

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6615159号
(P6615159)

(45) 発行日 令和1年12月4日(2019.12.4)

(24) 登録日 令和1年11月15日(2019.11.15)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 2 B 13/02 (2006.01) G 0 2 B 13/02

請求項の数 20 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-152258 (P2017-152258) (22) 出願日 平成29年8月7日 (2017.8.7) (65) 公開番号 特開2019-32390 (P2019-32390A) (43) 公開日 平成31年2月28日 (2019.2.28) 審査請求日 平成30年7月27日 (2018.7.27)</p>	<p>(73) 特許権者 000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 (74) 代理人 100086818 弁理士 高梨 幸雄 (72) 発明者 齋藤 慎一郎 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 (72) 発明者 中原 誠 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 審査官 岡田 弘</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側より像側へ順に配置された、正の屈折力の第1レンズ群、フォーカシングに際して移動する負の屈折力の第2レンズ群、第3レンズ群から構成され、フォーカシングに際して、隣り合うレンズ群の間隔が変化する光学系であって、

前記光学系は開口絞りを含み、

前記第1レンズ群は最も物体側に配置された正レンズG1Pを含む3枚以上の正レンズと複数の負レンズを有し、

前記光学系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離をLD、前記光学系の焦点距離をf、前記正レンズG1Pの材料の屈折率をndG1P、前記正レンズG1Pの材料のアッペ数をdG1P、前記正レンズG1Pの像側のレンズ面から前記複数の負レンズのうち最も物体側に位置する負レンズG1Nの物体側のレンズ面までの距離をdPNとするとき、

$$LD / f < 1.0$$

$$1.58 < ndG1P < 1.8$$

$$50 < dG1P < 75$$

$$0.17 < dPN / f < 0.45$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

【請求項2】

前記正レンズG1Pの材料の部分分散比をgFG1Pとするとき、

$$0.534 < g_{FG1P} < 0.560$$

なる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。

【請求項3】

前記正レンズG1Pの物体側のレンズ面の曲率半径をR1G1P、前記正レンズG1Pの像側のレンズ面の曲率半径をR2G1Pとするとき、

$$0.7 < (R2G1P + R1G1P) / (R2G1P - R1G1P) < 5.5$$

なる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。

【請求項4】

前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記第2レンズ群の焦点距離をf2とするとき、

$$-2.8 < f1 / f2 < -1.2$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項5】

前記負レンズG1Nの材料のアッペ数をdG1N、前記負レンズG1Nの材料の部分分散比をgFG1Nとするとき、

$$2.4 < dG1N < 4.5$$

$$0.58 < gFG1N < 0.595$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項6】

前記負レンズG1Nの物体側のレンズ面の曲率半径をR1G1N、前記負レンズG1Nの像側のレンズ面をR2G1Nとするとき、

$$-1.0 < (R2G1N + R1G1N) / (R2G1N - R1G1N) < -0.1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項7】

前記第1レンズ群の焦点距離をf1とするとき、

$$0.3 < f1 / f < 0.7$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項8】

前記正レンズG1Pのヌープ硬度をHKG1Pとするとき、

$$350 < HKG1P < 500$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項9】

前記第2レンズ群の像側のレンズ面から像面までの光軸上の距離dF2とするとき、

$$0.2 < dF2 / LD < 0.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項10】

前記第3レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、第1部分群、第2部分群、第3部分群を有し、前記第1部分群と前記第3部分群はフォーカシング及び像ぶれの補正に際して不動であり、前記第2部分群は像ぶれの補正に際して光軸に対し垂直方向の成分を含む方向に移動することを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項11】

前記第3レンズ群は、フォーカシングに際して不動であることを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項12】

前記開口絞りは、前記第1レンズ群の最も像側に配置されていることを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項13】

開口絞りと、

最も物体側に配置された正レンズG1Pを含む、前記開口絞りの物体側に配置された3

10

20

30

40

50

枚以上の正レンズと、複数の負レンズと、を有する光学系であって、

前記光学系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離を $L D$ 、前記光学系の焦点距離を f 、前記正レンズ $G 1 P$ の材料の屈折率を $n d G 1 P$ 、前記正レンズ $G 1 P$ の材料のアッベ数を $d G 1 P$ 、前記正レンズ $G 1 P$ の像側のレンズ面から前記複数の負レンズのうち最も物体側に位置する負レンズ $G 1 N$ の物体側のレンズ面までの距離を $d P N$ とするとき、

$$L D / f < 1 . 0$$

$$1 . 5 8 < n d G 1 P < 1 . 8$$

$$5 0 < d G 1 P < 7 5$$

$$0 . 1 7 < d P N / f < 0 . 4 5$$

10

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 1 4】

前記正レンズ $G 1 P$ の材料の部分分散比を $g F G 1 P$ とするとき、

$$0 . 5 3 4 < g F G 1 P < 0 . 5 6 0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 3 に記載の光学系。

【請求項 1 5】

前記正レンズ $G 1 P$ の物体側のレンズ面の曲率半径を $R 1 G 1 P$ 、前記正レンズ $G 1 P$ の像側のレンズ面の曲率半径を $R 2 G 1 P$ とするとき、

$0 . 7 < (R 2 G 1 P + R 1 G 1 P) / (R 2 G 1 P - R 1 G 1 P) < 5 . 5$ なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 3 または 1 4 に記載の光学系。

20

【請求項 1 6】

前記正レンズ $G 1 P$ のヌーブ硬度を $H K G 1 P$ とするとき、

$$3 5 0 < H K G 1 P < 5 0 0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 7】

前記負レンズ $G 1 N$ の材料のアッベ数を $d G 1 N$ 、前記負レンズ $G 1 N$ の材料の部分分散比を $g F G 1 N$ とするとき、

$$2 4 < d G 1 N < 4 5$$

$$0 . 5 8 < g F G 1 N < 0 . 5 9 5$$

30

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 8】

前記負レンズ $G 1 N$ の物体側のレンズ面の曲率半径を $R 1 G 1 N$ 、前記負レンズ $G 1 N$ の像側のレンズ面を $R 2 G 1 N$ とするとき、

$$- 1 . 0 < (R 2 G 1 N + R 1 G 1 N) / (R 2 G 1 N - R 1 G 1 N) < - 0 . 1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 9】

$$6 3 . 4 < d G 1 P < 7 5$$

40

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 0】

請求項 1 乃至 1 9 のいずれか 1 項に記載の光学系と該光学系によって形成された像を受光する撮像素子を有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は光学系及びそれを有する撮像装置に関し、例えば撮像素子を用いたビデオカメラ

