

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4745707号
(P4745707)

(45) 発行日 平成23年8月10日(2011.8.10)

(24) 登録日 平成23年5月20日(2011.5.20)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 13/04 (2006.01) G O 2 B 13/04 D
G O 2 B 13/18 (2006.01) G O 2 B 13/18
G O 2 B 15/20 (2006.01) G O 2 B 15/20

請求項の数 8 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2005-125149 (P2005-125149)
 (22) 出願日 平成17年4月22日(2005.4.22)
 (65) 公開番号 特開2006-301416 (P2006-301416A)
 (43) 公開日 平成18年11月2日(2006.11.2)
 審査請求日 平成20年4月17日(2008.4.17)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100086818
 弁理士 高梨 幸雄
 (72) 発明者 横山 貴嘉
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

審査官 森内 正明

(56) 参考文献 特開2003-233000 (JP, A)
)
 特開2001-74901 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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光学系において、g線、d線、F線、C線に対する材料の屈折率をそれぞれNg, Nd, NF, NCとし、

$$d = (Nd - 1) / (NF - NC)$$

$$gF = (Ng - NF) / (NF - NC)$$

とするとき、

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d + 0.693 < gF$$

$$0.555 < gF < 0.9$$

$$d < 6.0$$

なる条件を満足する固体材料から形成される少なくとも1つの屈折光学素子を有し、該屈折光学素子が、前記交点より前方に配置されている場合は負の屈折力を有し、前記交点より後方に配置されている場合は正の屈折力を有することを特徴とする光学系。

【請求項2】

前記交点より前方に配置された前記屈折光学素子の屈折力をGIT1、光学系全体の屈折力をとるとき、

$$0 < |GIT1| < 0.5$$

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】

前記交点より後方に配置された前記屈折光学素子の屈折力を $GIT2$ 、光学系全体の屈折力を G とするとき、

$$0 < |GIT2 / G| < 1.0$$

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 4】

前記固体材料は、

$$gd = (Ng - Nd) / (NF - NC)$$

とするとき、

$$-2.407 \times 10^{-3} \cdot d + 1.420 < gd$$

$$1.255 < gd < 1.67$$

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

【請求項 5】

前記固体材料の $0 \sim 40$ °C 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、

$$|dn/dT| < 2.5 \times 10^{-4} (1/°C)$$

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

【請求項 6】

前記固体材料は樹脂からなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 7】

光電変換素子に像を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項の光学系を備えることを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系に関し、例えば、銀塩フィルム用カメラ、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ等の撮影光学系、望遠端、双眼鏡等の観察光学系、プロジェクター等の投影光学系、複写機等の読み取り光学系に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

従来、広角化（広画角化）に有利なレンズ系として、レトロフォーカス型（ネガティブリード型）レンズが知られている。このレトロフォーカス型レンズは、光学系の前方（カメラ等の撮影光学系では被写体側、プロジェクター等の投影光学系ではスクリーン側）に全体として負の屈折力のレンズ群を配置し、後方（カメラ等の撮影光学系では像側、プロジェクター等の投影光学系では原画側）に正の屈折力のレンズ群を配置することで、短い焦点距離と長いバックフォーカスを実現している。レトロフォーカス型レンズの収差補正の問題点としては、負の屈折力のレンズ群が先行する非対称な屈折力配置のため、負の歪曲収差（樽型の歪曲収差）が発生し易いということが挙げられる。負の歪曲収差を補正するには、負の屈折力のレンズ群内の負レンズの材料を高屈折率材料にすればよいが、一般的に高屈折率材料は高分散であるため、負の倍率色収差が発生し易い。

【0003】

レトロフォーカス型レンズにおいて、負の倍率色収差を補正する方法として、瞳近軸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レンズを用いる方法が知られている。従来は、このような方法により色収差の低減を行うのが一般的で、このようなレトロフォーカス型の光学系が種々提案されている。（特許文献 1、2）

また、異常部分分散材料を用いず、回折光学素子を用いて光学系の色収差の補正を行っ

10

20

30

40

50

たものも知られている（特許文献3、4）。特許文献3や特許文献4には、回折光学素子と屈折光学素子とを適切に組み合わせることで、色収差が比較的良好に補正されたレトロフォーカス型の光学系が開示されている。

【0004】

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、大きく色収差を変化できる特徴がある。また、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。

【0005】

したがって、全長短縮に際しては、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い。そして、色収差に関しては回折光学素子によって補正を行うため、全長短縮によって悪化した色収差の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、構成レンズの硝材とパワーを最適化して設計を行いさえすればよい。その結果として、全長が短縮された良好な性能の光学系が得られる。

【0006】

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、かつ異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5、6）

【特許文献1】特開平06-082689号公報

【特許文献2】特開2002-287031号公報

【特許文献3】特開2000-147373号公報

【特許文献4】特開2002-156582号公報

【特許文献5】米国特許第5731907号明細書

【特許文献6】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】

【0007】

一般に、光学系の光学全長（レンズ全長）を長めに設定した場合は、比較的良好に色収差を補正することができるが、光学全長を短縮しようとするとき色収差が多く発生する。

【0008】

これは、色収差補正の手法が、例えば蛍石等の材料が持つ低分散と異常部分分散を利用して前玉レンズ自らで発生する色収差を低減しているためである。レンズ全長を短縮しようとするときに生ずる色収差を補正するとき、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光学系では、レンズ面のパワーを大きく変化させないと色収差が変化しない。このため色収差の補正と、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。

【0009】

一方、回折光学素子は十分な色収差の補正作用がある。しかしながら、回折光学素子を用いた光学系は、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色の付いたフレア光となって結像性能を悪化させる場合がある。複数のブレード型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により、設計回折次数へエネルギーを集中させ、不要回折光を大幅に減らしたものもあるが、依然として高輝度な被写体を撮影すると回折フレアが現れてくる場合がある。

【0010】

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製造敏感度が極めて高く、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。

【0011】

特許文献5及び特許文献6に開示された材料は、液体であるために、温度変化により屈

10

20

30

40

50

折率、分散特性などの特性が大きく変化し、耐環境性が十分でない。

【0012】

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容易な光学系の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

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光学系において、g線、d線、F線、C線に対する材料の屈折率をそれぞれ N_g 、 N_d 、 N_F 、 N_C とし、

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

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

とするとき、

$$- 2.100 \times 10^{-3} \cdot d + 0.693 < g F$$

$$0.555 < g F < 0.9$$

$$d < 60$$

なる条件を満足する固体材料から形成される少なくとも1つの屈折光学素子を有し、該屈折光学素子が、前記交点より前方に配置されている場合は負の屈折力を有し、前記交点より後方に配置されている場合は正の屈折力を有することを特徴としている。

【0015】

なお、本発明において、アッペ数 d 、部分分散比 $g F$ の定義は一般に用いられるものと同じであり、g線、F線、d線、C線に対する屈折率をそれぞれ N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C とするとき、それぞれ次式で表される。

【0016】

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

$$g d = (N_g - N_d) / (N_F - N_C)$$

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

ここで、レトロフォーカス型の光学系とは、

・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光学系

・光学系の光学全長を $O T L$ 、光学系の焦点距離を f とするとき、

$$2 < O T L / f < 1.5$$

なる条件を満足する光学系（但し、光学系がズームレンズの場合、 $O T L$ 、 f は各々広角端の数値）

である。

【0017】

瞳位置は、

- ・開口絞りの位置
- ・光軸と瞳近軸光線との交点

に相当する。

【0018】

また、本発明における固体材料とは、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を言及したものではない。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は、本発明でいう固体材料に該当する。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、色収差を始めとする諸収差を良好に補正することが容易な光学系が得られる。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の光学系について説明する。

【0021】

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光学機器に用いられるものである。

【0022】

本発明の光学系は、レトロフォーカス型の光学系であって、パワー（屈折力、焦点距離の逆数）を有する屈折光学素子に部分分散比の大きい（高い）固体材料を使用したことを特徴としている。

10

【0023】

尚、ここで屈折光学素子とは屈折作用でパワーが生じる、例えば屈折レンズやレンズ表面に設けられた層等を意味し、回折作用でパワーが生じる回折光学素子を含んでいない。

【0024】

また、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。

【0025】

具体的には、本発明の各実施例の光学系は、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P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。

20

【0026】

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、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。

【0027】

そしてフラウンホーファ線のg線、d線、F線、C線に対する材料の屈折率をそれぞれ N_g 、 N_d 、 N_F 、 N_C とし、

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

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

とおくとき、

$$-2.100 \times 10^{-3} \cdot d + 0.693 < g_F \dots (1)$$

$$0.555 < g_F < 0.9 \dots (2)$$

なる条件を満足する固体材料から形成される1つ以上の屈折光学素子を有している。

30

【0028】

条件式(1)、(2)を満足する屈折光学素子のうち、少なくとも1つの屈折光学素子が交点Pより前方に配置されている場合は、光軸より周辺に向かうに従って負の屈折力が大きくなる形状であり、交点Pより後方に配置されている場合は、光軸より周辺に向かうに従って正の屈折力が大きくなる形成である。

40

【0029】

又、別の観点では、少なくとも1つの屈折光学素子が、交点Pより前方に配置されている場合は、屈折光学素子の最大光線有効径の7割の位置における厚さが光軸上における厚さに比べ厚い形状であり、交点Pより後方に配置されている場合は、屈折光学素子の最大光線有効径の7割の位置における厚さが光軸上における厚さに比べ薄い形状である。

【0030】

各実施例では、条件式(1)、(2)を満足する固体材料を、光学系中に適切なパワー

50

を有する、又は適切な形状を有する屈折光学素子として用いることによって、g線～C線の広い波長帯域にわたって色収差を良好に補正している。

【0031】

条件式(1)、(2)のいずれを外れても色収差を良好に補正するのが困難となる。

【0032】

次に部分分散比が大きい光学材料で形成した屈折光学素子を光学系中に用いたときの光学系の収差補正に及ぼす作用について説明する。

【0033】

光学材料の屈折率の波長依存特性(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。

10

【0034】

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形状(部分分散比が正の値)となり、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。そして、アッペ数の小さい高分散の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の形状が強まる傾向にある。

