(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6961366号
(P6961366)
(45)発行日　令和3年11月5日(2021.11.5)　(24)登録日　令和3年10月15日(2021.10.15)

(51)Int.Cl.　F I
G02B 13/02 (2006.01)　G02B 13/02
G02B 13/18 (2006.01)　G02B 13/18
G02B 5/18 (2006.01)　G02B 5/18

請求項の数 12　(全 32 頁)

(21)出願番号　特願2017-43748(P2017-43748)
(22)出願日　平成29年3月8日(2017.3.8)
(65)公開番号　特開2018-146879(P2018-146879A)
(43)公開日　平成30年9月20日(2018.9.20)
審査請求日　令和2年3月4日(2020.3.4)

(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　100126240
弁理士　阿部　琢磨
(74)代理人　100124442
弁理士　黒岩　創吾
(72)発明者　安井　裕人
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　堀井　康司

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】
物体側から像側へ順に配置された、前群、開口絞り、後群から構成される光学系であって、
前記前群は、同符号のパワーを有する少なくとも一つの第１屈折光学素子と、該第１屈折光学素子のパワーと異符号のパワーを有する少なくとも一つの第２屈折光学素子とを有し、
前記少なくとも一つの第１屈折光学素子及び前記少なくとも一つの第２屈折光学素子のうち何れかは、前記第１屈折光学素子のパワーと同符号のパワーを有する回折面を含み、
前記少なくとも一つの第１屈折光学素子のうち、物体側から数えて第ｉ番目（ｉは１以上でＭ以下の整数、Ｍは１以上の整数）の第１屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-fsi}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-fsi}、$\delta\theta_{dC-fsi}=\theta_{dC-fsi}-(-0.1968\times\theta_{gd-fsi}+0.548)$とするとき、
【数１】

$$0.001 < \sum_{i=1}^{M} |\delta\theta_{dC-fsi}| / M < 0.010$$

なる条件式を満足し、

前記少なくとも一つの第２屈折光学素子のうち、物体側から数えて第ｊ番目（ｊは１以上でＮ以下の整数、Ｎは１以上の整数）の第２屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-fdj}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-fdj}、アッベ数をνd_{fdj}、$\delta\theta_{dC-fdj}=\theta_{dC-fdj}-(-0.1968\times\theta_{gd-fdj}+0.548)$、$\Delta\theta_{gd-fdj}=\theta_{gd-fdj}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{fdj}^{3}+5.702\times10^{-5}\times\nu d_{fdj}^{2}-6.603\times10^{-3}\times\nu d_{fdj}+1.462)$とするとき、

【数２】

$$0.0001 < \sum_{j=1}^{N}|\delta\theta_{dC-fdj}| / N < 0.0010$$

【数３】

$$0.001 < \sum_{j=1}^{N}|\Delta\theta_{gd-fdj}| / N < 0.010$$

なる条件式を満足し、

前記後群は回折面を含まない屈折光学素子のみで構成されており、前記後群における物体側から数えて第ｉ番目（ｉは１以上でＫ以下の整数、Ｋは１以上の整数）の屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-bi}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-bi}、$\delta\theta_{dC-bi}=\theta_{dC-bi}-(-0.1968\times\theta_{gd-bi}+0.548)$とし、前記回折面のｄ線－Ｃ線間の部分分散比を$\theta_{dC-DO}$、ｇ線－ｄ線間の部分分散比を$\theta_{gd-DO}$、$\delta\theta_{dC-DO}=\theta_{dC-DO}-(-0.1968\times\theta_{gd-DO}+0.548)$とし、

前記後群における第ｉ番目の屈折光学素子について、パワーをϕ_{bi}、アッベ数をνd_{bi}、軸上近軸光線の入射高をh_{bi}とし、前記回折面について、パワーをϕ_{DO}、アッベ数をνd_{DO}、軸上近軸光線の入射高をh_{DO}とするとき、

【数４】

$$-0.345 \leqq \sum_{i=1}^{K}\frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}}\delta\theta_{dC-bi}h_{bi}^{2} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}}\delta\theta_{dC-DO}h_{DO}^{2} \leqq -0.067$$

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】

前記前群における第ｉ番目の第１屈折光学素子の材料のアッベ数をνd_{fsi}、$\Delta\theta_{gd-fsi}=\theta_{gd-fsi}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{fsi}^{3}+5.702\times10^{-5}\times\nu d_{fsi}^{2}-6.603\times10^{-3}\times\nu d_{fsi}+1.462)$とするとき、

【数５】

$$0.010 < \sum_{i=1}^{M}|\Delta\theta_{gd-fsi}| / M < 0.100$$

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】

$\Delta\theta_{gd-bi}=\theta_{gd-bi}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{bi}^{3}+5.702$

×１０$^{-5}$×νｄ$_{bi}$^{2}－６．６０３×１０$^{-3}$×νｄ$_{bi}$＋１．４６２）、Δθ$_{gd-DO}$＝θ$_{gd-DO}$－（－１．６８７×１０$^{-7}$×νｄ$_{DO}$^{3}＋５．７０２×１０$^{-5}$×νｄ$_{DO}$^{2}－６．６０３×１０$^{-3}$×νｄ$_{DO}$＋１．４６２）とするとき、

【数６】

$$-0.100 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi}^2 \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO}^2 < -0.005$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項１又は２に記載の光学系。

【請求項４】

【数７】

$$\overline{h}_{bi}$$

を前記後群における第ｉ番目の屈折光学素子における瞳近軸光線の入射高、

【数８】

$$\overline{h}_{DO}$$

を前記回折面における瞳近軸光線の入射高とするとき、

【数９】

$$-1.00 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{bi} \overline{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO} \overline{h}_{DO} < -0.05$$

【数１０】

$$0.05 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi} \overline{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO} \overline{h}_{DO} < 1.00$$

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の何れか一項に記載の光学系。

【請求項５】

前記前群は複数の屈折光学素子を有し、該複数の屈折光学素子の光軸上での間隔のうち最も離れた間隔をＬ$_{fl}$、無限遠物体に合焦しているときのレンズ全長をＬ$_{TOT}$とするとき、

０．０５＜Ｌ$_{fl}$／Ｌ$_{TOT}$＜０．５０

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の何れか一項に記載の光学系。

【請求項６】

前記回折面は、複数の屈折光学素子の接合面に設けられていることを特徴とする請求項１乃至５の何れか一項に記載の光学系。

【請求項７】

前記回折面を含む複数の屈折光学素子は、光軸上での厚さが０．１ｍｍ以下の樹脂材料から成ることを特徴とする請求項６に記載の光学系。

【請求項８】
テレ比が０．７以下であることを特徴とする請求項１乃至７の何れか一項に記載の光学系。
【請求項９】
前記前群は正のパワーの第１レンズ群、負のパワーの第２レンズ群より構成され、前記後群は第３レンズ群より構成され、前記第１レンズ群は前記回折面と非球面を有し、無限遠物体から至近物体への合焦変化に際して前記第２レンズ群が移動することを特徴とする請求項１乃至８の何れか一項に記載の光学系。
【請求項１０】
前記第３レンズ群は、非球面を有することを特徴とする請求項９に記載の光学系。
【請求項１１】
前記第３レンズ群は、像ぶれ補正に際して光軸に対して垂直な方向の成分を持つ方向に移動するレンズユニットを有することを特徴とする請求項９又は１０に記載の光学系。
【請求項１２】
請求項１乃至１１の何れか一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と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撮像装置に関し、例えばビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、TVカメラ、監視用カメラそして銀塩フィルムを用いたフィルム用カメラ等に好適なものである。
【背景技術】
【０００２】
一般に、撮像装置に用いられる光学系では、レンズ全長（第1レンズ面から像面までの距離）を短縮し、光学系全体の小型化を図る程、軸上色収差及び倍率色収差が増加する。望遠型の光学系では、焦点距離が長くなる程、色収差が増加する。このような光学系において、可視波長域に渡って色収差を補正するには、フラウンホーファー線におけるd線、g線、C線、F線の4波長の色収差を補正する必要がある。
【０００３】
一般に、色収差を低減する方法として、光学材料に異常部分分散材料を用いる方法や回折光学素子を用いる方法が知られている。しかしながら、高分散な光学材料は低分散の光学材料に比べて、g線とd線に関する部分分散比が大きい為、前記色消しの手法では、F-C線間の色収差を補正するとg線の色収差が低下する傾向にあった。
【０００４】
一方、g線の色収差を補正する手法として、光路中に回折光学素子を用いる方法は良く知られている。回折光学素子は異常部分分散特性を有しており、g線とd線に関する部分分散比に相当する数値が0.89と小さく、g線の色収差補正に有効である。また、アッベ数に相当する数値の絶対値が3.45と小さい為、回折による光学的な屈折力がわずかに生じるだけで、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差にほとんど影響を与えることなく、色収差を補正することができる。
【０００５】
それに伴い、前記回折光学素子と併用する屈折光学素子に余力が生じ、レンズ全長の短縮化や、前記屈折光学素子に用いる硝材を比較的比重の軽い硝材に変更することで、レンズ重量の軽量化がなされた光学系が開示されている（特許文献1）。
【０００６】
更に、可視波長域の色収差と補正する他の方法として、回折光学素子と異常部分分散特性を有する屈折光学素子とを併用する手法があり、その手法を用いて色収差を補正した光学系が提案されている（特許文献2）。前記特許文献2では、回折光学素子を有した光学系において、可視波長域に渡って色収差を補正すべく、d線、g線、C線、F線の4波長の色収

