

オプトメカニカルソフトウェアトレースプロで だれでもできる照明設計



積分球のチュートリアル

目次

イントロダクション： —	2
球殻の作成 —	4
出口ポートの追加 —	5
オブジェクトとサーフェスの命名 —	6
検出器サーフェスの作成 —	7
データベースにサーフェスプロパティを追加する—	8
積分球への新しいサーフェスプロパティの割り当て —	9
光線追跡の閾値の設定 —	10
光線追跡 —	11
イラジアンスマップオプションの設定 —	12
照度マップの表示 —	13
入射光線テーブルの表示 —	14
インポートانسサンプリングの追加 —	15
インポートンスタターゲットを用いたレイトレース—	16
重要度サンプリングを用いた照度マップ—	17
ビューの配置 —	19

株式会社ノーツアンドクロス

〒 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>

積分球

イントロダクション：

積分球は、非常に均一な光源を作成するために使用できます。この光源は、空間的にも角度的にも均一にすることができます。積分球は、LED を含む多くの種類の光源を測定するためにも使用されます。

積分球をモデル化するには、光線を球殻の内部に導入します。光線は、殻に切り込まれた円形の出口ポートから脱出するまで、繰り返し散乱します。このチュートリアルでは、以下の方法について説明します。

円形の出口ポートを持つ積分球を作成します。

出口ポートの外側に検出器サーフェスを作成します。

TracePro プロパティデータベースにサーフェス特性を追加します。

新しいサーフェス特性を積分球に割り当てます。

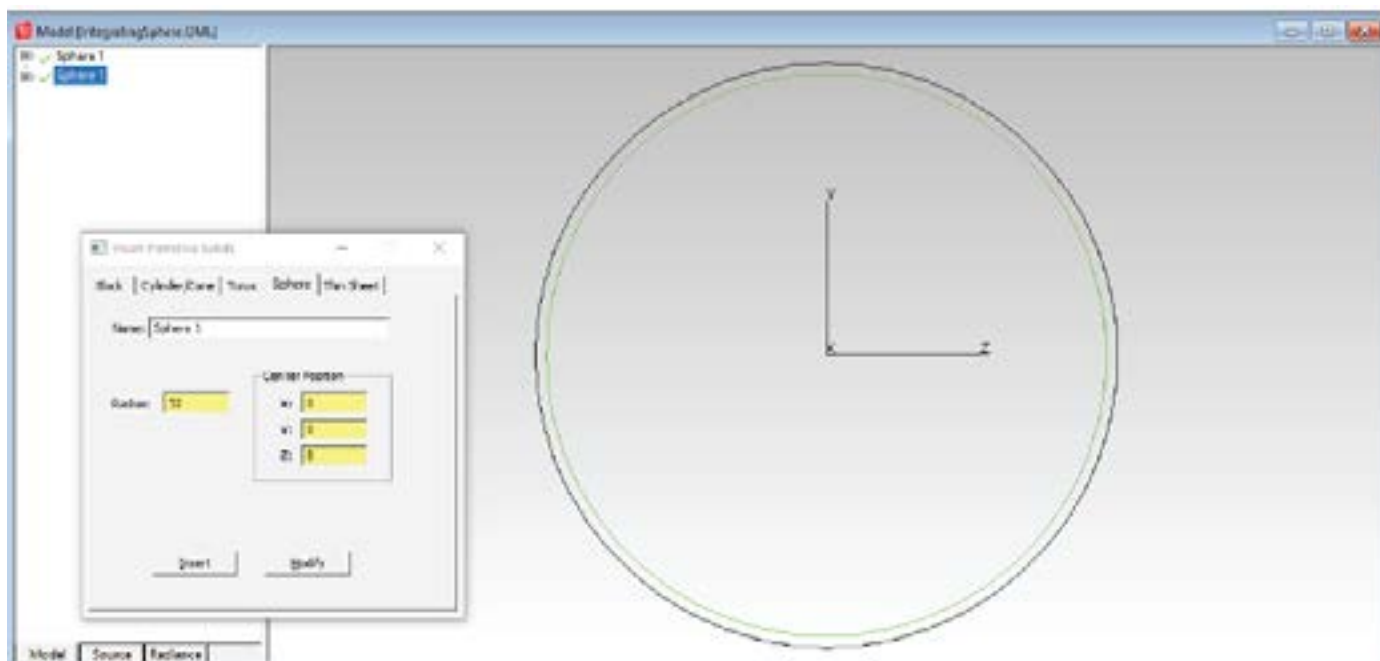
重点サンプリング同心円の有無にかかわらず、簡単な光線追跡を実行します。

放射イラジアンスマップとテーブルで結果を表示します。

二つの球の作成

積分球シェルの作成手順 (TracePro)

1. TracePro を起動し、新しいモデルを開始します。
2. ビューメニューからシルエットを選択し、下図のようなビューを得ます。
3. ジオメトリ | プリミティブソリッドを選択し、「球」タブを開きます。
4. 半径に「50」と入力し、「追加」をクリックします。
5. ビュー | ズーム | すべてを表示アイコンをクリックするか、すべてを表示アイコンをクリックし、作成したオブジェクトを全体表示します。
6. 半径ボックスの値を「52」に変更し、「追加」を再度クリックして外側の球を作成します。
7. プリミティブソリッドの追加 (Insert Primitive Solids)」ダイアログボックスを、作業の邪魔にならない場所に移動します。



球殻の作成

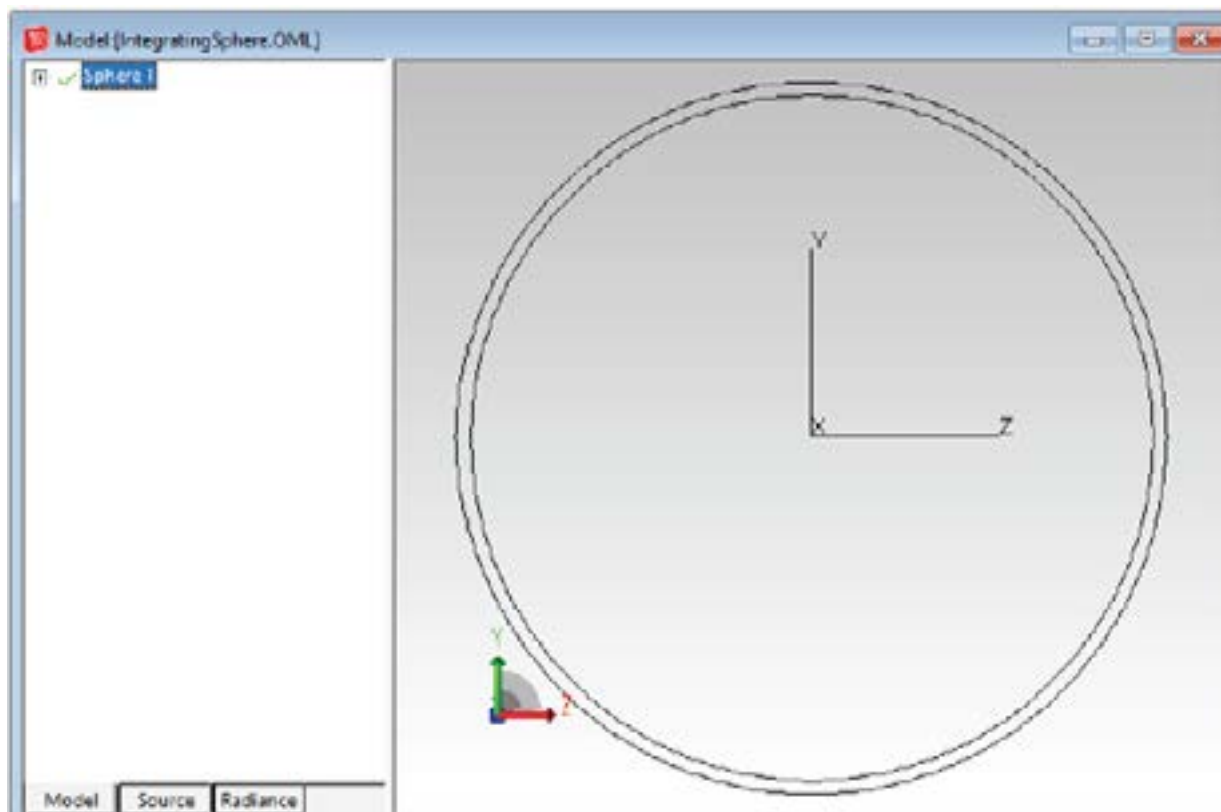
外側の球から内側の球を減算して球殻を作成します。

「編集 | 選択 | オブジェクト)」を選択します。

最初に大きい球のシルエットをクリックして選択します。そのシルエットがハイライト表示されます。

Ctrl キーを押しながら小さい球のシルエットをクリックして選択に追加します。両方のシルエットがハイライト表示されます。

「編集 | ブーリアン | 差」を選択するか、ツールバーのサブトラクトボタンをクリックします。ブール演算のサブトラクトコマンドは、コマンドが選択されると自動的に実行されます。次の図は、モデルウィンドウの新しい内容を示しています。間違えた場合は、ツールバーにある元に戻すボタンをクリックします。

