

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏 名 前田 勇樹

(1,500字程度とし、1行43文字で記入)

本論文の題目は、「偏光パターン投影による瞬間三次元形状計測」である。現在まで、急な段差や深穴形状をもつサンプルはオクルージョンの問題により光学的手法でのインライン計測が困難であるという問題がある。本研究は、格子パターン投影によるフォーカス法による3次元形状を瞬間で計測することを目的としている。空間光変調器と四分の一波長板を用いて空間的に偏光を制御することで空間的に直線偏光の方位が回転する直線偏光パターンを測定物に投影させ、反射光を偏光カメラでコントラスト情報を検出することで同軸のスナップショット三次元計測が可能となる。偏光カメラは、主軸方位が 0° 、 45° 、 90° 、 135° がアレイ状に配置されたピクセル偏光子アレイとイメージセンサーで構成されるイメージングシステムである。ここで投影される直線偏光パターンの特徴として、人間の目および一般的なカメラではパターンを観察することは不可能であるが、偏光カメラでは位相が 90° シフトした4種類の格子パターンを同時に撮影することができる。したがって、4種類の格子パターンをスナップショットで瞬時に計測することでコントラストを求め、このコントラスト変化から高さを算出することでリアルタイム三次元計測を提案している。

本論文は6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は、「緒論」として、研究背景および従来の三次元計測の特徴について説明し、本研究目的について述べている。第2章の「偏光パターン投影による形状計測の原理」では、空間位相変調器と位相差板による偏光による格子パターンの作成法、検出系の偏光カメラ、フルストークスカメラ、カラー偏光カメラを用いた3つの計測システムおよびコントラスト情報から高さ情報の算出といった測定原理が詳細にて述べられている。第3章では、「直線偏光度による形状計測」として、モノクロの偏光カメラを使った計測システムの測定装置の構成およびスナップショットでの瞬間計測の結果を示し、リアルタイム測定例が示されている。第4章は、「偏光度による形状計測」として、2台の偏光カメラと四分の一波長板で構成されるフルストークスカメラを導入することで、照明系と測定中の測定物の間で発生した直線偏光パターンの位相変化を補正することでコントラストと直線偏光度の関係から高さ情報が取得できることを明らかにした。この計測システムでは、アクリルシャーレの測定物や保護フィルムが貼られた測定物のリアルタイム三次元計測の結果が示されている。第5章では、「軸上

色収差を用いた形状計測」として、測定ダイナミックレンジを拡大するために、カラー偏光カメラを用いて、直線偏光パターンの投影系に軸上色収差が大きいレンズ系を新たに設計することで2色のコントラスト分布のピーク位置が異なることを可能とした計測システムを提案している。このシステムにより、コントラスト分布のピーク位置を変化させることができダイナミックレンジを約2倍に拡大することができた。最後の第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ている。

本研究で得られた主な成果は以下のように要約される。

- 1) 偏光カメラを用いた偏光パターン投影法によりスナップショットで3次元形状を瞬時に計測することを可能としたこと
- 2) フルストークスカメラを導入することで、照明系と測定中の測定物の間で発生した直線偏光パターンの位相変化を補正することでコントラストと直線偏光度の関係からアクリルシャーレの測定物や保護フィルムが貼られた測定物の3次元形状情報を取得することを可能としたこと
- 3) カラー偏光カメラおよび直線偏光パターンの投影系に新たに設計した軸上色収差が大きいレンズ系を導入することでコントラスト分布のピーク位置を変化させることができ測定レンジの拡大を可能としたこと

本論文については、2021年8月18日午後17時00分からZOOMオンラインにて審査委員および関連分野の研究者が26名出席して公聴会が開催された。論文発表の後、質疑応答が交わされたが、特に問題はないことが確認された。公聴会終了後ただちに学位審査委員会を開催し、本論文の内容について詳細に検討した。その結果、工業分野における新しい3次元形状計測法において重要な課題である同軸計測法に関して、新規の偏光パターン投影法によるスナップショット計測を提案し、実際に実験においてもその有効性検証している点で光工学分野に大きな貢献を期待できると共に、研究内容の学術的水準と独創性において優れていると判断した。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。