

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-19993
(P2013-19993A)

(43) 公開日 平成25年1月31日(2013.1.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 13/00 (2006.01)	G02B 13/00	2H087
G02B 13/18 (2006.01)	G02B 13/18	5C122
H04N 5/225 (2006.01)	H04N 5/225	D

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2011-151822 (P2011-151822)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成23年7月8日 (2011.7.8)		株式会社ニコン
		(74) 代理人	100140800
			弁理士 保坂 丈世
		(72) 発明者	佐藤 治夫
			東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
			株式会社ニコン内
		Fターム(参考)	2H087 KA01 LA01 MA04 MA06 MA08
			PA05 PA19 PA20 PB08 PB09
			QA02 QA07 QA12 QA21 QA26
			QA34 QA42 QA45 RA05 RA12
			RA13 RA32 RA43
			5C122 DA03 DA04 EA31 FB02 FB04
			HB01 HB09 HB10

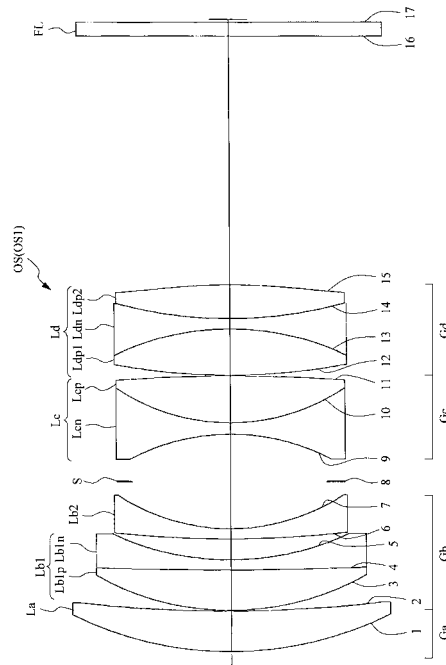
(54) 【発明の名称】 光学系、この光学系を有する撮像装置、及び、光学系の製造方法

(57) 【要約】

【課題】小型で、構成枚数が少なく、高性能で、コマ収差、特にサジタルコマ収差、球面収差の少ない光学系、この光学系を有する撮像装置、及び、光学系の製造方法を提供する。

【解決手段】一眼レフカメラ1等に搭載される光学系OSは、光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群Gaと、負の屈折力を有する第2レンズ群Gbと、第3レンズ群Gcと、正の屈折力を有する第4レンズ群Gdと、を有し、第1レンズ群Gaは、少なくとも1枚の正レンズ成分Laを有し、第2レンズ群Gbは、少なくとも1枚の負レンズ成分Lb2を有し、第3レンズ群Gcは、物体側に凹面を向けた負レンズLcnと正レンズLcpとの接合による接合レンズLcを有し、第4レンズ群Gdは、少なくとも正レンズLdp1と負レンズLdnと正レンズLdp2とが接合された接合正レンズLdを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸に沿って物体側から順に、
 正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、
 負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、
 第 3 レンズ群と、

正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、を有し、

前記第 1 レンズ群は、少なくとも 1 枚の正レンズ成分を有し、

前記第 2 レンズ群は、少なくとも 1 枚の負レンズ成分を有し、

前記第 3 レンズ群は、物体側に凹面を向けた負レンズと正レンズとの接合による接合レンズを有し、

前記第 4 レンズ群は、少なくとも正レンズと負レンズと正レンズとが接合された接合正レンズを有し、以下の条件式を満足することを特徴とする光学系。

$$0.01 < ((Nd_{p1} + Nd_{p2}) / 2) - Nd_n < 0.50$$

$$0.000 < N_{cp} - N_{cn} < 0.500$$

但し、

Nd_{p1} : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの最も物体側の前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

Nd_{p2} : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの最も像側の前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

Nd_n : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの中央に位置する前記負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cp} : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cn} : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの前記負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

【請求項 2】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

$$-1.0 < (rd_2 + rd_1) / (rd_2 - rd_1) < 2.0$$

但し、

rd_1 : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズ中の中央の前記負レンズの物体側の面の曲率半径

rd_2 : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズ中の中央の前記負レンズの像側の面の曲率半径

【請求項 3】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学系。

$$0.00 < (rc_2 - rc_1) / (rc_2 + rc_1) < 1.00$$

但し、

rc_1 : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの最も物体側の面の曲率半径

rc_2 : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの最も像側の面の曲率半径

【請求項 4】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の光学系。

$$0.10 < fd / f_0 < 4.00$$

但し、

fd : 前記第 4 レンズ群の焦点距離

f_0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【請求項 5】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の光学系。

。

10

20

30

40

50

$$1.00 < f_a / f_0 < 10.0$$

但し、

f_a : 前記第 1 レンズ群の焦点距離

f_0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【請求項 6】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の光学系。

$$0.30 < (-f_b) / f_0 < 30.00$$

但し、

f_b : 前記第 2 レンズ群の焦点距離

f_0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【請求項 7】

前記第 3 レンズ群は負の屈折力を有し、

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の光学系

。

$$0.3 < (-f_c) / f_0 < 30.0$$

但し、

f_c : 前記第 3 レンズ群の焦点距離

f_0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【請求項 8】

F ナンバーを決定する開口絞りを、前記第 2 レンズ群と前記第 3 レンズ群との間、または、前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間に有することを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記第 1 レンズ群または前記第 2 レンズ群は、少なくとも 1 面の非球面を有することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記第 4 レンズ群は、少なくとも 1 面の非球面を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズは、正レンズと負レンズと正レンズの 3 枚からなる接合正レンズであることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の光学系

。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の光学系を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 13】

光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、第 3 レンズ群と、正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、を有する光学系の製造方法であって、

前記第 1 レンズ群として、少なくとも 1 枚の正レンズ成分を配置し、

前記第 2 レンズ群として、少なくとも 1 枚の負レンズ成分を配置し、

前記第 3 レンズ群として、物体側に凹面を向けた負レンズと正レンズとの接合による接合レンズを配置し、

前記第 4 レンズ群として、少なくとも正レンズと負レンズと正レンズとが接合された接合正レンズを配置し、以下の条件式を満足することを特徴とする光学系の製造方法。

$$0.01 < ((N_{dp1} + N_{dp2}) / 2) - N_{dn} < 0.50$$

$$0.000 < N_{cp} - N_{cn} < 0.500$$

但し、

N_{dp1} : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの最も物体側の前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

10

20

30

40

50

N_{dp2} : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの最も像側の前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{dn} : 前記第 4 レンズ群中の前記接合正レンズの中央に位置する前記負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cp} : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの前記正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cn} : 前記第 3 レンズ群中の前記接合レンズの前記負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、光学系、この光学系を有する撮像装置、及び、光学系の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、所謂変形ガウス型レンズは多数提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2009 - 251398 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来のガウス型レンズはコマ収差の補正が不十分で、特にサジタルコマ収差の改善は困難であった。

【0005】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、小型で、構成枚数が少なく、高性能で、コマ収差、特にサジタルコマ収差、球面収差の少ない光学系、この光学系を有する撮像装置、及び、光学系の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

30

前記課題を解決するために、本発明に係る光学系は、光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、第 3 レンズ群と、正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、を有し、第 1 レンズ群は、少なくとも 1 枚の正レンズ成分を有し、第 2 レンズ群は、少なくとも 1 枚の負レンズ成分を有し、第 3 レンズ群は、物体側に凹面を向けた負レンズと正レンズとの接合による接合レンズを有し、第 4 レンズ群は、少なくとも正レンズと負レンズと正レンズとが接合された接合正レンズを有し、以下の条件式を満足することを特徴とする。

$$0.01 < ((N_{dp1} + N_{dp2}) / 2) - N_{dn} < 0.50$$

$$0.000 < N_{cp} - N_{cn} < 0.500$$

但し、

40

N_{dp1} : 第 4 レンズ群中の接合正レンズの最も物体側の正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{dp2} : 第 4 レンズ群中の接合正レンズの最も像側の正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{dn} : 第 4 レンズ群中の接合正レンズの中央に位置する負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cp} : 第 3 レンズ群中の接合レンズの正レンズの媒質の d 線に対する屈折率

N_{cn} : 第 3 レンズ群中の接合レンズの負レンズの媒質の d 線に対する屈折率

【0007】

また、このような光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

50

$$-1.0 < (rd2 + rd1) / (rd2 - rd1) < 2.0$$

但し、

rd1：第4レンズ群中の接合正レンズ中の中央の負レンズの物体側の面の曲率半径

rd2：第4レンズ群中の接合正レンズ中の中央の負レンズの像側の面の曲率半径

【0008】

また、このような光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$0.00 < (rc2 - rc1) / (rc2 + rc1) < 1.00$$

