

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 大沼 隼志

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

本論文は、偏光高速度イメージセンサを用いた複屈折計測法についての研究を行ったものである。現在まで多くの高速度カメラ撮影手法が提案されているが、偏光を用いた手法がほとんど見当たらない。一方、偏光計測のなかで複屈折計測は、高速計測手法の開発が未解決である。こうした背景を踏まえ、本研究の目的は、高速複屈折計測法の確立とその応用としての材料開発への適用である。はじめに、偏光高速イメージセンサを開発し、1秒あたり130万枚の偏光撮影速度を実現した。さらに、位相シフト計算処理を組み合わせることで複屈折計測装置化し、精度検定および積算平均による精度向上を図った。つぎに、2波長計測法を提案し、複屈折位相差の計測レンジを従来の $\pi/2$ から $3\pi$ ラジアンに高めた。さらに、完成した計測装置を材料開発のための高速複屈折現象へと応用した。はじめに、1690m/sの高速複屈折伝搬を計測し、つぎに、外部同期ライン計測による複屈折マッピング法を開発した。さらに、変形と位置を同時計測することで、サンプルの位置が移動かつ変形する物体の複屈折計測を可能とした。

本論文は6章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景と目的について述べている。はじめに、高速度カメラの高速度化の変遷を辿ることで、高速撮影性能の推移を検討した。また、高速度カメラと同時に開発された撮影技法について、現在までに提案されている手法を検討し、未開拓な分野が偏光計測であることを明らかにした。また、偏光計測について、現在までに提案されている手法挙げ、現状課題を明らかにした。それらの踏まえ本論文の研究目的を述べ、目的達成のための課題を示した。

第2章では、本論文のキーデバイスである偏光高速度イメージセンサを提案した。この基本原理は、マイクロ偏光素子アレイと高速度イメージセンサの並列読み出し画素を直結し、高速化を実現するものである。マイクロ偏光素子アレイにはフォトニック結晶を用いて、高速イメージセンサのガラスやマイクロレンズ除去した上に専用プロセスで2つの素子を貼り合わせた。従来比6,500倍となる1秒間に130万枚の画像を捉えることが可能な偏光高速度カメラを実現した。ここでは依頼製造した偏光高速度イメージセンサの性能を調べるとともに、センサに必要な光量を実験的に計測することで基本性能を確認した。

第3章では、偏光と複屈折と複屈折計測の原理を示した。高速複屈折計測を装置化するための基本原理は、円偏光をサンプルに入射し、透過光を偏光高速度カメラで検出し、得られた隣接4画素ごとの光強度を用いて位相シフト計算することで、サンプルの複屈折位相差、および主軸方位を得るものである。精度向上のために時間的かつ空間的な積算平均手法を提案し、実験的に

計測精度を確認した。得られた複屈折位相差は、測定波長の1/1080、主軸方位は、 $0.29^\circ$  の計測精度が得られた。また、計算方法の改良によって空間情報量を2倍にし、空間精度向上も実現した。

第4章では、異なる2波長から得た複屈折位相差を用い、従来の位相差計測レンジである  $\pi/2$  からの拡大、つまり、高次位相差計測を試みた。コーシーの波長分散式から予め次数のしきい値を求め、520nmと540nmの2波長それぞれから得られた位相差の差分理論値からルックアップテーブルを持って高次位相差計測を求める手法を提案した。さらに、2波長計測に必要な波長変調LED照明装置の開発し、バビネソレイユ補償器により  $3\pi$  までの高次複屈折位相差の計測が可能であることを示した。

第5章では、前章までで確立した複屈折計測装置を 応用計測として材料開発への適用を図った。まず、衝撃時の材料内複屈折分布の可視化と1690m/sの高速複屈折伝搬の計測を試みた。伝搬速度の理論値を材料の物性値から求め、実験値的に得られた伝搬速度と比較検討することで、高速計測においても本手法が適用可能であることを示した。つぎに、広範囲の高速複屈折マッピング計測法として、偏光高速度イメージセンサをラインセンサとしての計測手法を提案した。ここでは、外部同期撮影によって2mの透明フィルムの複屈折位相差を隙間なく連続的にマッピングを可能とした。最後に、フィルムを延伸し、移動と変形を同時に与えたとき複屈折として捉えた。ここでは、サンプルに予め塗布した格子座標と延伸装置を用いて実際に計測した。延伸による計測点の移動は格子座標のトラッキングにより、変形状態は面積変化より厚み情報を求めた上で複屈折へと換算することで、材料評価が可能であることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望や課題をまとめた。