ー半角
ビームの向き	グリッドに垂直または方向ベクトルまたは一点に収束または一点から発散

テーブル 5.3 には、グリッドソースから放出される光の波長に関する情報が記載されています。ユーザーは、特定の波長と、それに対応する光の相対的な強度（重み）を指定できます。

表 5．3 グリッドセットアップオプション - 波長

波長タブ	
アトリビュート	値
波長	離散的な波長（単位：μm）。波長を入力し、追加ボタンをクリックするか、Enter キーを押して波長を追加します。テーブルで波長を選択し、削除ボタンをクリックして波長を削除します。
重み	各波長の光束に適用される相対的な重み付け係数。
光束	波長に対して放射される光束は、計算された値です。全光束または全放射照度ソースの場合、各波長の光束は、グリッド設定タブの光束または放射照度の入力によって決定された合計光束に加算されるように調整されます。
光線本数	グリッド設定タブでの選択に応じて算出されます。ランダムグリッドパターンでは、各波長の光線あたりの光束が概ね等しくなるように、各波長における光線数が調整されます。

偏光 Standard Expert

偏光タブは、グリッド面から放射される光線の初期偏光状態を設定する手段を提供します。偏光オプションは表 5.4 に記載されています。

表 5．4　グリッドソースオプション - 偏光セットアップ

偏光タブ	
アトリビュート	値
偏光状態	無偏光 リニア サーキュラー カスタム
偏光度	0 ＜度＜＝ 1
カスタム偏光	手法 掌性 比 向き
正規化ストークスベクトル	表示のみ

パラメータを設定したら、「Trace This」ボタンをクリックすると、光線追跡が開始されます。5.36 ページの「標準（前方）光線追跡」を参照してください。

グリッドの設定

グリッド境界

グリッド境界は、平面的な光線のグリッドが生成される境界の形状と寸法を指定します。光線はグリッドパターンに従って生成されます。グリッド境界の外側にある光線の始点は切り捨てられるため、実際にトレースされる光線の総数は、ダイアログボックスで指定された総数と一

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

致しない場合があります。グリッドパターンと境界は組み合わせて使用できます。

形状

環状グリッド境界は、グリッド寸法で指定された半径を持つ環が定義されることを意味します。すべての光線の始点は、環の内側に存在する必要があります。たとえば、環状グリッド境界で矩形グリッドパターンを選択した場合、光線は環の外径に等しい辺を持つ正方形グリッドで開始されます。環の穴または正方形の角にある環の外側の点は削除されます。矩形グリッド境界が円形グリッドパターンで使用される場合、矩形境界の対角寸法が円形グリッドの直径として使用されます。矩形の外側にある円内の点は切り捨てられます。環状グリッド境界が円形グリッドパターンで使用される場合、環の穴にある光線は切り捨てられます。ランダムグリッドが選択された場合、点は境界（環状または矩形）内でランダムに選択されます。

寸法

- 外半径またはグリッドの Y 半分の高さ : 外半径は環状境界の外半径を指します。Y 半分の高さは、グリッドの Up ベクトルまたはローカル y 軸の方向における矩形グリッド境界の半分の高さを指します。
- 内半径またはグリッドの X 半分の幅 : 内半径は環状境界の内半径を指します。内半径は、グリッドのローカル x 方向における矩形グリッド境界の半分の幅です。

グリッドパターン

規則的なグリッドとディザリンググリッドは、セル配列によって定義されます。グリッドパターンが選択されると、グリッド境界で囲まれた領域は、それぞれ等しい面積を持つセル配列に分割されます。次に、各セル内から 1 つの光線が開始されます。円形、矩形、および十字グリッドの場合、各光線は各セルの幾何学的中心から開始されます。ディザリング矩形グリッドでは、各セルに対してセル内でランダムに点が選択され、その点から光線が開始されます。ランダムグリッドの場合、グリッド境界は細分化されず、各光線はグリッド境界内の完全にランダムな位置から開始されます。

円形

円形グリッドパターンでは、光線はリングで開始されます。最初のリングは単に円の中心の点であり、2 番目のリングは円周に等間隔に配置された 6 つの光線で構成されます。後続の各リングには、追加の 6 つの光線があります。リングの半径は、各光線が等しい面積を表すように設定されます。

リングの数を n に等しく選択した場合、生成される光線の数 N は次のようになります。

$$N = 3n(n-1)+1 \qquad (5.1)$$

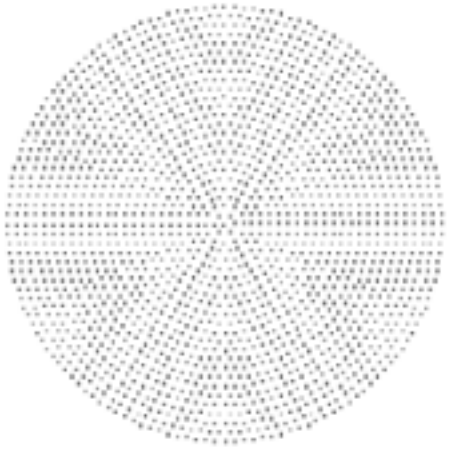


FIGURE 5.4 - Example of circular grid with 25 rings resulting in 1801 rays

矩形グリッド

矩形グリッドパターンでは、光線は矩形パターンで開始され、局所的な x 軸と y 軸に沿って等間隔で配置されます。光線の開始点を決定するために、境界領域は矩形のセルに分割されます。矩形の境界の場合、矩形は Nx x Ny セルに分割されます。

ここで、Nx と Ny はそれぞれ局所的なグリッドの x 方向と y 方向の点の数です。局所的な x 方向と y 方向は、ダイアログボックスの下部にある「グリッドの向き」によって決定されます。

環状領域の場合、外側の円の直径に等しい辺を持つ正方形が境界領域として使用されます。セルが決定されると、各セルの中心から 1 つの光線が開始されます。これにより、等間隔に配置された光線のグリッドが生成されます。

光線の開始点の間隔は、x 方向と y 方向で同じである必要はありません。言い換えれば、光線の開始点を決定するためのセルは正方形である必要はなく、一般的には矩形です。グリッドの間隔（またはセルのアスペクト比）は、境界のアスペクト比と Nx および Ny の値によって決定されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

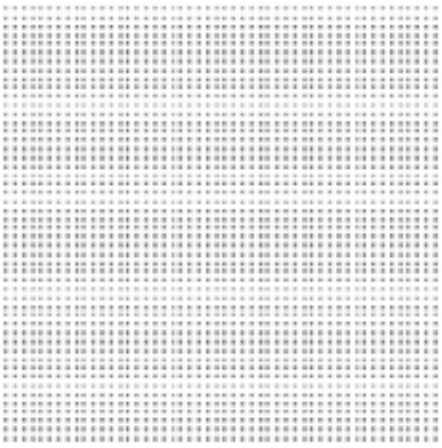


FIGURE 5.5 - Example of rectangular grid with N_x = 50 and N_y = 50 and a square boundary, resulting in a square pattern with 2500 rays.

ディザー

ディザリングとは、矩形格子内の光線の開始位置にランダム性を導入するために、光線をわずかに変更するプロセスであり、矩形格子とランダム格子の妥協案です。ディザリングは、矩形格子で発生するパターンノイズを解消し、ランダム格子で発生する穴や塊を回避します。

TracePro では、まず矩形光線格子と同様に矩形セル配列を定義し、各セル内でランダムに光線の開始点を選択することでディザリングが実現されます。

ディザリングされた格子の光線開始点を決定するためのセルは、正方形である必要はありませんが、一般的には矩形です。セルアスペクト比は、境界のアスペクト比と Nx および Ny の値によって決定されます。

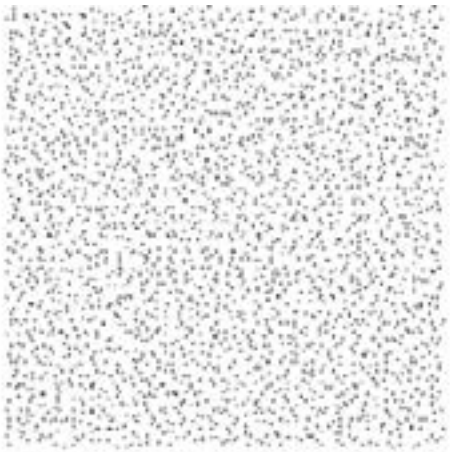


FIGURE 5.6 - Example of a dithered rectangular grid with N_x = 50 and N_y = 50 and a square boundary. Compare this with the figures for a rectangular grid (Figure 5.5) and for a random grid (Figure 5.8).

クロス

「クロス」グリッドパターンでは、水平方向と垂直方向の 2 方向に光線を生成します。各方向の光線数は常に奇数となり、パターンの中央には必ず光線が通ります。偶数を入力すると、光線生成前に 1 が加算されて奇数になります。光線の始点は、境界領域を Nx × Ny の矩形のセルからなるグリッドに分割して決定します。

始点決定用のセルは必ずしも正方形である必要はなく、通常は矩形です。セルの縦横比は、境

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

界領域の縦横比と Nx、Ny の値によって決まります。

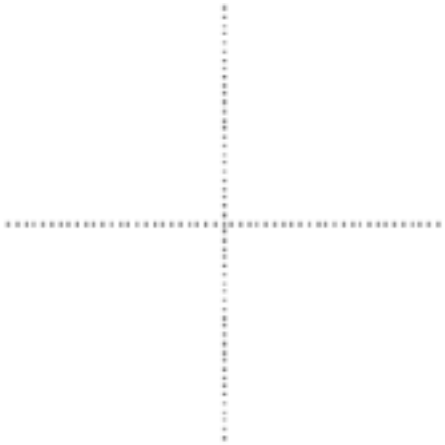


FIGURE 5.7 - Example of Cross grid with Nx = 50 and Ny = 50 resulting in a pattern of 101 rays.

ランダムグリッド

ランダムグリッドでは、グリッド境界内で点がランダムに選択されます。矩形の境界の場合、点は矩形内でランダムに選択され、環状の境界の場合、環状領域内でランダムに選択されます。Nx と Ny の値やリングの数を指定する代わりに、トレースされる光線の総数を直接入力します。

ランダムグリッドは、モンテカルロシミュレーションの最も純粋な形式ですが、必ずしも最良とは限りません。図 5.8 に見られるように、特に図 5.6 のディザリングされたランダムグリッドと比較すると、ランダム分布は光線分布に空隙と塊が生じるという欠点があります。モデルに光線の適切なサンプリング（過剰サンプリングや過小サンプリングではない）を必要とする小さな設計上の詳細が含まれている場合、これは問題となります。

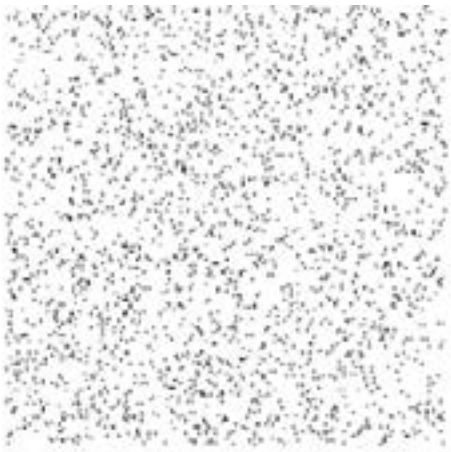


FIGURE 5.8 - Example random grid pattern with 2500 rays and a square boundary. Compare this with the figures for a rectangular grid and for a dithered rectangular grid (above).

チェッカーボード

「チェッカーボード」パターンは、パターン内の光線位置に大小の増分を含みます。各主要点の間には、各マイナー点のセットに対して追加の光線がトレースされます。新しいダイアログは図 5.9 に示されています。

チェッカーボード状に光線の位置を配置するパターンで、粗い間隔（主要な増分）と細かい間隔（マイナーな増分）を組み合わせて、より細かな配置を可能にしているということです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

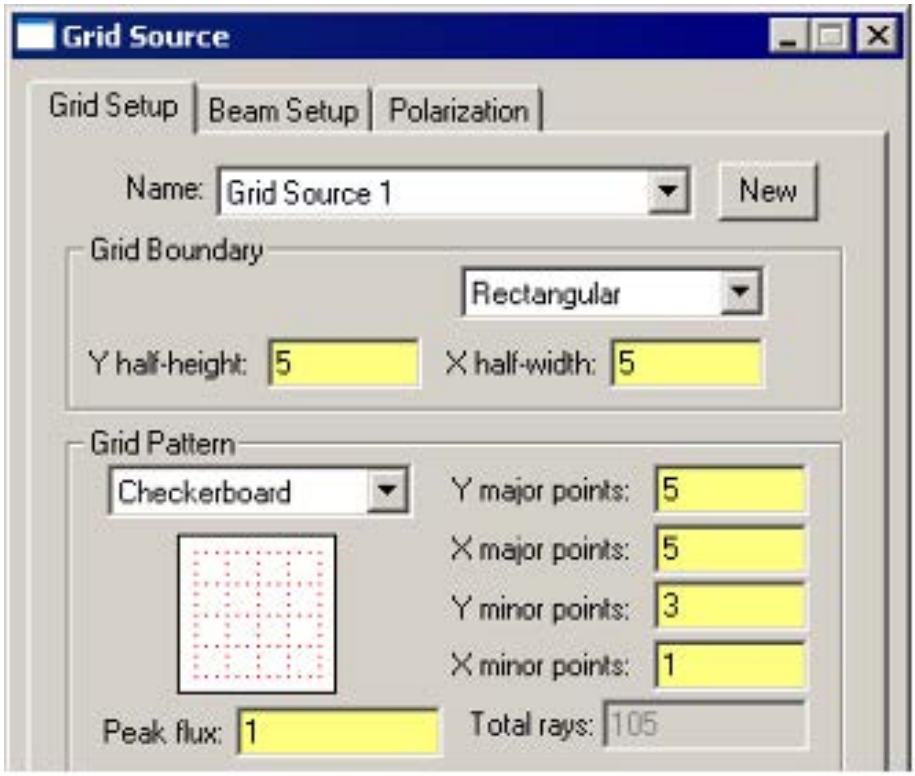


FIGURE 5.9 - Grid Source with checkerboard pattern

図 5.10 は上記の光線グリッドからの出力の照射照度プロットです

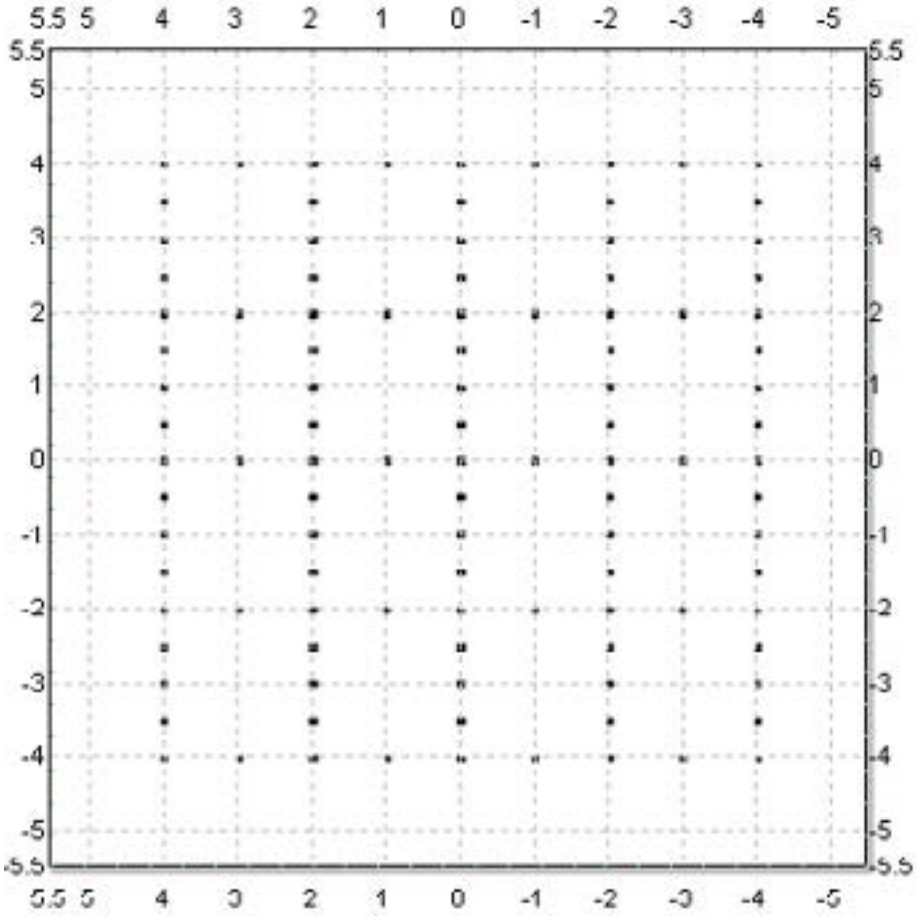


FIGURE 5.10 - Irradiance plot showing checkerboard grid pattern

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

グリッド密度 :

点 / リング数、リング数 /Y グリッド点数 :

これは、円形グリッドにおける半径方向のグリッド点の総数（つまりリングの数）、または矩形グリッドやディザリングされた矩形グリッドにおける y 方向のグリッド全体の総数です。
矩形グリッドでこの値を 1 に指定すると、1 行の光線が生成されます。
円形グリッドでこの値を 1 に指定すると、グリッドの中心に 1 本の光線が生成されます。

X グリッド点数 :

これは、矩形グリッドやディザリングされた矩形グリッドにおける x 方向のグリッド全体のグリッド点の総数です。
矩形グリッドでこの値を 1 に指定すると、1 列の光線が生成されます。

総光線数 :

グリッドパターンが「ランダム」に設定されている場合は、すべての波長に対して放射される光線の総数をここに入力します。
他のグリッドパターンでは、これは計算された値であり、変更できません。

光束（光束）:

「光線あたりの光束」、「総光束」、または「総放射照度」を選択できます。
光線あたりの光束 :
これは光線あたりの平均光束です。均一なビームでは一定の光束値であり、不均一なビームでは変化します。均一なビームの場合、各開始光線の光線光束はこの数値に等しくなります。不均一なビームの場合、各光線は異なる光束を持つ可能性がありますが、すべての光線の平均光束はこの数値にほぼ等しくなります。

総光束 :

選択された単位で、すべての波長にわたって放射される総光束です。したがって、すべての波長にわたる光束の合計はこの数値に等しくなります。

総放射照度 :

選択された単位で、すべての波長にわたって放射される総放射照度（照度）です。したがって、すべての波長にわたる放射照度の合計はこの数値に等しくなります。

グリッドの原点 :

これらは、モデルの座標系におけるグリッドの中心の x、y、z 座標です。

グリッドの向き :

グリッドの向きは、法線ベクトルと上向きベクトル、または回転角度によって指定されます。

法線ベクトルと上向きベクトル :

法線ベクトルは、グリッドを定義する仮想平面に垂直な方向を指定します。

上向きベクトルは、ローカル y 軸が指す方向、およびグリッドパターンと境界の y 寸法が測定

される方向を指定します。

上向きベクトルを法線ベクトルに垂直にする必要はなく、ベクトルは単位ベクトルである必要もありません。たとえば、y 軸と z 軸に対して 45 度の角度で平面から光線を放射し、上向き方向が y-z 平面内にあるようにしたいとします。たとえば、表 5.5 に示すベクトルを入力することで、これを行うことができます。

表 5.5　y 軸、 z 軸から 4 5 度傾いた法線ベクトル

法線ベクトル		アップベクトル	
X	0	X	0
Y	1	Y	1
Z	1	Z	0

TracePro における法線ベクトルとアップベクトル、オイラー角、ビーム設定に関して

法線ベクトルとアップベクトル: TracePro は法線ベクトル(0, 1/√2, 1/√2)を正規化します。その後、アップベクトルは法線ベクトルに垂直になるように回転されますが、元の法線ベクトルとアップベクトルによって形成される平面内にとどまります。回転後、アップベクトルは（0, 1/√2, -1/√2)になります。詳細については、1.14 ページの「法線ベクトルとアップベクトル」を参照してください。

オイラー角

オイラー角は、グリッドの向きを決定するために、座標軸を中心とした回転角を指定します。回転角がゼロの場合、グリッドの法線はグローバルな +z 方向にあり、境界とグリッドの y 寸法は y 軸に沿って、x 寸法は x 軸に沿っています。3 つの回転角を使用すると、x、y、z 軸を中心とした連続的な回転によってグリッドの向きを変更できます。角度はラジアンまたは度で入力できます。前の例のようにグリッドを配置するには、x オイラー角を度単位で -45°、y と z をゼロで入力します。回転は右手の法則に従います。

ビーム設定

ビームの空間プロファイル

ビームの空間形状は、均一（平坦な頂部）またはガウス分布のいずれかです。ガウス分布プロファイルを選択した場合、楕円ビームを作成するためにビームの x および y ウエスト半径を入力できます。円対称のガウス分布を作成するには、x と y の値に同じ数値を入力します。x と y のウエスト半径は、各方向のビームのピークから $1/e^2$ 値までの距離です。楕円ガウス分布の向きは、[グリッド設定] タブの [グリッド位置と向き] の値によって決定されます。y 値はアップベクトルまたはグリッドのローカル y 軸に沿って測定され、x 値はグリッドのローカル x 軸、つまりローカル y-z 平面に垂直に測定されます。

ガウスビームを選択した場合、グリッド境界によって切り捨てられます。また、TracePro は境界の端まで光線を生成します。グリッド境界がビームの 1/e2 値よりもはるかに大きい場合、ほとんどの光線は非常に低い光束で生成されます。これを回避したい場合は、グリッド境界を小さくしてください。

ガウスビームを選択した場合、常にランダムグリッドが使用されます。

ビームの空間重み付け

ビームの空間形状は次のいずれかになります。

- 均一光束と重み付けされた位置
- 均一な位置と重み付けされた光束

均一光束と重み付けされた位置—各光線はピーク光束に等しい光束で開始しますが、各光線の開始位置は分布関数を使用して選択されます。ガウスビームの場合、低光束領域の近くよりもグリッドのピークでより多くの光線が開始され、集合的な光束プロファイルは形状の選択された関数分布になります。

均一な位置と重み付けされた光束—光線はグリッド寸法全体に均一に分布しますが、各光線の光束は空間分布関数によって重み付けされます。

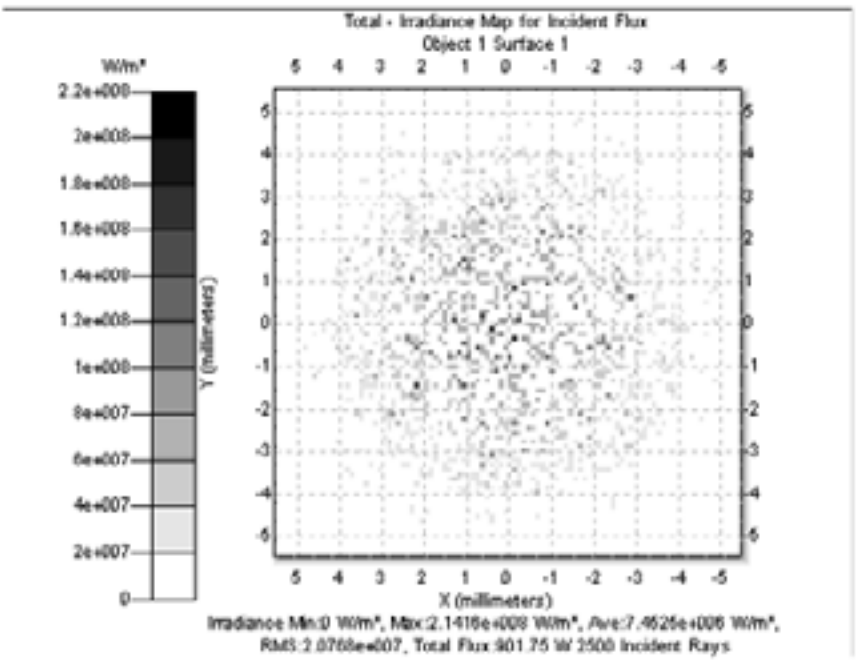


FIGURE 5.11 - Irradiance map for a circular Gaussian beam with uniform position and weighted flux. The starting points of the rays are distributed randomly, but the rays away from the peak have lower flux.

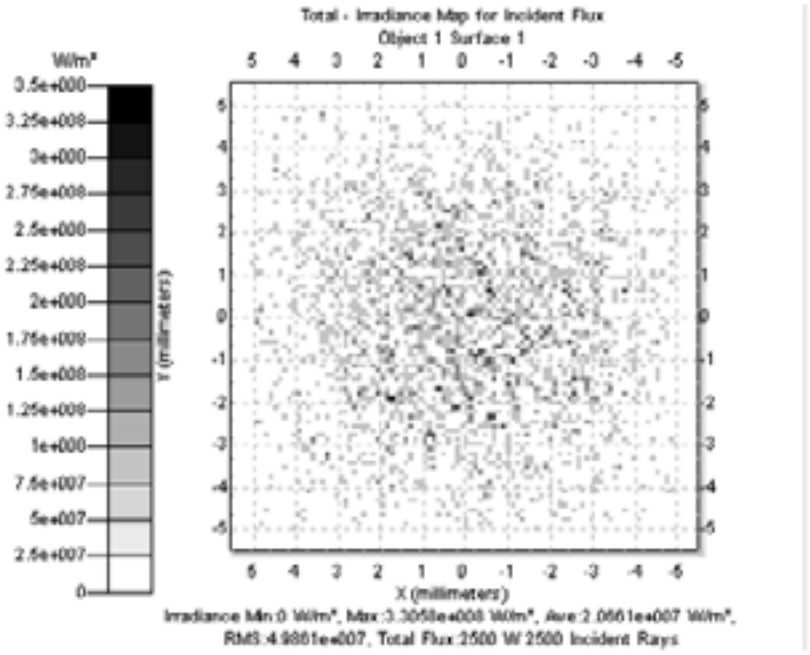


FIGURE 5.12 - Irradiance map for a circular Gaussian beam with uniform flux and weighted position. The rays all start with the same flux, but more rays are generated near the peak of the Gaussian.

ビームの空間的寸法

これらの寸法は、不均一な空間ビームプロファイルに対してのみ意味を持ちます。ガウス空間ビームプロファイルの場合、x 半径と y 半径は楕円ガウスビームを定義します。すなわち、

$$E = E_{peak} e^{-2(x/x_0)^2 - 2(y/y_0)^2}, \qquad (5.2)$$

ここで、x と y は局所的な座標系、すなわちグリッド座標系における軸を指し、E は光線の光束（光束）、Epeak は光束のピーク値、x0 と y0 は楕円形状の光束分布における 1/e^2 半径（ピーク値の 1/e^2 倍になる位置までの距離）を表します。グリッドの y 軸は、グリッドの位置と向きを示す上向きベクトルによって定義され、グリッドの z 軸は法線ベクトルによって定義されます。グリッドの x 軸は、他の二つの軸（y 軸と z 軸）と組み合わさって右手座標系を構成します。

空間 X 軸方向のビームウエスト半径

これはグリッドの X 軸に沿ったビームの 1/e^2 値までの半径です。

$$E = E_{peak} e^{-2(x/x_0)^2}, \qquad (5.3)$$

x0 はビームのウエスト半径を表します。ビームの空間的な Y ウエスト半径とは、グリッドの y 軸方向に沿ったビーム強度が 1/e^2 になる位置までの半径を指します。

（「1/e^2」は、レーザー光などのガウス分布のビームプロファイルにおいて、中心から強度が約 13.5%（1/e^2）に減衰する位置を表す値です。）

$$E = E_{peak} e^{-2(y/y_0)^2}, \qquad (5.4)$$

ここで y0 はウエスト半径です。ビームの角度プロファイル(5.4)ビームの角度プロファイルは、均一（すなわち、光線の円錐を形成）、ガウス、ランバート、または太陽のいずれかの形状を持

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

つことができます。角度形状は、ビームの方向に中心があります。均一なビームは、ビームを定義する円錐角内で均一な強度を持ち、その外側ではゼロです。ガウスビームはプロファイルがガウスであり、局所的な x および y 角度を独立して設定して、ビームの楕円形の角度形状を作成できます。ランバートビームは、次の強度を持ちます。

$$I = I_n \cos\theta, \qquad (5.5)$$

ここで、θ =0 はグリッド法線に沿った方向です。ビームは、「半角 R」のエントリーに入力された角度半径で切り捨てられます。

太陽光ビームは、太陽について測定されたものと同じ角度プロファイルを持ちます。この選択では、TracePro は角度サイズの入力値を無視し、太陽の測定された角度サイズを使用します。角度プロファイルは光の波長によって変化するため、TracePro は「光線追跡オプション」ダイアログボックスの「オプション」タブに入力された、現在トレースされている波長を使用します。太陽プロファイルのデータは、C.W. アレン著『Astrophysical Quantities, Second Edition, Chapter 9』（The Athlone Press, London, ISBN: 0387987460 (1963)）から取得されています。

ビームの角度重み付け

このオプションは、不均一な角度ビーム形状（すなわち、ガウス、ランバート、または太陽）の場合にのみ使用されます。ビームは次のいずれかになります。

- 均一な光束と重み付けされた角度
- 均一な角度と重み付けされた光束

均一な光束と重み付けされた角度とは、各光線がピーク光束と等しい光束で開始しますが、各光線の開始角度は角度分布関数によって重み付けされて選択されることを意味します。均一な位置と重み付けされた光束とは、光線が均一に分布されますが、各光線の光束は角度分布関数によって重み付けされることを意味します。

ガウス角度分布の場合、TracePro は非常に低い光束を持つ光線を生成しないように、角度広がりに対して上限を設定します。光線は、円錐内で生成される光線の最小光束がピーク値の 10^-20 になるような楕円錐内で生成されます。この楕円錐の外側の光線、つまりピーク値の 10^-20 未満の光束を持つ光線は生成されません。

ビームの半角 X & Y

ガウスビームの場合、これはローカル X または Y 方向のビームの 1/e^2 値までの半角です。ガウスビームは、次の角度プロファイルを持ちます。

$$L = L_{peak} \cos\theta e^{-[2(\sin x/\sin\theta_x)^2 + 2(\sin y/\sin\theta_y)^2]}, \qquad (5.6)$$

θ X と θ Y は半角であり、x と y はグリッドの x 方向と y 方向におけるビーム方向からの角度で、θ は sin2 θ = sin2x + sin2y で定義されます。

半角半径（半角 R）

半角 R は、均一およびランバートプロファイルに対するビームの半角範囲です。

ビームの向き

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ビームの向きは、グリッドの向きとは独立して設定することも、グリッドの向きに連動させることもできます。独立して設定する場合、以下のいずれかで指定します。

- 法線（方向）ベクトルと上向きベクトル（グローバル座標）。
- 回転角度（グローバル座標）。

グリッドに垂直 :

この設定では、ビームの向きはグリッド設定タブで定義されたグリッドの平面に垂直になります。

方向ベクトル :

ビームの向きは 2 つのベクトルで指定されます。法線ベクトルはビームの中心を指し、上向きベクトルはガウス角分布におけるビームの上向きまたはローカル Y 方向を指定します。デフォルトのベクトルは次のとおりです。

- 方向ベクトル（0,0,1）
- 上向きベクトル（0,1,0）

オイラー角 :

グローバル座標におけるオイラー回転角度は、ビームに平行な法線ベクトルと上向きベクトルを指定します。法線ベクトルは Z 単位ベクトルとして始まり、上向きベクトルは Y 単位ベクトルとして始まります。次に、指定された角度で、X、Y、Z の順に回転します。たとえば、x 回転は公称 Z 単位ベクトルを x 軸を中心に回転させます。結果の法線ベクトルは Y-Z 平面にあります。

一点に収束 / 一点から発散 :

このモードでは、実点（収束点）または仮想点（発散点）を定義し、グリッドから出射する光線を照準するために使用します。この選択により、実点ソース（発散点）または仮想点ソース（収束点）を簡単に定義できます。

波長

このタブを使用して、グリッドソースに対してトレースする離散波長を指定します。波長を追加するには、テキストボックスに波長（μ m 単位）を入力し、[追加] をクリックします（または Enter キーを押します）。波長を削除するには、テーブルで波長を選択し、[削除] をクリックします。

波長テーブルの列は、表 5.3 で説明されています。

[重み] 列に各波長の相対的な重みを入力して、ソースをニーズに合わせて調整できます。[光束] 列と [光線数] 列のエントリは、グリッド設定タブの設定と重みに基づいて計算されます。

偏光 Standard Expert

TracePro は、偏光のストークスベクトル - ミュラー行列表現を使用します。ストークスベクトルは光の偏光状態を表し、ミュラー行列は光学デバイスが光とどのように相互作用するかを表します。相互作用は、ミュラー行列にストークスベクトルを列ベクトルとして乗算することに

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

よって計算されます。

ストークスベクトルを使用する利点は、非偏光および部分偏光を表現できることです。偏光の詳細な説明はこのマニュアルの範囲を超えていますが、多くの教科書に記載されています。

例：

- E.L. オニール、統計光学入門、ドーバー（1992
- E. コレット、偏光、デッカー（1992）
- シュルクリフとバラード、偏光、ファンノストランド（1964）
- クリガー、ルイス、ランドール、光学および分光法における偏光、アカデミックプレス（1990）

ただし、ストークスベクトルとミュラー行列についてあまり知らなくても、TracePro で偏光をシミュレートできます。一般的に使用されるデバイスのミュラー行列の表は、技術リファレンスセクションに記載されています。7.58 ページの表 7.4 を参照してください。

グリッドソースダイアログボックスの偏光タブでは、グリッドから放出される光線の初期偏光状態を指定できます。偏光タブには 3 つの領域があります。上部の領域では、偏光状態と偏光度を選択できます。中央の領域では、カスタム偏光状態の仕様を入力できます。下部の部分は情報専用です。偏光状態がグラフィカルに表示され、計算されたストークスベクトルも表示されます。

偏光状態

偏光状態を完全に指定するには、以下を入力する必要があります。

- 偏光状態（標準またはカスタム）を入力
- 偏光度
- カスタム偏光状態を選択した場合のカスタム仕様
- ビームの向き　これにより、偏光状態の基準方向または「上向きベクトル」が提供されます。

ビームの向きは、グリッド設定タブとビーム設定タブの設定によって決まります。

偏光状態は、次の 3 つの方法のいずれかで指定できます。

- 標準偏光状態の 1 つを選択します。
- カスタム線形偏光状態を指定します。
- カスタム楕円偏光状態を指定します。

ダイアログボックスの上部にあるドロップダウンリストから選択して、標準偏光状態を選択します。使用可能な標準偏光状態は次のとおりです：

- 非偏光
- 水平線形
- 垂直線形
- +45 度線形
- -45 度線形
- 右円偏光

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 左円偏光

非偏光

非偏光には組織化された偏光状態はありません。ランダムな偏光状態の集合で構成されています。非偏光は、次のストークスベクトルで表されます。

偏光状態は、ドロップダウンリストから非偏光を選択するか、任意の偏光状態において偏光度をゼロにすることで、非偏光に設定できます。

部分偏光と偏光度

偏光状態を特定すれば、偏光度も同時に特定されます。完全に非偏光の光は偏光度 0 で表され、完全に偏光した光は偏光度 1 で表されます。中間の値は、偏光、非偏光、部分偏光が混在している状態を示します。

カスタム偏光

カスタムリニア偏光

「偏光状態」ドロップダウンリストから「カスタム線形」を選択すると、線形偏光状態の向きまたは回転角を設定する 2 つの方法が有効になります。「メソッド」ドロップダウンリストから「楕円と旋回方向」を選択すると、線形偏光の向きを設定できます。線形偏光の場合、旋回方向は意味を持たず、楕円比は 0.0 に縮退します。「メソッド」ドロップダウンリストから「振幅と位相」を選択すると、x および y の振幅を設定できます。線形偏光の場合、位相差はゼロです。

カスタム楕円偏光

「偏光状態」ドロップダウンリストから「カスタム楕円」を選択することで、偏光楕円を定義する二つの手法が利用できます。「方法」ドロップダウンリストから「楕円形状と旋回方向」を選択することで、偏光楕円の旋回方向（右回り / 左回り）、長軸と短軸の比、および長軸の向きを設定可能です。一方、「方法」ドロップダウンリストから「振幅と位相」を選択することで、偏光楕円の X 軸方向と Y 軸方向の振幅、そして両軸間の位相差を直接設定できます。入力項目のラベルは、選択された定義方法に応じて動的に変化します。グラフィカル表示は、設定された偏光状態を視覚的に確認するための有益なフィードバックを提供します。

サーフェスソース

モデル内の固体オブジェクトの 1 つまたは複数のサーフェスから、規定された角度分布で光線を放射するソースをサーフェスソースと呼びます。サーフェスソースはサーフェスプロパティとして定義され、第 4 章で説明されています。「サーフェスソースのプロパティ」（4.12 ページ）を参照してください。

サーフェスソースからのインポータンスサンプリング Standard Expert

特定の方向のサンプリングを増やすために、サーフェスソースでインポータンスサンプリングを使用できます。これは、散乱光のインポータンスサンプリングと類似しています。散乱光に

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

対して入力したインポータンスサンプリング設定は、サーフェスソースにも使用されます。

ソースであるサーフェスに対してインポータンスサンプリングが指定されている場合、放射される光線はインポータンスサンプリングデータで指定された方向に生成されます。光線の光束は、ソースの角度放射プロファイル、インポータンスサンプリングターゲットによって形成される立体角、およびサーフェスソースの光束または放射照度によって決定されます。「インポータンスサンプリング」（4.20 ページ）を参照してください。

ファイルソース

光線ファイルは TracePro モデルに挿入してソースとして使用できます。光線ファイルは、各光線の XYZ 開始位置、各光線の XYZ 方向ベクトル、および光束の 7 つの列の表形式データで構成されています。

ファイルソースの概念は、次の機能を提供します。

1. opsira、Radiant Zemax、またはその他のソース測定デバイスからの測定されたソース分布データを TracePro モデルに組み込む。
2. あるサーフェスに入射したデータを別の光線追跡または別のモデルのソースとして使用して、光線追跡を「継続」する。
3. 別のアプリケーション（テキストエディタやスプレッドシートなど）で理論的または測定されたデータからソースを作成する。

光線ファイルの作成に使用された方法に関係なく、ファイルソースは同じ方法でモデルに挿入されます。

Radiant Zemax データからの光線ファイルの作成

Radiant Zemax, Inc.（米国、ワシントン州デュバル）は、ソースの測定サービスとデータを提供しています。Lambda Research は Radiant Zemax と協力して、測定データをインポートし、TracePro 内で使用して実際のソースをシミュレートできるようにしています。

Radiant Imaging データを使用して TracePro ファイルソースを作成するには、次の手順を実行します。

1. Radiant Imaging から入手可能な ProSource を起動します。
2. Radiant Zemax データベースファイルを開きます。
3. [光線生成] ダイアログで出力オプションを入力します。
4. TracePro 出力タイプとファイル名を *.dat または *.txt 拡張子で選択します。
5. [光線生成] を押して TracePro 光線ファイルを作成します。

ProSource の詳細については、Radiant Zemax（http://www.radiantzemax.com/）にお問い合わせください。

入射光線テーブルからの光線ファイルの作成

光線ファイルは、TracePro の入射光線テーブルから作成できます。この機能の使用方法の例をいくつか示します。

- LED をモデル化し、「ターゲット」としてダミーオブジェクトを挿入し、光線追跡を実行し、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

入射光線テーブルを光線ファイルとして保存し、LED の光線ファイルを他のモデルに挿入します。LED の光線ファイルは、同じモデル内の複数の場所に繰り返し挿入して、LED アレイを作成できます。

- 複雑な光学システムで迷光解析を実行するために、光学パスに沿った任意のポイントに「ターゲット」としてダミーオブジェクトを挿入できます。「ターゲット」の入射光線を光線ファイルとして保存し、光学パスの終点にあるオブジェクトを分析 / 変更しながらソースとして使用するために、光線ファイルをモデルに挿入できます。最初のオブジェクトグループを光線追跡から省略すると、光線追跡時間を大幅に短縮できます。

光線ファイルを作成するには：

1. [モデルウィンドウ] または [システムツリー] でサーフェスを選択します。
2. **[解析 | 入射光線テーブル]** を選択して、入射光線テーブルを表示します。
3. 入射光線テーブルをアクティブウィンドウとして、**[ファイル | 名前を付けて保存]** を選択し、ファイル形式を ***.txt** として選択し、[光線ファイル形式にエクスポート] のチェックボックスをオンにします。

入射光線テーブルから保存された光線ファイルは、常に放射測定単位で保存されます。

TracePro が測光単位に設定されている場合、光線ファイルとして保存されるときにデータは放射測定単位に変換されます。入射光線テーブルの詳細については、「入射光線テーブル」（6.52 ページ）のセクションを参照してください。

理論的または測定されたデータからの光線ファイルの作成

光線ファイルは、TracePro によって認識されるための適切なヘッダー情報を持っている必要があります。（詳細については、TracePro ヘルプトピック「光線ファイル形式」を参照してください。）適切な形式とヘッダー情報を持つファイルを作成する最も簡単な方法は、単純な TracePro モデルを作成し、上記の手順に従って入射光線テーブルから光線ファイルを作成することです。次に、新しく作成された光線ファイルをテキストエディタまたはスプレッドシートアプリケーションで開きます。既存のデータを削除し、ソースの理論的または測定されたデータを計算、切り取りと貼り付け、または入力します。ファイルをテキストファイルとして保存します。

ソースの挿入

TracePro モデルで光線ファイルを使用するには、**[定義 | ファイルソース]** を選択して、図 5.13 に示す [ファイルソース] ダイアログボックスを開きます。システムツリーの [ソース] タブで右クリックし、**[定義 | ファイルソース]** を選択してダイアログを開くこともできます。[ファイルソース] ダイアログが開いたら、次の手順で新しいファイルソースを作成できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 5.13 - File Source dialog box.

1. ソースを識別するための名前を入力します。
2. セルに直接入力するか、ファイルソースダイアログボックスの参照ボタンを使用して、txt、dat、src、または ray ファイルの名前を入力します。
3. ソースの中心位置を入力します。
4. 回転角度を入力します。
5. 光線のトレース率（%）の値を入力します。
6. 光束のスケールファクターを入力します。
7. ソースの単位を選択します。ほとんどの場合、この設定を放射測定のまま変更しないでください。すべての TracePro 光線ファイルは放射測定単位です。光線ファイルが誤って生成され、測光単位（つまり、光線光束がワットではなくルーメン）になっている場合は、この設定でファイル内の光束値がワットではなくルーメンであることを指定できます。
8. 色を選択します。
9. 挿入をクリックして、ソースをモデルに挿入します。

ソースに波長が含まれている場合は、波長ごとの合計光束と重み 1 が表示されます。重み値を入力して、ソースのスペクトルバランスを変更できます。ソースに波長が含まれていない場合は、波長（µm 単位）を入力して追加（または Enter キーを押す）して、自分で入力する必要があります。テーブルで波長を選択して削除をクリックすると、波長を削除できます。

注意：中心位置を原点（0, 0, 0）、回転角度を 0 として選択すると、光線は光線ファイルで指定された XYZ 位置から放出され、光線ファイルで指定された XYZ 方向ベクトル方向に伝播します。他の中心位置または回転角度を選択すると、光線ファイルで指定された位置や方向ベクトルに

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

「オフセットを追加」することになります。

度単位ボタンをクリックすると、ラジアンに切り替えることができます。ボタンをクリックすると、ラジアンと度の間で切り替わります。ボタンの名前が「ラジアン単位」に変わります。ボタンを再度クリックすると、度単位に戻ります。
既存のソースを変更するには、まずソースツリーでソースを選択し、**定義 | ファイルソース**を選択します（または、ソースツリーでソースの名前をダブルクリックするだけです）。必要に応じてエントリを変更し、変更をクリックしてソースを変更します。

光線の一部（%）をトレースする機能

TracePro では、「光線のトレース率（%）」フィールドを使用して、光線ファイル内の光線のサブセットをトレースできます。これは、モデルが正しく設定されていることを確認するために、大きな光線ファイルから比較的少数の光線をトレースする場合に便利です。値が 100% 未満に設定されている場合は、光線トレース | 光線トレースオプション | オプションの乱数シードを変更することで、異なる光線のサブセットを取得できます。100 未満の値を入力すると、光線ファイル内の各光線に固有の光束値が割り当てられているため、ソースの合計光束が不明な量だけ減少します。

光束をスケールする機能

光線ファイル内の合計光束は、ファイルソースダイアログボックスの「光束をスケール」フィールドを使用してスケールできます。このデータ入力を容易にするために、ソースの合計光束がファイルソースダイアログボックスに表示されます。5W を放出する光線ファイルの場合、「光束をスケール」に「1.05」と入力すると、放出される合計光束が 5.25W になるように、各光線の光束が増加します。

ファイルソースの変更

ソースの位置と方向の変更

ソースを移動および回転するには、ソースの移動およびソースの回転オプションを使用するか、システムツリーのソースタブから、または定義 | ファイルソースを使用してファイルソースダイアログボックスを開きます。後者の方法では、変更するソースを選択し、値を更新します。前者の方法については、5.30 ページの「」を参照してください。システムツリーのソースタブでファイルソースを選択すると、モデルウィンドウに球が描画され、ソースの中心位置と中心からの光線の始点の最大半径が表示されます。球は、ファイルソースダイアログボックスで選択された色で描画されます。

ファイルソースデータの変更

光線ファイルは、ソースメーカーの Web サイトからダウンロードしたり、opsira luca'rayset ソフトウェア、ProSource® ソフトウェア、ビットマップソースユーティリティ - **ユーティリティ | ビットマップソース**を使用して生成したり、入射光線テーブルを光線ファイルとして保存したり、テキストエディタまたはスプレッドシートプログラムを使用して手動で生成したりできます。ASCII 形式とバイナリ形式の両方がサポートされています。光線ファイル形式の詳細については、TracePro オンラインヘルプ：目次（タブ）| 定義コマンド | ファイルソース | 光線ファイル形式を参照してください。

光線ファイル内のデータを変更する必要がある場合がありますが、そのファイルは複数の TracePro モデルで使用されています。次回、これらのモデルのいずれかが開かれ、光線トレー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

スが実行されると、光線ファイルが変更されたことに気付かずに、異なる解析結果が得られて驚くかもしれません。TracePro はこの状態を警告します。TracePro ファイルが保存されると、すべての光線ファイルの最終変更日が oml ファイルの一部として保存されます。次回 TracePro ファイルが開かれると、TracePro は、光線ファイルのいずれかが保存された日付よりも新しい日付を持っているかどうかを確認します。これが発生すると、次の警告メッセージが表示されます。

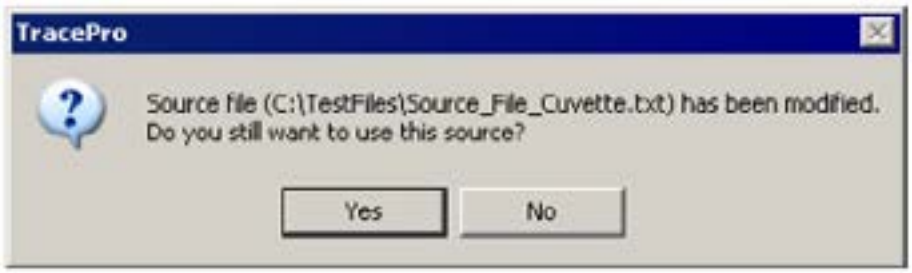


FIGURE 5.14 - Warning of Ray File Modification

注意：このチェックは各光線追跡の前には行われません。TracePro oml ファイルが開いたままであれば、レイファイルは変更可能であり、警告なしに「変更された」レイをトレースできます。

イメージソース：

この機能により、標準の RGB イメージファイルを TracePro モデルに挿入し、ソースとして使用できます。図 5.15 に示すイメージソースダイアログボックスでは、イメージファイルを選択し、放射単位または測光単位でその放射を選択できます。

以下の点は重要です。

光線追跡のチェック : 光線追跡のたびに変更がチェックされるわけではない。
TracePro のファイルが開いていると、レイファイルが変更されても警告が出ないことがある。
イメージソース機能 :RGB 画像ファイルをソースとして TracePro モデルで使用できる。
放射単位（放射量）または測光単位（光度）を選択できる。

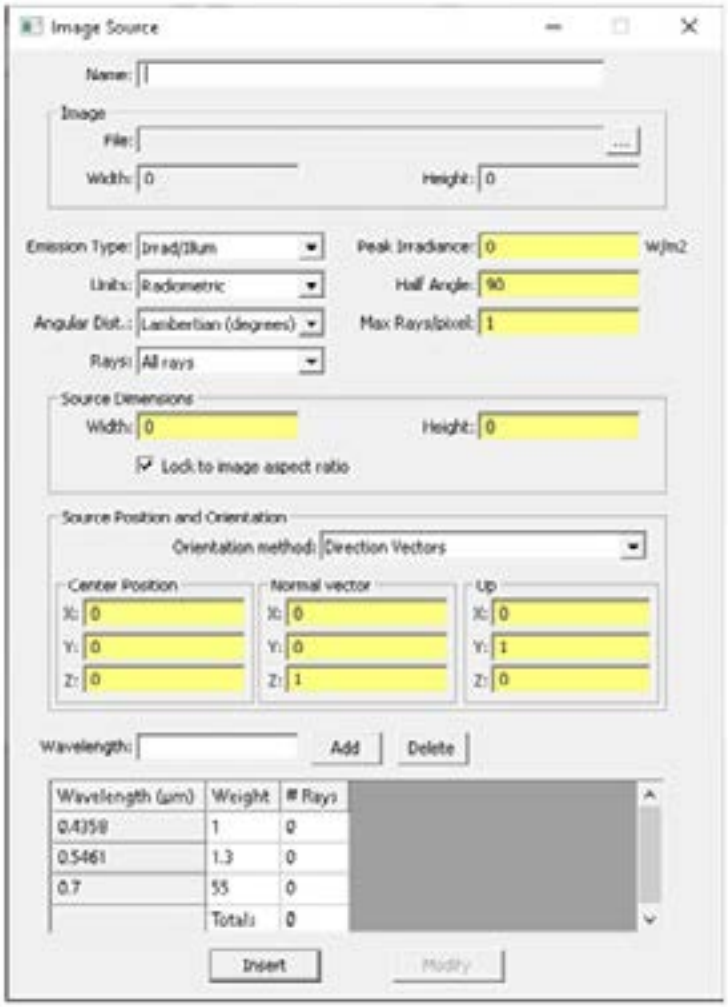


FIGURE 5.15 - Image Source dialog box

赤、緑、青の各ピクセル値は、各色に対して 1 つずつ、あなたが指定した 3 つの波長で光を放出します。また、ソースのサイズ、位置、向きを入力します。イメージソースを作成するには、以下を指定する必要があります。

- ソースの名前
- イメージファイルへのパス（bmp、jpg、png、gif、または tif）
- ピクセル単位のイメージの幅と高さ（情報提供のみ、ファイルから読み取られます）
- 放射タイプ（放射照度 / 照度または放射輝度 / 輝度）
- 単位：放射測定または測光
- 角度分布：ランバート、均一、またはガウス
- 放出する光線：すべて、ランダムのみ、またはインポータンスサンプリングのみ
- 放射タイプのピーク値 – 純粋な白色ピクセルの放射値、つまり RGB = (255,255,255)
  放出分布の半角
- ピクセルあたりの最大光線数 – 純粋な白色ピクセルは、各色に対してこの数の光線を放出します。
- ソースの寸法：モデル単位でのソースの幅と高さ。
- ソースの位置と向き

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 波長と重み – イメージソースには 3 つの波長が必要です。
  - 最初の波長は、青色のピクセル値を放出するために使用されます。
  - 2 番目の波長は、緑色のピクセル値を放出するために使用されます。
  - 3 番目の波長は、赤色のピクセル値を放出するために使用されます。
  - 波長を変更するには、新しい波長を追加し、既存の波長を削除します。

すべてのデータを入力したら、「挿入」をクリックすると、TracePro は次の処理を実行します。

- ソースの寸法、ソースの位置と向きで指定された値に従って、矩形の薄いシートを作成します。
- 薄いシートに重ねてイメージファイルを表示します。
- イメージソースデータを薄いシートに添付します。

イメージソースを作成する際は、放出される光線の数はピクセル数に比例することに注意してください（ピクセルあたりの最大光線数エントリで指定）。したがって、大きな高解像度イメージは多数の光線を生成し、光線追跡の完了に時間がかかります。

図 5.16 は TracePro モデルで作成されたカラーテストイメージを示し、図 5.17 はカラーテストイメージのフォトリアリスティックレンダリングを示しています。

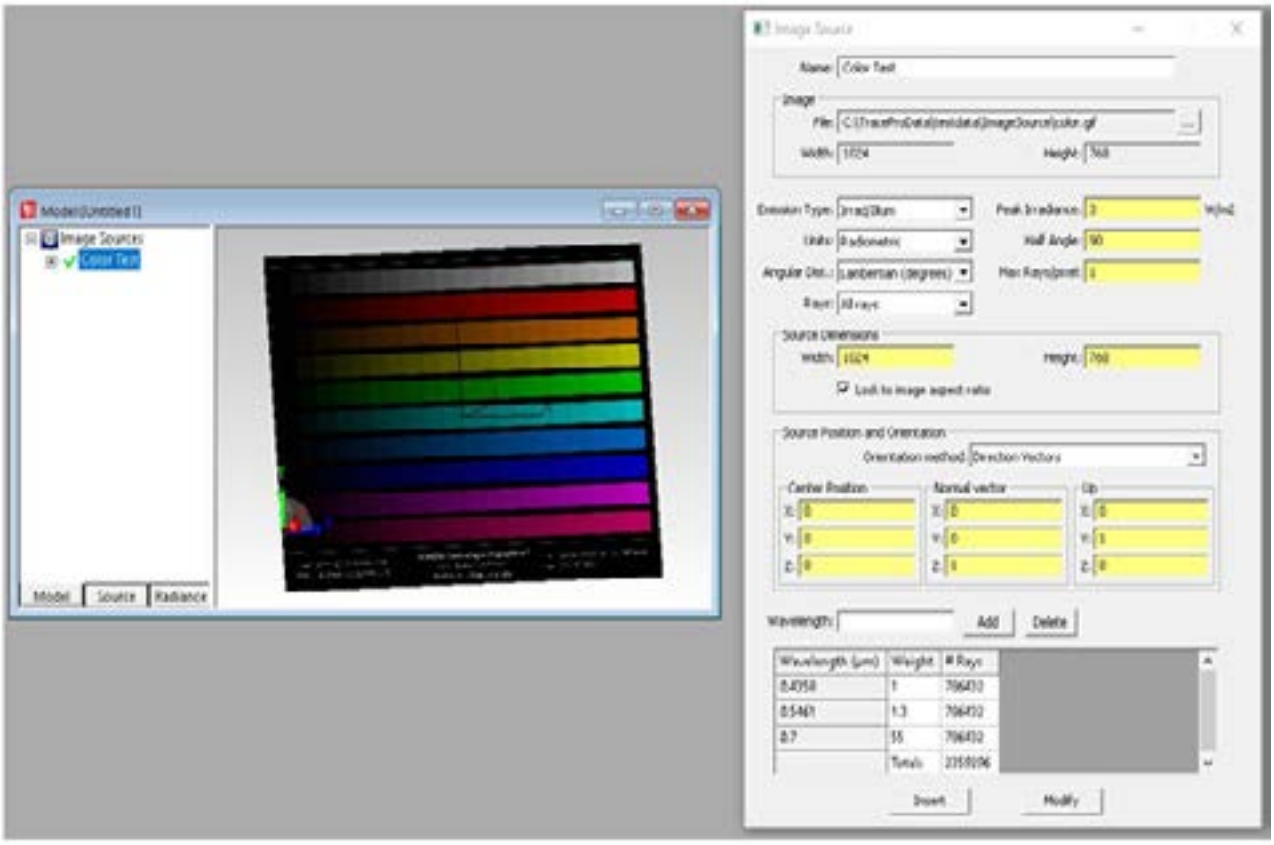


FIGURE 5.16 - Color test image inserted into a TracePro model and displayed on the resulting thin sheet

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

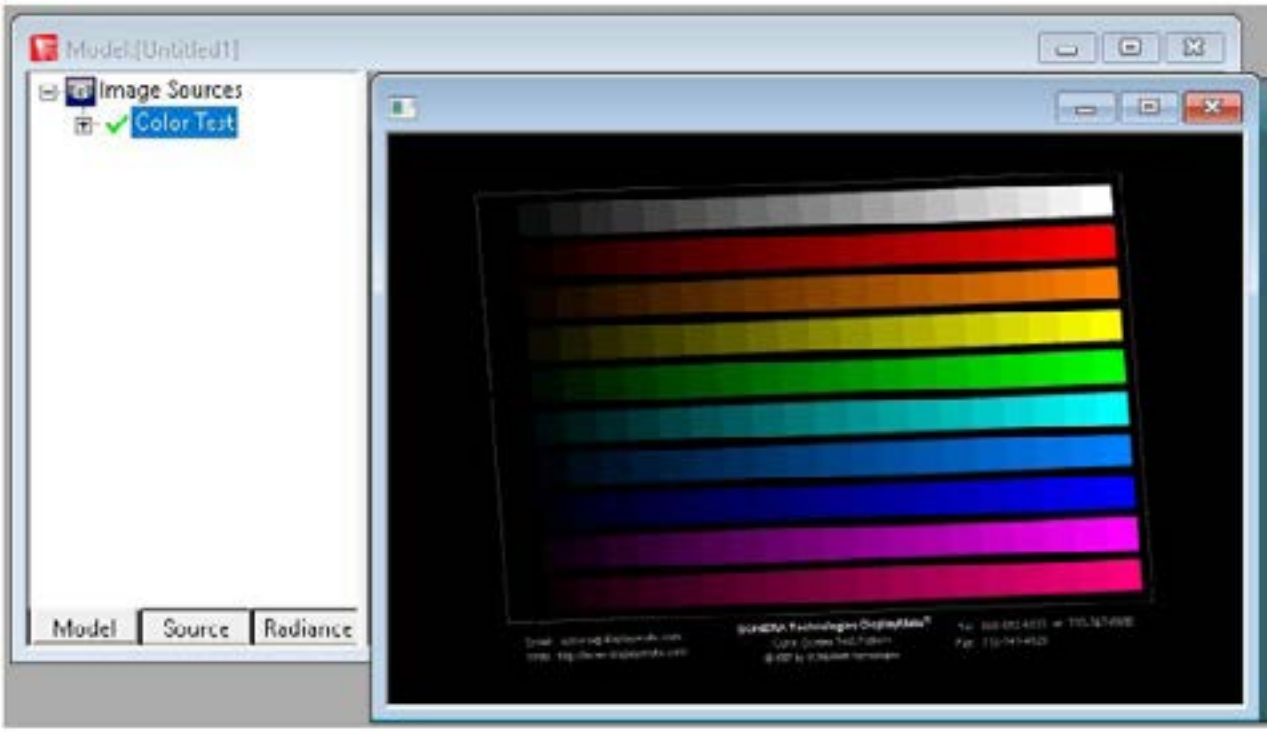


FIGURE 5.17 - Photorealistic rendering of color test image

Ray File Wavelength Editor（レイファイル波長エディタ）

このコマンドは、バイナリまたはテキスト形式のレイファイルを開き、ファイル内の波長を編集できるようにします。

変更するレイファイルのソースを選択するには、まず「**Define|Ray File Wavelength Editor（定義 | レイファイル波長エディタ）**」を選択します。ダイアログボックスで、編集したいファイルのパス名を入力するか、[...] ボタンをクリックしてファイルを参照します。ファイルが開くと、波長が表示されます。1 つまたは複数の波長を変更するには、新しい波長を直接入力するか、「Scale factor（スケール係数）」の値を使用して波長をスケールします。最後に、「Save As（名前を付けて保存）」をクリックして、変更したファイルを保存します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

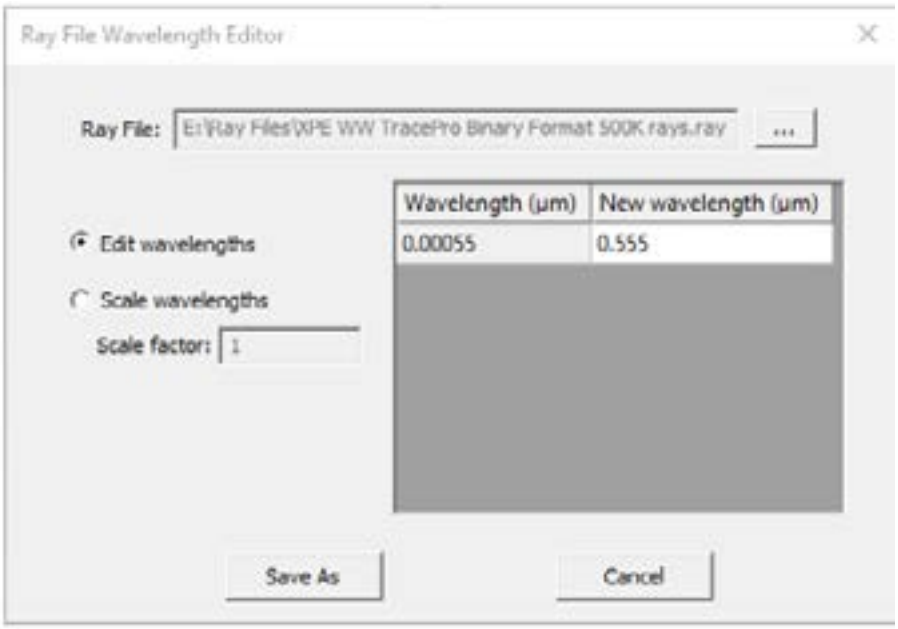


FIGURE 5.18 - Ray File Wavelength Editor

Ray File	The path to the Ray File. Browse to the file using the browse button.
Wavelength	A list of wavelengths in the ray file.
New Wavelength	A list of wavelengths that will replace the wavelengths in the ray file.
Edit Wavelengths	This selection allows you to directly type in new wavelengths.
Scale Wavelengths	Applies a scaling factor to each wavelength in the file.
Scale factor	Factor by which the wavelengths in the file will be scaled.
Save As	Save the file with the new wavelengths.

Source Builder（ソースビルダー）

ソースビルダーは、様々なソース「ウィザード」を使用して、異なるタイプのソースを作成するのに役立ちます。

- LED 仕様をサーフェスソースプロパティに変換
- IES ソース測光ファイルをサーフェスソースプロパティに変換
- 画像をファイルソース（瞳孔から放射される光線）に変換
- LightTools® の光線ファイルを TracePro の光線ファイルに変換

ソースビルダーを使用して、手動でソースを作成することもできます。ソースビルダーを開くには、**「定義 |Source Builder（ソースビルダー）」**を選択します。ソースビルダーには独自のヘルプシステムがあります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 5.19 - Source Builder

ソースの方向付けと選択

ソースの選択、移動、回転が可能です。複数選択により、複数のサーフェス、グリッド、ファイルソースを選択して、選択したソースに対してアクションを実行できます。特に複数選択ソース機能と合わせて、ソースツリータブインターフェースを通じてグリッドおよびファイルソースを移動および回転できる機能は、システムの開発中に効率を高め、ユーザー入力エラーを減らすのに役立ちます。その有用性を示す例は、9.41 ページの「異方性サーフェスプロパティ」に記載されています。

ソースの複数選択

Ctrl キーまたは Shift キーを押しながら特定のソースを左クリックすることで、複数のソース（ファイル、グリッド、サーフェス）を選択できます。キーのいずれかを押しながら、次のアクションが発生します。

- Shift: 現在選択されているソースからクリックしたソースまで、上下のソースのリストを選択します。
- Ctrl: クリックしたソースを選択し、ソースのリストに追加します。最終的に選択されたリストは、連続している必要はありません。

Shift キーと Ctrl キーを組み合わせて使用して、連続したソースと個別のソースを選択できます。Shift キーと Ctrl キーの左クリック操作は、標準的な Windows 操作です。これらのアクションは、モデルツリータブを含む他の多くの TracePro ウィンドウでも機能します。

選択したソースのいずれかを右クリックすると、サーフェスソースの移動または回転に関する多くのオプションを含むポップアップメニューが表示されます（図 5.20）。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 5.20 - Right-click pop-up menu in Source Tree

移動と回転のダイアログ

1 つまたは複数のグリッドソースまたはファイルソースを選択すると、「ソースを移動」または「ソースを回転」を実行できます。サーフェスソースを移動または回転するには、サーフェスソースを含むオブジェクトの移動または回転のために、モデルツリーにある移動または回転オプションを使用する必要があります。図 5.21 は「ソースを移動」のダイアログを示し、図 5.22 は「ソースを回転」のダイアログを示しています。

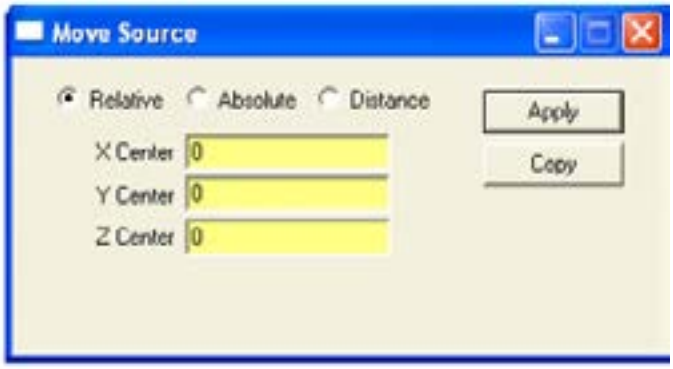


FIGURE 5.21 - Move Source dialog.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

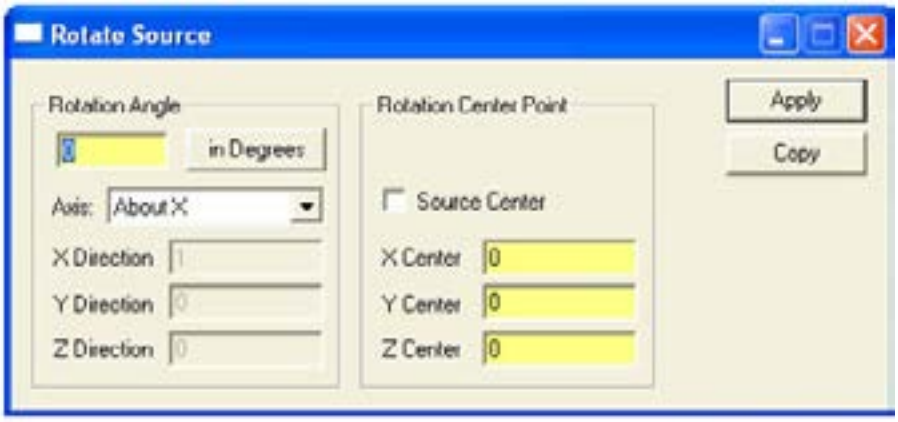


FIGURE 5.22 - Rotate Source dialog.

ソースエディタ

スプレッドシート形式のエディタが利用可能で、ソースの表示と修正を行うことができます。このエディタは、個々のソースを修正するためのインターフェースを提供し、複数のソースのソースデータの設定とスケーリングを可能にします。エディタを開くには、メニューの「定義 | ソースエディタ」を選択します。上部のリスト選択により、サーフェス、ファイル、またはグリッドソースを修正できます。

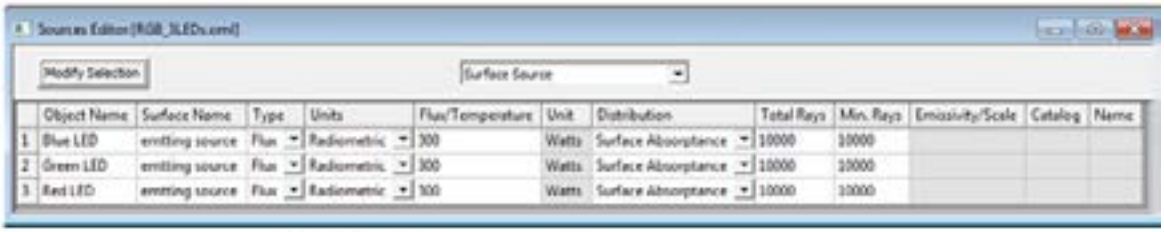


FIGURE 5.23 - Sources Editor

ディタ内での数値編集:エディタ内では、適切なセルに新しい数値を入力することで、数値データを変更できます。

サーフェスソースのパラメータ編集

サーフェスソースの選択では、ソースの種類（Source Type）、単位（Units）、分布（Distribution）のデータセルには選択肢のリストがあり、そこから選択できます。複数のソースは、セルを選択して「選択項目の変更（Modify Selection）」ボタンを押すことでまとめて変更できます。

複数ソースの全光線数スケール

複数のソースの全光線数を同時に変更する手順は以下の通りです。

1. 図 5.24 に示すように、1 つまたは複数のソースパラメータを選択します。この例では、定義されたすべてのソースの全光線数が選択されています。
2. 「選択項目の変更（Modify Selection）」を押して、「選択されたソースパラメータの変更（Modify Selected Source Parameter）」ダイアログを表示します。このダイアログでは、新しいパラメータ値またはスケール係数を入力できます。図 5.24 を参照してください。
3. 選択した値にスケール係数を適用するには「スケール（Scale）」を押し、値を新しい値に変更するには「設定（Set To）」を押します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

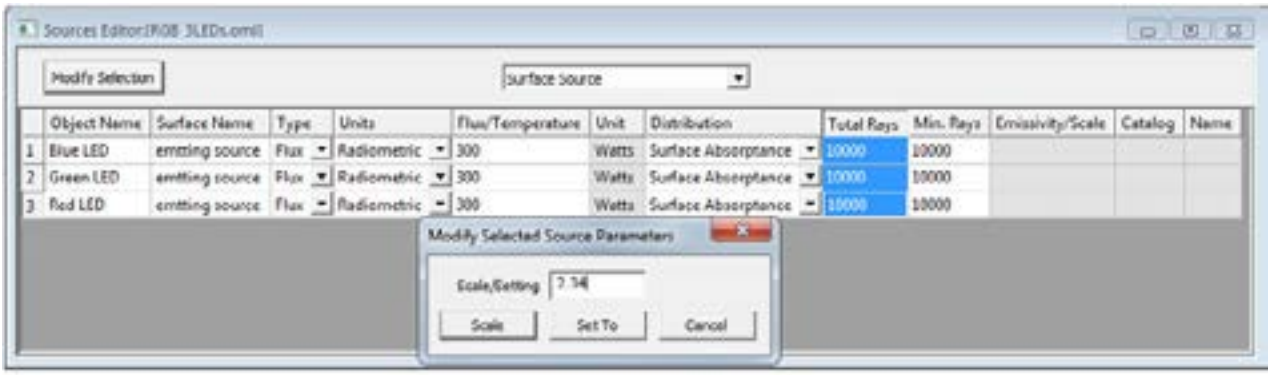


FIGURE 5.24 - Sources Editor Modify Dialog box

パラメータセルを選択する際、<Shift> キーと <Ctrl> キーは、通常のやり方で選択範囲を拡張することを可能にします。図 5.25 に示すように、選択は行と列をまたいで行うことができます。

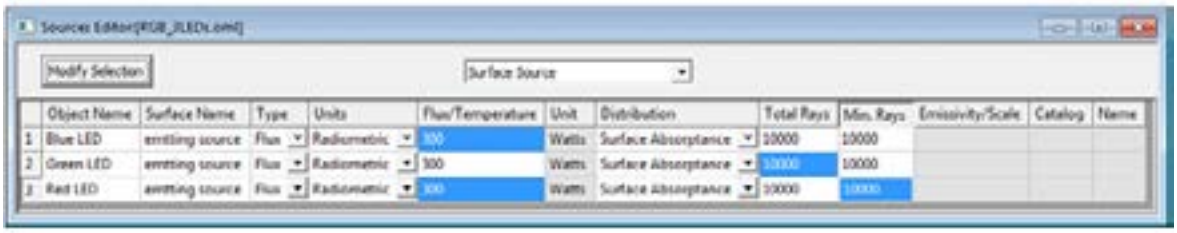


FIGURE 5.25 - Extended selection in numeric data cells

ソースのタイプ、単位、分布は、図 5.26 に示すように、リスト矢印を押してドロップダウンリストを使用し変更されます。

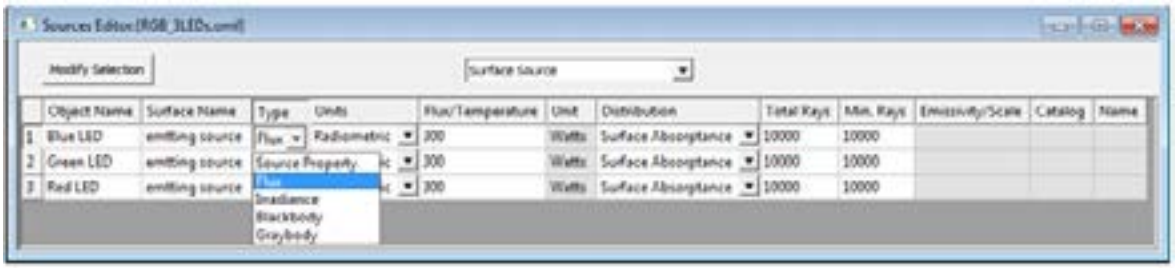


FIGURE 5.26 - Source Type dropdown list

光線の追跡（光線追跡）

光線追跡は、TracePro でシミュレーションを実行するための基本的なツールです。この次のセクションでは、標準、逆、輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）の 3 種類の光線追跡について説明します。

標準（順方向）光線追跡

標準または順方向光線追跡は、TracePro モデルにおける光束伝播をシミュレートするために使用される通常の方法です。レイは、上記で説明したように、モデルで定義されたすべてのソースから放射されます。光線追跡の開始は、**「光線追跡 | 順光線追跡」**を選択するか、ツールバーの 「光線追跡」ボタンを押すことによって行われます。

ほとんどのソースは「離散波長」を使用するように定義されています。黒体または灰色体ソースとして定義されたサーフェスソースは、「計算波長」を使用します。サーフェスソースプロパ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ティを使用するサーフェスソースは、離散波長または計算波長のいずれかを使用できます。

光線追跡は、「光線追跡 | 順光線追跡」を選択するか、ツールバーボタンをクリックすると開始されます。まず、ダイアログボックスが開き、分析モードまたはシミュレーションモードのいずれかの光線追跡モードを選択するように求められます。どちらのモードをどのような状況で使用するかについての説明は、5.54 ページの「光線追跡モード」を参照してください。光線追跡中、進行状況ダイアログボックスが開き、光線追跡の進行状況を示します。光線追跡の進行状況ダイアログボックスの「キャンセル」をクリックすると、いつでも光線追跡を中断または一時停止でき、TracePro は現在の光線の追跡を終了します。**「光線追跡 | 光線追跡の再開」**を選択すると、光線追跡を再開できます。 k 応戦追跡は、光線追跡ルーチン内の連続した次の光線番号から再開されます。

逆光線追跡 Standard Expert

TracePro には、逆光線追跡を実行する機能があります。逆方向にレイを追跡することは、順方向のインポータンスサンプリングが困難または不可能な状況で役立ちます。これは、たとえば、地平線上のロービームヘッドランプのように、出力平面内のいくつかの点のみをサンプリングする必要があるソースに結合されたリフレクタの設計に当てはまります。ソースが以下にリストされている場合、それはサーフェスソースを指すことに注意してください。逆光線追跡は、グリッドソースおよびファイルソースには適用されません。

逆追跡光線の指定

要約すると、逆線追跡を行うには、以下の手順を実行する必要があります。

1. 通常どおり、**サーフェスソース**と出口サーフェスを持つモデルをセットアップします。
2. 逆線追跡中に、出口サーフェスで使用されるインポータンスサンプリングを定義します。これは、「プロパティの適用」ダイアログボックスの既存の「インポータンスサンプリング」タブを使用して行います。
3. 各出口サーフェスに対して追跡する逆線の数を定義します。この数は、「プロパティの適用」ダイアログボックスの「出口サーフェス」タブに入力します。
4. 「光線追跡 | 逆光線追跡」を選択して、線追跡を開始します。
5. 解析のプロセスは、順方向線追跡が実行された場合と同じです。出口サーフェスのいずれかを選択すると、この面の放射照度または照度マップを表示できます。言い換えれば、光線が順方向に追跡されたかのようです。すべてのサーフェスソースからの放射照度 / 照度が選択された面に表示されます。
6. ソートされた光線を表示するには、目的の面（通常は出口サーフェス）を選択すると、その面の光線が順方向に追跡されたかのように表示されます。
7. 入射光線テーブルと光線履歴テーブルは、順方向光線の場合と同じように表示されます。
8. カンデラプロットで使用できるオプションは、面から出る光線と面に入射する光線のみです。逆線追跡を使用したカンデラプロットでは、「見逃した光線」オプションは使用できません。

注:出口サーフェスにインポータンスサンプリングが指定されていない場合、その出口サーフェスから光線は放出されません。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

注：逆線追跡は、グリッドソースおよびファイルソースには適用されません。サーフェスソースのみが使用されます。

逆線追跡の理論

逆線追跡は、出力平面上の少数の局所的な点のみをサンプリングする必要がある照明設計において、光線を効率的にサンプリングすることを可能にします。出力平面からリフレクターに向かって逆方向に光線を追跡し、インポータンスサンプリングを行うことにより、設計の目的で良好なサンプリングを得るために追跡する必要がある光線はわずかです。この方法での設計は、出力平面上のいくつかの代表的な点を選択し、インポータンスサンプリングターゲットに向かって光線を追跡することから構成されます。光線は、その方向と位置におけるソースの放射輝度 / 輝度に比例してサーフェスソースによって「吸収」されます。吸収された光束は、光線が始まった出力平面上の点に参照されます。具体的には、順方向光線追跡では、放出された光線の光束は、

$$d\Phi_s = \frac{L_s dA_s d\Omega_s}{N}, \qquad (5.1)$$

Ls はソースの放射輝度、dAs はソースサーフェスの投影面積の微小要素、d Ω s は微小立体角、N はサーフェス要素からその微小立体角に放出される光線の数です。前方光線が出力面に到達したとき、放射照度は次のようになります。

$$dE_o = \frac{d\Phi_s}{dA_o}, \qquad (5.2)$$

出力平面上の面積要素を dAo とすると、(5.2) 逆光線追跡では、出力平面から放出される光線の「光束」は未知であり、光線の A Ω積、すなわちエタンデュのみが既知です。光線がソースに到達した場合、出力平面での光線の光束は次のように計算できます。

$$\Phi_o = \frac{L_s A_o \Omega_o \tau}{N}, \qquad (5.3)$$

Ω 0（オメガゼロ）：出力面から「放出」される光線の立体角です。つまり、インポータンスサンプリングのターゲットが張る立体角です。τ（タウ）:「透過率」であり、光線が出力面からソースまでの経路で経験する透過率です。ソースに到達しない光線：ソースから発せられていないため、出力面では「見えません」。

例：出力面から放出された光線が、反射率 0.9 の反射板で反射し、透過率 0.96 のガラス面を 2 枚通過してからソース面に当たるとします。この場合、光線の透過率は 0.9 x 0.96 x 0.96 = 0.829 となります。

輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）光線追跡

輝度および放射輝度マップは、光線追跡と密接に関連しているため、3 番目の光線追跡手法としてここで説明します。データの表示に関連するオプションについては、第 6 章で説明されています。6.18 ページの「輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップ」を参照してください。

TracePro モデルの輝度または放射輝度マップ、またはレンダリングされた画像（フォトリアリスティックレンダリング）を取得できます。これは、実際のサーフェスおよび / またはファイルソースによって照明され、モデル内のサーフェスおよびマテリアルプロパティを使用します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

各マップに名前を定義することで、モデルのマップ / レンダリングを必要な数だけ生成できます。輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップは、グリッドソースではなく、サーフェスおよびファイルソースで機能します。

注: システムツリーウィンドウの [輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）] タブの文言は、モデルの分析単位に応じて、TracePro によって自動的に輝度または放射輝度のいずれかに設定されます。便宜上、輝度、放射輝度、およびフォトリアリスティックレンダリングは、このセクションの残りの部分では輝度と呼ぶことにします。

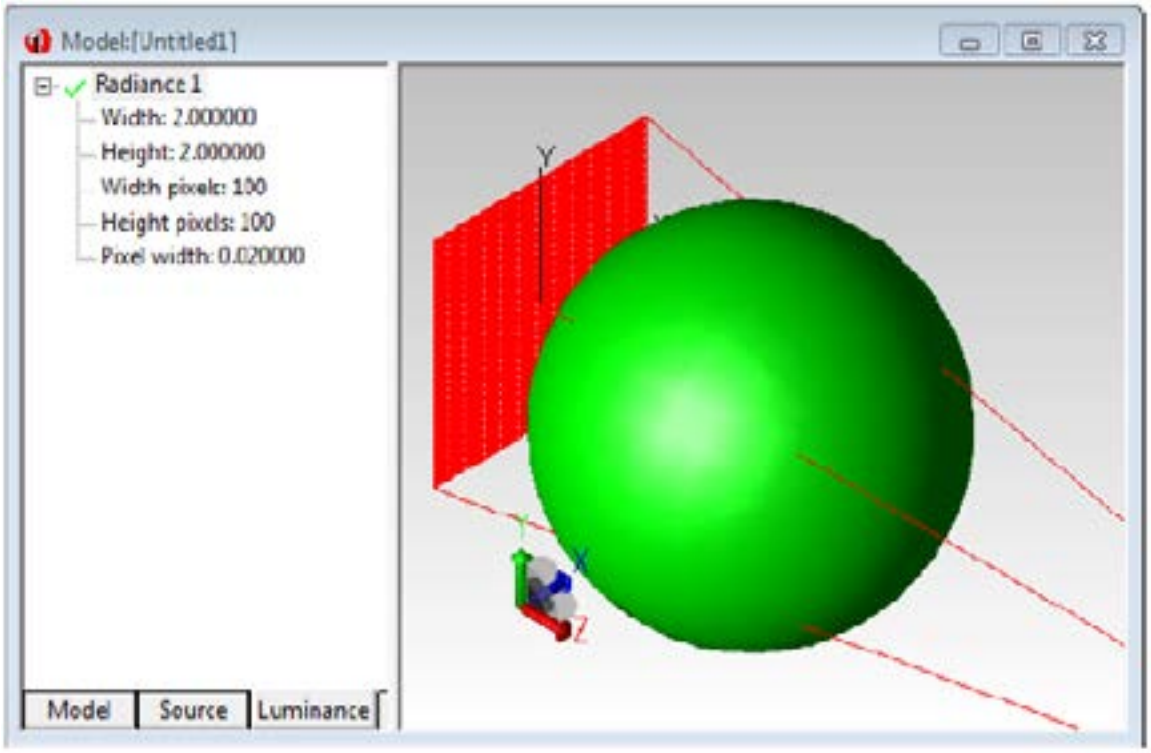


FIGURE 5.27 - Luminance Tab in the System Tree with Luminance defined map displayed in the Model Window.

プロットは、システムツリーの輝度（Luminance）タブでウィンドウを右クリックするか、**定義（Define）| 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）**（Luminance/Radiance）メニュー項目から定義されます。輝度タブは、定義されたすべてのプロットを表示し、モデルへの追加のプロットの編集または追加、あるいはプロットの削除に使用されます。輝度タブは図 5.27 に示されています。

ダイアログボックスのタイトルは、放射測定単位が選択されている場合は放射輝度（Radiance）になり、測光単位が選択されている場合は輝度（Luminance）になることに注意してください。単位は、**光線追跡（Raytrace）| 光線追跡オプション**（Raytrace Options）を選択することで選択できます。オプション（Options）タブには、放射測定 / 測光分析単位の選択が含まれています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

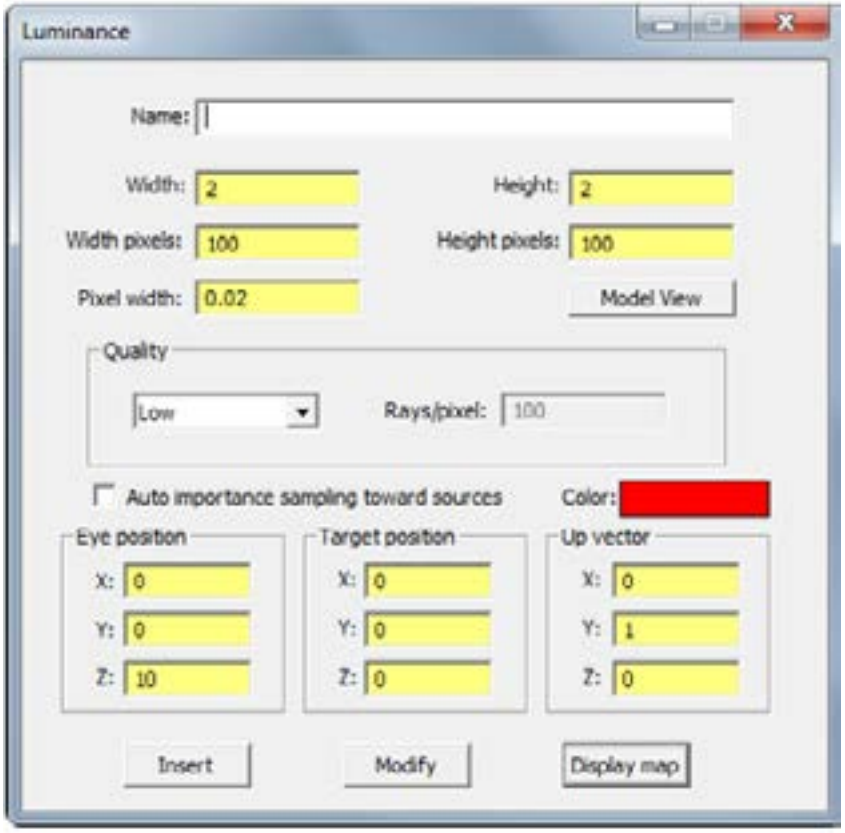


FIGURE 5.28 - Luminance dialog box.

レンダリングは、逆方向に光線を追跡することによって行われます。5.37 ページの「逆光線追跡の理論」を参照してください。輝度マップを設定するには、視点位置と目標位置、および光線追跡パラメータを次の手順で指定します。

1. マップまたはレンダリングを生成したいモデルを開きます。
2. マップ / レンダリングを生成したい方向へ、[表示] メニューのコマンドを使用してビューを調整します。
3. TracePro のメインメニューから **[定義 | 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）]** を選択し、図 5.28 に示す [輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）] ダイアログボックスを開きます。
4. ダイアログボックスに名前を入力します。
5. 視点位置、目標位置、上向きベクトル、幅、高さを現在のモデルウィンドウのビューからインポートするには、[モデルビュー] ボタンをクリックします。それ以外の場合は、使用する視点位置、目標位置、上向きベクトル、幅、高さを入力します。

f. 視点位置は、シーンが生成される視点を表す空間内のデカルト座標 (x,y,z) の点で、カメラの位置と考えることができます。

g. 目標位置は、生成されるレンダリング / マップの中心を表す空間内のデカルト座標 (x,y,z) の点で、カメラが向いている位置と考えることができます。

h. 上向きベクトルは、レンダリング / マップでどちらの方向が上向きであるかを定義します。

i. 幅は、システム単位でのマップの水平方向の幅を表します。

j. 高さは、システム単位でのマップの垂直方向の高さを示します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

6. 水平方向または垂直方向のピクセル数を設定します。一方の値を設定すると、高さと幅の値によって決定されるアスペクト比から、もう一方の値が自動的に計算されます。

7. 画質を選択します。これは、追跡される光線の数を決定します。[低]、[高]、または [カスタム] を選択できます。

8. ソースへの自動インポータンスサンプリングのチェックボックスをオンにして、サンプリングを改善します。ソースへの逆追跡で有用な光線の数が多くなるためです。自動インポータンスサンプリングを使用すると、モデルに散乱面がある場合に、結果のマップまたはレンダリングのノイズが減少します。インポータンスサンプリングを使用する場合は、順方向の光線追跡と同様に、光束閾値を下げる必要があります。自動インポータンスサンプリングを使用する代わりに、または自動インポータンスサンプリングに加えて、重要度ターゲットを手動で適用することもできますが、光線が逆方向に追跡されていることを覚えておき、それに応じてターゲットを定義してください。例については、9.65 ページの「輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップの使用例」を参照してください。

9. 設定が希望どおりになったら、[挿入] ボタンをクリックして放射輝度 / 輝度マップを作成します。放射輝度ソースが選択されると、TracePro はジオメトリの上に設定のワイヤーフレーム表現を描画します。

10. 解析の準備ができたら、[光線追跡 | 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）追跡] を選択します。TracePro は、各サーフェスソースに定義された波長を使用して光線追跡を開始します。[進行状況] ダイアログボックスが開き、完了率、経過時間、および推定残り時間が表示されます。

11. 光線追跡が完了したら、[マップ表示] ボタンをクリックしてマップ / レンダリングを表示します。

既存の輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）設定を変更するには、システムツリーの [**放射輝度 / 輝度**] タブでその名前をダブルクリックするか、**[定義 | 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）]** を選択してツリーで輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップを選択し

ます。次に、必要に応じて値を変更し、[変更] をクリックします。

6 章では、輝度マップに表示される内容と、マップ形式を変更するためのオプションについて説明します。6.18 ページの「輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップ」を参照してください。

光線追跡オプション

「光線追跡オプション」ダイアログボックスは、「光線追跡｜光線追跡オプション」を選択することで開きます（図 5.29 参照）。この図は TracePro の Standard 版および Expert 版のみに適用されることに注意してください。このダイアログは、光線追跡のさまざまな側面を制御します。

FIGURE 5.29 - Raytrace Options Dialog for Standard and Expert editions of TracePro

光線追跡オプションは、モデルが OML ファイルにディスクに書き込まれる際に保存されます。データが変更された後、[デフォルトを設定] ボタンを押すと、データが TracePro のデフォルトファイルに保存され、次回 TracePro を開いたときに使用されます。「ユーザーデフォルト」については、1.11 ページの LC オプションを参照してください。

TracePro LC エディションのオプションダイアログを表示するには、5.48 ページの「TracePro LC のシミュレーションオプション」を参照してください。

オプション

光線追跡 | 光線追跡オプションダイアログの [オプション] タブでは、光線追跡の実行方法に影響を与えるパラメータを設定できます。これらはモデル全体に影響を与えます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- [インポータンスサンプリング] チェックボックスをオンにすると、光線追跡中にインポータンスサンプリングを実行するかどうかを選択できます。
- [ランダム光線] ボックスでは、光線が散乱または回折面に入射するたびに生成されるランダムに散乱および / または回折された光線の数を設定できます。
- 最後に、乱数シードと放射測定単位を設定できます。

光線分割

[光線分割] チェックボックスをオンにすると、[鏡面光線のみ]、[インポータンスサンプリング]、[偏光]、[開口回折] の選択を光線追跡に適用できます。

「粗い」モンテカルロ光線追跡では、光線分割やインポータンスサンプリングはありません。光線がサーフェスに入射するたびに、サーフェスの吸収率、反射率、透過率が確率として使用され、これらの係数によって重み付けされた 1 つの光線成分がランダムに選択されます。たとえば、サーフェスの吸収率が 0.1、反射率が 0.2、透過率が 0.7 であるとします（これらの係数の合計は、エネルギー保存の法則を満たすために 1 でなければなりません）。光線がサーフェスに入射すると、10％の時間で完全に吸収され、20％の時間で完全に反射され、70％の時間で完全に透過されます。この結果は、次の方法で達成されます。光線がサーフェスに入射すると、0 から 1 までの乱数が選択されます。数値が 0 から 0.1 の間の場合、光線は吸収されます。数値が 0.1 から 0.3 の間の場合、光線は反射され、数値が 0.3 から 1.0 の間の場合、光線は透過されます。モデルの出口サーフェスに到達する入射光束の割合は、それに吸収された光線の数を数え、シミュレーションで開始された光線の数で割ることによって決定されます。

光線分割を有効にすると、光線がサーフェスと交差するときに、いくつかの分割された光線成分が生成されます。交差点での光線からの光束は、吸収率、反射率、透過率の係数に従って光線成分間で分割されます。分割された光線の数は幾何学的に増加するため、大量の光線セグメントが作成され、TracePro が大量のコンピューターメモリを使用する原因になります。サーフェスが光をほぼ均等に反射および透過する非イメージングシステムモデルがある場合は、光線分割をオフにできることを知っておくことが重要です。

システムモデルでは、光束が光束しきい値を下回ると、多くの分割された光線が終了し、光線成分の数を管理可能な数に保ちます。光線分割の使用によって光線追跡の進行が遅くなる場合は、光束しきい値が低すぎないことを確認してください。光束しきい値が適切に設定されていても光線追跡が遅い場合は、光線分割をオフにしてみてください。

2 つのオブジェクト間の同時サーフェスでは、TracePro は光線の反射率、透過率、吸収率を決定するための詳細な方法に従います。この方法の詳細については、7.15 ページの「同時サーフェス」を参照してください。

RepTile での光線分割なし

光線が RepTile セルに入ると、光線分割は一時的にオフになります。光線が RepTile セルを離れると、光線分割は以前の設定に戻ります。

鏡面光線のみ Standard Expert

[鏡面光線のみ] チェックボックスをオンにすると、トレースされる光線は鏡面反射および透過を使用するセグメントに制限されます。このコントロールを使用して、散乱光線のトレースをオフにすることができます。これは、データのデバッグや、ゴーストイメージ分析などの特殊

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

な分析を行う場合に役立ちます。通常は散乱光線に与えられる光束は失われ、これらの場合にはエネルギー保存が保証されません。

インポータンスサンプリング Standard Expert

インポータンスサンプリングのチェックボックスにチェックマークが入っている場合、指定したインポータンスサンプリングが光線追跡中に実行されます。チェックを外すとインポータンスサンプリングはオフになります。モデルをデバッグ中で、インポータンスサンプリングされた光線を生成したくない場合は、インポータンスサンプリングをオフにすると便利です。インポータンスサンプリングがオフの場合、インポータンスサンプリングされた光線に割り当てられるはずだった光束は、ランダムな光線に与えられます。

開口回折

開口回折のチェックボックスにチェックを入れると、TracePro は回折エッジの近くを通過する光線を屈折させます。チェックボックスのチェックを外すと、回折面は通常の面として扱われます。TracePro での回折の設定については、4.32 ページの「TracePro での回折の定義」を参照してください。

ランダム光線

ランダム光線数は、光線が回折のあるサーフェスまたは散乱のあるサーフェスプロパティを持つサーフェスに当たったときに生成されるランダムに散乱した光線の数を指定します。ランダム光線とは、BSDF によって重み付けされたランダムな方向に散乱する光線です。

デフォルト値は 1 です。任意の正の数を指定できます。大きな数を指定すると、光線ツリーが非常に広くなり、光線追跡の進行が遅くなり、メモリが過剰に消費される可能性があります。

蛍光 Expert

モデルに蛍光プロパティが含まれている場合(4.7 ページおよび 3.12 ページの「蛍光プロパティ」を参照)、光線追跡オプションダイアログで蛍光をオンにすることで、蛍光発光の効果が有効になります。発光波長帯は、後述の波長タブで定義する必要があります。3.12 ページの「蛍光プロパティ」を参照してください。

最初の励起光線がトレースされた後、次のオプションがあります。

- 光線追跡を停止し、発光光線をトレースしない（オプション：発ソースのみを生成)。
- 光線追跡を継続し、発光光線を含める（オプション：発光波長を即座にトレース)。

光線追跡中、蛍光オブジェクトまたはボディは、蛍光発光をシミュレートする光線を放出します。これらの光線は、光線追跡の発光部分で使用するためにファイルソースに保存されます。ファイルソースの挿入オプションは、ファイルソースをモデルに自動的に含めるために使用されます。ファイルソースの挿入のチェックを外したままにすると、モデルは「光線追跡前」の状態のままになります。

偏光 Standard Expert

このボックスにチェックを入れると、TracePro の偏光光線追跡機能がオンになります。ストークスベクトルが各光線に付加され、偏光サーフェスプロパティと相互作用するとき、ミューラー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

行列が適用されたオブジェクトを通過するとき、または複屈折材料を通過するときにストークスベクトルが変更される場合があります。偏光が有効になっていると、光線追跡の速度が低下し、メモリの消費量が増加する可能性があります。ミューラー行列とストークスベクトルの説明と例は、技術リファレンスセクションの 7.57 ページの「ミューラー行列とストークスベクトル」および次の多くの教科書に記載されています。

- E.L. O'Neill, Introduction to Statistical Optics , Dover (1992),
- E. Collett, Polarized Light , Dekker (1992),
- Shurcliff and Ballard, Polarized Light , van Nostrand (1964),
- Kliger, Lewis, and Randall, Polarized Light in Optics and Spectroscopy , Academic Press (1990)).

ボディ内からの光線開始の検出

TracePro を使用する場合、オブジェクト内または埋め込まれたオブジェクトの複数の層内から光線が放出される場合があります。ボディ内からの光線開始の検出にチェックを入れると、TracePro は光線の開始点に関連付けられたプロパティを正しく判別します。このボックスのチェックを外したままにすると、光線追跡が高速化されます。

乱数シード

TracePro は、散乱光線の方向やランダムグリッドまたはサーフェスソースの開始位置の設定など、さまざまなタスクに疑似乱数を使用します。乱数が必要になるたびに、乱数ジェネレーターを使用して乱数を取得します。乱数ジェネレーターは、疑似乱数列の生成を開始するためのシード、つまり初期値を必要とします。2 つの連続したシミュレーションでシードが同じである場合、同じ乱数列が生成されます。このようなシーケンスは利点にも欠点にもなる可能性があるため、TracePro ではそのシード値を設定できます。ほとんどのユーザーはこの値を変更する必要はありません。

閾値

図 5.30 に示すように、光線追跡オプションダイアログの閾値タブは、光束閾値とインターセプト制限を制御します。閾値は、TracePro が光線を追跡する時間の制限を提供することにより、光線追跡を制御します。最も一般的に使用される制限は、光束閾値です。ソースから TracePro によって開始された光線は、光線成分によって運ばれる光束が閾値を下回るまでトレースおよび分割されます。その時点で、光線ツリーのその分岐は終了します。

FIGURE 5.30 - Raytrace Thresholds Tab

光線追跡は、交点の数を制限することによっても制御できます。交点の数とは、特定の光路に含まれる光線とサーフェスの交点の数です。以下の基準に基づいて光線を終了させることができます。

- 光路の光線とサーフェスの総交点数
- 光路の総散乱成分数
- 光路のランダム散乱成分数
- 光路の光学サーフェスによる散乱成分数

光学サーフェスは処方プロパティによって定義されます。各開始光線に対して、これらの制限は各光路に許可される交点の数を制御します。光線は、設定された交点制限に達すると終了します。総交点制限は、ノードまたは分岐点の数を制御することにより、光線ツリーの深さを直接制御しますが、他の制限と閾値は間接的に制御します。たとえば、総散乱数を 5 に設定すると、光線は 5 回目の散乱直後に終了します。

シミュレーションと出力

光線追跡オプションダイアログボックスの「シミュレーションと出力」タブでは、シミュレーション光線追跡中に保存されるデータと、光線追跡終了後に表示できる結果を制御できます。放射照度マップを生成するために出射面の光線データを保存するには、「出射面データを収集」チェックボックスをオンにします。「見逃した光線カンデラデータを収集」チェックボックスをオンにすると、モデルから脱出し、「無限遠に消える」光線が保存されます。これらの光線は、カンデラプロットに使用されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

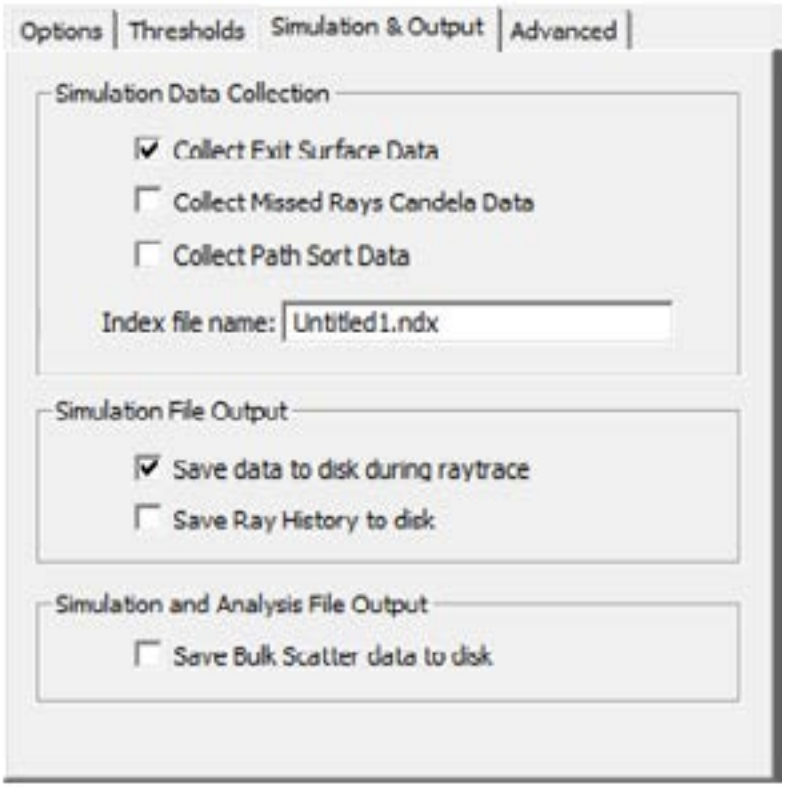


FIGURE 5.31 Simulation and Output Tab

出口サーフェスデータ収集

出口サーフェスプロパティで定義された出口サーフェスに関するデータが収集されます。光線追跡完了後、出口サーフェスの照射照度マップとレイテーブルを表示できます。

軽から出てゆく光線によるカンデラデータ収集

すべてのオブジェクトと交わらず､モデルから脱出し､「無限遠に飛んでいく」光線に関するデータが収集されます。光線追跡完了後、カンデラプロットを表示できます。

経路ソートデータ収集

固有の光線経路に関するデータが収集されます。光線追跡完了後、経路ソートテーブルを表示できます。

インデックスファイル名

「インデックスファイル名」オプションは、光線追跡中に生成されたシミュレーションデータファイルを収集するために使用されます。これは､以下の「ディスクにデータを保存」オプションと組み合わせて使用されます。

NDX 拡張子を持つ 1 つのインデックスファイルは、複数の光線追跡に対して、SIM 拡張子を持つ複数のシミュレーションファイルを蓄積できます。シミュレーション光線追跡を開始すると、光線追跡のメモを指定するオプションが表示されます。メモは、SIM データファイルへのリンクとともにインデックスファイルに保存されます。SIM ファイルは、次の命名規則で保存されます。

1. お部ジェクトとm味わら内航船によるカンデラデータ - BaseName_num_can.sim

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

2. 出口サーフェスデータ - BaseName_num_exXX.sim

ここで、BaseName はインデックスファイル名に対応し、num は 1 から始まる光線追跡番号、XX は 1 から始まる出口サーフェス番号です。5.55 ページの「シミュレーションモード」を参照してください。

光線追跡中のディスクへのデータ保存

光線追跡中、TracePro は出口サーフェスと見逃し光線カンデラデータをバイナリ形式（SIM ファイル）で保存できます。このオプションを使用する理由の 1 つは、光線追跡中の RAM 消費量を最小限に抑えることです。さらに、出口サーフェス SIM ファイルからのデータは、シミュレーションファイルマネージャから呼び出すことができます（6.74 ページの「シミュレーションファイルマネージャ」を参照）。

ディスクへの光線履歴の保存

モデルの出口サーフェスの光線履歴テーブルが生成され、テキストファイルとして保存されます。ファイル名は、モデル名に「-rayhistory.txt」を追加することで作成されます。このオプションが選択されていない場合、データはディスクに書き込まれません。

ディスクへのバルク散乱データの保存

各バルク散乱光線の位置と光束値のセットが生成され、モデルのテキストファイルに保存されます。ファイル名は、モデル名に「scatter.txt」を追加することで作成されます。このオプションが選択されていない場合、データはディスクに書き込まれません。

TracePro LC のシミュレーションオプション

TracePro LC では、シミュレーション情報は、図 5.32 に示すように、光線追跡オプションダイアログボックスのオプションタブで設定されます。2 つのオプションを使用すると、シミュレーション光線追跡中に保存されるデータを制御できます。照射照度マップを生成するために出口サーフェスの光線データを保存するには、「出口サーフェスデータ収集」ボックスをオンにします。カンデラ / 強度プロットの光線データを保存するには、「見逃し光線カンデラデータ収集」チェックボックスをオンにします。

出口サーフェスデータ収集

出口サーフェスプロパティで定義された出口サーフェスに関するデータが収集されます。光線追跡完了後、照射照度マップとレイテーブルを出力面に対して表示できます。

お武衛 j 久斗と交わらない光線によるカンデラデータ収集

すべてのオブジェクトを見逃し、モデルを超えてトレースされた光線に関するデータが収集されます。光線追跡完了後、カンデラプロットを表示できます。

FIGURE 5.32 - Options Tab for TracePro LC

高度なオプション

レイ トレースオプション ダイアログの「高度な設定」タブ（図 5.33 参照）では、光線追跡速度を向上させ、勾配屈折率材料における光線の追跡精度を変更するためのコントロールが提供されています。光線追跡速度を制御するために、2 種類のボクセルを選択できます。また、NURBS サーフェスをファセットで表現するオプションもあります。

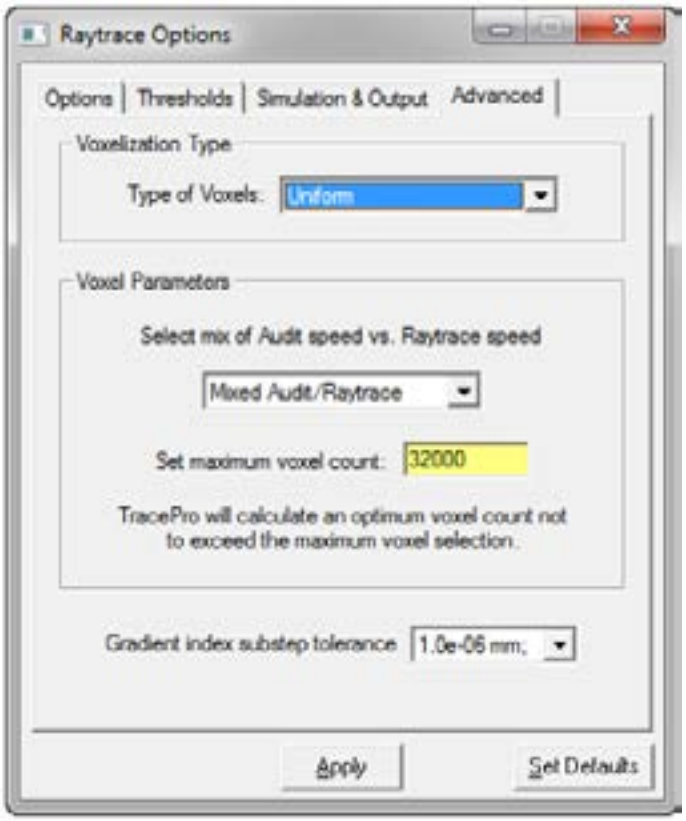


FIGURE 5.33 - Advanced Tab (Uniform Options)

ボクセル化のタイプ

光線追跡を高速化するために、TracePro はオブジェクト空間分割を使用して、モデルをボクセ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ルと呼ばれる小さな領域に分割します。ボクセルは、幅と高さに加えて奥行きを含む 3D ピクセルと考えてください。ボクセルの使用には、光線追跡速度と監査速度、およびメモリ消費量のトレードオフが伴います。ほとんどの解析では、この設定を「均一（Uniform）」のままにしておくことができます。ただし、大きく離れたジオメトリを持つ一部のモデルでは、「オクトツリー（Octree）」ボクセルを使用すると速度が向上する場合があります。

ボクセルパラメータ

「詳細設定（Advanced）」タブの中央にある「ボクセルパラメータ（Voxel Parameters）」は、「均一（Uniform）」または「オクトツリー（Octree）」ボクセルを選択するかによって変化します。

均一ボクセル（Uniform voxels）

通常、複雑または大規模なモデルの解析を開始するには、「最速監査（Fastest Audit）」または「混合監査 / 光線追跡（Mixed Audit/Raytrace）」設定で光線をトレースします。比較的小さな光線セットを使用して、システム設定と閾値の決定を行います。多くの光線をトレースする準備ができたら、「最速光線追跡（Fastest Raytrace）」に変更します。TracePro は、使用する最適なボクセル数を計算しますが、「最大ボクセル数設定（Set maximum voxel count）」の数を超えることはありません。TracePro が選択している数よりも多くのボクセルがモデルに役立つと思われる場合は、「最大ボクセル数（Maximize Voxel Count）」を選択し、「最大ボクセル数設定（Set maximum voxel count）」の数を希望するボクセル数に設定します。ボクセル数が多いほどメモリを使用することに注意してください。各ボクセルに割り当てられるメモリは最小 4 バイトであり、大きなモデルほど多くのメモリが割り当てられます。4,000,000 ボクセルでは、最低でも 16MB のメモリが消費されると予想できます。図 5.34 は、「最速監査（Fastest Audit）」選択を使用して単純な望遠鏡に対して生成されたボクセルを示しています。

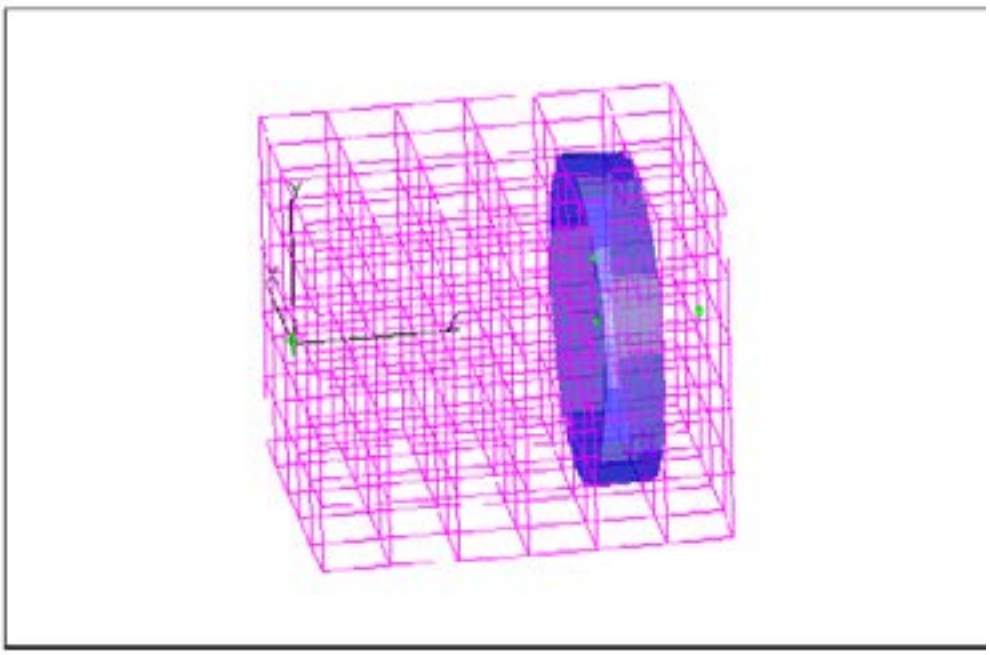


FIGURE 5.34 - Uniform Voxels for a simple telescope.

オクタルボクセル

モデルが非常に広範囲に広がっており、空の領域が多い場合、オクタルボクセルを選択することで光線追跡速度が向上する可能性があります。オクタルボクセルは再帰的に作成されます。TracePro は、モデル内のすべてのジオメトリを含む 1 つのボクセルから開始し、3 つの分割平面を使用して、それを 8 つの八分体、つまりボクセルに細分化します。これらの小さなボク

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

セルも細分化でき、ボクセルパラメータによって決定された基準が満たされるまで、このようにしてボクセルのツリーのような構造が作成されます。サーフェス、エッジ、ファセットが多い場所では、より多くの細分化が行われます。この手法により、必要な場所にはより多くのボクセルが作成され、空のスペースがある場所にはより少ないボクセルが作成されます。**最大ツリー深度**は、ボクセルを細分化できる最大回数を決定します。これに使用する通常の数は、2 から 6 の範囲です。作成されるボクセルの最大数は、8^N のオーダーです。ここで、N は最大ツリー深度です。たとえば、N=2 の場合、約 64 個以下のボクセルが作成され、N=6 の場合、約 262,144 個以下のボクセルが作成されます。オクタルボクセルは、均一ボクセルよりもボクセルあたりのメモリを多く使用し、各ボクセルには少なくとも 56 バイトが必要であるため、N=6 の場合、14MB 以上のメモリが消費される可能性があります。また、空のオクタルボクセルは、均一ボクセルよりもトラバースするのに時間がかかります。

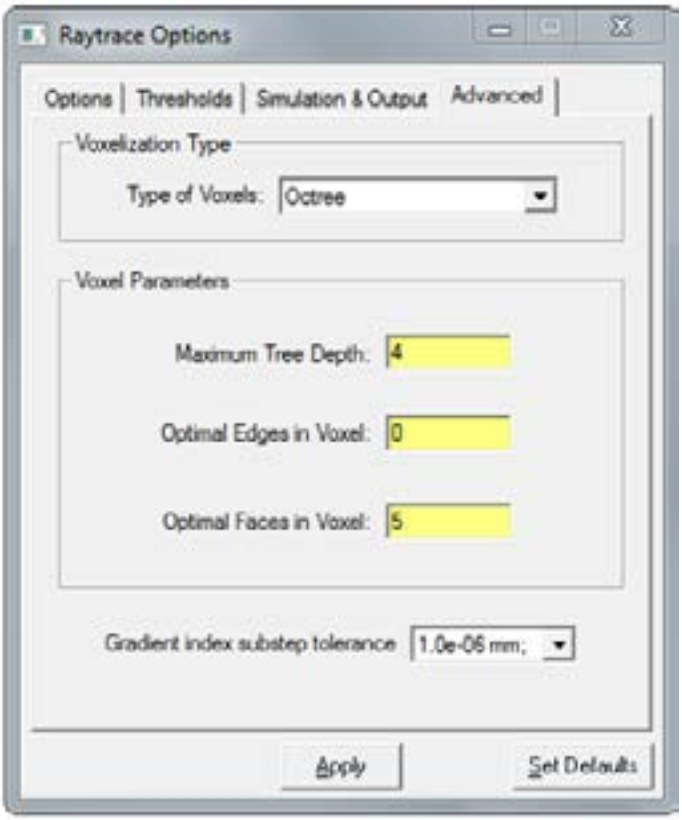


FIGURE 5.35 - Advanced Tab (Octree Options)

最適設定は、TracePro がより多くのボクセルを生成するための基準です。TracePro は、これらの基準がすべて満たされるか、**最大ツリー深度**に達するまで、監査中にボクセルを生成します。**ボクセル内の最適エッジ数**と**ボクセル内の最適面数**の設定は、最大目標数であるため、これらの数が入力された数以下になるまでボクセルの細分化が継続されます。通常の使用では、これらの設定を変更する必要はありません。図 5.36 は、図 5.34 に示す単純な望遠鏡に対して生成されたオクトリーボクセルを示しています。光学素子が広く間隔を空けて配置されているため、素子間のボクセルが非常に少なく、サーフェスやエッジの近くに多くのボクセルが生成されていることがわかります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

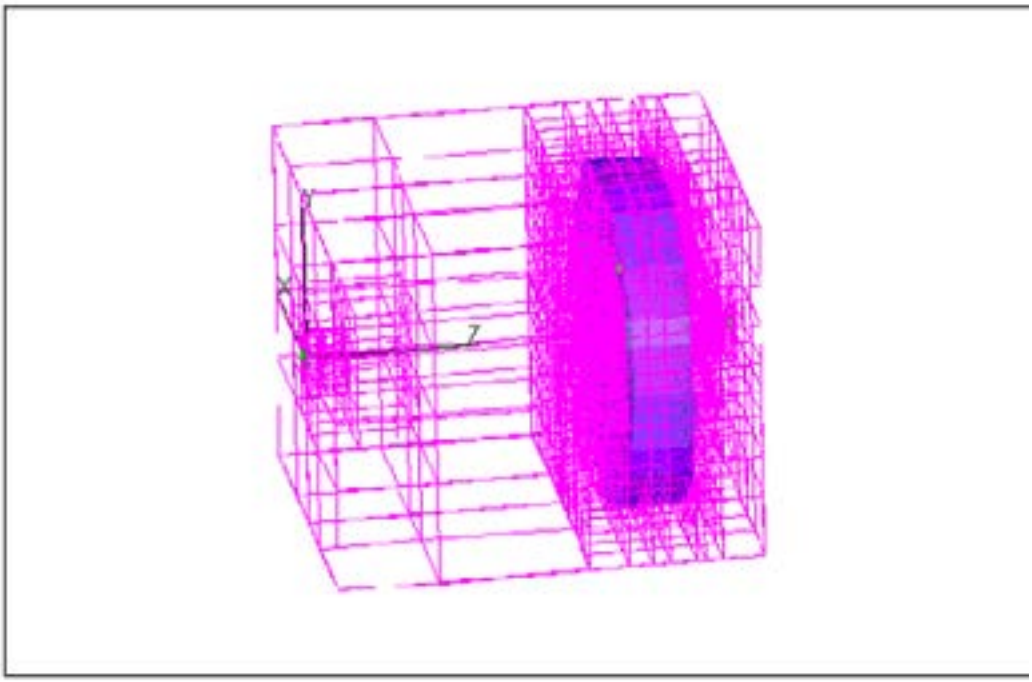


FIGURE 5.36 - Octree Voxels for a simple telescope.

