

(110) 光波工学

数値積分法により計算された屈折率分布型レンズにおける 子午光線の光学距離

Optical path length of a meridional ray

in a GRIN lens calculated by numerical integration method

河野 克之

坂本 豊和†

Katsuyuki Kawano

Toyokazu Sakamoto†

岡山県立大学大学院 情報系工学研究科 †岡山県立大学 情報工学部

1 序論

DVD用ピックアップ対物レンズやコリメータレンズの設計では波面収差を1/100波長オーダーまで小さくする必要がある。波面収差を求めるためには、光学距離を高精度で計算しなければならない。光学距離の求め方には解析的方法と数値的方法がある。前者の場合、一般に摂動法が用いられるが、摂動次数が高くなるほど計算量が爆発的に増加するため、求解は困難となる[1,2]。従って、より高次項を考慮した光学距離を求めるには後者を用いなければならない。

本研究では、屈折率分布型レンズのDVD用ピックアップ対物レンズやコリメータレンズへの応用を目的として、数値積分法[3]により屈折率分布の高次項と光学距離の計算精度の関係を明らかにする。

2 計算方法

計算式として、屈折率分布式(1)、子午光線方程式(2)そしてアイコナル方程式(3)を用いた。

$$n^2(x) = n_0^2 [1 - (gx)^2 + h_4(gx)^4 + h_6(gx)^6 + h_8(gx)^8 + h_{10}(gx)^{10} + \dots] \quad \dots(1)$$

$$\frac{d^2x}{dz^2} = \frac{1}{2n_i^2 \cos^2 \gamma_i} \frac{\partial n^2}{\partial x} \quad \dots(2)$$

$$\frac{dw}{dz} = \frac{n^2}{n_i \cos \gamma_i} \quad \dots(3)$$

n_0 : 中心軸上の屈折率
 g : 集束パラメータ
 x : 中心軸からの半径距離
 z : 屈折率分布型レンズの中心軸
 n_i : 入射面での屈折率

γ_i : 入射角

h_4, h_6, h_8, h_{10} : 4~10次屈折率係数

以下に光学距離 w の正規化計算精度 $g\Delta w/n_0$ を検証するための手順を示す。

- ① 平行入射光線と軸上入射光線それぞれにおいて子午光線がレンズからはみださないか検証するために *Mathematica* で子午光線方程式を求積して光線経路を求める。
- ② 子午光線方程式とアイコナル方程式を連立させる。数値積分法による光学距離と sech 屈折率分布に対する厳密解の差を波長 $0.65\mu\text{m}$ で割った値が 1/100 波長程度になる屈折率分布の次数を求める。ただし、 $n_0=1.6, g=0.4\text{mm}^{-1}$ とした。

3 計算結果

図1に平行入射光線($x_i = 1\text{mm}$)に対する子午光線経路を示す。図2に軸上入射光線($\sin \gamma_i = 0.38$)に対する子午光線経路を示す。横軸はレンズ長を示し、縦軸はレンズの中心軸からの半径距離を示す。

