

Additive method によるレンズシステムの合成

中川 治平

中川レンズデザイン研究所 〒214-0036 川崎市多摩区南生田 2-16-8

Lens System Composing by "Additive Method"

Jihe NAKAGAWA

Nakagawa Lens Design Laboratory, 2-16-8, Minamiikuta, Tama-ku, Kawasaki 214-0036

We propose a new method named "additive method" for composing a starting system and optimizing in lens design. In this method, each lens system is represented by a vector, and a new lens vector is composed through a linear combination of more than one lens vector. The application of the method to lens patent problem is shown by numerical examples.

1. はじめに

レンズシステムは曲率, 面間隔, 屈折率, アッペ数, 有効径等を要素とするベクトルで表すことができる。レンズタイプが同じベクトル間では, 複数のベクトルの線形和によって新しいベクトルが合成可能である。ベクトル要素から計算できる焦点距離や収差等の特性値についても同じ線形関係が近似的に成り立つことに基づき, スタートアップシステムの設定¹⁻³⁾ および最適化の新しい方式⁴⁾ "additive method" を提案する。本論はこの方式の新しい側面を明らかにし, レンズ特許へ適用したケースについて検討する。

2. Additive method とレンズベクトル空間の線形性

m 個のレンズベクトルを $P_i (i=1, 2, \dots, m)$, 合成ベクトルを P , これらベクトルの要素の関数としての特性値を A_{ji} および $A_j (j=1, 2, \dots, n)$ とすれば, additive method は次のように定式化ができる。

$$\begin{aligned} P &= \sum k_i P_i, \quad \sum k_i = 1 \\ A_j &= \sum k_i A_{ji} \end{aligned} \quad (1)$$

k_i はそれぞれのベクトルにかかるウエイトで, $\sum k_i = 1$ は空気の屈折率が合成ベクトルにおいても 1 であるための条件になっている。式(1)の関係は, 既知ベクトルの収差の線形和が収差の目標値に等しいと置いた n 個の m 元一次方程式 $A_j = \sum k_i A_{ji}$ から k_i を求め, 最適化ベクトルが合成できることを示している。特性値についての線形関係は近似的であるが, ベクトル間のノルムが大きいときに特性値が目標からずれる場合も生じる。現行方式の最適化においても線形性からのずれは免れられないが, まったく同じ

事情である。

式(1)は次のように変形できる。

$$\begin{aligned} P &= \sum k_i P_i = P_1 + \sum k_i (P_i - P_1) \\ A_j &= \sum k_i A_{ji} = A_{j1} + \sum k_i (A_{ji} - A_{j1}) \end{aligned} \quad (2)$$

ベクトルが P_1, P_2 の 2 つだけの場合を考えると, 式(2)はベクトル P_1 から P_2 への一般化されたベンディングと解釈できる。また, P_1 のパラメーター ξ を微小量 $\Delta\xi$ 変動させたベクトルを P_i とすれば, $A_{ji} - A_{j1} = (\partial A_{ji} / \partial \xi) \Delta\xi$ であり, 式(2)はパラメーターの変化量と収差の関係を示すおなじみの式になる。Additive method はいくつかのパラメーターを同時に変えたベクトル, あるいは既存の設計データや特許データも変数にとれるところに特徴がある。

同じレンズ構成のベクトルの集合 $\langle P \rangle$ が, 加群 (additive group) の条件

$$\begin{aligned} \text{交換律} & \quad P_1 + P_2 = P_2 + P_1 \\ \text{零元の存在} & \quad P + O = P \\ \text{逆元の存在} & \quad P + (-P) = O \\ \text{結合率} & \quad P_1 + (P_2 + P_3) = (P_1 + P_2) + P_3 \end{aligned}$$

を満たしていることは明らかである。レンズベクトル空間は線形空間であり, レンズベクトルから算出される収差等の特性値も線形的である。

3. Additive method とレンズ特許

Additive method によれば, レンズベクトルの選択とウエイトの与えかたで必要な特性を有する新しいシステムが合成できる。この特徴は, 特許の条件に抵触しないようなシステムを合成するのに応用が可能である。

Table 1. Lens data of the compound double Gauss system which has the given curvature of 5th surface. Focal length: 97,643; back focal length: 70,177; F number: 1.923; field angle: 45 degree; third order aberration coefficients: I 0.83, II -0.04, III -0.01, P 0.20, V 0.25, 1000 L 0.35, 1000 T 0.65.

	Radius	Thickness	Index	Abbe number
1	51.999	3.98	1.65222	49.9
2	133.591	1.33		
3	45.954	11.09	1.66571	54.4
4	-314.290	4.67	1.62311	40.0
5	27.027	11.69		
6	STOP	10.58		
7	-29.863	3.34	1.62664	36.0
8	102.394	12.46	1.65795	50.8
9	-43.288	0.13		
10	402.274	9.70	1.70947	56.6
11	-75.951			

はじめにガウスタイプの3つの特許, U.S.P. 2831396 Table A⁵⁾, U.S.P. 3029698⁶⁾, および U.S.P. 3043193⁷⁾を用い, 第5面の曲率が3.7とどのベクトルの曲率よりも小さいシステムの合成を試みる. ガウスタイプの特徴は絞りをはさんで向かい合う強い凹面の存在である. ガウスタイプの特質に逆らって強い凹面のひとつをゆるくするのであるから, 通常的设计手法では高性能化が困難である.

