

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-349948
(P2006-349948A)

(43) 公開日 平成18年12月28日(2006.12.28)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 13/02 (2006.01)	GO2B 13/02	2H087
GO2B 1/04 (2006.01)	GO2B 1/04	
GO2B 13/18 (2006.01)	GO2B 13/18	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2005-175496 (P2005-175496)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成17年6月15日 (2005.6.15)	(74) 代理人	100086818 弁理士 高梨 幸雄
		(72) 発明者	小川 秀樹 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
		Fターム(参考)	2H087 KA01 LA02 PA10 PA16 PB15 QA02 QA07 QA14 QA21 QA22 QA25 QA37 QA41 RA05 RA12 RA13 RA32 UA01

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを有する光学機器

(57) 【要約】

【課題】色収差を始めとする諸収差を良好に補正することができる、製造が容易で、耐環境性に優れた光学系及びそれを有する光学機器を得ること。

【解決手段】光軸と瞳近軸光線の交わる点をPとすると、点Pより拡大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が、点Pより縮小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大きい光学系において、

該点Pより拡大側に、固体材料から形成される屈折光学素子GNLと1以上の正レンズと1以上の負レンズを有し、

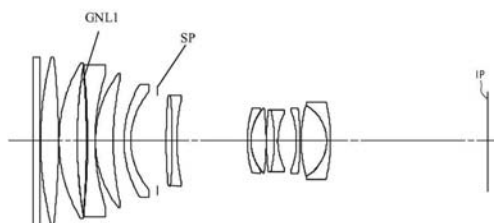
該屈折光学素子GNLの材料のアッベ数と部分分散比を各々 $d(GNL)$ 、 $gF(GNL)$ 、

該屈折光学素子GNLの光入射面が共に空気に接する面としたときの該屈折光学素子GNLの屈折力を (GNL) 、

該負レンズの材料の平均部分分散比を $gF(N)$ 、

該正レンズの材料の平均アッベ数を $d(P)$ 、

全系の屈折力を適切に設定すること。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方での、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が、光軸と瞳近軸光線の交わる点より後方での、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大きい光学系において、

光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方に、固体材料から形成される屈折光学素子GNLと、1以上の正レンズと、1以上の負レンズとを有し、

該屈折光学素子GNLを構成する材料のアップ数と部分分散比を各々 $d(GNL)$ 、 $gF(GNL)$ 、該屈折光学素子GNLの屈折力を (GNL) 、光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方にある負レンズを構成する材料の平均部分分散比を $gF(N)$ 、光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方にある正レンズを構成する材料の平均アップ数を $d(P)$ 、全系の屈折力を (P) とするとき、

$$\begin{aligned} -2.100 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 6.93 \times 10^{-1} &< gF(GNL) \\ 0.555 &< gF(GNL) < 0.9 \\ 0.03 &< (GNL) / (P) < 7.5 \\ 0.55 &< gF(N) < 0.635 \\ d(P) &< 75 \end{aligned}$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記屈折光学素子GNLを構成する材料のアップ数 $d(GNL)$ は

$$d(GNL) < 60$$

なる条件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】

前記屈折光学素子GNLを構成する材料の部分分散比を $gd(GNL)$ とするとき、

$$\begin{aligned} -2.407 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 1.420 &< gd(GNL) \\ 1.255 &< gd(GNL) < 1.67 \end{aligned}$$

なる条件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】

レンズ全長が焦点距離よりも短く、開口絞りを有する光学系であって、

該開口絞りより前方に、固体材料から形成される屈折光学素子GNLと、1以上の正レンズと、1以上の負レンズとを有し、

該屈折光学素子GNLを構成する材料のアップ数と部分分散比を各々 $d(GNL)$ 、 $gF(GNL)$ 、該屈折光学素子GNLの屈折力を (GNL) 、光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方の負レンズを構成する材料の平均部分分散比を $gF(N)$ 、光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方の正レンズを構成する材料の平均アップ数を $d(P)$ 、全系の屈折力を (P) とするとき、

$$\begin{aligned} -2.100 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 6.93 \times 10^{-1} &< gF(GNL) \\ 0.555 &< gF(GNL) < 0.9 \\ 0.03 &< (GNL) / (P) < 7.5 \\ 0.55 &< gF(N) < 0.635 \\ d(P) &< 75 \end{aligned}$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 5】

前記屈折光学素子GNLを構成する材料のアップ数 $d(GNL)$ は

$$d(GNL) < 60$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 4 に記載の光学系。

【請求項 6】

前記屈折光学素子GNLを構成する材料の部分分散比を $gd(GNL)$ とするとき、

$$\begin{aligned} -2.407 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 1.420 &< gd(GNL) \\ 1.255 &< gd(GNL) < 1.67 \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

なる条件を満足することを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の光学系。

【請求項 7】

前記固体材料は、樹脂であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記固体材料は、無機微粒子を透明媒体に分散させた混合体からなることを特徴とする請求項 1 ~ 7 の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記固体材料の 0 ~ 40 における d 線の屈折率の温度に対する変化率の絶対値を $|dn/dT|$ とするとき、

$$|dn/dT| < 2.5 \times 10^{-4}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 8 の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記屈折光学素子 GNL の 2 つの屈折面のうち、少なくとも一方の屈折面が非球面形状であることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記屈折光学素子 GNL の 2 つの屈折面のうち、少なくとも一方の屈折面は空気に接することを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 12】

光電変換素子上に像を形成することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 のいずれか 1 項の光学系と、該光学系によって形成される像を受光する光電変換素子とを備え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、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、望遠鏡、双眼鏡、プロジェクター、複写機等の光学機器に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

一般に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では、レンズ全長（光学全長、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該収差、特に軸上色収差及び倍率色収差などの色収差の発生が多くなり、光学性能が低下する傾向にある。特にレンズ全長の短縮化を図ったテレフォトタイプの光学系では、焦点距離を伸ばすほど（長くするほど）色収差の発生が多くなっていく。

【0003】

このような色収差の発生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光路中に回折光学素子を用いる方法が一般的によく知られている。

【0004】

テレフォトタイプの光学系では近軸軸上光線と瞳近軸光線の光軸からの通過位置が比較的になる前方レンズ群に、蛍石等の異常部分分散を持った低分散の光学材料で構成した正の屈折力のレンズと高分散の光学材料で構成した負の屈折力のレンズを用いて色収差の低減を行うのが一般的であり、このようなテレフォトタイプの光学系が種々提案されている（特許文献 1 ~ 3）。

【0005】

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° で入射する光線の内

10

20

30

40

50

、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。

【0006】

また、異常部分分散の光学材料を用いず、回折光学素子を用いてテレフォトタイプの光学系において、色収差の補正を行った光学系が知られている（特許文献4、5）。特許文献4や特許文献5には、回折型光学素子と屈折型光学素子とを組み合わせることで、色収差を比較的良好に補正したFナンバーF2.8程度のテレフォトタイプの光学系が開示されている。

【0007】

一般に回折光学素子は、アッペ数に相当する数値の絶対値が3.45と小さく、回折によるパワー（焦点距離の逆数）を僅かに変化させるだけで、球面収差、コマ収差、非点収差等にほとんど影響を与えることなく、色収差を大きく変化できる特徴がある。また、扱う光が回折光であるため、入射光の波長の変化に対してパワーが線形変化し、色収差係数の波長特性は完全な直線となる。

【0008】

従って、レンズ全長の短縮に際しては、主に球面収差、コマ収差、非点収差の補正に特化して収差補正を行えば良く、色収差に関しては、悪化した絶対量を気にすることなく色収差係数の波長特性の線形性が得られるように、構成レンズの材料と屈折力を最適化して設計を行えば、レンズ全長が短縮されたテレフォトタイプの光学系が得られる。

【0009】

また、回折光学素子の光学特性に似た色収差の補正作用を持つ光学材料に、比較的高分散で、かつ比較的正常部分分散な特性を示す液体材料が知られており、それを用いた色消し光学系が提案されている（特許文献6、7）。

【特許文献1】特公昭60-49883号公報

【特許文献2】特公昭60-55805号公報

【特許文献3】特開平11-119092号公報

【特許文献4】特開平6-324262号公報

【特許文献5】特開平6-331887号公報

【特許文献6】米国特許第5731907号明細書

【特許文献7】米国特許第5638215号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1～3に開示されている光学材料に蛍石等を使ったテレフォトタイプの光学系では、レンズ全長を比較的に長めに設定した場合は色収差の補正が容易である。

【0011】

しかしながら、レンズ全長の短縮化を図ると色収差の発生が多くなり、これを良好に補正することが困難となる。この方法は、蛍石等の材料が持つ低分散と異常部分分散を利用して正の屈折力の前玉レンズ系で発生する色収差を単に低減するに留まるためである。レンズ全長の短縮に伴って悪化した色収差を補正しようとする、例えば、蛍石のようなアッペ数の大きい低分散ガラスを使ったレンズでは、レンズ面の屈折力を大きく変化させないと色収差が大きく変化しない。

【0012】

このため、色収差の補正と、屈折力を大きくしたことによって発生する球面収差、コマ収差、非点収差などの諸収差の補正との両立が困難となる。

【0013】

一方、回折光学素子は十分な色収差の補正作用があるものの、実際に用いる設計回折次数の回折光以外の不要な回折次数の回折光が発生し、この不要な回折光が色の付いたフレア光となって結像性能を悪化させるという問題が生じてくる。

10

20

30

40

50

【0014】

この不要な回折光を減ずる方法として、複数のブレース型の回折格子を光軸方向に積層した、所謂、積層型の回折光学素子を用い、これによって設計回折次数へエネルギーを集中させ、不要な回折光を大幅に減らす方法があるが、それでも依然として高輝度な被写体を撮影すると、不要な回折光によるフレアが現れてくるという問題がある。

【0015】

また、回折光学素子の製造方法として、紫外線硬化樹脂等を金型で成型する方法が知られている。しかしながらこの方法は、回折光学素子の回折効率の敏感度が製造上極めて高い為、非常に高い金型精度や成型精度が要求され、製造コストが高いという問題がある。

【0016】

特許文献6, 7に開示された材料は、液体であるために、それを封止する構造が必要となり、光学材料に用いる場合、製造が難しくなる。また、温度変化による屈折率、分散などの特性が変化し、耐環境性が十分でない。更に、アッペ数が比較的大きく、異常部分分散性も比較的小さいことに加え、空気との界面が得られないために十分な色収差の補正作用が得難い。

【0017】

本発明は、色収差を始めとする諸収差を良好に補正することができる、製造が容易で、耐環境性に優れた光学系及びそれを有する光学機器の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の光学系は、光軸と瞳近軸光線の交わる点より前方での、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が、光軸と瞳近軸光線の交わる点より後方での、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大きい光学系において、光軸と瞳近軸光線が交わる点より前方に、固体材料から形成される屈折光学素子GNLと、1以上の正レンズと、1以上の負レンズを有し、

該屈折光学素子GNLを構成する材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d(GNL)$, $gF(GNL)$ 、

該屈折光学素子GNLの屈折力を (GNL) 、

光軸と瞳近軸光線が交わる点より前方にある負レンズを構成する材料の平均部分分散比を $gF(N)$ 、光軸と瞳近軸光線が交わる点より前方にある正レンズを構成する材料の平均アッペ数を $d(P)$ 、全系の屈折力を