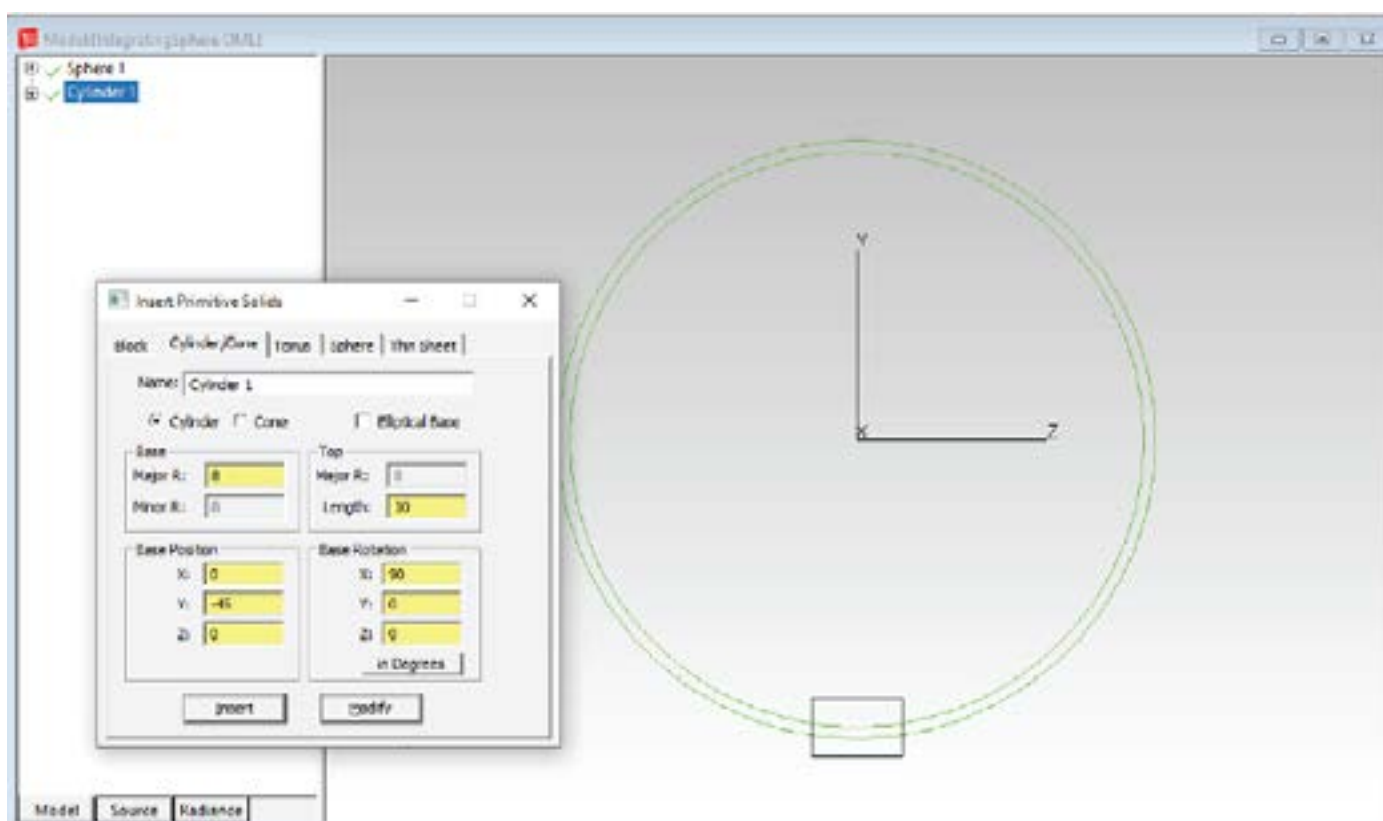


注記：ブール減算演算において、2 番目に選択されたオブジェクト（ツールオブジェクト）は、1 番目に選択されたオブジェクト（ブランクオブジェクト）との重なり合う部分において、ブランクオブジェクトから材料を削り取ります。演算完了後、結果として得られる変更後のブランクオブジェクトは維持され、ツールオブジェクトは削除されます。

出口ポートの追加

積分球から光が逃げるための出口ポートを追加します。出口ポートは、シェルから円柱を減算することで作成します。

1. [ジオメトリ|プリミティブ] ダイアログボックスの[コーン/シリンダ]タブを選択してください。円柱（円錐ではなく）が選択されていること、および[楕円形の底面]が選択されていないことを確認してください。
2. [底面座標]のY値を-45に、[底面の長軸]を8に、[底面位置]のX値を0に設定してください。
3. [回転]を90に、[長さ]を10に設定してください。以下の図を参考にしてください。
4. [追加]をクリックして円柱を作成してください。
5. 球殻を選択し、ShiftキーまたはCtrlキーを押しながら円柱をクリックして追加してください。[編集|ブーリアン|差]を選択するか、ブール演算のサブトラクトボタンを使用して、円形の出口ポートを作成してください。



オブジェクトとサーフェスの命名

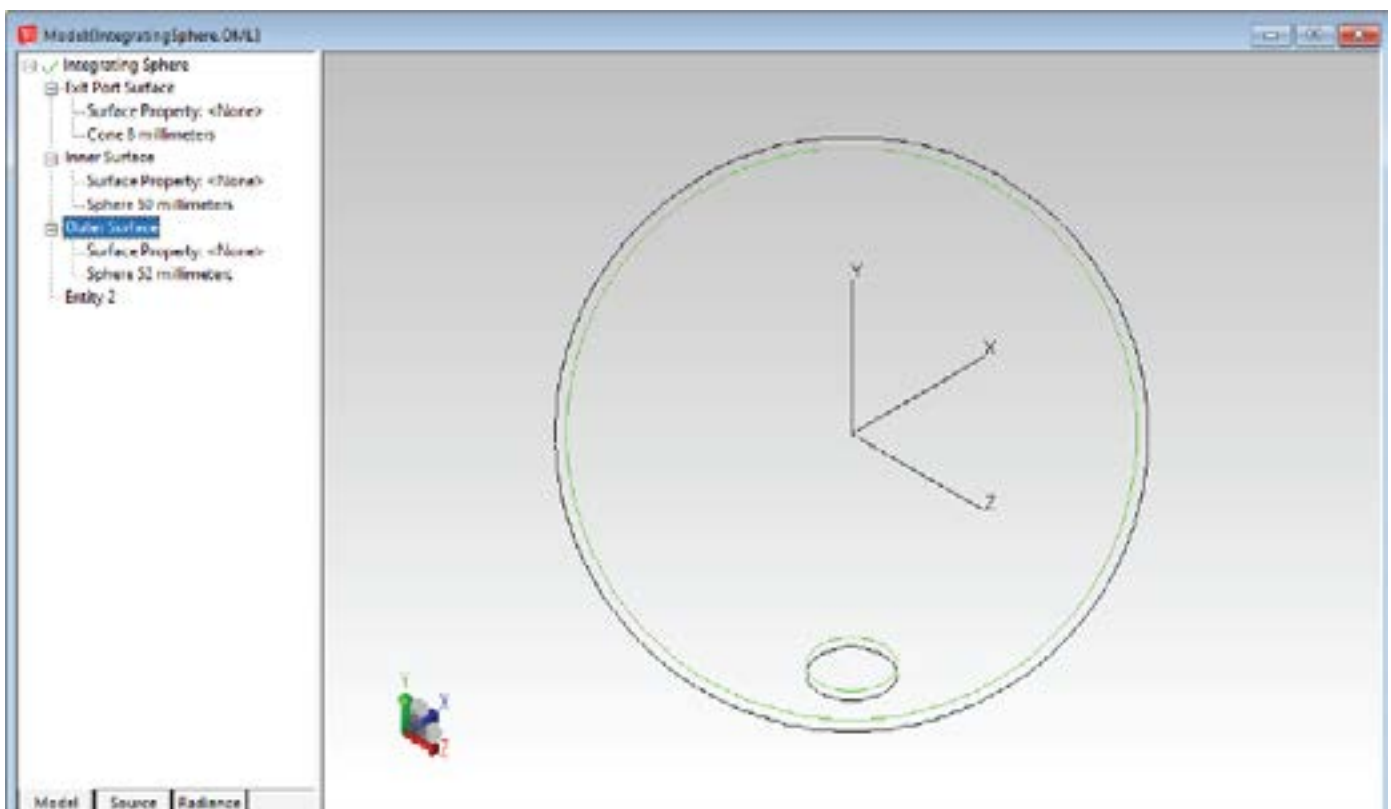
システムツリーを使用して、オブジェクトとサーフェスに機能が推定できるような名前を追加します。

