

審査の結果の要旨

氏 名 王 立 輝

本論文は、Variable Focus Lens with a Large Aperture and its Applications (大口径可変焦点レンズとその応用)と題し、7章により構成されている。近年、可変焦点レンズに関する技術が急速に発展し、特に液体を用いたものは比較的単純な構造で高い解像力を実現できるため注目を集めている。しかし、従来提案されている液体レンズの多くは実現できる口径サイズが数mm以下に制約されており、カメラレンズや眼鏡等、大きな口径を必要とする用途への応用が難しいという問題を抱えていた。この問題は、本質的には重力によってデバイスの点対称性が失われ、光学性能が著しく低下することに起因している。本論文では、この問題を解決する新たな可変焦点レンズのデバイス構造を提案するとともに、実験用デバイスを試作し、評価実験からその有効性を示し、さらにその応用の可能性を数値解析と実験を通して実証している。

第1章は「Introduction」であり、可変焦点レンズ技術の歴史とこれまでの概要について述べるとともに、これまで提案された可変焦点レンズの構成とそれらの得失について概要をまとめている。また、可変焦点レンズの広範な実用化が難しい要因として口径の制約があることを指摘し、その制約の除去を本論文の目的とすることが説明されている。さらに、大口径可変焦点レンズの一つの応用として、特に老眼鏡への応用が有力であることを論じ、最後に本論文の構成を述べている。

第2章は「A Variable Focus Lens with Large Optical Aperture and Liquid-Membrane-Liquid Structure」と題し、特に液体を用いた可変焦点レンズ機構に注目して、混ざらない2種類の液体どうしの接着界面による光の屈折を利用する液液界面方式と、透明な弾性膜の内部に液体を充填しその膜表面での光の屈折を利用する膜液方式とに大別し、それらの原理と大口径化への限界を重力の影響を考慮したスケーリング則に基づいて論じている。この中で、重力の影響とスケールとの関係を記述するパラメータとしてキャピラリー長が重要であることを指摘し、これを用いた議論から液膜液の新たな可変焦点レンズ構造を提案している。この構造は、従来提案されていた膜の内部に液体を封入した膜液構造の膜の外側にさらに液体を充填する構造であり、これにより設計の自由度が低い界面張力ではなく、設計による値の調節が容易な膜の張力によって重力の影響を低減することができ、劇的に光学性能が向上した大口径可変焦点レンズが実現できることを理論的に示している。さらに、膜変形の理論的な解析と計算機シミュレーションから膜応力を具体的に求め、その結果から数10mm程度の大きな直径であっても高い光学性能を実現できることを示している。さらに、実際に口径30mmの可変焦点レンズを試作し、標準チャートを用いた解像力計測から実際に高い解像力を実現しながら、焦点距離が変調可能であることを確認している。

第3章は「A Solution of Pre-tension Membrane for Improving the Usability of Liquid-

Membrane-Liquid Lens in its Weak Power Area」と題し、第2章で提案した構造がもつ欠点を解決する構造を提案している。第2章で提案した構造は膜が平面になる付近で応力が0になってしまうため、その近辺では重力の影響が大きくでてしまい、光学性能が悪くなるという問題があることを説明し、その問題を解決する新たな構造として、膜に予め張力を印可する新たな構造を提案している。この構造に対して、有限要素法を用いて膜が平面に近い場合の膜形状を推定し、その形状から波面収差を計算することで、提案構造がより高い光学性能を実現できることを示している。さらに膜に当方的に張力を印可するあらたな構造を提案・開発し、画像の計測と波面収差の計測結果から、膜が平坦な状態で105.1nmのRMS波面収差を実現できることを示している。

第4章は「Adaptive Achromatic Doublet Design by Double Variable-Focus Lens」と題し、提案する可変焦点レンズを利用したアクロマートダブルレットとしての応用を提案している。利用する液体を適切に選択した2つの可変焦点レンズを直列に配置し、それぞれの焦点距離を独立に調節することで、系全体の焦点距離と色収差の補正が同時に実現できることを数値計算より示している。

第5章は「A pair of Diopter Adjustable Eyeglasses for Presbyopia Patient Vision Correction」と題して、大口径可変焦点レンズの老眼鏡への応用を論じている。老眼を医学的見地から概観し、これまでの治療法とその欠点について述べるとともに、老眼に応用する可変焦点レンズの設計について論じている。特に提案した可変焦点レンズを老眼鏡に応用する際のインターフェイスを設計・実装するとともに、カメラを擬似眼として用いることで焦点調節機能の実現可能性を示している。

第6章では本論文の結果がまとめられており、第7章では今後の展望について論じられている。

以上要するに、本論文は従来の変焦点レンズの欠点であった開口が小さいという制約を解決し、従来研究より一桁大きな開口を実現しながらも高い光学性能を両立する独創的な可変焦点レンズの構造を複数提案し、それらの有効性を実験的に示したものである。特に、界面張力ではなく、膜の張力を利用することで重力を低減する構成をとることで、設計による値の調節が容易な膜の張力によって重力の影響を低減することができ、従来の変焦点レンズに比べ劇的に光学性能が向上した大口径可変焦点レンズを実現できることを示したものである。この成果は、これまで大口径にすると光学性能が著しく悪くなることは避けられないという可変焦点レンズ分野の常識を打ち破るものであり、これまでその小さな口径のために適用が難しいと思われていた、眼鏡やカメラレンズ等の幅広い応用分野にも可変焦点レンズが応用できる可能性を示唆するものである。さらに提案している構造では比較的自由に液体を選べることから、動的な焦点距離・色収差補正が可能であることや老眼鏡への応用が原理的に可能であることを示し、機器の小型化や省電力化など光学機器の発展に貢献すると共に、老眼鏡のようにこれまで適切な解決策のなかった分野に新たな解決策の存在を示すものでもあることから、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与するところ大であると認められる。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。