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 6.93 \times 10^{-1} < gF(GNL)$$

$$0.555 < gF(GNL) < 0.9$$

$$0.03 < (GNL) / < 7.5$$

$$0.55 < gF(N) < 0.635$$

$$d(P) < 75$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、製造が容易で、耐環境特性に優れた、高い光学性能を有するコンパクトな光学系が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

まず本発明の光学系の構成を説明する前に最初に光学系中に用いる光学材料の分散特性の特徴について述べる。

【0021】

光学材料の屈折率の波長特性(分散特性)において、アッペ数は分散特性曲線の全体の傾きを表し、部分分散比は分散特性曲線の曲がり具合を表している。

【0022】

10

20

30

40

50

一般的に光学材料は、短波長側の屈折率が長波長側の屈折率よりも高く（アッペ数が正の値）、分散特性曲線は下に凸状（部分分散比が正の値）の軌跡を描き、短波長側になるほど波長の変化に対する屈折率の変化は大きくなる。

【0023】

そして、アッペ数の小さい高分散な光学材料ほど部分分散比が大きくなり、分散特性曲線は下に凸状が強まる傾向にある。

【0024】

部分分散比が大きな光学材料では、その材料を用いたレンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線は、部分分散比が小さな光学材料を用いた場合に比べて短波長側でより大きな曲がりを示す。

【0025】

一方、部分分散比が小さな光学材料では、その材料を用いたレンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線は、使用波長域全体でより直線に近い形状を示す。

【0026】

硝材など一般的な光学材料の部分分散比は、アッペ数に対してほぼ直線的な分布を示し、この直線から外れた特性を持つものが異常部分分散性を示す光学材料である。

【0027】

異常部分分散を持つ光学材料として、低分散側では蛍石やUDガラスなどのフッ素系の比較的高部分分散比の材料、そして、高分散側では、クルツフリント系や一部のランタン系の比較的低部分分散比の材料が一般的に知られている。これらの硝材の部分分散比もほぼこの直線の近傍に位置している。

【0028】

次に、これらの一般的な異常部分分散材料の撮影光学系への一般的な適用方法について述べる。

【0029】

望遠レンズを始め多くの撮影光学系では、光学系全体として正の屈折力を有している。これより、光学系は必然的に負（負の屈折力）レンズの枚数よりも正（正の屈折力）レンズの枚数の方が多くなるのが一般的である。

【0030】

このとき、特にテレフォトタイプの望遠レンズでは、光学系全体の色収差の発生量のほとんどを開口絞りより前方（撮影光学系では物体側、液晶プロジェクター等の投射光学系では拡大側）のレンズ群が占める。

【0031】

望遠レンズの開口絞りより物体側のレンズ群の構成として、正レンズ（レンズ枚数が多い）に対しては、色収差係数の波長特性曲線全体の傾き成分を軽減するために低分散の材料を選択し、負レンズ（レンズ枚数が少ない）には、高分散の材料を選択する。そして正レンズと負レンズに適切な屈折力を与え、個々の低分散材料より成る正レンズによって積算された色収差係数の波長特性曲線全体の傾き成分を打ち消すように構成している。

【0032】

更に、色収差係数の波長特性の曲がり成分に関しては、低分散材料より成る正レンズに一般の低分散材料よりも比較的高部分分散比の材料を選択する。高分散材料より成る負レンズには、一般の高分散材料よりも比較的低部分分散比の材料を選択する。そして個々の低分散材料より成る正レンズによって積算された色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分を打ち消すように構成している。

【0033】

つまり、正レンズの材料に蛍石やUDガラスなどのフッ素系の低分散かつ比較的高部分分散比の材料を選択する。負レンズの材料にクルツフリント系や一部のランタン系の高分散かつ比較的低部分分散比の材料を選択する。そして光学系全体の色収差波長特性曲線の傾き成分と曲がり成分をバランスさせる構成となっている。

【0034】

10

20

30

40

50

しかしながら、一般的な異常部分分散材料の組み合わせのままでは、望遠レンズを始め多くの撮影光学系において、負レンズの分散特性の大きな曲がり成分に起因した色収差係数の波長特性の曲がり成分が、正レンズで積算された曲がり成分に対して補正過剰きみとなる。

【0035】

この結果、光学系全体の軸上色収差係数の波長特性曲線で見ると、上に凸状の所謂アウロマーの曲線として色収差が残存することになる。

【0036】

この残存した色収差は、光学系を構成するレンズの屈折力を強め、レンズ全長を短くするほど拡大し、一般的な異常部分分散材料を使用して前述の一般的な適用方法を用いる限り、色収差を補正することは困難である。

10

【0037】

次に、色収差の補正として効果的な回折光学素子の撮影光学系への適用方法について述べる。

【0038】

一般的な光学材料は、前述した通りアッペ数は常に正の値をとり、また分散特性曲線は多かれ少なかれ下に凸状となる。

【0039】

一方、回折光学素子では、長波長側の屈折率（相当値）の方が短波長側の屈折率（相当値）よりも高く、アッペ数（相当値）は - 3 . 4 5 と負の値をとる。又、回折光学素子は屈折率（相当値）の波長に対する変化も一様であるため、その分散特性は直線となり、超高分散で超低部分分散比の特性を示す。

20

【0040】

そのため、色収差係数の波長特性も完全な直線となり、回折光学素子のパワーを変化させることで、直線を維持したまま傾きを自由にコントロールできるという特徴がある。

【0041】

屈折光学素子の構成は、回折光学素子の収差係数の波長特性の直線性に合わせ、傾き成分を完全に無視して直線状態を作りさえすればよく、残存した傾き成分は回折光学素子のパワーを調整することで容易に補正することができる。

【0042】

その際、回折光学素子のパワー変化量は、回折光学素子が超高分散であるため、球面収差などの諸収差に対してほとんど影響しない程度の量となり、色収差の独立補正性は極めて高いという特徴がある。

30

【0043】

色収差係数の波長特性を直線を高めるための屈折光学素子を含む光学系の具体的構成は、正レンズ及び負レンズとも、前述した一般的な異常部分分散材料での適用方法とは逆の方向に材料を選択すればよい。

【0044】

つまり、分散を無視し、正レンズを高分散比の材料として（結果として高分散寄り）、負レンズの色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分と打ち消す構成とする。又は、負レンズを低部分分散比として（結果として低分散寄り）、正レンズの色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分と打ち消す構成とする。又は、正レンズと負レンズの両方の材料を選択し直して曲がり成分を打ち消す構成とすれば良い。

40

【0045】

ここで、屈折光学素子の色収差係数を打ち消すための回折光学素子に与えるべきパワーの符号は、特に望遠レンズにおいては、軸上色収差係数と倍率色収差係数をともに打ち消すことを鑑みて、開口絞りより物体側に配置した状態で正のパワーを与えることが必要となる。

【0046】

以上、従来から良く知られている色収差の補正方法について説明した。

50

【0047】

つまり、望遠レンズを例にとると、開口絞りより物体側のレンズ群において、蛍石やUDガラスなどのフッ素系の低分散かつ比較的高部分分散比の材料より成るレンズに正の屈折力を与える。そしてクルツフリント系や一部のランタン系の高分散かつ比較的低部分分散比の材料より成るレンズに負の屈折力を与える。

【0048】

これにより色収差波長特性曲線の傾き成分と曲がり成分を低減する方法と、同様に開口絞りより物体側に配置した超高分散かつ超低部分分散比に相当する回折光学素子に正のパワーを与えて、色収差波長特性曲線の傾き成分と曲がり成分を打ち消す方法について述べた。

10

【0049】

しかしながら、従来、望遠レンズの色消しにおいて超高部分分散比の材料を用いて色収差を積極的に補正した例は知られていない。

【0050】

本発明の光学系は、従来の色収差補正方法とは全く異なる方法によって、色消しに有効な部分分散比の条件と適切な光学配置条件を特定したものである。

【0051】

以下、超高部分分散比の材料より成る屈折光学素子GNLと、それ以外の材料より成る屈折光学素子Gとから構成される超望遠レンズを例にとり軸上色収差係数について説明する。

20

【0052】

まず屈折光学素子Gが部分系としてある程度色収差が補正された状態とする。

【0053】

この時、軸上色収差の波長特性曲線は、上に凸状のカーブを描く、所謂アクロマートの状態である。

【0054】

この状態において屈折光学素子Gを構成する負レンズは、前述した通り高分散かつ比較的低部分分散の材料を選択し、正レンズは低分散かつ比較的高部分分散比の材料を選択していることになる。

【0055】

この負レンズの材料を比較的高部分分散比寄りに選択すると、高部分分散比の材料は同時に高分散でもあるので、屈折光学素子Gの色収差係数の波長特性曲線は、もとの状態よりも大きく上に凸状の曲がりを含めながら、短波長側の色収差係数が負の方向へ変位するように全体が傾いて行く。

30

【0056】

次に、超高部分分散比の材料を用いた屈折光学素子GNLに正の屈折力を与えていくと、屈折光学素子GNLの色収差係数の波長特性曲線は、下に凸状の曲がりを含めながら、短波長側の色収差係数が正の方向へ変位するように全体が傾いて行き、ある屈折力を持たせた状態で、屈折光学素子Gの色収差係数の波長特性曲線と波長軸に対して略対称形となる。

40

【0057】

しかしながら、多くの場合、色収差係数の波長特性曲線の全体の傾き成分と曲がり成分は、同時に対称形状を得ることは困難であるので、曲がり成分のみを相殺するように屈折光学素子GNLの屈折力を調整し、残存した全体の傾き成分は、屈折光学素子Gを構成する正レンズの材料を選択し直して相殺を行う。

【0058】

つまり、屈折光学素子Gを構成する正レンズは低分散側の材料であるので、部分分散比は、高分散側の材料の部分分散比とくらべると絶対値が小さい為、使用している材料の近傍で材料を変更することにより、色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分にほとんど影響を与えずに全体の傾き成分を補正することが出来る。

50

【0059】

なお、本発明の光学系の各実施例では、屈折光学素子Gを構成する正レンズの材料を比較的高分散寄りに選択し、屈折光学素子Gの短波長側の色収差係数が正の方向へ変位するように設定している。

【0060】

以上、本発明の光学系では、開口絞りより物体側（点Pより拡大側）で、屈折光学素子Gを構成する負レンズの材料を高分散（結果的に高部分分散比）として色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分を助長させる。そしてその曲がり成分を打ち消すように、開口絞りより物体側に正の屈折力を与えた屈折光学素子GNLを設け、残存した全体の傾き成分に関しては、開口絞りより物体側（点Pより拡大側）の正レンズの材料を変えることで相殺して、全系の色収差を良好に補正している。

10

【0061】

以下、本発明の光学系及びそれを有する光学機器の実施例について説明する。

【0062】

本発明の光学系は、デジタルカメラ・ビデオカメラ、銀塩フィルム用カメラ等の撮像装置や、望遠鏡、双眼鏡等の観察装置、複写機、プロジェクター等の機器に用いられるものである。本発明の光学系は、テレフォトタイプ（レンズ全長が焦点距離よりも短い光学系）を採用し、高分散で部分分散比の低い固体材料に屈折作用を持たせた屈折光学素子を用いていることを特徴としている。

