

散乱測定ガイド

測定室紹介

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

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。

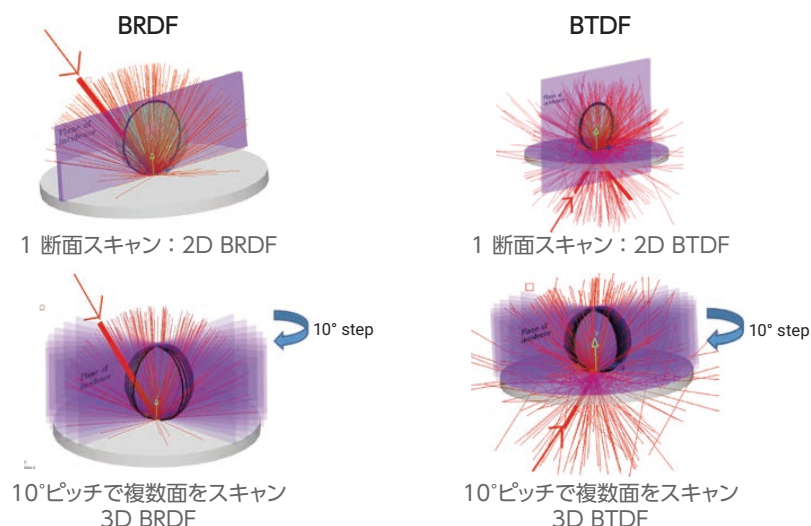
ラボラトリーの取得クラス。10000 (ISO7)クリーンルームは100 (ISO5、ISO14644-1準拠)。



製品概要

機器	Synopsys Mini-Diff V2	Synopsys Mini-Diff VPro	Synopsys REFLET 180S	Synopsys High Specular Bench
タイプ	BRDF/BTDF	BRDF/BTDF	BRDF/BTDF	BRDF
ダイナミックレンジ	10 ⁵	BRDF 10 ⁵ BTDF 10 ⁶	10 ⁹	10 ¹³
波長帯域	630nm, 525nm, 465nm, 850nm, 940nm	630nm, 525nm, 465nm	400nm to 1700nm	280nm to 10.6μ
入射角	固定： 0°, 20°, 40°, 60°	調整可：0° to 60°	調整可： +90° to -90°	調整可： +90° to -90°
角度範囲	球体 [0°; 75°] [0°; 360°]	球体 [0°; 75°] [0°; 360°]	全球	-10° to +90° から1断面
角度精度	1°	0.5°	< 0.1°	< 0.02°
再現性	< 2%	< 2%	< 1%	< 1%
重量	2kg	42kg	80kg	200kg
優位性	<ul style="list-style-type: none"> • プラグ&プレイ • 使いやすく早い • ポータブル&コンパクト • 低価格 	<ul style="list-style-type: none"> • 暗箱付属 • 調整可能なAOI (入射角) • 高い再現性 • 低価格 	<ul style="list-style-type: none"> • 高ダイナミックレンジ 	<ul style="list-style-type: none"> • 非常に高いダイナミックレンジ • 鏡面反射0.002°での測定
			<ul style="list-style-type: none"> • 高精度 • 高い繰り返し精度 • カスタマイズ可能な波長域 	

散乱測定: スキャンング断面



AOI (入射角)の推奨事項

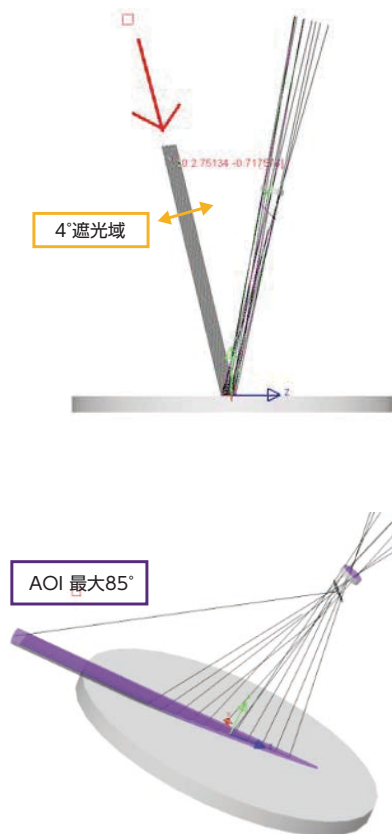
最小入射角

- 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3mm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12mm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。