但し、

rc1：第3レンズ群中の接合レンズの最も物体側の面の曲率半径

rc2：第3レンズ群中の接合レンズの最も像側の面の曲率半径

10

【0009】

また、このような光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$0.10 < fd / f0 < 4.00$$

但し、

fd：第4レンズ群の焦点距離

f0：無限遠合焦時の全系の焦点距離

【0010】

また、このような光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$1.00 < fa / f0 < 10.0$$

但し、

fa：第1レンズ群の焦点距離

f0：無限遠合焦時の全系の焦点距離

20

【0011】

また、このような光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$0.30 < (-fb) / f0 < 30.00$$

但し、

fb：第2レンズ群の焦点距離

f0：無限遠合焦時の全系の焦点距離

【0012】

また、このような光学系において、第3レンズ群は負の屈折力を有し、以下の条件式を満足することが好ましい。

30

$$0.3 < (-fc) / f0 < 30.0$$

但し、

fc：第3レンズ群の焦点距離

f0：無限遠合焦時の全系の焦点距離

【0013】

また、このような光学系は、Fナンバーを決定する開口絞りを、第2レンズ群と第3レンズ群との間、または、第3レンズ群と第4レンズ群との間に有することが好ましい。

【0014】

また、このような光学系において、第1レンズ群または第2レンズ群は、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

40

【0015】

また、このような光学系において、第4レンズ群は、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。

【0016】

また、このような光学系において、第4レンズ群中の接合正レンズは、正レンズと負レンズと正レンズの3枚からなる接合正レンズであることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る撮像装置は、上述の光学系のいずれかを有することが好ましい。

【0018】

50

また、本発明に係る光学系の製造方法は、光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群と、を有する光学系の製造方法であって、第1レンズ群として、少なくとも1枚の正レンズ成分を配置し、第2レンズ群として、少なくとも1枚の負レンズ成分を配置し、第3レンズ群として、物体側に凹面を向けた負レンズと正レンズとの接合による接合レンズを配置し、第4レンズ群として、少なくとも正レンズと負レンズと正レンズとが接合された接合正レンズを配置し、以下の条件式を満足することを特徴とする。

$$0.01 < ((Nd_{p1} + Nd_{p2}) / 2) - Nd_n < 0.50$$

$$0.000 < Nc_p - Nc_n < 0.500$$

10

但し、

Nd_{p1} : 第4レンズ群中の接合正レンズの最も物体側の正レンズの媒質のd線に対する屈折率

Nd_{p2} : 第4レンズ群中の接合正レンズの最も像側の正レンズの媒質のd線に対する屈折率

Nd_n : 第4レンズ群中の接合正レンズの中央に位置する負レンズの媒質のd線に対する屈折率

Nc_p : 第3レンズ群中の接合レンズの正レンズの媒質のd線に対する屈折率

Nc_n : 第3レンズ群中の接合レンズの負レンズの媒質のd線に対する屈折率

20

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、小型で、構成枚数が少なく、高性能で、コマ収差、特にサジタルコマ収差、球面収差の少ない光学系、この光学系を有する撮像装置、及び、光学系の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】第1実施例に係る光学系の無限遠合焦状態におけるレンズ構成を示す断面図である。

【図2】第1実施例に係る光学系の無限遠合焦状態における諸収差図である。

【図3】第2実施例に係る光学系の無限遠合焦状態におけるレンズ構成を示す断面図である。

30

【図4】第2実施例に係る光学系の無限遠合焦状態における諸収差図である。

【図5】第3実施例に係る光学系の無限遠合焦状態におけるレンズ構成を示す断面図である。

【図6】第3実施例に係る光学系の無限遠合焦状態における諸収差図である。

【図7】第4実施例に係る光学系の無限遠合焦状態におけるレンズ構成を示す断面図である。

【図8】第4実施例に係る光学系の無限遠合焦状態における諸収差図である。

【図9】光学系を搭載する一眼レフカメラの断面図を示す。

【図10】光学系の製造方法を説明するためのフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。図1に示すように、本実施形態に係る光学系OSは、光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群Gaと、負の屈折力を有する第2レンズ群Gbと、第3レンズ群Gcと、正の屈折力を有する第4レンズ群Gdと、を有して構成される。また、第1レンズ群Gaは、少なくとも1枚の正レンズ成分Laを有し、第2レンズ群Gbは、少なくとも1枚の負レンズ成分Lb2を有し、第3レンズ群Gcは物体側に凹面を向けた負レンズLcnと正レンズLcpとの接合による接合レンズLcを有し、第4レンズ群Gdは少なくとも正レンズLdp1と負レンズLdnと正レンズLdp2とが接合された接合正レンズLdを有す

50

る。なお、以降の説明において、「レンズ成分」とは、1枚の単レンズ(レンズ要素)、若しくは、2枚以上の単レンズ(レンズ要素)を接合した接合レンズを指すものとする。

【0022】

本実施形態に係る光学系OSは、基本的に正負負正に代表される、所謂ガウス型、クセノター型等の光学系の欠点であるコマ収差、特にサジタルコマ収差を、色収差、像面湾曲及び非点収差を悪化させること無く、改善したものである。以下、このような光学系OSを構成するための条件について説明する。

【0023】

本実施形態に係る光学系OSは、次の条件式(1)を満足することが望ましい。

【0024】

$$0.01 < ((Nd_{p1} + Nd_{p2}) / 2) - Nd_n < 0.50 \quad (1)$$

但し、

Nd_{p1} : 第4レンズ群Gd中の接合正レンズLdの最も物体側の正レンズLdp1の媒質のd線に対する屈折率

Nd_{p2} : 第4レンズ群Gd中の接合正レンズLdの最も像側の正レンズLdp2の媒質のd線に対する屈折率

Nd_n : 第4レンズ群Gd中の接合正レンズLdの中央に位置する負レンズLdnの媒質のd線に対する屈折率

【0025】

条件式(1)は、第4レンズ群Gd中の、接合正レンズLdを構成する正レンズLdp1、負レンズLdn及び正レンズLdp2の媒質のd線(波長 = 587.6nm)における屈折率の差を規定する条件である。この式は2枚の正レンズの平均屈折率と負レンズの屈折率との差を求めるものである。この条件を外れた場合、ペッツパール和の最適値の設定が損なわれ、結果的に像面湾曲が悪化する。

【0026】

この条件式(1)の上限値を上回る場合、屈折率差が著しく大きくなることを意味している。この場合でも、ペッツパール和が最適な値から悪化し、結果的に像面湾曲の補正が悪化し好ましくない。また、球面収差の補正能力も低下し、最適な色収差のための硝材の選択ができなくなり好ましくない。なお、条件式(1)の上限値を0.40に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(1)の上限値を0.35に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(1)の上限値を0.32に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【0027】

また、条件式(1)の下限値を下回る場合、屈折率差が著しく小さくなり、ついには正レンズLdp1、Ldp2の屈折率より負レンズLdnの屈折率のほうが大きくなってしまふ。この場合、正負の屈折率の高低が逆になり、ペッツパール和を小さく抑えることが困難になる。従って、ペッツパール和が最適な値から大きく逸脱し、結果的に像面湾曲の補正、及び、非点収差の補正が悪化し好ましくない。また、コマ収差の補正も悪化し好ましくない。なお、条件式(1)の下限値を0.05に設定すると、像面湾曲及び非点収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(1)の下限値を0.17に設定すると、像面湾曲及び非点収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(1)の下限値を0.23に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【0028】

また、本実施形態に係る光学系OSは、次の条件式(2)を満足することが望ましい。

【0029】

$$0.000 < Nc_p - Nc_n < 0.500 \quad (2)$$

但し、

Nc_p : 第3レンズ群Gc中の接合レンズLcの正レンズLcpの媒質のd線に対する屈折率

Nc_n : 第3レンズ群Gc中の接合レンズLcの負レンズLcnの媒質のd線に対する

10

20

30

40

50

屈折率

【0030】

条件式(2)は、第3レンズ群Gc中の、物体側に凹面を向けた接合レンズLcを構成する正レンズLcp及び負レンズLcnの媒質のd線(波長 = 587.6nm)における屈折率の差を規定する条件である。この条件をはずれた場合も、ペッツパール和の最適値の設定が損なわれ、結果的に像面湾曲が悪化する。

【0031】

この条件式(2)の上限値を上回る場合、屈折率差が著しく大きくなることを意味している。この場合でも、ペッツパール和が最適な値から悪化し、結果的に像面湾曲の補正が悪化し好ましくない。また、球面収差の補正能力も低下し、最適な色収差のための硝材の選択ができなくなり好ましくない。なお、条件式(2)の上限値を0.400に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(2)の上限値を0.300に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(2)の上限値を0.200に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【0032】

