

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5896800号
(P5896800)

(45) 発行日 平成28年3月30日(2016.3.30)

(24) 登録日 平成28年3月11日(2016.3.11)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

F I

G 0 2 B 13/04

D

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2012-63354 (P2012-63354)
 (22) 出願日 平成24年3月21日(2012.3.21)
 (65) 公開番号 特開2013-195747 (P2013-195747A)
 (43) 公開日 平成25年9月30日(2013.9.30)
 審査請求日 平成27年3月10日(2015.3.10)

(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 井上 卓
 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 森内 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを有する光学機器

(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、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ連続して配置された2枚以上の負レンズを有し、前記第2レンズ群は、正レンズAと正レンズBを有し、前記正レンズAの材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d p A$ 、 $g F p A$ 、前記正レンズAの焦点距離を $f p A$ 、前記正レンズBの材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d p B$ 、 $g F p B$ 、前記連続して配置された2枚以上の負レンズに含まれる1枚の負レンズを負レンズCとして、該負レンズCの材料のアッペ数を $d n C$ 、前記負レンズCの焦点距離を $f n C$ とするとき、

$$1.7 < d p A < 2.5$$

$$0.02 < g F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d p A < 0.05$$

$$6.0 < d p B < 10.0$$

$$0.001 < g F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d p B < 0.060$$

$$2 < |(d n C \times f n C) / (d p A \times f p A)| < 4$$

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】

物体側より像側へ順に配置された、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ

10

20

群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第2レンズ群は、前記第2レンズ群の中で最も像側に配置された正レンズAと、正レンズBを有し、前記正レンズAの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_F p A$ 、前記正レンズBの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_F p B$ とするとき、

$$\begin{aligned} 1.7 < d_p A < 2.5 \\ 0.02 < g_F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05 \\ 6.0 < d_p B < 10.0 \\ 0.001 < g_F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060 \end{aligned}$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

10

【請求項3】

物体側より像側へ順に配置された、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ連続して配置された2枚以上の負レンズを有し、前記第2レンズ群は、正レンズAと正レンズBを有し、

前記正レンズAの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_F p A$ 、前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ 、前記正レンズBの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_F p B$ 、前記連続して配置された2枚以上の負レンズに含まれる1枚の負レンズを負レンズCとして、該負レンズCの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_n C$ 、 $g_F n C$ 、前記負レンズCの焦点距離を $f_n C$ とするとき、

$$\begin{aligned} 1.7 < d_p A < 2.5 \\ 0.02 < g_F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05 \\ 6.0 < d_p B < 10.0 \\ 0.001 < g_F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060 \\ 2 < |(d_n C \times f_n C) / (d_p A \times f_p A)| < 1.4 \\ 0.001 < g_F n C - 0.6438 + 0.001682 \times d_n C < 0.060 \end{aligned}$$

20

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

30

【請求項4】

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ連続して配置された2枚以上の負レンズを有し、

前記連続して配置された2枚以上の負レンズに含まれる1枚の負レンズを負レンズCとして、該負レンズCの材料のアッベ数を $d_n C$ 、前記負レンズCの焦点距離を $f_n C$ 、前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ とするとき、

$$2 < |(d_n C \times f_n C) / (d_p A \times f_p A)| < 1.4$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項2に記載の光学系。

40

【請求項5】

前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ 、全系の焦点距離を f とするとき、

$$2.0 < d_p A \times f_p A / f < 7.0$$

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】

前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ 、前記正レンズBの焦点距離を $f_p B$ とするとき、

$$1.2 < (d_p B \times f_p B) / (d_p A \times f_p A) < 6.0$$

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】

フォーカシングに際して前記第1レンズ群の一部と前記第2レンズ群が移動することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項の光学系。

50

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 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る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】

【0001】

本発明は、光学系及びそれを有する光学機器に関し、例えば、銀塩フィルム用カメラ、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、監視用カメラ、TVカメラ、プロジェクター等に好適なものである。

【背景技術】

10

【0002】

近年、デジタルカメラをはじめとする撮像光学系や液晶プロジェクター等の投射光学系においては、広範囲の撮像や投射ができるよう広画角の光学系であることが要望されている。従来より広角化（広画角化）に有利な光学系として、レトロフォーカス型（ネガティブリード型）の光学系が知られている。このレトロフォーカス型の光学系では、光学系の物体側に全体として負の屈折力のレンズ群を配置し、像側に正の屈折力のレンズ群を配置することで焦点距離を短くしつつ（広画角化を図りつつ）、バックフォーカスが長くなるようにしている。

【0003】

レトロフォーカス型の光学系は、負の屈折力のレンズ群が先行する光学系全体が非対称な屈折力配置よりなっている。このため、諸収差の発生が多くなり、特に負の歪曲収差（樽型の歪曲収差）が多く発生してくる。広画角化を図ったときの負の歪曲収差を軽減するには、負の屈折力のレンズ群内の負の屈折力のレンズ（負レンズ）の材料に高屈折率材料を用いるのが良い。しかしながら、一般的に高屈折率材料は高分散であるため、負の倍率色収差等の色収差が多く発生してくる。

20

【0004】

従来より歪曲収差を補正しつつ、全画面で倍率色収差をバランス良く補正するために、倍率色収差を画面の中間像高で負の方向に、最大像高で正の方向となるように補正した広画角のレトロフォーカス型の光学系が知られている（特許文献 1）。

【0005】

30

また一般に歪曲収差を補正すると、負の倍率色収差が多く発生する。このとき、瞳近軸光線のレンズ面への入射高（光軸からの距離） h が比較的高くなる、開口絞りよりも後方のレンズ群に、蛍石等の異常部分分散を持った低分散材料で構成した正の屈折力のレンズ（正レンズ）を用いて倍率色収差を補正している。このようにして色収差を補正した広画角のレトロフォーカス型の光学系が知られている（特許文献 2）。

