

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学

氏名 森 健太郎

3次元空間に配置された物体を2次元画像に変換する結像光学系は、幾何光学による光線追跡を基本とし、非線形最小二乗法による最適化を用いて設計される。最適化法は設計のスタートデータ近傍にある局所解を得ることであり、各設計者が限られた設計条件の中で最良の解が得られているとの決定を下す必要がある。収差論は、複雑な総合判断によって設計方針を決定する設計者に理論面の拠り所を与える。

近年、イメージング用途の拡大を受けて、回転非対称な反射・屈折面や変曲点を有する非球面の屈折面を有する結像光学系のように、その仕様は多様化・複雑化する。しかし、これらの光学系に対して、従来の回転対称性を前提した収差論は適用できない。そこで、荒木や若園らは、Off-Axial光学系の収差論の構築や発生する収差の性質を解明した。

本論文では、これらの研究を更に発展させ、光学系の光線変換特性と直結する光線基本4元ベクトルの展開係数に着目し、光学系の光線変換特性は光学固有量を表し、収差発生要因を把握しやすい形式にした収差係数計算式を導出する。本論文は10章からなり、各章の内容は以下の通りである。

第1章は、本研究の背景と課題解決のための手段が示される。

第2章は、結像光学系設計で用いる幾何光学の基礎的理論が示される。

第3章は、本論文で構築した収差論の詳細が示される。光線変換特性に基づく収差論の特徴である、光線基本4元ベクトルを用いて定義される光線基本4元収差を導入し、光線通過点4元収差と光線基本4元収差の関係式を明らかにし、光線基本4元収差の物理的意味を解明する。

第4章は、共軸回転対称光学系の3次収差解析式を示す。第3章で求めた光線通過点4元収差と光線基本4元収差の関係式を使って、共軸回転対称光学系の光線通過点4元収差の3次収差展開式と収差係数への変換式を導出し、共軸回転対称光学系の3次光線基本収差係数の線形変換形式を導出する。これは、ザイデル収差係数の発生要因を光線基本収差係数と近軸追跡入射条件に分離できることを示す。

第5章は、Off-Axial光学系の1次収差展開式と収差係数への変換式を導出する。1次光線基本収差係数の線形変換形式を導出し、16種類の1次収差係数が、アジムス依存性に応じて4種のグループに分類されることを明らかにする。

第6章から第8章は、それぞれ、Off-Axial光学系の2次収差解析式、3次収差解析式、色収差解析式を示す。

第9章は、これまでに導出した収差係数計算式と光線基本収差係数の線形変換形式を用いて、共軸回転対称光学系の3次収差係数と1次色収差係数の数値解析例を示し、導出したザイデル収

差係数値が、従来の計算式で算出したザイデル収差係数値と一致することを示す。

第10章は、本論文のまとめと結論を記述する。

本論文については、2022年8月9日、審査委員の出席のもと公聴会が開催された。論文内容の発表後、質疑応答が交わされ、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が開催され、本論文の内容について詳細に検討された。その結果、回転非対称な反射面や屈折面を有する系や変曲点を有する非球面の屈折面を有するなどのOff-Axial光学系における収差係数計算式の導出は、今後の多様化する結像光学系の課題解決を加速し、光学の主要分野の1つであるイメージング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も極め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。