光線追跡とスプラインサーフェス

他の CAD プログラムからモデルをインポートすると、一部のサーフェスが NURBS またはスプラインサーフェスである場合があります。システムツリーで各サーフェスを展開すると、サーフェスの種類が表示されます。一般に、プリミティブサーフェスタイプでないサーフェスはすべてスプラインです。TracePro のプリミティブサーフェスタイプは、平面、球、円錐、トーラスです。たとえば、CAD プログラムでサーフェスが放物線または楕円であった場合、スプラインとしてエクスポートされます。TracePro でサーフェスが放物面反射器として作成された場合、TracePro 内では回転放物面として表されますが、スプラインとしてエクスポートされます。したがって、TracePro で作成された放物面反射器は、CAD プログラムで作成され TracePro にインポートされたものよりもはるかに高速に光線追跡されます。最後に、たとえば TracePro で放物面反射器を作成し、ブール演算で変更すると、スプラインになります。この場合、光線追跡速度が多少遅くなります。

元の CAD プログラムがファイルをエクスポートしたときにスプラインに変更されたプリミティブサーフェスとして始まった場合、一部のスプラインサーフェスをプリミティブサーフェスに変換できる場合があります。これは、元の CAD プログラムとファイルのエクスポート時に設定されていた設定によって異なります。

勾配屈折率サブステップ許容誤差 Standard Expert

勾配屈折率サブステップ許容誤差を使用すると、勾配屈折率プロパティを持つオブジェクトを通して光線をトレースする際に、精度と速度をトレードオフできます。TracePro は適応ステップアルゴリズムを使用します。各サブステップは、勾配屈折率材料を通して湾曲した軌跡を取ります。サブステップの長さは、材料の局所領域の勾配屈折率プロファイルやユーザーが指定したサブステップ許容誤差など、多くの変数の関数です。光線が材料を進むにつれて、光学的位置および光路誤差は、この許容誤差を超えてはなりません。この許容誤差が満たされると、新しいサブステップが作成されます。許容誤差が小さいほど、光線追跡速度を犠牲にして精度が向上し、許容誤差が大きいほど、精度を犠牲にして光線追跡が高速化されます。最適な設定は、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

モデルの特定のプロパティによって異なります。特定のモデルに対してさまざまな設定を試して、最適な設定を決定する必要があります。

光線追跡モード

TracePro では、光線追跡中に光線を保存するためのさまざまなモードを選択できます。これらは、光線追跡メニューの下部にあるチェック可能な項目のいずれかをチェックすることで選択されます。解析モードまたはシミュレーションモードのいずれかを選択できます。これにより、使用可能な情報量と消費されるメモリ量をトレードオフできます。解析モードはより多くの光線データを生成しますが、より多くのメモリを消費し、シミュレーションモードはより少ないデータを生成し、より少ないメモリを消費します。いずれかの選択肢をアクティブにするには、光線追跡を開始する前にいずれかの項目をチェックするだけです。シミュレーションモードを選択した場合、光線追跡完了後に照度マップを表示するには、光線追跡を開始する前に終了サーフェスを指定する必要があります。終了サーフェスが指定されていない場合、TracePro は光線追跡を実行できず、ユーザーに警告します。

解析モード

解析モードの光線追跡では、TracePro は光線追跡中に生成されたすべての光線データを保存します。これにより、光線追跡完了後にモデル内の任意のサーフェスの照度を表示できます。これを行うには、大量のメモリが必要です。各光線に対して発生する光線分割が多いほど、および光線が終了するまでに受けるサーフェス交差が多いほど、各開始光線に必要なメモリが多くなります。多数の光線（数万または数十万以上）で開始され、各光線に対して多数の光線 - サーフェス交差がある光線追跡では、数百メガバイトのメモリが必要になる場合があります。

TracePro は、Windows からメモリを要求することにより、光線追跡中に必要に応じてメモリを割り当てます。最初は、物理 RAM が使用されます。すべての物理メモリが使用されると、オペレーティングシステムは仮想メモリからメモリを割り当てます。仮想メモリは、物理メモリのように使用されるディスクスペースです。仮想メモリへのアクセスは、物理メモリへのアクセスよりもはるかに遅いため、TracePro が大量のメモリを必要とする光線追跡を実行している場合、仮想メモリの使用を開始すると、光線追跡の進行が遅くなります。使用可能なすべての仮想メモリが使い果たされると、TracePro は光線追跡を中止します。利用可能なディスクスペースに応じて、Windows コントロールパネルから利用可能な仮想メモリの量を増やすことができます。これを自分で行うことに慣れていない場合は、システム管理者またはその他の専門家の助けを求める必要があります。

コンピューターに RAM を増設することで、物理メモリの量を増やすことができます。使用できる最大 RAM は 8TB ですが、Windows でアクセスできるのはその一部のみです（Vista の場合は 128GB、Windows 7 の場合は 192GB、Windows 8 および 10 の場合は 128GB、Windows 8 および 10 Professional および Enterprise の場合は 512GB）。多くの Windows Server エディションは 4TB の RAM にアクセスできます。最新情報については、microsoft.com を参照してください。

解析モードの光線追跡を実行するには、**光線追跡メニュー**の下部にある**解析モード項目**を選択します。**解析モード項目**の横に√がある場合は、TracePro はすでに解析モードになっています。光線追跡が完了すると、任意のサーフェスの照度を調べることができます。カンデラプロットを表示することもできます。

光線追跡の保存と復元

解析モードの光線追跡は、後で表示するためにディスクに保存できます。これを行うには、まず**ファイル | 光線データ保存**を選択して、TracePro を光線保存モードにします。

このアクションにより、光線データ保存メニュー項目がオンとオフに切り替わります。メニュー項目がチェックされ、TracePro モデルを保存すると、拡張子が ray の 2 番目のファイルも保存されます。ray ファイルには、最後に完了した光線追跡からのすべての光線のデータが含まれています。

光線データを保存するには、まず TracePro が光線保存モードになっていることを確認してください。ファイルメニューを見て、**光線データ保存**項目がチェックされていることを確認することで、これを確認できます。（メニュー項目の横に√がある場合は、チェックされています。もう一度選択すると、チェックが外れます。）次に、**ファイル | 名前を付けて保存**を選択し、oml ファイルのファイル名を入力します。保存を押してファイルを保存すると、TracePro は oml ファイルと **ray** ファイルを両方保存します。

oml ファイルと **ray** ファイルが同期していることが重要です。**oml** ファイルのジオメトリとプロパティを変更すると、保存された光線は古くなり、モデルを表さなくなります。したがって、光線追跡をやり直す予定がない限り、モデルを変更しないでください。関連する光線データを持つモデルの進行状況を保持する場合は、メニューオプション**ファイル | 光線データ保存**がオンになっている状態で、**ファイル | 名前を付けて保存**を使用して OML ファイルを新しい名前に保存します。

保存された光線追跡を復元するには、関連付けられた ray ファイルを持つ oml ファイルを開くだけです。TracePro は同時に ray ファイルを見つけて開き、（**解析 | 光線表示**メニュー項目がチェックされている場合）光線を表示します。光線が復元されると、**解析 | 光線ソート**を使用して光線をソートし、照度マップとカンデラプロットを表示できます。

シミュレーションモード

シミュレーションモードでは、光線追跡中に保存されるレイデータはごくわずかです。これにより、仮想メモリが使用される前、またはすべてのメモリが使用される前に、より多くのレイをトレースできます。したがって、解析モードよりもシミュレーションモードの方がはるかに多くのレイを使用して光線追跡を実行できます。ただし、シミュレーションモードの光線追跡では保存されるレイデータがはるかに少ないため、光線追跡完了後に任意のサーフェスの放射照度を表示する柔軟性がありません。

光線追跡を開始する前に、光線追跡中にレイデータを保存する 1 つ以上の出口サーフェス、またはミスレイカンデラデータを保存するオプションを選択する必要があります。光線追跡中、定義された出口サーフェスに当たったレイのセグメント、および / またはミスレイ（オブジェクト・サーフェスと交差しない光線）カンデラデータレイのみが保存されます。

出口サーフェスは、モデル内の任意のサーフェスにすることができます。出口サーフェスを選択するには、まず**「編集 | サーフェスを選択」**を選択するか、ツールバーの「サーフェスを選択」ボタンを押してサーフェス選択モードに入ります。次に、**「定義 | 適用」**を選択して「プロパティの適用」ダイアログボックスを開き、「出口サーフェス」タブを押します。グラフィカルに、またはシステムツリーを使用して、出口サーフェスにするサーフェスを選択します。このサーフェスは、放射照度マップを表示できるサーフェスです。最後に、「出口サーフェス」

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

チェックボックスをオンにして「適用」を押します。

シミュレーションダイアログ

光線追跡が開始されると、適切なデータが収集されることを確認するためのダイアログが表示されます。ダイアログプロンプトはオプションですが、デフォルトでアクティブになるように定義されています。プロンプトを無効 / 有効にするには、**「ビュー | オプション | 光線表示」**を使用します。

FIGURE 5.37 - Simulation Prompt.

SIM ファイルにデータが保存される際、「注釈」のエントリーが提供されます。5.47 ページの「インデックスファイル名」を参照してください。

FIGURE 5.38 - Simulation Prompt when data is being saved to a file.

シミュレーションオプション Standard Expert

TracePro が光線追跡中にデータを保存するためには、出口サーフェスデータ、カンデラプロットのデータ、および / またはパスソーティングのデータを保存するかどうかを指定する必要があります。これを行うには、**[光線追跡 | 光線追跡オプション]** を選択します。[シミュレーションと出力] タブでは、光線追跡中に保存されるデータの種類を選択できます。これらの機能は、互いに独立して選択できます。光線追跡後に結果を表示できるようにするには、光線追跡を実行する前に適切なボックスをオンにする必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

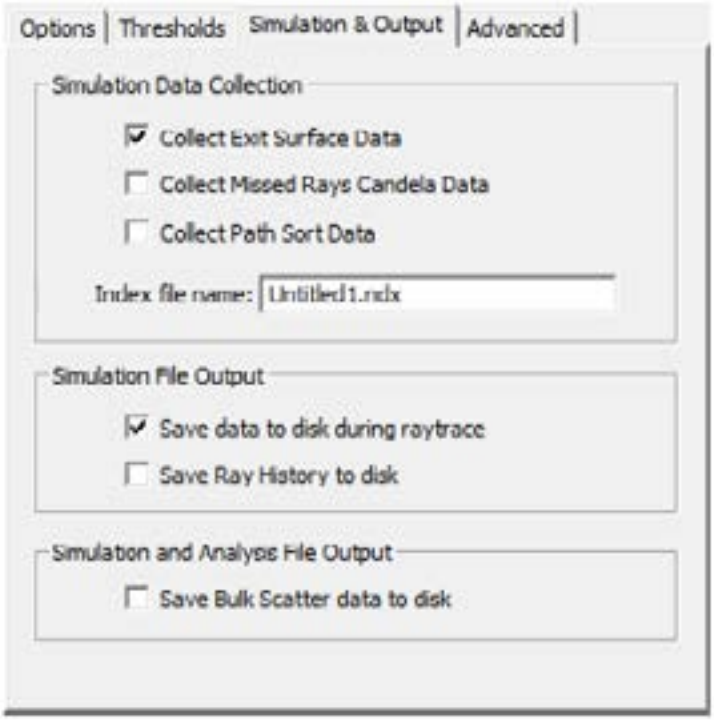


FIGURE 5.39 - Raytrace Options dialog box for TracePro Standard and Expert.

「光線追跡中にディスクにデータを保存」オプションは、放射照度プロットのデータをディスク上のバイナリファイルに保存します。終了面データの収集に **RAM は使用されません**。このオプションの使用方法と制限については、オンラインヘルプを参照してください。5.47 ページの**「インデックスファイル名」**を参照してください。

光線追跡中に 3 つの出力テキストファイルを生成することもでき、「ディスクにバルク散乱データを保存」オプションは解析モードとシミュレーションモードで使用できます。

「ディスクに光線履歴を保存」オプションが有効になっている場合、

- 終了面の光線履歴テーブルが生成され、モデルのテキストファイルに保存されます。6.58 ページの「光線履歴」を参照してください。
- ファイル名は、モデル名に「-rayhistory.txt」を追加して作成されます。
- 形式は、解析モードからエクスポートされた光線履歴と同じです。6.60 ページの「ファイルに光線履歴テーブルを保存する」を参照してください。

「パスソートデータを収集」が有効になっている場合、終了面で吸収されたレイパスのセットが生成され、モデルのテキストファイルに保存されます。ファイル名は、モデル名に「-raypaths.txt」を追加して作成されます。各レイパスは一意であり、サーフェス交差のシーケンスと各交差のインターセプトタイプが同一である場合、2 つのパスは同じであると見なされます。出力ファイルには、パスの数、各パスの光束、およびインターセプトタイプとサーフェス名による交差順序がリストされます。リストは、各サーフェスで吸収された光束の降順にソートされます。レイパスは迷光解析で使用され、ゴーストレイの識別に非常に役立ちます。

「ディスクにバルク散乱データを保存」が有効になっている場合、各バルク散乱レイの位置と光束値のセットが生成され、モデルのテキストファイルに保存されます。ファイル名は、モデル名に「-scatter.txt」を追加して作成されます。散乱が発生したオブジェクトもリストされます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

注：このオプションは、解析モードでも使用できます。

LC のシミュレーションデータ LC

「出口サーフェスデータ収集」および「オブジェクト・サーフェスと交わらない光線によるカンデラデータ収集」オプションは、TracePro LC の「オプション」タブにあります。

オプティマイズ Standard Expert

TracePro には、Standard エディションと Expert エディションで利用可能な 2 つのオプティマイズ方法があります。各オプティマイズ機能は、スキームコマンドを介して TracePro 光線追跡エンジンと通信し、駆動する別のアプリケーションにバンドルされています。各オプティマイズ機能は自己完結型であり、独自のヘルプシステムがあります。オプティマイザは、非常にインタラクティブで直感的に使用できるように設計されています。オプティマイザには、**「オプティマイズ」**メニュー選択からアクセスできます。

インタラクティブオプティマイザ

インタラクティブオプティマイザは、照明アプリケーション用のリフレクターとレンズを設計およびオプティマイズするためのユーティリティです。特に LED レンズの設計に役立ちますが、他のアプリケーションにも使用できます。インタラクティブオプティマイザを使用すると、解析またはスプラインサーフェスを定義し、変数とターゲットを指定すると、オプティマイザはターゲットを満たすように設計を変更します。スプラインサーフェスを指定する場合、サーフェスのコントロールポイントを 3 次元で変数にすることができます。マウスでコントロールポイントをドラッグして開始設計を作成することもでき、設計を変更するとレイが自動的に更新されます。

LC **TracePro LC の LC**：TracePro LC では、インタラクティブオプティマイザはインタラクティブモデラーという名前で、**「ジオメトリ」**メニューにあります。これにより、幾何学的オブジェクトのプロファイルをスケッチできますが、オプティマイズすることはできません。

インタラクティブオプティマイザには独自のヘルプシステムがあります。

テクスチャオプティマイザ II

テクスチャオプティマイザ II は、輝度向上フィルム（BEF）、ターニングフィルム、およびライトガイドの抽出機能を含む、構造化された液晶ディスプレイ（LCD）バックライトコンポーネントのオプティマイズに役立ちます。LCD の TracePro モデルを使用すると、ユーティリティは均一性または光束にオプティマイズされた任意のサーフェスにジオメトリのテクスチャパターンを生成します。

テクスチャオプティマイザ II には独自のヘルプシステムがあります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 6 章 解析結果

レイ トレース結果の検証と解析結果

レイ トレース後には、その結果として得られたデータを評価する必要があります。「解析結果」メニューには、レイ トレースデータを表示するいくつかの方法が用意されています。「光線を表示」と「光線ソート」では、光線データを表示できます。「照度マップ」、「光線テーブル」、および「偏光マップ」は、「解析結果」モード時および「シミュレーション」モードの「出口サーフェス」において、モデル内の各サーフェスの光線結果を提供します。「カンデラプロット」は、モデル内の光線データの角度分布を表示します。「体積フラックスビューア」は、モデルオブジェクト内のフラックス分布に関する洞察を提供できます。「レポート」メニューからは、光線データとモデルのプロパティを解析結果するのに役立つ様々なレポートを利用できます。「ツール」メニューには、レイ トレース結果を改善するための追加機能が含まれています。

解析結果メニュー

ほとんどのレイ トレース結果は、「解析結果」メニューからアクセスでき、本章で説明します。レイ トレースは、「解析結果」メニューに含まれるメニュー項目からも開始され、第 5 章で説明します。

光線を表示

「解析結果｜光線を表示」を選択すると、光線の表示を制御できます。「解析結果」モードでは、レイ トレースが終了またはキャンセルされると、デフォルトで光線が表示されます。「シミュレーション」モードでは、光線を表示できません。光線の表示をオフにするには、**「解析結果｜光線を表示」**を選択するだけです。「光線を表示」の状態は、メニュー項目の横にあるチェックマーク ☒ で示されます。多数の分割または「分岐」で多数の光線がトレースされた場合、TracePro が光線の表示を完了するまでに数分かかることがあります。**「ウィンドウ｜画面の自動更新」**の選択を解除することで、要求があった場合にのみ光線の表示を更新するように TracePro を設定できます。その後、F5 キーを押すか、**「ウィンドウ｜更新」**を選択するまで、光線の表示は更新されません。光線は、設定された制限付きで描画プロセス中に時間制限される場合があります。2.59 ページの「光線を表示」を参照してください。

以下で説明する**「光線ソート」**を使用して、表示される光線を制御することもできます。

光線の表示色

「光線の表示色」ダイアログボックス（図 6.1）は、光線の表示色を制御する 4 つの方法を提供します。

- フラックスに基づく光線の表示色
- 波長に基づく光線の表示色
- ソースに基づく光線の表示色
- すべての光線を単一の色にする

任意の色は、そのカラーバーをクリックすることで変更でき、Windows 標準のカラーパレット

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が開きます。

フラックスに基づく光線の色

単色の光線のフラックス表示には、3 つのデフォルトのカラーパレットがあります。デフォルトの赤 - 緑 - 青の配色に加えて、10 の異なるレベルを含む拡張パレットと対数パレットがあります。これらの各パレットは、さまざまなレベルに異なる色を使用するように変更したり、各レベルの相対的な交差点を変更したり、新しいレベルを追加したりすることができます。

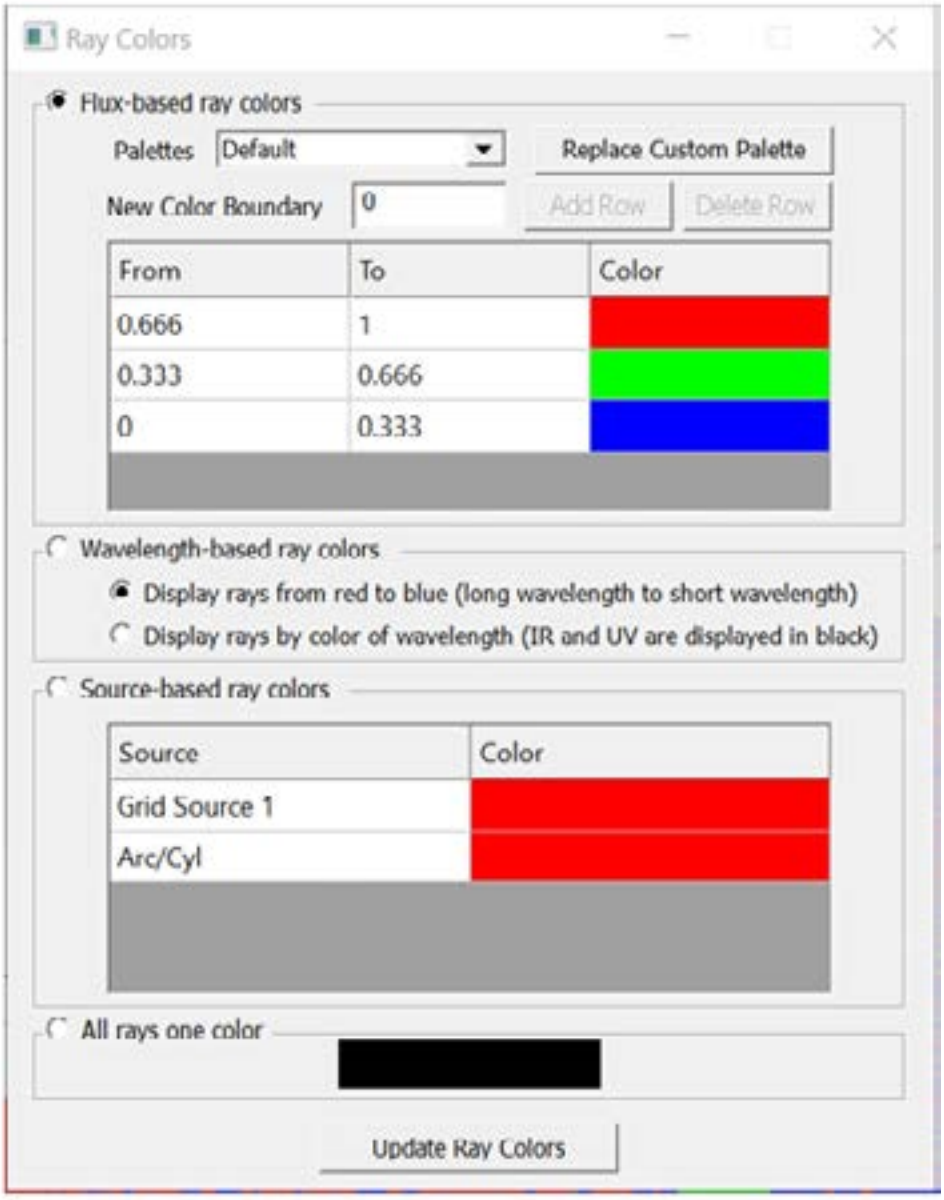


FIGURE 6.1 - Ray Colors dialog box

カラーパレットの変更

1. **「解析結果 (Analysis)| 光線の表示色 (Ray Colors)」**を使用して「光線の表示色 (Ray Colors)」ダイアログを開きます。
2. 目的のパレットを選択します。
3. 「光線の表示色の更新 (Update Ray Colors)」を押します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

カスタムパレットの作成

1. 「解析結果 (Analysis)| 光線の表示色 (Ray Colors)」を使用して「光線の表示色 (Ray Colors)」ダイアログを開きます。
2. 修正する目的のパレットを選択します。
3. 「新しい色の境界 (New Color Boundary)」ボックスに値を入力して、「行の追加 (Add Row)」ボタンを使用してクロスオーバーポイントを追加します。
4. 行を選択し、「行の削除 (Delete Row)」ボタンを押してクロスオーバーポイントを削除します。
5. 「色 (Color)」セルをクリックし、「色選択 (Color Picking)」ダイアログから新しい色を選択して、光線の色を変更します。
6. 「カスタムパレットの置換 (Replace Custom Palette)」ボタンを押します。
7. 「光線の表示色の更新 (Update Ray Colors)」を押します。

注意 : カスタムカラーパレットは OML ファイルに保存されます。

波長に基づく光線の表示色

「光線の表示色 (Ray Colors)」ダイアログのこのセクションでは、光線を次のいずれかで表示できます。

- 赤から青 (偽色)
- 波長の色 (不可視波長は黒)

「赤から青 (偽色)」コーディングでは、光線は波長の長いものから短いものへと、赤から青の降順で色分けされます。「波長の色」の着色では、各波長の色は CIE 1936 規格に従って、その波長の光線を表示するために使用されます。

ソースに基づく光線の表示色

このセクションでは、各ソースの色を使用して光線を色分けします。ソースの色は、カラーバーをクリックして新しい色を選択することで変更できます。色はソース定義でも変更できます。

すべての光線を単色で表示

すべての光線を同じ色で表示するように選択できます。デフォルトの色は黒です。カラーバーをクリックして色を変更できます。

パスソートテーブル

「パスソートテーブル (Path Sort Table)」を選択すると、選択したサーフェスに到達する固有の光線パスを表示するウィンドウが開きます。固有の光線パスとは、光線のパスに沿ってサーフェスと交差タイプの一意の組み合わせを持つパスのことです。列には、パスに沿った光線の数、吸収されたフラックス、入射フラックスが含まれます。列ヘッダーをクリックすると、列を降順で並べ替えることができます。ヘッダーをもう一度クリックすると、テーブルが昇順で並べ替えられます。個々のパスを展開して、交差したサーフェスや交差点での交差タイプなど、パスの詳細を表示できます。パスを展開するには、パス番号の横にある + をダブルクリックします。右クリックして、展開と折りたたみに関するその他のオプションを含むポップアップメニュー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

を開くことができます。

モデルウィンドウに 1 つまたは複数のパスの光線を表示するには、行番号をクリックして目的のパスを選択し、Shift キーまたは Ctrl キーを使用して複数の選択を行い、**「解析結果 (Analysis)| 選択したパスの表示 (Display Selected Paths)」**を選択します。アナリシスモードでは、選択したパスのすべての光線が表示されます。**シミュレーションモード**では、選択した各パスの最初の光線のみが表示されます。イラジアンス / イルミナンスマップおよび / またはカンデラプロットウィンドウも開いている場合、マップ / プロットは選択されたパスのみを含むように更新されます。

「選択したパスの表示 (Display Selected Paths)」機能は、「選択した光線の表示 (Display Selected Rays)」機能よりも優先されます。つまり、「選択したパスの表示 (Display Selected Paths)」機能がオンになっている場合、「選択した光線の表示 (Display Selected Rays)」機能は無効になり、そのメニュー選択は使用できないことを示すためにグレーで表示されます。

パスソートテーブルがアクティブなウィンドウであるときに、**「ファイル (File)| 名前を付けて保存 (Save As)」**を選択して、テーブルをテキストファイルとして保存できます。

シミュレーションモード

シミュレーションモードでは、「光線追跡オプション (Raytrace Options)」ダイアログボックスの「シミュレーションと出力 (Simulation & Output)」タブで「パスソートデータの収集 (Collect Path Sort Data)」を選択して、光線追跡を開始する前にパスソートを有効にする必要があります。

アナリシスモード

アナリシスモードでは、光線追跡完了後に**「解析結果 (Analysis)| パスソートテーブル (Path Sort Table)」**を選択することで、パスソートを常に利用できます。

メモリ消費量

パスソートでは、パスを保存するために大量のメモリが必要になる場合があります。複雑なモデルでは、数万または数十万のパスが生成され、数ギガバイトのメモリが必要になる場合があります。モデルでパスソートに必要なメモリがコンピューターで使用可能なメモリよりも多い場合は、パスソートを使用できません。

下の図は、パス 1 が展開されたパスソートテーブルを示しています。

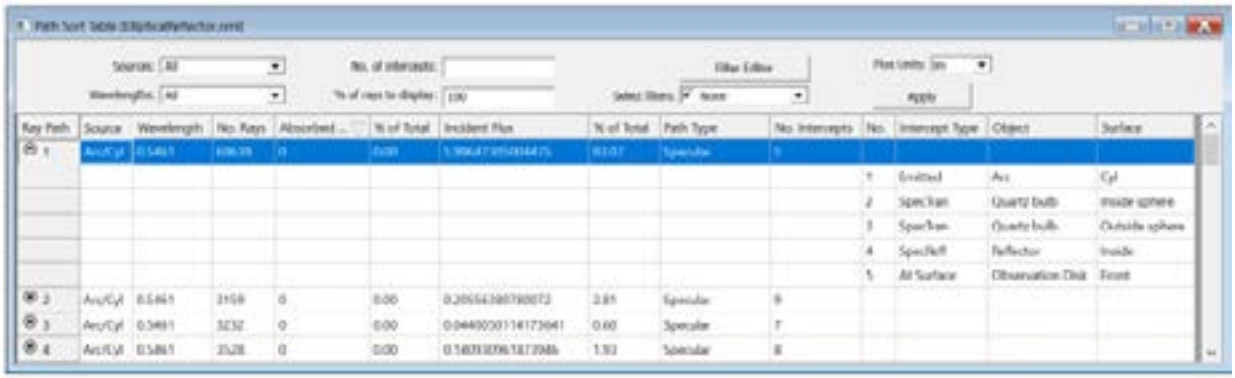


FIGURE 6.2 - Path Sort Table

「パスソートテーブル設定」では、ニーズに合わせてパスのフィルタリングをカスタマイズできます。ソース、波長、パスに沿った交差点の数でフィルタリングできます。また、表示する光

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

線の割合を選択したり、テーブルをさらに制御するためのカスタムフィルタを作成することもできます。設定は表 6.1 にまとめられています。

テーブル 6.1 パスソートテーブルの設定

ソース	パスソートテーブルに含めるソースを、リストから選択します
波長	パスソートテーブルに含めたい波長をリストから選択します
交差の数	光線がサーフェスと交差する回数（インターセプト数）に基づいて、特定の経路のみを選択．複数のインターセプト数や範囲を組み合わせる場合は、カンマで区切る（例：5-8,10,12）．この入力は、「インターセプト数が 5 から 8 までの範囲、または 10、または 12 である経路」を抽出することを意味します
表示する光線の％	「解析	選択された経路を表示」が有効になっているとき、この設定項目は、選択条件に合致する光線のうち、画面に表示する割合をパーセントで指定します
フィルタエディタ	パスソートフィルタエディタウィンドウを開き、パスソートテーブルを絞り込むための 1 つまたは複数のフィルタを定義
フィルタの選択	各フィルターのチェックボックスを使用して、パスソートテーブルに 1 つまたは複数のフィルターを適用します
光束単位	パスソートテーブルで使用される測定単位を設定します。単位オプションは、W（ワット）、mW（ミリワット）、kW（キロワット）、MW（メガワット）、および lm（ルーメン）です。
適用	すべての設定をパスソートテーブルに適用します。

Path Sort Filter Editor（パスソートフィルタエディタ）

パスソートフィルタエディタは、パスに沿ったレイ（光線）が交差する必要がある（または交差してはならない）サーフェスやオブジェクトを選択することで、パスソートテーブルを調整することができます。インターセプトタイプと一致するサーフェスやオブジェクトは、ブール演算子 AND と OR を使用して組み合わせることができます。

フィルタを編集するには、パスソートテーブルウィンドウの「Filter Editor（フィルタエディタ）」ボタンをクリックします。フィルタエディタウィンドウは図 6.3 に示されています。各選択の意味は表 6.2 にまとめられています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

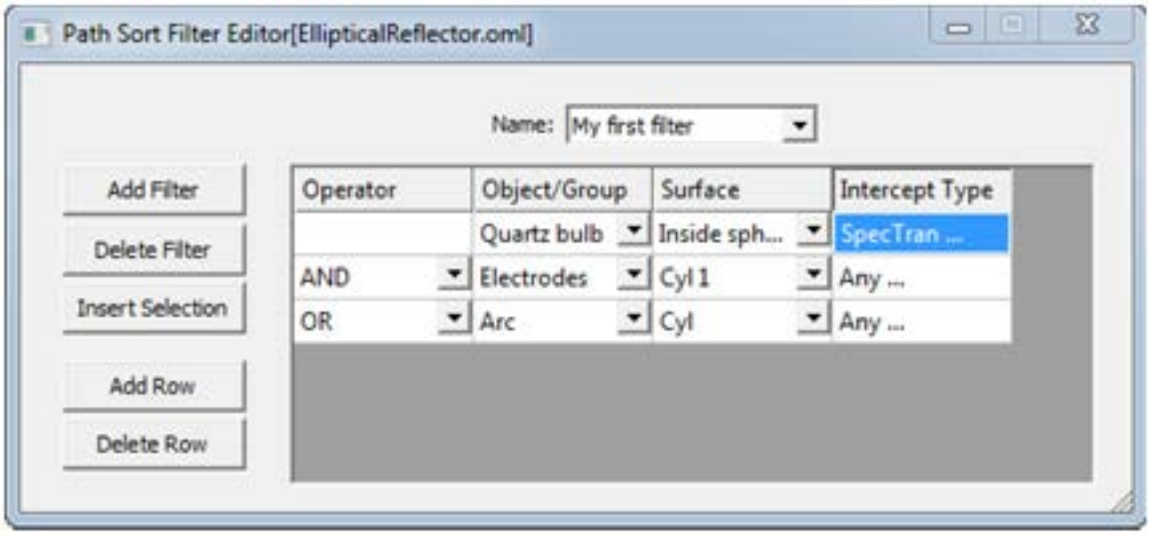


FIGURE 6.3 - Path Sort Filter Editor

表 6.1 パスソートフィルタエディタの項目

名前	リストから編集したいフィルターの名前を選択
フィルタの追加	現在のモデルのパスソートテーブルで使用するための新しいフィルターを追加
フィルタの削除	現在のフィルターを削除
選択を挿入	現在のモデルのモデルウィンドウで選択された各サーフェス、オブジェクト、またはグループに対して、フィルターに新しい行を追加
行の追加	現在のフィルターに（空白の）行を追加
行の削除	現在のフィルタの選択された行を削除
演算子	現在の行の結果と前の行の結果を組み合わせるために使用するブール演算子（AND または OR）を選択
オブジェクト / グループ	現在のフィルター行で使用するオブジェクトまたはシステムツリーグループを選択
サーフェス	選択されたオブジェクト / グループのメンバサーフェスを選択。<Any> を選択すると、オブジェクトまたはグループの任意のメンバサーフェスと交差する光線がテストを満たすことを示す。バルク散乱インターセプトタイプ（RandVolume または ImpVolume）の場合、サーフェスの選択は無視される
交差のタイプ	現在の行に適用するインターセプトタイプを選択するための「インターセプトタイプ」ウィンドウを開きます

パスソートフィルタのインターセプトタイプウィンドウ

現在の行で使用するインターセプトタイプを選択するには、目的の行のインターセプトタイプセルをクリックして、図 6.4 に示すようにインターセプトタイプウィンドウを開きます。必要な特定のインターセプトタイプをいくつでも選択でき、それらはフィルタの現在の行で使用されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

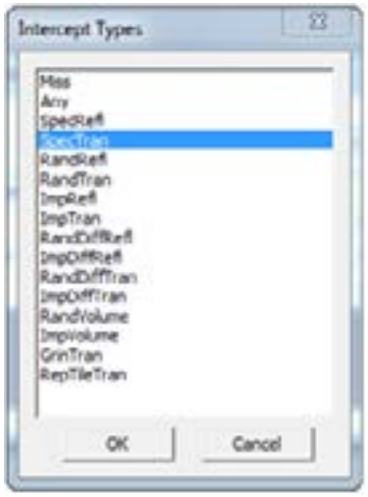


FIGURE 6.4 - Path Sort Filter Intercept Types

「**Miss**」: 光線がフィルタを通過するためには、選択されたサーフェスをすべて通過しないように指定します。「ミス」を選択すると、他のすべての交差タイプ選択がクリアされます。

「**Any**」: 任意の交差タイプの光線がフィルタを通過するように指定します。「任意」を選択すると、他のすべての交差タイプ選択がクリアされます。

照射照度マップ

照射照度または照度マップは、[**解析結果 | 照射照度マップ**] を選択することで表示できます。照射照度マップは、現在選択されているサーフェスに入射する照射照度を示します。サーフェ

スが平面でない場合、照射照度は平面に投影されます。投影平面の向きは、**[解析結果 | 照射照度オプション ...]** からアクセスできる照射照度オプションダイアログボックス、または照射照度マップウィンドウを右クリックして [照射照度 / 照度オプション ...] を選択することで制御できます。後述するその他の設定もこのダイアログ内で制御されます。マップは、白が最高照射照度で黒がゼロ照射照度であるグレースケールの濃淡、またはその逆、あるいは選択された疑似カラーパレットのいずれかで表示できます。

照射照度マップの向きは、**[解析結果 | 照射照度オプション]** ダイアログボックスで指定された法線ベクトルと Up ベクトルによって決定されます。法線ベクトルは、マップが表示される投影平面に垂直であり、Up ベクトルはマップのどちら側が画面の上部になるかを決定します。法線ベクトルは、オブジェクトから外向きまたは内向きを指すように定義できます。方向を逆にすると、画像が左右反転します。照射照度マップを表示したときに意味不明な場合は、これらのベクトルの向きを確認してください。[法線ベクトルと Up ベクトルを自動的に計算] をクリックすると、TracePro に法線ベクトルと Up ベクトルを選択させることができます。[適用] をクリックして表示を更新します。

照射照度マップは、選択されたサーフェスに入射または吸収された単位面積あたりのワット数またはルクスでの照射照度です。光線の数が不十分な場合、照射照度マップはノイズが多くなります。ノイズとピクセルのブロック状の粗さは、照射照度オプションダイアログボックスで [スムージング] を選択することで滑らかにできますが、解像度が低下します。ノイズの多い結果を改善する唯一の方法は、ピクセルあたりの光線の数を増やすことです。開始する光線の数を増やすか、散乱光をシミュレートするときに生成されるランダムレイと重要度サンプリングされた光線の数を増やすことで、より多くのサンプルを作成できます。

放射照度マップオプション

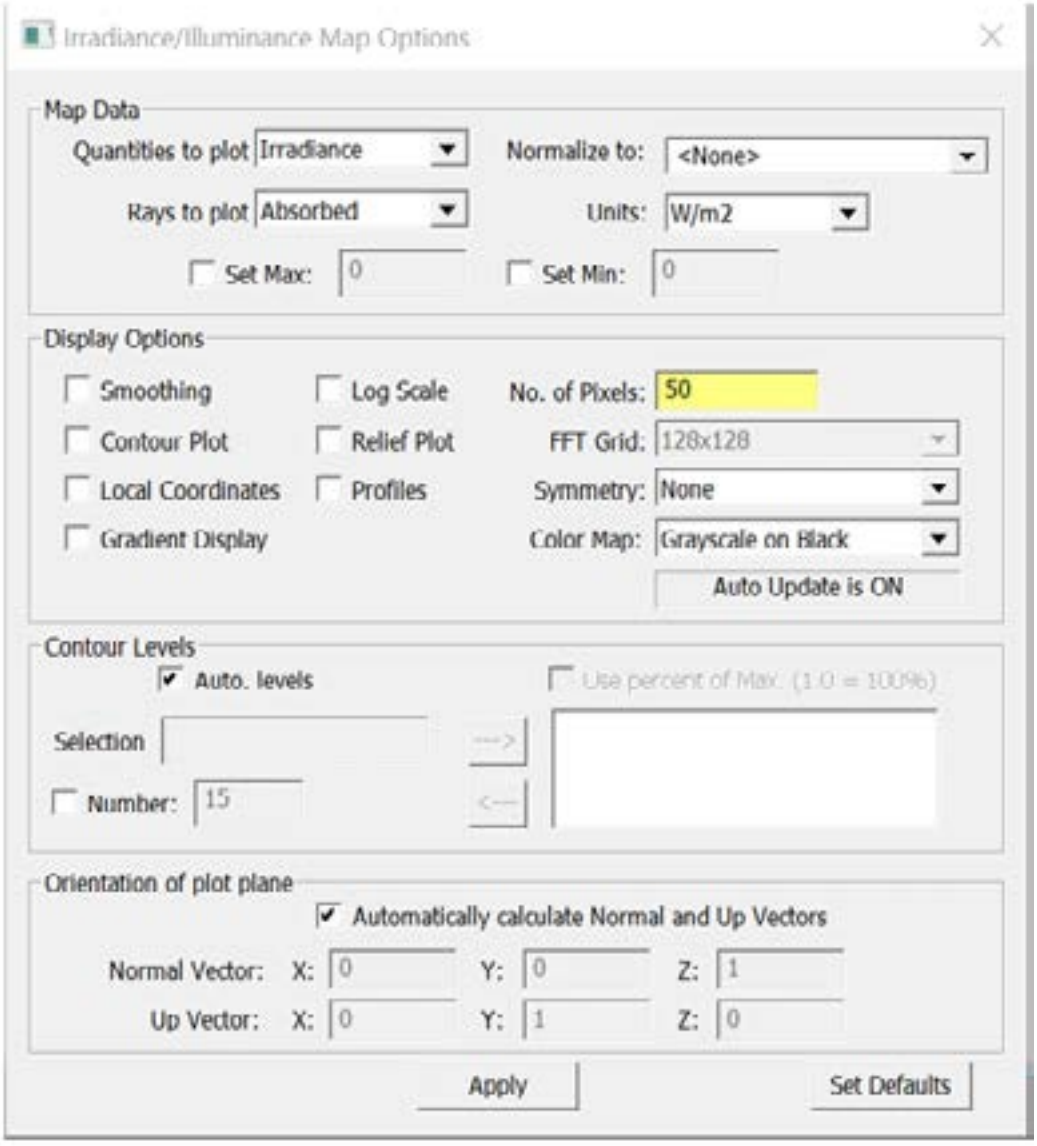


FIGURE 6.5 - Irradiance Options dialog box

照射照度マップのオプションは、「**解析結果 | 照射照度 / 照度オプション ...**」を選択するか、照射照度マップを右クリックしてコンテキストメニューから「**照射照度 / 照度オプション ...**」を選択してアクセスできる「照射照度オプション」ダイアログボックスで制御されます。各オプションとその機能は、以下のセクションで説明されています。

マップデータ

「マップデータ」では、プロットに表示される量を定義します。

プロットする量

表示するマップの種類を選択します。以下から選択できます。

- 照射照度 : サーフェスに入射または吸収される放射の単位面積あたりの電力のプロット。
- CIE (x, y): CIE xy 座標での色のプロット。
- CIE (u', v'): CIE u'v' 座標での色のプロット。
- トゥルーカラー :

CIE xy または u'v' プロットを表示すると、サーフェスに入射する光の色が最大輝度で表示され

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ます。さらに、サーフェスプロットの横に CIE 図が表示されます。マウスカーソルをサーフェスプロット上に移動すると、xy または u'v' 座標に小さな円が表示され、相関色温度（CCT）が円の上に表示されます。xy または u'v' の値は、TracePro アプリケーションウィンドウの下部にあるステータスバーにも表示されます。

プロットする光線

吸収された光線、入射した光線、出射した光線、またはオブジェクトから出射した光線のマップを観察できます。入射照射照度マップは、選択したサーフェスが同じ光線によって複数回ヒットした場合に誤解を招く可能性があります。たとえば、2 つの無限平行ミラーの間のサーフェスは、光線がフラックス閾値または遮断閾値を下回るまで同じ光線がサーフェスと交差し、光線の開始フラックスよりもはるかに大きい入射フラックスを生成します。出射光線照射照度マップも、同じ理由で誤解を招く可能性があります。さらに、出射光線照射照度マップをサーフェスの外観として解釈しないように注意してください。サーフェスの外観を表示するには、輝度マップを使用します。オブジェクトから出射する照射照度マップは、選択したサーフェスに対してオブジェクトから出射する光線の結果を示します。

正規化

選択に応じてマップデータを正規化します。選択肢は、「なし」、「平均放射照射照度」、「ピーク照射照度」です。このオプションを使用すると、照射照度マップを正規化できます。マップのフッターには、マップ内の合計フラックスと、合計放射フラックスで割ったフラックスが常に表示されます。「なし」を選択すると、生の照射照度値が表示されます。

例 1：システム透過率

光学システムのシステム透過率を計算する必要があるとします。おそらくグリッド光線追跡オプションを使用し、放射フラックスはすべての放射光線内のフラックスの合計に等しくなります。照射照度マップを表示すると、システム透過率は、照射照度マップウィンドウの下部に表示される合計フラックスを放射フラックスで割った値に等しくなります。システム透過率を取得するには、マップのフッターにある「フラックス / 放射フラックス」の値を読み取るだけです。

例 2：照明効率

平面を照明する照明器具の照明効率を計算する必要があるとします。おそらく、サーフェスソース光線追跡オプションを選択し、放射フラックスはソースを定義したときに指定したフラックスに等しくなります。照射照度マップを表示すると、観測平面に入射する合計フラックスがウィンドウの下部に表示されます。照明効率は、合計フラックスを放射フラックスで割った値に等しくなります。この数値は、マップのフッターにある「フラックス / 放射フラックス」の値を読み取るだけで取得できます。

例 3：点ソース透過率

点ソース透過率（PST）は、イメージングシステムの迷光の尺度として一般的に使用されます。これは、イメージサーフェスの照射照度を点ソースからの入射照射照度で割ったものとして定義されます。PST を計算するには、最初にコリメートされたグリッドソース（つまり、半角がゼロの均一またはランバート）を定義します。光線追跡を実行した後、「平均放射照射照度に正規化」を選択し、照射照度マップを表示します。単位は（W/m2）/（W/m2）となり、PST として直接解釈できます。

「プロットする量」が「トゥルーカラー」に設定されている場合、「正規化」オプションは「なし」、「最高色」、「露出レベル」に変わります。「最高色」を選択すると、プロットに表示される色の

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

値が正規化されます。「露出レベル」を選択すると、プロットが飽和した白色を表示するように正規化されます。プロットが単色の場合は特にそうです。たとえば、緑色の光の場合、飽和値は（0,255,0）になります。

単位

単位は、イラジアンス / イルミナンスマップの測定単位を設定します。単位のオプションは次のとおりです。

- W/m2 (ワット毎平方メートル)
- fc (フートキャンドル)
- W/f2 (ワット毎平方フィート)
- W/cm2 (ワット毎平方センチメートル)
- W/mm2 (ワット毎平方ミリメートル)
- mW/m2 (ミリワット毎平方メートル)
- mW/cm2 (ミリワット毎平方センチメートル)
- mW/mm2 (ミリワット毎平方ミリメートル)
- kW/m2 (キロワット毎平方メートル)
- kW/cm2 (キロワット毎平方センチメートル)
- kW/mm2 (キロワット毎平方ミリメートル)
- MW/m2 (メガワット毎平方メートル)
- MW/cm2 (メガワット毎平方センチメートル)
- MW/mm2 (メガワット毎平方ミリメートル)
- lux (ルクス)

最大 / 最小の設定

最大 / 最小の値は、プロットスケールの閾値を提供します。最大値を設定した場合、放射照度プロットで使用される最大値として使用されます。最大値を超える値は、最大値で表示されます。最小値も同様に機能します。対数スケールが設定されている場合、最小値は無効になります。

表示オプション

表示オプションは、プロット出力を制御します。

「スムージング」:

スムージングボックスにチェックが入っている場合、放射照度分布は次の形式のガウススムージングカーネルを使用してスムージングされます。

$$K(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)}, \qquad (6.1)$$

ここで、σ はガウス関数のウエスト半径であり、マップの幅をピクセル数で割った値として求められます。例えば、デフォルト値の 50 は、カーネルのウエスト半径がマップの幅の 1/50 であることを意味します。スムージングは、このカーネルと放射照度分布を畳み込むことによっ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

て行われます。

より詳細な説明 :

ここで、σ（シグマ）はガウス関数のウエスト半径で , マップの幅をピクセル数で割った値として求められます。例えば、デフォルト値が 50 の場合、カーネルのウエスト半径はマップの幅の 1/50 であることを意味します。スムージングは、このカーネルと放射照度分布を畳み込むことによって行われます。
この文章は、画像処理や信号処理におけるガウススムージング（ガウシアンフィルタ）について説明しています。σはガウス関数の広がり具合を決定する重要なパラメータであり、ここではマップの解像度（ピクセル数）と関連付けられています。

$$E_{smooth}(x,y) = \iint E(x',y')K(x-x',y-y')dx'dy' \qquad (6.2)$$

畳み込みは、フーリエ変換を行い、フィルタを適用し、逆フーリエ変換を行うことで実行されます。

等高線プロット

等高線プロットを選択すると、照度（放射照度）の地形図が作成されます。等高線プロットを選択すると、常にスムージングがオンになります。等高線の数と等高線レベルについては、以下の「等高線レベル」セクションで説明します。

ローカル座標

プロットの角には、選択されたサーフェスの座標データがラベル付けされます。デフォルトでは、角はグローバルな X、Y、Z ポイントでラベル付けされます。この項目をチェックすると、角がローカルな X、Y 座標で表示されます。

グラデーション表示

このボックスをチェックすると、離散的な等高線の代わりに、色の連続的なグラデーションが表示されます。

フートキャンドルに変換

プロットされた値をフートキャンドルにスケールします。

対数スケール

このボックスをチェックすると、照度（放射照度）が対数スケールで表示されます。これは、非常に低い照度（放射照度）値の詳細を確認する必要がある場合に特に役立ちます。たとえば、迷光解析結果などで必要になる場合があります。

対数スケールとスムージングを同時にチェックし、マップカウントに大きな数（40 より大きい）を選択すると、パターン内の鋭いピークを囲む十字型のパターンとして、照度マップの表示にアーティファクトが表示されることがあります。これはエイリアシングの結果であり、無視する必要があります。

レリーフプロット

このオプションは、OpenGL を使用して 3D レリーフプロットを生成します。6.13 ページの図 6.7 を参照してください。

プロファイル

このボックスをチェックすると、照度 / 照度の断面プロットが表示されます。「適用」を押すと、プロファイルを含む追加のプロットが表示されます。プロファイルオプションの検査軸を変更するには、照度 / 照度マップ内の別のポイントをクリックします。このポイントに新しい水平軸と垂直軸が設定され、ウィンドウのプロファイル領域に表示されます。各プロファイルは、マウスで選択したポイントを通過します。新しいポイントを選択するたびに、表示が更新されます。照度 / 照度マップの外側（ただし、照度 / 照度マップウィンドウの内側）のポイントをクリックすると、プロファイルが空白になります。プロファイルを完全に削除するには、プロファイルチェックボックスをオフにして「適用」を押します。6.13 ページの図 6.6 を参照してください。

プロファイルプロットの垂直軸は、照度 / 照度スケールに対応します。水平軸は、プロットされた領域の線形サイズに対応し、プロットの左側は水平カーソルラインの左側の位置を示し、下側の位置は垂直カーソルラインの底部の位置を示します。表示された 2 つのカーソルラインに対して 2 つのプロファイルプロットが描画されます。

ピクセル数

ピクセル数の値は、照度マップの表示解像度を決定します。この値は、水平方向と垂直方向の両方の照度マップのピクセル数です。TracePro は、正方形の照度マップと正方形のピクセルを表示します。スムージングが有効になっている場合、ピクセル数の値は、データに適用されるスムージングの程度を制御するために使用されます。

FFT グリッド

スムージングのためのデータグリッドのサイズを設定します。スムージングは、2 のべき乗のグリッドサイズを必要とする高速フーリエ変換（FFT）を使用します。この値は、スムージングがオンの状態でテキストファイルとして保存される照度マップのピクセル数を設定するためにも使用されます。

対称性

このオプションを使用すると、照度または照度マップの既知の対称性を利用できます。より少ない光線数からより滑らかな分布を得ることができます。5 つの対称性選択肢があります。

- **なし** - これは、対称性が適用されないデフォルトです。
- **左右** - マップの左右半分に対称性が適用されます。
- **上下** - マップの上半分と下半分に対称性が適用されます。
- **象限** - これは、左右対称と上下対称の組み合わせです。
- **回転** - マップの中心に垂直な軸を中心に対称性が適用されます。

対称性の選択は慎重に使用する必要があります。TracePro は、モデルに対称性がない場合でも、照度 / 照度マップに対称性を強制します。ユーザーは、このオプションを通じて、プロットされているデータが実際に選択された対称性を持っていることを TracePro に伝えます。このオプションは慎重に使用し、中間結果の評価にのみ使用する必要があります。最終結果については、「対称性：なし」を選択し、照度または照度を正確に予測するのに十分なレイをトレースしたことを確認してください。

カラーマップ：このドロップダウンリストを使用して、グレースケールまたはいくつかの色分けされたスキームのいずれかを選択します。色の選択は、表示と等高線マップ表示の両方に影響します。

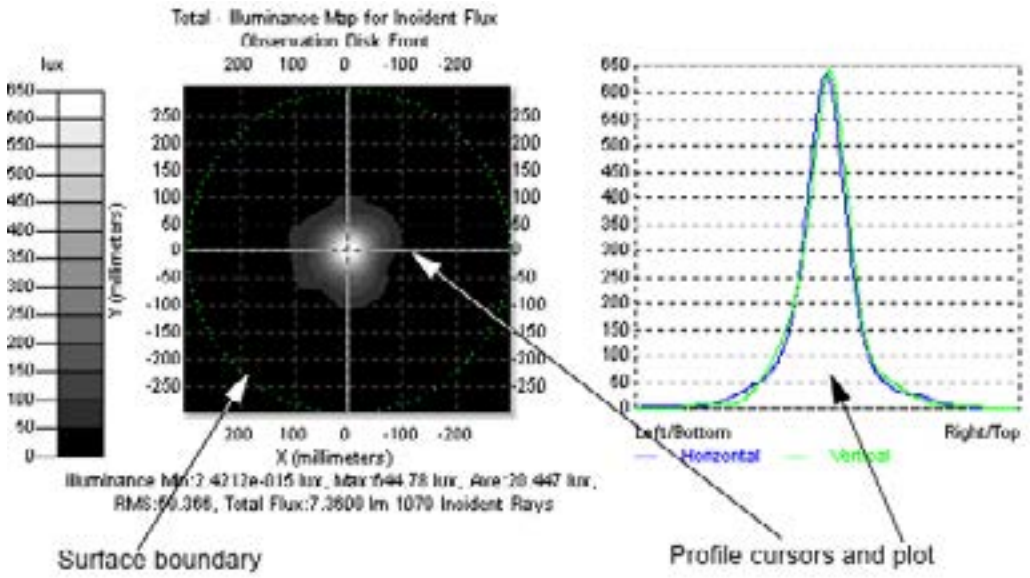


FIGURE 6.6 - Irradiance Map with Profiles for Elliptical Reflector Demo

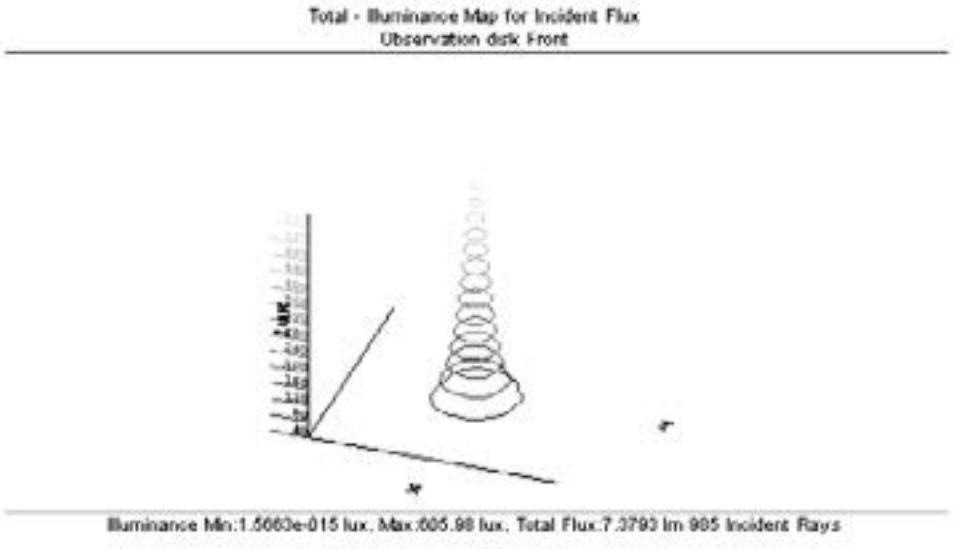


FIGURE 6.7 - Irradiance Map contours on Relief Plot for Elliptical Reflector demo.

等高線レベル

これは等高線プロットにおける等高線の表示方法を制御します。

自動レベル

「自動レベル」チェックボックスは、コンタープロットの等高線レベルを制御します。

「自動レベル」チェックボックスがオンの場合、TracePro は強度値の表示を、ダイアログボックスの「レベル」部分の「数」入力で定義されたレベル数に均等に分割します。「適用」ボタンを選択して、ダイアログボックスからの新しい値でレベルを更新します。凡例も更新されます。

「自動レベル」がオフの場合、TracePro はダイアログボックスの「レベル」セクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックス内外の数値を移動することで、レベルをカスタマイズできます。「選択」ボックスからリストに数値を移動するには「>」ボタンを押し、リストから削除するには「<」キーを押します。

希望するコンター数に対して「自動レベル」を使用すると、TracePro はプロットされたフラッ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

クスまたはカンデラ範囲にわたって数値を等間隔に配置します。

選択

「自動レベル」ボックスがオフの場合、TracePro はダイアログボックスの「レベル」セクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックス内外の数値を移動することで、レベルをカスタマイズできます。値を入力して「-->」ボタンを押すことで「選択」ボックスからリストに数値を移動し、リストから値を選択して「<--」キーを押すことでリストから削除できます。

希望するコンター数に対して「自動レベル」を使用すると、TracePro はプロットされた範囲にわたって値の数を等間隔に配置します。その後、このリストに値を追加または削除できます。

数

「コンタープロット」ボックスがオンの場合、これはコンタープロットに表示されるコンターレベルの数を制御します。

最大値のパーセントの使用

オプションを使用すると、最大プロット値のパーセント（0.0 ～ 1.0）を入力できます。TracePro は、入力された各値のレベルを計算して設定します。トゥルーカラーオプション

トゥルーカラーオプション

「プロットする量」が「トゥルーカラー」に設定されている場合、「コンターレベル」ボックスは「トゥルーカラーオプション」に変わります。これにより、図 6.8 に示すように、輝度とコントラストを 0 から 1 のスケールで、ガンマを 0 から 3 のスケールで設定できます。

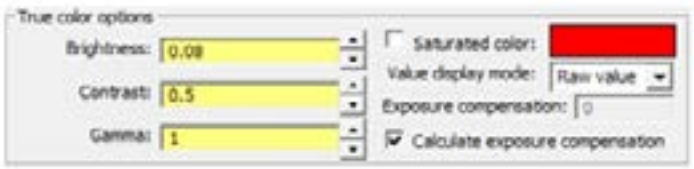


FIGURE 6.8 - *True color options* **settings appear in place of** *Contour Levels* **when** *Quantities to plot* **is set to** *True color.*

飽和色

飽和色をオンまたはオフにすることができます。RGB 値は 0 ～ 255 の範囲です。飽和色は、RGB 値のいずれかが 255 であるピクセルを示します。飽和ピクセルの色は、カラーバーをクリックして変更できます。

値モード

値モードには、「生の値」と「整数」の 2 つのオプションがあります。この設定は、マウスカーソルをマップまたはレンダリング上に移動したときにステータスバーに表示される値を制御します。「生の値」は、True Color 画像を作成するために TracePro によって計算された浮動小数点 RGB 値をステータスバーに表示します。「整数」を選択すると、画像で使用される実際の整数値（0 ～ 255 RGB）が表示されます。

正規化

正規化先が「露出値」に設定され、「露出補正を計算」ボックスがオンになっている場合、飽和した白の露出補正値が自動的に計算されます。「露出補正を計算」ボックスがオンになっていない場合は、露出補正値を手動で入力できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

法線ベクトルと Up ベクトルを自動的に計算する

法線ベクトルと Up ベクトルは、放射照度マップの向きを指定します。放射照度マップウィンドウを開くと、TracePro はこれらのベクトルを使用してマップの向きを決定します。選択したサーフェスによっては、これらのベクトルが適切な方向ではない場合があります。ベクトルを再入力するか、「法線ベクトルと Up ベクトルを自動的に計算する」ボックスをオンにすることができます。このボックスをオンにして「適用」を押すと、TracePro は適切な投影面を選択しようとします。サーフェスが奇妙な形をしている、または平面に適切に投影されない場合は、法線ベクトルと Up ベクトルを手動で編集する必要がある場合があります。「法線ベクトルと Up ベクトル」については、5.14 ページを参照してください。

法線ベクトル

法線ベクトルは、放射照度マップの投影面の向きを決定するために使用される 3D 空間のベクトルです。平面は法線ベクトルに垂直になるように定義され、選択されたサーフェスに入射する放射照度はこの平面に投影されます。マップが表示されると、法線ベクトルはユーザーから離れる方向を指します。

Up ベクトル

Up ベクトルは、放射照度マップの投影面の向きを決定するために使用される 3D 空間のベクトルです。平面は、Up ベクトルが平面の垂直な辺と平行になるように定義されます。選択されたサーフェスに入射する放射照度はこの平面に投影されます。マップが表示されると、Up ベクトルは画面の上部を指します。

デフォルトを設定

オプションは、モデルが OML ファイルにディスクに保存されるときに保存されます。データが変更された後、「デフォルトを設定」ボタンを押すと、データが TracePro デフォルトファイルに保存され、次回 TracePro が開かれたときに使用されます。「ユーザーデフォルト」については、1.11 ページを参照してください。

放射照度データへのアクセス

放射照度計算の結果は、TracePro からスプレッドシートやワープロなどの別のソフトウェアパッケージにエクスポートできます。放射照度マップウィンドウをアクティブウィンドウにして、TracePro で**「編集 | コピー」**を選択します。他のソフトウェアプログラム（たとえば、Microsoft Excel）に移動し、**「編集 | 貼り付け」**を選択します。表形式のデータが Windows クリップボードによって他のプログラムに転送されます。データは、スプレッドシートプログラムへの転送を支援するためにタブ区切りされています。プロットは、**「編集 | ビットマップをコピー」**メニューを使用してビットマップとしてコピーすることもできます。

基になるデータをテキストファイルに保存できます。まず、目的のウィンドウを選択してアクティブウィンドウにします。次に、TracePro メニューから**「ファイル | 名前を付けて保存」**を選択します。「名前を付けて保存」ダイアログボックスが表示され、デフォルトの拡張子 txt でファイルを保存できます。ファイルは、スプレッドシートプログラムへのインポートに適したタブ区切り形式で保存されます。プロットは、「ファイル | 名前を付けて保存」ダイアログボックスの「ファイルの種類」リストから **bmp** タイプを選択して、Windows ビットマップファイルとして保存することもできます。

エンスクエアードフラックス

TracePro には、放射照度マップの矩形領域を選択し、内接フラックスを表示し、選択した領域に含まれる光線を表示する機能が含まれています。領域を選択する前に、「選択された光線を表示」を選択する必要があります。マップ内の領域を選択するには、SHIFT キーを押しながら、放射照度マップを左クリックしてドラッグし、「内接」領域を選択します。

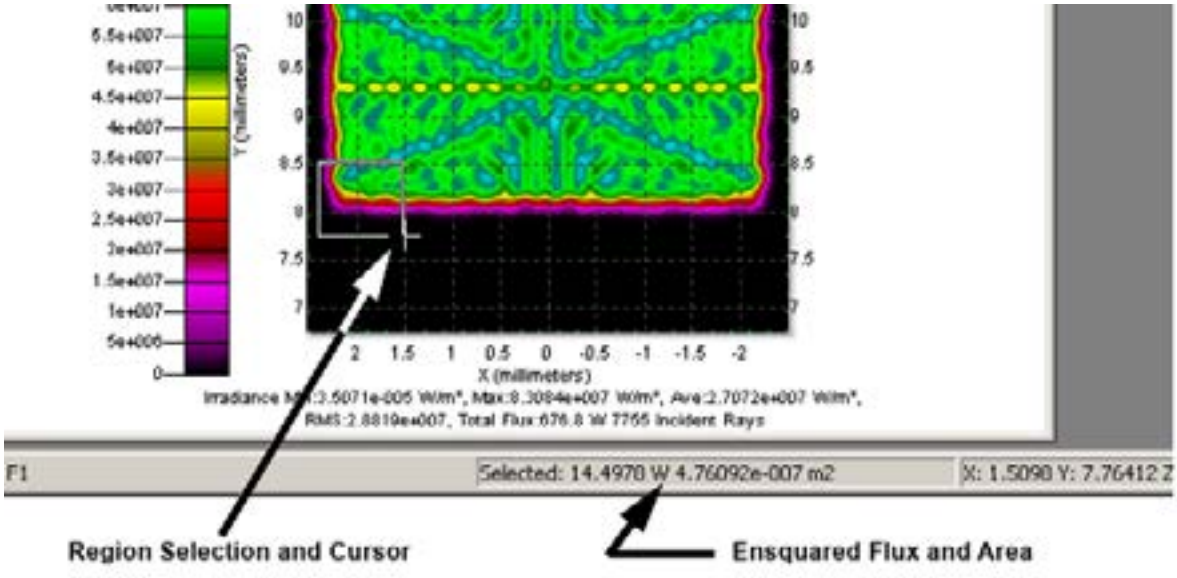


FIGURE 6.9 - Irradiance Region and Ensquared Flux

フラックスと面積は、TracePro メインウィンドウのステータスバーに表示されます。

選択された光線を表示

「選択した光線を表示」機能を有効にするには、「解析結果」メニューから「選択した光線を表示」にチェックを入れてください。照度マップとモデルウィンドウを同時に表示すると、選択した範囲内の光線を確認できます。」「光線の表示は、選択操作の後に更新されます。」

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

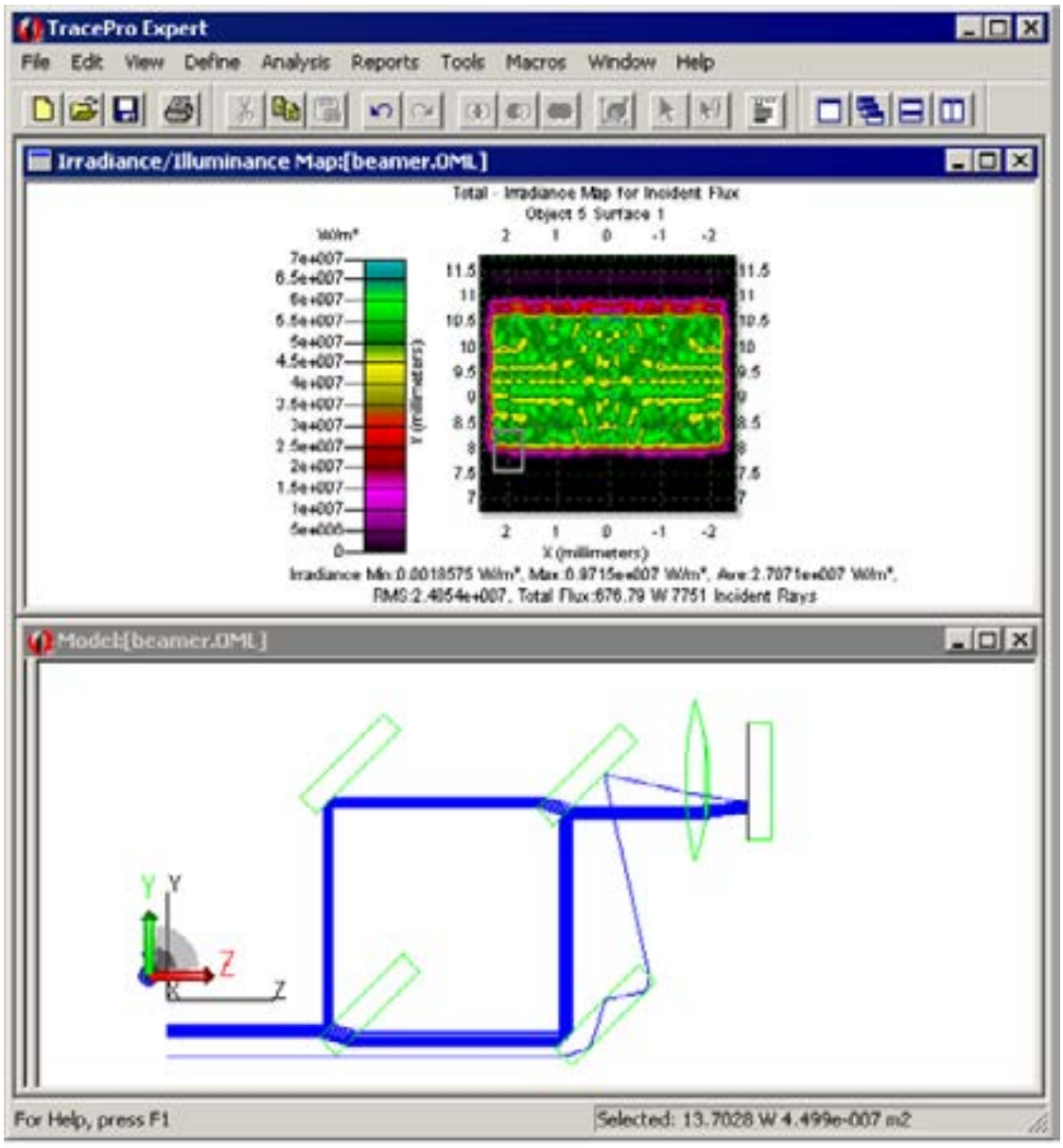


FIGURE 6.10 - Rays displayed for a selected Irradiance Map region.

光線選択ダイアログ

「光線選択ダイアログ」では、選択された領域を手動で入力することもできます。ダイアログを開くには、**解析結果 | 光線選択 ...** を選択します。新しい領域の角を入力し、設定ボタンを押して選択を更新し、新しいフラックスと面積を表示します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 6.11 - Select Rays Dialog.

輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップ

5.38 ページの「輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）光線追跡」で説明されているように輝度マップがトレースされた後、マップは輝度ダイアログから表示されます。プロットを右クリックするか、TracePro のメインメニューから**「解析結果 | 輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップオプション」**を選択し、ダイアログボックスでマップの名前を選択することで、表示設定を変更できます。オプションダイアログを図 6.12 に示します。

FIGURE 6.12 - Luminance Map Options dialog.

カラースキーム

「トゥルーカラー」のカラー配色を選択すると、モデル内で追跡された波長に基づいたトゥルーカラーまたはフォトリアリスティックなレンダリングが得られます。追跡する波長が多いほど、レンダリングはより正確になります。1 つの波長のみを追跡すると、レンダリングはその波長に対応する色で照らされて表示されます。トゥルーカラーマップには、輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）の単位は表示されません。

他のカラー配色を選択した場合、マップの色はカラー配色で指定されたとおりになり、色は輝度または放射輝度の値に対応します。

単位

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マウスをマップ上で移動すると、マウスカーソルの位置にある輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）の値がステータスバーに表示されます。

「単位」ドロップダウンメニューでは、輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップの測定単位を設定します。単位オプションは次のとおりです。

- W/m2-sr
- W/cm2-sr
- W/mm2-sr
- mW/m2-sr
- mW/cm2-sr
- mW/mm2-sr
- kW/m2-sr
- kW/cm2-sr
- kW/mm2-sr
- MW/m2-sr
- MW/cm2-sr
- MW/mm2-sr
- cd/m2(nit)

例となるプロットを図 6.14 に示します。この例は、特に「自動重要度サンプリング」の有用性について、9.65 ページの「輝度（ルミナンス）/ 放射輝度（ラジアンス）マップの使用例」でさらに詳しく説明されています。

トゥルーカラーオプション

カラー配色が「トゥルーカラー」に設定されている場合、図 6.13 に示すように、他の設定の下にトゥルーカラーオプションが表示されます。ここでは、輝度、コントラスト、ガンマを、輝度とコントラストの場合は 0 から 1 までの値、ガンマの場合は 0 から 3 までの値を使用して制御できます。

FIGURE 6.13 - Luminance Map Options dialog with *Color scheme* set to *True color*.

正規化（Normalize to）: 3 つのオプションがあります。なし（None）、最高色（Highest Color）、露出レベル（Exposure Level）です。最高色を選択すると、プロットに表示される色の値が正規化されます。露出レベルを選択すると、プロットが単色であっても、飽和した白色が表示されるように正規化されます。例えば、緑色の光の場合、飽和値は（0,255,0）になります。

飽和色（Saturated Color）: 飽和色のオン / オフを切り替えることができます。RGB 値は 0 から 255 の範囲です。飽和色は、RGB 値のいずれかが 255 であるピクセルを表示します。色バーをクリックすると、飽和ピクセルの色を変更できます。

値モード（Value mode）: 生の値（Raw value）と整数（Integer）の 2 つのオプションがあります。この設定は、マップまたはレンダリング上でマウスカーソルを移動したときにステータスバーに表示される値を制御します。生の値は、True Color 画像を生成するために TracePro によって計算された浮動小数点 RGB 値をステータスバーに表示します。整数を選択すると、画像で使用される実際の整数値（0-255 RGB）が表示されます。

正規化（Normalize to）が露出値（Exposure value）に設定され、露出補正の計算（Calculate exposure compensation）ボックスがチェックされている場合、飽和白色の露出補正値が自動的に計算されます。露出補正を計算（Calculate exposure compensation）ボックスがチェックされていない場合、露出補正値を手動で入力できます。

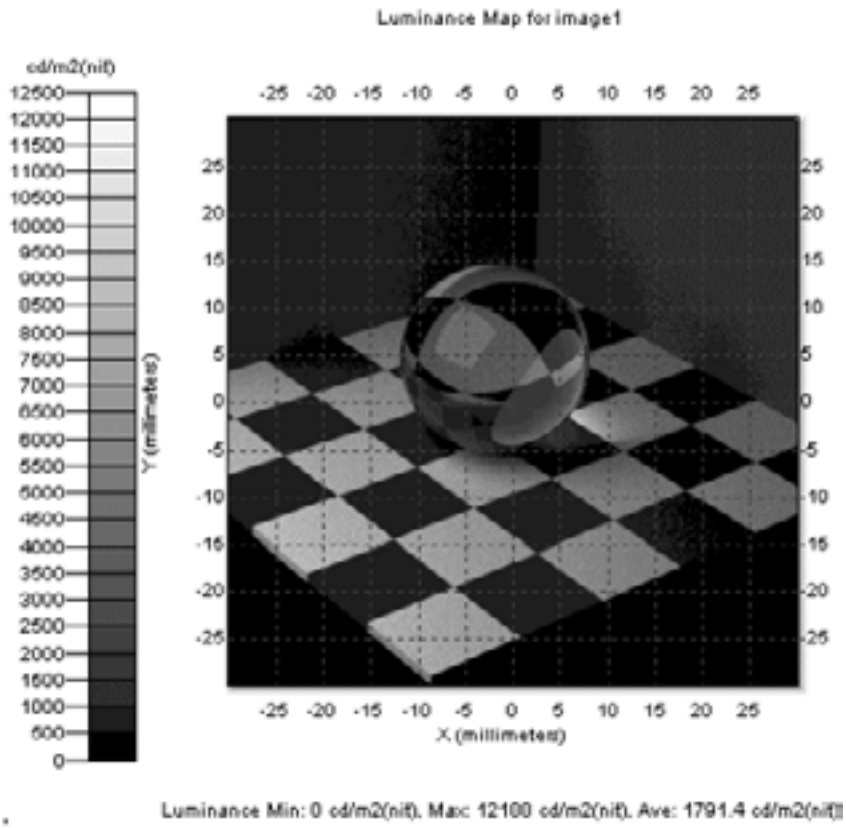


FIGURE 6.14 - Luminance plot in Grayscale.

3D イラジアンス / イルミナンス

3D イラジアンス / イルミナンスマップは、選択されたサーフェスや物体に入射または吸収される放射照度 / 照度を可視化します。色の凡例は、サーフェス上の放射照度を示しており、選択された各物体とサーフェスが画面に表示されます。

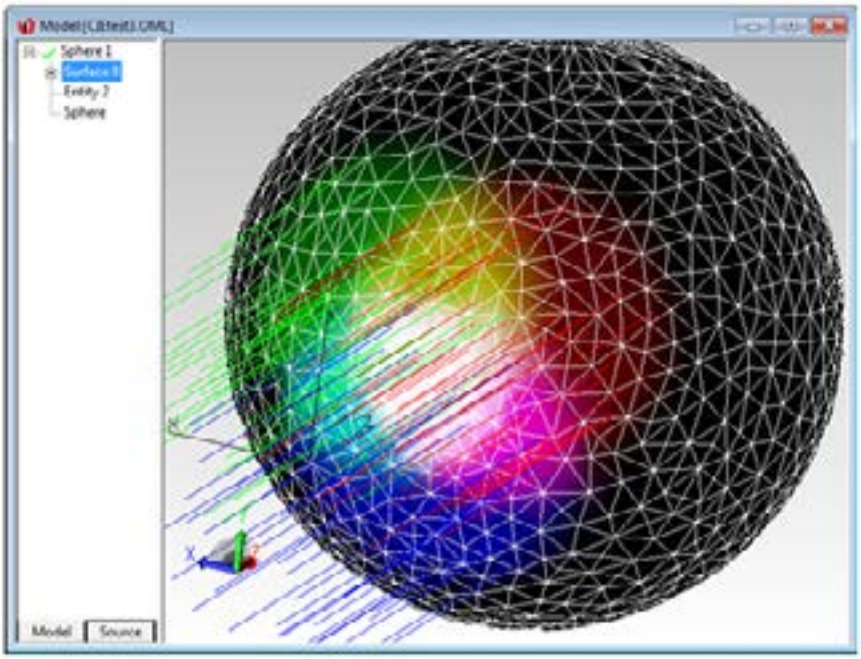


FIGURE 6.15 - 3D Irradiance/Illuminance displayed in Model Window on the surface of a sphere, with True Color option and edges of triangular pixels drawn.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

3D イラジアンス / イルミナンスオプション

「3D イラジアンス / イルミナンスオプション」ダイアログボックスは、「解析結果」メニューから、または 3D イラジアンス / イルミナンスがオンになっているときにモデルウィンドウを右クリックすることでアクセスできます。このオプションダイアログでは、放射照度 / 照度表示を制御するための次のパラメータが提供されます。

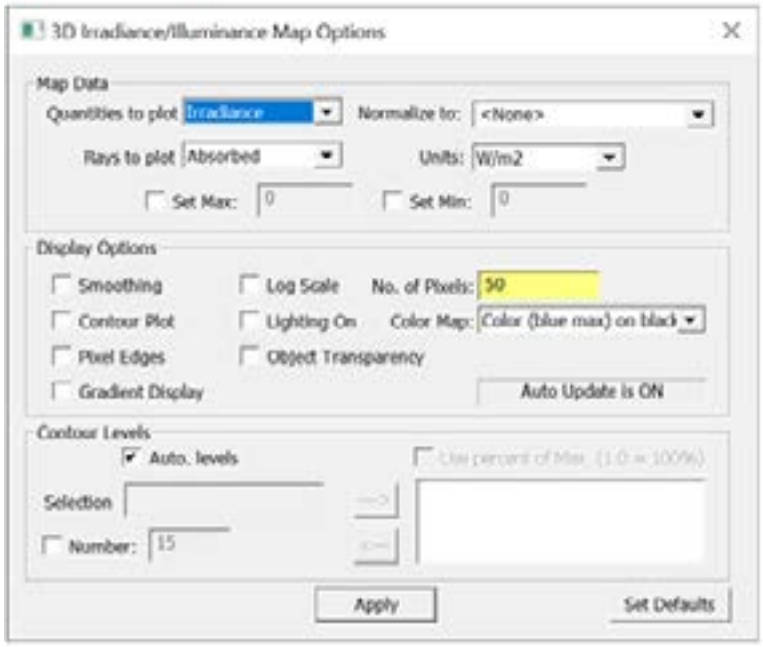


FIGURE 6.16 - 3D Irradiance/Illuminance Options dialog box

マップデータ

マップデータは、プロットに表示される量を定義します。

プロットする量

表示するマップの種類を選択します。以下のオプションがあります。

- 放射照度 / 照度 : サーフェスに入射または吸収される放射の単位面積あたりのフラックスのプロット。
- CIE (x, y): CIE xy 座標での色のプロット。
- CIE (u', v'): CIE u'v' 座標での色のプロット。

トゥルーカラー : CIE xy または u'v' プロットを表示する場合、サーフェスに入射する光の色が最大輝度で表示されます。

プロットする光線

吸収された光線、入射光線、出射光線、またはオブジェクトから出射する光線のマップを観察できます。入射放射照度マップは、選択されたサーフェスが同じ光線によって複数回ヒットする場合、誤解を招く可能性があります。たとえば、2 つの無限平行ミラー間のサーフェスでは、光線がフラックス閾値または遮断閾値を下回るまで同じ光線がサーフェスと交差し、光線の開始フラックスよりもはるかに大きい入射フラックスを生成します。出射光線放射照度マップも、同じ理由で誤解を招く可能性があります。さらに、出射光線放射照度マップをサーフェスの外観として解釈しないように注意してください。サーフェスの外観を表示するには、輝度マップ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

を使用します。オブジェクトから出射する放射照度マップは、選択されたサーフェスのオブジェクトから出射する光線の結果を示します。

正規化

選択に応じてマップデータを正規化します。選択肢は、なし、平均放射照度、ピーク放射照度です。デフォルトの選択は、正規化なし、つまり実際の放射照度（W/m2）または照度（lux）値です。「プロットする量」が「トゥルーカラー」に設定されている場合、「正規化」オプションは「なし」、「最高の色」、「露出レベル」に変わります。「最高の色」を選択すると、プロットに表示される色の値が正規化されます。「露出レベル」を選択すると、プロットが飽和した白色を表示するように正規化されます。たとえば、緑色の光の場合、飽和した値は（0、255、0）になります。

単位

単位は、3D イラジアンス / イルミナンスマップの測定単位を設定します。単位オプションは次のとおりです。

- W/m2
- fc
- W/f2
- W/cm2
- W/mm2
- mW/m2
- mW/cm2
- mW/mm2
- kW/m2
- kW/cm2
- kW/mm2
- MW/m2
- MW/cm2
- MW/mm2
- lux

最大 / 最小の設定

最大 / 最小値は、プロットスケールの閾値を提供します。最大値が設定されている場合、放射照度 / 照度プロットで使用される最大値として使用されます。最大値を超える値は、最大値で表示されます。最小値も同様に機能します。対数スケールが設定されている場合、最小値は無効になります。

表示オプション

表示オプションは、プロット出力を制御します。

スムージング：

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

スムージングボックスがチェックされている場合、放射照度分布がスムージングされます。

等高線プロット :

等高線プロットを選択すると、放射照度 / 照度の地形図が作成されます。等高線プロットを選択すると、常にスムージングがオンになります。等高線数と等高線レベルについては、以下の等高線レベルのセクションで説明します。

ピクセルエッジ :

三角形ピクセルのエッジが表示され、サーフェスを視覚化するのに役立ちます。

グラデーション表示 :

このボックスをチェックすると、離散的な等高線ではなく、色の連続的なグラデーションが表示されます。

対数スケール :

このボックスをチェックすると、放射照度が対数スケールで表示されます。これは、非常に低い放射照度の詳細を確認する必要がある場合に特に役立ちます。たとえば、迷光解析結果で必要になる場合があります。

照明オン :

周囲光をオンにして、放射照度 / 照度が表示されるサーフェスの形状を視覚化するのに役立ちます。

ピクセル数 :

ピクセル数は、放射照度マップの表示解像度を決定します。この値は、三角形ピクセルの最大エッジ長を計算するために使用されます。最大エッジ長は、選択されたサーフェスを囲む最大のボックスの対角線をピクセル数で割った値に設定されます。サーフェスの境界の形状またはサーフェスの局所的な曲率により、より小さいエッジ長が必要になる場合があるため、一部のピクセルはより小さくなる場合があります。

カラーマップ :

このドロップダウンリストを使用して、グレースケールまたはいくつかの色分けされたスキームのいずれかを選択します。色の選択は、表示と等高線マップ表示の両方に影響します。

等高線レベル

これは、等高線プロットの等高線の表示方法を制御します。

自動レベル :

自動レベルチェックボックスは、等高線プロットの等高線レベルを制御します。自動レベルチェックボックスがチェックされている場合、TracePro は強度値の表示をダイアログボックスのレベル部分の数値エントリで定義されたレベル数に均等に分割します。「適用」ボタンを選択して、ダイアログボックスからの新しい値でレベルを更新します。凡例も更新されます。

自動レベルがチェックされていない場合、TracePro はダイアログボックスのレベルセクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックス間で数値を移動してレベルをカスタマイズできます。値を入力して「-->」ボタンを押して選択ボックスからリストに数値を移動し、リストから値を選択して「<--」ボタンを押して（リストから削除します）。

目的の等高線数に自動レベルを使用でき、TracePro はプロットされたフラックスまたはカンデ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ラ範囲で数値を均等に間隔を空けます。

選択 :

自動レベルボックスがチェックされていない場合、TracePro はダイアログボックスのレベルセクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックス間で数値を移動してレベルをカスタマイズできます。値を入力して「-->」ボタンを押して選択ボックスからリストに数値を移動し、リストから値を選択して「<--」ボタンを押して（リストから削除します）。目的の等高線数に自動レベルを使用でき、TracePro はプロットされた範囲で値の数を均等に間隔を空けます。次に、このリストから値を追加または削除できます。

数 :

等高線プロットボックスがチェックされている場合、これは等高線プロットに表示される等高線レベルの数を制御します。

最大値のパーセントを使用 :

このオプションを使用すると、最大プロット値のパーセント（0.0 ～ 1.0）を入力できます。TracePro は、入力された各値のレベルを計算して設定します。

トゥルーカラーオプション

「プロットする量」が「トゥルーカラー」に設定されている場合、等高線レベルボックスがトゥルーカラーオプションに変わります。これにより、図 6.17 に示すように、輝度とコントラストを 0 から 1 のスケールで、ガンマを 0 から 3 のスケールで設定できます。

FIGURE 6.17 - *True color options* **settings appear in place of** *Contour Levels* **when** *Quantities to plot* **is set to** *True color.*

飽和色の設定

「飽和色」では、飽和色のオン / オフを切り替えることができます。RGB 値は 0 ～ 255 の範囲で設定可能です。「飽和色」をオンにすると、いずれかの RGB 値が 255 であるピクセルが表示されます。飽和ピクセルの色は、カラーバーをクリックして変更できます。

値モード

「値モード」には、「生の値」と「整数」の 2 つのオプションがあります。この設定は、マップまたはレンダリング上でマウスカーソルを移動したときにステータスバーに表示される値を制御します。「生の値」を選択すると、TracePro がトゥルーカラー画像を生成するために計算した浮動小数点 RGB 値がステータスバーに表示されます。「整数」を選択すると、画像で使用されている実際の整数値（0 ～ 255 RGB）が表示されます。

正規化先:」が「露出値」に設定され、「露出補正を計算」ボックスがチェックされている場合、飽和した白色の露出補正値が自動的に計算されます。「露出補正を計算」ボックスがチェックされていない場合は、露出補正値を手動で入力できます。

適用 : プロットを更新します。

デフォルト設定 :

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

オプションは、モデルが OML ファイルとしてディスクに保存されるときに保存されます。データが変更された後、「デフォルト設定」ボタンを押すと、データが TracePro のデフォルトファイルに保存され、次回 TracePro を開いたときに使用されます。1.11 ページの「ユーザーデフォルト」を参照してください。

3D イラジアンス / イルミナンスデータの保存

基になるデータをテキストファイルに保存できます。まず、目的のウィンドウを選択してアクティブウィンドウにします。次に、TracePro メニューから「ファイル | 名前を付けて保存」を選択するか、TracePro モデルウィンドウを右クリックして「名前を付けて保存」を選択します。次に、「ファイルの種類」を「3D 放射照度ファイル（*.txt)」に変更できます。ファイルはタブ区切り形式で保存され、スプレッドシートプログラムまたは TracePro ツールメニューの 3D イラジアンス / イルミナンスビューアへのインポートに適しています。

カンデラプロット

カンデラプロットを表示するには、まず**「解析結果 | カンデラプロット」**を選択し、次に**「極座標等カンデラ」**、**「直交座標等カンデラ」**、**「極座標カンデラ分布」**、または**「直交座標カンデラ分布」**を選択します。

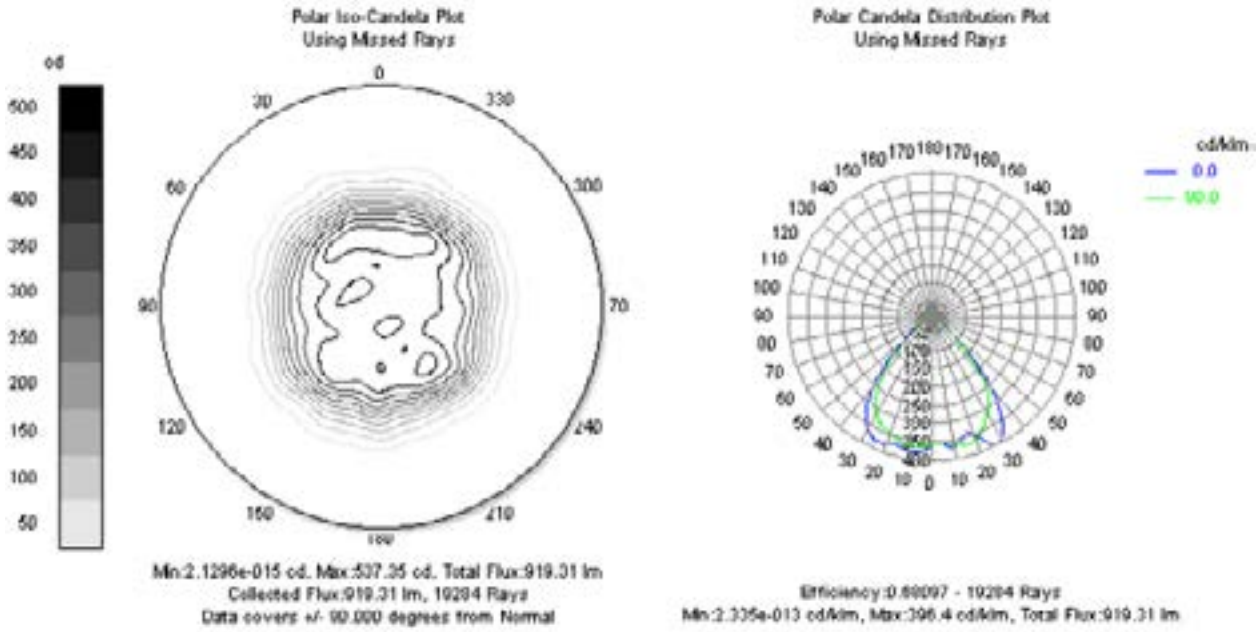


FIGURE 6.18 Polar Iso Candela Contours (left) Candela Distribution in Luminaire Format (right)

カンデラプロットとは、光度、つまり単位立体角あたりの光束のプロットです。測光単位では、光度プロットはカンデラ（ステラジアンあたりのルーメン）単位で表されます。放射単位では、強度プロットはステラジアンあたりのワット単位で表されます。カンデラプロットは、特に遠方で使用される照明システムの設計で一般的に使用されます。

カンデラデータは、オブジェクト・サーフェスと交わらない光線、サーフェスから出るレイ、サーフェスに入射する光線のレイセットから収集できます。オブジェクト・サーフェスと交わらない光線とは、モデルから「離れて」「無限遠に行く」すべての光線の集合です。出射光線とは、サーフェスでの光線の交点に続くレイセグメントの集合です。光線の分割により、各入射光線のカンデラデータに複数のレイセグメントが寄与する場合があります。出射光線とは、選択されたサーフェスと交差するレイセグメントの集合です。オブジェクト・サーフェスと交わらない光

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

線にはサーフェスの選択は不要ですが、出射光線と出射光線には必要です。

カンデラプロットは、角度に対する光束を表し、カンデラオプションダイアログボックスを使用してスムージングできます。等カンデラプロットは、疑似カラーマップまたは等高線プロットとして表示できます。分布プロットは、カンデラ分布を通る断面曲線のグラフです。

カンデラプロットの向きは、**解析結果 | カンデラオプション**ダイアログボックスで指定された法線ベクトルと Up ベクトルによって決定されます。法線ベクトルはカンデラプロットの軸を指定し、Up ベクトルは「どちらが上か」を指定します。

カンデラオプション

カンデラマップオプションは、**解析結果 | カンデラオプション**を選択するか、カンデラプロットを右クリックしてアクセスするカンデラオプションダイアログボックスで制御されます。ダイアログボックスは、タブ付きのタブに分かれています。

- 向きと光線
- 極座標等カンデラ
- 直交座標等カンデラ
- カンデラ分布

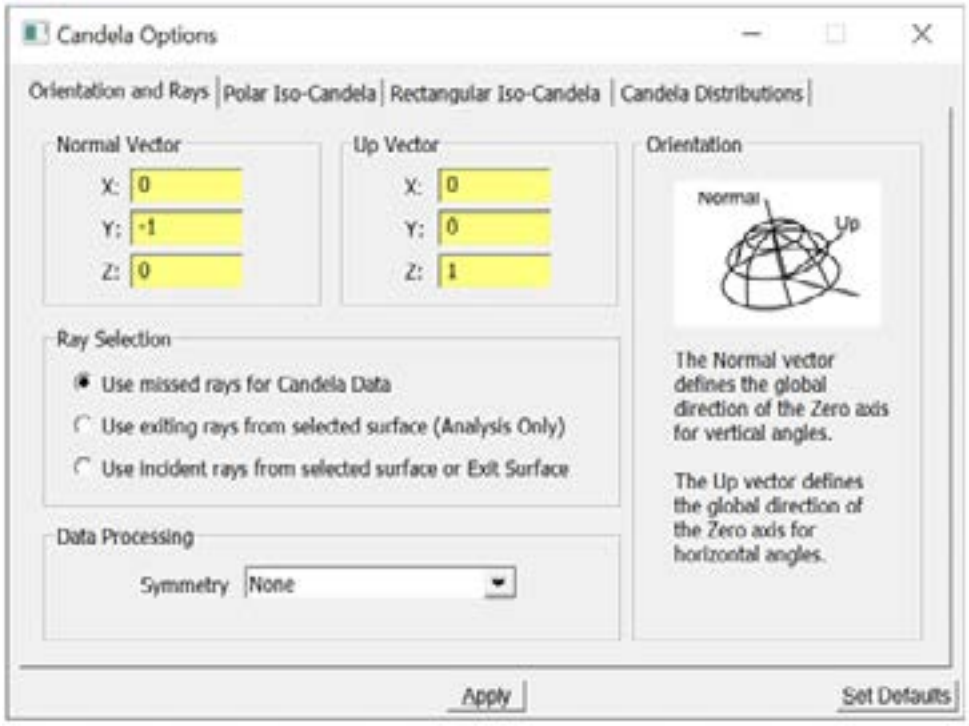


FIGURE 6.19 - Candela Options dialog with the Orientation and Rays tab displayed.

「オリエンテーションとレイオプション」セクションは、すべてのカンデラプロットで使用されます。各オプションとその機能については、以下のセクションで説明します。

デフォルトに設定

このオプションは、モデルが OML ファイルとしてディスクに保存される際に保存されます。データが変更された後、「デフォルト設定」ボタンを押すと、データは TracePro のデフォルトファイルに保存され、次回 TracePro を開いたときに使用されます。1.11 ページの「ユーザーデフォ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ルト」を参照してください。

オリエンテーションと光線

法線ベクトル

法線ベクトルは、カンデラプロットの極軸を方向付けるために使用される 3D 空間のベクトルです。カンデラ / 強度プロットの中心は、その方向に基づいています。マップ上では、法線ベクトルはユーザーから離れてカンデラプロットに向かって指しています。まるで分布の中心を指すベクトルに沿って見ているかのようで、標準は光の伝播方向に沿って見ることです。たとえば、右側（つまり +z 軸に沿って）に光を投影する照明器具を設計している場合、法線ベクトルを X=0、Y=0、Z=1 にすることが望ましいでしょう。

Up ベクトル

Up ベクトルとは、3D 空間におけるベクトルであり、カンデラプロットにおける「上」方向を定義するために使用されます。この方向は、Up ベクトルが上を指す、つまりカンデラプロットの画面上部を指すように定義されます。例えば、前の段落で説明した例のように、光を右方向（+z 軸方向）に投影する照明器具を設計している場合、法線ベクトルは X=0、Y=0、Z=1 にする必要があるでしょう。TracePro では通常 y 軸が上を指すため、この例では Up ベクトルを X=0、Y=1、Z=0 にする必要があるでしょう。もし、頭を下にした状態での光の分布を見たい場合は、Up ベクトルを X=0、Y=-1、Z=0 に設定します。

カンデラプロットの方向の例

例えば、光を右方向（+z 軸方向）に投影する照明器具を設計している場合、法線ベクトルは X=0、Y=0、Z=1 にする必要があるでしょう。TracePro では通常 y 軸が上を指すため、この例では Up ベクトルを X=0、Y=1、Z=0 にする必要があるでしょう。もし、下向きの照明器具を設計している場合は、法線ベクトルを X=0、Y=-1、Z=0 にし、Up ベクトルを X=1、Y=0、Z=0 または X=0、Y=0、Z=1 にする必要があります。図 6.20 は、この例で定義された法線ベクトルと Up ベクトルに対応する 2 つの半球を示しています。左側の図は法線が (0,0,1) であり、右側の図は法線が (0,1,0) です。法線ベクトルと Up ベクトルは、図 6.20 に表示されているグローバル原点を基準にしています。

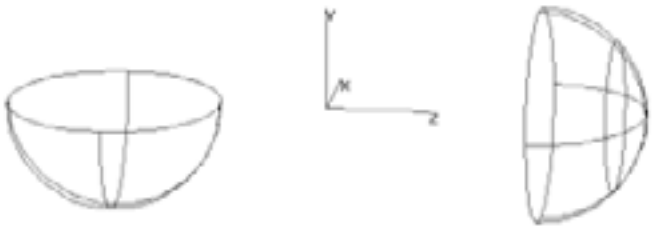


FIGURE 6.20 - Candela hemispheres for left) Normal vector (0,-1,0), Up vector (0,0,1) and right) Normal vector (0,0,1), Up vector (0,1,0)

光線の選択

光線選択では、カンデラデータとして使用する光線を選択できます。以下のいずれかを選択できます。

- ミス光線 : モデル内のすべてのオブジェクトを超えて続くすべての光線。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 選択されたサーフェスからの出射光線 (アナリシスモードのみ): 選択されたサーフェスから出る光線 (シミュレーションモードの光線追跡では利用できません)。
- 選択されたサーフェスまたは出射面からの入射光線 : 選択されたサーフェスに交差する光線。

データ処理 | 対称性

このオプションを使用すると、カンデラプロットで既知の対称性を利用できます。より少ない光線からより滑らかな分布を得ることができます。5 つの対称性選択肢があります。

- なし : これはデフォルトで、対称性は適用されません。
- 左右 : プロットの左右半分に対称性が適用されます。
- 上下 : プロットの上半分と下半分に対称性が適用されます。
- 象限 : これは左右対称と上下対称の組み合わせです。
- 回転 : プロットの中心に垂直な軸を中心に、対称性が適用されます。

対称性の選択は慎重に使用する必要があります。TracePro は、モデルに対称性がなくても、カンデラプロットに強制的に対称性を適用します。ユーザーは、このオプションを通じて、プロットされているデータが実際に選択された対称性を持っていることを TracePro に伝えます。

極座標等カンデラ

極座標等カンデラプロットは、極座標軸に球面極角を表示します。方位角方向に球面方位角を表示します。このプロットは、半球を平面にマッピングします。分布プロットは、矩形または極座標形式で曲線を表示します。

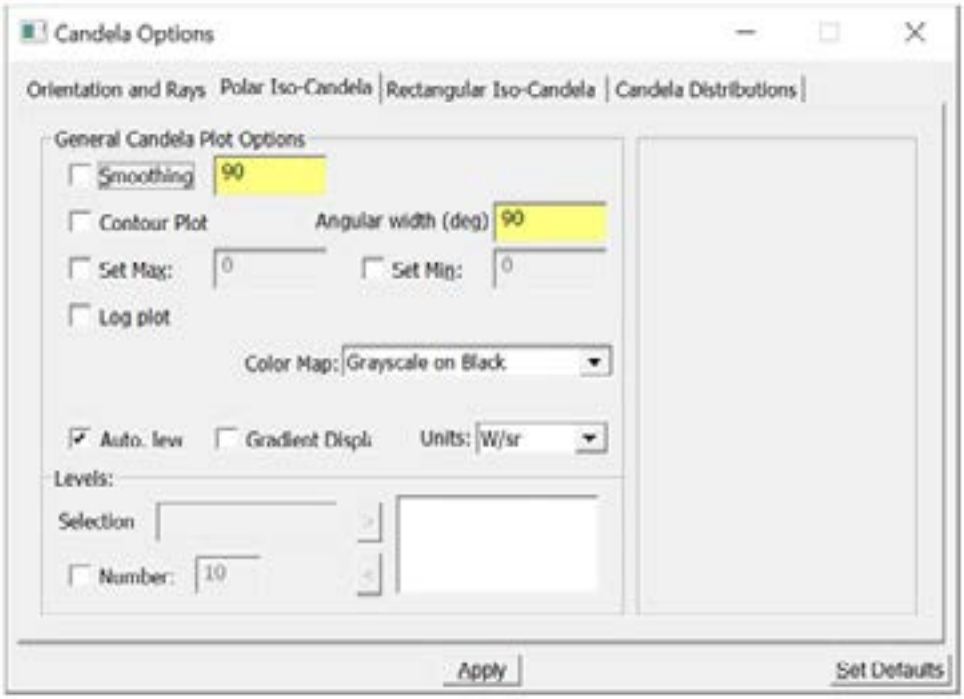


FIGURE 6.21 Candela Options dialog with the Polar Iso-Candela tab displayed.

「スムージング」: スムージングボックスにチェックが入っている場合、強度分布は以下の形式のガウススムージングカーネルを用いてスムージングされます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

$$K(\theta_x, \theta_y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(\theta_x^2+\theta_y^2)/(2\sigma^2)}. \quad (6.3)$$

ここで、σ はガウス分布のウエスト半径です。スムージングチェックボックスの右側の数値は、ウエスト半径として使用されます。例えば、20 という値は、カーネルのウエスト半径がマップの幅の 1/20 であることを意味します。スムージングは、このカーネルをカンデラまたは強度分布と畳み込むことによって行われます。

$$E_{\text{smooth}}(\theta_x, \theta_y) = \iint E(\theta_x', \theta_y') K(\theta_x - \theta_x', \theta_y - \theta_y') d\theta_x' d\theta_y'. \quad (6.4)$$

畳み込みは、フーリエ変換を行い、フィルタを適用し、逆フーリエ変換を行うことによって実行されます。

等光度コンタープロット

等光度コンター図のボックスにチェックを入れると、極等光度データがコンター図として表示されます。表示されるレベルの数は、ダイアログボックスの極座標プロットセクションのレベル部分の数値入力によって決定されます。

角度幅

極等光度プロットは、入力された角度幅の半球のサブセット上に表示されます。角度は度単位で入力されます。

最大 / 最小の設定

プロットする最大値または最小値を設定します。項目が有効になっている場合、編集ボックスに入力された値はプロットが更新されるときに使用されます。

対数プロット

このボックスにチェックを入れると、データが対数スケールで表示されます。これは、非常に低いデータ値の詳細を確認する必要がある場合に特に役立ちます。たとえば、迷光解析結果などで必要になる場合があります。

カラーマップ

このドロップダウンリストを使用して、グレースケールまたはいくつかの色分けされたスキームのいずれかを選択します。色の選択は、等光度プロットの表示とコンターマップ表示、および分布プロットの両方に影響します。

自動レベル

自動レベルチェックボックスは、極等光度プロットのコンターレベルを制御します。自動レベルボックスにチェックを入れると、TracePro は強度値の表示を、ダイアログボックスの極座標プロットセクションのレベル部分の数値入力で定義されたレベル数に均等に分割します。適用ボタンをクリックすると、プロットが新しいレベルで更新されます。

グラデーション表示

「グラデーション表示」チェックボックスは、色のレベルを個別のレベルとして定義するのではなく、互いにスムーズにブレンドさせます。

単位

「単位」は、極座標等照度曲線の測定単位を設定します。単位のオプションは次のとおりです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- W/sr (ワット毎ステラジアン)
- mW/sr (ミリワット毎ステラジアン)
- kW/sr (キロワット毎ステラジアン)
- MW/sr (メガワット毎ステラジアン)
- cd (カンデラ)
- cd/klm (カンデラ毎キロルーメン)

選択

「自動レベル」がチェックされていない場合、TracePro はダイアログボックスの「レベル」セクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックス内の数値を出し入れして、レベルをカスタマイズできます。「選択」ボックスからリストに数値を移動するには「-->」ボタンをクリックし、リストから削除するには「<--」ボタンをクリックします。必要な数の等高線に「自動レベル」を使用すると、TracePro はプロットされた光束またはカンデラ範囲に等間隔で数値を配置します。

数値

この項目は、色分けされた強度または等高線の極座標等照度曲線に表示される自動レベルの数を制御します。

テキストファイル形式

極座標等照度曲線から保存されたテキストファイルは、ヘッダー情報から始まります。例：

TracePro リリース：[メジャーリリース番号] [マイナーリリース番号] [ドットリリース番号]

[TracePro ファイルのパスとファイル名] の極座標等照度データ

データは法線から +/- 90.000 度をカバーします

見逃した光線のデータ

2012 年 6 月 15 日 09:55:10 に生成されたデータ

これに続いて、カンデラマップの生データが続きます。データ項目は、128x128 グリッドで評価されたカンデラ値または強度値（W/sr）です。実際のデータは、グリッドに重ねられた円形の領域にあります。グリッドの極は、64 行目と 65 行目、および 64 列目と 65 列目の間にあります。したがって、テーブル内の特定の項目のデータは、次のような極座標（θ）および方位角（φ）に対応します。

$$\theta_{ij} = (\theta_{max}/64)\left[\left|i-64.5\right|^2+\left(64.5-j\right)^2\right]^{1/2}$$

$$\phi_{ij} = \operatorname{atan2}(64.5-i,\ 64.5-j)$$

ここで、θ max は、Candela オプションダイアログボックスの極座標等カンデラタブ（およびファイルヘッダー）に入力されたプロットの角度幅です。

i = 列番号 (1 ～ 128、左から右)

j = 行番号 (1 ～ 128、上から下)

そして、atan2 は、atan2(y, x) を引数として受け取るアークタンジェント関数です。

矩形等照度曲線図（矩形プロット）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

は、垂直方向と水平方向の角度の関数として、光度またはカンデラ分布を示します。これは極座標の極がプロットの中心にある極座標図とは対照的です。矩形プロットでは、赤道がプロットの中心にあるため、角度は垂直方向と水平方向の角度になります。プロットには正方形の角度領域が表示されます。領域のサイズは、ダイアログボックスのこの領域で制御できます。

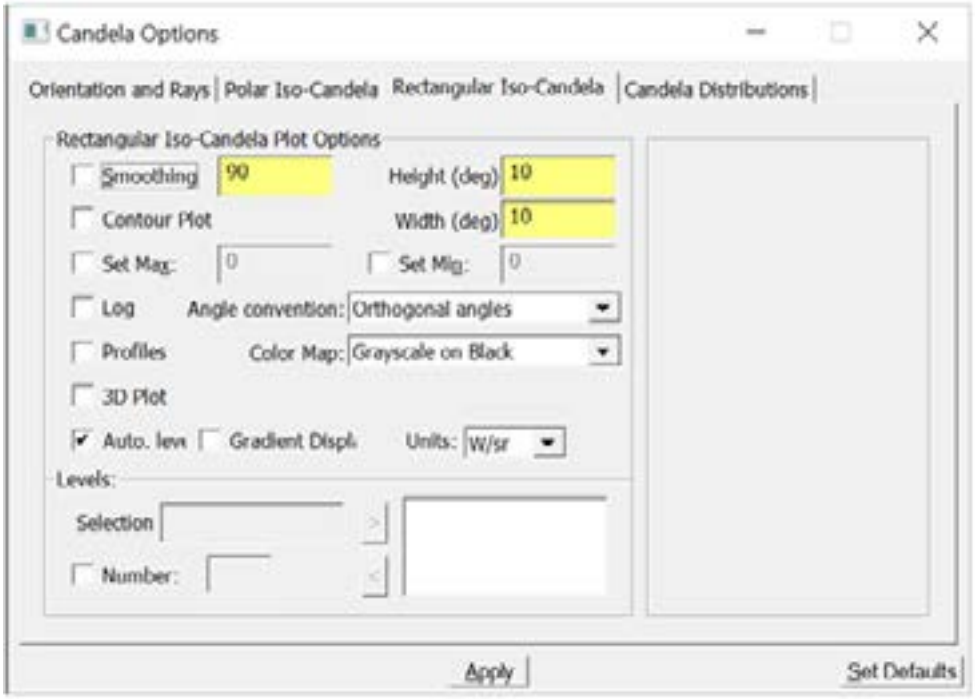


FIGURE 6.22 - Candela Options dialog with the Rectangular Iso-Candela tab displayed.

高さと幅：

これらの項目は、プロットされる角度領域のサイズを制御します。寸法は度単位です。プロットの中心は法線ベクトルの方向に沿っています。プロットの上部は Up ベクトルの方向に沿っています。

角度の規則：

角度の規則は、矩形プロットを表示するために使用される方法を定義します。直交角度を選択すると、x-z および y-z 直交平面に投影された角度データが表示されます。タイプ A およびタイプ B のゴニオメーターは、北米照明学会（IESNA）発行の照明ハンドブックに概説されている角度規則を使用します。

プロファイル：

マウスカーソルの位置に基づいてデータスライスを含む XY プロットを同じウィンドウに表示します。

3D プロット：

このオプションは、OpenGL を使用して 3D レリーフプロットを生成します。

自動レベル：

自動レベルチェックボックスは、矩形等カンデラプロットの等高線レベルを制御します。自動レベルボックスがオンになっている場合、TracePro は強度値の表示を、ダイアログボックスのレベル部分の数値項目で定義されたレベル数に均等に分割します。適用ボタンをクリックすると、プロットが新しいレベルで更新されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

グラデーション表示 :

グラデーション表示チェックボックスをオンにすると、色のレベルが個別のレベルを定義するのではなく、互いにスムーズにブレンドされます。

単位 :

単位は、矩形等カンデラプロットの測定単位を設定します。単位オプションは次のとおりです。

- W/sr
- mW/sr
- kW/sr
- MW/sr
- cd
- cd/klm

選択 :

自動レベルがオフの場合、TracePro はダイアログボックスのレベルセクションの右側にあるリストボックスで定義されたレベルを使用します。ボックスに出入りする数値を移動して、レベルをカスタマイズできます。選択ボックスからリストに数値を移動するには、--> ボタンをクリックし、リストから削除するには <-- ボタンをクリックします。目的の等高線数に自動レベルを使用でき、TracePro はプロットされたフラックスまたはカンデラ範囲にわたって数値を均等に配置します。

数 :

この項目は、色分けされた強度または等高線矩形等カンデラプロットに表示される自動レベルの数を制御します。

カンデラ分布 :

カンデラ分布プロットは、発ソースを含む球のスライスとして定義されます。スライスの数と解像度はユーザーが定義できます。

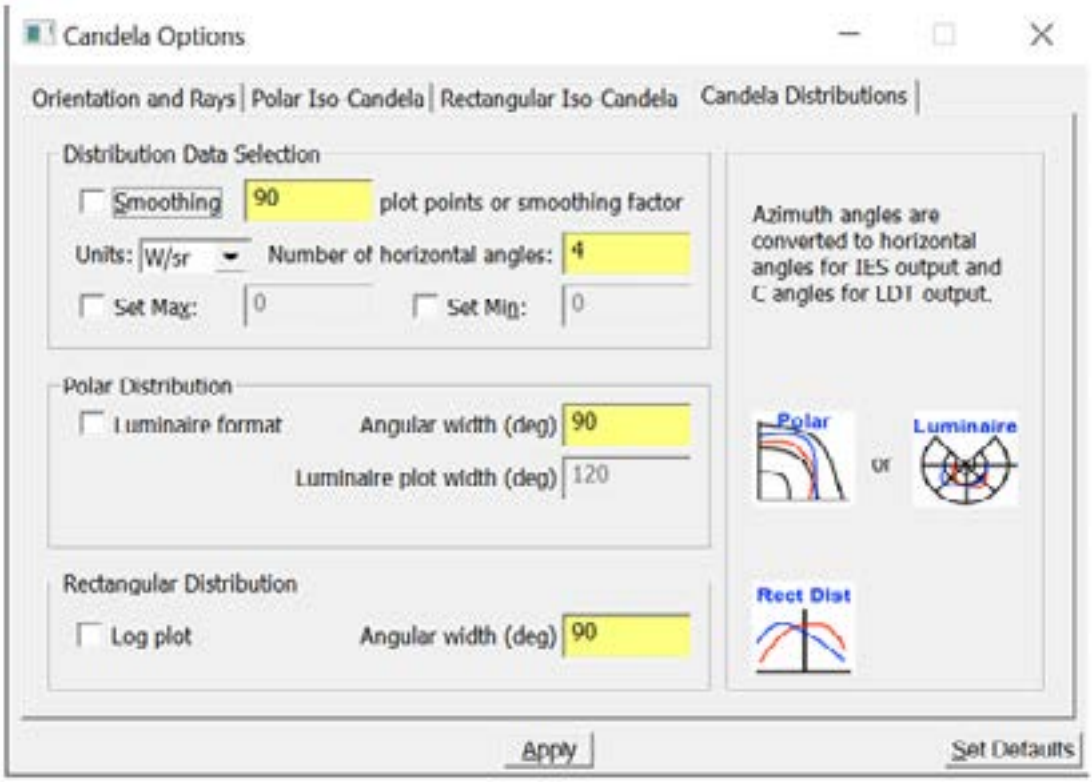


FIGURE 6.23 Candela Options dialog with the Candela Distributions tab displayed.

スムージング（スムージング）

このオプションは、データスライスに対してスムージング処理を行うかどうかを決定します。有効にすると、スムージングボックスに入力された数値がスムージング係数として使用されます。スムージングが無効の場合、この数値はプロットに表示するスライス周辺の点の数を設定します。

単位

単位は、カンデラ分布図の測定単位を設定します。単位のオプションは以下の通りです。

- W/sr (ワット毎ステラジアン)
- mW/sr (ミリワット毎ステラジアン)
- kW/sr (キロワット毎ステラジアン)
- MW/sr (メガワット毎ステラジアン)
- cd (カンデラ)
- cd/klm (キロルーメンあたりのカンデラ)

水平角度の数

プロットする水平角度の数を設定します。ここで設定された値は、IES（IESNA）形式の水平角度、および ldt（eulumdat）形式ファイルの C 角度に対応します。「IESNA および Eulumdat 形式」の 6.38 ページを参照してください。

照明器具形式

チェックを入れると、極座標カンデラ分布図の形式が、法線ベクトルが下向きの標準的な照明器具設計形式に準拠するように変更されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

角度幅

照明器具の表示角度幅を度単位で設定します。極座標分布と直交座標分布の幅は個別に設定できます。

照明器具幅

「照明器具形式」が選択されている場合の表示角度範囲を度単位で設定します。

最大 / 最小設定

プロットする最大値または最小値を設定します。この項目が有効になっている場合は、編集ボックスに入力された値がプロットの更新時に使用されます。

対数プロット

チェックを入れると、データが対数スケールで表示されます。これは、非常に低いデータ値の詳細を確認する必要がある場合に特に役立ちます。たとえば、迷光解析結果などで必要になる場合があります。

IESNA および Eulumdat 形式

データは、IESNA(ies)形式および Eulumdat(ldt)形式のテキストファイルに保存できます。「ファイル | 名前を付けて保存」または表示ウィンドウを右クリックして「名前を付けて保存 ...」を選択してデータをテキストファイルに保存する場合、ファイル形式はファイル拡張子のドロップダウンボックスで選択されます。IES 形式は、IESNA（北米照明学会）規格 LM-63-02 で規定されています。図 6.24 は、C 型測光の IESNA 形式で使用される角度に関する IESNA の規則をまとめたものです。

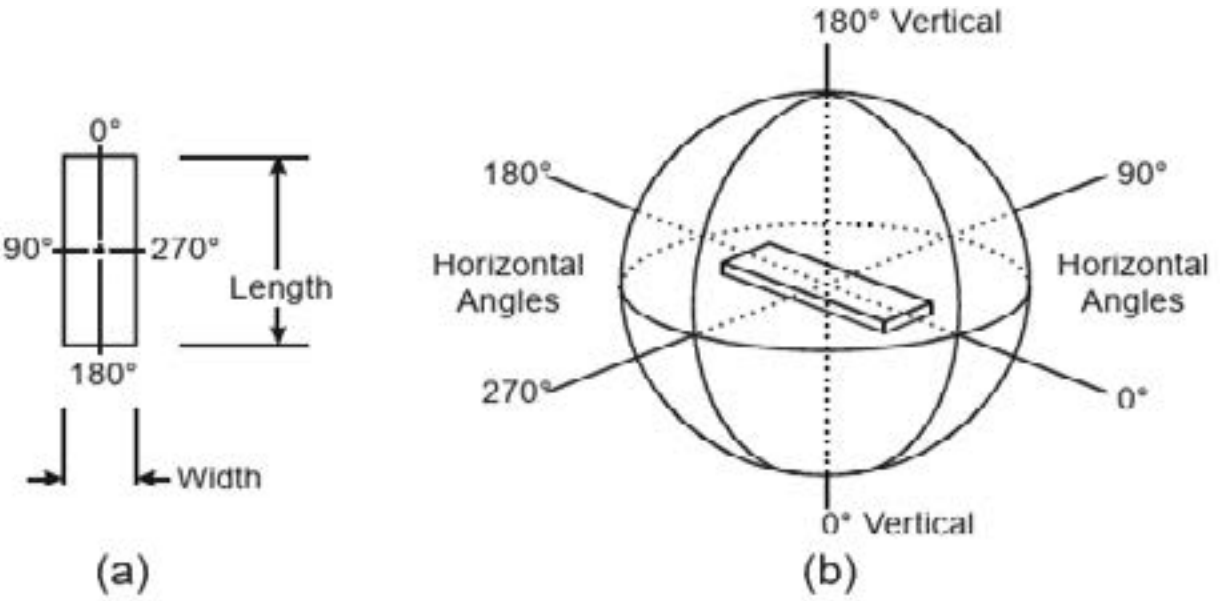


FIGURE 6.24 - Conventions for vertical and horizontal angles used in standard IESNA format for Type C photometry; (a) plan view of luminaire showing length and width in relation to horizontal angles, and (b) schematic showing vertical and horizontal angles.[1]

図 6.25 は、「名前を付けて保存」を選択したときに表示されるダイアログを示しています。ファイルの種類には、テキスト (.txt)、IESNA LM-63(.ies)、Eulumdat(.ldt)、ビットマップ (.bmp) の 4 つのオプションがあります。テキストファイルオプションはデータをテキストファイルに保存します。ビットマップオプションはプロットのビットマップスクリーンショットを保存します。IESNA および Eulumdat オプションは、データを保存するためのいくつかのオプションを提供します。以下の段落で、これらのオプションについて説明し、示します。

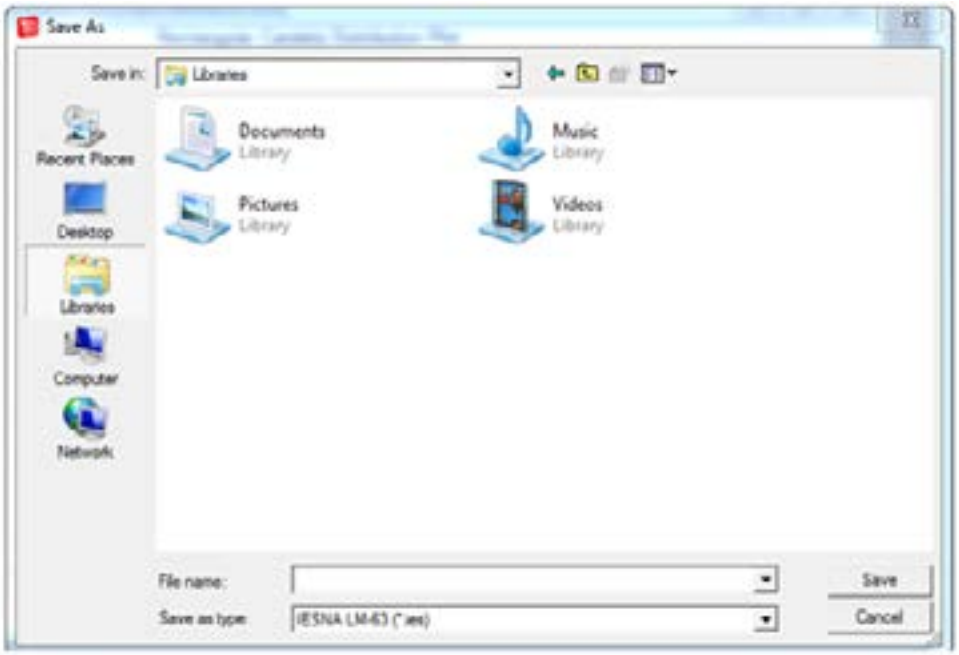


FIGURE 6.25 - Save As dialog for candela plots with IESNA type selected

「ファイル」メニューの「名前を付けて保存」ダイアログで、保存形式として IESNA 形式を選択すると、IESNA 規格に合わせた入力をするためのダイアログボックスが開きます。このダイアログでは、ランプの数、角度の数、発光体の寸法などを入力できます（図 6.26 参照）。この追加のダイアログは、*.ies オプションを選択すると表示されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

1. Reproduced from IESNA LM-63-02 Standard File Format for Electronic transfer of Photometric Data, p.4, © Illuminating Engineering Society of North America.