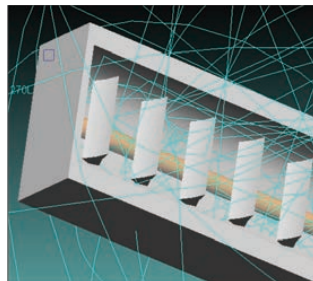
BSDF測定ではAOI(入射角) 10°、30°、50°、70°を選択することを推奨します。



AOI (入射角)の例

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の針の場合、TIRの入射角は30°から90°の間が多いです。



例1

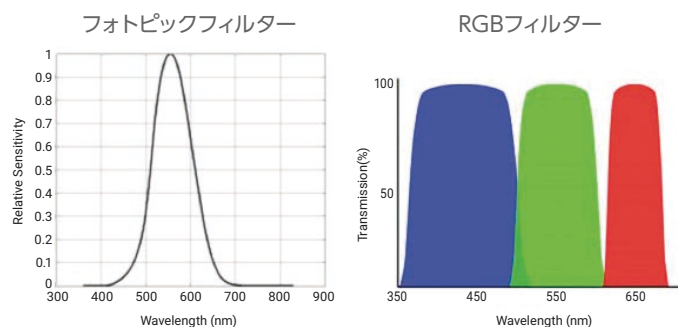


例2

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(300nmから1700nmまで各50nm)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。

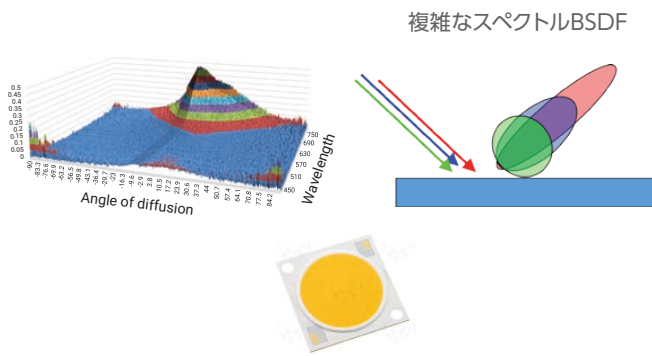


スペクトルBSDF

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、380nmから760nmまでのBRDFまたはBTDFを測定します。その結果、波長範囲内で0.6nm、1nm、5nm、10nm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BTDF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

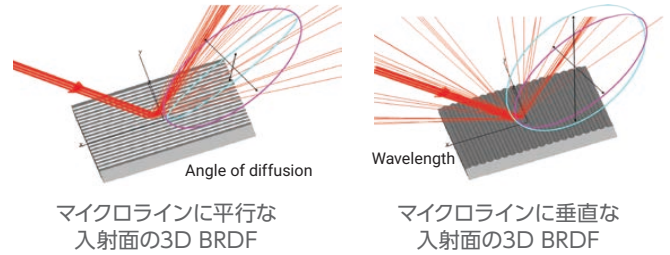
等方性と異方性

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

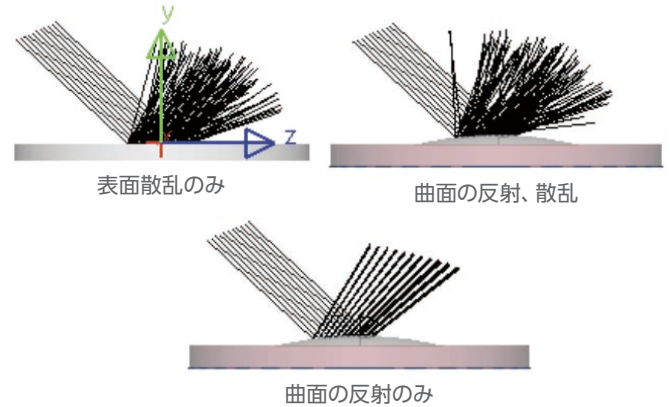
散乱分布は入射光がある断面に依存するします。一般に、このようなサンプルは表面に縞模様が見えます。この場合、入射面を90°回転させて測定します。多くの場合、3D BRDF測定の実施で十分な再現が可能です。



