

# 非対称な面形状誤差の光学シミュレーションと解析

Optical Simulations and Analyses of Asymmetric Surface Form Errors

桐木 俊彦\*

Kiriki, Toshihiko

Asymmetric form errors of the optical surfaces highly affect the image quality. Mathematical description of asymmetric form errors is introduced. Ray tracing method for the optical system is developed and the evaluation functions of the optical system, for example, spot diagram, OTF, and wavefront aberration are calculated.

Using this software, several types of lenses are analyzed. One example applied to a zoom lens for a camera is shown in this paper.

The asymmetric surface form error of a plastic molded lens in the zoom lens measured by interferometer is expressed by Zernike's circle polynomial and the change of image quality is evaluated.

Supported by these analyses, efficient lens design, development and production are achieved.

## 1 はじめに

近年、ハイスベック条件下でのコンパクト設計やコスト低減設計の要請により、射出成形によるプラスチックレンズを始めとして、光学系にモールドレンズを使用することが多くなってきている。

モールドレンズは、研磨によるレンズと比較して、一般に面精度にアスが発生しがちであり、これによる結像性能への影響を光学解析したり、適切な許容公差を設定することが重要になってきている。

ここでは、非対称な面形状誤差の光学シミュレーションと光学解析例について報告する。

## 2 シミュレーション方法

まず、非対称な面形状誤差を含んだ形での、光学面の形状の方程式は、以下のように表わすことができる。

$$x = ch^2 / (1 + \sqrt{1 - (k+1)c^2h^2}) + \sum A_i h^{p_i} + \sum A_{n0} R_n^0(\rho) + \sum \sum A_{nm(c)} R_n^m(\rho) \cos m\theta + \sum \sum A_{nm(s)} R_n^m(\rho) \sin m\theta \quad (1)$$

(1)式において、光軸をx軸とし、 $h = \sqrt{y^2 + z^2}$ は、光線が光学面と交わる光軸からの高さを示している。y軸をメリディオナル方向とする。右辺の第1項は、 $c = 1/R$  ( $R$ : 光学面の曲率半径)で、 $k = 0$ のとき球面を表し、 $k \neq 0$ のとき2次曲面を表す。第2項は、 $A_i$ を非球面係数とする $p_i$ 次の非球面を表す。第1項と第2項が、設計の基準面に相当する。

\* オプト事業部 光学開発センター

第3項から第5項までが面形状誤差を表す項である。従来から、光ディスク用レンズ等の無収差レンズの波面収差の解析に用いられているZernikeの収差展開式<sup>1)</sup>を、非対称な面形状誤差を表す項として適用している。

$A_{nm}$ は、Zernikeの収差係数、 $R_n^m(\rho)$ はZernikeの動径多項式と呼ばれているもので、 $\rho = h/h_{\text{eff}}$  ( $h_{\text{eff}}$ : 光学面の有効半径、 $0 \leq \rho \leq 1$ )で正規化して使用することとする。また、 $\theta$ は、メリディオナル断面からの角度を示し、 $\cos m\theta$ の項は、メリディオナル断面に対し対称な面形状誤差を表し、 $\sin m\theta$ の項は、メリディオナル断面に対し非対称な面形状誤差を表わす。

(1)式で、例として、最も典型的な、面のアス成分に限定すると、 $m=2$ 、 $n=2$ の $\cos$ 成分で、

$$A_{22(c)} R_2^2(\rho) \cos 2\theta = A_{22(c)} \rho^2 \cos 2\theta \quad (2)$$

である。

光線追跡は、通常の回転対称光学系に用いられているFederの式<sup>2)</sup>に準じるが、面形状の式を(1)式で表すとともに、面の法線方向ベクトルに面形状誤差項の1次偏微分の項が付加される。

上記の方法を基に、スポットダイアグラム、白色OTF、波面収差等の、レンズの結像性能を評価し、光学解析を行なった。

## 3 光学解析例

Fig.1に $f = 35 \sim 105\text{mm}$ 、 $F3.8 \sim 8.5$ のカメラ用ズームレンズの断面図(テレ側)を示す。このレンズには物体側から10番目にプラスチックレンズ(斜線)が用いられており、このレンズの成形面精度のデータより、結像性能

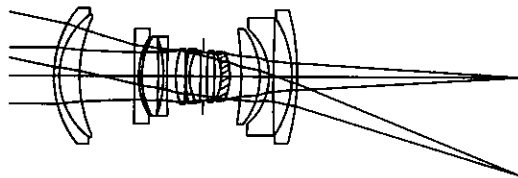
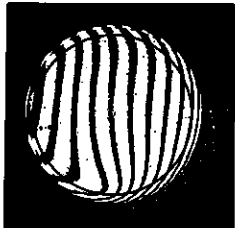