また、条件式(2)の下限値を下回る場合、屈折率差が著しく小さくなり、ついには正レンズLcpの屈折率より負レンズLcnの屈折率のほうが大きくなってしまふ。この場合、正負の屈折率の高低が逆になり、ペッツパール和を小さく抑えることが困難になる。従って、ペッツパール和が最適な値から大きく逸脱し、結果的に像面湾曲の補正、非点収差の補正が悪化し好ましくない。負レンズの曲率半径が強くなることによって、サジタルコマ収差も悪化し好ましくない。なお、条件式(2)の下限値を0.010に設定すると、像面湾曲及び非点収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(2)の下限値を0.030に設定すると、像面湾曲及び非点収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(2)の下限値を0.063に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【0033】

また、本実施形態に係る光学系OSは、次の条件式(3)を満足することが望ましい。

【0034】

$$-1.0 < (rd2 + rd1) / (rd2 - rd1) < 2.0 \quad (3)$$

但し、

rd1：第4レンズ群Gd中の接合正レンズLd中の中央の負レンズLdnの物体側の面の曲率半径

rd2：第4レンズ群Gd中の接合正レンズLd中の中央の負レンズLdnの像側の面の曲率半径

【0035】

条件式(3)は、第4レンズ群Gd中の3枚接合正レンズLdの中央に位置する負レンズLdnの形状因子を規定する条件である。この条件は球面収差とコマ収差の補正に大きく関わっている。この条件式(3)に設定されている値が-1を越えると両凹形状からはずれ、物体側に平面、さらには物体側に凸面を向けたメニスカス形状になる。また+1を超えた場合、像側に平面、さらには像側に凸面を向けたメニスカス形状になる。この負レンズLdnの最適な形状が良好にサジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差、球面収差の良好な補正が可能になる。

【0036】

条件式(3)の上限値を上回る場合、3枚接合正レンズLdの中央に位置する負レンズLdnの形状が、像面側に凸面を向けた強い負メニスカス形状になる。この場合、サジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差も悪化し、結果的にペッツパール和も最適な値に保てなくなり、像面湾曲も悪化し好ましくない。なお、条件式(3)の上限値を1.5に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(3)の上限値を1.0に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(3)の上限値を0.8に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

また、条件式(3)の下限値を下回る場合、3枚接合正レンズLdの中央に位置する負レンズLdnの形状が、物体側に平面を向けた平凹形状から負メニスカス形状になる。この場合、球面収差の補正、メリジオナルコマ収差、非点収差が悪化し好ましくない。なお、条件式(3)の下限値を-0.8に設定すると、上述の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(3)の下限値を-0.7に設定すると、上述の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(3)の下限値を-0.5に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【 0 0 3 8 】

なお、理想的には、第4レンズ群Gdに含まれる3枚接合正レンズLdの中央に位置する負レンズLdnは両凹形状の範囲内であることが好ましい。

10

【 0 0 3 9 】

また、本実施形態に係る光学系OSは、次の条件式(4)を満足することが望ましい。

【 0 0 4 0 】

$$0.00 < (rc2 - rc1) / (rc2 + rc1) < 1.00 \quad (4)$$

但し、

rc1：第3レンズ群Gc中の接合レンズLcの最も物体側の面の曲率半径

rc2：第3レンズ群Gc中の接合レンズLcの最も像側の面の曲率半径

【 0 0 4 1 】

条件式(4)は、第3レンズ群Gc中の物体側に凹面を向けた接合レンズLcの全体での形状因子の逆数を規定する条件である。この条件は球面収差とサジタルコマ収差の補正に大きく関わっている。この条件式(4)に設定されている値が負(0を越え-1までの範囲)であると言うことは、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状であることを示している。また、この条件式(4)に設定されている値が正(0を超え+1未満範囲)であると言うことは、像側に凸面を向けた負メニスカス形状であることを示し、さらに+1を越えると、像側に平面を向けた平凹形状を越えて、両凹形状の負レンズになることを意味する。

20

【 0 0 4 2 】

条件式(4)の上限値を上回る場合、接合レンズLcが負レンズの場合、像側に凸面を向けた負メニスカス形状から大きく形状を変え、平凹形状から両凹形状となる。その場合、球面収差、コマ収差の補正、非点収差が悪化し好ましくない。なお、条件式(4)の上限値を0.90に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(4)の上限値を0.85に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(4)の上限値を0.80に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

30

【 0 0 4 3 】

また、条件式(4)の下限値を下回る場合、接合レンズLcが負レンズの場合、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状に変化し、まったく逆の形状になることを意味する。この場合、球面収差はもとより、サジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式(4)の下限値を0.10に設定すると、上述の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(4)の下限値を0.30に設定すると、上述の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(4)の下限値を0.36に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

40

【 0 0 4 4 】

また、本実施形態に係る光学系OSは、次の条件式(5)を満足することが望ましい。

【 0 0 4 5 】

$$0.10 < fd / f0 < 4.00 \quad (5)$$

但し、

fd：第4レンズ群Gdの焦点距離

f0：無限遠合焦時の全系の焦点距離

50

【 0 0 4 6 】

条件式 (5) は、第 4 レンズ群 G d の焦点距離の大小、言い換えれば屈折力の大小を規定する条件である。

【 0 0 4 7 】

この条件式 (5) の上限値を上回る場合、この第 4 レンズ群 G d の焦点距離が著しく長くなり、正の屈折力が弱くなることを意味している。この場合、サジタルコマ収差、像面湾曲、非点収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式 (5) の上限値を 3 . 0 0 に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式 (5) の上限値を 2 . 0 0 に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式 (5) の上限値を 0 . 9 2 に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

10

【 0 0 4 8 】

また、条件式 (5) の下限値を下回る場合、第 4 レンズ群 G d の焦点距離が著しく短くなり、正の屈折力が著しく強くなることを意味している。その場合、結果的に球面収差、サジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差の補正が悪化し好ましくない。また偏芯に対する敏感度も増し好ましくない。なお、条件式 (5) の下限値を 0 . 2 0 に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式 (5) の下限値を 0 . 3 0 に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式 (5) の下限値を 0 . 4 0 に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【 0 0 4 9 】

また、本実施形態に係る光学系 O S は、次の条件式 (6) を満足することが望ましい。

20

【 0 0 5 0 】

$$1 . 0 0 < f a / f 0 < 1 0 . 0 \quad (6)$$

但し、

f a : 第 1 レンズ群 G a の焦点距離

f 0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【 0 0 5 1 】

条件式 (6) は前記第 1 レンズ群 G a の最適な焦点距離を規定する条件である。

【 0 0 5 2 】

この条件式 (6) の上限値を上回る場合、正の屈折力が弱くなることを意味している。この場合、球面収差の補正が悪化し好ましくない。また、前玉径の増大をまねき好ましくない。なお、条件式 (6) の上限値を 8 . 0 0 に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式 (6) の上限値を 7 . 0 0 に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式 (6) の上限値を 5 . 0 0 に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

30

【 0 0 5 3 】

また、条件式 (6) の下限値を下回る場合、正の屈折力が強くなることを意味している。その場合、結果的にコマ収差、球面収差、歪曲収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式 (6) の下限値を 1 . 1 5 に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式 (6) の下限値を 1 . 2 0 に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式 (6) の下限値を 1 . 3 3 に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

40

【 0 0 5 4 】

また、本実施形態に係る光学系 O S は、次の条件式 (7) を満足することが望ましい。

【 0 0 5 5 】

$$0 . 3 0 < (- f b) / f 0 < 3 0 . 0 0 \quad (7)$$

但し、

f b : 第 2 レンズ群 G b の焦点距離

f 0 : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

【 0 0 5 6 】

条件式 (7) は第 2 レンズ群 G b の焦点距離を規定する条件である。

50

【 0 0 5 7 】

この条件式(7)の上限値を上回る場合、第2レンズ群G bの負の屈折力が弱くなることを意味している。この場合、像面湾曲、非点収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式(7)の上限値を20.00に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(7)の上限値を10.00に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(7)の上限値を8.00に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【 0 0 5 8 】

また、条件式(7)の下限値を下回る場合、前記第2レンズ群G bの負の屈折力が強くなることを意味している。その場合、結果的にコマ収差、球面収差、歪曲収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式(7)の下限値を1.00に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(7)の下限値を1.20に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(7)の下限値を1.35に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

10

【 0 0 5 9 】

また、本実施形態に係る光学系OSは、第3レンズ群G cが負の屈折力を有する場合、次の条件式(8)を満足することが望ましい。

【 0 0 6 0 】

$$0.3 < (-f_c) / f_0 < 30.0 \quad (8)$$

但し、

f_c : 第3レンズ群G cの焦点距離

f₀ : 無限遠合焦時の全系の焦点距離

20

【 0 0 6 1 】

条件式(8)は第3レンズ群G cの焦点距離を規定する条件である。

【 0 0 6 2 】

この条件式(8)の上限値を上回る場合、第3レンズ群G cの負の屈折力が弱くなることを意味している。この場合、像面湾曲、非点収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式(8)の上限値を20.0に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(8)の上限値を10.0に設定すると、より上述の諸収差の補正が有利になる。また、条件式(8)の上限値を5.0に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