50

ラ、デジタルスチルカメラ、TVカメラ、監視用カメラ等に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

デジタルカメラやビデオカメラ等の撮像装置に用いられる光学系には、焦点距離が長くFナンバーが小さい大口径で望遠型の光学系が要望されている。この他、迅速なフォーカシングが容易で諸収差、特に光学性能に大きく影響する色収差を良好に補正した高い光学性能を有する光学系であること等が要望されている。従来このような要望を満足する光学系が知られている。

【0003】

例えば、物体側から像側へ順に正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群よりなり、フォーカシングに際して第2レンズ群を移動させるインナーフォーカス式を用いた光学系が知られている(特許文献1)。この他、物体側から像側へ順に正の屈折力の第1レンズ群、正又は負の屈折力の第2レンズ群、正又は負の屈折力の第3レンズ群よりなり、フォーカシングに際して第2レンズ群を移動させる光学系が知られている(特許文献2)。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2016-218276号公報

【特許文献2】特開2012-189679号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

大口径で望遠型の光学系はレンズの有効径が大きくなり、レンズ系全体が大型化及び高重量化してくる。例えばフォーカスレンズ群の質量が大きくなると、駆動するメカ機構が大型化し、光学系全体が大型化してくる。これに対してインナーフォーカス方式は比較的、小型軽量のレンズ群でフォーカシングすることができ、迅速なるフォーカシングが容易である。

【0006】

しかしながら一般に、光学系全体を移動させるフォーカス方式に対し、インナーフォーカス方式では、フォーカスレンズ群を移動させたときの収差変動が大きくなり、物体距離全域にわたり良好に収差補正を行うことが困難になってくる。このため、望遠型の光学系において、インナーフォーカス方式を用いて色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るには、光学系を構成する各レンズ群の光学的配置や、各レンズ群の屈折力、レンズ構成等を適切に設定することが重要になってくる。

30

【0007】

本発明は、迅速なフォーカシングが容易で、かつ色収差を含めた諸収差を良好に補正した、高い光学性能を有し、しかも全系の小型化及びレンズ重量の軽量化を図ることのできる光学系及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【0008】

本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、正の屈折力の第1レンズ群、フォーカシングに際して移動する負の屈折力の第2レンズ群、第3レンズ群から構成され、フォーカシングに際して、隣り合うレンズ群の間隔が変化する光学系であって、

前記光学系は開口絞りを含み、

前記第1レンズ群は最も物体側に配置された正レンズG1Pを含む3枚以上の正レンズと複数の負レンズを有し、

前記光学系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離をLD、前記光学系の焦点距離をf、前記正レンズG1Pの材料の屈折率をndG1P、前記正レンズG1Pの材料のアッペ数をdG1P、前記正レンズG1Pの像側のレンズ面から前記複数の負レ

50

レンズのうち最も物体側に位置する負レンズG1Nの物体側のレンズ面までの距離をdPN
とすると、

$$LD/f < 1.0$$

$$1.58 < nd_{G1P} < 1.8$$

$$50 < d_{G1P} < 75$$

$$0.17 < d_{PN}/f < 0.45$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

このほか本発明の光学系は、開口絞りと、

最も物体側に配置された正レンズG1Pを含む、前記開口絞りの物体側に配置された3
枚以上の正レンズと、複数の負レンズと、を有する光学系であって、

前記光学系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離をLD、前記光学系の
焦点距離をf、前記正レンズG1Pの材料の屈折率をnd_{G1P}、前記正レンズG1Pの
材料のアッベ数をd_{G1P}、前記正レンズG1Pの像側のレンズ面から前記複数の負レ
ンズのうち最も物体側に位置する負レンズG1Nの物体側のレンズ面までの距離をdPN
とすると、

$$LD/f < 1.0$$

$$1.58 < nd_{G1P} < 1.8$$

$$50 < d_{G1P} < 75$$

$$0.17 < d_{PN}/f < 0.45$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、迅速なフォーカシングが容易で、かつ色収差を含めた諸収差を良好に補正した、高い光学性能を有し、しかも全系の小型化及びレンズ重量の軽量化を図ることのできる光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】(A)、(B) 本発明の実施例1の光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図2】(A)、(B) 本発明の実施例2の光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図3】(A)、(B) 本発明の実施例3の光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図4】(A)、(B) 本発明の実施例4の光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図5】(A)、(B) 本発明の実施例5の光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図6】本発明の撮像装置の説明図

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に本発明の好ましい実施の形態を、添付の図面に基づいて説明する。本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群およびの第3レンズ群から構成される。フォーカシングに際して第2レンズ群が移動し、隣り合うレンズ群の間隔が変化する。ここでレンズ群とは、1枚以上のレンズを有していればよく、複数枚のレンズを有していなくてもよい。

【0012】

図1(A)乃至図5(A)は本発明の実施例1乃至5の光学系のレンズ断面図である。図1(B)乃至図5(B)は実施例1乃至5の光学系の収差図である。図6は本発明の光学系を有する一眼レフカメラシステム(撮像装置)の要部概略図である。

【0013】

10

20

30

40

50

実施例 1 は F ナンバー 2 . 9、撮像半画角 4 . 2 度の望遠型の光学系である。実施例 2 は F ナンバー 2 . 9、撮像半画角 3 . 2 度の望遠型の光学系である。実施例 3 は F ナンバー 4 . 1、撮像半画角 2 . 5 度の望遠型の光学系である。実施例 4 は F ナンバー 4 . 1、撮像半画角 2 . 1 度の望遠型の光学系である。実施例 5 は F ナンバー 5 . 8、撮像半画角 1 . 6 度の望遠型の光学系である。

【 0 0 1 4 】

各実施例の光学系はビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、監視カメラ、TVカメラなどの撮像装置に用いられる撮像光学系である。尚、各実施例の光学系は投射装置（プロジェクタ）用の投射光学系として用いることもできる。レンズ断面図において、左方が物体側（前方）で、右方が像側（後方）である。