推奨条件

サンプルの平面度

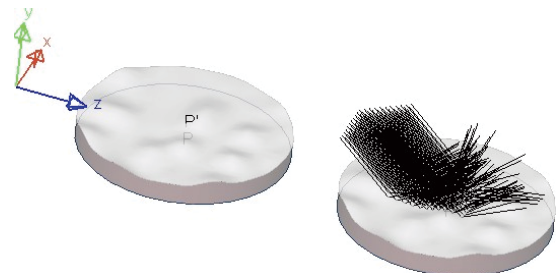
サンプルは平面である必要があります。平面ではない場合、曲面と散乱に起因する入射ビームの発散が同時に発生してしまいます。



ビームサイズ

ビーム径（サンプル上のスポットサイズ）は1mmから12mm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3mmを越えない必要があります。



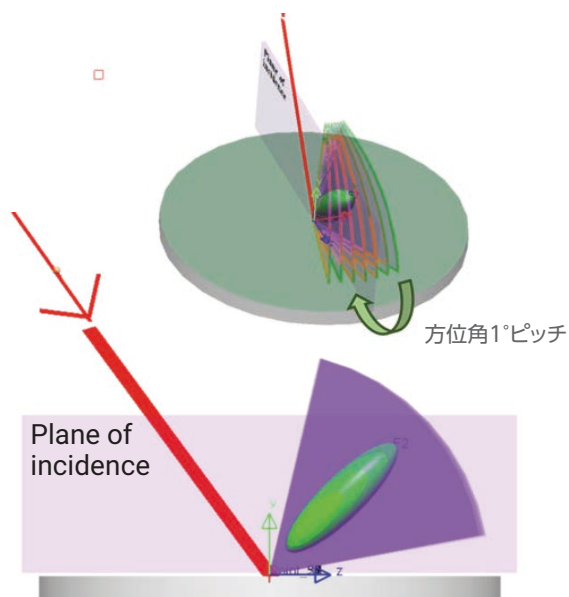
正反射面 (Near Specular)

散乱ビーム部位が $> 20^\circ$ 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、 $5^\circ \sim 20^\circ$ の場合、2つの領域で測定します。

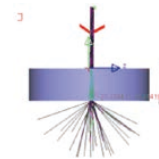


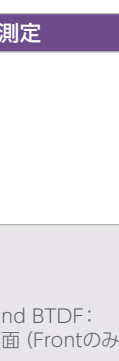
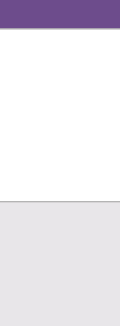
測定1：10度ピッチで入射面 (方位角) を変更して3D BRDFを測定します。

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。

我々が “Near Specular” と呼ぶ測定は、 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散乱、Gegenbauer

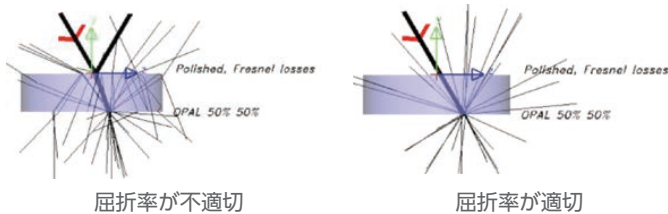
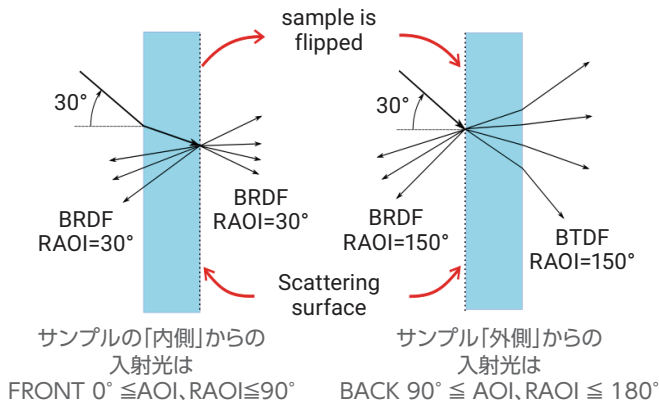
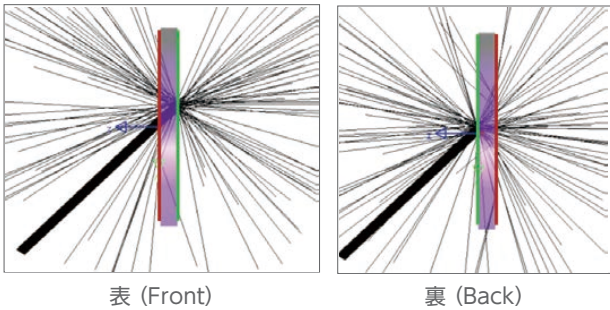
拡散板の場合： BRDFとBTDFのFront面とBack面