【0006】

この他、比較的色彩収差を良好に補正したレンズ全長（第 1 レンズ面から像面までの距離）の長いレトロフォーカス型の光学系が知られている（特許文献 3）。この他、開口絞りよりも物体側の負の屈折力の前方レンズ群に高分散かつ異常分散性の強い材料よりなるレンズを用いて色収差を補正したレトロフォーカス型の光学系が知られている（特許文献 4）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開平 09 - 033801 号公報

【特許文献 2】特開平 06 - 082689 号公報

【特許文献 3】特開 2003 - 307672 号公報

【特許文献 4】特開 2008 - 158159 号公報

50

【特許文献5】特開2004-020765号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

レトロフォーカス型の光学系では、開口絞りの前方に負の屈折力のレンズ群が配置され、開口絞りの後方に正の屈折力のレンズ群が配置されており、長いバックフォーカスを確保しつつ広画角化を図るのが容易である。

【0009】

一般に、レトロフォーカス型の光学系では、レンズ全長を長めに設定した場合は、色収差を比較的良好に補正することが容易となる。しかしながらレンズ全長を短縮しようとする

10

とすると色収差が多く発生してくる。レンズ全長を短縮しようとするときに生ずる色収差を補正するためには、蛍石のようなアッペ数の大きい低分散の材料を用いるのが有効である。またこのとき色収差を効果的に補正するには、レンズ面の屈折力を大きく変化させる必要がある。しかしながらレンズ面の屈折力を大きくすると、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差が多く発生してくる。

【0010】

このためレトロフォーカス型の光学系では、広画角化を図りつつ、色収差と、球面収差、コマ収差、非点収差などの諸収差をバランス良く補正することが困難である。レトロフォーカス型の光学系において、色収差と球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差とをバランス良く補正するには、特に開口絞りよりも像側の正の屈折力の後方レンズ群のレンズ構成を適切に設定することが重要となってくる。

20

【0011】

この他、開口絞りよりも物体側の負の屈折力の前方レンズ群のレンズ構成も適切に設定することが重要になってくる。これらの構成が不適切であると、広画角化を図りつつ色収差と諸収差とをバランス良く補正して画面全体で高い光学性能を得るのが困難になってくる。

【0012】

本発明は、色収差を始めとする諸収差を良好に補正し、画面全体にわたり高い光学性能を有する光学系の提供を目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ連続して配置された2枚以上の負レンズを有し、前記第2レンズ群は、正レンズAと正レンズBを有し、前記正レンズAの材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_{Fp} A$ 、前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ 、前記正レンズBの材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_{Fp} B$ 、前記連続して配置された2枚以上の負レンズに含まれる1枚の負レンズを負レンズCとして、該負レンズCの材料のアッペ数を $d_n C$ 、前記負レンズCの焦点距離を $f_n C$ とするとき、

40

$$1.7 < d_p A < 2.5$$

$$0.02 < g_{Fp} A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05$$

$$6.0 < d_p B < 10.0$$

$$0.001 < g_{Fp} B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060$$

$$2 < |(d_n C \times f_n C) / (d_p A \times f_p A)| < 4$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

この他本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の

50

光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第2レンズ群は、前記第2レンズ群の中で最も像側に配置された正レンズAと、正レンズBを有し、前記正レンズAの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_F p A$ 、前記正レンズBの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_F p B$ とするとき、

$$1.7 < d_p A < 2.5$$

$$0.02 < g_F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05$$

$$6.0 < d_p B < 10.0$$

$$0.001 < g_F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

10

この他本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群からなり、最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点より像側において近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さい光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ連続して配置された2枚以上の負レンズを有し、前記第2レンズ群は、正レンズAと正レンズBを有し、

前記正レンズAの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_F p A$ 、前記正レンズAの焦点距離を $f_p A$ 、前記正レンズBの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_F p B$ 、前記連続して配置された2枚以上の負レンズに含まれる1枚の負レンズを負レンズCとして、該負レンズCの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d_n C$ 、 $g_F n C$ 、前記負レンズCの焦点距離を $f_n C$ とするとき、

20

$$1.7 < d_p A < 2.5$$

$$0.02 < g_F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05$$

$$6.0 < d_p B < 10.0$$

$$0.001 < g_F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060$$

$$2 < |(d_n C \times f_n C) / (d_p A \times f_p A)| < 14$$

$$0.001 < g_F n C - 0.6438 + 0.001682 \times d_n C < 0.060$$

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】

30

【0014】

本発明によれば、色収差を始めとする諸収差を良好に補正し、画面全体にわたり高い光学性能を有する光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の実施例1におけるレンズ断面図

【図2】本発明の実施例1に対応する数値実施例1の収差図

【図3】本発明の実施例2におけるレンズ断面図

【図4】本発明の実施例2に対応する数値実施例2の収差図

【図5】本発明の実施例3におけるレンズ断面図

40

【図6】本発明の実施例3に対応する数値実施例3の収差図

【図7】本発明の撮像装置の要部概略図

【発明を実施するための形態】

【0016】

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詳細に説明する。本発明の光学系は、物体側より像側へ順に、第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群を有している。また、本発明の光学系は最も物体側のレンズ面を通過する近軸軸上光線の光軸からの高さが、光軸と瞳近軸光線との交点Pより像側で近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも小さいレトロフォーカス型より成っている。なお、近軸軸上光線とは、光学系全系の焦点距離を1に正規化したとき、光学系の光軸と平