【0063】

本発明の光学系に用いる屈折光学素子の固体材料とは、光学系を使用する状態で固体の材料を指し、製造時などの光学系を使用する前での状態は、どのような状態であっても良い。例えば、製造時には液体材料であっても、それを硬化させて固体材料としたものも、ここでいう固体材料に該当する。

20

【0064】

図15は、本発明の光学系の光学作用を説明する為の近軸屈折力配置の概略図である。図1において、OLはレンズ全長（第1レンズ面から像面までの距離）が焦点距離よりも短いテレフォトタイプの光学系である。Gp、Gnは、それぞれテレフォトタイプの光学系OLを構成する正の屈折力の前群と負の屈折力の後群である。

【0065】

GNLは、前群Gpに導入した後述する条件式(1)～(8)の1以上を満足する材料より成る屈折光学素子である。

30

【0066】

構成を簡単にするために、前群Gp、後群Gnを構成するレンズは全て薄肉単レンズとし、前群Gp、後群Gn内でそれぞれレンズ間隔が0で光軸上に配置されているものとする。

【0067】

また、屈折光学素子GNLも薄肉単レンズとし、前群Gpにレンズ間隔が0で光軸La上に配置されるものとする。Qは近軸軸上光線、Rは瞳近軸光線であり、Pは瞳近軸光線Rと光軸Laとの交点である。IPは像面である。

40

【0068】

図15の光学系OLは、光軸Laと瞳近軸光線Rの交わる点Pより拡大側（物体側）で近軸軸上光線Qがレンズ面を通過する光軸Laからの高さの最大値 h_{Gp} が、点Pより縮小側（像側）で近軸軸上光線Qがレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値 h_{Gn} よりも大きい光学系である。

【0069】

実施例の光学系に用いる光学部材のアッペ数と部分分散比は次のとおりである。

【0070】

今、フラウンフォーファ線のg線、F線、d線、C線に対する屈折率をそれぞれNg、NF、Nd、NCとすると、アッペ数d、部分分散比gd、gFの定義は一般に

50

用いられるものと同じであり、

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

$$g_d = (N_g - N_d) / (N_F - N_C)$$

$$g_F = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

で表わされる。

【0071】

実施例の光学系は、点Pより拡大側に、固体材料から形成される屈折光学素子GNLと1以上の正レンズと1以上の負レンズを有し、

該屈折光学素子GNLの材料の部分分散比を $g_F(GNL)$ 、 $g_d(GNL)$

該屈折光学素子GNLの材料のアッペ数を $d(GNL)$ 、

該屈折光学素子GNLの光入出射面が共に空気に接する面としたときの該屈折光学素子GNLの設計波長(d線)における屈折力を (GNL) 、

該負レンズの材料の平均部分分散比を $g_F(N)$ 、

該正レンズの材料の平均アッペ数を $d(P)$ 、

全系の設計波長における屈折力を

とすとき

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 6.93 \times 10^{-1} < g_F(GNL) \tag{1}$$

$$0.555 < g_F(GNL) < 0.9 \tag{2}$$

$$0.03 < (GNL) / < 7.5 \tag{3}$$

$$0.55 < g_F(N) < 0.635 \tag{4}$$

$$d(P) < 75 \tag{5}$$

$$d(GNL) < 60 \tag{6}$$

$$-2.407 \times 10^{-3} \cdot d(GNL) + 1.420 < g_d(GNL) \tag{7}$$

$$1.255 < g_d(GNL) < 1.67 \tag{8}$$

なる条件のうち1以上を満足している。

【0072】

次に条件式(1)~(8)の技術的意味について説明する。

【0073】

条件式(1)、(2)は、屈折光学素子GNLの部分分散比(g_F)が満足すべき数値範囲に関する。

【0074】

屈折光学素子GNLは一般の光学材料と組み合わせて使用するため、屈折光学素子GNLに用いられる材料の部分分散比は一般の光学材料とは異なる値であることが必要ではあるが、あまりかけ離れすぎでは良くない。一般の光学材料とかけ離れた材料をレンズとして用いた場合、そのレンズ面の色収差係数の波長特性曲線の短波長側の曲がりが大きくなる。その大きな曲りを打ち消すために、他のレンズの屈折力を強める必要があり、その結果、球面収差、コマ収差や非点収差などの諸収差を悪化させ収差補正が困難となる。

【0075】

つまり、屈折光学素子GNLの材料としては、一般の光学材料に比べて部分分散比が大きな光学材料であり、かつ一般の光学材料と比べて部分分散比がかけ離れすぎないことが重要である。

【0076】

従って、条件式(1)、(2)の数値範囲をはずれると、色収差を良好に補正することが困難となるので良くない。

【0077】

条件式(1)の数値範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0078】

すなわち、

10

20

30

40

50

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.693 < gF(\text{GNL}) < -1.231 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.900 \quad (1a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0079】

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.693 < gF(\text{GNL}) < -1.389 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.823 \quad (1b)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0080】

$$-1.682 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.700 < gF(\text{GNL}) < -1.682 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 0.756 \quad (1c)$$

条件式(2)の数値範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0081】

すなわち、

$$0.555 < gF(\text{GNL}) < 0.86 \quad (2a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0082】

$$0.555 < gF(\text{GNL}) < 0.80 \quad (2b)$$

条件式(3)は、屈折光学素子GNLが満足すべき屈折力に関し、主に色収差係数の波長特性の曲がり成分を最適な状態とし、短波長側の色収差を良好に補正するためのものである。

【0083】

条件式(3)の上限を超えて屈折光学素子GNLの屈折力が強くなると、主に色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分が、全系の屈折力と相殺しきれず、補正過剰となるので良くない。

【0084】

また、条件式(3)の下限値を超えた場合は、色収差の補正が不十分となるので良くない。

【0085】

条件式(3)の数値範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0086】

即ち、

$$0.1 < (\text{GNL}) / \quad < 5 \quad (3a)$$

更に好ましくは、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0087】

即ち、

$$0.2 < (\text{GNL}) / \quad < 3.5 \quad (3b)$$

条件式(4)は、点Pより拡大側に配置された負レンズの材料の部分分散比(gF)の平均値に関する。条件式(4)は、条件式(3)を満足した上で、屈折光学素子GNLの色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分とバランスよく相殺し合い、主に短波長側の色収差を良好に補正するためのものである。

【0088】

条件式(4)の上限を超えて負レンズの材料の部分分散比の平均値が大きくなると、主に色収差係数の波長特性曲線の曲がり成分が、屈折光学系部分GNLで相殺しきれず、補正不足となるので良くない。

【0089】

また、条件式(4)の下限値を超えた場合は、屈折光学素子GNLで補正過剰となるので良くない。

【0090】

10

20

30

40

50

条件式(4)の数値範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0091】

即ち、

$$0.56 < gF(N) < 0.625 \quad (4a)$$

更に好ましくは、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0092】

即ち、

$$0.57 < gF(N) < 0.615 \quad (4b)$$

条件式(5)は、点Pより拡大側に配置された正レンズの材料のアッペ数の平均値に関する。 10

【0093】

条件式(5)は、条件式(4)を満足した上で、屈折光学素子GNL及び負レンズの色収差係数の波長特性曲線の全体の傾き成分とバランスよく相殺し合い、全系の色収差を良好に補正するためのものである。

【0094】

条件式(5)の上限を超えて、又、下限を超えても、主に色収差係数の波長特性曲線の全体の傾き成分が、屈折光学系部分GNL及び負レンズでバランスしきれず、色収差が悪化するのよくない。

【0095】

条件式(5)の数値範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0096】

即ち、

$$d(P) < 70 \quad (5a)$$

更に好ましくは、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0097】

即ち、

$$d(P) < 65 \quad (5b)$$

また屈折光学素子GNLの材料のアッペ数 $d(GNL)$ の絶対値が小さい、すなわち高分散であれば、色収差を独立に補正することが可能となるので好ましい。 30

【0098】

このことをレンズ面の軸上色収差係数及び倍率色収差係数を用いて説明する。

【0099】

屈折レンズの面のパワー変化を L とすると、レンズ面での軸上色収差係数の変化 L と倍率色収差係数の変化 T は、アッペ数を A とすると次のように表せる。

【0100】

$$\frac{L}{T} = \frac{1}{A}$$

上式から明らかとおり、レンズ面のパワー変化に対する各収差係数の変化 L , T は、アッペ数 A の絶対値が小さい(すなわち、分散が大きい)ほど大きくなる。従って、アッペ数 A の絶対値が小さい高分散材料を用いれば、必要な色収差を得るためのパワー変化量は小さくて済むことになる。 40

【0101】

このことは収差論上、球面収差、コマ収差や非点収差などに大きな影響を及ぼすことなく色収差をコントロールでき、色収差補正の独立性が高まることを意味する。逆に、低分散材料を用いると、必要な色収差を得るためのパワー変化量は大きくなり、それに伴って球面収差などの諸収差が大きく変化し、色収差補正の独立性が弱まることになる。

【0102】

従って、光学系を構成するレンズのうち、少なくとも1つのレンズ面は、高分散材料で 50

形成された屈折レンズ面であることが収差補正上重要である。

【0103】

条件式(6)は、このような理由で屈折光学素子GNLの材料のアッペ数 d (GNL)の数值範囲を特定したものである。条件式(6)に示す数值範囲とすると、色収差の独立補正効果が高まり、良好な光学性能が得られる。

【0104】

条件式(6)の数值は、更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0105】

$$d(\text{GNL}) < 45 \quad (6a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0106】

$$d(\text{GNL}) < 30 \quad (6b)$$

条件式(7)、(8)は屈折光学素子GNLの部分分散比 gd について特定したものである。条件式(7)、(8)は波長域全体に渡って色収差を良好に補正するためのものであり、条件式(7)、(8)を外れると色収差の補正が困難になる。

【0107】

条件式(7)の数值範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0108】

即ち、

$$-2.407 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.420 < gd(\text{GNL}) < -1.152 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.651 \quad (7a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0109】

$$-2.407 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.420 < gd(\text{GNL}) < -1.865 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.572 \quad (7b)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0110】

$$-2.076 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.426 < gd(\text{GNL}) < -2.076 \times 10^{-3} \cdot d(\text{GNL}) + 1.512 \quad (7c)$$

条件式(8)の数值範囲は、以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

【0111】

即ち、

$$1.255 < gd(\text{GNL}) < 1.61 \quad (8a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

【0112】

$$1.255 < gd(\text{GNL}) < 1.54 \quad (8b)$$

次に、屈折光学素子GNLを構成する材料(固体材料)の具体例について述べる。

【0113】

屈折光学素子GNLの材料の具体例としては、樹脂が挙げられる。

【0114】

様々な樹脂の中でも特にUV硬化樹脂($nd = 1.635$, $d = 22.7$, $gF = 0.69$)やN-ポリビニルカルバゾール($nd = 1.696$, $d = 17.7$, $gF = 0.69$)は上記条件(1)、(2)を満足する光学材料となるが、屈折光学素子の材料はこれに限定するものではない。