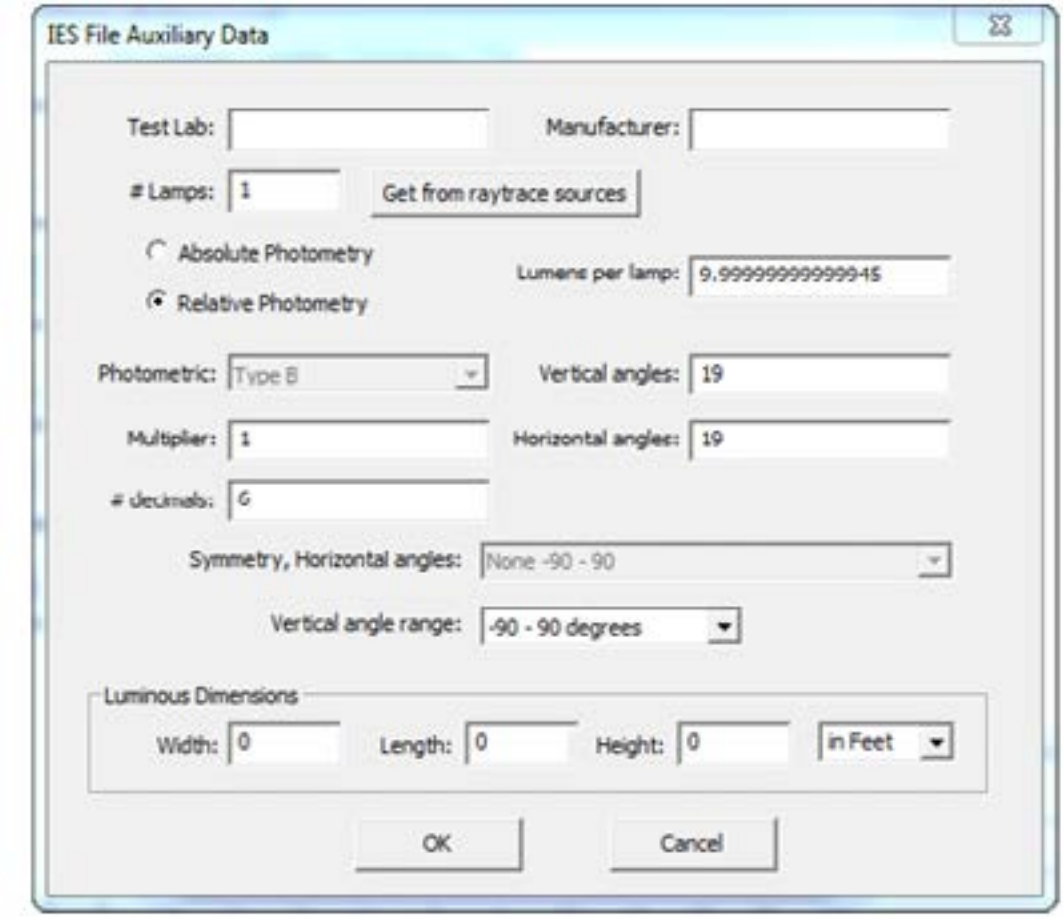


FIGURE 6.26 - The additional *IES File Auxiliary Data* dialog for the IESNA format allows you to enter a number of IESNA-specific parameters.

様々なオプションは以下の通りです。

- **テストラボ :** 情報提供のみ。
- **製造業者 :** 情報提供のみ。
- **ランプ数 :** 測定におけるランプの数。「光線追跡ソースから取得」ボタンを使用して、モデル内のアクティブなソースの数を取得します。
- **絶対測光または相対測光 :** IESNA LM-63-02 より、「絶対測光は、標準ランプと未知のソースの同時比較で構成されます。相対測光は、テストランプの想定されるルーメンまたはスペクトル出力との比較によるランプの測光特性の評価で構成されます。」
- **ランプあたりのルーメン数 :** モデル内のランプあたりのルーメン数。デフォルト値は、モデル内のすべてのソースのルーメン出力の合計をソース数で割ったものです。絶対測光（上記参照）を選択すると、数値は -1 に設定され、編集できません。
- **測光（すなわち、ゴニオメーターの種類）:** IES ファイル内のデータのゴニオメーターの種類。このエントリは編集できず、「名前を付けて保存」を選択したプロットの種類と、カンデラオプションの設定によって異なります。極座標等カンデラプロット - N/A。直交座標等カンデラプロット - カンデラオプションの角度規則設定に応じて、タイプ A またはタイプ B。直交座標または極座標分布プロット - タイプ C のみ。
- **垂直角度 :** 垂直方向に保存する角度の数。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- **乗数 :** データに適用する必要がある乗数。
- **水平角度 :** 水平方向の角度の数（タイプ C 直交座標等カンデラプロットでのみ利用可能）。**小数点以下の桁数 :** カンデラ値をファイルに書き込むときに使用する精度を示す小数点以下の桁数。
- **対称性、水平角度 :** この設定は編集できず、カンデラオプションの対称性設定によって異なります。なし -> 0 - 360。左 / 右 -> 0 - 180。上 / 下 -> N/A。象限 -> 0 - 90。回転 -> 0 - 0。
- **垂直角度範囲 :** カンデラ値の出力のための垂直角度の範囲。利用可能な範囲は、カンデラオプションの角度規則設定によって異なります。
- **幅 :** 指定された単位でのソースの発光領域の幅。
- **長さ :** 指定された単位でのソースの発光領域の長さ。
- **高さ :** 指定された単位でのソースの発光領域の高さ。
- **コンボボックス :** フィートまたはメートル単位でのソースの発光寸法の単位。

ファイル | 名前を付けて保存ダイアログで Eulumdat 形式を選択すると、ランプ数、対称性、発光寸法など、Eulumdat 規格に適した入力数を入力できます（図 6.27 参照）。この追加のダイアログは、*.ldt オプションを選択すると表示されます。

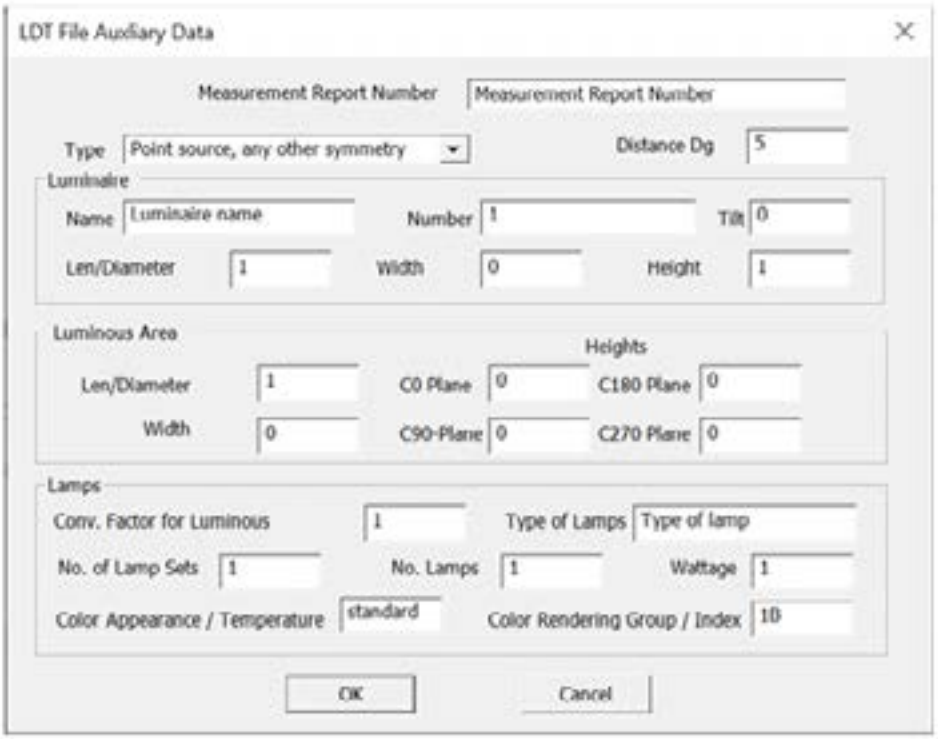


FIGURE 6.27 - The additional *Save As* dialog for the Eulumdat format allows you to enter a number of Eulumdat-specific parameters.

様々な選択肢は以下の通りです（太字下線の項目はデフォルト値を示します）

- **測定レポート番号 :** このファイル保存のためのレポートに与えられた識別子、**測定レポート番号**。
- **タイプ :** ソースのタイプとその対称性、点ソース、垂直軸対称；線形照明器具；**または点ソース、その他の対称性**（線形照明器具オプションのみが長手方向と横方向に細分化されていることに注意）。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- **距離 Dg**: C 平面における光度の間の角度（度単位）、5。
- **照明器具名 :** 照明器具の名前、**照明器具名**。
- **照明器具番号 :** 品質管理のための照明器具番号、1。
- **照明器具の傾き :** 試験中の照明器具の傾斜角度、0。
- **照明器具の長さ / 直径 :** 照明器具の長さまたは直径（mm 単位）、1。
- **照明器具の幅 :** 照明器具の幅（mm 単位）、円形照明器具の場合は 0、0。
- **照明器具の高さ :** 照明器具の高さ（mm 単位）、1。
- **発光面積の長さ / 直径 :** 発光面積の長さまたは直径（mm 単位）、1。
- **発光面積の幅 :** 発光面積の幅（mm 単位）、0。
- **C0 平面 :** 発光面積の C0 平面の高さ（mm 単位）、0。
- **C90 平面 :** 発光面積の C90 平面の高さ（mm 単位）、0。
- **C180 平面 :** 発光面積の C180 平面の高さ（mm 単位）、0。
- **C360 平面 :** 発光面積の C360 平面の高さ（mm 単位）、0。
- **発光の変換係数 :** 保存されるデータに対する乗数、1。
- **ランプの種類 :** ファイル内のランプの種類、**ランプの種類**。
- **ランプセットの数 :** モデルに使用されるランプセットの数、1。
- **ランプ数 :** セットを構成するランプの数、1。
- **ワット数 :** バラストを含むシステムの電気ワット数、1。
- **色の見え方 / 温度 :** モデルの色見え方または色温度、**標準**。
- **演色性グループ / 指数 :** モデルの CRI または CR グループ、1B。
- **チェックボックス :** このボックスをチェックすると、Eulumdat (*.ldt) ファイルタイプが選択されたときに、このダイアログが開きます。ボックスがチェックされていない場合、このダイアログは自動的に開かず、図 6.25 に示すように「ファイルデフォルトの変更」ボタンをクリックして手動で開くことができます。

カンデラ / 光度データへのアクセス

光度計算の結果は、TracePro からスプレッドシートやワープロなどの別のソフトウェアパッケージに簡単にエクスポートできます。これを行うには、適切なカンデラプロットウィンドウをアクティブにし、TracePro で**「編集 | コピー」**を選択するか、Ctrl-C を押します。Microsoft Excel などの他のソフトウェアプログラムに切り替え、**「編集 | 貼り付け」**を選択するか、Ctrl-V を押します。表形式のデータは、Windows クリップボードを介して他のプログラムに転送されます。プロットイメージは、**「編集 | ビットマップをコピー」**メニュー項目を使用してビットマップとしてコピーすることもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

基になるデータをテキストファイルに保存することもできます。まず、目的のウィンドウを選択してアクティブウィンドウにし、TracePro メニューから**「ファイル | 名前を付けて保存」**を選択します。

「名前を付けて保存」ダイアログボックスが表示され、デフォルトの拡張子 **txt** でファイルを保存します。ファイルはタブ区切り形式で保存され、スプレッドシートプログラムへのインポートに適しています。カンデラプロットは、「名前を付けて保存」ダイアログボックスでファイルタイプを選択することにより、IESNA LM-63-95 標準形式 **(.ies)**、Eulumdat**(.ldt)** または Windows ビットマップ **(*.bmp)** 形式で保存できます。

囲まれたフラックス

TracePro には、極座標および矩形等カンデラプロット内の領域を選択して囲まれたフラックスを表示し、オプションで選択された領域に含まれる光線を表示する機能が含まれています。

極座標等カンデラ

極座標プロットでは、「光線選択ダイアログ」の使用が必要です。6.45 ページの「光線選択ダイアログ」を参照してください。極座標および方位角の値を設定することにより、円形および環状の領域、ならびに円形および環状のセクションを定義できます。

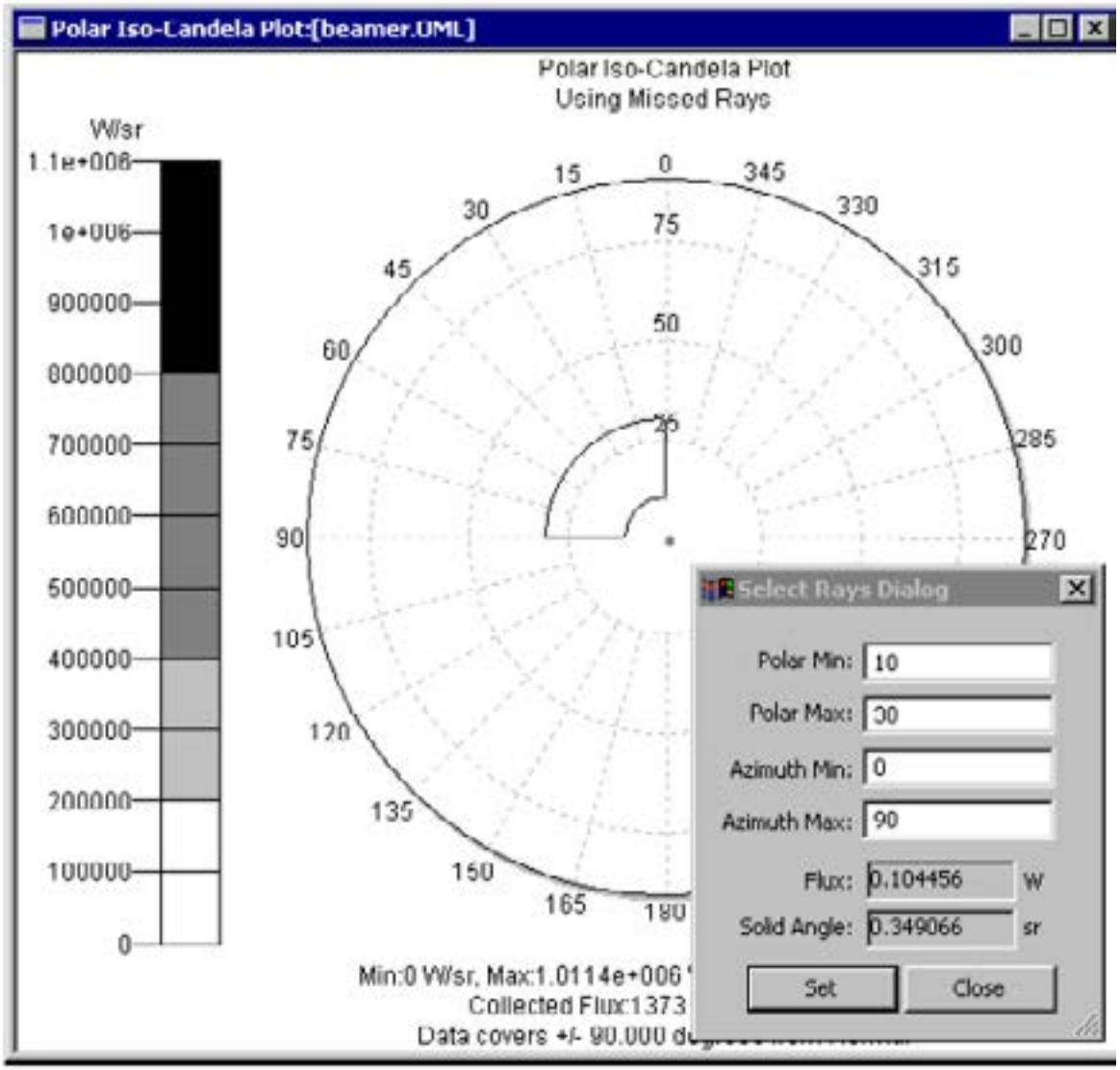


FIGURE 6.28 - Selecting a ray region in a Polar Iso-Candela plot.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

矩形等照度分布図：

プロット内の領域を選択するには、SHIFT キーを押しながら、プロット上で左クリックしてドラッグし、「囲まれた」領域を選択します。

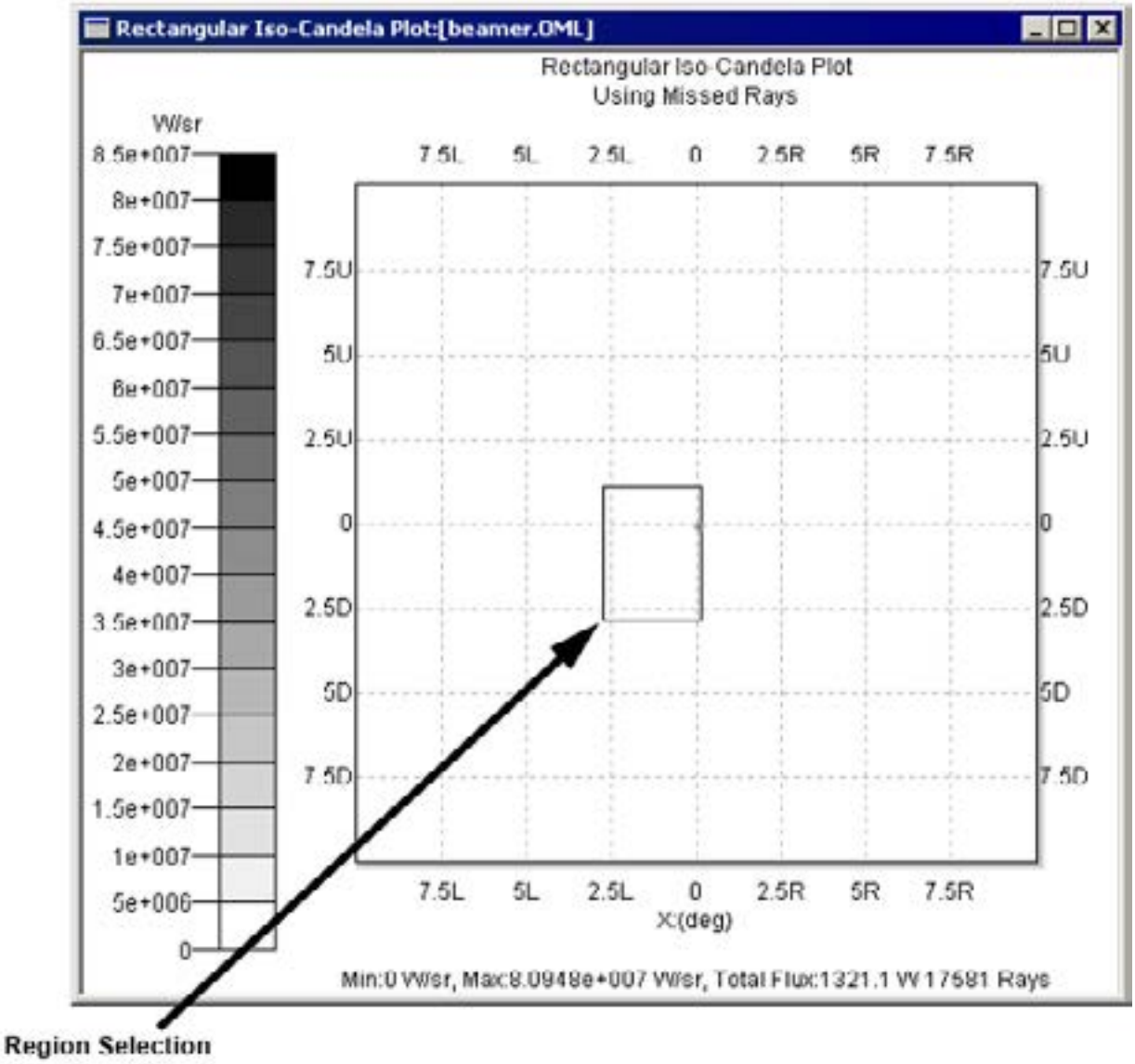


FIGURE 6.29 - Enclosed Region and Ensquared Flux

TracePro ウィンドウのステータスバーには、フラックス（放射束）と面積が表示されます。

選択されたパスの表示

この機能を使用すると、選択したパスに沿って光線を視覚化できます。この機能を使用するには、まずサーフェスを選択し、次に [**解析結果**] メニューから [**パスソートテーブル**] を選択します。最後に、1 つまたは複数のパスを選択すると、選択したパスに沿った光線のみを表示するように光線を表示が更新されます。**イラジアンス / イルミナンスマップ**が開いている場合は、選択したパスに沿った光線のみを使用してその表示も更新されます。シミュレーションモードの光線追跡では、各パスを表す光線が 1 つだけ表示されます。

選択された光線の表示

この機能を使用すると、イラジアンス / イルミナンスマップまたは等光度曲線図の一部に寄与する光線を視覚化できます。この機能は、アナリシスモードの光線追跡後にのみ使用可能です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

この機能を有効にするには、**[解析結果]** メニューに移動し、**[選択された光線の表示]** をチェックします。次に、**[解析結果 | 光線を選択 ...]** を使用して領域を選択するか、**イラジアンス / イルミナンスマップ**または**直交等カンデラプ**で領域をグラフィカルに選択します。モデルウィンドウは更新され、選択した領域内の光線のみが表示されます。

注意：[選択されたパスの表示] 機能は、[選択された光線の表示] 機能よりも優先されます。つまり、[選択されたパスの表示] 機能がオンになっている場合、[選択された光線の表示] 機能は自動的にオフになり、無効になります。

光線選択ダイアログ

[光線選択ダイアログ] を使用して、選択した領域を手動で入力することもできます。これは、極座標等光度曲線図で必須です。[解析結果 | 光線を選択 ...] メニューからダイアログを開きます。新しい領域の角を入力し、[設定] ボタンを押して選択を更新し、新しいフラックスと面積を表示します。

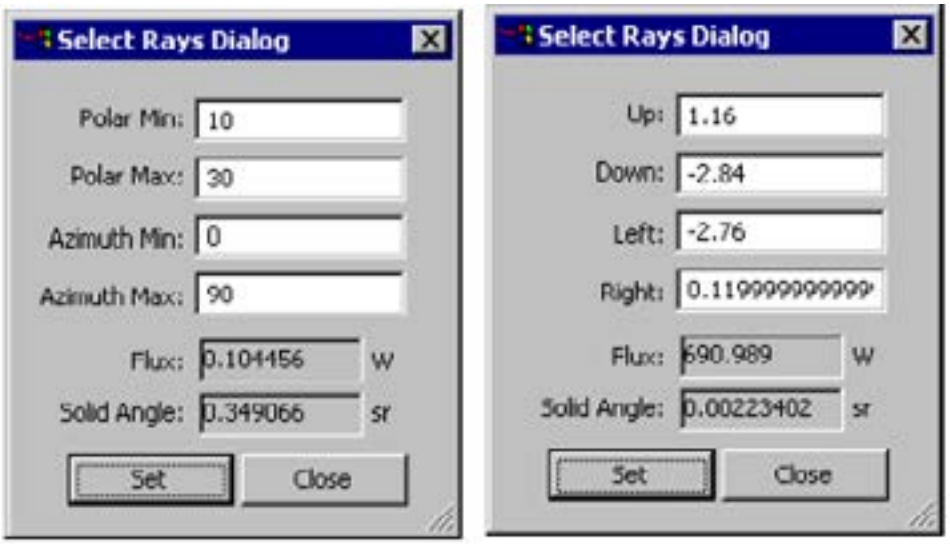


FIGURE 6.30 - Select Rays Dialogs for Polar (L) and Rectangular (R) Iso Candela Plots.

偏光マップ

このコマンドは、入射光束の偏光楕円を、選択されたサーフェス上にマッピングします。色のレベルは、サーフェス上の点における偏光度を示します。図 6.31 の偏光マップは、1/4 波長板の入射面と出射面を示しています。対象物は、45 度直線偏光の光線グリッドで照射されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

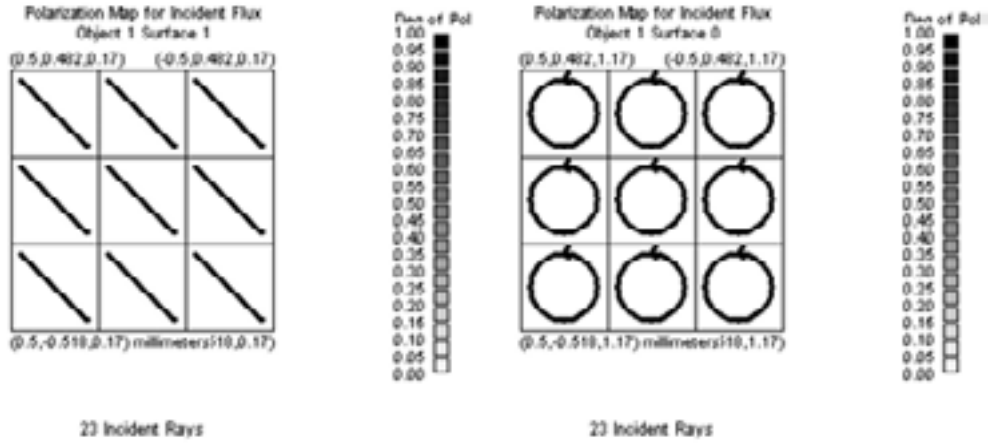


FIGURE 6.31 - Polarization Maps

注意 : 偏光は、**解析結果 | 光線追跡オプション**ダイアログのオプションタブから有効にする必要があります。

偏光オプション

図 6.32 に示すダイアログからアクセスできる偏光プロットには、以下のオプションがあります。

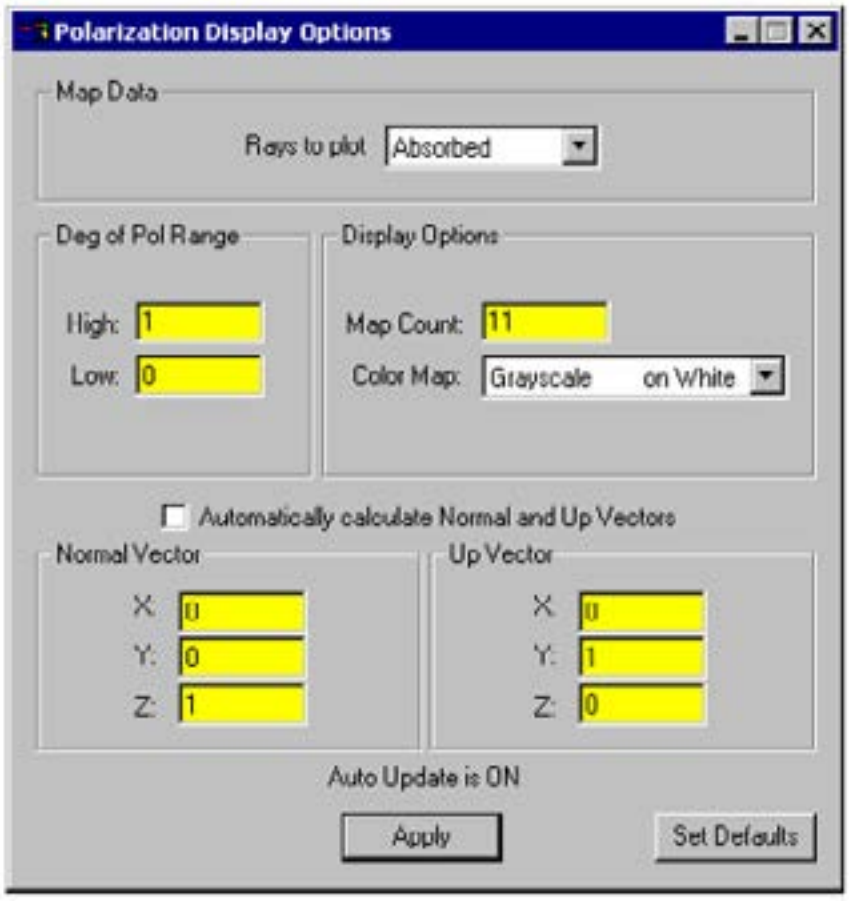


FIGURE 6.32 - Polarization Options dialog.

プロットする光線

吸収または入射光線のマップの表示 : 吸収または入射光線のマップを観察できます。

偏光度の範囲設定 :

プロットする偏光度んお最大および最小範囲を設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マップカウントの設定 :

マップの解像度を設定します。選択されたサーフェスは、水平軸と垂直軸に対してマップカウント×マップカウントの領域､すなわち「フラックスバケット」に分割されます。光線はバケットに分類され、偏光が合計されます。結果として得られる偏光方向がプロット内の各バケットに表示されます。

カラーマップの選択 :

プロットのカラーパレットを選択します。グレースケールとカラーパレットが利用可能です。

自動計算 :

法線ベクトルと Up ベクトルの自動計算を有効にします。「法線ベクトルと Up ベクトル」(5.14 ページ）を参照してください。

法線ベクトル :

偏光マップの平面に対する法線を定義します。非平面サーフェスは偏光マップのために平面に投影されます。詳細については、「法線ベクトルと Up ベクトル」(5.14 ページ）を参照してください。

Up ベクトル :

偏光マップの平面に対する Up ベクトルを定義します。Up ベクトルは表示されるマップの「垂直軸」を定義します。非平面サーフェスは偏光マップのために平面に投影されます。「法線ベクトルと Up ベクトル」(5.14 ページ）を参照してください。

適用 :

マップオプションを更新し、新しい偏光マップを表示します。

デフォルトに設定 :

モデルが OML ファイルにディスクに書き込まれるときにオプションが保存されます。データが変更された後、[デフォルト設定] ボタンを押すと、TracePro の次回起動時に使用される TracePro のデフォルトファイルにデータが保存されます。「ユーザーデフォルト」(1.11 ページ）を参照してください。

偏光データの保存

偏光マップからのデータは、[ファイル] → [名前を付けて保存] メニューからテキストファイルに保存できます。データは、短いヘッダーと各マップセルでのストークスベクトルの 4 つの値で構成されます。各ストークスベクトルは、一連の括弧で囲まれています。

次の出力は、データ列の 1 つだけが表示されている 4 つのデータ行のデータの一部を示しています。

TracePro リリース：３２０
オブジェクト 5 サーフェス 5 の偏光マップデータ
2004 年 3 月 19 日 11:37:54 に生成されたデータ
(0.81661021,-0.14907119,-0.09443592,0.00000000) (.....)
(0.81877151,-0.16808156,-0.04879953,0.00000000) (.....)
(0.81948364,-0.17453937,-0.00000000,0.00000000) (.....)
(0.81877151,-0.16808156,0.04879953,0.00000000) (.....)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

OPL/ 飛行時間プロット

このコマンドは、選択されたサーフェスに入射または吸収されたフラックスを光路長（OPL）または飛行時間単位でプロットを作成します。OPL は、ソースから選択されたサーフェスまでの各光線に沿った総光路長です。同様に、飛行時間は、ソースから選択されたサーフェスまでの光線経路に沿って光が伝播するのにかかる総時間です。均質で等方性の材料における OPL と飛行時間は、光速、

OPL = ct

によって互いに関連付けられています。ここで、c は真空中の光速、t は飛行時間です。OPL/ 飛行時間プロットの例を図 6.33 に示します。

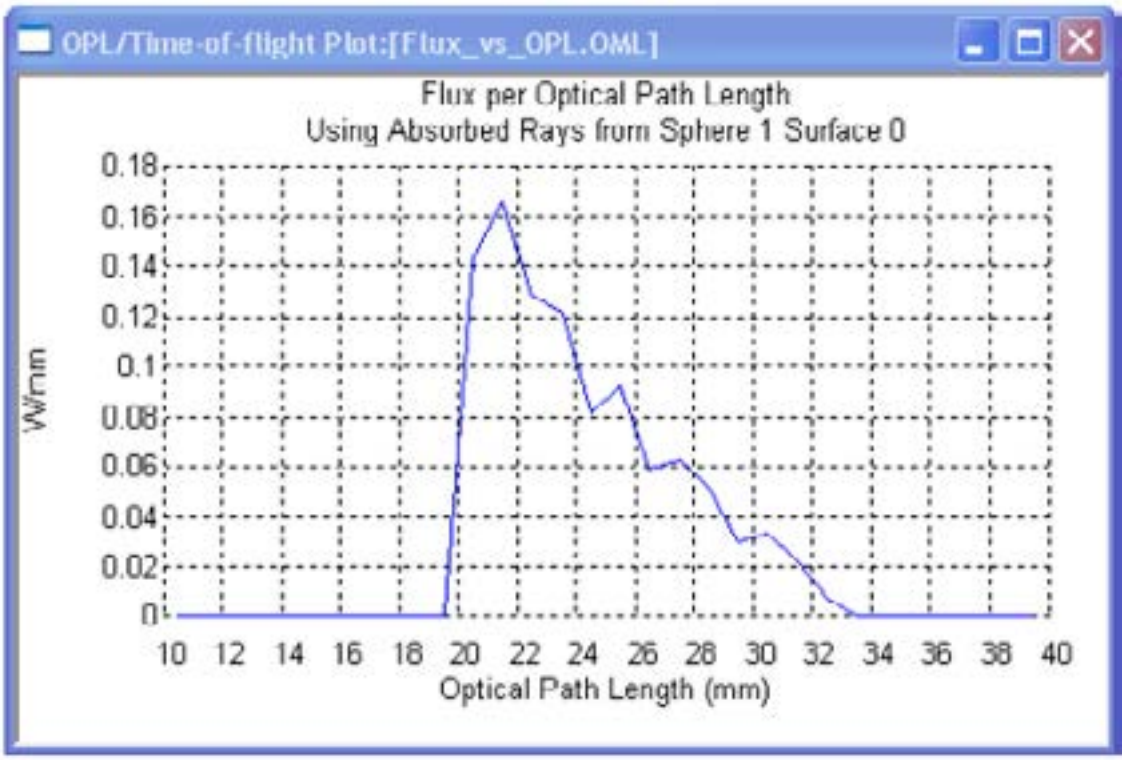


FIGURE 6.33 - OPL/time-of-flight plot.

OPL/ 飛行時間プロットのオプション

OPL/ 飛行時間プロットは、図 6.34 に示す「OPL/ 飛行時間プロットオプション」ダイアログボックスを使用して変更できます。「解析結果 |OPL/ 飛行時間プロットオプション」を選択するか、OPL/ 飛行時間プロットを右クリックして「OPL/ 飛行時間オプション」を選択すると、ダイアログボックスが開きます。

モデルにとって意味のある値に最小長と最大長（または最小時間と最大時間）を設定するのに役立つように、目的のサーフェスの光線履歴テーブルを使用できます。（6.58 ページの「光線履歴」を参照。）いくつかの光線を見て、選択したサーフェスでの OPL の値（各テーブルの最下行）に注目し、現在のサーフェスで関心のある OPL 値の範囲を判断してください。

オプションダイアログの一部の設定は冗長です。つまり、他の設定に依存します。長さと時間の入力（最小、最大、増分）は、OPL = ct の関係を通じて相互に依存します。たとえば、最小長の設定を変更すると、この関係に従って最小時間の設定が自動的に変更されます。また、最大、増分、および増分数は相互に依存します。増分数を変更すると、最大長と最大時間の設定

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が変更されます。逆に、最大長または最大時間を変更すると、増分数が自動的に変更されます。最後に、長さ増分または時間増分を変更すると、増分数が変更されます。

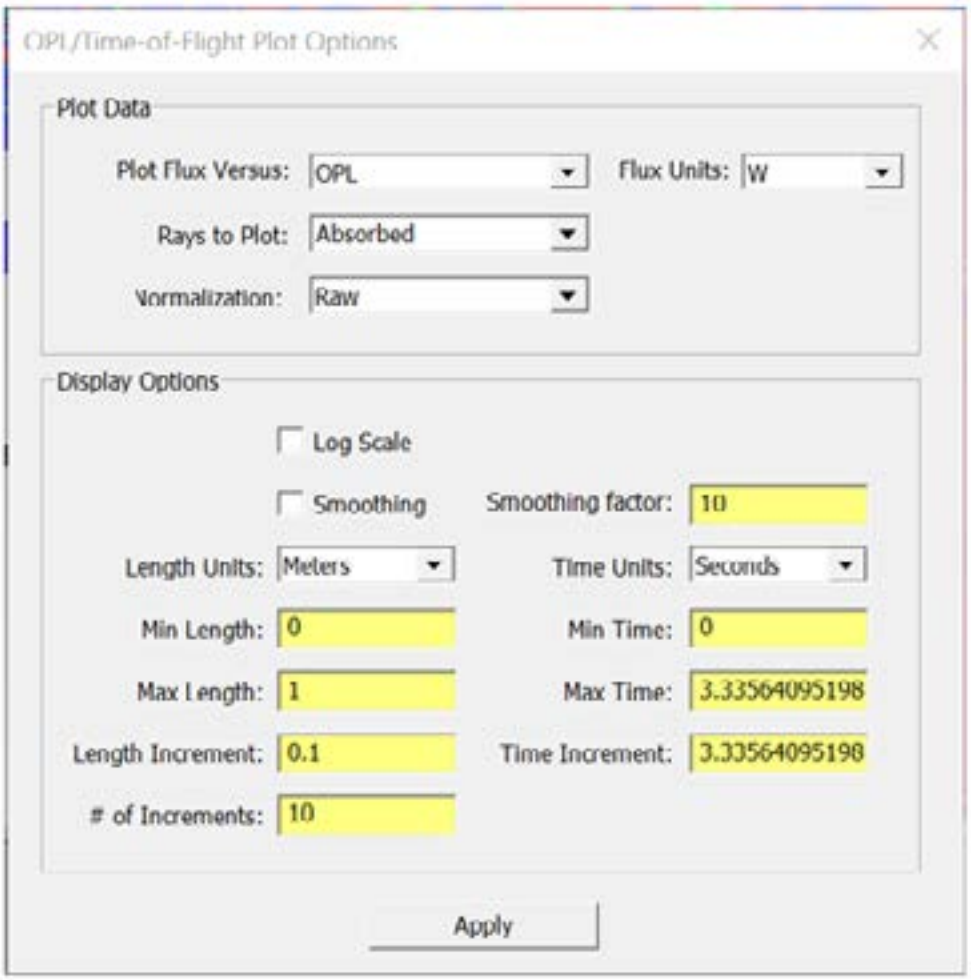


FIGURE 6.34 - OPL/time-of-flight plot options dialog box.

フラックス対

フラックス対 OPL（光路長）または飛行時間をプロットできます。

単位

3D イラジアンス / イルミナンスマップの測定単位を設定します。単位のオプションは次のとおりです。

- W（ワット）
- mW（ミリワット）
- kW（キロワット）
- MW（メガワット）
- lm（ルーメン）

プロットする光線

吸収された光線または入射した光線をプロットできます。

正規化

フラックスを正規化せずに（生データで）表示するか、放出フラックス、入射フラックス、ま

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

たは吸収フラックスに正規化して表示するかを選択できます。

対数スケール

フラックス軸をフラックス値の対数間隔で表示できます。

スムージング

フラックス対 OPL/ 飛行時間の曲線をスムージングできます。

スムージング係数

スムージング係数は、スムージングを選択した場合にどの程度のスムージングが行われるかを決定します。曲線は、この数値に反比例するぼかし幅でスムージングされます。たとえば、係数 10 を使用した場合、ぼかし幅は水平（OPL または時間）軸の長さの 1/10 になります。

長さの単位

フラックス対 OPL が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の単位を決定します。

最小長

フラックス対 OPL が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の最小値を決定します。

最大長

フラックス対 OPL が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の最大値を決定します。この設定は、[インクリメント数] の設定の影響を受けます。

長さの増分

フラックス対 OPL が選択されている場合、この設定は光路長に対するフラックスをビン分割するための長さの増分を決定します。

インクリメント数

フラックスを収集するために使用される OPL または時間の増分数、つまりビンサイズ。この設定は、[最大長] および [最大時間] の設定の影響を受けます。

時間の単位

フラックス対飛行時間が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の単位を決定します。

最小時間

フラックス対飛行時間が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の最小値を決定します。

最大時間

フラックス対飛行時間が選択されている場合、この設定はプロットの水平軸の最大値を決定します。この設定は、[インクリメント数] の設定の影響を受けます。

時間の増分

フラックス対飛行時間が選択されている場合、この設定は飛行時間に対するフラックスをビン分割するための時間の増分を決定します。

OPL/ 飛行時間マップのデータ保存

OPL（光路長）/ 飛行時間マップのデータは、**「ファイル | 名前を付けて保存」**メニューからテ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

キストファイルに保存できます。データは、ヘッダーと、光束対 OPL または飛行時間の値を示す 2 列のテーブルで構成されています。以下の出力は、データの一部を示しており、4 つのデータ行と、データ列の 1 つだけが表示されています。

最後に、プロット画像をビットマップとして保存することもできます。これを行うには、**「ファイル | 名前を付けて保存」**を選択し、「ファイルの種類 : ビットマップ」を選択します。

TracePro Release: 5 0 0

Flux vs Optical Path Length Data for

E:\TraceProData\testdata\Flux_v_OPL\Flux_vs_OPL.OML

Data for Absorbed rays from Sphere 1 Surface 0

Data generated at 14:30:53 January 06, 2009

Normalization:Raw

Smooth:Off

Smooth Factor:10

Log Scale:Off

Length Units:Millimeters

Time Units:Seconds

Max Length:40

Min Length:10

Length Increment:1

Max Time:1.33426e-010

Min Time:3.33564e-011

Time Increment:3.33564e-012

Number of Increments:30

OPL Flux

10.5 0

11.5 0

12.5 0

13.5 0

14.5 0

15.5 0

16.5 0

17.5 0

18.5 0

19.5 0

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

20.5 0.143911

21.5 0.166052

22.5 0.129151

23.5 0.121771

24.5 0.0811808

25.5 0.0922509

26.5 0.0590406

27.5 0.0627306

28.5 0.0516605

29.5 0.0295203

入射光線テーブル

入射光線テーブルは、選択されたサーフェスに入射する光線のデータを示します。テーブルはスクロール、印刷、Windows クリップボードへのコピー（他のアプリケーションに貼り付けるため）、またはファイルへの保存が可能です。保存されたファイルは、ファイルソースを作成するための TracePro 光線ファイルとしてフォーマットすることもできます。

入射光線テーブルは、モデル内の任意のサーフェスに対して表示できます。入射光線テーブルを表示するには：

- **「編集 | サーフェススを選択」**メニュー項目を選択するか、「サーフェスを選択」ツールバーボタンを押します。
- 入射光線テーブルを表示したいサーフェスを選択します。
- **「解析結果 | 入射光線テーブル」**を選択します。

新しいウィンドウ（図 6.35）が開き、サーフェスに入射する光線のテーブルが表示されます。別のサーフェスの入射光線テーブルを表示するには、マウスでそのサーフェスを選択すると、光線テーブルが自動的に更新され、そのサーフェスの光線が表示されます。

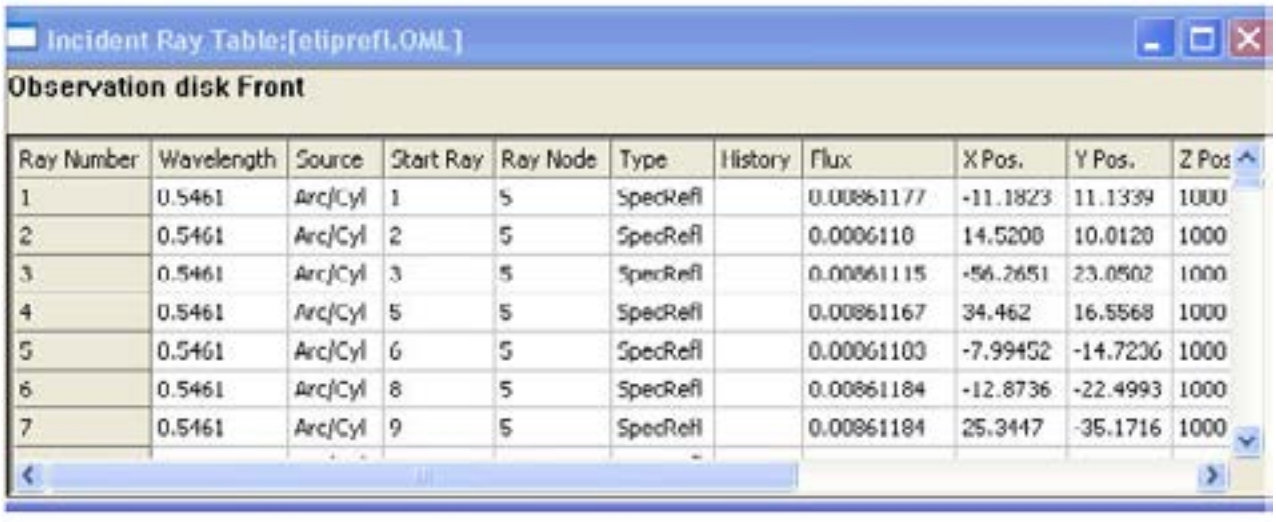


FIGURE 6.35 - Incident Ray Table.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

入射光線テーブルは、表 6.5 に示す列を表示します。各光線交点において、交点タイプは光線ノードに保存されます。光線タイプは表 6.3 にリストされています。

言い換えると：

入射光線テーブルには、表 6.5 に定義された特定の列が含まれています。
光線が何かに交差するたびに、その交差の種類が光線ノードと呼ばれるデータ構造に記録されます。

表 6.3　光線の交差タイプ

ラベル	説明
SpecTran	スペキュラー透過
SpecRef	スペキュラー反射
RandTran	ランダム透過（散乱や回折など）
RandRefl	ランダム反射（散乱や回折など）
ImpTran	インポータンス透過（インポータンスサンプリングより）
ImpRefl	インポータンス反射（インポータンスサンプリングより）
RanDiffTran	透過での回折
RanDiffRefl	反射での回折
ImpDiffTran	透過の回折（インポータンスサンプリングによる）
ImpDiffRefl	反射の回折（インポータンスサンプリングによる）
RanVolume	バルク散乱オブジェクト内のノード
ImpVolume	バルク散乱オブジェクト内のノード（インポータンスサンプリングによる）
GrinTran	GRIN オブジェクト内のノード
RepTileTran	レプタイルサーフェス内のノード
TIR	内部全反射

特定の条件に関する追加情報は、履歴欄に表示され、表 6.4 に示されています。

表 4.6　光線履歴タイプ

ラベル	説明
OpticalScat	散乱が閾値に到達
RandomScat	ランダム散乱が閾値に到達
TotalIcepts	総交差数が閾値に到達
TotalScat	総散乱が閾値に到達
Emitted	放射サーフェスの開始ノード
Edge Hit	エッジで追跡が失敗
Coinc Surf	二つの一致サーフェスに光線が捕らえられた
TIR	TIR による反射
Missed	光線がすべてのサーフェスと交差しない
Volume Scat	バルク散乱オブジェクト内の光線
RepTile	レプタイル内の光線

あるアルゴリズムが、光線が二つの重なり合ったサーフェスと交差するかどうかを判定するために使用されます。まず、二つの交点の距離を計算し、次に許容誤差と比較します。許容誤差は特定の交点によって異なりますが、最小の許容誤差値は 1.0e-6 mm（1 nm）です。

入射光線テーブルの各シートには、表 6.5 に記載されている列が表示され、偏光光線トレースが有効になっている場合は偏光データの追加列が表示されます。シミュレーションモードでは、入射光線テーブルのすべてのデータが利用できるわけではないことに注意してください。表 6.5

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

は、各光線追跡モードで利用可能なデータも示しています。

表 6.5　入射光線テーブルカラム

ラベル	説明	アナリシスモード	シミュレーションモード	偏光光線追跡
光線番号	テーブルの行	Yes	Yes	
波長	現在の光線の波長	Yes	Yes	
ソース	この光線が発せられたソース	Yes	Yes	
スタート光線	s ペ ©Refl 例えば、Start Ray 3 はこの光線追跡の 3 番目の光線	Yes	No	
光線ノード	光線は光線ノード 1 で開始され（ソースまたはグリッド）、最初のサーフェスとの交差点では光線ノード 2	Yes	No	
タイプ	直前の光線ノードのタイプ．例えばスペキュラー反射であれば SpecRefl	Yes	No	
履歴	しばしば空白．前のノードの特別なタイプ（例えば、全反射を表す TIR）を示す。前のノードで全反射した光線は、Type=SpecRefl、History=TIR となる	Yes	No	
光束	入射光線の光束	Yes	Yes	
X Pos., Y Pos., Z Pos.	光線がサーフェスｎい入射したとときの　X、Y、Z 座標	Yes	Yes	
X Vec., Y Vec., Z Vec.	光線がサーフェスｎい入射したとときの　X、Y、Z 方向余弦	Yes	Yes	
S0, S1, S2, S3	光線のローカル座標系でのストークスベクトル成分	Yes	Yes	有効時
Deg Pol	光線の偏光度	Yes	Yes	有効時
Ellipse Ratio	偏光楕円の 2 軸の比	Yes	Yes	有効時
Xvec MajAxis, Yvec MajAxis, Zvec MajAxis	偏光楕円の長軸方向を指すベクトルの X, Y, Z 成分	Yes	Yes	有効時

入射光線テーブルデータのコピー＆ペースト

入射光線テーブルデータは、TracePro からスプレッドシートやワードプロセッサなどの他のソフトウェアパッケージにエクスポートできます。これを行うには、入射光線テーブルウィンドウをアクティブウィンドウにし、TracePro で「編集 | コピー」（または Ctrl+C）を選択します。Microsoft Excel などの他のソフトウェアプログラムに移動し、「編集 | 貼り付け」（または Ctrl+V）を選択します。表形式のデータは、Windows のクリップボードを介して他のプログラムに転送されます。

入射光線テーブルのファイルへの保存

入射光線テーブルをテキストファイルに保存することもできます。その後、たとえばスプレッドシートプログラムにテーブルをインポートしたり、独自の解析結果ソフトウェアまたは他の解析結果ソフトウェアを使用して後処理操作を実行したりできます。これを行うには、まず入射光線テーブルがアクティブになっていることを確認し（入射光線テーブルウィンドウのカラー表示された上部バーで示されます）、次に**「ファイル | 名前を付けて保存」**を選択します。ファイルのデフォルトの拡張子は **txt** です。使用するファイル名を入力し、[OK] を押します。TracePro は、入射光線テーブルを含むタブ区切りファイルを保存します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

入射光線テーブルをファイルに保存すると、表 6.6 に示すように追加のデータ列がファイルに保存されます。波長はヘッダー行として表示されます。入射光線テーブルで保存されるデータは、アナリシスモードとシミュレーションモードで異なることに注意してください。違いは表 6.6 に記載されています。

テーブル 6.6　入射光線テーブルのカラム：これらのカラムは、テーブルが TracePro の外部形式で保存され、後処理される場合に利用可能です。

		アナリシスmモード	シミュレーションモード
Ray Number（光線番号）	テーブル内の行	Yes	Yes
Start Number（開始番号）	例えば、開始番号 3 は、光線追跡で開始された 3 番目の光線	Yes	No
Split Number（分岐番号）		Yes	No
Type		Yes	No
Hist	ここはしばしば空白になります。前のノードの特別なタイプを指し、例えば全反射の場合は TIR となります。したがって、前のノードで全反射した光線は、Type=SpecRefl、Hist=TIR となります。	Yes	No
Inc Flux	サーフェスに入射する光線のフラックス（束）は、ワットまたはルーメンで表されます。	Yes	Yes
Abso Flux	サーフェスに吸収された光線の入射フラックスの割合（ワットまたはルーメン単位）	Yes	Yes
X Pos., Y Pos., Z Pos.	光線がサーフェスと交差したグローバル座標	Yes	Yes
X Vec., Y Vec., Z Vec.	入射した光線のグローバル方向余弦	Yes	Yes
X Norm, Y Norm, Z Norm	光線がサーフェスに当たった位置におけるサーフェスの法線	Yes	No
S0, S1, S2, S3	入射光線のストークスベクトル（偏光のみ）	Yes	Yes
DegOfPol	入射光線の偏光度	Yes	Yes
Ellipse Ratio	偏光楕円の 2 つの軸の比	Yes	Yes
Xvec MajAxis, Yvec MajAxis, Zvec MajAxis	偏光楕円の主軸方向を示すベクトルの X, Y, Z 成分	Yes	Yes

入射光線テーブルの光線ファイルとしての保存

TracePro 光線ファイルは、ファイルソースを定義するために、入射光線テーブルから作成できます。入射光線テーブルをアクティブウィンドウとして、**ファイル | 名前を付けて保存**を選択し、ファイル形式を ***.txt** として選択し、「光線ファイル形式にエクスポート」のチェックボックスをオンにします。入射光線テーブルから保存された光線ファイルは、常に放射測定単位で保存されます。TracePro が測光単位に設定されている場合、光線ファイルとして保存される際にデータは放射測定単位に変換されます。光線ファイルとその応用に関する詳細については、5.22 ページの「ファイルソース」というセクションを参照してください。

選択した光線の表示

メニューコマンド解析結果 | 選択した光線を表示を選択すると、TracePro は通常の光線を表示

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

をオフにし、入射光線テーブルの行で選択された光線を描画します。マウスと <Shift> または <Ctrl> キーを使用して、1 つまたは複数の行を選択できます。連続する行のセットを選択するには、最初の行をクリックし、<Shift> キーを押しながら最後の行をクリックします。<Ctrl> キーを押しながら各行をクリックすると、個々の行（不連続な項目）を選択できます。例は図 6.36 および図 6.37 に示されています。

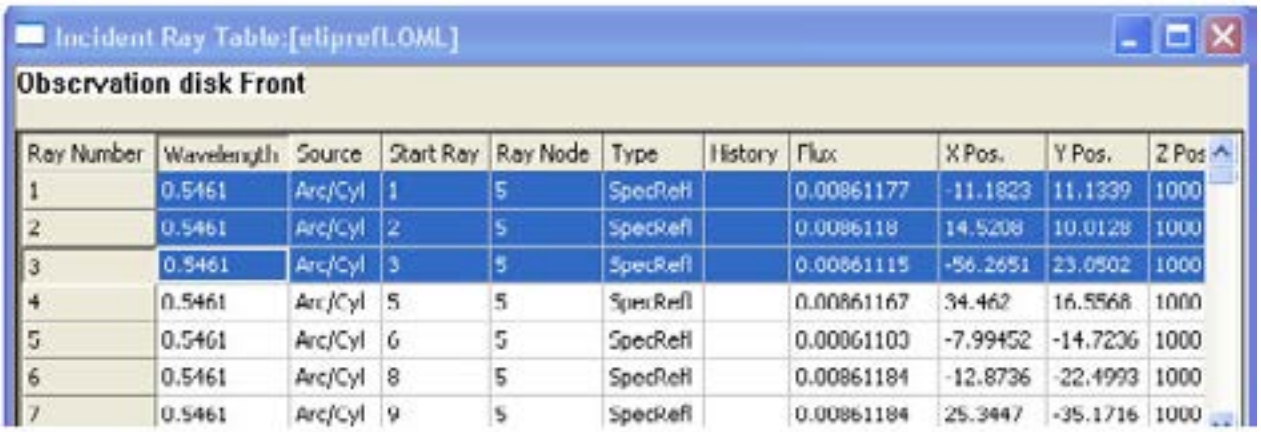


FIGURE 6.36 - Incident Ray Table set to display selected rays

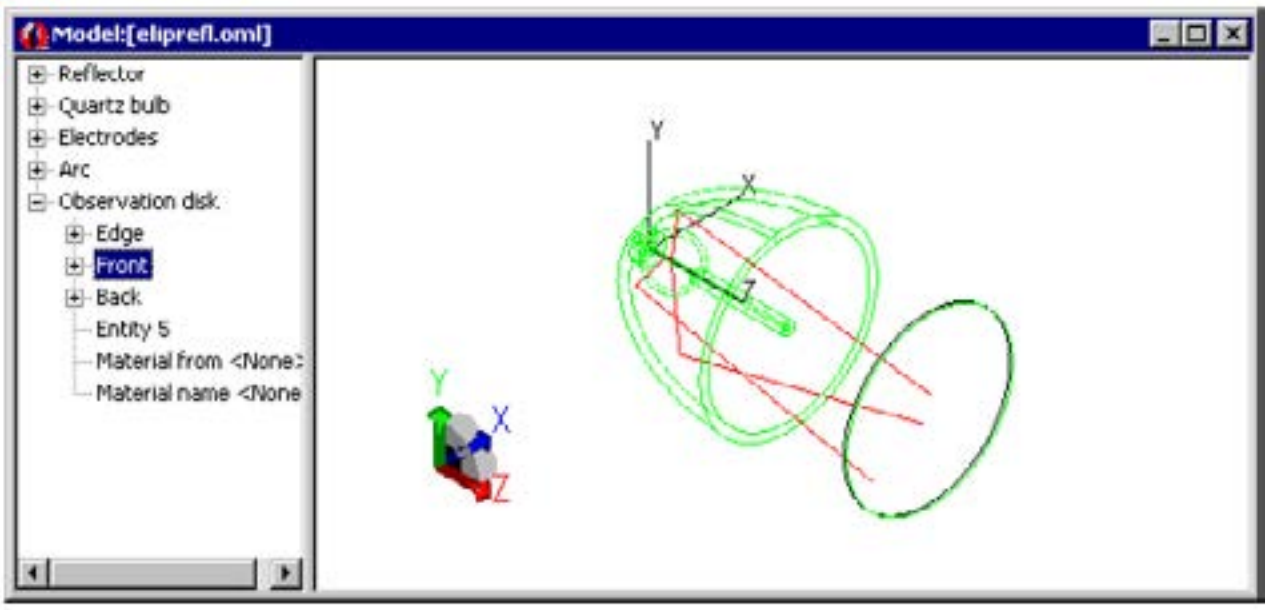


FIGURE 6.37 - Model with rays selected from the Incident Ray Table

パスソーティング（Path Sorting）

パスソートは、入射光線テーブルに適用できる機能です。

入射光線テーブルでパスソートを使用するには、まずサーフェスを選択し、**「解析結果 | パスソート」**を選択した後、**「解析結果 | 入射光線テーブル」**を選択します。次に、表示したいパスをパスソートテーブルから選択し、**「解析結果 | 選択したパスを表示」**を選択します。これは、光線がどのような経路をたどったかを整理し、特定の経路をたどった光線のみを表示する機能です。

光線ファイル - バイナリファイル形式（Ray Files - Binary file format）

ASCII ファイル形式（.txt ファイル）で保存された光線ファイルは、非常に大きくなる場合があります。TracePro は、ファイルサイズを小さくできるバイナリ形式の光線ファイルをサポートしています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

入射光線テーブルからバイナリ光線ファイルを保存するには、「ファイルの種類」を「バイナリ光線ファイル（*.src)」として選択します。バイナリ形式を使用することで、光線データの保存効率が向上し、ファイルサイズが削減されます。

要約すると、TracePro のパスソート機能は光線の経路を整理し、バイナリ光線ファイル形式はファイルサイズを削減するための機能です。

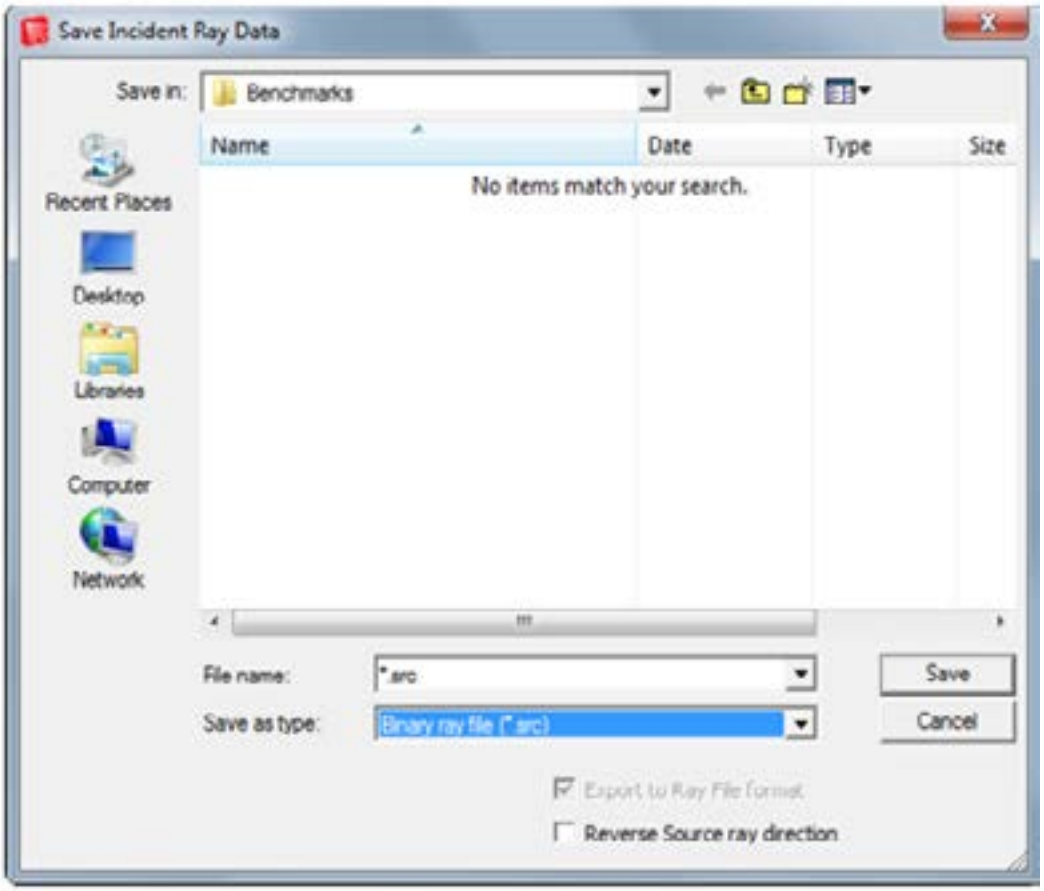


FIGURE 6.38 - Save Incident Ray Data dialog illustrating Binary Ray File format

バイナリレイファイル形式で保存されたレイファイルは、5.23 ページの「ソースの挿入」のセクションで説明されているように、TracePro モデルに挿入できます。

光線履歴

図 6.39 に示す光線履歴テーブルウィンドウには、各レイが経路に沿って各サーフェスに衝突する際の、入射光線の方向、交点座標、入射フラックス、光路長、およびオブジェクト名とサーフェス名が経路全体にわたって表示されます。各光線の経路履歴は、光線履歴テーブルウィンドウの独自のシートに表示されます。各光線履歴シートは、通常のカーソルコントロールを使用してスクロールでき、**解析結果 | 光線選択 | 次の光線**および**解析結果 | 光線選択 | 直前のレイ**を使用するか、それぞれ Alt+PgDn および Alt+PgUp を使用して、他の光線履歴を含む他のシートを表示できます。ナビゲータボタンを使用してレイを選択できます。ナビゲータを使用すると、最初のレイ（|<)、前のレイ（<)、次のレイ（>)、または最後のレイ（>|）を選択できます。レイ番号を挿入して Enter キーを押すと、特定のレイを表示することもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

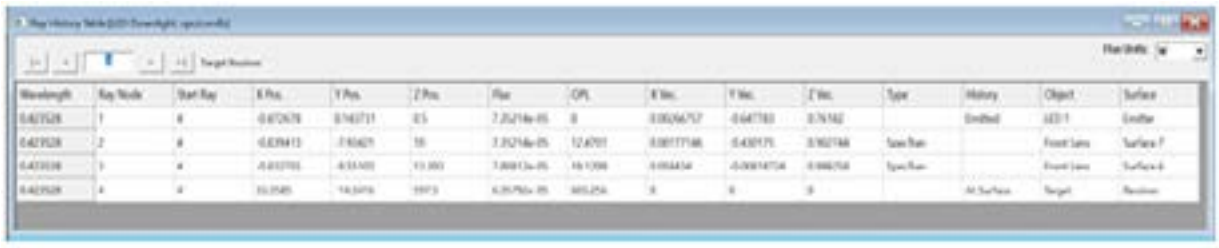


FIGURE 6.39 - Ray History Table

光線履歴テーブルウィンドウは、モデル内の任意のサーフェスに対して表示できます。光線履歴テーブルを表示するには：

- 「編集 | サーフェスを選択」メニュー項目を選択するか、「サーフェスを選択」ツールバーボタンを押します。
- 光線履歴テーブルを表示したいサーフェスを選択します。
- 「解析結果 | 光線履歴」を選択します。

指定されたサーフェスの光線履歴テーブルを含む新しいウィンドウが開きます。別のサーフェスで光線履歴テーブルを表示するには、マウスでそのサーフェスを選択すると、レイテーブルがそのサーフェスのレイを表示するように更新されます。

光線履歴テーブルの各シートには、表 6.7 にリストされている列が表示され、偏光光線追跡が有効になっている場合は、偏光データ用の追加の列が表示されます。

「フラックス単位」ドロップダウンメニューは、光線履歴テーブルで使用される測定単位を定義します。単位オプションは次のとおりです。

- W（ワット）
- mW（ミリワット）
- kW（キロワット）
- MW（メガワット）
- lm（ルーメン）

テーブル 6.7　光線履歴テーブルの各カラム

Label	説明	偏光光線追跡
Wavelength	現在の光線の波長	
Ray Node	光線は光線ノード 1（ソースまたはグリッド）から始まり、最初の光線 - 表面交点がノード 2 となり、以下同様に続く。	
Start Ray	例えば、Ray 3 開始は、光線追跡で開始される 3 番目の光線	
X Pos., Y Pos.,Z Pos.	光線がサーフェスと交差した時の X, Y, Z 座標	
Flux	入射光線の光束	
OPL	光学光路長、光線に沿った距離と屈折率の積の積分	
X Vec., Y Vec., ZVec.	去ってゆく光線の方向余弦	
Type	例えばスペキュラー反射では SpecRefl. ページ 6.54 の表 Table 6.3 を参照してください	
History	しばしば空白。これは、光線ノードの特別なタイプを指します。例えば、全反射（TIR）などです。光線ノード上の全反射した光線は、Type=SpecRefl、History=TIR となります。6.54 ページの表 6.4 を参照してください。	

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Object	現在の光線ノードのオブジェクト名	
Surface	現在の光線ノードでのサーフェス名	
S0, S1, S2, S3	光線のローカル座標系でのストークスベクトル成分	有効の時
Deg Pol	光線の偏光度	有効の時
Ellipse Ratio	偏光楕円の 2 軸の比	有効の時
Xvec MajAxis, Yvec MajAxis, Zvec MajAxis	偏光楕円の長軸方向を指すベクトルの X, Y, Z 座標	有効の時

光線履歴テーブルデータのコピー＆ペースト

光線履歴テーブルデータは、TracePro からスプレッドシートやワードプロセッサなどの他のソフトウェアパッケージに簡単にエクスポートできます。まず、光線履歴テーブルウィンドウがアクティブウィンドウであることを確認してください。TracePro で**「編集 | コピー」**（または Ctrl+C）を選択します。他のアプリケーションに切り替え、**「編集 | 貼り付け」**（または Ctrl+V）を選択します。表形式のデータが Windows のクリップボードを介して他のプログラムに転送されます。

光線履歴テーブルのファイルへの保存

光線履歴テーブルをテキストファイルに保存することもできます。これにより、例えばスプレッドシートプログラムにテーブルをインポートしたり、独自の解析結果ソフトウェアや他の解析結果ソフトウェアを使用して後処理操作を実行したりできます。これを行うには、まず光線履歴テーブルがアクティブウィンドウであることを確認し（ウィンドウ上部の色付きのバーで示されます）、次に**「ファイル | 名前を付けて保存」**を選択します。ファイルのデフォルトの拡張子は **txt** です。使用するファイル名を入力し、「OK」を押します。TracePro は、光線履歴テーブルを含むタブ区切りファイルを保存します。

光線履歴テーブルをファイルに保存する際、表 6.8 に示されているように、追加のデータカラムが書き込まれます。開始光線番号と波長は、ファイルの先頭のヘッダー行に記載されます。データカラムの内容は以下の通りです。

表 6.8　光線履歴テーブルカラム：これらのカラムは、光線の追跡結果を記録し、後処理のために TracePro 以外の形式で保存する際に利用できます。

Ray Node	光線は光線ノード 1（ソースまたはグリッド）から始まり、最初の光線 - 表面交点がノード 2 となり、以下同様に続く。
Flux	入射光線の光束
OPL	光学光路長、光線に沿った距離と屈折率の積の積分
X Pos., Y Pos., ZPos.	光線がサーフェスと交差した時の X, Y, Z 座標
X Vec., Y Vec., ZVec.	去ってゆく光線の方向余弦
Type	例えばスペキュラー反射では SpecRefl.
Hist	しばしば空白。これは、光線ノードの特別なタイプを指します。例えば、全反射（TIR）などです。光線ノード上の全反射した光線は、Type=SpecRefl、History=TIR となります
Object	現在の光線ノードのオブジェクト名
Surface	現在の光線ノードでのサーフェス名
S0, S1, S2, S3	光線のローカル座標系でのストークスベクトル成分
Deg Pol	光線の偏光度
Ellipse Ratio	偏光楕円の長軸方向を指すベクトルの X, Y, Z 座

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Xvec MajAxis, Yvec MajAxis, Zvec MajAxis	偏光楕円の長軸方向を指すベクトルの X, Y, Z 座標

光線のソート

光線ソートは、モデルウィンドウにおける光線の表示に影響を与え、プロットやテーブルに適用できます。光線ソートのダイアログボックスを開くには、**解析結果 | 光線のソート**を選択します。光線のデフォルト表示は「すべての光線」であり、追跡されたすべての光線のすべての分岐を表示します。光線の表示は、「更新」ボタンをクリックするまで変更されません。

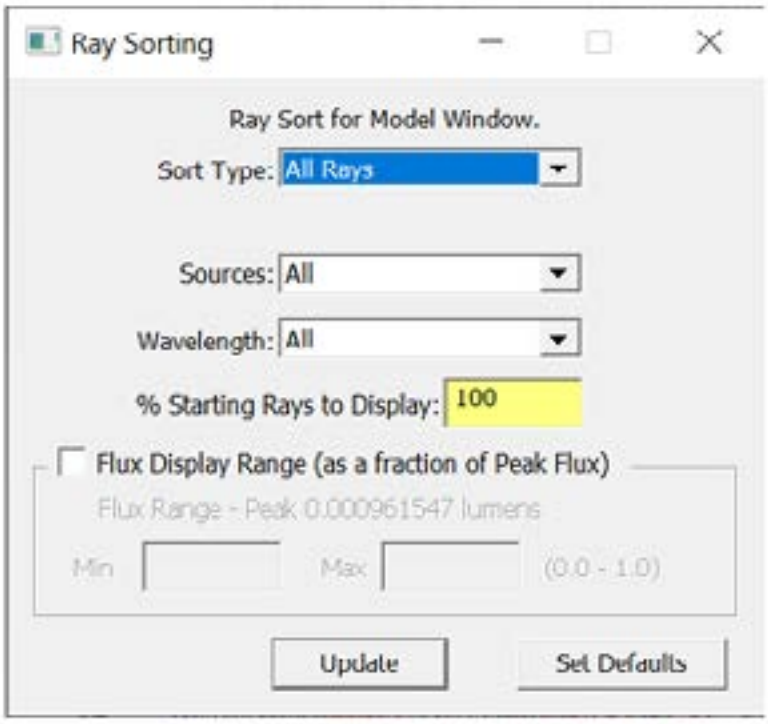


FIGURE 6.40 - Ray Sorting Dialog

光線ソーティングダイアログボックスのソートタイプオプションは、「すべての光線」を除き、ソートを実行する前にサーフェスを選択する必要があります。ソートタイプの選択肢については、表 6.9 にまとめられています。

表 6.9　レイソーティングダイアログボックス内のソートタイプの選択

ソートタイプ	意味	表面選択の必要性
全光線 (All Rays)	すべての光線が表示されます。	なし
選択された表面 (Selected Surface)	選択された表面に当たった光線のみが表示されます。	あリ
正反射のみ (Specular Only)	選択された表面に当たり、途中で正反射または屈折のみを経た光線が表示されます。散乱光線は表示されません。	あリ
単一表面散乱 (Single Surface Scatter)	選択された表面に当たり、途中で正確に 1 回の表面散乱を経た光線が表示されます。	あリ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

複数表面散乱 (Multiple Surface Scatter)	選択された表面に当たり、途中で複数回の表面散乱を経た光線が表示されます。	あリ
単一バルク散乱 (Single Bulk Scatter)	選択された表面に当たり、途中で正確に 1 回のバルク散乱を経た光線が表示されます。	あリ
複数バルク散乱 (Multiple Bulk Scatter)	選択された表面に当たり、途中で複数回のバルク散乱を経た光線が表示されます。	あリ
単一回折 (Single Diffraction)	選択された表面に当たり、途中で正確に 1 回の開口回折を経た光線が表示されます。	あリ
複数回折 (Multiple Diffraction)	選択された表面に当たり、途中で複数回の開口回折を経た光線が表示されます。	あリ

- **解説**：各ソートタイプの詳細：
  全光線 (All Rays): シミュレーション内のすべての光線を表示するため、フィルタリングは行われません。
- 選択された表面 (Selected Surface): 特定の表面に焦点を当て、その表面と相互作用する光線のみを表示します。
- 正反射のみ (Specular Only): 鏡面反射や屈折など、規則的な反射・屈折のみを経た光線を表示します。散乱は含みません。
- 単一 / 複数表面散乱 (Single/Multiple Surface Scatter): 表面での散乱回数によって光線をフィルタリングします。散乱は、光が粗い表面などで様々な方向に反射する現象です。
- 単一 / 複数バルク散乱 (Single/Multiple Bulk Scatter): 物質内部での散乱回数によって光線をフィルタリングします。バルク散乱は、光が物質内部の粒子などによって散乱される現象です。
- 単一 / 複数回折 (Single/Multiple Diffraction): 開口部（穴やスリット）での回折回数によって光線をフィルタリングします。回折は、光が障害物の端を回り込む現象です。

光線の表示は、ソースや波長でソートすることもできます。デフォルトでは、すべての波長が表示されるように選択されています。蛍光が光線追跡に含まれる場合、個々の波長は励起を示す「Ex」と発光を示す「Em」でマークされ、光線がシミュレーションにどのように寄与するかを示します。3.15 ページの「蛍光光線追跡」を参照してください。

表示する開始光線の割合も入力できます。これは、多数の光線で光線追跡を行った場合に役立ちます。そのような場合、光線が多すぎて、表示から有用な洞察を得られないことがあります。表示するデフォルトの割合は 100% です。

「フラックス表示範囲」オプションを使用して、光線の相対フラックスによって表示される光線を制御できます。各光線セグメントのフラックスは、光線の開始フラックスで割られます。結果が最小値と最大値の間にある場合、光線セグメントが表示されます。デフォルトでは、すべての光線セグメントが表示されます。フラックス表示範囲の設定を変更するには、光線ソートダイアログボックスの「フラックス表示」ボックスをオンにします。選択した範囲外の光線の表示を排除するために、フラックス範囲の値を入力できます。

デフォルトとして設定

デフォルトの設定オプションは、モデルが OMLB ファイルとしてディスクに保存されるときに

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

保存されます。データが変更された後、「デフォルトを設定」ボタンを押すと、TracePro が次回開かれたときに使用されるように、データが TracePro デフォルトファイルに保存されます。1.11 ページの「ユーザデフォルト」を参照してください。

注：光線のソートはカンデラプロットには適用されません。

光線のエクスポート

光線ソートを実行した後、ソートされた光線をさまざまな CAD ファイル形式でエクスポートできます。これを行うには、**「ファイル | 光線のエクスポート」**を選択し、エクスポートするファイルのタイプを選択、ファイル名を入力します。最後に、「保存」をクリックしてファイルを保存します。

光線ソートの例 As2S3 サーフェス特性と多色グリッドソースを備えた 2 つのブロックを含むモデルを使用した簡単な例を、図 6.41 に示します。

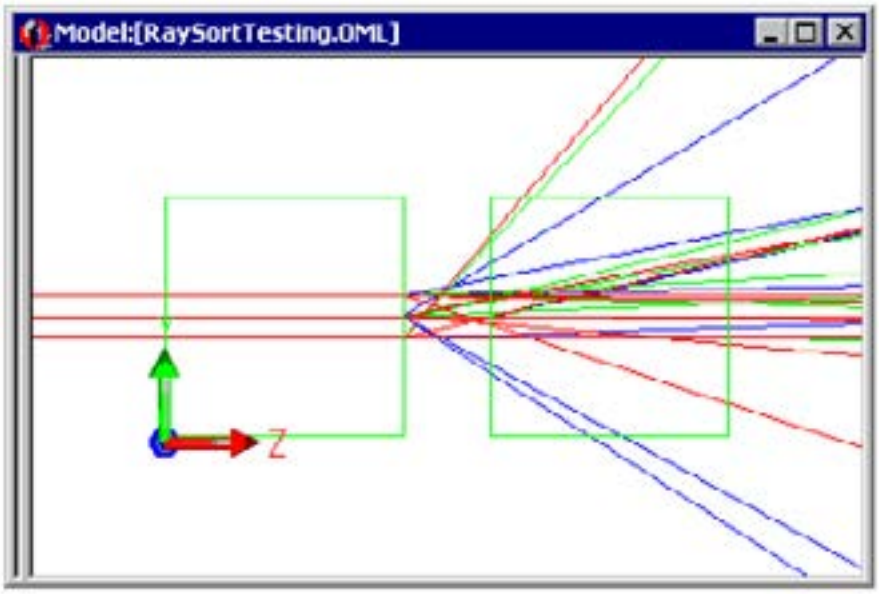


FIGURE 6.41 - Generic model showing scattering of rays on back surface of left block.

「図 6.41 の光線追跡から得られた、全光線および全波長に対する放射照度マップが図 6.42 の左側に、右側には全波長に対するスペキュラー反射光線のみのマップが示されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

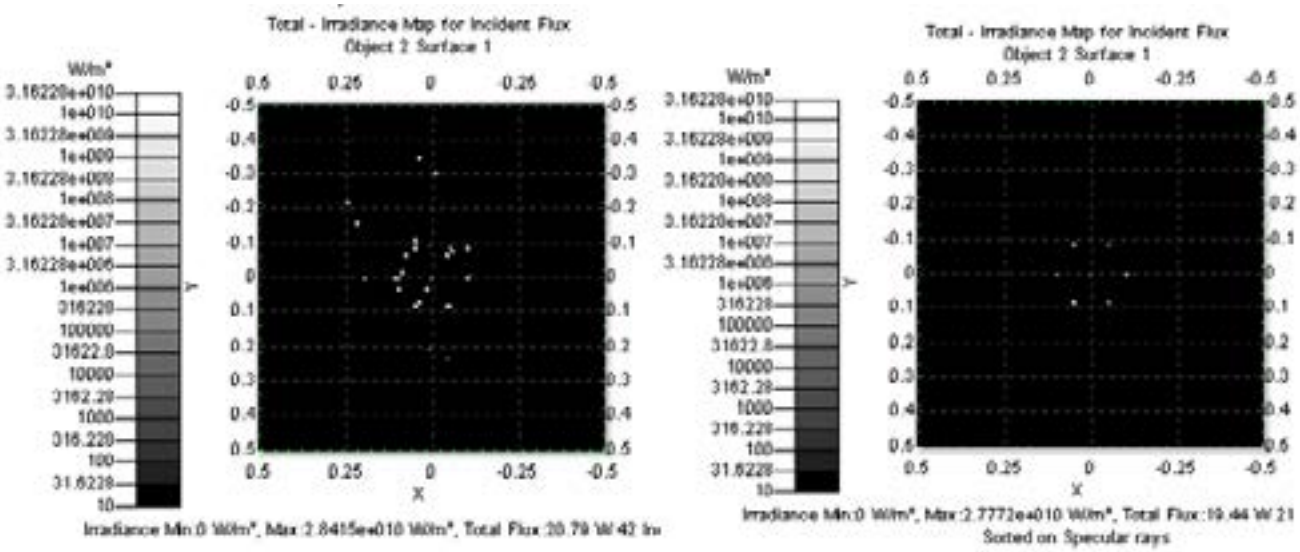


FIGURE 6.42 - TracePro Irradiance maps, All rays (left), Specular rays (right)

図 6.43 は「イラジアンスマップのレイソーティング」ダイアログです。ソートが適用されるウィンドウがダイアログの上部に表示されることに注意してください。

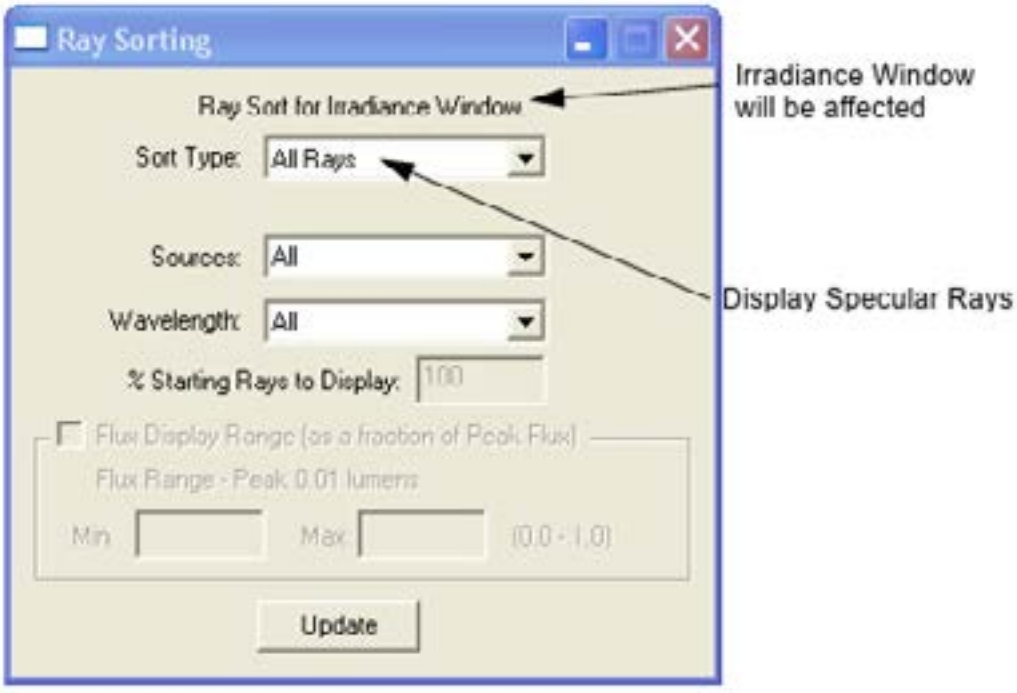
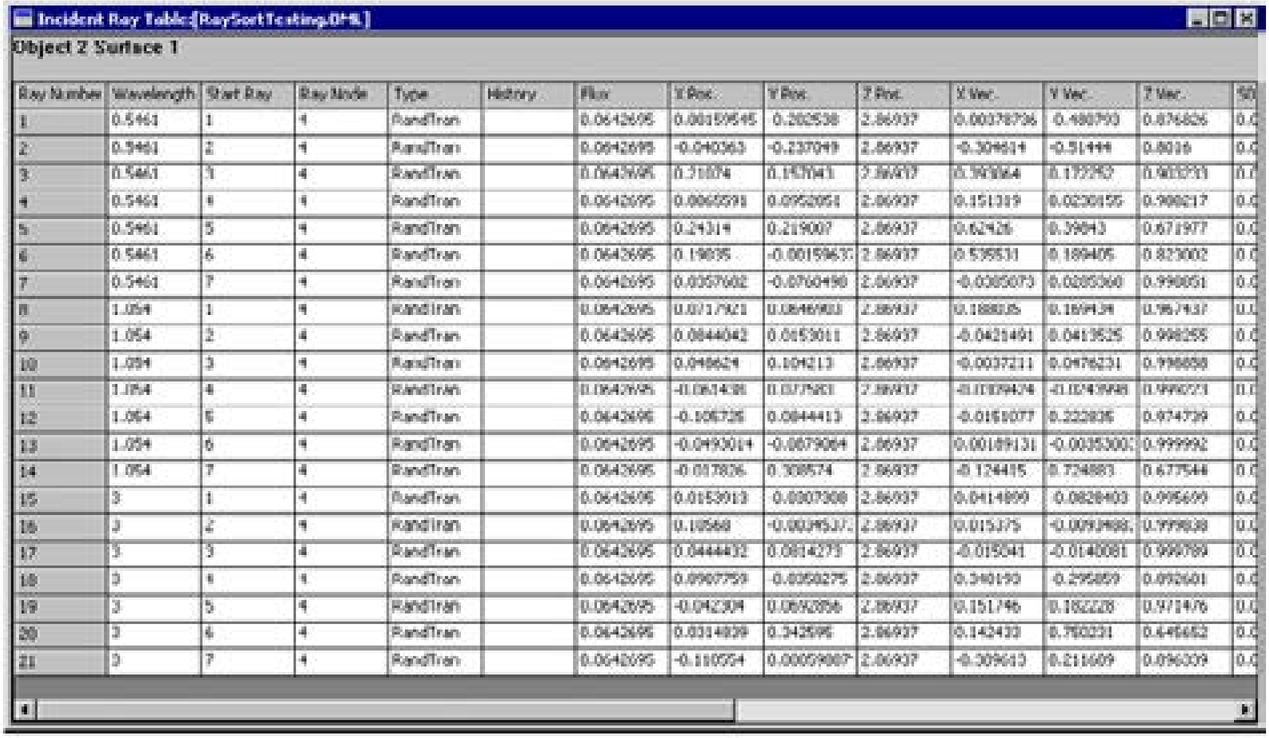


FIGURE 6.43 - Ray Sorting dialog window.

図 6.41 の光線追跡の結果を、ソートタイプ「Single Scatter（単一散乱）」に設定した入射光線テーブルが図 6.44 ｄえす。選択されたサーフェスの前に散乱サーフェスが存在し、全てのスペキュラ反射光が抑制されている（つまり、光線が散乱サーフェスを通過した後、次のサーフェスに到達する際に、ランダムな透過光のみが観測され、鏡面反射光は除外されている）、表示されるインターセプトタイプ（光線がサーフェスと交わるタイプ）が「RandTran（ランダム透過）」のみとなっていることにご注目ください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス



Incident Ray Table:[RaySortTesting.OML]

Object 2 Surface 1

Ray Number	Wavelength	Start Ray	Ray Node	Type	History	Flux	X Pos.	Y Pos.	Z Pos.	X Vec.	Y Vec.	Z Vec.	S0
1	0.5461	1	4	RandTran		0.0642695	0.00159545	0.202538	2.86937	0.00378736	0.480793	0.876826	0.0
2	0.5461	2	4	RandTran		0.0642695	-0.040363	-0.237049	2.86937	-0.304614	-0.51444	0.8016	0.0
3	0.5461	3	4	RandTran		0.0642695	0.71074	0.157043	2.86937	0.393864	0.177292	0.903733	0.0
4	0.5461	4	4	RandTran		0.0642695	0.0065591	0.0952054	2.86937	0.151319	0.0230155	0.988217	0.0
5	0.5461	5	4	RandTran		0.0642695	0.24314	0.219007	2.86937	0.62426	0.39843	0.671977	0.0
6	0.5461	6	4	RandTran		0.0642695	0.19835	-0.0015963	2.86937	0.535531	0.189405	0.823002	0.0
7	0.5461	7	4	RandTran		0.0642695	0.0357602	-0.0760490	2.86937	-0.0305073	0.0285360	0.998051	0.0
8	1.054	1	4	RandTran		0.0642695	0.0717921	0.0646903	2.86937	0.188035	0.169434	0.967437	0.0
9	1.054	2	4	RandTran		0.0642695	0.0844042	0.0153011	2.86937	-0.0421491	0.0413525	0.998255	0.0
10	1.054	3	4	RandTran		0.0642695	0.048624	0.104213	2.86937	-0.0037211	0.0476231	0.998858	0.0
11	1.054	4	4	RandTran		0.0642695	-0.0614381	0.077521	2.86937	-0.0109424	-0.0124398	0.999073	0.0
12	1.054	5	4	RandTran		0.0642695	-0.106726	0.0844413	2.86937	-0.0151077	0.222836	0.974739	0.0
13	1.054	6	4	RandTran		0.0642695	-0.0493014	-0.0879084	2.86937	0.00189131	-0.0035300	0.999992	0.0
14	1.054	7	4	RandTran		0.0642695	-0.017826	0.308574	2.86937	-0.124415	0.724883	0.677544	0.0
15	3	1	4	RandTran		0.0642695	0.0153013	0.0307308	2.86937	0.0414899	0.0828403	0.995699	0.0
16	3	2	4	RandTran		0.0642695	0.10568	-0.0034537	2.86937	0.015375	-0.0093488	0.999838	0.0
17	3	3	4	RandTran		0.0642695	0.0444432	0.0814273	2.86937	-0.015041	-0.0140081	0.999789	0.0
18	3	4	4	RandTran		0.0642695	0.0907759	-0.0350275	2.86937	0.340193	0.295859	0.892601	0.0
19	3	5	4	RandTran		0.0642695	-0.042304	0.0692056	2.86937	0.151746	0.182228	0.971476	0.0
20	3	6	4	RandTran		0.0642695	0.0314939	0.342595	2.86937	0.142433	0.760231	0.645652	0.0
21	3	7	4	RandTran		0.0642695	-0.110554	0.00059087	2.86937	-0.309613	0.211609	0.896339	0.0

FIGURE 6.44 - Incident Ray Table.

レポートメニュー

TracePro は、レポートメニューを使用して、光線追跡とプロパティに関するレポートを生成できます。光線追跡レポート、フラックスレポート、またはプロパティデータレポートを生成できます。これらのレポートは、光線追跡後の要約情報、またはプロパティレポートの場合はプロパティ情報を提供します。

光束レポート（各サーフェスでの光束レポート）

フラックスレポートは、最新の光線追跡の要約を提供します。データは、**ファイル | 名前を付けて保存**メニューを使用して、他のプログラムでの表示および後処理のためにタブ区切りテキストファイルに保存することもできます。

データカラムには、サーフェス面積、波長とソース、入射光線の数、入射および吸収フラックス、および損失フラックスが含まれます。損失フラックスデータは、光線が失われた原因となったメカニズムを特定するために、さまざまなカテゴリに分類されます。

データは、各オブジェクトのバルク吸収と入射フラックスについて表示されます。入射フラックスは、オブジェクトに入るフラックスの合計であり、光線がオブジェクトに出入りするときに光線データが二重にカウントされないようにします。単一のサーフェスを持つ球の場合、球を通過する光線は、損失のない場合、サーフェスの半分の値でオブジェクトの入射フラックスを持ちます。光線はオブジェクトに 1 回入射しますが、サーフェスには 2 回入射します。

ウィンドウの上部にあるリストを使用すると、フラックスレポートに含めるソースと波長を選択できます。

データは、各オブジェクトに対して赤色で、各サーフェスに対して青色で表示されます。少数のオブジェクトについてのみレポートを表示する場合は、最初にシステムツリーまたはモデルウィンドウでオブジェクトを選択し、レポートを表示して、レポートウィンドウの上部にあ

株式会社 ノーツアンドクロス

る [選択したオブジェクトを表示] ボタンをクリックします。[フラックス単位] は、フラックスレポートの測定単位を設定するために使用されます。単位オプションは、W、mW、kW、MW、および lm です。

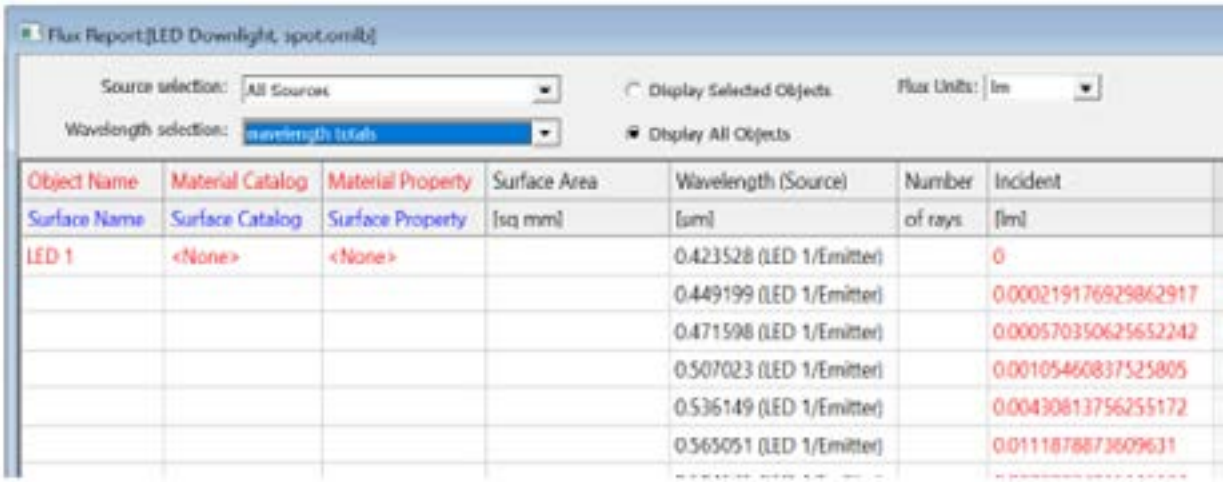


FIGURE 6.45 - Flux Report

プロパティデータレポート

このレポートは、モデルの物件データを表示します。これは、システムツリーで見られるオブジェクトとサーフェスに関する同様の情報を提供します。データは、**ファイル | 名前を付けて保存**メニューを使用して、他のプログラムでの表示および後処理のためにタブ区切りのテキストファイルに保存できます。

データは、各オブジェクトに対して赤色で、オブジェクトのサーフェスに対して青色で表示されます。少数のオブジェクトのみのレポートを表示する場合は、最初にシステムツリーまたはモデルウィンドウでオブジェクトを選択し、レポートを表示して、レポートウィンドウの上部にある「選択されたオブジェクトを表示」ボタンをクリックします。

光線追跡レポート

このレポートは、アクティブなモデルの最新の光線追跡の経過光線追跡時間を表示するモーダルダイアログを表示します。

光線追跡の保存と復元

アナリシスモードの光線追跡は、後で表示するためにディスクに保存できます。まず、**ファイル | 光線の OML ファイルへの保存**を選択して、TracePro をレイ保存モードにします。

選択を繰り返すと、光線データの保存メニュー項目がオンとオフに切り替わり（トグル動作し）ます。メニュー項目がチェックされ、TracePro モデルを保存すると、拡張子 ray を持つ 2 番目のファイルも保存されます。レイファイルには、最新の完了した光線追跡からのすべての光線のデータが含まれています。

光線データを保存するには、まず TracePro が光線の oml ファイルへの保存モードになっていることを確認してください。これには、ファイルメニューで、光線の oml ファイルへの保存モード項目がチェックされていることを確認します。チェックされていない場合は、もう一度選択すると、チェックされます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

次に、**ファイル**｜**名前を付けて保存**を選択し、**oml** ファイルのファイル名を入力します。保存を押すと、ファイルが保存され、TracePro は **oml** ファイルと**光線**ファイルを両方とも保存します。

oml ファイルとレイファイルが同期していることが重要です。oml ファイル内のジオメトリとプロパティを変更すると、保存された光線は古いものとなり、もはやモデルを代表しなくなります。モデルを変更 s ひたら、光線追跡を再実行する必要があります。

保存された光線追跡を復元するには、関連付けられたレイファイルを持つ **oml** ファイルを開くだけです。TracePro はレイファイルを同時に見つけて開き、（解析結果｜光線の表示メニュー項目がチェックされている場合）光線を表示します。光線が復元されると、**解析結果**｜**光線のソート**を使用してレイをソートし、照度マップとカンデラプロットを表示できます。ただし、フラックスレポートはレイファイルから生成できません。フラックスレポートを取得するには、光線追跡を再実行する必要があります。

ツールメニュー

いくつかのユーティリティコマンドは、ツールメニューの下にグループ化されています。これらには、検証、ジオメトリ変換、およびデータベースユーティリティが含まれます。データベース項目は別の章で説明されています。3.84 ページの「プロパティデータベースツール」を参照してください。

検証（検証）

TracePro は、更新検証と完全検証の 2 種類の検証を使用します。

TracePro は、光線追跡の最初の部分として自動的に検証を実行します。この自動検証は、前回の検証以降に変更されたもののみを識別し、変更されたデータを処理します。以前の検証データが見つからない場合、TracePro は完全検証を開始します。

メニューオプションの**ツール**｜**検証**を選択することにより、現在のモデルの完全検証を手動で開始できます。光線追跡の前にこのような「手動」検証を実行して、サーフェスの欠陥、サーフェス特性、またはモデル内のその他の潜在的な問題などの問題を特定することができます。発見されたエラー条件は、メッセージウィンドウに表示されます。

手動検証は、以前のすべての検証データを上書きします。これは、前回の検証から変更されたデータのみを更新する光線追跡の自動検証とは対照的です。

光線データメモリの削除

光線データメモリの削除を選択すると、TracePro はアクティブなモデルで使用される光線追跡メモリの内容を削除します。この選択を行うと、光線の表示およびその他の解析結果が無効になります。

体積フラックス収集

概要

TracePro には、体積フラックス計算を実行する機能があります。アナリシスモードの光線追跡から、ユーザーは連続する直方体セルセットを記述できます。セルごとに、指定された光線追跡に対して 4 つのフラックス値が計算され、結果はユーザー指定のファイルに保存されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

フラックスの 4 つのカテゴリは、発生フラックス、入射フラックス、吸収フラックス、および損失フラックスです。

制限事項：体積流量の計算は、蛍光材料や勾配材料では正しく機能しません。

「ツール」メニューから**「体積流量の収集」**を選択してください。図 6.46 に示すダイアログボックスが表示されます。

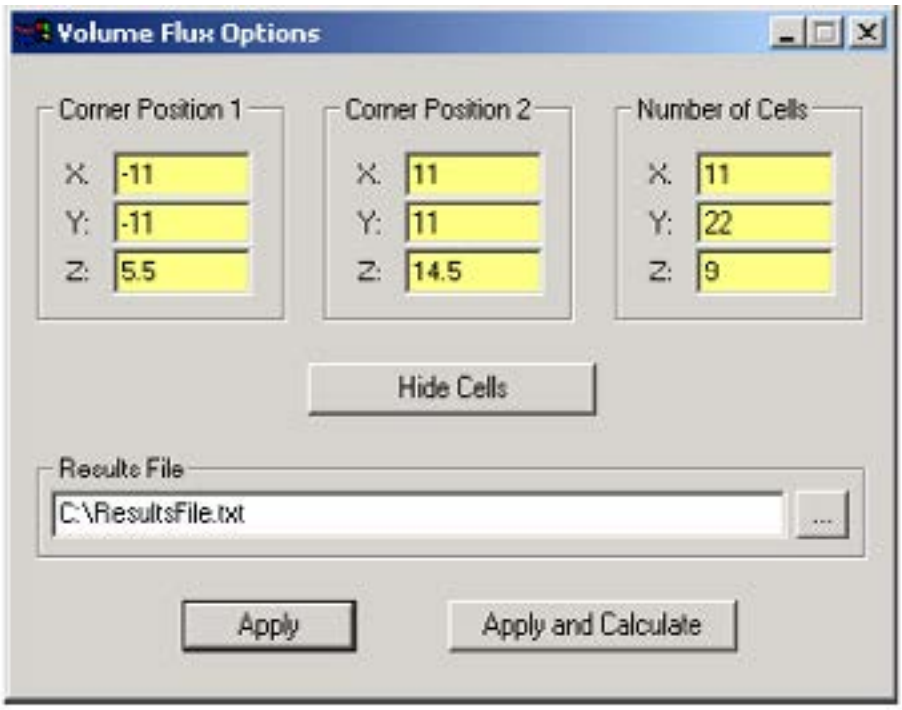


FIGURE 6.46 - Example Volume Flux Options dialog box

コーナー位置の指定：
セル領域の 2 つの対角のコーナー位置を指定します。各次元（X, Y, Z）において、2 番目のコーナー位置の値は、1 番目のコーナー位置の値よりも大きくなければなりません。

セル数の指定：

各次元（X, Y, Z）におけるセル数を指定します。

結果ファイル名の指定：

結果を保存するファイル名を指定します。

セルの表示：

「Show Cells」ボタンを押すと、指定されたコーナー位置とセル数に基づいて生成されたセル群が、モデルウィンドウに表示されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

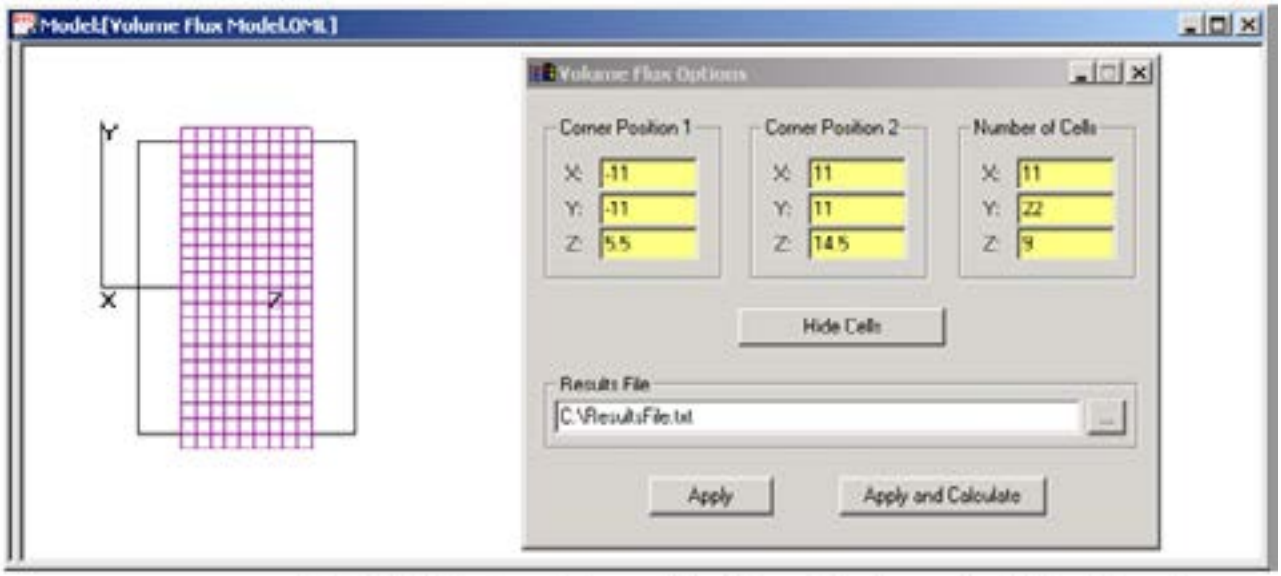


FIGURE 6.47 - TracePro model window showing cells defined for volume flux analysis. This example shows the cells placed inside a sub section of a simple block geometry. The Show Cells button toggles to Hide Cells after being chosen.

与えられた光線追跡に対して、ボリュームフラックス計算を何度でも実行できます。「ボリュームフラックスオプション」ウィンドウの入力を変更することで、ボリュームフラックス計算の結果を異なるファイルに書き出すことができます。必要に応じて、これらの計算のそれぞれで、光線追跡を繰り返すことなく、異なるボリュームフラックスセル構成（セルの位置、セル数）を利用できます。データは、「ボリュームフラックスビューア」を使用して、生成された各ファイルの結果を表示します。6.71 ページの「ボリュームフラックスの表示」を参照してください。

異なる光線追跡の結果を同じファイルに書き込むこともできます。これは、ある「適用して計算」の選択から次の選択まで、ボリュームフラックスセル構成が変わらない場合に発生します。この場合、現在の光線追跡の結果は、ファイル内の現在の結果に数学的に加算されます。シミュレーションの数を追跡する増分カウンターもファイルに保存されます。

さまざまな条件下で TracePro が何を行うかの概要を、表 6.10 に示します。たとえば、指定された結果ファイルが存在しない場合は、常に新しいファイルが作成されます。結果ファイルが存在する場合、TracePro はファイル内のデータをモデルの現在の状態および現在のボリュームフラックスセル構成と比較します。

テーブル 6.10　TracePro のモデルの状態に応じたアクションの要約です。「New」と Old」のラベルは、最後に体積フラックス計算が実行されてから変更が加えられたかどうかを示します。

セル構成	New	New	Old	Old
光線追跡	New	Old	New	Old
TracePro のアクション	結果のファイルを書き換えるかどうかを尋ねられる	結果のファイルを書き換えるかどうかを尋ねられる	新たなデータが既存のデータに追加される	結果ファイルに既存のデータを追加するかどうか

体積フラックスの観察

概要

図 6.46 に示すボリュームフラックスビューアは、ツールメニューの「ボリュームフラックス収集」オプションを使用して収集されたデータを可視化するために使用できます。ボリューム

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

フラックスデータが収集されると、テキストファイルに保存され、ボリュームフラックスビューアに読み込むことができます。ボリュームフラックスデータは 3 次元のデータグリッドで配置されているため、ボリュームフラックスビューアでは、そのデータの任意の 2 次元スライスを表示できます。

ボリュームフラックスビューアを使用するには、**ツール | ボリュームフラックスの**表示を選択します。「開く」ボタンをクリックして、ボリュームフラックスファイルを開きます。

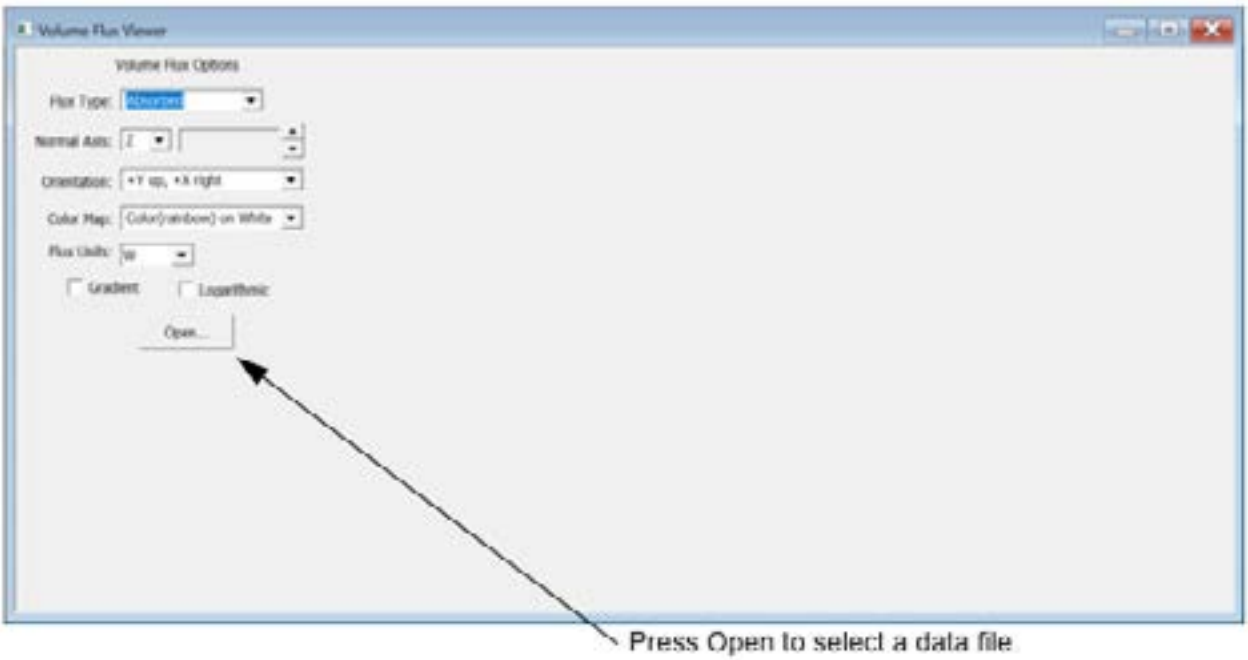


FIGURE 6.48 - New viewer without data file.

フラックスタイプ

フラックスタイプ：ボリュームフラックスファイルを開くと、フラックスタイプのドロップダウンリストから「吸収」、「入射」、「損失」、「発生」を選択して、表示するフラックスタイプを変更できます。入射フラックスタイプの例を 図 6.49 に示します。

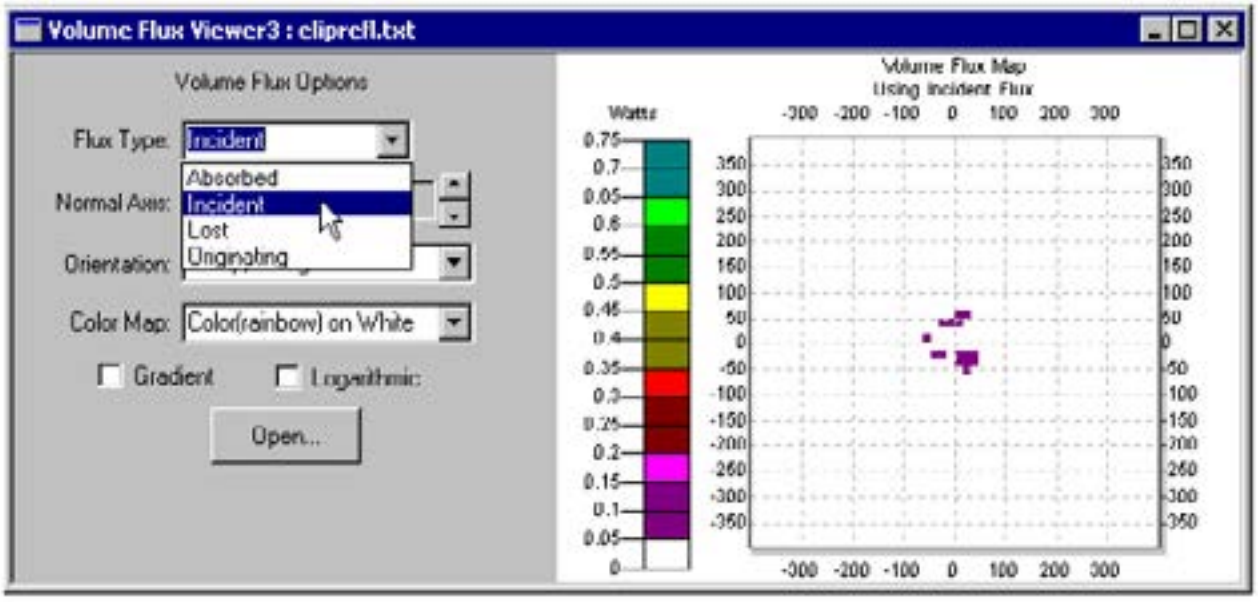


FIGURE 6.49 - Changing the flux type.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

法線（Normal Axis）」と「向き（Orientation）」

デフォルト設定：
画面に対して正の Z 軸が奥に向かって伸びるように表示されます（法線軸は Z 軸）。
正の Y 軸は Up、正の X 軸は右向きです。

設定変更の例：
もし、画面に対して正の X 軸が奥に向かって伸びるように表示したい場合（法線軸を X 軸にしたい場合）、法線軸として X 軸を選択します。
さらに、正の Z 軸を Up、正の Y 軸を左向きにしたい場合は、向きのドロップダウンリストから「+Z up, +Y left」を選択します。

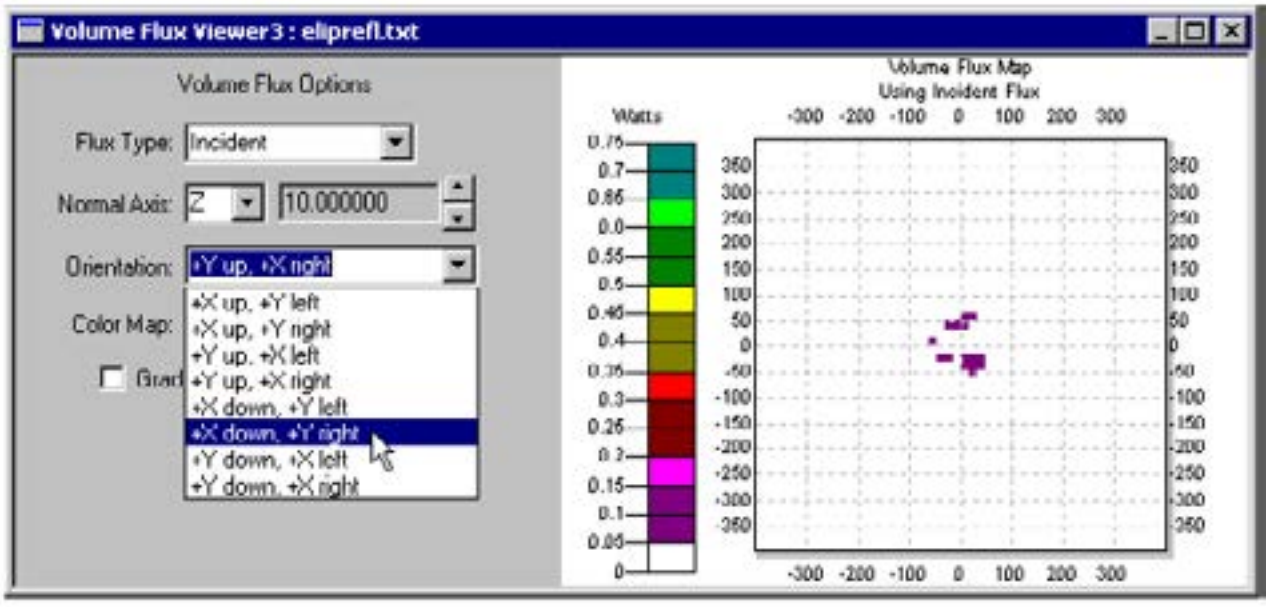


FIGURE 6.50 - Changing the orientation.

スライス

この例では、x 軸に沿って 50 個のセルがあります。これは、上記の向きでは、表示可能なデータの「スライス」が 50 個あることを意味します。スライスをスクロールするには、標準軸コントロールの右側にあるスピンコントロール（図 6.51）を使用します。スピンコントロールのすぐ左側にある数字は、データの現在のスライスの軸座標（この場合は X）を示します。

図 6.51 - 体積流量スライスのスピンコントロール

カラーマップ

データを表示するために、いくつかのカラースキームが利用可能です。それぞれは、カラーマップのドロップダウンリストから直接選択できます。

単位

単位は、体積流量ビューアの測定単位を設定します。単位のオプションは次のとおりです。

- W（ワット）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- mW（ミリワット）
- kW（キロワット）
- MW（メガワット）

勾配 (Gradient) 表示

デフォルトでは、データの全範囲がいくつかの範囲に分割され、各範囲がカラーマップの各色に割り当てられます。左側のカラーパレットは、どの色がどのデータ値の範囲に対応するかを示します。勾配オプションは、カラーパレットに連続的な色の帯を作成し、マップ内の各データ値は、色の勾配内の位置に基づいて着色されます。

対数 (Logarithmic) 表示

このオプションは、データを対数スケールで表示します。

シミュレーションファイルマネージャー (Simulation File Manager)

図 6.52 に示すシミュレーションファイルマネージャーは、ツールメニューから開き、後述の照度ビューアで表示するためにシミュレーションモードの光線追跡中に保存されたレイファイルを選択するために使用されます。これには、シミュレーションモードの光線追跡を開始する前に、**光線追跡 | 光線追跡オプション | シミュレーションと出力**で「光線追跡中にデータをディスクに保存」を選択する必要があります。「光線追跡中にデータをディスクに保存」の 5.48 ページを参照してください。TracePro は、トレースされたモデルに関する情報と特定の光線追跡ごとの注釈を保持するインデックスファイル（.NDX）を使用して、シミュレーションデータのセットを収集します。シミュレーションファイルマネージャーは、インデックスファイルを読み込んで、表示する目的のデータファイルを選択したり、不要になったときに削除したりするために使用されます。削除すると、インデックスファイル内のエントリが削除され、*.sim ファイルが削除されます。

出射サーフェスファイル (Exit Surface files)

インデックスファイルには、出射面ファイルとミスした光線のカンデラデータファイルへのリンクが含まれています。出射面ファイルには、イラジアンス / イルミナンスマップまたは出射光線カンデラプロットを表示するために必要なデータが含まれています。出射面ファイルの名前は exN で終わり、N は出射面番号です。つまり、ex1 は TracePro によって表にされた最初の出射面です。出射光線を使用してイラジアンス / イルミナンスマップまたはカンデラプロットを表示するには、まず表示する出射面 .sim ファイルを選択し、次にダイアログボックスの下部にある表示リストからプロットのタイプを選択します。プロットのオプションは、プロットを右クリックし、ポップアップメニューからオプションを選択することで利用できます。「照度マップオプション」の 6.8 ページと「カンデラオプション」の 6.28 ページを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

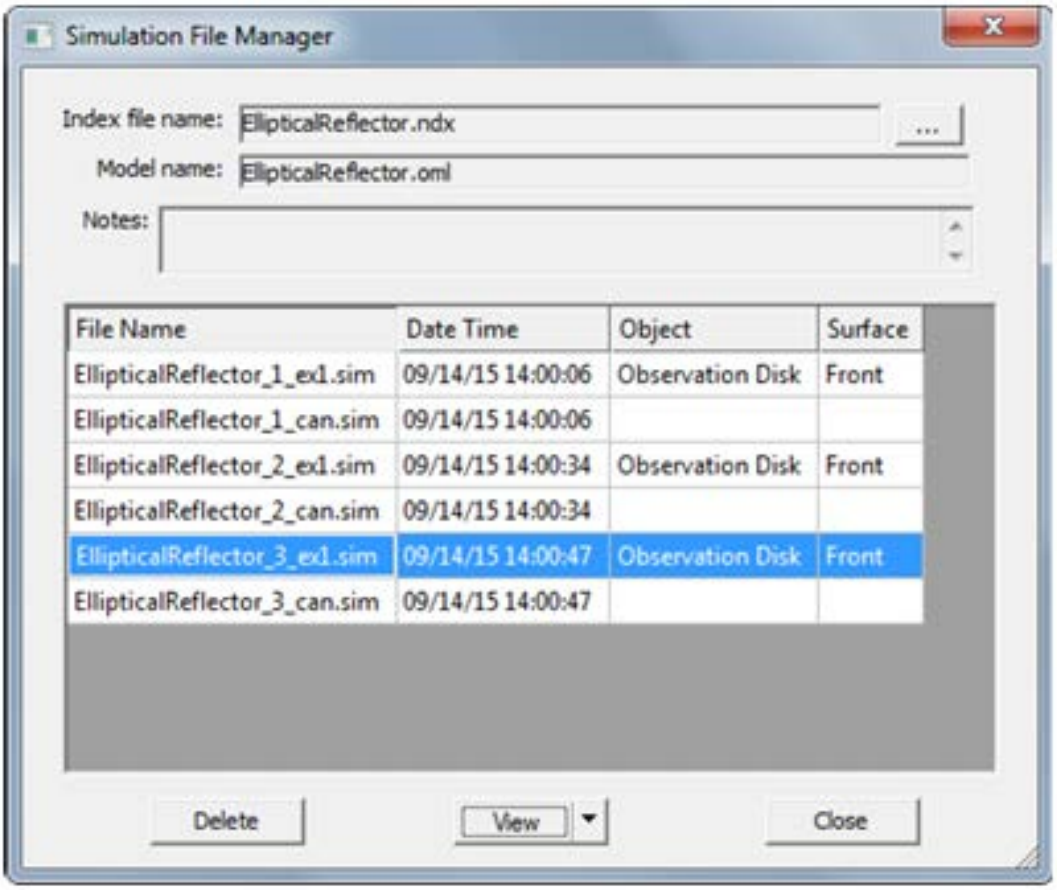


FIGURE 6.52 - Simulation File Manager.

