

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第 6 部門第 2 区分  
 【発行日】平成 29 年 8 月 10 日 (2017.8.10)

【公開番号】特開 2016-18061 (P2016-18061A)  
 【公開日】平成 28 年 2 月 1 日 (2016.2.1)  
 【年通号数】公開・登録公報 2016-007  
 【出願番号】特願 2014-140327 (P2014-140327)  
 【国際特許分類】

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

【F I】

G 0 2 B 13/04 C

G 0 2 B 13/04 D

【手続補正書】

【提出日】平成 29 年 7 月 3 日 (2017.7.3)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から像側へ順に、正または負の屈折力の第 1 レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第 2 レンズ群から構成される光学系において、

前記第 2 レンズ群は、正レンズと負レンズとを接合した接合レンズからなる負レンズユニットを有し、

$g_F$  線と F 線に関する部分分散比を  $\frac{g_F}{F}$  として、異常部分分散性  $\frac{g_F}{F}$  を、

$$\frac{g_F}{F} = \frac{g_F}{F} - (0.6438 - 0.001682 \times d)$$

と表し、

前記負レンズユニットを構成する正レンズの材料のアッベ数を  $p$ 、異常部分分散性を  $\frac{g_F}{p}$ 、前記負レンズユニットを構成する負レンズの材料のアッベ数を  $n$ 、異常部分分散性を  $\frac{g_F}{n}$ 、前記光学系の全系の焦点距離を  $f$ 、前記負レンズユニットの焦点距離を  $f_{sg}$  とするとき、

$$\begin{aligned} &0.72 \frac{p}{n} - 1.00 \\ &0.005 \frac{g_F}{p} - \frac{g_F}{n} - 0.050 \\ &- 0.8 \frac{f_{sg}}{f} - 0.5 \end{aligned}$$

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】

前記負レンズユニットの像側に、単一レンズ又は接合レンズからなる第 1 正レンズユニットと、単一レンズ又は接合レンズからなる第 2 正レンズユニットとを有することを特徴とする請求項 1 の光学系。

【請求項 3】

前記負レンズユニットと前記第 1 正レンズユニットはマージナルコンタクトされており、前記負レンズユニットの像側のレンズ面の曲率半径を  $R_{1a}$ 、前記第 1 正レンズユニットの物体側のレンズ面の曲率半径を  $R_{2a}$  とするとき、

$$|R_{1a} / R_{2a}| \geq 1.7$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 の光学系。

【請求項 4】

前記第 1 レンズ群の像側の部分と前記第 2 レンズ群はフォーカシングに際して一体的に

移動することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 5】

前記第 1 レンズ群の像側の部分はフォーカシングに際して移動することを特徴する請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 6】

前記第 2 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、正レンズ、負レンズ及び該負レンズの像側にある正レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 7】

前記第 2 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズ及び該負レンズの像側にある正レンズを接合した接合レンズ、負レンズ及び該負レンズの像側にある正レンズを接合した接合レンズ、正レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 8】

前記第 2 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、正レンズ、正レンズ及び該正レンズの像側にある負レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 9】

前記第 1 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 10】

前記第 1 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 11】

前記第 1 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズ、正レンズ及び該正レンズの像側にある負レンズを接合した接合レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 12】

前記第 1 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズ及び該負レンズの像側にある正レンズを接合した接合レンズから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の光学系。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の光学系を有することを特徴とする光学機器。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】光学系及びそれを有する光学機器

【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】

## 【 0 0 0 2 】

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、広画角でレンズ全長の短い光学系であることが要望されている。ここでレンズ全長とは撮像光学系のときは第1レンズ面から像面までの距離であり、投射光学系のときはスクリーン側の第1レンズ面から被投射画面までの距離をいう。

## 【 0 0 0 3 】

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、光学系の前方（撮像光学系のときは物体側）（投射光学系ではスクリーン側）に全体として負の屈折力又は正の屈折力の弱いレンズ群を配置している。後方（撮像光学系のときは像面）（投射光学系のときは被投射画面側）に正の屈折力のレンズ群を配置している。これにより全系の広画角化を図りつつ、長いバックフォーカスを得ている。

## 【 0 0 0 4 】

レトロフォーカス型の光学系は、光学系全体が開口絞りに対して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）や倍率色収差が多く発生してくる。

## 【 0 0 0 5 】

従来、レトロフォーカス型の光学系において歪曲収差を補正しつつ、負の倍率色収差を補正する光学系が知られている（特許文献1，2）。特許文献1，2では、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）を用いている。これにより色収差を補正しつつ広画角化を図っている。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特開平 0 6 - 0 8 2 6 8 9 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 2 - 2 8 7 0 3 1 号 公 報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 7 】