差補正に最適な異常部分分散特性を有する光学材料の材料範囲が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００７】
【特許文献１】特開2010－145797号公報
【特許文献２】国際公開第2011/024258号
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００８】
特許文献1では、回折光学素子の色収差補正効果によって、望遠レンズのレンズ全長の短縮化を図り、それとともに前記望遠レンズ内の屈折光学素子の屈折力増大に伴う、球面収差をはじめとした諸収差の低下を、非球面レンズにて補正している。これにより、諸収差の補正と光学系全系での小型・軽量化を図っている。
【０００９】
しかしながら、本特許文献1のような色消し手法は、現行の撮像装置を用いた撮影においては、実用上問題ないレベルまで色収差を補正できるが、将来の高精細、高画質対応の撮像装置には、十分とは言い難かった。特に、g線の色収差とF-C線間の色収差と同時に補正することが困難であった。これは、回折光学素子で発生する色収差が波長に比例して変化することに起因している。前記回折光学素子で発生する色収差と波長との間には比例関係があり、F-C線間の波長に対する色収差の傾きとg-F線間の波長に対する色収差の傾きは同じである。
【００１０】
一方、一般的な光学材料で発生する色収差は波長に対して曲線的に変化し、短波長側になるにつれて曲線の傾きが大きくなる傾向にある。従って、F-C線間の波長に対する色収差の傾きとg-F線間の波長に対する色収差の傾きが異なる。その為、一般的な光学材料で発生する色収差を回折光学素子で補正する場合、g-F線間の色収差を補正する為に必要な屈折力を前記回折光学素子に与えると、F-C線間の色収差が残存する。逆に、F-C線間の色収差を補正する為に必要な屈折力を前記回折光学素子に与えると、g-F線間に色収差が残存する。
【００１１】
従って、本文献1のように、回折光学素子を光学系に用いた場合、g線の色収差とF-C線間の色収差を同時に補正することが困難であった。
【００１２】
一方、特許文献2では、前記特許文献1における課題を解決すべく、回折光学素子を用いた光学系において、g線の色収差とF-C線間の色収差を同時に補正可能な光学材料の材料範囲を規定している。その際、回折光学素子を用いた光学系において、絞りに対して物体側又は像側の少なくとも一方に、前記回折光学素子と所望の材料特性を有した光学材料から成る屈折光学素子を用いている。
【００１３】
しかしながら、前記屈折光学素子に用いる所望の材料特性を有した光学材料は、樹脂材料を前提としており、前記樹脂材料から成る屈折光学部を、前記回折光学素子を設けた光学面の近傍に設けている。それに伴い、前記樹脂材料から成る屈折光学部は、比較的大口径なレンズの光学面に、屈折力をつけて（樹脂材料の厚さを厚くして）用いている為、レンズ自体の面精度や対環境性に課題があった。
【００１４】
本発明は前記課題を鑑みて、回折光学素子を用いた光学系において、所望の材料特性を有し、製造上の精度や対環境性に優れた光学材料（主に硝材）を使用し、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正された小型・軽量な光学系を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【００１５】

本発明の光学系は、物体側から像側へ順に配置された、前群、開口絞り、後群から構成される光学系であって、

前記前群は、同符号のパワーを有する少なくとも一つの第１屈折光学素子と、該第１屈折光学素子のパワーと異符号のパワーを有する少なくとも一つの第２屈折光学素子とを有し、

前記少なくとも一つの第１屈折光学素子及び前記少なくとも一つの第２屈折光学素子のうち何れかは、前記第１屈折光学素子のパワーと同符号のパワーを有する回折面を含み、

前記少なくとも一つの第１屈折光学素子のうち、物体側から数えて第ｉ番目（ｉは１以上でＭ以下の整数、Ｍは１以上の整数）の第１屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-fsi}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-fsi}、$\delta\theta_{dC-fsi}=\theta_{dC-fsi}-(-0.1968\times\theta_{gd-fsi}+0.548)$とするとき、

【数１】

$$0.001 < \sum_{i=1}^{M}|\delta\theta_{dC-fsi}| / M < 0.010$$

なる条件式を満足し、

前記少なくとも一つの第２屈折光学素子のうち、物体側から数えて第ｊ番目（ｊは１以上でＮ以下の整数、Ｎは１以上の整数）の第２屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-fdj}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-fdj}、アッベ数をνd_{fdj}、$\delta\theta_{dC-fdj}=\theta_{dC-fdj}-(-0.1968\times\theta_{gd-fdj}+0.548)$、$\Delta\theta_{gd-fdj}=\theta_{gd-fdj}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{fdj}^{3}+5.702\times10^{-5}\times\nu d_{fdj}^{2}-6.603\times10^{-3}\times\nu d_{fdj}+1.462)$とするとき、

【数２】

$$0.0001 < \sum_{j=1}^{N}|\delta\theta_{dC-fdj}| / N < 0.0010$$

【数３】

$$0.001 < \sum_{j=1}^{N}|\Delta\theta_{gd-fdj}| / N < 0.010$$

なる条件式を満足し、

前記後群は回折面を含まない屈折光学素子のみで構成されており、前記後群における物体側から数えて第ｉ番目（ｉは１以上でＫ以下の整数、Ｋは１以上の整数）の屈折光学素子の材料のｄ線－Ｃ線間の部分分散比をθ_{dC-bi}、ｇ線－ｄ線間の部分分散比をθ_{gd-bi}、$\delta\theta_{dC-bi}=\theta_{dC-bi}-(-0.1968\times\theta_{gd-bi}+0.548)$とし、前記回折面のｄ線－Ｃ線間の部分分散比を$\theta_{dC-DO}$、ｇ線－ｄ線間の部分分散比を$\theta_{gd-DO}$、$\delta\theta_{dC-DO}=\theta_{dC-DO}-(-0.1968\times\theta_{gd-DO}+0.548)$とし、

前記後群における第ｉ番目の屈折光学素子について、パワーをϕ_{bi}、アッベ数をνd_{bi}、軸上近軸光線の入射高をh_{bi}とし、前記回折面について、パワーをϕ_{DO}、アッベ数をνd_{DO}、軸上近軸光線の入射高をh_{DO}とするとき、

【数４】

$$-0.345 \leqq \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\, \theta_{dC-bi}\, h_{bi}{}^{2} \;/\; \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\, \theta_{dC-DO} h_{DO}^{2} \leqq -0.067$$

なる条件式を満足することを特徴とする。

【発明の効果】

【００２０】

本発明によれば、回折光学素子を用いた光学系において、前記回折光学素子の分散特性に最適な材料特性を有した光学材料（主に硝材）を屈折光学素子に使用することにより、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正された小型・軽量な光学系を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【００２１】

【図１】本発明の実施例1の無限遠物体時におけるレンズ断面図

【図２】本発明の実施例1における無限遠物体時の収差図

【図３】本発明の実施例2の無限遠物体時におけるレンズ断面図

【図４】本発明の実施例2における無限遠物体時の収差図

【図５】本発明の実施例3の無限遠物体時におけるレンズ断面図

【図６】本発明の実施例3における無限遠物体時の収差図

【図７】(A)、(B)、(C)　本発明に係る回折光学素子の説明図

【図８】(A)、(B)、(C)　本発明に係る回折光学素子の回折効率の波長依存特性を説明するグラフ

【図９】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】

【００２２】

最初に、本発明に係る光学系の特徴について説明する。

【００２３】

まず本発明の目的は、前述の通り、回折光学素子を用いた光学系において、所望の材料特性を有し、製造上の精度や対環境性に優れた光学材料（主に硝材）を使用し、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正された小型・軽量な光学系を提供することである。

【００２４】

その為には、回折光学素子と屈折光学素子から成る光学系において、可視波長域全域で渡り光学系全系での色収差を良好に補正すべく、前記回折光学素子の分散特性と相性の良い材料特性を有した光学材料を選択し、屈折光学素子に使用する必要がある。またその際、選択した光学材料の比重が比較的軽いことが望ましい。

【００２５】

具体的には、本発明の光学系は、物体側から順に、前群、開口絞り、後群から成る光学系であり、前記前群は回折光学素子と複数の屈折光学素子で構成されている。本発明では、前記回折光学素子と屈折光学素子が、後述の各条件式を満足するように適切に組み合わせることで、回折光学素子にてg線の色収差を補正した際、低下するF-C線間の色収差を、屈折光学素子で補正している。これにより、g線の色収差とF-C線間の色収差を同時に0に近づけることができ、可視波長全域に渡って色収差の補正が良好になされた光学系を実現することができる。

【００２６】

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、物体側から像側へ順に配置された、前群、開口絞り、後群から構成される。前群は回折光学素子と複数の屈折光学素子を有する。

図1、図2は本発明の光学系の実施例1のレンズ断面図と収差図である。図3、図4は本発明の光学系の実施例2のレンズ断面図と収差図である。図5、図6は本発明の光学系の実施

例3のレンズ断面図と収差図である。

【００２７】

レンズ断面図においてL0は光学系である。LFは前群、Sは開口絞り、LRは後群である。L1は正の屈折力の第1レンズ群、L2は無限遠物体から至近物体への合焦変化に伴い、光軸上を像側に移動する負の屈折力の第2レンズ群である。L3は負の屈折力の第3レンズ群である。第1レンズ群L1は回折光学素子Ldoeと非球面asphを有している。

【００２８】

開口絞りSは、第2レンズ群L2と第3レンズ群L3の間に配置されている。Oは光軸、IPは像面であり、撮像素子の撮像面に相当する。Gは水晶ローパスフィルタや赤外カットフィルタ等のガラスブロックを表している。回折光学素子Ldoeにおける回折面は負レンズと正レンズを接合した接合レンズの接合面又は屈折光学素子の一方の光学面に設けられている。第3レンズ群L3は像ぶれ補正に際して光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動するレンズユニット（防振レンズ群）LISを有する。

【００２９】

図2、図4、図6は実施例1、2、3の物体距離が無限遠における収差図である。図2、図4、図6の球面収差において、実線のdはd線、二点鎖線のgはg線、一点鎖線のCはC線、点線のFはF線である。非点収差においては、実線のSはd線のサジタル光線、点線のMはd線のメリディオナル光線を表している。更に倍率色収差においては、二点鎖線のgはg線、一点鎖線のCはC線、点線のFはF線を表している。収差図においてFnoはFナンバー、ωは撮像半画角（度）である。

【００３０】

本発明の光学系L0は、物体側から像側へ順に配置された、前群LF、開口絞りS、後群LRから構成される。

【００３１】

前群LFは回折光学素子Ldoeと複数の屈折光学素子を有している。前群LFに含まれる複数の屈折光学素子の中で、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力と同符号の屈折力を有する屈折光学素子は次のとおりである。

【００３２】

物体側から数えて第i番目(iは1以上でM以下の整数、Mは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料の、フランホーファー線におけるd線、C線間の部分分散比をθ_{dC-fsi}とする。g線、d線間の部分分散比をθ_{gd-fsi}とし、異常部分分散比$\delta\theta_{dC-fsi}$を

$$\delta\theta_{dC-fsi}=\theta_{dC-fsi}-(-0.1968\times\theta_{gd-fsi}+0.548)$$

とする。前群LFに含まれる複数の屈折光学素子の中で回折光学素子の回折面における屈折力と異符号の屈折力を有する屈折光学素子は次のとおりである。

【００３３】

物体側から数えて第j番目（jは1以上でN以下の整数、Nは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料のフランホーファー線におけるd線、C線間の部分分散比をθ_{dC-fdj}とする。g線、d線間の部分分散比をθ_{gd-fdj}、異常部分分散比$\delta\theta_{dC-fdj}$を

$$\delta\theta_{dC-fdj}=\theta_{dC-fdj}-(-0.1968\times\theta_{gd-fdj}+0.548)$$

とする。

【００３４】

ここで条件式（1）、（2）に関するパラメータは次のとおりである。回折光学素子の回折面における屈折力と同符号の屈折力を有する屈折光学素子は、光学材料のd線、g線、C線、F線の屈折率を各々nd_{fsi}、ng_{fsi}、nC_{fsi}、nF_{fsi}とする。