10

【 0 0 1 5 】

各レンズ断面図において、L 0 は光学系である。光学系 L 0 は正の屈折力の第 1 レンズ群 L 1、負の屈折力の第 2 レンズ群 L 2、正又は負の第 3 レンズ群 L 3 を有している。第 3 レンズ群 L 3 は、物体側から像側へ順に、不動の正の屈折力の第 1 部分群 L 3 A、像ぶれ補正に際して光軸に対し垂直方向の成分を含む方向に移動する像ぶれ補正用の負の屈折力の第 2 部分群 L 3 B、不動の第 3 部分群 L 3 C を有する。即ち第 3 レンズ群 L 3 は、フォーカシングに際して不動である。

【 0 0 1 6 】

S P は開放 F ナンバー（F n o）の光束を決定（制限）する開口絞りであり、第 1 レンズ群 L 1 と第 2 レンズ群 L 2 の間に配置されている。即ち開口絞りは第 1 レンズ群 L 1 の最も像側に配置されている。G は光学フィルター等のガラスブロックである。I P は像面であり、ビデオカメラやデジタルスチルカメラの撮影光学系として使用する際には C C D センサや C M O S センサ等の固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面が置かれる。フォーカスに関する矢印は無限遠から近距離へのフォーカシングに際してのレンズ群の移動方向を示している

20

【 0 0 1 7 】

また、各実施例の光学系では、第 3 レンズ群 L 3 の一部のレンズを防振用の部分群として、像ぶれを補正している。尚、像ぶれの補正は第 1 レンズ群 L 1、第 2 レンズ群 L 2、第 3 レンズ群 L 3 のいずれかのレンズ群で行っても良い。また、特定のレンズ群に含まれる一部のレンズを防振用の部分群としても良い。

30

【 0 0 1 8 】

収差図において F n o は F ナンバー、 θ は撮像半画角（度）であり、近軸計算による画角である。球面収差図において、d は d 線（波長 5 8 7 . 5 6 n m）、g は g 線（波長 4 3 5 . 8 3 5 n m）、C は C 線（波長 6 5 6 . 2 7 n m）、F は F 線（波長 4 8 6 . 1 3 n m）である。非点収差図において S は d 線におけるサジタル像面、M は d 線におけるメリディオナル像面である。歪曲収差は d 線について示している。倍率色収差図において g は g 線、C は C 線、F は F 線である。

【 0 0 1 9 】

多くの光学系では、レンズ全長（物体側の第 1 レンズ面から像面までの長さ）を短縮し、光学系全体の小型化を図るほど諸収差、特に軸上色収差及び倍率色収差などの色収差が多く発生し、光学性能が低下してくる。特にレンズ全長の短縮化を図った望遠型の光学系では、焦点距離が長くなるにつれて色収差の発生が多くなっていく。また、焦点距離が長くなるにつれて、正の屈折力の第 1 レンズ群の有効径が大型化しやすくなる。このため全系の小型化を図るには第 1 レンズ群 L 1 のレンズ構成を適切にすることが重要となる。

40

【 0 0 2 0 】

さらに、望遠型の光学系では物体側のレンズほど有効径が大きくなるため、F ナンバーが小さくなれば物体側のレンズの有効径も増大し、それに伴ってレンズ外径も増大し、その略 3 乗でレンズの質量が増加する。そのため、第 1 レンズ群 L 1 の最も物体側のレンズの材料の屈折率、アッベ数、比重、二次分散等を適切に設定することが非常に重要になってくる。

50

【 0 0 2 1 】

本発明の光学系 L 0 は、物体側より像側へ順に配置された、正の屈折力の第 1 レンズ群 L 1、フォーカシングに際して移動する負の屈折力の第 2 レンズ群 L 2、第 3 レンズ群 L 3 から構成され、フォーカシングに際して、隣り合うレンズ群の間隔が変化する。光学系 L 0 の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離（フィルター等の平行平板を除去したときのレンズ全長）を L D とする。光学系 L 0 の焦点距離を f、第 1 レンズ群 L 1 は最も物体側に正レンズ G 1 P を有し、正レンズ G 1 P の材料の屈折率とアッペ数を各々 $n_{d G 1 P}$ 、 $d_{G 1 P}$ とする。

【 0 0 2 2 】

このとき、

$$L D / f < 1 . 0 \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$1 . 5 8 < n_{d G 1 P} < 1 . 8 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$5 0 < d_{G 1 P} < 7 5 \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

なる条件式を満足する。

【 0 0 2 3 】

なお、材料のアッペ数 d 、部分分散比 $g F$ はフラウンホーファ線の d 線、F 線、C 線、g 線における屈折率を N_d 、 N_F 、 N_C 、 N_g とするとき、

$$d = (N_d - 1) / (N_F - N_C)$$

$$g F = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

で定義される。

【 0 0 2 4 】

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。条件式 (1) は、レンズ全長 L D が光学系全系の焦点距離 f よりも短いことを示している。ここでレンズ全長とは最も物体側のレンズ側のレンズ面頂点から最も像側のレンズの像側のレンズ面までの光軸上の長さ（光学全長）に空気換算でのバックフォーカス B F の値を加えた値である。

【 0 0 2 5 】

レンズ全長を大幅に短縮しようとする、開口絞り S P よりも物体側の前方レンズ群だけでは軸上色収差と倍率色収差をバランス良く補正することが困難となる。このため、例えば、開口絞り S P よりも像側の後方レンズ群でも色収差を補正することが必要となってくる。条件式 (1) の上限を超えると、収差補正は容易となるが、光学系が大型化し、光学系を保持する鏡筒が大型化してくる。

【 0 0 2 6 】

条件式 (2)、(3) は、第 1 レンズ群 L 1 の最も物体側に位置する正レンズ G 1 P の d 線における屈折率とアッペ数を規定し、主にレンズ全長を短縮化しつつ、球面収差、倍率色収差等を良好に補正するためのものである。条件式 (2) の上限を超えると、全系の小型化は容易となるが、屈折力が高くなりすぎ、球面収差を補正する際、正レンズ G 1 P のメニスカス形状が強くなり、歪曲収差の補正が難しくなる。条件式 (2) の下限を超えると、正レンズ G 1 P として必要な屈折力を得るためにレンズ面の曲率が強くなり、その結果、高次の球面収差が増大してくる。