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又は正の屈折力の弱い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。一般に、レトロフォーカス型の光学系において、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、蛍石のようなアッベ数の大きい低分散で異常部分分散性の材料を用いるのが有効である。

## 【 0 0 0 8 】

しかしながらレトロフォーカス型の光学系において、異常部分分散性の材料を用いたとしても短波長側の倍率色収差は画角が増加するに従って曲がりをもって発生してくる。このため異常部分分散性の材料を使用して倍率色収差を抑えても、画角の大きな像高が高い位置では、短波長側の倍率色収差の曲がりの分だけ倍率色収差が残存してくる。

## 【 0 0 0 9 】

レトロフォーカス型の光学系において、広画角化を図りつつ、倍率色収差を良好に補正するには、瞳近軸光線のレンズ面への入射高が高くなる開口絞よりも像側の正の屈折力の後方の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。この構成が不適切であると、広画角化を図りつつ倍率色収差を良好に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。

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、広画角で、しかも広画角化を図ったときに生ずる倍率色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。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

本発明の光学系は、物体側から像側へ順に、正または負の屈折力の第1レンズ群、開口絞り、正の屈折力の第2レンズ群から構成される光学系において、

前記第2レンズ群は、正レンズと負レンズとを接合した接合レンズからなる負レンズユニットを有し、

$g$  線と  $F$  線に関する部分分散比を  $\frac{g}{F}$  として、異常部分分散性  $\frac{g}{F}$  を、

$$\frac{g}{F} = \frac{g}{F} - (0.6438 - 0.001682 \times d)$$

と表し、

前記負レンズユニットを構成する正レンズの材料のアッベ数を  $p$ 、異常部分分散性を  $\frac{g}{F} p$ 、前記負レンズユニットを構成する負レンズの材料のアッベ数を  $n$ 、異常部分分散性を  $\frac{g}{F} n$ 、前記光学系の全系の焦点距離を  $f$ 、前記負レンズユニットの焦点距離を  $f_s g$  とするとき、

$$0.72 \quad p / \quad n \quad 1.00$$

$$0.005 \quad \frac{g}{F} p - \quad \frac{g}{F} n \quad 0.050$$

$$-0.8 \quad f_s g / f \quad -0.5$$

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】

## 【0012】

本発明によれば、広画角で、しかも広画角化を図ったときに生ずる倍率色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】

## 【0013】

【図1】本発明の実施例1のレンズ構成図

【図2】本発明の実施例1の無限遠での諸収差図

【図3】本発明の実施例2のレンズ構成図

【図4】本発明の実施例2の無限遠での諸収差図

【図5】本発明の実施例3のレンズ構成図

【図6】本発明の実施例3の無限遠での諸収差図

【図7】本発明の実施例4のレンズ構成図

【図8】本発明の実施例4の無限遠での諸収差図

【図9】本発明の実施例5のレンズ構成図

【図10】本発明の実施例5の無限遠での諸収差図

【図11】本発明の実施例6のレンズ構成図

【図12】本発明の実施例6の無限遠での諸収差図

【図13】本発明の実施例7のレンズ構成図

【図14】本発明の実施例7の無限遠での諸収差図

【図15】本発明の光学系を検証するための説明図

【図16】本発明の光学系を検証するための説明図

【図17】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】

## 【0014】

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、正又は負の屈折力の第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前方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後方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。

## 【0015】

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。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  $-45^\circ$  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。

#### 【0016】

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。

#### 【0017】

図 7 は、本発明の光学系の実施例 4 のレンズ断面図、図 8 は実施例 4 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 9 は、本発明の光学系の実施例 5 のレンズ断面図、図 10 は実施例 5 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 11 は、本発明の光学系の実施例 6 のレンズ断面図、図 12 は実施例 6 の光学系の無限合焦状態の収差図である。図 13 は、本発明の光学系の実施例 7 のレンズ断面図、図 14 は実施例 7 の光学系の無限合焦状態の収差図である。

#### 【0018】

図 15 は本発明の光学系を検証するための説明図である。図 16 は本発明の光学系を検証するための説明図である。図 17 は本発明の撮像装置の要部概略図である。

#### 【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】

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又は負の屈折力の第 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。