【0115】

また、一般の硝材とは異なる特性を持つ材料として、下記の無機酸化物微粒子を合成樹脂中に分散させた混合体がある。

【0116】

10

20

30

40

50

即ち、無機酸化物としては、

TiO_2 ($n_d = 2.304$, $d = 13.8$), Nb_2O_5 ($n_d = 2.367$, $d = 14.0$), ITO ($n_d = 1.8581$, $d = 5.53$), Cr_2O_3 ($n_d = 2.2178$, $d = 13.4$), $BaTiO_3$ ($n_d = 2.4362$, $d = 11.3$) 等が適用できる。

【0117】

この中では、 TiO_2 ($n_d = 2.304$, $d = 13.8$, $gF = 0.87$) 微粒子を合成樹脂中に分散させた場合、上記条件式(1), (2)を満足する固体材料となる。

【0118】

TiO_2 は様々な用途で使われる材料であり、光学関連では反射防止膜などの光学薄膜を構成する蒸着用材料として用いられている。

【0119】

他にも光触媒、白色顔料などとして、また TiO_2 微粒子は化粧品材料として用いられている。

【0120】

しかし従来知られた TiO_2 の用途では、微粒子の混合体として光学系の色収差補正用の光学部材に用いた例は存在しない。

【0121】

TiO_2 微粒子の平均径は、散乱などの影響を考えると $2\text{nm} \sim 50\text{nm}$ 程度がよく、凝集を抑えるために分散剤などを添加しても良い。

【0122】

TiO_2 を分散させる媒体材料としては、ポリマーが良く、成形型等を用いて光重合成形または熱重合成形することにより高い量産性を得ることができる。

【0123】

また、ポリマーの光学定数の特性としても、部分分散比が比較的大きいポリマー、あるいはアッペ数が比較的小さいポリマーか、両者を満たすポリマーが良く、N-ポリビニルカルバゾール、スチレン、ポリメタクリル酸メチル(アクリル)、などが適用できる。

【0124】

後述する実施例では TiO_2 微粒子を分散させるホストポリマーとしてUV硬化樹脂、N-ポリビニルカルバゾールを用いるが、これに限定するものではない。

【0125】

ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性 $N(\lambda)$ は、良く知られたDrudeの式から導きだされた次式によって簡単に計算することができる。

【0126】

即ち、

$$N(\lambda) = [1 + V \{ N_{TiO_2}^2(\lambda) - 1 \} + (1 - V) \{ N_p^2(\lambda) - 1 \}]^{1/2}$$

ここで、 λ は任意の波長、 N_{TiO_2} は TiO_2 の屈折率、 N_p はポリマーの屈折率、 V はポリマー体積に対する TiO_2 微粒子の総体積の分率である。

【0127】

本発明で用いる固体材料は、 $0 \sim 40^\circ$ における d 線の屈折率の温度変化の絶対値を $|dn/dT|$ とすると、以下の条件を満足することが好ましい。

【0128】

即ち、

$$|dn/dT| < 2.5 \times 10^{-4} \quad (9)$$

である。

【0129】

上記条件式(9)の範囲をはずれると、 $0 \sim 40^\circ$ の温度範囲で良好な光学性能を維持することが困難になるので良くない。

10

20

30

40

50

【0130】

後述する各実施例では、固体材料を光学系中のレンズやレンズ表面に設けられた層に適用している。

【0131】

そして、屈折光学素子GNLの屈折面を非球面形状とすれば、色の球面収差などの色収差フレアを補正することができる。

【0132】

また、屈折光学素子GNLと空気などの雰囲気とで界面を形成したり、比較的低屈折率な材料とで界面を形成したりすれば、界面の僅かな曲率変化で色収差を比較的大きく変化させることができるため好ましい。

【0133】

また、屈折光学素子GNLを光学系中のレンズやレンズ表面に設けられた層に複数枚用いれば、それぞれのパワーを小さくでき、収差補正上有利であるので好ましい。

【0134】

次に屈折光学素子を具体的な光学系に応用した各実施例について説明する。

【0135】

ここでは、屈折光学素子GNLとして、UV硬化樹脂1、N-ポリビニルカルバゾール、またTiO₂をホストポリマーであるUV硬化樹脂、N-ポリビニルカルバゾールに分散させたTiO₂微粒子分散材料を用いている。なおTiO₂微粒子を分散させるUV硬化樹脂は2種類（UV硬化樹脂1、UV硬化樹脂2）を用いている。

【0136】

図1は数値実施例1の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにUV硬化樹脂1より成る屈折光学素子を用いた例である。

【0137】

図1において、左側が物体側（前方）、右側が像側（後方）であり、これは他の数値実施例でも同様である。

【0138】

図1中、UV硬化樹脂1で形成したレンズ（層）（屈折光学素子）をGNL1で示しており、SPは開口絞りである。

【0139】

IP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CCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面に、銀塩フィルム用カメラのときはフィルム面に相当する。

【0140】

数値実施例1の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にUV硬化樹脂1より成る屈折光学素子GNL1を導入している。

【0141】

そして、UV硬化樹脂1で形成されたレンズ（層）GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0142】

図2は数値実施例1の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0143】

収差図においては、d、gは各々d線及びg線、M、Sはd線のメリディオナル像面、d線のサジタル像面、倍率色収差はg線によって表わしている。FnoはFナンバー、 θ は半画角である。

【0144】

これらは、以下の収差図でも同じである。

【0145】

図3は数値実施例2の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにTiO₂微粒子をUV硬化樹脂1に体積比20%で分散させた混合体より成る屈折光学素子

10

20

30

40

50

を用いた例である。図3中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。図4は数値実施例2の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0146】

数値実施例2の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にTiO₂微粒子分散材料より成る屈折光学素子GNL1を導入している。そして、TiO₂微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0147】

図5は数値実施例3の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにTiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に体積比20%で分散させた混合体より成る屈折光学素子を用いた例である。

【0148】

図5中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。図6は数値実施例3の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0149】

数値実施例3の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にTiO₂微粒子分散材料より成る屈折光学素子GNL1を導入している。

【0150】

そして、TiO₂微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0151】

図7は数値実施例4の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにTiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に体積比3%で分散させた混合体より成る屈折光学素子を用いた例である。

【0152】

図7中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。

【0153】

図8は数値実施例4の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0154】

数値実施例4の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にTiO₂微粒子分散材料より成る屈折光学素子を導入している。そして、TiO₂微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0155】

図9は数値実施例5の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにN-ポリビニルカルバゾールより成る屈折光学素子を用いた例である。図9中、N-ポリビニルカルバゾールで形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。

【0156】

図10は数値実施例5の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0157】

数値実施例5の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にN-ポリビニルカルバゾールより成る屈折光学素子を導入している。そして、N-ポリビニルカルバゾールで形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0158】

図11は数値実施例6の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズに

10

20

30

40

50

TiO₂微粒子をN-ポリビニルカルバゾールに体積比20%で分散させた混合体より成る屈折光学素子を用いた例である。

【0159】

図11中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。

【0160】

図12は数値実施例6の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0161】

数値実施例6の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にTiO₂微粒子分散材料より成る屈折光学系を導入している。

10

【0162】

そして、TiO₂微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0163】

図13は数値実施例7の光学系の断面図であり、焦点距離300mmの超望遠レンズにTiO₂より成る屈折光学素子を用いた例である。図13中、TiO₂で形成したレンズ(層)(屈折光学素子)をGNL1で示している。

【0164】

図14は数値実施例7の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0165】

数値実施例7の光学系では、近軸軸上光線の光軸からの通過位置が比較的高くなる開口絞りSPよりも物体側にTiO₂より成る屈折光学素子を導入している。

20

【0166】

そして、TiO₂で形成されたレンズ(層)GNL1に正の屈折力を与え、色収差を補正することにより、コンパクトな超望遠レンズを得ている。

【0167】

以上のように各実施例によれば、色収差を始めとする諸収差を良好に補正すると共に、製造が容易で、耐環境性に優れた光学系が得られる。

【0168】

以下、数値実施例1~7の具体的な数値データを示す。

30

【0169】

各数値実施例において、iは物体側から数えた順序を示し、R_iは第i番目の光学面(第i面)の曲率半径、D_iは第i面と第(i+1)面との間の軸上間隔、N_i, iはそれぞれd線に対する第i番目(樹脂やTiO₂微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)(屈折光学素子)は除く)の光学部材の材料の屈折率、アッベ数を示す。樹脂やTiO₂微粒子分散材料で形成された屈折光学素子GNL1のd線に対する屈折率、アッベ数は別途NGNL1, GNL1で示している。fは焦点距離、FnoはFナンバー、 θ は半画角である。

【0170】

また、非球面形状は、Xを光軸方向の面頂点からの変位置、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、B, C, D, E...を各次数の非球面係数とすると、

40

【0171】

【数1】

$$x(h) = \frac{(1/r)h^2}{1 + \sqrt{\{1 - (1+k)(h/r)^2\}}} + Bh^4 + Ch^6 + Dh^8 + Eh^{10} \dots$$

【0172】

で表す。なお、各非球面係数における「E_±X^X」は「×10^{±X}」を意味している。

50

【0173】

UV硬化樹脂1, UV硬化樹脂2, N-ポリビニルカルバゾール、TiO₂単体のd線、g線、C線及びF線に対する屈折率及びアッペ数、部分分散比を表1に示す。

【0174】

TiO₂微粒子をUV硬化樹脂1に体積比率20%で混合した混合体, TiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に体積比率20%及び3%で混合した混合体N-ポリビニルカルバゾール、TiO₂微粒子をN-ポリビニルカルバゾールに体積比20%で混合した混合体、TiO₂のd線、g線、C線及びF線に対する屈折率及びアッペ数、部分分散比を表2に示す。表2において、混合体の各数値は、前述のDrudeの式を用いて算出したものである。

10

【0175】

また、表3に各数値実施例の前述した条件式に対する数値を示す。表3中、gF(N)およびd(P)の値は、絞りSPより物体側に配置された負レンズおよび正レンズ(GNL以外)に基づいて算出している。

【0176】

【数2】

(数値実施例1)

f=294 Fno=4.14 2ω=8.42°

R1= ∞	D1= 3.30	N1= 1.58600	ν1= 58.6
R2= ∞	D2= 0.15		
R3= 150.401	D3= 8.04	N2= 1.60311	ν2= 60.6
R4= -313.692	D4= 0.15		
R5= 66.327	D5= 8.15	N3= 1.60311	ν3= 60.6
R6= 201.453	D6= 4.22	NGNL 1= 1.63555	νGNL 1= 22.7
*R7= -356.398 (非球面)	D7= 0.33		
R8= -330.180	D8= 3.40	N4= 1.84666	ν4= 23.8
R9= 95.662	D9= 0.15		
R10= 48.361	D10= 7.95	N5= 1.48749	ν5= 70.2
R11= 122.204	D11= 4.88		
R12= 48.049	D12= 3.00	N6= 1.77250	ν6= 49.6
R13= 33.156	D13= 11.77		
R14= ∞ (開口絞り)	D14= 4.00		
R15= 217.377	D15= 2.69	N7= 1.84666	ν7= 23.8
R16= -291.113	D16= 2.00	N8= 1.88300	ν8= 40.8
R17= 81.708	D17= 31.54		
R18= 51.063	D18= 1.60	N9= 1.84666	ν9= 23.8
R19= 21.417	D19= 6.71	N10= 1.59551	ν10= 39.2
R20= -114.152	D20= 0.15		
R21= 97.843	D21= 3.58	N11= 1.84666	ν11= 23.8
R22= -57.175	D22= 1.50	N12= 1.77250	ν12= 49.6
R23= 25.819	D23= 8.42		
R24= -34.289	D24= 1.50	N13= 1.77250	ν13= 49.6
R25= -117.034	D25= 0.44		
R26= 56.461	D26= 11.42	N14= 1.51633	ν14= 64.1
R27= -17.994	D27= 1.80	N15= 1.48749	ν15= 70.2
R28= -70.708			