システムツリーには現在、1つのオブジェクトしかありません。このオブジェクトの名前を「Integrating Sphere（積分球）」に変更します。オブジェクトの名前を変更するには、まず名前をクリックし、もう一度クリックして編集モードに入ります。F2キーを押して編集モードに入ることもできます。新しい名前を入力し、Enterキーを押します。名前が変更されているオブジェクトとサーフェスがモデルウィンドウで黒くハイライトされることに注意してください。

システムツリーで、積分球の内側と外側のサーフェスの名前をそれぞれ「Inner Surface」と「Outer Surface」に変更します。出口ポートの円筒形サーフェスの名前を「Exit Port Surface」に変更します。

ツールバーの[上書き保存]ボタンをクリックするか、または[ファイル | 保存]を選択して、この段階でモデルを保存します。

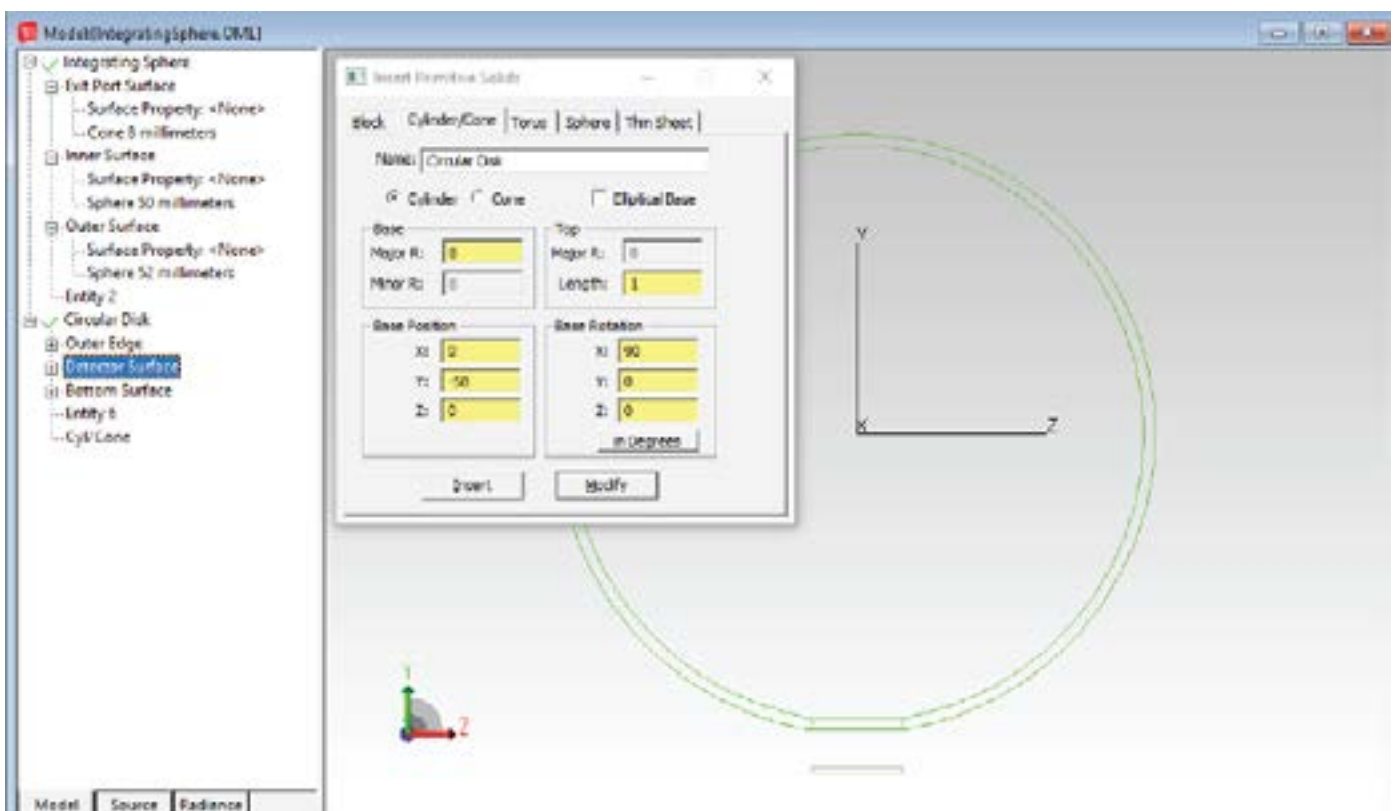
[アイソビュー 1] ボタンをクリックして、円形の出口ポートをより良く表示します。次の図は、システムツリーを展開し、モデルウィンドウの新しい内容を示しています。



検出器サーフェスの作成

検出器サーフェスは、出口ポートの反対側に位置する直径 8mm の薄い円形ディスクの上側になります。検出器サーフェスを作成するには、次の手順に従います。

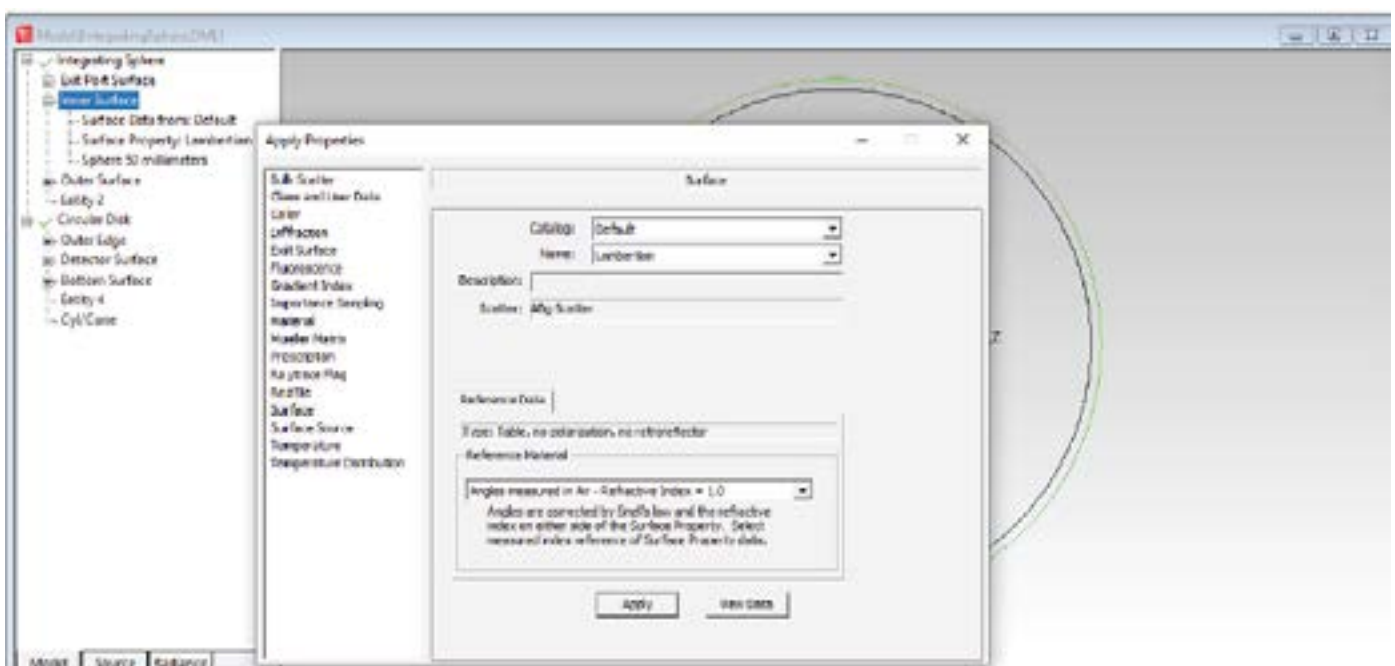
1. ツールバーの **Y 上 -Z 右** ビューボタンをクリックして、ビューを元の状態に戻します。
2. 「ジオメトリ | プリミティブ」でソリッドの追加ダイアログボックスを開き、「シリンダ / コーン」タブをクリックします。シリンダ（コーンではない）が選択されていることを確認し、「楕円底面」が選択されていないことを確認します。
3. 底面の Y 値を -58 に変更します。底面の長軸の値は 8 のままにします。長さ（Length）の値を 1 に変更します。
4. 「追加」をクリックしてディスクを作成し、「ソリッドの追加」ダイアログボックスを閉じます。
5. この新しいオブジェクトの名前を「Circular Disk」に変更します。そのサーフェスの名前を「外縁 (Outer Edge)」、「Detector Surface」、「Bottom Surface」に変更します。
6. ツールバーの「全てを表示 (Zoom All)」ボタンをクリックして、モデルウィンドウ内のオブジェクトを再スケール同心円します。
7. オブジェクトとサーフェスを、図のように名前を変更します。