#### 【0021】

実施例 1 乃至 4, 6, 7 においてフォーカスレンズ群 L F は第 1 レンズ群 L 1 の部分と第 2 レンズ群 L 2 より構成されている。実施例 5 においてフォーカスレンズ群 L F は第 1 レンズ群 L 1 の像側の部分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一体的に物体側へ移動する。L N は負レンズユニットである。負レンズユニットは、正レンズと負レンズとを接合した接合レンズよりなる。具体的には負レンズユニット L N は物体側から像側へ順に、負レンズと該負レンズの像側にある正レンズ（以下、単に「負レンズと正レンズ」と称する。）を接合した接合レンズ又は物体側から像側へ順に、正レンズと該正レンズの像側にある負レンズ（以下、単に「正レンズと負レンズ」と称する。）を接合した接合レンズより構成されている。

#### 【0022】

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ィルム面に相当する。図 15 において F P はフレアーカット絞りである。

#### 【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（ $587.6\text{ nm}$ ）、破線の g は g 線（ $435.8\text{ nm}$ ）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、は撮

影画角の半画角（度）である。

【0024】

各実施例の光学系 L A において、第 2 レンズ群 L 2 は負レンズと正レンズとを接合した接合レンズ又は正レンズと負レンズとを接合した接合レンズからなる負レンズユニット L N を有している。そして負レンズユニット L N を構成する正レンズの材料のアップ数を  $p$ 、異常部分分散性を  $\underline{g F p}$ 、負レンズユニット L N を構成する負レンズの材料のアップ数を  $n$ 、異常部分分散性を  $\underline{g F n}$ 、光学系 L A の焦点距離を  $f$  とする。負レンズユニット L N の焦点距離を  $f s g$ 、異常部分分散性  $\underline{g F}$  は  $g$  線と  $F$  線に関する部分分散比を  $\underline{g F}$  とし、

$$\underline{g F} = \underline{g F} - (0.6438 - 0.001682 \times d)$$

とする。このとき、

$$0.72 \quad p / n \quad 1.00 \quad \dots (1)$$

$$0.005 \quad \underline{g F p} - \underline{g F n} \quad 0.050 \quad \dots (2)$$

$$-0.8 \quad f s g / f \quad -0.5 \quad \dots (3)$$

なる条件式を満足する。

【0025】

本発明は、レトロフォーカスタイプの光学系において、開口絞り S P より像側にアップ数が小さく、 $g$  線と  $F$  線の部分分散比  $\underline{g F}$  が大きく、互いに異なる材料よりなる 2 つのレンズを接合した接合レンズを設けている。これにより短波長側の倍率色収差の曲がりを改善する。それにより、倍率色収差を良好に補正している。

【0026】

図 15 (a) は本発明の光学系と比較するためのレトロフォーカスタイプの広角レンズのレンズ断面図である。図 15 (a) に示すようにレトロフォーカスタイプの広角レンズ L A は、開口絞り S P より像側に物体側から像側へ順に、負レンズ G 2 1、正レンズ G 2 2、正レンズ G 2 3 を有している。負レンズ G 2 1 と正レンズ G 2 2 はマージナルコンタクトとなることが多い。一方、このようなレンズタイプの広角レンズでは、短波長側の倍率色収差が図 15 (b) に示すように曲がることが多い。

【0027】

図 15 (c) は歪曲 3 次収差係数  $V$  と 5 次収差係数  $V^{\wedge}$  をそれぞれ各レンズ面と全系での  $g$  線と  $d$  線の差をプロットした説明図である（レンズ設計法 松居直哉著 参照）。図 15 (c) より前述のマージナルコンタクトを形成する両レンズ面で歪曲 5 次収差係数が大きくなっている。ここで、歪曲と歪曲 3 次収差係数と歪曲 5 次収差係数の関係は以下の式 (X 1)（レンズ設計法 松居直哉著 P 102 式 (4.22) 参照）より倍率色収差の曲がりがない条件を考える。

【0028】

【数 1】

$$Dist(\%) = -50 \left\{ V(N_1 \tan \omega)^2 + \frac{\hat{V}}{4} (N_1 \tan \omega)^4 \right\} \quad \dots (X 1)$$

【0029】

ただし、 $V$  : 歪曲 3 次収差係数  $V^{\wedge}$  : 歪曲 5 次収差係数  $N_1$  : 最も物体側にある媒質の屈折力  $\omega$  : 半画角を示している。

【0030】

これより、像高を  $y$ 、撮影半画角を  $\omega$ 、焦点距離を  $f$  としたときの  $y = f \tan \omega$  を考慮して像高  $y$  において  $g$  線の倍率色収差の曲がりをなくするためには、 $g$  線と  $d$  線に関する (X 1) 式の微分値が等しくなればよい（条件式 (X 2)）。

【0031】

【数 2】

$$\frac{dDist_g}{dy} = \frac{dDist_d}{dy} \quad \dots (X2)$$

【0032】

式(X1)、式(X2)より

【0033】

【数 3】

$$\frac{\hat{V}_g - \hat{V}_d}{V_g - V_d} = -\frac{1}{2} \left( \frac{2f}{y} \right)^2 \quad \dots (X3)$$

