

## 光学散乱測定サービス Synopsys SmartStart Measurement Services

測定環境温度コントロールされた暗室を完備、最適な散乱測定環境を実現

### 概要

SmartStart Measurement Service は、より高度な測定のリクエストにお応えするため、最適な測定環境が整ったラボルームをフランスに構え、Synopsys の光技術者によって取得された散乱測定データを提供するサービスです。

シノプシスは、以下のようなフォトメトリック・ラボラトリー（暗室）を備えています。

- ・ゴニオフォトメーター REFLET 180S
- ・ハイスペキュラーベンチ（全長10 m）
- ・ビデオフォトメーター
- ・照度計、分光光度計、屈折率測定器、屈折率測定器
- ・積分球：6インチ（赤外用ゴールド）、8インチ、40インチ

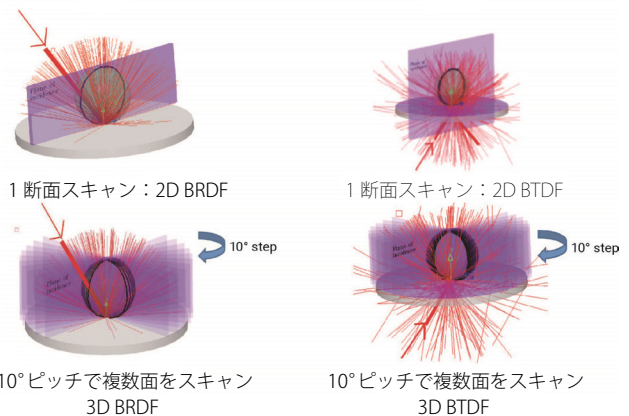
実験室は新しく、設備も充実しています。実験室の温度と湿度は、最適な測定環境を維持するために制御・調整されています。

ラボラトリーの取得クラス。10000 (ISO 7) クリーンルームは100 (ISO 5、ISO 14644-1準拠)。



フランスのラボルーム

### 散乱測定：スキャンング断面



### 測定内容

- 2D および 3D BSDF 測定（フロント面およびバック面）
- 高解像度 BSDF
- スペクトラル BSDF
- 全内部反射率 (TIR) 測定
- 全光束散乱 (TIS) 測定
- 紫外、可視、赤外波長 (280 nm から 0.6 μm まで)

### 製品概要

機器	Mini-Diff V2	Mini-Diff VPro	REFLET 180S	High Specular
タイプ		BRDF/BTDF		BRDF
ダイナミックレンジ	10°	BRDF 10° / BTDF 10°	10°	10 <sup>13</sup>
波長帯域	630 nm、525 nm、465 nm、850 nm、940 nm	630 nm、525 nm、465 nm	400 nm - 1700 nm	280 nm - 10.6 μ
入射角	固定：0°、20°、40°、60°	調節可：0° - 60°	調節可：+ 90° - -90°	
角度範囲	球体 [0° ; 75° ] [0° ; 360° ]		全球	-10° - +90° から 1 断面
角度精度	1°	0.5°	< 0.1°	< 0.02°
再現性	< 2 %		< 1 %	
重量	2 kg	42 kg	80 kg	200 kg
優位性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラグ&amp;プレイ</li> <li>・使いやすく早い</li> <li>・ポータブル&amp;コンパクト</li> <li>・低価格</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暗箱付属</li> <li>・調整可能な AOI (入射角)</li> <li>・高い再現性</li> <li>・低価格</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高ダイナミックレンジ</li> <li>・高精度</li> <li>・高い繰り返し精度</li> <li>・カスタマイズ可能な波長域</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常に高いダイナミックレンジ</li> <li>・鏡面反射 0.002°での測定</li> </ul>