データベースにサーフェスプロパティを追加する

TracePro のサーフェスプロパティエディタは、新しいサーフェスプロパティをデータベースに追加したり、既存のサーフェスプロパティを修正したりするために使用されます。このエディタを使用して、光を拡散的に（ランバート分布で）散乱し、入射光の 1% を吸収するランバートという名前の新しい特性を定義します。TracePro はエネルギー保存則を強制します。つまり、吸収された光、反射された光、透過された光の合計は、サーフェスでの入射光と等しくなければなりません。サーフェスプロパティデータが作成または修正されるたびに、エネルギー保存則についてチェックされます。ユーザーを支援するために、TracePro はサーフェスプロパティの自動計算に使用できる「Solve for」コマンドを提供し、エネルギー保存則を確実にします。BRDF A 係数を計算するために、「Solve for」コマンドを使用します。新しいサーフェスプロパティを定義するには、次の手順に従います。

1. 「定義 | プロパティデータの編集 | サーフェスプロパティ」を選択します。これにより、サーフェスプロパティエディタが開きます。「プロパティを追加」をクリックします。
2. 「プロパティの名称」フィールドに「Lambertian」と入力し、散乱モデルで「ABg」を選択して「OK」をクリックします。これにより、セルにデフォルト値が表示されたサーフェスプロパティエディタダイアログボックスに戻ります。
3. 「吸収」セルをクリックし、「0.01」と入力します。
4. 「自動計算」ドロップダウンリストから「BRDF」をクリックして、BRDF A の正しい値（=3.46639466054148）を計算させ、フィールドに自動的に挿入させます。
5. 「ファイル」メニューから「保存」をクリックし、次に「閉じる」をクリックして、サーフェスプロパティデータを TracePro.db データベースファイルに保存し、モデルウィンドウに戻ります。



注：ランバート面特性の値は、単一の入射角に対してのみ定義されています。追加の角度が定義されない限り、TracePro はすべての角度に対してこれらの値を使用します。追加の角度が定義された場合、TracePro は線形補間を使用して中間角度のデータを計算します。

積分球への新しいサーフェスプロパティの割り当て

次のステップで、積分球の内側に Lambertian サーフェスプロパティを割り当てます。手順は以下の通りです。

システムツリーで積分球の内側サーフェスの名前をクリックして選択します。

「定義 | プロパティの適用」を選択します。

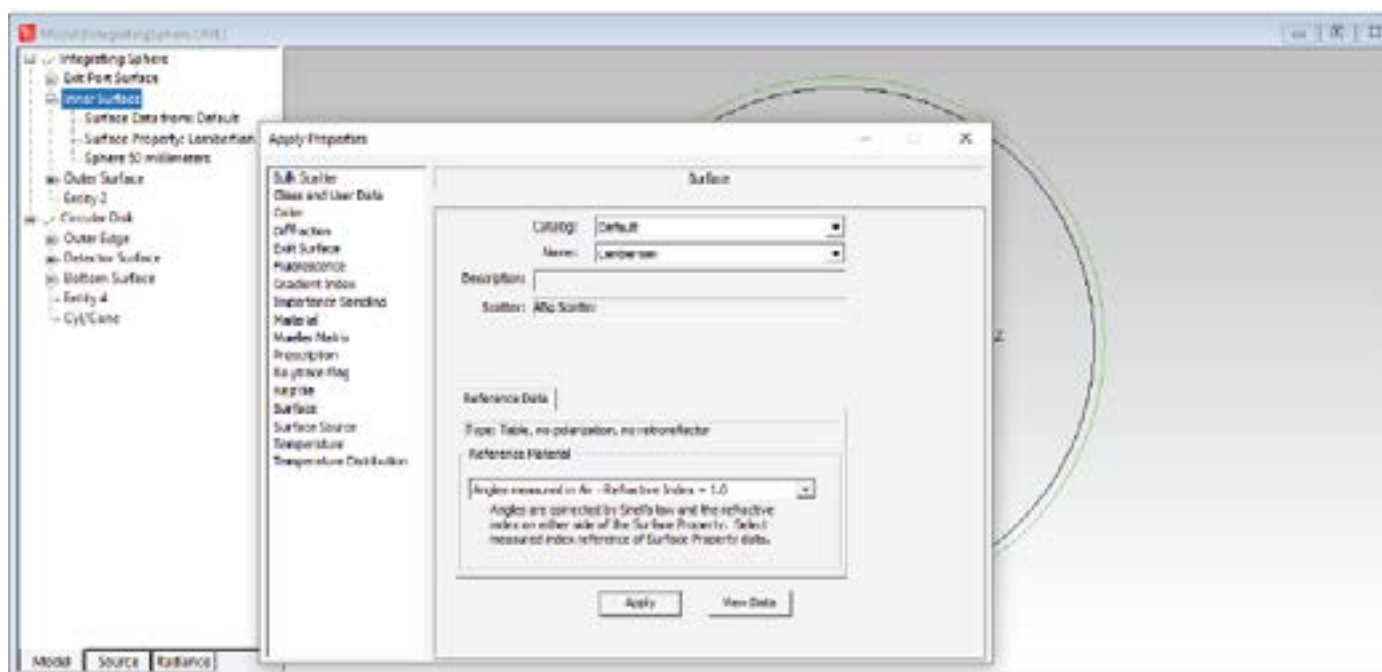
左ペインで「Surface」をクリックします。

「名称」ドロップダウンリストから「Lambertian」を選択します。

「適用」ボタンをクリックします。

システムツリーで、積分球の内側サーフェスに Lambertian サーフェスプロパティが割り当てられたことを確認します。

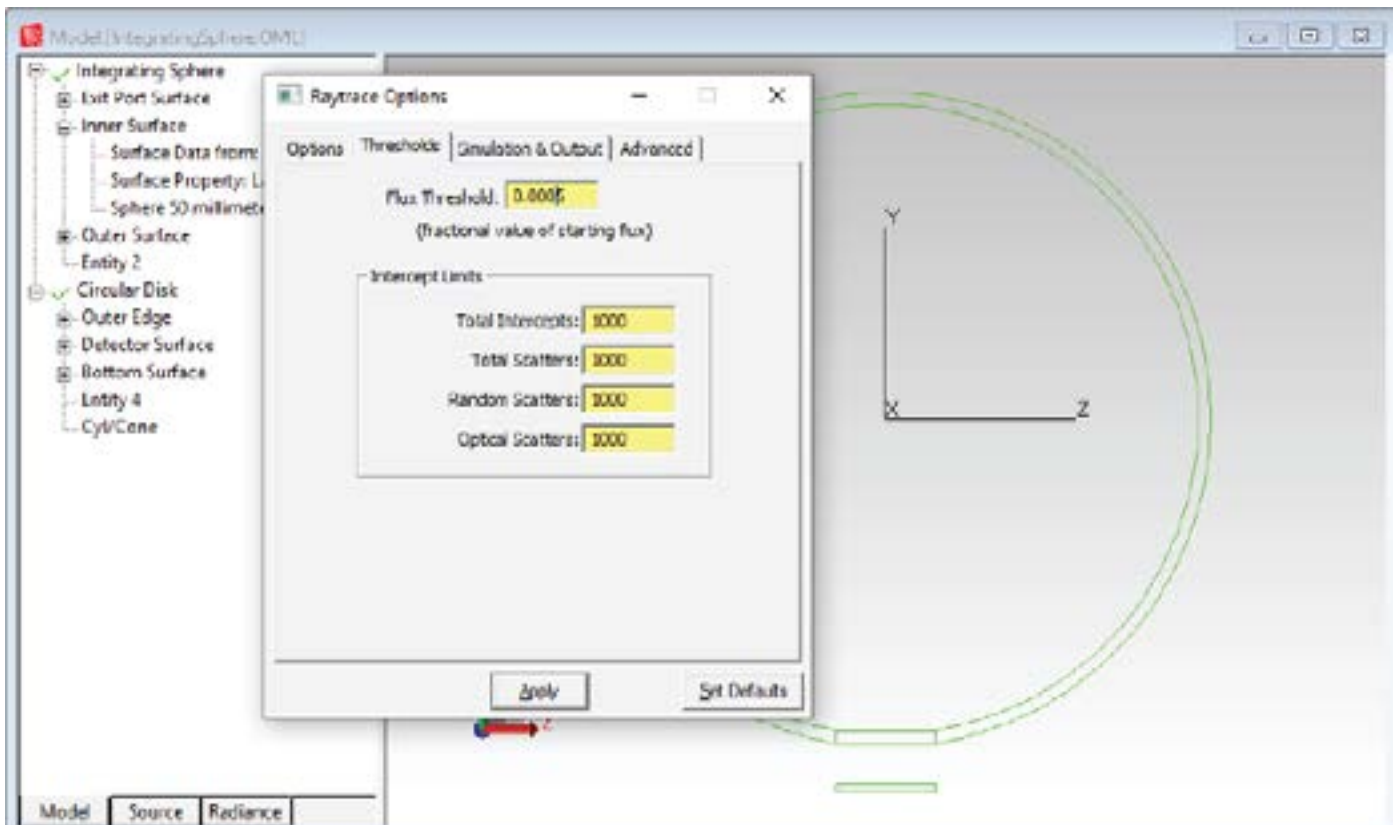
「プロパティの適用」ダイアログボックスを閉じます。



光線追跡の閾値の設定

光線をト追跡する前に、光束閾値を設定する必要があります。デフォルト値は 0.05 であり、これは光線が反射してより多くの光線に分割されるにつれて、開始光束の 5% 未満の新しい光線はト追跡されなくなることを意味します。積分球から出てくる有意な数の光線を生成するためには、この閾値を 0.0005 に設定します。