Candela「オブジェクト・サーフェスと交わらない光線」ファイル

TracePro は、レイをトレースする前に**光線追跡 | 光線追跡オプション | シミュレーションと出力**の**散逸した光線のカンデラデータ**チェックボックスが選択されている場合、ミス光線のカンデラデータも保存できます。カンデラファイル名は、図 6.52 に示すように「can」で終わります。オブジェクト・サーフェスと交わらない光線カンデラプロットを表示するには、適切な「can」ファイルを選択し、[View] をクリックして、表示したいプロットのタイプを選択します。プロットのオプションは、プロットを右クリックし、ポップアップメニューから [Options] を選択することで利用できます。6.28 ページの「カンデラオプション」を参照してください。

イラジアンス / イルミナンスビューアー

概要

TracePro には、以前にテキストファイルとして保存されたイラジアンス / イルミナンスマップを表示し、複数のイラジアンス / イルミナンスマップからデータを加算または減算する機能があります。これは、例えば、個々の LED の寄与を評価し、次にすべての LED を組み合わせた結果を確認することが望ましい LED アレイからの光分布を解析結果するために使用できます。

保存されたイラジアンス / イルミナンスマップの表示

「**ツール**」メニューか**イラジアンス / イルミナンスビューア**を選択し、**[View]** を選択して、以前に保存されたイラジアンス / イルミナンスマップを表示します。テキスト（.TXT）ファイルとシミュレーション（.SIM）ファイルの 2 種類のファイルを開くことができます。これらのファ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

イルを作成するには、それぞれ 6.15 ページの「照度データへのアクセス」と 5.48 ページの「光線追跡中のディスクへのデータ保存」を参照してください。

イラジアンス / イルミナンスビューアーのオプション

イラジアンス / イルミナンスビューアーのオプションは、イラジアンス / イルミナンスビューアーウィンドウを右クリックすることで利用できます。

TXT データファイル

テキスト(.TXT)ファイルの場合、イラジアンス / イルミナンスビューアーで利用可能なオプションは、照度マップで利用可能なオプションのサブセットです。一部のオプションは無効になっていますが、データがディスクに保存されたときに使用された値が表示されます。

利用可能なオプションは次のとおりです。

- 最大値の設定
- 最小値の設定
- グラデーション表示
- フットキャンドルへの変換
- 対数スケール
- レリーフプロット
- プロファイル
- カラーマップ

オプションの詳細については、6.7 ページの「放射照度マップ」の項目をご覧ください。

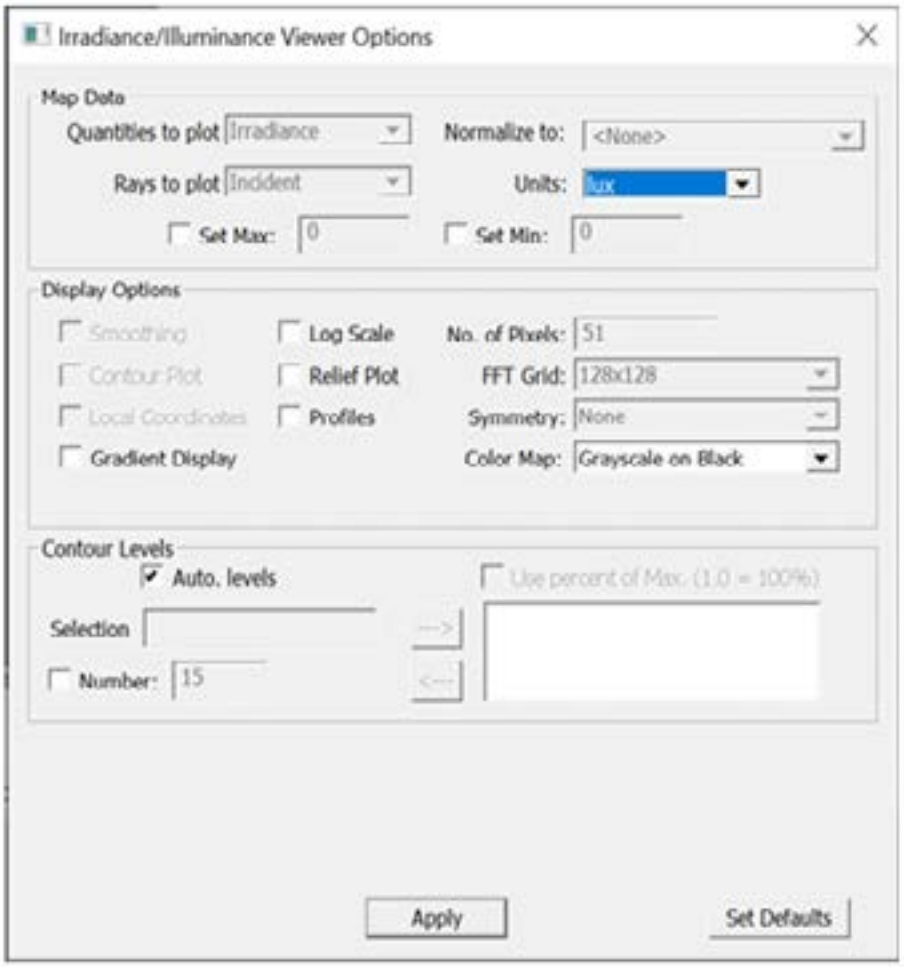


FIGURE 6.53 - Options dialog for Irradiance Viewer, TXT files.

シミュレーションデータファイル

SIM データファイルでは、法線ベクトルと Up ベクトルの選択を除くすべてのオプションがサポートされています。法線ベクトルと Up ベクトルは、出口サーフェスプロパティが適用される場合に定義する必要があります。4.31 ページの「事前定義された照度マップの向き」を参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

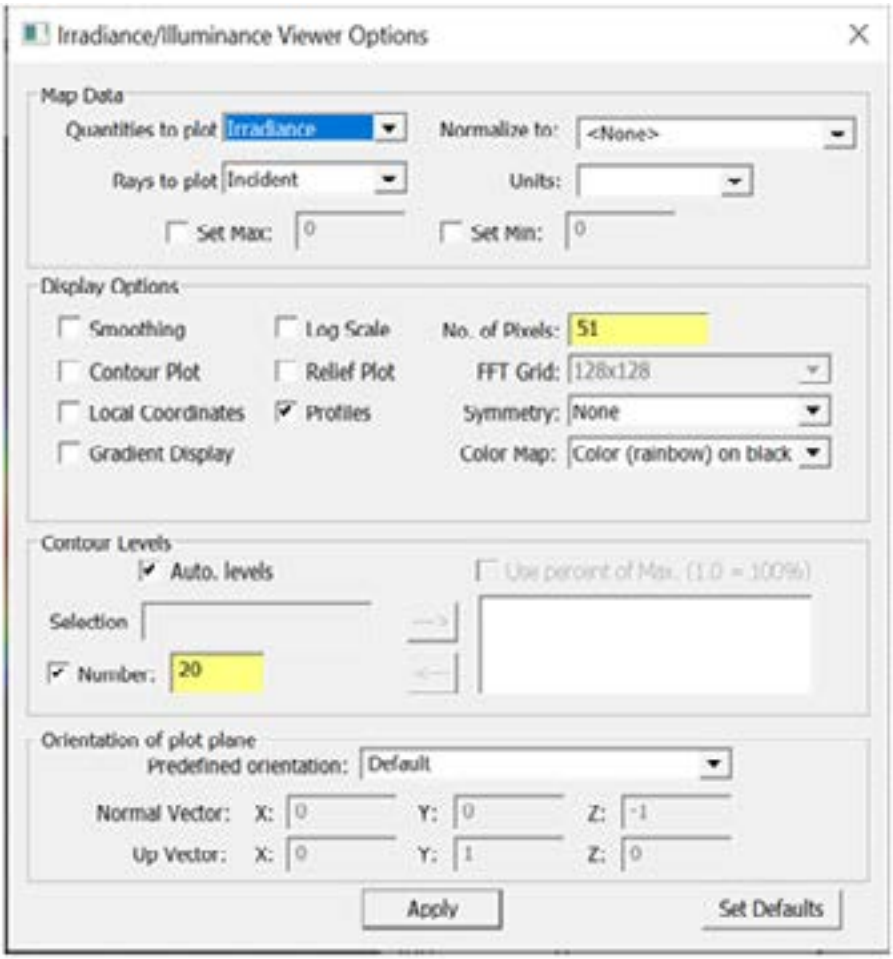


FIGURE 6.54 - Options dialog for Irradiance Viewer, SIM files.

イラジアンス / イルミナンスマップの加算と減算

イラジアンス / イルミナンスビューアでイラジアンス / イルミナンスマップを開いた後、[ツール] メニューから [加算] と [減算] オプションが利用可能になります。これらのオプションを使用すると、追加のマップからのデータを組み合わせ、統合されたデータを表示できます。加算および減算後、イラジアンス / イルミナンスビューアのタイトルバーに表示されるファイル名は、最初に表示されたファイルの名前であることに注意してください。

注：加算 / 減算機能を使用できるのは、テキスト（.TXT）ファイルのみです。

イラジアンス / イルミナンスマップを加算および減算する場合、イラジアンス / イルミナンスマップテキストファイルに対する以下のパラメータの影響を理解することが重要です。

- スムージングのオンまたはオフ
- マップ数
- 解像度
- 寸法（マップの線形寸法）

下の図 6.55 に示すように、イラジアンス / イルミナンスマップテキストファイルは、ヘッダー情報のための固定数の行で始まり、その後に照射照度 / 照度値の配列またはグリッドが続きます。

イラジアンス / イルミナンスビューアは、同じグリッドサイズのファイルを 2 つのみ追加で

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

きます。スムージングされていないマップの場合、グリッドサイズはピクセル数に等しくなります。スムージングされたマップの場合、グリッドサイズは FFT グリッドに等しくなります。TracePro は、2 つのマップのグリッドサイズが同じであればデータ結合を行いますが、TracePro がこの加算 / 減算が意図されたものであるかを確認するために警告を表示するケースが 2 つあります。1 つは、2 つのマップの線形寸法が異なる場合です（例：一方のマップが 1mm x 1mm の出射面のデータで、もう一方のマップが 2mm x 2mm の出射面のデータである場合）。2 つ目は、ピクセル数が異なるスムージングされたマップの場合です。スムージングされたマップの場合、ピクセル数パラメータは「スムージングの程度」を変更するため、異なるスムージング特性を持つ 2 つのマップを加算または減算することは望ましくない場合があります。スムージングが必要な場合は、スムージングされていないデータを保存し、ビューアでそれらを結合してからスムージングを追加するのが最善です。

racePro Release: 7 7 0 Irradiance Map Data for D:\TraceProData\EllipticalReflector.oml
Linear Units in millimeters
Data for Observation Disk Front
Data generated at 08:32:44 September 14, 2015

Raytrace Time: mins: 0, secs: 9
Projected Plane Extent from surface geometry
TopLeft:(300,300,1000)
TopRight:(-300,300,1000)
BottomLeft:(300,-300,1000)
BottomRight:(-300,-300,1000)
Corners of Data Set (plotted)
TopLeft:(300,300,1000)
TopRight:(-300,300,1000)
BottomLeft:(300,-300,1000)
BottomRight:(-300,-300,1000)
Total Incident Rays: 109966
Min: 4.96551e-012 Max: 1018.73 Ave: 25.8429
Total Flux: 7.30692 lm, Emitted Flux: 10 lm
Data Smoothing is On
Grid Size is 128 x 128
Map Count 50
Data Cells are 4.6875 x 4.6875 millimeters
6.74368e-009 5.85357e-009 6.14844e-009 8.58517e-009 6.04197e-009 5.58483e-009 ..... 1.26708e-008
1.42955e-008 1.44828e-008 1.28075e-008 1.59571e-008 1.73264e-008 ..... 1.22095e-008 2.14864e-008
2.25737e-008 2.53281e-008 2.35472e-008 2.33365e-008 ..... FIGURE 6.55 -
Header section of a saved Irradiance/Illuminance Map with initial data rows shown

カンデラプロットビューア

カンデラプロットビューアを使用すると、テキストファイルとして保存されたカンデラ出力ファイルを開いてプロットを再表示したり、以前に保存した *.sim ファイルを開いて新しいカンデラプロットを作成したりできます。

*.txt ファイルを開いて保存されたカンデラプロットを表示する

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

保存されたカンデラプロットを開くには、[ツール] > [カンデラプロットビューア] を選択すると、[開く] ダイアログボックスが開きます。[ファイルの種類 : *.txt] を選択し、表示したいカンデラファイルを参照して [開く] をクリックします。プロットのオプションを制御するには、プロットを右クリックして [カンデラオプション] を選択します。使用可能なオプションは、セッション内の [カンデラオプション] ダイアログボックスで使用可能なオプションのサブセットです。

*.sim ファイルを開いてカンデラプロットを表示する

([光線追跡] > [光線追跡オプション] > [シミュレーションと出力] > [光線追跡中にデータをディスクに保存する] を有効にして）以前のシミュレーションモードの光線追跡から *.sim ファイルを開くことで、ライブセッションで使用されるほとんどのカンデラオプション設定にアクセスして、新しいカンデラプロットを作成できます。使用可能なプロットタイプは、表 6.11 に示すように、開いたファイルタイプによって異なります。

*** 表 6.11 .sim ファイルを開いて使用できるカンデラプロット**

File type for raytrace no. N, Exit Surface no. M	Candela plot available
Exit surface file (ModelName_N_exM.sim)	Rays incident on Exit Surface
Candela Missed Rays file (ModelName_N_can.sim)	Missed Rays

新しいカンデラプロットを作成するために *.sim ファイルを開くには、ツール | カンデラプロットビューアを選択します。すると、開くダイアログボックスが開きます。ファイルの種類:*.sim を選択し、表示したいファイルを参照して、開くをクリックします。

3D イラジアンス / イルミナンスビューア

3D イラジアンス / イルミナンスビューアを使用すると、保存された 3D 照度テキストファイルを開いて結果を表示できます。

保存された 3D イラジアンス / イルミナンスマップの表示

保存された 3D 照度ファイルを開くには、**[ツール] | [3D イラジアンス / イルミナンスビューア]** を選択します。次に、[ファイル] を選択し、[3D マップファイルをロード] を選択して、保存された 3D 照度テキストファイルを参照します。

3D イラジアンス / イルミナンスビューアのオプション

プロットのオプションを制御するには、プロットウィンドウを右クリックして [オプション] を選択します。[プロットする量] の設定は、保存されたデータ形式と一致する必要があります。たとえば、データが 3D 照度データとして保存された場合、[プロットする量] は [照度マップ] に設定する必要があります。利用可能なオプションは、[照度マップ]、[輝度マップ]、および [トゥルーカラーマップ] です。追加のオプションは、セッション内の 3D イラジアンス / イルミナンスダイアログボックスで利用可能なオプションのサブセットです。

3D イラジアンス / イルミナンスビューアのビュー

3D イラジアンス / イルミナンスビューアプロットのビューと回転を設定するには、右クリックして [ビュー] または [ビュー回転モード] を選択します。利用可能なビューと回転オプションは、TracePro セッションで利用可能なオプションと類似しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TracePro モデルオブジェクトのロード

TracePro モデルのモデルオブジェクトは、TracePro モデルオブジェクトを右クリックして [1 つのボディをインポート] または [すべてのボディをインポート] を選択することで、3D イラジアンス / イルミナンスビューアにロードできます。[1 つのボディをインポート] を選択した場合、開いたダイアログボックスにボディの名前を入力する必要があります。

解析結果ツールキット

解析結果ツールキットを使用すると、次のカンデラ極座標データの拡張プロットにアクセスできます。

- スペクトル解析結果
- イラジアンス / イルミナンスマップ
- 道路輝度
- カンデラ - 矩形チャート
- カンデラ - 360 度極座標チャート
- カンデラ - 180 度極座標チャート II
- カンデラ - 円形極座標チャート
- カンデラ - 円形極座標チャート II
- ビーム照度
- RCG 解析結果
- LCS 解析結果
- DHI 解析結果

[ツール] | [解析結果ツールキット] を選択するか、カンデラプロットを右クリックして [解析結果ツールキット] を選択して、解析結果ツールキットを開きます。解析結果ツールを開始するには、解析結果ツールキットウィンドウでツールをダブルクリックします。プロットのオプションにアクセスするには、プロットを右クリックします。

解析結果ツールキットには独自のヘルプシステムがあります。

ソーラエミュレーターについて：

ソーラエミュレーターは、完全に自動化されたインタラクティブな太陽光解析結果ユーティリティです。この太陽光ユーティリティを使用すると、地理的な場所、太陽の移動期間、太陽光の放射を定義して、曇りから晴天までの計算をシミュレートすることで、太陽光集熱システムを解析結果できます。ターゲットサーフェスの放射照度およびカンデラマップ、時間期間ごとのターゲット上の総フラックス、および時間経過に伴う効率を詳述した表形式の出力など、完全な診断出力が利用可能です。ダイアログボックスを使用して太陽の位置を設定し、Google Earth を使用して位置検証を行い、3D 地球モデリングを使用して軌道を検証し、ダイアログボックスを使用して出力解析結果を評価します。エミュレーターが設定されると、必要なデータを生成するために TracePro を使用して光線追跡を実行します。

ソーラエミュレーターを開始するには、**[ツール] | [ソーラエミュレーター]** を選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ソーラエミュレーターには、独自のコンテキスト依存ヘルプシステムがあります。

シーケンスエディタ

概要

TracePro のシーケンスエディタを使用すると、光学設計における光学素子のシーケンスを編集し、シーケンシャル光線追跡を実行し、PSF（点拡がり関数）、スポットダイアグラム、フットプリントなどの性能指標を解析結果できます。以下のセクションでは、シーケンスエディタの機能について説明します。

シーケンスエディタのウィンドウは移動およびドッキング可能です。デフォルトではドッキングされており、分割バーをドラッグしてサイズを変更できます。ウィンドウのタイトルバーをクリックしてドラッグすると、ドッキングを解除でき、ポップアップ表示される Windows ドックコントロールを使用して再ドッキングするか、ドッキング解除したままにできます。ドッキングを解除すると、ウィンドウをシーケンスエディタウィンドウの外にドラッグできます。

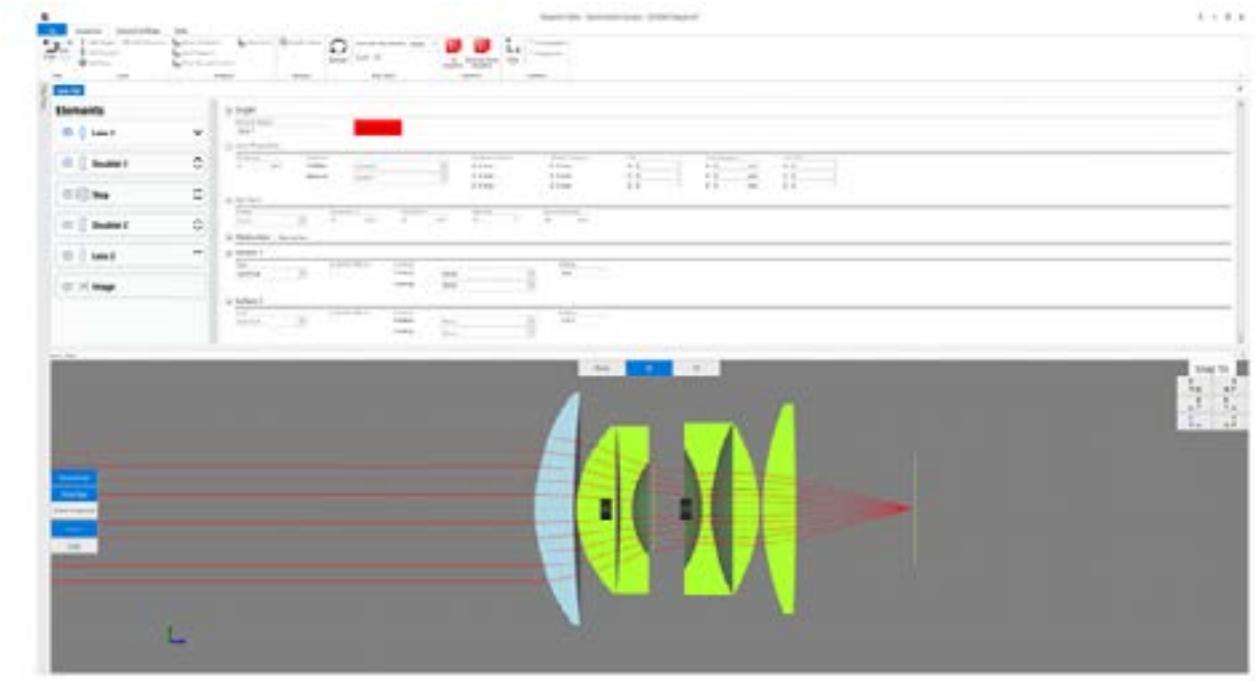


FIGURE 6.56 - Sequence Editor

シーケンスエディタのファイルメニュー

ファイルページには、シーケンスに関するいくつかのオプションとグローバル設定があります。シーケンスエディタに入力したデータは、TracePro モデルファイルの一部であることに注意してください。ファイルセクションのデータは以下に要約されています。

- **シーケンス設定**
  - **タイトル** - シーケンスのタイトルを入力します。
  - **注釈** - 今後の参照のために注釈を入力します。
  - **グローバル位置と傾斜** : これらは、TracePro モデル内でシーケンスの位置と向きを定めるための座標変換を設定します。
    開く : 現在の TracePro モデルの既存のシーケンスを開きます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

保存 : 現在の .tracepro ファイルをシーケンスデータを埋め込んで保存します。
新規シーケンス : 現在の TracePro モデルの新しいシーケンスを作成します。

シーケンスリボン（Sequence Ribbon）

シーケンスリボンは、シーケンスを編集し、解析結果を実行するためのメインリボンです。設計データの入力、解析結果の実行、TracePro モデルとのデータ交換、およびレンズビューの制御のために、以下のオプショングループが利用可能です。

- **編集 :** 以前の操作を元に戻したり、やり直したりします。
- **レンズ :** シーケンスにエレメントを追加します。
- **レシピ :** シーケンスエディタの学習を支援するためのサンプル設計です。
- **解析結果 :** 解析結果プロットを含む新しいウィンドウを開きます。
- **レイ トレース :** 光線の表示を制御します。
- **TracePro:** TracePro モデルへのシーケンスの追加、更新、または削除を行います。
- **カメラ :** レンズビューウィンドウでの光学設計のレンダリング表示を制御します。

FIGURE 6.57 - Sequence ribbon

レンズグループ

レンズグループを使用して、シーケンスに新しいレンズエレメントを追加します。レンズグループを使用すると、通常は像となる単レンズ、二重レンズ、絞り、または基準面を作成できます。

単レンズの追加

「単レンズの追加」ボタンを使用して、シーケンスの最後にレンズエレメントを追加します。新しいエレメントは、デフォルトの厚さが 10mm、円形絞り、曲率がゼロの 2 つの球面を持ちます。単レンズが追加されたら、データを自由編集できます。

各サーフェスまたは絞りの相対的な偏心を指定することもできます。非円形絞りの場合は、絞りの回転（クロッキング）を指定することもできます。障害物の値を使用して、エレメントに穴を開けることができます。

単レンズの入力は、レンズセットウィンドウの右側のペインの各見出しについて、以下の表に示されています。

注意：無効なデータを入力した場合、データ項目は赤い線で囲まれ、（未変更の）エレメントがレンズビューウィンドウに表示されます。レンズビュー表示を更新するには、有効な値を入力する必要があります。

注意：本稿執筆時点では、シーケンスエディタは以下のサーフェスタイプをサポートしています。

- 平面

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 球
- 円錐
- Q 型非球面（Qcon）
- Q 型非球面（Qbfs）
- 回転対称非球面
- 非対称非球面
- 非対称一般非球面

FIGURE 6.58 Singlet lens data

テーブル 6.12　シングレット

Element Name	レンズエレメント名．編集可能
Delete　Element	クリックでシングレットを削除

テーブル 6.13　レンズプロパティ

Thickness	レンズエレメントの厚みは、第一面の頂点から第二面の頂点まで測定されます。
Material	エレメントに使用する材質のカタログと名前を選択します
Relative Position	最初の表面頂点の相対位置。これは前の表面に対する相対位置で測定されます。最初のレンズエレメントの場合、これは編集できず、(0,0,0) に設定されます。
Global Position	最初のサーフェス頂点のグローバル位置。情報のみであり、編集はできません
Tilt	最初のサーフェスの傾き
2nd Position	最初のサーフェスの頂点に対する、二番目の表面頂点の位置
2nd Tilt	最初のサーフェス相対の二つ目のサーフェスの傾き

テーブル 6.14　アパーチャ

ShapeDecenter X & Y	以下からアパーチャの形を選択 • 円形 • 楕円形 • 矩形
Gamma	開口部の光軸を中心とした回転角（「時計」の角度）。円形開口部の場合、ガンマは意味を持ちません。
Decenter X & Y	表面頂点に対してのアパーチャの偏心
Semi-Diameter	円形アパーチャの半径
Width & Height	矩形アパーチャの幅（X 方向）と高さ（Y 方向）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

X & Y Radius	絞りの光軸を中心とした回転角度（「時計」の角度）。円形絞りではガンマは意味を持たない。
2nd Surface Semi Diameter	円筒対称なレンズエレメントについて、2 番目の表面に対して異なる半径を指定できます。レンズエレメントが円筒対称であるためには、以下のすべてが真である必要があります • 両方の表面が回転対称なタイプであること • 2 番目の位置と 2 番目の傾きがゼロであること • 絞りが円形であること

テーブル 6.15 障害物

Not in Use / Active	このチェックボックスを使用して、エレメントの障害物（穴）のオン / オフを切り替えます。
Shape	障害物の形状を、以下のいずれかから選択してください。 • 円形 • 楕円形 • 矩形
Decenter X & Y	サーフェス頂点に対しての、障害物の偏心
Gamma	光軸を中心とした遮蔽物の回転角（「時計」の角度）。円形の遮蔽物の場合、ガンマは意味を持ちません .
Semi-Diameter	円形障害物の半径
Width & Height	矩形 障害物の幅（X 方向）と高さ（Y 方向）
X & Y Radius	楕円形障害物の半径

テーブル 6.16 サーフェス 1 & 2

Type	リストから表面タイプを選択してください。多くの表面タイプが利用可能です。完璧な鏡？のチェックボックスを選択すると、表面が完璧な鏡になります。
Coating	表面に適用するコーティング（サーフェスプロパティ）のカタログと名前を選択してください。
Radius	サーフェスの曲率半径
Conic Constant	平面、球、Qbfs 以外の全ての表面タイプについて
Normalization Radius	Qcon、Qbfs、および Zernike を含む正規化多項式の正規化半径
Gamma	特定の非対称多項式の方向角
Order	選択された多項式タイプに適用する最大次数
Coefficients	多項式各項の係数

ダブレットレンズの追加

「ダブレットレンズを追加」ボタンを使用すると、シーケンスの最後に接合二重レンズを追加できます。二重レンズの各新しいエレメントは、デフォルトで厚さ 10mm、円形絞り、曲率ゼロの 2 つの球面を持ちます。エレメントが追加されると、必要に応じてエレメントのデータを編集できます。

また、サーフェスまたは絞りの相対的な偏心を指定することもできます。非円形絞りの場合は、絞りの回転（クロッキング）も指定します。エレメントに穴を開けるには、障害物（Obstruction）の値を使用します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ダブレットレンズの入力は、レンズセットウィンドウの右側のペインの各見出しについて、以下の表に示されています。**注意：**無効なデータを入力すると、データ項目が赤い線で囲まれ、レンズビューウィンドウに（変更されていない）レンズが表示されます。レンズビューの表示を更新するには、有効な値を入力する必要があります。

- **注意：**この記事を書いている時点では、シーケンスエディタは次のサーフェスタイプをサポートしています：
  平面
- 球面
- 円錐面
- Q 型非球面（Qcon）
- Q 型非球面（Qbfs）
- 回転対称非球面
- 非対称非球面
- 非対称一般非球面

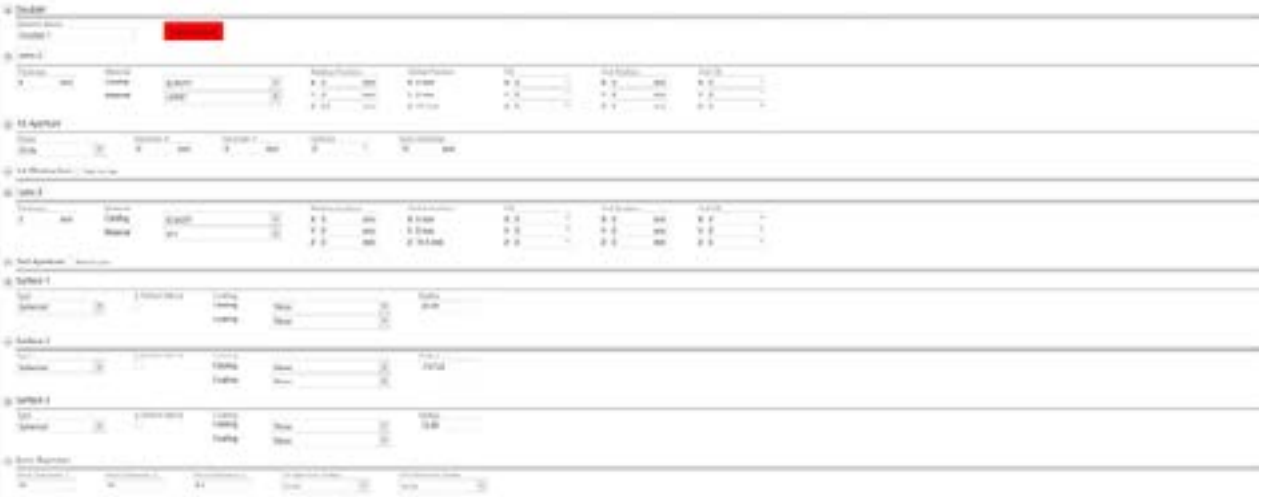


FIGURE 6.59 Doublet lens data

テーブル 6.17　ダブレット

Element Name	エレメント名．編集可能
Delete Element	クリックでダブレットを削除

テーブル 6.18　第一、第二レンズのプロパティ

Thickness	レンズ素子の厚さ。第一サーフェスの頂点から第二サーフェスの頂点まで測定。
Material	エレメントに使用する材質のカタログと名前を選択
Relative Position	最初のサーフェス頂点の相対位置。これは直前のサーフェスに対する相対位置で測定されます。最初のレンズエレメントの場合、これは編集できず、(0,0,0) に設定されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Global Position	最初のサーフェス頂点のグローバル位置。情報のみであり、編集はできません
Tilt .	最初のサーフェスの傾き
2nd Position	最初のサーフェスの頂点に対する、二番目の表面頂点の位置
2nd Tilt	最初のサーフェス相対の二つ目のサーフェスの傾き

テーブル 6.19　第一＆第二アパーチャ

Shape	アパーチャの形状を以下のいずれかから選択 • Circle • Ellipse • Rectangle
Decenter X & Y	サーフェス頂点相対のアパーチャ偏心
Gamma	開口部の光軸を中心とした回転角（「時計」の角度）。円形の開口部の場合、ガンマは意味を持たない。
Semi-Diameter	円形アパーチャの半径
Width & Height	矩形アパーチャの幅（X 方向）と高さ（Y 方向）
X & Y Radius	楕円アパーチャの半径
2nd Surface Semi-Diameter	円筒対称なレンズエレメントについて、2 番目の表面に対して異なる半径を指定できます。レンズエレメントが円筒対称であるためには、以下のすべてが真である必要があります • 両方の表面が回転対称なタイプであること • 2 番目の位置と 2 番目の傾きがゼロであること • 絞りが円形であること

テーブル 6.20　第一障害物

Not in Use / Active	このチェックボックスを使用して、エレメントの障害物（穴）のオン / オフを切り替えます。
Shape	障害物の形状を、以下のいずれかから選択してください。 • 円形 • 楕円形 • 矩形
Decenter X & Y	サーフェス頂点に対しての、障害物の偏心
Gamma	光軸を中心とした遮蔽物の回転角（「時計」の角度）。円形の遮蔽物の場合、ガンマは意味を持ちません .
Semi-Diameter	円形障害物の半径
Width & Height	矩形 障害物の幅（X 方向）と高さ（Y 方向）
X & Y Radius	楕円形障害物の半径

テーブル 6.21　サーフェス 1 & 2 & 3

Type	リストから表面タイプを選択してください。多くの表面タイプが利用可能です。
Is Perfect Mirror	サーフェスを完全反射サーフェスとするときにチェック
Coating	サーフェスに適用するコーティング（サーフェスプロパティ）の方後ルメイと名前を選択
Radius	サーフェスの曲率半径
Conic Constant	平面、球、Qbfs 以外の全ての表面タイプについて

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Normalization Radius	Qcon、Qbfs、および Zernike を含む正規化多項式の正規化半径
Gamma	特定の非対称多項式の方向角
Order	選択された多項式タイプに適用する最大次数
Coefficients	多項式各項の係数

テーブル 6.22　半径

Semi-Diameter 1	エレメントのサーフェス 1 の半径。これはサーフェス 1 のデータで入力された半径と同じです。
Semi-Diameter 2	エレメントのサーフェス 2 の半径。これはサーフェス 2 のデータで入力された半径と同じです。

テーブル 6.22　半径

Semi-Diameter 3	エレメントのサーフェス 3 の半径。これはサーフェス 3 のデータに入力された半径と同じです
1st Aperture Shape	これは、最初のレンズデータのすぐ下に入力された最初のアパーチャ形状と同じです。
2nd Aperture Shape	これは、2 番目のレンズデータのすぐ下に入力された 2 番目のアパーチャ形状と同じです。

ストップの追加

ほとんど全ての光学イメージングシステムは、絞り（ストップ）を持つ必要があります。ここで、絞りの位置と形状を指定します。開口絞りの概念の詳細な説明については、OSLO Optics Reference の第 4 章を参照してください。OSLO Optics Reference へのリンクは、www.lambdares.com の OSLO Current Release ページ、OSLO Support セクションにあります。

FIGURE 6.60 - Stop data

テーブル 6.23　ストップ

Element Name	レンズエレメントの名前．編集可能
Delete Element	このボタンをクリックするとストップを削除

テーブル 6.24　プロパティ

Position	ストップの相対的な位置。これは直前の面に対する相対的な測定値です。ストップが最初のレンズエレメント上にある場合、これは編集できず、(0,0,0) に設定されます。
Global Position	ストップ位置のグローバル座標。編集はできません。
Tilt	ストップの相対傾き

テーブル 6.25　アパーチャ

Shape	開口部の形状を以下のいずれかから選択 • Circle • Ellipse • Rectangle
Decenter X & Y	サーフェス頂点に対する偏心

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Gamma	開口部の光軸を中心とした回転角（「時計」の角度）。円形の開口部の場合、ガンマは意味を持たない。
Semi-Diameter	円形アパーチャの半径
Width & Height	矩形アパーチャの幅（X 方向）と高さ（Y 方向）
X & Y Radius	楕円アパーチャの半径

リファレンスの追加

「Add Reference」ボタンを使用して、画像サーフェスを追加します。

FIGURE 6.61 - Reference Image data

テーブル 6.26　リファレンスイメージ（参照画像）

Element Name	レンズエレメント名。編集可
Delete Element	クリックするとエレメントを削除

テーブル 6.27　プロパティ

Radius	リファレンスサーフェスの曲率半径（または、一般設定によっては曲率）
Diameter	円形イメージの半径
Position	基準面の相対的な位置。これは、直前の面に対して測定された相対的な位置です
Global Position	リファレンスサーフェスのグローバルな位置です。参考情報としてご確認ください。
Tilt	基準面の相対的な傾き

解析グループ

「解析結果グループ」を使用して、ビームフットプリント、スポットダイアグラム、PSF/ 波面、および波面が観察できます。これらの解析観察するには、「光線追跡グループ」および「光線追跡設定」で指定された光線追跡が必要です。

ビームフットプリント：

ビームフットプリントは、光線がサーフェスと交差する位置を示します。この解析結果では、「光線追跡設定」で指定された視野点と波長を使用して光線追跡を行う必要があります。像に到達した光線は緑色の点として表示され、像に到達しなかった光線は赤色の点として表示されます。表示されない光線は、サーフェスの有効開口の外側にあります。

テーブル 6.28　ビームフットプリントコントロール

Field Point	光線追跡設定内で定義されたフィールド点のリストから選択
Wavelength	光線追跡設定内で定義された波長のリストから選択
Grid Size	追跡される光線のグリッド内の点の数、N。ビームフットプリントを決定するために NxN の光線が追跡される場合、正方形のグリッドとなります
Spot Size	フットプリント表示におけるドットの直径（ピクセル単位）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Updates	コントロールを編集する際に、フットプリントマップのリアルタイム更新を有効にするには「Live」に設定します。「Paused」に設定すると、再度「Live」を選択するまで光線追跡が抑制されます。
Surface	モデル内の全てのサーフェスのリストから選択

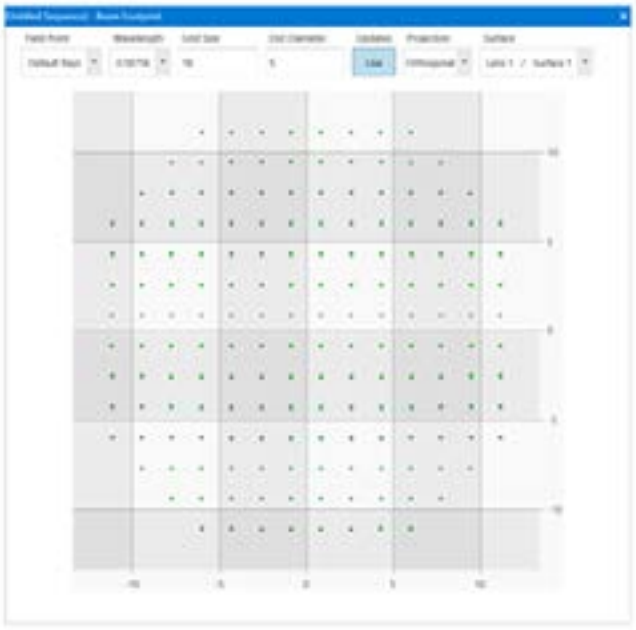


FIGURE 6.62 - Beam Footprint

スポットダイアグラム

スポットダイアグラムは、光線が像面に交差する位置を示す図です。この解析結果を行うには、「光線追跡設定」で指定された視野点と波長を使用して光線を追跡する必要があります。

テーブル 6.29　スポットダイアグラムコントロール

Field Point	レイ追跡設定で定義されたフィールドポイントのリストから選択
Wavelength	光線追跡設定で定義された波長のリストから選択
Grid Size	トレースされる光線のグリッド内の点の数、N。スポットダイアグラムを決定するために NxN の光線がトレースされる場合、正方形のグリッドとなります。
Spot Size	ディスプレイ上のドットの直径（ピクセル単位）
Updates	設定するとエディタの編集とともにスポットダイアグラムが更新されます
controls.	Live が選択されるまで光線追跡を停止します

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

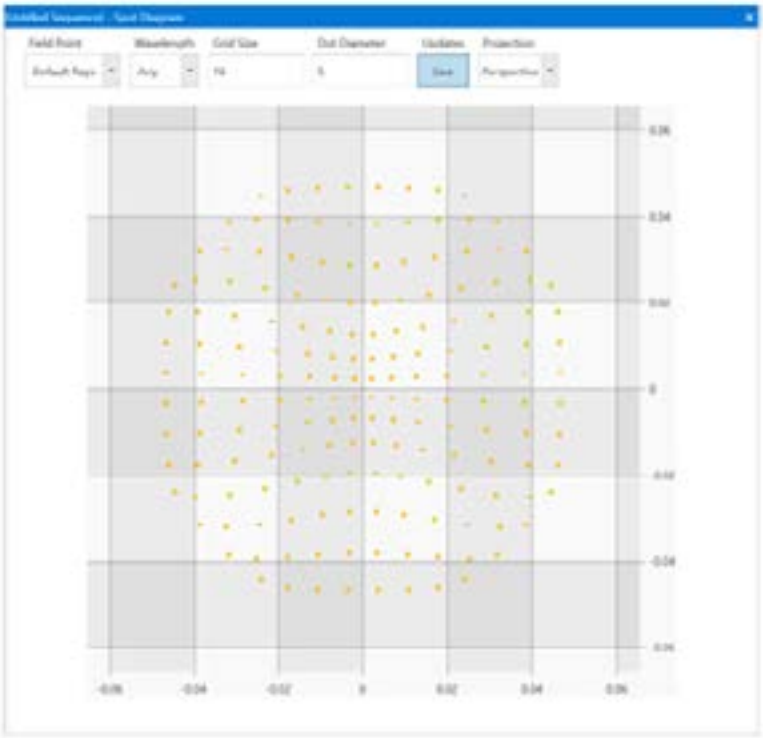


FIGURE 6.63 - Spot Diagram

点像分布関数（PSF）

点像分布関数（PSF）は 4 つのプロットを持ちます。これらのプロットは、以下の図に示すように配置されています。この解析結果では、光線追跡設定で指定されたフィールドポイントと波長を使用して光線追跡を行う必要があります。

- PSF 透視図 - 左上のプロットは、PSF の斜視図を示します。
- PSF 水平スライス - 右上のプロットは、PSF の水平断面またはスライスを示します。
- PSF 垂直スライス - 左下のプロットは、PSF の垂直断面またはスライスを示します。
- PSF カラーコード化プロット - 右下のプロットは、PSF 内の強度を 2D マップで示します。

テーブル 6.30　マウスコントロール

マウスホイール	プロットを拡大・縮小します。マウスカーソルが拡大・縮小の基準点となります。
Right mouse button	クリックしてドラッグすると、プロットを移動できます。

テーブル 6.31　PSF/ 波面コントロール

Field Point	光線追跡設定で定義されたフィールドポイントのリストから選択
Wavelength	光線追跡設定で定義された波長のリストから選択
Grid Size	波面をサンプリングするために追跡される光線のグリッド内の点の数、N。PSF（点像分布関数）と波面を決定するために、NxN の光線からなる正方形グリッドが追跡されます。
Updates	コントロールを編集する際に、スポット図のリアルタイム更新を有効にするには「Live」に設定します。レイ・トレーシングを抑制し、「Live」を再度選択するまで停止するには「Paused」に設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Slice At	以下のいずれかを選択して、水平および垂直のスライスプロット（断面図）を制御します： • PSF マトリクスの中心 • PSF のピーク • 光線束の中心

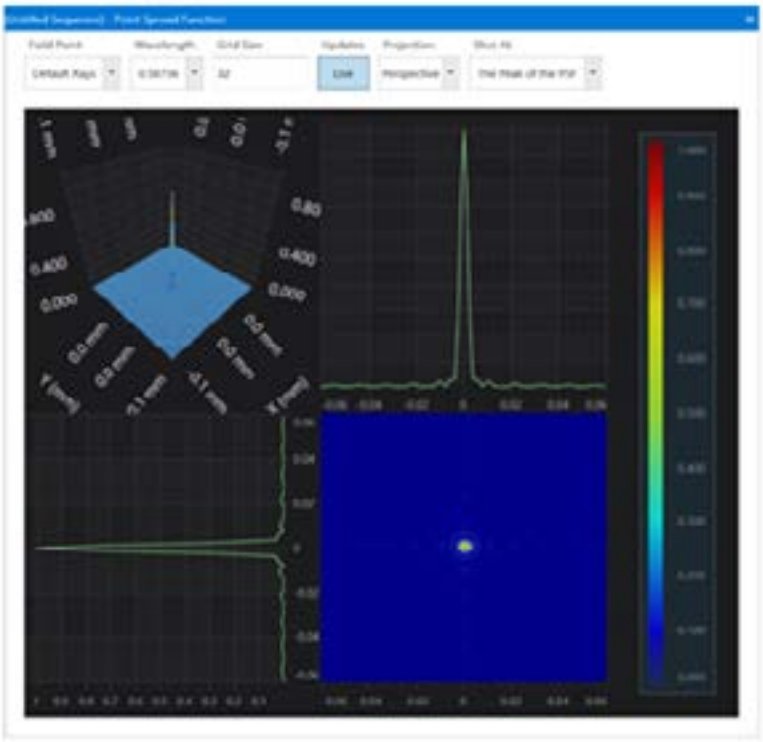


FIGURE 6.64 - Point Spread Function

波面

「波面（Wavefront）」の選択では、射出瞳における理想からの波面のずれを、波長の単位で表した透視図が表示されます。この解析結果を行うには、「光線追跡設定」で指定された視野点と波長を使用して光線を追跡する必要があります。

テーブル 6.32　マウスコントロール

マウスホイール	Zoom the plots in and out.
左マウスボタン	Click and drag to orbit the plots

テーブル 6.33　波面コントロール

Field Point	光線追跡設定で定義されたフィールドポイントのリストから選択
Wavelength	光線追跡設定で定義された波長のリストから選択
Grid Size	追跡される光線のグリッド内の点の数、N。波面を決定するために NxN の光線が追跡される場合、正方形のグリッドとなります
Updates	コントロールを編集する際にスポットダイアグラムのリアルタイム更新を行うには、「Live」に設定します。ライブを再度選択するまで光線追跡を抑制するには、「Paused」に設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

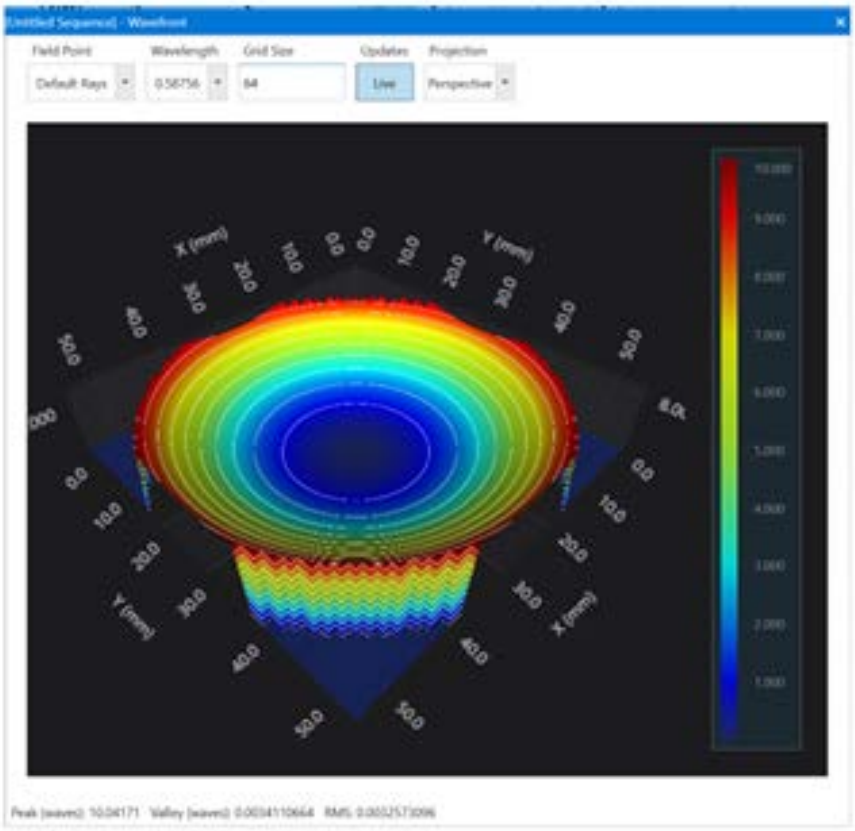


FIGURE 6.65 - Wavefront plot

レシピグループ

シーケンスエディタの学習支援のための挿入例です。

光線追跡グループ

光線追跡グループには、光線追跡設定ウィンドウと連携して、光線追跡を制御するためのツールが含まれています。

テーブル 6.34　光線追跡コントロール

Refresh	シーケンスエディタに変更された設定で光線を再トレースさせます。光線の表示と解析が更新されます。
Override Ray Display	レンズビューに表示される光線をオーバーライド（上書き）
Count	ソースから各方向へ放出される光線数

TracePro グループ

シーケンスエディタを使用して新しいシーケンスを追加する場合、データはシーケンスエディタ内にのみ存在します。現在の TracePro モデルにシーケンスを追加または更新するには、「To TracePro」ボタンをクリックします。現在のモデルから削除するには、「Remove from TracePro」ボタンをクリックします。

シーケンスエディタは一時的な作業領域であり、変更を TracePro モデルに反映させるためには、明示的に操作する必要があるということです。

テーブル 6.35　TracePro コントロール

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

To TracePro	現在の TracePro モデル内のシーケンスを追加または更新
Remove from TracePro	現在の TracePro モデルからシーケンスを削除

カメラグループ

カメラコントロールを使用して、レンズビューウィンドウのレンダリング表示を制御できます。レンダリングは、正投影または透視投影のいずれかになります。また、「表示」の下のリストから表示方向を選択することもできます。

レンズセットウィンドウ

レンズセットウィンドウは、2 つのパネルで構成されています。左側のパネルはエレメントリスト、右側のパネルは選択されたエレメントの構成データです。

エレメントパネル

エレメントパネルには、光学設計のエレメントが一覧表示されます。シーケンスエディタは、4 つのタイプのエレメントをサポートしています。

- **シングレット** - 2 つの光学面、厚さ、材料、および絞りデータで構成されます。
- **ダブレット** - 2つのシングレットが接合されたもので、接合界面は 1 つの面で記述されます。
- **絞り** - デザインの絞りです。
- **基準** - 通常は像面、または射出瞳などの他の基準面です。

FIGURE 6.66 - Lens Set window

エレメントボタンの右端にある上向きまたは下向きの矢印をクリックすると、リスト内のエレメントを上下に移動できます。

FIGURE 6.67 - Lens Element - Doublet example

構造データ

構造データパネルは、選択されたエレメントの種類に応じて異なるセクションを持っています。各エレメントの種類ごとの入力の詳細な説明については、以下のセクションを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

シングレット - 第 6 章「シングレットの追加」を参照

ダブレット - 第 6 章「ダブレットの追加」を参照

アパーチャ - 第 6 章「絞りの追加」を参照

リファレンス - 第 6 章「リファレンスの追加」を参照

レンズビューウィンドウ

レンズビューウィンドウは、レンズエレメントのレンダリングビューを表示します。また、ビューを制御するためのボタンも備えています。シーケンスリボンのカメラコントロールを使用してビューを制御することもできます。

デフォルトのレンダリングビューでは、Z 軸が右、Y 軸が上になり、レンズの断面図が表示されます。

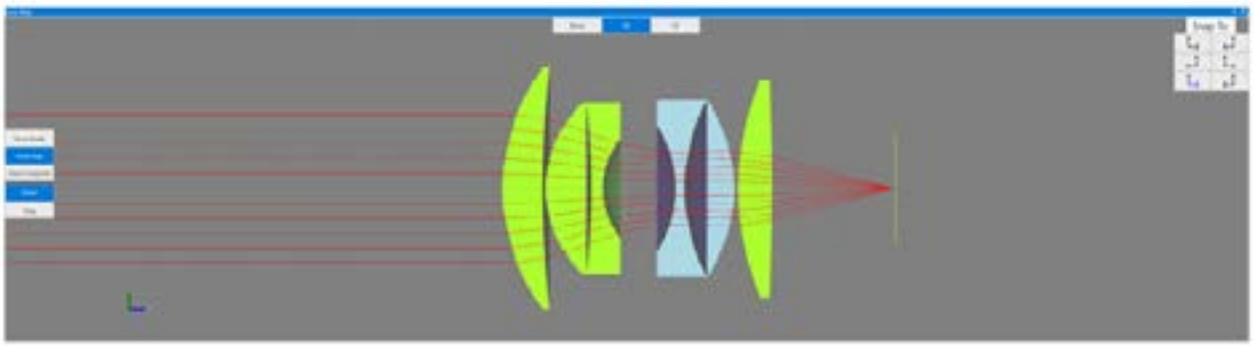


FIGURE 6.68 - Lens View window

マウスの操作

マウスの操作法は、概して TracePro モデルウィンドウと同じです。具体的には、以下の通りマウスでビューを操作できます。

- **マウスホイール** - ズームイン・ズームアウト
- **中央ボタン**（またはホイール）のクリック＆ドラッグ - ビューのパン
- **左クリック＆ドラッグ** - ビューの軌道回転
- **右クリック＆ドラッグ（上下）** - ズームイン・ズームアウト

カメラ操作

シーケンスリボンの右端に、カメラ操作のグループがあります。「ビュー」選択を使用して、標準ビューのいずれかを選択します。右側で、平行投影または透視投影を選択します。

ビュー操作

レンズビューウィンドウには、3 つのボタンセットがあります。

オプションボタン：

左側には、光線、フットプリント、入射瞳と出射瞳を表示するボタンがあります。レンダリングされたレンズの色をグレーまたはグリーンに設定することもできます。フットプリントを表示するには、最初にビームフットプリントウィンドウを開く必要があることに注意してください。

切断面ボタン：

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ウィンドウの中央上部には、レンダリングされたビューの切断面を制御するボタンがあります。「なし」、「XZ」、「YZ」から選択できます。

スナップボタン：

右側には、一般的な平行投影ビューを選択するボタンがあります。これらの 6 つのボタンは、シーケンスリボンのカメラグループの「ビュー」選択のサブセットです。

一般設定リボン

一般設定リボンを使用して、シーケンスで使用する単位を設定し、サーフェス形状を制御するために半径または曲率のどちらを入力するかを設定します。制御できる設定は次のとおりです：

- **温度** - ケルビン、摂氏、華氏を選択できます。
- **波長** - マイクロメートル、ナノメートル、ミリメートルを選択できます。
- **角度** - ラジアンまたは度を選択できます。
- **曲率** - 半径または曲率（すなわち、半径の逆数）を選択できます。
- **距離** - 半径、半径、幅、高さ、厚さなど、すべての物理的な長さパラメータの単位を選択します。選択肢は、メートル、インチ、センチメートル、ミリメートル、マイクロメートル、またはナノメートルです。

FIGURE 6.69 - General Settings ribbon

ヘルプ

ヘルプドキュメントを開くには、ヘルプリボンからヘルプアイコンをクリックしてください。

IES/LDT プロットのヘルプ

TracePro の IES/LDT プロット機能を使用すると、ANSI/IESNA 標準電子ファイル形式または Eulumdat 形式の測光データをインポートして、TracePro のサーフェスソースおよびファイルソースプロパティを作成し、データを解析結果できます。北米照明学会（IESNA）は、「測光データおよび関連情報の電子転送のための IESNA 標準ファイル形式」を発行しています。TracePro IES/LDT インポートユーティリティは、2002 年 9 月 12 日に ANSI によって承認された IESNA 標準 LM-63-02 に準拠しています。Eulumdat 形式の詳細については、www.helios32.com/Eulumdat.htm を参照してください。

IES/LDT プロットツールを使用するには、**[ツール]| [IES/LDT プロット]** を選択します。

IES/LDT プロットツールには独自のヘルプシステムがあります。

照明ツールキット

TracePro の照明ツールキットを使用すると、カンデラ出力をさまざまな照明基準と比較できます。ECE、SAE、および FMVSS 規格への設計の準拠を解析結果できます。ツールキットは、シ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ミュレーション結果がさまざまな規格を満たしていることを証明するための可視化ツールと規制テーブルを提供し、各規制の合格 / 不合格基準を提供します。

照明ツールキットを開くには、**[ツール]| [照明ツールキット]** を選択します。

照明ツールキットには独自のヘルプシステムがあります。

Stray Light Analyzer（迷光解析ツール）

TracePro の Stray Light Analyzer は、反復的な光線追跡、解析結果プロット、迷光解析結果に必要な正確なソースの設定をグラフィカルなユーザーインターフェースで提供し、プロセスをスムーズかつ容易にします。Lighting Toolkit（照明ツールキット）を開くには、Tools（ツール）|Stray Light Analyzer（迷光解析結果ツール）を選択します。Stray Light Analyzer には独自のヘルプシステムがあります。

Measurement Dialog（計測ダイアログ）

TracePro は、モデル内のさまざまなエンティティタイプに関する情報と、２つのエンティティ間の関係を表示するツールを提供します。使用できるエンティティは、Surface（面）、Edge（エッジ）、Vertex（頂点）です。図 6.70 に示すダイアログでは、計測するエンティティの組み合わせに基づいて計測タイプを選択できます。組み合わせは次のとおりです。

- **Vertex（頂点）- Vertex（頂点）**
- **Vertex（頂点）- Edge（エッジ）**
- **Vertex（頂点）- Surface（面）**
- **Edge（エッジ）- Edge（エッジ）**
- **Edge（エッジ）- Surface（面）**
- **Surface（面）- Surface（面）**

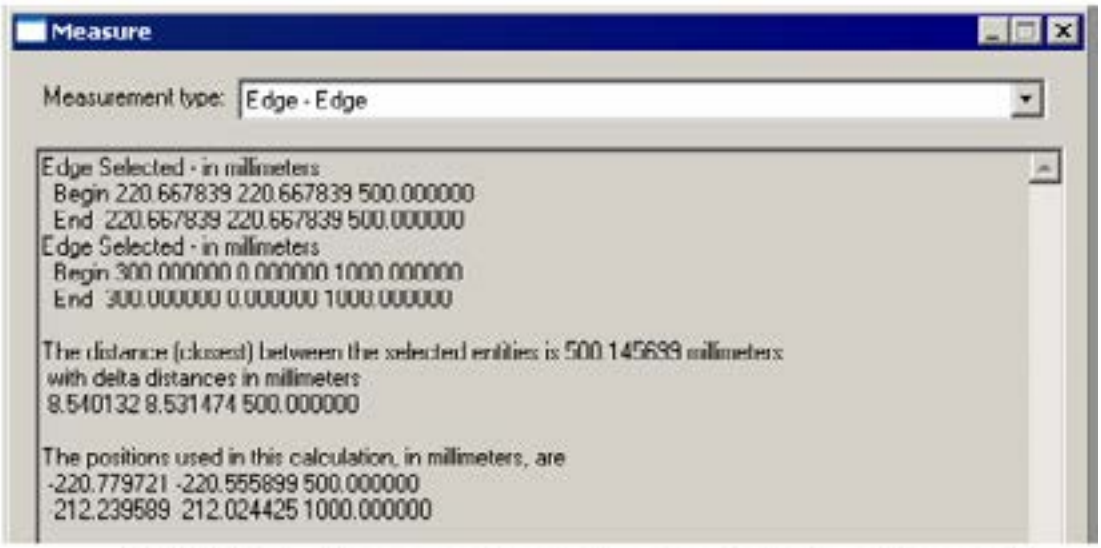


FIGURE 6.70 - Measurement Dialog showing edge information and distance between two selected edges

TracePro の計測機能について：

計測タイプの選択後: TracePro は２つの選択を促します。各選択後: 選択されたエンティティ（頂点、辺、面など）に関する情報が表示されます。２つ目の選択後 : ２つのエンティティ間の関係

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

が表示されます。これは、2 つのエンティティ間の最短距離、横方向またはデルタ距離、および距離が計算された 2 つのエンティティ上の位置を含みます。情報の表示 : 情報はモデル単位で表示され、角度は度で表示されます。

カーソルの変化 :

カーソルは、必要な選択の種類を示すように変化します。

- 頂点選択カーソル
- 辺選択カーソル
- 面選択カーソル

図 6.71: 2 つの辺が選択された後の辺 - 辺計測のモデルを示しています。カーソルは、次の計測を続行するために辺を選択できることを示します。

つまり、TracePro では、計測タイプを選択した後、2 つの対象を選択することで、それらの対象間の距離や位置関係を詳細に測定できるということです。カーソルの形状が選択する対象によって変化することで、ユーザーは直感的に操作できます。

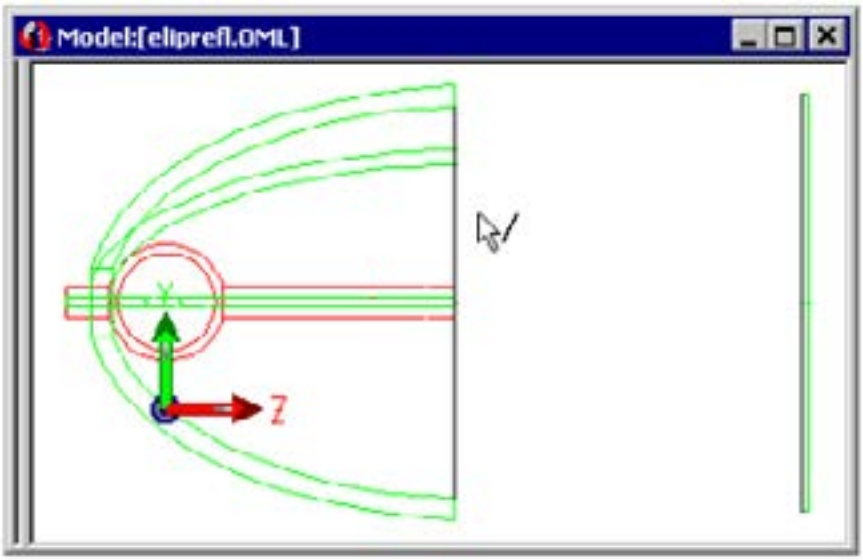


FIGURE 6.71 - Elliptical Reflector with two edges selected for measurement

図 6.70 は測定結果を示しています。エッジを選択すると、その始点と終点の位置がモデル単位で表示されます。頂点については、その位置が表示されます。距離は、二つの選択間の最小距離として与えられます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 7 章 テクニカルリファレンス

概要

この章では、TracePro の多くの側面に関する詳細情報を提供します。同様のトピックは、一般的な詳細を提供している以前の章にも登場し、詳細な解説のためにこの章を参照しています。一般的に、必要に応じてこの章のトピックを参照してください。

モンテカルロシミュレーションにおける光線分割の使用

モンテカルロシミュレーションはそれ自体が分野であり、さまざまな種類の物理プロセスをシミュレートするために使用されます。プロセスが確率的に扱われ、サンプルがランダムに選択され、確率分布が物理プロセスをモデル化するために使用される場合、それはモンテカルロと呼ばれます。光学では、光線がサンプルであり、鏡面反射と透過、反射散乱と透過散乱、および吸収がプロセスです。モンテカルロ手法は、第二次世界大戦中のマンハッタン計画に起源があり、そこで核分裂性物質中のニュートロン輸送をシミュレートするために使用されました。モンテカルロシミュレーションが行われた最初のコンピューターは、ロスアラモスの科学者によって監督された、計算機を持った人々でいっぱいの部屋でした。後にロスアラモスで、最初の電子コンピューターがモンテカルロシミュレーションを行うために使用されました。戦後から 1950 年代にかけて、モンテカルロ手法は分散減少手法によって強化され、モンテカルロシミュレーションの収束速度を大幅に向上させました。これらの最も成功したものは、分割、インポータンスサンプリング、および層化サンプリングです。これらの手法は、今日でも広く使用されています。

1950 年代後半から 1960 年代初頭にかけて、モンテカルロは光学的シミュレーションではなく、放射熱伝達のシミュレーションのために、光線を追跡するために初めて使用されました。処理能力が限られていた初期のコンピューターでは、「粗モンテカルロ」または分散減少のないモンテカルロと呼ばれるものを実装しました。1960 年代後半に、最初の光学的モンテカルロプログラムである GUERAP が開発されました。これは、分散減少のために分割とインポータンスサンプリングの両方を使用しました。TracePro は、GUERAP と同じ分散減少手法を組み込んでいます。

また、1960 年代後半に、コンピューターグラフィックスの最初の研究者は、「フォトン追跡」と名付けた粗モンテカルロを使用してラインプリンターで画像を作成していました。粗モンテカルロでは、光線はすべてのフラックスを保持し、完全に吸収されるか完全に透過されます。粗モンテカルロは実際にエネルギーを保存しますが、収束が遅い、つまり特定のサンプル集団に対して大きな分散を持つという欠点もあります。

光線追跡に適用される光線分割とは、光線が異なる成分に分割され、それぞれが入射フラックスの割合を運ぶことを意味します。サーフェスに入射する各光線に対して、光線分割がオンで散乱ごとに 1 つのランダム光線が選択されている場合、TracePro はサーフェスから出る最大 4 つの光線（鏡面反射 R と T、散乱 R と T）を作成します。4 つの光線のフラックスの合計は、サーフェスでの吸収を差し引いた入射光線のフラックスに等しくなります（吸収は伝播しない 5 番目の分割光線と見なすことができます）。

実際のところ、まれなケースを除いて、分散減少（光線分割を含む）の使用は分散を減らし、時には非常に劇的な方法で減少させます。迷光問題では、収束の改善は 1e10 から 1e20 の要

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

因になる可能性があります。これらの問題は、分散減少なしでは完全に絶望的です。

単純な光線分割でさえ茂った「レイツリー」と膨大なメモリ使用量をもたらすまれなケースのために、光線分割をオフにする機能が実装されました。光線分割がオフの場合、TracePro はサーフェスプロパティ成分（鏡面反射 R と T、散乱 R と T）を 4 つの結果のいずれかを持つ光線の確率として使用し、サーフェスでの吸収を差し引いた入射光線のフラックスに等しいフラックスを持つ新しい光線を 1 つ生成します。光線分割オフは、TracePro における粗モンテカルロ光線追跡に最も近いものです。ただし、光線分割オフの TracePro では、各光線のフラックスの一部が吸収されるため、各光線は伝播するにつれてフラックスが減少する可能性があります。粗モンテカルロからのこのバリエーションは、追加のメモリ使用量なしで分散を減少させるために実装されました。

要約すると、光線分割をオンのままにし、フラックス閾値と開始光線の数によって光線追跡時間を制御し、フラックスレポートの損失フラックス列を確認して収束を監視することをお勧めします。光線分割オフオプションは、光線分割オンで良好な結果が得られない場合にのみ予約されています。

インポータンスサンプリング Standard Expert

インポータンスサンプリングは、モンテカルロ法の一種であり、光学系内で特定の方向に光線を生成・伝播させます。これらの方向は、必要な結果を決定する上で「重要」です。これにより、ユーザーが関心を持つサーフェスに到達する光線の数を増やすことでサンプリングが改善されます。

インポータンスサンプリングは、入射光の減衰が非常に大きい迷光解析において不可欠であり、他の種類の解析にも役立ちます。迷光解析では、光学系内の各光学サーフェスにインポータンスサンプリングのターゲットを設定する必要があります。

インポータンスサンプリングは、散乱光や回折光、またはサーフェスソースのサンプリングを強化するためにのみ使用されることを覚えておくことが重要です。正反射と透過のみを含む設計では、インポータンスサンプリングを利用できません。光線の方向は、反射の法則とスネルの法則によって決定されるためです。

7.3 ページの図 7.1 は、2 番目のサーフェスから散乱するレンズの単純なケースにおけるインポータンスサンプリングを示しています。検出器に対応する 2 番目のオブジェクトが示されています。この場合、オフアクシスの視野位置からの光線は、すべての正反射光線が検出器を逃すように結像されます。一般的に、散乱は非散乱光線の正反射方向に近いほど強いため、ランダムに散乱した光線が検出器に当たる確率は非常に小さくなります。重要度ターゲットが適用されると、入射光線ごとに 1 つ以上の重要度光線が検出器に当たることを保証します。重要度光線のフラックスは立体角と散乱分布によってスケーリングされるため、最小限の実際の光線追跡で「現実的な」答えがシミュレートされます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

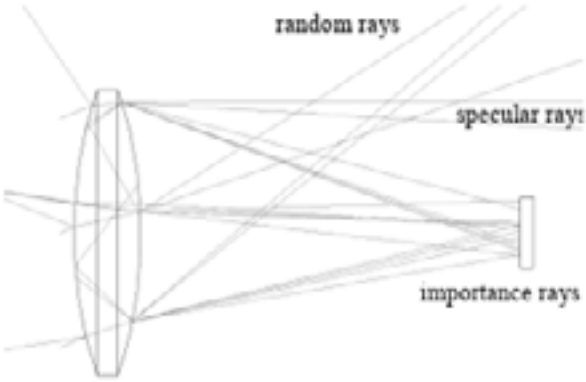


FIGURE 7.1 - Lens shows specular, scatter, and importance rays.

インポータンスサンプリングとランダム光線

インポータンスサンプリングがない場合、TracePro は散乱をシミュレートするためにランダムな方向に光線を生成します。たとえば、迷光解析のように光が大幅に減衰する問題をシミュレートしている場合、関心のあるサーフェスに到達する光はごくわずか、あるいは全くない場合があります。たとえば、優れた迷光減衰を持つ光学系の視野外の遠くのソースから検出器に迷光が到達する可能性を判断しようとする場合、検出器に 1 本の光線が当たるだけでも非常に多くの光線（10^10、10^20 以上）を追跡する必要があるかもしれません。インポータンスサンプリングは、最終的に正しい答えを得ながら、物理的に起こりにくい事象のシミュレーションにおける発生率を高める方法を提供します。インポータンスサンプリングは、あなたにとって重要な事象が発生する確率を高めます。

インポータンスサンプリングは、散乱および回折光線の追跡に影響を与えます。光線が散乱とインポータンスサンプリングを持つサーフェスに当たると、散乱分割光線成分は、ランダムに散乱した成分とインポータンスサンプリングされた成分にさらに分割されます。インポータンスサンプリングされた成分の方向は、インポータンスサンプリングターゲットに光線を向けることによって決定されます。原理的には、光線成分に与えられるフラックスは、散乱サーフェスの交差点から見たインポータンスサンプリングターゲットが占める立体角にわたる BSDF の積分を計算し、入射フラックスを乗算することによって決定されます。

$$\Phi_{important} = \Phi_{incident} \int_{\Delta\Omega} BSDF(\Omega)\cos\theta d\Omega . \qquad (7.1$$

実際には、積分は、レイの方向で BSDF を評価し、ターゲットによって張られる立体角を掛けることによって近似されます。

$$\Phi_{important} \approx \Phi_{incident} \cdot BSDF\Omega \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega . \qquad (7.2$$

この近似は、インポータンスサンプリングされた一部の光線のフラックスが過小評価され、他の光線が過大評価されることを意味します。正しい結果を得るためには、多数の光線のフラックスを平均する必要があります。インポータンスサンプリングされた光線のフラックスは、散乱のために割り当てられた合計から差し引かれます。残りのフラックスは、ランダムに散乱された成分に与えられます。ランダム成分の方向は、BSDF によって重み付けされたランダムな

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

方法で選択されます。TracePro は、光線の方向がインポータンスサンプリングのターゲットと交差しないことを確認するためにチェックします。インポータンスサンプリングのターゲットと交差する場合、別のランダムな方向が選択され、チェックが再度実行されます。このプロセスは、有効な光線方向が見つかるか、指定された閾値を超えるまで繰り返されます。閾値を超えた場合、ランダム光線成分は破棄されます。

インポータンスサンプリングが必要な場合

インポータンスサンプリングは、以下の場合に使用します。

1. 迷光解析
2. 散乱を伴う非結像解析、特に集光領域が比較的小さい場合
3. 特定の狭い方向に多数の光線をサンプリングしたい場合のサーフェスソース

インポータンスサンプリングを使用するかどうかを決定する良い方法は次のとおりです。通常、ソースと出口サーフェスで適切なサンプリングが必要です。ソースと出口サーフェスで必要なサンプリングの細かさ（光線の数）は、実行している特定のシミュレーションによって異なります。場合によっては、ソースはわずか数本の光線（数十または数百）で十分に表現されます。他の場合には、多数の光線（数千または数百万）が必要になることがあります。

出口サーフェスについても同様です。開始光線の数と光線分布のタイプを選択することで、ソースでのサンプリングを直接制御します。インポータンスサンプリングを使用することで、各開始光線の出口サーフェスでの光線の数を間接的に制御します。開始光線の数を増やすほど、シミュレーションの完了にかかる時間が長くなります。インポータンスサンプリングを使用すると、出口サンプリングと実行時間も増加しますが、対象のサーフェスでより多くのサンプルが生成されます。インポータンスサンプリングを適切に使用すると、開始光線の数を大幅に減らして、対象のサーフェスでサンプリングを行うことができます。

シミュレーションの目標が細かい空間分解能で放射照度を予測することである場合、出口サーフェスで非常に多くの光線が必要です。モンテカルロ手法の統計的性質により、放射照度分布は、ソース強度が不十分または積分時間が不十分な光の測定と同様に、ノイズが多いことがわかります。信号対雑音比を改善するには、ソースを強くしたり積分時間を長くしたりする測定と同様に、より多くの光線成分を出口サーフェスに到達させる必要があります。より多くの光線成分を得るには、開始光線を増やしたり、インポータンスサンプリングを増やしたりできます。

インポータンスサンプリングのターゲットの選択方法

インポータンスサンプリングの目的は、あなたにとって重要な経路を通る光線の確率を増加させることです。経験則として、開始された各光線成分が目的のサーフェスに到達する確率を 1（確実性）にすることが挙げられます。優れた迷光抑制能力を持つ光学システムの迷光解析では、これは課題となります。インポータンスサンプリングの最適な選択は判断に委ねられますが、いくつかのガイドラインを以下に示します。ただし、迷光解析を行う場合、最低限、システム

内のすべての光学面に対してインポータンスサンプリングを定義する必要があります。

インポータンスサンプリングの例

まず、インポータンスサンプリングがない場合にどうなるかを考えてみましょう。光線は、各サーフェスの BSDF（双方向散乱分布関数）を光線方向の確率分布として使用して、各サーフェスで散乱および回折されます。では、光線が下の図に示すように光学系に入り、日よけに当たり、その日よけがフラットブラック（ランバート）塗料でコーティングされている場合はどうなるでしょうか？

FIGURE 7.2 No Importance Sampling

このサーフェスからランダムに散乱される光線成分の分布確率は、次の通りです。

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{\cos\theta}{\pi}. \qquad (7.3$$

レンズに向かう光線の確率は、日よけの光線交点から見たレンズが張る立体角にわたる確率密度を積分したものです。レンズの半径を Rlens = 1 とし、光線がレンズから距離 d = 2 離れた日よけに当たり、60 度の角度で日よけから離れるとします。このとき、光線がレンズに当たる確率は約次のようになります。

$$p1 = \frac{\cos\theta}{\pi} \cdot \frac{\pi R^2_{lens}}{d^2} = \frac{1}{8}. \qquad (7.4)$$

ここで、レンズが研磨面の典型的な BSDF、すなわち正反射方向に鋭いピークを持つものと想定します。例えば、検出器方向への散乱の BSDF を次のように定義します。

$$f_s \approx 3 \times 10^{-7} / \sin^2\theta. \qquad (7.5)$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

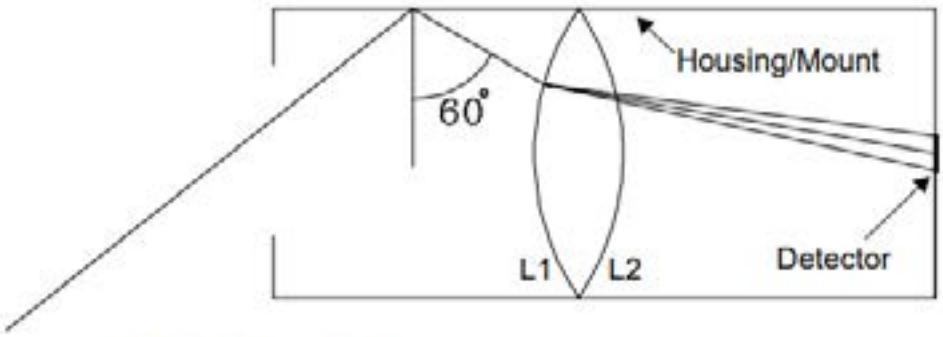


FIGURE 7.3 - Scatter

図 7.3 に示すように、レンズに当たった光線が、軸上にある一辺 1 ミリラジアンの検出器に届く方向に散乱する確率を計算します。従来と同様に、この確率は概算で以下のようになります。

$$p = f_S(\theta)\cos\theta\Delta\Omega \ , \qquad (7.6)$$

ここで $\Delta\Omega = (10^{-3}$ ラジアン$)^2$、θ = 30 度としています。

確率を計算すると

指定された立体角と角度における確率を求めることができます。

$$p_2 = 1.04 \times 10^{-12} . \qquad (7.7)$$

日よけからレンズへ直接散乱し、さらにレンズからディテクタへ直接散乱する光線の確率は、各散乱確率の積によって求められます。

$$p_{\text{total}} = p_1 p_2 = 1.30 \times 10^{-13} . \qquad (7.8)$$

これは、記述されたような経路に沿って光線が一つ進む良い確率を得るためには、約 10 の 13 乗の光線を開始する必要があることを意味します。確率を向上させる最も明白な方法は、レンズから検出器へのインポータンスサンプリングを設定することです。これにより、p2 が 1 に増加し、はるかに許容できる状況になります。

$$p_{\text{total}} = p_1 = \frac{1}{8} . \qquad (7.9)$$

Scatter, Figure 7.3 に見られるように、ディテクタサーフェスはレンズサーフェスのインポータンスサンプリングのターゲットとして定義できません。システムによって形成される像ではなく、レンズサーフェスによって形成される像に向かってインポータンスサンプリングを設定する必要があります。ただし、サーフェス L2 については、ディテクタに直接インポータンスサンプリングを設定します。

インポータンスサンプリングのターゲットは、光学サーフェスによって形成される像に配置する必要があります。これにより、任意の光学サーフェスに当たる光線は、常に検出器に当たる光線を生成します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マテリアルプロパティ

TracePro では、マテリアルプロパティは屈折率と体積吸収係数を指定します。「**プロパティの適用**」ダイアログボックスの「**マテリアル**」タブでは、TracePro プロパティデータベースからマテリアルプロパティを選択し、モデル内のオブジェクトに適用できます。

マテリアルプロパティデータベース

マテリアルプロパティエディタを使用して、プロパティデータベースにデータを追加または修正できます。このエディタは、[**定義 | プロパティの編集** | **マテリアルプロパティ**] 編集メニューにあります。

マテリアルプロパティエディタは、補間タイプ、説明、温度、および補間係数またはテーブルエントリを修正できます。スプレッドシートのようなウィンドウには、補間式の係数またはテーブルデータの波長とインデックス値が表示されます。吸収データは、逆ミリメートル（1/mm）単位で入力されます。

カタログを選択し、マテリアル名を入力すると、TracePro はそのマテリアルのデータを表示します。マテリアルプロパティの追加を押すと、新しいマテリアルの名前を入力するダイアログボックスが開きます。

マテリアルプロパティの補間

マテリアルプロパティデータには、次の補間式を使用できます。ai の値は、ウィンドウのスプレッドシート部分の上に表示されます。

Schott:

$$N^2(\lambda) = a_1 + a_2\lambda^2 + \frac{a_3}{\lambda^2} + \frac{a_4}{\lambda^4} + \frac{a_5}{\lambda^6} + \frac{a_6}{\lambda^8} \qquad (7.10)$$

Sellmeier 1:

$$N^2(\lambda) - 1 = \frac{a_1\lambda^2}{\lambda^2 - a_4} + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_6} \qquad (7.11)$$

Extended Schott:

$$N^2(\lambda) = a_1\lambda^8 + a_2\lambda^6 + a_3\lambda^4 + a_4\lambda^2 + a_5 + \frac{a_6}{\lambda^2} + \frac{a_7}{\lambda^4} + \frac{a_8}{\lambda^6} + \frac{a_9}{\lambda^8} + \frac{a_{10}}{\lambda^{10}} \qquad (7.12)$$

Herzberger:

$$N(\lambda) = a_1 + a_2L + a_3L^2 + a_4\lambda^2 + a_5\lambda^4 + a_6\lambda^6$$
$$L = \frac{1}{\lambda^2 - 0.028} \qquad (7.13)$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Conrady:

$$N(\lambda) = a_1 + \frac{a_2}{\lambda} + \frac{a_3}{\lambda^{3.5}} \quad (7.14)$$

Sellmeier 2:

$$N^2(\lambda) - 1 = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_4^2} + \frac{a_3}{\lambda^2 - a_5^2} \quad (7.15)$$

Sellmeier 3:

$$N^2(\lambda) - 1 = \frac{a_1\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_6} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_7} + \frac{a_4\lambda^2}{\lambda^2 - a_8} \quad (7.16)$$

Sellmeier 4:

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_4} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} \quad (7.17)$$

Handbook of Optics 1:

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2}{\lambda^2 - a_3} - a_4\lambda^2 \quad (7.18)$$

Handbook of Optics 2:

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_3} - a_4\lambda^2 \quad (7.19)$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

勾配屈折率プロファイル多項式

現在の勾配プロファイルは、関連する係数を持つ以下の多項式フォーマットを持っています。

軸方向 - 半径方向勾配

$$n(r,z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

where... $r^2 = x^2 + y^2$

Axial-Elliptical gradient

$$n(r,z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

where... $r^2 = \mathbf{nrx}x^2 + \mathbf{nry}y^2$

Axial-Sinusoidal gradient

$$n(r,z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

where... $r^2 = \left[1 + \mathbf{sva}\sin\left(\frac{z}{\mathbf{svp}} + \mathbf{svf}\right)\right](x^2 + y^2)$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Axial-Tapered gradient

$$n(r,z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

where... $r^2 = [1 + (\mathbf{tas}z + tao)](x^2 + y^2)$

SELFOC gradient

$$n^2(r) = n_0{}^2[1 - (\mathbf{nr1}r)^2 + \mathbf{nr2}(\mathbf{nr1}r)^4 + \mathbf{nr3}(\mathbf{nr1}r)^6 + \mathbf{nr4}(\mathbf{nr1}r)^8]$$

where... $r^2 = x^2 + y^2$

Wood Lens gradient

$$n(r) = n_0 + \mathbf{nr1}r^2$$

where... $r^2 = x^2 + y^2$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Wood Lens gradient

$$n(r) = n_0 + \mathbf{nr1}r^2$$

where... $r^2 = x^2 + y^2$

Spherical gradient

$$n(r) = n_0 + \mathbf{nr1}(\mathbf{sgc} - r) + \mathbf{nr2}(\mathbf{sgc} - r)^2 + \mathbf{nr3}(\mathbf{sgc} - r)^3 + \mathbf{nr4}(\mathbf{sgc} - r)^4$$

where... $r^2 = x^2 + y^2 + (z - \mathbf{sgc})^2$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Fisheye Lens gradient

$$n(r) = \frac{n_0}{1+\left(\frac{r}{\mathbf{nr1}}\right)^2}$$

where... $r^2 = x^2 + y^2 + (z - \mathbf{sgc})^2$

Luneburg Lens gradient

$$n(r) = n\sqrt{2-\left(\frac{r}{\mathbf{nr1}}\right)^2}$$

where... $r^2 = x^2 + y^2 + (z - \mathbf{sgc})^2$

GRADIUM gradient

$$n_{gwv}(z') = \mathbf{gnz0} + \mathbf{gnz1}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right) + \mathbf{gnz2}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^2 + \mathbf{gnz3}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^3 + \mathbf{gnz4}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^4 + \mathbf{gnz5}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^5 + \mathbf{gnz6}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^6 + \mathbf{gnz7}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^7 + \mathbf{gnz8}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^8 + \mathbf{gnz9}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^9 + \mathbf{gnz10}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^{10} + \mathbf{gnz11}\left(\frac{z'}{\mathbf{gmz}}\right)^{11}$$

where... $z' = \mathbf{goz} + z$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TracePro は GRADIUM に対して、Buchdahl と Sellmeier の 2 つのフォーマットをサポートしています。どちらも、屈折率プロファイルとして上記式 ngwv(z') を使用します。2 つの GRADIUM バージョンは、分散式のみが異なります。Buchdahl フォーマットは旧式であり、現在は廃止されています。後方互換性のために含まれています。Sellmeier フォーマットは、GRADIUM ガラスの製造元である LightPath Technologies によって現在使用されています。これらのフォーマットは両方とも、以下で詳細に説明されています。

GRADIUM（Buchdahl）分散は、Buchdahl のクロマチック座標⊠における 4 次展開を介して 16 個の係数によって記述されます。gwv 以外の波長では、屈折率は次のように計算されます。

$$n_\lambda(z') = n_{gwv} + V_1\omega + V_2\omega^2 + V_3\omega^3 + V_4\omega^4$$

where...

$$\omega = \frac{\lambda - gwv}{1 + \frac{\lambda - gwv}{gwv - 0.187}}$$

$$V_1 = gra1\,n_{gwv}^3 + grb1\,n_{gwv}^2 + grc1\,n_{gwv} + grd1$$

$$V_2 = gra2\,n_{gwv}^3 + grb2\,n_{gwv}^2 + grc2\,n_{gwv} + grd2$$

$$V_3 = gra3\,n_{gwv}^3 + grb3\,n_{gwv}^2 + grc3\,n_{gwv} + grd3$$

$$V_4 = gra4\,n_{gwv}^3 + grb4\,n_{gwv}^2 + grc4\,n_{gwv} + grd4$$

GRADIUM（セルマイヤー）分散は、3 つの共鳴を持つ修正セルマイヤーモデルによって、48 個の係数で記述されます。

gwv 以外の波長における屈折率は、以下のように計算されます。

$$n_{\lambda}^{2}(z') - n_{\mathbf{gwv}}^{2}(z') = \sum_{i=1}^{3} \frac{K_i'(\lambda^2 - \mathbf{gwv}^2)}{\lambda^2 - L_i}$$

where...

$$K'_i = \sum_{j=1}^{8} K'_{ij} \cdot n_{\mathbf{gwv}}^{j-1}(z')$$

and

$$L'_i = \sum_{j=1}^{8} L_{ij} \cdot n_{\mathbf{gwv}}^{j-1}(z')$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

複素屈折率

TracePro のマテリアルプロパティデータベースでは、複素屈折率を以下のフォーマットで表します。

$$\hat{n} = n + ik$$

ここで k は減衰係数であり、かつ

$$k = \frac{\lambda\alpha}{4\pi}.$$

ここで、λ は波長、α は吸収係数です。TracePro のマテリアルプロパティエディタでは、α または k のどちらかを入力すると、TracePro がもう一方のパラメータを計算します。

一部の教科書では、複素屈折率を、k が消衰係数であるとして定義しています。

$$\hat{n} = n(1 + \kappa)$$

κ は消衰係数、または減衰指数と呼ばれますが、別の表記法を用いる場合もあります。

$$\hat{n} = n - ik$$

or

$$\hat{n} = n(1 - i\kappa).$$

フレネル係数は、2 つの異なる媒質の界面における、反射波と透過波の相対的なフラックス（エネルギーの流れ）と偏光状態を計算するためのものです。一般的には複雑な計算が必要になります。しかし、入射波が界面に垂直に入射する場合（垂直入射）で、かつ一方の媒質が空気（屈折率約 1）であり、もう一方の媒質が複素屈折率を持つ場合、反射率の計算は大幅に簡略化されます。

具体的には、以下の式で反射率（R）を計算できます。

$$R = \left|\frac{\hat{n} - 1}{\hat{n} + 1}\right|^2 = \frac{n^2(1 + \kappa^2) + 1 - 2n}{n^2(1 + \kappa^2) + 1 + 2n}$$

ここで、κ = k/n を用いました。

k と κ は λ に依存し、α は依存しないことに注意が必要です。パテリアルプロパティデータを

補間する際には、n と α が補間され、k は α から計算されます。

サーフェスプロパティ

サーフェスプロパティは、サーフェスの反射、透過、吸収、散乱を記述します。

一致サーフェス

TracePro モデルは、しばしば一致するサーフェスを持つジオメトリを取り込みます。これは、例えば接合二重レンズのように、2 つの物体が 1 つの共通の側面を持つシステムで発生します。このセクションでは、これらの重なり合うサーフェスに適用されたサーフェスプロパティに関する TracePro の動作について説明します。3 つのケースがあります。

1. どちらの一致するサーフェスにもサーフェスプロパティ（つまり、<None>）が適用されていない場合 - TracePro は、2 つの物体のマテリアルプロパティで指定された屈折率に基づいて、この界面での反射率と透過率を計算します（フレネル反射係数と透過係数）。
2. 一方の一致するサーフェスにのみサーフェスプロパティが適用され、他方のサーフェスのサーフェスプロパティが <None> の場合 - TracePro は、単一の定義されたサーフェスプロパティのパラメータを使用して、結果の光線のフラックスと方向を決定します。
3. 両方の一致するサーフェスにサーフェスプロパティが適用されている場合 - この条件は多少無意味であり、推奨されませんが、TracePro は以下の式に従って 2 つのサーフェスプロパティを組み合わせます。

$$R_c = R_1 + \frac{T_1^2 \cdot R_2}{1 - (R_1 \cdot R_2)}, \qquad (7.20)$$

$$T_c = \frac{T_1 \cdot T_2}{1 - (R_1 \cdot R_2)}, \text{ and} \qquad (7.21)$$

$$A_c = A_1 + \frac{T_1 \cdot ((A_1 \cdot R_2) + A_2)}{1 - (R_1 \cdot R_2)}, \qquad (7.22)$$

ここで、R1、T1、および A1 はそれぞれ、最初の重なり合ったサーフェスの反射率、透過率、および吸収率です。R2、T2、および A2 はそれぞれ、2 番目の重なり合ったサーフェスの反射率、透過率、および吸収率です。そして、Rc、Tc、および Ac はそれぞれ、結果として得られる結合プロパティの反射率、透過率、および吸収率です。

注：BSDF（BRDF または BTDF）のような他のサーフェスプロパティも、同様の方法で見つけられることに注意してください。

BSDF

双方向散乱分布関数（BSDF）は、異なる方向にサーフェスから散乱される光の尺度です。
BSDF は入射方向と散乱方向の両方の関数であるため、「双方向」という用語が使われています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

数学的には、BSDF は単位入射照度あたりの散乱放射輝度として定義されます。または、

$$BSDF(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) = \frac{dL_s(\theta_s, \phi_s)}{dE_i(\theta_i, \phi_i)}. \qquad (7.23)$$

放射輝度がワット /m²-sr の単位を持ち、放射照度がワット /m² の単位を持つため、BSDF は 1/sr（逆ステラジアン）の単位を持ちます。BSDF に関するこの方程式は、散乱放射を「放出」するサーフェスの投影を考慮に入れていることに注意してください。したがって、方程式 7.23 は次のように見ることができます。

$$BSDF = \frac{P_{scat}/\Omega}{P_{inc} \cdot \cos\theta_{scat}} \qquad (7.24)$$

ここで、Pscat は散乱パワー、Pinc は入射パワー、Ωは散乱時の立体角、θ scat は散乱位置の法線からの散乱角を表します。このコサイン依存性を除去するには、Excel などの他のソフトウェアで後処理を行う必要があります。

TracePro では、BSDF モデルは入射方向に対してシフト不変です。研磨されたサーフェスにおける BSDF のこのプロパティは、ハーベイが博士論文で発見しました（7.16 ページの「ハーベイ - シャック BSDF」を参照）。これは、BSDF の形状が正反射方向と散乱方向の差のみに依存することを意味します。このタイプのモデルは、特に光学的に研磨されたサーフェスなど、幅広いサーフェスに役立ちます。

BSDF は、実際にはサーフェスからの散乱に対する一般的な用語です。BSDF には 3 つの特定のタイプがあります。

- BRDF（双方向反射率分布関数）
- BTDF（双方向透過率分布関数）
- BDDF（双方向回折分布関数）

ハーベイ - シャック BSDF

ハーベイは博士論文（J. E. Harvey, “Light-Scattering Properties of Optical Surfaces,” Ph.D. Dissertation, U. Arizona, 1976）で、多くの光学サーフェスにおいて、BSDF は角度ではなく方向余弦の関数として表される場合、入射方向とは独立であることを発見しました。ハーベイは、線形システム理論と同様に、このプロパティを「シフト不変」と呼びました。図 7.4 を参照すると、β 0 は正反射方向の単位ベクトル r0 のサーフェスへの投影であり、β は散乱方向の単位ベクトル r のサーフェスへの投影であり、それらの差の大きさ | β - β 0| が BSDF の引数です。β とβ 0 は単位ベクトルではないことに注意してください。それらは単位ベクトルの投影であるため、それらの長さは 1 以下です。ハーベイ - シャック法は、ほとんどの光学サーフェス、つまり次の条件を満たすサーフェスの挙動に対して優れたモデルを提供します。

- 散乱は主にサーフェス粗さに起因する
- 散乱（したがってサーフェス粗さ）は等方的である
- サーフェス粗さは光の波長に比べて小さい

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

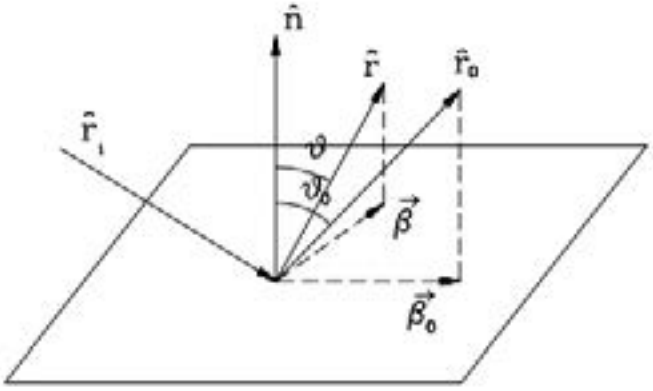


FIGURE 7.4 - Harvey-Shack BSDF: a shift-invariant BSDF representation

入射サーフェス内で BSDF（双方向散乱分布関数）を測定または評価する場合、つまり散乱方向 r が入射方向 r_i および鏡面反射方向 r_0 と同じ平面内にある場合、$|\beta - \beta_0|$ の値は $|\sin\theta - \sin\theta_0|$ に減少します。ここで、θ は散乱方向とサーフェス法線との間の角度であり、θ_0 は鏡面反射方向とサーフェス法線との間の角度です。サーフェスに垂直に入射する光の場合、$\theta_0=0$ であるため、$|\beta - \beta_0|=\sin\theta$ となります。測定は入射サーフェス内でのみ行われることが多く、多くの BSDF プロットでは、水平軸として $|\sin\theta - \sin\theta_0|$、$\sin\theta - \sin\theta_0$、$\sin\theta$、または θ が使用されます。

ABg BSDF モデル

TracePro で使用される BSDF モデルは、ABg モデルと呼ばれる準逆べき乗則モデルです。これは、次の式にある 3 つのパラメータにちなんで ABg モデルと呼ばれます。

:

$$\mathrm{BSDF} = \frac{A}{B + \left|\vec{\beta} - \vec{\beta}_0\right|^g}, \qquad (7.25$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ここで、A、B、g は測定データへの適合に用いるパラメータです。

図 7.5 に、典型的な ABg モデル BSDF の両対数グラフを示します。

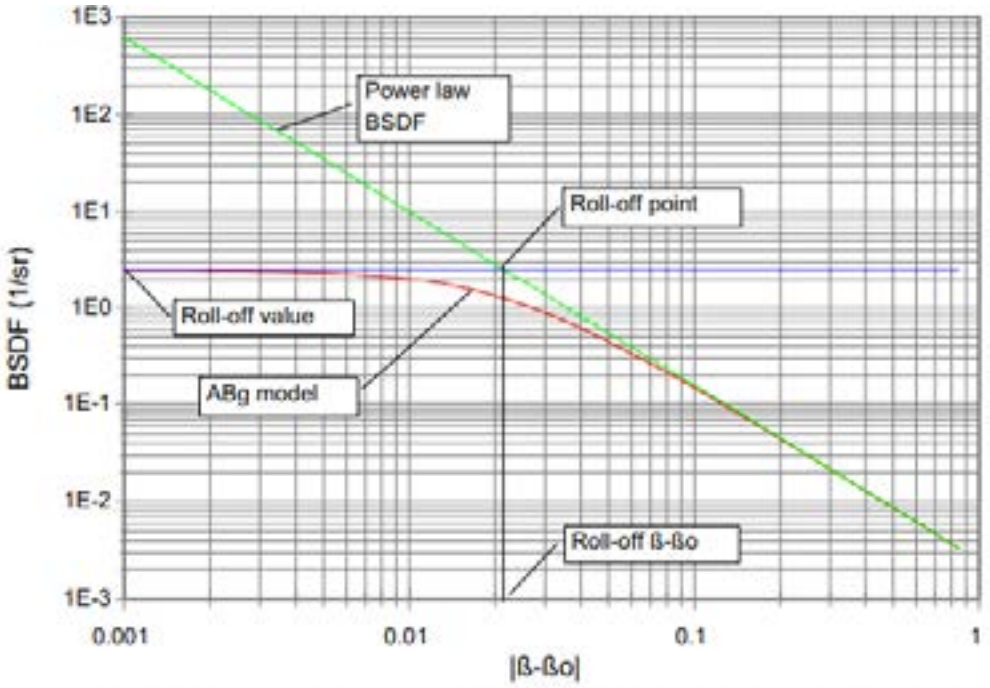


FIGURE 7.5 - ABg BSDF Model where A=0.0025, B=0.001, and g=1.8

ABg BSDF モデルの以下のプロパティに注目してください。

- g がゼロでない限り、B はゼロより大きくなければなりません。
- g がゼロの場合、値 A/(B+1) のランバート BSDF になり、総積分散乱は π A/(B+1) に等しくなります。
- g がゼロより小さい場合、BSDF は $|\beta - \beta_0|$ とともに増加します。一部のサーフェスはこの挙動を示します。

光学的に研磨されたサーフェスのほとんどは、このモデルによく適合する形状の BSDF を示します。このモデルは、$|\beta - \beta_0|$ の小さい値で平坦な領域、ロールオフ点付近の遷移領域、および $|\beta - \beta_0|$ の大きい値で (-g) に等しいほぼ一定の傾斜の領域を持ちます。g の値は、基板マテリアル、研磨方法、および研磨の程度に応じて、通常 1 から 3 の間です。B の値は通常 0.001 以下であり、A の値は大きく異なります。曲線が「平坦になる」$|\beta - \beta_0|=0$ での BSDF の値は、以下で与えられます。

$$\mathrm{BSDF}(0) = A/B. \qquad (7.26)$$

曲線がロールオフする $|\beta - \beta_0|$ の値（ロールオフ $|\beta - \beta_0|$）が、パラメータ B を決定します。B はロールオフ $|\beta - \beta_0|$ と g との関係で表されます。

$$B = (\beta_{\mathrm{rolloff}})^g. \qquad (7.27)$$

BRDF、BTDF、および TS

BSDF は Bidirectional Scattering Distribution Function（双方向散乱分布関数）の略語です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

BSDF は総称です。散乱を記述するために使用される特定の用語は次のとおりです。

- BRDF — Bidirectional Reflectance Distribution Function（双方向反射率分布関数）
- BTDF — Bidirectional Transmittance Distribution Function（双方向透過率分布関数）

これらの量は、それぞれ反射散乱と透過散乱を指します。TracePro でサーフェスプロパティを定義する場合、BRDF と BTDF の両方を定義できます。

BSDF に関連する量として、Total Scatter（全散乱）、または TS があります。TracePro では、TS は全角度にわたる BSDF の積分として定義されます。

$$TS = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} BSDF(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) \cos\theta \sin\theta (d\theta) d\phi . \qquad (7.28$$

ここで、θ と φ は、サーフェス法線を z 軸として定義される球面極座標です。サーフェスに垂直に入射する光の場合、θ i と φ i はゼロであり、θ s = θ、φ s = φ となり、TS は以下のようになります。

$$TS = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} BSDF(0, 0, \theta_s, \phi_s) \cos\theta \sin\theta (d\theta) d\phi . \qquad (7.29)$$

TracePro においてエネルギー保存則を満たすためには、サーフェスに入射する全光量がサーフェスプロパティによって完全に記述される必要があります。したがって、吸収率、鏡面反射率、透過率、および散乱率の総和は 1 に等しくなければなりません。

$$a + R_S + T_S + R_{TS} + T_{TS} = 1 , \qquad (7.30)$$

「TracePro がエネルギーを保存するためには、サーフェスに入射する全ての光がサーフェスプロパティにおいて説明されなければなりません。これは、吸収、正反射、透過、散乱の係数の合計が 1 に等しくなければならないことを意味します。ここで、

a = 吸収率

Rs = 正反射率

Ts = 正透過率

RTS = 反射に対する T_S

TTS = 透過に対する T_S

既存のサーフェスプロパティを編集したり、新しいサーフェスプロパティを追加したりする際、このエネルギー保存の式が満たされない場合、TracePro はサーフェスプロパティエディタを閉じさせません。エディタ内でこれらの量のいずれかを TracePro に計算させるオプションがあります。

非対称 BSDF

非対称 BSDF とは、方向余弦空間において円筒対称でないものです。TracePro における非対称

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

BSDF には、2 つの直交軸に関して鏡面対称性を持つ楕円 BSDF モデル、一次元 BSDF モデル、および一般に何の対称性も持たない非対称テーブル BSDF が含まれます。

非対称 BSDF をサーフェスに適用する場合、非対称性の基準軸も指定する必要があります。TracePro では、これを行う方法が 2 つあります。

- 固定基準軸を指定する（ほとんどの非対称 BSDF に使用）。
- 基準軸が入射サーフェスと共に「浮動」するように指定する。

この選択は**「プロパティの適用」**ダイアログボックスの左ペインの「Surface」を選択したときの右ペインにある、「非対称散乱のゼロ方位角に固定軸を使用」チェックボックスによって制御されます。ほとんどの場合、このチェックボックスをオンにし、「異方性軸」タブに基準軸の方向余弦を入力する必要があります。異方性軸は、BSDF の基準軸としても使用されます。

非対称散乱のゼロ方位角に固定軸を使用するオプションを使用するかどうかを決定するのに役立つヒントは次のとおりです。サーフェスに光を当てたときに、基板を回転させると非対称散乱パターンが回転する場合は、「非対称散乱のゼロ方位角に固定軸を使用」を選択します。一方、基板を回転させても散乱の非対称性が静止したままである場合は、「非対称散乱のゼロ方位角に固定軸を使用」オプションをオフにする必要があります。

楕円 BSDF でサーフェスプロパティを適用すると、x 軸がゼロ方位角軸になり、z 軸がサーフェス法線になります。y 軸は、右手則によって決定されます。

散乱のジオメトリは、「非対称散乱のゼロ方位角に固定軸を使用」オプションの場合は図 7.6 に、チェックされていないオプションの場合は図 7.7 に示されています。後者の場合、x 軸またはゼロ方位角軸は常に入射サーフェスに対して直交します。入射サーフェスは、入射方向とサーフェス法線を含む平面です。

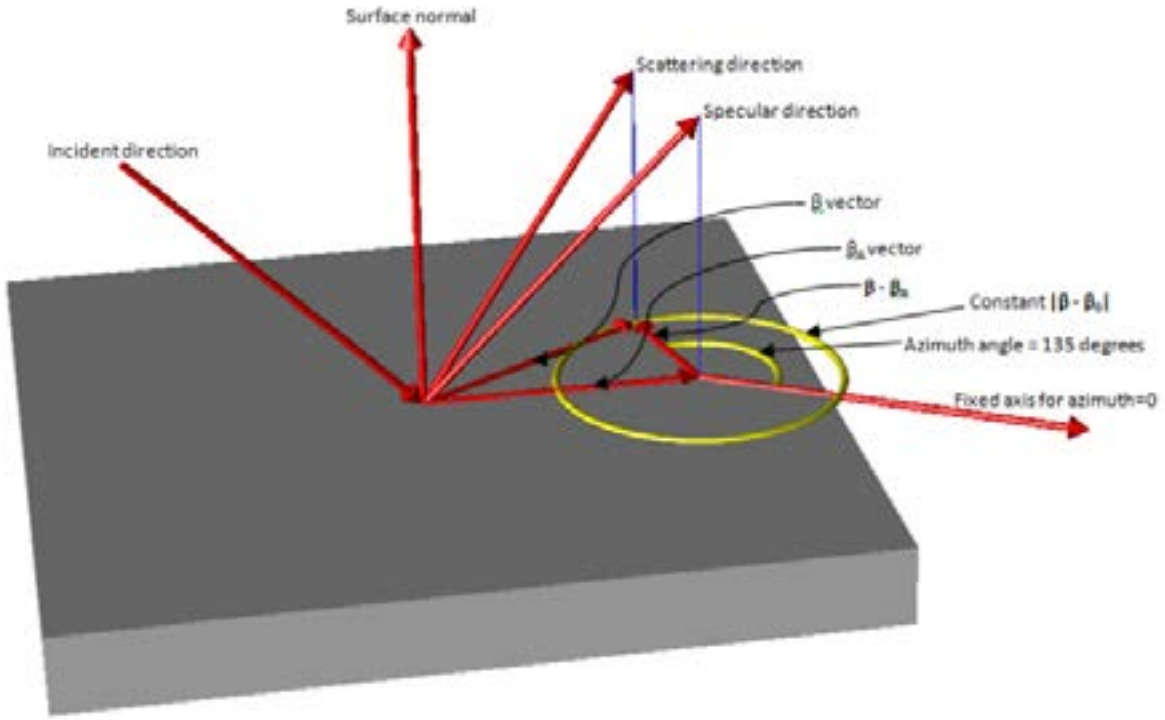


FIGURE 7.6 - Scattering geometry for the *Use fixed axis for zero-azimuth for asymmetric scatter* option.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

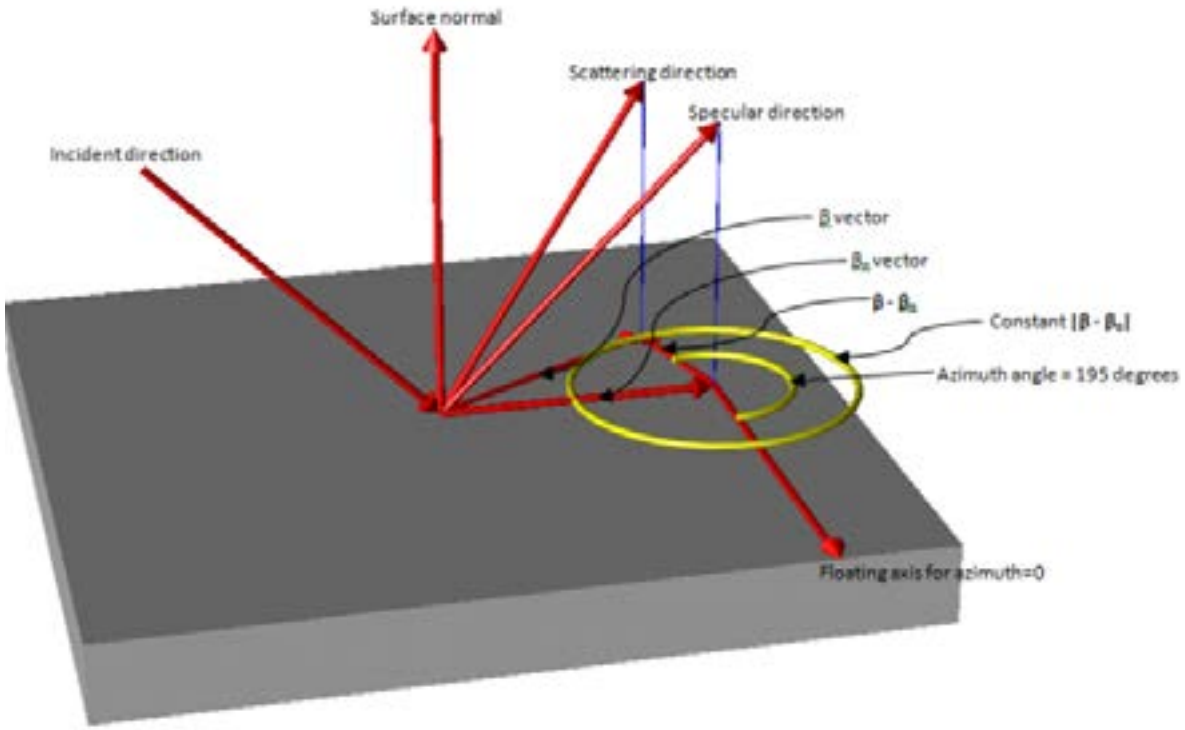


FIGURE 7.7 - Scattering geometry with the *Use fixed axis for zero-azimuth for asymmetric scatter* option *unchecked*.