【 0 0 2 7 】

条件式 (3) の上限を超えると、軸上色収差の補正は容易となるが、光学材料の特性上、アッペ数が大きくなるにつれて、屈折率が小さくなり、球面収差やコマ収差等の補正が困難になってくる。条件式 (3) の下限を超えて、アッペ数が小さくなると、軸上色収差と倍率色収差の補正が難しくなってくる。

【 0 0 2 8 】

各実施例では、条件式 (1) 乃至 (3) を満足するように各要素を適切に設定することにより、全系が軽量であり、かつ色収差等の諸収差が良好に補正された光学系を得ている。

【 0 0 2 9 】

各実施例において更に好ましくは条件式 (2)、(3) の数値範囲を次の如く設定する

10

20

30

40

50

のが良い。

$$1.585 < n_d G1P < 1.700 \quad \dots (2a)$$

$$55 < d_{G1P} < 72 \quad \dots (3a)$$

【0030】

更に好ましくは条件式(2a)及び(3a)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$1.59 < n_d G1P < 1.65 \quad \dots (2b)$$

$$58 < d_{G1P} < 70 \quad \dots (3b)$$

【0031】

本発明では以上のように各レンズ群の構成を適切にすることにより、広画角で大口径比を実現し、色収差を良好に補正した高い結像性能を有す光学系を得ている。各実施例において、更に好ましくは次の条件式のうち1以上を満足するのがよい。正レンズG1Pの材料の部分分散比を g_{FG1P} とする。前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 とする。正レンズG1Pの物体側のレンズ面と像側のレンズ面の曲率半径を各々 R_{1G1P} 、 R_{2G1P} とする。

10

【0032】

第2レンズ群L2の焦点距離を f_2 とする。第1レンズ群L1は複数の負レンズを有し、第1レンズ群L1に含まれる負レンズのうち、最も物体側に位置する負レンズG1Nの材料のアップ数と、部分分散比を各々 d_{G1N} 、 g_{FG1N} とする。負レンズG1Nの物体側のレンズ面と像側のレンズ面の曲率半径を各々 R_{1G1N} 、 R_{2G1N} とする。正レンズG1Pの像側のレンズ面から負レンズG1Nの物体側のレンズ面までの距離を d_{PN} とする。

20

【0033】

正レンズG1Pのヌーブ硬度を HK_{G1P} とする。第2レンズ群L2の像側のレンズ面頂点から像面までの光軸上の距離 d_{F2} とする。

【0034】

ここでヌーブ硬度は、工業材料の硬さを表す尺度の一つであり、押し込み硬さの一種である。また、ヌーブ硬度 HK は、

$$L^2 = \text{圧痕表面積 (単位mm}^2\text{)}$$

$$C_p = \text{補正係数} 0.070279$$

$$P = \text{加重 (単位kgf)}$$

30

とするとき、圧痕表面積で試験荷重を割って算出される。

$$HK = P / C_p L^2$$

【0035】

このとき、次の条件式のうち1つ以上を満足するのが良い。

$$0.534 < g_{FG1P} < 0.560 \quad \dots (4)$$

$$0.7 < (R_{2G1P} + R_{1G1P}) / (R_{2G1P} - R_{1G1P}) < 5.5 \quad \dots (6)$$

$$-2.8 < f_1 / f_2 < -1.2 \quad \dots (7)$$

$$2.4 < d_{G1N} < 4.5 \quad \dots (8)$$

$$0.58 < g_{FG1N} < 0.595 \quad \dots (9)$$

40

$$-1.0 < (R_{2G1N} + R_{1G1N}) / (R_{2G1N} - R_{1G1N}) < -0.1 \quad \dots (10)$$

$$0.17 < d_{PN} / f < 0.45 \quad \dots (11)$$

$$0.3 < f_1 / f < 0.7 \quad \dots (13)$$

$$350 < HK_{G1P} < 500 \quad \dots (14)$$

$$0.2 < d_{F2} / LD < 0.5 \quad \dots (15)$$

【0036】

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。条件式(4)は、第1レンズ群L1の最も物体側に位置する正レンズG1Pの材料の部分分散比を規定し、主に倍率色収差と軸上色収差をバランスを良く補正するためのものである。

50

【 0 0 3 7 】

条件式(4)の上限を超えると、軸上色収差の補正は容易となるが、光学材料の特性上、屈折率が小さくなり、正レンズG1Pの材料の屈折力が弱くなり、高次の球面収差が多く発生してくる。条件式(4)の下限を超えると、正レンズG1Pによる軸上色収差の補正効果が弱くなり、正レンズG1Pより像側のレンズの色収差の分担が増え、光線の入射高さの高い位置に部分分散比の大きなレンズを配置する必要がある。そうすると正レンズG1Pより像側のレンズの有効径が増大し、質量も増加するので良くない。

【 0 0 3 8 】

【 0 0 3 9 】

【 0 0 4 0 】

条件式(6)は、第1レンズ群L1の最も物体側に位置する正レンズG1Pのレンズ形状を規定したもので、主に球面収差を良好に補正するためのものである。条件式(6)の上限を超えると、正レンズG1Pのメニスカス形状が強くなり、歪曲収差がプラス側に強く発生し、また、レンズの製造が難しくなる。条件式(6)の下限を超えると、球面収差が過補正となり、好ましくない。

【 0 0 4 1 】

条件式(7)は、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の焦点距離の比を規定し、主にフォーカシングによる球面収差の変動を軽減するためのものである。

【 0 0 4 2 】

条件式(7)の上限を超えて、第1レンズ群L1の焦点距離が短く、屈折力が強くなると、第2レンズ群の入射する光束の収斂性が強くなる。そうすると、フォーカシングによる緒収差の変動を軽減しようとする、第2レンズ群L2の負の屈折力を強くする必要があり、製造誤差に対する球面収差の敏感度が高くなるため好ましくない。条件式(7)の下限を超えて、第2レンズ群L2の負の屈折力が強くなると、レンズ全長の短縮化は容易となるが、フォーカシングによる軸上色収差の変動が増大してくる。

【 0 0 4 3 】

条件式(8)、(9)は、第1レンズ群L1に含まれる複数の負レンズのうち最も物体側に位置する負レンズG1Nの材料のアップベ数と部分分散比を規定している。条件式(8)、(9)は軸上色収差の二次スペクトルを軽減し、第1レンズ群L1の色消しを効果的に行うためのものである。