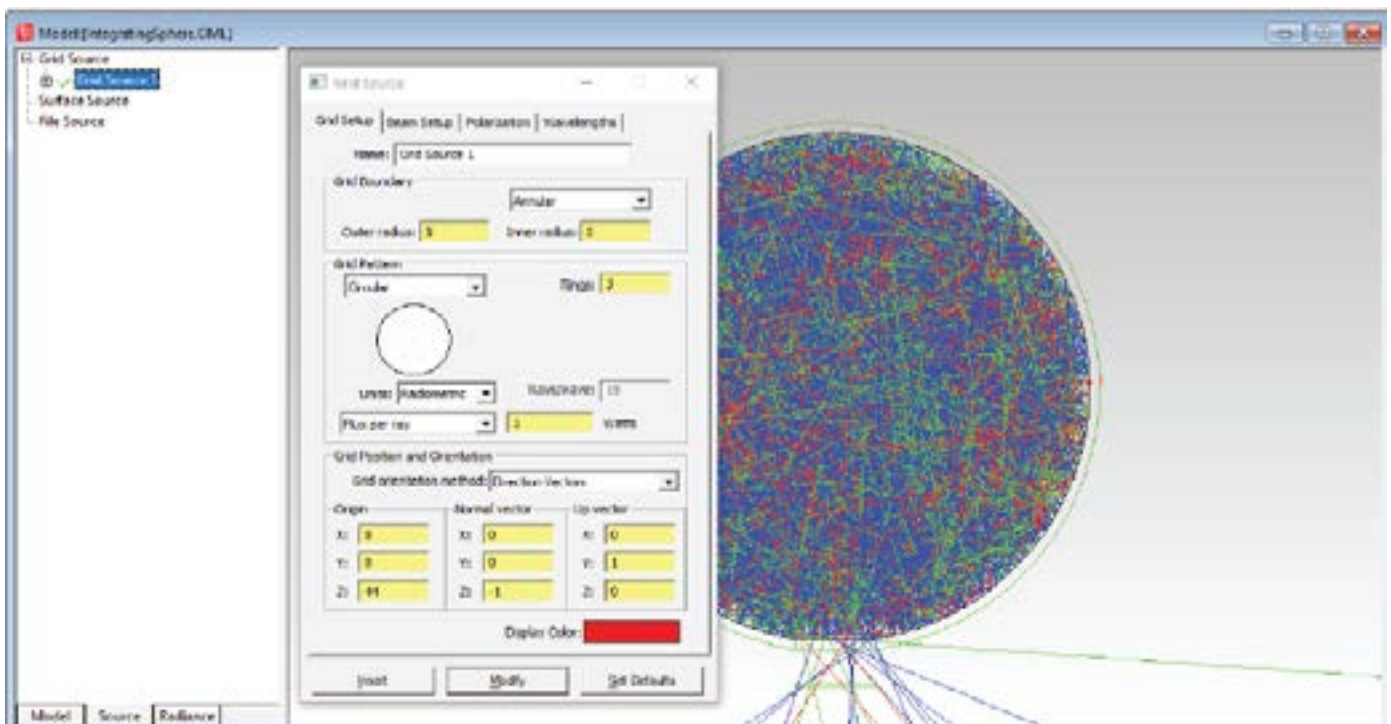
1. 「順光線追跡 | 順光線追跡オプション」を選択します。
2. 「閾値」タブを選択し、図に示すように光束閾値に 0.0005 の値を入力します。
3. 「適用」をクリックし、「順光線追跡オプション」ダイアログボックスを閉じます。



光線追跡

この例では、円形グリッド光源から光線を追跡します。追跡される実際の光線数は、グリッドの同心円値を指定したときに決定されます。つまり、開始点の円形グリッドを構成する同心円の数です。この例では、同心円数 3 を使用します。これは 19 本の開始光線に対応します。光線は球の内側から 45° の角度で開始します。

1. グリッド光源を設定するには、まずシステムツリーの下部にある [光源] タブをクリックします。
2. [グリッド光源定義] の下にある [グリッド光源 1] の前にある赤い X をクリックします。これにより、グリッド光源 1 がアクティブになります。
3. [グリッド光源 1] をダブルクリックして、[グリッド光源] ダイアログボックスを開きます。
4. [グリッド境界] を [ドーナツ型 (環状)] に設定し、[外接円の半径] に 5 を入力し、[内接円の半径] を 0 に設定します。
5. [座標] の Z 値を 44 に変更し、X および Y 成分は 0 のままにします。
6. [法線方向] の Z 成分を -1 に設定し、X 成分は 0 のままにします。
7. [Up ベクトル] の X、Y、Z 成分をそれぞれ 0、1、0 に設定します。
8. [グリッド光源] ダイアログボックスは、以下の図のようになります。
9. [変更] ボタンをクリックし、[グリッド光源] ダイアログボックスを閉じます。
10. [光線追跡] アイコンをクリックするか、[光線追跡 | 順光線追跡] を選択します。アナリシスモードまたはシミュレーションモードの光線追跡を選択するように求めるダイアログボックスが表示されます。[アナリシスモード] を選択し、[OK] をクリックします。
11. まず TracePro はモデルを監査 (検証) し、次に光線追跡が開始されます。合計 19 本の光線がグリッド光源から追跡されます。



図は、グリッド光源のダイアログボックスと、グリッドレイクが終了した後のモデルウィンドウを示しています。積分球の内部がどのように光線で満たされ、わずかな光線が出口ポートから逃げているかに注目してください。

イラジアンスマップオプションの設定

検出器サーフェスに入射するフラックスを表示するために、イラジアンスマップを作成します。

1. 「解析結果 | イラジアンス / イルミネンスオプション」を選択します。
2. 「プロットする光線」ドロップダウンリストで「入射光束」を選択します。
3. 「カラーマップ」ドロップダウンリストから「黒背景にグレースケール」を選択します。
4. 「法線ベクトルと Up ベクトルの自動計算」ボックスをクリックします。
5. 「イラジアンス / イルミネンスオプション」ダイアログボックスが下の図と一致するようにしてください。
6. 「適用 (Apply)」をクリックし、「照度 / イルミネーションマップオプション (Irradiance/Illuminance Map Options)」ダイアログボックスを邪魔にならない場所に移動します。

The screenshot shows the 'Irradiance/Illuminance Map Options' dialog box with the following settings:

