

偏光カメラを用いた 2 次元複屈折計測

Two-dimensional distribution measurement of birefringence using polarization camera

宇都宮大学, °柴田 秀平, 大沼 隼志, 大谷 幸利

Utsunomiya Univ., °Shuhei Shibata, Takashi Onuma, Yukitoshi Otani

E-mail: shibata_s@opt.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

近年, 動的なストークス偏光計や複屈折計測が注目されている¹⁾. 我々は動的な現象に対応できるように画素ごとに方位が異なる偏光板が組み込まれた偏光カメラを用いてリアルタイム複屈折マッピングを可能にしてきた^{2,3)}. しかし, 回転検光子法と同様に複屈折位相差のダイナミックレンジが狭く, ストークス・パラメータの左右変偏光成分 s_3 を計測できない問題があった.

現在まで回転位相子と偏光カメラからなるフルストークス・カメラを用いてすべてのストークス・パラメータを動的に測定し, 複屈折位相差のダイナミックレンジを拡張した動的な複屈折測定を可能にした³⁾. 今回, 位相子のキャリブレーションを行い高精度化に取り組み, 偏光カメラの分光特性を測定し分光複屈折測定を可能にしたので報告する.

2. 複屈折測定の原理

図 1 にフルストークス・カメラによる複屈折測定の光学系を示す. フルストークス・カメラは回転位相子と画素ごとに方位が異なる偏光板が組み込まれた偏光カメラからなる. この偏光アレイの方位 φ は 0° , 45° , 90° , 135° である. 回転位相子の方位 ξ が 0° と 90° もしくは 45° , 135° のとき検出し, 回転位相子に入射するストークス・パラメータを測定する.

$$S_{in} = \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{I_0 - I_2}{I_0 + I_2} \\ \frac{I_1 - I_3 + I_9 - I_{11}}{2(I_0 + I_2)\cos\delta_2} \\ \frac{I_1 - I_3 - I_9 + I_{11}}{2(I_0 + I_2)\sin\delta_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{I_4 - I_6 + I_{12} - I_{14}}{2(I_5 + I_7)\cos\delta_2} \\ \frac{I_5 - I_7}{I_5 + I_7} \\ \frac{I_4 + I_6 + I_{12} - I_{14}}{2(I_5 + I_7)\sin\delta_2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで, $I_0 \sim I_{15}$ は位相子の方位を 45° ずつ回転させ偏光アレイの各方位の光強度である.

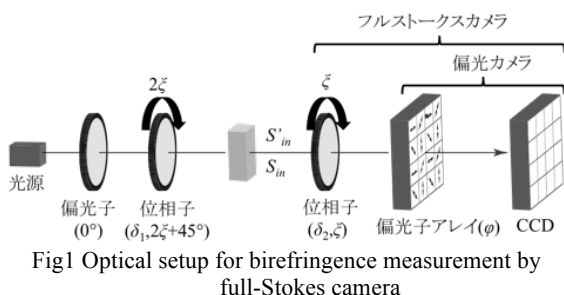


Fig1 Optical setup for birefringence measurement by full-Stokes camera

このフルストークス・カメラを用いて複屈折測定を行う. サンプル前後の位相子を 2:1 の回転速度で回転させ, ξ が 45° ずつ回転させ 4 ショットで測定する. 測定前にサンプルなしの状態での測定することでサンプル前後の位相子の複屈折位相差が測定でき, キャリブレーションが可能になる. これにより位相子の波長分散がキャリブレーションでき分光計測に応用できる.

ーションが可能になる. これにより位相子の波長分散がキャリブレーションでき分光計測に応用できる.

$$\Delta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(s_1 - s'_1)^2 + (s_2 - s'_2)^2}}{s_3 - s'_3} \quad (2)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{s'_1 - s_1}{s_2 - s'_2} \quad (3)$$

3. 複屈折測定の実験結果

光源は白色光源に 510nm から 10nm 増加させた 5 種類のバンドパスフィルタで分光複屈折計測を可能にしている. 図 2 に動的な複屈折測定の結果を示す. サンプル前後の位相子をモータで回転させることで動的な現象に対応している. 図 2(a) のようにポリエチレンテレフタレート (PET) の U 字型のプラスチックの端を指で左右交互に力を加えているところを測定している. 図 2(b) に複屈折位相差, 図 2(c) に方位を示す. U 字型のフィルムの端を加えることで, フィルムの応力場が見えていくことがわかり, 動的な現象が可能であることがわかった.

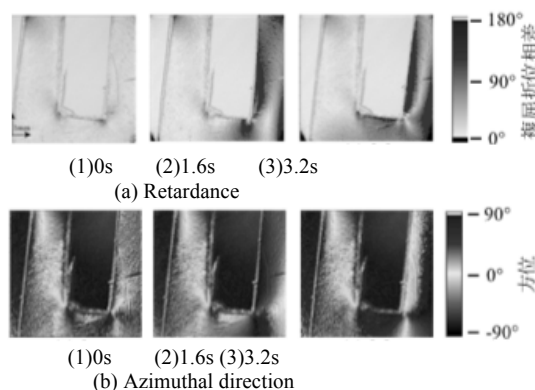


Fig2 Result of real-time birefringence measurement by U-shape film

4. おわりに

フルストークス・カメラを用いて複屈折マッピングを可能にした. この手法により複屈折位相差のダイナミックレンジを従来法に比べ 2 倍に拡張した. また, 位相子のキャリブレーションを可能にしたため高精度化に成功した.

今後はサンプルあり状態で自己キャリブレーションするアルゴリズムを構築していく.

文献

- 1) M. Noguchi, et.al : Proc. SPIE, 1720(1992) 367-368.
- 2) 大沼隼志, ほか: 精密工学会誌, 78(2012) 1082-1086.
- 3) 柴田秀平, ほか: 第 51 回光波センシング技術研究会講演論文集, (2013)63-68