【 0 0 4 4 】

条件式(8)の上限を超えると、色消しに必要なレンズの屈折力を得るためにレンズ面の曲率が大きくなり、その結果、高次収差が大きく発生してくる。条件式(8)の下限を超えると、全系の小型化は容易となるが、分散の大きな材料を使用するため、波長ごとの球面収差のばらつきが大きくなり、好ましくない。

【 0 0 4 5 】

条件式(9)の上限を超えると、部分分散比が大きくなり、軸上色収差の二次スペクトルの軽減が難しくなる。条件式(9)の下限を超えると、軸上色収差の二次スペクトルは軽減されるが、材料の特性上、部分分散比が小さくなるにつれて、アップベ数が大きくなり、一次の色収差の補正が困難になる。

【 0 0 4 6 】

条件式(10)は、第1レンズ群L1に含まれる負レンズのうち最も物体側に位置する負レンズG1Nのレンズ形状に関する。条件式(10)は主に球面収差とコマ収差を適切に補正するためのものである。条件式(10)の上限を超えて、負レンズG1Nの物体側のレンズ面の曲率半径が小さくなると、コマ収差の補正が難しくなる。条件式(10)の下限を超えると、軸上色収差とコマ収差をバランス良く補正するのが困難になる。

【 0 0 4 7 】

条件式(11)は、レンズ全系の焦点距離fに対する正レンズG1Pと負レンズG1Nとの光軸上の距離dPNの比を規定したものである。条件式(11)の上限を超えて、距離dPNが長くなると、負レンズG1Nに入射する軸上光線の入射高さが低くなり、負レ

10

20

30

40

50

レンズG1Nにおいて球面収差を良好に補正することが困難になる。条件式(11)の下限値を超えて、距離dPNが短くなると、正レンズG1Pと負レンズG1Nの距離が短くなり過ぎて、負レンズG1Nの有効径が大きくなり負レンズG1Nの質量が増大するので、好ましくない。

【0048】

【0049】

条件式(13)は、第1レンズ群L1の焦点距離f1と全系の焦点距離fの比を規定している。条件式(13)の上限を超えて、第1レンズ群L1の焦点距離f1が長くなると、第1レンズ群L1の正の屈折力が弱くなり過ぎて、レンズ全長が増大してくる。条件式(13)の下限を超えて、第1レンズL1の焦点距離f1が短くなると、第1レンズ群L1の正の屈折力が強くなり、球面収差や軸上色収差の補正が難しくなる。

10

【0050】

条件式(14)は正レンズG1Pの材料のヌーブ硬度HKを規定している。また、ヌーブ硬度HKは、350~500程度であることが好ましく、より好ましくは360~460程度であることがより好ましく、380~450程度であることがさらに好ましい。ヌーブ硬度HKがこのような値を満足すると、光学部品の耐薬品性がさらに高くなる。また、光学部品の表面を劣化させないように研磨することも容易となる。条件式(15)を満足することにより、全系の軽量化を図ることが容易となる。

【0051】

更に好ましくは条件式(4)、(6)乃至(11)、(13)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

20

- 0.534 < gFG1P < 0.555 . . . (4a)
- 0.75 < (R2G1P + R1G1P) / (R2G1P - R1G1P) < 3.00 . . . (6a)
- 2.5 < f1 / f2 < - 1.5 . . . (7a)
- 28 < dG1N < 35 . . . (8a)
- 0.585 < gFG1N < 0.593 . . . (9a)
- 0.90 < (R2G1N + R1G1N) / (R2G1N - R1G1N) < - 0.15 . . . (10a)
- 0.18 < dPN / f < 0.40 . . . (11a)
- 0.32 < f1 / f < 0.60 . . . (13a)
- 360 < HKG1P < 460 . . . (14a)
- 0.30 < dF2 / LD < 0.49 . . . (15a)

30

【0052】

更に好ましくは条件式(4a)、(6a)乃至(11a)、(13a)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

- 0.535 < gFG1P < 0.550 . . . (4b)
- 0.80 < (R2G1P + R1G1P) / (R2G1P - R1G1P) < 1.80 . . . (6b)
- 2.3 < f1 / f2 < - 1.6 . . . (7b)
- 30 < dG1N < 34 . . . (8b)
- 0.587 < gFG1N < 0.590 . . . (9b)
- 0.86 < (R2G1N + R1G1N) / (R2G1N - R1G1N) < - 0.25 . . . (10b)
- 0.19 < dPN / f < 0.36 . . . (11b)
- 0.34 < f1 / f < 0.55 . . . (13b)
- 380 < HKG1P < 450 . . . (14b)
- 0.35 < dF2 / LD < 0.48 . . . (15b)

40

【0053】

各実施例の光学系は、第1レンズ群L1の最も像側に開口絞りSPを有することが望まし

50

い。

【 0 0 5 4 】

第 3 レンズ群 L 3 は物体側から像側へ順に配置された、正の屈折力の第 1 部分群 L 3 A、負の屈折力の第 2 部分群 L 3 B、第 3 部分群 L 3 C からなる構成とするのが良い。そして第 2 部分群 L 3 B を光軸に対して垂直方向の成分を含む方向に移動させ像ぶれの補正を行うことが望ましい。これによれば、像ぶれ補正用の部分群の径小化が容易となる。第 3 レンズ群 L 3 は最も物体側に、負レンズと正レンズを接合した接合レンズからなる構成とすることが好ましい。これによれば、軸外のコマ収差の補正と球面収差の補正が容易になる。

【 0 0 5 5 】

次に本発明の光学系を撮像光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図 6 を用いて説明する。図 6 において、10 はカメラ本体、11 は実施例 1 乃至 5 に説明したいずれかの光学系によって構成された撮像光学系である。12 はカメラ本体内部に蔵され、撮像光学系 11 によって形成された被写体像を受光する CCD センサや CMOS センサ等の撮像素子（光電変換素子）である。

【 0 0 5 6 】

以下に本発明の実施例 1 乃至 5 に対応する数値データを示す。各数値データにおいて、 i は物体側からの面の順序を示し、 r_i は物体側より第 i 番目の面の曲率半径、 d_i は物体側より第 i 番目と第 $i + 1$ 番目の間隔、 nd_i と d_i は第 i 番目の光学部材の屈折率とアッペ数である。無限遠物体にフォーカスしたときの全系の焦点距離、F ナンバー、画角（度）を示す。BF は空気換算値（フィルター等の平行平板を除去したときの距離）でのバックフォーカスである。