50

行に、光軸からの高さを 1 として入射させた近軸光線である。

【0017】

また瞳近軸光線とは、光学系全系の焦点距離を 1 に正規化したとき、光軸に対して - 45° で入射する光線の内、光学系の入射瞳と光軸との交点を通過する近軸光線である。光学系の入射角度は、光軸から測って時計回りを正、反時計回りを負とする。なお、物体は光学系の左側にあるものとし、物体側から光学系に入射する光線は左側から右へ進むものとする。

【0018】

図 1 は、本発明の光学系の実施例 1 のレンズ断面図、図 2 は実施例 1 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 3 は、本発明の光学系の実施例 2 のレンズ断面図、図 4 は実施例 2 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 5 は、本発明の光学系の実施例 3 のレンズ断面図、図 6 は実施例 3 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 7 は本発明の撮像装置の要部概略図である。

10

【0019】

各実施例の光学系は、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、銀塩フィルム用カメラ等の撮像装置（光学装置）に用いられる撮影光学系である。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。尚、各実施例の光学系をプロジェクターなどの投射レンズとして用いても良い。このときは左方がスクリーン、右方が被投射画像となる。

【0020】

20

レンズ断面図において、L A は光学系である。光学系 L A は開口絞り S P を挟んで物体側に正の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 と像側に正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を有している。L F はフォーカシングに際して移動するフォーカスレンズ群である。フォーカスレンズ群 L F は第 1 レンズ群 L 1 の一部と第 2 レンズ群 L 2 より構成されている。フォーカスレンズ群 L F は無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際して矢印の如く物体側へ移動する。

【0021】

図 3、図 5 において F P はフレアーカット絞りである。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 センサなどの固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面が、銀塩フィルム用カメラのときはフ

30

【0022】

レンズ断面図において A は第 2 レンズ群 L 2 を構成する 2 つ以上の正レンズ（正の屈折力のレンズ）のうちの 1 つの正レンズ A に、B₁、B₂ は第 2 レンズ群 L 2 を構成する 2 つ以上の正レンズのうちの他の正レンズ B に相当する。C₁、C₂、C₃ は第 1 レンズ群 L 1 を構成する連続した 2 つ以上の負レンズ（負の屈折力のレンズ）のうちの 1 つの負レンズ C に相当している。

【0023】

それぞれの縦収差図は、左から順に、球面収差、非点収差、歪曲、倍率色収差を表している。球面収差と倍率色収差を示す図において、実線の d は d 線（587.6 nm）、破線の g は g 線（435.8 nm）、点線の S・C は正弦条件を表している。また、非点収差を示す図において、実線の S は d 線のサジタル方向 S、破線の M は d 線のメリディオナル方向 M を表している。また、歪曲を示す図は、d 線における歪曲を表している。F n o は F ナンバー、 θ は撮影画角の半画角（度）である。

40

【0024】

本発明の光学系 L A は、開口絞り S P の物体側に正の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 が配置され、開口絞り S P の像側に正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 が配置された所謂レトロフォーカスタイプ（レトロフォーカス型）よりなっている。

【0025】

レトロフォーカス型の光学系では像側主点を光学系の最終レンズ面より像側に位置させ

50

ることが容易であり、全系の焦点距離は光学系の最終レンズ面から像面までの距離（バックフォーカス）より小さい。この光学系は広画角化が容易である。またこの光学系は、最終レンズの像面側にクイックリターンミラーを配置する一眼レフカメラやクイックリターンミラーのないミラーレスの一眼レフカメラなど、比較的長いバックフォーカスを確保したい撮影レンズに好適である。

【0026】

各実施例の光学系において、第2レンズ群L2は2つ以上の正の屈折力のレンズ（以下「正レンズ」という。）を有している。2つ以上の正レンズのうちの1つの正レンズを正レンズA、他の1つの正レンズを正レンズBとする。正レンズAの材料のアッベ数と、部分分散比を各々 $d_p A$ 、 $g_F p A$ 、正レンズBの材料のアッベ数と、部分分散比を各々 $d_p B$ 、 $g_F p B$ とする。

10

【0027】

このとき、

$$\begin{aligned} 1.7 < d_p A < 2.5 & \dots (1a) \\ 0.02 < g_F p A - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.05 & \dots (1b) \\ 6.0 < d_p B < 10.0 & \dots (2a) \\ 0.001 < g_F p B - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.060 & \dots (2b) \end{aligned}$$

なる条件式を満足している。

20

【0028】

但し、材料のアッベ数 d と部分分散比 g_F は g 線、 F 線、 C 線における屈折率をそれぞれ n_g 、 n_f 、 n_c とするとき、

$$d = (n_f - n_c) / (n_d - 1)$$

$$g_F = (n_g - n_f) / (n_f - n_c)$$

である。

【0029】

条件式(1a)、(1b)、(2a)、(2b)は第2レンズ群L2内の正レンズAと正レンズBの材料のアッベ数と異常分散を適切に設定することでレンズ系全体の色収差を良好に補正するための条件である。高分散の異常分散硝材が色収差の補正の分担をすることで、レンズの屈折力の増加を抑え色収差とその他の諸収差の補正を容易にしている。条件式(1a)、(1b)、(2a)、(2b)を同時に満足することによって光学系全体で諸収差の悪化を軽減しつつ、色収差を良好に補正している。

30

【0030】

各実施例では高分散、高屈折率の材料よりなる正レンズAを第2レンズ群L2中の最も像側に配置することで、諸収差の発生を抑えつつ倍率色収差の2次スペクトルの曲がりの補正を効果的に行っている。また、バックフォーカスを長くすることを容易にしている。実施例1、2、3においては正レンズAが条件式(1a)、(1b)を満足する。実施例1においては2つのレンズB1、B2、実施例2においては1つのレンズB1、実施例3においては1つのレンズB1が条件式(2a)、(2b)を満足する正レンズBに相当して