**AOI (入射角) の推奨事項**

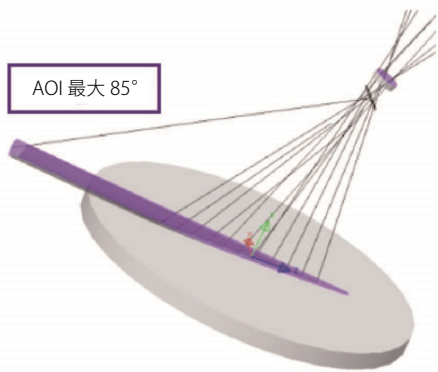
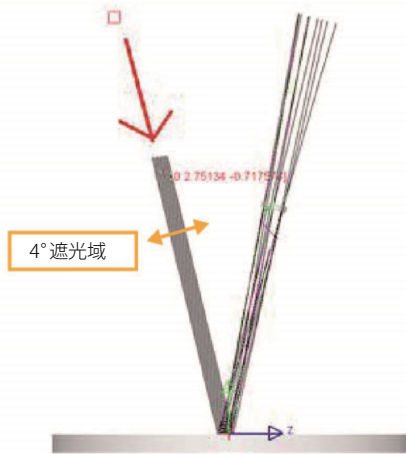
**最小入射角**

- BRDF (反射) では、ゴニオメーターが回転している場合、検出器が入射照明ビームを遮ることがあります。
- 4°の非測定域があるのは、そのためです。
  - AOI 0°の場合、法線方向に光は受光器へ戻ってきません。
  - AOI < 10°の場合、十分な散乱光が得られず、結果が正確でない可能性があります。
 そのため、AOI > 10°を推奨しています。

**最大入射角**

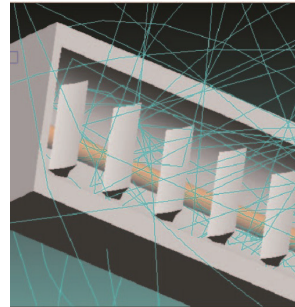
- コサインコンディションを考慮すると、試料面上で 3 mm のビームは楕円形状に変わっていきます。このため、受光器で集光するスポットサイズは、試料面で 12 mm より小さい必要があります。このため、最大入射角は 85°に制限しています。
- BSDF の特性評価は、実際の使用条件に近い AOI (入射角) で行われ、光学シミュレーションソフトに転送することができます。

BSDF 測定では AOI (入射角) 10°、30°、50°、70°を選択することを推奨します



**AOI (入射角) の推奨事項**

- 例 1：ルーバーの場合、ほとんどの光線は反射板への入射角が 0°から 60°です。
- 例 2：自動車のスピードメーター針の場合、TIR の入射角は 30°から 90°の間が多いです。



例 1

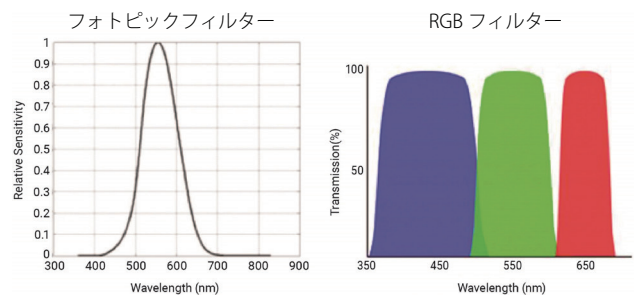


例 2

**カラー及びフィルタリング BRDF の測定**

BRDF の測定値は、特定の波長範囲における「全ての BRDF の積分量」です。

フィルタリング：フォトピックフィルター、RGB フィルター、光学フィルター (300 nm から 1700 nm まで各 50 nm) などの異なるフィルターの使用が可能です。これらのフィルターを使用することで、フィルタリング BSDF を取得できます。