次の2つの条件式が立てられる.

$$k_1 + k_2 + k_3 = 1$$

$$3.8625 k_1 + 4.2257 k_2 + 3.9548 k_3 = 3.7$$

ただし 3.8625, 4.2257, 3.9548 はそれぞれのベクトルの第5面の曲率で, 3.7 は目標に設定した曲率である. 3変数に対して条件式が2つなので, $k_1^2 + k_2^2 + k_3^2$ がミニマムという条件の下で解くと

$$k_1 = 1.0029, k_2 = -0.5988, k_3 = 0.5959$$

が求まる. このウエイトにしたがって合成したシステムのデータ, スペックならびに3次収差係数を Table 1 に示す. Fig. 1 はレンズ断面図, Fig. 2 は光線収差図である. 球面収差が大きくアンダーしているが, その他の収差は良好な補正状態である. 先頭レンズのコバ厚の確保とアンダーな球面収差の補正は, 在来の自動設計ソフトを使って容易に実現できる. Table 2 のデータは, 第5面を除く全曲率と第1レンズの中心厚だけを変数にして自動設計を実行した結果の一例である. このように, ガウスタイプに例をみない特徴を備えたシステムがきわめて容易に構築できる. 本例では第5面の曲率を制御したが, 異なった条件についても同じような手法が適用できる.

レンズ特許の請求範囲は条件を不等式で与えるケースが多い. 「詳細な説明」では, 条件式の上限あるいは下限を外れるとレンズ性能が急激に劣化するという説明がされてい

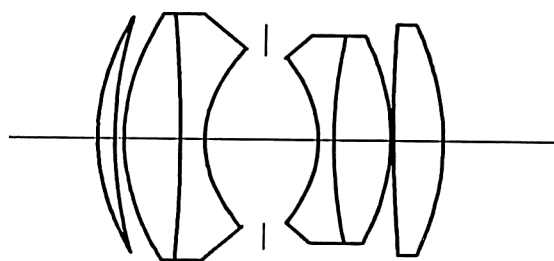


Fig. 1. Configuration of the Gauss type lens composed by additive method under the curvature C_5 is specific value.

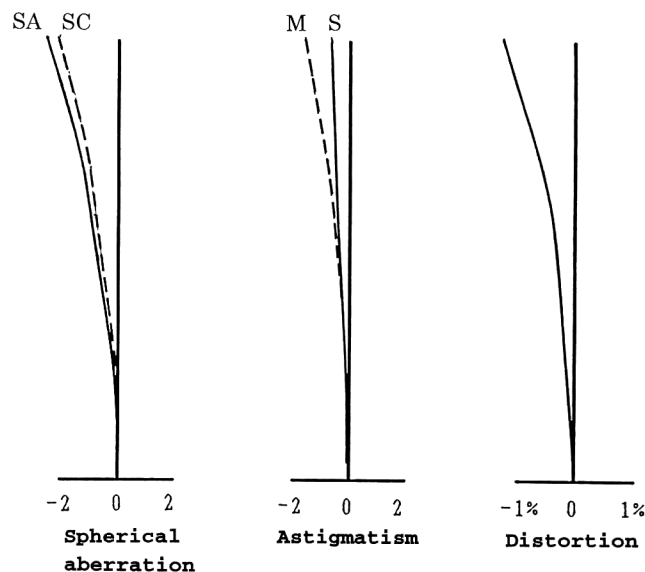


Fig. 2. Aberration curves of the Table 1 system. SA: Spherical aberration; SC: sine condition; M: meridional; S: sagittal.

る. それにもかかわらず, additive method によれば, 明細書に記載された複数個の実施例を使って, 請求範囲内の新しいレンズシステムはいうまでもなく, 特定の条件が範囲外にあっても性能的には特許データに遜色のないベクトルが合成できる.

他の特許でも同様であるが, ここでは Fig. 3 に示すようなガウスタイプレンズの特許, 特開昭 62-87922⁸⁾ を例にとりあげる. 請求項には 10 個の条件式が与えられているが, 7 番目の条件が扱いやすいので, その範囲を外れたシステムの構築を試みる.