40

【0031】

また、低分散の材料よりなる正レンズBを実施例1においては2つ、実施例2と実施例3においては各1つ、第2レンズ群L2中に配置することで正レンズAとの分散のバランスを取り、第2レンズ群L2において色収差を良好に補正している。

【0032】

条件式(1a)、(2a)の下限を超えて正レンズAと正レンズBの材料の分散が大きくなりすぎると、色収差が過補正となりよくない。条件式(1a)、(2a)の上限を超えて正レンズAと正レンズBの材料の分散が小さくなりすぎると、色収差の補正効果が小さくなりよくない。もしくは同等の効果を得るために各レンズのパワーを増加させなけれ

50

ばならなくなり諸収差の良好な補正が困難となる。より好ましくは、条件式(1a)、(1b)、(2a)、(2b)の数値範囲を次の如く設定するのがよい。

$$1.8 < d_p A < 2.4 \quad \dots (1aa)$$

$$0.022 < g_{FpA} - 0.6438 + 0.001682 \times d_p A < 0.040 \quad \dots (1bb)$$

$$6.3 < d_p B < 9.6 \quad \dots (2aa)$$

$$0.012 < g_{FpB} - 0.6438 + 0.001682 \times d_p B < 0.052 \quad \dots (2bb)$$

各実施例では以上のように構成することにより広画角でありながら色収差を良好に補正し、高い光学性能を有した光学系を得ている。各実施例において更に好ましくは次の諸条件のうち1以上を満足するのが良い。正レンズAの焦点距離を f_{pA} 、正レンズBの焦点距離を f_{pB} 、全系の焦点距離を f とする。

【0033】

第1レンズ群L1は物体側から像側へ順に、連続して配置された2枚以上の負レンズを有している。そして連続した2つ以上の負レンズのうち、1つの負レンズを負レンズCとし、負レンズCの材料のアッペ数と部分分散比を各々 d_{nC} 、 g_{FnC} とする。負レンズCの焦点距離を f_{nC} とする。

【0034】

このとき、次の条件式のうち1以上を満足するのが良い。

$$2.0 < d_p A \times f_{pA} / f < 7.0 \quad \dots (3)$$

$$1.2 < (d_p B \times f_{pB}) / (d_p A \times f_{pA}) < 6.0 \quad \dots (4)$$

$$2 < |(d_{nC} \times f_{nC}) / (d_p A \times f_{pA})| < 14 \quad \dots (5a)$$

$$0.001 < g_{FnC} - 0.6438 + 0.001682 \times d_{nC} < 0.060 \quad \dots (5b)$$

次に前述した各条件式の技術的意味について説明する。条件式(3)は正レンズAの材料のアッペ数と焦点距離に関し、正レンズAの色消しの強さを適切に設定することで色収差を良好に補正するための条件である。条件式(3)の下限を超えると正レンズAの色消しが強くなりすぎて、色収差が過補正となりよくない。

【0035】

もしくは正の屈折力の第2レンズ群L2全体の過補正を防ぐために第2レンズ群L2中の負レンズに正レンズAと同程度以上の高分散な材料を用いる必要がある。一般的に高分散材料は部分分散比 g_F も大きくなるため、正レンズAの色消し効果を打ち消してしまいよくない。

【0036】

条件式(3)の上限を超えると正レンズAの色消しが弱くなりすぎて、良好な色収差の補正が困難となるためよくない。より好ましくは条件式(3)の数値範囲を次の如く設定するのがよい。

$$2.5 < d_p A \times f_{pA} / f < 6.0 \quad \dots (3a)$$

【0037】

条件式(4)は正レンズAと正レンズBの色消しの強さの比に関し、色消しの強さのバランスを適切に設定することで色収差を良好に補正するための条件である。条件式(4)の下限を超えると正レンズAの色消しが強くなりすぎて、2次スペクトルの曲がりに対する補正効果は大きくなるが、1次の色収差が過補正となりよくない。条件式(4)の上限を超えると正レンズBの色消しが強くなりすぎて、低分散な硝材で強い色消しをすることになるためにレンズの屈折力を増加しなければならず、色以外の諸収差が悪化するためよくない。

【0038】

より好ましくは、条件式(4)の数値範囲を次の如く設定するのがよい。

$$1.5 < (d_p B \times f_{pB}) / (d_p A \times f_{pA}) < 5.0 \quad \dots (4a)$$

10

20

30

40

50

条件式(5a)は正レンズAと負レンズCの色消しの強さの比に関し、色消しの強さのバランスを適切に設定することで倍率色収差を良好に補正するための条件である。条件式(5a)の下限を超えると負レンズCの色消しが強くなりすぎて、特に1次の倍率色収差が過補正となりよくない。条件式(5a)の上限を超えると負レンズCの色消しが弱くなりすぎて、物体側のレンズの屈折力を下げなければならず、物体側のレンズの有効径(前玉有効径)が大型化するためよくない。

【0039】

より好ましくは条件式(5a)の数値範囲を次の如く設定するのがよい。

$$3 < |(dpC \times fpC) / (dpA \times fpA)| < 13 \cdots (5aa)$$

又は条件式(5a)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$2 < |(dpC \times fpC) / (dpA \times fpA)| < 4 \cdots (5aaa)$$