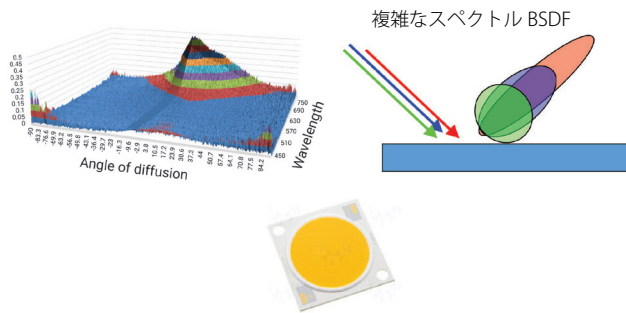


### スペクトル BSDF

散乱分布の色（波長）に対する変化を評価：塗料、蛍光体、口紅などの用途があります。

この場合、分光放射計という別の検出器を用いて、380 nm から 760 nm までの BRDF または BTDF を測定します。その結果、波長範囲内で 0.6 nm、1 nm、5 nm、10 nm ピッチで独立した BSDF を得ることができます。

これは、光学シミュレーションソフトで扱うべき大量のデータとなります。我々は 2D または 3D のスペクトル BSDF の全てを測定できます。



### BSDF の測定項目

- 2D BRDF：入射断面、各入射角に対する、極角 0.1°ピッチの BRDF 値
- 2D BTDF：入射断面、各入射角に対する、極角 0.1°ピッチの BTDF 値
- 3D BRDF：複数断面（方位角 10°ピッチの 19 面）、各入射角に対する極角 0.1°ピッチの BRDF 値
- 3D BTDF：複数断面（方位角 10°ピッチの 19 面）、各入射角に対する極角 0.1°ピッチの BRDF 値
- 標準納品物
  - テキストファイル（非スクリプト）
  - オンデマンド
  - LightTools、LucidShape、ASTM（テキストファイル）、フォーマット
  - ABg や Gaussian/Lambertian などの他のフォーマット
  - ASAP、FRED、TracePro、SPEOS、Zemax など他のソフトウェアフォーマット

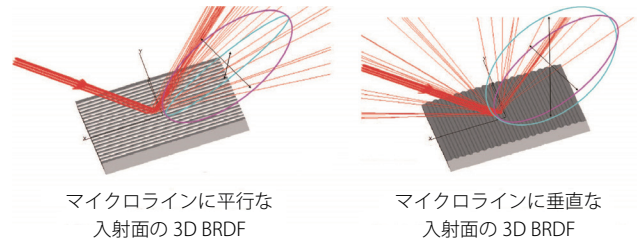
### 等方性と異方性

#### 等方性

等方性は最も一般的な試料です。本試料は、光の入射角度に関係なく、一様に光を散乱させます。

#### 異方性

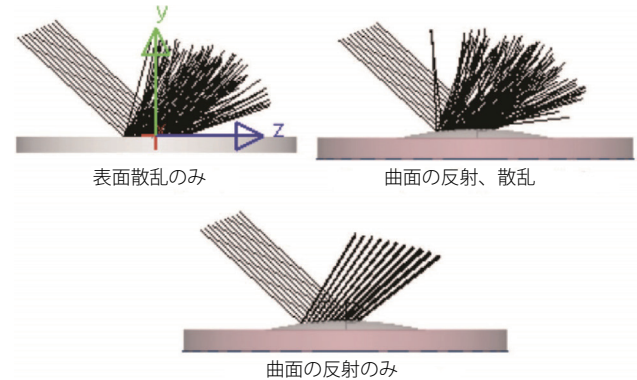
散乱分布は入射光がある断面に依存するします。一般に、このようなサンプルは表面に縞模様が見えます。この場合、入射面を 90°回転させて測定します。多くの場合、3D BRDF 測定の実施で十分な再現が可能です。



### 推奨条件

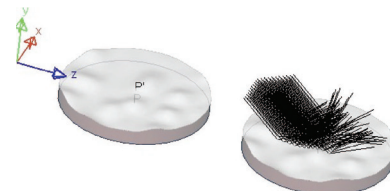
#### サンプルの平面度

サンプルは平面である必要があります。平面では無い場合、曲面と散乱に起因する入射ビームの発散が同時に発生してしまいます。



#### ビームサイズ

ビーム径（サンプル上のスポットサイズ）は 1 mm から 12 mm の間で調整可能です。"凹凸のある"面を測定する場合、"凹凸"の周期形状が 3 mm を越えない必要があります。