【0035】

部分分散比が大きな光学材料では、その光学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。

【0036】

20

各実施例では異常部分分散材料のうち一般の硝材と比べて部分分散比が高い光学材料を用いて光学系全体で全波長域に渡って色収差を良好に補正している。

【0037】

一般の硝材と比べて部分分散比の小さな光学材料と部分分散比の高い光学材料とをレンズに用いた場合の違いは、そのレンズ面における色収差係数の波長依存特性曲線の短波長側の曲がり少なくなるか大きくなるかということである。

【0038】

また、この短波長側の曲がり光学材料の分散特性の曲がりによるものである。ここで今、単純化のためにd線の屈折率とアッペ数の双方が等しく、部分分散比が異なる3つの光学材料について説明する。部分分散比が大きい材料、部分分散比が普通(一般の光学材料)、そして部分分散比が小さな材料を同じパワーのレンズとして使った際のこの短波長側と長波長側の色収差係数の差をそれぞれ $N_{高}$ 、 $N_{中}$ 、 $N_{低}$ とすると、これらの関係は以下の式で表される。

30

【0039】

$$N_{高} > N_{中} > N_{低} > 0 \quad \dots (a)$$

ここで、片方のレンズを異常部分分散の材料で構成した2枚のレンズの組み合わせから成る光学系について考える。

【0040】

まず部分分散比が普通(一般)の材料と部分分散比が小さな材料で構成される同じパワーのレンズが2枚並んでいる場合を考える。この光学系の短波長側と長波長側の色収差係数の差は、 $N_{中} + N_{低}$ となる。これは部分分散比の普通(一般)の材料を2枚用いた時と比べると、 $N_{中} - N_{低}$ だけ減っていることになる。

40

【0041】

つまり部分分散比が普通(一般)の材料を2枚用いたときに比べて色収差を減らすことができる。

【0042】

次に部分分散比が普通(一般)の材料と、部分分散比が大きな材料とで構成される同じパワーのレンズが2枚並んでいる場合を考える。この光学系の短波長側と長波長側の色収差係数の差は、 $N_{中} + N_{高}$ となる。これは部分分散比が普通(一般)の材料を2枚用いた時と比べると、 $N_{高} - N_{中}$ だけ増えていることになる。

50

【 0 0 4 3 】

したがって、色収差係数の波長依存特性曲線の短波長側での曲がりの少ない（部分分散比が小さい）材料を用いた場合に、短波長側の色収差を減らすことができるとすれば、色収差係数の波長依存特性曲線の短波長側での曲がりの大きい（部分分散比が大きい）材料を用いた場合は、逆に短波長側の色収差を増やしてしまうことになる。しかし、これは部分分散比が大きな材料と部分分散比が小さな材料を同じパワーで用いた場合である。

【 0 0 4 4 】

この状態で部分分散比が大きな材料を用いたレンズのパワーを正、負逆にする、つまり2枚並んでいるレンズのうち片方のレンズのパワーを正、負逆にして、そこに部分分散比が大きな材料を用いる。すると部分分散比の大きな材料を用いた場合は、部分分散比が普通
10
の材料を2枚用いたときと比べると逆に $N_{高} - N_{中}$ だけ短波長側の収差を減らすことができる。

【 0 0 4 5 】

部分分散比が普通の材料を組み合わせても、色収差係数の波長依存特性曲線の曲がり成分と傾き成分を同時に波長域全体で良好に補正することは困難である。そこで部分分散比が普通の硝材に比べて短波長側の曲がり成分を減らすことのできる部分分散比が小さな材料を適切に用いて色収差を補正することができる。しかし短波長側の色収差を減らすという観点では、部分分散比が大きな材料を部分分散比が小さな材料とは逆のパワーで用いて
20
やれば同様なことが可能である。なお、パワーの符号が異なるということは、部分分散比が大きな材料と部分分散比が小さな材料では短波長側以外でも逆の作用をする。したがって、それとバランスを取るための光学系の他の硝材の動かし方も逆になる。

【 0 0 4 6 】

このことを、部分分散比が大きな材料を用いた屈折光学系部分GITと部分分散比が
大きくない普通の材料を用いた屈折光学系部分Gから構成される光学系での色消し作用を例にとり説明する。

【 0 0 4 7 】

まず部分Gが部分系としてある程度、色収差が補正された状態から、部分Gを構成する1つの負レンズに比較的、部分分散比の大きな材料を選択する。ここで一般的に部分分散比の大きな材料は同時に分散が大きいので、部分Gの色収差係数の波長依存特性曲線は、
30
もとの状態よりも大きく曲がりながら全体の傾きが変化する。

【 0 0 4 8 】

この状態で、部分GITに適当なパワーを与えると同時に、部分Gを構成する正レンズも比較的分散の大きな材料を選択する。ところが、部分GITをアッペ数に対して一般的な部分分散比を持つ一般の光学材料で構成している場合、部分GITは、部分Gの収差係数の波長依存特性曲線の曲がり成分と傾き成分に同時に一定の割合で寄与するため、そのどちらの成分も同時にキャンセルすることができない結果となる。

【 0 0 4 9 】

これに対し、部分GITを一般の材料に比べて部分分散比の大きな材料で構成している場合は、部分GITは主に部分Gの色収差の波長依存特性曲線全体の曲がり成分に寄与するため、主に曲がり成分だけをキャンセルさせることができる。
40

【 0 0 5 0 】

その結果、部分GITでは主に部分Gの色収差の波長依存特性曲線全体の曲がり成分を、部分Gを構成する正レンズでは主に傾き成分を、それぞれ独立に同時にキャンセルさせることができる。

【 0 0 5 1 】

また部分GITのアッペ数の絶対値が小さい、すなわち分散が大きければ、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。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。

【 0 0 5 2 】

屈折レンズの面のパワー変化を P とすると、レンズ面での軸上色収差係数の変化 L
50

と倍率色収差係数の変化 T は、次のように表せる。

【0053】

$$\begin{array}{l} L \quad / \quad \dots (b) \\ T \quad / \quad \dots (c) \end{array}$$

式 (b) 及び式 (c) から明らかなとおり、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。したがって、アッペ数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。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。

10

【0054】

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なり変化し、色収差補正の独立性が弱まることになる。したがって、光学系を構成するレンズの内、少なくとも1つのレンズ面は、高分散材料で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。

【0055】

また屈折光学系部分 $G I T$ は一般の光学材料と組み合わせて使用するため、部分 $G I T$ 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。

【0056】

あまりに一般の光学材料とかけ離れた部分分散比を持つ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依存特性曲線の短波長側の曲がりが増大する。その大きな曲がりを打ち消すためには、他のレンズのパワーも強くしなければならず、結局、球面収差、コマ収差や非点収差などに大きな影響を及ぼし、収差補正上困難となる。

20

【0057】

つまり、部分 $G I T$ 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い光学材料であり、かつ一般の光学材料に比べて部分分散比がかけ離れすぎないことも重要である。上述の条件式 (1) , (2) は、上で説明した原理に基づいて色収差を良好に補正するためのアッペ数 d と部分分散比 $g F$ の関係を表したものである。

【0058】

本発明の光学系の各実施例において、条件式 (1) , (2) を満足する固体材料は、更に以下の条件式 (3) , (4) をも満足することが好ましい。

30

【0059】

即ち

$$g d = (N g - N d) / (N F - N C)$$

するとき、

$$- 2.407 \times 10^{-3} \cdot d + 1.420 < g d \quad \dots (3)$$

$$1.255 < g d < 1.67 \quad \dots (4)$$

なる条件を満足することである。

【0060】

条件式 (1) , (2) に加えて、条件式 (3) , (4) をも同時に満足することによって、 g 線と d 線間の色収差補正を行うことが容易になる。これにより、 g 線 ~ C 線の波長帯域で、より緻密な色収差の補正が容易となる。

40

【0061】

又、色収差の補正の観点から、更に、

$$d < 60 \quad \dots (5)$$

を満足することが好ましい。

【0062】

以上、本発明の屈折光学素子を形成する固体材料が満足すべき条件について述べた。

【0063】

50

次に、レトロフォーカス型の光学系において、色収差を補正するために必要な、屈折光学系部分 G I T の条件について図 1 を用いて説明する。

【 0 0 6 4 】

図 1 は、レトロフォーカス型光学系の色収差補正の作用を説明するための近軸屈折力配置を示した概略図である。図 1 において、G_n、G_p はそれぞれレトロフォーカス型光学系を構成する負の屈折力の前群と、正の屈折力の後群である。問題を簡単にするために、前群 G_n、後群 G_p を構成するレンズは全て薄肉単レンズとし、前群 G_n、後群 G_p 内においてそれぞれレンズ間隔 0 で光軸上に配置されているものとする。Q は近軸軸上光線、R は瞳近軸光線である。P は瞳近軸光線 R と光軸 L_a との交点であり、普通、開口絞りの中心と一致する。h_n、h_p は近軸軸上光線 Q のレンズ面への入射高である。H_n、H_p は、瞳近軸光線 R のレンズ面への入射高である。本発明におけるレトロフォーカス型の光学系とは、最も前方のレンズ面を通過する近軸軸上光線 Q の高さ h_n が、交点 P より後方で近軸軸上光線 Q がレンズ面を通過する光軸からの高さ h_p の最大値よりも小さい光学系をいう。

10

【 0 0 6 5 】

まず、部分 G I T を導入する前の光学系について考える。前群 G_n と後群 G_p について軸上色収差の収差係数 (L) 及び倍率色収差の収差係数 (T) の式を立てると、

【 0 0 6 6 】

【 数 2 】

$$L(\lambda) = h_{Gn}^2(\lambda_0) \sum_{i=1}^L \phi_{Gni}(\lambda_0) / \nu_{Gni}(\lambda) + h_{Gp}^2(\lambda_0) \sum_{j=1}^M \phi_{Gpj}(\lambda_0) / \nu_{Gpj}(\lambda) \dots (d)$$