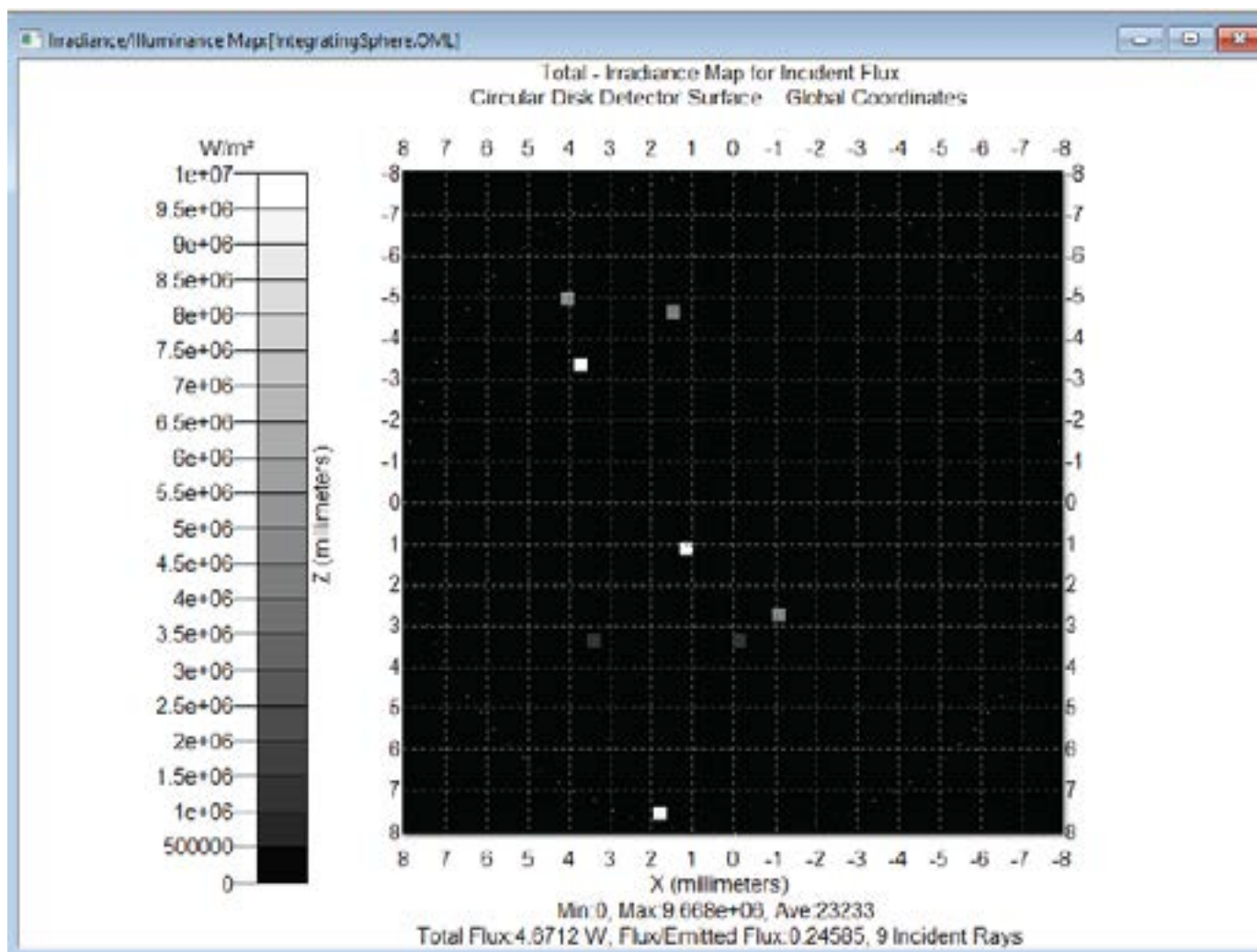
- Map Data:**
 - Quantities to plot: Irradiance
 - Rays to plot: Incident
 - Normalize to: <None>
 - Set Max: 0
 - Set Min: 0
- Display Options:**
 - Smoothing: ☐
 - Log Scale: ☐
 - No. of Pixels: 50
 - Contour Plot: ☐
 - Relief Plot: ☐
 - FFT Grid: 128x128
 - Local Coordinates: ☐
 - Profiles: ☐
 - Symmetry: None
 - Gradient Display: ☐
 - Color Map: Grayscale on Black
 - Convert to foot-candles (fc): ☐
 - Auto Update is ON
- Contour Levels:**
 - Auto. levels: ☒
 - Use percent of Max. (1.0 = 100%): ☐
 - Selection: [Empty box]
 - Number: 15
- Orientation of plot plane:**
 - Automatically calculate Normal and Up Vectors: ☒
 - Normal Vector: X: 0, Y: 0, Z: 1
 - Up Vector: X: 0, Y: 1, Z: 0

Buttons at the bottom: Apply, Set Defaults.

照度マップの表示

モード内の任意のサーフェスについて、目的のサーフェスを選択し、プロットを開くことで照度マップを表示できます。

1. オブジェクト Circular Disk 内の Detector Surface を選択します。
2. 「解析結果 | イラジアンス / イルミナンス」を選択して、照度マップを作成します。以下に示す図に表示されます。



これらの結果を疑似カラーで表示するには、次の手順に従ってください。

1. 「解析結果 | 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の「カラーマップ」ドロップダウンリストから「カラー（レインボー）黒地」を選択し、「適用」をクリックします。

2. 「解析結果 | イラジアンズ / イルミナンスオプション」ダイアログボックスを閉じます。

入射光線テーブルの表示

検出器サーフェスに衝突する光線のテーブルを表示するには、次の手順を実行します。

1. イラジアンズ / イルミナンスマップを閉じ、モデルに戻ります。
2. Detector Surface がシステムツリーで選択（ハイライト表示）されていない場合は、システムツリーまたはモデルウィンドウでクリックして選択します。
3. 「解析結果」メニューから「入射光テーブル」を選択します。

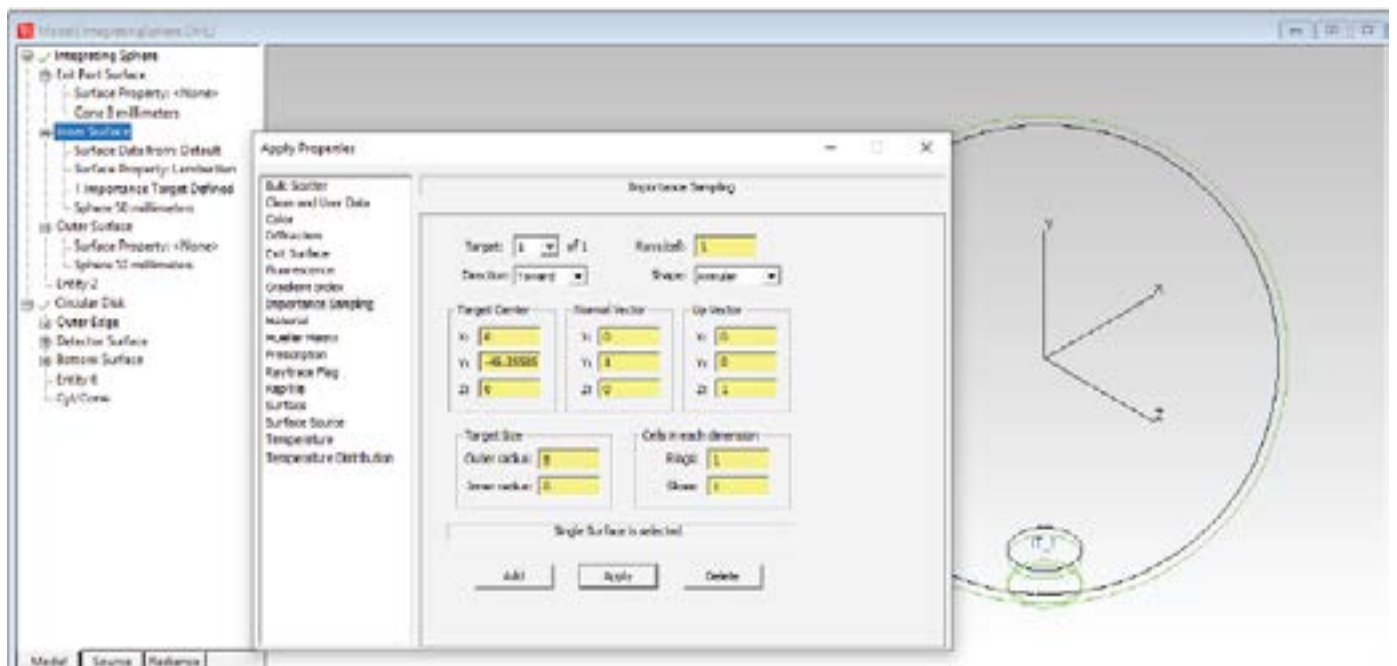
次の図は、取得されるテーブルの一部を示しています。イラジアンズ / イルミナンスマップに示されている 6 本の光線に対応して、6 本の光線がリストされていることに注意してください。

Circular Disk Detector Surface													Send to Analysis ToolKit
Ray Number	Wavelength	Source	Start Ray	Ray Node	Type	History	Flux	X Pos.	Y Pos.	Z Pos.	X Vec.	Y Vec.	Z Vec.
1	0.5461	Grid Source 1	2	3	Random		0.99	1.2866	-56	1.8971	0.041209	-0.74996	0.00000
2	0.5461	Grid Source 1	3	196	Random		0.142307	1.27984	-56	3.2500	0.70288	-0.68030	0.3795448
3	0.5461	Grid Source 1	8	365	Random		0.6217757	1.61545	-56	-1.70894	0.0614764	-0.634795	-0.763607
4	0.5461	Grid Source 1	9	9	Random		0.612080	1.798	-56	1.00239	0.10196	-0.77732	0.819888
5	0.5461	Grid Source 1	10	76	Random		0.463881	-0.881260	-56	3.88331	0.110826	-0.861323	0.428542
6	0.5461	Grid Source 1	11	195	Random		0.141745	-0.104003	-56	3.23054	0.474767	-0.291625	-0.300448798
7	0.5461	Grid Source 1	12	4	Random		0.8488	1.53958	-56	-1.45217	0.11115	-0.763975	-0.489153
8	0.5461	Grid Source 1	16	94	Random		0.418916	1.2112	-56	-4.87863	-0.224708	-0.609968	0.249971
9	0.5461	Grid Source 1	19	61	Random		0.552683	1.83347	-56	-4.88545	-0.162907	-0.851146	-0.294468