非対称テーブル BSDF

非対称テーブル BSDF モデルは、BSDF 値を指定するために BSDF 値のテーブルを使用します。テーブルは長方形であり、| β - β 0| 値と方位角のリストを入力し、| β - β 0| と方位角のすべての組み合わせに対して BRDF と BTDF 値を入力します。ベータ座標は、図 7.6 および図 7.7 に示すように、サーフェスの平面内で線形です。したがって、定数 | β - β 0| のリングは | β - β 0| の 1 つの値を表し、その | β - β 0| 値の方位角はリングの周りに間隔を空けた異なる点です。

| β - β 0| と方位角を平面極座標として考えると役立ちます。| β - β 0| は半径座標です。これらの座標の平面は接平面であり、原点は接平面への鏡面方向の投影（つまり、β 0 ベクトルの先端）であり、方位角 =0 軸はローカル x 軸です。

楕円 BSDF

楕円 BSDF は、楕円的に補間される係数を持ち、したがって散乱光の非対称分布を生成する BSDF です。楕円 BSDF は、特定の種類の非対称 BSDF です。TracePro の ABg モデルは | β - β 0| に対して対称ですが、楕円 BSDF は非対称です。TracePro では、楕円 ABg と楕円ガウスの 2 つの楕円 BSDF モデルが利用可能です。

TracePro で楕円 BSDF を持つサーフェスプロパティを作成すると、散乱の方向を決定する楕円は x 軸と y 軸によって定義されます。軸のそれぞれに沿って係数を入力する必要があります。x 軸の方向は、サーフェスプロパティをサーフェスに適用するときに指定されます。楕円 BSDF を持つ異方性サーフェスプロパティを作成する場合、1 つの方向ベクトルが異方性係数と散乱楕円の両方を方向付けます。異方性サーフェスプロパティを作成する場合、プロパティに任意

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

の数の θ と ϕ の値を追加できます。温度と波長ごとに、サーフェスプロパティエディタは θ と ϕ の各ペアの係数のテーブルを作成します。θ と ϕ の各ペアについて、ピーク BSDF と BSDF の x および y 係数を入力します。

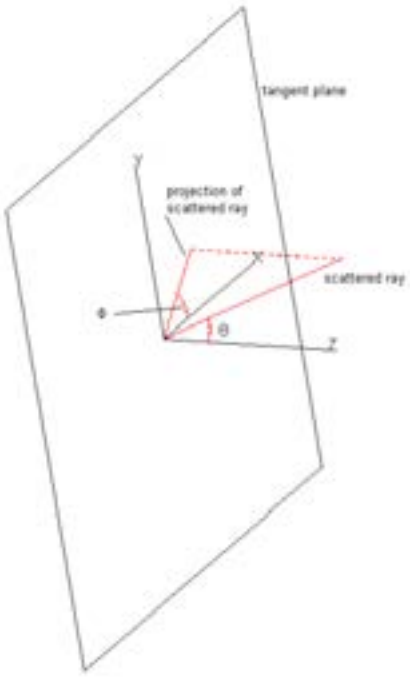


FIGURE 7.8 - Elliptical BSDF coordinates

多くの表面は非対称な散乱挙動を示します。異なる方向から「異なって見える」表面は、おそらく非対称な散乱を示しています。例えば、ブラッシングされた表面や機械加工された表面は、非対称に散乱する可能性があります。特定の方向に繊維が配向された多くの複合材料は、非対称な散乱を示します。ホログラフィック拡散板など、非対称な散乱挙動を示すように設計された拡散板もあります。

その多様性と一般性にもかかわらず、TracePro の楕円形 BSDF の能力には限界があります。楕円形 BSDF サーフェスプロパティを平面に適用すると、表面の「木目」は一方向に固定されます。楕円形 BSDF を空間的に依存させる（つまり、表面の異なる部分で異なるようにする）には、表面が存在するオブジェクトをより小さなピースに分割する必要があります。

ただし、例えば放物面反射鏡に円形のブラシ跡をモデル化することは可能です。入力する「方位角 =0」軸は、方位角を計算するために接平面に投影されるため、「方位角 =0」軸の向きによって楕円形 BSDF の対称性が決まります。上記の図で、反射鏡の軸が z 軸に沿っているとします。反射鏡の周りを回るブラシ跡をモデル化するには、「方位角 =0」軸を (0, 0, 1) または z 軸に沿って入力します。反射鏡の軸に平行なブラシ跡を作成するには、反射鏡の軸に垂直な「方位角 =0」軸（例えば、(1, 0, 0) または (0, 1, 0)）を入力します。斜めの角度で楕円形のブラシ跡を作成するには、反射鏡の軸に平行でも垂直でもない「方位角 =0」軸を入力します。

楕円 ABg BSDF モデル

楕円形 ABg BSDF モデルは、対称である ABg モデルに基づいています。楕円形 ABg モデルは、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

各係数に対して楕円の軸を指定し、TracePro がこれらの軸に楕円を当てはめて他の方向の係数を決定することから、そう呼ばれています。楕円形 ABg モデルは、以下のアルゴリズムによって決定されます。

1. 楕円形 BSDF を持つサーフェスプロパティを作成するときに、x 軸と y 軸の B 係数と g 係数を入力します。
2. プロパティを適用するときに、「方位角 =0」軸を指定します。これが、係数を決定するためのローカル x 軸になります。
3. 光線追跡中に、ローカルなサーフェス法線と「方位角 =0」軸を使用してローカル座標系が構築されます。サーフェス法線はローカル z 軸であり、「方位角 =0」軸はローカル x 軸です。「方位角 =0」軸がサーフェス法線に垂直でない場合、「方位角 =0」ベクトルをそれと法線を含む平面内で回転させることによって、新しい x 軸が作成され、x 軸が法線に垂直になります（つまり、ローカル x 軸は接平面内にあります）。
4. 散乱光線の方向が接平面に投影され、方位角 ϕ が決定されます。7.22 ページの「楕円形 BSDF 座標」を参照してください。
5. 係数 B' と g' は、x 成分と y 成分を楕円の軸にすることによって決定されます。

$$\frac{1}{B'^2} = \frac{(\cos\phi)^2}{B_x^2} + \frac{(\sin\phi)^2}{B_y^2} \tag{7.31}$$

そして

$$\frac{1}{g'^2} = \frac{(\cos\phi)^2}{g_x^2} + \frac{(\sin\phi)^2}{g_y^2} \tag{7.32}$$

6. ABg BSDF は、対称 ABg BSDF モデルと同様に評価されます。つまり、

$$\text{BSDF} = \frac{A}{B' + \left|\vec{\beta} - \vec{\beta}_0\right|^{g'}} \tag{7.33}$$

7. 最後に、A 係数は、評価されたものから決定されます。

$$\text{BSDF}(0) = \frac{A}{B'} \tag{7.34}$$

または

$$A = \text{BSDF}(0) \cdot B' \tag{7.35}$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

BSDF(0) はピーク BSDF です。楕円形の ABg BSDF モデルを作成する場合、各行に以下の係数を入力します。

- ピーク BRDF
- BRDF Bx
- BRDF By
- BRDF gx
- BRDF gy
- ピーク BTDF
- BTDF Bx
- BTDF By
- BTDF gx
- BTDF gy

楕円形ガウス BSDF

楕円形ガウス BSDF は、はるかに単純なフォーマットを持っています。ピーク BSDF と各方向の 1/e2 半幅を入力します。そして、BSDF は以下のフォーマットになります。

$$BSDF = BSDF(0)e^{-2\left(\frac{x^2}{s_x^2}+\frac{y^2}{s_y^2}\right)} \quad (7.36)$$

BSDF(0) はピーク BSDF です。楕円ガウス BSDF モデルを作成する場合、各行に以下の係数を入力します。

- ピーク BRDF
- BRDF sx
- BRDF sy
- ピーク BTDF
- BTDF sx
- BTDF sy

sx と sy の値は、$\beta - \beta\ 0$ に関する楕円ガウス BSDF の 1/e2 半値幅です。垂直入射（$\beta\ 0 = 0$ 度）の場合、$\beta - \beta\ 0$ の値が 0.5 であれば、1/e2 半値幅は 30 度、sin(30)-sin(0) = 0.5 に相当します。

1D ABg BSDF モデル

1D ABg BSDF モデルは、対称である ABg モデルを基にした非対称 BSDF モデルです。1D BSDF モデルは、例えばブラシ仕上げや機械加工されたサーフェスのように、ある平面内で強く散乱するサーフェスをモデル化するために使用されます。1D ABg モデルは、2 つの直交関数の積です。局所的な x 方向には ABg モデル、局所的な y 方向にはガウスモデルとなります。

1. 1D ABg BSDF でサーフェスプロパティを作成する場合、x 軸の B と g の係数、および y 軸のシグマ値を入力します。
2. プロパティを適用する際に、方位角 =0 軸を指定します。これが散乱パターンを方向付け

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

るための局所的な x 軸になります。

3. 光線追跡中、局所的なサーフェス法線と方位角 =0 軸を使用して、局所的な座標系が構築されます。サーフェス法線は局所的な z 軸であり、方位角 =0 軸は局所的な x 軸です。方位角 =0 軸がサーフェス法線に垂直でない場合、方位角 =0 ベクトルをそれと法線を含む平面内で回転させることによって新しい x 軸が作成され、x 軸が法線に垂直になります（つまり、局所的な x 軸は接平面内にあります）。

1D ABg BSDF モデルを作成する場合、各行に以下の係数を入力します。

- BRDF A
- BRDF B
- BRDF g
- BRDF シグマ

1D テーブル BSDF モデル

1D テーブル BSDF モデルは、+/-x 方向に沿った BSDF 値のテーブルと、y 方向に沿ったガウス分布を使用する非対称な BSDF モデルです。1D BSDF モデルは、例えばブラシ仕上げや機械加工されたサーフェスのように、ある平面内で強く散乱するサーフェスをモデル化するために使用されます。1D テーブルモデルは、2 つの直交する関数の積です。ローカル x 方向には値のテーブルがあり、ローカル y 方向にはガウス分布があります。

1. 1D テーブル BSDF を使用してサーフェスプロパティを作成する場合、x 軸の値のテーブルと y 軸のシグマ値を入力します。
2. プロパティを適用する際に、方位角 =0 の軸を指定します。これが散乱パターンを方向付けるためのローカル x 軸になります。
3. 光線追跡中、ローカルなサーフェス法線と方位角 =0 の軸を使用して、ローカル座標系が構築されます。サーフェス法線はローカル z 軸であり、方位角 =0 の軸はローカル x 軸です。方位角 =0 の軸がサーフェス法線に垂直でない場合、方位角 =0 のベクトルと法線を含む平面内でベクトルを回転させることによって新しい x 軸が作成され、x 軸が法線に垂直になります（つまり、ローカル x 軸は接平面内にあります）。

x 軸に沿った値のテーブルは、ローカル x 軸に沿った非対称性を可能にするために、(β - β 0) x の正と負の値に対して使用されます。

光線追跡中のフレネル係数の計算

サーフェスのプロパティがフレネル型の場合、光線追跡中に鏡面反射率と透過率の係数を計算する必要があります。

これは次の方法で行われます：

- マテリアルプロパティに基づいて、吸収率、反射率、透過率を計算します。
- 計算された吸収率を吸収率係数として使用します。
- 計算された反射率を全反射率として使用します。
- 入射角に合わせて全散乱（TS）を調整します。データベースの TS は垂直入射用です。

反射率の調整された TS は、以下の通りです。

$$TS_{refl}(\theta) = TS_{refl}(0) \cdot \frac{R_{total}(\theta)}{R_{total}(0)}$$

透過率の調整済み TS は

$$TS_{trans}(\theta) = TS_{trans}(0) \cdot \frac{T_{total}(\theta)}{T_{total}(0)}.$$

- 鏡面反射率と透過率は、全反射率（または全透過率）から散乱透過率（TS）を差し引いた値として算出すると

$$R_{spec}(\theta) = R_{spec}(\theta) - TS_{refl}(\theta)$$

そして

$$T_{spec}(\theta) = T_{spec}(\theta) - TS_{trans}(\theta)$$

異方性サーフェスプロパティ Standard Expert

メリアム＝ウェブスター大学辞典によると、異方性とは以下の意味である。
項目：an·iso·trop·ic
発音：”a-”nI-s&-’trä-pik
品詞：形容詞
成立：1879 年
意味：異なる方向に測定した場合、異なる値を示すプロパティを示すこと
例：＜異方性結晶＞

異方性とは、実質的に「等方性ではない」という意味であり、等方性とは（再びメリアム＝ウェブスター大学辞典によれば）「すべての方向の軸に沿って測定した場合、同じ値を示すプロパティ（光の透過速度など）を示すこと」を意味する。サーフェスプロパティに関して、異方性挙動とは、係数が入射方向によって変化しうることを意味する。TracePro のサーフェスプロパティでは、入射方向は、球面座標系と同様に、極角 θ と方位角 φ の 2 つの角度で記述される。極角は入射光線とサーフェス法線との間の角度である。サーフェス法線を z 軸とすると、x 軸と y 軸は図 7.9 のようにサーフェスに接する平面上に存在する。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 7.9 - Polar Coordinates for anisotropic surface property

TracePro でサーフェスプロパティを作成する際、プロパティに任意の数の θ と ϕ の値を加えることができます。各温度と波長に対して、サーフェスプロパティエディタは θ と ϕ の各ペアに対する係数のテーブルを作成します。異方性サーフェスプロパティの場合、BSDF は標準の ABg モデル、楕円モデル、またはテーブル BSDF モデルのいずれかを選択でき、サーフェスの挙動を完全に制御できます。

異方性サーフェスプロパティをサーフェスに適用する場合、方位角がゼロとなる方向も指定する必要があります。これは図 7.9 の x 軸です。

異方性サーフェスタイプ

多くのサーフェスは異方性を示します。異なる方向から光が照射されたときに「見え方が異なる」サーフェスは、異方性を示しています。たとえば、ブラシ加工または機械加工されたサーフェスは、入射方向によって異なる量の光を反射する場合があります。特定の方向に繊維が配向された多くの複合マテリアルは、異方性を示します。一部の拡散板は、異方性を示すように設計されています。

その多用途性と一般性にもかかわらず、TracePro の異方性サーフェスプロパティの機能には限界があります。異方性サーフェスプロパティを平面に適用すると、サーフェスの「目」は 1 つの方向に固定されます。異方性を空間的に依存させる（つまり、サーフェスの異なる部分で異

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

なるようにする）には、サーフェスが存在するオブジェクトを小さな断片に分割し、異方性方向ごとに 1 つずつ作成する必要があります。

ただし、たとえば放物面反射鏡に円形のブラシマークをモデル化することは可能です。入力した「方位角 =0」軸は、方位角を計算するために接平面に投影されるため、方位角 =0 軸の向きによって異方性の対称性が決まります。反射鏡の軸が図 7.9 の z 軸に沿っているとします。反射鏡の周りを回るブラシマークをモデル化するには、方位角 =0 軸を (0, 0, 1) または z 軸に沿って入力します。傾斜角で楕円形のブラシマークを作成するには、反射鏡の軸に平行でも垂直でもない方位角 =0 軸を入力します。

異方性データの取得

異方性サーフェスのデータを取得するには、おそらくマテリアルのサンプルから測定を行う必要があります。これらの測定を行うための機器や専門知識がない場合は、いくつかの商用ラボと契約して測定を依頼することができます。Lambda Research は特定のラボを推奨するものではありませんが、測定する必要がある量は、半球方向反射率または透過率関数（Hemispherical Directional Reflectance or Transmittance Function）、略して HDRF または HDTF と呼ばれることがあります。これは、入射方向に対する全反射率または全透過率（相反性の議論による）を提供しますが、正反射成分と散乱成分を区別するかどうかはわかりません。これらを分離する最良の方法は、複数の入射方向に対して BRDF および / または BTDF 測定も行うことです。したがって、異方性サーフェスを完全にプロパティ評価するには、HDRF/HDTF と BRDF/BTDF の 2 つの測定セットが必要です。たとえば、不透明なサーフェス（正反射透過率と BTDF がゼロになる）のサーフェスプロパティを作成するには、次の手順を実行します。

1. サンプルの BRDF および HDRF 測定を取得します。
2. TracePro の BSDF モデルのいずれかを使用して BRDF 測定を適合させます。
3. サーフェスプロパティに BRDF 係数を入力します。
4. 吸収率を θ および ϕ の関数として A = 1 – HDRF として計算し、サーフェスプロパティに入力します。
5. サーフェスプロパティエディタでそる部を使用し、反射率を j 移動計算します。

測定を行う際には、測定装置に対するサンプルの向きを必ず把握してください。部品にローカル軸を定義し、すべての測定をこの軸に対して参照してください。これは、TracePro でサーフェスプロパティを作成するときに方位角 = 0 軸になります。

ユーザー定義のサーフェスプロパティ Expert

概要

TracePro Expert は、ダイナミックリンクライブラリ（DLL）を使用したユーザー定義のプロパティのためのインターフェースを提供します。現在、サーフェスおよびバルク散乱プロパティが利用可能です。これらのプロパティを使用するには、プロパティ計算を実行する DLL を作成し、TracePro のサーフェスまたはオブジェクトに適用できるプロパティをプロパティエディタで定義する必要があります。

サーフェスプロパティ DLL の作成

TracePro を作成するには、まず www.lambdares.com のテクニカルサポートセクションのサ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ポート ->TracePro->TracePro ツールから SourceFilesForCreatingPropertyDLLs.zip ファイルをダウンロードします。ファイルを解凍して、Microsoft Visual Studio ソリューションと、C++ DLL を作成するためのテンプレートとして機能するソースファイルのセットを取得します。この DLL インターフェースを通じて、TracePro モデル内のサーフェスに適用できるカスタムサーフェスプロパティを作成できます。レイをトレースする際、TracePro の光線追跡エンジンは、プログラムされた指示に従ってこれらのサーフェスプロパティと相互作用します。

現在、以下の入出力セットがサポートされています。将来、入出力セットを拡張するための準備がなされています。提供されたソースファイルは、この実装のさらなる明確化とドキュメントとして役立ちます。

TABLE 7.1. サーフェスプロパティ DLL への入力

説明	変数
wavelength	input[WAVELENGTH]
temperature	input[TEMPERATURE]
position X	input[RAY_POS_X]
position Y	input[RAY_POS_Y]
position Z	input[RAY_POS_Z]
incident direction X	input[RAY_DIR_X]
incident direction Y	input[RAY_DIR_Y]
incident direction Z	input[RAY_DIR_Z]
flux S0, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S0]
flux S1, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S1]
flux S2, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S2]
flux S3, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S3]
flux SX, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SX]
flux SY, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SY]
flux SZ, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SZ]
surface normal X	input[SURF_NORM_X]
surface normal Y	input[SURF_NORM_Y]
surface normal Z	input[SURF_NORM_Z]
n reflection side	input[N_REFL_SIDE]
k reflection side	input[K_REFL_SIDE]
n transmission side	input[N_TRAN_SIDE]
k transmission side	input[K_TRAN_SIDE]

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

表 7.2. サーフェスプロパティ DLL の出力

以下のように仮定 :

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] =

COATING_DLL_SIGNAL_NONE

説明	変数
s – absorptance	results[ABSO_S]
p – absorptance	results[ABSO_P]
s – reflectance	results[REFL_S]
p – reflectance	results[REFL_P]
s – transmittance	results[TRAN_S]
p – transmittance	results[TRAN_P]
Phase reflection [deg]	results[PHAS_R]
Phase transmission [deg]	results[PHAS_T]

以下のように仮定 :

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] =

COATING_DLL_SIGNAL_USE_MUELLER_MATRIX

説明	変数
16 Mueller Matrix components for reflection	results[REFL_MM_xy] x -> 0 to 3 ; y-> 0 to 3
16 Mueller Matrix components for transmission	results[TRAN_MM_xy] x -> 0 to 3 ; y-> 0 to 3

以下のように仮定 :

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] =

COATING_DLL_SIGNAL_FULL_RAY_CONTROL

説明	変数
s – absorptance	results[ABSO_S]
p – absorptance	results[ABSO_P]
output direction X	results[RAYOUT_DIR_X]
output direction Y	results[RAYOUT_DIR_Y]
output direction Z	results[RAYOUT_DIR_Z]
output Stokes, S0	results[RAYOUT_FLUX_S0]
output Stokes, S1	results[RAYOUT_FLUX_S1]
output Stokes, S2	results[RAYOUT_FLUX_S2]
output Stokes, S3	results[RAYOUT_FLUX_S3]
output Stokes, SX	results[RAYOUT_FLUX_SX]
output Stokes, SY	results[RAYOUT_FLUX_SY]
output Stokes, SZ	results[RAYOUT_FLUX_SZ]

ダウンロードした Zip ファイルを解凍すると、次が見つかります：

- TraceProDLLs.h
  TracePro と共有されるヘッダーファイルで、入出力配列への配列添字を定義します。各新しいサーフェスプロパティ DLL に含める必要があります
- SurfacePropDll 独自の DLL を作成するための例として、ソース、プロジェクト、およびワー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

クスペースファイルを含むフォルダ

1. SurfacePropDll フォルダとその内容を新しいフォルダにコピーします。
2. Microsoft Visual Studio でソリューションファイルを開きます。
3. ソースファイル surf.h と surf.cpp にコードを追加します。
4. DLL をビルドします。このソリューションからの DLL の名前は surf.dll になります。
5. TracePro のサーフェスプロパティエディタ内で、新しいサーフェスプロパティを作成します。「Type:」を「Coating DLL」に設定し、ディスク上の DLL の場所を参照します。
6. これで、プロパティの適用ダイアログボックスを使用して、TracePro モデル内の任意のサーフェスにこのサーフェスプロパティを適用できます。
7. このタイプのサーフェスプロパティを適用する場合、原点、法線方向、および上方向も指定する必要があります。これにより、モデルのグローバル座標系におけるプロパティのローカル座標系が識別されます。
8. 作業のデバッグ後、DLL を移動して名前を変更します。任意の便利な場所に移動できます。
9. DLL の名前を変更した後、サーフェスプロパ

サーフェスプロパティ DLL の作成

サーフェスプロパティ DLL プロパティは、標準のサーフェスプロパティと同様の方法で作成されます。「サーフェスプロパティの追加」ボタンを使用して新しいプロパティを追加し、「タイプ」を「コーティング DLL」に設定します。鏡面データは DLL で提供されます。散乱データは、プロパティエディタで個別に追加できます。

サーフェスプロパティの適用

「サーフェスプロパティの適用」ダイアログボックスは、DLL プロパティに関する追加データを提供します（図 7.10 参照）。サーフェスにプロパティを配置するために、原点、法線方向（法線ベクトル）、および上方向（上ベクトル）が利用可能です。このデータにより、空間的に変化するプロパティが使用可能になります。オブジェクトが回転すると法線ベクトルと上ベクトルが変換され、オブジェクトが移動すると原点が移動します。ユーザーパラメーターセルも、サーフェスプロパティとともに保持したいデータを格納する場所として利用可能です。標準の Windows 参照ボタン：

が、ユーザーパラメータセルにファイルパスを保存する際、簡単に場所を特定できるよう、その右側に配置されています。

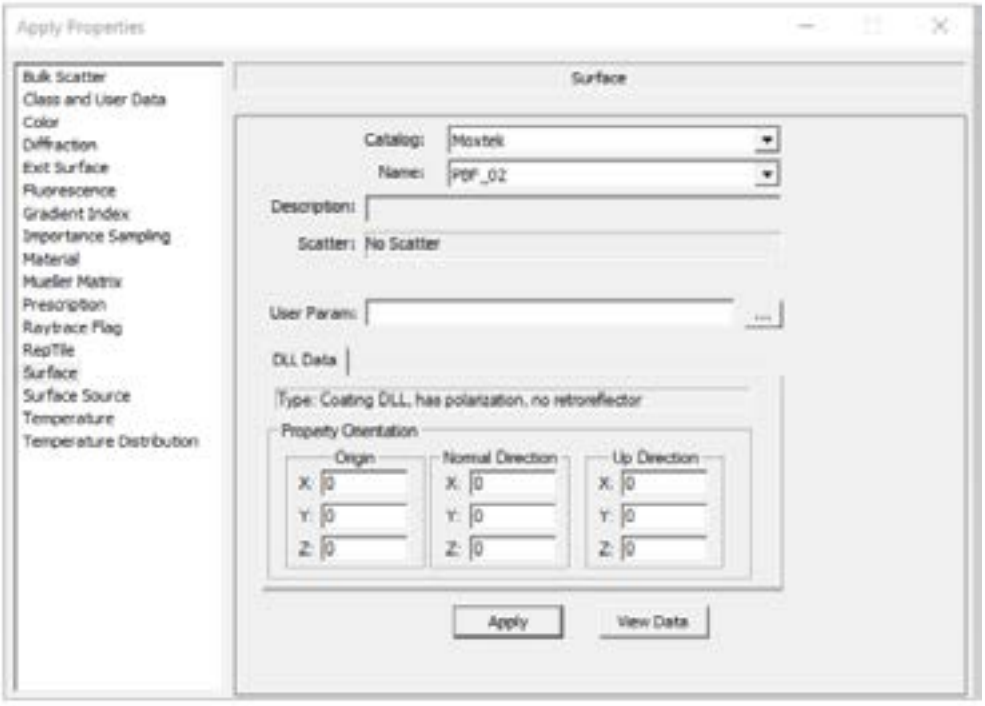


FIGURE 7.10 - Elliptical BSDF coordinates

拡張コーティング DLL の API 仕様

拡張コーティング DLL はユーザーにプログラミング経験必要ですが、以下の機能を提供します。

- 反射、吸収、透過などのサーフェスプロパティの空間的変化
- すべてのサーフェスプロパティは、波長、温度、その他のパラメータの関数として扱うことができます
- 光線のストークスベクトルを個別に制御できる。
- オブジェクトではなく、サーフェスにミュラー行列を割り当てることができる。

簡単に言えば、この API を使用すると、独自の C++ プログラミング構造を通じて複雑なサーフェスプロパティを入力できます。これはレプタイルに類似するものと考えることができますが、ジオメトリに影響を与えるのではなく、サーフェスのコーティングプロパティに影響を与えます。
このセクションでは、このような DLL の設定方法についてもう少し理解を深めますが、決して完全なものではありません。この API ではあまりにも多くのオプションが考えられるからです

以下の API 仕様は、メイン実行可能ファイルである TracePro と拡張コーティング DLL（ここでは「DLL」と呼びます）の間で渡されるすべての関数呼び出しとパラメータを識別します。この機能を使用するには、TracePro の Expert エディションが必要です。このセクション内の「TracePro」へのすべての言及は、TracePro Expert を意味します。

ヘッダーファイル（*.h）は、このドキュメントの重要な部分を構成します。ヘッダーファイルは、電子フォーマットで TracePro と共に出荷されます。出荷されたヘッダーファイルがこのドキュメントに示されている説明と異なる場合、ソフトウェアのコンパイルで実際に使用されたため、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

出荷されたヘッダーファイルが優先されます。不一致があれば Lambda に通知してください。このドキュメントは更新されます。

ドキュメントのレイアウト

- この仕様は、TracePro から DLL への関数呼び出しを特定し、説明します。各関数について、以下の項目を特定し説明する構文シートが提供されます。

  TracePro が関数を呼び出す頻度

- TracePro が各関数に渡すパラメータ
- 各関数が TracePro に返すパラメータ

呼び出し頻度

以下の呼び出し頻度が適用されます :

- シミュレーションごと - この頻度の関数は、シミュレーション / 解析（以下、シミュレーション）ごとに 1 回呼び出されます。シミュレーションは、監査フェーズと光線追跡フェーズの 2 つのフェーズで構成されます。
- 波長ごと - この頻度の関数は、波長光線追跡ごとに 1 回呼び出されます。これは監査フェーズの一部で発生します。光線追跡フェーズが開始すると、光線追跡は一度に 1 つの波長で進行します。シミュレーションが別の波長に切り替わると、次のトレースされる波長に対してモデルを更新するために、監査フェーズのこの部分が実行されます。
- サーフェスごと - この頻度の関数は、TracePro モデル内の各サーフェスに対して 1 回呼び出されます。これらの関数は、シミュレーションの監査フェーズで呼び出されます。
- サーフェス交点ごと - この頻度の関数は、光線がコーティング DLL タイプのサーフェスプロパティを持つサーフェスと交差するたびに呼び出されます。これらの関数は、シミュレーションの光線追跡フェーズで呼び出されます。

リターンコード、シグナル、および定数 -- TraceProDLL.h

全てのリターンコード、シグナル、および定数は C++ のヘッダーファイル、TraceProDLL.h で定義されています。このヘッダーファイルは TracePro がコンパイルおよびビルドされる際に含まれます。デフォルトの場所は以下の通りです：

C:\Program Files\Lambda Research Corporation\TracePro\DLLs

DLL の作成者は、必要に応じて、ここに記載されている定義を使用し、数値をハードコードすべきではありません。

リターンコードの説明

DLL 内の関数のリターンコードは 2 つのカテゴリに分けられます。1 つは double 値を返す関数用、もう 1 つは integer 値を返す関数用です。2 つのセットはお互いに対応しています。

Double:

- OK（成功）。TracePro はメッセージを出力しません。

const double COATING_DLL_RETURN_CODE_OK = (double)0;

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- OK（成功）。TracePro はメッセージを出力します。

const double COATING_DLL_RETURN_CODE_OK_WITH_MESSAGE = (double)1;

- エラー（一般的）。TracePro はメッセージを出力しますが、処理を継続します。

const double COATING_DLL_RETURN_CODE_ERROR_GENERAL = (double)2;

- エラー（致命的）。TracePro はメッセージを出力し、処理を停止します。

const double COATING_DLL_RETURN_CODE_ERROR_CRITICAL = (double)3;

int 型（整数）：

- OK（成功）。TracePro はメッセージを出力しません。

const int COATING_DLL_IRC_OK = 0;

- OK（成功）。TracePro はメッセージを出力します。

const int COATING_DLL_IRC_OK_WITH_MESSAGE = 1;

- エラー（一般的）。TracePro はメッセージを出力しますが、処理を継続します。

const int COATING_DLL_IRC_ERROR_GENERAL = 2;

- エラー（致命的）。TracePro はメッセージを出力し、処理を停止します。

const int COATING_DLL_IRC_ERROR_CRITICAL = 3;

関数 : fnInitDll

呼び出し頻度 :

サーフェスごと

関数プロトタイプ :

C++

```
// TracePro 乱数生成器の関数アドレス
typedef double (*RAND_FN)(void);
RAND_FN random_function;
double fnInitDll(
   RAND_FN address,
   // 以下のパラメータは後方互換性のためにデフォルト値を持つ
   long nUniqueSurfaceID = 0,
   LPTSTR szMessage = “”
);
```

説明 :

これは、TracePro によって呼び出される初期化関数であり、DLL で使用する乱数生成器を設定します。この関数は、一意のサーフェス識別子の最初の通知でもあります。DLL の作成者は、この関数を使用して、DLL 全体で使用するためにこの一意のサーフェス ID を変数に格納する必要があります。

RAND_FN: これは、乱数生成関数への関数ポインタの型定義です。double (*RAND_FN)(void) は、引数なしで double 型の値を返す関数へのポインタであることを意味します。

random_function: これは、乱数生成関数へのポインタを格納する変数です。TracePro から提供される乱数生成関数のアドレスがここに格納されます。

パラメータ：

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査段階で確立された固有のサーフェス ID

データフロー方向：TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフロー方向：DLL > TracePro

関数：fnEvaluateCoating

呼び出し頻度：

サーフェス交差ごと

関数プロトタイプ：

```
double fnEvaluateCoating(
double* input,
int input_size,
double* user,
int user_size,
double* results,
int results_size,
// 以下のパラメータは後方互換性のためにデフォルト値を持つ
long nUniqueSurfaceID = 0,
LPTSTR szMessage = “”
);
```

説明：

評価関数 fnEvaluateCoating における TracePro と DLL 間の基本的な通信リンクは、主に「input」配列と「results」配列と呼ばれる 2 つの配列の使用を通じて行われる。

パラメータ：

注意：nUniqueSurfaceID と szMessage は、他の関数で説明されているものと同じ意味を持つ。

「input」配列の説明：

データフロー方向：TracePro > DLL

説明	変数
Wavelength	input[WAVELENGTH]
Temperature	input[TEMPERATURE]
position X	input[RAY_POS_X]
position Y	input[RAY_POS_Y]
position Z	input[RAY_POS_Z]

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

incident direction Xi	input[RAY_DIR_X]
incident direction Y	input[RAY_DIR_Y]
incident direction Z	input[RAY_DIR_Z]
flux S0, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S0]
flux S1, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S1]
flux S2, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S2]
flux S3, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S3]
flux SX, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SX]
flux SY, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SY]
flux SZ, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SZ]
surface normal X	input[SURF_NORM_X]
surface normal Y	input[SURF_NORM_Y]
surface normal Z	input[SURF_NORM_Z]
n reflection side	input[N_REFL_SIDE]
k reflection side	input[K_REFL_SIDE]
n transmission side	input[N_TRAN_SIDE]
k transmission side	input[K_TRAN_SIDE]

“results” 配列の説明：

データフローの方向：DLL から TracePro へ

TracePro は、results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] に設定された値に基づいて、results 配列を異なる方法で処理します。TracePro が認識するシグナルは以下の 3 種類です。

- COATING_DLL_SIGNAL_NONE（シグナルなし）
- COATING_DLL_SIGNAL_USE_MUELLER_MATRIX（ミューラー行列の使用）
- COATING_DLL_SIGNAL_FULL_RAY_CONTROL（完全な光線制御）

1. 次のように代入することで：

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] = COATING_DLL_SIGNAL_NONE;

TracePro は結果配列内の以下の変数を認識します。

説明	変数
s - 吸収率	results[ABSO_S]
p - 吸収率	results[ABSO_P]
s - 反射率	results[REFL_S]
p - 反射率	results[REFL_P]
s - 透過率	results[TRAN_S]
1. p - 透過率	results[TRAN_P]
位相反射 [度]	results[PHAS_R]
位相透過 [度]	results[PHAS_T]

2. 次のように割り当てることで：

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] = COATING_DLL_SIGNAL_USE_MUELLER_MATRIX

TracePro は、結果配列内の以下の変数も認識します（1 の上記変数も使用されます）。

説明：反射の 16 個のミュラー行列成分

変数：results[REFL_MM_xy]（x -> 0 から 3、y -> 0 から 3）

説明：透過の 16 個のミュラー行列成分

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

変数：results[TRAN_MM_xy]（x -> 0 から 3、y -> 0 から 3）

3. 次のように割り当てることで：

results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] = COATING_DLL_SIGNAL_FULL_RAY_CONTROL;

TracePro は、結果配列内で以下の変数を認識します。

説明	変数
s - 吸収率	results[ABSO_S]
p - 吸収率	results[ABSO_P]
出力方向 X	results[RAYOUT_DIR_X]
出力方向 Y	results[RAYOUT_DIR_Y]
出力方向 Z	results[RAYOUT_DIR_Z]
出力ストークス S0	results[RAYOUT_FLUX_S0]
出力ストークス S1	results[RAYOUT_FLUX_S1]
出力ストークス S2	results[RAYOUT_FLUX_S2]
出力ストークス S3	results[RAYOUT_FLUX_S3]
出力ストークス SX	results[RAYOUT_FLUX_SX]
出力ストークス SY	results[RAYOUT_FLUX_SY]
出力ストークス SZ	results[RAYOUT_FLUX_SZ]

TracePro に新しい信号

COATING_DLL_SIGNAL_FULL_RAY_CONTROL

が送信されると、方向とフラックスに関する 10 個の量は、既存の配列要素 ABSO_S と ABSO_P と組み合わせて使用され、サーフェスから伝播する次の光線ノードを制御します。

サーフェス吸収は、ABSO_S と ABSO_P 配列要素の値に基づいて発生します。これにより、これらを 1 に設定することで光線を終了させる便利な方法が提供されます。

サーフェスから生成される光線は 1 本のみです。**エネルギー保存は、必要に応じて DLL の作成者によって制御されます**。エネルギー保存式は次のとおりです。

results[RAYOUT_FLUX_S0] ==
input[RAY_FLUX_S0] *
(1 - 0.5 * results[ABSO_S] - 0.5 * results[ABSO_P])

DLL の作成者は、有効なストークスベクトルの提供を担当します。TracePro は、これに関するエラーチェックは実行しません。有効なストークスベクトルは、次の条件を満たす必要があります。

results[RAYOUT_FLUX_S0] >= 0.0

かつ

(results[RAYOUT_FLUX_S0])^2 >= (results[RAYOUT_FLUX_S1])^2 +
(results[RAYOUT_FLUX_S2])^2 +
(results[RAYOUT_FLUX_S3])^2

関数：fnAnnounceOMLPath

呼び出し頻度：

シミュレーションごと

関数プロトタイプ：

int fnAnnounceOMLPath(

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

LPCTSTR szPath,
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR szMessage);

説明：

この関数は、パスを含む OML ファイルの完全なファイル名を通知します。ファイルが保存される前にシミュレーションが実行された場合、空の文字列が DLL に送信されます。

パラメータ：

szPath：パスを含む OML ファイルの完全なファイル名

データフロー方向：TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID：

シミュレーションの監査フェーズ中に確立された一意のサーフェス ID

データフロー方向：TracePro > DLL

szMessage: メッセージが DLL 側から TracePro に送られる際に使われるポインタ。

関数 : fnAnnounceDataDirectory

呼び出し頻度 :

シミュレーションごとに 1 回

関数プロトタイプ :

```
int fnAnnounceDataDirectory(
    LPCTSTR szDataDir,
    long nUniqueSurfaceID,
    LPTSTR szMessage
);
```

説明 :

この関数は、DLL にデータディレクトリを通知します。TracePro (3.3.X 以降) では、これは [表示 (View)| カスタマイズ (Customize)] メニュー選択を通して入力されます。

パラメータ :

szDataDir:

TracePro に指定されたデータディレクトリ

データフロー方向 : TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査フェーズ中に確立された一意のサーフェス ID

データフロー方向 : TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフロー方向 : DLL > TracePro

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

関数：fnAnnounceSurfaceInfo

呼び出し頻度：

サーフェスごとに

関数プロトタイプ：

```
int fnAnnounceSurfaceInfo (
    LPCTSTR szObjectName,
    LPCTSTR szSurfaceName,
    LPCTSTR szSurfacePropertyCatalog,
    LPCTSTR szSurfacePropertyName,
    LPCTSTR szCustomizedSurfaceParameter,
    long nUniqueSurfaceID,
    LPTSTR szMessage
);
```

説明：

この関数は、様々なサーフェス情報を DLL に通知します。

パラメータ：

szObjectName:

このサーフェスのオブジェクトの名前

データフローの方向：TracePro > DLL

szSurfaceName:

サーフェスの名前

データフローの方向：TracePro > DLL

szSurfacePropertyCatalog:

このサーフェスのサーフェスプロパティが存在するカタログ

データフローの方向：TracePro > DLL

szSurfacePropertyName:

このサーフェスに適用されるサーフェスプロパティの名前

データフローの方向：TracePro > DLL

szCustomizedSurfaceParameter:

サーフェスプロパティを適用する際に、[プロパティの適用] ダイアログボックスから入力されたカスタマイズされたサーフェスパラメータ

データフローの方向：TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査フェーズ中に確立された一意のサーフェス ID

データフローの方向：TracePro > DLL

szMessage:

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフローの方向：DLL > TracePro

関数 : fnAnnounceLocalBoundingBox

呼び出し頻度 :

サーフェスごと

関数プロトタイプ :

```
int fnAnnounceLocalBoundingBox(
double* LocalBoundingBox,
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR  szMessage
);
```

説明 :

この関数は、ユーザーが指定したローカル座標系におけるバウンディングボックスの 3 つの直交次元の範囲を通知します。

パラメータ :

LocalBoundingBox:

LocalBoundingBox は、ローカルバウンディングボックスの X、Y、Z 次元の限界値を含む 6 つの double 値の配列です。これらの限界値は、このサーフェスにサーフェスプロパティを適用する際の原点、法線ベクトル、および上向きベクトルによって定義された座標系に対するものです。配列の 6 つの個々の要素は、次のように取得されます。

LocalBoundBox[BOX_XMIN]
LocalBoundBox[BOX_XMAX]
LocalBoundBox[BOX_YMIN]
LocalBoundBox[BOX_YMAX]
LocalBoundBox[BOX_ZMIN]
LocalBoundBox[BOX_ZMAX]
データフロー方向 : TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査フェーズ中に確立された一意のサーフェス ID。

データフロー方向 : TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ。

データフロー方向 : DLL > TracePro

関数 : fnAnnounceRaytraceStart

呼び出し頻度 :

シミュレーションごと

関数プロトタイプ :

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

```
int fnAnnounceRaytraceStart(
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR szMessage
);
```

説明：

この関数はレイトレースの開始を通知します。

パラメータ：

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査フェーズで確立された固有のサーフェス ID

データフロー方向 : TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフロー方向 : DLL > TracePro

関数 : fnAnnounceWavelengthStart

呼び出し頻度 :

波長ごと

関数プロトタイプ :

```
int fnAnnounceWavelengthStart(
double wavelength,
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR szMessage
);
```

説明 :

この関数は、特定の波長に対する光線追跡の開始を通知します。

パラメータ :

wavelength:

次に光線追跡される波長（ミクロン単位）

データフロー方向 : TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査フェーズで確立された固有のサーフェス ID

データフロー方向 : TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフロー方向 : DLL > TracePro

関数 : fnAnnounceWavelengthFinish

呼び出し頻度 :

波長ごと

関数プロトタイプ :

```
int fnAnnounceWavelengthFinish(
double wavelength,
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR szMessage
);
```

説明：

この関数は、特定の波長の光線追跡処理が終了したことを知らせます。

パラメータ：

wavelength:

光線追跡された波長（ミクロン単位）

データフロー方向：TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査段階で確立された固有の表面 ID

データフロー方向：TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ
データフロー方向：DLL > TracePro

関数：fnAnnounceRaytraceFinish

呼び出し頻度：

シミュレーションごと

関数プロトタイプ：

```
int fnAnnounceRaytraceFinish(
int nStatus,
long nUniqueSurfaceID,
LPTSTR szMessage
);
```

説明：

この関数は、レイトレースの完了を通知します

パラメータ：

nStatus:

光線追跡終了ステータス

TracePro から以下の定数値のいずれかが送信されます。

const int COATING_DLL_RAYTRACE_FINISH_OK = 0;（光線追跡正常終了）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

const int COATING_DLL_RAYTRACE_FINISH_USER_CANCEL = 1;（ユーザーキャンセルによる終了）
const int COATING_DLL_RAYTRACE_FINISH_CATCH_EXCEPTION = 2;（例外捕捉による終了）
const int COATING_DLL_RAYTRACE_FINISH_CRITICAL_ERROR_FROM_DLL = 3;（DLL からの致命的なエラーによる終了）

データフロー方向：TracePro > DLL

nUniqueSurfaceID:

シミュレーションの監査段階で確立された固有のサーフェス ID

データフロー方向：TracePro > DLL

szMessage:

戻りコードがゼロ以外の場合に TracePro のメッセージウィンドウに送信されるメッセージ

データフロー方向：DLL > TracePro

拡張コーティング DLL の例

ここに、拡張コーティング DLL の例を示します。これは、半径方向位置の関数としての可変透過（および反射）フィルタです。透過率（T）および反射率（R）を制御する方程式は次のとおりです。

$$T = 1 - r/r_{max} \text{ and} \tag{7.37}$$

$$R = 1 - T = r/r_{max}, \tag{7.38}$$

ここで、r は適用された表面上の光線の局所半径であり、rmax は表面の最大半径であり、以下に示すように 5 の値にハードコードされています。DLL 内の注目すべきプログラミングは次のとおりです：

```
////////////////////////////////////
// End of example
////////////////////////////////////
SURF_API double fnEvaluateCoating(
                double*input,
                int input_size,
                double*user,
                int user_size,
                double*results,
                int results_size
                )
{
double result_val = 0;

// zero-out the results array
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

```
memset(results,0,sizeof(double)*results_size);
results[SIGNAL_TO_TRACEPRO] = COATING_DLL_SIGNAL_NONE;

double x = input[RAY_POS_X];
double y = input[RAY_POS_Y];
double r = sqrt( x*x + y*y );
double rMax = 5.0;
double tran = 1.0 - r/rMax;

if( tran < 0.0 )
        tran = 0.0;

results[TRAN_S] = results[TRAN_P] = tran;
results[REFL_S] = results[REFL_P] = 1.0 - tran;

return result_val;
}
////////////////////////////////////
// End of example
////////////////////////////////////
```

この例は、www.lambdares.com の技術サポートセクションの **TracePro > Examples** にあります。この OML の例を使用するには、上記のフォルダ内のサーフェスプロパティをインポートする必要があります。新しい DLL を作成する場合は、**[定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ]** エディタを使用してサーフェスプロパティを設定する必要があることに注意してください。プロセスは、Type Coating DLL を選択する点を除いて同じです。さらに、このプロパティをサーフェスに適用する際には、そのプロパティの向きを設定する必要があります。これには、原点（この場合は (0, 0, 0) に設定）、法線方向（この場合は (0, 0, 1) に設定）、および上方向（この場合は 0, 1, 0) に設定）が含まれます。システムのスクリーンショットについては図 7.11 を、Filter|Variable の**プロパティの適用**ダイアログについては図 7.12 を参照してください。30,000 を超える光線の円形グリッドをトレースした場合の反射結果を図 7.13 に、透過結果を図 7.14 に示します。

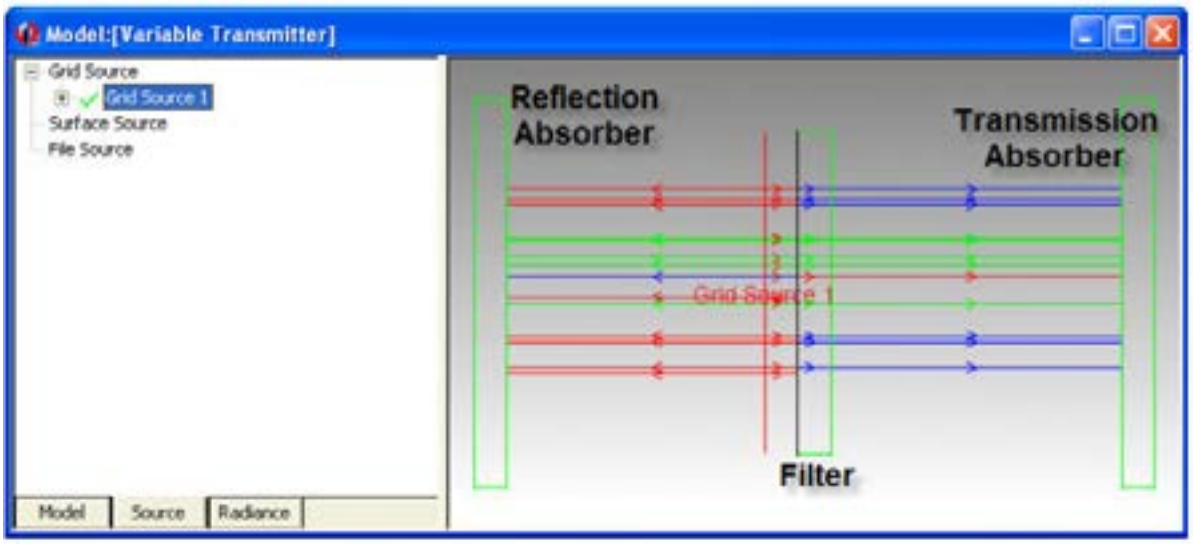


FIGURE 7.11 - Layout of the example for Enhanced Coating DLL.

FIGURE 7.12 - Apply Properties dialog for the Filter|Variable surface.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

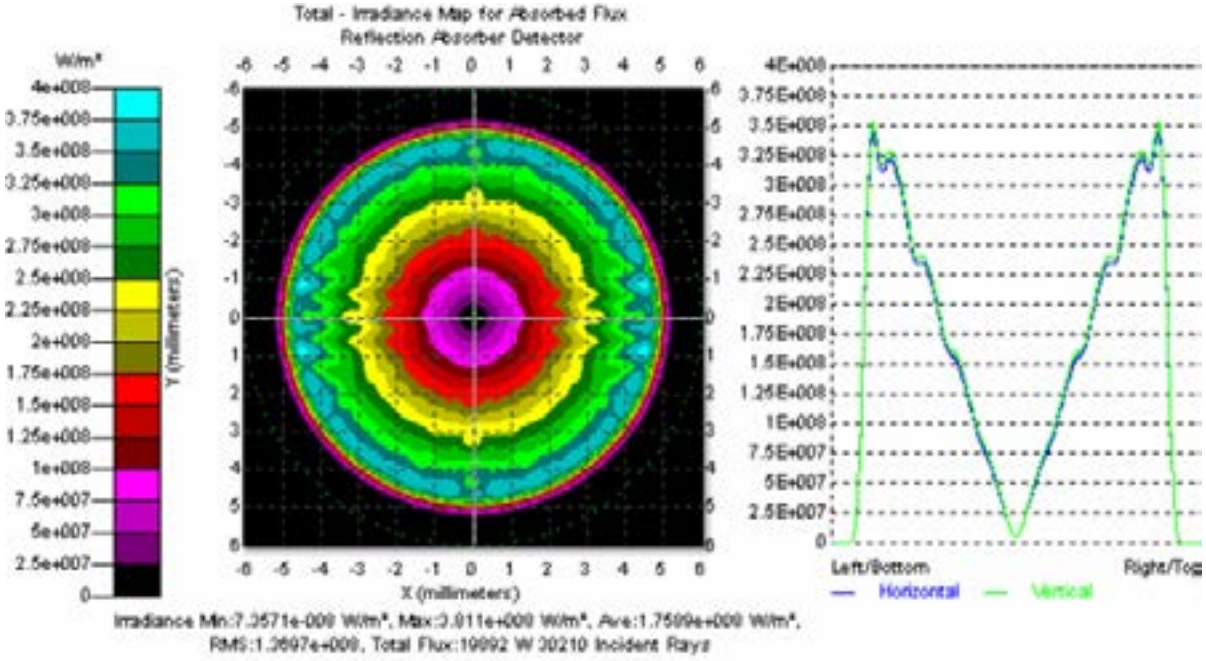


FIGURE 7.13 - Reflection results for the system of Figure 7.11.

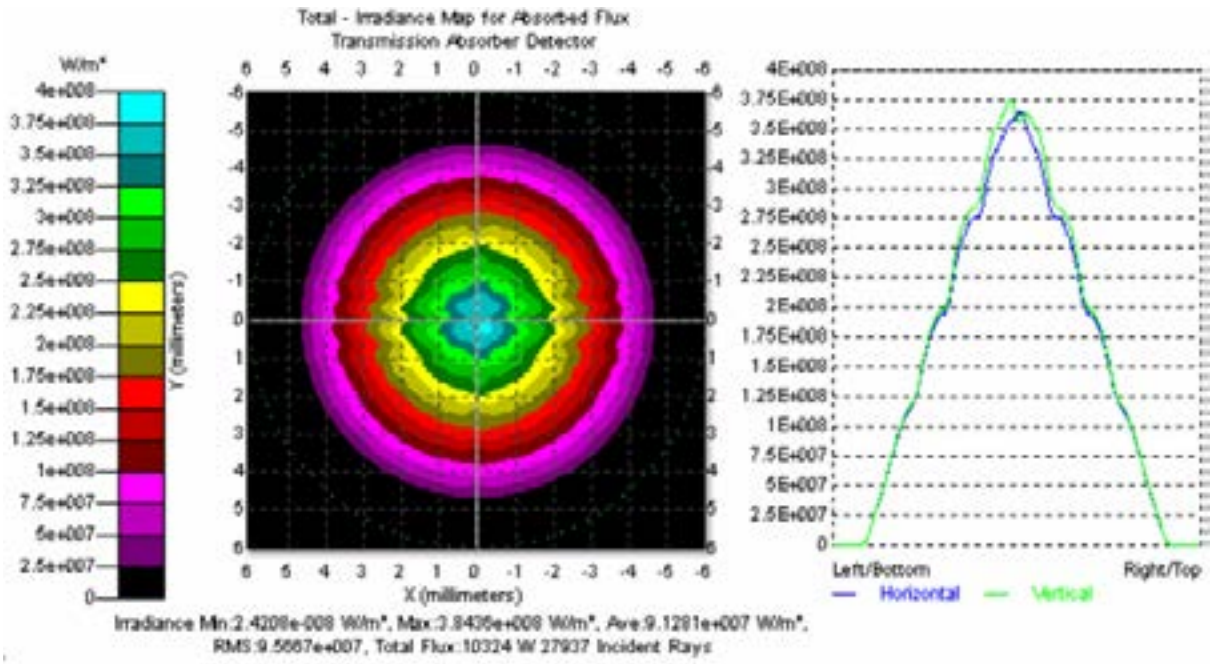


FIGURE 7.14 - Transmission results for the system of Figure 7.11.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

基板内で測定された角度

基板内で測定された角度はいつ使用すべきか？

サーフェスプロパティを適用する際の参照マテリアルの選択肢には、「空気中で測定された角度」と「基板内で測定された角度」の 2 つがあります。ほとんどの場合、サーフェスプロパティを定義するとき、反射率、透過率、BSDF などの係数は「空気中」で測定されます。これは、平坦なサンプルが分光計（反射率または透過率用）または散乱計（BSDF 用）に置かれることを意味します。マテリアル内部から入射する光線でプロパティを評価する場合、TracePro はスネルの法則に従って角度を調整します。プロパティには 90 度までの入射角しかないため、マテリアルの臨界角を超えるマテリアル内部の入射角はモデル化できません。この場合、TracePro はプロパティデータを外挿します。

コーティング設計ソフトウェアなどで測定またはモデル化されたデータがある場合は、マテリアル内の入射角に基づいてプロパティを構築できます。次に、プロパティを適用するときは、「基板内で測定された角度」の選択を使用し、サーフェスを所有するオブジェクトに適用されたマテリアルが、プロパティの定義に使用されたものと同じであることを確認してください。

これは、テーブル BSDF プロパティの BSDF 値にも当てはまります。「基板内で測定された角度」の適用用にプロパティを作成する場合は、マテリアル内の角度に関する BSDF データ（再び、測定または計算から）を取得する必要があります。

背景と理論

光線が誘電体媒質に屈折するとき、スネルの法則に従います。

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

これは β 空間で非常に扱いやすく表現されます。

$$n_1\vec{\beta}_1 = n_2\vec{\beta}_2$$

ここで、β 1 と β 2 はそれぞれ入射方向と屈折方向に対応する β ベクトルである。光の波長は誘電体媒質中では短くなり、n λ n = λ となる。ここで、λ n は媒質中の波長、λ は真空中の波長である。散乱方向は、

$$\left|\vec{\beta} - \vec{\beta}_0\right| = \left|\Delta\vec{\beta}\right|$$

波長と回折格子の式に似た関係があります。反射型回折格子の格子方程式は以下の通りです。

$$\left|\Delta\vec{\beta}\right| = \frac{m\lambda}{\Lambda}$$

ここで、Λ はグレーティング溝の空間波長であり、m の値は回折次数を表します。実際、光の散乱の物理は、グレーティングによる回折の物理と同じです。研磨されたサーフェスの場合、散乱光の m=1 の次数のみが存在し、次のことが言えます。

$$\left|\Delta\vec{\beta}\right| = \frac{\lambda}{\Lambda} = \lambda f$$

ここで、Λ はサーフェス粗さのパワースペクトル密度 (PSD) の空間波長であり、f = 1/ Λ は空間周波数でです。同じ PSD に対して、媒体中の散乱値 | Δ β | は、空気中よりも n の因子だけ小さくななります。例えば、わずかに粗い（つまり研磨された）サーフェスを持つ誘電体媒質に光線が入射すると仮定 s ひます。サーフェス粗さは、周波数の関数としての PSD によって特徴付けることができます。マテリアル内部では、上記の関係は次のようになります。

$$\left|\Delta\vec{\beta}_n\right| = \lambda_n f = \frac{\left|\Delta\vec{\beta}\right|}{n}$$

これは、媒質内で周波数 f に対して特定のベータ（または | Δ β |）で散乱する光は、空気中では n 分の 1 のベータで散乱することを意味する。つまり、散乱光はスネルの法則に従う。さらに、垂直入射光に対して空気中で散乱光を引き起こす可能性のある PSD の最大空間周波数は、

$$f_{\max} = \frac{1}{\lambda}$$

そして、媒質中における最高の空間周波数は

$$f^n_{\max} = \frac{1}{\lambda_n} = \frac{n}{\lambda} = nf_{\max}$$

空気中で測定されるプロパティ

通常、BSDF（双方向散乱分布関数）は、平面基板から空気中で測定されます。これは、BTDF（双方向透過散乱分布関数）と BRDF（双方向反射率分布関数）の両方に当てはまります。曲面基板（例えば、完成した鏡）を測定する場合、サーフェスの集光を考慮するために測定装置が修正されます。

図 7.15 に示すように、通常、第 1 サーフェスに散乱があり、第 2 サーフェスに散乱がない平面サンプルを照射すると仮定します。空間周波数 fmax と nfmax に対応する β 値で発生する散乱光線は、全反射（TIR）により基板内部に閉じ込められます。基板の反対側で検出器を走査して BTDF を測定する場合、β 値は n 倍だけずれます。具体的には、

$$\beta_{air} = n\beta_n$$

ここで、β air は空気中で測定された β 値を表し、β n は媒質中の β 値を表します

これらの測定値を TracePro で使用するには、BTDF を評価する前に β 値を n 倍にスケーリングする必要があります。さらに、媒質中で 1/n より大きい β 値で散乱した光は測定されません。積分散乱の計算にはこの散乱が含まれず、全散乱光は過小評価されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

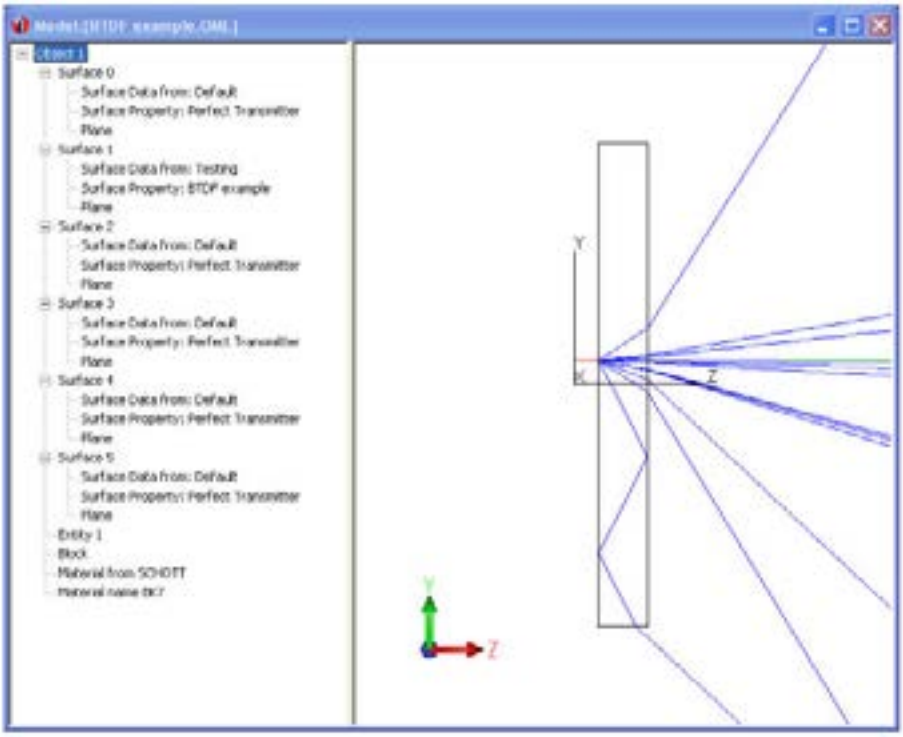


FIGURE 7.15 - Scattering from BTDF on the first surface of a planar substrate immersed in air. Rays scattered at β inside the substrate emerge at nβ. Rays scattered at β > 1/n in the substrate are trapped by TIR.

図 7.15 のように、BTDF（透過反射分布関数）に従って最初のサーフェスから光が散乱するとき、媒体中の微小立体角 d Ω n に散乱するフラックスの量は次のようになる。

$$\Phi_s = BTDF_n(\left|\Delta\vec{\beta}_n\right|)d\Omega_n$$

スネルの法則から、媒体から出た後、同じ散乱フラックスが立体角 d Ω air に広がることを知っている。

$$d\Omega_{air} = n^2 d\Omega_n$$

これは、測定された BTDF が実際の BTDF よりも n^2 の係数だけ低いことを意味する。これで、真の BTDF と平面基板から空気中で測定された BTDF を関連付けるために必要なすべての情報が揃った。

$$BTDF_n(\left|\Delta\vec{\beta}_n\right|) = n^2 BTDF_{air}(n\left|\Delta\vec{\beta}_n\right|)$$

この関係は一般的であり、つまり BRDF（双方向反射率分布関数）にも適用されるため、次のように書くことができる。

$$BSDF_n(\left|\Delta\vec{\beta}_n\right|) = n^2 BSDF_{air}(n\left|\Delta\vec{\beta}_n\right|)$$

先に述べた関係式は、平面基板からの測定にのみ適用されます。
平面基板では、測定される立体角に歪みが生じる可能性があります。
立体角の歪みの影響を受けない測定方法として、半球状の基板を用いる方法が提案されていま

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

す。図 7.16 に示されているように、基板を半球状にし、球の半径を照射ビームの直径よりもはるかに大きくすることで、平面からの散乱光線が半球状のサーフェスに垂直に入射するようにします。これにより、立体角が一定に保たれ、歪みが解消されます。
つまり、平面基板では測定角度によって光の受ける範囲 (立体角) が変化してしまい、正確な測定が難しくなるが、半球状の基板を用いることで、常に一定の範囲の光を測定できるということを説明しています。

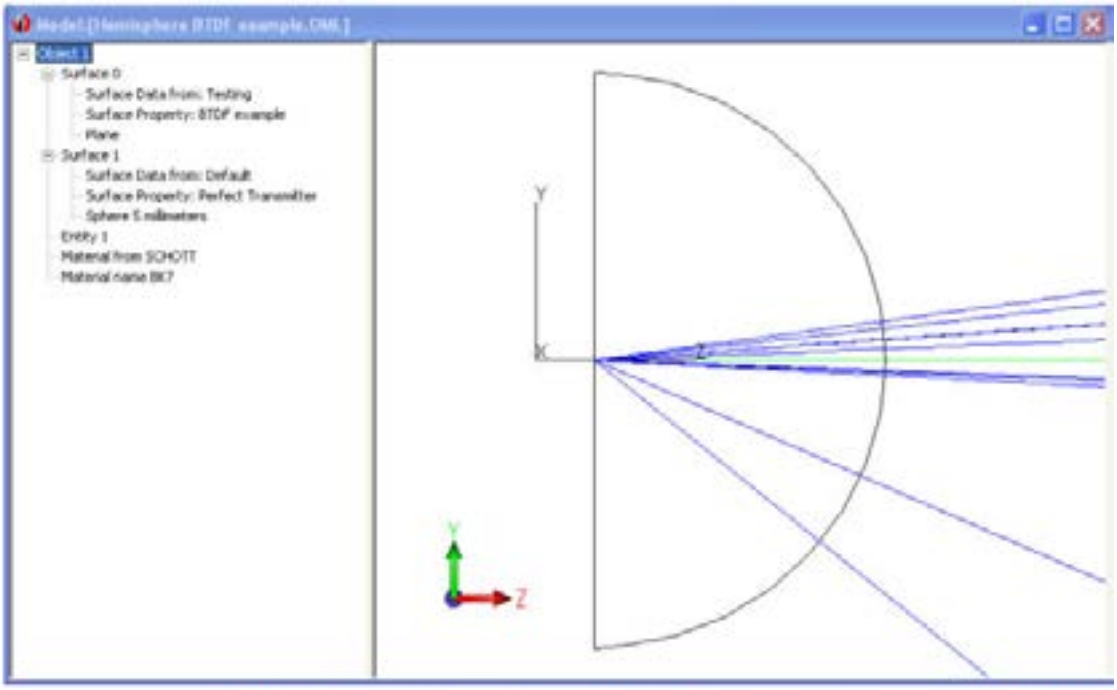


FIGURE 7.16 - One way to practically make a measurement "in the substrate" is to make a hemispherical sample.

最後に、図 7.16 の 2 番目のサーフェスで BTDF を測定する際には、スケーリングの必要がない点に注目してください。なぜなら、測定は散乱光が伝播する媒体、つまり空気中で行われるからです。

サーフェスソースプロパティ

TracePro には、サーフェスソースプロパティデータベースがあり、これを利用してサーフェスソースプロパティを作成および使用したり、TracePro に付属のプロパティを使用したりできます。サーフェスソースプロパティの目的は、詳細な角度およびスペクトルプロパティを持つ実際のソースを正確にモデル化することです。新しいサーフェスソースプロパティを作成するときは、次のスペクトルおよび角度タイプから選択できます。

スペクトルタイプ
矩形
ガウス分布
太陽光
テーブル

角度タイプ
ランバート
均一
ガウス分布
太陽光
テーブル

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

スペクトルタイプと角度タイプの任意の組み合わせを選択できます。スペクトルタイプと角度タイプは互いに独立していますが、両方のタイプに「テーブル」を選択した場合を除きます。異なる波長に対して異なる角度形状（または異なる放射角度に対して異なるスペクトル）を持つソースをモデル化する必要がある場合は、「テーブル波長 - テーブル角度」ソースを作成する必要があります。この選択により、各波長に対して角度に対する放射率の個別のテーブルを入力できます。

テーブル - テーブルの組み合わせを除いて、スペクトル依存性と角度依存性は分離可能です。数学的に言えば、

$$S(\lambda, \theta, \phi) = f_1(\lambda) f_2(\theta, \phi)$$

テーブル波長とテーブル角度の組み合わせを除くすべての組み合わせに対して、これは、すべての波長に同じ角度依存性が適用されることを意味します。この例外は「テーブル波長 - テーブル角度」の組み合わせであり、波長による角度依存性を完全に柔軟に変更できます。

サーフェスソースプロパティを使用してサーフェスソースを定義するには、**「プロパティの適用」**ダイアログボックスの左ペインで**「面ソース」**を選択し**「放射タイプ = ソースプロパティ」**を選択します。プロパティはソースの動作を指定しますが、ソースを表すまたはサンプリングするためにトレースされる波長を選択できることに注意してください。これらの波長は、**「プロパティの適用」**ダイアログボックスの左ペインで「面ソース」を選択し、右ペインの波長に入力されます。

スペクトルタイプ

矩形

矩形スペクトルタイプサーフェスプロパティを作成するには、最小波長と最大波長を指定します。放射率は、波長が最小値と最大値の間にある場合、表の値に等しく、それ以外の場合はゼロになります。

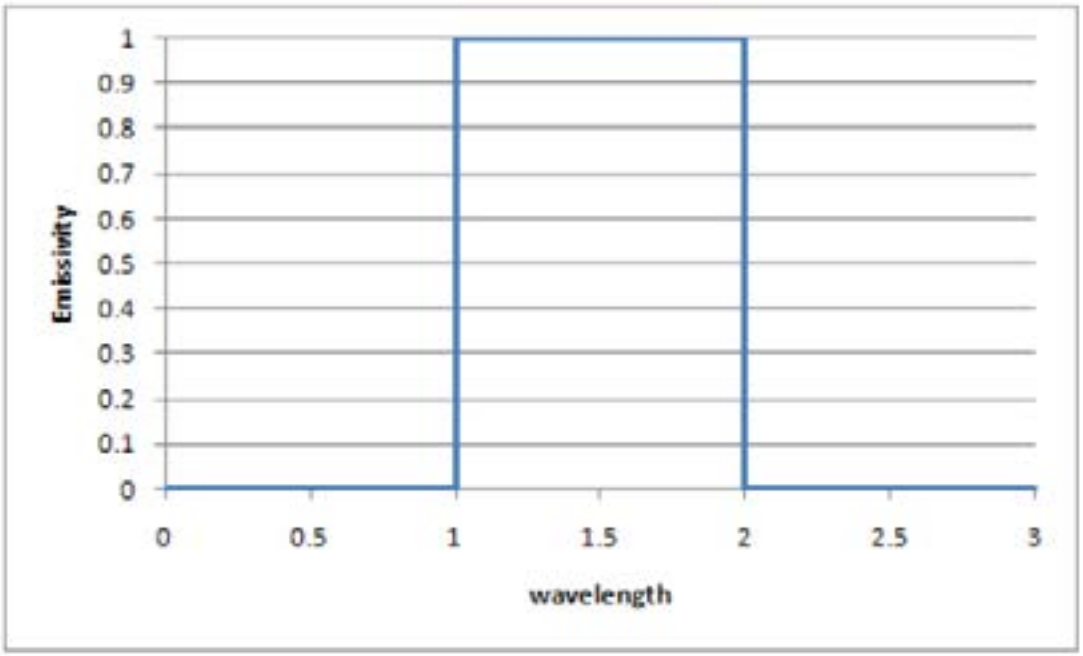


FIGURE 7.17 - Rectangular Spectrum with Min wavelength = 1, Max wavelength = 2.

ガウス分布

ガウス分布のスペクトルタイプサーフェスプロパティを作成するには、中心波長と $1/e^2$ 半値幅波長を指定します。スペクトル放射率は以下の形状になります。

$$S(\lambda) = \exp\left(-2\left[\frac{(\lambda - \lambda_{central})}{\lambda_{\frac{1}{2}}}\right]^2\right)$$

中心波長 =1、半値幅 =0.1 のガウススペクトルの例が図 7.18 に示されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

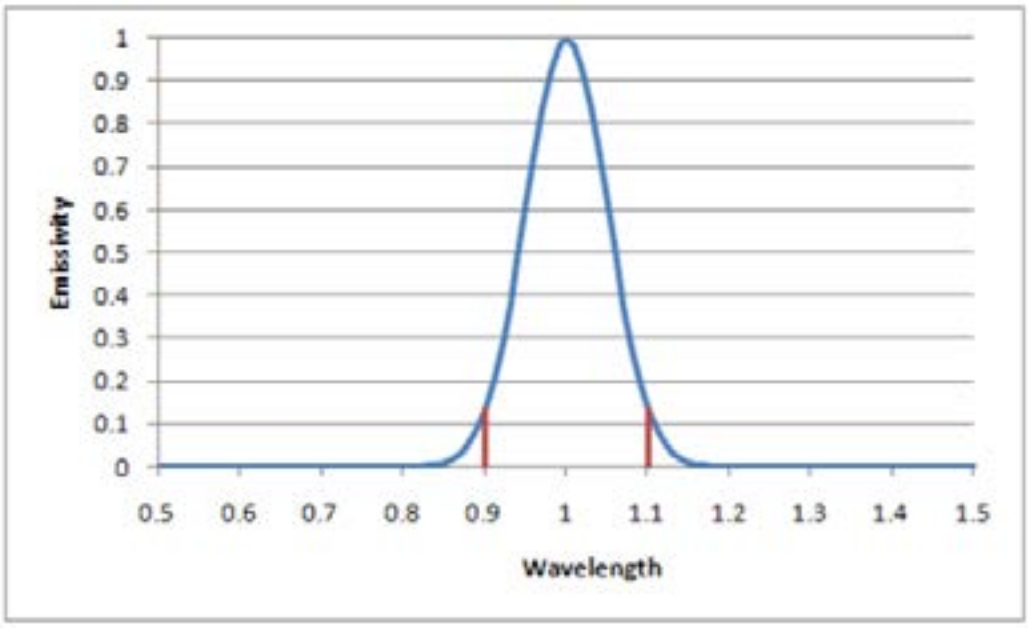


FIGURE 7.18 - Gaussian Spectrum with Center wavelength = 1 and $1/e^2$ wavelength = 0.1. The red vertical lines show the half-width wavelengths with emissivity value of $1/e^2 = 0.1353$.

ソーラータイプ

太陽光のスペクトルタイプは、ASTM E-490-00 という標準の太陽スペクトルを使用しています。これは、地球の上層大気に降り注ぐ太陽のスペクトル放射照度を W/m²-µm の SI 単位で表したものです。この規格によると、全太陽放射照度は 1366.1 W/m² です。したがって、太陽光スペクトルタイプのプロパティを作成する場合、それは放射測定放射照度ソースであり、放射量は 1366.1 W/m² となります。スペクトルは 0.1195 µm から 1000 µm まで広がっています。スペクトルの一部は図 7.19 に示されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

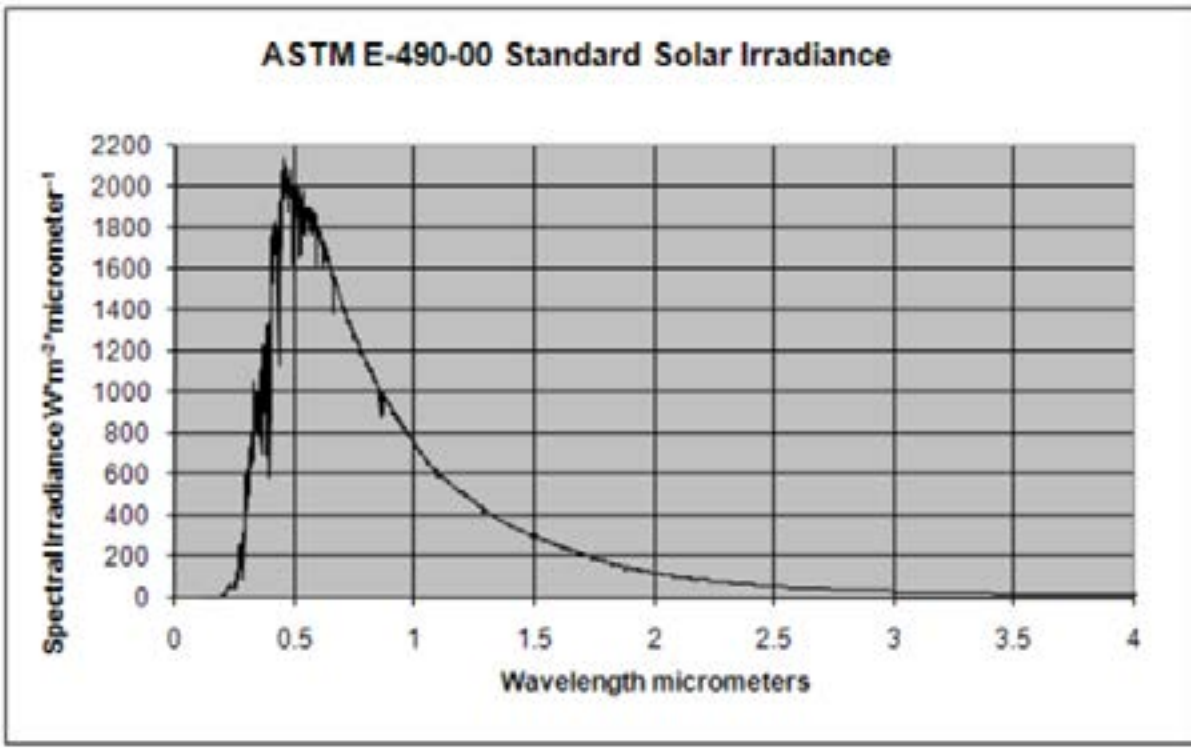


FIGURE 7.19 - A portion of the ASTM E-490-00 Solar Spectrum, from wavelength 0 to 4 μm.

テーブルスペクトルタイプ

サーフェスのプロパティを定義するには、波長と放射率のテーブルを作成します。
「サーフェスソースプロパティエディタ」の**「データポイント」**セクションにある**「追加」**ボタンを使用して、テーブルに波長を追加します。波長を追加すると、テーブルに新しい行が表示され、各波長に対して異なる放射率の値を入力できます。プロパティの適用と補間：
「プロパティの適用」ダイアログボックスを使用して、作成したプロパティをサーフェスソースに適用します。適用された波長は、テーブル内の波長の間で線形補間を使用して放射率を計算します。適用された波長がテーブル内の波長の範囲外にある場合、放射率はゼロに設定されます。この機能を使用すると、サーフェスの放射率を波長の関数として細かく定義し、シミュレーションなどで正確な結果を得ることができます。

Angular Types（角度タイプ）

Lambertian（ランバート）

ランバート角度タイプサーフェスソースプロパティは、以下の放射率プロファイルを持ちます。

$$E(\theta) = \cos\theta$$

ここで、θ はサーフェス法線と放射方向の間の角度です。必要な入力は半角と放射のみです。ランバートパターンは、入力した半角のコーンによって切り捨てられます。理想的な黒体ソースはランバートパターンで放射し、多くの実際の白熱または熱サーフェスソースは非常にランバートパターンに近いパターンで放射するため、ランバートパターンは重要です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Uniform（均一）

均一な角度タイプサーフェスソースプロパティは、角度によって変化しません。必要な入力は、半角と放射値のみです。パターンは、入力した半角を持つコーンによって切り取られます。

Gaussian（ガウス分布）

ガウス分布の角度タイプサーフェスプロパティを作成するには、x と y の 1/e² 半角を度単位で指定します。スペクトル放射率は、以下の形状を持ちます。

$$S(\theta_x, \theta_y) = \cos\theta \exp\left(-2\left[\frac{\sin\theta_x}{\sin x_{\frac{1}{2}}}\right]^2\right) \exp\left(-2\left[\frac{\sin\theta_y}{\sin y_{\frac{1}{2}}}\right]^2\right)$$

ここで、θ x と θ y は、局所的な x-z 平面および y-z 平面における表面法線からの角度であり、θ は表面法線からの極角であり、$\sin^2\theta = \sin^2\theta_x + \sin^2\theta_y$ で定義される。ガウス角度表面ソース特性を面ソースに適用する場合、放射パターンを方向付けるために上向きベクトルを指定する必要があります。上向きベクトルは局所的な y 軸を指定し、局所的な z 軸は表面法線に沿っています。局所的な x 軸は、右手座標系を完成させます。半幅 =30（1 軸に沿って）のガウス角度分布の例を、図 7.20 に示します。

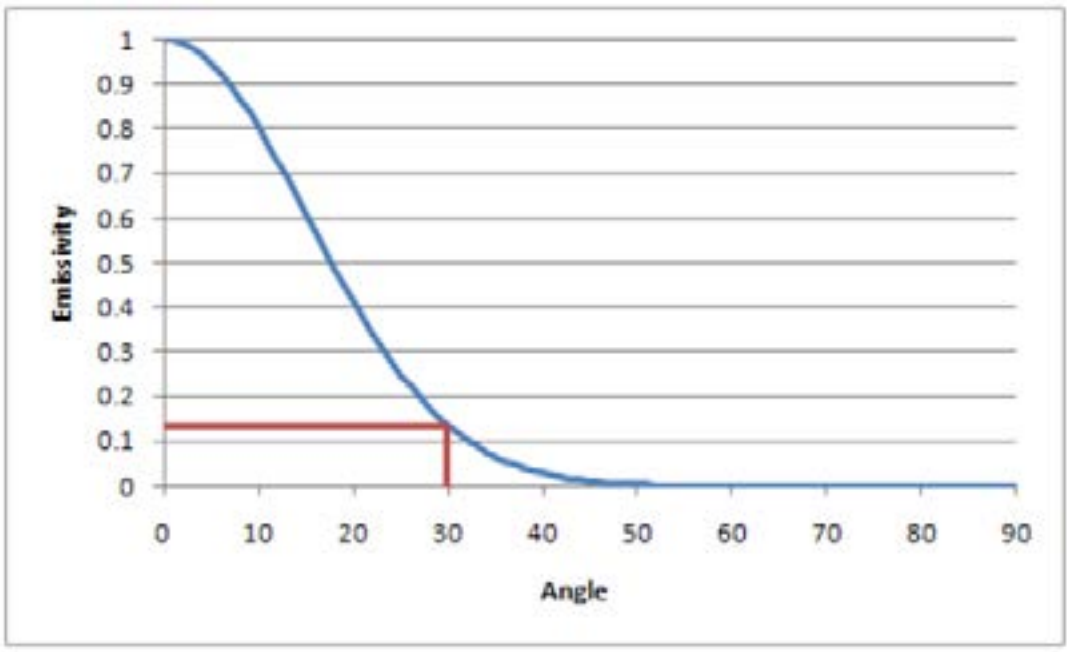


FIGURE 7.20 - Gaussian Angular Type with 1/e² angle = 30 degrees. The red lines show the half-width angle with emissivity value of cos30/e² = 0.1172.

太陽 (Solar)

太陽角度タイプは、角度による太陽の輝度の変化をモデル化します。太陽の「円盤」は、端に行くほど暗くなります（周辺減光）。この角度依存性のデータは、C.W. Allen 著「Astrophysical Quantities」（The Athlone Press、ロンドン大学、第二版（1955 年））から引用されています。周辺減光は波長にも依存します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブル (Table)

テーブル角度タイプのサーフェスプロパティを作成するには、サーフェスソースプロパティエディタのデータ点セクションにある「追加」ボタンを使用して、テーブルに極角と方位角を追加します。新しい角度を追加すると、テーブルに新しい行が表示され、角度の各ペアに対して異なる放射率値を入力できます。サーフェスソースから光線が生成されるとき、テーブル内の角度を線形補間することによって連続分布が作成されます。

ミューラー行列とストークスベクトル

TracePro は、光の偏光状態を表現し、光と偏光素子間の相互作用を計算するために、ミューラー行列 - ストークスベクトル法を使用しています。

ユーザの便宜を図るため、いくつかの標準的な構成について、ストークスベクトルとミューラー行列を一覧表にまとめました。

テーブル 7.5　選択した偏光状態のストークスベクトル（光束＝ 1）

TABLE 7.3. Stokes vectors of selected polarization states (flux = 1).

Polarization state	Stokes vector
Linear, parallel to x axis	$\begin{bmatrix}1\\1\\0\\0\end{bmatrix}$
Linear, parallel to y axis	$\begin{bmatrix}1\\-1\\0\\0\end{bmatrix}$
Linear, 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix}$
Linear, 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix}1\\0\\-1\\0\end{bmatrix}$
General linear, at angle α to the x axis	$\begin{bmatrix}1\\\cos 2\alpha\\\sin 2\alpha\\0\end{bmatrix}$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Circularly polarized, right-handed	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$
Circularly polarized, left-handed	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$
General elliptical, ellipse at angle λ to x axis, phase or ellipticity = ω	$\begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\omega \cos 2\lambda \\ \cos 2\omega \sin 2\lambda \\ \sin 2\omega \end{bmatrix}$
Unpolarized (Randomly polarized)	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

テーブル 7.4　選択した偏光コンポーネントのミュラーマトリクス

TABLE 7.4. Mueller matrices for selected polarizing components

Component description	Mueller matrix
Linear polarizer with transmission axis along the x axis (horizontal polarizer)	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis along the y axis, i.e. at 90 degrees to the x axis (vertical polarizer)	$\begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis at 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis at 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Right circular polarizer	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$
Left circular polarizer	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & -0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis along the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis along the y axis, i.e., at 90 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis at 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis at 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Unity matrix (Does nothing)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TABLE 7.4 (cont.). Mueller matrices for selected polarizing components

Component description	Mueller matrix
Linear halfwave retarder with fast axis at 0 or 90 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
Linear halfwave retarder with fast axis at 45 or 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
Circular halfwave retarder right- or left-handed	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

TABLE 7.5. General Mueller matrices for selected types of components

Component description	Mueller Matrix
Compensator: introduces a phase difference of 2δ between the x and y components	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos 2\delta & -\sin 2\delta \\ 0 & 0 & \sin 2\delta & \cos 2\delta \end{bmatrix}$
Rotator: rotates the plane of polarization counterclockwise through an angle θ about the z axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & -\sin 2\theta & 0 \\ 0 & \sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis oriented at an angle α to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5\cos 2\alpha & 0.5\sin 2\alpha & 0 \\ 0.5\cos 2\alpha & 0.5\cos^2 2\alpha & 0.5\sin 2\alpha\cos 2\alpha & 0 \\ 0.5\sin 2\alpha & 0.5\sin 2\alpha\cos 2\alpha & 0.5\sin^2 2\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

バルク散乱

光線がバルク散乱を持つ物体に入射すると、光線はランダムな距離を伝播し、その後、TracePro で光線が絞りによって回折されるのと同様に、光線の方向が変化します。オプションで、インポータンスサンプリングされた光線を生成することもできます。光線の方向変化とインポータンスサンプリングされたフラックスは、BSDF に似ていますが、わずかに異なる確率分布によって制御されます。BSDF は単位入射照度あたりの散乱放射輝度として定義されるのに対し、散乱分布関数（SDF）は単位入射フラックスあたりの散乱強度として定義されます。

$$\mathrm{SDF} = \frac{\partial I(\hat{r})}{\partial \Phi}. \qquad (7.39)$$

さらに、その SDF は入射方向とは独立である。

ヘニー＝グリーンスタイン位相関数

TracePro に実装されている SDF の一つは、ジャックとワン[1]の論文 1 に由来し、生物学的組織における散乱を記述しており、以下のフォーマットを持ちます。より詳細に分解すると、以下のようになります。

$$\mathrm{SDF} = p(\theta) = \frac{1-g^2}{4\pi(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}}. \qquad (7.40)$$

ここで g は異方性因子と呼ばれ、g は -1 から 1 の間の値を取ることができます。g が正の場合、光線は前方方向に多く散乱され、g が負の場合、後方方向に多く散乱されます。g がゼロの場合、散乱は等方的、つまり全ての方向で同じになります。図 7.21 は、g = 0.5 の散乱分布関数の例を示しています。

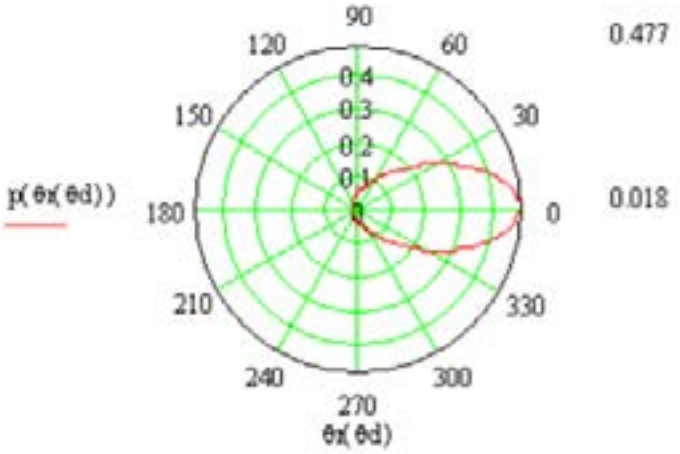


FIGURE 7.21 - Example scattering distribution with g = 0.5. Zero is the forward direction

1 S. L. Jacques and L.-H. Wang, “Monte Carlo modeling of light transport in tissues,” in Optical Thermal Response of Laser
Irradiated Tissue, edited by A. J. Welch and M. J. C. van Gemert (Plenum Press, New York, 1995), pp. 73-100.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Gegenbauer 位相関数

TracePro で提供される別のバルク散乱位相関数は、Gegenbauer[2] 位相関数です。Henyey-Greenstein 関数は、実際には Gegenbauer 位相関数の特殊なケースです。Gegenbauer 関数は、

$$SDF = f(\theta) = K[1 + g^2 - 2g\cos\theta]^{-(\alpha+1)} \quad (7.41$$

ここで

$$K = \alpha g \frac{(1-g^2)^{2\alpha}}{\pi[(1+g)^{2\alpha} - (1-g^{2\alpha})]} \quad (7.42$$

そして

$$\alpha > -1/2, \ |g| \le 1 \quad (7.43)$$

Henyey-Greenstein 位相関数は、Gegenbauer 位相関数の特殊なケースであり、パラメータ α が 1/2 の場合に相当します。

散乱係数

光線が散乱媒質に入射する際、確率分布に従うランダムな距離 x だけ伝播する。

$$P(x)dx = e^{-\mu_s x}dx, \quad (7.44)$$

ここで、μ_s は散乱係数と呼ばれる。散乱係数の逆数は、物質中の光線の平均自由行程である。光線が平均自由行程に比べて薄い物質に入射すると、散乱されずに物質を通過する可能性が高い。逆に、物質が平均自由行程に比べて厚い場合、光線はほぼ確実に物質内で散乱します。強い散乱係数と強い吸収係数が組み合わされると、光線は物質をほとんど透過しません。

TracePro でのバルク散乱の使用

TracePro でバルク散乱をシミュレートするには、散乱を発生させたいオブジェクトを選択し、「プロパティの適用」ダイアログボックスを使用してマテリアルプロパティを適用します。次に、バルク散乱モデルをオブジェクトに適用します。最後に、オプションでサーフェスのインポータンスサンプリングと同様の方法で、オブジェクトにインポータンスサンプリングを適用できます。

新しいバルク散乱モデルを定義するには、バルク散乱モデルエディタを開きます。新しい散乱プロパティを作成し、目的の波長で新しい波長エントリを追加します。g（異方性因子）と μ s（散乱係数）の値を入力します。μ s の単位は 1/mm（つまり、ミリメートルの逆数）です。ほとんどのバルク散乱マテリアルはバルク吸収も持っているため、適切なバルク吸収係数を持つ

2 L.O. Reynolds and N.J. McCormick, “Approximate two-parameter phase function for light scattering,” J.O.S.A. 70, 1206(1980).

3 A.N. Yaroslavsky, I.V. Yaroslavsky, T. Goldbach, and H.-J. Schwarzmaier, “Influence of the Scattering Phase Function Approximation on the Optical Properties of Blood Determined from the Integrating Sphere Measurements,” J. Biomed. Opt., 4,47 (1999).

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

マテリアルプロパティを定義し、それを散乱オブジェクトに適用する必要があります。

ユーザー定義のバルク散乱

TracePro Expert は、コンパイルされたダイナミックリンクライブラリ（DLL）を介してバルク散乱の位相関数を定義する新しい機能を提供します。光線追跡中に TracePro からのデータが DLL に渡されます。DLL は結果を計算し、TracePro に返され、光線の散乱に使用されます。バルク散乱エディタは、目的の DLL を選択し、DLL で実行される計算を制御するためのユーザーパラメータデータを追加するために使用されます。TracePro の乱数関数は、DLL の初期化を通じてアクセス可能です。

散乱 DLL の使用

DLL からのバルク散乱位相関数の使用は、既存のバルク散乱プロパティの使用と似ています。TracePro バルク散乱エディタを開き、適切なユーザーコンパイル済み DLL を選択し、ユーザーパラメータを入力できます。パラメータデータは、DLL 情報とともに TracePro プロパティデータベースに保存されます。

バルク散乱プロパティエディタの「バルク散乱の追加」ボタンを押すと、新しいプロパティエントリが作成されます。「ユーザー DLL」を含むいくつかの散乱タイプが利用可能です。

DLL 名とその場所は、「DLL 名」編集ボックスに入力されます。「参照」ボタンを使用して、コンピュータのハードディスクをナビゲートして適切なファイルを見つけることができます。スプレッドシートの行を使用すると、光線追跡中に DLL で使用するためのユーザーデータを追加できます。各行は、波長とともに 6 つの係数を追加できます。ただし、データは全体として DLL に渡され、波長データはそのままでは使用されません。

TracePro が呼び出す必要関数

fnInitDll

アクション : DLL の初期化
構文 : BULK_API double fnInitDll(RAND_FN address)
引数の型 : address RAND_FN
戻り値 : double (TracePro によって無視される)
エラー : 関数が失敗した場合、または DLL 内に存在しない場合は、マクロウィンドウにエラーが表示されます。
説明 : 初期化関数は、TracePro の乱数生成器のアドレスを渡します。その他の初期化はここで実行できます。このルーチンは、TracePro によって DLL がロードされた後に呼び出されます。
制限事項 : 該当なし
例 :

```
// This initializes the DLL
BULK_API double fnInitDll(RAND_FN address)
{
random_function = address;
return (double) 1.0;
}
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

fnMeanFreePath

アクション : 平均自由行程を返す

構文 : BULK_API double fnMeanFreePath(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double *coef)

引数型
- wave (double): 波長
- temp (double): 温度
- rindex (double): 屈折率
- bulkabso (double): バルク吸収係数
- num (integer): 係数配列の要素数
- coef (double array): 係数配列

戻り値 : (double) 平均自由行程

エラー : 関数が失敗した場合、または DLL 内に存在しない場合は、マクロウィンドウにエラーが表示されます。

説明 : 散乱係数の逆数として平均自由行程を計算します。

制限事項 : 該当なし

例：

```
// This returns the mean free path
BULK_API double fnMeanFreePath(double wave,
                               double temp,
                               double rindex,
                               double bulkabso,
                               int num,
                               double *coef)
{
if ( coef == NULL )
    return (double) 1.0;
if ( coef[3] > 0 )
    return 1.0 / coef[3];
return 1.0;
}
```

fnEvaluateBSDF

アクション : 入力された極散乱角に対する位相関数の値を返します

構文 : BULK_API double fnEvaluateBSDF(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double *coef, double cos_alpha)

引数の型
- wave double (波長)
- temp double (温度
- rindex double (屈折率
- bulkabso double (体積吸収係数

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

num integer (係数の数
coef double 配列 (係数配列
cos_alpha double (極角のコサイン

戻り値 : double (位相関数の値

エラー : 関数が失敗した場合、または DLL に存在しない場合は、マクロウィンドウにエラーが表示されます。

説明 : インポータンスサンプリング中、TracePro は各インポータンスサンプリングされた光線に割り当てられたフラックスを計算するために位相関数を評価する必要があります。この関数は、与えられた極角に対応する方向で評価された位相関数を返します。TracePro は、最後の引数（cos_alpha）として極角のコサインを渡します。

制約： 適用外

例：

```
// Evaluate the phase function for a particular polar angle alpha.
// This is needed for computing the flux of importance sampled rays.
BULK_API double fnEvaluateBSDF(double wave,
                               double temp,
                               double rindex,
                               double bulkabso,
                               int num,
                               double *coef,
                               double cos_alpha)
{
double result = 0;

if ( coef == NULL )
    return (double) result;
double g = coef[2];
double g2 = g * g;
double cos_temp;

if ( (g < -1.0) || (g > 1.0) )
{
    // Error condition
    result = 0.0;
}
else if ( fabs(g) < LF_ROUNDOFF_TOL )
    result = 1.0 / (4.0 * PI);
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

```
else
{
    cos_temp = 1.0 + g2 - 2.0 * g * cos_alpha;
// There is an extra factor of 1/TWOPI to correctly
// normalize the bsdf (really sdf)
// compared to the Wang and Jacques paper. Their formula
// (eq. 14) is used only for deriving the
// polar c.d.f., because they never heard of importance
// sampling. Requiring that the integral
// of the probability distribution over a sphere is equal
// to one produces the extra factor of 1/TWOPI.
    result = ( 1.0 - g2 )/( TWOPI * 2.0 * pow( cos_temp, 1.5 ) );
}
return (result);
}
```

fnScatterDirection

アクション : 極散乱角のコサインと引数 phi における方位角を返します。

構文 : BULK_API double fnScatterDirection(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double *coef, double phi);

引数の型 :

wave	double
temp	double
rindex	double
bulkabso	double
num	integer
coef	double 配列
phi	double ポインタ [

戻り値 : double、および phi における double ポインタ

エラー : 関数が失敗した場合、または DLL に存在しない場合は、マクロウィンドウにエラーが表示されます。

説明 : レイ・トレーシング中、ランダムに散乱した光線の方向は、この関数によって計算されます。この関数は、極散乱角のコサインを計算します。ここで、値 1.0 は元の光線方向に沿っており、-1.0 は光線方向を反転させます。次に、光線方向に関する方位散乱角が計算され、phi として TracePro に返されます。

制限事項 : 該当なし。

例：

```
// This returns the cosine of the polar scatter alpha and the azimuth angle in the argument phi
BULK_API double fnScatterDirection (double wave,
                                    double temp,
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

```
                                        double rindex,
                                        double bulkabso,
                                        int num,
                                        double *coef,
                                        double *phi)
{
double cos_theta = 1.0;
*phi = 0.0;
if ( coef == NULL )
    return (double) cos_theta;
double g = coef[2];
double g2 = g * g;
double cos_temp;

// The expression below is cos(theta) as a function of the cumulative distribution function (c.d.f.)
// derived from the Henyey-Greenstein phase function.
// This expression is obtained by computing the c.d.f. as a unction of theta, then solving for theta.
// The c.d.f. is the definite integral over alpha from 0 to theta of the phase function.
// To get a random value of theta, choose a random number for the c.d.f., then evaluate theta as is done below.
if ( fabs(g) < SMALLANGLE )
    cos_theta = 2.0*frand() - 1.0;
// isotropic scattering, i.e. g = “anisotropy” coefficient
else
{
    // theta is the same as alpha in tissue scattering notes
    cos_temp = (1.0-g2) / (1.0 - g + 2.0*g*frand());
    cos_theta = (0.5/g) * ( 1.0 + g2 - ( cos_temp * cos_temp ) );
}
    // Choose a uniform random number for the azimuth (phi) direction, as the Henyey Greenstein phase function
// is rotationally symetric about the direction of incidence.
*phi = frand() * TWOPI;
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

return (double) cos_theta;

}

TracePro から渡される一般的な引数

以下に、一般的な引数の種類と、それらがどのように使われるかを説明します。

wave	現在の光線追跡波長
temp	現在の光線追跡温度
rindex	適用されたマテリアルプロパティによって定義される、オブジェクトの屈折率
bulkabso	適用されたマテリアルプロパティによって定義される、オブジェクトのバルク吸収
num	配列内の要素数
coef	バルク散乱エディタのスプレッドシート領域で定義されたユーザーデータの配列 .

各関数は、現在の波長（wave）、温度（temp）、屈折率（rindex）、バルク吸収率（bulkabso）係数カウント（num）、および係数配列（coef）を受け取ります。
係数配列は、num 内の各カウントに対して 8 つの要素を持ちます。
温度は現在、すべての行に対して 0.0 として渡されます。

バルク散乱エディタ、配列要素は以下の通りです。

coef[0] = temp, (First Editor Row)

coef[1] = wave,

coef[2] = Coeff 0

coef[3] = Coeff 1

coef[4] = Coeff 2

coef[5] = Coeff 3

coef[6] = Coeff 4

coef[7] = Coeff 5

coef[8] = temp, (Second Editor Row)

coef[9] = wave,

coef[10] = Coeff 0

coef[11] = Coeff 1

coef[12] = Coeff 2

coef[13] = Coeff 3

coef[14] = Coeff 4

coef[15] = Coeff 5 and so on.

DLL エクスポート定義

Scatter DLL のコンパイルには、複数のプログラミング言語を使用できます。Microsoft Visual C++ を使用した例は、CD の Bulk Scatter Property フォルダと、www.lambdares.com の TracePro テクニカルサポートセクションのプロパティの下に収録されています。Windows では、TracePro が関数にアクセスできるようにするために、関数をエクスポートする必要があります。典型的なエクスポートファイル（DEF）を以下に示します。