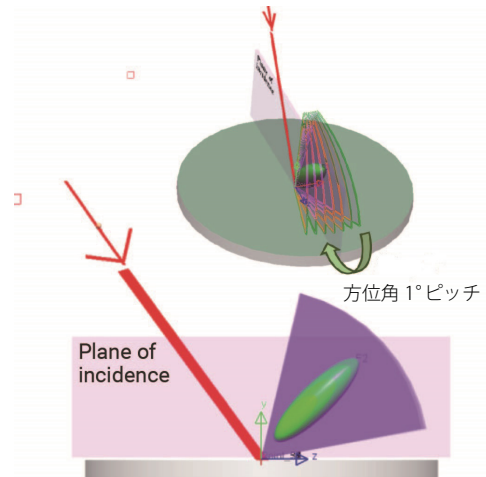
**正反射面 (Near Specular)**

散乱ビーム部位が > 20°の場合、10 度ピッチで入射面 (方位角) を変更して 3D BRDF を測定します。散乱ビーム部位が、5° ~ 20°の場合、2 つの領域で測定します。

測定 1 : 10 度ピッチで入射面 (方位角) を変更して 3D BRDF を測定します。

測定 2 : 1 度ピッチで入射面を変更して、“Near Specular”を測定します。

“Near Specular” と呼ばれる測定は、5°未満の拡散ビームを持ちます。この測定は各断面を 1°ピッチでスペキュラービームの周囲をスキャンします。この “Near Specular” の測定は High Specular Bench を使用します。測定対象の散乱ビームが 5°未満の場合、後述のハイスペキュラーベンチ (High Specular Bench) を測定方法をご参照ください。



**透過拡散板の測定例**

測定パターン		測定
透過のみで使用する拡散板		BTDF
1 面方向からの透過と反射を使用する拡散板		BRDF and BTDF : 表面、裏面 (Front のみ)
両面方向からの透過と反射を使用する拡散板		BRDF and BTDF : 表面、裏面 (Front と Back の両面)
導光用拡散板 (TIR)		TIR BRDF (追加で TIR BTDF)
体積拡散		体積拡散 : MIE 拡散、Gegenbauer



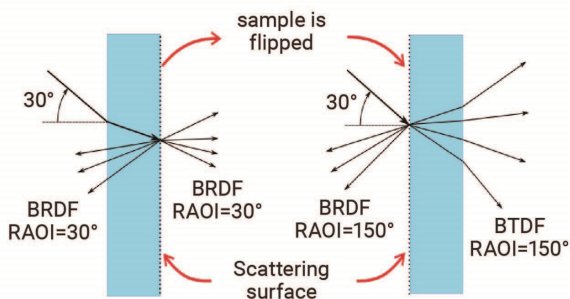
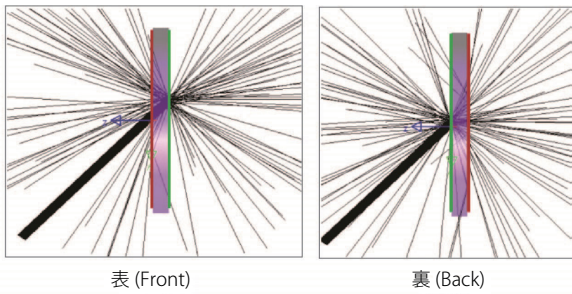
**拡散板の場合：BRDF と BTDF の Front 面と Back 面**

BRDF と BTDF の両方を利用し、拡散面が 1 面方向のみ (その他の面は光学研磨面) の場合、2 つの現象が考えられます。

- 光が光学研磨面に入射 → Front 面が先
- 光が拡散面に入射 → Back 面が先

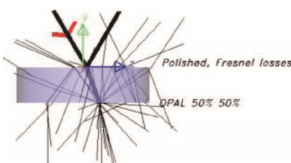
光学シミュレーションソフトウェアで測定データを使用する場合、左側か右側の面の面特性に設定する必要があります。