インポートランスサンプリングの追加

「インポートランスサンプリング」は、散乱（および回折）した光線を、光学系内の「重要」と考えられる特定の「ターゲット」に向けて生成し、伝送する手法です。これにより、ユーザーにとって重要な方向に向かう光線の数を増やすことでサンプリングが改善されます。この手法は、入射光の減衰が非常に大きい迷光解析において特に役立ちます。このチュートリアルでは、モデルに1つのインポートランスサンプリングターゲットを追加します。その位置、向き、形状、サイズは、出口ポートに一致するように指定されます。これにより、検出器サーフェスに当たる光線の数が増加しますが、各光線のフラックスは小さくなります。以前と同じ総フラックスが検出器サーフェスに当たりますが、より多くの光線に分散されるため、検出器サーフェスでの光の分布をより良く把握できます。

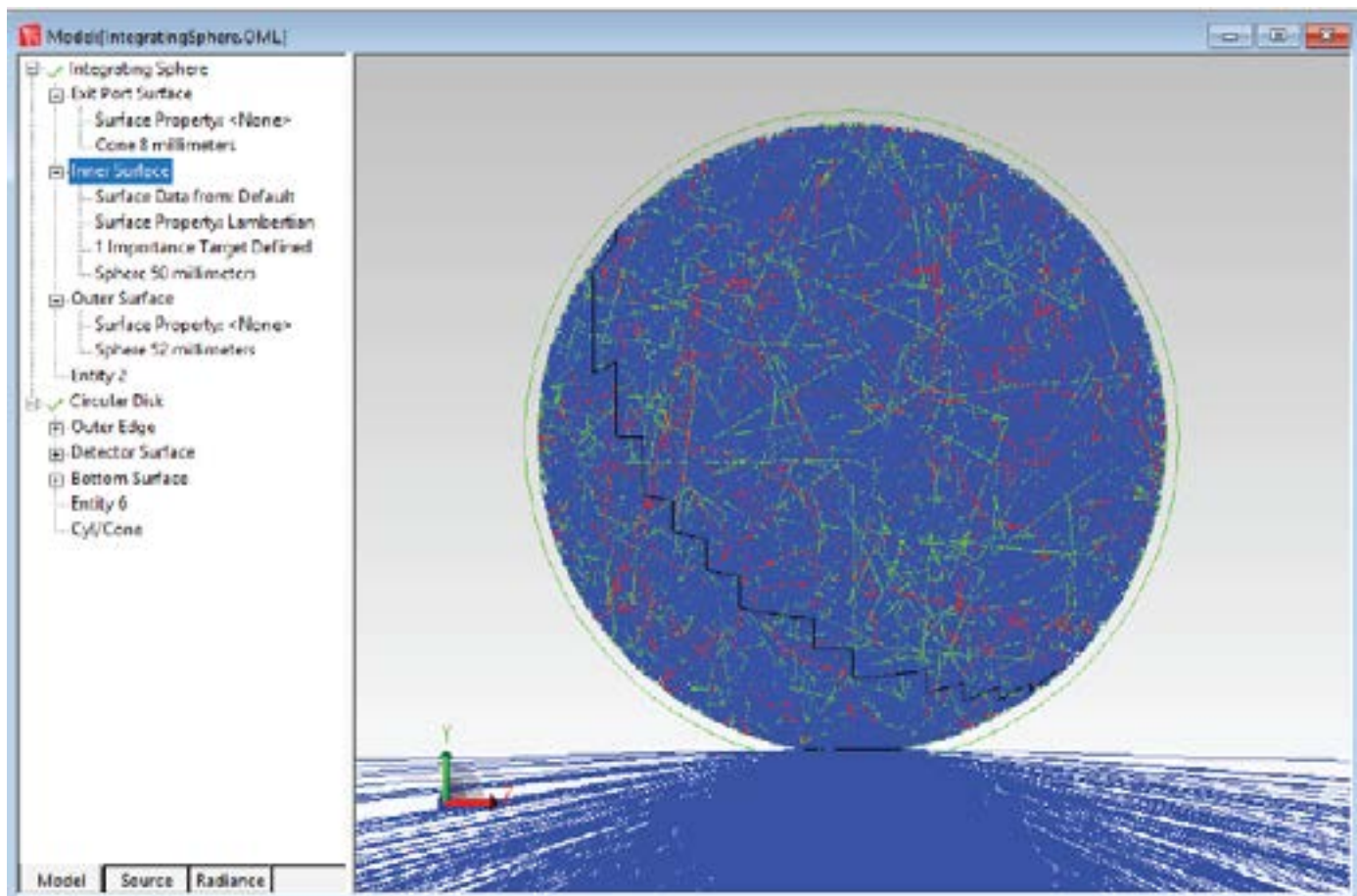
1. モデルに戻ります。
2. Integrating Sphere の Inner Surface を選択します。
3. 「定義 | プロパティデータの適用」を選択します。
4. 「プロパティの適用」ダイアログボックスの左ペインで「インポートランスサンプリング」を選択します。
5. ターゲット 1 の「ターゲット中心 Y」の値を -49.355851 に変更し、「法線ベクトル」を (0,1,0)、「Up ベクトル」を (0,0,1) に変更し、「外側半径」の値を 8 に変更します（図参照）。
6. 「適用」をクリックします。
7. システムツリーを確認して、Integrating Sphere の Inner Surface にインポートランスタargetが定義されていることを確認します。
8. 「プロパティの適用」ダイアログボックスを閉じます。



インポートランスターゲットを用いたレイトレース

1. 「光線追跡 | 順光線追跡」を選択して、レイトレースを開始します。

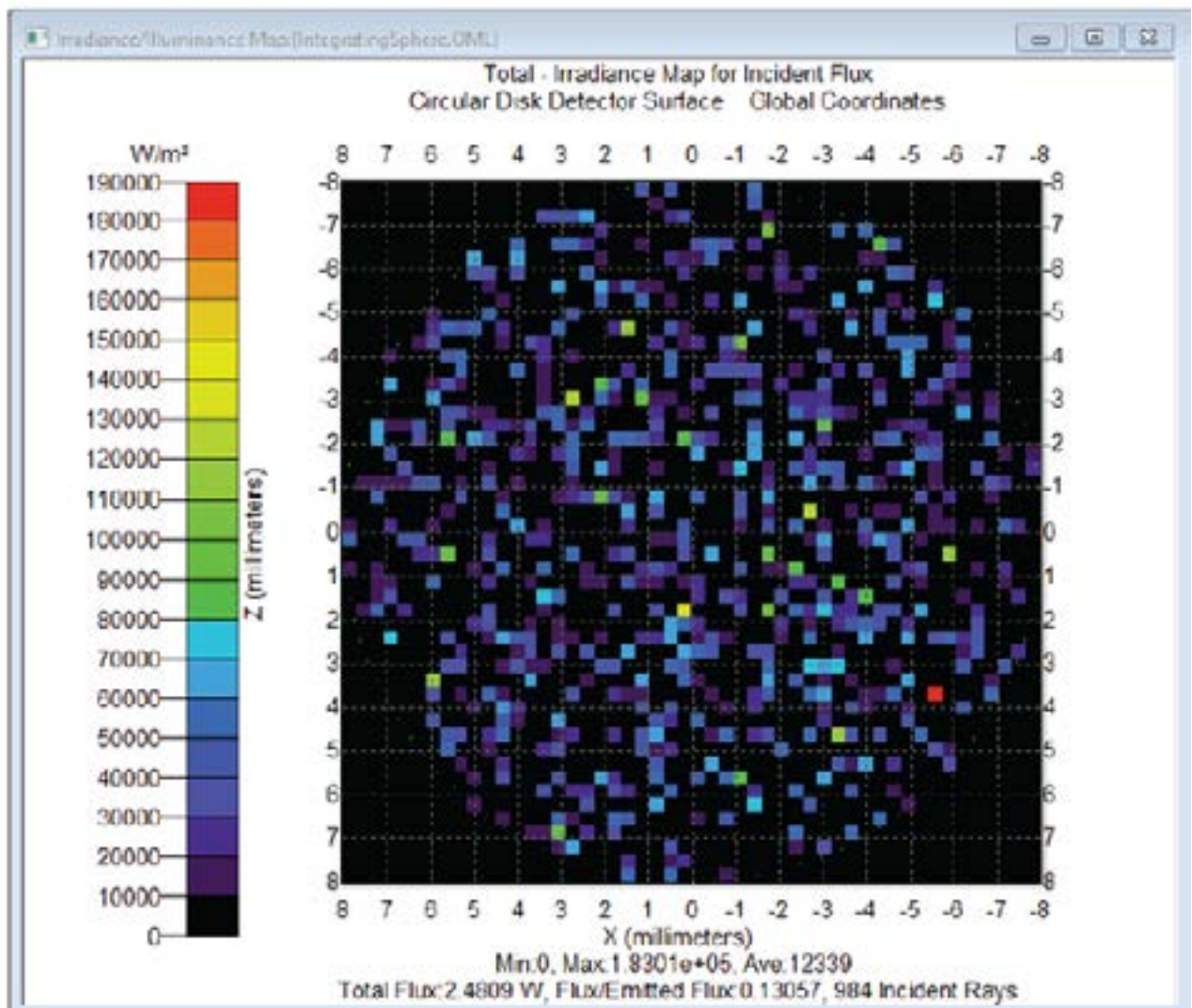
図は、インポートランスサンプリングがオンになっているグリッドレイトレースを示しています。