【0034】

とまとめることができる。

【0035】

式(X3)は歪曲の5次収差係数 $\hat{V}$ の波長 $g, d$ での差分と歪曲の3次収差係数 $V$ の波長 $g, d$ での差分の比が、正負が反対かつ焦点距離 $f$ と任意像高 $y$ によって決まるというものである。ここで、例えば $f = 24 \text{ mm}$ 、 $y = 20 \text{ mm}$ であれば式(X3)は $-2.9$ となればよい。

【0036】

これを行ったものが、図16(a)に示してある光学系である。この光学系は開口絞りSPより像側に、材料のアッペ数の差が比較的少なく、異常部分分散性が大きく異なる負レンズと正レンズを接合した接合レンズを有し、短波長側に効果の大きい負レンズユニットG22aを有する。更に正レンズG23、正レンズG24を有している。これによって図16(c)の全系での3次収差係数と5次収差係数の比を略 $-2.9$ としている。図16(b)に倍率色収差を示す。図16(b)に示すように像高が高い位置での倍率色収差では低次と高次の倍率色収差によって打ち消されている。

【0037】

このように、開口絞りSPより像側に物体側から像側へ順に、負レンズG21、正レンズG22、正レンズG23を有し、負レンズG21と正レンズG22とがマージナルコンタクトとなる光学系は、倍率色収差が像高に対して大きくなる。更に倍率色収差は曲がりをもって発生することが多い。

【0038】

このような場合は負レンズの材料にアッペ数の差が比較的少なく、異常部分分散性が大きく異なる負レンズを用いるのが良い。そしてこの負レンズと正レンズを接合した接合レンズより負レンズユニットとするのが良い。または正レンズと負レンズを接合した接合レンズよりなる負レンズユニットとするのが良い。これによれば倍率色収差の曲がりを制御することが容易になる。本発明の光学系は前述の如く構成することで色収差を良好に補正し、高い光学性能を得ている。

【0039】

条件式(1)は、第2レンズ群L2内の負レンズと正レンズまたは正レンズと負レンズからなる接合レンズ(負レンズユニットLN)を構成する、正レンズと負レンズの材料のアッペ数の比を規定する。条件式(1)の上限を超えると色収差のバランスが大きく発生してしまい光学性能を維持することが困難になる。条件式(1)の下限を超えると、接合レンズ面のパワーが弱くなり短波長側の倍率色収差の曲がりを補整する能力が弱まってしまふ。更に好ましくは、条件式(1)の数値を次の如く設定することが好ましい。

【0040】

$$0.78 \leq p/n \leq 1.00 \quad \dots (1a)$$

条件式(2)は、第2レンズ群L2内の負レンズユニットLNを構成する、正レンズと

負レンズの材料の異常部分分散性の差分を規定する。条件式(2)の上限を超えると接合レンズ面での短波長側の倍率色収差の補整が過剰になってしまい光学性能が低下する。条件式(2)の下限を超えると、接合レンズ面での短波長側の倍率色収差の補整能力が弱くなってしまい、所望の効果をすることが困難になる。更に好ましくは、条件式(2)の数値範囲を次の如く設定することが好ましい。

【0041】

$$0.005 \leq \frac{gF_p}{gF_n} - 0.030 \leq \dots (2a)$$

条件式(2a)は、より効果を発揮するには、次の如く設定することが好ましい。

【0042】

$$0.005 \leq \frac{gF_p}{gF_n} - 0.020 \leq \dots (2b)$$

条件式(3)は、第2レンズ群L2内の負レンズユニットLNのパワーを規定する。条件式(3)の上限を超えると負レンズユニットLNの短波長側の倍率色収差の補整が過剰になってしまい色収差が低下し光学性能が低下する。条件式(3)の下限を超えると、負レンズユニットLNでの短波長側の倍率色収差の補整能力が弱くなってしまい、所望の効果をすることが困難になる。更に好ましくは、条件式(3)の数値範囲を次の如く設定することが好ましい。

【0043】

$$-0.80 \leq f_{sg}/f - 0.56 \leq \dots (3a)$$

各実施例では、負レンズユニットLNの像側に、単一レンズ又は接合レンズよりなる第1正レンズユニット、及び単一レンズ又は接合レンズよりなる第2正レンズユニットを有する。