条件式(5b)は負レンズCの材料の部分分散比に関し、倍率色収差の2次スペクトルの曲がり方を良好に補正するための条件である。また、実施例1においては3つのレンズC₁、C₂、C₃、実施例2においては1つのレンズC₁、実施例3においては2つのレンズC₁、C₂が条件式(5a)、(5b)を満たす負レンズCに相当する。また実施例1においては1つのレンズC₃、実施例2においては1つのレンズC₁、実施例3においては1つのレンズC₂が条件式(5aaa)を満たす負レンズCに相当する。これらの負レンズを配置することで効果的に倍率色収差の補正を行っている。

【0040】

より好ましくは条件式(5b)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$0.012 < gFnC - 0.6438 + 0.001682 \times dnC < 0.052 \cdots (5bb)$$

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【0041】

図7は各実施例の光学系を用いたデジタルスチルカメラの要部概略図である。図7において20はカメラ本体、21は各実施例で説明したいずれかの光学系によって構成された撮影光学系である。22はカメラ本体20に内蔵され、撮影光学系21によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子(撮像素子)(光電変換素子)である。

【0042】

本実施例ではクイックリターンミラーのある一眼レフカメラやクイックリターンミラーのないミラーレスの一眼レフカメラ、そしてレンズシャッターカメラ等の撮像装置等に適用できる。この他、プロジェクター等の光学機器にも同様に適用することができる。

【0043】

以下に、実施例1～3に各々対応する数値実施例1～3を示す。各数値実施例において、iは物体側からの順番を示し、r_iは各面の曲率半径、d_iは第i面と第i+1面との間の部材肉厚又は空気間隔、n_{d_i}とd_iはそれぞれd線に対する屈折率、アッペ数を示す。

【0044】

非球面形状は光軸からの高さhの位置での光軸方向の変位を面頂点を基準にしてxとすると、

$$X = (h^2 / R) / [1 + \{1 - (1+k)(h/R)^2\}^{1/2}] + A4h^4 + A6h^6 + A8h^8 + A10h^{10}$$

で表される。

【0045】

但し、kは円錐定数、A4、A6、A8、A10は4次、6次、8次、10次の非球面係数、Rは近軸曲率半径である。*は非球面形状を有する面を意味している。又、「E-x」は「x^{10-x}」を意味している。又、前述の各条件式と各数値実施例との関係を表1に示す。

【0046】

10

20

30

40

50

[数値実施例 1]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	58.478	3.50	1.59282	68.6	69.96
2	27.177	6.15			50.18
3	34.281	3.00	1.59282	68.6	49.90
4	22.030	4.67			40.43
5	27.429	3.00	1.55332	71.7	40.27
6*	11.482	22.63			32.65
7	92.434	2.50	1.83481	42.7	24.73
8	18.345	0.27			22.08
9	18.791	6.11	1.72047	34.7	22.14
10	-230.699	0.15			21.20
11	24.300	1.15	1.80809	22.8	19.44
12	14.939	4.49	1.73800	32.3	17.88
13	178.273	2.82			16.66
14	-378.045	1.25	1.88300	40.8	14.42
15	10.460	8.46	1.68893	31.1	12.65
16	-29.306	1.00			12.45
17(絞り)		1.44			12.22
18	-41.673	1.50	1.90366	31.3	12.11
19	38.407	0.15			12.47
20	25.055	9.44	1.56907	71.3	13.04
21	-12.860	0.15			15.82
22	-13.809	0.90	1.84666	23.8	15.84
23	51.428	3.67	1.55332	71.7	18.83
24*	-29.383	0.15			20.21
25	-1139.646	4.73	1.80809	22.8	22.72
26	-23.268	40.23			23.84

像面

【 0 0 4 7 】

非球面データ

第6面

K = -6.99514e-001 A 4= -6.50850e-006 A 6= -7.74960e-008
A 8= 1.77123e-010 A10= -9.26708e-013

第24面

K = 0.00000e+000 A 4= 2.17829e-005 A 6= 2.22245e-008
A 8= 4.47153e-010 A10= -8.08259e-014

各種データ

焦点距離 14.17
Fナンバー 2.89
画角 56.78
像高 21.64

10

20

30

40

50

レンズ全長 133.50
BF 40.23

入射瞳位置 27.21
射出瞳位置 -30.43
前側主点位置 38.54
後側主点位置 26.06

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-89.37
2	3	-114.41
3	5	-38.26
4	7	-27.84
5	9	24.37
6	11	-50.78
7	12	21.84
8	14	-11.51
9	15	12.25
10	18	-21.92
11	20	16.42
12	22	-12.78
13	23	34.35
14	25	29.34

10

20

【 0 0 4 8 】

[数値実施例 2]

単位 mm

30

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	56.797	1.30	1.59282	68.6	34.58
2	18.842	4.04			27.72
3	41.676	1.30	1.75501	51.2	27.47
4*	16.554	8.53			24.73
5	35.306	2.97	1.88300	40.8	23.91
6	318.019	6.23			23.48
7	25.721	1.98	1.80610	33.3	18.72
8	50.677	9.95			18.23
9(絞り)		0.50			13.51
10	372.765	1.70	1.59270	35.3	13.77
11	-34.835	3.13			13.70
12	-20.914	3.17	1.78590	44.2	12.76
13	-9.568	0.90	1.93967	23.1	13.17
14	-6883.179	1.15			14.86
15	112.973	2.32	1.55332	75.2	16.86
16*	-29.515	1.15			17.60
17	-35.370	3.17	1.80809	22.8	18.58

40

50

18 -16.449 0.50 19.51
 19 38.07 21.57 (フレアークット絞り)
 像面

【 0 0 4 9 】

非球面データ

第4面

K = 0.00000e+000 A 4=-2.16154e-005 A 6=-1.03154e-007
 A 8= 2.38853e-010 A10=-1.71375e-012

