

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 柴田 秀平

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

偏光状態の表記法としてストークス・パラメータがある。近年の偏光計測の高度化の要求に伴い、高分解能化、高精度化、高速化、二次元分布、および波長特性といった情報を計測することが求められている。本論文は、点計測、イメージング計測、リアルタイム計測の点から、このストークス・パラメータの新規解析法を開発する目的で、アライメントや環境要因により発生する誤差のキャリブレーション法も新たに提案している。さらに、これらのストークス・イメージング偏光技術の応用として、微分干渉顕微鏡によって実際にバイオサンプルの生きたままでの内部構造の計測や非接触三次元形状計測が可能となった。

本論文は7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章は、序論であり、本論文の研究目的を1kHzの計測速度、0.1%の計測精度、レイリーの分解能までの空間分解能、350nm~1000nmの分光計測、および二次元偏光分布計測とした上で、この目的達成のために本論文の各章の関連を明らかにした。

第2章の「高精度ポイント計測」として偏光および複屈折の基礎について述べた上で、位相子と検光子を異なった周波数で回転させる二重回転ストークス・パラメータ偏光計を提案している。ここで特に、位相子の直線二色性および複屈折位相差のキャリブレーションが重要であることを明らかにした。実際に、熱損傷したポリマー偏光子を回転位相子として、損傷によって位相子に発生した複屈折位相差と直線二色性を自己キャリブレーションすることで、高精度な計測が可能となることを示した。

第3章では、リアルタイム計測に向けて「光線分離型によるストークス・パラメータ計測法」を提案している。未知の偏光状態である測定光を偏光保存ビームスプリッタで3つの光路に分け、各々の光線を偏光ビームスプリッタでp、s偏光に分け光強度を検出することで、リアルタイムでストークス・パラメータが解析できる。構成する光学素子が少ないため多くのキャリブレーションが必要であるが、一度キャリブレーションができると非常に測定が簡易で小型な偏光計となる。実際に、ストークス・パラメータの精度検証およびインパクトハンマーによる複屈折変化をリアルタイム計測が可能とした。

第4章では、「高速・高精度イメージング部分偏光計」について述べている。ナノ周期構造で作成された方位が異なるピクセル偏光子アレイをCMOSセンサーの画素ごとに

取り付けた偏光カメラを用いて動的な二次元分布計測を試みている。しかしながら、この偏光子アレイの偏光板の消光比(直線二色性)の劣化を各画素の消光比からキャリブレーションするアルゴリズムを提案し、実際に部分ストークス・パラメータと複屈折計測が可能なことを示した。

第5章では、「回転位相子と偏光子アレイ型偏光カメラによる動的なフル・ストークス・パラメータ測定法」を提案している。ここではキャリブレーション法として、回転位相子の特定の方位  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  のサンプリングによって位相子の複屈折位相差を自己キャリブレーション可能とした。これによって様々な波長での動的な複屈折イメージング偏光計へと発展させた。

第6章は、「偏光カメラを用いた動的ストークス・イメージングの応用」として、微分干渉顕微鏡とフォーカス法を用いた同軸非接触三次元形状計測に発展させた。従来の微分干渉顕微鏡は微分画像から得られるエッジ強調しかできなかった。そこで、提案したストークス偏光計をこの干渉計に導入し、リアルタイムで微分位相画像から位相のリアルタイム計測を可能にさせた。この応用としてメダカの卵内の血流の赤血球の流れや心臓の鼓動の可視化を達成した。また、偏光カメラを用いたストークス偏光計を非接触三次元形状計測に導入した。これは投影格子パターンのコントラストを計測することで三次元形状計測を求める手法である。ここでの格子パターンは、空間光変調器 SLM を用いて、直線偏光を空間的に回転させた直線偏光パターンを投影させ偏光カメラで検出できるようにした。このコントラストを得るために、偏光カメラによってリアルタイムで解析した。実際の三次元座標への変換は、あらかじめ高さに応じたコントラストのリファレンスを得ることで、リアルタイム同軸三次元形状計測が可能となった。

第7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。