

最近の技術から

GRIN を用いた撮影レンズの試作

槌田 博文

オリンパス光学工業(株) 諸隈研究室 〒192 八王子市久保山町 2-3

1. はじめに

GRIN レンズとしては日本板硝子と日本電気によるセルフォックが有名であり、技術的にも確立されたものとなっている。ところが、それらの多くは単色光源下での適用を主としたものもしくは微小なアレイレンズであり、白色光源下での結像レンズとして用いられた例は少なかった。GRIN は結像レンズの設計においても均質レンズにはない新たな自由度を与えることになるが、特に光軸から半径方向に屈折率分布を有するラジアル型 GRIN レンズは、光学的能力が高く光学系のレンズ枚数削減や高性能化に有効なものとして期待されている¹⁾。

白色を対象としたラジアル型 GRIN レンズ系の設計例としてはレンズ枚数を従来の 1/3 の 2 枚としたカメラ用撮影レンズ²⁾などが報告されているが、実際のレンズ系試作についてはほとんど例がなかった。オリンパスでは、ゾルゲル法で作製した GRIN 素材を用いてカメラ用撮影レンズの試作に成功^{3,4)}したので、本稿ではその設計および評価を中心に述べる。

2. 撮影レンズの設計

ラジアル型 GRIN の屈折率分布 $N_i(r)$ およびアッベ数 V_{i0} ($i=0, 1, 2, \dots$) は以下の式で与えられる。

$$N_i(r) = N_{00i} + N_{10i}r^2 + N_{20i}r^4 + \dots \quad (1)$$

$$V_{i0} = N_{i0d} / (N_{i0F} - N_{i0C}) \quad (i=1, 2, \dots) \quad (2)$$

$$V_{00} = (N_{00d} - 1) / (N_{00F} - N_{00C}) \quad (3)$$

ここで、 $N_{i0\lambda}$ ($i=0, 1, 2, \dots$) は特定の波長 λ に対する屈折率分布を表す係数、 r は半径方向の距離、 d, C, F はそれぞれ d, C, F ラインを表す。

今回筆者らが作製した GRIN 素材は、ゾルゲル法による $\text{SiO}_2\text{-PbO-K}_2\text{O}$ 系の組成で、以下のような光学的特性と図 1 に示すような屈折率分布をもっている。

$$N_{00d} = 1.65208, \quad N_{10d} = -0.10482 \times 10^{-2}$$

$$N_{20d} = -0.77158 \times 10^{-6}, \quad N_{30d} = -0.88644 \times 10^{-6}$$

$$V_{00} = 33.54, \quad V_{10} = 14.67$$

白色を対象とする撮影レンズの設計では、色収差の扱

いが重要となる。ラジアル型 GRIN レンズの収差補正上の最大の特長はベッツバル和と色収差の補正にあり、実際にはそれら相互の関係を考慮しての設計が必要となる。その際、それらの収差補正能力を等価な能力をもつ仮想ガラスに置き換える準等価ガラスの手法⁵⁾が有用である。結局、ラジアル型 GRIN の効果を最大限に引き出すためには、媒質での色収差発生が少ない低分散分布⁶⁾の素材が必要であることが導かれるが、今回作製した素材は高分散分布⁶⁾となっている。そこで、今回は屈折率分布の高次の効果を利用すべく、図 2 に示されるように 4 枚構成からなるカメラ用撮影レンズの第 4 レンズに用いて設計を行った。その結果、 N_{30} の効果を非点

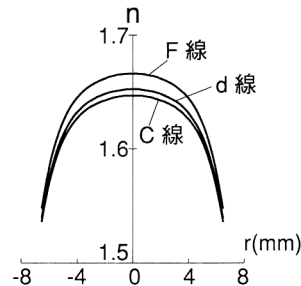


図 1 作製した GRIN 素材の屈折率分布 ($\phi=14$, $\Delta n=0.095$)

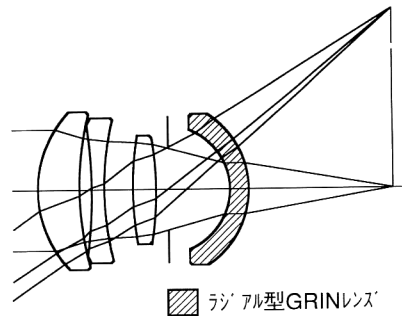


図 2 作製した素材を用いて設計したレンズ系 ($f=27.6$, $F/2.83$, $2\omega=56^\circ$)