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。



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。

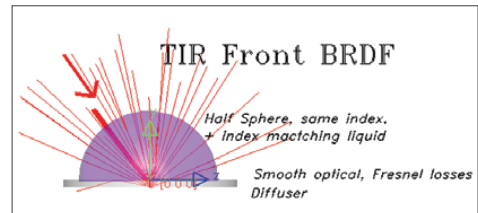
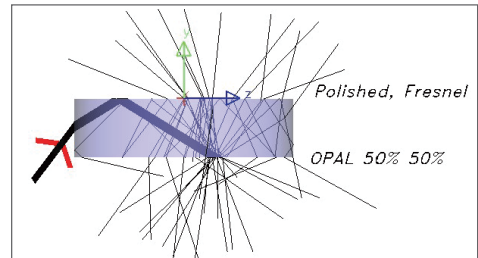
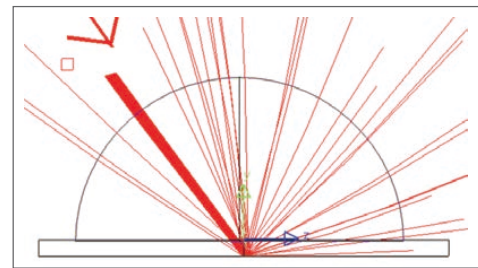
測定は、内部から戻ってくる散乱光を半球状レンズ（24mm径）に入射させて取得します。

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)

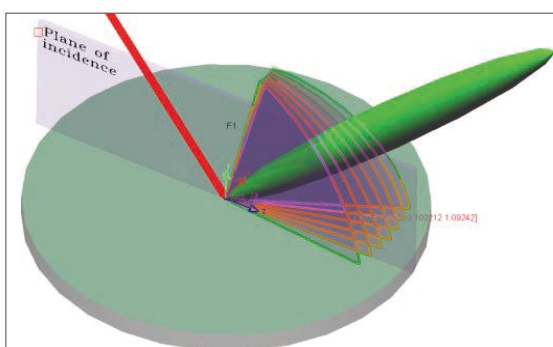
全積分散乱光 (TIS)とは順方向、逆方向、あるいは両方の半球領域において、散乱光に寄与する全光束と、入射光に寄与する全光束の比率を表します。

TISはBSDFの測定のみでは取得することはできません。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 Scattered 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。

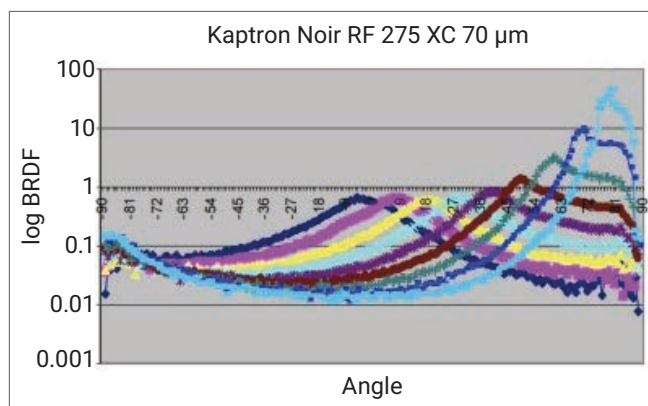
またサンプルの測定範囲を変えて、TISの変化を観察することは、製造上よく発生する以下の現象や振る舞いについて多くの有効な知識と技術を蓄積することができます:

- 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 から 1700nm)
- レーザ光源 : (532, 638, 808, 850nm)
- IRレーザ光源 : (1.55, 3.39, 10.6μm)
- 繰り返し精度 : +/- 0.03%

10から100mm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)