【００３５】

屈折光学素子を形成している光学材料のd線、C線間の部分分散比θ_{dC-fsi}と、g線、d線間の部分分散比θ_{gd-fsi}は、

$$\theta_{dC-fsi}=(nd_{fsi}-nC_{fsi})/(nF_{fsi}-nC_{fsi})$$

$$\theta_{gd-fsi}=(ng_{fsi}-nd_{fsi})/(nF_{fsi}-nC_{fsi})$$

である。

【００３６】
回折光学素子の回折面における屈折力と異符号の屈折力を有する屈折光学素子は、光学材料のd線、g線、C線、F線の屈折率を各々nd_{fdj}、ng_{fdj}、nC_{fdj}、nF_{fdj}とする。屈折光学素子を形成している光学材料のd線、C線間の部分分散比θ_{dC-fdj}と、g線、d線間の部分分散比θ_{gd-fdj}は
$\theta_{dC-fdj}=(nd_{fdj}-nC_{fdj})/(nF_{fdj}-nC_{fdj})$
$\theta_{gd-fdj}=(ng_{fdj}-nd_{fdj})/(nF_{fdj}-nC_{fdj})$
である。このとき、
【００３７】
【数３】

$$0.001 < \sum_{i=1}^{M}|\delta\theta_{dC-fsi}| / M < 0.010 \cdots (1)$$

【００３８】
【数４】

$$0.0001 < \sum_{j=1}^{N}|\delta\theta_{dC-fdj}| / N < 0.0010 \cdots (2)$$

【００３９】
なる条件式を満足する。本発明の光学系L0において好ましくは次の条件式のうち1つ以上を満足するのが良い。
【００４０】
後群LRは屈折光学素子のみで構成されている。後群LRにおける物体側から数えて第i番目（iは1以上でK以下の整数、Kは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料の、フランホーファー線におけるd線、C線間の部分分散比をθ_{dC-bi}、g線、d線間の部分分散比をθ_{gd-bi}、とする。そして異常部分分散比$\delta\theta_{dc-bi}$を
$\delta\theta_{dC-bi}=\theta_{dC-bi}-(-0.1968\times\theta_{gd-bi}+0.548)$
とする。回折光学素子Ldoeの回折面の、フランホーファー線におけるd線、C線間の部分分散比をθ_{dC-DO}、g線、d線間の部分分散比をθ_{gd-DO}とする。そして異常部分分散比$\delta\theta_{dc-DO}$を
$\delta\theta_{dC-DO}=\theta_{dC-DO}-(-0.1968\times\theta_{gd-DO}+0.548)$
とする。
【００４１】
φ_{bi}を後群LRにおける物体側から数えて第i番目の屈折光学素子の屈折力とする。νd_{bi}を後群LRにおける物体側から数えて第i番目の屈折光学素子の光学材料のアッベ数とする。h_{bi}を光学系中における屈折光学素子を設けた箇所の軸上近軸光線の入射高とする。φ_{DO}を回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力（$\varphi_{DO}=-2\times m\times C1\times\lambda/\lambda0$を満足する値）とする。$\nu d_{DO}$を回折光学素子Ldoeのアッベ数とする。$h_{DO}$を光学系L0中における回折面を設けた箇所の軸上近軸光線の入射高とする。
【００４２】
ここで第i番目の屈折光学素子の焦点距離をf_{bi}とするとき、
$\varphi_{bi}=1/f_{bi}$
である。屈折光学素子の光学材料のd線、g線、C線、F線の屈折率を各々nd_{bi}、ng_{bi}、nC_{bi}、nF_{bi}とするとき、
$\nu d_{bi}=(nd_{bi}-1)/(nF_{bi}-nC_{bi})$
$\theta_{dc-bi}=(nd_{bi}-nC_{bi})/(nF_{bi}-nC_{bi})$
$\theta_{gd-bi}=(ng_{bi}-nd_{bi})/(nF_{bi}-nC_{bi})$
【００４３】
ここで、回折光学素子の回折面における位相形状を表す位相関数$\psi(r)$を、設計波長(基準波長)を$\lambda0$、光軸に対し垂直方向の高さをr、設計回折次数をm、位相係数をCi(i=1以上

の整数)としたする。この際、ψ(r)=（2×m×π/λ0）×(C1×r^2+C2×r^4+C3×r^6+C4×r^8+C5×r^{10}+…)で表される。、
その際、任意の波長λにおけるパワーΦ$_{D0}$は
Φ$_{d0}$=-2×m×C1×λ/λ0
で表すことができる。
【００４４】
回折光学素子Ldoeの回折面のd線、g線、C線、F線の屈折率を各々nd$_{DO}$、ng$_{DO}$、nC$_{DO}$、nF$_{DO}$とするとき、
νd$_{DO}$=(nd$_{DO}$-1)/(nF$_{DO}$-nC$_{DO}$)
θ$_{dc-DO}$=(nd$_{DO}$-nC$_{DO}$)/(nF$_{DO}$-nC$_{DO}$)
θ$_{gd-DO}$=(ng$_{DO}$-nd$_{DO}$)/(nF$_{DO}$-nC$_{DO}$)
である。このとき
【００４５】
【数５】

$$-0.60 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{bi}^{2} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO}^{2} < -0.01 \quad \cdots (3)$$

【００４６】
なる条件式を満足する。前群LFに含まれる複数の屈折光学素子の中で、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力と同符号の屈折力を有する屈折光学素子は次のとおりである。
【００４７】
物体側から数えて第i番目（iは1以上でM以下の整数、Mは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料の、フランホーファー線におけるg線、d線間の異常部分分散比Δθ$_{gd-fsi}$を
Δθ$_{gd-fsi}$=θ$_{gd-fsi}$-(-1.687×10^{-7}×νd$_{fsi}$^{3} +5.702×10^{-5}×νd$_{fsi}$^{2} -6.603×10^{-3}×νd$_{fsi}$+1.462)
とする。前群LFに含まれる複数の屈折光学素子の中で、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力と異符号の屈折力を有する屈折光学素子は次のとおりである。
【００４８】
物体側から数えて第j番目（jは1以上でN以下の整数、Nは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料の、フランホーファー線におけるg線、d線間の部分分散比をθ$_{gd-fdj}$とする。異常部分分散比Δθ$_{dC-fdj}$を
Δθ$_{gd-fdj}$=θ$_{gd-fdj}$-(-1.687×10^{-7}×νd$_{fdj}$^{3} +5.702×10^{-5}×νd$_{fdj}$^{2} -6.603×10^{-3}×νd$_{fdj}$+1.462)
とする。
【００４９】
アッベ数νd$_{fsi}$は、
νd$_{fsi}$=(nd$_{fsi}$-1)/(nF$_{fsi}$-nC$_{fsi}$)
である。
【００５０】
アッベ数νd$_{fdj}$は、
νd$_{fdj}$=(nd$_{fdj}$-1)/(nF$_{fdj}$-nC$_{fdj}$)
である。このとき、
【００５１】
【数６】

$$0.010 < \sum_{i=1}^{M} |\Delta\theta_{gd-fsi}| / M < 0.100 \cdots (4)$$

【００５２】

【数７】

$$0.001 < \sum_{j=1}^{N} |\Delta\theta_{gd-fdj}| / N < 0.010 \quad \cdots (5)$$

【００５３】

なる条件式を満足する。後群LRは屈折光学素子のみで構成されている。そして、後群LRにおける物体側から数えて第i番目（iは1以上でK以下の整数、Kは1以上の整数）の屈折光学素子の光学材料の、フランホーファー線におけるg線、d線間の部分分散比をθ_{gd-bi}とする。そして、異常部分分散比$\Delta\theta_{gd-bi}$を

$\Delta\theta_{gd-bi}=\theta_{gd-bi}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{bi}^{3}+5.702\times10^{-5}\times\nu d_{bi}^{2}-6.603\times10^{-3}\times\nu d_{bi}+1.462)$

とする。

【００５４】

回折光学素子Ldoeの回折面の、フランホーファー線におけるg線、d線間の部分分散比をθ_{gd-DO}とする。異常部分分散比$\Delta\theta_{gd-DO}$を

$\Delta\theta_{gd-DO}=\theta_{gd-DO}-(-1.687\times10^{-7}\times\nu d_{DO}^{3}+5.702\times10^{-5}\times\nu d_{DO}^{2}-6.603\times10^{-3}\times\nu d_{DO}+1.462)$

とする。このとき、

【００５５】

【数８】

$$-0.100 < \sum_{i=1}^{K}\frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}}\Delta\theta_{gd-bi}h_{bi}^{2} / \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}}\Delta\theta_{gd-DO}h_{DO}^{2} < -0.005 \quad \cdots (6)$$

【００５６】

なる条件式を満足する。

【００５７】

回折光学素子Ldoeと、後群LRにおける物体側から数えて第i番目（iは1以上でK以下の整数、Kは1以上の整数)の屈折光学素子は次のとおりである。

$$\overline{h}_{bi}$$

【００５８】

を光学系中における後群の物体側から数えて第i番目の屈折光学素子を設けた箇所の瞳近軸光線の入射高とする。

$$\overline{h}_{DO}$$

【００５９】

を光学系L0中における回折面を設けた箇所の瞳近軸光線の入射高とする。このとき、

【００６０】

【数９】

$$-1.00 < \sum_{i=1}^{K}\frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}}\delta\theta_{dC-bi}h_{bi}\overline{h}_{bi} / \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}}\delta\theta_{dC-DO}h_{DO}\overline{h}_{DO} < -0.05 \quad \cdots (7)$$

【００６１】

【数１０】

$$0.05 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi} \bar{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO} \bar{h}_{DO} < 1.00 \quad \cdots (8)$$

【００６２】

なる条件式を満足する。前群LFは複数の屈折光学素子を有し、前群LFの複数の屈折光学素子の光軸上での間隔のうち最も離れた距離をL_{fl}とする。無限遠物体に合焦しているときのレンズ全長をL_{TOT}とする。このとき、