拡散板には周囲を空気として屈折率 1 を設定する必要があります。もし、屈折率が 1 以外の場合 (例えばプラスチックのように 1.5 を使用)、ソフトウェアは拡散板の内部に光を導き、拡散光にフレネル反射成分を含めてしまうので、存在しない散乱成分を含めてしまいます。

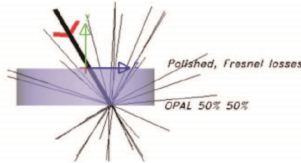


サンプルの「内側」からの入射光は  
Front  $0^\circ \leq \text{AOI}, \text{RAOI} \leq 90^\circ$

サンプルの「外側」からの入射光は  
Back  $90^\circ \leq \text{AOI}, \text{RAOI} \leq 180^\circ$



屈折率が不適切



屈折率が適切

**内部全反射測定 (Total Internal Reflectance)**

この場合、ライトパイプの "内部" で散乱する光に着目します。上面 (のフレネル損失) が、影響を与えない特別な測定が必要です。

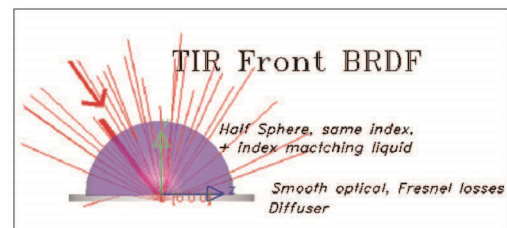
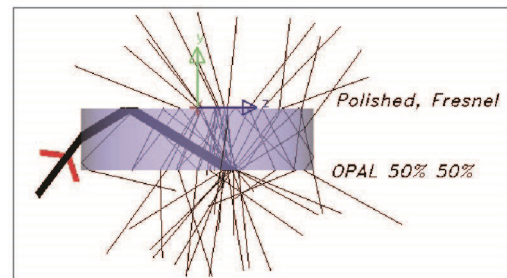
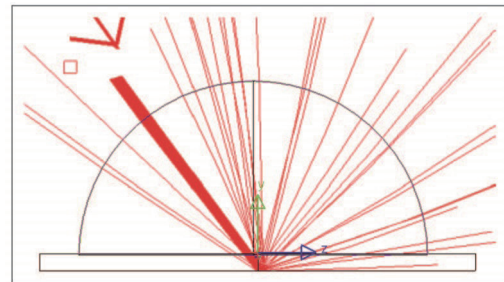
測定は、内部から戻ってくる散乱光を半球状レンズ (24 mm 径) に入射させて取得します。

次に BRDF と BTDF は通常通りに測定します。

この測定の最適な条件は、半球レンズがサンプルと正確に同じ屈折率を持っていることです。

平面散乱板の上に理想的な半球領域を作成する必要があるからです。

もし、このような特殊半球レンズが用意できない場合は、弊社が所有する半球レンズ (PC) を使用し、この半球レンズとサンプルの間に "インデックスマッチング液" を満たした状態で測定します。



**全積分散乱光測定 (Total Integrated Scattered light)**

全積分散乱光 (TIS) とは順方向、逆方向、あるいは両方の半球領域において、散乱光に寄与する全光束と、入射光に寄与する全光束の比率を表します。

TIS は BSDF の測定のみでは取得することができません。ゴニオフォトメータは限られた数の断面でスキャンングをしており、全ての散乱光を集積してはいない為です。また、スペキュラーに近い指向性のある散乱分布が測定対象の場合、受光器は正確な最大値を得るための適切なダイナミックレンジを備えていない可能性もあります。

BSDF の測定 (BRDF あるいは BTDF) からは、下記の精度にて TIS を計算できます。

- ・ 拡散板 → 誤差 数%
- ・ スペキュラー (反射面など) → 誤差 5 ~ 100%

このような大きな誤差が発生するため、TIS の取得には積分球を利用した高精度な測定が必要です。

航空宇宙分野の研究では、製造サイクルで TIS (Total Integrated Scatter light) の評価技術を向上させることは非常に重要です。パラメータの変化は実際の表面の TIS に影響を与えます。