20

$$T(\lambda) = h_{Gn}(\lambda_0) H_{Gn}(\lambda_0) \sum_{i=1}^L \phi_{Gni}(\lambda_0) / \nu_{Gni}(\lambda) + h_{Gp}(\lambda_0) H_{Gp}(\lambda_0) \sum_{j=1}^M \phi_{Gpj}(\lambda_0) / \nu_{Gpj}(\lambda) \dots (e)$$

【 0 0 6 7 】

となる。但し、

$$G_{ni}(\lambda) = \{ N_{Gnj}(\lambda_0) - 1 \} / \{ N_{Gnj}(\lambda) - N_{Gnj}(\lambda_0) \}$$

$$G_{pi}(\lambda) = \{ N_{Gpi}(\lambda_0) - 1 \} / \{ N_{Gpi}(\lambda) - N_{Gpi}(\lambda_0) \}$$

である。ここで、

- G_{ni} : 前群 G_n を構成する、各薄肉単レンズの屈折力 (光学的パワー)
- G_{pi} : 後群 G_p を構成する、各薄肉単レンズの屈折力 (光学的パワー)
- G_{ni} : 前群 G_n を構成する、各薄肉単レンズのアッペ数
- G_{pi} : 後群 G_p を構成する、各薄肉単レンズのアッペ数
- h_{Gn} : 前群 G_n へ入射する近軸軸上光線の高さ
- h_{Gp} : 後群 G_p へ入射する近軸軸上光線の高さ
- H_{Gn} : 前群 G_n へ入射する瞳近軸光線の高さ
- H_{Gp} : 後群 G_p へ入射する瞳近軸光線の高さ
- N_{Gnj} : 前群 G_n を構成する、各薄肉単レンズの屈折率
- N_{Gpi} : 後群 G_p を構成する、各薄肉単レンズの屈折率
- : 任意波長
- λ₀ : 設計波長

30

40

である。

【 0 0 6 8 】

通常、レトロフォーカス型の光学系において、式 (d) の軸上色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが負で、上に凸形状の特性を示す。また、式 (e) の倍率色収差係数の波長依存特性において、全体の傾きが負で、上に凸形状の倍率色収差係数の波長依存特性を示す。

【 0 0 6 9 】

次に、この状態から、軸上色収差、倍率色収差を補正するための屈折光学系部分 G I T の符号と光学系中への導入位置について考える。導入する屈折光学系部分 G I T の軸上色

50

収差係数を L_{GIT} 、倍率色収差係数を T_{GIT} とすると

$$L_{GIT}(\lambda) = h_{Gn}^2(\lambda_0) \frac{G_{GIT}(\lambda_0)}{G_{GIT}(\lambda)} \dots (f)$$

$$T_{GIT}(\lambda) = h_{Gn}(\lambda_0) \frac{H_{Gn}(\lambda_0) G_{GIT}(\lambda_0)}{G_{GIT}(\lambda)} \dots (g)$$

となる。但し、

$G_{GIT}(\lambda_0)$: 屈折光学系部分 G_{GIT} の屈折力 (光学的パワー)

$h_{GIT}(\lambda_0)$: 屈折光学系部分 G_{GIT} へ入射する近軸軸上光線の高さ

$$G_{GIT}(\lambda) = \{ N_{GIT}(\lambda) - 1 \} / \{ N_{GIT}(\lambda) - N_{GIT}(\lambda_0) \}$$

である。

【 0 0 7 0 】

(f) , (g) 式において、 $1 / G_{GIT}(\lambda)$ には、部分 G_{GIT} の分散特性 $N_{GIT}(\lambda)$ の傾きと曲がり成分の傾向がそのまま反映される。部分 G_{GIT} を交点 P より前方に配置する場合、 $G_{GIT}(\lambda_0) > 0$ のとき、軸上色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが負で、下に凸形状の曲線となり、倍率色収差係数の波長依存特性は全体の傾きが正で、上に強い凸形状の曲線となる。また、 $G_{GIT}(\lambda_0) < 0$ のとき、軸上色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが正で、上に強い凸形状の曲線となり、倍率色収差係数の波長依存特性は全体の傾きが負で、下に強い凸形状の曲線となる。

【 0 0 7 1 】

一方、部分 G_{GIT} を交点 P より後方に配置する場合、 $G_{GIT}(\lambda_0) > 0$ のとき、軸上色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが負で、下に強い凸形状の曲線となり、倍率色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが負で、下に強い凸形状の曲線となる。また、 $G_{GIT}(\lambda_0) < 0$ のとき、軸上色収差係数の波長依存特性は、全体の傾きが正で、上に強い凸形状の曲線となり、倍率色収差係数の波長依存特性は全体の傾きが正で、上に強い凸形状の曲線となる。

【 0 0 7 2 】

したがって、(d) 式、(e) 式の全系における軸上色収差係数の波長依存特性曲線及び倍率色収差係数の波長依存特性曲線の全体の曲がり成分をキャンセルするためには、部分 G_{GIT} の軸上色収差係数の波長依存特性曲線及び倍率色収差係数の波長依存特性曲線の曲がり成分が共に下に凸形状の特性をもつ必要がある。

【 0 0 7 3 】

このため、前群 G_n に部分 G_{GIT} を配置する場合 (部分 G_{GIT} が交点 P より前方に配置されている場合) に軸上色収差係数の波長依存特性曲線の全体の傾き成分をキャンセルするためには、前群 G_n 内において、 $G_{GIT}(\lambda_0) > 0$ であることが必要となる。一方、倍率色収差係数の波長依存特性曲線の全体の傾き成分をキャンセルするためには、前群 G_n 内において、 $G_{GIT}(\lambda_0) < 0$ であることが必要となる。したがって、部分 G_{GIT} を前群 G_n 内に配置することで、軸上色収差、倍率色収差を同時に補正することはできない。しかしながら、一般に軸上色収差は焦点距離に比例し発生し、倍率色収差は広画角であるほど発生するため、レトロフォーカス型の光学系では倍率色収差の発生の方がより重要な問題である。そこで、部分 G_{GIT} を前群 G_n 内に配置する場合には、 $G_{GIT}(\lambda_0) < 0$ となるようにすることで、主に倍率色収差の補正された高性能な光学系を実現することができる。

【 0 0 7 4 】

また、前群 G_n に $G_{GIT}(\lambda_0) < 0$ の部分 G_{GIT} を配置することにより、倍率色収差係数の波長依存特性の曲がり成分は補正過剰になる。そこで、前群 G_n 中の正レンズに部分分散比の小さな (分散特性の曲がり小さい) 材料、負レンズに部分分散比の高い (分散特性の曲がり大きい) 材料を選定し、部分 G_{GIT} を除いた全系の軸上色収差の波長依存特性曲線および倍率色収差係数の波長依存特性曲線を大きな負の傾きを持った上に強い凸形状の曲線とする。これにより、上述した倍率色収差の補正過剰の問題を解決するこ

10

20

30

40

50

とができる。硝材の変更で大きくずれた全体の傾きは、再度部分GITの屈折力 $G_{IT}(\theta_0)$ を負の方向へ変位させれば良く、結果的に全体の傾き成分と曲がり成分の双方で良好に補正された軸上色収差係数の波長依存特性が得られる。

【0075】

次に、後群Gpに部分GITを配置する場合（部分GITが交点Pより後方に配置されている場合）について考える。この場合に、軸上色収差係数の波長依存特性曲線の全体の傾き成分をキャンセルするためには、後群Gp内において $G_{IT}(\theta_0) > 0$ であることが必要となる。このとき、部分GITは部分分散比の大きな材料であるため、曲がり成分に関しては軸上色収差・倍率色収差共に補正過剰になる。しかし、後群Gp中の正レンズに部分分散比の小さな（分散特性の曲がり小さい）材料、負レンズに部分分散比の高い（分散特性の曲がり大きい）材料を選定とし、部分GITを除いた全系の軸上色収差の波長依存特性曲線及び倍率色収差係数の波長依存特性曲線を大きな負の傾きを持った上に強い凸状の曲線とする。これにより、上述した軸上色収差・倍率色収差共に補正過剰の問題は解決できる。硝材の変更で大きくずれた全体の傾きは、再度、部分GITの屈折力 $G_{IT}(\theta_0)$ を負の方向へ変位させれば良く、後群Gpに部分GITを配置した場合には、結果的に全体の傾き成分と曲がり成分の双方で良好に補正された軸上色収差係数の波長依存特性が得られる。

【0076】

ところで、広画角の光学系では、軸上光束と軸外光束の通過領域が重ならない領域が存在する場合がある。特に、より前方やより後方のレンズほどその領域が広くなり、また、より広画角の光学系ほどその領域は広くなる。そこで、軸上光束と軸外光束の通過領域が重ならない領域を広く持つことのできる位置に部分GITを配置し、部分GITの軸上光束が通過する光軸近傍領域において $G_{IT}(\theta_0) = 0$ 、それ以外の領域において、 $G_{IT}(\theta_0) < 0$ となるように、部分GITに屈折力を持たせることで、軸上色収差を悪化させることなく倍率色収差を補正した光学系を実現することができる。具体的には、部分GITを光軸近傍の領域においては $G_{IT}(\theta_0) = 0$ 、それ以外の領域においては $G_{IT}(\theta_0) < 0$ となるような非球面レンズ（層）とすればよい。

【0077】

以上、部分分散比の大きい屈折光学素子（部分GIT）が有すべき条件について述べた。

【0078】

次に本発明の光学系に用いる条件式（1）、（2）を満足する屈折光学素子の更に好ましい条件について説明する。

【0079】

部分GITを交点Pより前方に配置する場合は、部分GIT単独の基準波長での屈折力（部分GITの入射側及び射出側が空気に接している場合の屈折力）を G_{IT1} 、光学系全体の基準波長での屈折力（光学系がズームレンズの場合は広角端での屈折力）をとするとき、

$$0 < |G_{IT1} / \dots| < 0.5 \dots (6)$$

の条件を満足している。

【0080】

条件式（6）の数値範囲となるように部分GITの屈折力を設定することで、部分GITを交点Pより前方に配置した場合の色収差と球面収差などの諸収差をバランスさせ、良好な光学性能が得られる。