【0044】

負レンズユニットLNと第1正レンズユニットはマージナルコンタクトされている。負レンズユニットLNの像側のレンズ面の曲率半径をR1a、第1正レンズユニットの物体側のレンズ面の曲率半径をR2aとする。このとき、

$$|R1a/R2a| \leq 1.7 \leq \dots (4)$$

なる条件式を満足する。

【0045】

条件式(4)は、第2レンズ群L2内の負レンズユニットと第1正レンズユニットが構成する空気レンズの形状を規定する。条件式(4)の上限を超えるとマージナルコンタクトを形成する前後のレンズ面のパワーが強くなり短波長側の倍率色収差の曲がりが発生、また非点収差等も発生し光学性能を良好に維持することが困難になる。更に好ましくは、条件式(4)の数値範囲を次の如く設定することが好ましい。

【0046】

$$0.10 \leq |R1a/R2a| \leq 1.55 \leq \dots (4a)$$

以上のように各実施例ではレトロフォーカス型の光学系において、開口絞りSPより像側に比較的アッベ数は近く、g線とF線の部分分散比が大きく異なる負レンズユニットLNを設けている。これにより短波長側の倍率色収差の曲がりを改善している。それにより、倍率色収差の残収差を格段に減少させ、高い光学性能を有する光学系を得ている。

【0047】

各実施例において負レンズユニットLNを構成するレンズの材料はガラス材でも樹脂でも良い。各実施例において、第1レンズ群L1は物体側から像側へ順に配置された次のレンズより構成される。即ち正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズから構成される。

【0048】

又は第1レンズ群L1は物体側から像側へ順に、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズから構成される。又は第1レンズ群L1は物体側から像側へ順に、負レンズ、正レンズと負レンズを接合した接合レンズから構成される。又は第1レンズ群L1は物体側から像側へ順に、負レンズ、正レンズ、負レンズ、正レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズから構成される。又、各実施例において、第2レンズ群L2は物体



側から像側へ順に、配置された次のレンズより構成される。即ち正レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成される。

【0049】

又は、第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、正レンズから構成される。又は第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、正レンズ、正レンズと負レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成される。

【0050】

次に各実施例の第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の具体的なレンズ構成について説明する。実施例1の光学系は、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群L1、開口絞りSP、正の屈折力の第2レンズ群L2から構成されている。第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に、次のとおりである。物体側が凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、像側が凸でメニスカス形状の負レンズから構成されている。開口絞りSPより像側の第2レンズ群L2は、物体側から像側へ順に、次のとおりである。

【0051】

両凸形状の正レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成されている。

【0052】

実施例2の光学系において各レンズ群の屈折力配置及び開口絞りSPの位置は実施例1と同じである。第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に、次のとおりである。物体側が凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、像側が凹でメニスカス形状の負レンズから構成されている。開口絞りSPより像側の第2レンズ群L2のレンズ構成は実施例1と同じである。

【0053】

実施例3の光学系において各レンズ群の屈折力配置及び開口絞りSPの位置は実施例1と同じである。第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に、次のとおりである。物体側が凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、像側が凹でメニスカス形状の負レンズから構成されている。開口絞りSPより像側の第2レンズ群L2のレンズ構成は実施例1と同じである。

【0054】

実施例4の光学系において各レンズ群の屈折力配置及び開口絞りSPの位置は、実施例1と同じである。第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に次のとおりである。物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、像側が凸でメニスカス形状の負レンズから構成されている。開口絞りSPより像側にある第2レンズ群L2のレンズ構成は実施例1と同じである。

【0055】

実施例5の光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群L1、開口絞りSP、正の屈折力の第2レンズ群L2より構成されている。

【0056】

第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に次のとおりである。物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、正レンズと負レンズを接合した接合レンズから構成されている。開口絞りSPより像側にある第2レンズ群L2は、物体側から像側へ順に次のとおりである。負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズ、両凸形状の正レンズから構成される。

【0057】

実施例 6 の光学系において各レンズ群の屈折力配置及び開口絞り S P の位置は実施例 5 と同じである。第 1 レンズ群 L 1 は、物体側から像側へ順に次のとおりである。物体側が凸でメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、両凹形状の負レンズ、両凸形状の正レンズ、負レンズと正レンズを接合した接合レンズから構成されている。開口絞り S P より像側にある第 2 レンズ群 L 2 のレンズ構成は実施例 1 と同じである。

【 0 0 5 8 】

実施例 7 の光学系において各レンズ群の屈折力配置、及び開口絞り S P の位置は実施例 1 と同じである。第 1 レンズ群 L 1 のレンズ構成は実施例 1 と同じである。開口絞り S P より像側にある第 2 レンズ群 L 2 は、物体側から像側へ順に次のとおりである。両凸形状の正レンズ、正レンズと負レンズを接合した接合レンズ、物体側が凹でメニスカス形状の正レンズ、正レンズから構成される。