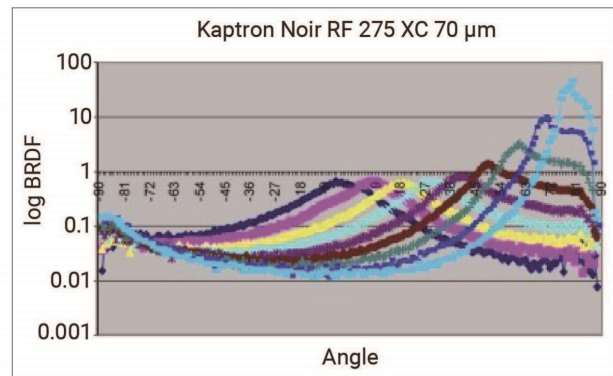
また、サンプルの測定範囲を変えて、TIS の変化を観察することは、製造上よく発生する以下の現象や振る舞いについて多くの有効な知識と技術を蓄積することができます。

- 老朽化
- クリーニング
- 製造

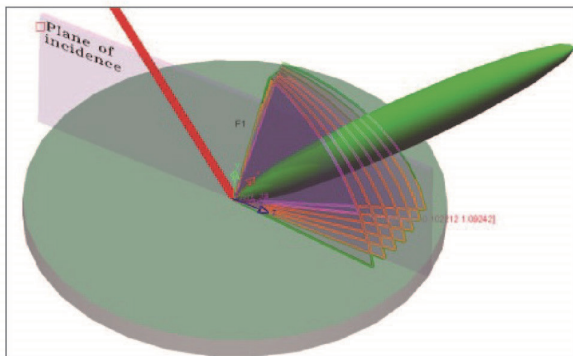
これらの TIS 測定は以下の条件で実施できます。

- 白色光 : 400 ~ 1700 nm
- レーザー光源 : 532, 638, 808, 850 nm
- IR レーザー光源 : 1.55, 3.39, 10.6 μm
- 繰り返し精度 : ± 0.03 %

10 から 100 mm のサンプルへ 3 つの異なる積分球が利用できます。



複数 AOI (入射角) の測定例



黒色部材 (Acktar 製)

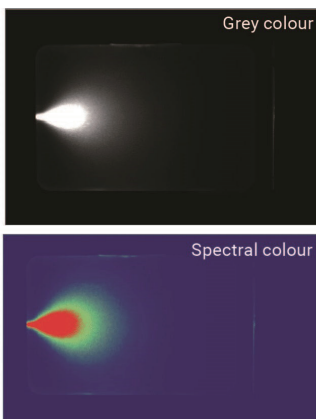
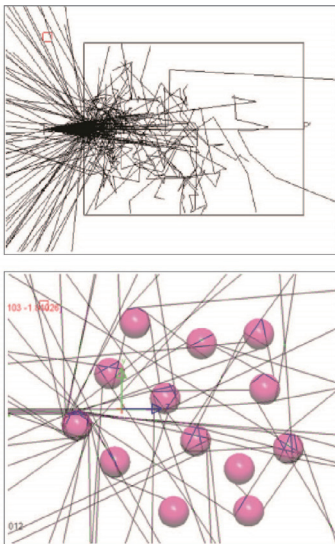
### 体積散乱測定

