

# 次元降下によるレンズシステムの最適化

中川 治平\*・草川 徹介\*\*

\*中川レンズデザイン研究所 〒519-5714 三重県南牟婁郡紀宝町鮎田 1477

\*\*株式会社シグマ光学技術部 〒201-8630 狛江市岩戸南 2-3-15

## Dimension Descending Optimization in Lens Design

Jihei NAKAGAWA\* and Tetsusuke KUSAKAWA\*\*

\*Nakagawa Lens Design Laboratory, 1477, Funada, Kiho-cho, Minamimuro-gun, Mie Prefecture 519-5714

\*\*Optical Design Section, SIGMA Co., Ltd., 2-3-15, Iwatominami, Komae 201-8630

We propose an optimization method to reduce the dimension of starting lens vector. The characteristic of our method is to use the dimension descent function which acts minimizing each element power and aspheric term through optimization process. Experiments show that our method is effective to reduce lens elements of the starting system without deterioration of performance and to select aspher-izing surfaces.

### 1. はじめに

新しく設計されるレンズは、同仕様の既存レンズに対し例えばタイプが独創的、コンパクト、低コストであるなどの差別化が必要である。DLS (damped least square) による最適化法は本質的に出発点の近傍における解の探索なので、既存のレンズデータからスタートして差別化設計に到達することは難しい。そのため、大域的に解を探索する種々の最適化方式が考えられてきた<sup>1,2)</sup>。しかし、どの方式も最適化のプロセスを通してシステムの次元が変わることはない。次元が変わらないという条件は最適化法の大域性にとって制約である。真に大域的であるためには次元の枠にとらわれない最適化法が望ましい。

次元の枠を越えて解を探索するアルゴリズムの構築は簡単ではない。しかし現行の最適化ソフトでも、次元降下に限れば次元を越えた最適化が可能である。本論では、簡単な数式で表される「次元降下関数」をメリット関数に加えた最適化方式を提案する<sup>3,4)</sup>。

### 2. 次元降下関数

メリット関数に付加する次元降下関数 (dimension descent function, 略して DDF) は次の式で与えられる。

$$\text{DDF} = \sum \text{DDF}_j = \sum [\mu_j (C_j - C'_j)^2 + \nu_j \Sigma a_{jk}^2]$$

ただし  $C_j, C'_j$  は  $j$  番目のエレメントの前面および後面の曲率である。第 2 項は非球面係数を制御するファクターで、 $j$  面の非球面項を  $A_{j2}Y^4 + A_{j3}Y^6 + A_{j4}Y^8 \dots$  とするとき、非球面係数  $A_{jk}$  は一般に光線高  $Y$  の次数が高いほど小さくなるので、 $a_{jk} = A_{jk}10^{2k}$  ( $k=2,3,\dots$ ) によって変換し、各次数の係数が二乗してほぼ同じオーダーになるようにした。 $\mu_j, \nu_j$  は設計者が個々の面に設定するウエイトを表す。

最適化によって DDF の第 1 項は個々のエレメントのパワーが小さくなるように機能し、第 2 項はそれぞれの面の非球面量が小さくなるように機能する。DDF を加えても、仕様の実現に必要なエレメントはパワーがゼロになることはなく、非球面係数がゼロになることはない、という考えが DDF method の根底にある。

本方式のフローチャートを Fig. 1 に示す。本法は次元降下だけが可能なので、スターティングシステムは次元が高い、すなわち構成枚数が多いシステムが望ましい。また、非球面にしてよい球面はすべてに非球面係数を変数として設定する。

メリット関数に DDF を加えて最適化を繰り返したあと、個々の DDF を取り出し検討する。 $(C_j - C'_j)^2$  が十分小さくなっているエレメントはパワーが完全にゼロになるように  $C_j - C'_j = 0, d_j = 0$  の条件を設定する。また、 $\Sigma a_{jk}^2$  が小さい面は非球面化の効果が小さいと判断し、以降は非

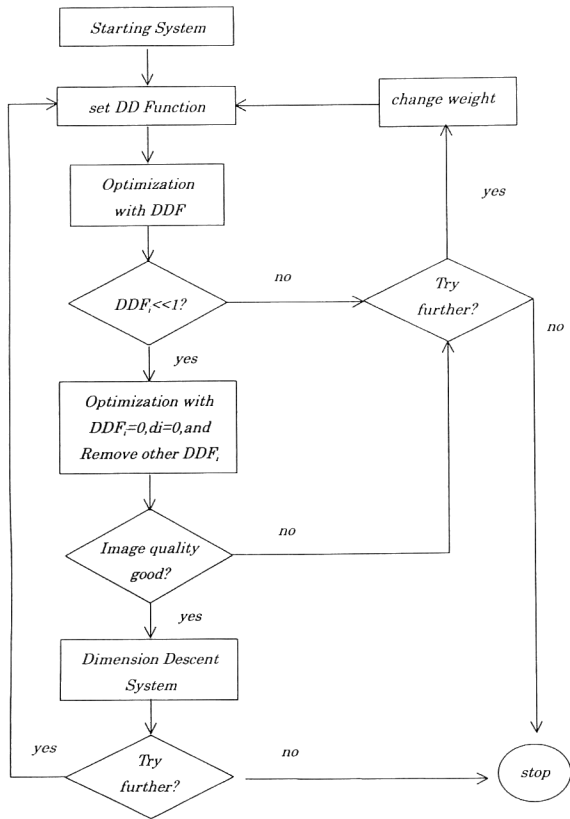


Fig. 1. Flow chart of the DDF method.

