



Title	ラジアル型屈折率分布レンズを用いた結像光学系の開発
Author(s)	槌田, 博文
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43142">https://hdl.handle.net/11094/43142</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	樋田博文
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16437 号
学位授与年月日	平成13年5月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	ラジアル型屈折率分布レンズを用いた結像光学系の開発
論文審査委員	(主査) 教授 高井 義造
	(副査) 教授 金谷 茂則    教授 福住 俊一    教授 宮田 幹二 教授 柳田 祥三    教授 横山 正明    教授 梅野 正隆 助教授 谷田 純

### 論文内容の要旨

本論文は、ラジアル型屈折率分布 (GRIN: Gradient-Index) レンズを用いて、光学性能を維持したままレンズ構成枚数を従来の 1/3 程度に削減することが可能で、シンプルな構成の微小結像光学系の開発に関するものである。本論文では、ラジアル型 GRIN レンズを用いた光学系設計手法を新たに提案し、GRIN 素材特性の測定に必要な測定機を開発するとともに、実現可能なレンズ設計例を示している。また、両面が平面で構成されるラジアル型 GRIN レンズ (ウッドレンズ) 1 枚というシンプルな構成でありながら、従来レンズ 3 枚分と同等の収差補正能力を有する結像光学系の試作開発に成功している。論文の要旨は以下の通りである。

第 1 章では、結像光学系の小型化における課題について説明し、ラジアル型 GRIN レンズについて歴史的経緯と現状を述べるとともに、結像光学系へ適用するためのいくつかの問題点を示している。

第 2 章では、GRIN レンズの基本的性質について、近軸特性や収差特性などの概要をまとめている。また、素材作製のためのガラスの組成設計とゾルゲル法についてまとめている。

第 3 章では、ラジアル型 GRIN 素材を用いた光学系を設計する際の設計手法およびレンズ設計上重要な特性について、特に色収差ならびに像面湾曲の大きさを示すベッツバール和に着目して、体系的に整理するとともに、ラジアル型 GRIN レンズを従来のガラスを選択するのと同様に扱うことのできる準等価ガラスという新しい設計手法を示している。また、ラジアル型 GRIN 素材 ( $\text{SiO}_2\text{-BaO-TiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  系) の 2 次スペクトルを含む分散特性が通常の常分散ガラスと同等であることを理論と実験の両面から確認している。また、ウッドレンズを顕微鏡対物レンズもしくはデジタルカメラレンズに用いる際の収差特性を収差係数展開式を用いて明らかにしている。

第 4 章では、ラジアル型 GRIN 素材の重要な測定項目である屈折率分布プロファイルと媒質の色分散について、必要な精度で測定できる測定法および測定機を開発した結果を示している。

第 5 章では、現実に実現可能な素材特性を持つウッドレンズを用いて、シングルウッド標準レンズ、広角レンズ、ズームレンズ、アクロマートレンズ、セミアポクロマートレンズの設計例を示し、ラジアル型 GRIN 光学系のレンズ枚数削減効果と適用範囲の広さを示している。

第 6 章では、ウッドレンズ 1 枚だけからなる極めてシンプルな構成でありながら、従来レンズ 3 枚分と同等の収差補正能力を有するラジアル型 GRIN レンズ系を試作し、良好な光学性能を確認して、ラジアル型 GRIN 素材を用いた結像光学系の優秀さと実現性を実証している。

第7章では、本研究について総括するとともに、今後の課題と将来の展望を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

結像光学系の小型化は、特に内視鏡などの医療分野では切実な課題となっているが、従来の光学系の延長では限界がある。その限界を超えるためには、光学系をシンプルにするなどの方法により、微小レンズ製作やレンズ偏芯の問題を抜本的に解決する必要がある。ラジアル型 CRIN レンズは、光学性能を維持したまま、従来の結像光学系のレンズ構成枚数が 1/3 程度となるシンプルな結像光学系を実現する可能性を持っているが、これまでその収差補正効果を十分に活かした結像光学系を実現した例はなかった。

本論文では、ラジアル型 GRIN レンズを用いた結像光学系の設計手法を確立することにより、ラジアル型 GRIN 光学系設計の効率を大幅に高めたうえで、数多くのレンズ系設計を通してシンプルでかつ実現可能なラジアル型 CRIN 光学系を見出し、その優秀さを試作により実証したものである。設計手法については、ラジアル型 GRIN レンズを従来のガラスを選択するのと同様に扱うことのできる準等価ガラスという新しい設計手法や設計上重要ないくつかの特性について示している。また、GRIN 素材の光学特性を測る測定機の開発や試作した光学系の評価など、光学系試作による実証に必要な広い範囲の検討結果を示している。設計および試作により示された光学系は、構成がシンプルでレンズ偏芯に強いなど、結像光学系の小型化に有利な多くの特徴を持っているものである。得られた結果を要約すると、以下の通りである。

- (1)ラジアル型 GRIN 素材を用いた光学系を設計する際の設計手法について、特に色収差ならびに像面湾曲の大きさを示すベッツパール和に着目して体系的に整理するとともに、ラジアル型 CRIN レンズを従来のガラスを選択するのと同様に扱うことのできる準等価ガラスという新しい設計手法を示している。
- (2)超色消レンズ（アポクロマート）設計上重要な特性である 2 次スペクトルを含む分散特性について、ラジアル型 GRIN 素材（ $\text{SiO}_2\text{-BaO-TiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  系）の持つ特性が通常の常分散ガラスと同等であることをヘルツベルガー分散式を拡張した理論で示すとともに、実物の色分散測定を行って実験的に確認している。
- (3)ウッドレンズ（両平面ラジアル型 GRIN レンズ）を顕微鏡対物レンズならびにデジタルカメラレンズに用いる際の収差特性を収差係数展開式により明らかにしている。特に、球面収差、コマ収差、非点収差の 3 つの収差を同時に補正することはできないことや、発生する収差は素材の屈折率差  $\Delta n$  に依存しないなどの重要な特性を解明している。
- (4)ラジアル型 GRIN 素材の重要な光学特性である屈折率分布プロファイルと媒質の色分散について、GRIN 素材開発の各段階において必要な精度で測定できる測定法を提案し、実際に測定機を開発して素材開発に役立てている。
- (5)現実に実現可能な素材特性を持つウッドレンズを用いて、シングルウッド標準レンズ、広角レンズ、ズームレンズ、アポクロマートレンズ、セミアポクロマートレンズのレンズ設計例を示し、ラジアル型 GRIN 光学系のレンズ枚数削減効果と適用範囲の広さおよび小型化における優位性を示すとともに、GRIN 素材の共通化について言及している。
- (6)ウッドレンズ 1 枚だけからなる極めてシンプルな構成でありながら、従来レンズ 3 枚分と同等の収差補正能力を有するラジアル型 GRIN レンズ系を試作し、デジタルカメラ用レンズとして良好な光学性能を確認することによって、ラジアル型 GRIN 素材を用いた結像光学系の優秀さと実現性を実証している。

以上のように、本論文はラジアル型 GRIN レンズを用いて、レンズ構成枚数が従来の 1/3 程度となる極めてシンプルな結像光学系の設計および実際の光学系試作について述べたものである。これらの成果は、光学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値があるものと認める。