

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 富永 修一

本研究は3次元物体の表面を平面に変換する結像光学系を扱う。通常の結像光学系は平面を平面に対応づける。たとえばCCDやC-MOSイメージセンサーなどの撮像素子によって被写体像を取得する場合、一般的なレンズによる撮像においては平面である撮像素子に対応する合焦面は平面形状である。同様にプロジェクターなどの投影光学系においても、液晶パネルやデジタルマイクロミラーデバイスなどの平面形状を有する空間光変調素子による映像が平面上に鮮明に投影される。3次元形状を有する対象の撮影もしくは投影においては、レンズの開口を狭めて鮮明度を落としながらも被写界深度を確保するか、合焦面を走査する焦点スイープが必要となり、鮮明な映像を瞬時に得ることは困難であった。

本研究では、対象物体と撮像素子もしくは空間光変調素子の間に一次結像面を設け、その結像面に球面や円筒面形状のミラーを配置することにより、3次元物体の表面を平面に変換する光学系を提案する。提案光学系の有効性について、まず球面を平面に変換する光学系で実証する。次に、対象物体がレンズの光軸に対して傾いた円筒面を有する場合の光学系を明らかにする。さらに、一次結像面に可変面鏡を設ける場合の補償光学系の有効性について議論する。

第1章では、本研究の背景と位置づけが記され、研究目的が述べられる。

第2章では、結像光学系の性能を定量化する各種指標について記述されたのち、2点間の結像関係を3点間の結像関係に拡張する際の課題が述べられる。3点間の結像の場合には、像の結像関係のみならず瞳の結像関係について考慮しなければ光学系全体が大きくなる問題があり、この問題に対するテレセントリック光学系の利点が記される。

第3章では、結像面での像補正が議論される。まず、幾何光学における結像の原理と収差が記され、被写体もしくは投影面が3次元形状を有する場合に生じる課題が光学シミュレーションの結果を用いて具体的に記される。収差に関しては特にザイデルの5収差の性質について、瞳と画角に関連することが記される。特に像質劣化は主に光学系自体の持つ収差および外的要因による波面の乱れが影響を与えるため、それらの改善方法として補償光学系が提案される。補償光学系を用いて、地上に設置された天体観測用望遠鏡においては、望遠鏡近傍での大気擾乱を瞳面に設置された可変面鏡で補正するのに対して、本論文で提案される像面形状の補正光学系は対象物体の共役面に補正面を配置することにより、瞳面では補正出来ない像面湾曲を制御する特徴を有することが示される。

第4章では、物体共役面に3次元形状を有する非平面ミラーを設置することによる像面補正の原理が記述される。提案光学系による像面補正の特長は像面湾曲の制御であり、撮影レンズもしくは投影レンズに対して光軸方向の像面位置をコントロールすることが可能となる。光軸に対して

非対称となる円筒面を対象とする場合においても、通常の軸対象光学系を使用して補正することが可能となる。提案手法の有効性が光学系シミュレーションと実際の光学実験により示される。

第5章では、被写体もしくは投影面が光軸に対して傾きを持つような条件に対して、物体共役面に設置された非平面ミラーに傾きを持たせることで共役面を変化させる光学設計が提案される。シャインプールの原理により光軸に対して傾きを有する共役結像面に非平面ミラーを配置する。対象の傾きに対する非平面ミラーの設置法が議論される。

第6章では、物体共役面に非平面ミラーを配置する光学系とレンズ瞳の共役面に可変形鏡を配置する光学系の違いについて光学実験による比較が示される。物体共役面における補正により、局所的な像歪みに対しての有効性が示される。さらに、提案光学系の有効な用途として、地上望遠鏡に対する応用可能性が議論される。湾岸で海上を監視するような地上望遠鏡においては、大気揺らぎなどの外乱による像質劣化が生じる。特に大気揺らぎは地上付近に存在するため、天体観測用の望遠鏡においては揺らぎが瞳面近傍にのみ存在するのに対して、地上望遠鏡では被写体近傍にも揺らぎが存在する。地表付近の大気揺らぎのサイズは被写体近傍と瞳近傍で差はなく、望遠鏡開口付近の揺らぎは瞳径全体に対して影響を与える一方で、被写体近傍の揺らぎは画角ごとに揺らぎが影響を与えて像の局所歪みとしての影響を及ぼす。この局所歪みに対して、物体共役面に可変面鏡を設置する手法の有効性が示される。

第7章では、本論文の結論が記された後、物体共役面と瞳共役面の補償の組み合わせによる像質改善についての将来展望が述べられる。