【0081】

条件式（6）は、好ましくは、

$$0 < |G_{IT1} / \dots| < 0.3 \dots (6a)$$

とするのが良い。

【0082】

更に好ましくは、

10

20

30

40

50

$$0 < |G I T 1 / | < 0 . 1 5 \quad \cdot \cdot \cdot (6 b)$$

とするのが良い。

【 0 0 8 3 】

部分 G I T を交点 P より後方に配置する場合は、部分 G I T の基準波長での屈折力を G I T 2、光学系全体の基準波長での屈折力（光学系がズームレンズのときは広角端での屈折力）を とするとき、

$$0 < |G I T 2 / | < 1 . 0 \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

の条件を満足している。

【 0 0 8 4 】

条件式 (7) の数値範囲となるように部分 G I T の屈折力を設定することで、部分 G I T を交点 P より前方に配置した場合の色収差と球面収差などの諸収差をバランスさせ、良好な光学性能が得られる。

【 0 0 8 5 】

条件式 (7) は、好ましくは、

$$0 < |G I T 2 / | < 0 . 4 8 \quad \cdot \cdot \cdot (7 a)$$

とするのが良い。更に好ましくは、

$$0 < |G I T 2 / | < 0 . 3 6 \quad \cdot \cdot \cdot (7 b)$$

とするのが良い。

【 0 0 8 6 】

部分 G I T を構成する固体材料としては、 $0 \sim 40^\circ$ 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、

$$|dn/dT| < 2.5 \times 10^{-4} (1/) \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

なる条件を満足するのが良い。

【 0 0 8 7 】

条件式 (8) 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。

【 0 0 8 8 】

なお、この明細書では、以下に示す条件を満足する光学系をレトロフォーカス型の光学系と定義している。

【 0 0 8 9 】

光学系の光学全長を O T L、焦点距離を f とするとき、

$$2 < O T L / f < 1 5 \quad \cdot \cdot \cdot (9)$$

但し、光学系がズームレンズの場合、O T L、f は各々広角端の数値である。

【 0 0 9 0 】

次に、部分 G I T の光学材料（固体材料）の具体例について説明する。上記条件式 (1)、(2) を満足する固体の光学材料としては、例えば一部の樹脂材料がある。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、上記条件式 (1)、(2) を満足する。

【 0 0 9 1 】

また、一般の硝材とは異なる特性を持つ材料として、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。無機酸化物微粒子として、例えば、 TiO_2 ($Nd = 2.304$, $d = 13.8$)、 Nb_2O_5 ($Nd = 2.367$, $d = 14.0$)、 ITO ($Nd = 1.8581$, $d = 5.53$)、 Cr_2O_3 ($Nd = 2.2178$, $d = 13.4$)、 $BaTiO_3$ ($Nd = 2.4362$, $d = 11.3$) 等がある。

【 0 0 9 2 】

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

【 0 0 9 3 】

10

20

30

40

50

TiO₂ は様々な技術分野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。

【0094】

他にもTiO₂ 微粒子は、光触媒や、白色顔料などとして化粧品材料として用いられている。本実施例では、TiO₂ の微粒子の混合体を条件式(1)、(2)を満足する固体材料として光学系の色収差補正に用いている。

【0095】

TiO₂ 微粒子の平均径は、散乱などの影響を考えると2nm~50nm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。

【0096】

TiO₂ を分散させる媒体材料としては、ポリマーが良く、成型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。

【0097】

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。後述する実施例ではTiO₂ 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ているが、これに限定するものではない。

【0098】

ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性N()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。即ち、

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

である。ここで、 λ は任意の波長、 N_{TiO_2} はTiO₂ 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TiO₂ 微粒子の総体積の分率である。

【0099】

以下に示す各実施例の光学系では、条件式(1)、(2)を満足する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。そして、この材料で構成された屈折面を非球面とすれば、色の球面収差などの色収差フレアを更に良好に補正することができる。また、この材料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。また条件式(1)、(2)を満足する材料を光学系中に複数用いれば、それぞれのパワーを小さくでき、収差補正上大変有利である。

【実施例1】

【0100】

条件式(1)、(2)を満足する材料を具体的な光学系に応用した実施例について説明する。ここでは、条件式(1)、(2)を満足する材料として、UV硬化樹脂、またTiO₂ をホストポリマーであるUV硬化樹脂に分散させたTiO₂ 微粒子分散材料を用いている。

【0101】

図2は数値実施例1の光学系OLの断面図である。数値実施例1は、焦点距離14mmの広角レンズ(レトロフォーカス型レンズ系)に、TiO₂ 微粒子をUV硬化樹脂に分散させた混合体よりなる屈折光学素子を用いた例である。図2中、混合体で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞りである。図2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。

【0102】

図3は、数値実施例1の光学系の収差図(無限遠物体に合焦時)である。収差図において、dはd線、gはg線、CはC線、FはF線、S.Cは正弦条件、Mはメリディオナル像面、Sはサジタル像面、Yは像高、FnoはFナンバーである。これは他の数値実

10

20

30

40

50

施例でも同様である。

【0103】

数値実施例1の光学系では、瞳近軸光線Rの光軸Laからの通過位置が比較的高くなる後方にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って正の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに正の屈折力を与え、軸上色収差・倍率色収差を補正し、高性能な光学系を得ている。

【0104】

図4は数値実施例2の光学系OLの断面図である。数値実施例2は焦点距離14mmの広角レンズに、TiO₂微粒子をUV硬化樹脂に分散させた混合体よりなる屈折光学素子を用い、さらに屈折光学素子の面を非球面形状とした例である。図4中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞りである。図5は数値実施例2の光学系の収差図(無限遠物体に合焦時)である。

10

【0105】

数値実施例2の光学系では、瞳近軸光線Rの光軸Laからの通過位置が比較的高くなる後方にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って正の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに正の屈折力を与え、軸上色収差・倍率色収差を補正し、さらにレンズGITの面を非球面形状とすることにより諸収差を補正した高性能な光学系を得ている。

【0106】

図6は数値実施例3の光学系OLの断面図である。数値実施例3は焦点距離14mmの広角レンズにUV硬化樹脂よりなる屈折光学素子を用い、さらにその屈折光学素子の面を非球面形状とした例である。図6中、UV硬化樹脂1で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞りである。図7は数値実施例3の光学系の収差図(無限遠物体に合焦時)である。

20

【0107】

数値実施例3の光学系では、瞳近軸光線Rの光軸Laからの通過位置が比較的低くなる前方にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って負の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに負の屈折力を与え、倍率色収差を補正した高性能な光学系を得ている。

【0108】

図8は数値実施例4の光学系OLの断面図である。数値実施例4は焦点距離14mmの広角レンズにおいて、両側をガラスで接合される位置にTiO₂微粒子をUV硬化樹脂に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。図8中、TiO₂微粒子分散材料で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞りである。図9は数値実施例4の光学系の収差図(無限遠物体に合焦時)である。

30

【0109】

数値実施例4の光学系では、瞳近軸光線Rの光軸Laからの通過位置が比較的高くなり、両側をガラスで接合される位置にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って負の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに正の屈折力を与え、軸上色収差・倍率色収差を補正し、さらにレンズGITの面を非球面形状とすることにより諸収差を補正した高性能な光学系を得ている。

40

【0110】

図10(A),(B),(C)は数値実施例5の光学系の広角端、中間のズーム位置、望遠端のレンズ断面図である。数値実施例5は負の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、正の屈折力の第3レンズ群L3、負の屈折力の第4レンズ群L4、正の屈折力の第5レンズ群からなる5群構成のズームレンズであり、このズームレンズにTiO₂微粒子をUV硬化樹脂に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。図10中、TiO₂微粒子をUV硬化樹脂に分散させた混合体で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞り、IPは像面である。図11(A),(B),(C)は、数値実施例5の光学系(ズームレンズ)の広角端(W)、中間のズーム位置(

50

中間焦点距離) (M)、望遠端(T)における収差図(無限遠物体に合焦時)である。

【0111】

数値実施例5の光学系では、ズームレンズを構成するレンズ群の内、瞳近軸光線Qの光軸Laからの通過位置が比較的高くなる、最も物体側の第1レンズ群L1にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って負の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITの面を非球面形状とし、光軸近傍では正の屈折力、光軸外に向かうに従い負の屈折力が大きくなるような形状を与えることにより、倍率色収差、軸上色収差を同時に補正した、高性能な光学系を得ている。

【0112】

図12(A)、(B)、(C)は数値実施例6の光学系の広角端、中間のズーム位置、望遠端のレンズ断面図である。数値実施例6は、負の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、正の屈折力の第3レンズ群L3、負の屈折力の第4レンズ群L4、正の屈折力の第5レンズ群からなる5群構成のズームレンズであり、このズームレンズにTiO₂微粒子をUV硬化樹脂に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。図12中、TiO₂微粒子をUV硬化樹脂に分散させた混合体で形成したレンズ(層)をGITで示している。SPは開口絞り、IPは像面である。

10

【0113】

図13(A)、(B)、(C)は、数値実施例6の光学系(ズームレンズ)の広角端(W)、中間のズーム位置(中間焦点距離)(M)、望遠端(T)における収差図(無限遠物体に合焦時)である。

20

【0114】

数値実施例6の光学系では、ズームレンズを構成するレンズ群の内、瞳近軸光線Qの光軸Laからの通過位置が比較的高くなる、最も物体側の第1レンズ群L1にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは光軸上より周辺に向かうに従って負の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに負の屈折力を与え、主に倍率色収差を補正することにより、高性能な光学系を得ている。