【 0 0 5 9 】

図 1 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 1 7 において 2 0 はカメラ本体、2 1 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。2 2 はカメラ本体 2 0 に内蔵され、撮影光学系 2 1 によって形成された被写体像を受光する 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）である。

【 0 0 6 0 】

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。

【 0 0 6 1 】

以下に、実施例 1 ～ 7 に各々対応する数値実施例 1 ～ 7 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、 $n_{di}$  と  $d_i$  はそれぞれ  $d$  線に対する屈折率、アッペ数を示す。B F はバックフォーカスであり最終レンズ面から像面までの距離である。

【 0 0 6 2 】

( 数値実施例 1 )

単位 mm

面 データ

面 番 号	$r$	$d$	$n_d$	$d$	有効径
1	109.958	3.55	1.51633	64.1	42.70
2	3199.111	0.10			40.88
3	83.973	1.30	1.59522	67.7	35.99
4	18.954	4.19			28.08
5	43.283	3.67	1.51633	64.1	27.81
6	-882.410	4.70			26.63
7	33.350	0.90	1.59522	67.7	16.80
8	10.118	3.10			13.83
9	43.024	3.08	1.74950	35.3	13.13
10	-156.256	0.50			11.68
11	-84.624	8.24	1.76182	26.5	11.31
12	-99.021	1.00			13.18
13(絞り)		1.00			13.55
14	100.462	7.37	1.81600	46.6	13.92
15	-18.742	1.59			14.49
16	-22.434	0.80	1.80518	25.4	13.38
17	15.184	2.16	1.80809	22.8	13.75
18	40.066	1.38			14.39
19	-44.734	2.25	1.69680	55.5	14.61

20	-20.085	0.15			15.87
21	-3928.597	3.08	1.59282	68.6	17.94
22	-26.351	38.04			18.84
像面					

## 【 0 0 6 3 】

## 各種データ

焦点距離	24.50
Fナンバー	2.86
半画角 ( 度 )	41.45
像高	21.64
レンズ全長	92.15
BF	38.04
入射瞳位置	20.39
射出瞳位置	-21.13
前側主点位置	34.74
後側主点位置	13.54

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	-43.29	33.32	5.97	-20.61
2	13	27.18	19.78	10.31	-4.52

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	220.46
2	3	-41.44
3	5	80.02
4	7	-24.76
5	9	45.31
6	11	-1015.33
7	14	19.91
8	16	-11.14
9	17	29.13
10	19	50.42
11	21	44.74

## 【 0 0 6 4 】

## ( 数値実施例 2 )

単位 mm

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	116.520	3.95	1.51633	64.1	42.34
2	-14258.963	0.10			39.97
3	82.458	1.30	1.59522	67.7	35.07
4	18.397	5.26			27.32
5	84.116	2.92	1.51633	64.1	27.03
6	-158.001	4.70			26.03
7	72.333	0.90	1.59522	67.7	17.46
8	11.751	2.33			14.70

9	34.094	3.77	1.74950	35.3	14.39
10	-504.438	0.53			12.84
11	353.782	9.91	1.75520	27.5	12.21
12	147.728	1.14			13.64
13(絞リ)		1.00			14.02
14	26.268	4.21	1.67790	55.3	14.82
15	-19.396	2.06			14.79
16	-17.784	0.73	1.74950	35.3	13.30
17	18.000	1.55	1.74950	35.3	13.33
18	29.639	1.25			13.34
19	-59.498	2.43	1.59282	68.6	13.38
20	-17.358	0.32			14.44
21	-369.332	2.96	1.59282	68.6	16.62
22	-23.379	38.02			17.56

像面

### 【 0 0 6 5 】

#### 各種データ

焦点距離	24.50
Fナンバー	2.86
半画角(度)	41.45
像高	21.64
レンズ全長	91.34
BF	38.02
入射瞳位置	20.49
射出瞳位置	-18.15
前側主点位置	34.31
後側主点位置	13.52

#### レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
1	1	-30.12	35.68	9.74	-15.59
2	13	24.56	16.50	7.90	-6.51

#### 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	223.86
2	3	-40.09
3	5	106.75
4	7	-23.70
5	9	42.74
6	11	-342.95
7	14	17.10
8	16	-11.83
9	17	57.86
10	19	40.47
11	21	41.97

