

# 見えない性質が見える — 偏光計測技術 —

物質の内部情報や表面の性状を知ることのできる偏光計測は、樹脂、ガラス製品、半導体の内部欠損や表面に作られた凹凸の欠陥を簡易に見つけることができるため様々な分野で活用されています。

## 見えない性質が見える

ディスプレイ、記憶デバイスやデジタルカメラなどの電子光学機器の高性能化にともない、これらに使用されているガラス板やプリズム、反射防止膜、導光板やレンズなどの光学素子の高品質化が求められています。これらの特性の評価に役立つ、“偏光”という特殊な光を用いた計測について紹介します。

偏光とは文字通り、偏りをもつ光です。一見、普通の光と同じに見えますが、偏光はある方向の振動を通さない偏光子（透過する光の振動方向を揃える）と呼ばれる偏光素子を回転させながら見てみると、角度によって明るくなったり暗くなったりします。金属面や水面からの反射光は最も身近な偏光で、これらのぎらつきを抑えるサングラスには、偏光子を用いた製品もあります。

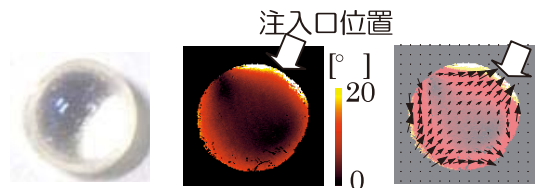
図1は透明な樹脂製品を二枚の偏光子の間に挟んだ写真です。このように偏光を通して物質を見ると、普通の光では見えなかったものを見ることができます。



図1 偏光を通して見た透明なスプーン

## 偏光計測の活用例

樹脂製レンズの偏光計測を応用例として紹介します。プラスチック製品は射出成型による大量生産が容易ですが、成形時の樹脂の流れ込みや冷却条件などにより内部に応力が残ります。この応力に起因する複屈折（屈折率が方向によって異なる）によってレンズの収差が発生してしまうという問題があるため、これを検査する必要があります。実際に複屈折の計測を行った結果を図2に



樹脂製レンズ 複屈折位相差の分布 主軸方位の分布

## 図2 樹脂製レンズの偏光計測結果

複屈折位相差は応力の大きさ、主軸方位は樹脂の流れ込み方向や応力方向の情報を示します

示します。計測で得られた複屈折位相差、主軸方位を表示したものです。樹脂の流れ込む注入口付近で複屈折位相差が大きくなり、主軸方位が一様な方向を示していることが確認できます。このようなことがなぜ生じるのか、またこの結果からどのようなことがわかるのかを次に述べます。

## 偏光計測の原理

自然界には空気、水やガラスなど等方的な性質をもつもの以外に、結晶や高分子など異方性（方向によって性質が異なる）をもつ物質が数多く存在しています。また、等方性（どの方向でも性質が同じ）の物質も力を加えたり、波長程度の微小な凹凸の配列から異方性が生じます。このような異方性がある物質に光を当てると透過または反射した後の光の振動状態（偏光状態）が変化します。偏光とは電磁場の振動方向が偏り

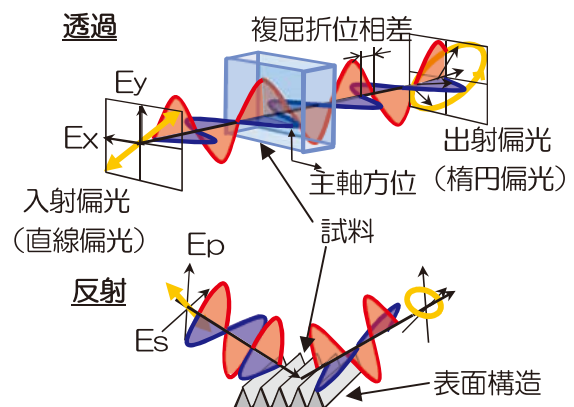
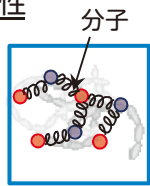