【0115】

図14(A)、(B)、(C)は数値実施例7の光学系の広角端、中間のズーム位置、望遠端の断面図である。数値実施例7は負の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、正の屈折力の第3レンズ群L3、負の屈折力の第4レンズ群L4、正の屈折力の第5レンズ群からなる5群構成のズームレンズであり、このズームレンズにUV硬化樹脂より成る屈折光学素子を用いた例である。図14中、UV硬化樹脂で形成したレンズ(層)をGITで示しており、SPは開口絞り、IPは像面である。図15(A)、(B)、(C)は、数値実施例7の光学系(ズームレンズ)の広角端(W)、中間のズーム位置(中間焦点距離)(M)、望遠端(T)における収差図(無限遠物体に合焦時)である。

30

【0116】

数値実施例7の光学系では、ズームレンズを構成するレンズ群の内、瞳近軸光線Qの光軸Laからの通過位置が比較的高くなる、最も後方の第5レンズ群L5にレンズGITを導入している。このときのレンズGITは、光軸上より周辺に向かうに従って正の屈折力が大きくなる形状としている。そして、レンズGITに正の屈折力を与え、軸上色収差・倍率色収差を補正することにより、高性能な光学系を得ている。

40

【0117】

尚、本発明に係る光学系は、レトロフォーカス型の光学系(ズームレンズのときは広角端でレトロフォーカス型となる光学系)であればどのような光学系にも適用することができる。

【0118】

以下、数値実施例1~7の具体的な数値データを示す。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、Riは第i番目の光学面(第i面)の曲率半径、Diは第i面と第(i+1)面との間の軸上間隔、Ni、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)は除く)の光学部材の材料の屈折

50

率、アッペ数を示す。樹脂や TiO_2 微粒子分散材料で形成されたレンズ GIT_j の d 線に対する屈折率、アッペ数は、別途 $NGIT_j$, GIT_j ($j = 1, 2, \dots$) 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。

【0119】

また、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、 $B, C, D, E \dots$ を各次数の非球面係数とすると、

【0120】

【数3】

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

10

【0121】

で表す。なお、各非球面係数における「 $E \pm X X$ 」は「 $\times 10^{\pm X X}$ 」を意味している。

【0122】

又、前述の各条件式と数値実施例における数値との関係を表 - 3 に示す。

【0123】

数値実施例 4, 7 では、それぞれレンズ GIT を構成する材料として、UV 硬化樹脂を単体で用いている。数値実施例 1, 2, 3, 5 及び 6 では、レンズ GIT を構成する材料として、 TiO_2 をホストポリマーに分散させた状態で用いている。 TiO_2 微粒子分散材料の屈折率は、前述の (i) 式を用いて計算した値を用いて算出している。ホストポリマーとして UV 硬化樹脂を用いており、 TiO_2 の体積分率は 3% である。

20

【0124】

UV 硬化樹脂と TiO_2 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。 TiO_2 微粒子を UV 硬化樹脂に体積比率 3% で混合した混合体の 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 2 に示す。

【0125】

【数4】

(数值实施例1)

f 14.39mm Fno 2.89 $2\omega = 112.73^\circ$

	R	D	Nd	v _d
1	43.917	3.10	1.86058	37.0
2	28.569	12.47		
3(非球面)	54.225	5.83	1.60311	60.7
4	66.772	0.15		
5	32.072	1.70	1.78045	49.5
6	15.696	7.65		
7	87.341	1.30	1.76000	51.8
8	18.871	7.02		
9	128.406	1.50	1.75500	52.4
10	20.624	8.86	1.68747	32.0
11	-48.028	2.74		
12	60.740	9.58	1.58400	40.9
13	-9.323	1.50	1.66310	57.6
14	-14.032	0.55		
15	-14.845	0.90	1.86320	41.6
16	-39.004	0.15		
17	絞り	0.94		
18	89.341	9.97	1.62911	35.6
19	-27.630	4.00	1.84825	25.3
20	57.031	0.75		
21	-326.487	0.80	1.92286	21.3
22	38.054	4.53	1.54297	65.8
23	-18.360	0.15		
24	109.719	2.01	NGIT1 =1.55324	ν GIT1= 39.8
25	-53.686	1.95	1.85650	42.1
26	35.056	40.86		

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
3	0	8.67E-06	4.05E-09	1.19E-11	1.92E-14

10

20

30

40

【数5】

(数值实施例2)

f = 14.39mm Fno = 2.89 2 ω = 112.76°

	R	D	Nd	vd
1	45.009	3.10	1.86320	41.6
2	29.354	9.31		
3(非球面)	70.658	5.83	1.60311	60.7
4	70.386	1.09		
5	27.311	1.70	1.74518	52.9
6	15.965	7.73		
7	174.616	1.30	1.86277	40.3
8	19.292	8.32		
9	61.383	1.50	1.85104	41.3
10	16.884	7.15	1.74675	27.8
11	-73.224	3.08		
12	110.004	9.23	1.56014	46.1
13	-8.849	1.50	1.62468	55.5
14	-14.521	0.65		
15	-15.899	0.90	1.86432	41.5
16	-32.675	0.30		
17	絞り	1.71		
18	56.365	9.18	1.68557	31.1
19	-46.007	4.00	1.84632	23.8
20	64.324	1.27		
21	-60.577	0.80	1.92286	21.3
22	53.393	4.74	1.49043	70.3
23	-18.360	0.15		
24(非球面)	97.448	2.04	NGIT1 -1.55324	ν GIT1 -39.8
25	-51.309	2.43	1.61179	60.9
26	-28.429	40.86		

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
3	0	9.22E-06	1.19E-10	5.38E-12	9.53E-15
24	0	-1.10E-05	2.11E-08	-7.97E-11	2.37E-14

10

20

30

40

【数6】

(数値実施例3)

	R	D	Nd	v d
1	44.000	3.10	1.49987	69.4
2	30.687	7.51		
3(非球面)	72.937	6.52	1.67868	56.1
4	73.668	0.05	NGIT1 1.63555	ν GIT1 22.7
5	51.064	0.15		
6	31.216	1.70	1.76011	52.2
7	15.317	9.26		
8	129.880	1.30	1.86507	41.7
9	18.889	8.53		
10	33.698	1.50	1.81470	46.2
11	12.304	8.57	1.68309	31.0
12	62.166	2.33		
13	256.563	7.42	1.56997	41.6
14	-9.312	1.50	1.75281	52.7
15	-13.235	0.43		
16	15.549	0.90	1.86514	41.6
17	30.707	0.50		
18	絞り	1.51		
19	78.038	9.44	1.62258	36.1
20	-21.201	4.00	1.84931	23.8
21	70.790	0.66		
22	-398.392	0.80	1.92286	21.3
23	36.706	5.93	1.48660	70.5
24	-17.172	0.15		
25	137.419	3.16	1.83667	32.3
26	-54.095	41.92		

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
3	0	8.69E 06	2.64E 09	1.12E 13	3.83E 15

10

20

30

【数7】

(数值实施例4)

$$f = 14.46\text{mm} \quad F\# = 2.89 \quad 2\omega = 112.49^\circ$$

	R	D	Nd	vd
1	45.547	3.10	1.86410	40.5
2	28.810	8.76		
3(非球面)	53.582	5.50	1.60311	60.7
4	55.004	0.75		
5	32.735	1.70	1.78124	49.5
6	17.127	5.72		
7	27.595	1.30	1.77820	49.9
8	15.200	7.24		
9	72.894	1.50	1.73636	53.7
10	22.235	8.73	1.67568	31.5
11	-36.125	5.19		
12	48.391	9.27	1.55927	48.7
13	-8.735	1.50	1.75567	52.4
14	-12.518	0.49		
15	-15.262	0.90	1.74295	49.6
16	-68.918	0.40		
17	絞り	0.48		
18	51.138	10.56	1.61411	60.7
19	-16.859	4.00	1.81175	40.3
20	122.380	0.93		
21	-59.450	0.80	1.92286	21.3
22	28.737	1.85	NGIT1 =1.63555	ν GIT1 =22.7
23	-549.447	3.91	1.65122	58.3
24	19.614	0.15		
25	116.347	3.98	1.70475	55.8
26	-39.496	0.00		

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
3	0	9.43E-06	1.23E-09	-7.20E-12	1.67E-14

10

20

30

【数8】

(数值实施例5)

f 16.50~24.01~33.92mm Fno 2.91 2 ω 105.33~84.04~65.06°

	R	D	Nd	vd
1(非球面)	86.898	2.00	1.85261	27.1
2	18.772	0.05	NGIT1 1.55324	ν GIT1 39.8
3(非球面)	19.717	(可变)		
4	91.686	1.20	1.84133	42.7
5	27.935	0.05	1.51640	62.2
6(非球面)	23.388	0.18		
7	26.695	6.07	1.75615	27.6
8	1570.290	(可变)		
9	64.761	1.30	1.84777	23.7
10	20.962	8.57	1.63329	61.0
11	76.137	5.47		
12	50.211	4.24	1.85111	24.5
13	-76.185	(可变)		
14	絞り	1.56		
15	-193.435	1.45	1.85251	26.6
16	66.615	2.88		
17	-35.027	1.05	1.71247	55.1
18	22.432	5.01	1.85264	23.7
19	95.511	(可变)		
20	26.272	6.88	1.49700	81.5
21	25.487	1.20	1.85058	25.3
22	41.577	0.15		
23	408.382	1.20	1.85112	23.6
24	18.890	7.03	1.49700	81.5
25	56.362	0.15		
26	334.784	2.30	1.85890	34.8
27(非球面)	-231.238			

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
1	0	2.03E-05	-5.74E-08	1.29E-10	-1.54E-13
3	0	3.13E-05	-4.85E-08	1.55E-10	-5.45E-13
6	0	1.34E-05	-1.06E-08	7.78E-11	-8.35E-13
27	0	6.49E-06	3.13E-08	-3.11E-10	2.10E-12

(可变间隔)

f	16.50	24.01	33.92
D3	15.43	17.13	17.13
D8	22.32	8.57	1.15
D13	0.59	5.72	11.14
D19	11.51	5.77	0.35