球面係数の変数設定を解除し球面として扱う。

上述の条件を加えて最適化を実行し、性能が良好かどうか確認する。パワーがゼロになったエレメントのデータを除去すると次元降下したシステムが得られる。

さらに次元降下したいときは、DDF を再びセットし同じプロセスを繰り返せばよい。

### 3. DDF method による設計

35 ミリ一眼レフ用で焦点距離 28 mm, F2 のレトロフォーカス型広角レンズに適用した例を示す。スターティングシステムは、現時点からみてレンズ枚数がいささか多い特公昭 60-034730 の実施例<sup>5)</sup> (Fig. 2(a)) である。本ケースは非球面を導入しないで DDF method を適用したが、仕様は同じで構成枚数が 2 枚減り、性能面でも上回るシステムが得られた<sup>6)</sup> (Fig. 2(b))。既成レンズにみかけないシステム中央部の構造と形態は、本法の大域性を実証するものである。

次はライカ版用広角 2 群ズーム 35~70 mm, F3.6 に適用した例で、スタートデータは前群 4 枚後群 6 枚で構成された特公昭 58-032683 の実施例 3<sup>7)</sup> (Fig. 3(a)) である。はじめは球面系のままで DDF method により枚数を削減し、次にすべての面について非球面係数がパラメーターと

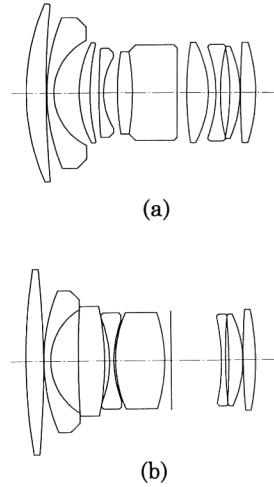


Fig. 2. Configuration of (a) starting system, Japan patent S60-034730, and (b) optimized system.

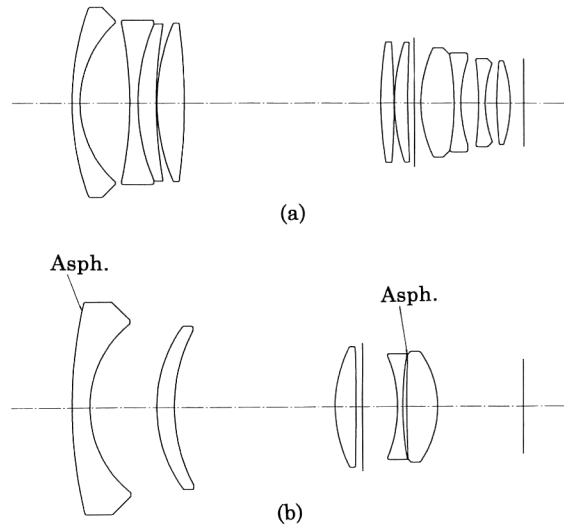


Fig. 3. Configuration of (a) starting system, Japan patent S58-032683, and (b) optimized system, at wide end.

なるように設定して最適化を行った。  $\sum a_{jk}^2$  が大きい先頭面および最後部レンズ前面は非球面化の効果が大きいと判断し、残りの面は球面に戻して最適化を進めた。最終的には、5枚が削減され、前群2枚後群3枚からなるシステム<sup>8)</sup> (Fig. 3(b)) が設計できた。3つの実践例を代表して、Fig. 4 に本ケースのスターティングシステムとファイナルシステムの MTF (modulation transfer function) を示す。

最後に 4 群方式の大口径比望遠ズーム、シグマ 70~210 mm, F2.8 (Fig. 5(a)) への適用を示す。本ケースもはじめは非球面化しないで DDF method による枚数削減を試みた。次に径が大きい第 1 群を除いてすべての面に非球面係数を変数として設定し最適化を行ったが、DDF method によって効果的な非球面が第 4 群に設定でき、17 枚構成