$0.05 < L_{fl}/L_{TOT} < 0.50 \quad \cdots (9)$

なる条件式を満足する。

【００６３】

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、光学系において、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号の屈折力（各実施例では、正の値の屈折光学素子）を有する複数の屈折光学素子に使用する光学材料の、異常部分分散比の平均値の範囲を規定する。一方、条件式（2）は、同様に各実施例の光学系において、前群LF内の回折光学素子と異符号の屈折力（各実施例では、負の値の屈折光学素子）を有する複数の屈折光学素子に使用する光学材料の、異常部分分散比の平均値の範囲を規定する。

【００６４】

以下、$\delta\theta_{dC-fsi}$と$\delta\theta_{dC-fdj}$を$\delta\theta_{dC}$と記す。またθ_{dC-fsi}とθ_{dC-fdi}をθ_{dC}、θ_{gd-fsi}とθ_{gd-fdi}をθ_{gd}と記す。

【００６５】

条件式（1）、（2）における$\delta\theta_{dC}$は、縦軸にθ_{dC}、横軸にθ_{gd}のグラフを考え、一般的な硝材が主に分布する範囲をθ_{dC}=-0.1968×θ_{gd} +0.548の直線で近似した際の、前記直線に対する前記θ_{dC}の離れ量を表している。条件式（1）の値が大きく、条件式（2）の値が小さい程、色収差の補正の観点から、回折光学素子の部分分散特性との相性が良く、可視波長域内でも、特に長波長側の色消しに効果を発揮する。

【００６６】

条件式（1）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号（正）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\delta\theta_{dC}$の値が大きくなり過ぎ、屈折光学素子で発生する色収差が大きくなり過ぎる。色収差を補正する為に、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力を強くしなければならず、それに伴い、回折格子の格子ピッチを細かくなり過ぎ、回折面起因のフレアが増加するばかりか、製造が困難になるので、好ましくない。

【００６７】

一方、条件式（1）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号（正）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\delta\theta_{dC}$の値が小さくなり過ぎる。この結果、回折光学素子を用いても、F-C線間の色収差を取り除くことが困難になるので、好ましくない。

【００６８】

次に、条件式（2）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと異符号（負）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\delta\theta_{dC}$の値が大きくなり過ぎる。この結果、回折光学素子Ldoeを用いても、F-C線間の色収差を取り除くことが困難になるので、好ましくない。一方、条件式（2）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと異符号（負）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\delta\theta_{dC}$の値が小さくなり過ぎる。それに伴い、回折光学素子Ldoeの回折面で発生する色収差を補正し切れなくなるので、好ましくない。

【００６９】

更に、条件式（1）、（2）が下記の条件式（1－a）、（2－a）の範囲内であることが、本発明に係る光学系において、回折光学素子の部分分散特性との相性が良く、可視波長域内、特に長波長側の色消しに効果を発揮することから、望ましい。

【００７０】
【数１１】

$$0.002 \ < \ \sum_{i=1}^{M} |\delta \ \theta_{dC-fsi}| \ / \ M \ < \ 0.008 \ \cdots\cdots\cdots\cdots \ (1-a)$$

【００７１】
【数１２】

$$0.000125 \ < \ \sum_{j=1}^{N} |\delta \ \theta_{dC-fdj}| \ / \ N \ < \ 0.000750 \ \cdots\cdots\cdots\cdots \ (2-a)$$

【００７２】
更に、条件式（１－ａ）、（２－ａ）は下記の範囲であることが望ましい。
【００７３】
【数１３】

$$0.003 \ < \ \sum_{i=1}^{M} |\delta \ \theta_{dC-fsi}| \ / \ M \ < \ 0.006 \ \cdots\cdots\cdots\cdots \ (1-b)$$

【００７４】
【数１４】

$$0.000150 \ < \ \sum_{j=1}^{N} |\delta \ \theta_{dC-fdj}| \ / \ N \ < \ 0.000500 \ \cdots\cdots\cdots\cdots \ (2-b)$$

【００７５】
条件式（１）、（２）を満足した上で、条件式（３）を満足することが、可視波長域内の特に長波長側の色収差を補正する上で好ましい。各実施例の光学系において、後群LRは屈折光学素子のみで構成されている。
【００７６】
条件式（３）は、光学系において、後群LRを構成する複数の屈折光学素子で発生するd-C線間の軸上色収差係数の和と、回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の軸上色収差係数の比率を規定する条件式である。条件式（３）は、回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を、主に後群LRの屈折光学素子で補正していることを表している。条件式（３）の値が-1に近づく程、回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を後群LRの屈折光学素子で補正していることを表している。
【００７７】
条件式（３）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差係数の和の絶対値が小さくなりすぎる。つまり、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差だけでは、補正するのが困難になる。
【００７８】
それを改善する為に、後群LRに対して、有効径が大きく重量が重くなり易い、前群LF内の屈折光学素子の屈折力を強めたり、比重の大きい異常分散特性を有する光学材料を使用することになる。それに伴い、全系での重量が重くなるので、好ましくない。
【００７９】
一方、条件式（３）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差係数の和の絶対値が大きくなる方向である。前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差の値が異符号で同程度に近づくことを意味しており、軸上色収差の補正上は好ましい。
【００８０】

しかしながら、それを実現する為には、所望の光学特性を有する光学材料から成る屈折光学素子を、後群LR内に新たに屈折力を強めて増やさなければならない。後群LRには新たな屈折光学素子を設けるスペースが少なく、困難である為、好ましくない。

【００８１】

更に、条件式（3）が下記の条件式（3－a）の範囲内であることが、光学系において、前群LFの重量を重くせず、可視波長域内の特に長波長側の軸上色収差を良好に補正する観点から、望ましい。

【００８２】

【数１５】

$$-0.50 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{Lbi}^2 \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO}^2 < -0.02 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-a)$$

【００８３】

更に、条件式（3－a）は下記の範囲であることが望ましい。

【００８４】

【数１６】

$$-0.40 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{Lbi}^2 \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO}^2 < -0.03 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-b)$$

【００８５】

条件式（4）、（5）は、可視波長域内の特に短波長側の色収差を補正する上で好ましいものである。条件式（4）、（5）は光学系において、前群LF内の複数の屈折光学素子の内、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力と同符号の屈折力を有する屈折光学素子に関する。

【００８６】

条件式（4）は、光学系において、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号の屈折力（正の値）の複数の屈折光学素子に使用する光学材料の、異常部分分散性の平均値の範囲を規定する式である。一方、条件式（5）は、同様に光学系において、前群LF内の回折光学素子Ldoeと異符号の屈折力（負の値）の複数の屈折光学素子に使用する光学材料の、異常部分分散性の平均値の範囲を規定する式である。

【００８７】

以下、$\Delta\theta_{gd-fsi}$と$\Delta\theta_{gd-fdi}$を以下$\Delta\theta_{gd}$と記す。またθ_{gd-fsi}とθ_{gd-fdi}をθ_{gd}、νd_{fsj}とνd_{fdj}をνdと記す。

【００８８】

条件式（4）、（5）の各条件式における$\Delta\theta_{gd}$は、縦軸にθ_{gd}、横軸にνdのグラフを考える。

【００８９】

一般的な硝材が主に分布する範囲を$\theta_{gd}=-1.687\times10^{-7}\times\nu d^3+5.702\times10^{-5}\times\nu d^2-6.603\times10^{-3}\times\nu d+1.462$の関数で近似した際の、関数に対する$\theta_{gd}$の離れ量を表している。

【００９０】

条件式（4）の値が大きく、条件式（5）の値が小さい程、色収差の補正の観点から、回折光学素子Ldoeの部分分散特性との相性が良く、可視波長域内でも、特に短波長側の色消しに効果を発揮する。

【００９１】

条件式（4）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号（正）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\Delta\theta_{gd}$の値が大きくなり過ぎ、屈折光学素子で発生する色収差が大きくなり過ぎる。色収差を補正する為に、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力を強くしなければならず、それに伴い、回折格子の格子ピッチを細かくなり過ぎ、回折面が起因のフレアが増加するばかりか、製造が困難になる。

【００９２】

一方、条件式（4）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと同符号（正）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\Delta\theta_{gd}$の値が小さくなり過ぎる。この結果、回折光学素子Ldoeを用いても、g-d線間の色収差を取り除くことが困難になるので、好ましくない。

【００９３】

次に、条件式（5）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeと異符号（負）の屈折力の屈折光学素子に使用する光学材料の$\Delta\theta_{gd}$の値が大きくなり過ぎる。この結果、回折光学素子Ldoeを用いても、g-d線間の色収差を取り除くことが困難になるので、好ましくない。

【００９４】

一方、条件式（5）において、下限値を超えると、屈折光学素子で発生する色収差が大きくなり過ぎる。色収差を補正する為に、回折光学素子Ldoeの回折面における屈折力を強くしなければならず、それに伴い、回折格子の格子ピッチを細かくなり過ぎ、回折面が起因のフレアが増加するばかりか、製造が困難になるので、好ましくない。

【００９５】

更に、条件式（4）、（5）の数値範囲が下記の範囲内であることが、回折光学素子Ldoeの部分分散特性との相性が良く、可視波長域内でも、特に短波長側の色消しに効果を発揮することから、望ましい。

【００９６】

【数１７】

$$0.02 < \sum_{i=1}^{M} |\Delta\theta_{gd-fsi}| / M < 0.08 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4-a)$$

【００９７】

【数１８】

$$0.002 < \sum_{j=1}^{N} |\Delta\theta_{gd-fdj}| / N < 0.008 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5-a)$$

【００９８】

更に、条件式（4－a）、（5－a）は下記の範囲であることが望ましい。

【００９９】

【数１９】

$$0.03 < \sum_{i=1}^{M} |\Delta\theta_{gd-fsi}| / M < 0.06 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4-b)$$

【０１００】

【数２０】

$$0.003 < \sum_{j=1}^{N} |\Delta\theta_{gd-fdj}| / N < 0.006 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5-b)$$

【０１０１】

条件式（6）は、可視波長域内の特に短波長側の色収差を補正する上で好ましいものである。

【０１０２】

条件式（6）は、本発明の光学系において、後群LRを構成する複数の屈折光学素子で発生するg-d線間の軸上色収差係数の和と、回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の軸上色収差係数の比率を規定する条件式である。条件式（6）は、回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を、主に後群LRの屈折光学素子で補正していることを表している。条件式（6）の値が-1に近づく程、回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を後群LRの屈折光学素子で補正していることを表している。