10

20

30

40

【数9】

(数值实施例6)

f 16.50~24.01~33.92mm Fno 2.91 2 ω 105.33~84.04~65.06°

	R	D	Nd	vd
1(非球面)	67.614	2.00	1.85200	25.8
2	19.750	0.05	NGIT1 1.55324	2/GIT1 39.8
3(非球面)	19.717	(可变)		
4	95.826	1.20	1.85278	42.7
5	27.426	0.05	1.51640	52.2
6(非球面)	23.586	0.18		
7	26.591	5.86	1.75697	27.0
8	1517.264	(可变)		
9	64.637	1.30	1.84837	23.8
10	20.901	8.81	1.63259	59.8
11	80.184	4.94		
12	48.409	4.14	1.85112	24.3
13	81.040	(可变)		
14	絞り	1.56		
15	198.783	1.45	1.85256	26.9
16	63.970	2.98		
17	35.097	1.05	1.69989	55.7
18	22.561	4.96	1.85157	23.7
19	97.851	(可变)		
20	26.661	6.80	1.49700	81.5
21	25.584	1.20	1.84627	23.8
22	42.738	0.15		
23	540.283	1.20	1.84808	23.7
24	19.205	7.10	1.49700	81.5
25	56.458	0.15		
26	819.964	2.30	1.85915	35.0
27(非球面)	156.159			

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
1	0	1.50E-05	3.33E-08	6.36E-11	6.76E-14
3	0	1.99E-05	-1.80E-08	7.85E-12	5.40E-15
6	0	1.27E-05	9.65E-09	-1.71E-10	5.57E-13
27	0	6.99E-06	1.93E-08	-1.51E-10	1.15E-12

(可变间隔)

f	16.50	24.01	33.92
D3	15.19	17.13	17.13
D8	22.45	8.57	1.15
D13	0.49	5.72	11.14
D19	11.58	5.77	0.35

10

20

30

40

【数10】

(数值实施例7)

f 16.51~33.98mm Fno 2.91 2 ω 105.31~64.97°

	R	D	Nd	vd
1(非球面)	491.437	2.00	1.53611	66.2
2	20.085	(可变)		
3(非球面)	69.790	1.20	1.86021	41.8
4	45.442	0.05	1.51640	52.2
5	49.858	0.77		
6(非球面)	40.321	6.41	1.81339	24.9
7	231.980	(可变)		
8	58.297	1.30	1.84113	28.2
9	23.912	7.89	1.55582	54.0
10	71.007	2.39		
11	39.724	4.17	1.71667	47.2
12	118.595	(可变)		
13	絞り	1.56		
14	-1963.513	1.45	1.86147	38.8
15	63.865	2.70		
16	32.990	1.05	1.69134	45.0
17	27.389	5.38	1.84714	24.5
18	-114.014	(可变)		
19	38.555	7.41	1.51893	66.2
20	-22.538	1.20	1.84495	24.1
21	36.826	0.15		
22	154.383	1.20	1.84842	24.9
23	24.726	6.41	1.49700	81.5
24	-82.251	0.15		
25	257.777	2.06	NGIT1 = 1.63555	ν GIT1 = 22.7
26	-71.273	1.05	1.78503	48.8
27(非球面)	168.879			

(非球面係数)

	k	B	C	D	E
1	0	1.71E-05	2.42E-08	3.24E-11	2.53E-14
3	0	1.02E-05	1.12E-08	-8.67E-11	4.95E-13
6	0	6.78E-06	1.99E-09	4.14E-11	3.00E-13
27	0	1.30E-05	8.33E-09	4.82E-11	3.58E-13

(可变间隔)

	16.50	24.01	33.92
D2	17.03	17.13	17.13
D7	20.96	8.57	1.15
D12	0.18	5.72	11.14
D18	11.11	5.77	0.35

10

20

30

40

【表 1】

(表 1)

	UV 硬化樹脂	T i O ₂
d 線屈折率	1.63555	2.30377
g 線屈折率	1.67532	2.45676
C 線屈折率	1.62807	2.28032
F 線屈折率	1.65604	2.37452
v d	22.7	13.8
θ g d	1.422	1.624
θ gF	0.689	0.873

10

【表 2】

(表 2)

	T i O ₂ 3% - U V 硬化樹脂 2
d 線屈折率	1.55324
g 線屈折率	1.57249
C 線屈折率	1.54936
F 線屈折率	1.56326
v d	39.8
θ g d	1.385
θ gF	0.665

20

30

【表 3】

表-3

条件式	数値実施例						
	1	2	3	4	5	6	7
<1>	0.609	0.609	0.645	0.645	0.609	0.609	0.645
<2>	0.665	0.665	0.689	0.689	0.665	0.665	0.689
<3>	1.324	1.324	1.365	1.365	1.324	1.324	1.365
<4>	1.385	1.385	1.422	1.422	1.385	1.385	1.422
<5>	38.9	38.9	22.7	22.7	38.9	38.9	22.7
<6>	-	-	0.0555	-	0.0245	0.0005	-
<7>	0.220	0.236	-	0.0085	-	-	0.187
<8>	1.358 $\times 10^1$	1.358 $\times 10^4$	1.7055 $\times 10^4$	1.7055 $\times 10^4$	1.358 $\times 10^4$	1.358 $\times 10^4$	1.7055 $\times 10^4$
<9>	8.97	8.90	8.71	8.83	8.99	8.96	8.91

10

20

30

次に本発明の光学系を撮影光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図16を用いて説明する。

【0126】

40

図16において、20はカメラ本体、21は本発明の光学系によって構成された撮影光学系、22はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系21によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）、23は撮像素子22によって光電変換された被写体像に対応する情報を記録するメモリ、24は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、固体撮像素子22上に形成された被写体像を観察するためのファインダである。

【0127】

このように本発明の光学系をデジタルスチルカメラ等の撮像素子に適用することにより、小型で高い光学性能を有する撮像装置を実現している。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 1 2 8 】

【図 1】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 2】数値実施例 1 の光学系の光学系断面図である。

【図 3】数値実施例 1 の収差図である。

【図 4】数値実施例 2 の光学系の光学系断面図である。

【図 5】数値実施例 2 の収差図である。

【図 6】数値実施例 3 の光学系の光学系断面図である。

【図 7】数値実施例 3 の収差図である。

【図 8】数値実施例 4 の光学系の光学系断面図である。

【図 9】数値実施例 4 の無限遠合焦状態での収差図である。

10

【図 10】数値実施例 5 の光学系の光学系断面図である。

【図 11】数値実施例 5 の無限遠合焦状態での収差図である。

【図 12】数値実施例 6 の光学系の光学系断面図である。

【図 13】数値実施例 6 の無限遠合焦状態での収差図である。

【図 14】数値実施例 7 の光学系の光学系断面図である。

【図 15】数値実施例 7 の無限遠合焦状態での収差図である。

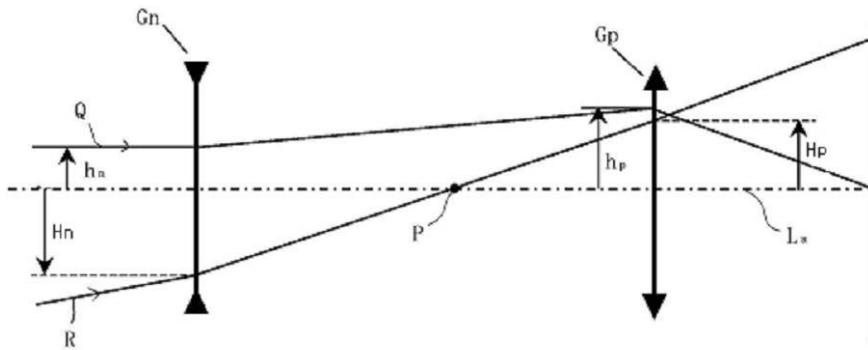
【図 16】本発明の撮像装置の要部概略図である。

【符号の説明】

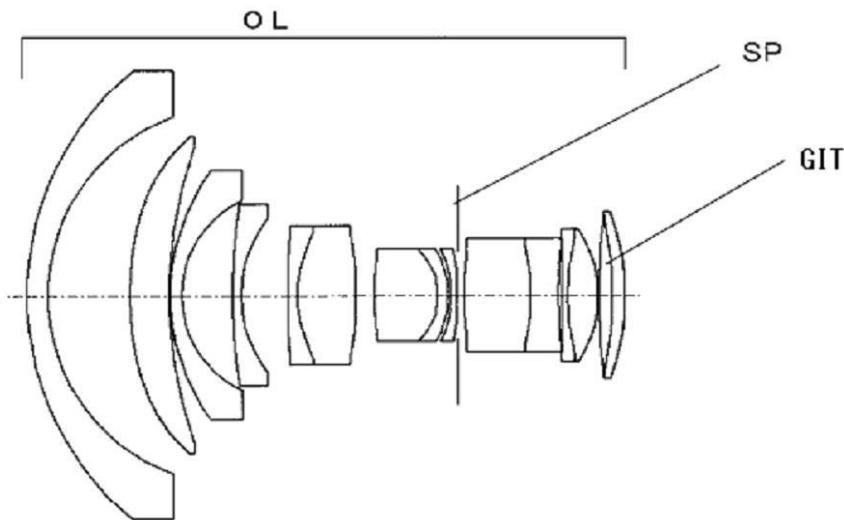
【 0 1 2 9 】

OL	光学系	20
GIT	部分分散比の大きい屈折光学素子	
L1	第 1 レンズ群	
L2	第 2 レンズ群	
L3	第 3 レンズ群	
L4	第 4 レンズ群	
L5	第 5 レンズ群	
SP	絞り	
IP	像面	
d	d 線	
g	g 線	30
C	C 線	
F	F 線	
S . C	正弦条件	
M	d 線に対するメリディオナル像面	
S	d 線に対するサジタル像面	
Mg	g 線に対するメリディオナル像面	
Sg	g 線に対するサジタル像面	