20

30

40

非球面係数

	円錐定数(K)	4次の係数(B)	6次の係数(C)	8次の係数(D)	10次の係数(E)
	k	B	C	D	E
第7面	-1.440392E+01	4.995320E-09	-1.821980E-11	3.159500E-15	-2.187060E-19

50

【 0 1 7 7 】

【 数 3 】

(数值実施例2)

f=294 Fno=4.14 $2\omega=8.42^\circ$

R1= ∞	D1= 3.30	N1= 1.58600	ν 1= 58.6	
R2= ∞	D2= 0.15			
R3= 145.785	D3= 7.78	N2= 1.66196	ν 2= 56.7	
R4= -409.049	D4= 1.26	NGNL 1= 1.78927	ν GNL 1= 17.6	
R5= -225.467	D5= 0.15			10
R6= 79.549	D6= 6.24	N3= 1.63119	ν 3= 59.2	
R7= 189.549	D7= 5.19			
R8= -231.046	D8= 3.40	N4= 1.85000	ν 4= 23.0	
R9= 205.144	D9= 25.48			
R10= 83.098	D10= 6.53	N5= 1.60363	ν 5= 40.0	
R11= -503.582	D11= 0.15			
R12= 52.453	D12= 4.00	N6= 1.85000	ν 6= 23.0	
R13= 35.937	D13= 10.06			
R14= ∞ (開口絞り)	D14= 0.91			
R15= 54.529	D15= 4.69	N7= 1.65301	ν 7= 31.6	20
R16= 288.972	D16= 2.00	N8= 1.88500	ν 8= 41.0	
R17= 42.732	D17= 28.15			
R18= 123.421	D18= 2.40	N9= 1.85000	ν 9= 23.0	
R19= 32.856	D19= 7.01	N10= 1.61831	ν 10= 34.8	
R20= -57.494	D20= 0.15			
R21= 181.625	D21= 3.65	N11= 1.77638	ν 11= 25.2	
R22= -70.687	D22= 2.40	N12= 1.86287	ν 12= 42.5	
R23= 39.430	D23= 5.30			
R24= -29.062	D24= 2.40	N13= 1.53724	ν 13= 65.6	
R25= -69.241	D25= 3.31			30
R26= 68.420	D26= 6.07	N14= 1.61596	ν 14= 35.0	
R27= -47.670	D27= 2.40	N15= 1.88500	ν 15= 41.0	
R28= -112.533				

【 0 1 7 8 】

【数 4】

(数值実施例3)

f=294 Fno=4.14 2 ω=8.42°

R1= ∞	D1= 3.30	N1= 1.58600	ν1= 58.6	
R2= ∞	D2= 0.15			
R3= 131.852	D3= 8.56	N2= 1.71943	ν2= 53.0	
R4= -346.555	D4= 0.15			
R5= 72.296	D5= 6.28	N3= 1.60168	ν3= 61.3	
R6= 148.006	D6= 1.39	NGNL 1= 1.70877	νGNL 1= 21.6	10
R7= 244.534	D7= 2.79			
R8= -3838.833	D8= 3.40	N4= 1.86248	ν4= 27.4	
R9= 106.486	D9= 14.62			
R10= 50.572	D10= 6.71	N5= 1.54721	ν5= 51.1	
R11= 143.866	D11= 0.15			
R12= 51.210	D12= 4.00	N6= 1.85000	ν6= 23.0	
R13= 34.493	D13= 10.79			
R14= ∞ (開口絞り)	D14= 1.67			
R15= 74.863	D15= 9.03	N7= 1.64171	ν7= 32.5	
R16= -738.691	D16= 2.00	N8= 1.88500	ν8= 41.0	20
R17= 54.049	D17= 29.05			
R18= 179.692	D18= 2.40	N9= 1.85000	ν9= 23.0	
R19= 32.167	D19= 6.33	N10= 1.56211	ν10= 42.8	
R20= -46.491	D20= 0.15			
R21= 390.958	D21= 4.60	N11= 1.85000	ν11= 23.0	
R22= -30.396	D22= 2.40	N12= 1.81818	ν12= 46.0	
R23= 37.035	D23= 4.93			
R24= -24.978	D24= 2.40	N13= 1.78000	ν13= 50.0	
R25= -38.861	D25= 7.69			
R26= 73.090	D26= 7.16	N14= 1.64039	ν14= 32.7	30
R27= -32.869	D27= 2.40	N15= 1.85000	ν15= 23.0	
R28= -73.397				

【 0 1 7 9 】

【数 5】

(数值实施例 4)

f=294 Fno=4.14 2 ω=8.42°

R1= ∞	D1= 3.30	N1= 1.58600	ν1= 58.6
R2= ∞	D2= 0.15		
R3= 104.309	D3= 8.88	N2= 1.61272	ν2= 58.7
R4= -721.610	D4= 0.15		
R5= 60.746	D5= 6.00	N3= 1.84666	ν3= 23.8
R6= 48.097	D6= 7.46	NGNL 1= 1.55324	νGNL 1= 39.8
*R7= 164.031 (非球面)	D7= 2.21		
R8= 286.464	D8= 3.40	N4= 1.84666	ν4= 23.8
R9= 80.019	D9= 0.15		
R10= 51.661	D10= 8.52	N5= 1.51823	ν5= 58.9
R11= 331.095	D11= 0.29		
R12= 55.060	D12= 3.00	N6= 1.83481	ν6= 42.7
R13= 37.150	D13= 11.04		
R14= ∞ (開口絞り)	D14= 4.00		
R15= 183.593	D15= 2.81	N7= 1.80518	ν7= 25.4
R16= -336.000	D16= 2.00	N8= 1.88300	ν8= 40.8
R17= 81.708	D17= 28.52		
R18= 68.535	D18= 1.60	N9= 1.84666	ν9= 23.8
R19= 23.666	D19= 6.15	N10= 1.59551	ν10= 39.2
R20= -107.111	D20= 0.15		
R21= 96.934	D21= 3.18	N11= 1.84666	ν11= 23.8
R22= -78.448	D22= 1.50	N12= 1.74320	ν12= 49.3
R23= 27.505	D23= 8.82		
R24= -40.095	D24= 1.50	N13= 1.77250	ν13= 49.6
R25= -169.763	D25= 1.10		
R26= 57.673	D26= 10.27	N14= 1.51742	ν14= 52.4
R27= -19.730	D27= 1.80	N15= 1.48749	ν15= 70.2
R28= -85.147			

10

20

30

非球面係数

円錐定数(K) 4 次係数(B) 6 次係数(C) 8 次係数(D) 10 次係数(E)

k B C D E

第 7 面 8.079791E+00 1.593000E-07 -3.063530E-11 1.504290E-15 -1.865300E-18

【 0 1 8 0 】

【数 6】

(数值実施例5)

f=294 Fno=4.14 $2\omega=8.42^\circ$

R1= ∞	D1= 3.30	N1= 1.58600	ν 1= 58.6	
R2= ∞	D2= 0.15			
R3= 112.548	D3= 9.52	N2= 1.55843	ν 2= 64.0	
R4= -335.760	D4= 0.15			
R5= 61.421	D5= 5.87	N3= 1.62227	ν 3= 60.1	10
R6= 95.489	D6= 4.57	NGNL 1= 1.69590	ν GNL 1= 17.7	
R7= 499.700	D7= 0.92			
R8= 1587.380	D8= 3.40	N4= 1.85000	ν 4= 23.0	
R9= 45.822	D9= 4.14			
R10= 44.645	D10= 8.35	N5= 1.71180	ν 5= 51.0	
R11= 118.575	D11= 4.51			
R12= 34.739	D12= 4.81	N6= 1.62000	ν 6= 60.3	
R13= 28.293	D13= 21.32			
R14= ∞ (開口絞り)	D14= 2.63			
R15= 93.808	D15= 4.14	N7= 1.71860	ν 7= 27.5	20
R16= -126.099	D16= 2.00	N8= 1.88500	ν 8= 41.0	
R17= 51.473	D17= 20.82			
R18= 87.907	D18= 2.40	N9= 1.85000	ν 9= 23.0	
R19= 31.110	D19= 7.22	N10= 1.59105	ν 10= 38.1	
R20= -47.939	D20= 0.15			
R21= 175.369	D21= 4.58	N11= 1.84876	ν 11= 23.0	
R22= -38.666	D22= 2.40	N12= 1.88500	ν 12= 41.0	
R23= 31.994	D23= 5.72			
R24= -24.511	D24= 2.40	N13= 1.78000	ν 13= 50.0	30
R25= -39.090	D25= 3.79			
R26= 60.515	D26= 7.83	N14= 1.61268	ν 14= 35.4	
R27= -29.650	D27= 2.40	N15= 1.85000	ν 15= 23.0	
R28= -66.516				

【 0 1 8 1 】

【数 7】

(数值実施例6)

f=294 Fno=4.14 $2\omega=8.42^\circ$

R1=	∞	D1=	3.30	N1=	1.58600	$\nu 1=$	58.6	
R2=	∞	D2=	0.15					
R3=	167.935	D3=	8.12	N2=	1.67492	$\nu 2=$	55.7	
R4=	-257.202	D4=	0.15					
R5=	76.629	D5=	7.34	N3=	1.59921	$\nu 3=$	61.4	
R6=	250.526	D6=	1.34	NGNL 1=	1.83367	ν GNL 1=	15.8	10
R7=	691.736	D7=	2.85					
R8=	-732.714	D8=	3.40	N4=	1.85000	$\nu 4=$	23.0	
R9=	87.038	D9=	0.15					
R10=	49.183	D10=	7.33	N5=	1.56882	$\nu 5=$	53.2	
R11=	105.146	D11=	11.35					
R12=	38.634	D12=	4.00	N6=	1.88500	$\nu 6=$	41.0	
R13=	30.164	D13=	11.32					
R14=	∞	(開口絞り)	D14=	2.11				
R15=	83.916		D15=	7.13	N7=	1.68280	$\nu 7=$	29.5
R16=	-402.283		D16=	2.00	N8=	1.88500	$\nu 8=$	41.0
R17=	55.756		D17=	28.31				20
R18=	134.939		D18=	2.40	N9=	1.85000	$\nu 9=$	23.0
R19=	32.512		D19=	6.41	N10=	1.61512	$\nu 10=$	35.1
R20=	-50.894		D20=	0.15				
R21=	198.241		D21=	4.25	N11=	1.83376	$\nu 11=$	23.4
R22=	-40.043		D22=	2.40	N12=	1.88500	$\nu 12=$	41.0
R23=	37.448		D23=	4.99				
R24=	-25.819		D24=	2.40	N13=	1.78000	$\nu 13=$	50.0
R25=	-42.926		D25=	6.52				
R26=	74.918		D26=	7.23	N14=	1.63510	$\nu 14=$	33.1
R27=	-31.363		D27=	2.40	N15=	1.85000	$\nu 15=$	23.0
R28=	-68.516							30