10

第16面

K = 0.00000e+000 A 4= 4.80580e-005 A 6=-6.03259e-009
 A 8= 3.22276e-010 A10=-2.41917e-012

焦点距離 24.50
 Fナンバー 2.80
 画角 41.45
 像高 21.64
 レンズ全長 92.07
 BF 38.07

20

入射瞳位置 18.27
 射出瞳位置 -23.78
 前側主点位置 33.06
 後側主点位置 13.57

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-48.18
2	3	-37.20
3	5	44.76
4	7	62.57
5	10	53.83
6	12	19.98
7	13	-10.20
8	15	42.54
9	17	35.40

30

【 0 0 5 0 】

[数値実施例 3]

40

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	63.651	2.17	1.59282	68.6	49.79
2	30.155	9.65			42.81
3	-424.449	1.84	1.56907	71.3	42.69
4	44.847	13.35			40.21
5	77.906	3.66	1.88300	40.8	40.47

50

6	10861.732	8.84			40.44	
7	58.669	6.77	1.73400	51.5	40.64	
8	-119.137	0.50			40.40	
9	1012.840	1.43	1.60342	38.0	39.01	
10	132.452	14.26			38.06	
11(絞り)		1.69			32.76	
12	51.191	6.00	1.88300	40.8	31.06	
13	-58.498	1.34	1.84666	23.8	30.24	
14	48.134	6.80			27.37	
15	-25.735	6.00	1.88300	40.8	26.86	10
16	-18.662	1.39	1.78472	25.7	27.99	
17		0.50			29.77	
18*	247.430	5.45	1.55332	71.7	30.01	
19	-34.545	0.15			30.79	
20	193.265	4.36	1.80809	22.8	32.39	
21	-55.204	0.30			32.79	
22		38.56			33.47 (フレアーカット絞り)	
像面						

【 0 0 5 1 】

20

非球面データ

第18面

K = 0.00000e+000 A 4=-9.13443e-006 A 6= 8.35145e-009
A 8=-2.14593e-011 A10= 3.45705e-014

各種データ

焦点距離	35.50	
Fナンバー	1.45	30
画角	31.36	
像高	21.64	
レンズ全長	135.01	
BF	38.56	
入射瞳位置	34.58	
射出瞳位置	-53.86	
前側主点位置	56.44	
後側主点位置	3.06	

40

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-99.05
2	3	-71.18
3	5	88.85
4	7	54.43
5	9	-252.68
6	12	31.73
7	13	-31.01
8	15	55.01

50

9	16	-23.78
10	18	55.16
11	20	53.56

【 0 0 5 2 】

【 表 1 】

条件式	レンズ	実施例1	実施例2	実施例3
(1a)	レンズA	22.8	22.8	22.8
(1b)		0.0251	0.0251	0.0251
(2a)	レンズB	71.3	75.2	71.7
(2b)		0.0212	0.0229	0.0169
(2a)	レンズB	71.7	—	—
(2b)		0.0169	—	—
(3)	レンズA	47	33	34
(4)	レンズB	2	4	3
	レンズB	4	—	—
(5a)	レンズC	9	4	6
(5b)		0.0162	0.0162	0.0162
(5a)	レンズC	12	—	4
(5b)		0.0162	—	0.0212
(5a)	レンズC	4	—	—
(5b)		0.0169	—	—