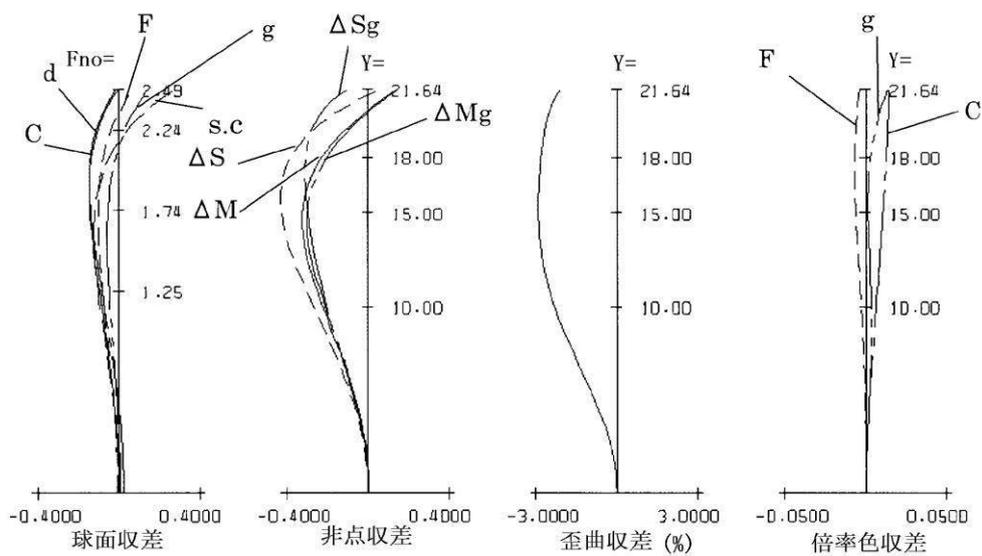
【 図 1 】



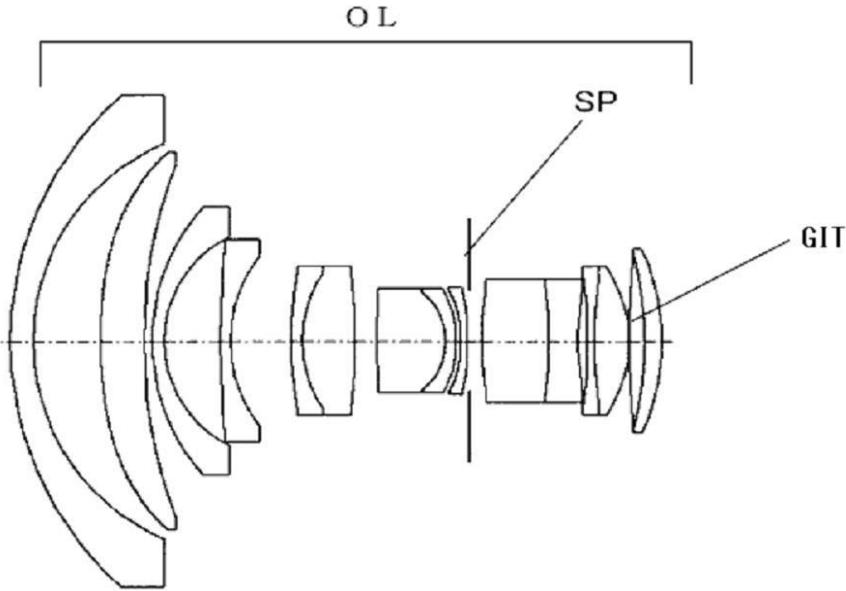
【 図 2 】



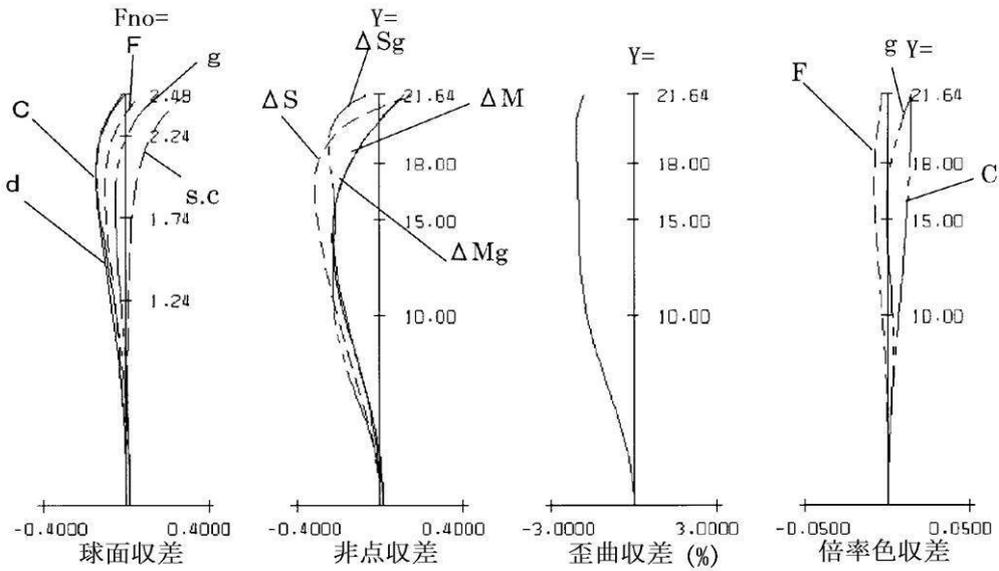
【 図 3 】



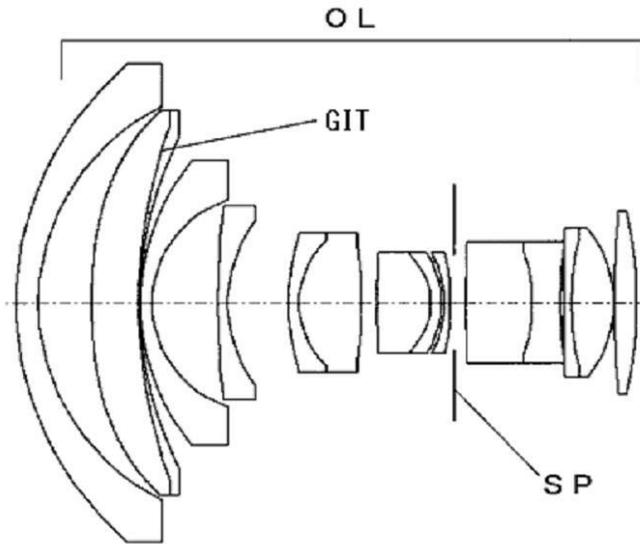
【 図 4 】



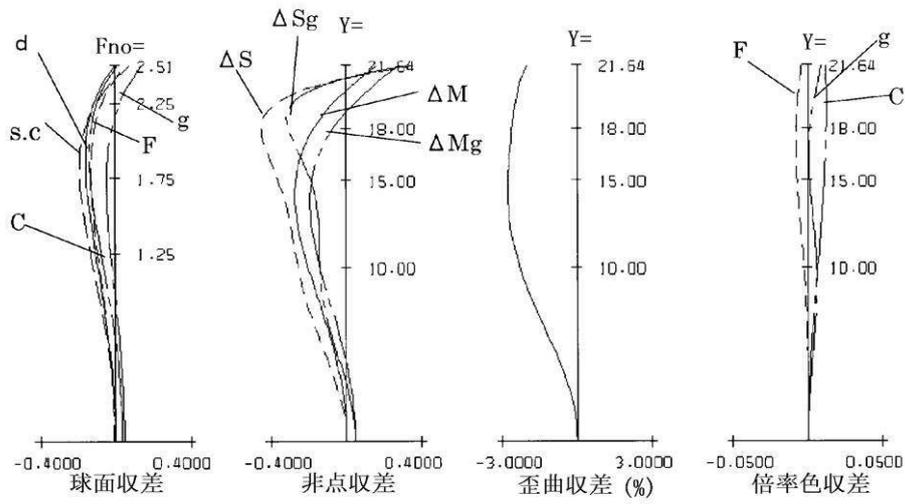
【 図 5 】