重要度サンプリングを用いた照度マップ

更新された照度マップが表示できます。

1. システムツリーで Detector Surface をクリックして選択します。
2. 「解析結果」メニューから「イラジアンズ / イルミナンスマップ」を選択します。
3. 「結果として得られるイラジアンズマップを次の図に示します。多くの光線が Detector Surface と交差し、サーフェス全体に均一に分布していることに注目してください。



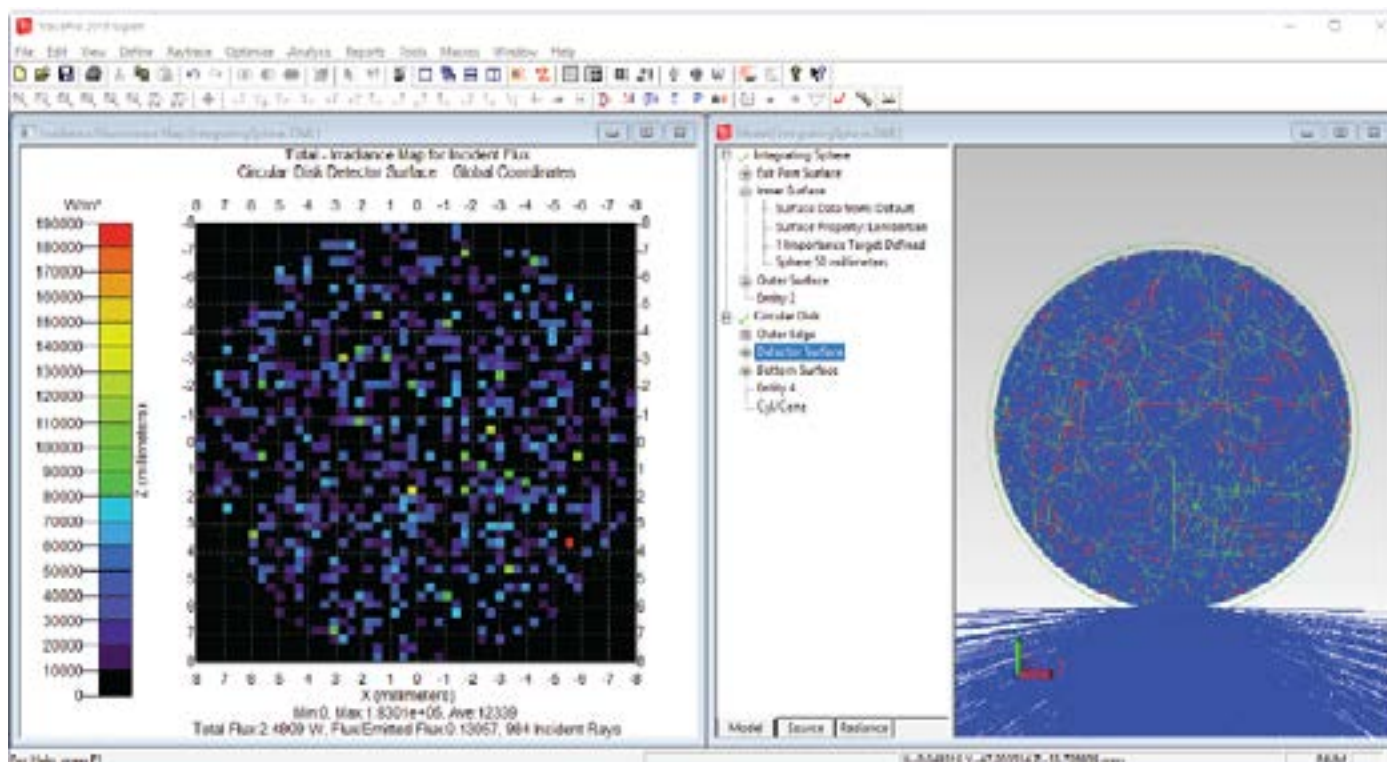
注：プロット内の光線サンプリングを改善するために、平滑化を適用したり、光線数を増やしたりすることができます。

ビューの配置

複数のビューを同時に表示すると便利な場合があります。例えば、モデル、システムツリー、および照度マップのビューを一緒に開いた状態で、システムツリー上で異なるサーフェスを選択すると、それらに入射する光束と、モデルビューで強調表示された位置を自動的に確認できます。また、異なるサーフェスを選択すると更新される光線履歴ビューを含めることもできます。これらのビューを配置するには、次の手順を実行します。

[ウィンドウ]メニューから[上下に並べて表示]を選択するか、(垂直に)並べて表示ボタンを使用します。

さまざまなウィンドウを好みのサイズに調整できます。



折>

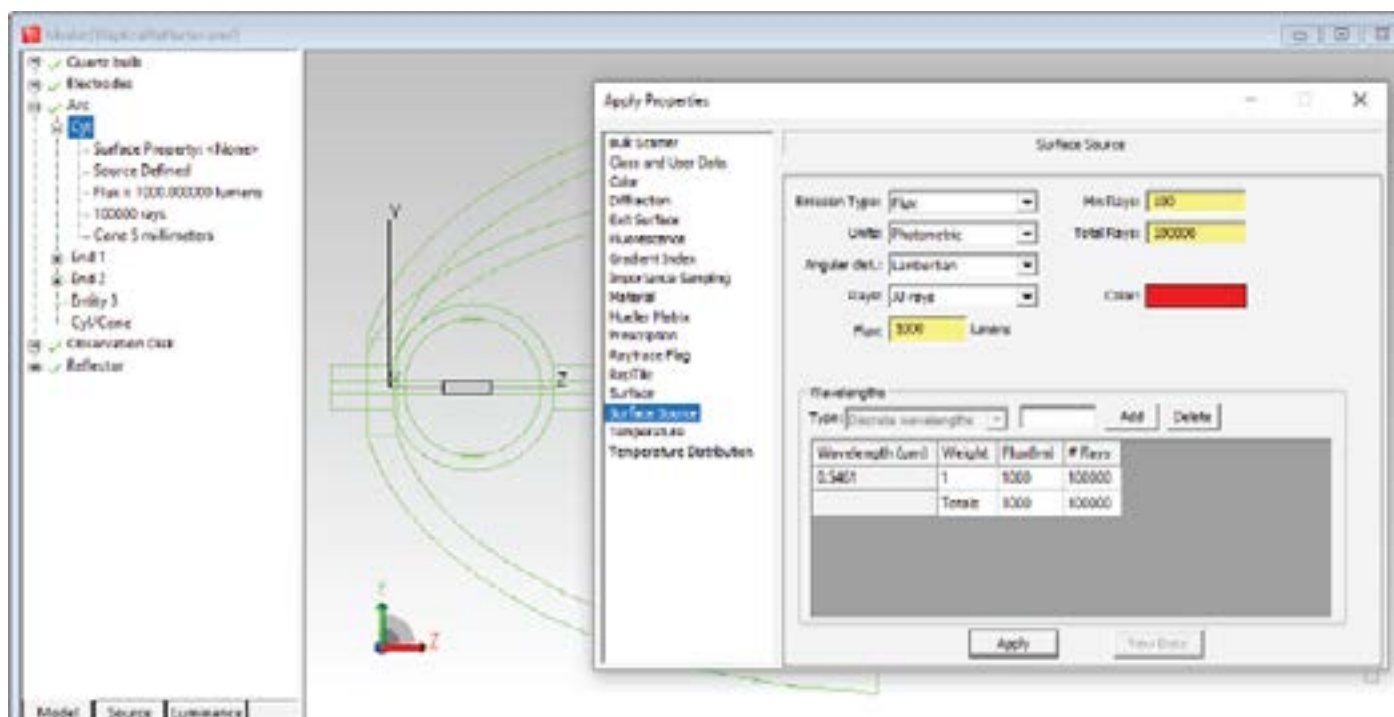


図 6. [プロパティの適用] ダイアログボックス、[サーフェスソース] ページ。