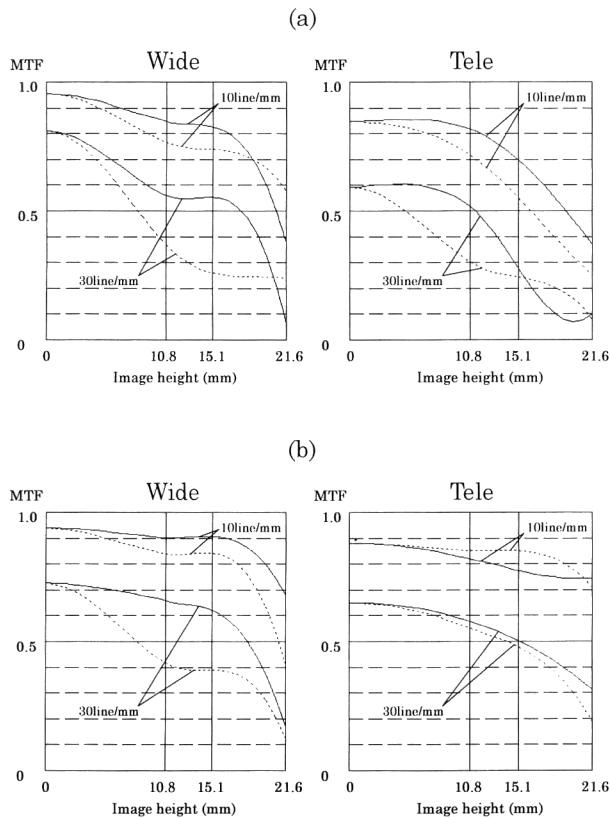


Fig. 4. 10 line/mm and 30 line/mm MTF data, solid line: sagittal, dotted line: meridional. (a) Starting system, Japan patent S58-032683. (b) Optimized system.

であったスタートシステムが非球面1面を有する12枚構成のシステム<sup>9)</sup>(Fig. 5(b))に最適化ができた。極限までにシンプル化された第4群の構成が本最適化方式の大域性を示している。

#### 4. おわりに

既存のグローバル最適化方式がレンズベクトルの次元を一定のまま解を探索するのに対し、非球面化と次元降下によって解を探索する最適化方式を提案した。

DDF methodは次元が高いスターティングシステムを設定、または個々の面に非球面係数を変数として設定することからスタートする。スターティングシステムの特異性に加え、最適化のプロセスでは異次元空間を降下するルートをとるので、従来方式では到達できないタイプの解が得られる可能性が大きい。

DDFが小さくなることは、システムが弱いパワーの要素で構成されることにほかならない。したがって、

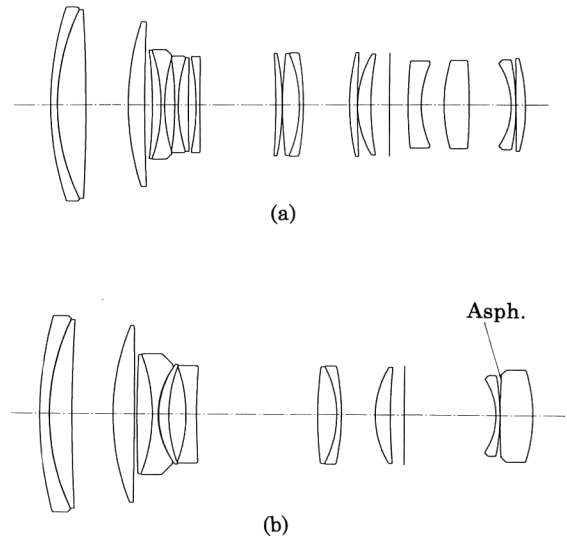


Fig. 5. Configuration of (a) starting system, SIGMA70-210 mm F2.8, and (b) optimized system, at wide end.

本方式のプロセスは収差補正の第2原則<sup>10)</sup>を実現するプロセスと共通するところがある。ここに次元降下の可能性が生じ、レンズ枚数が減っても性能はスターティングシステムを上回る結果になっている。

DDFを小さくすることは、また、各エレメントの製造誤差感度を小さくすることにもなるので、次元降下を離れコストダウンの手法としても有効である。

光学設計ソフト TOLES に DDF のプログラムをしていたいただいた東海大学草川徹教授に心から感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 一色真幸：“レンズ設計におけるグローバル最適化”，光学，27 (1998) 492-497.
- 2) 中川治平：“Additive method によるレンズシステムの合成”，光学，27 (1998) 101-103.
- 3) 中川治平，草川徹介：“次元降下によるレンズシステムの最適化”，第24回光学シンポジウム講演予稿集 (1999) pp. 27-28.
- 4) 中川治平，草川徹介：“非球面によるレンズエレメント削減の最適化”，第25回光学シンポジウム講演予稿集 (2000) pp. 37-38.
- 5) 梶山喜久雄：特公昭60-034730.
- 6) 中川治平，草川徹介：特願平11-182827.
- 7) 藤井 澄：特公昭58-032683.
- 8) 中川治平，草川徹介：特願2000-021040.
- 9) 草川徹介，中川治平：特願2000-185501.
- 10) 中川治平：レンズ設計工学 (東海大学出版会，1986) p. 56.