【０１０３】
条件式（6）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差係数の方が小さくなり過ぎてしまう。それに伴い、回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差を、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差のみでは補正しきれなくなる。それを改善する為に、後群LRに対して、有効径が大きく重量が重くなり易い、前群LF内の屈折光学素子の屈折力を強めたり、比重の大きい異常分散特性を有する光学材料を使用することになる。それに伴い、光学系全系での重量が重くなるので、好ましくない。
【０１０４】
一方、条件式（6）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差係数の方が大きくなる方向にある。それに伴い、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生する軸上色収差に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生する軸上色収差の値が異符号で同程度に近づくことを意味しており、軸上色収差の補正上は好ましい。
【０１０５】
しかしながら、それを実現する為には、所望の光学特性を有する光学材料から成る屈折光学素子を、後群LR内に新たに屈折力を強めて増やさなければならない。後群LRには新たな屈折光学素子を設けるスペースが少なく、困難である。
【０１０６】
更に、条件式（6）の数値範囲が下記の範囲内であることが、前群LFの重量を重くせず、可視波長域内の特に短波長側の軸上色収差を良好に補正する観点から、望ましい。
【０１０７】
【数２１】

$$-0.090 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi}^2 \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO}^2 < -0.075 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6-a)$$

【０１０８】
【数２２】

$$-0.08 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi}^2 \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO}^2 < -0.01 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6-b)$$

【０１０９】
条件式（7）、（8）は、可視波長全域において、良好な倍率色収差の補正をするためのものである。条件式（7）は、光学系において、後群LRを構成する複数の屈折光学素子で発生するd-C線間の倍率色収差係数の和と、回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の倍率色収差係数の比率を規定する。一方、条件式（8）は、光学系において、後群LRを構成する複数の屈折光学素子で発生するg-d線間の倍率色収差係数の和と、回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の倍率色収差係数の比率を規定する。
【０１１０】
条件式（7）、（8）において、各条件式の絶対値が1に近づく程、回折光学素子Ldoeで発生する倍率色収差を、後群LRで発生する倍率色収差で補正していることを意味している。条件式（7）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の倍率色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生するd-C線間の倍率色収差係数の方が小さくなり過ぎてしまう。それに伴い、回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の倍率色収差を、屈折光学素子から成る後群LRで発生するd-C線間の倍率色収差のみでは補正しきれなくなる。
【０１１１】
それを改善する為に、後群LRに対して、有効径が大きく重量が重くなり易い、前群LF内の屈折光学素子の屈折力を強めたり、比重の大きい異常分散特性を有する光学材料を使用することになる。それに伴い、光学系全系での重量が重くなるので、好ましくない。

【０１１２】
一方、条件式（7）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の倍率色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生するd-C線間の倍率色収差係数の方が大きくなる方向である。それに伴い、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するd-C線間の倍率色収差に対して、屈折光学素子から成る後群で発生するd-C線間の倍率色収差の値が異符号で同程度に近づくことを意味しており、倍率色収差の補正上は好ましい。
【０１１３】
しかしながら、それを実現する為には、所望の光学特性を有する光学材料から成る屈折光学素子を、後群LR内に新たに屈折力を強めて増やさなければならない。後群LRには新たな屈折光学素子を設けるスペースが少なく、困難である。
【０１１４】
次に、条件式（8）において、上限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の倍率色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生するg-d線間の倍率色収差係数の方が大きくなる方向である。それに伴い、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の倍率色収差に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生するg-d線間の倍率色収差の値が同程度に近づくことを意味しており、倍率色収差の補正上は好ましい。
【０１１５】
しかしながら、それを実現する為には、所望の光学特性を有する光学材料から成る屈折光学素子を、後群LR内に新たに屈折力を強めて増やさなければならない。後群LRには新たな屈折光学素子を設けるスペースが少なく、困難である。
【０１１６】
一方、条件式（8）において、下限値を超えると、前群LF内の回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の倍率色収差係数に対して、屈折光学素子から成る後群LRで発生するg-d線間の倍率色収差係数の方が小さくなり過ぎてしまう。それに伴い、回折光学素子Ldoeで発生するg-d線間の倍率色収差を、屈折光学素子から成る後群LRで発生するg-d線間の倍率色収差のみでは補正しきれなくなる。
【０１１７】
それを改善する為に、後群LRに対して、有効径が大きく重量が重くなり易い、前群LF内の屈折光学素子の屈折力を強めたり、比重の大きい異常分散特性を有する光学材料を使用することになる。それに伴い、光学系全系での重量が重くなるので、好ましくない。更に、条件式（7）、（8）の数値範囲が下記の範囲内であることが、前群LFの重量を重くせず、可視波長域全域の倍率色収差を良好に補正する観点から、望ましい。
【０１１８】
【数２３】

$$-0.800 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{bi} \bar{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO} \bar{h}_{DO} < -0.075 \quad \cdots\cdots(7-a)$$

【０１１９】
【数２４】

$$0.075 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi} \bar{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO} \bar{h}_{DO} < 0.800 \quad \cdots\cdots(8-a)$$

【０１２０】
更に、条件式（7－a）、（8－a）は下記の範囲であることが望ましい。
【０１２１】

【数２５】

$$-0.60 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \delta\theta_{dC-bi} h_{bi} \bar{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \delta\theta_{dC-DO} h_{DO} \bar{h}_{DO} < -0.10 \quad \cdots\cdots(7-b)$$

【０１２２】

【数２６】

$$0.10 < \sum_{i=1}^{K} \frac{\phi_{bi}}{\nu d_{bi}} \Delta\theta_{gd-bi} h_{bi} \bar{h}_{bi} \Big/ \frac{\phi_{DO}}{\nu d_{DO}} \Delta\theta_{gd-DO} h_{DO} \bar{h}_{DO} < 0.60 \quad \cdots\cdots(8-b)$$

【０１２３】

条件式（9）は、軸上及び倍率の各色収差を良好に補正した上、光学系全系での重量の軽量化を実現する上で好ましいものである。条件式（9）は、前群LF内の、各屈折光学素子間の光軸上での距離が最も離れた箇所での光軸上の距離を規定している。

【０１２４】

条件式（9）は、光学系において、重量の大半を占めている前群LF内でも特に、重量の大きなウェイトを占めている前群LFのより物体側のレンズである、屈折光学素子を対象としている。重量の軽量化を考えた際、重量は体積に比例するので、2乗の項で効いてくる有効径方向の大きさが、特に重要になる。それに伴い、対象とする各屈折光学素子間の光軸上の間隔を広げて、有効径を小さくすることは、重量の軽量化の観点から効果的な対策である。

【０１２５】

条件式（9）において、上限値を超えると、光学系全系のレンズ全長に対する前群LF内の、屈折光学素子の中で、各屈折光学素子間の光軸上での距離が最も離れた箇所での光軸上の距離が広くなり過ぎる。これは、軸上色収差及び倍率色収差を補正する上で重要な役割を果たしている各屈折光学素子が、より像側に配置されることを意味している。それに伴い、光学系全系での軸上色収差及び倍率色収差の補正が困難になるので、好ましくない。

【０１２６】

一方、条件式（9）において、下限値を超えると、光学系全系のレンズ全長に対する前群LF内の、屈折光学素子の中で、各屈折光学素子間の光軸上での距離が最も離れた箇所での光軸上の距離が狭くなり過ぎる。これは、各屈折光学素子が、より物体側に配置されることを意味し、有効径が大きくなり、体積が増す、即ち重量が増す方向にあるので、好ましくない。

【０１２７】

更に、前記条件式（9）の数値範囲が下記の範囲内であることが、軸上・倍率色収差及び球面収差等の諸収差を良好に補正しながら、光学系全系の重量を軽量化する観点から、望ましい。

0.075＜Lfl/LTOT＜0.400 ----------(9－a)

【０１２８】

更に、条件式(9－a)は下記の範囲であることが望ましい。

0.100＜Lfl/LTOT＜0.300 ----------(9－b)

【０１２９】

次に、本発明に係る光学系の他の特徴について、説明する。まず、本発明の光学系において、前群LFは、正の屈折力の第1レンズ群L1、無限遠物体から至近物体への合焦変化に伴い、光軸方向に移動する負の屈折力の第2レンズ群L2で構成され、後群LRは負の屈折力の第3レンズ群L3で構成されている。また、第1レンズ群L1内には正の屈折力の回折光学素子Ldoeと非球面を有している。このようなレンズ構成をとることで、無限遠物体から至近物体に渡り、軸上及び倍率色収差と球面収差をはじめとした諸収差が、良好に補正された光学系が容易に得られる。

【０１３０】

回折光学素子Ldoeの回折面は、硝材から成る光学部材同士、若しくは光軸上での厚さが0.1mm以下の樹脂材料から成る光学部材同士で形成された接合レンズの接合面に設けられている。基本的に、第1レンズ群L1内の屈折光学素子に用いる光学材料は、硝材を前提としているが、回折光学素子Ldoeの回折面を形成している箇所のみが、光軸上での厚さが0.1mm以下と薄い樹脂材料を有している。これは後述するように、回折光学素子Ldoeにおける回折効率を、可視波長域全域に渡って高い値にする為に用いており、色収差補正の観点ではほぼ効果を発揮していない。

【０１３１】

次に、第1レンズ群L1内の屈折光学素子に用いる光学材料の比重は、3.5以下であることが良い。ここで材料の比重はレンズに使用される材料の常温（15℃～25℃）での質量と、それと同体積の圧力101.325kPa（標準気圧）のもとにおける4℃の純水の質量との比とする。第1レンズ群L1内の屈折光学素子は、光学材料の比重が3.5以下と、比較的軽い光学材料を使用し、これによって、第1レンズ群L1の重量の軽量化を容易にしている。

【０１３２】

第3レンズ群L3内には、非球面を少なくとも1面以上有していることが良い。第3レンズ群L3に非球面を用いることで、光学系全系で発生する球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差の補正を容易にしている。最も物体側のレンズ面から撮像面までの光軸上の距離を無限遠物体時の全系の焦点距離で割った値（＝テレ比）が0．7以下であることが良い。軸上及び倍率色収差と、球面収差をはじめとした諸収差を良好に補正しながら、テレ比が0．7と小型な光学系を実現している。

【０１３３】

本発明の光学系は、単焦点距離の超望遠型の光学系である。各実施例は焦点距離585mm、Fナンバー(Fno)4.12、テレ比0.7以下である。レンズ断面図においてLFは前群、Sは開口絞り、LRは後群である。開口絞りSを境に、物体側に前群LF、後群LRに分けられる。更に、前群LFは、正の屈折力の第1レンズ群L1と、負の屈折力の第2レンズ群L2より構成されている。後群LRは負の屈折力の第3レンズ群L3で構成されている。