【 0 0 5 7 】

各数値データにおいて最も像側の 2 つの面はフィルター等のガラスブロックである。表 1 に前述の各条件式と実施例における諸数値との関係を示す。

【 0 0 5 8 】

[数値データ 1]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF
1	142.636	10.36	1.61800	63.40	0.5395
2	803.414	87.02			
3	64.050	11.52	1.43387	95.10	0.5373
4	-4275.797	0.53			
5	-789.539	1.20	1.80610	33.27	0.5881
6	61.251	0.25			
7	55.129	9.48	1.43387	95.10	0.5373
8	293.161	5.47			
9	67.158	3.97	1.89286	20.36	0.6393
10	114.029	0.15			
11	47.312	1.40	1.83481	42.74	0.5648
12	30.444	10.09	1.43875	94.66	0.5340
13	113.939	5.13			
14(絞り)		3.69			
15	567.430	1.20	1.60300	65.44	0.5401
16	43.779	16.52			
17	93.335	1.20	1.89286	20.36	0.6393
18	58.681	4.90	1.49700	81.54	0.5375

10

20

30

40

50

19	-115.284	5.67			
20	80.365	4.02	1.85025	30.05	0.5979
21	-65.106	1.20	1.62299	58.16	0.5458
22	28.801	4.48			
23	-49.796	1.20	1.77250	49.60	0.5520
24	83.318	3.95			
25	94.977	2.93	1.69895	30.13	0.6030
26	-154.696	5.82			
27	59.250	1.20	1.94595	17.98	0.6544
28	40.611	6.51	1.66565	35.64	0.5824
29	-262.154	4.96			
30		2.20	1.51633	64.14	0.5353
31		58.94			

像面

【 0 0 5 9 】

各種データ

焦点距離	294.00
Fナンバー	2.91
半画角(度)	4.21
像高	21.64
レンズ全長	276.40
BF	65.35

10

20

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	132.30
2	15	-78.74
3	17	341.78

30

【 0 0 6 0 】

[数値データ 2]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF
1	154.557	14.23	1.59522	67.74	0.5442
2	679.875	120.54			
3	94.858	14.30	1.43700	95.10	0.5326
4	-305.077	0.17			
5	-287.520	1.50	1.80610	33.27	0.5881
6	74.517	2.79			
7	74.499	11.84	1.43700	95.10	0.5326
8		17.88			
9	67.131	5.78	1.89286	20.36	0.6393
10	126.369	1.51			
11	70.332	2.00	1.83400	37.16	0.5776
12	40.254	10.32	1.43700	95.10	0.5326
13	136.354	6.96			

40

50

14(絞リ)		5.00			
15	-565.896	1.60	1.61800	63.40	0.5395
16	60.047	36.49			
17	100.609	1.40	1.89286	20.36	0.6393
18	65.898	7.56	1.51742	52.43	0.5564
19	-93.940	1.00			
20	93.498	5.02	1.80610	33.27	0.5881
21	-121.171	1.20	1.53775	74.70	0.5392
22	36.544	5.43			
23	-82.448	1.20	1.72916	54.68	0.5444
24	68.589	3.01			
25	137.981	4.68	1.65412	39.68	0.5737
26	-1080.069	6.25			
27	71.025	10.18	1.72047	34.71	0.5834
28	-58.624	1.50	1.80810	22.76	0.6307
29	-358.198	7.77			
30		2.20	1.51633	64.14	0.5353
31		60.70			

像面

10

20

【 0 0 6 1 】

各種データ

焦点距離	392.00
Fナンバー	2.90
半画角(度)	3.16
像高	21.64
レンズ全長	371.25
BF	69.92

30

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	187.63
2	15	-87.76
3	17	246.94

【 0 0 6 2 】

[数値データ 3]

単位 mm

40

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF
1	239.937	10.05	1.59349	67.00	0.5361
2	7608.704	143.66			
3	92.480	11.58	1.43387	95.10	0.5373
4	-608.676	0.07			
5	-572.992	1.85	1.80610	33.27	0.5881
6	110.750	0.15			
7	80.486	7.96	1.43387	95.10	0.5373
8	268.516	29.41			

50

9	74.048	3.77	1.92286	18.90	0.6495
10	114.076	0.15			
11	81.966	2.10	1.83481	42.74	0.5648
12	40.684	10.10	1.43700	95.10	0.5326
13	211.722	13.05			
14(絞り)		3.76			
15	454.394	1.60	1.59522	67.74	0.5442
16	67.563	42.53			
17	250.115	1.30	1.89286	20.36	0.6393
18	41.548	4.42	1.80610	33.27	0.5881
19	-259.897	2.39			
20	69.730	4.44	1.66680	33.05	0.5957
21	-54.212	1.30	1.59522	67.74	0.5442
22	42.897	3.59			
23	-112.462	1.10	1.77250	49.60	0.5520
24	66.134	4.10			
25	75.201	2.95	1.76182	26.52	0.6136
26	-469.229	31.57			
27	64.591	4.29	1.66565	35.64	0.5824
28	519.783	1.50	1.92286	20.88	0.6391
29	117.158	4.99			
30		2.20	1.51633	64.14	0.5353
31		59.59			

像面

【 0 0 6 3 】

各種データ

焦点距離	490.00
Fナンバー	4.12
半画角(度)	2.53
像高	21.64
レンズ全長	410.77
BF	66.03

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	215.15
2	15	-133.54
3	17	7321.08

【 0 0 6 4 】

[数値データ 4]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF
1	285.176	12.69	1.59349	67.00	0.5361
2	-4767.657	161.04			
3	122.017	15.58	1.43387	95.10	0.5373