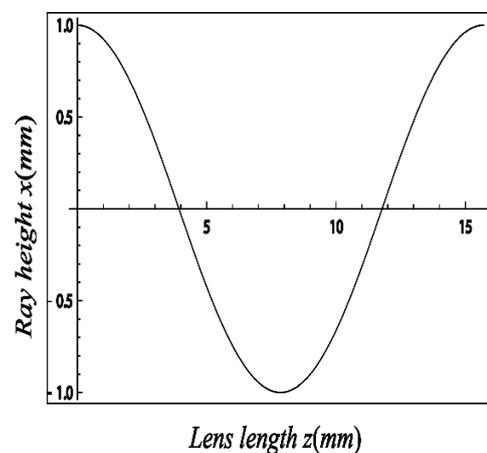


図1 平行入射光線($x_i = 1\text{mm}$)に対する子午光線経路

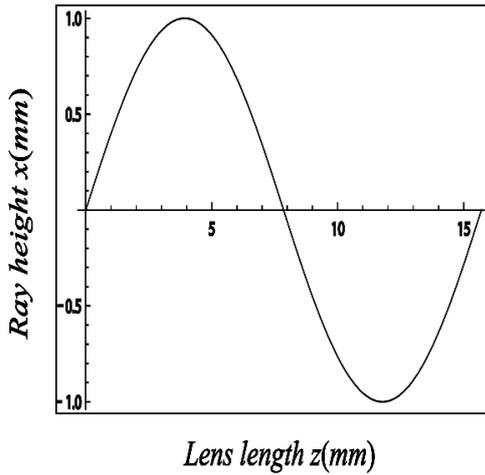


図2 軸上入射光線($\sin \gamma_i = 0.38$)に対する
子午光線経路

図3および4に,それぞれ平行入射光線($\sin \gamma_i = 0$)および軸上入射光線($x_i = 0$)に対する $g \Delta w / n_0$ を示す.右側の縦軸は,DVD用ピックアップ対物レンズの設計に必要な数値を代入したものである.また,上側の横軸は,開口数に相当する.

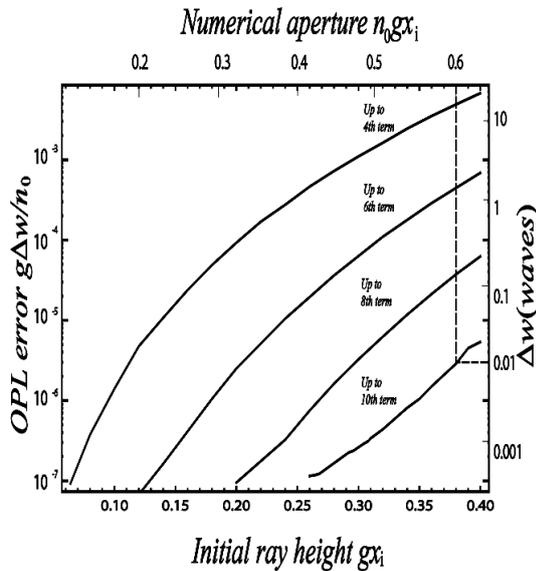


図3 平行入射光線の場合($\sin \gamma_i = 0$)

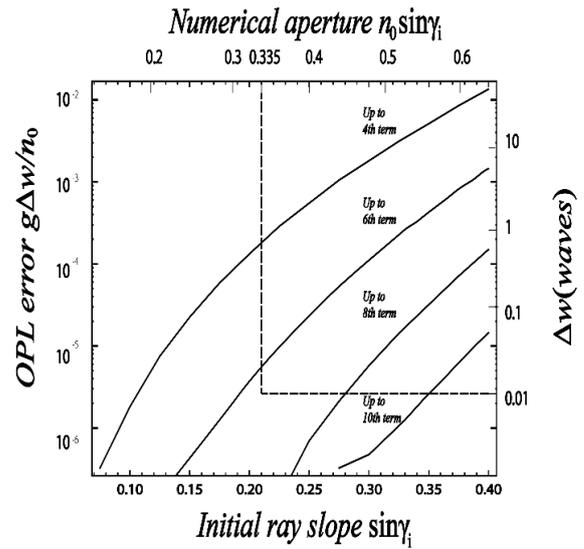


図4 軸上入射光線の場合($x_i = 0$)

4 結論

DVD用ピックアップ対物レンズ(平行入射光線),およびコリメータレンズ(軸上入射光線)では,それぞれ10次および6次までの屈折率係数を考慮すればよいことが分かった.

参考文献

- [1] 加藤嶺志, "屈折率分布型レンズにおける子午光線の光学距離に関する研究", 2016
- [2] 藤井崇史, "屈折率分布型レンズにおける子午光線の光学距離に関する研究", 2015
- [3] スティーブン・ウルフラム, "Mathematica A System for Doing Mathematics by Computer Second Edition", 1996
- [4] TOYOKAZU SAKAMOTO, "Analytic solutions of the eikonal equation for a GRIN-rod lens", J.Mod.Opt, 1992
- [5] "わかりやすい光ディスク", オプトロニクス社, 1985