10

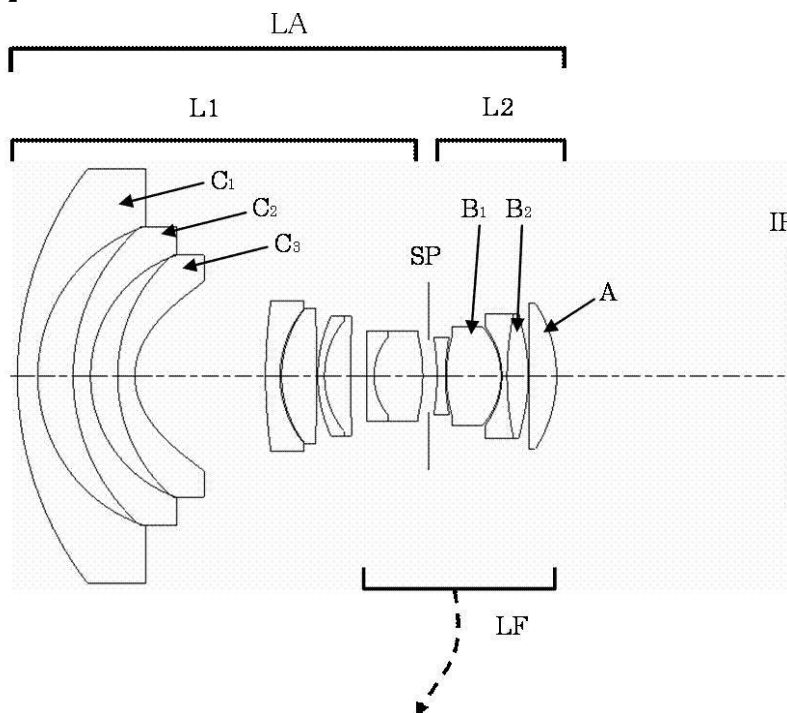
20

【 符号の説明 】

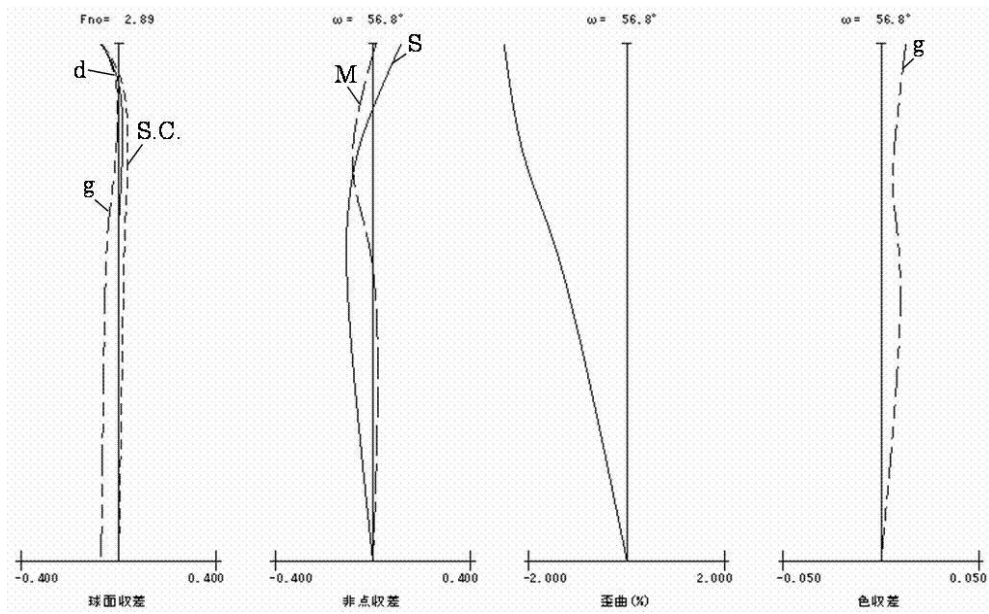
【 0 0 5 3 】

L A 光学系 L 1 第1レンズ群 L 2 第2レンズ群 S P 絞り

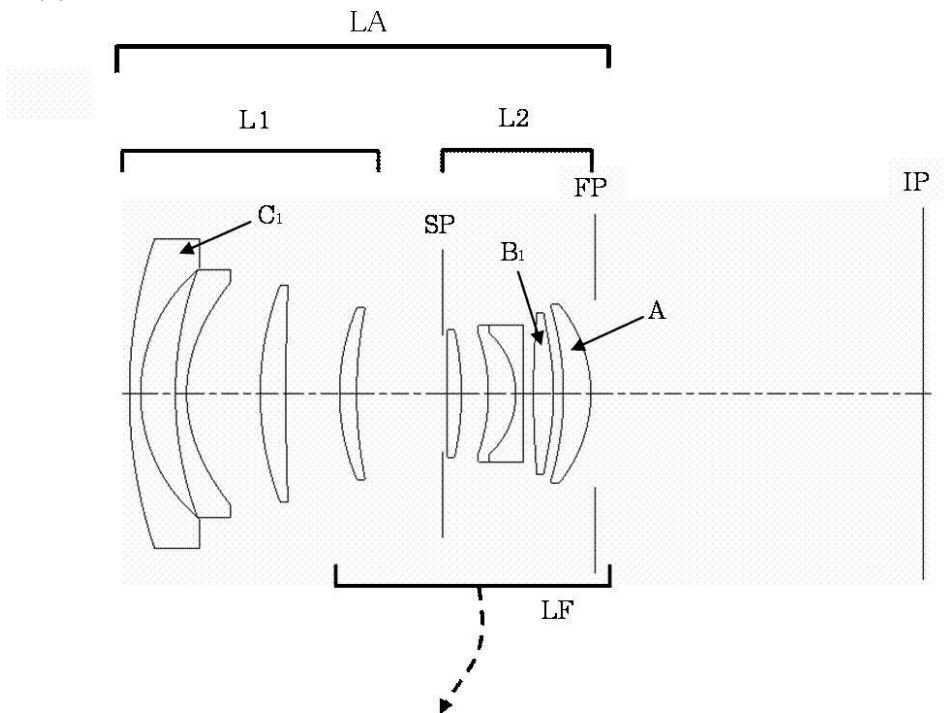
【 図 1 】



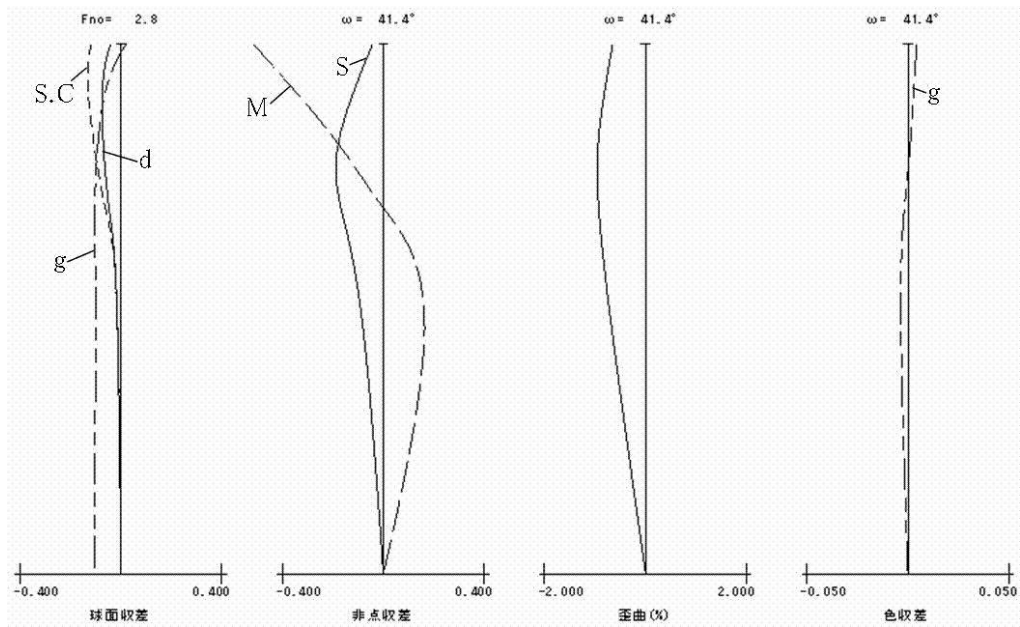
【図 2】



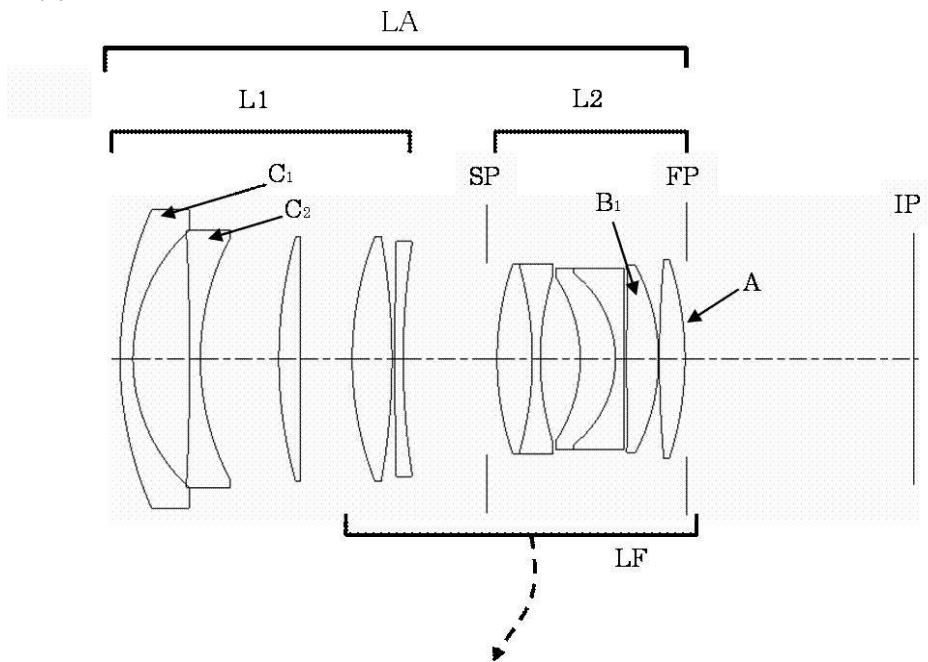