Fig. 1 Zoom lens for a compact camera (long focal length position)



↑ gate

Fig. 2 Example of the surface form error measured by interferometer (the effective aperture is inside the circle)

Table 1 Result of applying the data to Zernike's coefficients (unit:  $0.6328\mu\text{m}$ )

C: cos component  
S: sin component

No.	ZERNIKE COEFF.	N	M	C/S	REMARKS
1	0.00257	0	0		
2	-0.02114	1	1	C	
3	0.02468	1	1	S	
4	0.15318	2	2	C	PRIMARY AS ( $0^\circ$ )
5	0.00896	2	0		
6	0.03424	2	2	S	PRIMARY AS ( $45^\circ$ )
7	-0.17820	3	3	C	$3\theta$
8	0.04232	3	1	C	PRIMARY COMA (Y)
9	-0.05273	3	1	S	PRIMARY COMA (Z)
10	-0.01831	3	3	S	$3\theta$
11	0.05712	4	4	C	
12	-0.00567	4	2	C	
13	-0.05947	4	0		
14	0.00707	4	2	S	PRIMARY SPHERICAL
15	0.01337	4	4	S	

への影響のシミュレーションを行なう。

Fig.2はプラスチックレンズの物体側面の球面精度の干渉縞データ例で、面アスと射出成形レンズ独特のゲート付近の形状誤差を含んでいる。Table 1に面形状誤差をZernike収差分類した結果を示す。これにより、面形状を(1)式で表し、白色OTFの変化を示したのがFig.3である。また、収差成分によってスポットダイアグラムの変化が合成される様子をFig.4に示した。

#### 4 まとめ

非対称な面形状誤差のシミュレーション法を確立し、

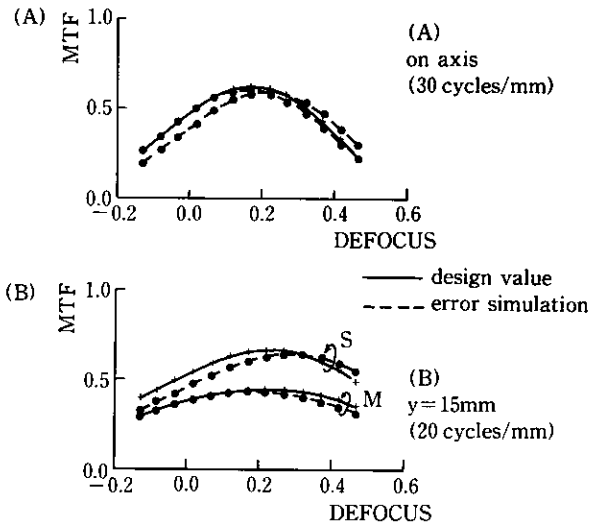


Fig.3 Change of MTF caused by the surface form error

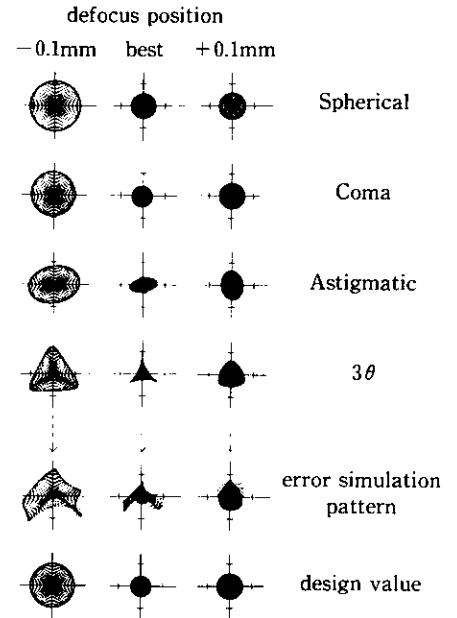


Fig.4 Change of spot diagram on axis

それを用いた解析例を紹介した。レンズ設計時に、設計性能と許容公差の適切なバランスを保つことに配慮したり、開発や量産立上げ時に、許容公差の把握による効率化が図れる。更に、広く、面精度の問題解析の支援ツールとして、本シミュレーションが実用化された。

#### ●参考文献

- 1) Born and Wolf: "Principles of Optics" fifth edition, Pergamon Press 464-468 (1975)
- 2) 松居吉哉: "レンズ設計法"(共立出版) pp.42-46