30

【 0 0 6 3 】

また、条件式(8)の下限値を下回る場合、第3レンズ群G cの負の屈折力が強くなることを意味している。その場合、結果的にサジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差、球面収差の補正が悪化し好ましくない。なお、条件式(8)の下限値を0.4に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(8)の下限値を0.5に設定すると、球面収差等の諸収差の補正に有利となる。また、条件式(8)の下限値を0.7に設定することによって、本願の効果を最大限に発揮できる。

【 0 0 6 4 】

また、本実施形態に係る光学系OSは、第2レンズ群G bと第3レンズ群G cとの間、または第3レンズ群G cと第4レンズ群G dとの間に、この光学系OSのFナンバーを決定する開口絞りSを有することが、倍率色収差、歪曲収差の良好な補正のために好ましい。

40

【 0 0 6 5 】

また、このような光学系OSにおいて、第1レンズ群G aまたは第2レンズ群G bに、少なくとも1面の非球面を有することが、下方コマ収差、サジタルコマ収差、球面収差の補正が良好になり好ましい。

【 0 0 6 6 】

また、このような光学系において、第4レンズ群G dには、少なくとも1面の非球面を有することが、上方コマ収差、サジタルコマ収差、球面収差、歪曲収差等の補正を良好に

50

するので好ましい。

【0067】

なお、開口絞りSを挟んで前後に1面ずつの非球面を有することは、球面収差、サジタルコマ収差、メリジオナルコマ収差等の大口径に起因する収差を補正するのに有効である。

【0068】

また、このような光学系OSにおいて、第4レンズ群Gd中の接合正レンズLdは、正負正の3枚接合レンズであることが、球面収差、サジタルコマ収差の補正に好ましい。

【0069】

また、本実施形態に係る光学系OSにおいて、第1レンズ群Gaを構成する正レンズ成分La並びに、第2レンズ群Gb中の像側の負レンズ成分Lb2は、図1、図3、図5及び図7においては単レンズで構成されているが、2枚以上の単レンズを接合した接合レンズで構成しても良い。

10

【0070】

図9に、上述の光学系OSを備える撮像装置として、一眼レフカメラ1（以後、単にカメラと記す）の略断面図を示す。このカメラ1において、不図示の物体（被写体）からの光は、撮影レンズ2（光学系OS）で集光されて、クイックリターンミラ-3を介して焦点板4に結像される。そして、焦点板4に結像された光は、ペンタプリズム5中で複数回反射されて接眼レンズ6へと導かれる。これにより、撮影者は、物体（被写体）像を、接眼レンズ6を介して正立像として観察することができる。

20

【0071】

また、撮影者によって不図示のレリ-ズボタンが押されると、クイックリターンミラ-3が光路外へ退避し、撮影レンズ2で集光された不図示の物体（被写体）の光は撮像素子7上に被写体像を形成する。これにより、物体（被写体）からの光は、当該撮像素子7により撮像され、物体（被写体）画像として不図示のメモリに記録される。このようにして、撮影者は本カメラ1による物体（被写体）の撮影を行うことができる。なお、図9に記載のカメラ1は、撮影レンズ2を着脱可能に保持するものでも良く、撮影レンズ2と一体に成形されるものでも良い。また、カメラ1は、いわゆる一眼レフカメラでも良く、クイックリターンミラ-等を有さないコンパクトカメラ若しくはミラ-レスの一眼レフカメラでも良い。

30

【0072】

ここで、本カメラ1に撮影レンズ2として上述した光学系OSを搭載することにより、その特徴的なレンズ構成によって、球面収差、サジタルコマフレアー、像面湾曲、コマ収差の少ない大口径レンズを実現している。これにより本カメラ1は、球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、メリジオナルコマ収差の少なく、大口径を有し、広角撮影可能な撮像装置を実現することができる。

【0073】

また、以下に記載の内容は、光学性能を損なわない範囲で適宜採用可能である

【0074】

本実施形態では、4群構成の光学系OSを示したが、以上の構成条件等は、5群、6群等の他の群構成にも適用可能である。また、最も物体側にレンズまたはレンズ群を追加した構成や、最も像側にレンズまたは前群後群間等にレンズ群を追加した構成、若しくは各レンズ群の間にレンズ群を追加した構成でも構わない。

40

【0075】

また、本実施形態では全体（全群）繰り出しによって無限遠物体から近距離物体に対して合焦するが、単独または複数のレンズ群、または部分レンズ群を光軸方向に移動させて、無限遠物体から近距離物体への合焦を行う合焦レンズ群としても良い。すなわち、第1レンズ群Ga等を用いる方式や第3レンズ群Gc、第4レンズ群Gdを用いたリヤフォーカスでも良い。この場合、前記合焦レンズ群はオートフォーカスにも適用でき、オートフォーカス用の（超音波モーター等を用いた）モーター駆動にも適している。

50

【 0 0 7 6 】

また、レンズ群または部分レンズ群を光軸に垂直な方向の成分を持つように移動させ、または、光軸を含む面内方向に回転移動（揺動）させて、手ぶれによって生じる像ぶれを補正する防振レンズ群としても良い。特に、第3レンズ群G c、第4レンズ群G dの少なくとも一枚を防振レンズ群とするのが好ましい。

【 0 0 7 7 】

また、レンズ面は、球面または平面で形成されても、非球面で形成されても構わない。レンズ面が球面または平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を妨げるので好ましい。また、光軸方向に像面がずれた場合でも描写性能の劣化が少ないので好ましい。レンズ面が非球面の場合、非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスモールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれの非球面でも構わない。また、レンズ面は回折面としても良く、レンズを屈折率分布型レンズ（GRINレンズ）あるいはプラスチックレンズとしても良い。

10

【 0 0 7 8 】

また、開口絞りSは光学系OSの中央近傍に配置されるのが好ましいが、開口絞りとしての部材を設けずに、レンズの枠でその役割を代用しても良い。

【 0 0 7 9 】

さらに、各レンズ面には、フレアやゴーストを軽減し高コントラストの高い光学性能を達成するために、広い波長域で高い透過率を有する反射防止膜を施しても良い。

20

【 0 0 8 0 】

以下、本実施形態に係る光学系OSの製造方法の概略を、図10を参照して説明する。この光学系OSの製造方法は、光軸に沿って物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G aと、負の屈折力を有する第2レンズ群G bと、第3レンズ群G cと、正の屈折力を有する第4レンズ群G dと、を配置する。具体的には、第1レンズ群G aとして、少なくとも1枚の正レンズ成分L aを配置し（ステップS 1 0 0）、第2レンズ群G bとして、少なくとも1枚の負レンズ成分L b 2を配置し（ステップS 2 0 0）、第3レンズ群G cとして、物体側に凹面を向けた負レンズL c nと正レンズL c pとの接合による接合レンズL cを配置し（ステップS 3 0 0）、第4レンズ群G dとして、少なくとも正レンズL d p 1と負レンズL d nと正レンズL d p 2とが接合された接合正レンズL dを配置する（ステップS 4 0 0）。このとき、各群は、上述の条件式（1）及び条件式（2）を満足する。

30

【 0 0 8 1 】

以上説明したように、本実施形態に係る光学系OSによれば、カメラ等の撮像装置、印刷用レンズ、複写用レンズに好適な、小型で高性能なレンズ、およびそれを用いた撮像装置を提供することができる。

【実施例】

【 0 0 8 2 】

以下、光学系OSの実施例を、図面に基づいて説明する。なお、図1、図3、図5及び図7は、各実施例に係る光学系OS（OS 1～OS 4）の構成を示している。

40

【 0 0 8 3 】

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、高さyにおける各非球面の頂点の接平面から各非球面までの光軸に沿った距離（サグ量）をS（y）とし、基準球面の曲率半径（近軸曲率半径）をrとし、円錐定数をとし、n次の非球面係数をA nとしたとき、以下の式（a）で表される。なお、以降の実施例において、「E - n」は「 $\times 10^{-n}$ 」を示す。

【 0 0 8 4 】

$$S(y) = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (y^2 / r^2)\}^{1/2}] \\ + A4 \times y^4 + A6 \times y^6 + A8 \times y^8 + A10 \times y^{10} \\ + A12 \times y^{12} + A14 \times y^{14} \quad (a)$$

