

氏名(本籍)	工藤 順一 (東京都)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4250号		
学位授与年月日	平成19年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Applications of diffractive optical element to infrared imaging systems (回折光学素子の赤外結像システムへの応用に関する研究)		
主査	筑波大学教授	工学博士	谷田貝 豊彦
副査	筑波大学教授	理学博士	青木 貞雄
副査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅英
副査	筑波大学講師	博士(理学)	渡辺 紀生

論文の内容の要旨

本論文は、回折光学素子の赤外結像システムへの応用に関する研究として、従来の屈折レンズに回折光学素子(DOE)を付加したハイブリッドレンズの設計、製作、性能について述べたものである。

赤外線センサの非冷却化や信号処理回路の集積化によって、FLIRシステムやナイトビジョンなどの最近の赤外線撮像装置は小型軽量化が進んでいる。しかしながら、赤外線光学材料の種類が豊富ではないため、取差補正のために多くのレンズ枚数を必要とすることが余儀なくさせられている。ハイブリッドレンズは屈折と回折のパワーを結合し、各レンズへ適切なパワーを割り当てることによって軸上色収差を補正することが可能である。これは、アクロマートレンズをハイブリッドレンズに替えることによってレンズ枚数を削減できることを意味する。

第2章では、ハイブリッドレンズを8~12 μm 帯赤外線領域の撮像装置の光学系に適用する目的から、初めて、8~10 μm 帯のゲルマニウムから作られたハイブリッドレンズを用いたFLIRシステムの開発について述べている。また、従来のアクロマートタイプ(ZnSeタイプ)とハイブリッドレンズで置き換えたDOEタイプを比較した。その結果、DOEタイプを用いた光学系のMTFは従来のZnSeタイプを用いた光学系のMTFとほぼ等しいことが分かった。従って、それにより、ハイブリッドレンズが軸上色収差をZnSeアクロマートと同じくらいよく減少させたことが確認できる。また、ハイブリッドレンズはZnSeアクロマートと同様に画質を損なうことなく色収差を補正できることが示された。DOEはZnSeレンズを減らすことによりコストを30%削減でき、光学系の質量を95g減少させた。

次に、第3章では、DOEを採用した時に問題となるであろうと予想されている画質の低下、特に背景光の増大について評価するために、ベ어링グレアに注目し、そのベ어링グレアを定量的に測定するために、赤外線領域では初めて点光源方式を用いたベ어링グレアの計測装置の開発について述べている。平凸レンズと平行平板を組合わせた単純な2枚構成レンズの本計測装置による点像分布の測定値と、この2枚構成レンズのレンズ表面にて2回の反射を起こして像面に至る光強度分布を計算値として示した。これにより、測定値と計算値は1桁以内で一致することがわかり、本計測装置の有効性を確認できた。

また、第4章では、DOEのアクロマート機能を有するハイブリッドレンズとそれと主な光学変数(焦点

距離：150mm, f ナンバー：1.5, 第1面の曲率：140mm) が同じ屈折レンズを製作し、ベーリンググレア計測装置を用いて、DOE 特有のベーリンググレア値の増加を確認した。その結果は、ハイブリッドレンズのベーリンググレアが1.32%であり、屈折レンズのベーリンググレアが0.75%である。光学変数が同じレンズ同士なので、その増加分はDOEに起因するものである。即ち、回折効率の落ちる最適化されていない回折光によるものだと考えられる。しかしながら、ハイブリッドレンズによる点像の鋭さには著しい悪化は認められなかった。

第5章では、DOEのアクロマート以外の機能の研究として、DOEにアサーマル機能を持たせる研究について述べた。通常、熱収差は機械的にレンズ間隔を調整するか、または異なった材料で作られたレンズを結合することによって修正される。前者は光学系の強度、及び小型化を損ない、後者は補償のためのレンズの材料の選択を制限する。8~12 μm 帯の波長域でアサーマル機能を持つハイブリッドレンズと屈折レンズのダブルレットを設計し、製作した。設計では、わずかな赤外光学材料のため、トリプレット構成になり、熱収差補正条件と色収差補正条件を同時に満たす解を求めた。このトリプレットのうちの一つをDOEにすることにより、ダブルレットを完成させた。ダブルレットの有望な材料は、加工の容易さを考慮して輪帯数が小さくて済むAMTIR-1とGeの組み合わせとした。完成したアサーマルレンズは0 $^{\circ}\text{C}$ から40 $^{\circ}\text{C}$ までの温度変化の下で、焦点ズレを0.01mm以下に抑えることに成功した。

最後に第6章では、本研究のまとめで、ハイブリッドレンズを8~12 μm 帯赤外線領域の撮像装置の光学系に適用することに成功し、赤外光学系で問題となるベーリンググレアの測定装置の開発とこれを用いて試作したハイブリッドレンズ系の評価を行い、実用上十分な性能が得られたことを実証し、さらには、アサーマル回折ダブルレットを完成させ温度変化に強い赤外結像光学系の開発にも成功したことを述べ本論文の結論としている。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、従来あまり設計手法が確立されていなかった、8~12 μm 帯赤外線領域の撮像装置の光学系設計手法に関するもので、色収差補正に回折光学素子と屈折光学素子を組み合わせたハイブリッドレンズの使用を提案した。最適設計を行いハイブリッドレンズを試作したばかりではなく、赤外光学系で問題となるベーリンググレアの測定装置も独自に製作し、試作レンズの評価を行った。さらに、色収差補正以外に赤外結像系で問題となる熱による焦点ずれによる熱収差の補正にも、回折光学素子が有効であることを示し、熱収差補正条件と色収差補正条件を同時に満たす解を求め、トリプレットレンズを試作し評価した。

このように本論文で述べられた技術は、8~12 μm 帯赤外線領域の結像光学装置の設計・評価に新しい実用的な手段を与えるものである。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。