図3 透過および反射による偏光状態の変化

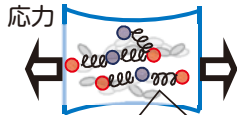
光が異方性物質を透過したり、物質の表面で反射したりすると偏光状態が変化します

### 等方性



分子の分極方向がランダムな場合は位相の遅れが均一となるため、出射光の偏光状態は変化しない

### 異方性



振動する電場（光）が、その垂直方向に比べて伝播が遅れるため、出射光の偏光状態が変わる

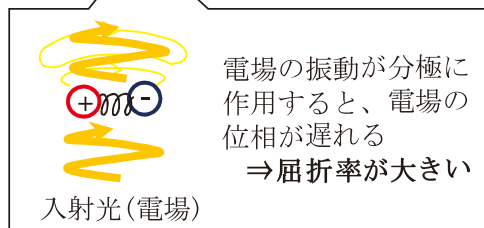


図4 複屈折の説明

配向方向とその垂直方向の電場の位相の差を複屈折位相差、位相が遅れる方向（場合によってはその垂直方向）を主軸方位と呼びます

をもつ光の状態を指します。偏光状態は光の伝播方向に垂直な面内で振動する水平、垂直方向の電場の振幅比や位相差によって決まり、二つの電場の合成ベクトルの軌跡の形状から直線偏光、楕円偏光や円偏光と区別されます。

物質の特性によって偏光状態は様々に変化しますが、この中で複屈折の解説を図4に示します。上段のように物質中の分子の向きがランダムな状態では光の進みややすさに方向性はありません。しかし、下段のように物質に力を加えたり分子が一方向に並ぶと、ある方向に振動する光は他の方向に振動する光に比べて伝播が遅れ、その結果、偏光状態が変化することになります。偏光状態の変化からは、「どの方向」に振動する光が「どれだけ」遅れたかがわかります。これらは前節で述べた主軸方位と複屈折位相差に対応します。光の伝播方向の単位長さあたりの複屈折位相差は屈折率の差として得られ、分子の配向率や残留応力の指標となり、樹脂やガラス製品の品質化のための評価に役立てられます。

### 偏光計測装置の構成

偏光計測を行うための装置は図5に示すよう

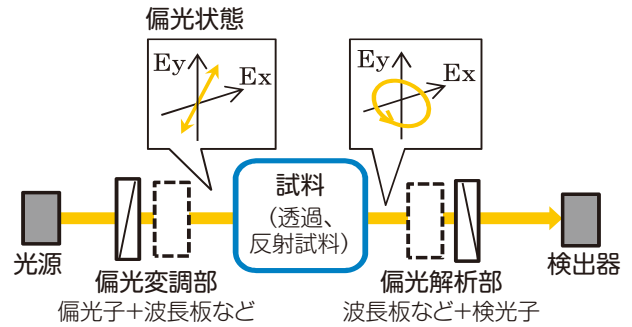


図5 偏光計測装置の構成

に光源、偏光変調部、試料部、偏光解析部と光強度検出器で構成されています。偏光変調部と偏光解析部には目的に応じた偏光子、波長板やその他の偏光素子を用います。また、光源は単色光に限らず、白色光源の使用も可能です。この場合は検出器に分光器を用います。さらに、光源にレンズ系を組み込み、カメラを検出器とすると図2に挙げたような偏光特性の空間分布を得ることができます。測定方法としては、まず偏光変調部で既知の入射偏光状態を作り、その光を試料に透過または反射させ、その後偏光解析部を通り、光強度として検出します。この光強度を解析することで複屈折位相差や主軸方位などの試料の偏光特性を求めることができます。

### おわりに

ここでは透過による測定例を挙げましたが、反射光の偏光状態から加工面の性状や反射防止膜のような表面構造の評価にも有用な手法です。直接形状を可視化することはできませんが、走査型電子顕微鏡や原子間力顕微鏡などに比べて安価なシステム構成で表面構造の評価が可能です。今後は、光学モデルの構築と電磁場のシミュレーションを併せた計測技術の開発が望まれます。

#### 参考文献

- 1) 藤原裕之：分光エリプソメトリー、丸善株式会社（2007）
- 2) 精密工学会誌、Vol. 74、No. 8（2008）特集記事

研究開発部 第一部 光音グループ <西が丘本部>

海老澤瑞枝 TEL 03-3909-2151 内線461

E-mail : ebisawa.mizue@iri-tokyo.jp