【 0 1 8 2 】

【数 8】

(数値実施例7)

f=294 Fno=4.14 2 ω =8.42°

R1=	∞	D1=	3.30	N1=	1.58600	ν 1=	58.6	
R2=	∞	D2=	0.15					
R3=	141.718	D3=	8.48	N2=	1.69210	ν 2=	54.6	
R4=	-300.981	D4=	0.15					
R5=	69.712	D5=	7.54	N3=	1.57006	ν 3=	63.2	
R6=	201.290	D6=	0.39	NGNL 1=	2.30377	ν GNL 1=	13.8	10
R7=	237.036	D7=	2.83					
R8=	-2755.213	D8=	3.40	N4=	1.86309	ν 4=	27.7	
R9=	104.369	D9=	14.07					
R10=	49.329	D10=	7.09	N5=	1.55090	ν 5=	45.1	
R11=	144.149	D11=	0.15					
R12=	49.353	D12=	4.00	N6=	1.85000	ν 6=	23.0	
R13=	33.679	D13=	11.16					
R14=	∞	(開口絞り)	D14=	1.61				
R15=	74.687		D15=	8.61	N7=	1.65355	ν 7=	31.6
R16=	-606.849		D16=	2.00	N8=	1.88500	ν 8=	41.0
R17=	53.605		D17=	28.29				20
R18=	139.465		D18=	2.40	N9=	1.85000	ν 9=	23.0
R19=	32.762		D19=	6.41	N10=	1.57141	ν 10=	41.1
R20=	-51.644		D20=	0.15				
R21=	740.343		D21=	4.31	N11=	1.84492	ν 11=	26.4
R22=	-34.934		D22=	2.40	N12=	1.78000	ν 12=	50.0
R23=	38.787		D23=	4.84				
R24=	-27.519		D24=	2.40	N13=	1.62000	ν 13=	60.3
R25=	-44.237		D25=	9.68				
R26=	63.437		D26=	6.30	N14=	1.56293	ν 14=	42.6
R27=	-43.809		D27=	2.40	N15=	1.88500	ν 15=	41.0
R28=	-100.524							30

【0183】

【表 1】

(表 1)

	UV硬化樹脂 1	UV硬化樹脂 2	N-ポリビニル カルバゾール	TiO ₂
d 線屈折率	1.63555	1.52415	1.69591	2.30377
g 線屈折率	1.67532	1.53706	1.75164	2.45676
C 線屈折率	1.62807	1.52116	1.68528	2.28032
F 線屈折率	1.65604	1.53133	1.72465	2.37452
ν d	22.7	51.6	17.7	13.8
θ gd	1.422	1.269	1.415	1.624
θ gF	0.689	0.563	0.686	0.873

【0184】

40

50

【表 2】

(表 2)

数值実施例 1 数值実施例 2 数值実施例 3 数值実施例 4

	UV硬化樹脂 1	TiO ₂ 20%— UV硬化樹脂 1	TiO ₂ 20%— UV硬化樹脂 2	TiO ₂ 3%— UV硬化樹脂 2
d 線屈折率	1.63555	1.78927	1.70877	1.55324
g 線屈折率	1.67532	1.85809	1.75988	1.57249
C 線屈折率	1.62807	1.77777	1.70033	1.54936
F 線屈折率	1.65604	1.82254	1.73310	1.56326
ν d	22.7	17.6	21.6	39.8
θ gd	1.422	1.537	1.559	1.385
θ gF	0.689	0.794	0.817	0.665

10

数值実施例 5 数值実施例 6 数值実施例 7

	N-ポリビニル カルバゾール	TiO ₂ 20%— N-ポリビニル カルバゾール	TiO ₂
d 線屈折率	1.69591	1.83367	2.30377
g 線屈折率	1.75164	1.91351	2.45676
C 線屈折率	1.68528	1.81991	2.28032
F 線屈折率	1.72465	1.87272	2.37452
ν d	17.7	15.8	13.8
θ gd	1.415	1.512	1.624
θ gF	0.686	0.773	0.873

20

30

【 0 1 8 5 】

【表 3】

(表 3)

数値実施例		1	2	3	4
条件式					
(2)	$\theta_g F(GNL)$	0.689	0.794	0.817	0.665
(6)	$\nu d(GNL)$	22.7	17.6	21.6	39.8
(8)	$\theta_g d(GNL)$	1.422	1.537	1.559	1.385
	$\psi(GNL)$	0.0049235	0.0015758	0.0019016	0.0083160
	ψ	0.0034014	0.0034018	0.0034023	0.0034014
(3)	$\psi(GNL)/\psi$	1.4474922	0.4632254	0.5589160	2.4448756
(4)	$\theta_g F(N)$	0.586256	0.608495	0.604576	0.601513
(5)	$\nu d(P)$	63.80	51.97	55.13	55.80

10

数値実施例		5	6	7
条件式				
(2)	$\theta_g F(GNL)$	0.686	0.773	0.873
(6)	$\nu d(GNL)$	17.7	15.8	13.8
(8)	$\theta_g d(GNL)$	1.415	1.512	0.624
	$\psi(GNL)$	0.0059225	0.0021254	0.0009828
		0.0034016	0.0034014	0.0034013
(3)	$\psi(GNL)/\psi$	1.7410924	0.6248604	0.2889483
(4)	$\theta_g F(N)$	0.575272	0.592463	0.604309
(5)	$\nu d(P)$	58.37	56.77	54.30

20

【0186】

次に実施例 1 ~ 7 に示した光学系を撮像装置に適用した実施例を図 16 を用いて説明する。

【0187】

図 16 は一眼レフカメラの要部概略図である。図 16 において、10 は実施例 1 ~ 7 の光学系 1 を有する撮影レンズである。

30

【0188】

光学系 1 は保持部材である鏡筒 2 に保持されている。20 はカメラ本体であり、撮影レンズ 10 からの光束を上方に反射するクイックリターンミラー 3、撮影レンズ 10 の像形成位置に配置された焦点板 4、焦点板 4 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 5、その正立像を観察するための接眼レンズ 6 等によって構成されている。

【0189】

7 は感光面であり、CCD センサや CMOS センサ等の固体撮像素子（光電変換素子）や銀塩フィルムが配置される。

【0190】

撮影時にはクイックリターンミラー 3 が光路から退避して、感光面 7 上に撮影レンズ 10 によって像が形成される。

40

【0191】

実施例 1 ~ 7 にて説明した利益は、本実施例に開示したような光学機器において効果的に享受される。

【図面の簡単な説明】

【0192】

【図 1】数値実施例 1 の光学系の光学系断面図である。

【図 2】数値実施例 1 の収差図である。

【図 3】数値実施例 2 の光学系の光学系断面図である。

50

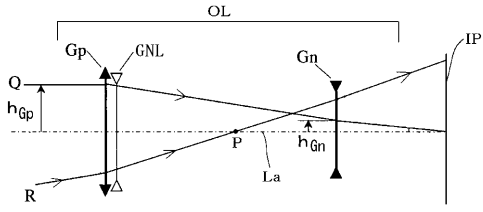
- 【図 4】数値実施例 2 の収差図である。
- 【図 5】数値実施例 3 の光学系の光学系断面図である。
- 【図 6】数値実施例 3 の収差図である。
- 【図 7】数値実施例 4 の光学系の光学系断面図である。
- 【図 8】数値実施例 4 の収差図である。
- 【図 9】数値実施例 5 の光学系の光学系断面図である。
- 【図 10】数値実施例 5 の収差図である。
- 【図 11】数値実施例 6 の光学系の光学系断面図である。
- 【図 12】数値実施例 6 の収差図である。
- 【図 13】数値実施例 7 の光学系の光学系断面図である。 10
- 【図 14】数値実施例 7 の収差図である。
- 【図 15】本発明の光学系の光学作用を説明する為の近軸配置概略図である。
- 【図 16】本発明の撮像装置の要部概略図である。

【符号の説明】

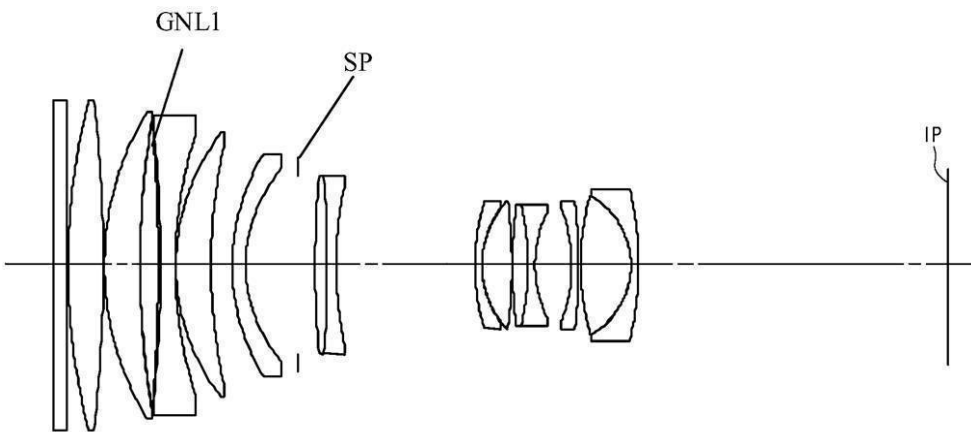
【 0 1 9 3 】

OL	光学系	
GNL1	屈折光学素子	
SP	開口絞り	
IP	像面	
GP	前群	20
Gn	後群	
Q	近軸軸上光線	
R	瞳近軸光線	
1	光学系	
10	撮影レンズ	
20	カメラ本体	
d	d 線	
g	g 線	
M	メリディオナル像面	
S	サジタル像面	30