【０１３４】

また無限遠物体から至近物体への合焦変化は、第2レンズ群L2よりなるフォーカスレンズ群Lfoを光軸に沿って像面側へ移動させている。第3レンズ群L3中のレンズユニットである防振レンズ群(LIS)を光軸0に対して垂直方向の成分を持つように移動させることにより、手ぶれ等による像ぶれの補正を行っている。

【０１３５】

［実施例1］

実施例1の光学系L0は、焦点距離585mm、Fナンバー4.12、テレ比0.57である。回折光学素子Ldoeは物体側から数えて4番目の接合レンズよりなり接合レンズの接合レンズ面に回折面を設けている。この位置に回折面を設けている理由は、撮像画角外の本来撮影に不要な光が直接回折面に当りづらく、且つ軸上色収差及び倍率色収差の補正に効果が発揮できるという観点からである。また非球面asphは、第1レンズ群L1に1面、第3レンズ群L3に2面設けている。

【０１３６】

テレ比が0.57と小型な光学系になると、色収差だけではなく、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差も増加してくる。諸収差を良好に補正する為に、非球面を3面設けている。具体的には、第1レンズ群L1内の1つの非球面は主に球面収差の補正を、第3レンズ群L3内の2つの非球面は主にコマ収差、非点収差を補正している。

【０１３７】

実施例1の光学系は、前述の各条件式（1）乃至（9）を良好に満足していることから、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正され、且つ全系の小型化及び軽量化がなされている。

【０１３８】

［実施例2］

実施例2の光学系L0は、焦点距離585㎜、Fナンバー4.12、テレ比0.57である。回折光学素子Ldoeは最も物体側にある正レンズよりなり、正レンズの像側の光学面上に回折面を設けている。この位置に回折面を設けている理由は、主に軸上色収差及び倍率色収差の補正を良好に行う上で、最も効果がある為である。それに伴い、実施例1の図1における物体側から3番目に配置された正レンズを削減することができた。また非球面に関しては、実施例1とほぼ同じ箇所に配置している。その配置理由も実施例1と同じである。

【０１３９】

実施例2の光学系は、実施例1と同様に、各条件式（1）乃至（9）を良好に満足していることから、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正され、且つ全系の小型化及び軽量化がなされている。

【０１４０】

［実施例3］

本発明の実施例3の光学系L0は、焦点距離585㎜、Fナンバー4.12、テレ比0.61である。回折光学素子Ldoeは、実施例1と同様に、物体側から数えて4番目にある接合レンズであり、接合レンズの接合レンズ面に回折面を設けている。この位置に回折面を設けている理由も、実施例1と同様である。また非球面asphに関しては、実施例1と同じ箇所に配置し、その配置理由も実施例1と同じである。実施例1と異なる箇所は、全系でのレンズ全長と、後群LRの最も像側のレンズ構成である。

【０１４１】

実施例3の光学系は、実施例1、実施例2と同様に、前述してきた各条件式（1）から（9）を良好に満足していることから、可視波長域全域に渡って色収差が良好に補正され、且つ全系の小型化及び軽量化がなされている。

【０１４２】

前述の通り、各実施例について説明したが、前述の各条件式（1）から（9）を良好に満足し、且つ適切なレンズ構成であれば、本発明の実施例はこれに限ったものではない。回折光学素子は、光学面の上に設けられるのであるが、その光学面の曲率半径は球面若しくは平面あるいは非球面でも良い。

【０１４３】

各実施例における回折光学素子の製法としては、バイナリオプティクス形状をフォトレジストにより直接レンズ表面に成形する方法が適用できる。この他に、この方法によって作成した型を用いるレプリカ成形やモールド成形を行う方法が適用できる。また、鋸状形状のキノフォームにすれば、回折効率が上がり、理想値に近い回折効率が期待できる。

【０１４４】

次に本発明の光学系で用いる回折光学素子の構成について説明する。回折光学素子の構成としては、図7（A）に示すような空気層を挟んだ2積層構成のものや、同じく図7（B）に示すような空気層を挟んだ3積層構成のもの、図7（C）に示すような同一の格子厚で2つの層が密着した密着2層構成のもの等が適用可能である。

【０１４５】

図7（A）では、基材4上に紫外線硬化樹脂からなる第1の回折格子6を形成して、第1の回折格子部2を構成している。そしてもう1つの基材5上に第1の回折格子6と異なる紫外線硬化樹脂からなる第2の回折格子7を形成して、第2の回折光学部3を構成している。そして第1の回折光学部2と第2の回折光学部3を間隔Dの空気層8を介して近接配置した構成になっている。これら2つの回折格子6、7を合わせて、1つの回折光学素子1としての働きをなしている。

【０１４６】

この時、第1の回折格子6の格子厚はd1、第2の回折格子6の格子厚はd2である。格子の向きは、第1の回折格子6は上から下に向かうに連れ格子厚が単調減少するが、一方第2の回折格子7は上から下に向かうに連れ格子厚が単調増加する方向である。また、図7（A）に示したように入射光を左側から入れると、右斜め下方向に進むのが1次光であり、直進するのが0次光である。

【０１４７】
図8（A）に、図7（A）に示す2積層構成の回折光学素子における設計次数である1次回折光及び設計次数±1次である0次回折光、2次回折光の回折効率の波長依存特性を示す。素子構成としては、第1の回折格子6の材料は(nd1,νd1)=(1.636,22.8)で格子厚d1=7.88μmである。第2の回折格子7の材料は(nd2,νd2)=(1.524,51.6)で格子厚d2=10.71μmで、空気間隔D1=1.5μmとしている。
【０１４８】
また図7（A）より格子ピッチP=200μmである。前記図8（A）からわかるように、設計次数光(1次光)の回折効率は使用波長全域で約90%以上の高い回折効率で、不要回折次数光（0、2次光）の回折効率も使用波長全域で約5%以下と抑制されている。
【０１４９】
図7（B）では、基材4上に紫外線硬化樹脂からなる第1の回折格子6を形成し、もう1つの基材5上に第1の回折格子6と同じ紫外線硬化樹脂からなる第2の回折格子7を形成し、第2の回折格子7を異なる紫外線硬化樹脂9で埋めた構成になっている。そして第1の回折格子6と第2の回折格子7を、間隔Dの空気層8を介して近接配置させている。これら2つの回折格子6、7を合わせて、1つの回折光学素子としての働きをなしている。
【０１５０】
この時、第1の回折格子6の格子厚はd1、第2の回折格子7の格子厚はd2である。格子の向きは、前記第1の回折格子6及び第2の回折格子7とも上から下に向かうに連れ格子厚が単調増加する方向である。また、図7（B）に示したように入射光を左側から入れると、右斜め下方向に進むのが1次光であり、直進するのが0次光である。
【０１５１】
図8（B）に、図7（B）に示す3積層構成の回折光学素子1における設計次数である1次回折光及び設計次数±1次である0次回折光、2次回折光の回折効率の波長依存特性を示す。素子構成としては、第1の回折格子6の材料は(nd1,νd1)=(1.636,22.8)で格子厚d1=2.83μmである。第2の回折格子7の材料は(nd2-1,νd2-1)=(1.524,51.6)と(nd2-2,νd2-2)=(1.636,22.8)で格子厚d2=7.88μmで、空気間隔D=1.5μmとしている。
【０１５２】
また図7（B）より格子ピッチP=200μmである。図8（B）からわかるように、図8（A）と同様に設計次数光(1次光)の回折効率は使用波長全域で約90%以上の高い回折効率で、不要回折次数光（0、2次光）の回折効率も使用波長全域で約5%以下と抑制されている。
【０１５３】
図7（C）では、基材4上に紫外線硬化樹脂からなる第1の回折格子6を形成し、もう1つの基材5上に第1の回折格子6と異なる紫外線硬化樹脂からなる第2の回折格子7を形成し、それらを同じ格子厚d1で密着させた構成になっている。これら2つの回折格子6、7を合わせて、1つの回折光学素子1としての働きをなしている。
【０１５４】
格子の向きは、第1の回折格子6は上から下に向かうに連れ格子厚が単調増加するが、一方、第2の回折格子7は上から下に向かうに連れ格子厚が単調減少する方向である。また、図7（C）に示したように入射光を左側から入れると、右斜め下方向に進むのが1次光であり、直進するのが0次光である。
【０１５５】
図8（C）に、図7（C）に示す密着2層構成の回折光学素子1における設計次数である1次回折光及び設計次数±1次である0次回折光、2次回折光の回折効率の波長依存特性を示す。素子構成としては、第1の回折格子6の材料は(nd1,νd1)=(1.620,43.0)で、第2の回折格子7の材料は(nd2,νd2)=(1.567,19.4)で同一の格子厚d=11.5μmとしている。また図7（C）中の格子ピッチP=200μmである。
【０１５６】
図8（C）からわかるように、図8（A），図8（B）より設計次数光(1次光)の回折効率は使用波長全域で約99.5%以上のかなり高い回折効率で、不要回折次数光（0、2次光）の回

折効率も使用波長全域で約0.05%以下とかなり抑制されている。前述のように、各実施例に用いる回折光学素子について説明したが、回折効率等の基本性能が前述の回折光学素子と同等以上であれば、これに限定されるものではない。

【０１５７】

次に本発明の光学系を撮像装置（カメラシステム）に適用した実施例を図9を用いて説明する。図9は一眼レフカメラの要部概略図である。

【０１５８】

図9において、20は実施例1乃至3のいずれか1つの光学系11を有する撮像レンズである。光学系11は保持部材である鏡筒12に保持されている。30はカメラ本体である。カメラ本体は撮像レンズ20からの光束を上方に反射するクイックリターンミラー13、撮像レンズ20の像形成位置に配置された焦点板14、焦点板14に形成された逆像を正立像に変換するペンタダハプリズム15を有している。更に、その正立像を観察するための接眼レンズ16等によって構成されている。

【０１５９】

17は感光面であり、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）（撮像部）や銀塩フィルムが配置される。撮影時にはクイックリターンミラー13が光路から退避して、感光面17上に撮影レンズ20によって像が形成される。このように実施例1、2の光学系を写真用カメラや、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の撮像装置に適用することにより、軽量で高い光学性能を有する撮像装置を実現している。