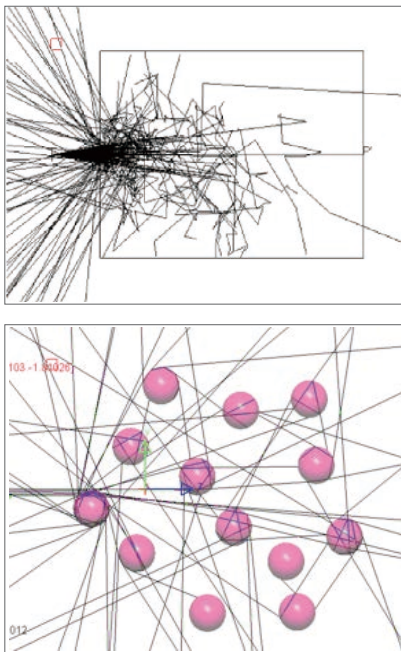
体積散乱測定

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：
平均自由行程、 α 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。



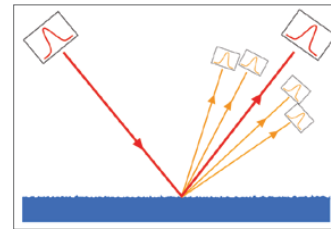
高解像度 BRDF

スペキュラー分布に対して 0.02° の解像度にて測定ができます。

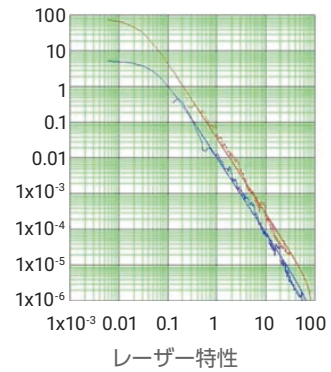
- 2D BRDF を測定。非常に高いダイナミックレンジを保持 (1013)
- レーザー光源を利用 (波長: 280, 375, 445, 532, 638, 850nm)、近赤外 (IR) レーザー光源も利用可 (波長: 1.55, 3.39, 10.6 μ m)

測定器：全長10m以上の測定器

用途：高研磨反射板, 擬似スペキュラー面



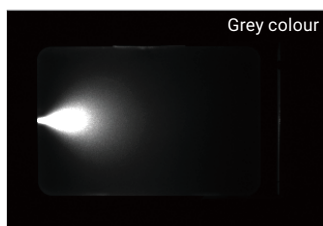
測定のデコンボリューション



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ツフル部材
- エッジ部で散乱の発生する構造物



測定サンプルの画像



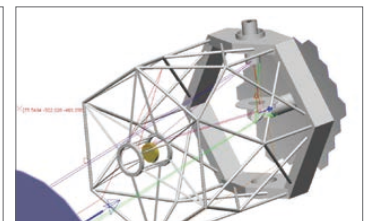
ヘッドライト



ストロボフラッシュ



バツフル



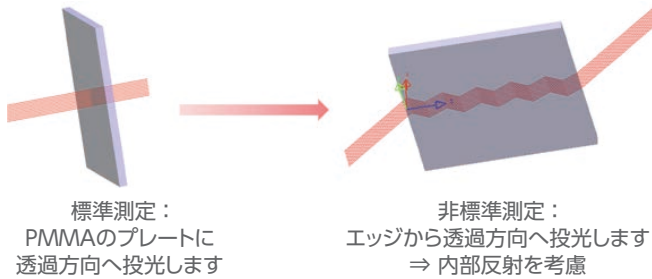
構造物



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会が稀な場合

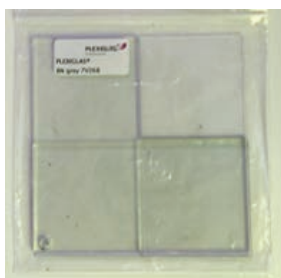


屈折率測定



- 標準例：N-BK7 平面 Φ1"
- 厚さ：1mm

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



- 標準例：PMMA
- 厚さ：1mm, 2mm, 3mm, 4mm

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

屈折率応用例



自動車:ヘッドランプ、リアランプ

屈折率測定器

機器	屈折率測定器
タイプ	屈折率
波長	445 nm, 532 nm, 638 nm and 1550 nm
精度	+/- 0.001
再現性	<0.5 %
重量	100 Kg
優位性	<ul style="list-style-type: none"> 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確認されたい方は、お問い合わせください。