```
LIBRARY bulk
EXPORTS
 fnInitDll @2
 fnMeanFreePath@3
 fnEvaluateBSDF@4
 fnScatterDirection@5
```

不均一な温度分布

概要

温度分布プロパティを使用すると、サーフェス全体に不均一な温度分布を適用できます。この機能には、**「定義 | プロパティの適用」**ダイアログの右ペインで「温度分布」を選択してアクセスできます。この機能に対応するサーフェス形状は、平面と円柱です。単純な境界形状の場合、サーフェス境界を分布の境界として使用できます。これらの単純な形状は、長方形（長方形の境界を持つ平面）、円形（円形の境界を持つ平面）、および円柱形（円柱の軸に垂直な平面端を持つ円柱の湾曲した側面）です。分布情報は ASCII ファイルに保存され、次のいずれかで定義できます。サーフェスに沿った点の二次元配列（指定された点間の双線形補間を使用）
ユーザー定義の係数を持つ、最大 5 次までの多項式表現

温度分布は、複数の温度が定義されたサーフェスプロパティまたはサーフェスソースプロパティと共に使用すると、サーフェス全体に空間的に温度が変化するプロパティを有効にできます。光線追跡中に、最初に光線交点に対して温度分布を補間することによって温度が評価され、次にこの温度を使用してプロパティが補間されます。これは、TracePro に空間的に変化するプロパティを使用させる間接的な方法としても使用できます。現在の分析で温度が重要でない場合は、プロパティを空間的に変化させるためのパラメータとして効果的に使用できます。

分布のタイプ

サーフェスのタイプには、平面と円柱の 2 種類があり、サーフェスに沿った温度値を定義する方法には、定義された点間の温度を補間する方法と、一連の式を使用して温度を関連付ける方法の 2 種類があります。さらに、平面上の分布は、円形または長方形の座標で定義できます。これにより、以下の表に示すように、6 種類の不均一な温度分布が作成されます。

テーブル 7.6. 温度分布のタイプ

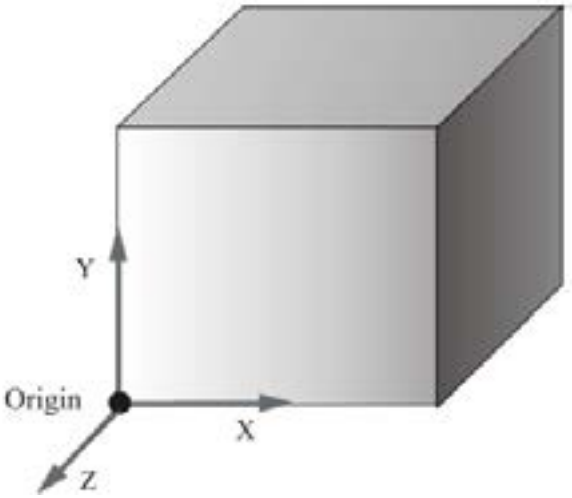
タイプ	説明
タイプ 0:	補間点を持つ矩形領域
タイプ 1:	多項式分布を持つ矩形領域
タイプ 2:	補間点を持つ円形領域

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

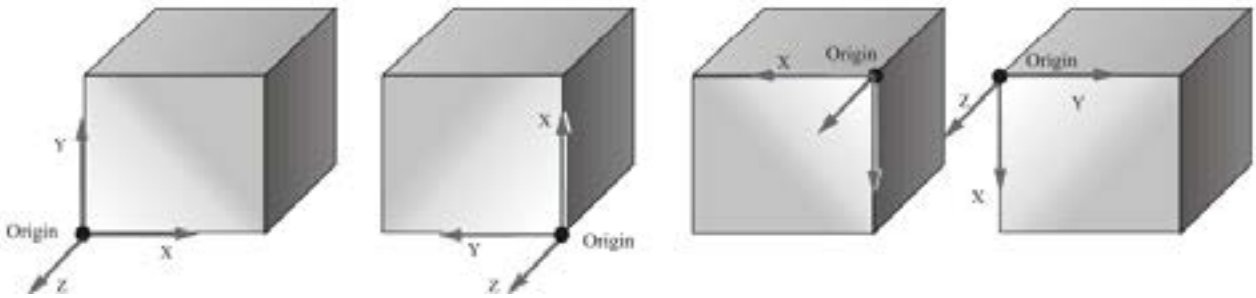
タイプ 3:	多項式分布を持つ円形領域
タイプ 4:	補間点を持つ円柱領域
タイプ 5:	多項式分布を持つ円柱領域

直交座標

直交分布は、X 座標系と Y 座標系によって定義されます。軸の配置を視覚化するために、3 次元ベクトル空間について説明するのが最も簡単です。Z 軸は常にサーフェスに対して垂直です。ダイアログボックスの下部に、原点、ローカル X 軸、および分布の寸法が入力されます。ただし、サーフェスに長方形の境界があり、「サーフェス境界を使用」を選択した場合を除きます。その場合、座標系の原点は、長方形のサーフェスの頂点の 1 つになります。X 軸と Y 軸は、右手系の規則に従って選択された原点に隣接する長方形の 2 つの辺に沿っています。この状況を以下に示します。



サーフェス境界を使用時、「次の点」ボタンで原点を 4 頂点間で切り替え可能。4 つの軸系は以下の通りです。

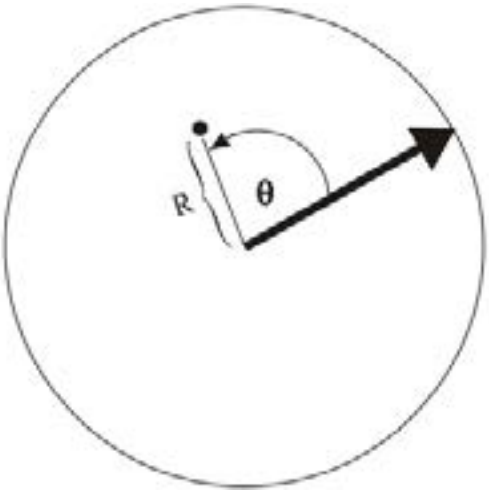


TracePro では、原点を設定するだけで、これらのベクトルがすべて自動的に計算されます。

円形座標

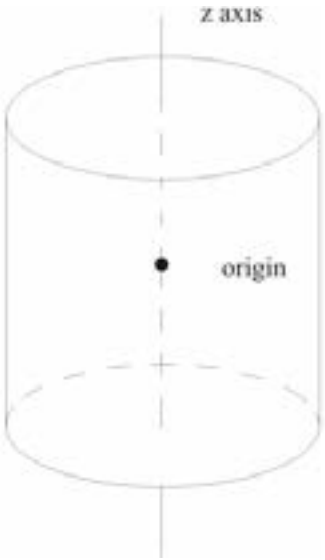
円形分布は、R と θ の極座標系によって定義されます。サーフェス境界が円形であり、「サーフェス境界を使用」を選択した場合を除き、分布の原点、ローカル X 軸、および半径はダイアログボックスの下部に入力されます。その場合、分布の原点は円形サーフェスの中心であり、半径はサーフェスの半径です。下図に示すように、角度 θ が反時計回りに測定される軸として X 軸を設定する必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス



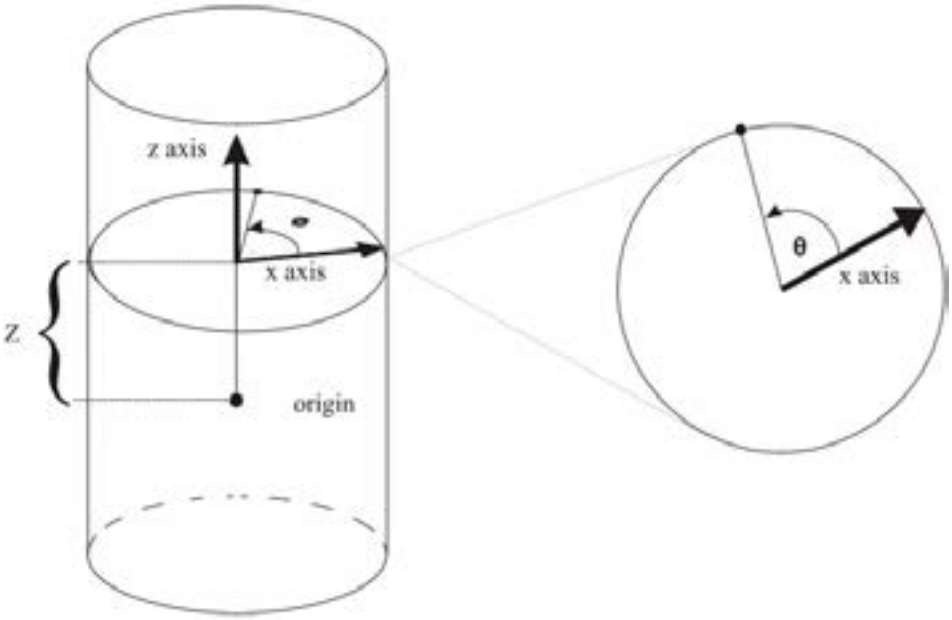
円筒座標

円筒分布は、Z 座標と θ 座標系によって定義されます。分布の原点と Z 軸方向の長さは、ダイアログボックスの下部に入力します。ただし、サーフェスが単純な境界を持ち、[サーフェス境界を使用] を選択した場合は除きます。その場合、分布の中心は、分布が設定されている円柱の中心になります。ローカル Z 軸は常に円柱の軸になるように設定されます。



「ローカル Z 反転」ボタンをクリックすると、Z 軸の方向を反転できます。θ 座標は、円柱の断面を表示すると最も視覚的に理解できます。円座標と同様に、X 軸を θ の測定基準となる軸として設定します。この方法で見た場合、円座標と円柱座標の主な違いは 2 つあります。円柱の断面では、原点は指定された断面を貫通する Z 軸の一部になります。そして、R は常に円柱の半径として設定されます。なぜなら、円柱のサーフェス上にいる必要があるからです。

株式会社 ノーツアンドクロス



温度分布の定義

上記に挙げられたサーフェスの種類ごとに、TracePro に特定の数の温度値を与えることで、サーフェス全体の温度分布を設定することができます。3 つの形状はすべて、入力値のフォーマットがわずかに異なります。一般的に、各次元で与える温度値の数を定義し、次に値をリストします。そのようなコマンドの例を以下に示します。

さらに、多項式を使用してこれらのサーフェスの温度を定義することもできます。この場合、近似に使用する多項式の係数を選択します。使用される多項式セットは、以下の表にリストされています（多項式分布に関する詳細については、この章の最後を参照してください）。

テーブル 7.7：各次元の近似に用いられる多項式群

次元 (サーフェスタイプ)	多項式タイプ
X (長方形)	ルジャンドル多項式
Y (長方形)	ルジャンドル多項式
R, θ (円形)	ツェルニケ多項式
Z (円筒形)	ルジャンドル多項式
θ (円筒形)	フーリエ級数

点間の補間と多項式分布による温度分布の描写は、どちらも「**プロパティの適用**」ダイアログの左ペインで**温度分布**を選択してから TracePro にインポートされる ASCII ファイルに保存されたデータを用いて行われます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

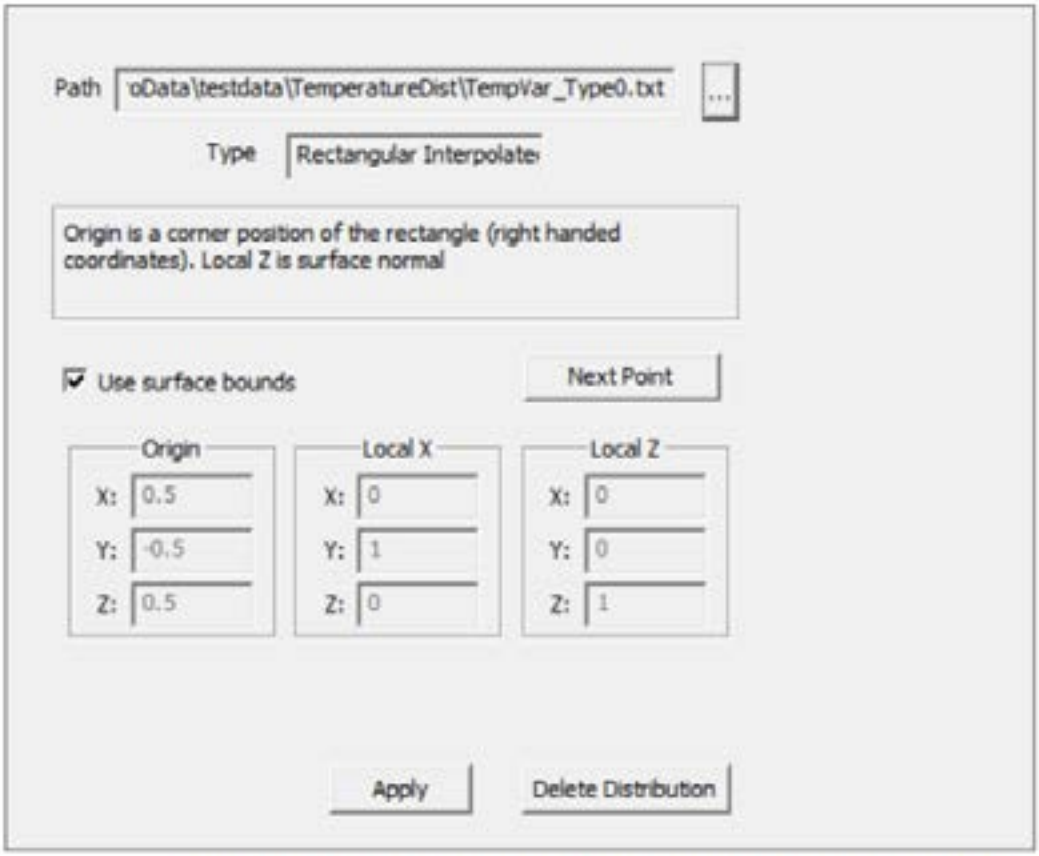


FIGURE 7.22 - Temperature Distribution Dialog for Rectangular Interpolated type with *Use surface bounds* selected.

プロパティを適用するには、目的のサーフェスを選択し、右クリックして**「プロパティ」**を選択し、「プロパティの適用」ダイアログ左ペインで「温度分布」を選択します。右ペインで作成されたばかりのファイルを指定し、必要に応じて「次の点」または「ローカル Z 反転」ボタンを使用して、別の向きを選択します。「適用」をクリックすれば完了です。

温度分布ストレージファイルのフォーマット

6 種類の非均一温度分布のそれぞれには、TracePro 用のデータを保存する独自の方法があります。それらすべての一般的なフォーマットは、次の 2 つの表に示されています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブル 7.8　インポートおよびエクスポートのための一般的なファイルフォーマット

TracePro 温度分布プロパティデータ
ファイル名 : [ファイル名]
TracePro リリース : [リリースバージョン]
データベースバージョン : [データベースバージョン]
データ生成日時 : [日時]
名前 : [プロパティ名]
カタログ : [プロパティカタログ]
説明 : [プロパティの説明]
タイプ : < タイプ >
Dim1_Coeffs_Points: <Dim1_Coeffs_Points>
Dim2_Coeffs_Points: <Dim2_Coeffs_Points>
ユーザーデータ 1
< ヘッダー >
< データセット >

注：< > 内の置換データは、表 4 の該当見出しを参照。

テーブル 7.9：データインポートおよびエクスポートファイル作成の詳細

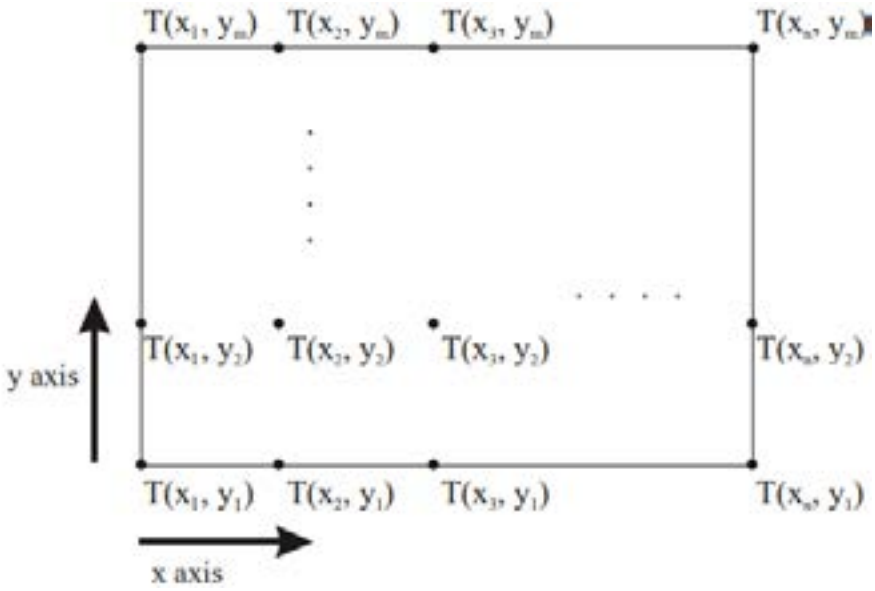
タイプ	説明	Dim1_Coeffs_Points	Dim2_Coeffs_Points	ヘッダ	データセット
0	矩形、補間点	X 点の数	Y 点の数	温度 [ケルビン]、	X*Y 個の温度値
1	矩形、多項式分布	6	6	係数：	a0,0 ⇒ a5,5 (6 個のルジャンドル係数
2	円形、補間点	R 点の数	θ 点の数	温度 [ケルビン]、	R* θ 個の温度値
3	円形、多項式分布	21	0	係数：	b0 ⇒ b20 (21 個のゼルニケ係数)
4	円筒形、補間点	Z 点の数	θ 点の数	温度 [ケルビン]、	Z* θ 個の温度値
5	円筒形、多項式分布	6	11	係数：	c0,0 ⇒ c5,10 (6 個 の ル ジャンドル係数)

非一様な温度分布プロパティを定義する際には、ファイル名、プロパティ名、カタログ、説明は自由に設定可能です。これらのデータ項目は、6 つのタイプすべてに共通です。温度分布インポート / エクスポートファイル内の残りのデータフィールドについては、以下に詳細を記載します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

タイプ 0：補間点を持つ矩形

タイプ 0 の分布では、Dim1_Coeffs_Points はサーフェス上の点の列数であり、Dim2_Coeffs_Points は行数です。データセットの下には温度の値がリストされます。次のようなシステムを定義してみましょう。



この状況では、n 個の列と m 個の行があります。データをデータファイルに入力すると、以下のようになります。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名 C:\Tracepro\Example0.txt

TracePro リリース : 2 4 0

データベースバージョン : 2 1 0

データ生成日時 2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前 タイプ 0 例

カタログ 例

説明

タイプ 0

Dim1_Coeffs_Points n

Dim2_Coeffs_Points m

ユーザーデータ 1

温度 [ケルビン]

T(X1,Y1)

T(X2,Y1)

T(X3,Y1)

T(Xn,Y1)

T(X1,Y2)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

T(X2,Y2)

T(X3,Y2)

.

.

.

T(Xn,Y2)

T(X1,Y3)

.

.

.

T(Xn,Ym-1)

T(X1,Ym)

T(X2,Ym)

T(X3,Ym)

.

.

.

T(Xn-2,Ym)

T(X n-1,Ym)

T(Xn,Ym)

タイプ 1：多項式分布を持つ長方形

タイプ 1 のファイルの場合、Dim1_Coeffs_Points はルジャンドル X 係数の数で、6 です。また、Dim2_Coeffs_Points はルジャンドル Y 係数の数で、6 です。データセットは、ユーザー定義の多項式の係数のリストになります。そのようなファイルの例は次のとおりです。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名 C:\Tracepro\Example1.txt

TracePro リリース：２４０

データベースバージョン：２１０

データ生成日時：2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前 タイプ 1 の例

カタログ 例

説明

タイプ 1

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Dim1_Coeffs_Points 6

Dim2_Coeffs_Points 6

User_Data 1

係数

a0,0

a1,0

a2,0

.

.

.

a5,0

a0,1

a1,1

a2,1

.

.

.

a5,1

a0,2

.

.

.

a5,4

a0,5

a1,5

.

.

.

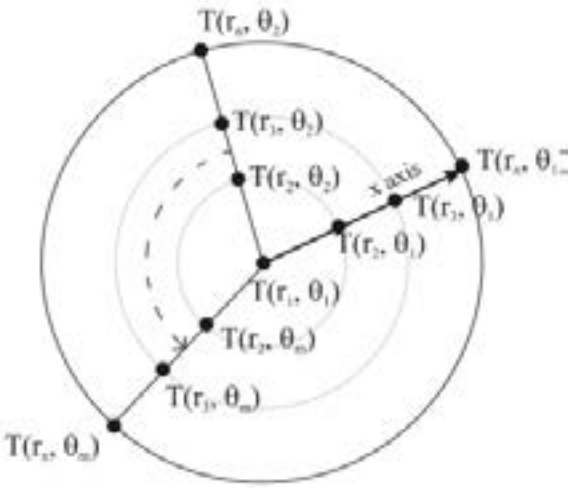
a4,5

a5,5

タイプ 2：補間点を使用した円形パターン

タイプ 2 の場合、Dim1_Coeffs_Points は半径（R）の異なる値の数を示し、Dim2_Coeffs_Points は角度（θ）を分割する数を示します。つまり、Dim1_Coeffs_Points はサーフェスに描

かれる同心円の数、Dim2_Coeffs_Points は各円から放射状に伸びる温度データを持つスポークの数となります。温度データはデータセットに記載されています。一般的な構造は以下の通りです。



n 個の同心円と m 本の放射状の線(スポーク)があります。原点の温度は、T(R1, θ j)、1 ☒ ☒ j m、というフォーマットの全ての点によって定義されます。もし、このフォーマットの点に複数の温度が与えられた場合、TracePro はそれらの平均値を計算し、原点の温度として設定します。タイプ 2 のデータファイルは、次のフォーマットで記述されます。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名：C:\Tracepro\Example2.txt

TracePro リリース：２４０

データベースバージョン：２１０

データ生成日時：2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前：タイプ 2 例

カタログ：例

説明：

タイプ 2

Dim1_Coeffs_Points：n

Dim2_Coeffs_Points：m

ユーザーデータ：1

温度 [ケルビン]

T(R1,q1)

T(R2,q1)

T(R3,q1)

.

.

.

T(Rn,q1)

T(R1,q2)

T(R2,q2)

T(R3,q2)

T(Rn,q2)

T(R1,q3)

.

.

.

T(Rn,qm-1)

T(R1,qm)

T(R2,qm)

T(R3,qm)

.

.

.

T(Rn-2,qm)

T(R n-1,qm)

T(Rn,qm)

タイプ 3: 多項式分布を持つ円形

タイプ 3 の状況を表すファイルは、Dim1_Coeffs_Points をゼルニケ R, θ 係数の数 (21) として持ちます。Dim2_Coeffs_Points はこの場合には不要であり、値 0 が割り当てられます。データセットはゼルニケ係数のリストです。このファイルタイプは以下のフォーマットを持ちます。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名 C:\Tracepro\Example3.txt

TracePro リリース : 2 4 0

データベースバージョン : 2 1 0

データ生成日時 2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前 タイプ 3 の例

カタログ 例

説明

タイプ 3

Dim1_Coeffs_Points 21

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Dim2_Coeffs_Points 0

User_Data 1

係数

b0

b1

b2

b3

b4

b5

b6

b7

b8

b9

b10

b11

b12

b13

b14

b15

b16

b17

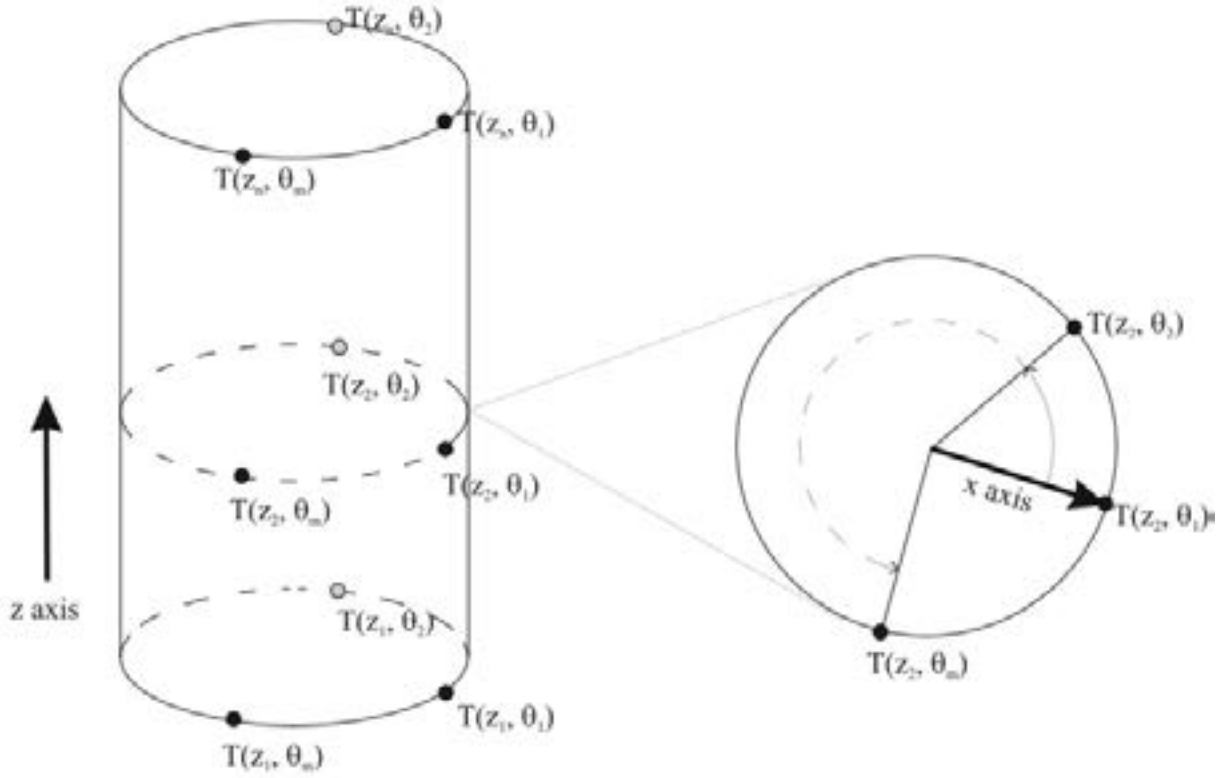
b18

b19

b20

タイプ 4：補間点を持つ円柱

タイプ 4 の場合、Dim1_Coeffs_Points はサーフェスに沿った Z 値の数であり、Dim2_Coeffs_Points は θ（シータ）値の数です。あるいは、Dim1_Coeffs_Points を値の断面の数と見なし、Dim2_Coeffs_Points を各断面の点におけるスポークの数と見ることもできます。データセットは温度値のリストです。タイプ 4 の状況は次のようになります。



N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

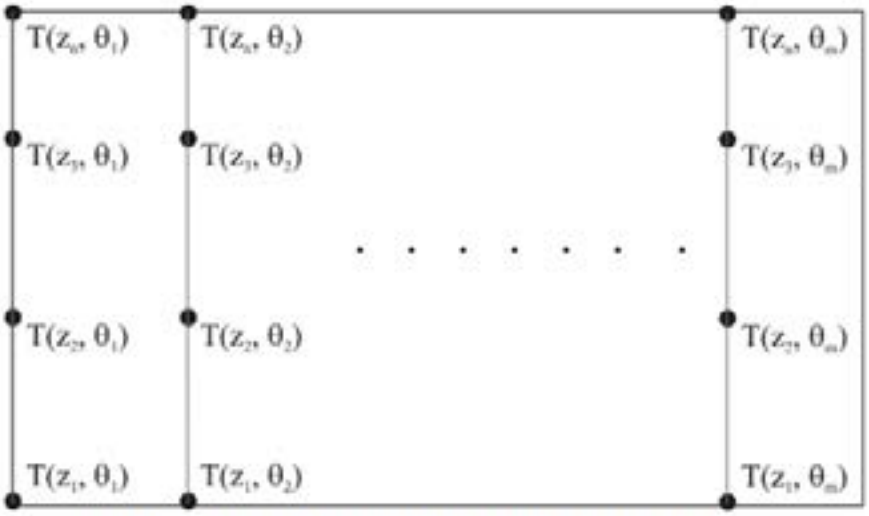


FIGURE 7.23 - Map view of cylinder's surface

この図は、n 個の断面と m 本のスポークを示しています。この情報のためのデータファイルは以下のようになります。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名 C:\Tracepro\Example4.txt

TracePro リリース : ２４０

データベースバージョン : ２１０

データ生成日時 2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前 タイプ 4 例

カタログ 例

説明

タイプ 4

Dim1_Coeffs_Points n (Dim1 係数点数：n)

Dim2_Coeffs_Points m (Dim2 係数点数：m)

User_Data 1 (ユーザーデータ 1)

温度 [ケルビン]

T(Z1,q1)

T(Z2,q1)

T(Z3,q1)

.

.

.

T(Zn,q1)

T(Z1,q2)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

T(Z2,q2)

T(Z3,q2)

.

.

T(Zn,q2)

T(Z1,q3)

.

.

.

T(Zn,qm-1)

T(Z1,qm)

T(Z2,qm)

T(Z3,qm)

.

.

.

T(Zn-2,qm)

T(Z n-1,qm)

T(Zn,qm)

タイプ 5: 多項式分布を持つ円柱

タイプ 5 のファイルでは、Dim1_Coeffs_Points はルジャンドル Z 係数の数（6）であり、Dim2_Coeffs_Points はフーリエ級数 θ 係数の数（11）です。係数のリストがデータセットに含まれています。このファイルタイプは次のフォーマットを取ります。

TracePro 温度分布プロパティデータ

ファイル名 C:\Tracepro\Example5.txt

TracePro リリース : ２４０

データベースバージョン : ２１０

データ生成時刻 : 2001 年 11 月 16 日 09:52:39

名前 タイプ 5 例

カタログ 例

説明

タイプ 5

Dim1_Coeffs_Points 6

Dim2_Coeffs_Points 11

User_Data 1

係数

c0,0

c1,0

c2,0

.

.

.

c5,0

c0,1

c1,1

c2,1

.

.

.

c5,1

c0,2

.

.

.

c5,9

c0,10

c1,10

.

.

.

c4,10

c5,10

温度分布の多項式近似

以下の表は、温度分布を近似するために利用可能なさまざまな多項式を示しています。分布の種類に関する概要は、表 7.7 を参照してください。

多項式は正規化された座標を使用します。これらの座標系がどのように適用されるかの説明については、以下のセクションを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ルジャンドル多項式 - 長方形平面

ルジャンドル多項式は正規化された座標で定義され、x と y は -1 から 1 まで変化します。つまり、値の範囲は -1<x<1 および -1<y<1 です。これは、長方形平面サーフェスに対して定義する基準点が x=-1、y=-1 に位置し、反対側の角が x=1、y=1、長方形の中心が x=0、y=0 にあることを意味します。

ゼルニケ多項式 - 円形平面

ゼルニケ多項式は正規化された座標で定義され、0<r<1、0< θ <2 π です。したがって、円形平面の場合、r=0 は円の中心、r=1 は円の端、θ =0 はローカル x 軸に沿って、θ = π /2 はローカル y 軸に沿ってになります。

ルジャンドル - フーリエ多項式 - 円柱

ゼルニケ - フーリエ関数は、円柱の長さに沿ったルジャンドル多項式とフーリエ級数の要素の積です。この場合、ルジャンドル多項式は標準的な円柱座標の z 軸の関数であり、-1<z<1 です。フーリエ級数の項はシータの関数であり、円柱の周囲を変化し、0< θ <2 π 、 θ =0 はローカル x 軸に沿って、 θ = π /2 はローカル y 軸に沿ってになります。

テーブル 7.10. ルジャンドル多項式

Polynomial Number	Polynomial
0	1
1	x
2	0.5 (-1 + 3x2)
3	0.5 (-3x + 5x3)
4	0.125 (3 – 30x2 + 35x4)
5	0.125 (15x – 70x3 + 63x5)

テーブル 7.11. ゼルニケ多項式

Polynomial Number	Polynomial
0	1
1	r cos ☒
2	r sin ☒
3	r2 cos2 ☒
4	2r2 – 1
5	r2 sin2 ☒
6	r3 cos3 ☒
7	(3r3 – 2r) cos ☒
8	(3r3 – 2r) sin ☒
9	r3 sin3 ☒
10	r4 cos4 ☒
11	(4r4 – 3r2) cos2 ☒
12	6r4 - 6r2 + 1
13	(4r4 – 3r2) sin2 ☒
14	r4 sin4 ☒
15	r5 cos5 ☒
16	(5r5 – 4r3) cos3 ☒
17	(10r5 – 12r3 + 3r) cos ☒
18	(10r5 – 12r3 + 3r) sin ☒

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

19	(5r5 – 4r3) sin3 ☒
20	r5 cos5 ☒

テーブル 7.12：フーリエ級数

Term Number	Term
0	0.5
1	cos ☒
2	sin ☒
3	cos2 ☒
4	sin2 ☒
5	cos3 ☒
6	sin3 ☒
7	cos4 ☒
8	sin4 ☒
9	cos5 ☒
10	sin5 ☒

前述の関数群とユーザー定義の係数を組み合わせるための規則は、表 7.13 にまとめられており、表 7.14 から表 7.16 で詳しく説明されています。TracePro は、サーフェス上の任意の点の温度を算出するために、ユーザーが作成した関数を三次元で評価します。

テーブル 7.13：温度を計算するための多項式関数

分布タイプ 関数

1

$$T = \sum_{j=0} \sum_{i=0} a_{i,j} L_i(x) L_j(y)$$

3

$$T = \sum_{i=0} b_i Z_i(r, \theta)$$

5

$$T = \sum_{j=0} \sum_{i=0} c_{i,j} L_i(z) F_j(\theta)$$

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブル 7.14 矩形サーフェスの多項式

「係数 (ai,j)	第一ルジャンドル多項式 (Li(x))	第二ルジャンドル多項式 (Lj(y))」
a0,0	1	1
a1,0	x	1
a2,0	[0.5 (-1 + 3x2)]	1
a3,0	[0.5 (-3x + 5x3)]	1
a4,0	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	1
a5,0	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	1
a0,1	1	y
a1,1	x	y
a2,1	[0.5 (-1 + 3x2)]	y
a3,1	[0.5 (-3x + 5x3)]	y
a4,1	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	y
a5,1	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	y
a0,2	1	[0.5 (-1 + 3y2)]
a1,2	x	[0.5 (-1 + 3y2)]
a2,2	[0.5 (-1 + 3x2)]	[0.5 (-1 + 3y2)]
a3,2	[0.5 (-3x + 5x3)] [0	5 (-1 + 3y2)]
a4,2	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	[0.5 (-1 + 3y2)]
a5,2	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	[0.5 (-1 + 3y2)]
a0,3	1	[0.5 (-3y + 5y3)]
a1,3	x	[0.5 (-3y + 5y3)]
a2,3	[0.5 (-1 + 3x2)]	[0.5 (-3y + 5y3)]
a3,3	[0.5 (-3x + 5x3)]	[0.5 (-3y + 5y3)]
a4,3	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	[0.5 (-3y + 5y3)]
a5,3	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	[0.5 (-3y + 5y3)]
a0,4	1	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a1,4	x	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a2,4	[0.5 (-1 + 3x2)]	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a3,4	[0.5 (-3x + 5x3)]	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a4,4	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a5,4	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	[0.125 (3 – 30y2 + 35y4)]
a0,5	1	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]
a1,5	x	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]
a2,5	[0.5 (-1 + 3x2)]	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]
a3,5	[0.5 (-3x + 5x3)]	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]
a4,5	[0.125 (3 – 30x2 + 35x4)]	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]
a5,5	[0.125 (15x – 70x3 + 63x5)]	[0.125 (15y – 70y3 + 63y5)]

テーブル 7.15 円形サーフェスの多項式

係数 (bi)	ゼルニケ多項式 (Zi(r, ☒))
b0	1
b1	(r cos ☒☒
b2	(r sin ☒☒
b3	(r2 cos2 ☒)
b4	(2r2 – 1)
b5	(r2 sin2 ☒☒
b6	(r3 cos3 ☒☒

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

b7	[(3r3 – 2r) cos ☒☒
b8	[(3r3 – 2r) sin ☒]
b9	(r3 sin3 ☒)
b10	(r4 cos4 ☒)
b11	[(4r4 – 3r2) cos2 ☒]
b12	(6r4 - 6r2 + 1)
b13	[(4r4 – 3r2) sin2 ☒]
b14	(r4 sin4 ☒)
b15	(r5 cos5 ☒)
b16	[(5r5 – 4r3) cos3 ☒]
b17	[(10r5 – 12r3 + 3r) cos ☒]
b18	[(10r5 – 12r3 + 3r) sin ☒]
b19	[(5r5 – 4r3) sin3 ☒]
b20	(r5 cos5 ☒)

テーブル 7.16 円筒面の多項式

係数 (ci,j)	Legendre Polynomial (Li(z)): ルジャンドル多項式 (Li(z))	フーリエ級数 (Fj(θ))
c0,0	1	0.5
c1,0	z	0.5
c2,0	[0.5 (-1 + 3z2)]	0.5
c3,0	[0.5 (-3z + 5z3)]	0.5
c4,0	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	0.5
c5,0	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	0.5
c0,1	1	cosθ
c1,1	z	cosθ
c2,1	[0.5 (-1 + 3z2)]	cosθ
c3,1	[0.5 (-3z + 5z3)]	cosθ
c4,1	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	cosθ
c5,1	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	cosθ
c0,2	1	sinθ
c1,2	z	sinθ
c2,2	[0.5 (-1 + 3z2)]	sinθ
c3,2	[0.5 (-3z + 5z3)]	sinθ
c4,2	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	sinθ
c5,2	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	sinθ
c0,3	1	cos2θ
c1,3	z	cos2θ
c2,3	[0.5 (-1 + 3z2)]	cos2θ
c3,3	[0.5 (-3z + 5z3)]	cos2θ
c4,3	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	cos2θ
c5,3	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	cos2θ
c0,4	1	sin2θ
c1,4	z	sin2θ
c2,4	[0.5 (-1 + 3z2)]	sin2θ
c3,4	[0.5 (-3z + 5z3)]	sin2θ
c4,4	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	sin2θ
c5,4	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	sin2θ
c0,5	1	cos3θ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

c1,5	z	cos3θ
c2,5	[0.5 (-1 + 3z2)]	cos3θ
c3,5	[0.5 (-3z + 5z3)]	cos3θ
c4,5	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	cos3θ
c5,5	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	cos3θ
c0,6	1	sin3θ
c1,6	z	sin3θ
c2,6	[0.5 (-1 + 3z2)]	sin3θ
c3,6	[0.5 (-3z + 5z3)]	sin3θ
c4,6	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	sin3θ
c5,6	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	sin3θ
c0,7	1	cos4θ
c1,7	z	cos4θ
c2,7	[0.5 (-1 + 3z2)]	cos4θ
c3,7	[0.5 (-3z + 5z3)]	cos4θ
c4,7	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	cos4θ
c5,7	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	cos4θ
c0,8	1	sin4θ
c1,8	z	sin4θ
c2,8	[0.5 (-1 + 3z2)]	sin4θ
c3,8	[0.5 (-3z + 5z3)]	sin4θ
c4,8	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	sin4θ
c5,8	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	sin4θ
c0,9	1	cos5θ
c1,9	z	cos5θ
c2,9	[0.5 (-1 + 3z2)]	cos5θ
c3,9	[0.5 (-3z + 5z3)]	cos5θ
c4,9	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	cos5θ
c5,9	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	cos5θ
c0,10	1	sin5θ
c1,10	z	sin5θ
c2,10	[0.5 (-1 + 3z2)]	sin5θ
c3,10	[0.5 (-3z + 5z3)]	sin5θ
c4,10	[0.125 (3 – 30z2 + 35z4)]	sin5θ
c5,10	[0.125 (15z – 70z3 + 63z5)]	sin5θ

極座標等カンデラ図の解釈

等カンデラ強度図（単位は W/sr または cd）は、ユーザーに混乱を引き起こすことがあります。このセクションでは、半球状の分布を平面に投影した際に何が起こるかを例示することで、そのような潜在的な混乱に対処します。図 7.24 は、強度分布を観察すべき球と、それがこの半球の底面にどのように投影されるかを示しています。この単純な例では、投影された立体角は以下のように与えられます。

$$d\Omega = d\omega \cos\theta \qquad (7.45)$$

ここで、θ は法線軸に対する角度、Ω は立体角、Ω ' は投影された立体角です。TracePro では、θ は法線に対する角度（**解析 | カンデラプロットオプション**で定義される）です。各光線は、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

一定の立体角ビン内に分類されます（すなわち、単位半球上で同じサーフェス積を占める）。さらに、極座標等カンデラプロットの場合、各光線は、この半球から平面への非線形投影に対して個別に補正されます。この非線形投影は、図 7.25 および図 7.26 に示すように、極座標等カンデラプロットの半径方向の一定の角度間隔によるものです（すなわち、環状の扇形のスライスは、放射角度の関数として一定の面積を持ちません）。したがって、同じビン内にあり、同じフラックスを持つ異なる角度の 2 つの光線は、このビンに異なる量の強度（cd または W/sr）に寄与します。極座標等カンデラデータを保存する場合（ファイル | 名前を付けて保存…のタイプ *.txt）、非線形投影も保存されます。

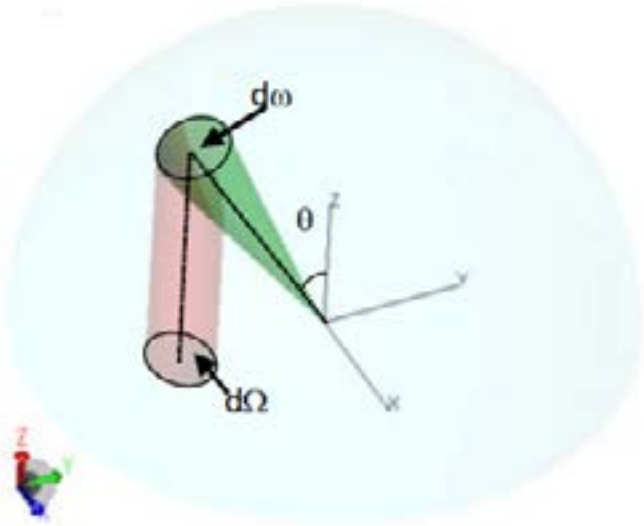


FIGURE 7.24 - Depiction of solid angle projection from a hemisphere to the base plane of the hemisphere.

これを説明するために、図 7.25 に示すケースを考えてみましょう。そこには、それぞれ単一の光線から構成されるグリッドソースがあります。グリッド 1 は、x-z 平面内にあり、z 軸に対して 63.426°の角度を持つ光線を持っています。グリッド 2 は、x-z 平面内にあり、z 軸に対して 64.537°の角度を持つ光線を持っています。図 7.26 は、(a) グリッド 1 と (b) グリッド 2 の等光度曲線プロット（解析 | 光度曲線プロット | 極等光度曲線）を示しています。非線形投影によって生じる最大カンデラ値の違いに注意してください。方向余弦値による極等光度曲線プロットは、ページ 7.90 の式 7.45 にある cos(q) 値が単に軸プロットの寸法であるため、この投影効果を受けません。しかし、そのようなプロットは現在 TracePro では利用できません。最後に、例えばグリッド 1 の光線を極に配置することで、プロット法線を回転させることができます。これは、解析 | 光度曲線プロットオプション > オリエンテーションと光線タブの X を 0.8944、Z を 0.4472 に変更することで行われます。図 36 は、(a) グリッド 1 と (b) グリッド 2 の結果を示しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

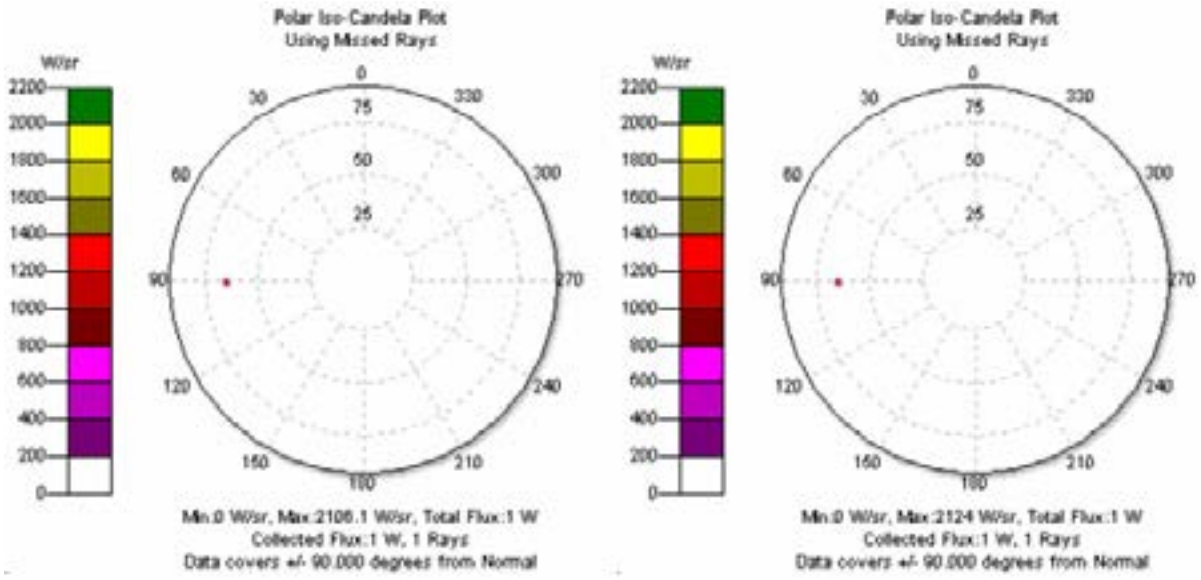


FIGURE 7.25 - Polar Iso-Candela Plots for Grids (a) 1 and (b) 2, Normal = (0, 0, 1).

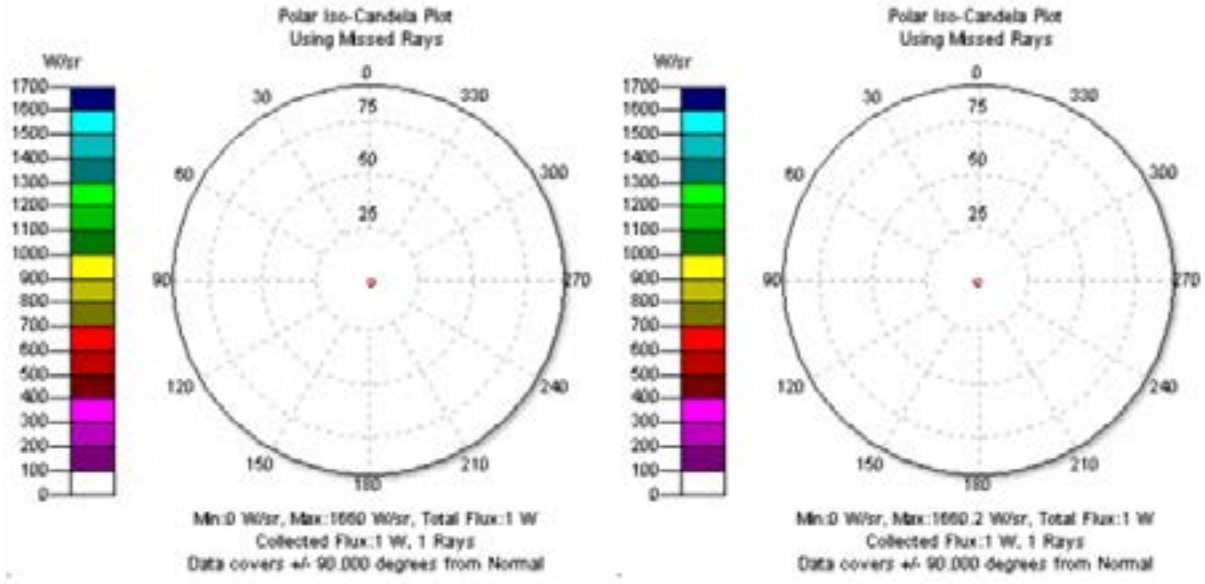


FIGURE 7.26 - Polar Iso-Candela Plots for Grids (a) 1 and (b) 2, Normal = (0.8944, 0, 0.4472).

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

プロパティのインポート / エクスポートフォーマット

マテリアルプロパティフォーマット

このフォーマットには 18 行のヘッダー行が含まれており、ファイル内に存在する必要があります。その後、実際のプロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます（スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です）。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。

以下の表は、これらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、マテリアルプロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。以下の情報はチュートリアルとしてではなく、参照として扱うと良いでしょう。

Line #	Description	Read forImport	Format
1	File Header	Yes	TracePro Material Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 2 1 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 2 1 0
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2000
6	Blank	line	Ignored
7	PropertyName	Yes	Name name
8	Property Catalog	Yes	Catalog name (If the catalog does not exist, it will be created during the import)
9	Property Description	Yes	Description text
10	Military Specification	Yes	MILSPEC text
11	Start of Wavelength Range	Yes	WaveStart number Wavelength in microns
12	End of Wavelength Range	Yes	WaveStart number Wavelength in microns
13	Equation Type	Yes	code 1. Interpolation from table 2. Schott polynomial 3. Sellmeier (1) polynomial 4. Extended Schott polynomial 5. Herzberger polynomial 6. Conrady polynomial 7. Sellmeier (2) polynomial 8. Sellmeier (3) polynomial 9. Sellmeier (4) polynomial 10. Handbook of Optics (1) polynomial 11. Handbook of Optics (2) polynomial
14	User Dataflag	Yes	User flag flag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)

15	Coefficients	Yes	This set the units of the absorption column to alpha, for internal transmittance, or k for imaginary refractive index. Bulk_is_Alpha sets units to alpha Bulk_is_K sets units to k
16-17	Polynomial Coefficients	Yes	Two rows of five numbers. Zero if table interpolation is used.
18	Column Headers	Yes	Temperature Wavelength Index Absorption
19+	Wavelength Data	Yes	Multiple rows of data: Temperature Wavelength Index Absorption
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

サーフェスプロパティフォーマット

このフォーマットは 15 行のヘッダー行を含み、ファイル内に必ず存在しなければなりません。その後、プロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます（スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です）。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表はこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されているサーフェスプロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、**ツール | データベース | インポート**コマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Surface Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.db
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version n n n
4	Database Version	Yes	Database Version n n n
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at hh:mm:ss Month dd, yyyy
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name name
8	Property Description	Yes	Description text

9	Coating Data Flag	Yes	Coating flag flag values: 1. no coating data, Fresnel (specular terms are 0.0) 2. tabular data 3. stack with Stack Name Coating 2 MgF Layer 4. grating type with grating spacing Coating 3 12 5. Coating DLL type 6. (not used) 7. Direction-sensitive property
10	Scatter type	Yes	Scatter type 0 No scatter 1 ABg 2 Elliptical ABg 3 Elliptical Gaussian 4 Table 5 Asymmetric Table
11	Interaction flag	Yes	flag values: 1. normal surface interaction 2. retroreflecto
12	Polarization flag	Yes	Polarization flag flag 1. non-polarizing property (S and P terms are equal) 2. polarizing data
13	User Data flag	Yes	User flag flag values: 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User dataRead/Write)
14	Solve Code	Yes	Solve code code values: <None> no solve performed ABSORP solve for absorptance SPECREFL solve for reflectance SPECTRANS solve for transmittance BRDF solve for BRDF BTDF solve for BTDF
15	Blank Line	Ignored	
16	Side 1 Data (optional)	Yes	Side1_Data If present, the data that follows is for Side 1 of a Direction-sensitive property
16 or 17	Column Headers	Only Temperature is Ignored	Temperature (followed by additional column headers)
17+ or 18+	Surface Data	Yes	17 columns of real numbers
17+ or 18+	Grating Data Line	Yes	AnisotropicGratingData If this line exists the following data will be applied to the grating orders.
17+ or 18+	Grating Data	Yes	eight columns of real numbers

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

17+ or 18+	Table BSDF Data Line	Yes	Table_BSDF_Data If this line exists the following data will be applied to the BRDF and BTDF values
17+ or 18+	Table BSDF Data	Yes	eight columns of real numbers
19+ or 20+	Side 2 Data (optional)	Yes	Side2_Data If present, the data that follows is for Side 2 of a Direction-sensitive property
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

サーフェスプロパティデータ列

サーフェスプロパティデータは、スペースまたはタブで区切られた 17 列に配置されています。

示されている例は、楕円 ABg モデル BSDF データに関するものです。

Column #	Name	Description
1	Temperature	Kelvin
2	Wavelength	Microns
3	Inc Angle	Angle of incidence
4	Azi Angle	Azimuthal Angle
5	Abso_S	Specular Absorptance for S polarization
6	Abso_P	Specular Absorptance for P polarization
7	Refl_S	Specular Reflectance for S polarization
8	Refl_P	Specular Reflectance for P polarization
9	Tran_S	Specular Transmittance for S polarization
10	Tran_P	Specular Transmittance for S polarization
11	PhaseRefl	Phase change for Transmittance
12	PhaseTran	Phase change for Transmittance
13	BRDF_A	A coefficient of BRDF
14	BRDF_B	B coefficient of BRDF
15	BRDF_By	B coefficient of BRDF
16	BRDF_g	g coefficient of BRDF
17	BRDF_gy	g coefficient of BRDF
18	BTDF_A	A coefficient of BTDF
19	BTDF_B	B coefficient of BTDF
20	BTDF_By	B coefficient of BTDF
21	BTDF_g	g coefficient of BTDF
22	BTDF_gy	g coefficient of BTDF

回折格子データ列

回折格子データは、AnisotropicGratingData というヘッダーで始まる別の表に続きます。回折

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

格子データは、タブで区切られた 8 つの列で構成されています。

Column #	Name	Description
1 Temperature	Kelvin	
2	Wavelength	Microns
3	Angle	Angle of incidence (degrees)
4	Order	Grating Order
5	Eff_Refl_S	Efficiency for Reflectance in the S polarization
6	Eff_Refl_P	Efficiency for Reflectance in the P polarization
7	Eff_Tran_S	Efficiency for Transmittance in the S polarization
8	Eff_Tran_P	Efficiency for Transmittance in the P polarization

BSDF データ列の表

BSDF データの表は、ヘッダー Table_BSDF_Data を持つ別の表に続いています。

BSDF の表は、タブで区切られた 8 つの列で構成されています。

Column #	Name	Description
1	Temperature	Kelvin
2	Wavelength	Microns
3	IncAngle	Polar angle of incidence (degrees)
4	AziAngle	Azimuthal angle of incidence (degrees)
5	ScatterBeta	The length of the β - β 0 vector (unitless)
6	ScatterAzimuth	The azimuthal angle of the β - β 0 vector (degrees)
7	BRDF	The value of the BRDF at the parameters (1/sr)
8	BTDF	The value of the BTDF at the parameters (1/sr)

スタックプロパティフォーマット

フォーマットには 12 行のヘッダー行が含まれており、ファイル内に必ず存在する必要があります。その後、プロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます（スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です）。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表はこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されているスタックプロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、**ツール | データベース | インポート**コマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Stack Property Data

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 2 1 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 2 1 0
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2000
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name name
8	Property Description	Yes Description text	
9	Type Flag	Ignored	
10	User Data flag	Yes	User flag flag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)
11	Blank Line	Ignored	
12	Column Headers	Ignored	Thickness(um) CatalogName
13+	Data	Yes	Column 1. Thickness (um) 2. Material Catalog 3. Material Name
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

勾配屈折率プロパティフォーマット

このフォーマットは 12 行のヘッダー行を含み、ファイル内に存在する必要があります。その後、プロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます(スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です)。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表はこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されている勾配屈折率プロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、ツール | データベース | インポートコマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Gradient Index Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 2 1 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 2 1 0
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2000
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name name

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

8	Property Description	Yes	Description text
9	Type Flag	Yes	Type flag Flag values 1. Axial-Radial gradient 2. Axial-Elliptical gradient 3. Axial-Sinusoidal-Radial gradient 4. Axial-Tapered-Radial gradient 5. SELFOC gradient 6. Wood Lens gradient 7. Spherical gradient 8. Fisheye Lens gradient 9. Luneburg Lens gradient 10. GRADIUM (Buchdahl) gradient 11. GRADIUM (Sellmeier) gradient
10	User Data flag	Yes	User flag flag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)
11	Blank Line	Ignored	
12	Column Headers	Only Temperature is Ignored	Temperature (followed by additional column headers)
13+	Data	Yes	18 columns of real numbers for properties not of type GRADIUM OR… 32 columns of real numbers for properties of type GRADIUM (Buchdahl) OR… 64 columns of real numbers for properties of type GRADIUM (Sellmeier)
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

勾配屈折率データ列（非 GRADIUM タイプ）

非 GRADIUM タイプの勾配屈折率データは、スペース / タブ区切りの 18 列で構成されます。

Column #	Name	Description	Used By
1	Temperature	Degrees C	(not currently used)

2	Wavelength	Microns	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient • SELFOC gradient • Wood Lens gradient • Spherical gradient • Fisheye Lens gradient • Luneburg Lens gradient
3	nz1	Axial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient
4	nz2	Axial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient
5	nz3	Axial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient
6	nz4	Axial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient
7	nr1	Radial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • SELFOC gradient • Wood Lens gradient • Spherical gradient • Fisheye Lens gradien • Luneburg Lens gradient
8	nr2	Radial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient • SELFOC gradient • Spherical gradient
9	nr3	Radial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient • SELFOC gradient • Spherical gradient

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

10	nr4	Radial coefficient	• Axial-Radial gradient • Axial-Elliptical gradient • Axial-Sinusoidal-Radial gradient • Axial-Tapered-Radial gradient • SELFOC gradient • Spherical gradient
11	nrx	Elliptical radial coefficient	• Axial-Elliptical gradient
12	nry	Elliptical radial coefficient	• Axial-Elliptical gradient
13	sva	Sinusoidal radial coefficient	• Axial-Sinusoidal-Radial gradient
14	svp	Sinusoidal radial coefficient	• Axial-Sinusoidal-Radial gradient
15	svf	Sinusoidal radial coefficient	• Axial-Sinusoidal-Radial gradient
16	tas	Tapered radial coefficient	• Axial-Tapered-Radial gradient
17	tao	Tapered radial coefficient	• Axial-Tapered-Radial gradient
18	sgc	Spherical coefficient	• Spherical gradient • Fisheye Lens gradient • Luneburg Lens gradient

GRADIUM (Buchdahl) 型の屈折率勾配データ列

GRADIUM (Buchdahl) 型の屈折率勾配データは、スペースまたはタブで区切られた 32 列に配置されています。

Column #	Name	Description	Used By
1	Temperature	Degrees C	(not currently used)
2	gwv	Reference wavelength in microns	GRADIUM (Buchdahl) gradient
3	gmz	Blank thickness	GRADIUM (Buchdahl) gradient
4	goz	Offset into blank	GRADIUM (Buchdahl) gradient
5	gnz0	0th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
6	gnz1	1st order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
7	gnz2	2nd order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
8	gnz3	3rd order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
9	gnz4	4th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

10	gnz5	5th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
11	gnz6	6th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
12	gnz7	7th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
13	gnz8	8th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
14	gnz9	9th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
15	gnz10	10th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
16	gnz11	11th order profile coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
17	gra	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
18	grb1	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
19	grc1	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
20	grd1	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
21	gra2	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
22	grb2	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
23	grc2	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
24	grd2	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
25	gra3	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
26	grb3	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
27	grc3	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
28	grd3	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
29	gra4	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
30	grb4	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
31	grc4	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient
32	grd4	Buchdahl chromatic coefficient	GRADIUM (Buchdahl) gradient

GRADIUM（セルマイヤー）型屈折率勾配データ列

GRADIUM（セルマイヤー）型の屈折率勾配データは、スペースまたはタブで区切られた 64 列に配置されます。

Column	# Name	Description	Used By
1	Temperature	Degrees C	(not currently used)
2	gwv	Reference wavelength in microns	GRADIUM (Sellmeier) gradient
3	gmz	Blank thickness	GRADIUM (Sellmeier) gradient
4	goz	Offset into blank	GRADIUM (Sellmeier) gradient
5	gnz0	0th order profilecoefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
6	gnz1	1st order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
7	gnz2	2nd order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
8	gnz3	3rd order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
9	gnz4	4th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
10	gnz5	5th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
11	gnz6	6th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
12	gnz7	7th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
13	gnz8	8th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
14	gnz9	9th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
15	gnz10	10th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
16	gnz11	11th order profile coefficient	GRADIUM (Sellmeier) gradient
17-24	K'_11, K'_12, … , K'_18	K'1x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient
25-32	K'_21, K'_22, … , K'_28	K'2x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient
33-40	K'_31, K'_32, … , K'_38	K'3x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient
41-48	L_11, L_12, … , L_18	L1x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient
49-56	L_21, L_22, … , L_28	L2x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient
57-64	L_31, L_32, … , L_38	L3x Sellmeier chromatic coefficients	GRADIUM (Sellmeier) gradient

バルク散乱プロパティフォーマット

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

このフォーマットは 12 行のヘッダーを含み、ファイル内に存在する必要があります。その後、実際のプロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます(スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です)。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。

以下のテーブルはこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、バルク散乱プロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。以下の情報はチュートリアルとしてではなく、リファレンスとして扱うことをお勧めします。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Bulk Scattering Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 2 1 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 2 1 0
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2000
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name text
8	Property Description	Yes	Description text
9	User Data flag	Yes	User flagflag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)
10	Type	Ignored	
11	Blank line	Ignored	
12	Column Headers	Ignored	Temperature Wavelength Coef 0 Coef 1 Coef 2 Coef 3 Coef 4 Coef 5
13+	Scatter data	Yes	Temperature Wavelength and 5 coefficients Coefficient 1. Anisotropy (g) 2. Scattering (1/mm) 3. Alpha (Gegenbauer Model) 4. unused (in V2.1) 5. unused (in V2.1)
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Optional Tools|Database|Import command

蛍光プロパティフォーマット

このフォーマットは、16 行のヘッダー行を含み、ファイル内に必ず存在する必要があります。その後にプロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます(スプレッドシートを使用する場合はタブがより便利です)。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表は、これらのファイルのフォーマットについて説明

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されているプロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、ツール | データベース | インポートコマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Bulk Fluorescence Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 4 0 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 3 3 0
5	Date file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2006
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name name
8	Property Description	Yes	Description text
9	Type Flag	Ignored	
10	User Data Flag	Yes	User flag flag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)
11	Blank Line	Ignored	
12	Peak_Extinction	Yes Peak Extinction value.	
13	Conversion_Efficiency	Yes	Conversion Efficiency value
14	Blank Line	Ignored	
15	Column Headers	Ignored	Temperature ExcitationWavelength RelativeAbsorption RelativeExcitation
16	Column Headers	Ignored	Temperature EmissionWavelength RelativeEmission
17+	Data	Yes	Column (First Excitation Data) 1. Temperature 2. Excitation Wavelength 3. Relative Absorption 4. Relative Excitation Column (Second Emission Data) 1. Temperature 2. Emission Wavelength 3. Relative Emission
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

サーフェスソースプロパティフォーマット

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

このフォーマットは 21 行のヘッダーを含み、ファイル内に必ず存在する必要があります。その後、プロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます（スプレッドシートを使用する場合はタブがより便利です）。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表はこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されているプロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で表示することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、**ツール | データベース | インポート**コマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line #	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro Bulk Fluorescence Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name E:\TraceProData\tracepro.mdb
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 5 0 0
4	Database Version	Yes	Database Version: 3 3 0
5	Date file was generated	Ignored	Data generated at 09:32:31 May 06, 2006
6	Blank	line	Ignored
7	Property Name	Yes	Name name
8	Property Catalog	Yes	Catalog catalog
9	Property Description	Yes	Description text
10	User Data Flag	Yes	User flag flag 1. Lambda Research Data (Read Only) 2. User added data (Read/Write)
11	Spectral Type	Yes	0 = Rectangular 1 = Gaussian 2 = Solar 3 = Table
12	Angular Type	Yes	0 = Lambertian 1 = Uniform 2 = Gaussian 3 = Solar 4 = Table
13	Units	Yes	0 = Radiometric 1 = Photometric
14	Quantity	Yes	0 = Irradiance/Illuminance 1 = Flux
15	Emission	Yes	Total emission of the source
16	Wavelength1	Yes	Min wavelength (Rectangular) Center wavelength (Gaussian)
17	Wavelength2	Yes	Max wavelength (Rectangular) 1/e2 half-width (Gaussian)

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

18	Angle1	Yes	Conical angle (Lambertian and Uniform)
19	Angle2	Yes	y-direction 1/e2 half-width (Gaussian)
20	Blank	Ignored	
21	Column Headers	Yes	Temperature Wavelength Polar Angle Azimuth Angle Emissivity 12+ Data Yes Column 1. Temperature 2. Wavelength 3. Polar Angle 4. Azimuth Angle 5. Emissivity
Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the **Tools|Database|Import** command

レプタイルプロパティフォーマット

このフォーマットは 12 行のヘッダー行を含み、ファイル内に必ず存在する必要があります。その後、プロパティデータが続きます。データはタブまたはスペースで区切ることができます（スプレッドシートを使用する場合はタブの方が便利です）。TracePro からエクスポートされたプロパティはタブを使用します。以下の表はこれらのファイルのフォーマットを説明していますが、インポート / エクスポートフォーマットの使用方法を学ぶ最も簡単な方法は、すでに定義されている屈折率勾配プロパティをエクスポートし、テキストフォーマットで自分で確認することです。これにより、TracePro が各プロパティでどのようなデータをエクスポートするかを正確に確認できます。プロパティ名を変更し、**ツール | データベース | インポート**コマンドを使用して、新しい名前でデータベースに追加して練習してください。

Line#	Description	Read for Import	Format
1	File Header	Yes	TracePro RepTile Property Data
2	Database File Name	Ignored	File Name C:\Documents and Settings\username\ Application Data\Lambda Research Corporation\ TracePro\tracepro.db
3	TracePro Version	Ignored	TracePro Version: 4 1 1
4	Database Version	Yes	Database Version: 3 3 0
5	Data file was generated	Ignored	Data generated at 17:28:43 June 29, 2007
6	Blank line	Ignored	
7	Property Name	Yes	Name name
8	Property Description	Yes	Description text

9	Geometry Type	Yes	Geometry_Type type 0. None 1. Fresnel 2. Cone 3. Sphere 4. Hip Roof 5. Cube 6. Prism 7. Rounded Prism 8. Ellipsoid 9. Log 10. Enhanced Prism 11. Flattened Cone 12. Pointed Cone 14. Block 15. Chiseled Log 16. Torus 17. Asphere 18. Polygon 19. Pyramid 20. Circular Hip Roof 21. Tetrahedron
10	Tile Type	Yes	Tile_Type type 0. None 1. Rings 2. Rectangle 3. Stagger 4. Hexagonal
11	Vary Row type	Yes	Vary_Rows type 0. Constant 1. Vary by Row or Ring 2. Parameterized 3. Texture File
12	Bump type	Yes	Bump_Type type 0. Bump 1. Hole 2. Mixed (Texture) 3. Inverted (Texture)
13	X Width	Yes	Width_X value
14	Y Width	Yes	Width_Y value
15	Draft Angle	Yes	Angle value
16	User Data flag	Yes	User flag (Read Only) 1. User added data (Read/Write)
11	Blank Line	Ignored	
12	Column Headers	Ignored	Varies by Geometry Type
13+	Data	Yes	Column Data

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Last	Save Data	Optional	SAVE-DATA This may be placed between multiple properties and is used by the Tools|Database|Import command

テクスチャファイルフォーマット

テクスチャファイルでは、以下のレプタイルジオメトリタイプを使用できます。

- 球
- コーン
- ヒプルーフ
- 楕円体
- 拡張プリズム
- ログ
- 先端が平坦なコーン
- 尖ったコーン
- DMD ミラー
- ブロック
- 削られたログ
- トーラス
- ポリゴン
- ピラミッド
- 円形ヒプルーフ
- 四面体

ログジオメトリの完全な（x、y、z）回転により、ログに穴を開けたり、基準平面に対して斜めの角度に配置したりすることができます。この適応性により、基準平面上のアンダーカットが可能になります。アンダーカットとは、基準平面のサーフェス法線方向に、オブジェクトの体積の連続する領域間に空隙（つまり、エアギャップ）が存在することを意味します。この構成は実現可能ですが、特に小さな複製ジオメトリ（例：バックライト付きディスプレイパネル）の場合、製造コストが非常に高くなります。したがって、潜在的なアンダーカットが望ましいかどうかを確認するのはユーザーの責任となります。簡単に言えば、TracePro 内には潜在的なアンダーカットについて警告するチェック機能はありません。

さらに、テクスチャファイル、つまりテクスチャ化されたレプタイルプロパティは、さまざまなジオメトリタイプを混在させることができます。これにより、TracePro モデル内の単一のサーフェスに異なるジオメトリタイプを適用できます。また、次のセクション「混合バンプおよび穴レプタイル」では、これらのテクスチャ化されたレプタイルプロパティに、穴とバンプの両方を同時に含めることができます。テクスチャ化されたレプタイルは、フィーチャの位置とサイズだけでなく、形状と向きも細かく制御できます。

次の 3 つのサブセクションでは、テクスチャファイルのプロパティについて説明します。

- テクスチャファイル構文

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- テクスチャ付き RepTile ジオメトリタイプ値
- 各ジオメトリタイプのパラメータ指定

テクスチャファイルの構文

テクスチャファイルの構文を以下に示します。詳細な説明は表 7.17 に記載されています。< > 内のパラメータ項目は、テクスチャファイル内でユーザーが指定する必要があるデータを示します。

RepTile Texture File
Filename:<Filename>
Date:<Date>
Version:<VersionNumber>
Texture Type:<TextureType>
Texture Features
<Type1><BumpSign1><Param11><Param12><Param13>…<Param1M>
.
.
.
<TypeN><BumpSignN><ParamN1><ParamN2><ParamN3>…<ParamNM>

表 7.17. テクスチャファイルフォーマット

Line #	Parameter	Description	Format
1	File Header	RepTile Texture File	String
2	Filename	Filename of the current file. The standard file type is of type *.txt. There is a space after the colon.	String
3	Date	The date the file was created or last modified. Not important for operation, but allows the user to maintain some level of version control. There is a space after the colon.	String
4	VersionNumber	The version number of this file for control of future updates to RepTile Texture Files. Currently Version 1.0. There is a space after the colon.	Double
5	TextureType	The Feature Geometry Type for the Texture Features contained within the file. See Table 7.18 for the allowed values. There is a space after the colon.	Integer
6+	Data	For the following there are N (= number of Features) instances per file. The # designation in the first column parameter list indicates the feature number.	
	Type#	This is the Feature Geometry type for the individual Feature. See Table 7.18 for more details	Integer
	BumpSign#	This is the bump (= 1) or hole (= - 1) for the individual Feature.	Integer
	Param#@	This is parameter @ for Feature #, where the values for @ are dependent on the Type# and are detailed in Table 7.19.	Double

ジオメトリタイプの識別：

テクスチャファイル内の各データ行の最初の数値で、レプタイルの形状のジオメトリタイプを識別します。

テーブル 7.17 では、このジオメトリタイプ値は「Type#」としてリストされています。

テーブル 7.18 には、各ジオメトリタイプの整数値が記載されています。

単一タイプとハイブリッドタイプ：

テクスチャファイルが単一のジオメトリタイプのみを含む場合、ファイル内の 5 行目（テーブル 1 参照）にそのタイプを示す必要があります。

テクスチャファイルが複数のジオメトリタイプのハイブリッドを含む場合、ファイル内の**「TextureType（テクスチャタイプ）」**の値として 0 を使用する必要があります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

表 7.18。テクスチャ付きレプタイルファイルにおけるジオメトリタイプの値。

Geometry Type	Value	Description
Hybrid	0	Only used for Line 5 (i.e., TextureType) in the Texture File. This value indicates that the file contains multiple Geometry Types.
Cone	2	As per Standard RepTile
Sphere	3	As per Standard RepTile
Hip Roof	4	As per Standard RepTile
Ellipsoid	8	As per Standard RepTile
Log	9	As per Standard RepTile
Enhanced Prism	10	As per Standard RepTile
Flattened Cone	11	As per Standard RepTile
Pointed Cone	12	As per Standard RepTile
DMD Mirror	13	As per Standard RepTile
Block	14	As per Standard RepTile
Chiseled Log	15	As per Standard RepTile
Torus	16	As per Standard RepTile
Asphere	17	As per Standard RepTile
Polygon	18	As per Standard RepTile
Pyramid	19	As per Standard RepTile
Circular Hip Roof	20	As per Standard RepTile
Tetrahedron	21	As per Standard RepTile

各ジオメトリタイプにおけるパラメータ指定

表 1 に示されているように、指定されたジオメトリタイプの個々のフィーチャを記述するパラメータがいくつか存在します。パラメータの数はジオメトリタイプによって異なります。表7.19は、パラメータのリストを提供し、フィーチャジオメトリにおいて各パラメータが何を示すかを示しています。すべてのパラメータはミリメートルまたは度で表され、倍精度浮動小数点数（Double データ型）です。例えば、球体フィーチャの場合、ジオメトリタイプとバンプ符号に加えて、各データ行に 4 つの追加の値が必要です。これらのパラメータは、x 中心、y 中心、半径、および高さ / 深さです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブル 7.19 各形状タイプにおけるテクスチャ付き RepTile ファイルパラメータ値

Parameter Number (Param@)														
Geometry Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cone	x center	y center	height/ depth	end radius	cone angle	chamfer height	chamfer angle							
Sphere	x center	y center	radius	height / depth										
Hip Roof	x center	y center	height/ depth	y width	y angle	x width	x angle	orient. angle						
Ellipsoid x center	y center	center ht/ dpth	x radius	y radius	z radius	x rotate	y rotate	z rotate						
Log	x center	y center	center ht/dpth	length	end1 radius	end2 radius	x rotate	y rotate	z rotate	radius ratio	axis rotate			
Enhanced prism	x center	y center	x width	y width	height/ depth	x0 angle	x1 angle	y0 angle	y1 angle	orient. angle	y0 peak radius	y1 peak radius	y0 trough radius	y1 trough radius
Flattened Cone	x center	y center	height/ depth	end radius	cone angle	peak radius	trough radius							
Pointed Cone	x center	y center	height/ depth	cone angle	peak radius	trough radius								
DMD Mirror	x center	y center	height/ depth	DMD thickness	DMD width	center hole width	post width	tilt (deg)	orient- ation (deg)					
Block	x center	y center	height/ depth	x width	y width	z width	x rotate	y rotate	z r otate					
Chiseled-Log	x center	y center	height/ depth	cone length	end1 radius	end2 radius	end1 tilt	end2 tilt	radius ratio	orient- ation (deg)				
Torus	x center	y center	height/ depth	major radius	minor radius									
Asphere	x center	y center	radius curvature	conic constant	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Polygon	x center	y center	radius	depth/ height	thick- ness	no. of sides	x rotate	y rotate	z rotate					
Pyramid	x center	y center	pyramid angle (deg)	no. of sides	orient- ation (deg)									
Circular-Hip Roof	x center	y center	height/ depth	inner radius	width	angle 0	angle 1							
Tetra- hedron	x center	y center	height/ depth	Top X	Top Y	Point 1 X	Point 1 Y	Point 2 X	Point 2 Y	Point 3 X	Point 3Y			

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

第 8 章 マクロ言語の使用

Scheme 言語

TracePro には Scheme プログラミング言語が搭載されています。Scheme は、ビューの操作、ジオメトリの編集、ループや分岐を含むマクロプログラムの作成のための、強力で柔軟なマクロ言語です。利用可能なマクロコマンドは数千に及びます。マクロコマンドのオンラインドキュメントにアクセスするには、TracePro のメニューバーから**「ヘルプ | マクロリファレンス」**を選択してください。マクロリファレンスはヘルプファイルのように機能するように設計されています（図 8.1 を参照）。

LISP 言語の一種である SCHEME は、MIT で開発されました。LISP は主に人工知能アプリケーションに使用されます。

ソフトウェア開発者にとって Scheme 言語の利点は、拡張が容易なことです。TracePro は、TracePro のユーザーインターフェースでできるほとんどすべてのことを、Scheme コマンドでも実行できるように設計されています。Scheme を始める良い方法は、TracePro のマクロレコーダー機能（**マクロ | レコーダー**）を使用して、ユーザー入力に対応する Scheme コマンドを確認することです。

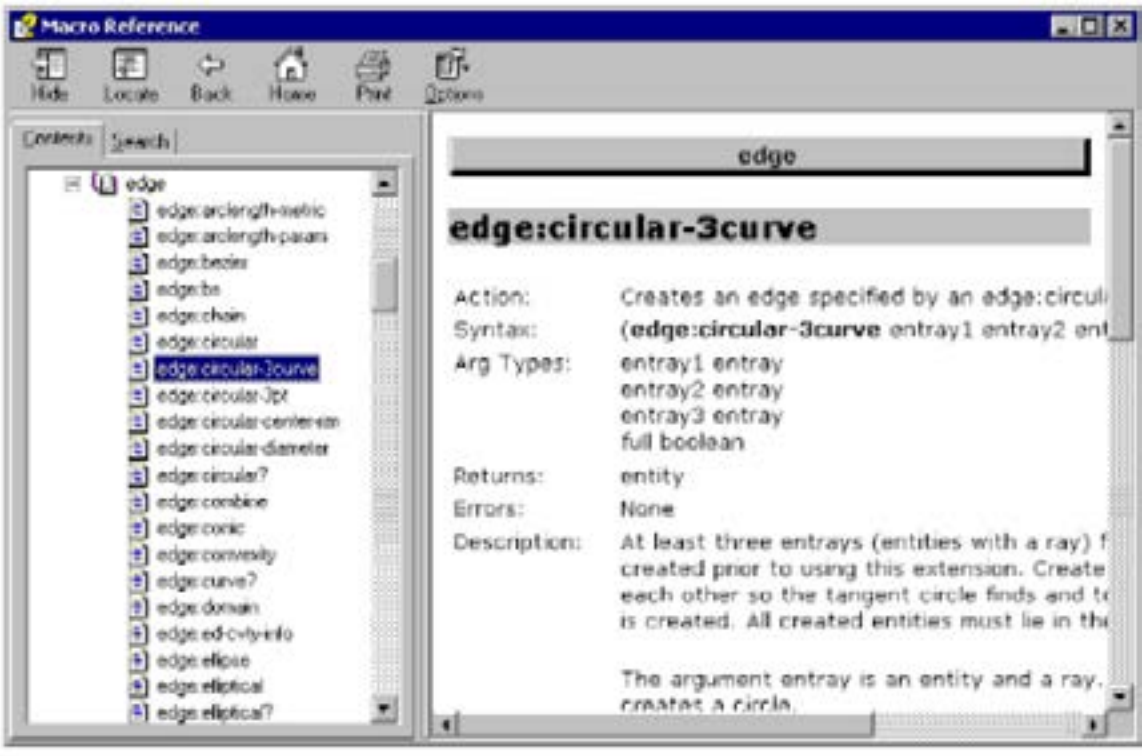


FIGURE 8.1 - The TracePro Macro Reference. Contents

Notepad++

概要

Notepad++ テキストエディタは、スキームマクロファイルの作成と編集に利用できます。Notepad++ は、Scheme ファイル用の言語テンプレートを持つ、高機能なオープンソースのプログラマー向けエディタです。Notepad++ は、Lambda Research によって TracePro スキーム

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

拡張機能で強化されています。TracePro の「マクロ」メニューから、または Windows の通常の方法で Notepad++ を起動できます。

Notepad++ には独自のヘルプシステムがあります。

Notepad++ でオートコンプリートを有効にする

TracePro はインストールプロセス中に Notepad++ をインストールします。ただし、コマンドのオートコンプリートは、Notepad++ のインストール時にはデフォルトで有効になっていません。Notepad++ でオートコンプリートを有効にするには、「設定｜環境設定」を選択し、「オートコンプリート」を選択します。最後に、「各入力時にオートコンプリートを有効にする」チェックボックスをオンにします。「___ 文字目から」設定を変更することで、オートコンプリートの候補が表示されるまでに入力する文字数を変更することもできます。

TracePro に Scheme コマンドを送信する

スキームファイル内の選択したコードを TracePro に送信して、すぐに実行できます。これを行うには、まず送信したい行を選択し、「プラグイン｜ TracePro ｜送信」または Ctrl-F5 を選択します。何も選択されていない場合は、ファイル全体が TracePro に送信されます。

マクロレコーダー

マクロレコーダーは、セッション中に使用された TracePro コマンドをキャプチャし、同等の Scheme コマンドをファイルに保存します。保存されたファイルは、**「マクロ｜ロード」**コマンドを使用して TracePro で実行し、**「マクロ｜レコーダー｜開始」**と**「マクロ｜レコーダー｜停止」**コマンドの間に保存されたシステムや結果を再現できます。ファイルは、新しい結果を返すように、または入力パラメータを含む関数になるように編集および変更することもできます。

記録状態

マクロ記録中、**「開始」**メニューが変更され、記録プロセスの中断が可能になります。次のオプションが表示されます。

開始 : マクロファイルが開いていません。「開始」を押して新しいマクロを作成します。
一時停止 : マクロファイルが開いており、コマンドがファイルに保存されています。「一時停止」を押して現在のマクロファイルを保持しますが、記録を一時的に停止します。
再開 : マクロファイルが開いていますが、現在コマンドを受信していません。「再開」を押して記録を再開します。
停止 : マクロファイルが開いており、上記のようにコマンドを受信している可能性があります。「停止」を押して現在のマクロの記録を停止し、ファイルを閉じます。

マクロの形式と例

マクロの選択 :「マクロ | レコーダー | 開始」メニューを選択すると、マクロレコーダーダイアログが開きます。

マクロ名は、定義され、ファイルパスで指定されたファイルに保存される関数です。異なるモデルやビュー間を切り替える場合は、「ビュー変更を記録」を選択して、モデルコマンドとウィンドウコマンドをキャプチャします。

補足説明：

「Macros|Recorder|Start menu」は、ソフトウェアのメニュー構成によって表記が変わる可能性があります。

「File Path」は、マクロを保存する場所を指定するファイルパスです。

「Record view change」は、モデルやビューの切り替え操作をマクロに記録するためのオプションです。

「Model and Window commands」は、モデルの操作やウィンドウの表示に関するコマンドです。

Figure 1 Macro Recorder

以下の出力は、新規作成されたモデルウィンドウから得られたものです。グラフィカルユーザーインターフェース（GUI）のコマンドを用いて、球体を作成し、ショット BK7 という材料特性を付与し、標準設定の光線グリッドによる光線追跡を実行しました。

```
(define Macro1
        (lambda ( )
          (define Macro1_ID_1
       (geometry:sphere 10))
       (property:apply-name Macro1_ID_1 “Sphere 1”)
(edit:move Macro1_ID_1 0 0 12)
(property:apply-material (entity 19) “SCHOTT” “BK7” (gvector 0 0
0))
(raytrace:set-grid-source-flag “Grid Source 1” #t)
(raytrace:all-sources)
))
```

この関数を呼び出すには、**「マクロ | マクロのロード」**を使用してファイルをロードし、Macro1.scm を選択し、マクロウィンドウにコマンド「(Macro1)」を入力します。記録されたコマンドをテンプレートとして使用するために引数を追加したり、記録されたとおりにマクロを使用して既知のモデル状態に戻したりできます。

マクロコマンドの例

以下のセクションでは、Scheme コマンドを TracePro でどのように使用できるかの例をいくつか示します。Scheme コマンドを使用する方法は 2 つあります。

1. テキストファイル（デフォルトの拡張子は *.scm）に保存された Scheme プログラムの一

部として使用する。または
メッセージ / マクロウィンドウの下部にあるコマンドラインに入力する。

以下のセクションのすべてのコマンドは、その効果を示すためにコマンドラインに入力できます。

コマンドラインからマクロコマンドを実行する

マクロコマンドを発行するには、コマンドラインからコマンドを実行できるマクロウィンドウを開きます。「マクロ」メニューから**「マクロ | メッセージ / マクロ」**を選択します。

コマンドを入力するには、メッセージ / マクロウィンドウの下部にある 1 行のテキストボックス（図 8.2）に入力します。コマンドを実行するには、「実行」ボタンを選択します。

注：すべてのコマンドは括弧で囲む必要があります。

メッセージ / マクロウィンドウは、マウスで角または端をドラッグしてサイズを変更できます。標準の Windows ボタンとメニューを使用して、最大化または最小化できます。

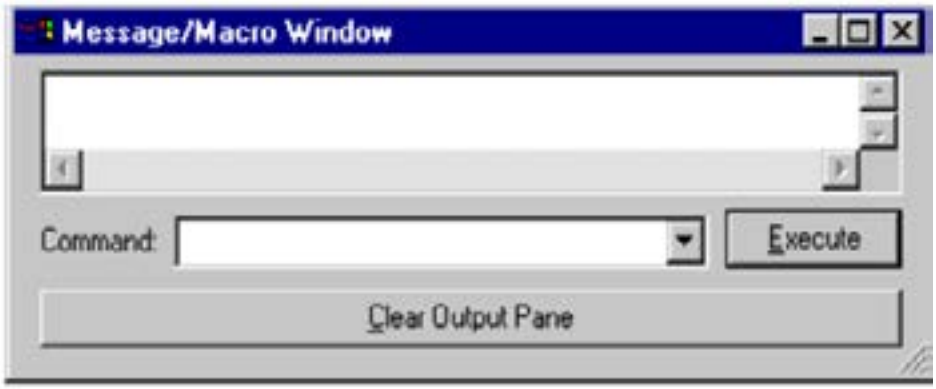


FIGURE 8.2 - The Message/Macro Output Window

Scheme プログラムをファイルから実行する

マクロプログラムを実行するには、TracePro の Macros|Load から *.scm ファイルを開きます。ファイルがロードされると実行されます。情報メッセージは Message/Macro ウィンドウに表示されます。このウィンドウは、光線追跡時の情報メッセージ表示にも使用されます。

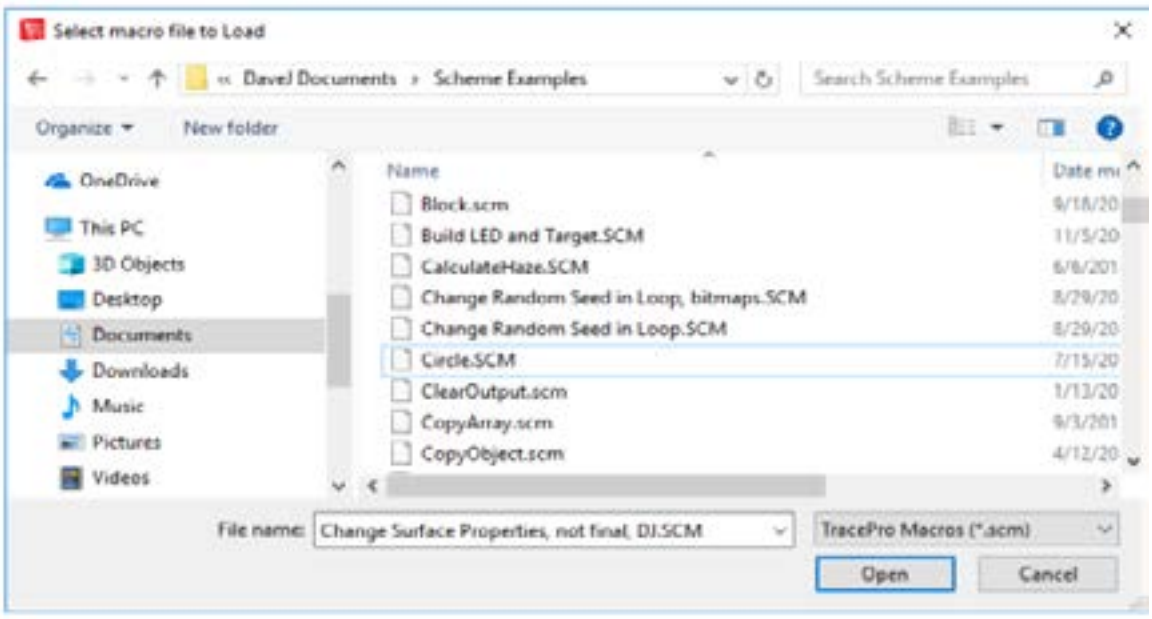


FIGURE 8.3 - The Macro|Load/Execute Dialog Box.

ジオメトリの作成

ソリッドオブジェクトは、ジオメトリクラスを使って作成されます。

例：(geometry:cylcone) や (geometry:block)

ソリッドオブジェクトには名前を付けることもでき、後で移動、回転、ブール演算などで操作できます。

ソリッドブロックの作成：

(geometry:block (position 0 0 0) (position 20 30 40))

これは、一方の角が (0,0,0) に、もう一方の角が (20,30,40) にある、座標軸に平行なブロックを作成します。

blk1 という名前のソリッドブロックの作成：

(define blk1 (geometry:block (position 0 0 0) (position 20 30 40)))

これは、一方の角が (0,0,0) に、もう一方の角が (20,30,40) にある、座標軸に平行な blk1 という名前のブロックを作成します。オブジェクトに名前を付けると、追加の操作を実行できます。名前はマクロコマンドセッション中にのみ有効です。モデルと一緒に保存されません。

ソリッドシリンダ（円柱）の作成：

(geometry:cylcone 30 10)

これは、一端が (0,0,0) にあり、長さが 30、半径が 10 のソリッド円柱を作成します。円柱の軸は z 軸に沿っています。

ソリッド楕円柱の作成：

(geometry:cylcone 30 10 5)

これは、一端が (0,0,0) にあり、長さが 30、楕円半径が 10 と 5 のソリッド楕円柱を作成します。このコマンドと前のコマンドの唯一の違いは、引数リストに追加の数値があることです。スキー

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ムインタプリタは、コンテキストから楕円柱を作成する必要があると判断します。

ソリッド円錐の作成：

(geometry:cylcone 30 10 10 5)

これは、一端が (0,0,0) に、もう一端が (20,30,40) にあり、最初の端の半径が 10、2 番目の端の半径が 5 のソリッド円錐を作成します。

ソリッド楕円錐の作成：

(geometry:cylcone 30 10 5 5)

これは、一端が (0,0,0) にあり、最初の端の長半径が 10、短半径が 5、2 番目の端の長半径が 5 のソリッド円錐を作成します。楕円形の端は、長軸と短軸の比率が同じ (2) です。

ソリッドトーラスの作成：

(geometry:torus 10 5)

これは、中心が (0,0,0) にあり、長半径が 10、短半径が 5 のソリッドトーラスを作成します。トーラスの対称軸は z 軸に沿っています。長半径が短半径よりも大きい場合、ドーナツ型のソリッドが作成されます。長半径が小さい場合、リンゴ型のオブジェクトが作成されます。長半径が負の場合、レモン型のソリッドが作成されます。

ブーリアン演算

コマンドラインからもブーリアン演算を実行できます。

ブーリアン減算

(edit:boolean-subtract solid1 solid2)

これは、solid2 という名前のソリッドを solid1 という名前のソリッドから減算します。結果のソリッドは solid1 という名前になります。3 つ以上のオブジェクト名が指定された場合、後続のすべてのオブジェクトが最初のオブジェクトから減算されます。

ブーリアン結合

(edit:boolean-unite solid1 solid2)

これは、solid2 という名前のソリッドを solid1 という名前のソリッドと結合します。結果のソリッドは solid1 という名前になります。3 つ以上のオブジェクト名が指定された場合、すべてのオブジェクトの結合が計算されます。

ブーリアン交差

(edit:boolean-intersect solid1 solid2)

これは、solid2 という名前のソリッドと solid1 という名前のソリッドの交差を計算します。結果のソリッドは solid1 という名前になります。3 つ以上のオブジェクト名が指定された場合、すべてのオブジェクトの交差が計算されます。

マクロプログラム

独自のマクロプログラムを作成し、ASCII テキストファイルに保存できます。Scheme ファイルのデフォルトの拡張子は scm です。テキストエディタを使用してファイルを作成できます。TracePro 内の「マクロ | ロード」メニュー選択を使用してファイルを開くことで、保存されたマクロプログラムを実行できます。

Lambda Research の Web サイト（http://www.lambdares.com）の TracePro テクニカルサポートセクションの「例」というホットリンクの下に、いくつかのサンプルマクロプログラムがあります。

Scheme を使用した TracePro メニュー選択へのアクセス

TracePro のユーザーインターフェースを使用して実行できる多くの機能は、Scheme コマンドでも実行できます。TracePro コマンドは、対応する TracePro メニューによってグループ化されています。

マクロコマンドの全コレクションは、スタートメニューからアクセスできるオンラインのマクロリファレンスで参照できます。

Scheme の詳細について

MIT の Scheme ホームページを参照してください。

http://www-swiss.ai.mit.edu/scheme-home.html（非常に技術的）

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

および、R. Kent Dybvig 著の参考書「The Scheme Programming Language, Fourth Edition」（MIT Press）を参照してください。この本は書店で購入できますが、著者は寛大にも全文を http://www.scheme.com/tspl4/ でオンラインで公開しています。

TracePro COM インターフェース

TracePro には、TracePro が他の Windows ソフトウェアと通信できるようにする COM（Component Object Model）プログラミングインターフェースが含まれています。TracePro の COM サポートにより、TracePro の実行を制御するプログラムを作成できます。これは、COM インターフェースを介して Scheme コマンドを含む文字列を TracePro に渡すことによって行われます。

COM をサポートする任意のプログラミング言語を使用して、TracePro COM オブジェクトのインスタンスを作成し、オブジェクトのメソッドを呼び出すことができます。最も一般的に使用されるプログラミング言語は、Visual Basic、C#、および C++ です。

このセクションでは、読者が COM プログラミングに精通していることを前提としています。

TracePro COM

TracePro は、TracePro と同じコンピュータで実行されている COM クライアントで使用するためのアウトオブプロセス COM サーバーです。クライアントは、サーバーが実行されているかどうかに関係なく、COM オブジェクトを作成できます。COM クライアントは、登録された TracePro のリリースを開始できます。COM 経由で TracePro が開始されると、起動オプション、自動ロードスキーム、および更新の確認は実行されません。COM プログラマーは、COM 関数呼び出しを使用して、必要な起動動作を実装できます。

TracePro タイプライブラリ

タイプライブラリ TracePro.tlb には、さまざまなエディションの TracePro の COM オブジェクトとインターフェースが含まれます。Program Files ディレクトリに TracePro とともにインストールされるタイプライブラリが 1 つあります。作成する C++ COM クライアントプログラムにこのタイプライブラリをインポートする必要があります。

Visual Basic および C# プログラムの場合、Visual Studio はレジストリを読み取ってインストールされたタイプライブラリを見つけ、これらを参照としてリストします。TracePro タイプライブラリへの参照を追加する必要があります。これは、「TracePro タイプライブラリ」バージョン 1.0 としてリストされます。

TracePro< エディション > オブジェクト

TracePro< エディション > COM オブジェクトは Windows レジストリに登録されており、TracePro をプログラムで制御するために使用できます。エディションは、ST（TracePro Standard）または XP（TracePro Expert）のいずれかになります。各 TracePro エディションの実行可能ファイルには、TracePro と対話するためのメソッドを提供する一意の TracePro オブジェクトがあります。ライセンスされている TracePro のエディションのバージョンに依存しないプログラム識別子を使用します。TracePro Expert の場合は TracePro.TraceProXP を使用し、TracePro Standard の場合は TracePro.TraceProST を使用します。エディション COM オブジェクトは ITracePro インターフェースを実装して、TracePro と対話するためのメソッドを提供し

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ます。

GetActiveObject へのシステム呼び出しは、最初に実行された TracePro の最初のインスタンスの TracePro エディションオブジェクトを返します。TracePro が実行されていない場合は、エラーを返します。CreateInstance へのシステム呼び出しは、オブジェクトが存在しない場合は新しいオブジェクトを作成し（したがって TracePro を開始します）、またはアクティブな TracePro エディションオブジェクトを返します。アクティブな TracePro エディションオブジェクトは、最初に開始された TracePro エディションのインスタンスからのものです。TracePro エディションオブジェクトは、オブジェクトの一意のインスタンスを見つけることができるモニカーにも登録されます。名前は TracePro_PID_ であり、PID は TracePro のインスタンスのプロセス ID です。最初のインスタンスが必要ない場合は、このモニカー名を使用して TracePro の特定のインスタンスに接続できます。

TracePro インターフェース

HRESULT GetTraceProModulePathname([out, retval] BSTR Pathname);*

このメソッドは、TracePro の完全なパス名を返します。

*HRESULT GetVersionString([out, retval] BSTR pVersion);

文字列「メジャー . マイナー . リリース . ビルド」を返します。
HRESULT ExecuteSchemeString([in] BSTR Expressions, [out] BSTR pResult, [out, retval] LONG pNestLevel);**

TracePro は、Expressions 内のスキームコードを実行し、完了するまで待機します。これは、TracePro のメッセージ / マクロウィンドウのコマンドラインのように動作します。

Expressions: 実行するスキームコードを含む文字列。この文字列は、複数の式を表し、不完全なスキーム式で終わることができます。

pResult: これは、Expressions 内の最後の完全なコマンドによって返される文字列、または Expressions 内の TracePro スキームコマンドで引数エラーが発生した場合のエラー文字列を含みます。Expressions の処理は、エラーまたは例外で停止します。

pNestLevel: これは、不完全な式を完了するために必要な右括弧の数を含みます。最後の式が完全な場合は 0、エラーが発生した場合は -1 になります。

注意 : TracePro スキームコマンドからの COM 引数エラーは検出されますが、ACIS はエラーメッセージを出力し、ACIS スキームコマンドまたは未バインド変数などの一般的なスキームエラーで問題が発生したことを知る方法を提供しません。

HRESULT BackgroundExecuteSchemeString([in] BSTR Expressions);

TracePro は、Expressions 内のスキームコードを実行し、スキーム処理が完了する前にすぐに返します。

Expressions: 実行するスキームコードを含む文字列。この文字列は、複数の式を表し、不完全なスキーム式で終わることができます。

HRESULT LoadSchemeFile([in] BSTR SchemeFile, [out, retval] VARIANT_BOOL pSuccess);*

TracePro は、SchemeFile をロードして実行します。

SchemeFile: スキームコードを含むファイルへのパス名。

pSuccess: スキームコードがエラーなしでロードおよび実行された場合は true になります。エラーが発生した場合は false が返され、TracePro 出力ウィンドウにエラーメッセージが表示されるはずです。

*HRESULT IsUserInControl([out, retval] VARIANT_BOOL pUserInControl);

このメソッドは、TracePro ユーザーインターフェースが表示されている場合は true を返します。

HRESULT AllowUserControl();

TracePro のユーザーコントロールを許可します。

補足 :

HRESULT: COM（Component Object Model）で使用される戻り値の型で、関数の成功または失敗を示します。

BSTR: COM で使用される文字列型です。

VARIANT_BOOL: COM で使用されるブール型（真偽値）です。

Scheme: TracePro で使用されるスクリプト言語です。

ACIS: 3D モデリングカーネルです。

デフォルトの MFC アプリケーションで、COM サーバーでもあるものは、アプリケーションが実行されていない状態で COM オブジェクトが作成された場合、ユーザーインターフェースを表示しません。アプリケーションがまだ実行されていない場合に TracePro のユーザーインターフェースを表示させるには、このコマンドを使用してください。注意:ユーザーインターフェースが表示され、ユーザーが制御している状態でユーザーが TracePro を終了することを選択した場合、すべての COM オブジェクトが破棄されます。

TracePro COM サーバーの変更

インストールされている別のリリースを実行したい場合は、インストールディレクトリにある TracePro.exe を使用して COM オブジェクトを登録する必要があります。管理者として以下を実行してください。

TracePro.exe /register

TracePro の早期公開（EV）リリースをインストールし、COM クライアントを公式リリースと通信させたい場合は、公式リリースを再登録する必要があります。

TracePro DDE インターフェース

TracePro は、DDE サーバーとして使用することで、別のアプリケーションから制御できます。すべての DDE サービス、トピック、およびアイテム名は、大文字と小文字を区別しません。DDE Execute コマンド文字列も大文字と小文字を区別しません。インタラクションの多くは Scheme コマンドの送信に基づいているため、インターフェースはマクロ機能とともに文書化されています。

はじめに

DDE（Dynamic Data Exchange）は、異なるプログラム間で情報を共有するための Windows

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

プロトコルです。DDE は、SERVICE、TOPIC、ITEM の 3 つの名前の階層を使用します。DDE CONVERSATION は、サービス名とトピック名のペアを使用して確立されます。名前のアイテム部分は、会話が確立された後にクライアントによって要求される特定のデータまたはコマンドを識別するために使用されます。

会話を確立するために、DDE クライアントは接続したいサービス / トピック名のペアを指定します。Windows は、すべてのトップレベルウィンドウにリクエストをブロードキャストします。最初に受け入れたサーバーがクライアントに接続され、会話が確立されます。会話を開始するアプリケーションはクライアントと呼ばれます。クライアントアプリケーションに応答するアプリケーションはサーバーと呼ばれます。

DDE 会話中、クライアントアプリケーションとサーバーアプリケーションは、アイテムに関するデータを交換します。アイテムは、会話内の両方のアプリケーションにとって意味のあるデータへの参照です。どちらのアプリケーションも、会話中にアイテムを変更できます。

クライアントアプリケーションが会話の確立を開始するのと同様に、すべてのトランザクションも開始します。一度限りのサーバーからのデータ要求（REQUEST トランザクション）、データアイテムに関する最新情報の要求（ADVISE または NOTIFY トランザクション）、サーバーへのコマンドの付与（EXECUTE トランザクション）、およびサーバーへの未承諾データの送信（POKE トランザクション）が可能です。クライアントは、これらのすべてのトランザクションに識別子のアイテム部分を関連付けます。リクエストトランザクションでクライアントに必要なデータ、実行トランザクションでサーバーが実行するアクション、またはポケトランザクションでサーバーに渡されるデータをサーバーに通知します。

また、名前のアイテム部分をデータ自体として使用し、トピック名を使用してデータが使用されるコンテキストを示すことも可能です。

サービス名

DDE サーバーとして機能するすべてのアプリケーションは、固有のサービス名を持ちます。サービス名は通常、拡張子のないアプリケーションの実行可能ファイル名です。サービス名は大文字と小文字を区別しません。以下に、一般的に使用されるサービス名をいくつか示します。

- TracePro のサービス名は TracePro です。
- OSLO のサービス名は OSLODDE です。
- MATLAB のサービス名は Matlab です。
- Microsoft Word for Windows のサービス名は WinWord です。
- Microsoft Excel のサービス名は Excel です。

トピック

トピックは、DDE 会話の主題を定義し、通常はクライアントアプリケーションとサーバーアプリケーションの両方にとって意味のあるものです。トピック名は大文字と小文字を区別しません。TracePro のトピックは System と Scheme であり、以下で説明します。

アイテム

各トピックは、1 つまたは複数のアイテムをサポートします。アイテムは、DDE 会話中に渡されるデータを識別します。TracePro のアイテムは大文字と小文字を区別しません。Scheme ア

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

イテムは、実行のためにサーバーに渡される TracePro マクロコマンドです。コマンドの結果は、REQUEST トランザクションを使用してクライアントによって取得されるか、EXECUTE トランザクションを介して TracePro に送信されます。

クリップボードフォーマット

DDE は、アプリケーション間で送信されるデータのフォーマットに Windows クリップボードフォーマットを使用します。TracePro は、サーバーモードでテキスト形式のみをサポートします。

TracePro DDE サーバー

System トピックで「SysItems」を要求すると、そのトピックで利用可能なアイテムのリストが取得されます。

- SysItems - タブ区切りのアイテムリストを返します。
- Topics -「System」および「Scheme」トピックを返します。
- Formats - データ転送に利用可能な形式を返します。TracePro でサポートされている形式はテキスト形式のみです。
- TopicItemList - 現在のトピックのタブ区切りのアイテムリストを返します。

テキスト形式（CF_TEXT）は、特定のサーバーでサポートされているトピックとアイテムに関する情報を取得するために、System トピックへのすべての要求に使用する必要があります。

Scheme トピックは特定のアイテムを提供しませんが、サーバーに送信されたテキストを TracePro マクロコマンドとして実行しようとします。Request トランザクションが使用される場合、TracePro コマンドの結果はテキスト文字列として返されます。

会話の確立

TracePro をサーバーとしてアクセスする場合、そのサービス名と 1 つ以上のトピックを指定して CHANNEL を確立する必要があります。TracePro は、1 つまたは複数のアプリケーションからの複数のチャネルをサポートできます。通常、システムトピックは、特定のサーバーでサポートされているトピックとアイテムに関する情報を取得するために使用されます。スキームトピックは特定のアイテムを提供しませんが、TracePro マクロコマンドとしてサーバーに送信されたテキストを実行しようとします。リクエストトランザクションが使用される場合、TracePro コマンドの結果はテキスト文字列として返されます。

Excel 97/2000 の例

次の例は、MS Excel と TracePro 間の DDE 会話を示しています。DDEInitiate コマンドは、Scheme トピックのチャネルを開くために使用されます。DDEExecute は、戻り値なしで TracePro にコマンドを送信して新しいモデルを開くために使用されます。会話は、DDETerminate コマンドで終了します。

```
Public Sub DDEtoTracePro()
    Dim strApp As String
    Dim strTopic As String
```

```
        strApp = “TracePro”
        strTopic = “scheme”

        channelNumber = Application.DDEInitiate(strApp, strTopic)

         Application.DDEExecute channelNumber, “(file:new)”