実施例 2 のベクトルを 2 倍し実施例 3 のベクトルを引いた合成ベクトル Comp.1 を作れば, 7 番目の条件は下限より小さい値である. また, 実施例 3 を 2 倍し Comp. 1 を引いて合成ベクトル Comp. 2 (実施例 3 のベクトルの 3 倍から実施例 2 のベクトルの 2 倍を引いたベクトルと等価) は, 7 番目の条件に対する値が上限より大きい. 10 個の条件式に対して, 4 つの実施例と合成した 2 つのベクトルがとる値を Table 3 に示す. Comp.1, Comp.2 は 3 番目のガラス

Table 2. Lens data of the improved double Gauss system starting from the data of Table 1. Focal length: 100.204; back focal length: 71.760; F number: 1.983; field angle: 45 degree; third order aberration coefficients: I 0.25, II -0.00, III -0.04, P 0.19, V 0.26, 1000 L 0.07, 1000 T 0.06.

	Radius	Thickness	Index	Abbe number
1	62.595	5.93	1.65222	49.9
2	155.154	1.33		
3	42.080	11.09	1.66571	54.4
4	2660.250	4.67	1.62311	40.0
5	27.027	11.69		
6	STOP	10.58		
7	-29.894	3.34	1.62664	36.0
8	81.564	12.46	1.65795	50.8
9	-39.956	0.13		
10	232.373	9.70	1.70947	56.6
11	-107.187			

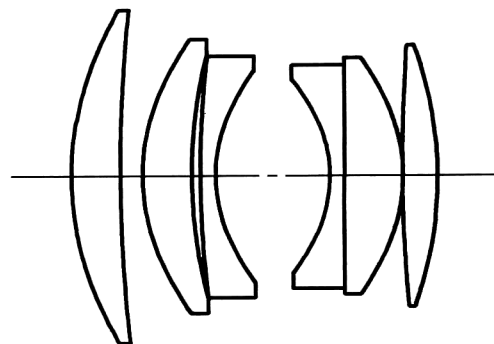


Fig. 3. Configuration of the Gauss type lens of the Japan Open Patent 62-87922.

Table 3. Table of the four examples and two compound systems of the Japan Open Patent 62-87922 claims. N : Refractive index; V : abbe number; f : focal length; ϕ_{23} : power of air lens sandwiched in between second and third elements; ϕ_{34} : power of air lens sandwiched in between third and fourth elements; f_A : focal length of front group; f_B : focal length of rear group; R : radius; D : thickness.

	Ex.1	Ex.2	Ex.3	Ex.4	Comp.1	Comp.2
1) $7.5 < (N 1 - 1.45) V 1 < 13.0$	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85
2) $8.5 < (N 2 - 1.45) V 2 < 13.0$	10.36	10.36	10.36	10.36	10.36	10.36
3) $8.5 < (N 6 - 1.45) V 6 < 14.5$	13.55	13.55	10.61	13.55	16.45	4.45
4) $-0.55 < \phi_{23} f < -0.35$	-0.448	-0.405	-0.431	-0.477	-0.384	-0.508
5) $-6.0 < \phi_{34} f < -5.0$	-5.711	-5.741	-5.666	-5.866	-5.918	-5.799
6) $3.5 < f_A / f_B < 4.0$	3.728	3.638	3.705	3.749	3.486	3.579
7) $0.26 < R_7 / R_{11} < 0.38$	0.317	0.286	0.333	0.313	0.239	0.423
8) $1.75 < N_5$	1.79952	1.79952	1.79952	1.79952	1.79952	1.79952
9) $0.03 < D_2 / f < 0.08$	0.047	0.047	0.045	0.049	0.049	0.046
10) $0.01 < D_4 / f < 0.04$	0.018	0.017	0.017	0.018	0.017	0.018

に関する条件と7番目の条件以外はすべて範囲内にあり、かつ収差補正状況は良好である。この事実、特許条件式の排他性や限界性に対しての問題提起に他ならない。

4. おわりに

レンズベクトルの線形性を基礎とした新しい最適化方式 additive method を提案した。合成に用いるベクトルを1つのベクトルの各要素がそれぞれ独立に微小変化したベクトルに限れば、additive method は通常最適化へ移行できる。また、2つのベクトルの関係のみれば、ペンディング概念を一般化した形としても解釈が可能である。

Additive method によれば、適切なレンズベクトルを選択することによって性能良好な新しいレンズベクトルが容易に合成できるが、この特徴は、同時に、特許の請求範囲

を規定する条件の排他性に対しての問題提起にもなった。

Additive method がレンズ設計技術の発展に役立てば幸いである。

文 献

- 1) J. Nakagawa: "Method for composing starting system in lens design," *Optik*, **101** (1995) 29-31.
- 2) J. Nakagawa: "Composition of new lens system," *Optik*, **101** (1996) 110-112.
- 3) 中川治平: "レンズシステムの合成", 第20回光学シンポジウム講演予稿集 (1995) pp. 29-32.
- 4) 中川治平: "新しい変数によるレンズシステムの最適化", 第21回光学シンポジウム講演予稿集 (1996) pp. 29-30.
- 5) G. Klemt: U.S. Patent No. 2831396 (1958).
- 6) C. Baur, *et al.*: U.S. Patent No. 3029698 (1962).
- 7) G. Lange, *et al.*: U.S. Patent No. 3043193 (1962).
- 8) 田中常文: 特開昭 62-87922 (1987).