

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 前田 勇樹

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

光による3次元計測法は、非接触、非破壊であるため、工業検査や医療検査やロボットビジョンなど幅広い分野で利用されている。古くから提案されている光による3次元形状計測法として、ステレオ法とここから派生した光切断法、モアレ法や格子パターン投影法などが挙げることができる。これらの手法は、投影系軸と撮影系軸が異なるため、オクリュージョンの問題により急な段差や深穴といったものは計測が困難であった。これらの問題を解決させるためには、投影系と撮影系の同軸の計測法が有効である。一方、フォーカス法は、投影されたランダムパターンまたは規則的なパターンのコントラストから3次元座標を求めるものである。予め高さとの関係の関係を測定することによって、試料の3次元情報を求めることができる。Wilsonらは、顕微鏡下で投影パターンのコントラストが共焦点効果を示すことを報告した。武田はフーリエ解析を用いて焦点のコントラスト依存性を使用することを提案し、石原らや吉澤らは格子パターン投影法によるフォーカス法を提案している。格子パターン投影法は位相シフト法でコントラストを求めるので、スナップショット計測ができないという課題がある。一方、カラーカメラにおける赤緑青カラーフィルターにより縞パターンの位相変化を使ったスナップショットの計測手法が提案されているが、空間的に変化する色のサンプルは、測定値にアーティファクトを引き起こすという課題がある。これらの課題を解決するために、本論文では偏光パターン照明と偏光カメラを用いた3次元計測システムを提案した。

偏光カメラは、偏光子の透過軸 0° 、 45° 、 90° 、 135° がアレイ状に配置された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。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検出することで同軸のリアルタイム3次元計測を可能にした。

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同時に計測できるため、リアルタイムにコントラストを計測することが可能であり、コントラスト傾斜による手法を用いてコントラストから高さを算出することでリアルタイ

ム三次元計測を実現した。

測定物を誤って汚染したり、傷つけたりすることなく計測するためには、測定物が保護された状態で計測されることが望まれている。例えば、アクリルシャーレに入れた測定物や保護フィルムが貼られた測定物である。これらの測定物の三次元計測を実現するために、偏光カメラの代わりに2台の偏光カメラとQWPで構成されるフルストークスカメラを使った計測システムを提案した。このシステムは、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ができ、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ができる。

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配置し、2色のコントラスト分布（例えば、赤と青）のピーク位置が異なることを利用した計測システムを提案した。このシステムにより、コントラスト分布のピーク位置より高さが高い側または低い側の領域のコントラストが判別することが可能になり、ダイナミックレンジを約2倍に拡大することができた。

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「緒論」では、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「偏光パターン投影による形状計測の原理」では、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つの計測システムの測定原理について詳細に説明する。

第3章「直線偏光度による形状計測」では、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リアルタイム計測の結果を示し、リアルタイム測定が可能なことを示す。

第4章「偏光度による形状計測」では、フルストークスカメラを使った計測システムの測定装置の構成およびアクリルシャーレ内のリアルタイム計測の結果を示し、直線偏光パターンの位相変化を補償できることを示す。

第5章「軸上色収差を用いた形状計測」では、カラー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リアルタイム計測の結果を示し、ダイナミックレンジが拡大できることを示す。

第6章「結論」では、本研究の結論および今後の展望をまとめた。