50

【 0 0 8 5 】

なお、各実施例において、2次の非球面係数A2は0である。また、各実施例の表中において、非球面には面番号の左側に*を付している。

【 0 0 8 6 】

[第 1 実施例]

図1は、第1実施例に係る光学系OS1の構成を示す図である。この光学系OS1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ（正レンズ成分）Laよりなる第1レンズ群Gaと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb1pと物体側に凸面を向け、像側に非球面を有した負メニスカスレンズLb1nとの接合による接合正レンズLb1、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ（負レンズ成分）Lb2よりなり、全体で負の屈折力を有する第2レンズ群Gbと、開口絞りSと、両凹レンズ（負レンズ）Lcnと両凸レンズ（正レンズ）Lcpとが接合された接合負レンズLcからなる第3レンズ群Gcと、両凸レンズ（正レンズ）Ldp1と両凹レンズ（負レンズ）Ldnと像側の面に非球面を有する両凸レンズ（正レンズ）Ldp2との3枚接合によりなる接合正レンズLdを有する第4レンズ群Gdと、から構成される。なお、この光学系OS1の第4レンズ群Gdと像面との間には、オプティカル・ローパス・フィルター相当のダミーガラスFLが配置されている。

【 0 0 8 7 】

以下の表1に、本第1実施例に係る光学系OS1の諸元の値を掲げる。この表1の全体諸元において、fは焦点距離、FNOはFナンバー、 θ は半画角（単位：度）、Yは像高、TLは光学系OS1の全長、及び、Bfはバックフォーカスをそれぞれ表している。なお、全長TLは、この光学系OS1の最も物体側のレンズ面（第1面）から像面までの光軸上の距離を示し、空気換算バックフォーカスBfは、ダミーガラスFLを取り除いたときの、この光学系OS1の最も像側のレンズ面（第15面）から像面までの光軸上の距離を表している。また、レンズデータにおいて、第1欄mは、光線の進行する方向に沿った物体側からの光学面の順序（面番号）を、第2欄rは、各光学面の曲率半径を、第3欄dは、各光学面から次の光学面までの光軸上の距離（面間隔）を、第4欄d及び第5欄ndは、それぞれd線（波長 $\lambda = 587.6\text{nm}$ ）に対するアッペ数及び屈折率を示している。なお、この表1に示す面番号1～17は、図1に示す番号1～17に対応している。また、曲率半径0.0000はレンズ面においては平面を示し、開口絞りSにおいては開口を示す。また、空気の屈折率1.00000は省略してある。また、最終面（第17面）の面間隔は、像面までの光軸上の距離である。また、レンズ群焦点距離は、各レンズ群が開始する面番号（始面）および各レンズ群の焦点距離をそれぞれ示している。

【 0 0 8 8 】

ここで、以下の全ての諸元値において掲載されている焦点距離f、曲率半径r、面間隔d、その他長さの単位は一般に「mm」が使われるが、光学系は、比例拡大または比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、これらの符号の説明及び諸元表の説明は以降の実施例においても同様である。

【 0 0 8 9 】

(表 1)

[全体諸元]

f = 58.0216
 FNO = F1.450
 θ = 20.82
 Y = 21.6
 TL = 93.67772
 空気換算 Bf = 38.71868

[レンズデータ]

m r d d nd

10

20

30

40

50

1	51.7941	6.0000	49.53	1.744430
2	191.5939			
3	39.9792	6.0000	52.34	1.755000
4	546.9494	1.5000	70.31	1.487490
* 5	42.1536	3.0776		
6	153.1313	1.5000	31.16	1.688930
7	29.6376	7.0000		
8	0.0000	7.0000		
9	-31.4836	1.7000	28.46	1.728250
10	29.5494	7.0000	40.77	1.883000
11	-215.6486	0.1000		
12	91.3538	6.8000	40.66	1.883000
13	-38.7052	1.5000	48.78	1.531720
14	64.0255	5.0000	49.53	1.744430
*15	-83.7702	37.0000		
16	0.0000	2.0000	64.12	1.516800
17	0.0000	0.4001		

開口絞り S

10

[レンズ群焦点距離]

レンズ群	始面	焦点距離
第1レンズ群	1	93.63734
第2レンズ群	3	-115.37445
第3レンズ群	9	-75.09440
第4レンズ群	12	33.97007

20

【 0 0 9 0 】

この第1実施例に係る光学系OS1において、第5面及び第15面の各レンズ面は非球面形状に形成されている。次の表2に、非球面データ、すなわち円錐定数及び各非球面定数A4~A14の値を示す。

【 0 0 9 1 】

(表2)

		A 4	A 6	A 8	A 10
第5面	1.1611	1.40711E-06	-3.99157E-09	3.28658E-11	-3.91067E-14
		A 12	A 14		
		-0.33074E-15	0.95281E-18		

30

		A 4	A 6	A 8	A 10
第15面	17.1429	9.22239E-06	5.47649E-09	1.42127E-11	1.99956E-14
		A 12	A 14		
		-0.53856E-16	0.20086E-18		

【 0 0 9 2 】

次の表3に、この第1実施例に係る光学系OS1に対する各条件式対応値を示す。但し、Nd p 1は第4レンズ群G d中の接合正レンズL dの最も物体側の正レンズL d p 1の媒質のd線に対する屈折率を、Nd p 2は第4レンズ群G d中の接合正レンズL dの最も像側の正レンズL d p 2の媒質のd線に対する屈折率を、Nd nは第4レンズ群G d中の接合正レンズの中央に位置する負レンズL d nの媒質のd線に対する屈折率を、Nc pは第3レンズ群G c中の接合レンズL c中の正レンズL c pの媒質のd線に対する屈折率を、Nc nは第3レンズ群G c中の接合レンズL c中の負レンズL c nの媒質のd線に対する屈折率を、rd 1は第4レンズ群G d中の接合正レンズL d中の中央の負レンズL d nの物体側の面の曲率半径を、rd 2は第4レンズ群G d中の接合正レンズL d中の中央の負レンズL d nの像側の面の曲率半径を、rc 1は第3レンズ群G c中の接合レンズL c

40

50

中の最も物体側の面の曲率半径を、 r_{c2} は第3レンズ群 G_c 中の接合レンズ L_c 中の最も像側の面の曲率半径を、 f_d は第4レンズ群 G_d の焦点距離を、 f_0 は無遠合焦時の全系の焦点距離を、 f_a は第1レンズ群 G_a の焦点距離を、 f_b は第2レンズ群 G_b の焦点距離を、 f_c は第3レンズ群 G_c の焦点距離をそれぞれ示す。これらの符号の説明は以降の実施例においても同様である。

【0093】

(表3)

$$(1) (Nd_{p1} + Nd_{p2}) / 2 - Nd_n = 0.2820$$

$$(2) N_{cp} - N_{cn} = 0.1548$$

$$(3) (rd_2 + rd_1) / (rd_2 - rd_1) = 0.2465$$

$$(4) (rc_2 - rc_1) / (rc_2 + rc_1) = 0.7452$$

$$(5) f_d / f_0 = 0.5855$$

$$(6) f_a / f_0 = 1.6138$$

$$(7) (-f_b) / f_0 = 1.9885$$

$$(8) (-f_c) / f_0 = 1.2943$$

【0094】

このように、第1実施例に係る光学系 OS_1 は、上記条件式(1)~(8)を全て満足している。

【0095】

図2に、この第1実施例に係る光学系 OS_1 の無限遠合焦状態における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差、及び、コマ収差の諸収差図を示す。各収差図において、 FNO はFナンバーを、 Y は像高を、 θ は半画角[単位:度]を、それぞれ示している。また、各収差図において、 d は d 線(波長 = 587.6nm)、及び、 g は g 線(波長 = 435.8nm)に対する収差を表している。また、非点収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリジオナル像面を示している。また、コマ収差図は、各半画角において、実線は d 線及び g 線に対するメリジオナルコマ収差を表し、原点より左側の破線は d 線に対してメリジオナル方向に発生するサジタルコマ収差、原点より右側の破線は d 線に対してサジタル方向に発生するサジタルコマ収差を表している。なお、この収差図の説明は以降の実施例においても同様である。この図2に示す各収差図から明らかなように、この第1実施例に係る光学系 OS_1 では、球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、非点収差、メリジオナルコマ収差を含め諸収差が良好に補正されており、高い光学性能を有していることが分かる。

【0096】

[第2実施例]

図3は、第2実施例に係る光学系 OS_2 の構成を示す図である。この光学系 OS_2 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向け、物体側に非球面を有した正メニスカスレンズ(正レンズ成分) L_a よりなる第1レンズ群 G_a と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L_{b1p} と物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{b1n} との接合による接合正レンズ L_{b1} 、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ(負レンズ成分) L_{b2} よりなり、全体で負の屈折力を有する第2レンズ群 G_b と、開口絞り S と、両凹レンズ(負レンズ) L_{cn} と両凸レンズ(正レンズ) L_{cp} とが接合された接合負レンズ L_c からなる第3レンズ群 G_c と、両凸レンズ(正レンズ) L_{dp1} と両凹レンズ(負レンズ) L_{dn} と像側の面に非球面を有する両凸レンズ(正レンズ) L_{dp2} との3枚接合によりなる接合正レンズ L_d を有する第4レンズ群 G_d と、から構成される。