【０１６０】

尚、本実施例ではクイックリターンミラーのないミラーレスのカメラにも同様に適用することができる。

【０１６１】

以下に本発明の実施例1乃至3に対応する数値データ1乃至3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、riは物体側より第i番目の面の曲率半径、diは物体側より第i番目と第i＋1番目の間隔、ndiとνdiは第i番目の光学部材の屈折率とアッベ数である。又、各面の有効径も示す。

【０１６２】

焦点距離、Fナンバー、半画角（度）、像高、レンズ全長を示す。またバックフォーカス（BF）は最終レンズ面から像面までの空気換算距離である。レンズ全長は第1レンズ面から最終レンズ面までの距離にバックフォーカスを加えた値である。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。数値は無限遠にフォーカスしているときを示している。更に、非球面形状は、Xを光軸方向の面頂点からの変位量、hを光軸と垂直な方向の光軸からの高さ、Rを近軸曲率半径、kを円錐定数、A1、A2、A3、A4…を各次数の非球面係数とした時、次式（B）によって表される。

【０１６３】

【数２７】

$$X(r)=\frac{(1/R)h^2}{1+\sqrt{1-(1+k)(h/R)^2}}+A1h^4+A2h^6+A3h^8+A4h^{10}+\cdots$$

【０１６４】

また各実施例の回折光学面の位相関数ψは、回折光の回折次数をm、設計波長をλ0、光軸に対して垂直方向の高さをh、位相係数をCi(i=1,2,3…)としたとき、次式によって表される。

【０１６５】

ψ（h，m）＝(2π/mλ0)×（C1・h^2＋C2・h^4＋C3・h^6＋…）

また各実施例における各条件式を表１に示す。

【０１６６】

［数値データ1］

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	373.848	12.09	1.48749	70.2	141.92
2	-1462.714	1.50			141.47
3	104.955	26.00	1.43387	95.1	134.90
4	509.877	57.96			131.31
5*	127.444	13.32	1.48749	70.2	82.89
6	-316.830	0.25			79.63
7	-323.653	4.60	1.67300	38.1	79.16
8	90.874	0.04	1.61973	43.0	70.67
9(回折)	90.874	0.01	1.56691	19.4	70.65
10	90.874	11.74	1.48749	70.2	70.64
11	3958.723	18.00			67.92
12	-967.245	4.41	1.84666	23.9	52.36
13	-191.049	2.60	1.61340	44.3	51.07
14	61.270	37.03			46.35
15(絞り)	∞	2.50			34.44
16	124.933	1.50	1.88300	40.8	33.12
17	40.642	6.00	1.48749	70.2	31.94
18	-77.661	2.00			31.74
19*	46.025	1.80	1.65412	39.7	28.73
20	27.514	7.78	1.48749	70.2	27.00
21	-65.783	1.80	1.80610	40.9	25.42
22	98.358	5.00			24.09
23	89.244	3.19	1.84666	23.9	27.12
24	-79.604	1.80	1.88300	40.8	26.73
25	48.185	2.00			25.07
26	-554.688	1.80	1.88300	40.8	25.03
27	67.093	4.50			25.44
28	46.892	1.50	1.88300	40.8	23.72
29	23.387	5.56	1.69895	30.1	23.93
30	-50.280	3.22			24.09
31*	-30.388	8.66	1.48749	70.2	24.10
32	-16.382	1.80	1.59522	67.7	25.31
33	114.048	3.96			28.69
34	102.715	2.20	1.48749	70.2	32.32
35	73.807	2.00	1.52417	51.5	33.50
36	626.132	0.10	1.60401	20.8	33.61
37	58.036	7.64	1.60342	38.0	34.53
38	-52.101	5.00			35.25
39	∞	2.20	1.51633	64.1	36.57
40	∞	60.48			36.81
像面	∞				

【０１６７】

非球面データ

第5面

K = 0.00000e+000 A1=-1.80829e-007 A2=-2.21402e-011 A3=-4.01177e-015 A4= 5.3

6181e-019

第9面(回折面)
C1=-4.92426e-005 C2=-2.83767e-009 C3= 3.18595e-012 C4=-3.72572e-015
C5= 1.08281e-018

第19面
K = 0.00000e+000 A1= 1.71414e-006 A2= 1.87260e-009 A3= 5.74753e-013 A4= 5.8
6519e-015

第31面
K = 0.00000e+000 A1= 7.66880e-006 A2= 1.38018e-008 A3=-5.42811e-012 A4= 2.0
3217e-013

各種データ

焦点距離	585.00
Fナンバー	4.12
半画角（度）	2.12
像高	21.64
レンズ全長	334.78
BF	66.93

入射瞳位置	832.33
射出瞳位置	-91.40
前側主点位置	-835.92
後側主点位置	-524.53

ズームレンズ群データ

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	169.18	127.50	17.05	-90.93
2	12	-103.32	7.01	3.83	-0.16
3	15	-331.08	85.52	-33.06	-128.13

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	612.10
2	3	298.80
3	5	188.29
4	7	-104.96
5	8	10038.43
6	9	10134.33
7	10	190.60
8	12	280.46
9	13	-75.34
10	16	-68.79
11	17	55.65
12	19	-108.76
13	20	40.91
14	21	-48.66

15	23	50.13
16	24	-33.77
17	26	-67.69
18	28	-54.47
19	29	23.57
20	31	60.63
21	32	-23.94
22	34	-551.71
23	35	159.42
24	36	-105.91
25	37	46.72
26	39	0.00

【０１６８】
［数値データ2］
単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	180.544	15.00	1.48749	70.2	141.92
2	800.000	0.01	1.56691	19.4	140.94
3(回折)	800.000	0.04	1.61973	43.0	140.93
4	800.000	1.50			140.92
5	101.105	26.00	1.43387	95.1	133.26
6	440.783	45.27			129.20
7*	237.268	5.40	1.60562	43.7	88.87
8	47.305	21.40	1.48749	70.2	75.34
9	327.376	29.69			72.77
10	977.710	4.50	1.84666	23.9	52.89
11	-306.210	2.60	1.61340	44.3	51.68
12	70.128	40.00			47.87
13(絞り)	∞	2.50			35.74
14	58.321	1.50	1.88300	40.8	34.04
15	28.792	6.00	1.48749	70.2	32.23
16	4904.968	2.00			31.96
17*	33.200	1.80	1.65412	39.7	29.85
18	20.813	8.71	1.48749	70.2	27.67
19	-192.705	1.80	1.80610	40.9	26.06
20	73.890	5.24			24.71
21	85.999	3.50	1.84666	23.9	26.92
22	-62.819	1.80	1.88300	40.8	26.51
23	40.471	2.38			24.55
24	-275.465	1.80	1.88300	40.8	24.51
25	78.542	4.50			25.04
26	48.207	1.50	1.88300	40.8	24.31
27	24.227	4.79	1.69895	30.1	24.56
28	-119.379	3.36			24.74
29*	-48.973	8.06	1.48749	70.2	25.28
30	-21.674	1.80	1.59522	67.7	26.86
31	-65.776	2.50			28.89

32	171.229	2.20	1.48749	70.2	30.81
33	30.283	2.00	1.52417	51.5	32.06
34	46.041	0.10	1.60401	20.8	32.11
35	30.179	6.61	1.60342	38.0	32.34
36	1310.397	5.00			32.58
37	∞	2.20	1.51633	64.1	33.61
38	∞	60.48			33.91
像面	∞				

【０１６９】

非球面データ

第3面(回折面)

C1=-1.43951e-005 C2= 5.52105e-011 C3=-3.15203e-014 C4= 6.51838e-018
C5=-1.71601e-022

第7面

K = 0.00000e+000 A1=-1.28122e-007 A2=-9.97798e-013 A3= 1.36605e-015 A4=-8.0
0161e-020

第17面

K = 0.00000e+000 A1= 2.41578e-006 A2= 2.94806e-009 A3= 7.30478e-013 A4= 1.2
3580e-014

第29面

K = 0.00000e+000 A1= 2.24908e-006 A2= 2.72593e-009 A3=-4.02798e-012 A4= 4.1
9607e-014

各種データ

ズーム比	1.00
焦点距離	585.00
Fナンバー	4.12
半画角（度）	2.12
像高	21.64
レンズ全長	334.78
BF	66.93
入射瞳位置	849.33
射出瞳位置	-70.14
前側主点位置	-1185.60
後側主点位置	-524.52

ズームレンズ群データ

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	208.59	114.62	-25.40	-103.23
2	10	-141.26	7.10	4.74	0.67
3	13	-266.99	83.64	27.35	-45.34

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離

1	1	474.53
2	2	34732.65
3	3	34717.82
4	5	295.55
5	7	-98.62
6	8	110.66
7	10	275.85
8	11	-92.78
9	14	-65.97
10	15	59.39
11	17	-90.48
12	18	39.05
13	19	-66.06
14	21	43.34
15	22	-27.65
16	24	-69.05
17	26	-56.82
18	27	29.22
19	29	72.72
20	30	-55.15
21	32	-75.86
22	33	161.75
23	34	-145.38
24	35	51.09
25	37	0.00

【０１７０】
［数値データ3］
単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	215.064	10.68	1.48749	70.2	141.92
2	506.012	1.50			141.11
3	108.305	26.00	1.43387	95.1	136.94
4	546.706	63.21			133.55
5*	120.910	13.82	1.48749	70.2	83.65
6	-315.301	0.28			80.48
7	-303.426	4.60	1.67300	38.1	80.21
8	94.138	0.04	1.61973	43.0	71.99
9(回折)	94.138	0.01	1.56691	19.4	71.97
10	94.138	11.74	1.48749	70.2	71.96
11	3958.723	20.92			69.37
12	379.331	4.50	1.84666	23.9	51.21
13	-528.291	2.60	1.76200	40.1	49.70
14	59.566	34.65			45.62
15(絞り)	∞	2.50			36.26
16	552.053	3.17	1.51742	52.4	35.40
17	-141.259	4.30	1.48749	70.2	34.99
18	-83.079	2.00			34.14

19*	85.835	1.80	1.59522	67.7	31.04
20	28.548	9.23	1.48749	70.2	28.83
21	-41.511	1.80	1.88300	40.8	27.39
22	-2249.924	5.00			26.53
23	88.934	3.50	1.75520	27.5	28.92
24	-87.807	1.80	1.77250	49.6	28.49
25	44.929	2.95			26.64
26	-121.483	1.80	1.77250	49.6	26.60
27	96.741	12.00			26.80
28	78.848	1.50	1.88300	40.8	31.63
29	37.737	4.56	1.64769	33.8	32.26
30	-536.709	2.27			32.51
31*	52.478	9.38	1.72151	29.2	35.67
32	-90.562	1.80	1.59522	67.7	35.60
33	79.828	6.53			35.34
34	-316.229	1.50	1.92286	18.9	36.14
35	30.664	5.10	1.84666	23.8	37.46
36	65.899	8.84	1.76182	26.5	37.81
37	-107.844	5.00			39.00
38	∞	2.20	1.51633	64.1	40.41
39	∞	64.40			40.71
像面	∞				