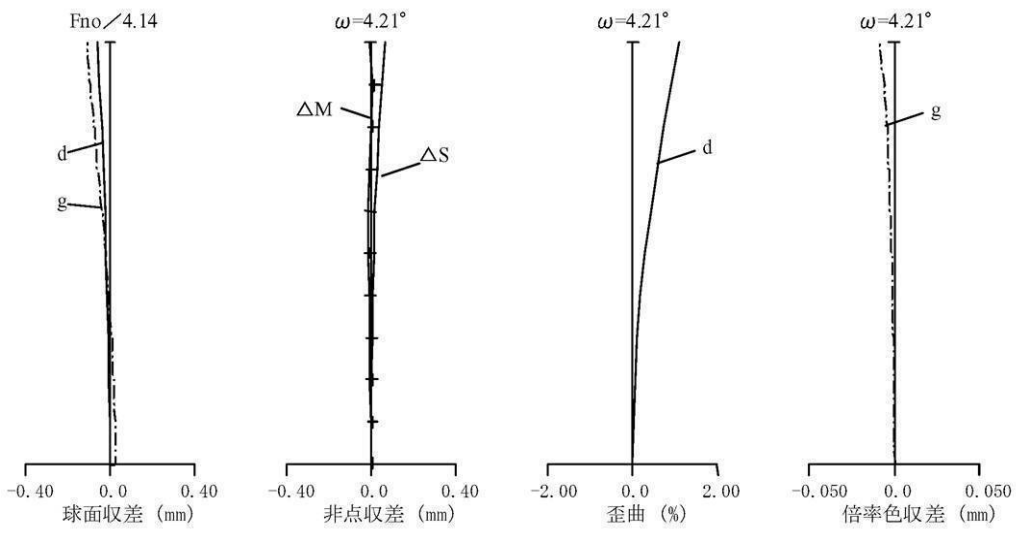
【 図 15 】



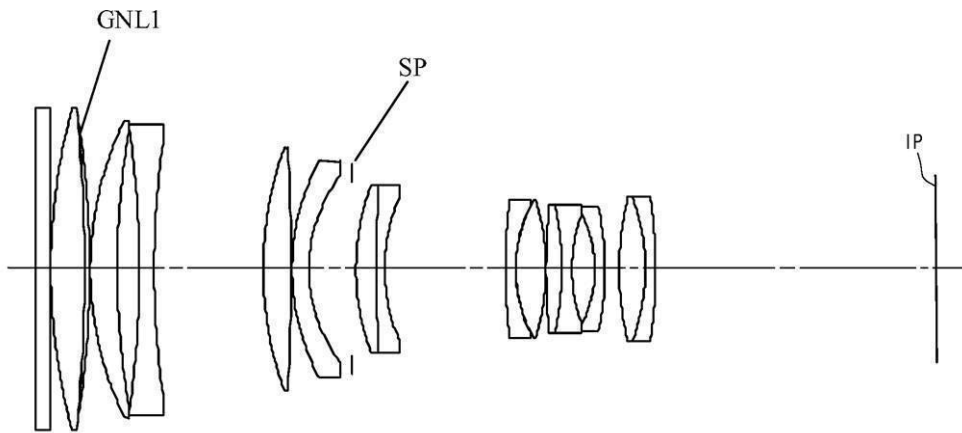
【 図 1 】



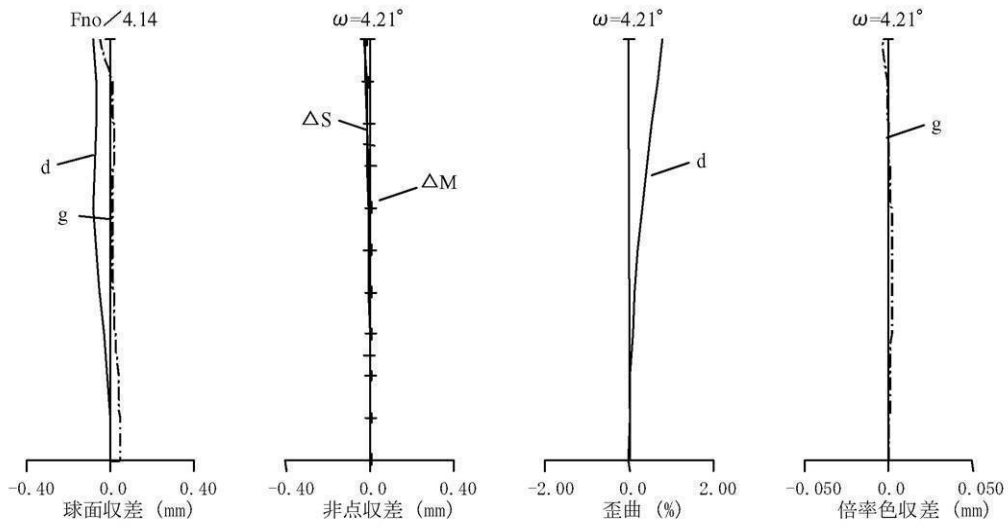
【 图 2 】



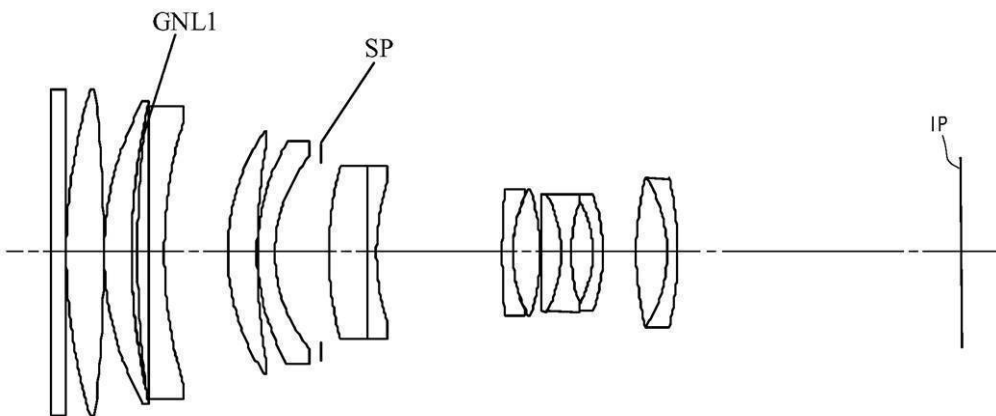
【 图 3 】



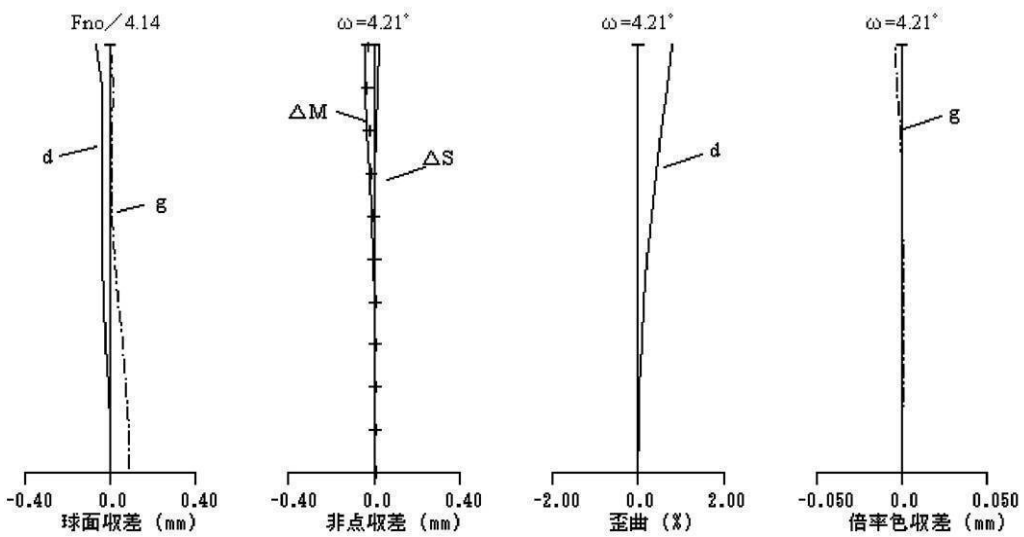
【 图 4 】



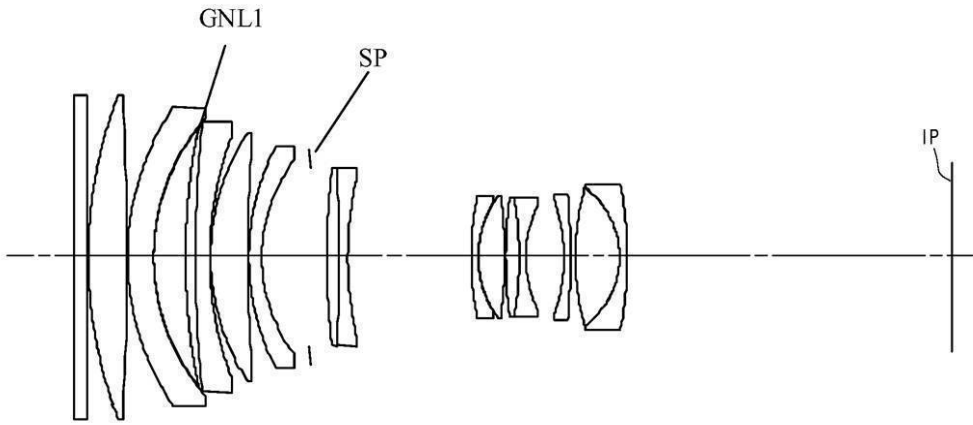
【 图 5 】



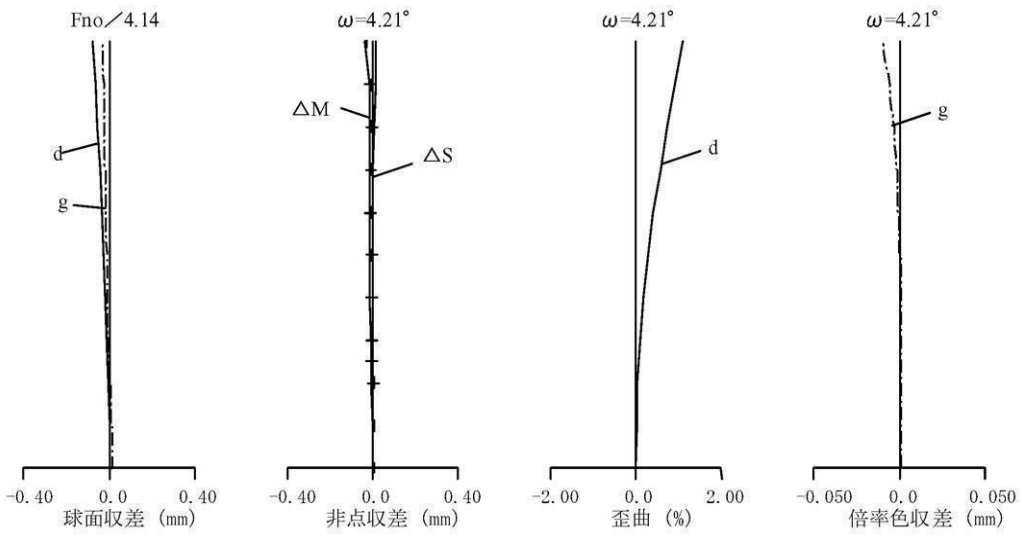
【 图 6 】



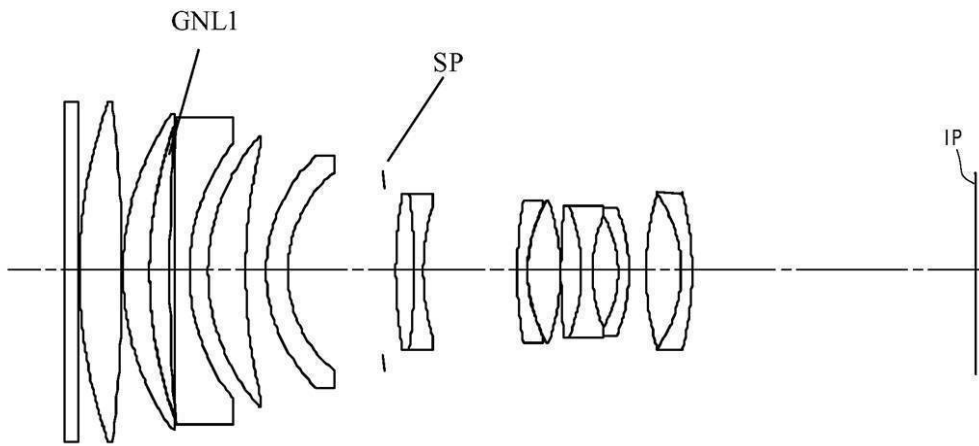