【0097】

以下の表4に、本第2実施例に係る光学系 OS_2 の諸元の値を掲げる。なお、この表4に示す面番号1~15は、図3に示す番号1~15に対応している。

【0098】

(表4)

[全体諸元]

10

20

30

40

50

f = 58.0216
 F N O = F 1.450
 = 20.86
 Y = 21.6
 T L = 92.20380
 B f = 38.70000

[レンズデータ]

m	r	d	d	nd	
* 1	52.8577	6.0000	49.53	1.744430	10
2	229.3475	0.1000			
3	40.3738	6.0000	52.34	1.755000	
4	354.9744	1.5000	70.31	1.487490	
5	42.4134	4.1038			
6	290.8467	1.5000	31.16	1.688930	
7	31.6359	6.0000			
8	0.0000	6.0000			開口絞り S
9	-30.7873	1.7000	28.46	1.728250	
10	35.1427	7.0000	40.77	1.883000	
11	-131.1407	0.1000			20
12	118.7661	6.0000	40.66	1.883000	
13	-44.2318	1.5000	48.78	1.531720	
14	44.2683	6.0000	49.53	1.744430	
*15	-77.2943	38.7000			

[レンズ群焦点距離]

レンズ群	始面	焦点距離	
第 1 レンズ群	1	90.95005	
第 2 レンズ群	3	-104.24131	
第 3 レンズ群	9	-84.89588	30
第 4 レンズ群	12	35.19680	

【 0 0 9 9 】

この第 2 実施例に係る光学系 O S 2 において、第 1 面及び第 1 5 面の各レンズ面は非球面形状に形成されている。次の表 5 に、非球面データ、すなわち円錐定数及び各非球面定数 A 4 ~ A 14 の値を示す。

【 0 1 0 0 】

(表 5)

		A 4	A 6	A 8	A 10	
第 1 面	0.5721	1.10084E-07	6.21998E-10	-4.25694E-13	0.00000E+00	
		A 12	A 14			40
		0.00000	0.00000			
		A 4	A 6	A 8	A 10	
第 15 面	14.1597	8.65514E-06	4.15194E-09	1.25812E-11	1.22728E-14	
		A 12	A 14			
		0.00000	0.00000			

【 0 1 0 1 】

次の表 6 に、この第 2 実施例に係る光学系 O S 2 に対する各条件式対応値を示す。

【 0 1 0 2 】

(表 6)

- (1) ((N d p 1 + N d p 2) / 2) - N d n = 0.2820
- (2) N c p - N c n = 0.1548
- (3) (r d 2 + r d 1) / (r d 2 - r d 1) = 0.0004124
- (4) (r c 2 - r c 1) / (r c 2 + r c 1) = 0.6197
- (5) f d / f 0 = 0.6066
- (6) f a / f 0 = 1.5675
- (7) (- f b) / f 0 = 1.7966
- (8) (- f c) / f 0 = 1.4632

【 0 1 0 3 】

このように、第 2 実施例に係る光学系 O S 2 は、上記条件式 (1) ~ (8) を全て満足している。 10

【 0 1 0 4 】

図 4 に、この第 2 実施例に係る光学系 O S 2 の無限遠合焦状態における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差、及び、コマ収差の諸収差図を示す。この図 4 に示す各収差図から明らかなように、この第 2 実施例に係る光学系 O S 2 では、球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、非点収差、メリジオナルコマ収差を含め諸収差が良好に補正されており、高い光学性能を有していることが分かる。

【 0 1 0 5 】

[第 3 実施例]

図 5 は、第 3 実施例に係る光学系 O S 3 の構成を示す図である。この光学系 O S 3 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向け、物体側の面に非球面を有した正メニスカスレンズ (正レンズ成分) L a よりなる第 1 レンズ群 G a と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ (負レンズ成分) L b 2 よりなり、全体で負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G b と、開口絞り S と、両凹レンズ (負レンズ) L c n と両凸レンズ (正レンズ) L c p とが接合された接合負レンズ L c からなる第 3 レンズ群 G c と、両凸レンズ (正レンズ) L d p 1 と両凹レンズ (負レンズ) L d n と像側の面に非球面を有する両凸レンズ (正レンズ) L d p 2 との 3 枚接合によりなる接合正レンズ L d を有する第 4 レンズ群 G d と、から構成される。 20

【 0 1 0 6 】

以下の表 7 に、本第 3 実施例に係る光学系 O S 3 の諸元の値を掲げる。なお、この表 7 に示す面番号 1 ~ 1 4、図 5 に示す番号 1 ~ 1 4 に対応している。 30

【 0 1 0 7 】

(表 7)

[全体諸元]

- f = 58.0216
- F N O = F 1.440
- = 20.87
- Y = 21.6
- T L = 93.82445
- B f = 38.69998

40

[レンズデータ]

m	r	d	d	n d
* 1	54.7137	7.0000	49.53	1.744430
2	308.4327	0.1000		
3	42.3272	9.4730	52.34	1.755000
4	55.7512	3.7515		
5	205.5926	1.5000	32.19	1.672700
6	30.2418	6.0000		
7	0.0000	6.0000		

開口絞り S

50

8	-28.1625	1.7000	28.46	1.728250
9	36.4172	7.0000	40.77	1.883000
10	-87.6276	0.1000		
11	147.1989	5.0000	40.66	1.883000
12	-43.9773	1.5000	48.78	1.531720
13	48.6565	6.0000	49.53	1.744430
*14	-68.4596	38.7000		

[レンズ群焦点距離]

レンズ群	始面	焦点距離
第1レンズ群	1	88.30720
第2レンズ群	3	-91.08435
第3レンズ群	8	-96.49809
第4レンズ群	11	35.74226

10

【 0 1 0 8 】

この第3実施例に係る光学系OS3において、第1面及び第14面の各レンズ面は非球面形状に形成されている。次の表8に、非球面データ、すなわち円錐定数及び各非球面定数A4~A14の値を示す。

【 0 1 0 9 】

(表8)

		A 4	A 6	A 8	A 10
第1面	0.6352	1.81344E-07	2.27541E-10	-6.87261E-14	8.40488E-17
		A 12	A 14		
		0.00000	0.00000		
第14面	10.2309	8.16757E-06	7.51032E-09	-1.01253E-11	4.97307E-14
		A 12	A 14		
		0.00000	0.00000		

20

【 0 1 1 0 】

次の表9に、この第3実施例に係る光学系OS3に対する各条件式対応値を示す。

【 0 1 1 1 】

(表9)

- (1) $((Nd p 1 + Nd p 2) / 2) - Nd n = 0.2820$
- (2) $Nc p - Nc n = 0.1548$
- (3) $(rd 2 + rd 1) / (rd 2 - rd 1) = 0.05051$
- (4) $(rc 2 - rc 1) / (rc 2 + rc 1) = 0.5136$
- (5) $fd / f 0 = 0.6160$
- (6) $fa / f 0 = 1.5172$
- (7) $(-fb) / f 0 = 1.5698$
- (8) $(-fc) / f 0 = 1.6631$

30

40

【 0 1 1 2 】

このように、第3実施例に係る光学系OS3は、上記条件式(1)~(8)を全て満足している。

【 0 1 1 3 】

図6に、この第3実施例に係る光学系OS3の無限遠合焦状態における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差、及び、コマ収差の諸収差図を示す。この図6に示す各収差図から明らかなように、この第3実施例に係る光学系OS3では、球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、非点収差、メリジオナルコマ収差を含め諸収差が良好に補正されており、高い光学性能を有していることが分かる。

50

【 0 1 1 4 】

[第 4 実施例]

図 7 は、第 4 実施例に係る光学系 O S 4 の構成を示す図である。この光学系 O S 4 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ（正レンズ成分）L a よりなる第 1 レンズ群 G a と、両凸レンズ L b 1 p と像側に非球面を有した両凹レンズ L b 1 n との接合による接合正レンズ L b 1、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ（負レンズ成分）L b 2 よりなり、全体で負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G b と、開口絞り S と、両凹レンズ（負レンズ）L c n と両凸レンズ（正レンズ）L c p とが接合された接合負レンズ L c からなる第 3 レンズ群 G c と、両凸レンズ（正レンズ）L d p 1 と両凹レンズ（負レンズ）L d n と像側の面に非球面を有する両凸レンズ（正レンズ）L d p 2 との 3 枚接合によりなる接合正レンズ L d を有する第 4 レンズ群 G d と、から構成される。