10

20

30

40

50

4	-233.175	0.00			
5	-238.384	1.60	1.80610	33.27	0.5881
6	141.021	0.15			
7	93.182	10.34	1.43387	95.10	0.5373
8	377.979	45.03			
9	80.811	5.76	1.84666	23.88	0.6218
10	182.524	0.15			
11	120.397	2.00	1.80420	46.50	0.5572
12	44.703	13.45	1.43700	95.10	0.5326
13	642.625	15.35			
14(絞リ)		3.49			
15	491.750	1.60	1.59349	67.00	0.5361
16	62.367	38.06			
17	325.083	1.50	1.89286	20.36	0.6393
18	59.275	4.64	1.73800	32.26	0.5899
19	-214.466	1.00			
20	74.220	4.00	1.80518	25.46	0.6156
21	-119.987	1.30	1.59349	67.00	0.5361
22	41.290	4.13			
23	-102.097	1.30	1.81600	46.62	0.5568
24	85.886	3.79			
25	68.860	5.13	1.85478	24.80	0.6122
26	2687.062	30.08			
27	99.601	9.53	1.66565	35.64	0.5824
28	-56.296	1.50	1.89286	20.36	0.6393
29	979.304	5.25			
30		2.20	1.51633	64.14	0.5353
31		73.90			

10

20

像面

30

【 0 0 6 5 】

各種データ

焦点距離	588.00
Fナンバー	4.12
半画角(度)	2.11
像高	21.64
レンズ全長	474.78
BF	80.59

40

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	237.94
2	15	-120.51
3	17	-47873.47

【 0 0 6 6 】

[数値データ 5]

単位 mm

50

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF
1	240.726	12.89	1.61800	63.40	0.5395
2		138.98			
3	114.535	12.87	1.43387	95.10	0.5373
4	-359.087	0.18			
5	-332.929	1.50	1.80610	33.27	0.5881
6	117.700	0.64			
7	87.931	10.17	1.43387	95.10	0.5373
8	505.314	44.59			
9	82.410	4.12	1.89286	20.36	0.6393
10	139.657	0.15			
11	102.973	2.00	1.77250	49.60	0.5520
12	44.474	10.25	1.43387	95.10	0.5373
13	164.169	10.67			
14(絞リ)		3.94			
15	2771.562	1.50	1.60311	60.64	0.5415
16	81.493	45.55			
17	135.371	1.20	1.89286	20.36	0.6393
18	36.458	7.13	1.63980	34.46	0.5922
19	-142.839	3.59			
20	92.151	4.92	1.76182	26.52	0.6136
21	-64.477	1.20	1.72916	54.68	0.5444
22	44.366	4.67			
23	-78.668	1.20	1.76385	48.51	0.5587
24	401.999	2.82			
25	54.724	4.09	1.67270	32.10	0.5988
26	-248.815	66.28			
27	-46.725	1.20	1.43875	94.66	0.5340
28	39.037	8.98	1.59551	39.24	0.5803
29	-31.547	1.30	1.92286	20.88	0.6391
30	-78.510	8.46			
31		2.20	1.51633	64.14	0.5353
32		66.02			

10

20

30

像面

【 0 0 6 7 】

各種データ

焦点距離	784.00
Fナンバー	5.80
半画角(度)	1.58
像高	21.64
レンズ全長	484.53
BF	75.94

40

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	269.42

50

2 15 -139.24
3 17 -439.91

【 0 0 6 8 】

【表 1】

実施例条件式対応値

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5
f	294.000	392.000	490.000	588.000	784.000
f 1	132.302	187.630	215.151	237.938	269.417
f 2	-78.739	-87.757	-133.542	-120.515	-139.243
LD	276.398	371.255	410.773	474.779	484.530
R 1 G 1 P	142.636	154.557	239.937	285.176	240.726
R 2 G 1 P	803.414	679.875	7608.704	-4767.657	inf
R 1 G 1 N	-789.539	-287.520	-572.992	-238.384	-332.929
R 2 G 1 N	61.251	74.517	110.750	141.021	117.700
d P N	99.069	135.006	155.308	176.614	152.034
d F 2	125.697	155.593	172.259	187.294	230.808

10

条件式						
(1)	LD / f	0.940	0.947	0.838	0.807	0.618
(2)	n d G 1 P	1.61800	1.59522	1.59349	1.59349	1.61800
(3)	v d G 1 P	63.40	67.74	67.00	67.00	63.40
(4)	θ_{gFG1P}	0.540	0.544	0.536	0.536	0.540
(6)	$\frac{(R2G1P+R1G1P)}{(R2G1P-R1G1P)}$	1.432	1.588	1.065	0.887	1.000
(7)	f 1 / f 2	-1.680	-2.138	-1.611	-1.974	-1.935
(8)	v d G 1 N	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27
(9)	θ_{gFG1N}	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588
(10)	$\frac{(R2G1N+R1G1N)}{(R2G1N-R1G1N)}$	-0.856	-0.588	-0.676	-0.257	-0.478
(11)	d P N / f	0.337	0.344	0.317	0.300	0.194
(13)	f 1 / f	0.450	0.479	0.439	0.405	0.344
(14)	HKG 1 P	445	390	440	440	445
(15)	d F 2 / LD	0.455	0.419	0.419	0.394	0.476