        Application.DDETerminate channelNumber
End Sub
```

第 9 章 例

RepTile の例 Expert

一般的に、RepTile サーフェスを使用する手順は、最初に TracePro 内で RepTile サーフェスプロパティを作成し、次にそのプロパティを TracePro モデルの平面に適用することから構成されます。このセクションのすべての例は、構造が似ています。作成したいモデルに最も近い例を選択し、その例を作成するための手順に従ってください。

フレネルレンズ

この例では、フレネルレンズを作成します。フレネルレンズの重要な機能のいくつかを、図 9.1 に示します。

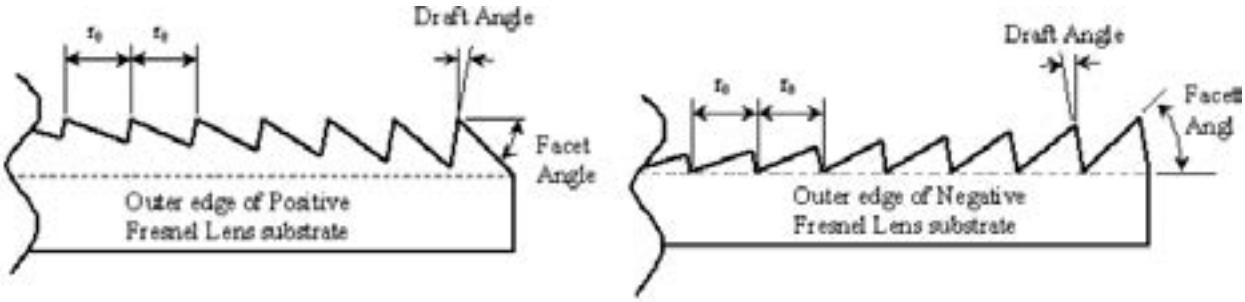


FIGURE 9.1 - Important construction features of positive and negative Fresnel lenses.

フレネルレンズの解析を開始するには、目的とするファセット角に関するデータを取得する必要があります。すでに製造されたレンズを解析する場合は、このデータは製造元から入手できます。設計段階にあるフレネルレンズを解析する場合は、TracePro 以外の計算（おそらく専門の光学設計プログラムによる計算）からファセット角データを取得する必要があります。

この演習の目的のために、ファセット角データを含むサンプルファイルを提供しました。フレネルレンズの例の角度ファセットのデータは、Lambda Research の Web サイトのテクニカルサポートセクションにある Fresnel Lens Arcsecs.txt ファイルに含まれています。このテキストファイルには、1 行に 1 つの整数が含まれています。この数値は、フレネルレンズのファセット角を秒単位で表したものです。このファイルを使用するには、角度を度単位に変換する必要があります。このファイルを確認するには、Microsoft Excel などのスプレッドシートプログラムを使用して開きます。ファセット角は、レンズの中心から端に向かって増加します。基板に必要な最小厚さを計算するには、最大のファセット角を知る必要があります。これは、ファイル内の最後の角度です。Excel でスプレッドシートの最後の行にすばやく移動するには、キーボードの <Ctrl - ↓ > を押します。Excel 画面は図 9.2 のようになり、スプレッドシートに 333 行あり、最後のファセット角が 171682 秒または 47.68944 度であることが示されます。各ファセットの幅が 0.5 mm であると仮定すると、最後のファセットの深さは 0.5 mm x tan(47.68944˚) = 0.549 mm です。基板を 2 mm の厚さにすると、最後のファセットの基部の厚さはほぼ 1.5 mm（基板の厚さ – 最も高いファセットの高さ = 基部の厚さ）になります。

要約 :

フレネルレンズの解析に必要なファセット角データの取得方法と、そのデータを用いた基板の最小厚さの計算方法について説明しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

データ取得 : 製造済みのレンズの場合は製造元から、設計段階のレンズの場合は光学設計プログラムなどからデータを取得します。

ファイル形式 : 提供されたサンプルファイルは、ファセット角を秒単位で表したテキストファイルです。

単位変換 : 秒単位の角度を度単位に変換する必要があります。

最大角度 : 基板の最小厚さを計算するために、最大のファセット角を特定します。

厚さ計算 : 最後のファセットの深さを計算し、基板の厚さを決定します。

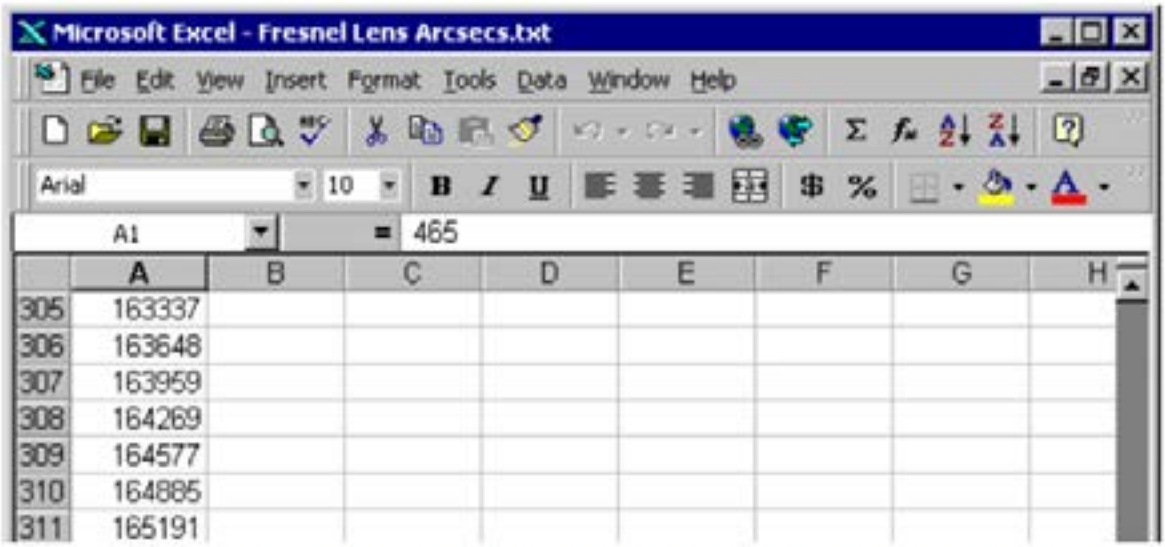


FIGURE 9.2 - The Fresnel Lens Arcsecs.txt file as it appears in Microsoft Excel.

まず、フレネルレンズを記述する RepTile サーフェスプロパティを作成します**定義**｜**プロパティデータの編集**｜**レプタイルプロパティ**を選択して、 r エプタイルプロパティエディタを開きます。エディタは図 9.3 のように表示されます。

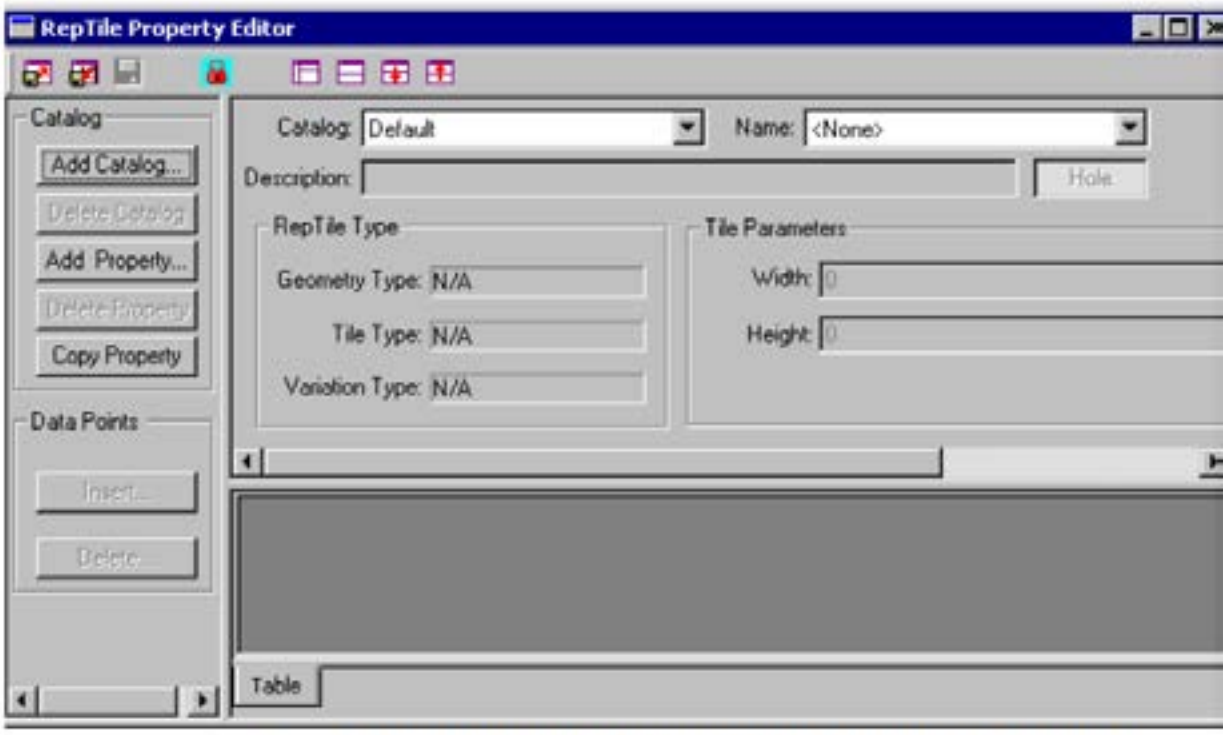


FIGURE 9.3 - The RepTile Property editor with no property selected.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

プロパティの追加：

1. 「Add Property」（プロパティを追加）ボタンをクリックし、ポップアップダイアログで名前を、例として「Fresnel Lens Example」と入力します。
2. ポップアップダイアログの「Geometry Type」（ジオメトリタイプ）ドロップダウンリストから「Fresnel」（フレネル）を選択します。
3. 同じダイアログの「Tile Type」（タイルタイプ）ドロップダウンリストから「Rings」（リング）を選択します。
4. 同じダイアログの「Variation Type」（バリエーションタイプ）ドロップダウンリストから「Variable Rings」（可変リング）を選択します。
5. 「OK」ボタンをクリックして、プロパティを作成します。

プロパティエディタの表示：

RepTile Property Editor に、作成したプロパティが表示され、追加の入力項目が表示されます（図 9.4 を参照）。

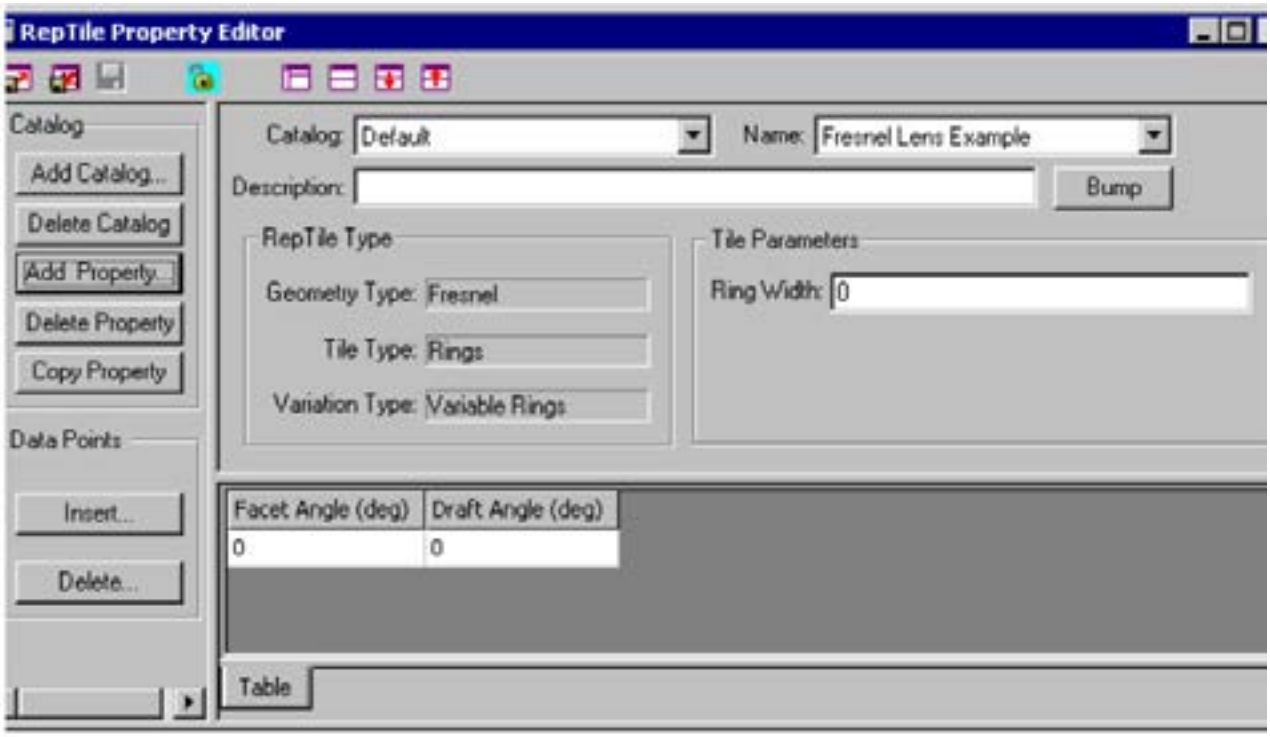


FIGURE 9.4 - A template for the Fresnel Lens Example RepTile property.

6. リング幅ボックスに 0.5（リング幅は mm 単位）を入力して、プロパティデータの入力を続けます。

これで、フレネルレンズ RepTile プロパティを作成するためのテンプレートができました。ファセット角と抜き勾配のデータを入力するために、このプロパティをテキストファイルにエクスポートし、スプレッドシートプログラムを使用します。

プロパティをエクスポートするには、まず**「ファイル | 保存」**を選択してプロパティを保存し、

次に**「ファイル | プロパティのエクスポート」**を選択してプロパティをテキストファイル

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

に保存します。スプレッドシートプログラム（この例では Microsoft Excel を使用）を使用してテキストファイルを開きます。開いたファイルは図 9.5 のように表示されます。

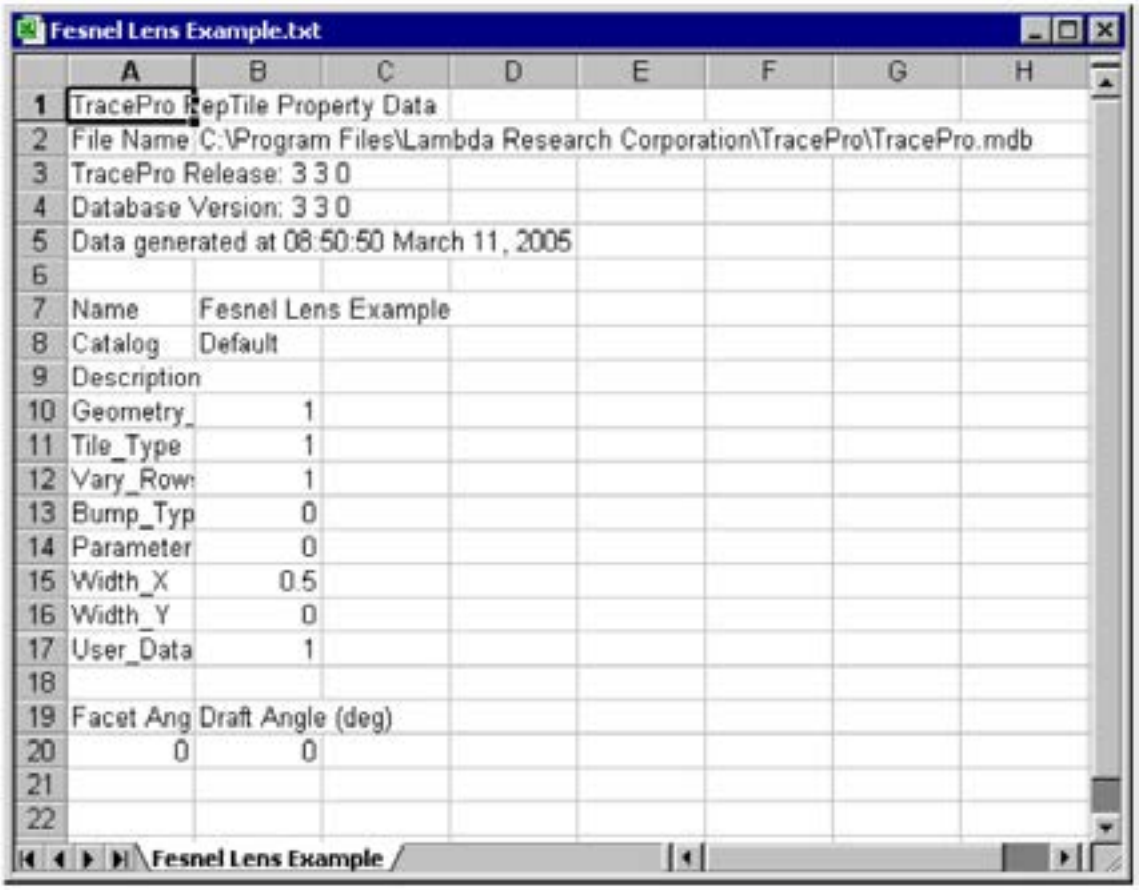


FIGURE 9.5 - The *Fresnel Lens Example* RepTile property exported text file after opening in Excel.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Excel で "Fresnel Lens Arcsecs.txt" ファイルを開き、1 列目のデータを使って 2 列目を計算します。2 列目には、1 列目の値を 3600 で割ったファセット角を度単位で入力します。"Fresnel Lens Arcsecs.txt" ファイルの最初の数行は、図 9.6 に示されているように表示されるはずです。

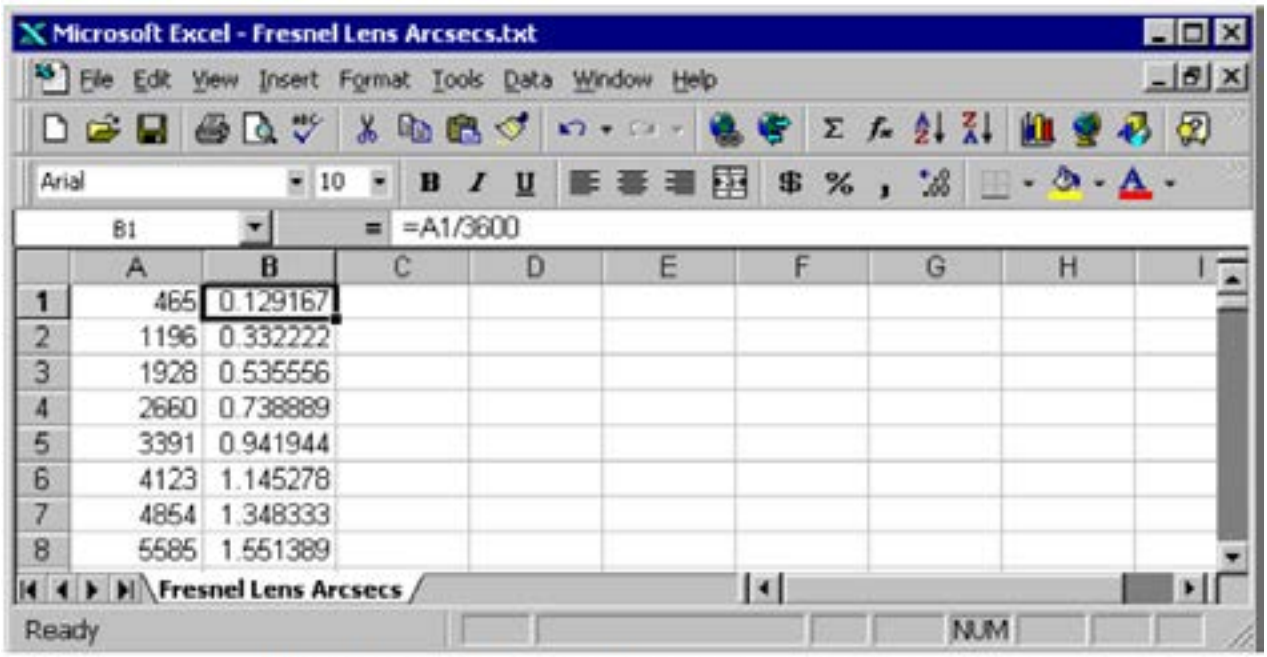


FIGURE 9.6 - The *Fresnel Lens Arcsecs* file with a second column containing facet angles in degrees.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

列 B 全体を選択し、コピーして、貼り付けのオプションで「値」を指定して、Fresnel Lens Example プロパティファイルのセル A19 に貼り付けてください。（Fresnel Lens Arcsecs のセル B1 を選択し、<Shift + Ctrl + ↓ > を押すことで、列を素早く選択できます。）ドラフト角の 2 列え x せ l 目に角度 2 を入力してください。各ファセットは異なる角度を持つことができますが、この例では一定の 2 度を使用します。プロパティは図 9.7 に示すように Excel に表示されるはずです。

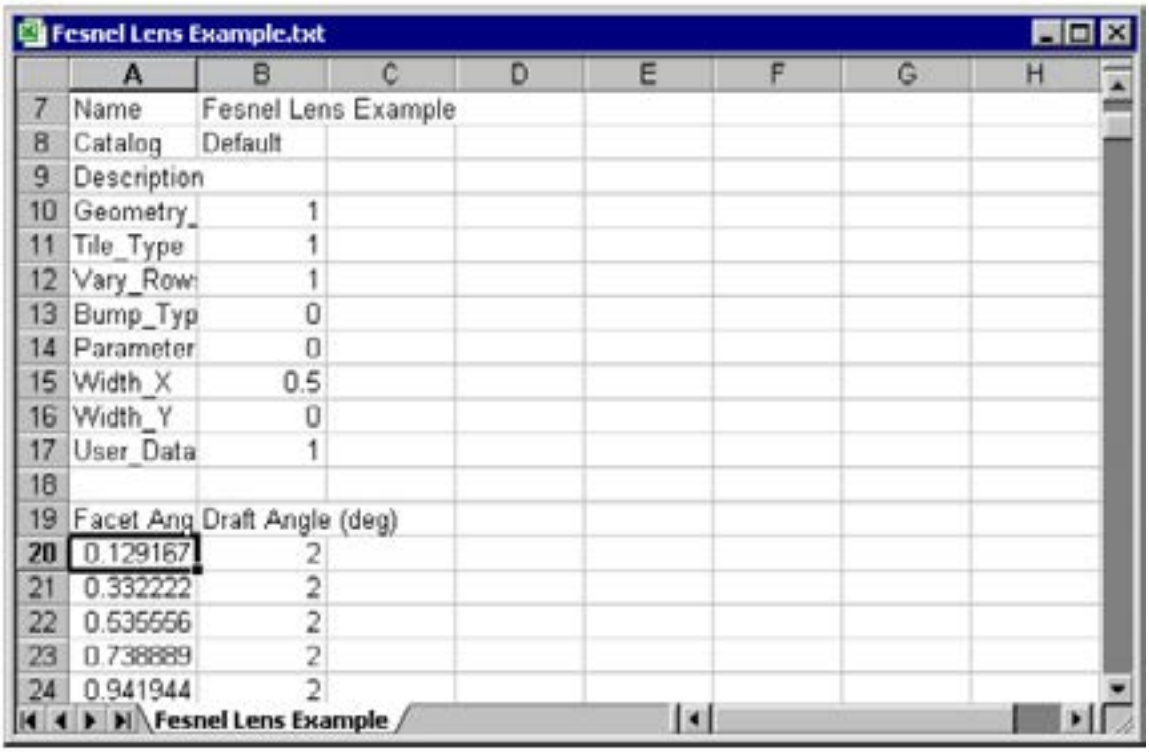


FIGURE 9.7 - The completed Fresnel Lens Example as shown in Excel.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ここで Excel から Fresnel Lens Example.txt を保存します。TracePro に戻ってレプタイルプロパティエディタを開き、ファイル｜インポートプロパティファイル｜インポートプロパティを選択します。Fresnel Lens Example.txt を指定して開きます。エディタウインドウが図 9.8 のようになるはずです。

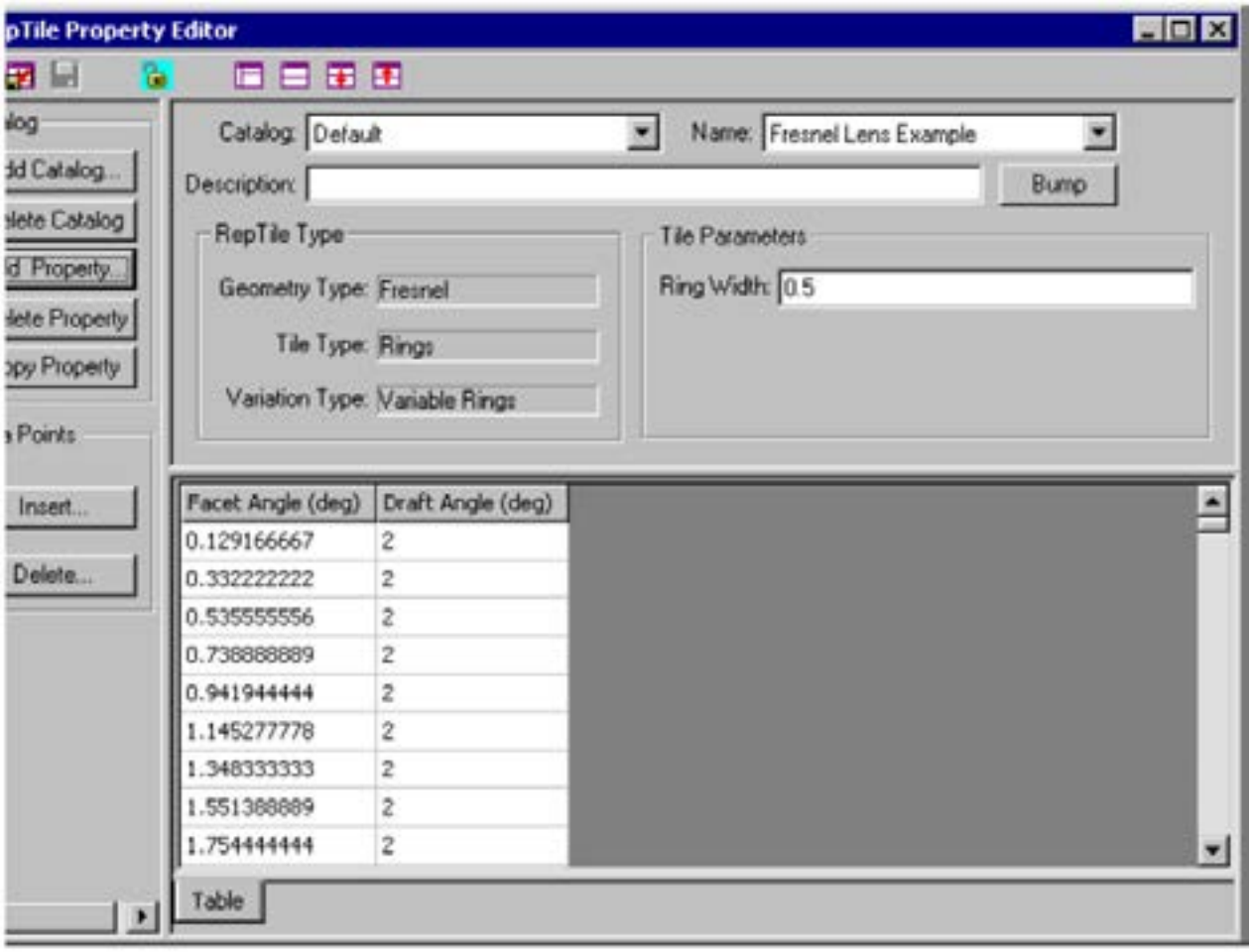


FIGURE 9.8 - The completed Fresnel Lens Example property after importing into the Property Editor.

これでプロパティエディタでのフレネルレンズの例の設定が完了しました。プロパティエディタを閉じ、データの保存を促すポップアップウィンドウが表示されたら、保存を選択してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

さて、作成したばかりの RepTile プロパティをオブジェクトに適用する準備が整いました。まず、オブジェクトの寸法を決定する必要があります。厚さは 2mm であることはすでに分かっています。また、幅 0.5mm のファセットが 333 個あることも分かっているので、最も外側のファセットの半径は 333 x 0.5mm = 166.5mm です。フレネルレンズの境界に正方形を使用する場合、最大で 166.5mm x √ 2 = 約 235mm の辺になります。また、光線が適切に逃げるように、RepTile サーフェスセル境界の周囲にマージンが必要です。したがって、240mm x 240mm、厚さ 2mm のオブジェクトを作成します。

7. TracePro で、**ジオメトリ｜プリミティブソリッド**ダイアログボックスを使用して、図 9.9 に示す寸法でブロックを挿入します。

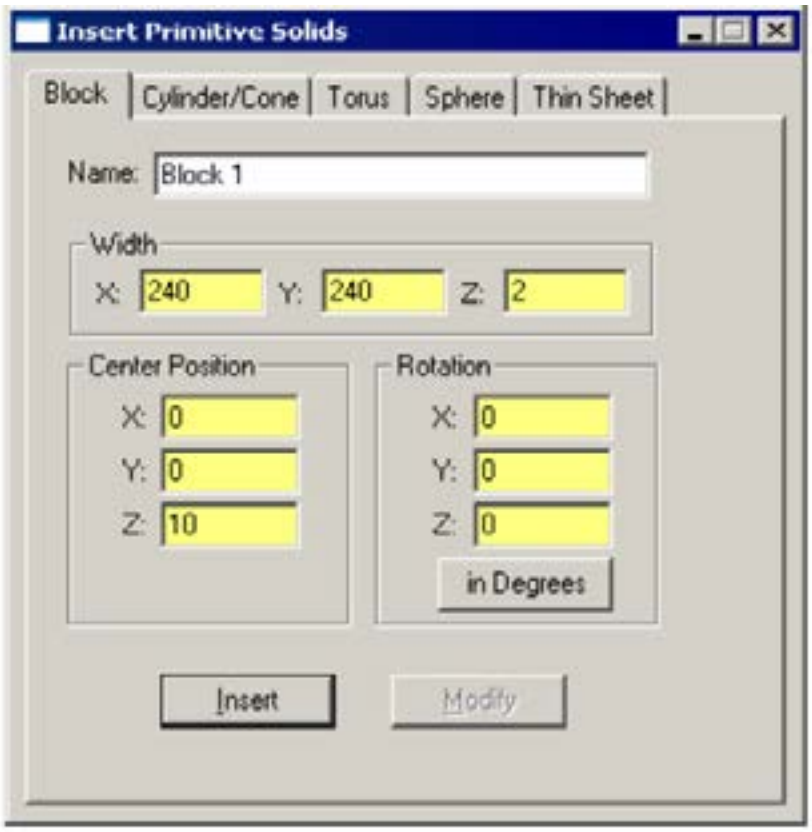


FIGURE 9.9 - Insert a block into a TracePro model as a substrate for the Fresnel lens.

8. 「プロパティの適用」ダイアログボックスを使用して、プラスチックカタログから「pmma」（ポリメチルメタクリレート、アクリル樹脂）という材質をブロックに適用します。これは、ブロックの材質を定義する操作です。

9. ブロックの「-z」面を選択し「プロパティの適用」ダイアログボックスの「レプタイル」タブを使用して、「RepTile」というサーフェスプロパティを適用し、図 9.10 に示されている値を入力します。

これらの操作により、フレネルレンズの中心がブロックサーフェスの中心に配置されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

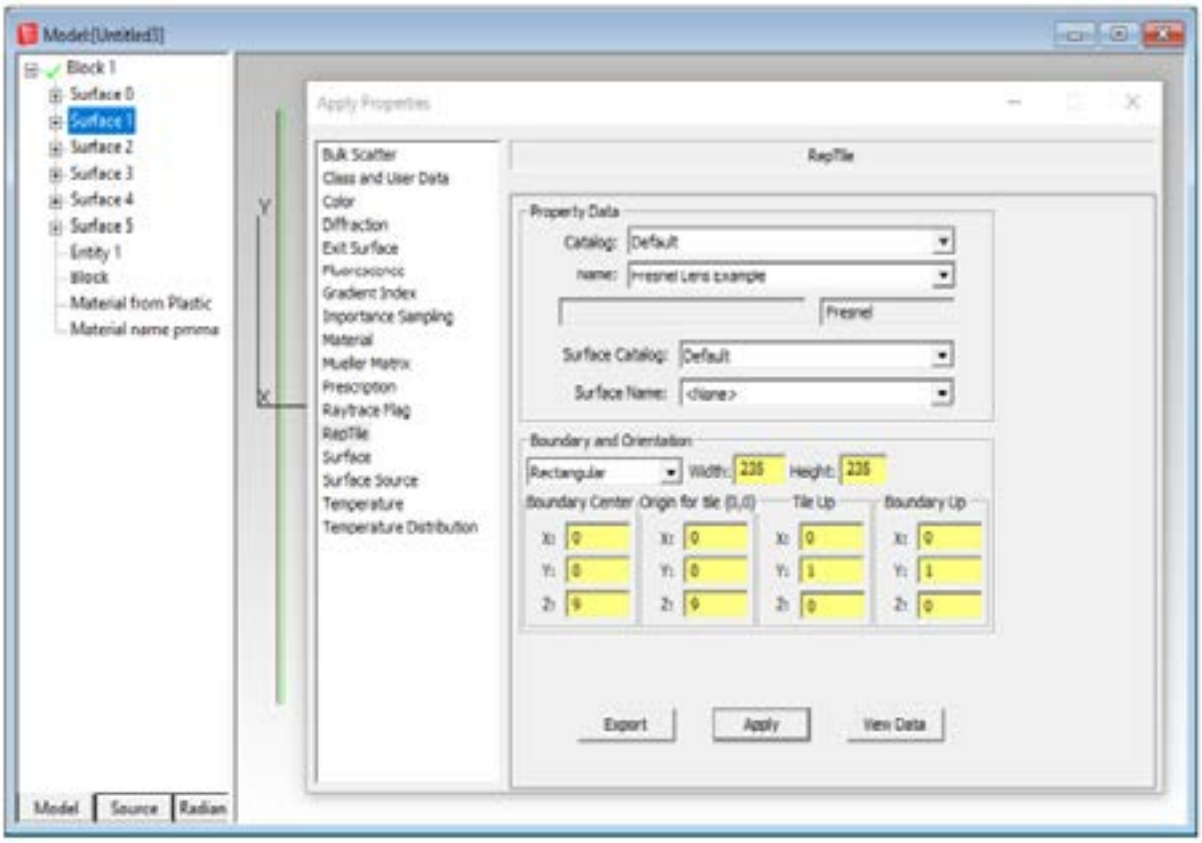


FIGURE 9.10 - Insert a block and apply the Fresnel Lens Example RepTile property to it.

これでフレネルレンズが完成しました。レプタイルサーフェスプロパティが適用されたことは、**ビュー｜レプタイルの表示**オプションが有効になっていない限り、モデルウィンドウに視覚的な表示がないことに注意してください。システムツリーには、適切なサーフェスにフレネルレンズの例のプロパティが表示されます。ファセットは、240mm x 240mm のサーフェス内の 235mm x 235mm の正方形領域に定義されています。

次に、このフレネルレンズを通して光線を追跡します。

10. 図 9.11 に示すように、100 x 100 の光線の長方形グリッドで、119mm x 119mm の半幅の光線の正方形グリッドを定義します。

完成した光線追跡を図 9.12 に示します。このレンズの焦点距離は約 310mm であることがわかります。

主なポイントの補足説明：

RepTile サーフェスプロパティ : これは、特定のソフトウェアまたは 3D モデリング環境で、サーフェスの微細な構造を定義する技術的な用語です。

システムツリー : ソフトウェアのインターフェースで、オブジェクトの階層構造を表示する部分です。

ファセット : 3D モデルのサーフェスを構成する小さな多角形です。

光線トレース（レイ・トレース）: 光の経路をシミュレーションする技術です。

焦点距離 : レンズが光を集束させる距離です。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

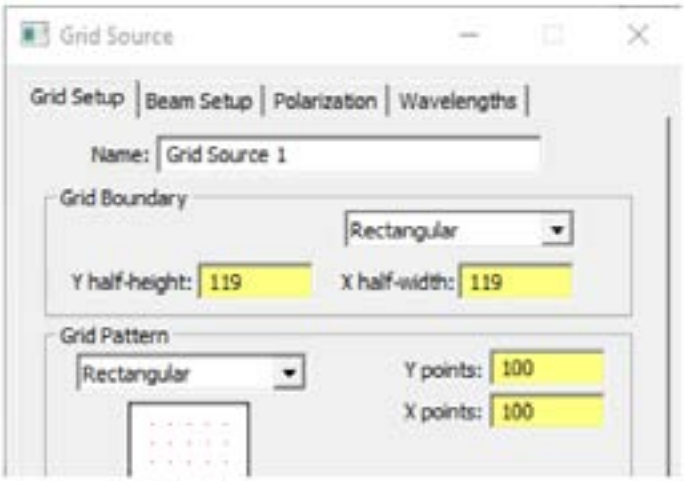


FIGURE 9.11 - Modified portion of Grid Source dialog for Rectangular raytrace.

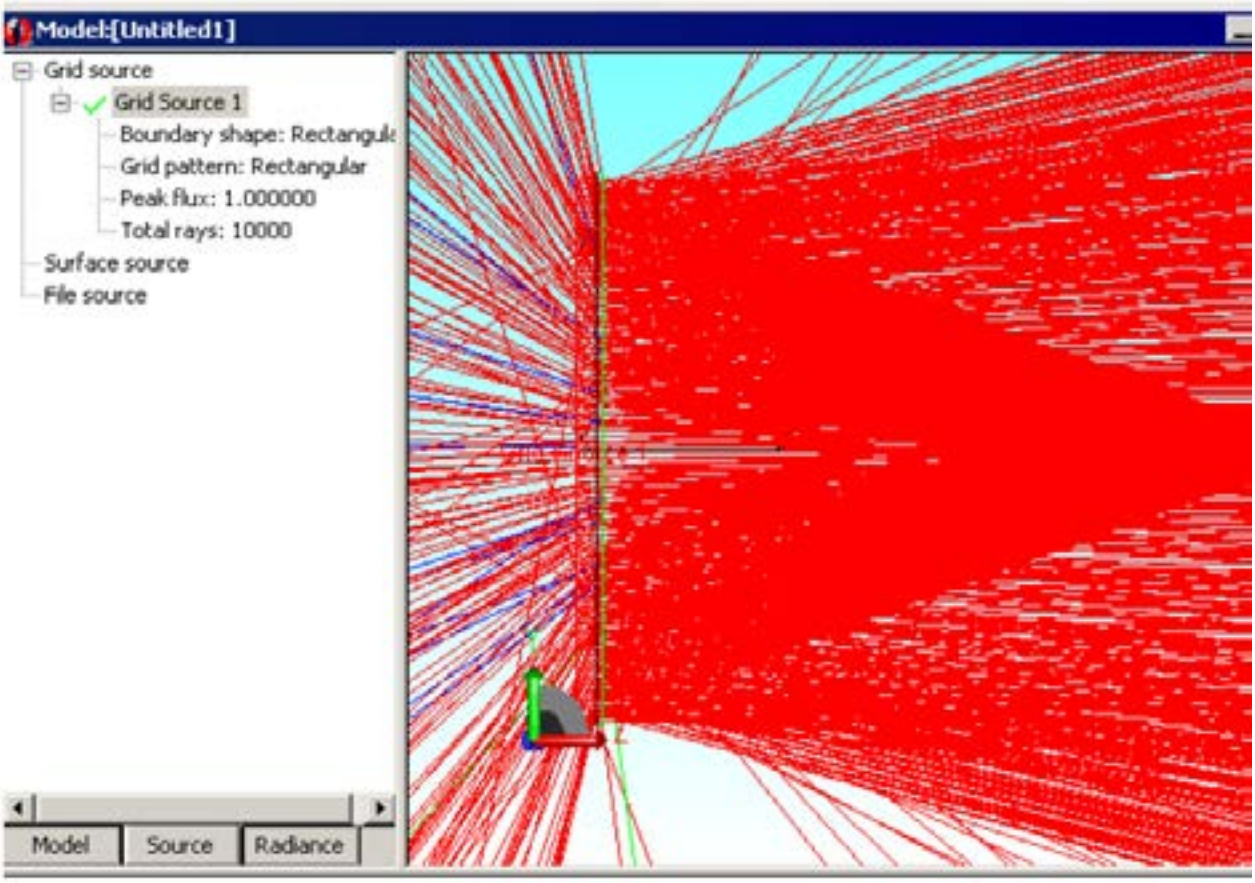


FIGURE 9.12 - Completed ray-trace of Fresnel lens example.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

円錐穴形状、可変形状、長方形タイル、長方形境界

この例では、円錐穴と長方形タイルでレプタイルプロパティが適用されたサーフェスを作成します。以下の寸法を持つ円錐穴のプロパティを作成します。

- 円錐先端半径 = 行ごとに可変、0.1 mm から 0.2 mm まで 0.001 mm 刻み
- 円錐高さ = 0.03 mm
- 円錐角度 = 0°
- 面取り高さ = 0.02 mm
- 面取り角度 = 50°
- 矩形タイル、0.25 mm x 0.25 mm

これらの寸法から、101 行になることがわかります。各行の高さは 0.25 mm であるため、タイルの合計「y 高さ」は 101 x 0.25 mm = 25.25 mm になります。

ではレプタイルプロパティを作成します。

1. メニューから**定義**｜**プロパティデータの編集**｜**レプタイルプロパティ**を選択し、レプタイルプロパティエディタを開きます。エディタはページ 9.2 の図 9.3 にあるように開きます。
2. エディタ内の「プロパティの追加」ボタンをクリックし、新しいプロパティの名前を入力します（例 :「Conical Hole Example」）。
3. ジオメトリタイプを選択 :「Geometry Type」のドロップダウンリストから「Cone」（円錐）を選択します。
4. タイルタイプを選択 :「Tile Type」のドロップダウンリストから「Rectangles」（長方形）を選択します。
5. バリエーションタイプを選択 :「Variation Type」のドロップダウンリストから「Variable rows」（可変行）を選択します。
6. 設定を確定 :「OK」ボタンをクリックします。

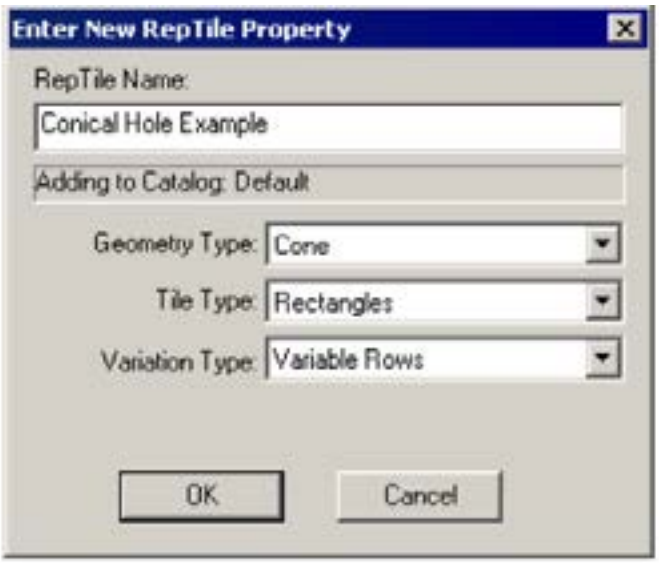


FIGURE 9.13 - Enter New RepTile Property dialog for Conical Hole Example.

7. タイルの幅と高さをそれぞれ 0.25 に設定します。これは、タイルが正方形で、元のサイ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ズの 4 分の 1 になることを意味します。

8. 「Bump」ボタンをクリックすると、それが「Hole」に変化します。これは、ソフトウェアが「Bump」マップ（サーフェスの凹凸を表現するマップ）を「Hole」マップ（穴や窪みを表現するマップ）に切り替えたことを示しています。つまり、サーフェスの隆起ではなく、穴や窪みを表現するジオメトリが適用されることを意味します。

9. 上記の幾何学的な値を表の該当列に入力してください。入力結果は図 9.14 と同じになるようにしてください。

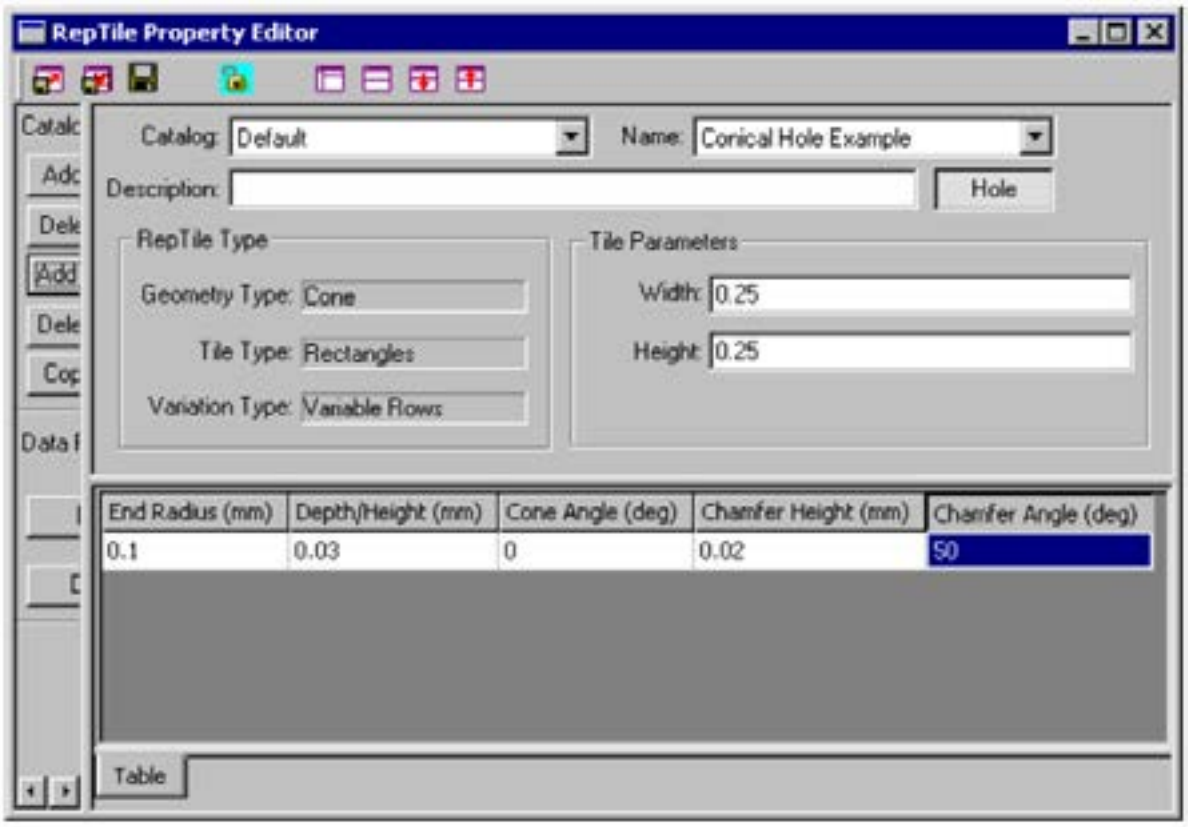


FIGURE 9.14 - Completed template for Conical Hole property example.

これで、円錐穴プロパティを作成するためのテンプレートができました。ジオメトリデータを入力するために、このプロパティをテキストファイルにエクスポートし、スプレッドシートプログラムを使用します。

プロパティをエクスポートするには、まず**「ファイル | 保存」**を選択してプロパティを保存し、次に「ファイル | プロパティのエクスポート」を選択してプロパティをテキストファイルに保存します。スプレッドシートプログラム（この例では Microsoft Excel）を使用してテキストファイルを開きます。開いたファイルは図 9.15 のように表示されるはずです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

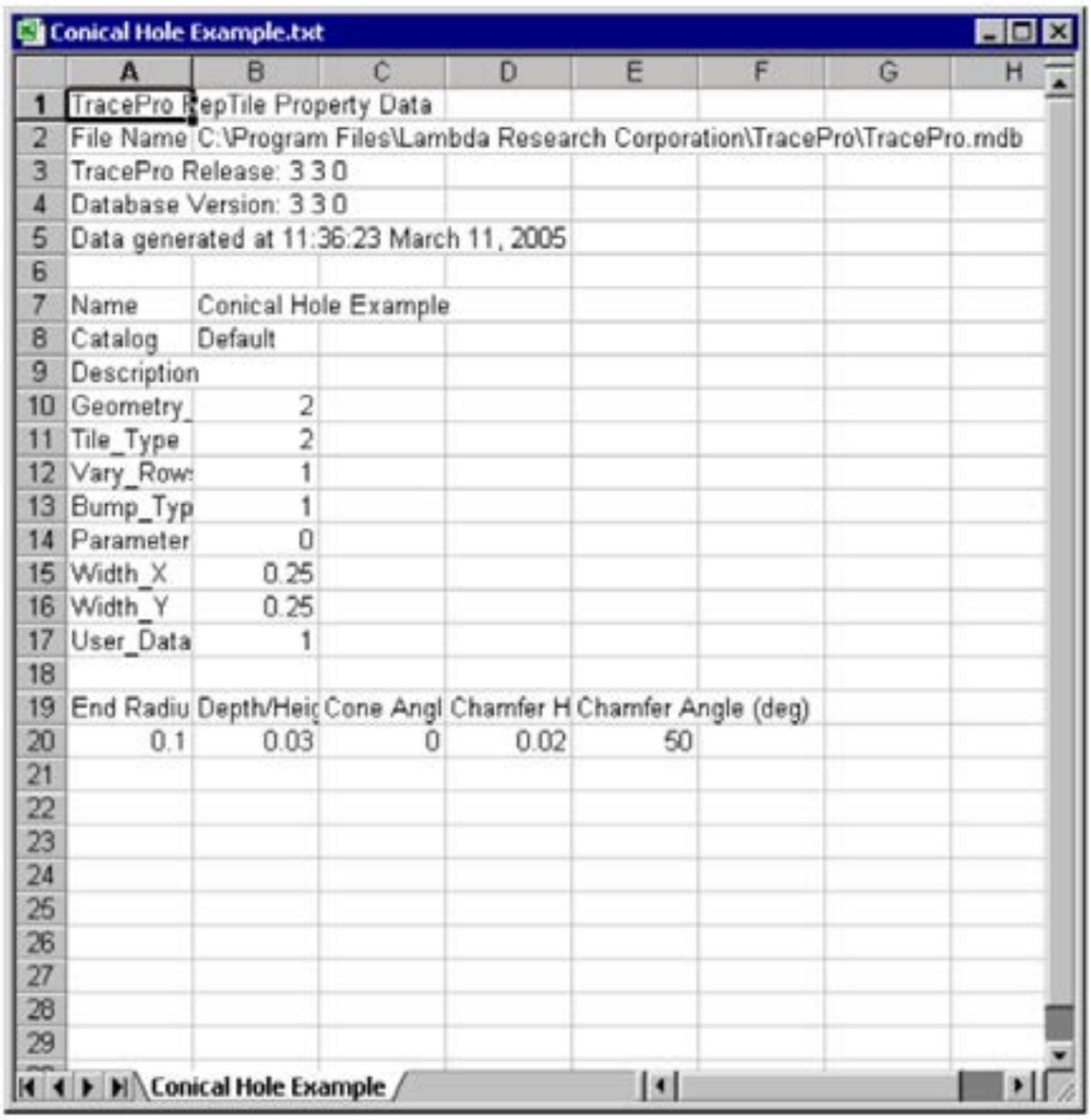


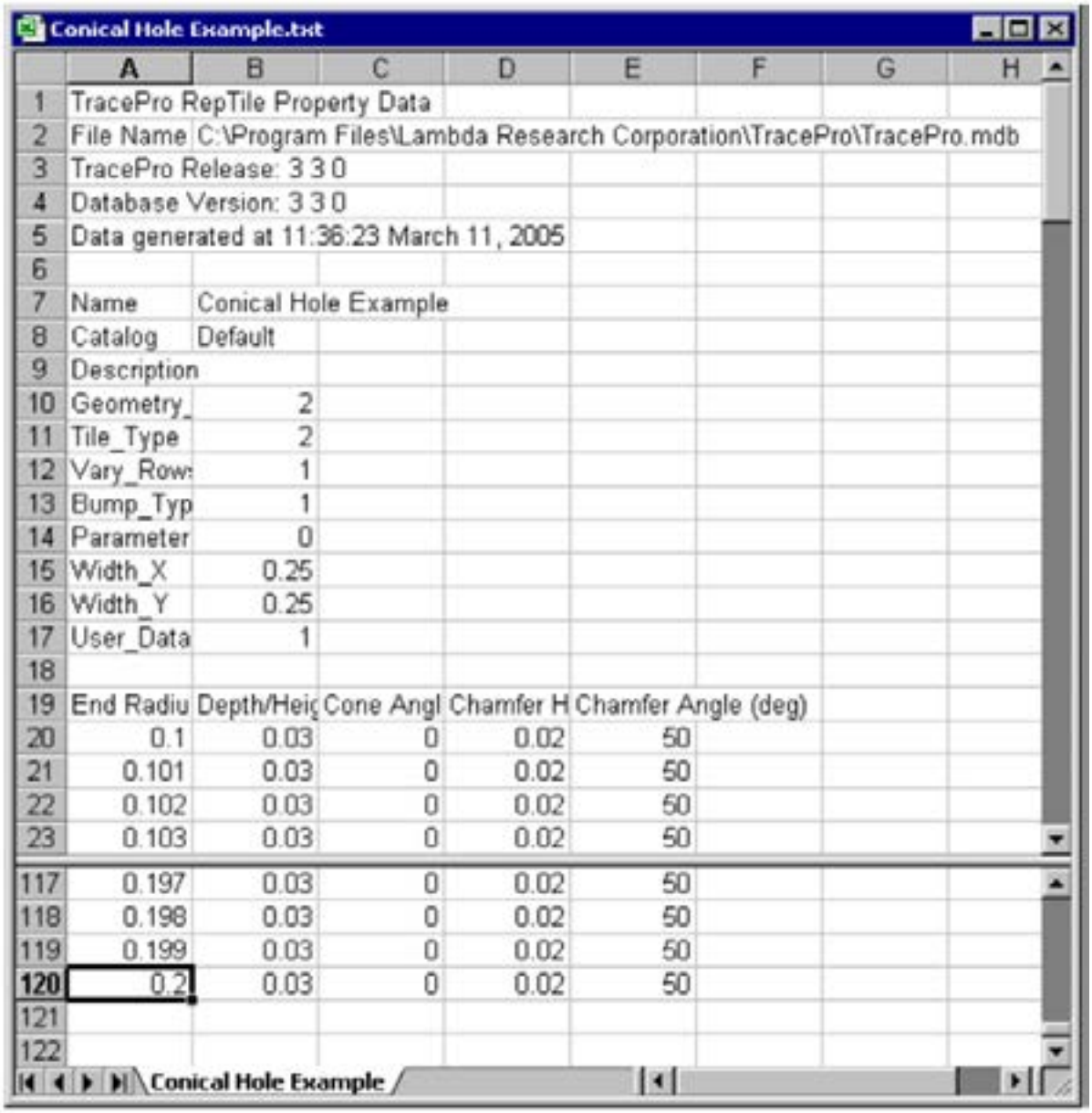
FIGURE 9.15 - The *Conical Hole Example* RepTile property exported text file after opening in Excel.

10. 「終端半径」の列を、各行ごとに 0.001 ずつ値を増やし、0.2 になるまで埋めてください。（セル A21 に数式「=A20+.001」を入力し、セル A21 を下にコピーしてすべての値を埋めることで、これを素早く行うことができます。）

11. テーブル全体を埋めるまで、他の列を下にコピーしてください。

図 9.16 は、完成した「Conical Hole Example.txt」ファイルの最初の数行と最後の数行を示しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス



Conical Hole Example.txt

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TracePro RepTile Property Data							
2	File Name	C:\Program Files\Lambda Research Corporation\TracePro\TracePro.mdb						
3	TracePro Release: 3 3 0							
4	Database Version: 3 3 0							
5	Data generated at 11:36:23 March 11, 2005							
6								
7	Name	Conical Hole Example						
8	Catalog	Default						
9	Description							
10	Geometry_	2						
11	Tile_Type	2						
12	Vary_Row:	1						
13	Bump_Typ	1						
14	Parameter	0						
15	Width_X	0.25						
16	Width_Y	0.25						
17	User_Data	1						
18								
19	End Radiu	Depth/Heig	Cone Angl	Chamfer H	Chamfer Angle (deg)			
20	0.1	0.03	0	0.02	50			
21	0.101	0.03	0	0.02	50			
22	0.102	0.03	0	0.02	50			
23	0.103	0.03	0	0.02	50			
117	0.197	0.03	0	0.02	50			
118	0.198	0.03	0	0.02	50			
119	0.199	0.03	0	0.02	50			
120	0.2	0.03	0	0.02	50			
121								
122								

Conical Hole Example

FIGURE 9.16 - The *Conical Hole Example.txt* file with all values filled in.

12. 次に、Excel で Conical Hole Example.txt ファイルを保存し、閉じてください。

13. TracePro に戻り、プロパティエディタから「**ファイル | プロパティのインポート**」を選択してください。

14. Conical Hole Example.txt ファイルを開いてインポートしてください。

エディタウィンドウが図 9.17 のように表示されるはずです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

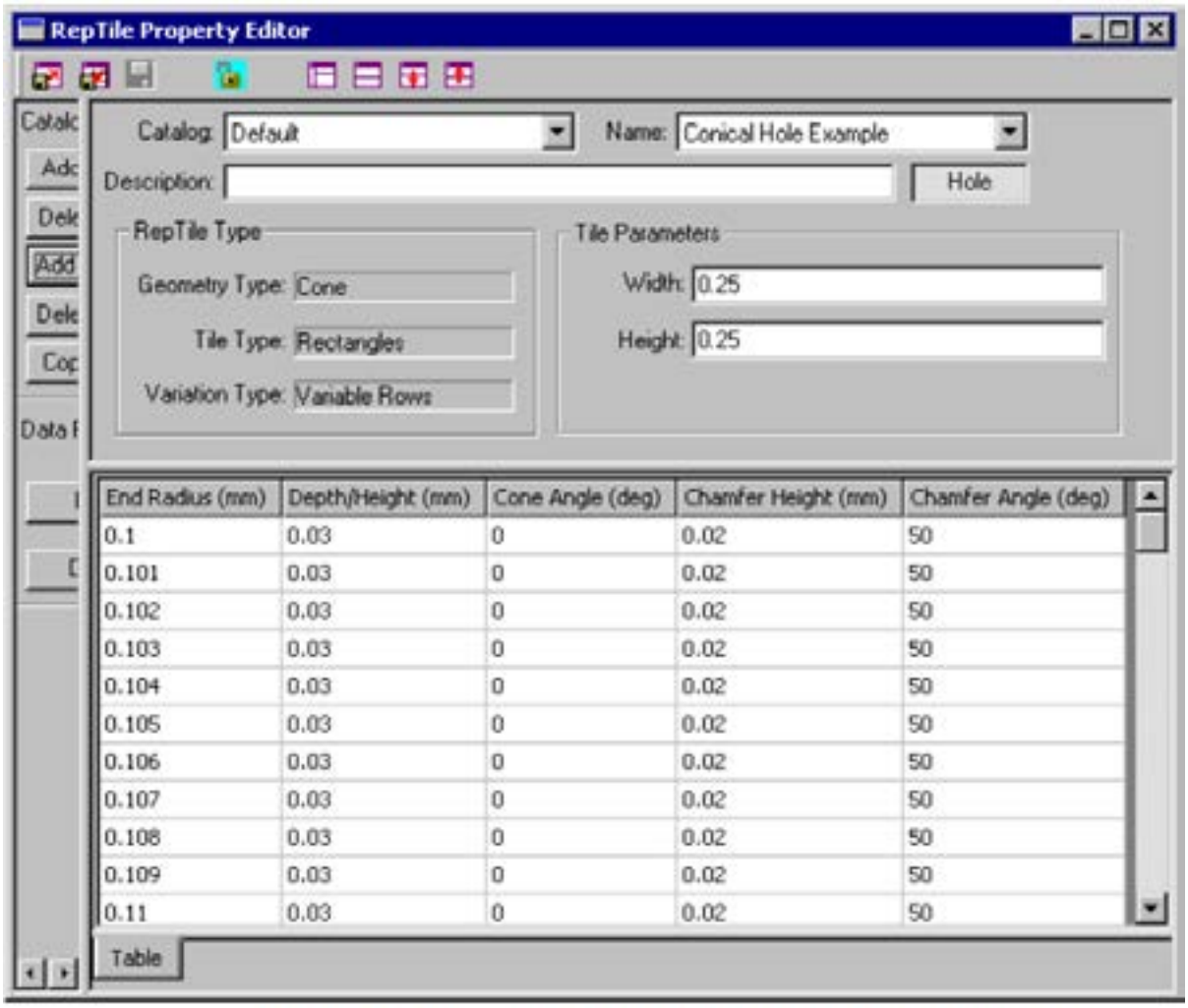


FIGURE 9.17 - The completed Conical Hole Example property after importing into the Property Editor.

プロパティエディタの Conical Hole Example の定義はこれで完了です。エディタを閉じ、ポップアップが出たらデータを保存してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

これで、オブジェクトを作成し、作成したばかりのプロパティを適用する準備が整いました。まず、オブジェクトの寸法を決定する必要があります。適切な厚さは 2mm です。また、行の合計高さが 25.25mm であることもわかっています。幅は自由に選択できます。ここでは幅を 100mm としましょう。また、光線が適切に脱出できるように、RepTile サーフェスセルの境界周辺にマージンが必要です。したがって、30mm x 105mm、厚さ 2mm のオブジェクトを作成し、30mm の寸法が z 軸に沿うように配置します。

15. TracePro で、**[ジオメトリ｜プリミティブソリッド]**ダイアログボックスを使用して、図 9.18 に示す寸法でブロックを挿入します。

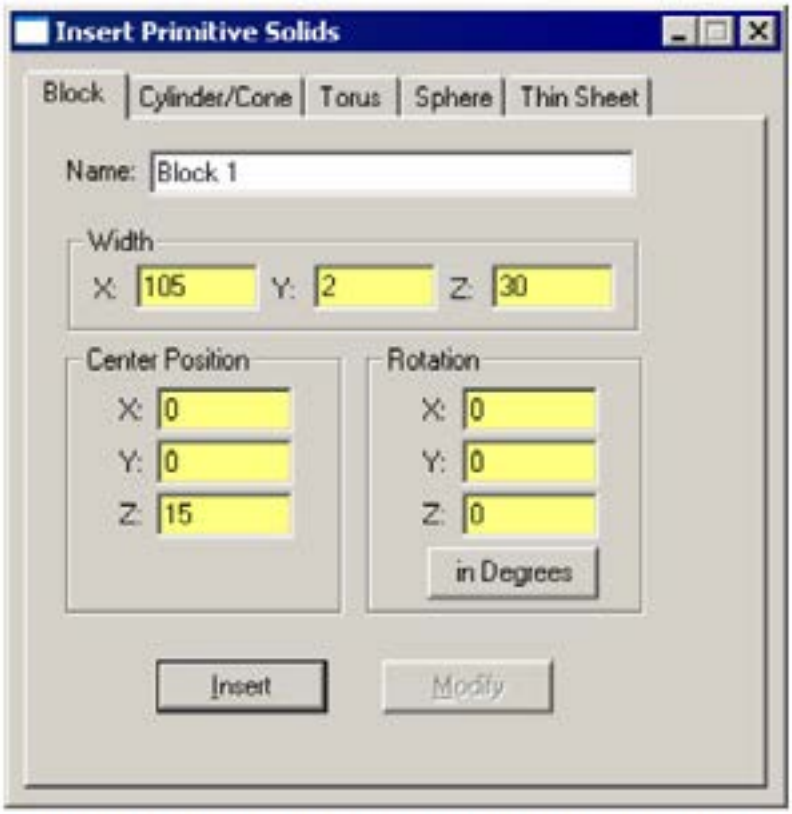


FIGURE 9.18 - Insert a block into a TracePro model as a substrate for the Conical Hole surface.

16. 材質の適用 : 「プロパティの適用」ダイアログボックスを使用し、「Plastic」カタログから「pmma」（ポリメチルメタクリレート、アクリル樹脂）という材質をブロック全体に適用します。

17. テクスチャの適用 : ブロックの「+y」面を選択し、再び「プロパティの適用」ダイアログボックスを使用して、「RepTile」プロパティを適用します。

18. テクスチャの配置調整 : 図 9.19 に示された値を入力し、「RepTile」テクスチャの配置を調整します。これにより、タイル（0,0）がブロックの矩形境界の「-z」エッジに配置されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

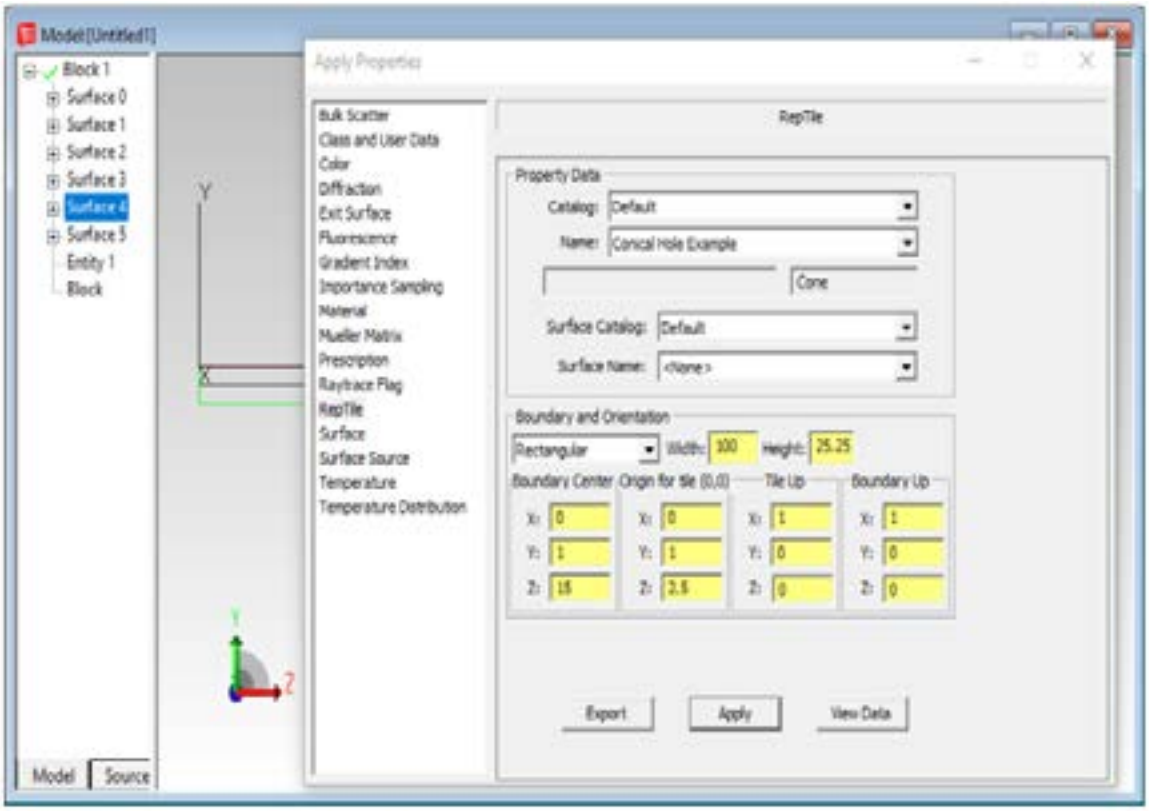


FIGURE 9.19 - Insert a block and apply the Conical Hole Example RepTile property to it.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

Conical Hole Example が完成しました。RepTile サーフェスプロパティが適用されたことを示す視覚的な変化はモデルウィンドウには表示されませんが、システムツリーを見ると、該当するサーフェスに円錐穴の例のプロパティが追加されていることが確認できます。ファセットは、105mm x 30mm のサーフェス内にある 100mm x 25.25mm の長方形領域に定義されており、サーフェスの最初の行は z=0.125 の位置にあります。+z 軸方向に進むにつれて行番号が増加し、形状が変化します。次に、ブロックの端に光線を照射して追跡します。50 x 0.5mm の半幅を持つ光線の長方形グリッドを、100 x 100 の光線と 30 度の半角（発散角）で定義します。光線追跡の結果は図 9.20 に示されています。

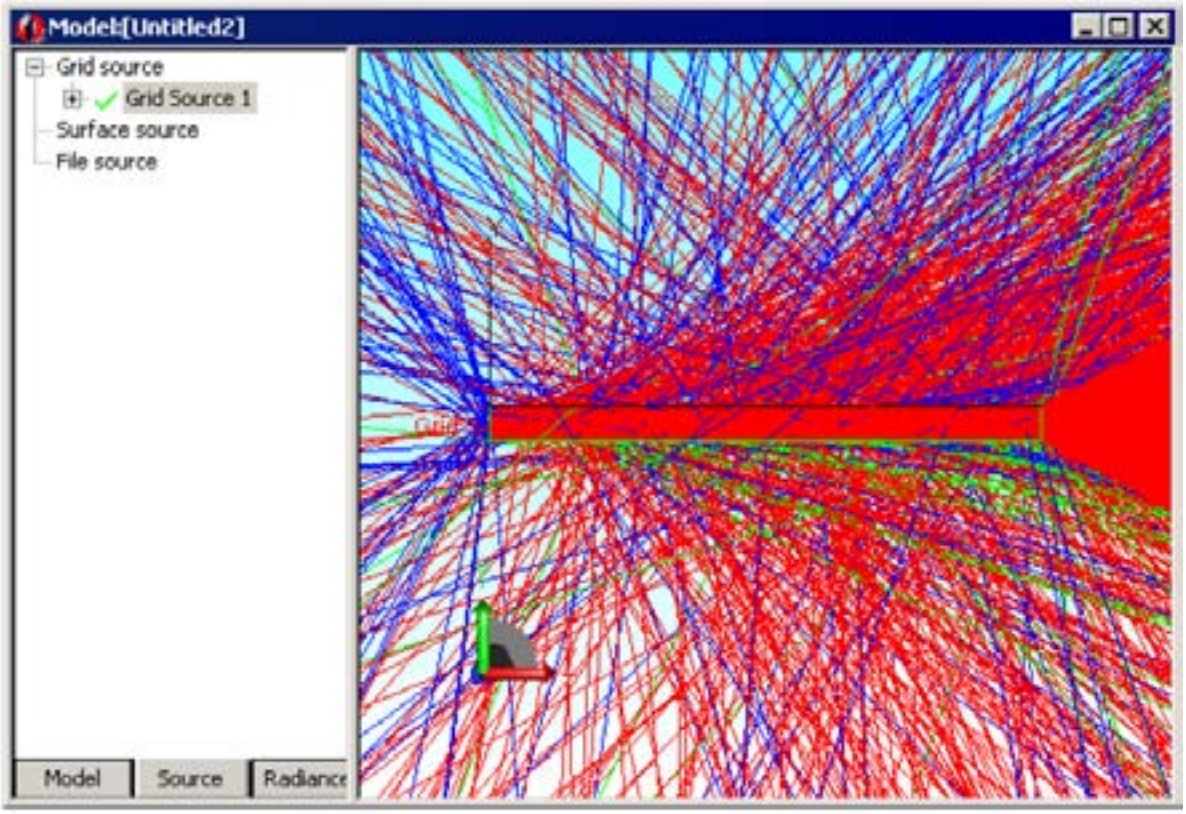


FIGURE 9.20 - Completed ray-trace of Conical Hole Example.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

千鳥状のリングタイルを持つパラメータ化された球状バンプ形状

この例では、千鳥状（スタガ）にタイル配置された球状バンプでサーフェスを生成します。プロパティの寸法は、バンプが RepTile の円形境界の中心から外側に広がるにつれて変化するようにパラメータ化されます。以下の寸法を持つ球状バンププロパティを作成します。

- 球の半径 = 0.05 + (Iring/5) mm
- 球の高さ = Iring/2 mm
- リング幅 = 0.1 + 0.7 * Iring mm
- 各リングは異なる角度から始まる 5 つのセグメントを持ちます = 10 * Iring

その結果えられる 12mm のシリンダの端に配置された RepTile プロパティを 図 9.21 に示します。パラメータ変数 **Iring** は中心から始まり、外側の各リングごとに 1 ずつ増加します。

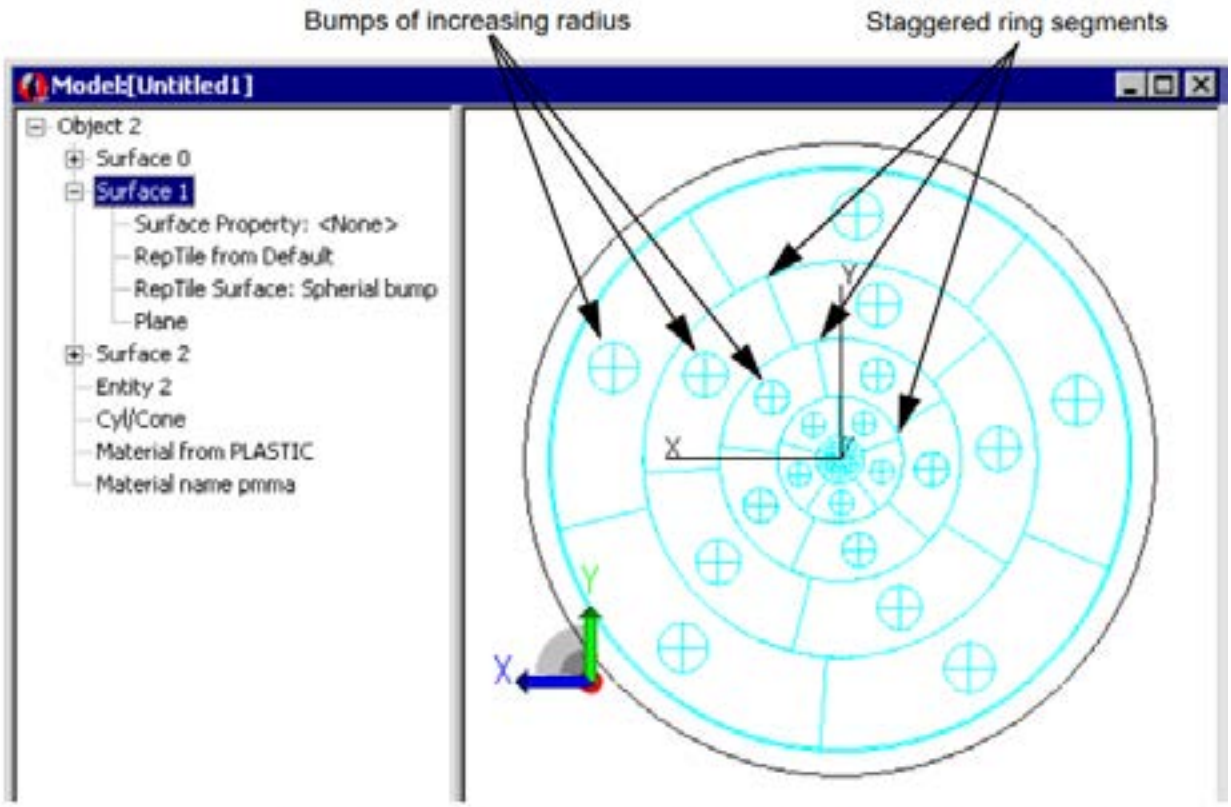


FIGURE 9.21 - Parameterized spherical bump RepTile property. The Boundary Radius is set to 11mm and the Depth to 1mm.

レプタイルサーフェスプロパティを作成します。

1. **「定義｜プロパティデータの編集｜レプタイルプロパティ」**を選択します。

これにより、ページ 9.2 の図 9.3 のようにレプタイルプロパティエディタが開きます。

2. プロパティの追加をクリックし、名前、例えば Spherical bump、を入力
3. ジオメトリタイプドロップダウンから　球　を選択
4. 「タイルタイプ」ドロップダウンリストから「リング」を選択
5. 「バリエーションタイプ」ドロップダウンリストから「パラメタライズ」を選択

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

6. OK をクリック。図 9.22 をごらんください。

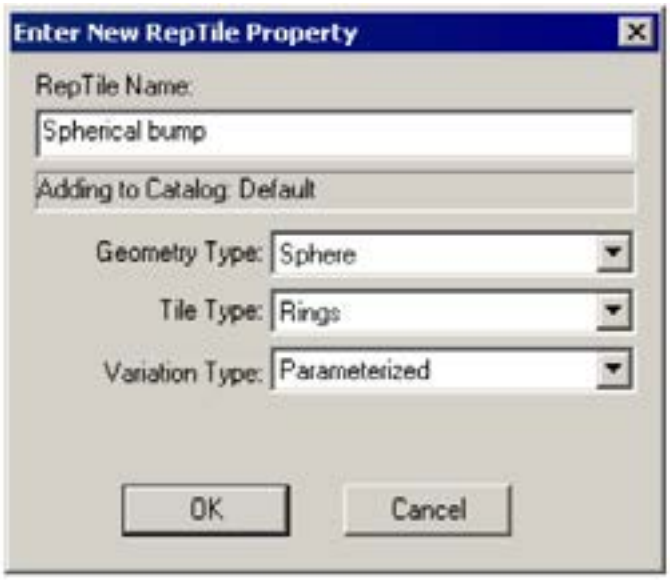


FIGURE 9.22 - Entering a parameterized RepTile property.

Iring 変数を使用してタイルパラメータとジオメトリを定義します。データが評価されるリングに応じていくつかのエントリが変化します。ページ 3.78 の ” レプタイルパラメータ ” をご参照ください。

図 9.23 に示されているように関数と値を入力します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

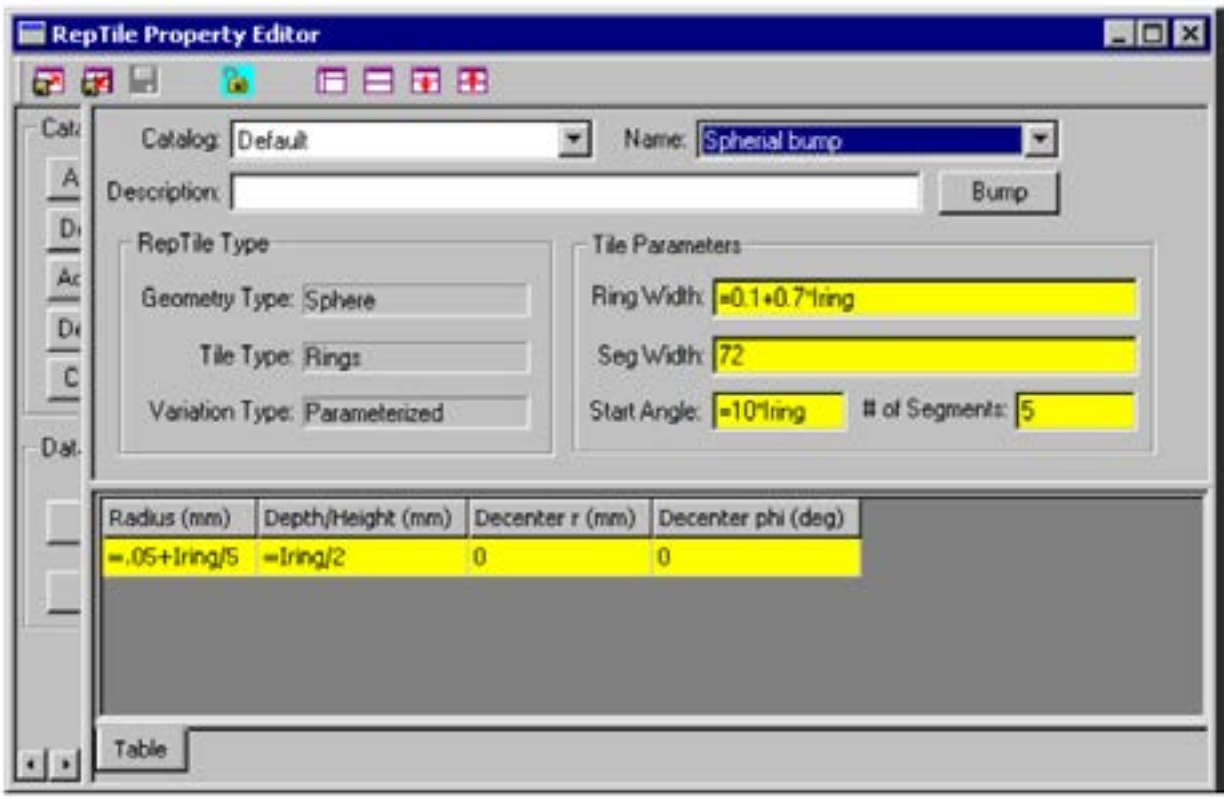


FIGURE 9.23 - Completed Spherical Bump property example.

プロパティエディタでの”Spherical Bump Example”の定義はこれで完了です。プロパティエディタを閉じ、ポップアップウィンドウが表示されたら、データを保存してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

開口による回折の例 Standard Expert

この例では円形アパーチャによるフラウンホーファー回折をけんとうします。この例は TracePro におけるアパーチャ回折がどのように動作するか、どのようにインポータンスサンプリングを使用するかを説明します。

1. 収束する球面波面を生成するソースを定義します。

b. **ジオメトリ｜リフレクタ**を選択し、コーニックタブを選択します。

c. テーブル 9.1 にあるようにパラメータを入力してコーニックリフレクタを挿入します。

表 9.1. 円錐形反射板に関するデータパラメータ

Shape	Spherical
Length	100
Thickness	1
Hole radius	0
Radius	1100
Origin	X=0; Y=0; Z= -100
Rotation	X=0; Y=0; Z=0

d. リフレクターをトリム（切り取り）します。リフレクターと重なるシリンダを作成し、ブール 演算の交差（Intersect）を使用します。テーブル 9.2 の入力パラメータを使用してシリンダを挿入してください。

テーブル 9.2：ブール演算シリンダツールのデータパラメータ

Major	R: 55
Length:	200
Base Position	X=0; Y=0; Z=-200
Base Rotation	X=0; Y=0; Z=0

e. TABLE 9.2. d のデータパラメータ。両方のオブジェクトに対してブール演算の交差（Intersect）を行った後、リフレクタをサーフェス光源（Surface Source）にして光線をトレースする必要があります。

f. リフレクタの内側の球面サーフェス（+z 方向を向いている面）を選択し、**[プロパティの適用]** ダイアログボックスを使用して、表 9.3 の入力パラメータでサーフェスソースを定義します。

テーブル 9.3. サーフェスソースのデータパラメータ

Source Type:	光束
Flux:	10 watts
Number of Rays:	25000
Angular Distribution:	サーフェスに垂直

2. 回折開口を作成し、開口を通過しない光を吸収する物体も作成します。これを行うには、**[ジオメトリ | バッフルベーン]** を選択して、テーブル 9.4 の入力パラメータを使用して原点にバッフルベーンを作成します。

テーブル 9.4. バッフルベーンのデータパラメータ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

アパーチャ半径	50
チューブ半径	200
厚さ	1
ナイフ半径	0.01
円錐角	0
相対グランド角度	30
位置	X=0; Y=0; Z=0
回転	X=0; Y=0; Z=0

a. 新しいバッフルベーンを選択し（**オブジェクト選択ツールを使用**）、サーフェスプロパティ「Perfect absorption」を適用します（**定義 | プロパティの適用**ダイアログを使用）。

b. 次に、回折が発生するダミーオブジェクトを作成します。このオブジェクトは、短いシリンダ（実際には円盤）で、バッフルベーンの開口部を埋めます。シリンダの一端がバッフルベーンの開口部と一致することが重要です。**「プリミティブソリッドの挿入」**ダイアログボックスと**「シリンダ / コーン」**タブを使用して、テーブル 9.5 の入力パラメータを入力します。

テーブル 9.5. 回折円板のデータパラメータ

メジャー半径	50
長さ	1
底面位置	X=0; Y=0; Z=0
底面の回転	X=0; Y=0; Z=0

c. シリンダの端面を選択し z=0 の位置にあるシリンダの端面を選択します。**プロパティの適用**ダイアログで**回折**タブを 選択した、チェックボックスをチェックして適用ボタンをクリックします。この時点でモデルは図 9.24 に一致するはずです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

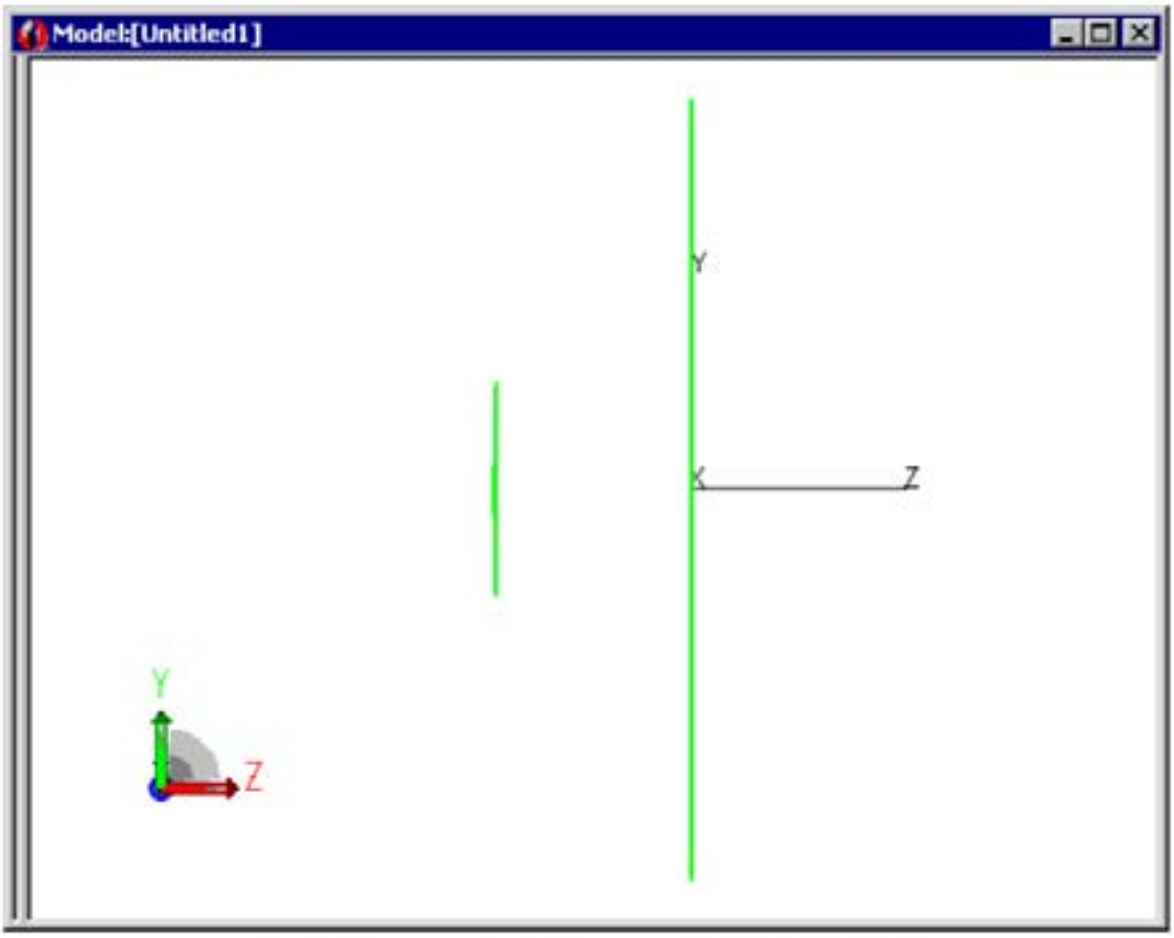


FIGURE 9.24 - The Model Window Display at the Current Step of the Example

3. 観測面を作成します。**[ジオメトリ | プリミティブソリッド]** ダイアログの **ブロック** タブで、テーブル 9.6 のパラメータに基づきブロックを作成してください。

テーブル 9.6. Detector ブロックのデータパラメータ

幅	X=1.1; Y=1.1; Z=1
中心	X=0; Y=0; Z=1000.5

これにより、ブロックの前面は z=1000 の位置、つまり球形光源の中心に配置されます。
リフレクターに面する側面を、**[プロパティの適用]** ダイアログボックスを使用して、**[出口面]** に設定します。

4. レイ トレースオプションを設定します。**[レイ トレースオプション]** ダイアログボックス（**[レイ トレース]** メニューから）を開き、**[オプション]** タブで [アパーチャによる回折] をチェックします。

5. サーフェスソースについて、([プロパティの適用] ダイアログボックス、[面光源] の選択) の [波長] ボックスで、0.5461 を削除し、10 を追加します。

6. これで、光線をトレースし、ランダムに回折した光線を観察する準備が整いました。**[光線追跡 | 順光線追跡]** を選択して、光線追跡を開始します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

開口部を通過する光線は、回折によって屈折します。光線は、確率分布に従ってランダムな角度で屈折します。確率分布の角度幅は、光線が回折面と交差する位置に依存します。端部に近いほど、分布は広くなります。

7. 光線追跡が終了したら、出口サーフェスを選択し、[**解析結果 | 照度マップ**] を選択して照度マップを作成します。

8. [**解析結果 | 照度オプション**] を選択して照度マップオプションダイアログボックスを開き、表 9.3 の入力パラメータを設定します。

表 9.7. 照度マップオプションのデータパラメータ

プロットする量	放射照度
プロットする光線	入射光線
この値に正規化	チェックしない
カラーマップ	黒背景にグレースケール
ピクセル数	256
コンターレベル数	15
スムージング	チェック
対数スケール	チェック
その他のオプション	そのまま

図 9.25 では、入射光線がマップの中央に最も強く集中している様子が確認できます。

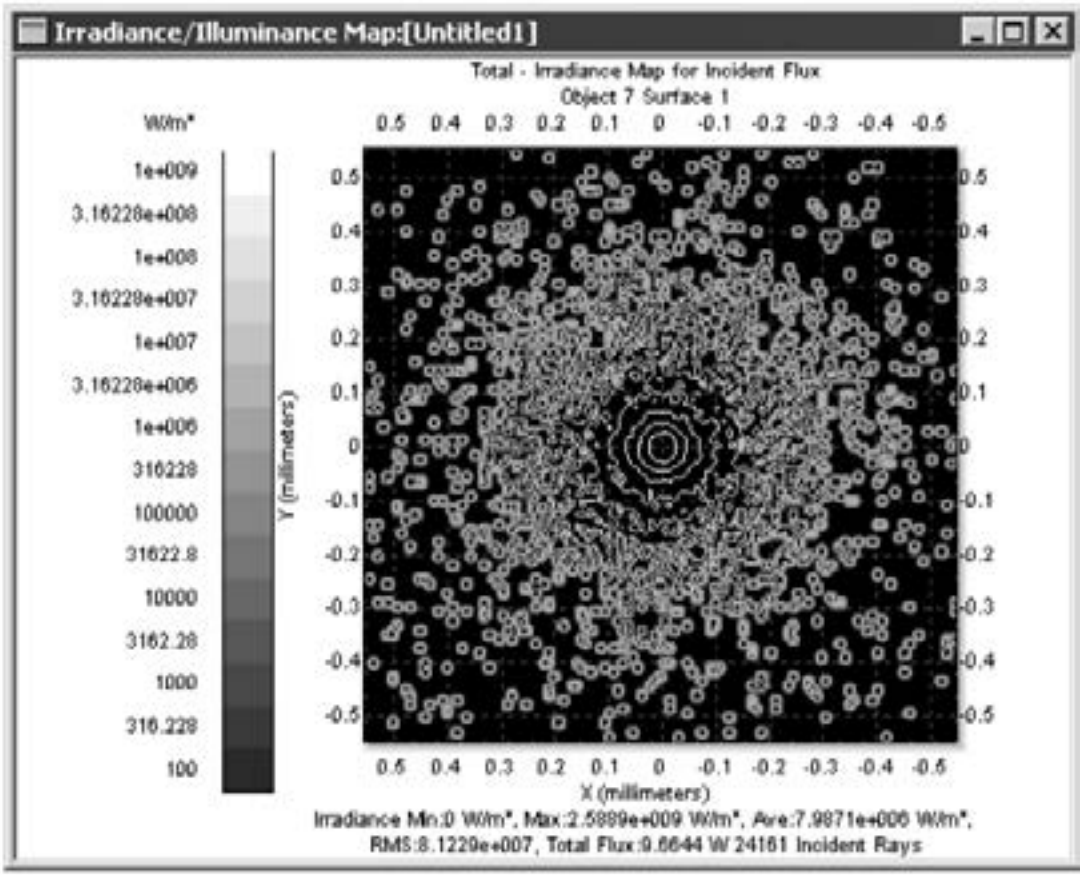


FIGURE 9.25 - Irradiance Map

回折サーフェスへのインポータンスサンプリングの適用

1. 球殻オブジェクトを選択し、開口部中心を軸に小さな角度、例えば 1 度回転させます。

   b. 球殻オブジェクトを選択し、**編集 | オブジェクト | 回転** を選択して回転ダイアログを開きます。

   c. オブジェクトを x 軸を中心に回転させ、角度に 1 度を入力します。

   d. 回転点を (0,0,0) のままにして、適用を押します。これにより、球形の光源は観測ボックスより 1 度下の点に焦点を絞った光線を生成します。

5. 光線追跡と照度マップを再度実行し、この変更が出口サーフェスに入射する光の量にどのように影響するかを確認します。出口サーフェスに入射する光線が表示されない場合があります。

6. 出口サーフェスと一致する回折面のインポータンスサンプリングターゲットを作成し、TracePro に出口サーフェスに光線をトレースさせます。

   a. 回折面にインポータンスサンプリングを適用するには、まず回折面（z=0 平面にあるもの）を選択し、プロパティの適用ダイアログを開きます。インポータンスサンプリング

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

タブを選択し、追加ボタンを押して、次のプロパティを持つターゲットを作成します。

ターゲット	1
セルあたりの光線	1
方向	指定方向
形状	矩形
ターゲット中心	X = 0.0; X = 0.0; Z = 1000
ノーマルベクトル	X = 0.0; X = 0.0; Z = 1.0
Up ベクトル	X = 0.0; X = 1.0; Z = 0.0
ターゲットサイズ	X 幅 = 1.0; Y 幅 = 1.0

b. 「適用」をクリックします。これらのプロパティは、回折面のインポータンスターゲットとして出射面を定義しました。

4. 「プロパティの適用」ダイアログボックスを閉じ、**「解析 | 光線追跡オプション」**ダイアログボックスを開きます。

   a. 「追跡閾値」タブで、「光束閾値」を 1e-50 に設定します。インポータンスサンプリングは、モンテカルロ光線追跡（通常はランダム）を特定の方向に光線を配置するように「強制」するため、より低い閾値を使用する必要があります。結果として、重要度ターゲットに当たる光線のフラックスは、そのような光線が発生する確率に合わせて調整する必要があります。

5. 光線追跡を再実行し、インポータンスサンプリングされた光線がディテクタに当たるのを確認します。以下の放射照度マップは、この光線追跡で可能性のある結果の 1 つを表しています。

補足 :

インポータンスサンプリング (importance sampling): モンテカルロ法において、特定の領域の計算精度を向上させるために、その領域のサンプル頻度を上げる手法。
光束閾値 (Flux Threshold): 光線追跡計算において、光線の強度がこの閾値を下回ると計算を打ち切る設定。
放射照度マップ (irradiance map): 光が物体サーフェスに当たる強度を視覚的に表現したマップ。

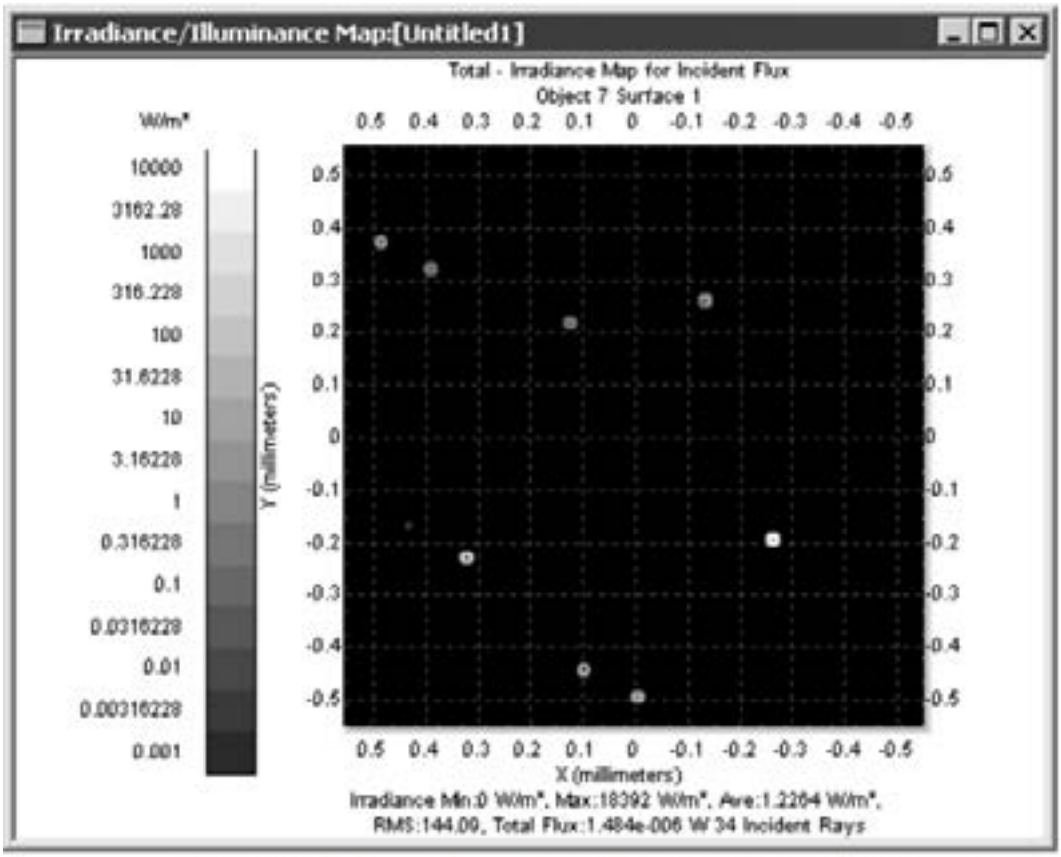


FIGURE 9.26 - Irradiance Map for Edge Diffraction with Importance Sampling

6. ソースオブジェクトを X 軸を中心にさらに 1 度回転させ、回転中心を (0,0,0) とします。

6. 再度光線追跡を実行し、観測面でのフラックスが減少することを観察します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ボリュームフラックスの計算例

TracePro のボリュームフラックス計算機能を説明するために、バルク吸収とバルク散乱の特性を持つブロックに多数の光線を追跡する簡単な例を紹介します。

図 9.27 は、このブロックに対して 1000 本の光線を追跡した光線追跡の例です。

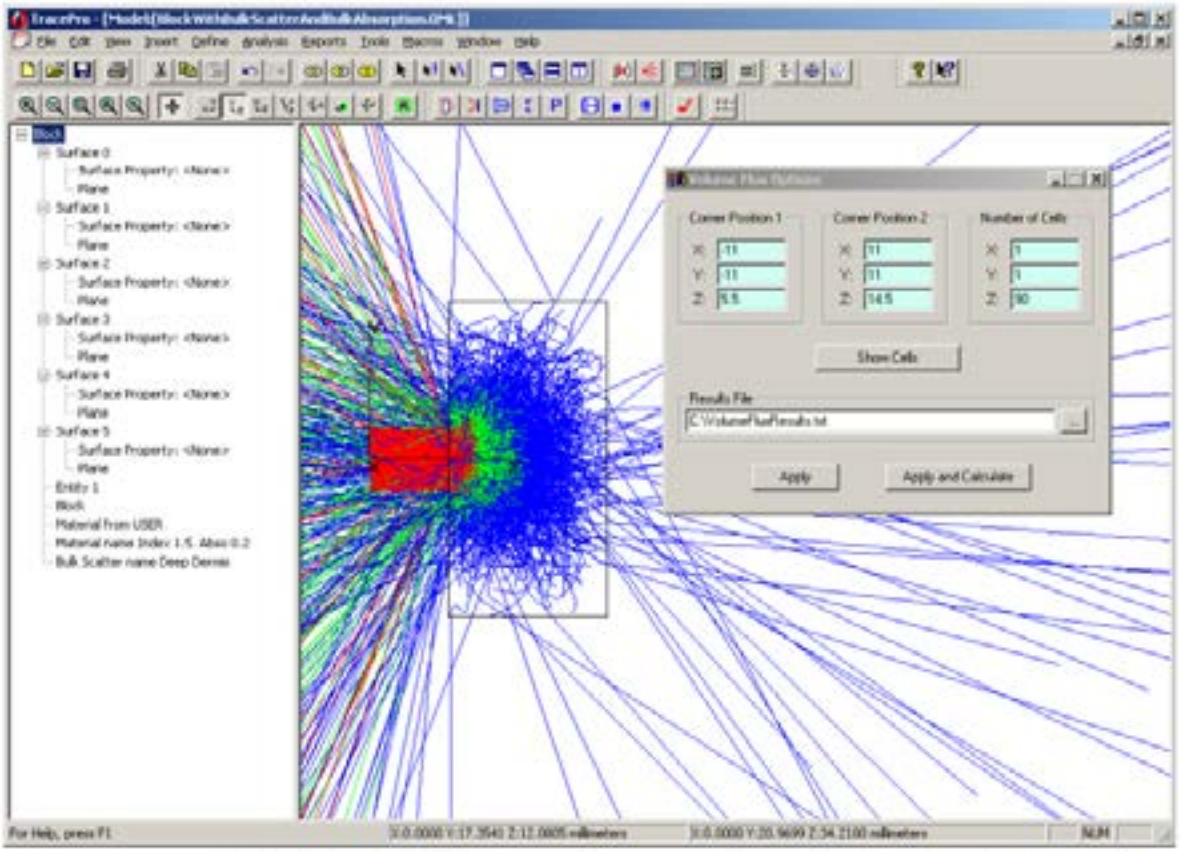
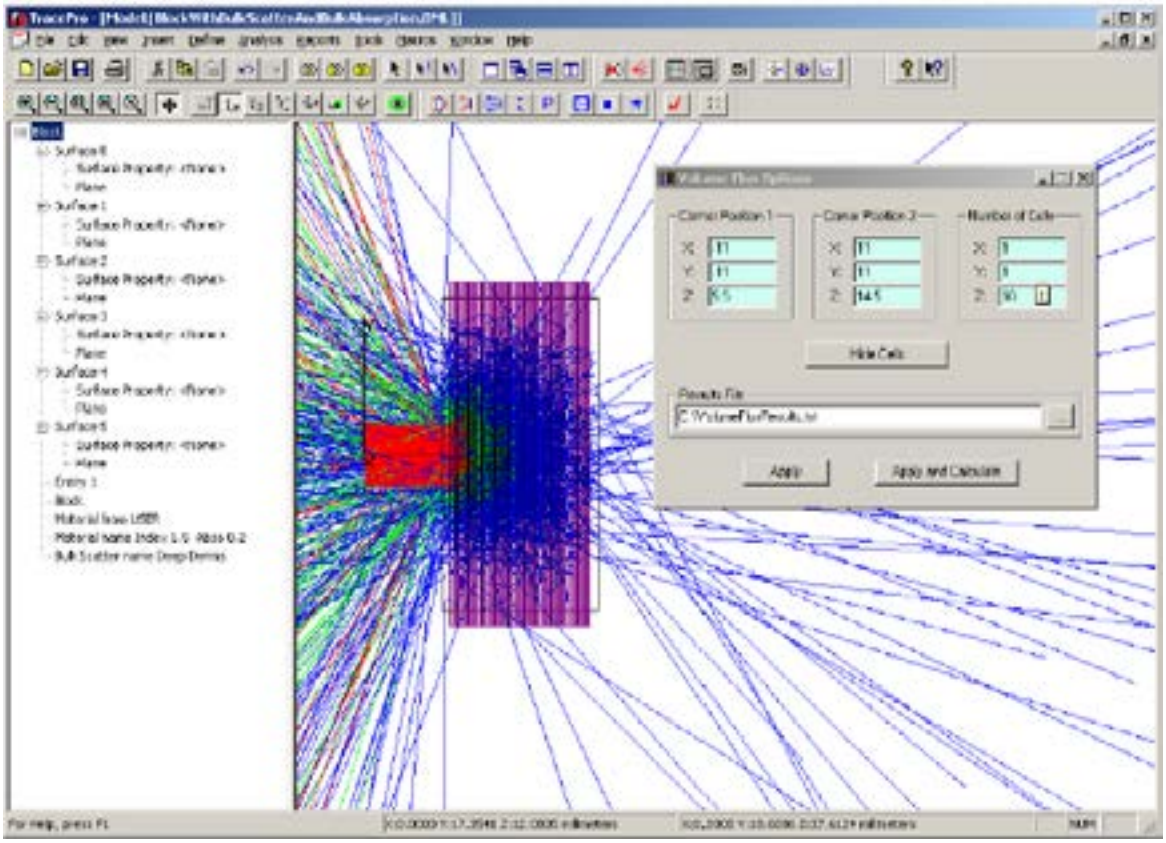


FIGURE 9.27 - Example of a raytrace into a block object that has bulk absorption and scattering properties. The Volume Flux Options window is open, but the volume flux cells are not shown in the model.

「**セルの表示**」ボタンを選択することで、図 9.28 に表示されているように計算に関わったセルを見ることができます。



モデルされたオブジェクトは、Z 方向に 5mm から 15mm まで伸びるブロックです。この計算の目的は、0.5mm 以上の侵入深度からブロック内部（Z 軸に沿って）の吸収プロファイルを取得することです。これを実行するために、上記のように角の位置とセルの数を入力します。Z 方向に 90 個のセルを選択しており、これは 9.0mm の範囲をカバーするため、Z 方向の空間分解能は 0.1mm です。

良好なサンプリングを得るためには、多くの光線を追跡する必要があります。しかし、追跡する光線が多いほど、より多くのメモリが必要になります。ただし、ボリュームフラックス計算の実装と、TracePro マクロ言語による解析の連結により、少ないメモリで多くの光線を追跡できます。

ボリュームフラックス計算をサポートするために、以下の 9 つのマクロコマンドが TracePro に追加されました。

ユーザー入力値を設定するには：

```
(analysis:set-volume-flux-corner-1 (position X Y Z))
(analysis:set-volume-flux-corner-2 (position X Y Z))
(analysis:set-volume-flux-cells NUM_X NUM_Y NUM_Z)
(analysis:set-volume-flux-results-filename FILENAME)
```

ユーザー入力値を取得するには：