10

【 0 1 1 5 】

以下の表 1 0 に、本第 4 実施例に係る光学系 O S 4 の諸元の値を掲げる。なお、この表 1 0 に示す面番号 1 ~ 1 5、図 7 に示す番号 1 ~ 1 5 に対応している。

【 0 1 1 6 】

(表 1 0)

[全体諸元]

f = 51.600
 F N O = F 1.450
 = 23.15
 Y = 21.6
 T L = 87.0000
 B f = 39.0000

20

[レンズデータ]

m	r	d	d	n d
1	51.9367	4.0000	49.53	1.744430
2	118.3912	0.1000		
3	35.6219	6.5000	52.34	1.755000
4	-603.0226	1.3000	70.31	1.487490
* 5	27.7222	2.0000		
6	42.6946	1.5000	30.13	1.698950
7	24.9009	6.0000		
8	0.0000	5.5000		
9	-24.0074	1.5000	28.38	1.728250
10	25.5171	9.0000	40.66	1.883000
11	-58.7113	0.1000		
12	1020.4761	4.0000	40.66	1.883000
13	-53.0354	1.5000	52.20	1.517420
14	179.3667	5.0000	49.53	1.744430
*15	-46.5050	39.0000		

30

開口絞り S

40

[レンズ群焦点距離]

レンズ群	始面	焦点距離
第 1 レンズ群	1	121.17989
第 2 レンズ群	3	-238.64960
第 3 レンズ群	9	-144.06235
第 4 レンズ群	12	40.91319

【 0 1 1 7 】

50

この第4実施例に係る光学系OS4において、第5面及び第15面の各レンズ面は非球面形状に形成されている。次の表11に、非球面データ、すなわち円錐定数及び各非球面定数A4~A14の値を示す。

【0118】

(表11)

		A 4	A 6	A 8	A 10
第5面	2.6344	-3.50171E-06	-3.30561E-08	1.23094E-10	-6.19348E-13
		A 12	A 14		
		0.15186E-18	0.11305E-19		

10

		A 4	A 6	A 8	A 10
第15面	-17.4521	-1.78976E-05	7.31749E-08	-1.76238E-10	2.30364E-13
		A 12	A 14		
		-0.18570E-17	0.12234E-19		

【0119】

次の表12に、この第4実施例に係る光学系OS4に対する各条件式対応値を示す。

【0120】

(表12)

$$(1) \quad (Nd_{p1} + Nd_{p2}) / 2 - Nd_n = 0.2963$$

$$(2) \quad N_{cp} - N_{cn} = 0.1548$$

$$(3) \quad (rd_2 + rd_1) / (rd_2 - rd_1) = 0.5436$$

$$(4) \quad (rc_2 - rc_1) / (rc_2 + rc_1) = 0.4195$$

$$(5) \quad f_d / f_0 = 0.7929$$

$$(6) \quad f_a / f_0 = 2.3485$$

$$(7) \quad (-f_b) / f_0 = 4.6250$$

$$(8) \quad (-f_c) / f_0 = 2.7919$$

【0121】

このように、第4実施例に係る光学系OS4は、上記条件式(1)~(8)を全て満足している。

【0122】

図8に、この第4実施例に係る光学系OS4の無限遠合焦状態における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差、及び、コマ収差の諸収差図を示す。この図8に示す各収差図から明らかのように、この第4実施例に係る光学系OS4では、球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、非点収差、メリジオナルコマ収差を含め諸収差が良好に補正されており、高い光学性能を有していることが分かる。

30

【0123】

以上の各実施例によれば、 $2\theta = 41.8 \sim 46.3^\circ$ 程度の包括角を有し、さらに大口径F1.4の口径を有し、高性能で球面収差、サジタルコマ収差、像面湾曲、メリジオナルコマ収差が良好に補正された光学系OSが実現できる。

【0124】

なお、以上の各実施例に示す光学系OS1~OS4を、上述したカメラ1に搭載することにより、上述した効果を奏することは言うまでもない。また、上記各実施例は本発明の一具体例を示しているものであり、本発明はこれらに限定されるものではない。

40

【符号の説明】

【0125】

OS (OS1~OS4) 光学系

Ga 第1レンズ群 Gb 第2レンズ群

Gc 第3レンズ群 Gd 第4レンズ群

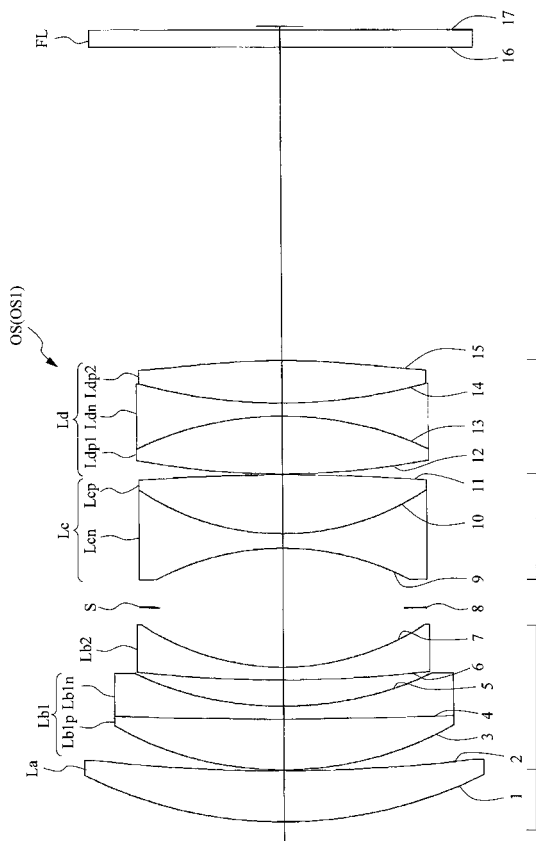
La 第1レンズ群中正レンズ成分 Lb2 第2レンズ群中負レンズ成分

Lc 第3レンズ群中接合レンズ

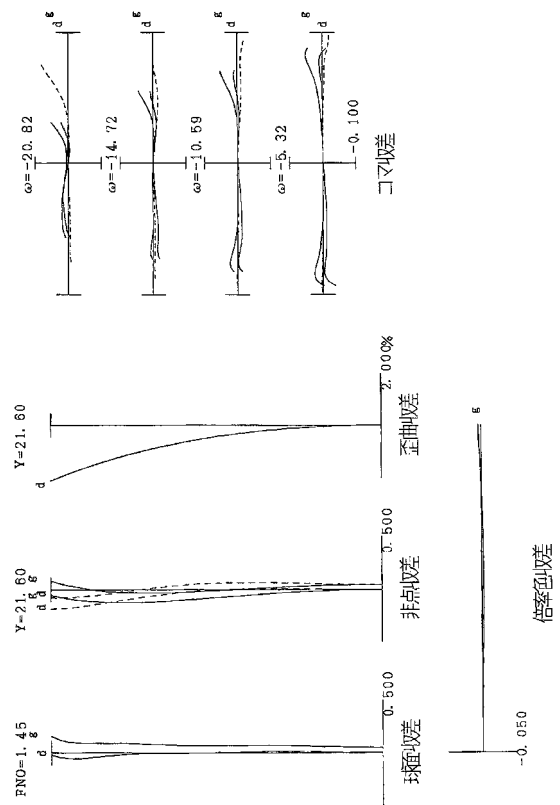
50

- L d 第4レンズ群中接合正レンズ
- L d p 1 接合正レンズ中の物体側の正レンズ
- L d n 接合正レンズ中の負レンズ
- L d p 2 接合正レンズ中の像側の正レンズ
- S 開口絞り 1 一眼レフカメラ(撮像装置)