【０１７１】
非球面データ
第5面
K = 0.00000e+000 A1=-1.96296e-007 A2=-2.87452e-011 A3=-2.57596e-015 A4= 2.90708e-019

第9面(回折面)
C1=-5.61181e-005 C2= 4.42883e-011 C3=-5.63549e-013 C4=-1.46893e-015
C5= 6.39877e-019

第19面
K = 0.00000e+000 A1= 1.07522e-006 A2= 1.34109e-009 A3=-1.99251e-012 A4= 6.32980e-015

第31面
K = 0.00000e+000 A1= 3.45844e-007 A2=-2.47799e-010 A3= 1.26446e-012 A4=-1.23886e-015

各種データ
ズーム比 1.00

焦点距離 585.01
Fナンバー 4.12
半画角（度） 2.12
像高 21.64
レンズ全長 358.73
BF 70.85

入射瞳位置　807.96
射出瞳位置　-98.96
前側主点位置-701.89
後側主点位置-520.60

ズームレンズ群データ

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	178.68	131.88	19.46	-94.85
2	12	-97.22	7.10	4.83	0.87
3	15	-832.16	100.53	-90.38	-200.36

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	758.15
2	3	305.81
3	5	181.16
4	7	-106.26
5	8	8827.05
6	9	8895.77
7	10	197.61
8	12	261.38
9	13	-70.12
10	16	217.72
11	17	403.99
12	19	-72.72
13	20	36.26
14	21	-47.91
15	23	59.01
16	24	-38.25
17	26	-69.47
18	28	-83.40
19	29	54.61
20	31	47.35
21	32	-71.00
22	34	-30.23
23	35	63.52
24	36	54.90
25	38	0.00

【０１７２】

【表１】

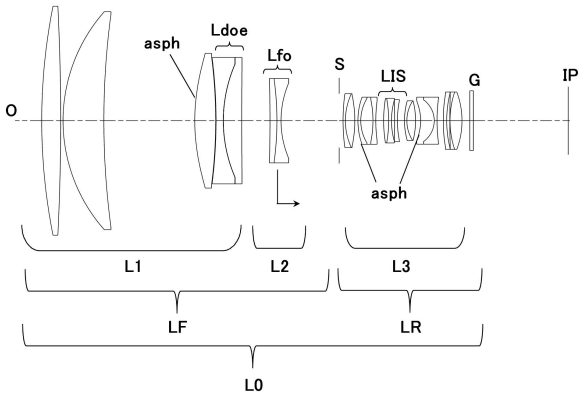
条件式番号	下限値	上限値	実施例1	実施例2	実施例3
(1)	0.001	0.010	0.0042	0.0046	0.0042
(2)	0.0001	0.0010	0.00024	0.00019	0.00036
(3)	−0.600	−0.010	−0.309	−0.345	−0.067
(4)	0.010	0.100	0.047	0.055	0.047
(5)	0.001	0.010	0.004	0.005	0.004
(6)	−0.100	−0.005	−0.076	−0.012	−0.037
(7)	−1.00	−0.05	−0.398	−0.195	−0.491
(8)	0.05	1.00	0.547	0.232	0.190
(9)	0.05	0.50	0.173	0.135	0.176

【符号の説明】

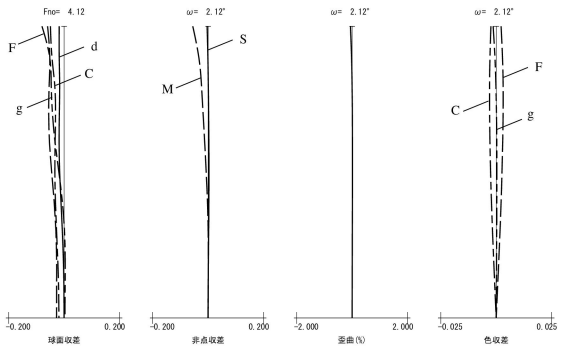
【０１７３】

LF：前群　　LR：後群　　L1：第1レンズ群　　L2：第2レンズ群
L3：第3レンズ群　　Ldoe：回折光学素子　　Lfo：フォーカスレンズ群
LIS：防振レンズ群　　S：開口絞り

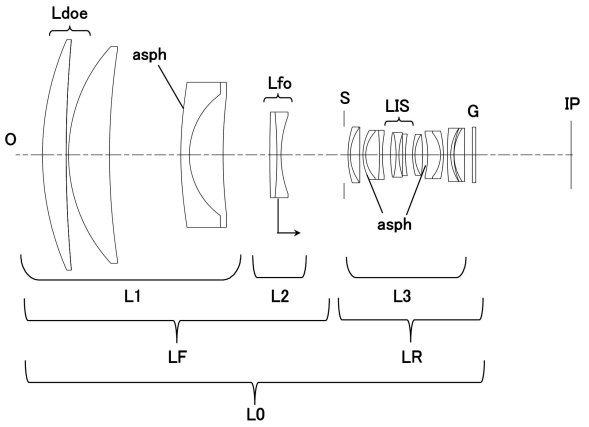
【図１】



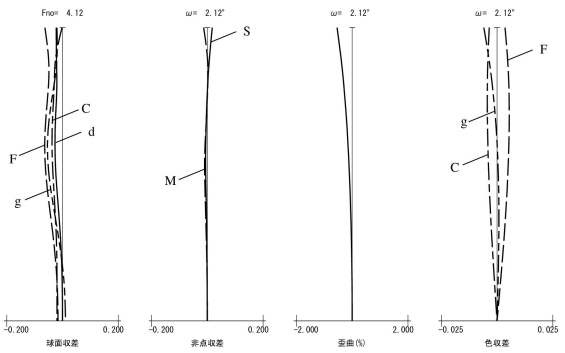
【図２】



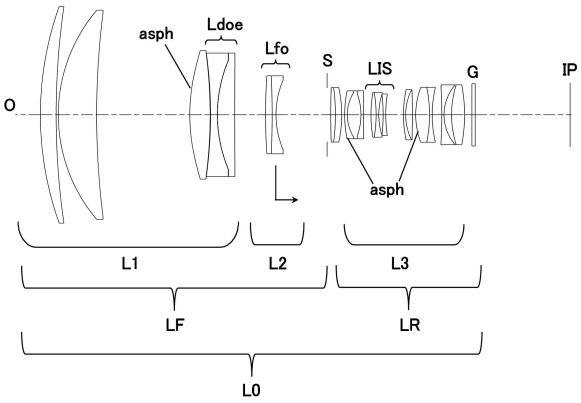
【図３】



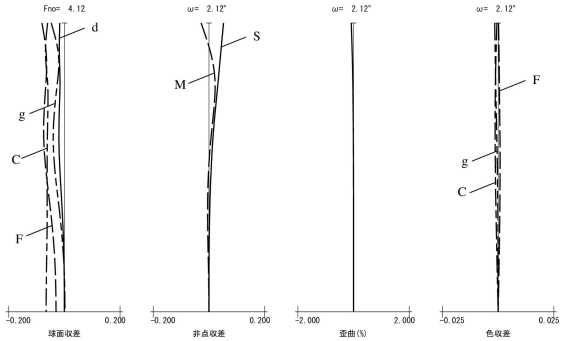
【図４】



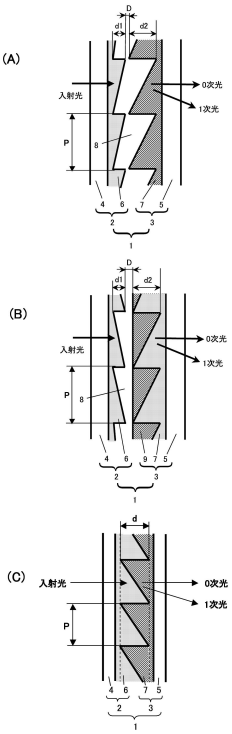
【図５】


O
asph
Ldoe
Lfo
S
LIS
G
IP
asph
L1
L2
L3
LF
LR
L0

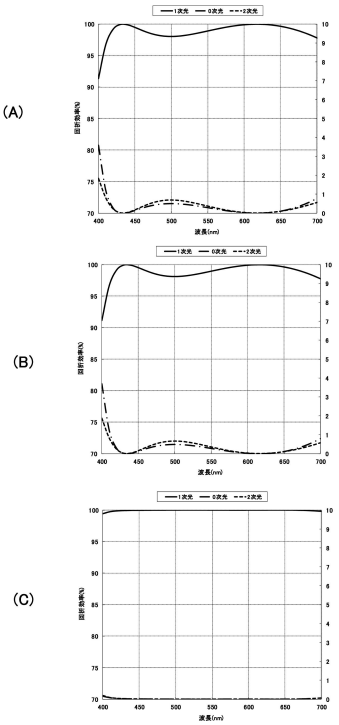
【図６】


Fno= 4.12
ω= 2.12°
d
g
C
F
−0.200
0.200
球面収差
ω= 2.12°
S
M
−0.200
0.200
非点収差
ω= 2.12°
−2.000
2.000
歪曲(%)
ω= 2.12°
F
g
C
−0.025
0.025
色収差

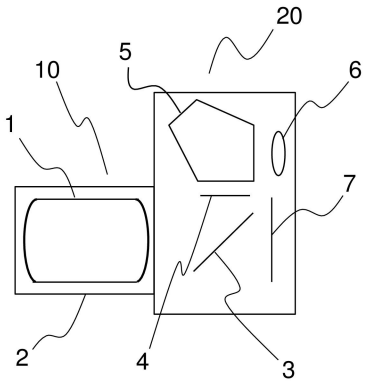
【図７】


(A)
D
d1
d2
入射光
0次光
1次光
P
8
4
6
7
5
2
3
1
(B)
D
d1
d2
入射光
0次光
1次光
P
8
4
6
9
7
5
2
3
1
(C)
d
入射光
0次光
1次光
P
4
6
7
5
2
3
1

【図８】


(A)
(B)
(C)
波長(nm)

【図９】


20
5
10
6
1
7
2
4
3

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１４－１８６１０１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－０１１１７１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－２３２６６２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－１７３４３９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－２００６８５（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１０／０２３１７８１（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
Ｇ０２Ｂ　５／１８