### 【 0 0 6 6 】

(数値実施例3)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	111.058	3.87	1.51633	64.1	42.69
2	-1161.681	0.10			40.75
3	80.808	1.30	1.59522	67.7	35.06
4	18.000	5.34			27.04
5	85.605	2.75	1.51633	64.1	26.74
6	-200.052	4.70			25.72
7	189.224	0.90	1.59522	67.7	17.76
8	12.712	2.99			15.05
9	32.286	4.01	1.74950	35.3	14.33
10	-123.628	0.61			12.79
11	351.950	9.60	1.75520	27.5	12.47
12	107.959	1.00			13.74
13(絞り)		1.00			14.00
14	23.099	4.27	1.56907	71.3	14.73
15	-18.114	1.98			14.66
16	-16.301	0.70	1.65412	39.7	13.30
17	22.000	1.23	1.59551	39.2	13.33
18	28.094	1.28			13.37
19	-61.127	2.39	1.59282	68.6	13.41
20	-17.946	0.15			14.45
21	3033.223	2.93	1.59282	68.6	16.49
22	-24.969	38.01			17.42

像面

【 0 0 6 7 】

各種データ

焦点距離	24.50
Fナンバー	2.86
半画角(度)	41.45
像高	21.64
レンズ全長	91.13
BF	38.01
入射瞳位置	20.51
射出瞳位置	-17.73
前側主点位置	34.24
後側主点位置	13.51

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	-34.31	36.18	8.22	-18.14
2	13	25.64	15.94	8.08	-5.93

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	196.53
2	3	-39.21
3	5	116.49
4	7	-22.94

5	9	34.54
6	11	-209.76
7	14	18.54
8	16	-14.21
9	17	158.36
10	19	41.99
11	21	41.79

## 【 0 0 6 8 】

( 数値実施例 4 )

単位 mm

面 データ

面 番 号	r	d	nd	d	有効径
1	130.274	1.49	1.59522	67.7	40.29
2	25.550	3.13			33.87
3	41.730	6.40	1.51633	64.1	33.71
4	-90.455	5.37			32.74
5	59.607	1.03	1.59522	67.7	20.12
6	11.734	4.24			16.42
7	35.285	3.70	1.74950	35.3	15.35
8	-109.611	0.50			13.92
9	-50.738	7.63	1.76182	26.5	13.60
10	-102.453	2.67			14.24
11(絞リ)		1.05			14.94
12	58.529	4.41	1.81600	46.6	15.30
13	-23.507	2.34			15.33
14	-23.920	1.13	1.80518	25.4	13.77
15	14.266	2.23	1.80809	22.8	13.79
16	36.829	1.90			14.37
17	-37.219	2.83	1.69680	55.5	15.05
18	-20.144	0.15			16.87
19	681.181	3.25	1.59282	68.6	19.19
20	-28.427	39.30			20.05

像面

## 【 0 0 6 9 】

各種データ

焦点距離	28.00
Fナンバー	2.86
半画角(度)	37.69
像高	21.64
レンズ全長	94.73
BF	39.30
入射瞳位置	21.35
射出瞳位置	-21.09
前側主点位置	36.36
後側主点位置	11.30

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
---	----	------	-------	--------	--------

1	1	-60.86	33.48	2.53	-24.56
2	11	30.97	19.28	10.18	-5.92

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-53.68
2	3	56.23
3	5	-24.74
4	7	36.01
5	9	-140.94
6	12	21.06
7	14	-10.95
8	15	27.60
9	17	59.00
10	19	46.11

## 【 0 0 7 0 】

(数値実施例5)

単位 mm

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	42.046	1.50	1.59282	68.6	38.56
2	19.046	21.03			32.03
3	34.226	7.38	1.77250	49.6	26.02
4	-28.087	3.37	1.59270	35.3	24.92
5	-331.496	7.90			22.83
6(絞り)		2.23			18.82
7	-26.067	1.00	1.61340	44.3	18.57
8	16.000	3.32	1.59270	35.3	18.60
9	53.595	1.03			18.63
10	-484.125	0.97	1.80518	25.4	18.66
11	35.566	3.93	1.59282	68.6	19.03
12	-29.109	0.15			19.28
13	74.714	3.84	1.81600	46.6	20.35
14	-56.799	36.03			21.41

像面

## 【 0 0 7 1 】

## 各種データ

焦点距離	35.00
Fナンバー	2.00
半画角(度)	31.72
像高	21.64
レンズ全長	93.66
BF	36.03
入射瞳位置	26.81
射出瞳位置	-16.84
前側主点位置	38.65
後側主点位置	1.03

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	41.77	33.27	28.59	9.76
2	7	86.89	16.45	26.82	21.95

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-60.19
2	3	21.06
3	4	-51.99
4	7	-16.02
5	8	37.26
6	10	-41.11
7	11	27.63
8	13	40.07

## 【 0 0 7 2 】

(数値実施例 6)