【図 3】



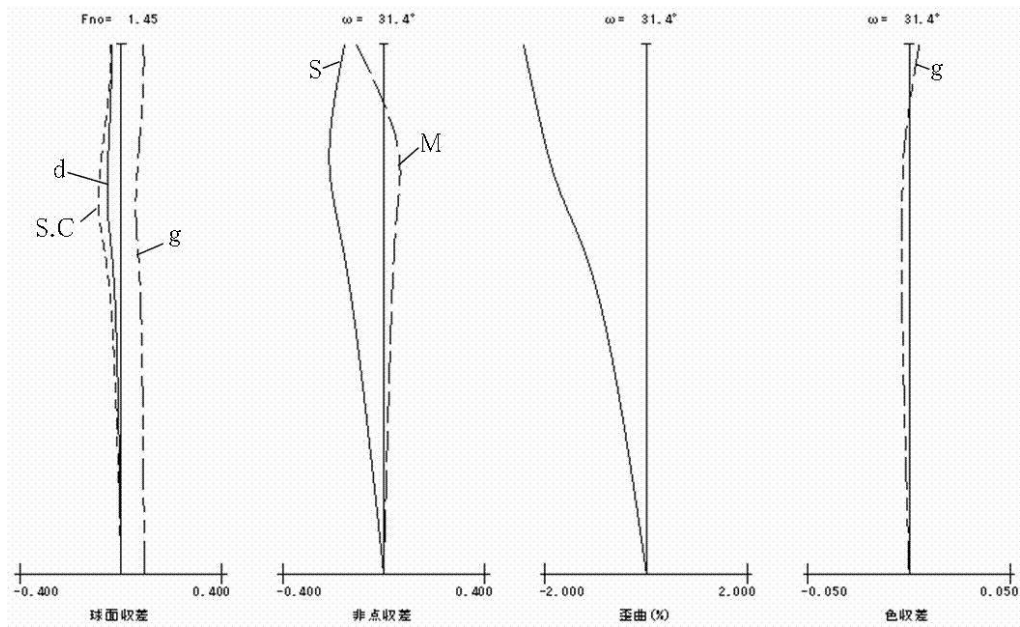
【図4】



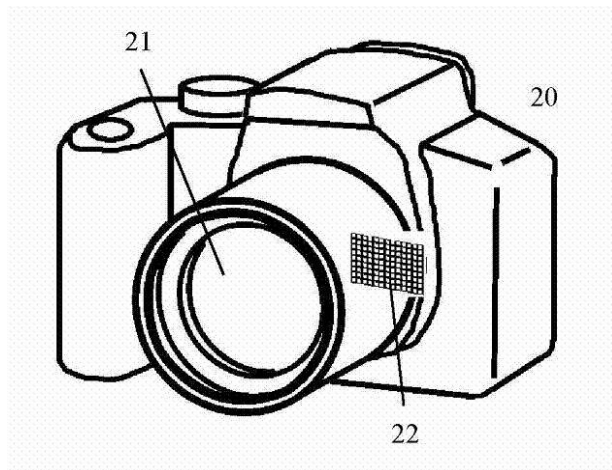
【図5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-156762(JP,A)
特開2003-307672(JP,A)
特表2012-501004(JP,A)
特開2008-292732(JP,A)
特開2006-301416(JP,A)

(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