20

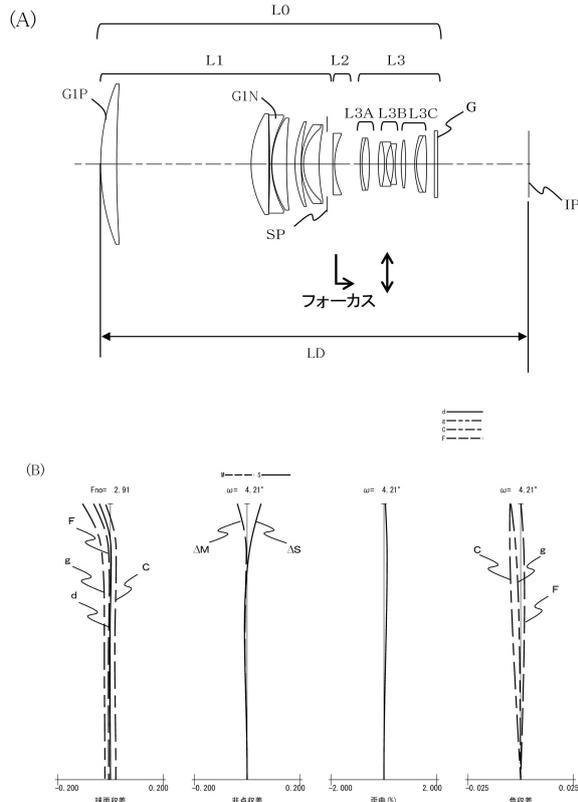
【符号の説明】

【 0 0 6 9 】

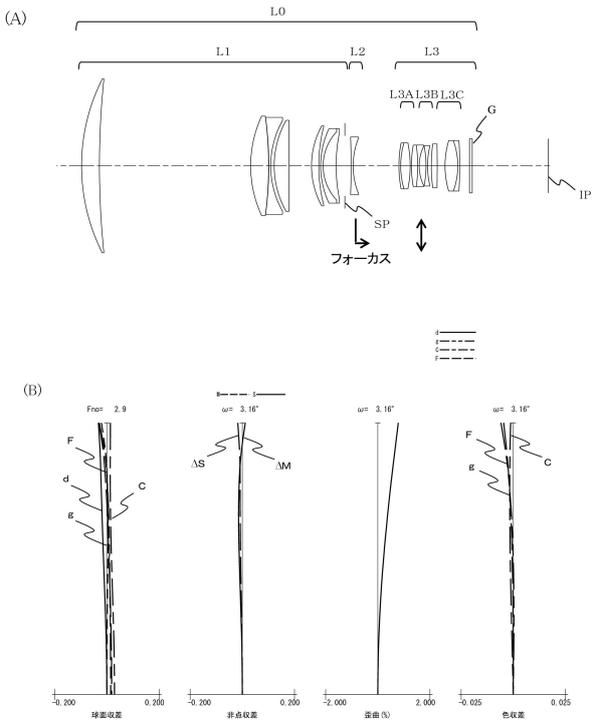
L 1 第 1 レンズ群 L 2 第 2 レンズ群 L 3 第 3 レンズ群
L 0 光学系 S P 開口絞り

30

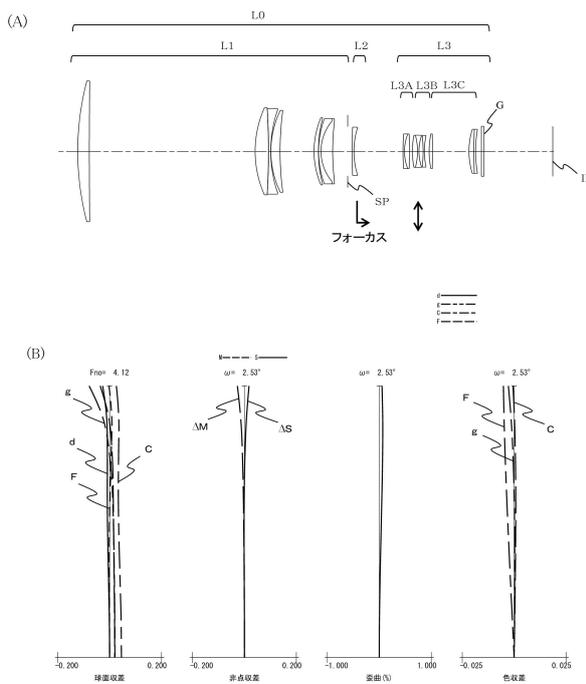
【図 1】



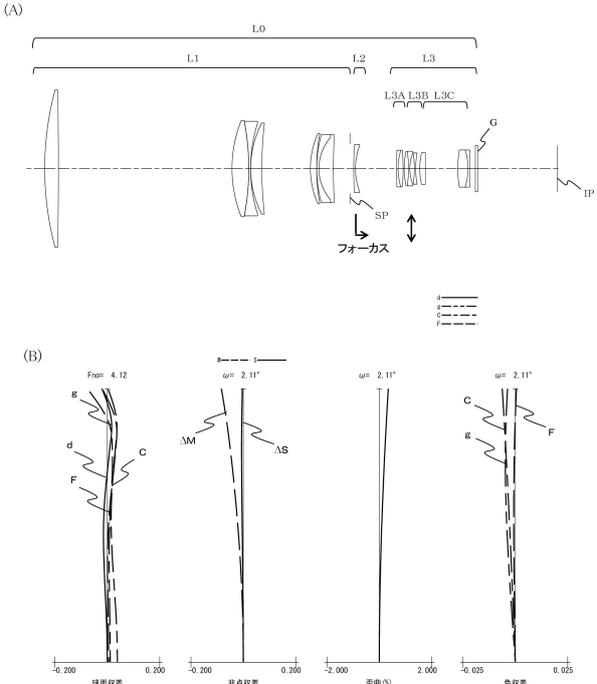
【図 2】



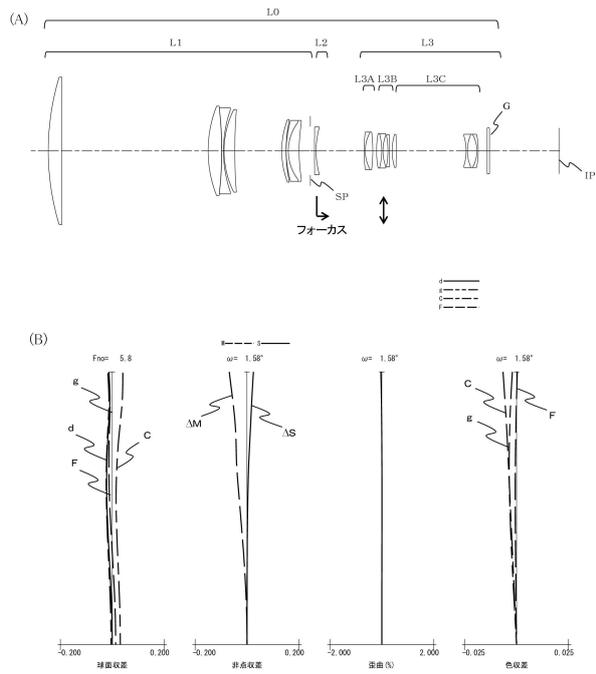
【図 3】



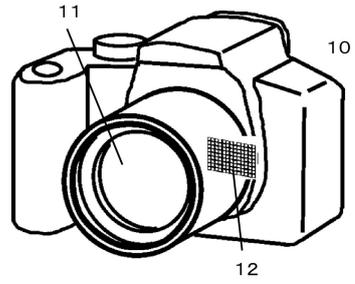
【図 4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-211497(JP,A)
特開昭59-065820(JP,A)
特開2009-271166(JP,A)
特開2013-097212(JP,A)
特開2015-102810(JP,A)
特開2000-227546(JP,A)
特開昭50-124634(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0057250(US,A1)
米国特許出願公開第2014/0300804(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04