```
(analysis:get-volume-flux-corner-1)
(analysis:get-volume-flux-corner-2)
(analysis:get-volume-flux-cells)
(analysis:get-volume-flux-results-filename)
```

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ボリュームフラックス計算を実行するには：

(analysis:volume-flux)

図 9.29 に概説されているスキームマクロを使用して、反復的な光線追跡が実行されました。各光線追跡の前に乱数シードが変更され、異なる光線セットが保証されました。光線追跡の終了時に、ボリュームフラックス計算が更新されました。

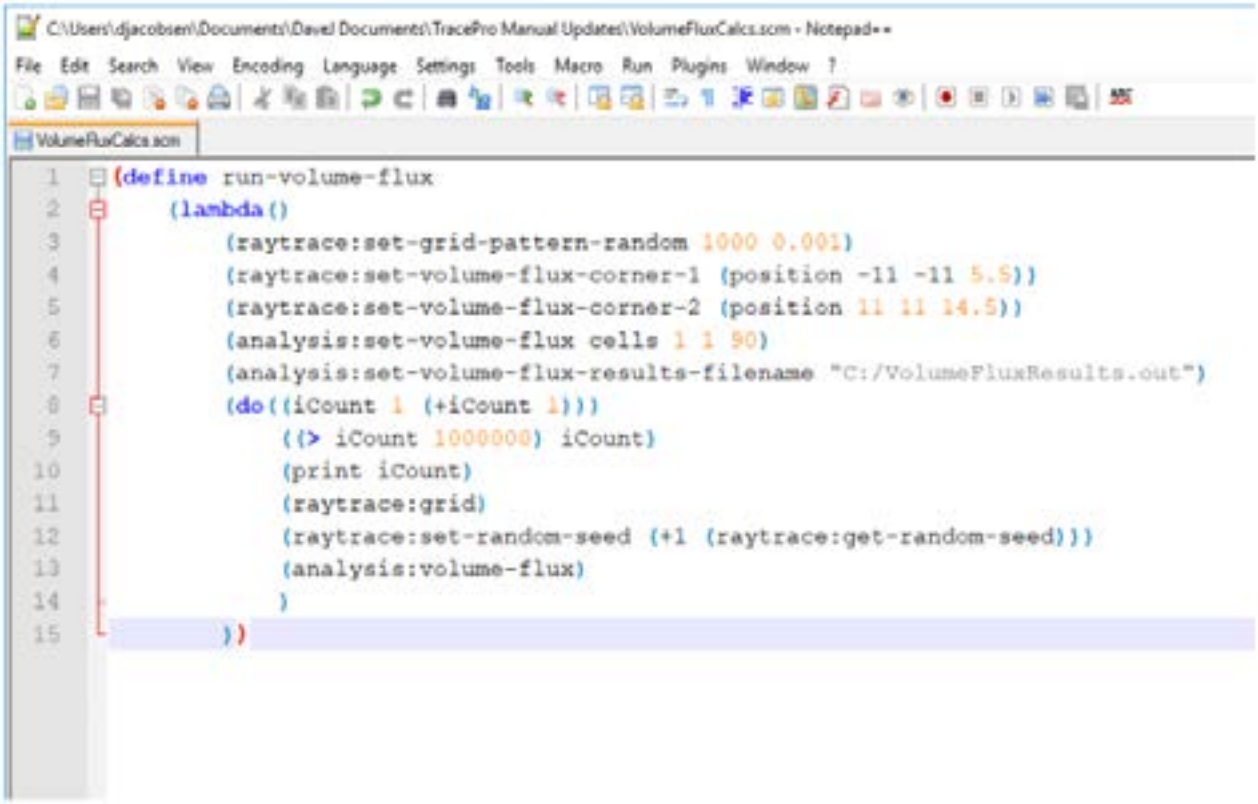


FIGURE 9.29 - Example Scheme macro used to perform repeated raytraces and volume flux calculations.

(run-volume-flux) という名前の scheme マクロを見ると、do ループの終了条件が（この場合は 1,000,000 という）任意に大きな数に設定されていることがわかります。シミュレーションはカウンターが 18,000 に達するまで実行しました。各光線追跡は 1000 本の光線で構成されていたため、このシミュレーションの総光線数は 18,000,000 本でした。しかし、より重要なのは、メモリ要件が単一のトレース、つまりこの場合は 1000 本の光線のみであったことです。

出力ファイルは Microsoft Excel で開き、結果は図 9.30 にグラフ化されました。吸収されたフラックスと累積吸収フラックスの非常に滑らかな分布に注目してください。これは、トレースされた光線の数が多いため、サンプリング誤差が大幅に減少したことによるものです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

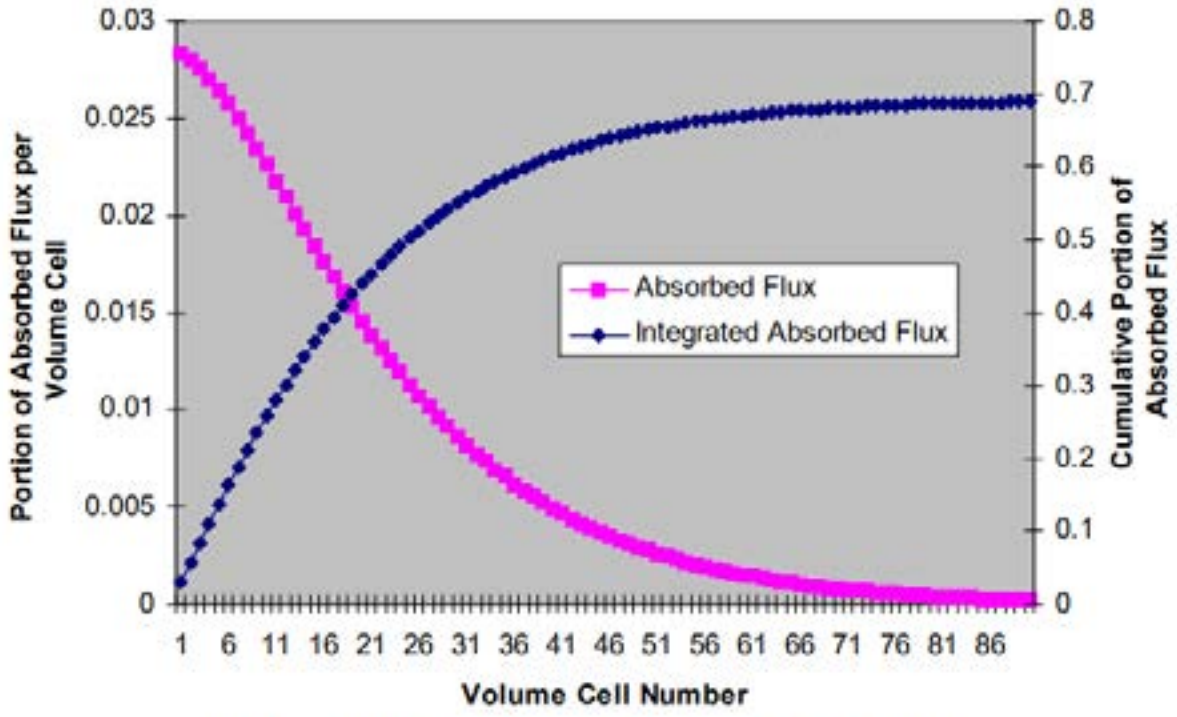


FIGURE 9.30 - Volume Flux Calculations from TracePro

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

サーフェス押出（掃引）の例

この例では、ソリッドのシリンダを作成し、それを長くし、次に円錐形の端を付けます。

「ジオメトリ | プリミティブソリッドを選択し、シリンダ / 円錐タブを選択してシリンダを作成します。

1. シリンダに次の値を入力し、挿入を押します。
2. 主半径：10」
3. 長さ：50
4. ベース位置：0, 0, 0
5. 図 9.31 に示すビューを取得するには、**[ビュー | ビューを選択 |iso 1]** を選択します。

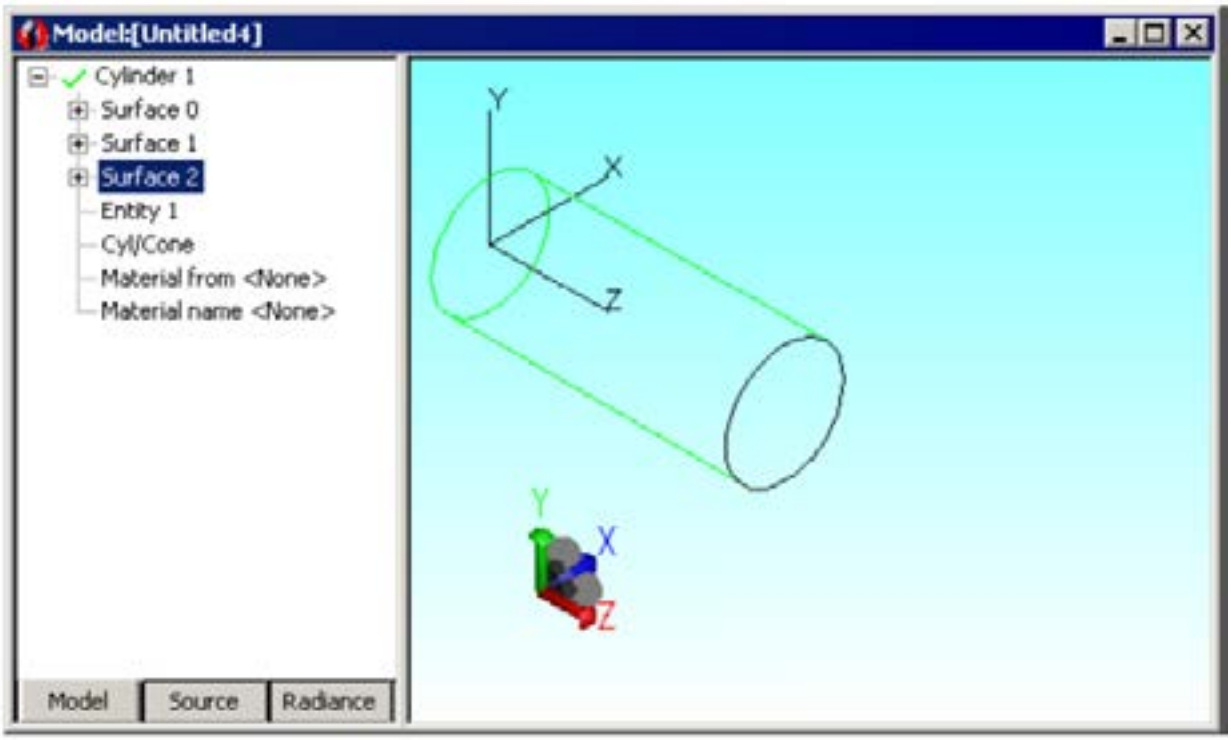


FIGURE 9.31 - Cylinder

シリンダを長くするには **[編集 | サーフェスを選択]** を選択して、サーフェス選択モードをオンにし、シリンダの +z 端面 を選択します。次に **[編集 | サーフェス | 押出]** を選択して、**サーフェスの掃引**ダイアログボックスを開き、図 9.32 に示されている値を入力します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 9.32 - Sweep Surface Dialog Box

「**適用**」ボタンを押して、サーフェスを押し出してください。図 9.33 にあるようにシリンダの平面端面は、平面の法線方向（+z 軸方向）に 50 だけ押し出されます。

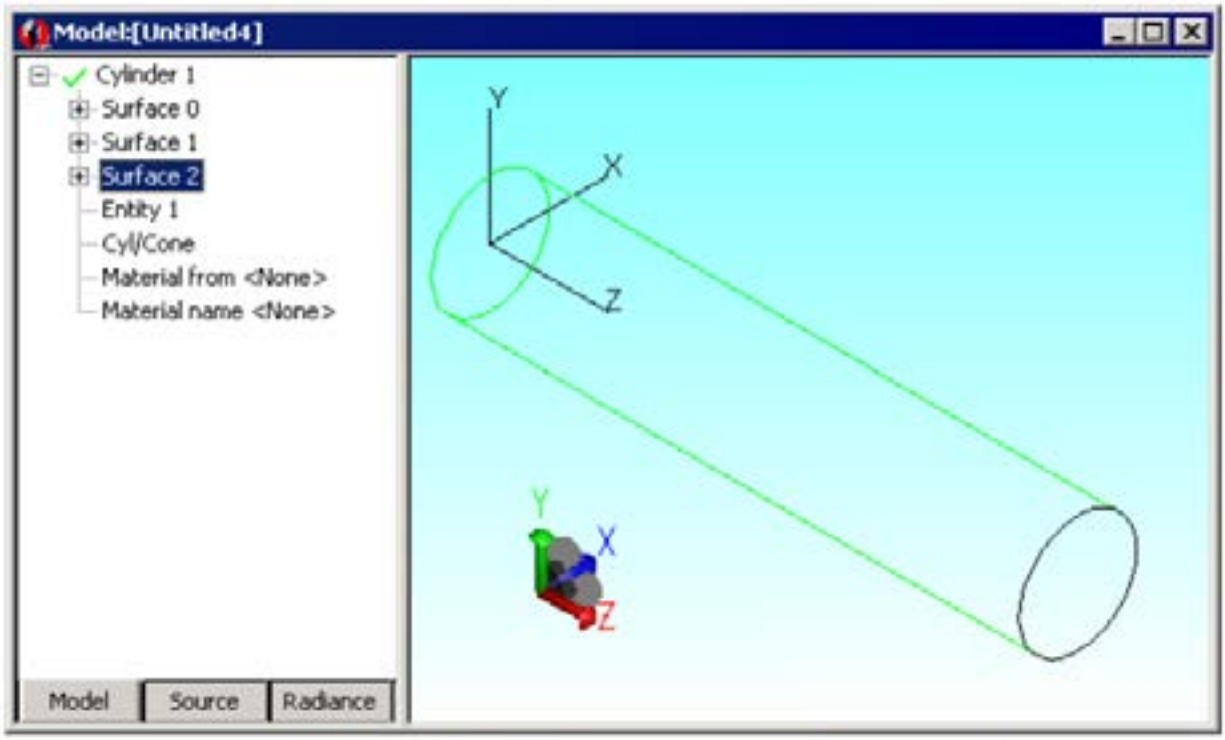


FIGURE 9.33 - Extended Planar Surface After a Surface Sweep

次に、図 9.34 に示すように、距離を 10 に、抜き勾配を -30 に変更してください。
オプションの抜き勾配は度数で指定します。サーフェスの平面に対する法線が、パスの開始点における接線と同じ方向にある場合、パスに沿って掃引されるにつれて、サーフェスの輪郭は正の抜き勾配に対しては拡張され、負の抜き勾配に対しては収縮されます。そうでない場合は、正の角度に対しては収縮され、負の角度に対しては拡張されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 9.34 - Sweep Surface With A Negative Draft Angle

「適用」を押して、サーフェスを負の抜き勾配 30 度でスイープしてください。これにより、図 9.35 に示すように、端面に半円錐角 30 度の円錐状の延長が作成されます。

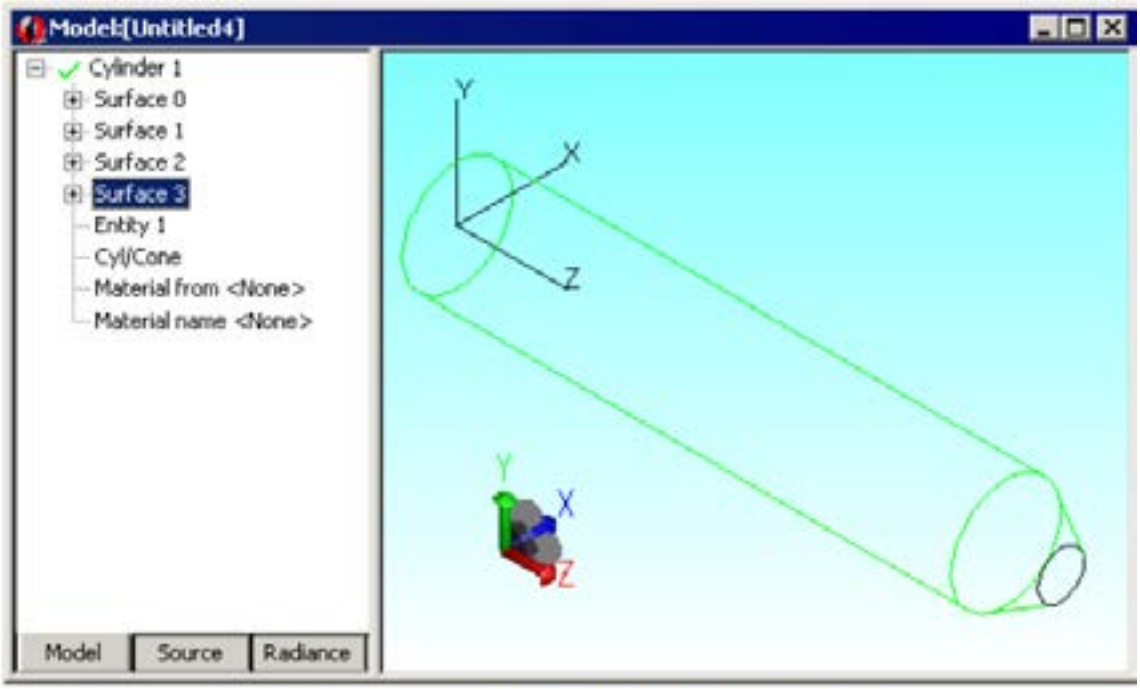


FIGURE 9.35 - The Result of the Negative Draft Angle

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

サーフェス旋回の例

この例では、まずソリッドなシリンダを作成し、次に負のドラフト（抜き勾配）で端を旋回させてホーン状の曲がりを形成します。

1. シリンダの作成 :「ジオメトリ | プリミティブソリッド」を選択し、「シリンダ / コーン」タブを選択してシリンダを作成します。
2. シリンダの値を入力 : シリンダに以下の値を入力し、「挿入」を押してオブジェクトを作成します。
3. メジャー半径 : 10
4. 長さ : 50
5. ベース位置 : 0, 0, 0
6. 斜視図の表示 :**「ビュー | ビューを選択 |iso 1」**を選択して斜視図を表示します。
7. シリンダの曲げとテーパー : シリンダを曲げてテーパーを付けるために、まず**「編集 | サーフェス選の択」**を選択してサーフェス選択モードをオンにし、シリンダの +z 端面を選択します。
8. 次に、**「編集 | サーフェス | 旋回」**を選択して**「サーフェスの旋回の設定」**ダイアログボックスを開き、図 9.36 に示す値を入力します。
9. 位置の計算 :**「選択サーフェスから旋回軸の位置を計算を産出」**オプションをクリックして、位置情報を取得します。
10. 「旋回」をクリックします。図 9.37 に示すように、面が回転してテーパーが付きます。

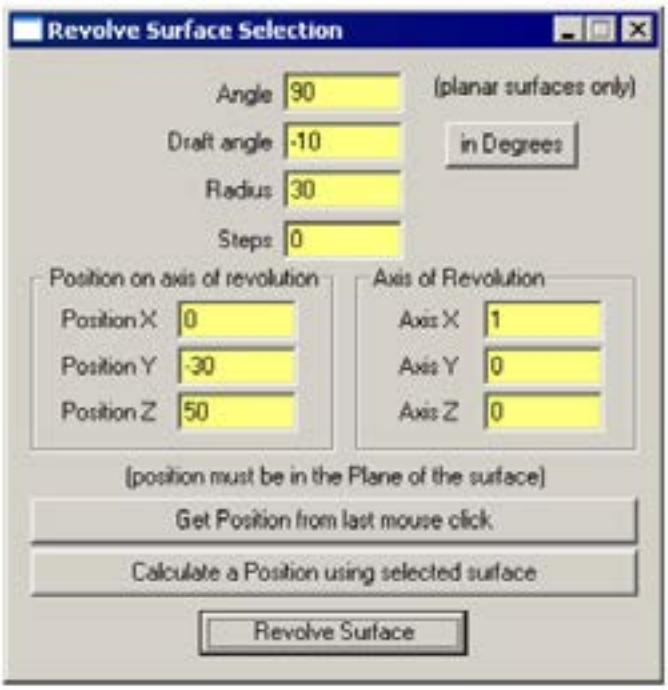


FIGURE 9.36 - The Revolve Surface Selection Dialog Box

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

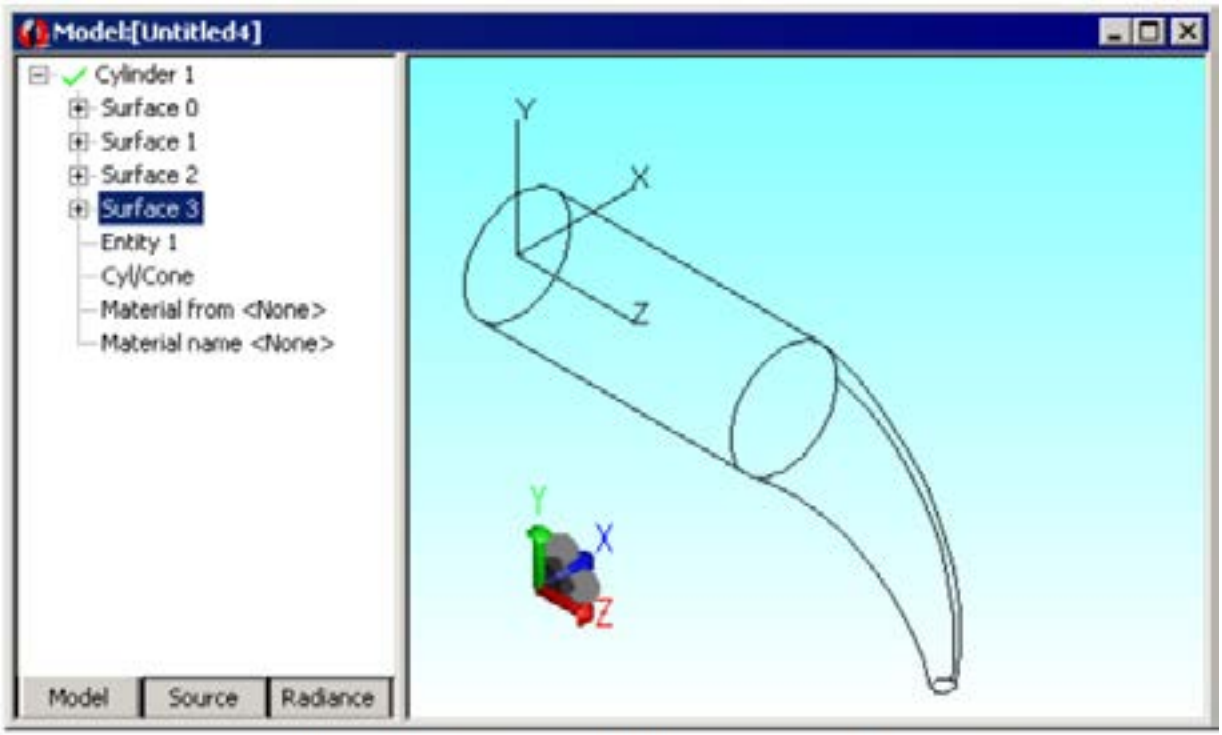


FIGURE 9.37 - The Result of the Values in the Dialog Box

ステップ値が旋回機能にどのように影響するかを確認するため、まず **[編集 | 元に戻す]**（または元に戻すボタン）を選択して、直前の回転操作をキャンセルします。次に、ドラフト角度をゼロに、ステップ値を 1 に設定します。「回転サーフェス」ボタンをクリックすると、図 9.38 のように、シリンダの角にマイター（留め継ぎ）形状が現れるのが確認できます。

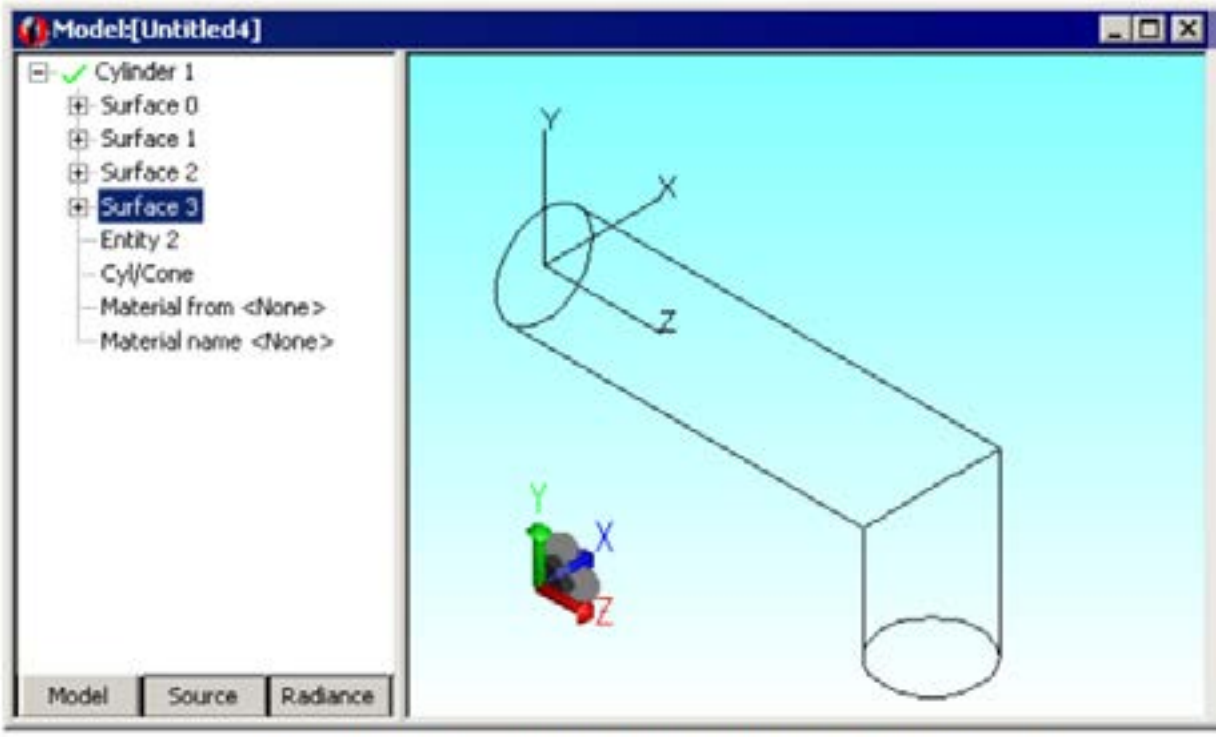


FIGURE 9.38 - Result with Draft Angle Zero & Step Value 1

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

コピーと移動 / 旋回機能の使用

TracePro は、**[編集 | オブジェクト | 移動]** および **[編集 | オブジェクト | 回転]** ダイアログを使用して、オブジェクトの配列を作成するために使用できます。1 つまたは複数のオブジェクトを基準オブジェクトから複製できます。ジオメトリと TracePro のプロパティは、複製されたオブジェクトに転送されます。

この例では、線形レンズ配列と回転レンズ配列を作成する方法を示します。この例をテンプレートとして使用して、TracePro RC で反射オブジェクトの配列を作成できます。

1. **[ジオメトリ | レンズエレメント]** を選択してレンズを作成します。
2. シリンダーに次の値を入力し、[挿入] を押してオブジェクトを作成します。
3. 厚さ : 3
4. サーフェス 1 の半径 : 12

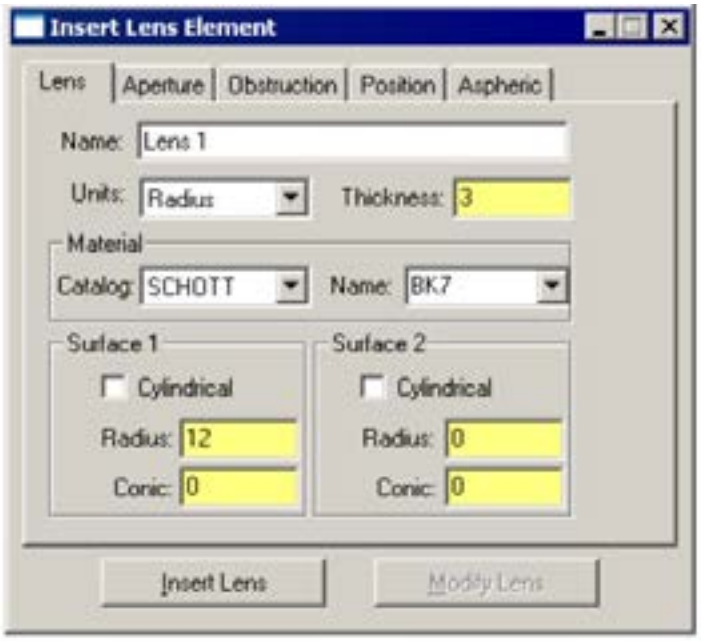


FIGURE 9.39 - Lens Element Dialog

5. 光線ファンをトレースします。**[定義 | グリッドソース]** のパラメータを以下のように設定します。

   Outer radius（外半径）: 25
   Grid Pattern（グリッドパターン）: Cross（十字）
   X points（X 軸の点数）: 1
   その他のオプションはデフォルト値に設定します。

6. Trace This Rays ボタンを押して光線をトレースします。図 9.40 を参照してください。
7. **[編集 | オブジェクト | 移動]** を選択し、マウスでレンズをクリックしてレンズを選択します。
8. **[選択 | オブジェクト | 移動]** ダイアログで Y Center に 16 を入力して「コピー」ボタンをクリックし 2 つ目のレンズを作成します。図 9.41 を参照してください。
9. **[選択 | オブジェクト | 移動]** ダイアログで Y Center に -32 を入力して 3 つ目のレンズ作

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

成します。Copy ボタンを押します。選択が最初のオブジェクトから 2 番目、そして 3 番目のオブジェクトに移動することに注意してください。

10. 別のグリッド光線追跡をトレースします。図 9.42 を参照してください。

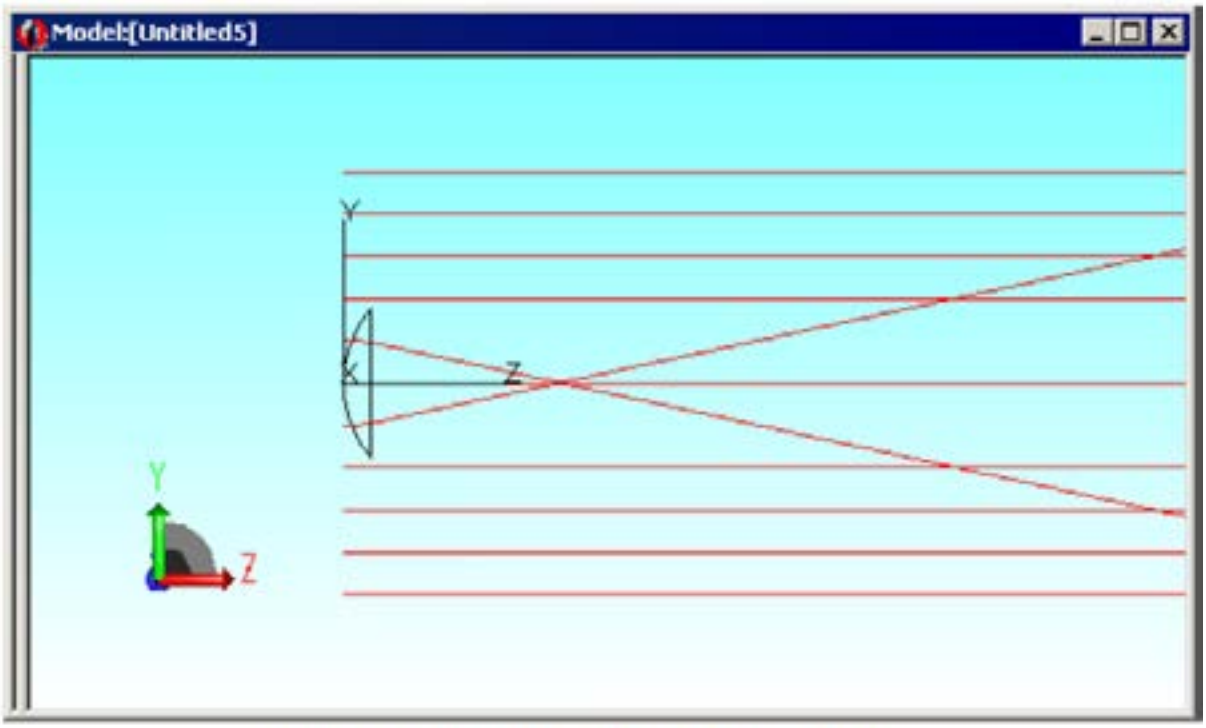


FIGURE 9.40 - Raytrace of single lens element

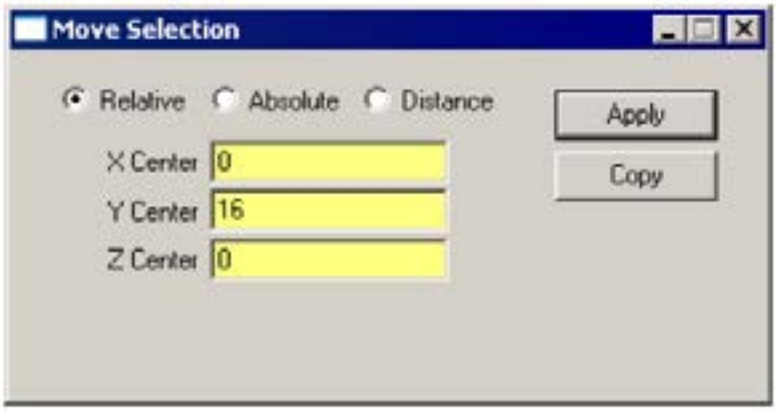


FIGURE 9.41 - Move Selection Dialog

12. 次に TracePro のビューを**「ビュー｜ビューを選択｜X 上 -Y 右」**を選択して XY 断面図に変更し、回転配列を作成します
13. 底部のレンズがハイライト表示されていない場合は、底部のレンズを選択します。図 9.43 を参照してください
14. 「編集｜オブジェクト｜回転」ダイアログを開きます
15. 「回転角度」に 60 と入力し、「軸」を「Z 軸まわり」に変更します。図 9.44 を参照してください
16. **「コピー」**ボタンを 2 回クリックして、さらに 2 つのレンズを作成します
17. 「回転角度」を 120 に変更して**「コピー」**を押し、上部のレンズをスキップします

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

18.「回転角度」を 60 に戻して「コピー」を押し、もう 1 つレンズを追加します

19. 結果として得られるレンズ配列を図 9.45 に示します。

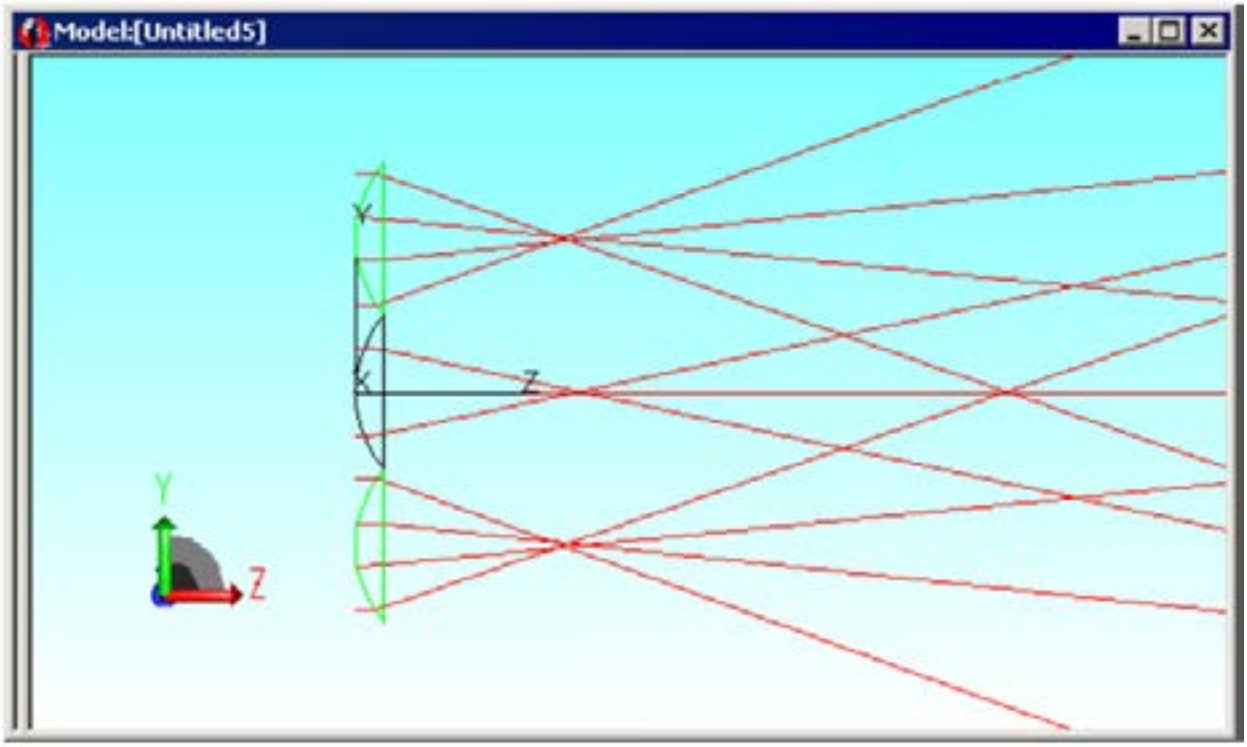


FIGURE 9.42 - Raytrace of linear lens array

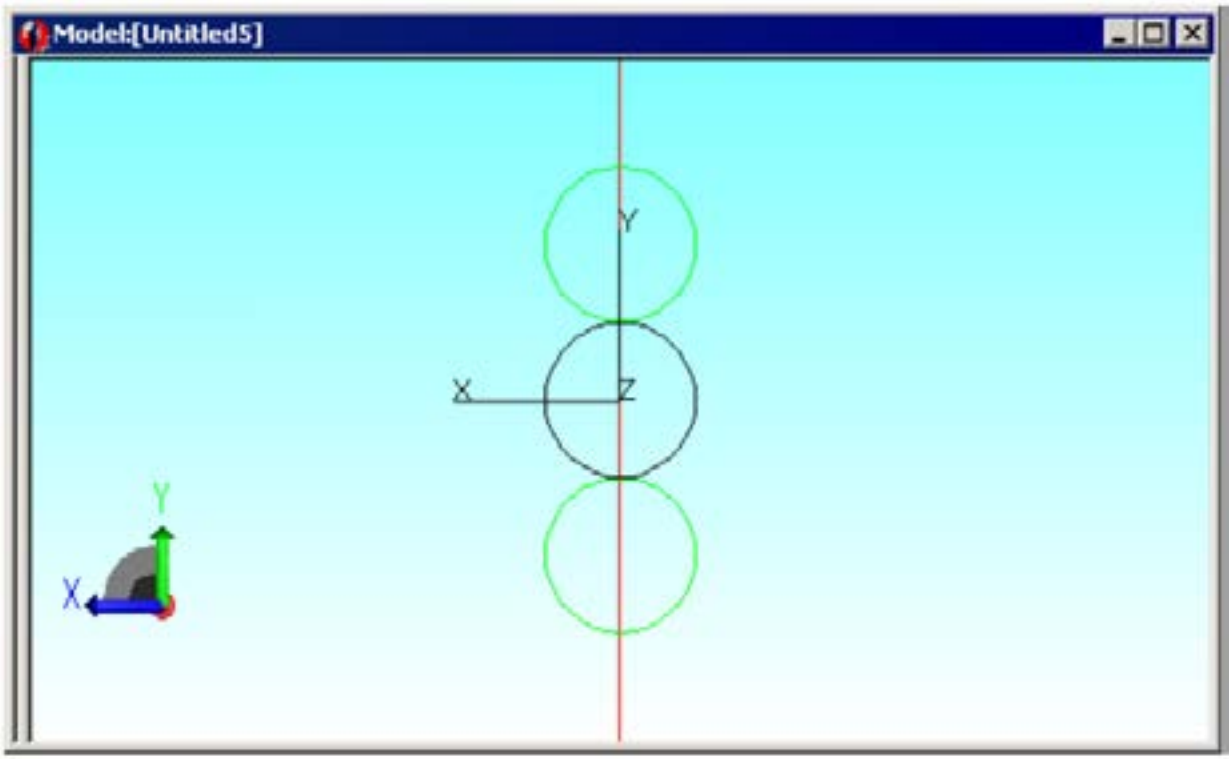


FIGURE 9.43 - XY Profile of Linear Lens Array.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

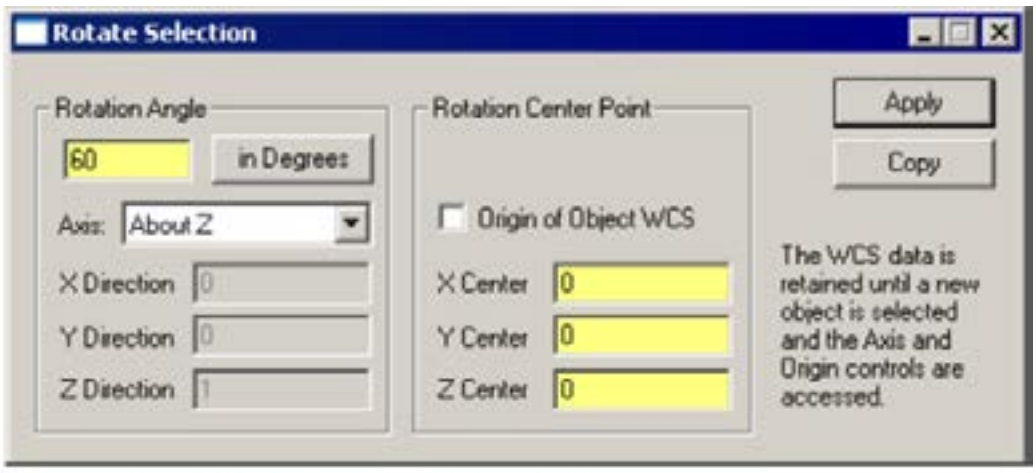


FIGURE 9.44 - Rotate Selection Dialog

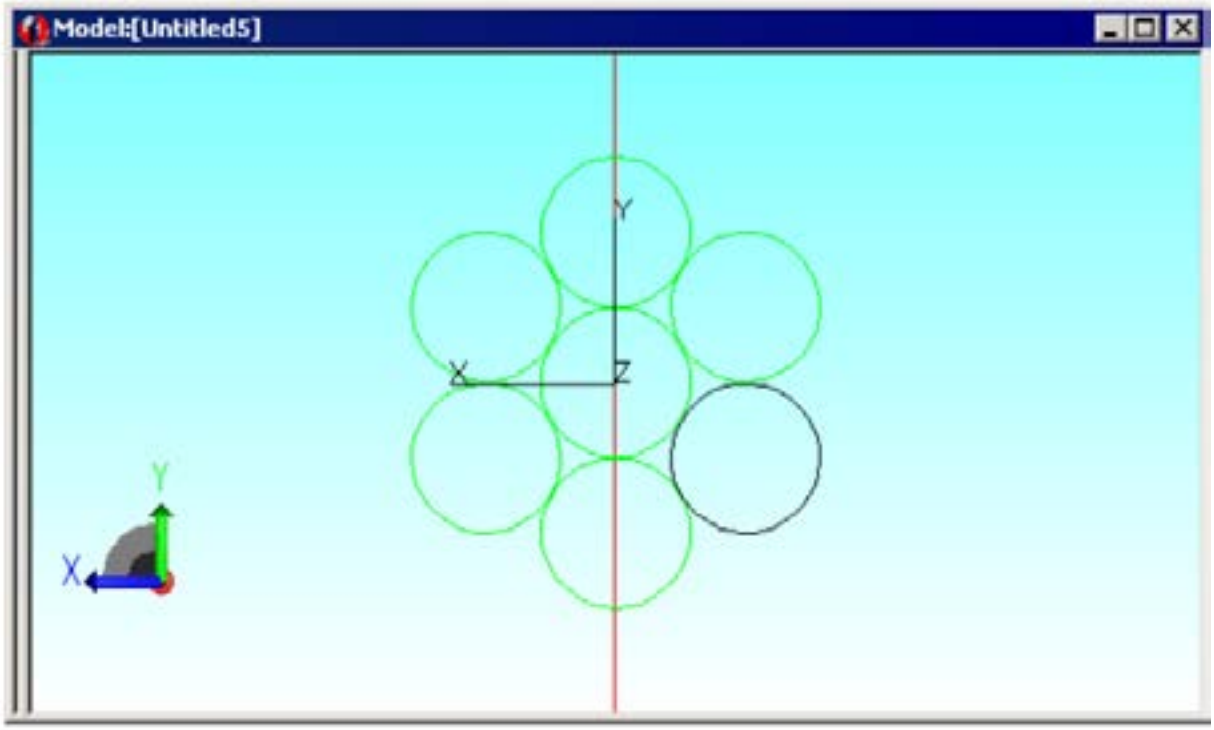


FIGURE 9.45 - Rotation Lens Array

異方性サーフェスプロパティ

異方性サーフェスプロパティは、他のサーフェスプロパティと同様に使用されます。ただし、レイトレーシングやサーフェス光源に必要な特性の実際の値は、入力されたデータ点からの双線形補間によって計算されます。モデル内の任意のサーフェスに異方性サーフェスプロパティを適用でき、通常の方法で使用されます。より技術的なニュアンスを出す場合は、以下のようにすることもできます。

異方性サーフェスプロパティ

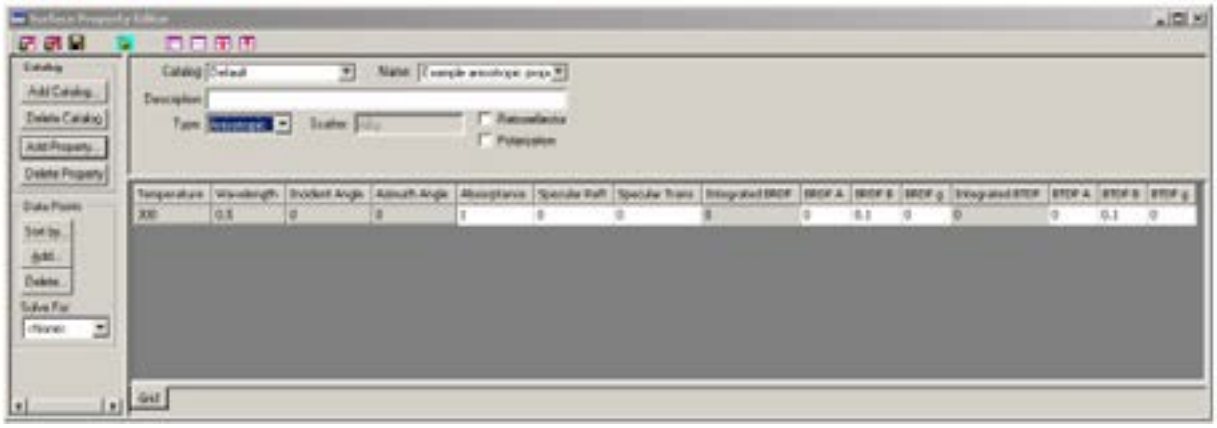
異方性サーフェスプロパティは、他のサーフェスプロパティと同様に利用されます。ただし、レイトレーシングやサーフェス光源において必要となる特性の実際の値は、入力されたデータ点に基づき双線形補間によって算出されます。モデル内の任意のサーフェスに異方性サーフェ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

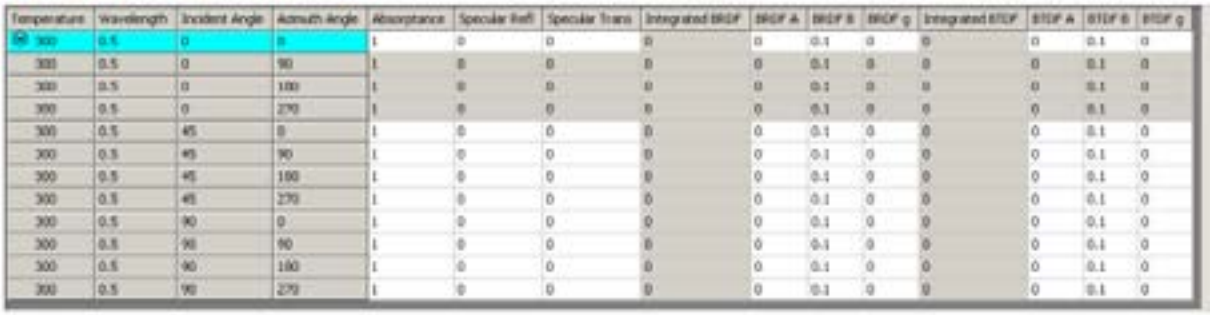
スプロパティを適用することで、通常通り利用可能です。

TracePro での異方性サーフェスプロパティの作成

異方性サーフェスプロパティの作成は、テーブルサーフェスプロパティの作成とよく似ています。サーフェスプロパティエディタを開くには、**[定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ]** を選択します。カタログドロップダウンリストから、新しいプロパティを作成したいカタログを選択します。プロパティ追加ボタンをクリックし、希望する散乱モデルを選択し、温度と波長を入力します。サーフェスプロパティエディタは、テーブルタイプの新しいプロパティを作成します。最後に、タイプドロップダウンリストから異方性を選択します。下の図は、タイプを異方性に変更した後のエディタを示しています。この例のプロパティは、プロパティ追加ダイアログボックスで ABg 散乱モデルを選択して作成されました。



入射角（Incident Angles）と方位角（Azimuth Angles）は、必要に応じていくつでも追加できます。角度を追加するには、「サーフェスプロパティエディタ」の「データ点（Data Points）」セクションにある「追加（Add）」ボタンをクリックする。
図は、3 つの入射角と 4 つの方位角が設定された状態を示しています。角度は度単位で入力します。



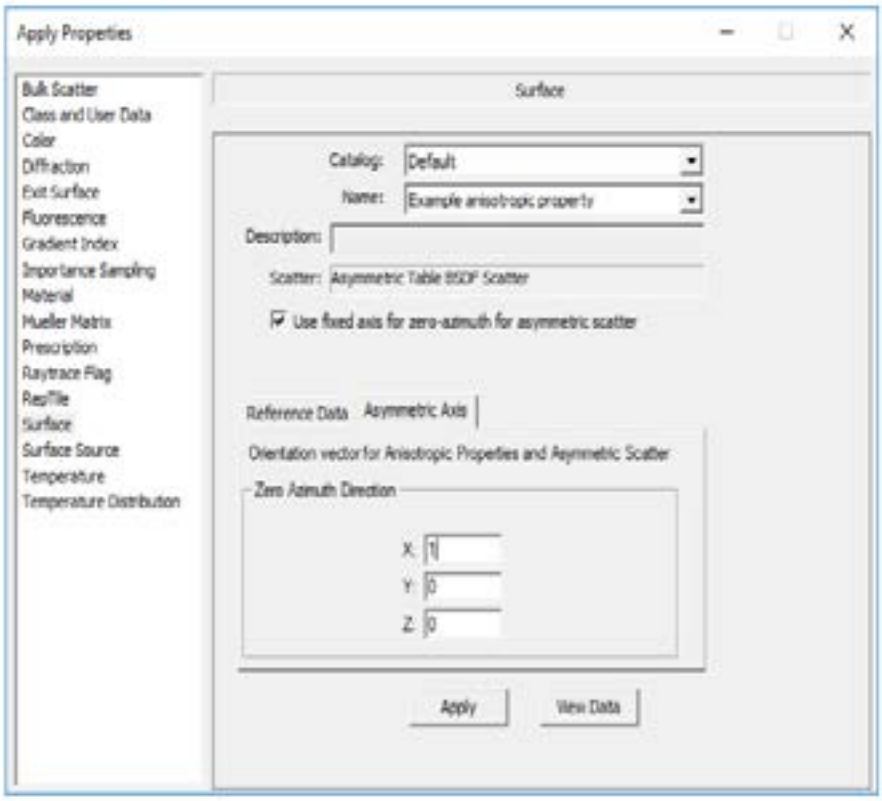
注意：入射角がゼロの行では、編集可能な行は方位角がゼロの行のみで、他の行は「灰色」になっています。これは、光がゼロ度で入射する場合、方位角は意味を持たないためです。ゼロ入射角とゼロ方位角の行に値を入力すると、他のゼロ入射行は同じデータで更新されます。

サーフェスに異方性サーフェスプロパティを適用する

サーフェスに異方性サーフェスプロパティを適用するには、プロパティを適用したいサーフェスを選択します。**「定義｜プロパティデータの適用」**を選択し、左ペインで**「Surface」タブ**をクリックします。右ペインのリストからプロパティカタログと名前を選択します。次に、「Surface」

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

タブ内の「異方性軸」タブを選択し、ゼロ方位角方向の方向を入力します。この方向ベクトルは、楕円形の BSDF（双方向散乱分布関数）が存在する場合、その方向付けにも使用されることに注意してください。方位角 =0 軸に (1, 0, 0) を入力した例を以下に示します。



IGURE 9.46 - Anisotropic Axis Sub-Tab in Apply Properties Dialog

ゼロ方位角方向は必ずしもサーフェス上にある必要はありません。TracePro はそれをサーフェスに投影します。曲面の場合、いずれにしても一般的にサーフェスの接平面上にあることは不可能です。平面にプロパティを適用する場合は、ゼロ方位角方向がサーフェスに対して垂直であってはなりません。最後に、「適用」ボタンをクリックして、選択した対象にプロパティを適用します。

楕円 BSDF

楕円 BSDF とは、任意のサーフェスプロパティタイプと組み合わせて使用できる 2 つの異方性散乱モデルを指します。各モデルは長軸と短軸によって定義されるため、「楕円」という名前が付けられています。データは ABg 係数またはガウス係数を使用して定義できます。

楕円 BSDF サーフェスプロパティは他のサーフェスプロパティと同様に使用されますが、プロパティをサーフェスに適用する際に、「プロパティの適用」ダイアログで方位角 =0 の軸を指定する必要があります。これは、サーフェスプロパティタブの「異方性軸」サブタブにあります。

楕円 BSDF プロパティの作成

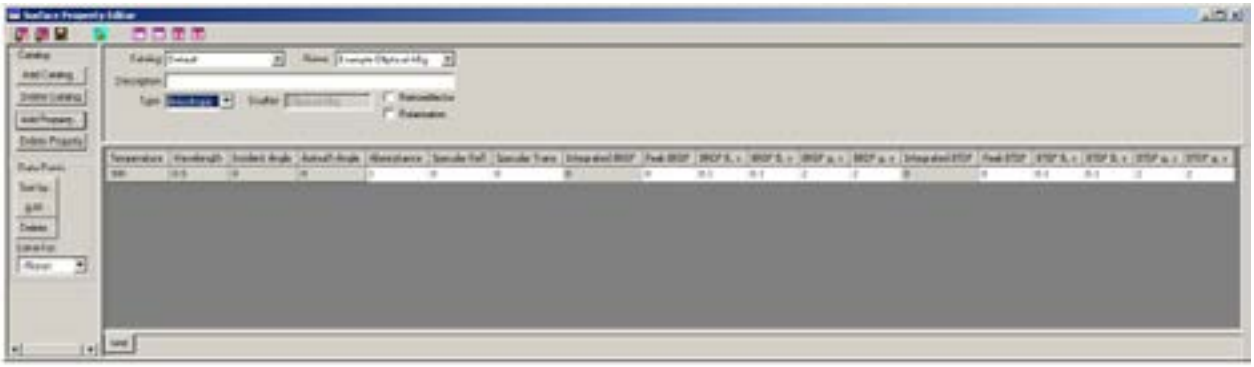
「定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ」を選択して、サーフェスプロパティエディタを開きます。「カタログ」ドロップダウンリストから、新しいプロパティを作成するカタログを選択します。「プロパティの追加」ボタンをクリックし、使用する散乱モデル（楕円 ABg または楕円ガウス）を選択し、温度と波長を入力します。サーフェスプロパティエディタは、

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

テーブルタイプの新しいプロパティを作成します。最後に、ドロップダウンリストから任意のサーフェスプロパティのタイプを選択します。下の図は、楕円 ABg が選択され、タイプが異方性に変更されたエディタを示しています。

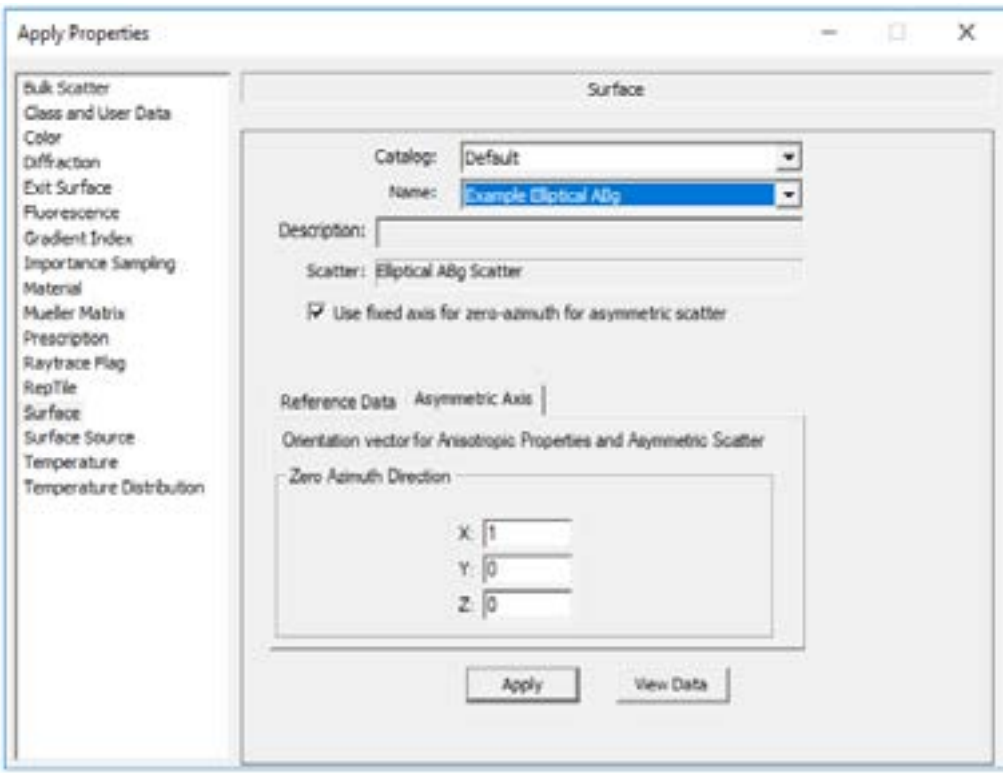
補足

BSDF（Bidirectional Scattering Distribution Function：双方向散乱分布関数）は、光がサーフェスに当たったときの反射や透過のプロパティを表すものです。



サーフェスへの楕円 BSDF サーフェスプロパティの適用

サーフェスに楕円 BSDF サーフェスプロパティを適用するには、プロパティを適用したいサーフェスを選択します。**「定義 | プロパティを適用」**を選択し、「Surface」タブをクリックします。リストからプロパティカタログと名前を選択します。次に、「Surface」タブ内の「異方性軸」タブを選択し、「ゼロ方位角方向」の方向を入力します。この方向ベクトルは、サーフェスプロパティが異方性の場合、その方向付けにも使用されることに注意してください。図 9.46 に、ゼロ方位角方向として (1, 0, 0) が入力された例を示します。



TracePro では、方位角 =0 の軸はサーフェスの接平面上にある必要はありません。TracePro がそれをサーフェスに投影するためです。曲面の場合、一般的にサーフェスの接平面上にあることは不可能です。平面にプロパティを適用する場合、方位角 =0 の方向はサーフェスに垂直であってはなりません。最後に、「適用」ボタンをクリックして、選択した部分にプロパティを適用します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

TracePro 回折グレーティングの使用

TracePro に新機能として回折グレーティングのモデリングが追加されました。この機能を使用すると、リニアグレーティングをモデル化できます。これは、グレーティンググルーブが等間隔の平行な平面と基板サーフェスとの交線に沿って配置されていることを意味します。基板サーフェスが平面の場合、グルーブは等間隔で直線になります。基板が曲面の場合、グルーブは等間隔の平行な平面と基板との交線によって定義されます。

このタイプのグレーティングは、ルーリングエンジンによって作成されます。ルーリングエンジンでは、ツールが各パスごとに同じ距離だけ進み、ツールはサーフェスの等高線に沿って移動できます。

TracePro で回折グレーティングを使用する

TracePro で回折グレーティングを使用するには、まずグレーティングタイプのサーフェスプロパティを定義し、プロパティ内の各次数の回折効率を指定してから、そのプロパティをサーフェスに適用する必要があります。

グレーティングサーフェスプロパティを定義するには：

1. まず、ABg 散乱モデルを使用して新しいサーフェスプロパティを作成します。3.30 ページの「既存のサーフェスプロパティの編集」を参照してください。
2. 図 9.47 に示すように、[タイプ] ドロップダウンリストから [グレーティング] を選択します。

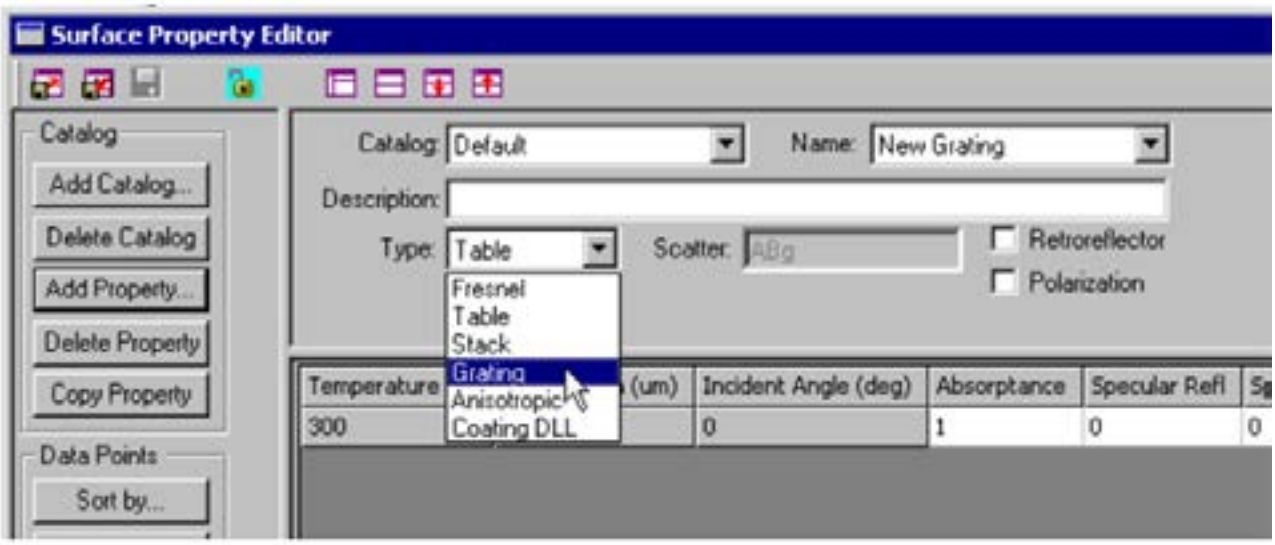


FIGURE 9.47 - Creating a surface property of type Grating.

3. 「Data Points」セクションの「Add」をクリックし、新たな回折時数を追加します。
4. 反射光と透過光の回折次数と効率を入力してください。図 9.48 に示すように、追加ダイアログボックスに新しい次数を入力し、それぞれ適用をクリックすることで、必要なだけ次数を追加できます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

FIGURE 9.48 - Adding a grating order using the Add Data dialog box.

効率とは、入射したフラックスのうち、その次数に回折される割合のことです。TracePro は、すべての反射効率の合計を計算し、現在のデータサブセットの入力の下部にある「合計」行にその値を表示します。同様に、透過効率についても同様です。したがって、回折グレーティングサーフェスプロパティの場合、通常のやり方で鏡面反射率と透過率を入力することはできません。ただし、通常のやり方で吸収率、BRDF、BTDF を入力することはでき、吸収率、BRDF、または BTDF を解くことができます。また、テーブルタイプのサーフェスプロパティと同様に、任意の入射角をいくつでも入力できます。

5. 最後に、回折グレーティング間隔を入力する必要があります。これは、回折グレーティングを形成するために使用される平行な平面間の距離です。

以下の図は、1 つの入射角と 3 つの回折次数を持つ完成した回折グレーティングサーフェスプロパティを示しています。この例では、A = 0.002、B = 0.001、g = 2 で BRDF を定義し、吸収率を解きました。

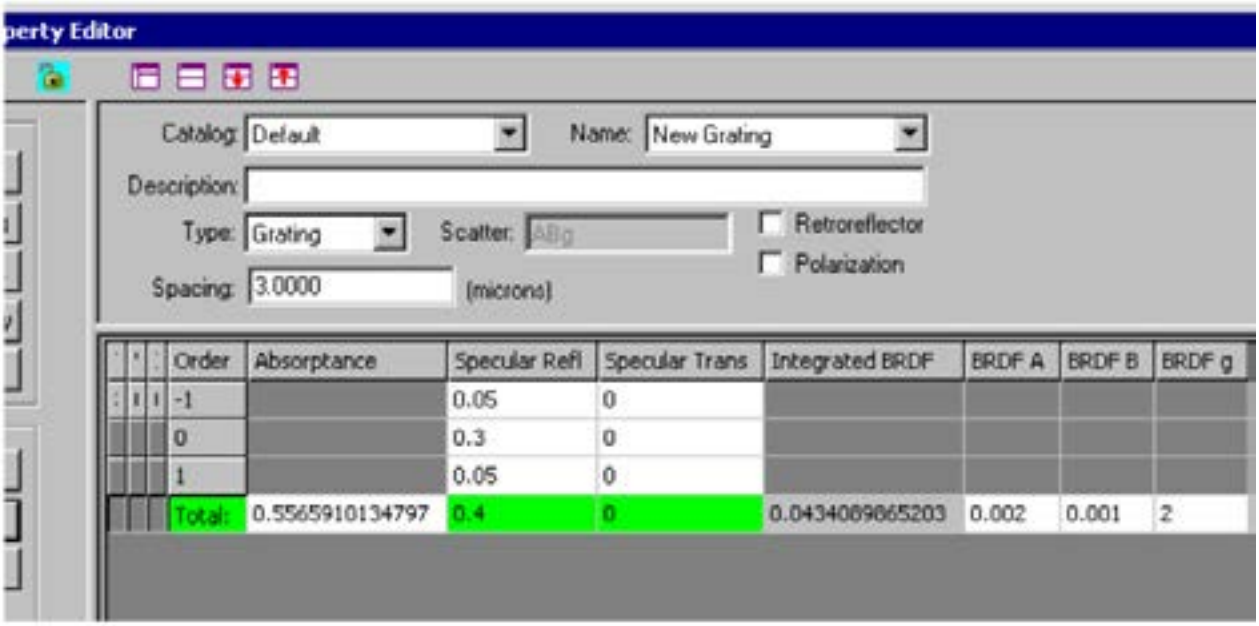


FIGURE 9.49 - A completed Grating Surface Property with one angle of incidence, three grating orders and BRDF.

このサーフェスプロパティは回折グレーティングであり、BRDF も追加しました。BRDF を指定すると、積分 BRDF または全散乱（TS）は効率に比例して回折次数に分割されます。

サーフェスにグレーティングサーフェスプロパティを適用するには、サーフェスを選択し、通常の方法で**「定義 | プロパティの適用」**の右ペインで「Surface」タブを選択します。「サーフェスプロパティ」ドロップダウンリストからグレーティングプロパティを選択すると、「Up Direction」も表示されます。

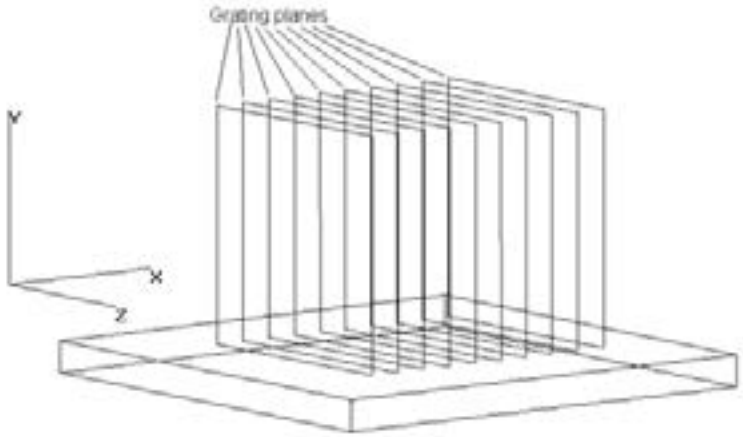


FIGURE 9.50 - Rectangular substrate with grating formation planes. In this example, the grating Up Direction could be along the +x or -x axis.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

上方向（Up Direction）は、回折グレーティング面に対して垂直な単位ベクトルであり、正の回折次数方向を指します。例を図 9.51 に示します。

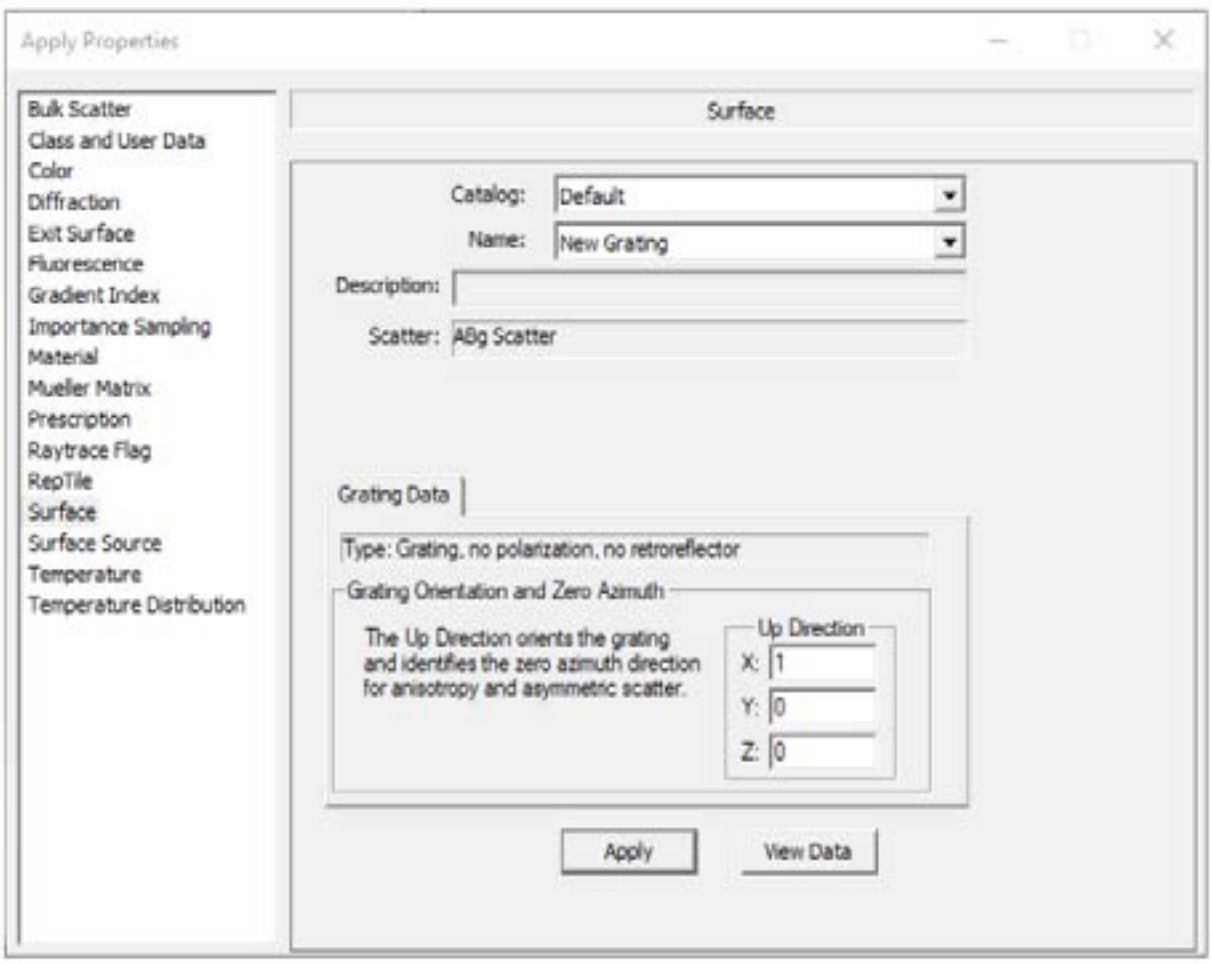


FIGURE 9.51 - Grating Surface Property applied to a plane surface. The Up Direction is along the +x axis.

グレーティングサーフェスプロパティのレイトレーシング

グレーティングサーフェスプロパティが適用されたサーフェスと光線が交差すると、TracePro は与えられた入射角に対する効率データを補間します。入射方向が 1 つ以上の次数が存在できないような場合、それらの次数からのフラックスは、残りの次数にその効率に比例して与えられます。私たちの例では、グレーティングは反射次数のみを持ち、BRDF が定義されています。図 9.52 では、回折次数が異なるビューで示されています。散乱光線は、デフォルトのフラックス閾値である 0.05 を下回るフラックスを持つため、追跡されません。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

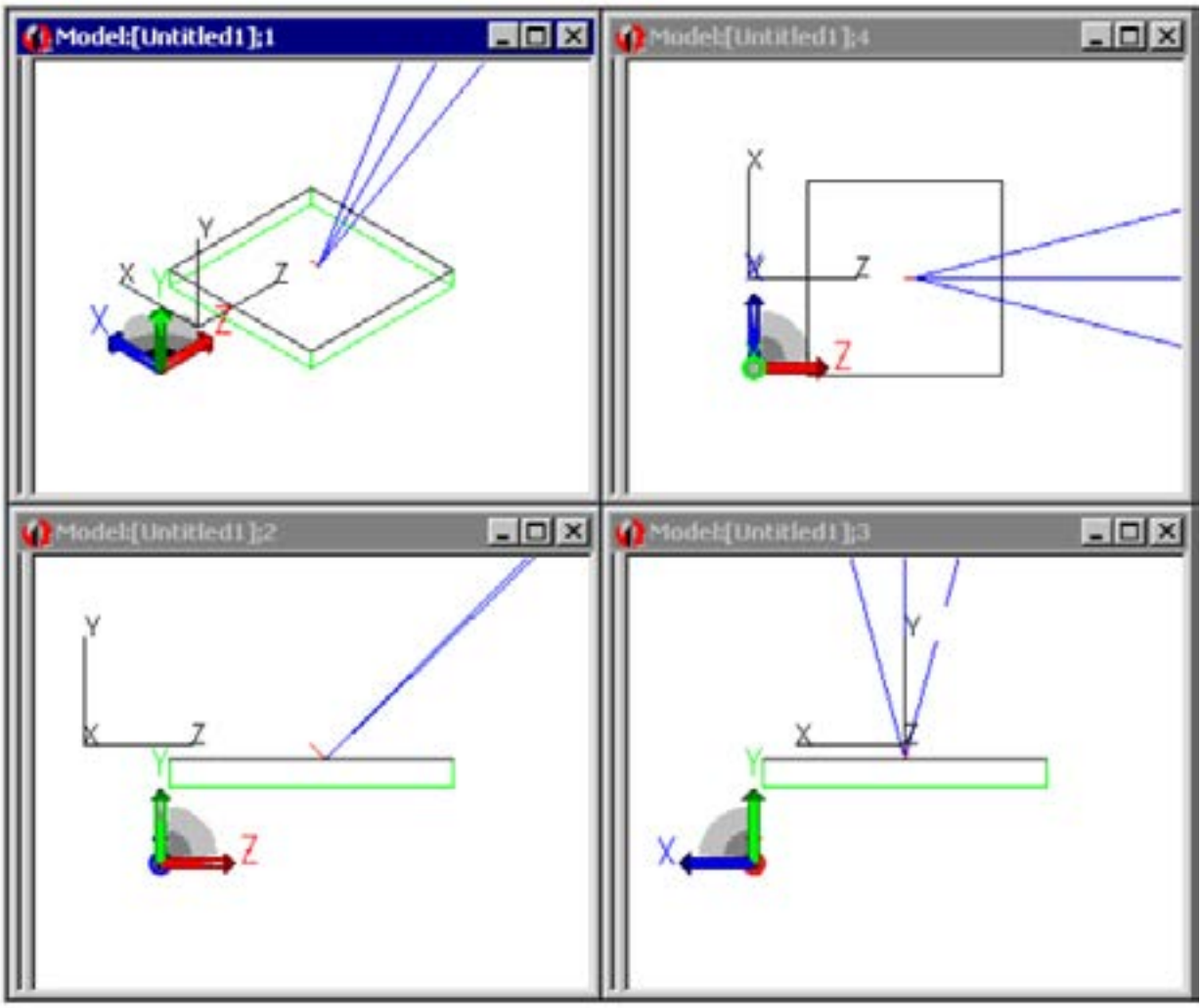


FIGURE 9.52 - Diffracted orders for the example Grating Surface Property. Scattered rays have flux below the threshold so they are not traced.

フラックス閾値を低く設定する（この例では 0.001）と、散乱光線が追跡されるようになり、図 9.53 に示されている通り回折次数ごとに一つの散乱光線が観測されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

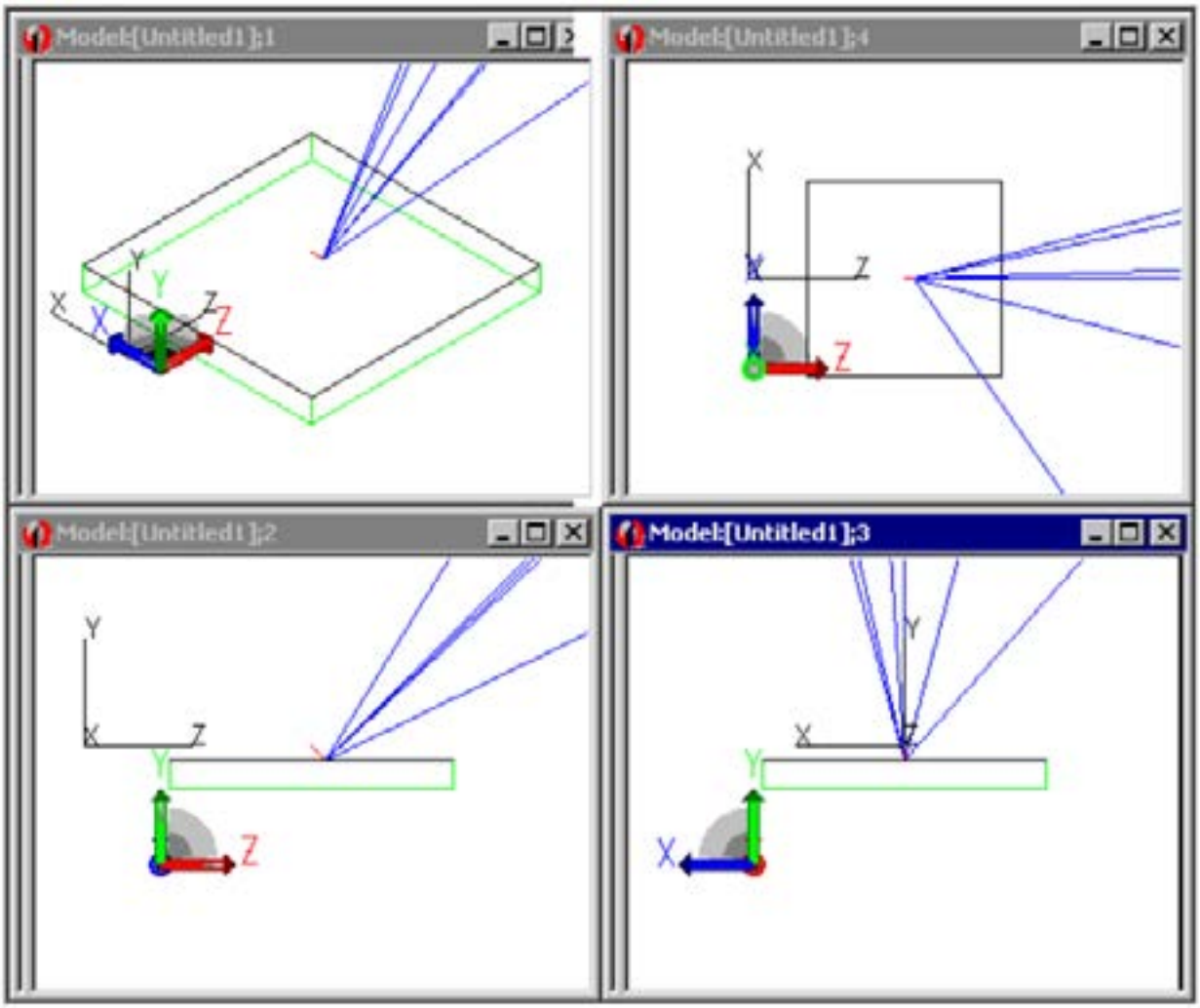


FIGURE 9.53 - The example in Diffracted orders for the example Grating Surface Property. Scattered rays have flux below the threshold so they are not traced.6 has been re-run with flux threshold lowered to 0.001 so that scattered rays are traced.

逆光線追跡を用いた例

この例では、EllipticalReflector_Reverse.oml モデルから始め、逆光線追跡を使用します。

まず、EllipticalReflector_Reverse.oml のサンプルモデルを開きます。順光線追跡では、サーフェス光源の光線追跡を開始します。光線は **Arc:Cyl** サーフェスから放射され、**Observation disk:Front** サーフェスで収集されます（図 9.54 を参照）。光線追跡が完了したら、**Observation disk:Front** サーフェスを選択し、**[解析結果 | イラジアンス / イルミナンスマップ]** を使用して照度 / イルミネーションマップを表示します。また、**[解析結果 | カンデラプロット]** を使用してカンデラプロットを表示したり、**[解析結果 | 光線のソート]** を使用して光線をソートしたり、解析 | 入射光線テーブルを使用して入射光線テーブルを表示したり、**[解析結果 | 入射光線ヒストリ]** を使用して入射光線ヒストリを表示したりすることもできます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

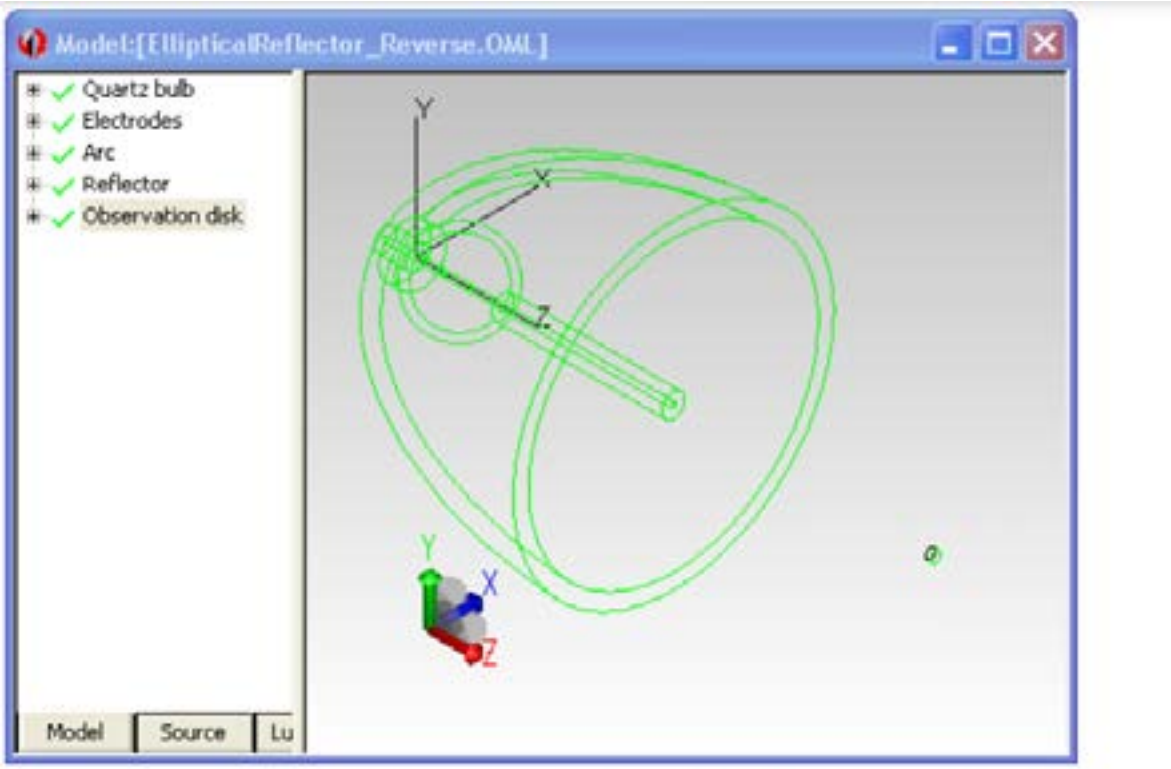


FIGURE 9.54 - EllipticalReflector_Reverse.oml example model from www.lambdares.com Technical Support TracePro Examples. In a forward ray trace, rays are emitted from the Arc:Cyl surface source and flux collected at the Observation disk:Front surface. In a reverse ray trace, rays are emitted from the Observation Disk:Front surface and collected at the source.

逆光線追跡では、これらの解析結果をすべて表示できますが、場合によっては意味が異なります。この例を通して、意味がどのように異なるかを見ていきましょう。

逆光線追跡を実行し、**Observation disk:Front** から光線を放出します。逆光線を開始するサーフェスは任意に選択できます。唯一の要件は、最初にそのサーフェスを出口サーフェスにすることです。

逆光線の指定

EllipticalReflector_Reverse.oml モデルを使用して、**Observation disk:Front** を選択し、次に**「定義 | プロパティの適用」**を選択して**「プロパティの適用」**ダイアログボックスを開きます。**「出口サーフェス」**タブを選択し、「出口サーフェス」チェックボックスをオンにして、図 9.55 に示すように「逆光線の数」に 1000 を入力します。「適用」をクリックして、設定をサーフェスに適用します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

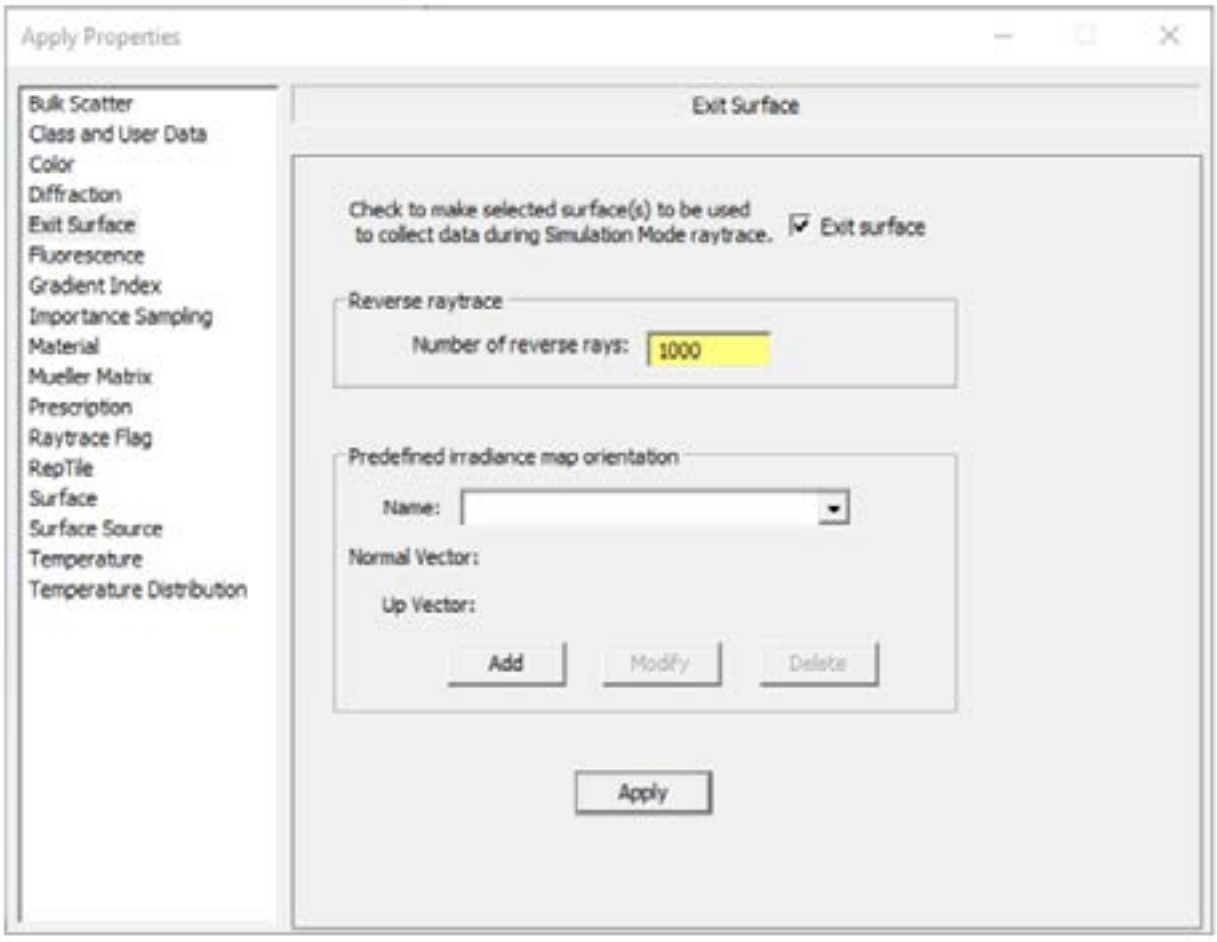


FIGURE 9.55 - Apply Properties dialog box showing the exit surface defined. 1000 reverse rays have been applied to the exit surface.

インポータンスサンプリングのターゲットを設定する

逆光線追跡を機能させるためには、逆光線を生成するためのインポータンスサンプリングのターゲットを定義する必要があります。光線には、5.37 ページの「逆光線追跡の理論」のセクションで説明されているように、étendue（エタンデュ）値が割り当てられ、立体角はインポータンスサンプリングのターゲットによって決定されます。1 つ以上のターゲットがないと、étendue を有意義な方法で計算できません。ターゲットは、逆光線が追跡される各出口サーフェスに割り当てられます。この例では、1 つのインポータンスサンプリングターゲットを使用し、それを **Observation disk:Front** に適用します。この面を選択し、前のセクションと同様に**「プロパティの適用」**ダイアログボックスを開き、今回は**「インポータンスサンプリング」**タブを選択します。リフレクタの前面（z = 500 に位置）に、外半径 = 280、内半径 = 20 の環状のインポータンスサンプリングターゲットを作成します。また、4x4 のパターンで放射状および方位角方向に分割することにより、インポータンスサンプリングターゲットにセルを作成します。図 9.56 に示す値を入力し、「適用」をクリックしてターゲットを作成します。これらのセグメントにより、指定されたすべての逆光線に対して、4x4 = 16 本の光線が生成されます。1000 本の逆光線を指定したため、16,000 本の実際の光線が生成されます。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

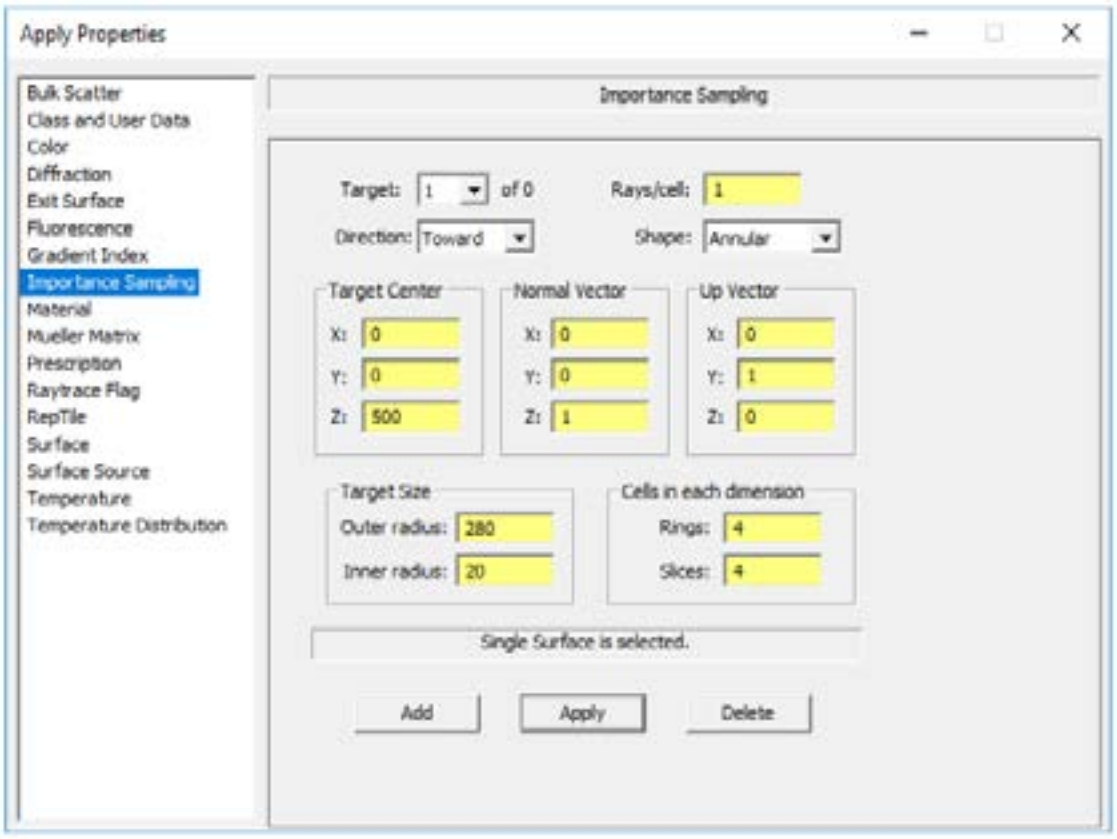


FIGURE 9.56 - Applying an importance sampling target to the Exit Surface.

逆光線の追跡

「逆光線追跡を開始する準備が整いました。**[光線追跡 | 逆光線追跡]** を選択して、光線追跡を開始します。または、ツールバーの逆追跡ボタンをクリックすることもできます。

光線追跡を開始すると、順光線追跡と同様に、監査進行状況ダイアログボックスが表示され、次に光線追跡進行状況ダイアログボックスが表示されます。光線追跡が終了すると、分析結果を表示する準備が整います。図 9.57 は、光線追跡が終了し、光線が表示されたモデルウィンドウを示しています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

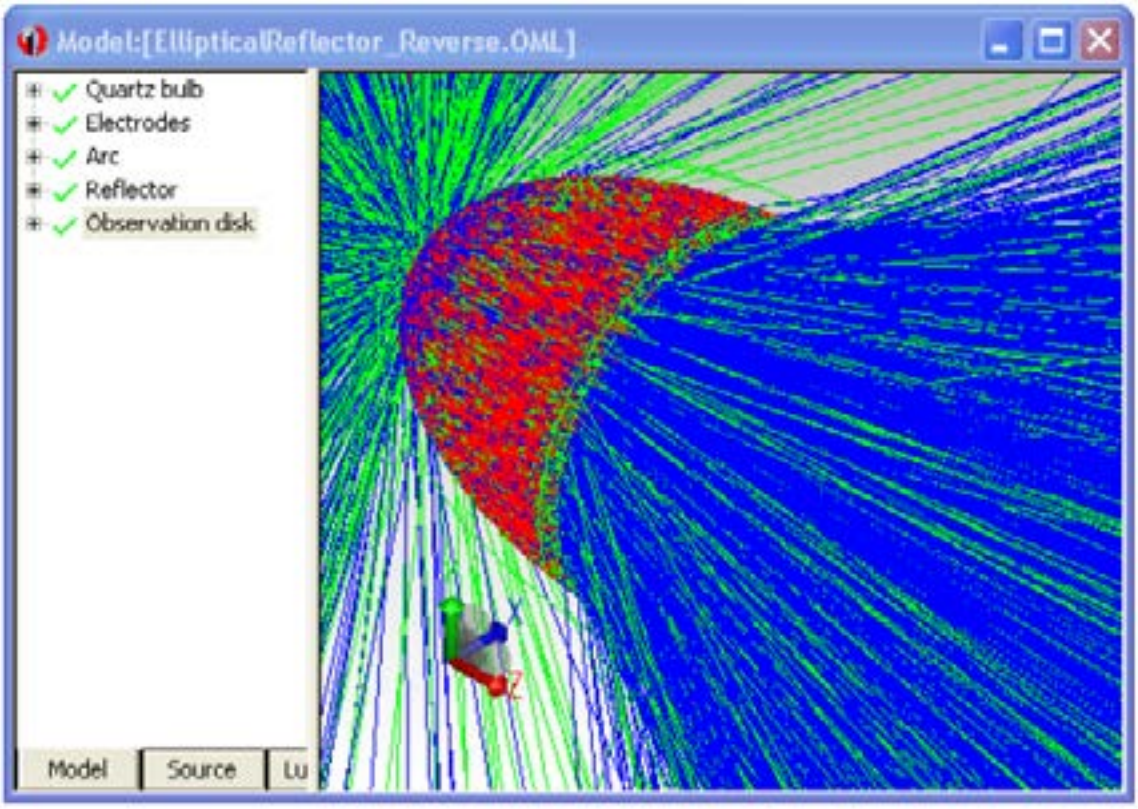


FIGURE 9.57 - Completed Reverse Ray-trace with rays displayed.

解析結果の表示

解析結果は、順方向の光線追跡とほぼ同じ方法で表示できますが、意味が異なる場合があります。相違点と類似点については、以下のセクションで説明します。

放射照度 / 照度マップ

出射面での放射照度 / 照度マップを表示するには、まず出射面を選択し、次に順方向の光線追跡の場合と同様に、[**解析結果 | イラジアンス / イルミナンスマップ**] を選択します。出射面に入射する照度が、光線が順方向に追跡された場合と同様に表示されます。例の放射照度 / 照度マップを図 9.58 に示します。約 29,000 本の光線が観測ディスクに到達したことに注意してください。100,000 本の光線で順方向の光線追跡を行うと (逆方向の光線追跡よりもはるかに時間がかかります)、約 4,000 本の光線しか観測ディスクに到達せず、結果として照度マップがはるかにノイズが多くなります。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

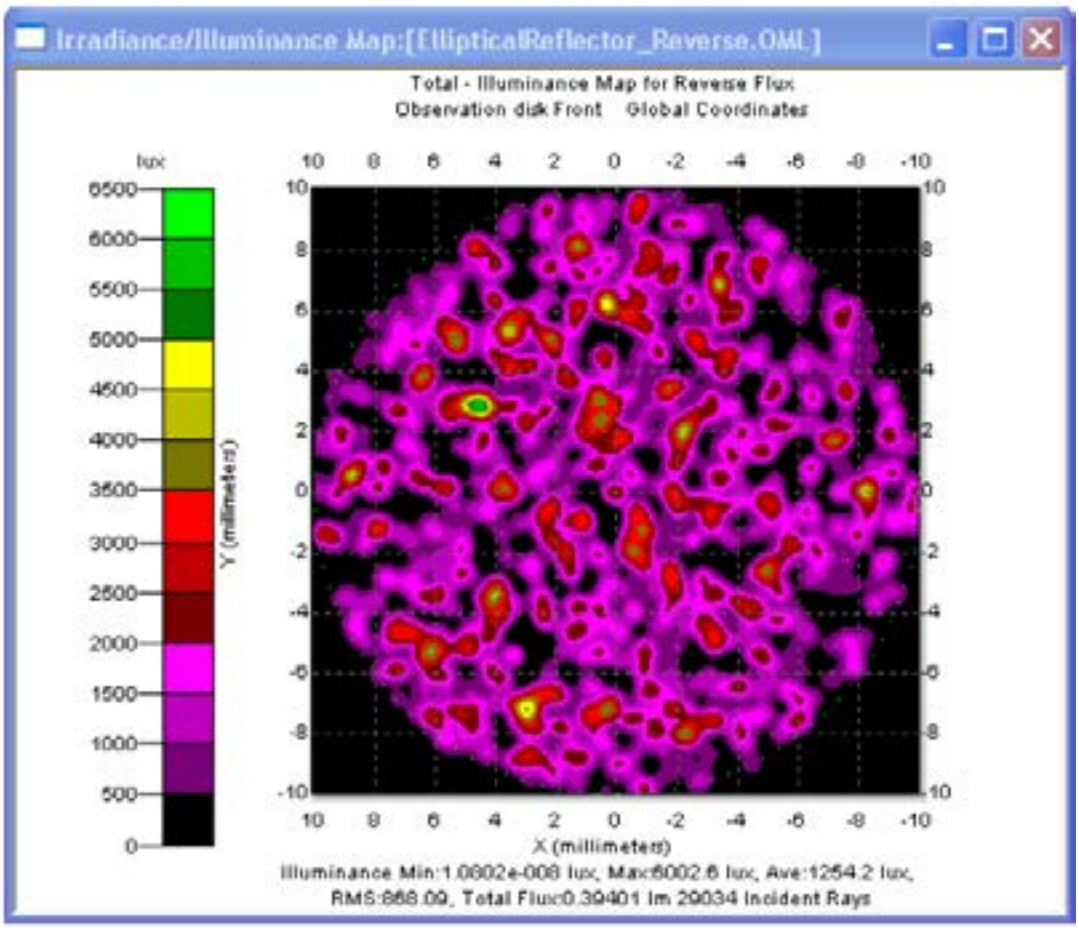


FIGURE 9.58 - Illuminance map for reverse ray trace.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

光線のソート

「観測面における放射照度 / 照度を生成する光線のみを表示するには、観測ディスク：前面を選択し、解析結果｜光線ソートを選択します。ドロップダウンリストから、図 9.59 に示すように「選択されたサーフェス」を選択し、「更新」をクリックします。表示される光線は、順方向の光線追跡において光源から出て出口サーフェスに到達した光線のみです。ソートされた光線は図 9.60 に示されています。

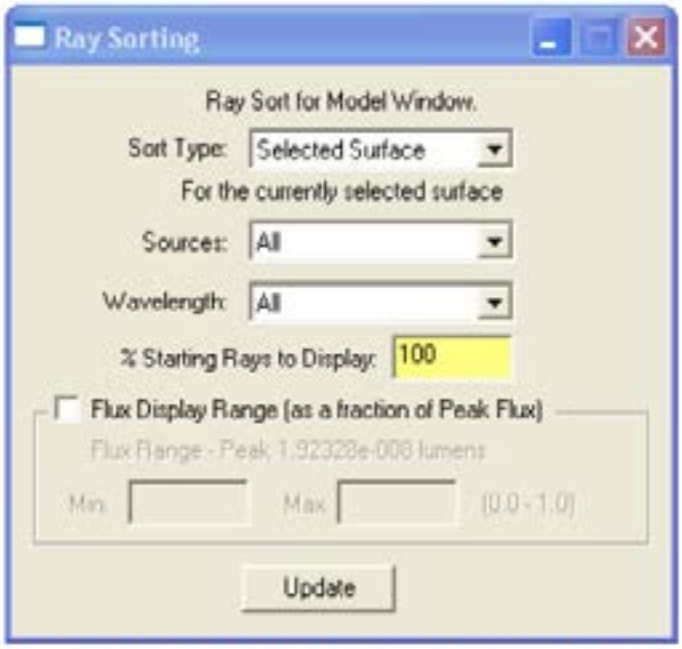


FIGURE 9.59 - Ray sorting dialog box with Sort Type set to Selected Surface.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

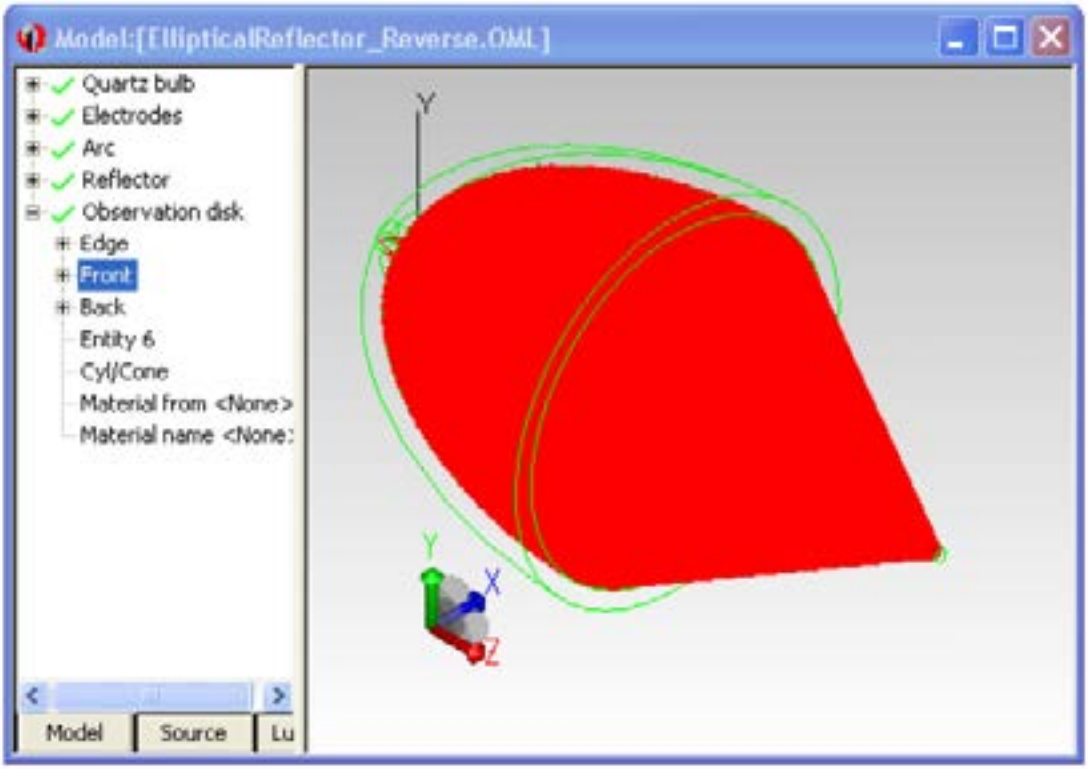


FIGURE 9.60 - Sorted ray display with settings as shown in Figure 9.59.

カンデラプロット

カンデラプロットで利用可能なオプションは、サーフェスに入射またはサーフェスから出射する光線に関するもののみで、これは**「解析結果｜カンデラプロットオプション」**ダイアログボックスで制御します。これは、逆光線追跡では、光線は常に無限遠からではなく、サーフェスから始まるため、「見逃した光線」のカンデラプロットに必要な動作とは異なるからです。**Observation disk:Front** サーフェスに入射する光線の極座標等カンデラプロットを表示するには、単にサーフェスを選択し、**「解析結果｜カンデラプロット｜極座標等カンデラ」**を選択します。プロットは図 9.61 のように表示されるはずです。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

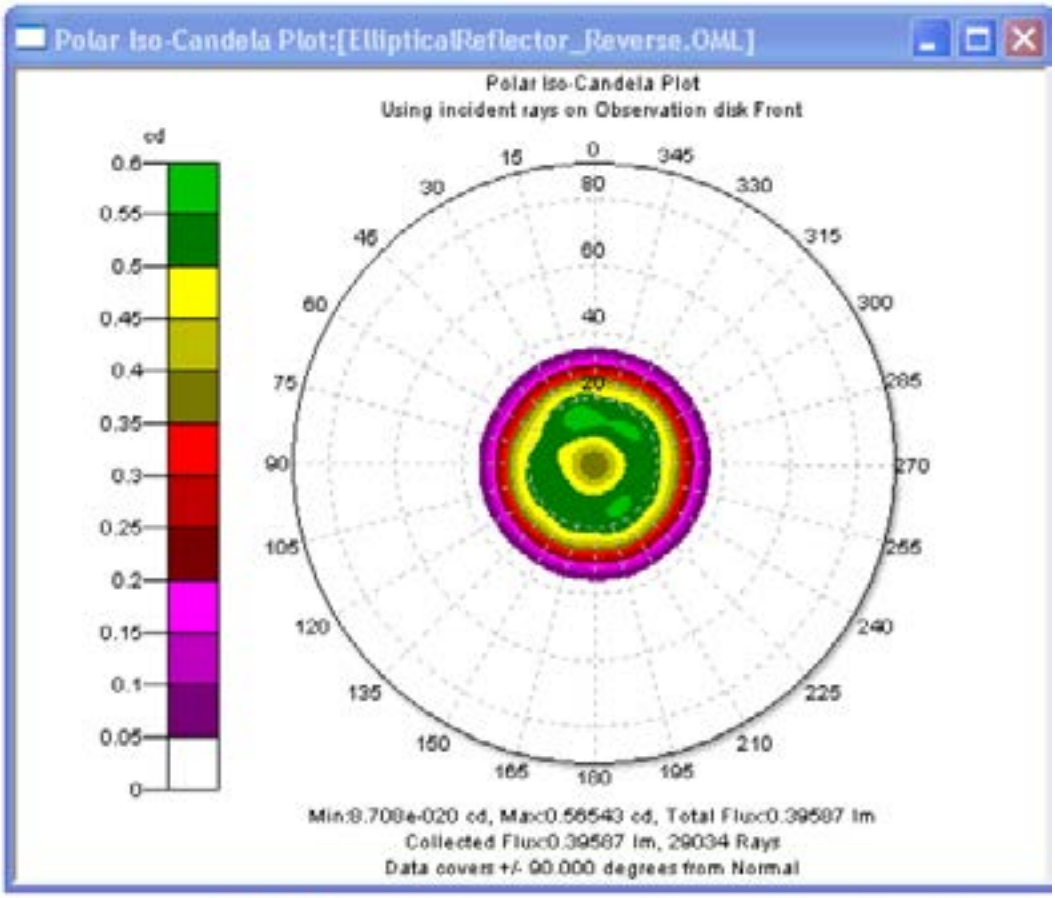


FIGURE 9.61 - Polar iso-candela plot for the Observation disk:Front surface.

プロットが空白または図 9.61 と異なる場合は、解析 | カンデラプロットオプションを開き、設定が図 9.62 と同じか確認してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

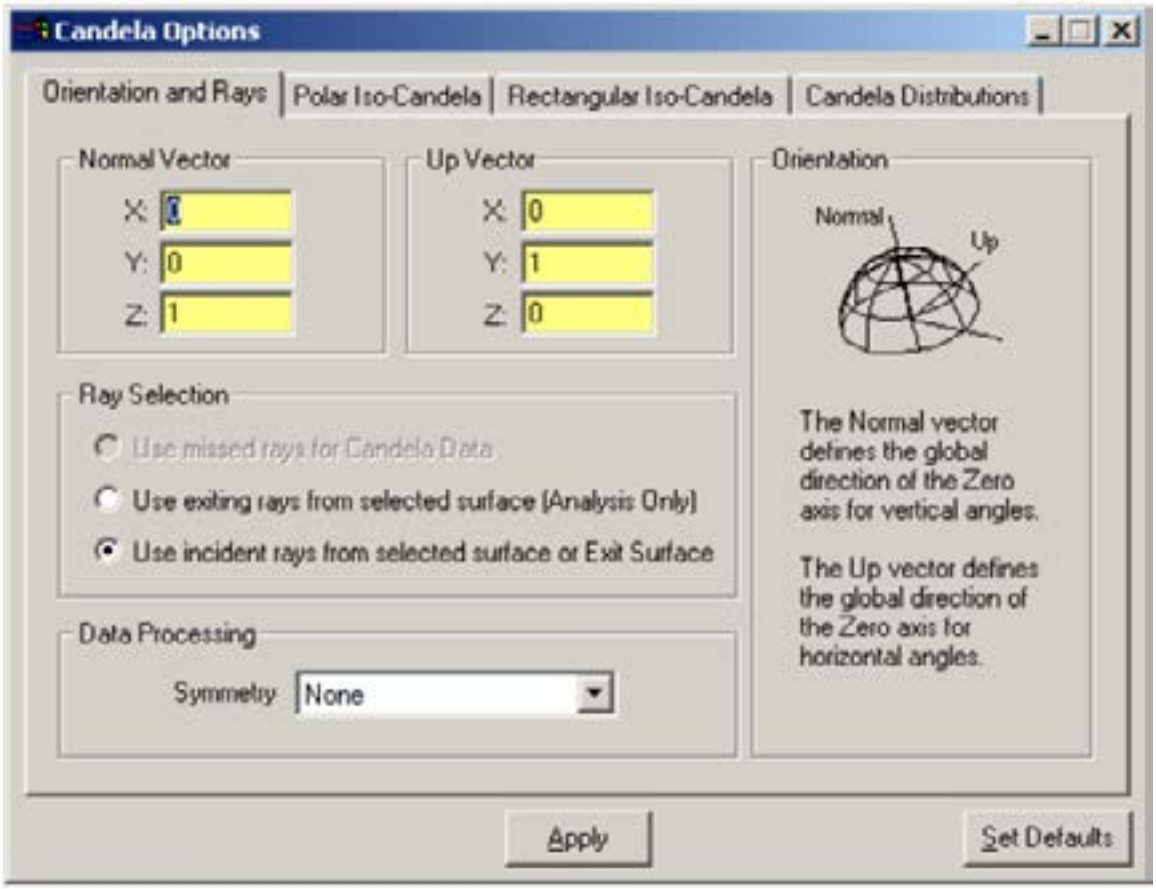


FIGURE 9.62 - Candela plot options to produce the plot in Figure 9.61. Note that the option *Use missed rays for Candela Data* is not available for a reverse ray trace.

カンデラプロットオプションダイアログボックスで「Use exiting rays from selected surface (Analysis Only)（選択したサーフェスから出て行った光線を使用（アナリシスモードのみ））」を選択し、「Apply（適用）」をクリックすると、結果のプロットは空白になります。これは、選択したサーフェスから逆方向に光線が開始されたため、順方向にはサーフェスから放出される光線が存在しないためです。

他のカンデラプロットも、逆方向の光線追跡に使用できます。それらの使用方法については、TracePro ユーザーマニュアルを参照してください。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

入射光線テーブル

入射光線テーブルは光線の向きを考慮しません。つまり、サーフェスに入射する光線を逆向きに報告します。例えば、「**Reflector | Inside**」サーフェスを選択し、「**解析結果 | 入射光線テーブル**」を選択します。テーブルは図 9.63 に示すように表示されます。

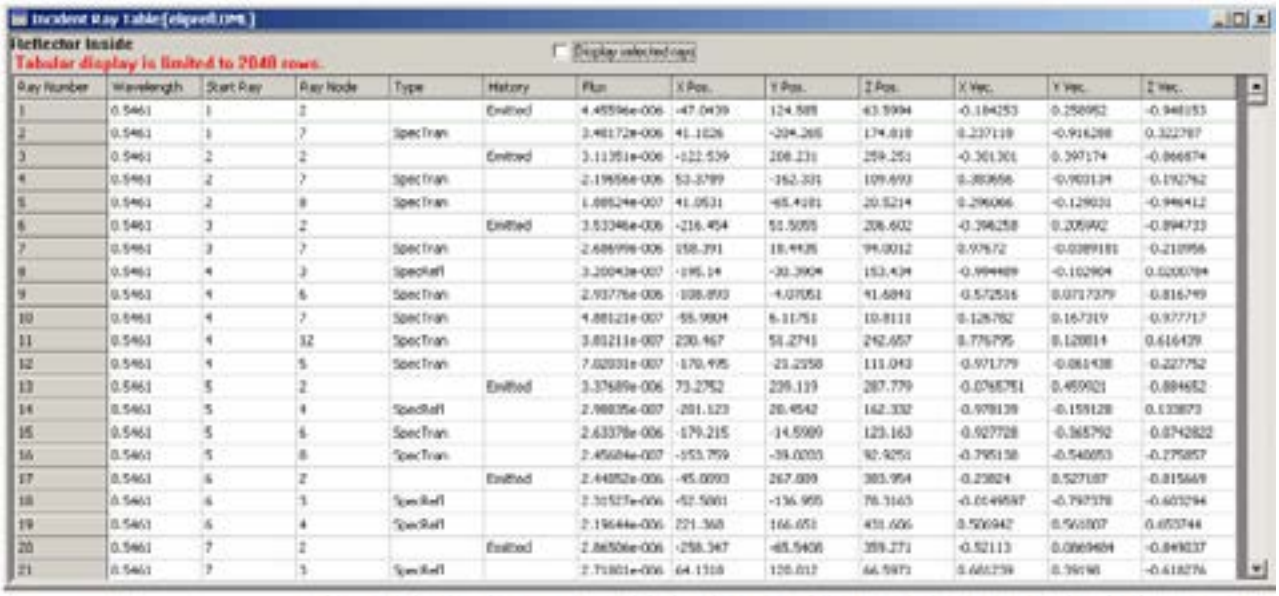


FIGURE 9.63 - Example Incident Ray Table for the Reflector:Inside surface.

入射光線ヒストリテーブル

入射光線ヒストリテーブルは、光線の進行方向を考慮せず、サーフェスに入射する光線を逆向きに記録します。つまり、光線がどの面から来て、どの面へ向かったのかを、逆の順序で表示します。例として、「**Reflector | Inside**」の面を選択し、「解析結果」メニューから「入射光線ヒストリ」を選択すると、図 9.64 に示すようなテーブルが表示されます。このテーブルでは、光線の履歴は、最終的に出射した面から始まり、反射板へと遡る形で表示されます。

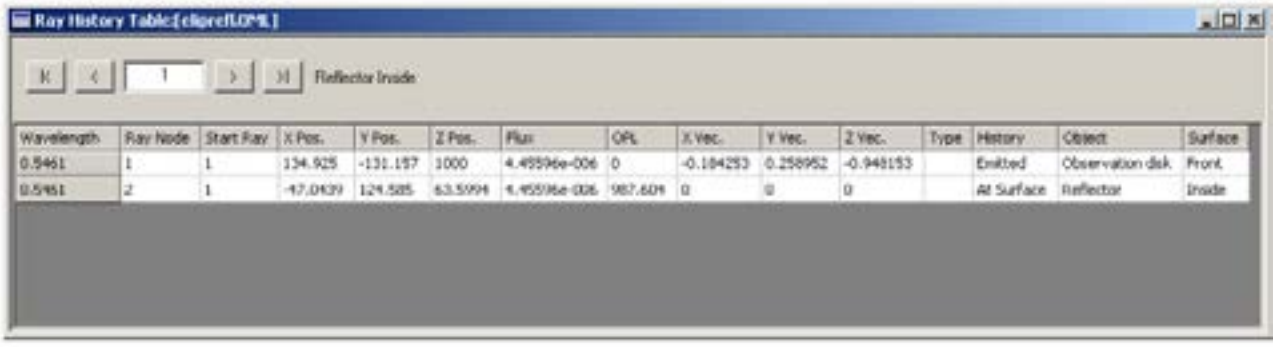


FIGURE 9.64 - Example Ray History Table for the Reflector:Inside surface.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

複数の出口面を使用した例

この例では、EllipticalReflector.oml モデルから開始し、複数の出口面を持つように変更します。この例は、逆光線追跡の真の力を示します。まず、小さな出口面を 1 つ作成し、必要なすべてのプロパティを適用してから、**移動 / コピー**を実行して複数の出口面を作成します。各新しいオブジェクトにプロパティを再適用する必要がないように、**移動 / コピー**を実行する前にプロパティを適用することが重要です。

まず、EllipticalReflector.oml モデルを開きます。次に、**Observation disk** オブジェクトを削除します。これを行うには：

1. [**編集 | 選択 | オブジェクト**]（またはオブジェクト選択ツールバーボタンをクリック）を選択して、オブジェクト選択ツールをオンにします。
2. 図 9.65 に示すように、Observation disk オブジェクトを選択します。
3. キーボードの Delete キーを押します（または [**編集 | 切り取り**] を選択するか、<Ctrl-X> を入力します）。オブジェクトが削除されます。

ファイル | 名前を付けて保存を選択し、新しい名前（例：eliprefl_multiexit.oml）でモデルを保存します。

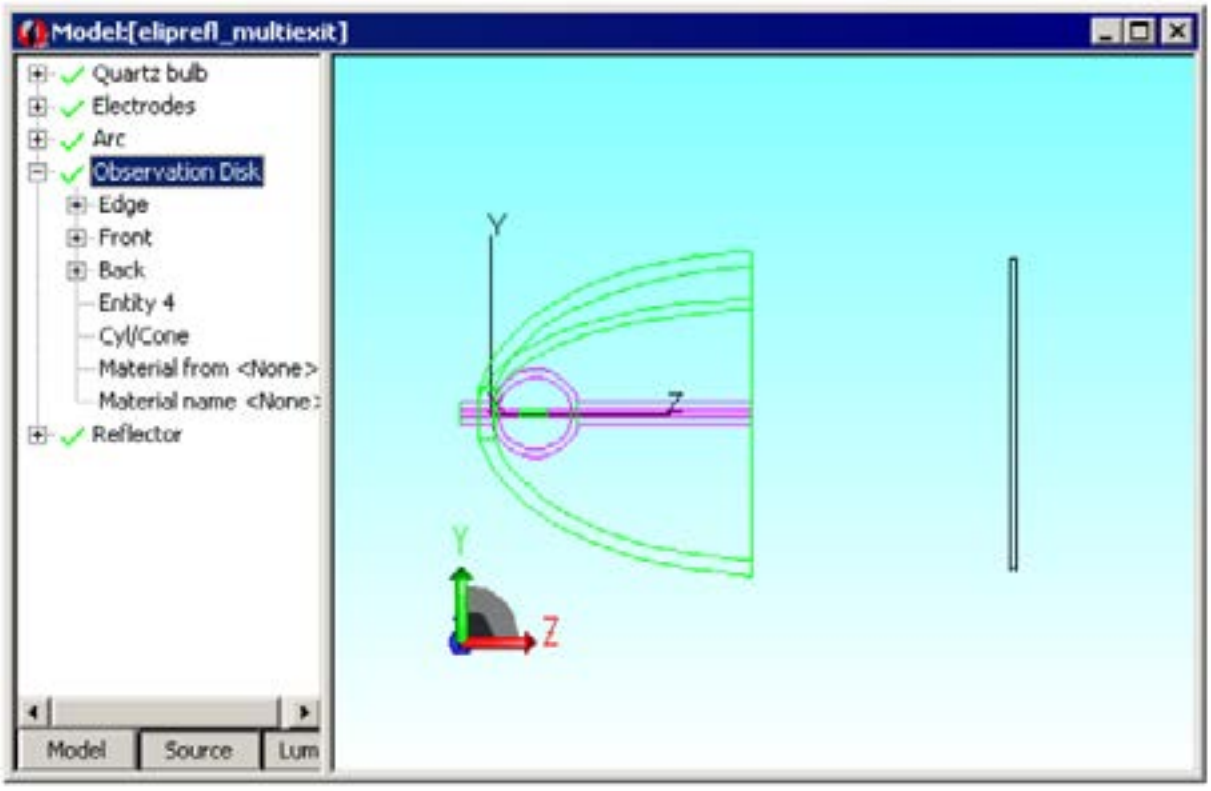


FIGURE 9.65 - eliprefl.oml file with the Observation disk selected, ready for deleting.

次に、より小さな新しい出口面を作成します。**ジオメトリ | プリミティブソリッド** を選択して Insert Primitive Solids ダイアログボックスを開き、**シリンダ / コーン**タブをクリックします。図 9.66 に示すように、半径 10、長さ 10、z = 1000 に配置されたシリンダのデータを入力し、「追加 」ボタンをクリックして作成します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

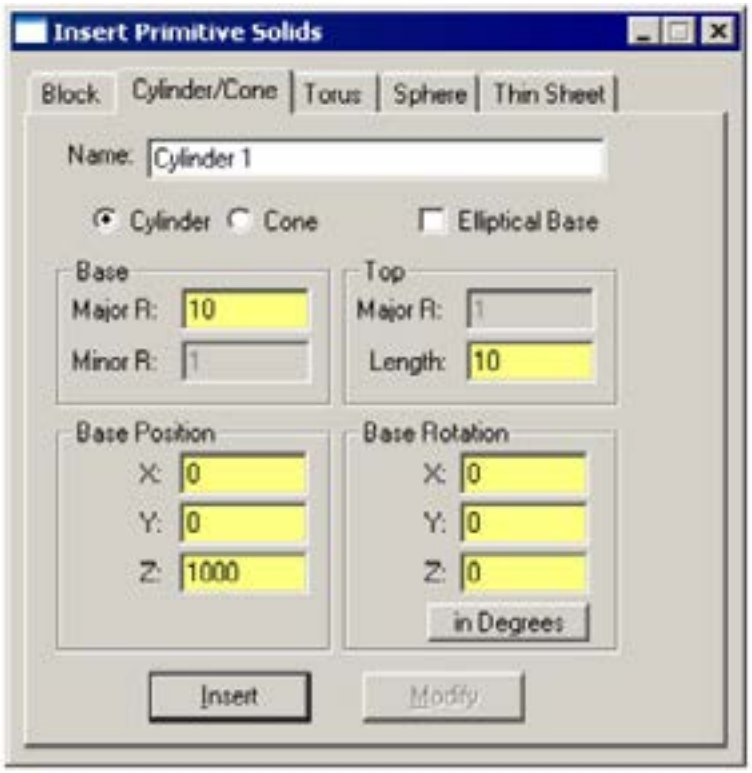


FIGURE 9.66 - Insert Cylinder/Cone with data for smaller exit surface.

次に、新しいシリンダオブジェクトに必要なすべてのプロパティを適用します。これらは以下の通りです。

1. システムツリーを使用してオブジェクトに名前を付けます。「**Exit Surface 1**」と名付けます。
2. 観測ディスクのサーフェスにラベルを付けたのと同じように、3 つのサーフェス（Edge、Front、Back）それぞれにラベルを付けます。
3. 図 9.68 に示すように、Front サーフェスを選択し、Exit Surface にします。
4. 9.53 ページの図 9.55 に示すように、Front サーフェスの逆光線の数を設定します。
5. 9.54 ページの図 9.56 に示すように、Front サーフェスにインポータンスサンプリングターゲットを定義します。ただし、リングの数を 1、スライスの数を 1 に設定します。

Exit Surface の配列を作成するには、まず新しいオブジェクトを選択し、次に [**編集**｜**オブジェクト**｜**移動**] を選択して**オブジェクトの移動**ダイアログボックスを開きます。図 21 に示すように、移動の y 成分に 40 を入力します。次に、コピーボタンをクリックします。これにより、オブジェクトがコピーされ、+y 方向に 40 移動します。オブジェクトのコピーは y = 0 に配置され、元のオブジェクトは y = 40 に移動しました。Copy ボタンをさらに 6 回クリックして、8 つの Exit Surface 1 オブジェクトを作成します。

注:Exit Surface 1 という名前のオブジェクトにすべてのプロパティを適用することで、各コピーはプロパティを保持するため、コピーにプロパティを適用する必要はありません。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

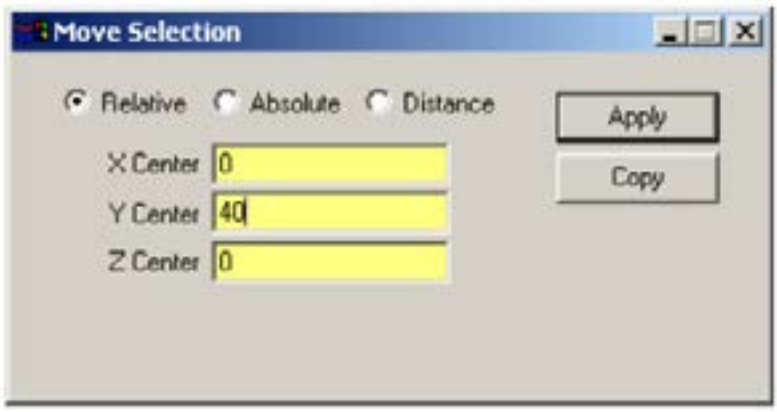


FIGURE 9.67 - Edit|Object|Move dialog box ready for moving the object by 40 in the y direction.

システムツリーを開き、オブジェクトの名前を Exit Surface 1 から Exit Surface 8 に変更してください。y = 0 にあるものを Exit Surface 1、y = 40 にあるものを Exit Surface 2 というように、順番にラベル付けしてください。完成したモデルは図 9.68 に示されています。**ファイル | 保存**を選択して、モデルを保存してください。

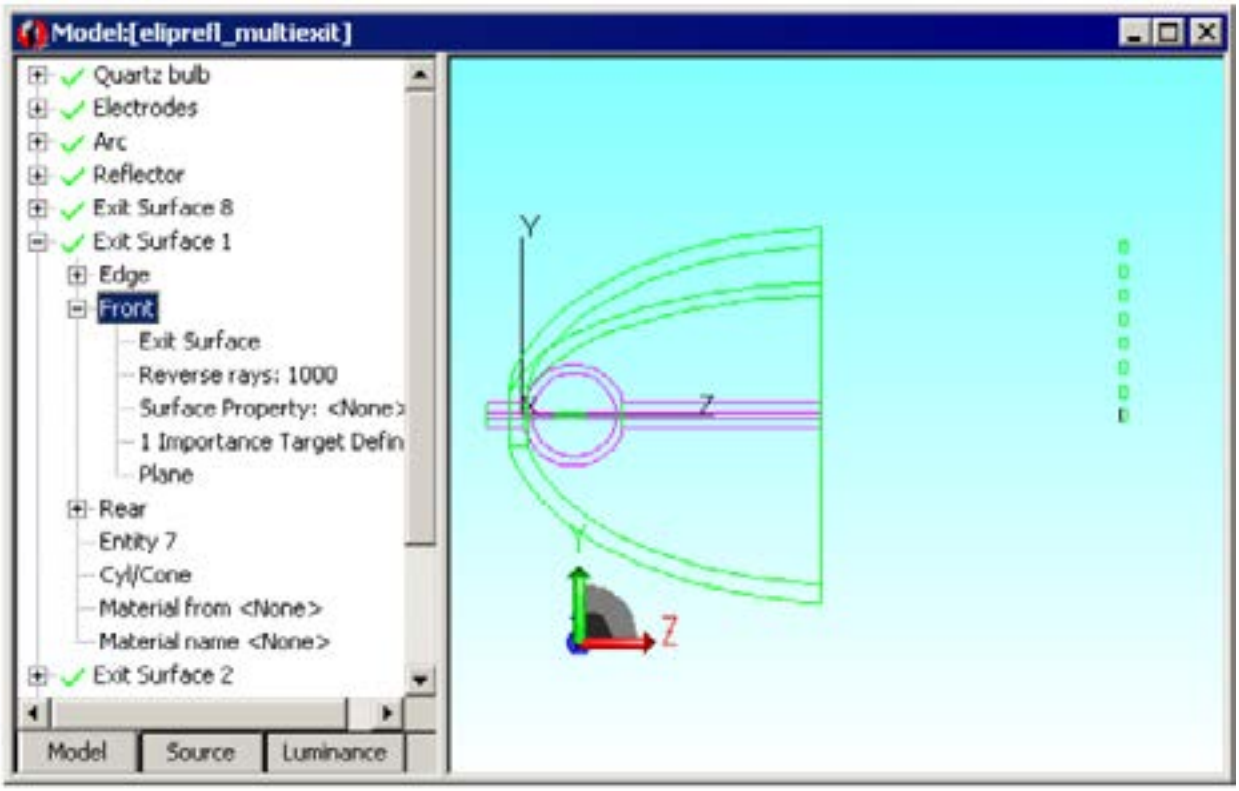


FIGURE 9.68 - Completed model with multiple exit surfaces.

これでモデルは逆光線追跡の準備ができました。**[光線追跡 | 逆光線追跡]** を選択して光線追跡を開始するか、ツールバーの「Reverse Trace」ボタンをクリックしてください。光線追跡が完了したら、上述したように、任意の出射面を選択して、照度 / イルミナンスマップ、カンデラプロット、またはその他の分析結果を確認できます。光線ソートは、照明されたスポットの各部分がどのような経路をたどるかを確認できるため、このようなモデルでは特に役立ちます。たとえば、「Exit Surface 4:Front surface」を選択し、**[解析結果 | 光線のソート]** を選択します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

ソートタイプとして、9.57 ページの図 9.59 に示すように「Selected Surface」を選択し、「Update」をクリックします。光線表示は図 9.69 のように表示されます。各出射面を順番に選択し、光線ソートを更新して、その面に当たる光線の経路を確認できます。

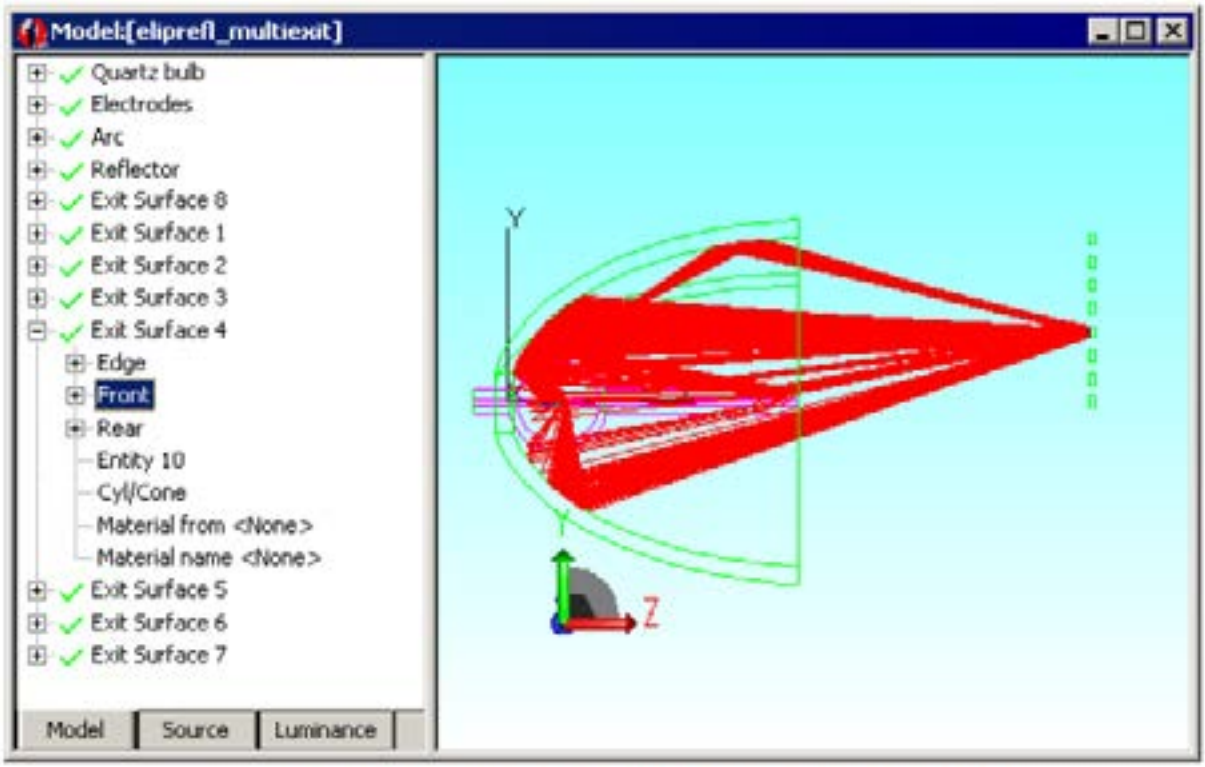


FIGURE 9.69 - Paths of rays that hit Exit Surface 4:Front.

輝度 / 放射輝度マップの使用例

6.18 ページの「輝度 / 放射輝度マップ」で以前に提示された例を拡張し、ここでは光源に対する自動インポータンスサンプリングの有用性を示すために使用します。OML ファイルは、Lambda Research の Web サイトにサインインし、TechnicalSupport/TracePro/Examples セクションに移動することで見つけることができます。次のファイルを見つけてください。

glass sphere on red-white checkerboard.oml

放射輝度 / 輝度マップ機能の使用方法を説明するチュートリアルは、TechnicalSupport/TracePro/Tutorials セクションにあります。

LuminanceMapExample.pdf

glass sphere on red-white checkerboard.oml は、チュートリアル内のユーザーに残された練習問題であることに注意してください。このより複雑な分析は、トゥルーカラーを表示する有用性を示すためにこのセクションで使用されます。ここに表示される結果を再現するために TracePro を設定する方法については、チュートリアルに従ってください。この例では輝度マップを表示しますが、輝度マップを使用して同様の光線追跡を行うこともできます。つまり、このマニュアルでのプレゼンテーションの目的では、2 つの用語は交換可能です。2 つの違いは、放射輝度マップが放射測定単位（例：W/sr/m2）で表示され、輝度マップが測光単位（例：cd/m2 = nit）で表示されることだけです。

5.40 ページの図 5.28 に示すように、選択されたオプションで 2 つの光線追跡が実行されました。後者では、自動インポータンスサンプリングボックスがチェックされています。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

- 図 8：自動インポータンスサンプリングなしの結果を表示
- 図 9：自動インポータンスサンプリングありの結果を表示

どちらの場合も、カラースキーム [**解析結果**｜**ルミナンス / ラジアンスマップオプション**]（**Analysis|Luminance/Radiance Map Options…**）は、トゥルーカラーと疑似カラーグラディアントレインボーに設定されています。

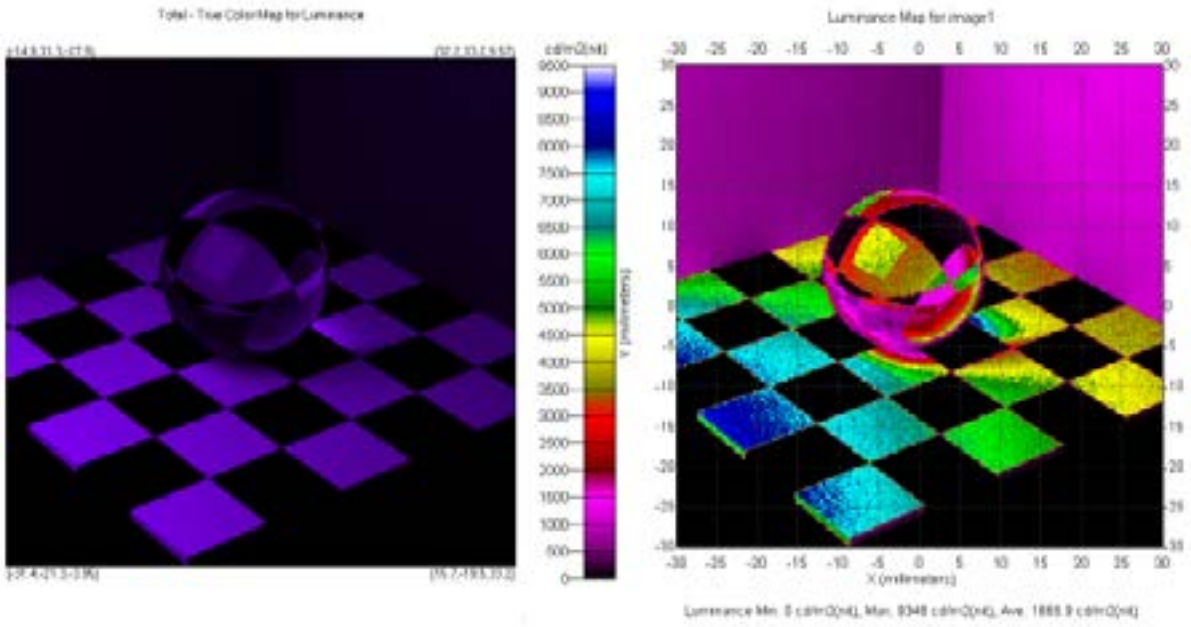


FIGURE 9.70 - Display map results without auto importance sampling in True Color and False Color Gradient Rainbow.

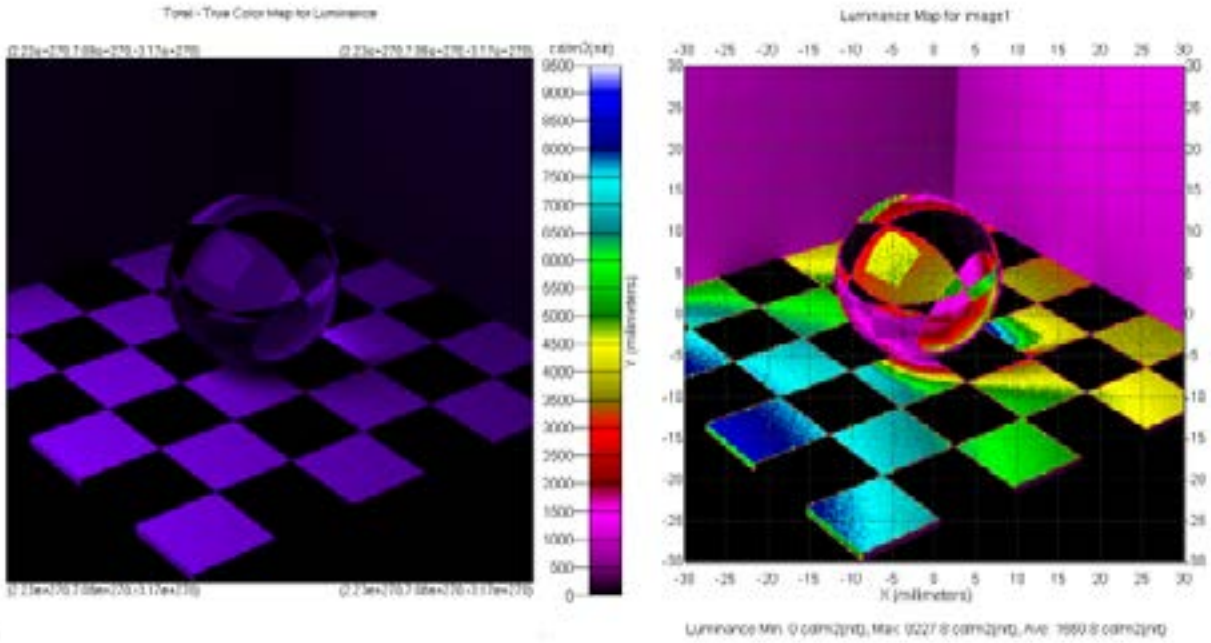


FIGURE 9.71 - Display map results with auto importance sampling.

フォトリアリスティックレンダリングの使用例

この例では、前の例と同じ TracePro モデルを使用します。

glass sphere on red-white checkerboard.oml

赤白のチェッカーボード上のガラス球です。このモデルは、www.lambdares.com の TechSupport/TracePro/Examples セクションからダウンロードできます。このモデルのフォトリアリスティックレンダリングを作成するには、以下の手順に従ってください。

1. ファイルを関連するプロパティファイルとともにダウンロードし、**[ツール | データベース > インポート [** を使用してプロパティをインポートします。
2. ファイルを開き、図 9.71 に示すようなビューになるように操作します。ヒント：レンダリング時間はウィンドウ内のピクセル数に比例するため、レンダリングを高速化するためにウィンドウを小さくしてください。追加のヒント：ビューが希望どおりになったら、**[表示 | 名前付きビュー]** を使用してビューを保存し、モデルを保存します。これにより、名前付きビューを呼び出すことで、将来の TracePro セッションでレンダリングを繰り返すのが容易になります。
3. **光線追跡 | 光線追跡オプション** ｜ **高度な設定**を選択し、検証速度と光線追跡速度の混合の選択を「最速光線追跡」に設定します。
4. **[表示 | フォトリアリスティックレンダリング** ｜ **設定]** を選択し、レンダリングのデフォルト設定、特に「レンダリング品質」設定が「**高品質**」であることを確認します。
5. **[ビュー | フォトリアリスティックレンダリング** ｜ **レンダー]** を選択して、レンダリングプロセスを開始します。空白のグラフィックスウィンドウが開き、TracePro がフォトンマップを構築すると、光線追跡進捗状況を示すダイアログボックスが表示されます。
6. 次に、レンダリング進行状況ダイアログボックスが表示され、各レンダリングパスの後にレンダリングウィンドウが更新されます。図 9.72 に、1 パス後のレンダリングウィンドウ

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

の外観を示します。

7. 完成したレンダリングを図 9.73 に示します。この特定のモデルのプロパティと TracePro が輝度を正規化する方法により、シーンは明るく洗い流されたように見えます。外観を改善するには、**フォトリアリスティックレンダリング**｜**オプション**を選択し、**「明るさ」**と**「コントラスト」**の設定を好みに合わせて変更します。明るさを 15 に下げ、コントラストをデフォルト値の 50 のままにした例を図 9.74 に示します。

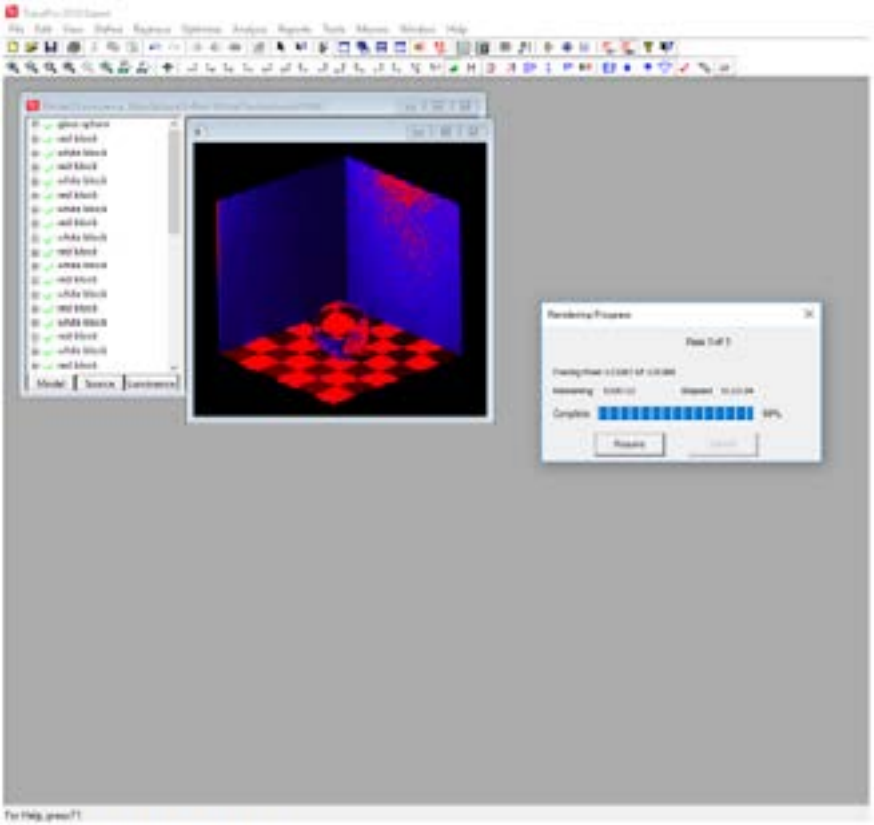


FIGURE 9.72 - Photorealistic rendering result after two rendering passes.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

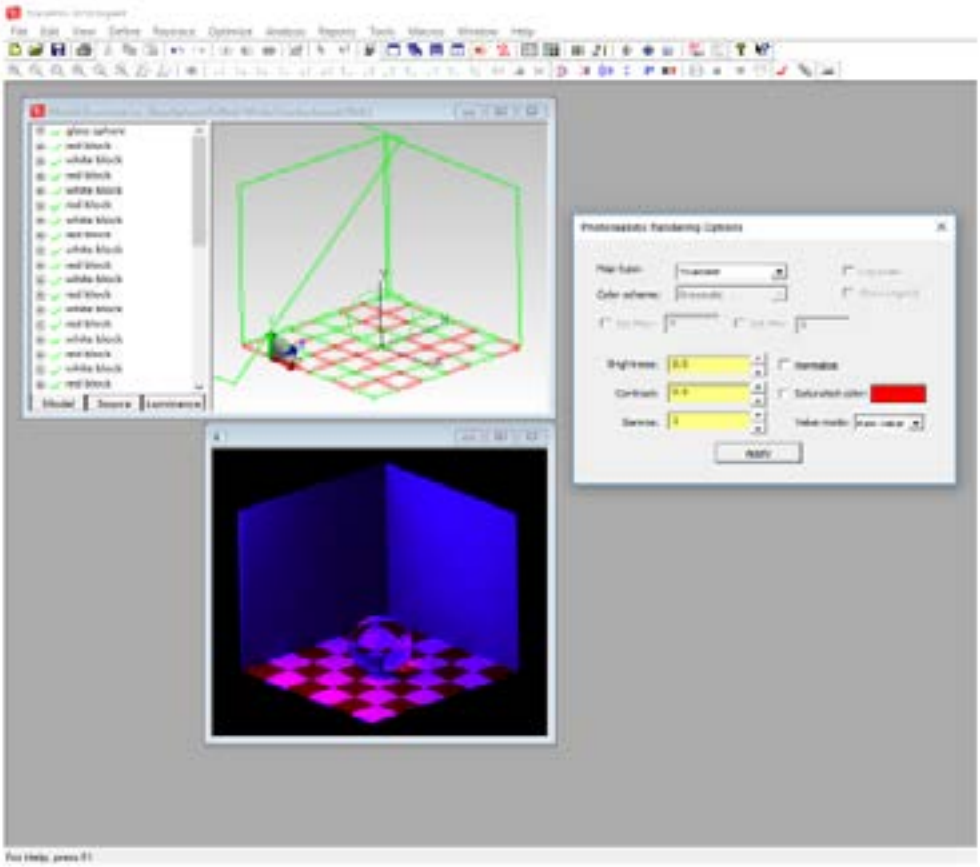


FIGURE 9.73 - Photorealistic rendering result after three rendering passes (Quality set to High) with Brightness and Contrast at default values of 0.5.

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

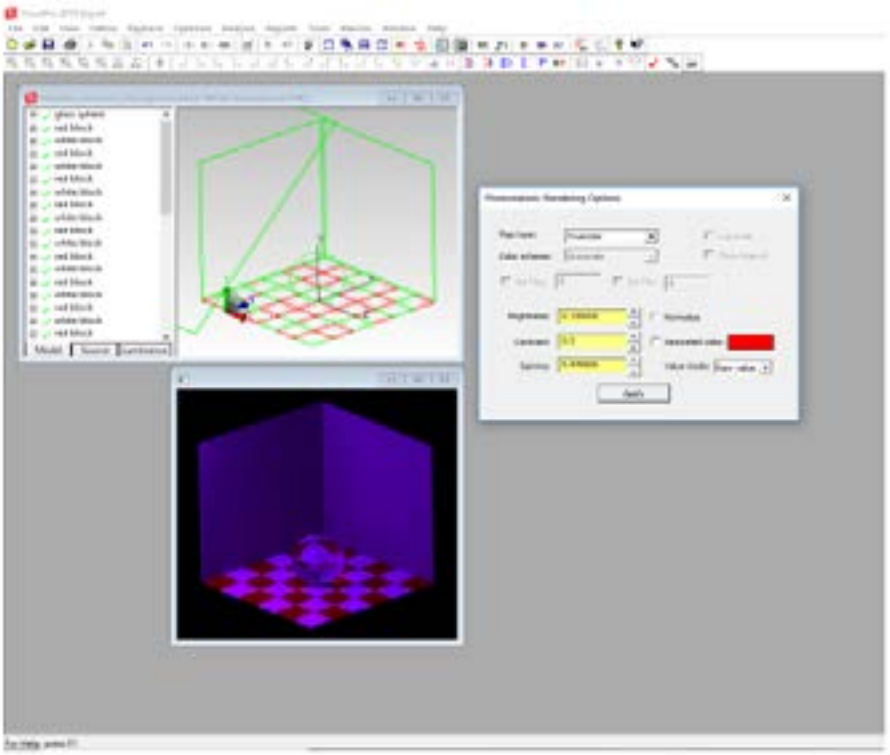


FIGURE 9.74 - Photorealistic rendering result with Brightness adjusted to 0.15.

ホログラフィック光学素子の例

この例では、ホログラフィック光学素子を使用します。ホログラフィック光学素子は、２つの球面波の干渉によって形成されるホログラフィックサーフェスです。回折グレーティングのように動作し、目的の回折次数に加えて、不要な回折次数による迷光をシミュレートするために、回折次数を定義できます。必要なだけ回折次数を追加できます。

HOE タイプのサーフェスプロパティを作成するには、**サーフェスプロパティエディタ（定義 | プロパティデータの編集 > サーフェスプロパティ）**の**タイプ**リストから HOE タイプを選択し、ホログラム作成に使用されたレーザーの作成波長を設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

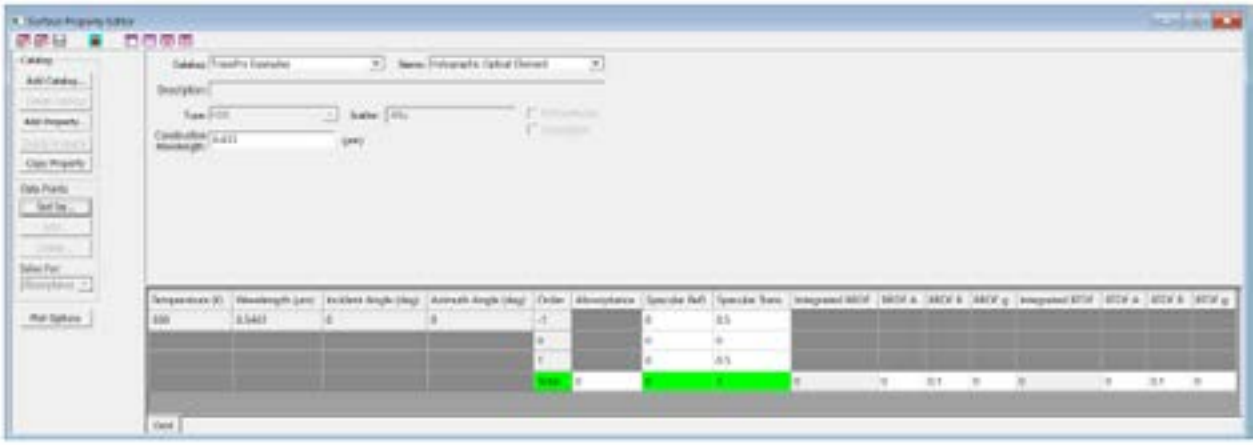


FIGURE 9.75 - Surface Property Editor with HOE property example

HOE（ホログラフィック光学素子）のサーフェスプロパティを適用するには、モデルウィンドウでサーフェスを選択し、**[定義 | プロパティの適用]** ダイアログの左ペインで Surface を選択します。右ペインでプロパティのカタログと名前を選択すると、下部のボックスの HOE タブに、ホログラムの形成に使用される点光源の位置を入力するための欄が表示されます。これらの位置は、サーフェスのローカル頂点からのオフセットであり、光学軸がローカル z 軸となります。

FIGURE 9.76 - Apply Properties dialog box with inputs for locations of point sources used to form the hologram for the HOE surface

下のボックスにある「レファレンスデータ」タブには、HOE サーフェスの中心位置、光軸ベクトル、上向きベクトルに対する入力が提供されます。

FIGURE 9.77 - Apply Properties dialog box with inputs for Reference Data for Center Position, Optical axis vector, and Up vector for the HOE surface

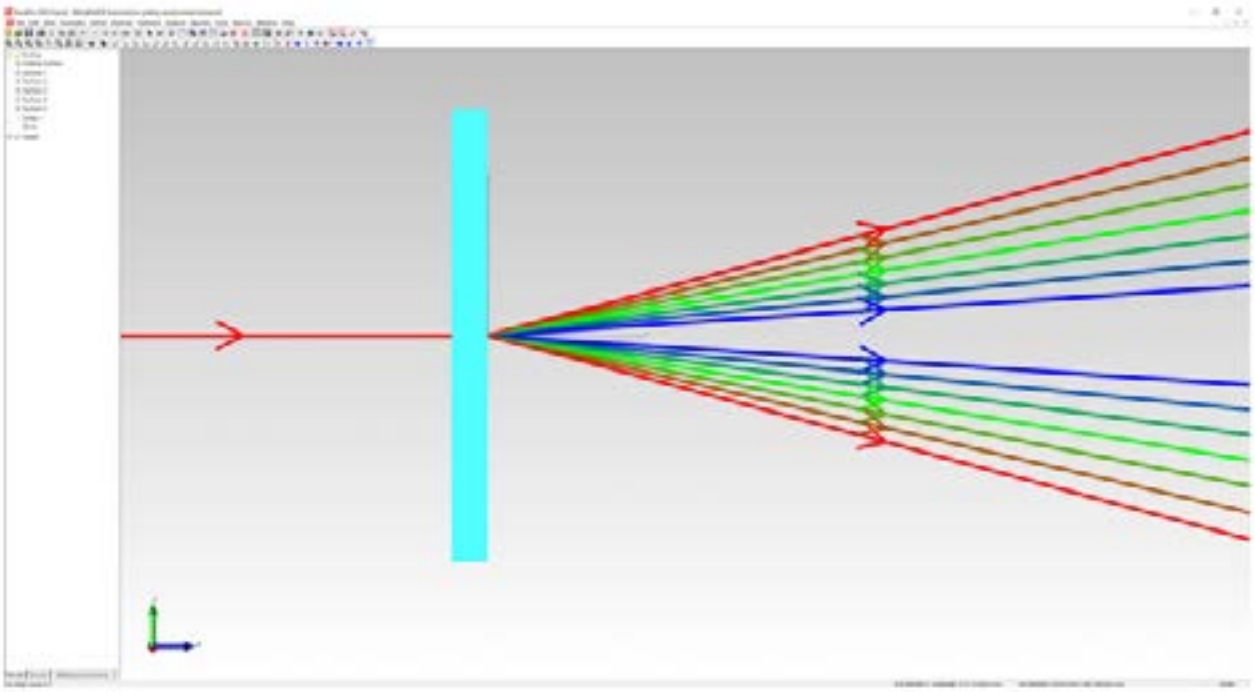


FIGURE 9.78 - HOE Surface with 2 orders used as a transmission grating in TracePro with 7 wavelengths

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

コンピュータ生成ホログラムの例 Standard Expert

この例では、コンピュータ生成ホログラム(CGH)のサーフェスタイプを使用します。コンピュータ生成ホログラム（CGH）は、特定の位相分布から作成されるホログラムです。位相分布は多項式で表されます。このサーフェスは回折グレーティングとしてモデル化されるため、必要に応じて回折次数を追加できます。次の 3 つの多項式タイプが利用可能です。

- 放射対称
- 非対称 x-y
- 非対称 x-y（絶対値）

CGH サーフェスプロパティには、**設計波長**、多項式項の数、および多項式項の係数のデータが必要です。対称タイプに対する入力を示します。

CGH タイプのサーフェスプロパティを作成するには、**サーフェスプロパティエディタ（定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ）**の**タイプ**リストから CGH タイプを選択し、**設計波長**、**最大次数（多項式項の数）**、**多項式タイプ**、および多項式の係数を設定します。

補足説明 :

- CGH（Computer-Generated Hologram）は、コンピュータで生成されたホログラムのことです。
- 「位相分布」とは、光の波の位相がどのように分布しているかを表すものです。
- 「回折グレーティング」とは、光を特定の方向に回折させるための光学素子です。
- 「回折次数」とは、回折された光がどの方向に進むかを示す数値です。
- 「多項式」とは、変数と係数からなる数式のことです。
- 「放射対称」とは、中心から等距離にある点が同じ性質を持つことです。
- 「非対称」とは、対称性がないことです。

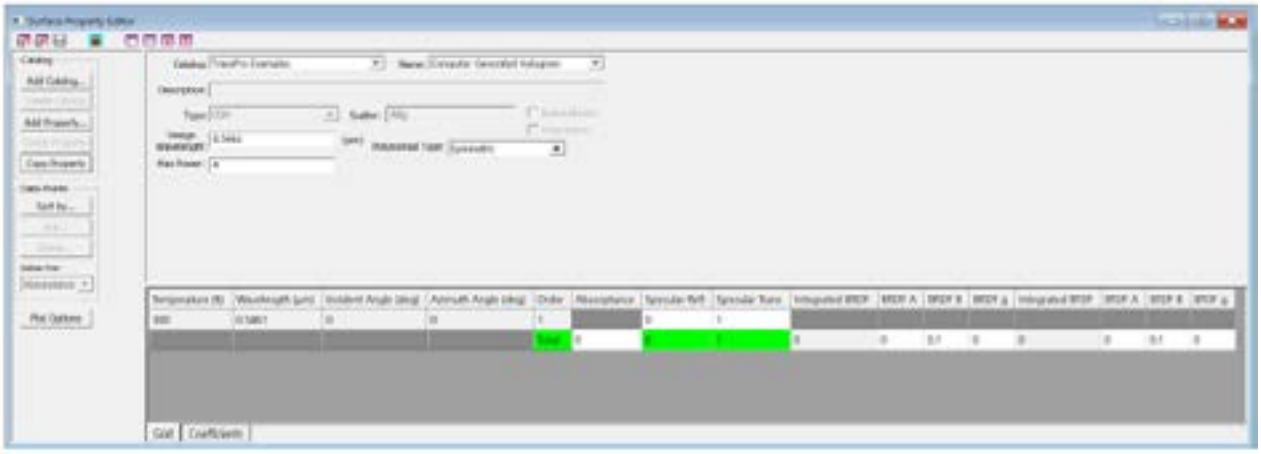


FIGURE 9.79 - Surface Property Editor with CGH property example - Grid data

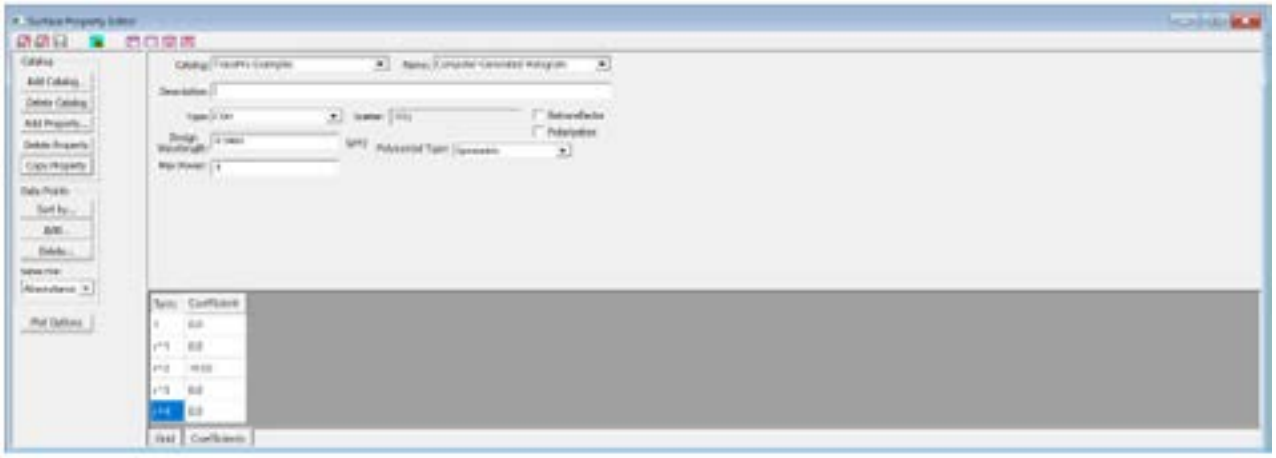


FIGURE 9.80 - Surface Property Editor with CGH property example - Coefficients data

CGH（コンピュータ生成ホログラム）サーフェスプロパティを適用する際には、CGH のレファレンスデータを設定する必要があります。具体的には、多項式の**中心**座標（サーフェスの頂点位置）、光軸ベクトル（サーフェスの局所的な z 軸方向）、および非対称多項式における局所的な y 軸の向きを決定するための **Up ベクトル**を指定する必要があります。さらに、**「自動計算」**チェックボックスを有効にすることも可能です。もし対象のサーフェスが、**[ジオメトリ｜レンズエレメント]** ダイアログボックスを通じて作成された光学サーフェスである場合、TracePro はレンズ作成時に記録された情報に基づいて、これらの値を自動的に設定します。

FIGURE 9.81 - Apply Properties dialog box with inputs for Reference Data for Center Position, Optical axis vector, and Up vector for the CGH surface

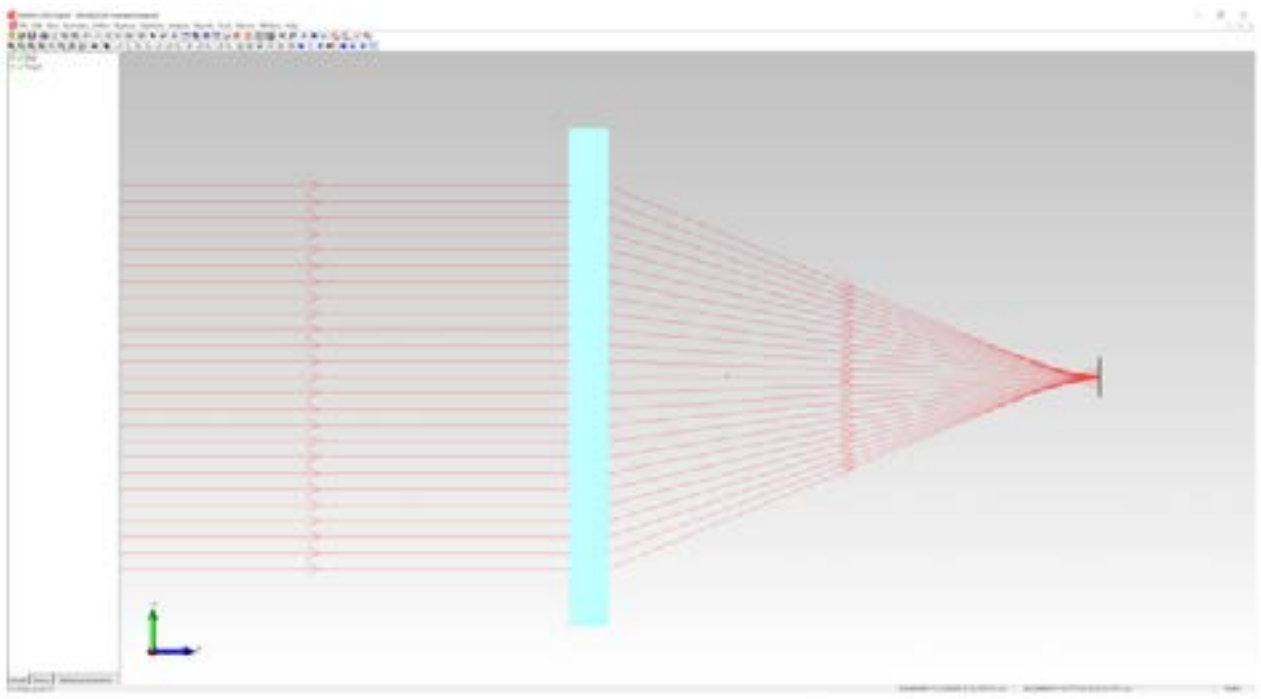


FIGURE 9.82 - CGH surface in TracePro

Zernike 位相の例 Standard Expert

この例では、Zernike 位相を使用します。Zernike 位相タイプの DOE（回折光学素子）は、CGH（コンピュータ生成ホログラム）タイプに似ていますが、位相が Zernike 多項式の和で表される点が異なります。ここでも、グレーティングとしてモデル化されるため、任意の回折次数を追加できます。

Zernike 位相サーフェスプロパティには、位相の単位を波長またはミリメートルで指定するオプションがあります。項の最高次数と多項式項の係数も必要です。項の最高次数は、ρ の最高次数です。

Zernike 位相タイプのサーフェスプロパティを作成するには、**サーフェスプロパティエディタ**（**定義 | プロパティデータの編集 > サーフェスプロパティ**）の**タイプ**リストから Zernike 位相を選択し、**設計波長**、**最大 n**（**項の最高次数**）、**単位**（**波長または mm**）、および多項式の係数を設定します。

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス

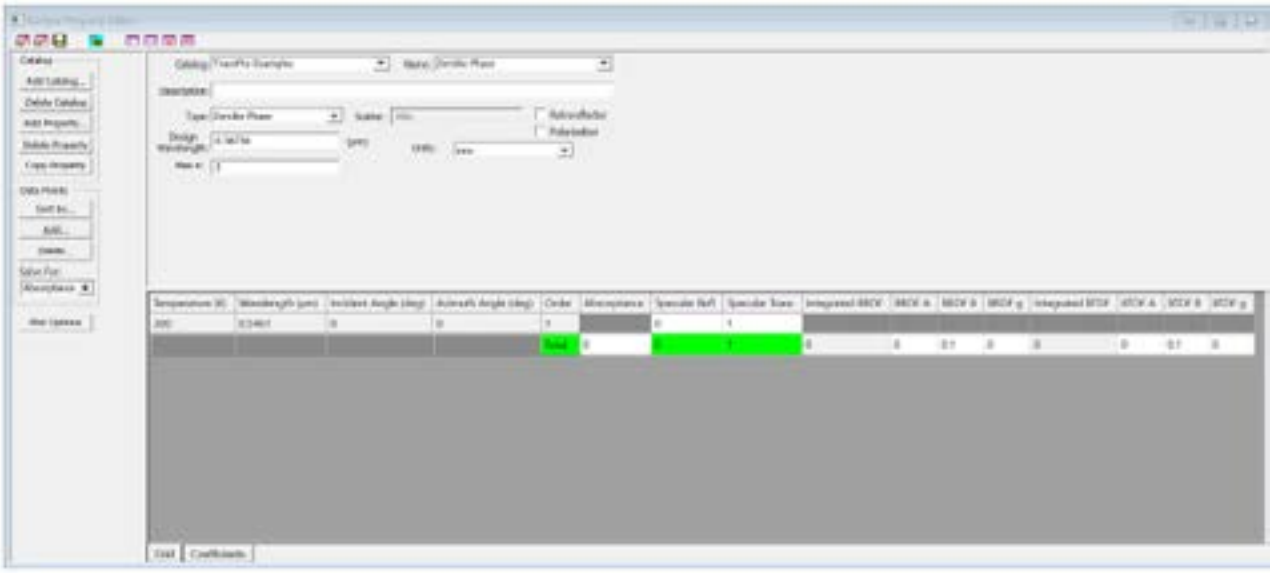


FIGURE 9.83 - Surface Property Editor with Zernike Phase property example - Grid data

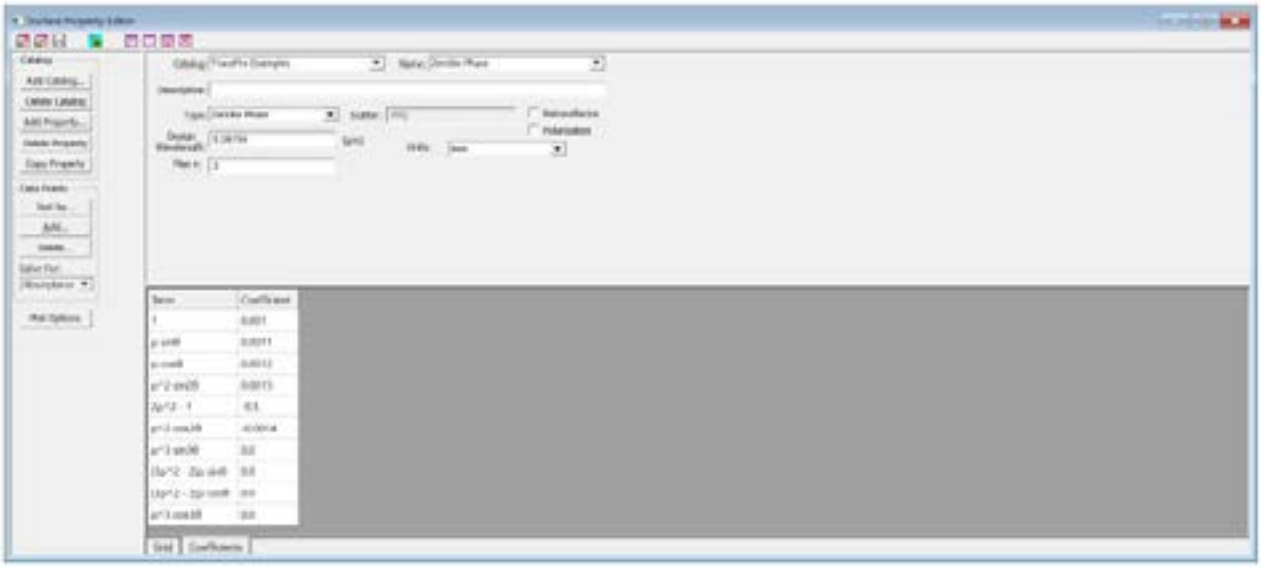


FIGURE 9.84 - Surface Property Editor with Zernike Phase property example - Coefficient data

Zernike 位相サーフェスプロパティを適用する際、Zernike のレファレンスデータ、すなわち多項式の**中心**（つまり、サーフェスの頂点）、光軸ベクトル（サーフェスのローカル z 軸）、非対称多項式のローカル y 軸を方向付けるための Up ベクトル、および正規化半径の基準半径を指定する必要があります。

FIGURE 9.85 - Apply Properties dialog box with inputs for Reference Data for Center Position, Optical axis vector, Up vector, and Norm Radius for the Zernike Phase surface

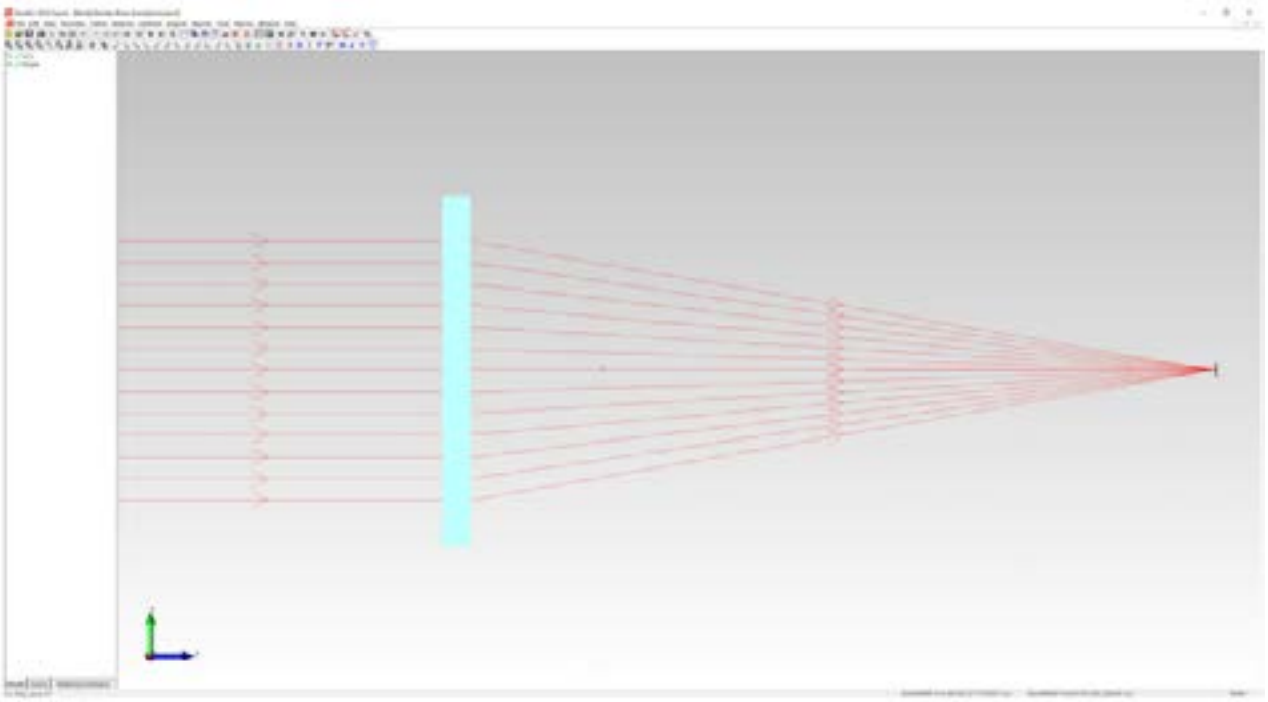


FIGURE 9.86 - Zernike Phase surface in TracePro

N&C 株式会社 ノーツアンドクロス