【 图 7 】



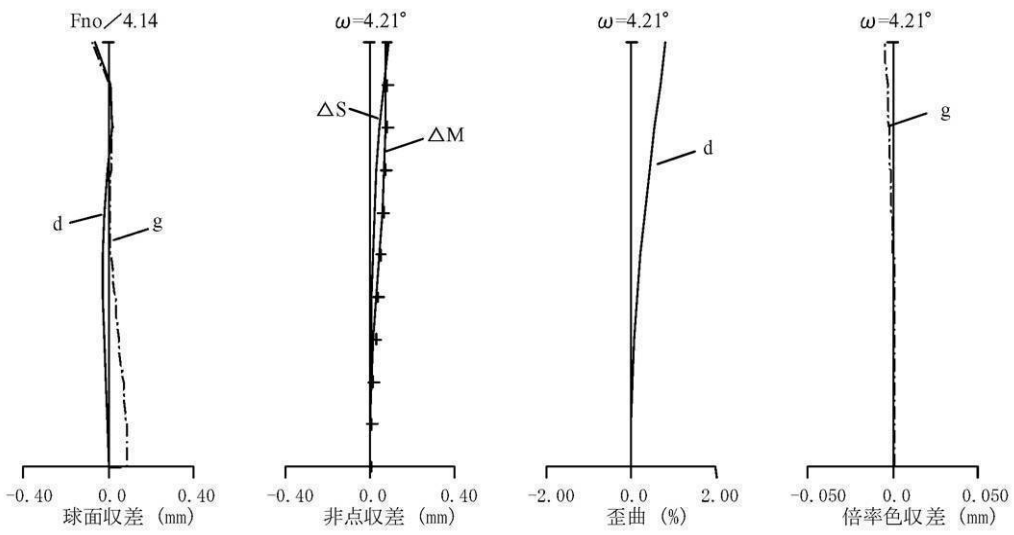
【 图 8 】



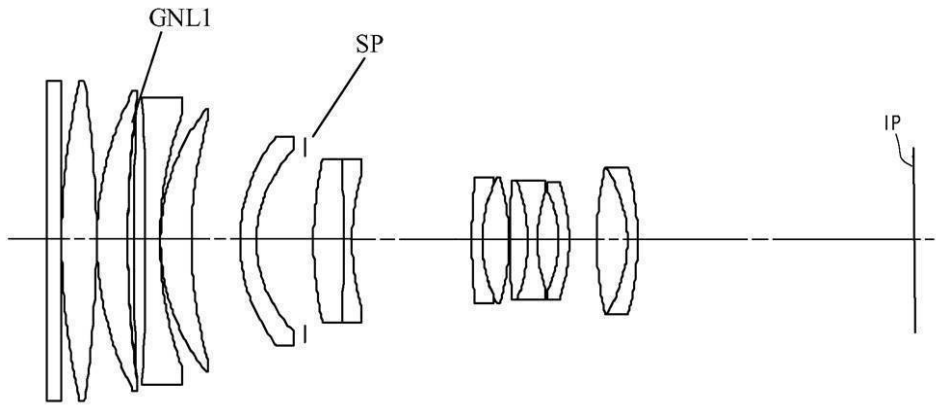
【 图 9 】



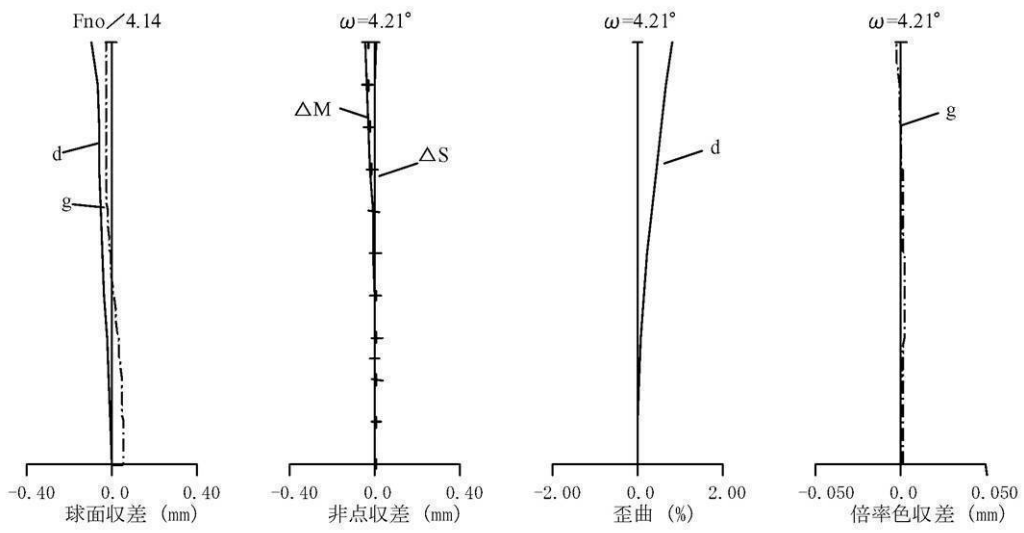
【 图 10 】



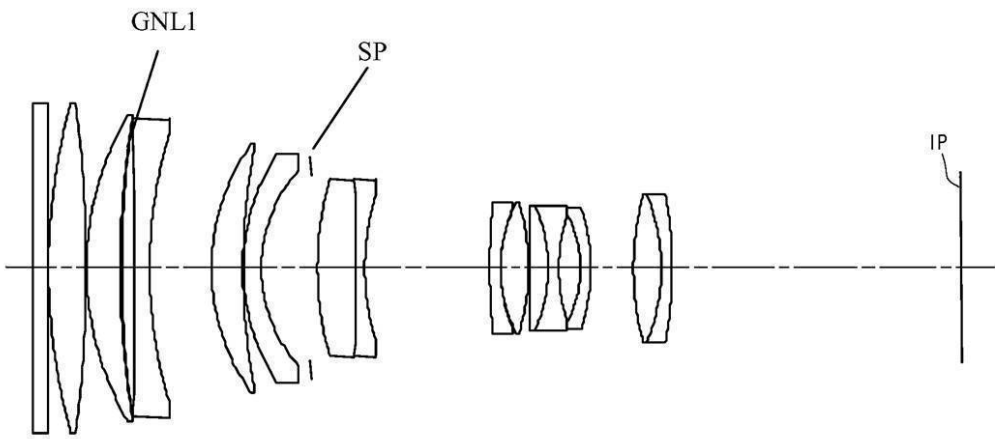
【 図 1 1 】



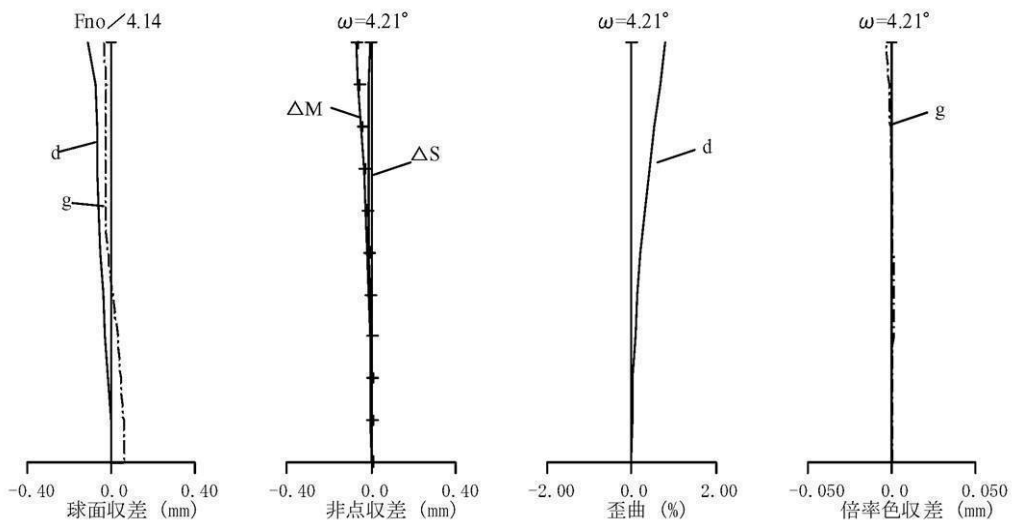
【 図 1 2 】



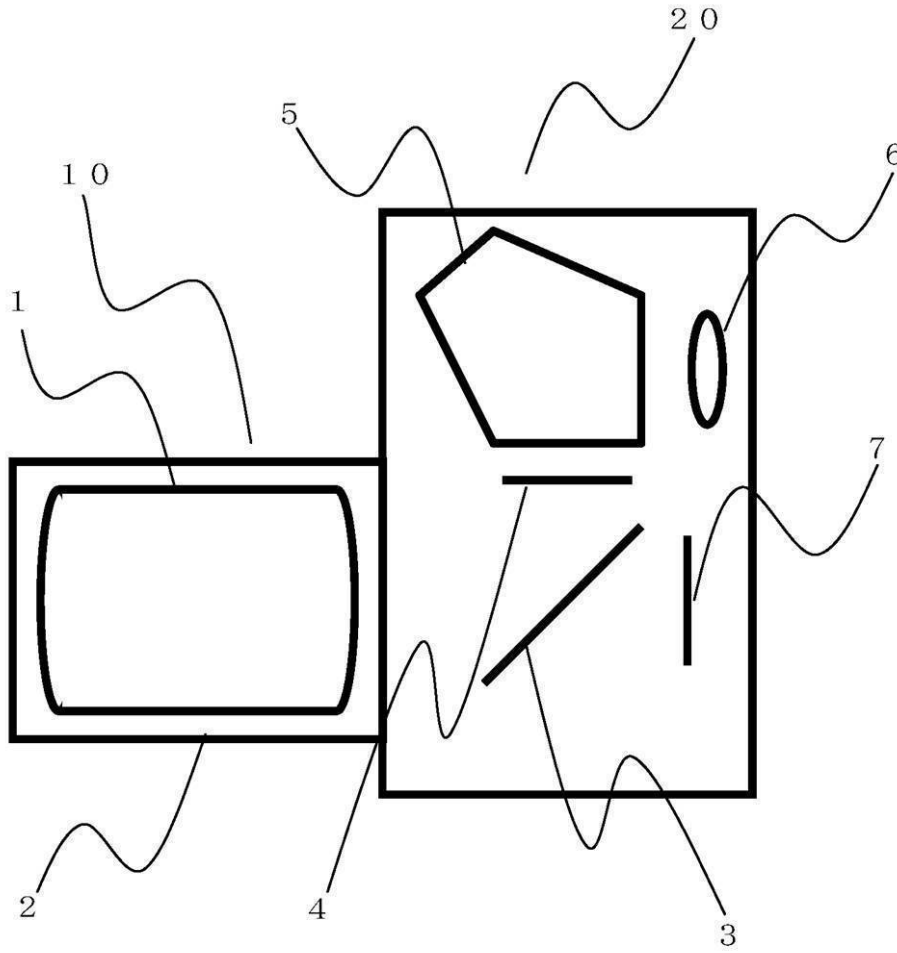
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 16 】



フロントページの続き

【要約の続き】

【選択図】図1