体積散乱では、最初に4種類の異なる厚みをもつ同じサンプルにて2D BTDF を測定します。

この4つのBTDF測定結果を使用して、この材料をシミュレーションに使用する場合に必要なパラメータを求める特別なルーチンを開発しています。

- Gegenbauer モデル：平均自由工程、 $\alpha$  および  $g$  パラメータ
- Mie 散乱モデル：粒子半径、粒子密度、粒子の屈折率

その後で、計算データを与えたシミュレーションが測定結果と同じになることを再チェックします。



測定サンプルの画像



ヘッドライト



ストロボフラッシュ

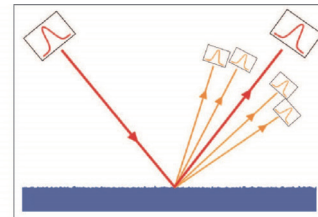
### 高解像度 BRDF

スペキュラー分布に対して  $0.02^\circ$  の解像度にて測定ができます。

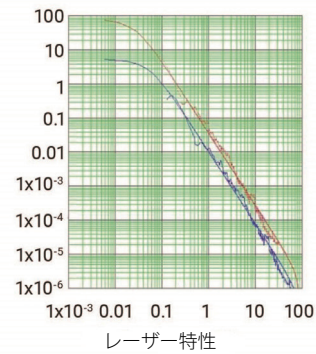
- 2D BRDF を測定。非常に高いダイナミックレンジを保持 (1013)
- レーザー光源を利用 (波長：280, 375, 445, 532, 638, 850 nm)、近赤外 (IR) レーザー光源も利用可 (波長：1.55, 3.39,  $10.6 \mu\text{m}$ )

測定器：全長 10 m 以上の測定器

用途：高研磨反射板、疑似スペキュラー面



測定のデコンポリューション



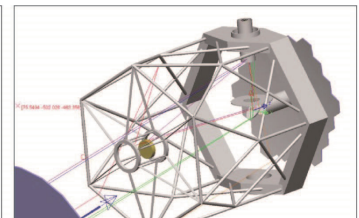
### 高解像度 BRDF の例

航空宇宙分野では、部材の散乱データの測定が非常に重要になります。

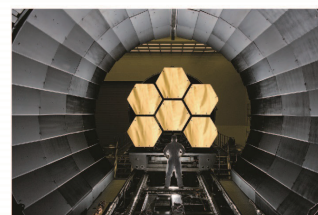
- 非常に狭い散乱分布のある反射鏡
- エッジ部で散乱の発生するバッフル部材
- エッジ部で散乱の発生する構造物



バッフル



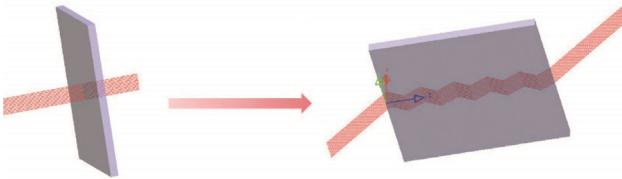
構造物



反射鏡

**屈折率を測定する概要**

- PMMA の屈折率が必要な場合
- 高分散材質の異なる波長での屈折率が必要
- 製造工程が与える PMMA の屈折率の確認
- PMMA で製造されたサンプルの屈折率の測定機械が稀な場合



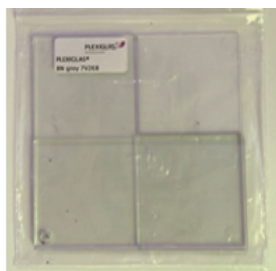
標準測定：PMMA のプレートに透過方向へ投光します  
 非標準測定：エッジから透過方向へ投光します  
 →内部反射を考慮

**屈折率測定**



- 標準例：N-BK7 平面 φ 1"
- 厚さ : 1 mm

波長	理論上の屈折率	測定による屈折率
638 nm	1.5149	1.515 ± 0.001
532 nm	1.5195	1.520 ± 0.001
445 nm	1.5258	1.526 ± 0.001



- 標準例：PMMA
- 厚さ : 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm

波長	理論上の屈折率
638 nm	1.481 ± 0.001
532 nm	1.484 ± 0.001
445 nm	1.490 ± 0.001

**屈折率応用例**



自動車：ヘッドランプ、リアランプ

**屈折率応用例**

機器	理折率測定器
タイプ	屈折率
波長	445 nm, 532 nm, 638 nm, 1550 nm
精度	± 0.001
再現性	< 0.5 %
重量	100 kg
優位性	・高精度 ・高再現性

これらのアプリケーション例やその他のアプリケーションについて、お気軽にお問い合わせください。