単位 mm

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	104.922	2.00	1.59270	35.3	49.85
2	37.065	5.72			44.01
3	127.780	5.10	1.83481	42.7	43.77
4	-171.330	9.39			42.81
5*	-118.668	1.50	1.58313	59.4	28.90
6*	19.438	5.64			24.57
7	27.306	10.49	1.81600	46.6	23.68
8	-97.899	4.41			22.30
9	-62.080	1.00	1.59551	39.2	21.18
10	46.101	2.77	1.83481	42.7	21.07
11	141.972	2.72			20.89
12(絞り)		2.15			20.78
13	78.627	3.37	1.72916	54.7	20.64
14	-39.739	3.52			20.46
15	-20.073	0.90	1.80000	29.8	18.69
16	30.000	3.09	1.80518	25.4	19.33
17	90.704	1.39			19.60
18	-59.507	4.20	1.59282	68.6	19.62
19	-20.062	0.15			20.48
20	72.420	5.06	1.59282	68.6	25.06
21	-47.316	38.3			26.09

像面

## 【 0 0 7 3 】

## 非球面データ

## 第5面

K = 0.00000e+000 A 4= 1.04381e-008 A 6= 3.85467e-010 A 8= 2.75687e-014 A10=  
-1.31200e-015 A12=-2.54756e-017

## 第6面



K = 1.97003e-002 A 4=-2.14590e-006 A 6=-5.64301e-008 A 8= 4.71790e-010 A10=-2.72648e-012 A12= 4.80763e-015

## 各種データ

焦点距離 35.11  
Fナンバー 2.05  
半画角(度) 31.64  
像高 21.64  
レンズ全長 112.89  
BF 38.30  
入射瞳位置 33.35  
射出瞳位置 -30.65  
前側主点位置 50.59  
後側主点位置 3.20

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	1500.41	49.54	240.72	241.32
2	15	41.26	23.83	16.91	-1.99

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-97.77
2	3	88.36
3	5	-28.53
4	7	27.19
5	9	-44.27
6	10	80.72
7	13	36.64
8	15	-14.91
9	16	54.43
10	18	49.11
11	20	49.05

## 【 0 0 7 4 】

## (数値実施例7)

単位 mm

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1	134.144	3.88	1.51633	64.1	41.98
2	-976.721	0.10			39.64
3	78.860	1.30	1.59522	67.7	34.29
4	17.628	4.61			26.56
5	51.964	3.19	1.51633	64.1	26.29
6	-359.345	4.70			25.22
7	43.585	0.90	1.59522	67.7	16.50
8	10.512	2.44			13.76
9	37.499	3.79	1.74950	35.3	13.44
10	-85.674	0.50			11.84
11	-87.022	8.57	1.76182	26.5	11.71
12	-106.727	1.00			13.66

13(絞り)		1.00			14.03
14	109.830	5.25	1.81600	46.6	14.40
15	-18.392	1.29			14.77
16	-24.621	2.25	1.80809	22.8	13.69
17	-12.000	3.16	1.80518	25.4	13.65
18	34.666	1.34			14.10
19	-56.320	2.03	1.69680	55.5	14.37
20	-24.467	0.15			15.57
21	-18183.106	3.14	1.59282	68.6	17.32
22	-24.128	38.03			18.26

像面

各種データ

【 0 0 7 5 】

焦点距離	24.50
Fナンバー	2.86
半画角(度)	41.45
像高	21.64
レンズ全長	92.61
BF	38.03
入射瞳位置	19.82
射出瞳位置	-20.06
前側主点位置	33.99
後側主点位置	13.53

ズームレンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	-46.46	33.97	3.56	-24.02
2	13	28.08	19.61	9.86	-4.87

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	228.70
2	3	-38.45
3	5	88.16
4	7	-23.51
5	9	35.27
6	11	-762.00
7	14	19.67
8	16	26.83
9	17	-10.75
10	19	60.50
11	21	40.75

【 0 0 7 6 】

【表 1】

表 1

	条件式 (1)	条件式 (2)	条件式 (3)	条件式 (4)
実施例 1	0.898	0.0103	-0.715	-0.896
実施例 2	1.00	0.0050	-0.593	-0.498
実施例 3	0.987	0.0059	-0.627	-0.460
実施例 4	0.898	0.0103	-0.629	-0.990
実施例 5	0.796	0.0155	-0.780	-0.111
実施例 6	0.852	0.0073	-0.577	-1.52
実施例 7	0.897	0.0103	-0.702	-0.615

【符号の説明】

【0077】

L 1 第 1 レンズ群

L 2 第 2 レンズ群

S P 開口絞り