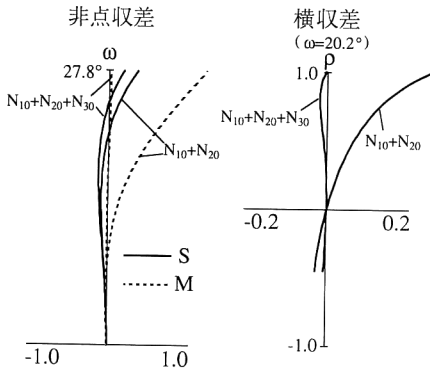


図3 非点収差および横収差に対する N_{30} の寄与

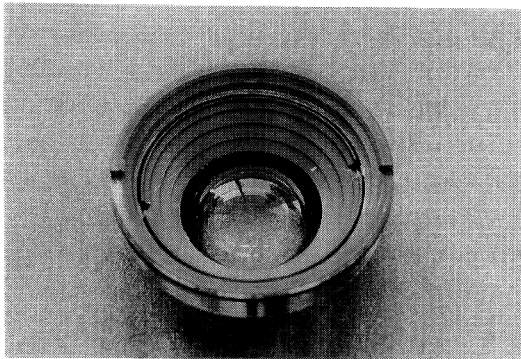


図4 研磨後のGRINレンズの外観(像面側からみたもの)

収差, コマ収差の補正に有効に用いることができた。収差補正上は N_{30} の効果が支配的であり, その非点収差および横収差に対する寄与を図3に示す。設計的な効果は非球面を用いたものと同程度となっている。

3. 試作および評価

作製した素材を所定の曲率に研磨したものを図4に示す。ラジアル型GRINでは屈折率分布自体が独自の光軸をもつので, 面を加工する際はレンズ外形を基準とし, 面の光軸を分布の光軸と一致させるように加工を行った。評価については, 解像力, MTF, フレア率, 実写などの測定を行い, その結果カメラ用撮影レンズとして十分な性能であることを確認することができた。あわ

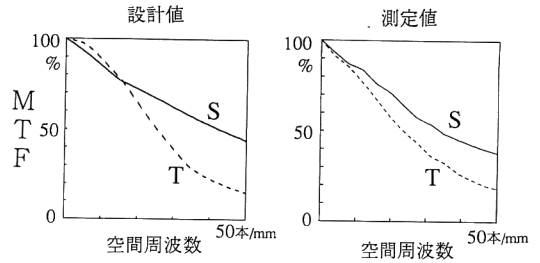


図5 設計MTFと測定MTFの比較(半画角 $\omega = 20.2^\circ$)

せて, ゴルゲル法で作製したGRIN素材が撮影レンズとして有用であることも確認することができた。図5に測定したMTFを設計値と比較して示す。

4. おわりに

今回の試作により, ラジアル型GRINレンズの撮影レンズとしての有用性を示すことができた。ただし, 試作に用いた素材は高分散分布であり, その効果も非球面と同程度となっている。次のステップでは, ラジアル型GRINの効果を最大限に引き出すことのできる低分散分布素材を用いたレンズ系の開発が大きな課題である。GRINレンズは, ゴルゲル法以外にもイオン交換法やプラスチックの共重合などによる研究が続けられており, 白色を対象とした撮影レンズとしても今後大いに期待できるレンズ素子になりつつある。

文 献

- 1) 樋田博文, 山本公明: “不均質媒質を用いた光学系の設計”, 光学, **22** (1993) 95-100.
- 2) L. G. Atkinson, S. N. Houde-Walter, D. T. Moore, D. P. Ryan and J. M. Stagaman: “Design of a gradient-index photographic objective,” Appl. Opt., **21** (1982) 993-998.
- 3) 野田 聡: “GRINレンズ用光学ガラス”, 光学, **24** (1995) 85-86.
- 4) T. Nagaoka, H. Tsuchida and K. Yamamoto: “Design, fabrication and evaluation of a photographic objective that uses a radial GRIN lens,” Opt. Rev., **1** (1994) 262-265.
- 5) 永岡利之, 樋田博文, 山本公明: “準等価ガラスを用いたラジアル型GRINレンズの光学設計法”, 光学, **21** (1992) 795-798.
- 6) H. Tsuchida, T. Nagaoka and K. Yamamoto: “On the design of the optical system using GRIN materials,” Proc. SPIE, **1780** (1992) 456-463.

(1995年7月31日受理)