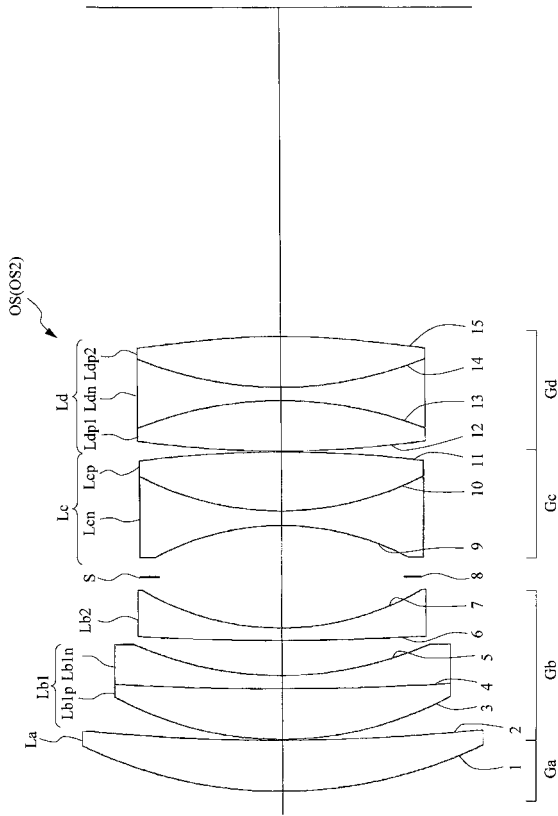
【 図 1 】



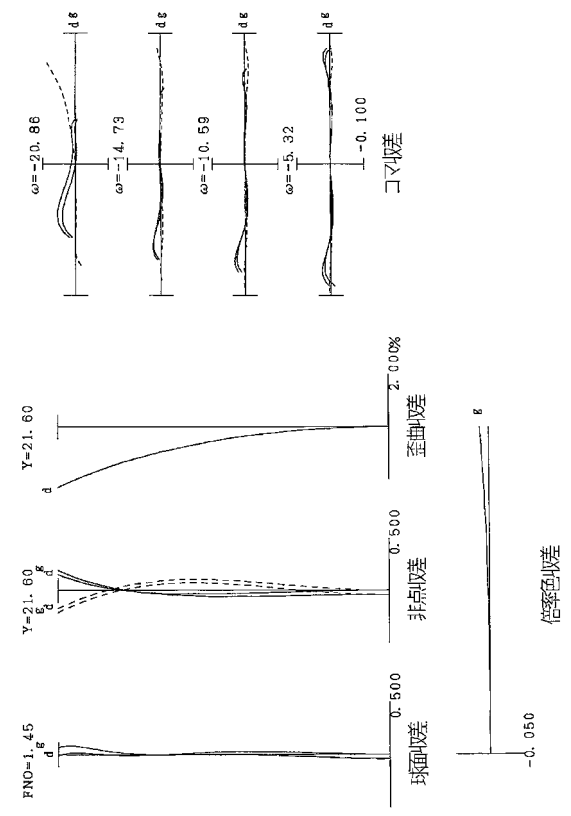
【 図 2 】



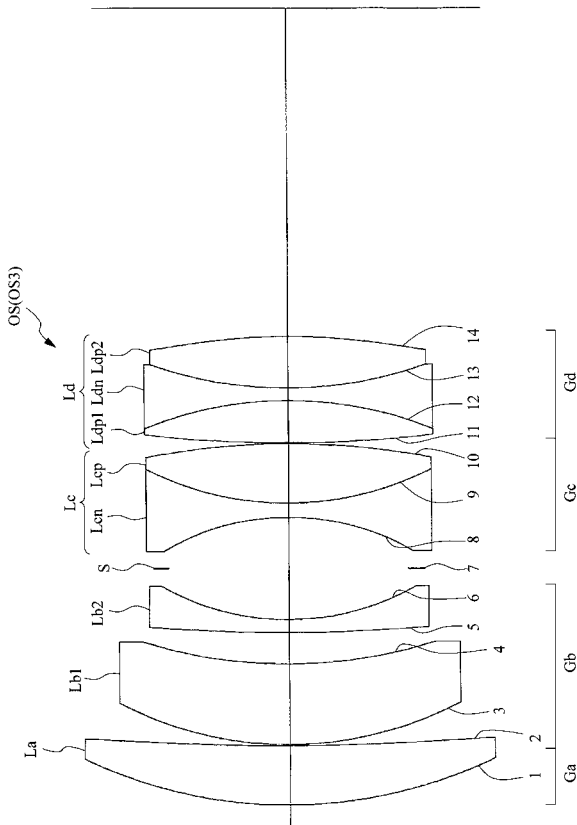
【 図 3 】



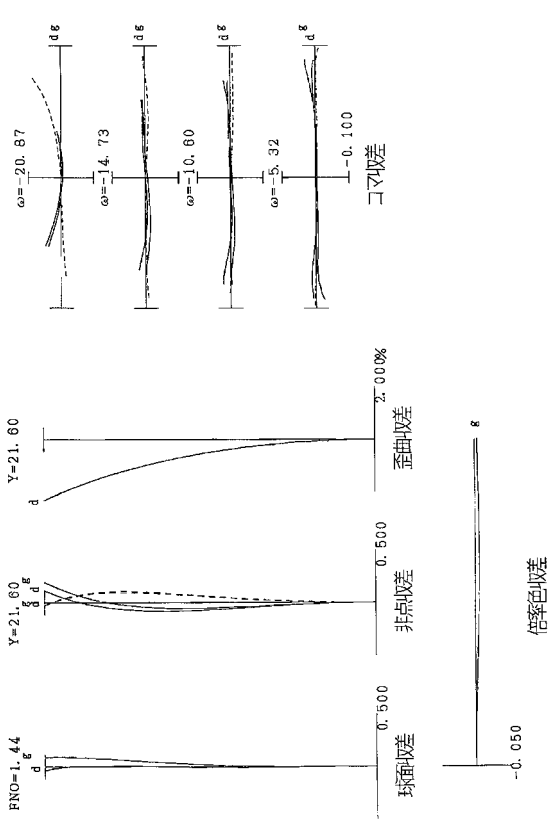
【 図 4 】



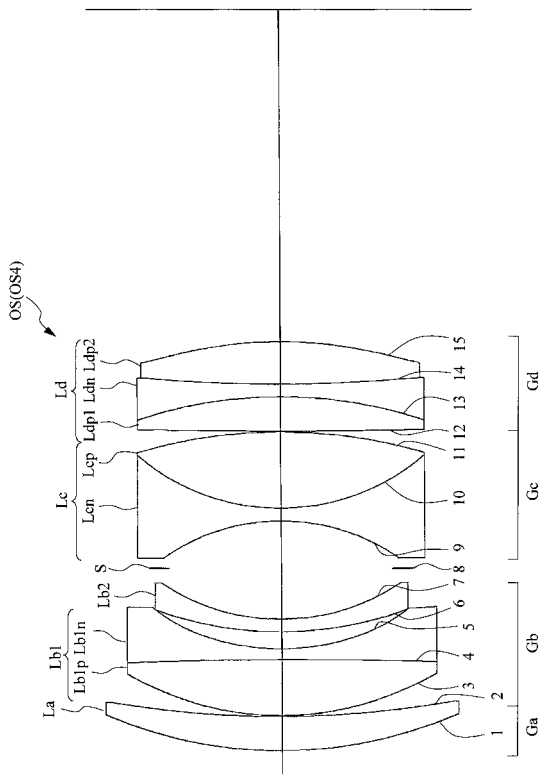
【 図 5 】



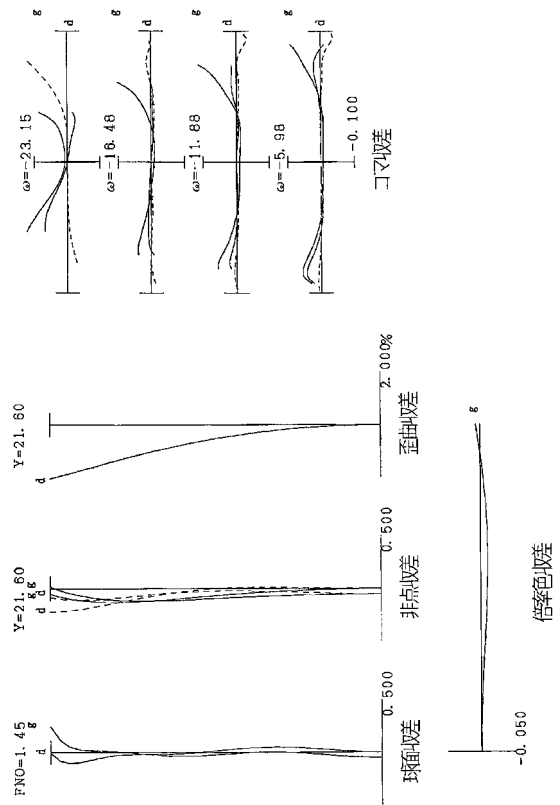
【 図 6 】



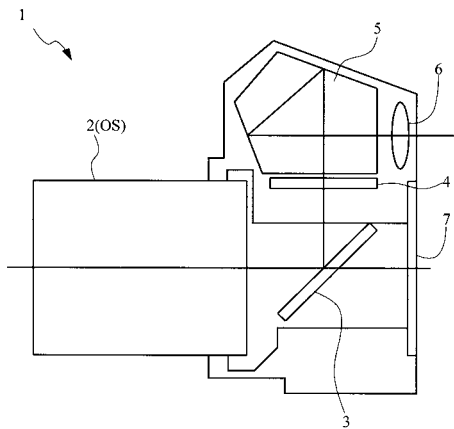
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