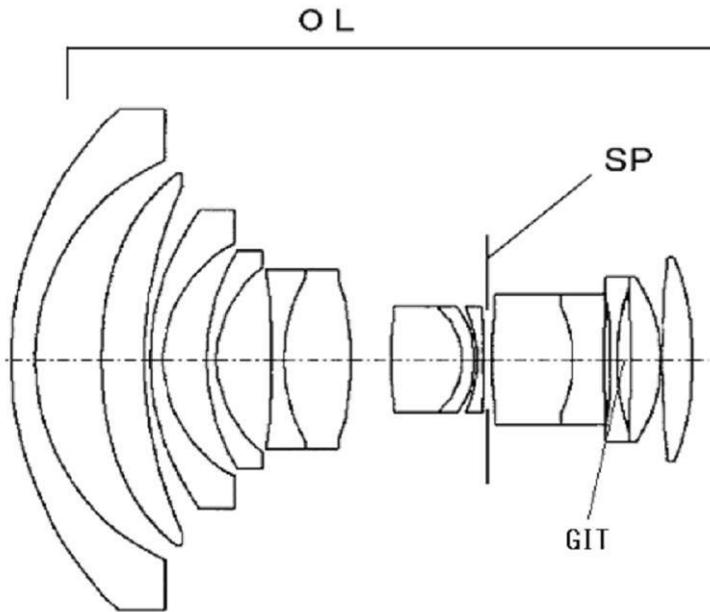
【 図 6 】



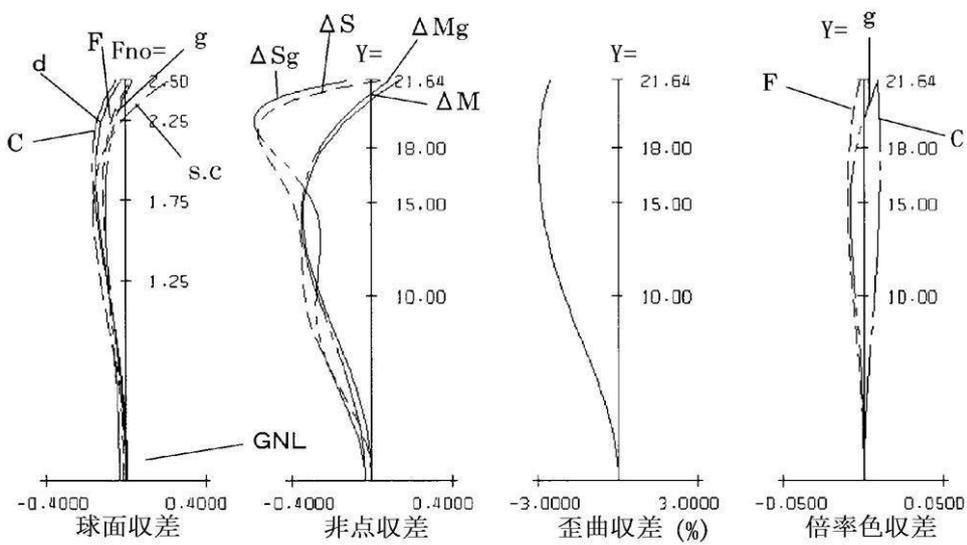
【 図 7 】



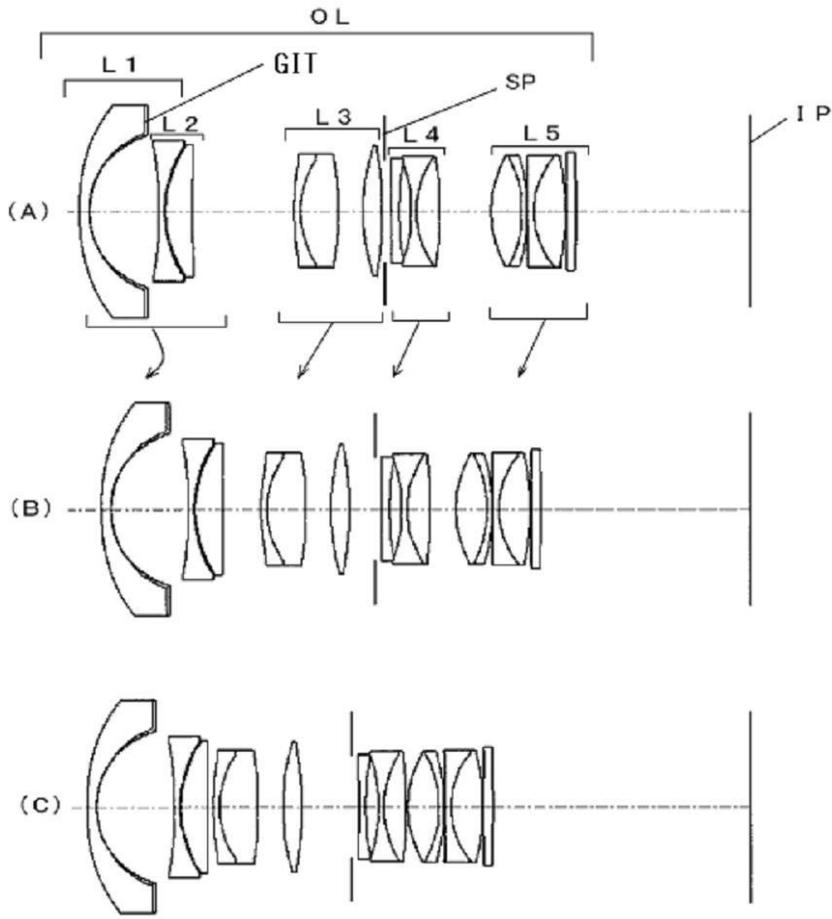
【 図 8 】



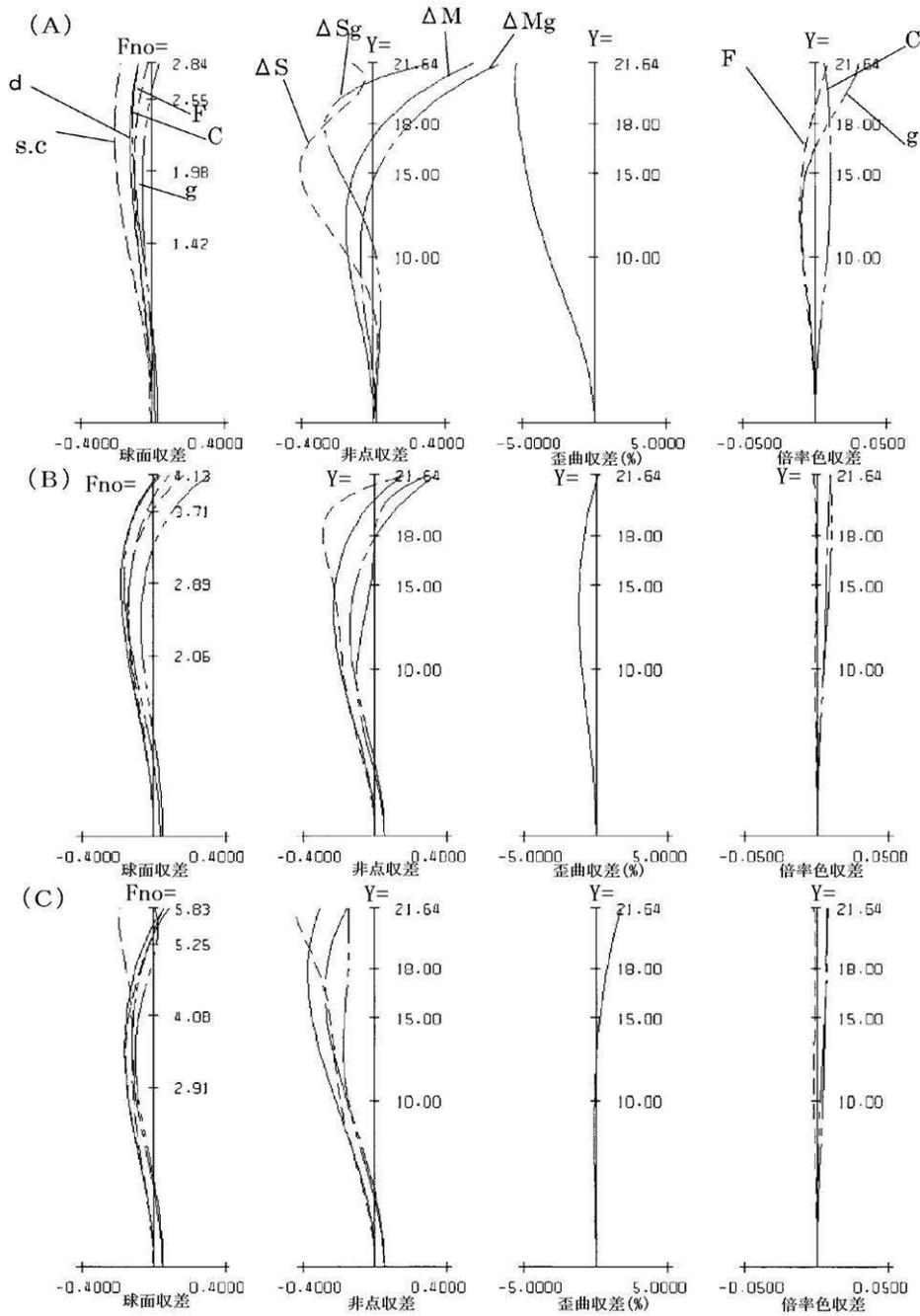
【 図 9 】



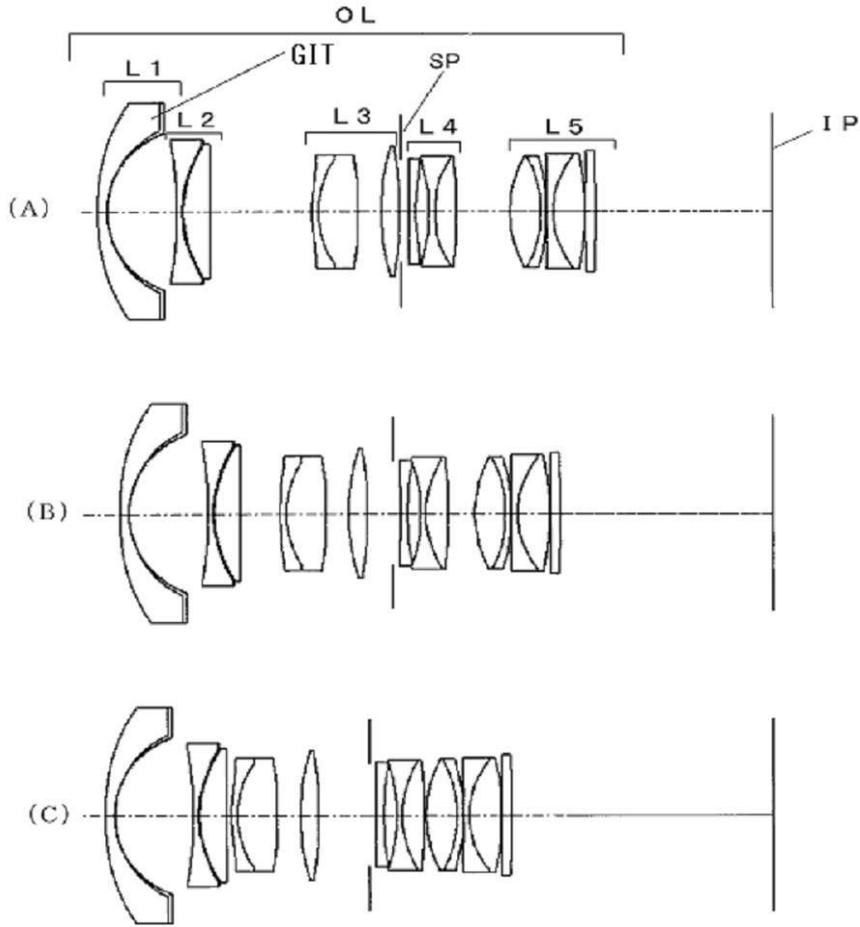
【 図 1 0 】



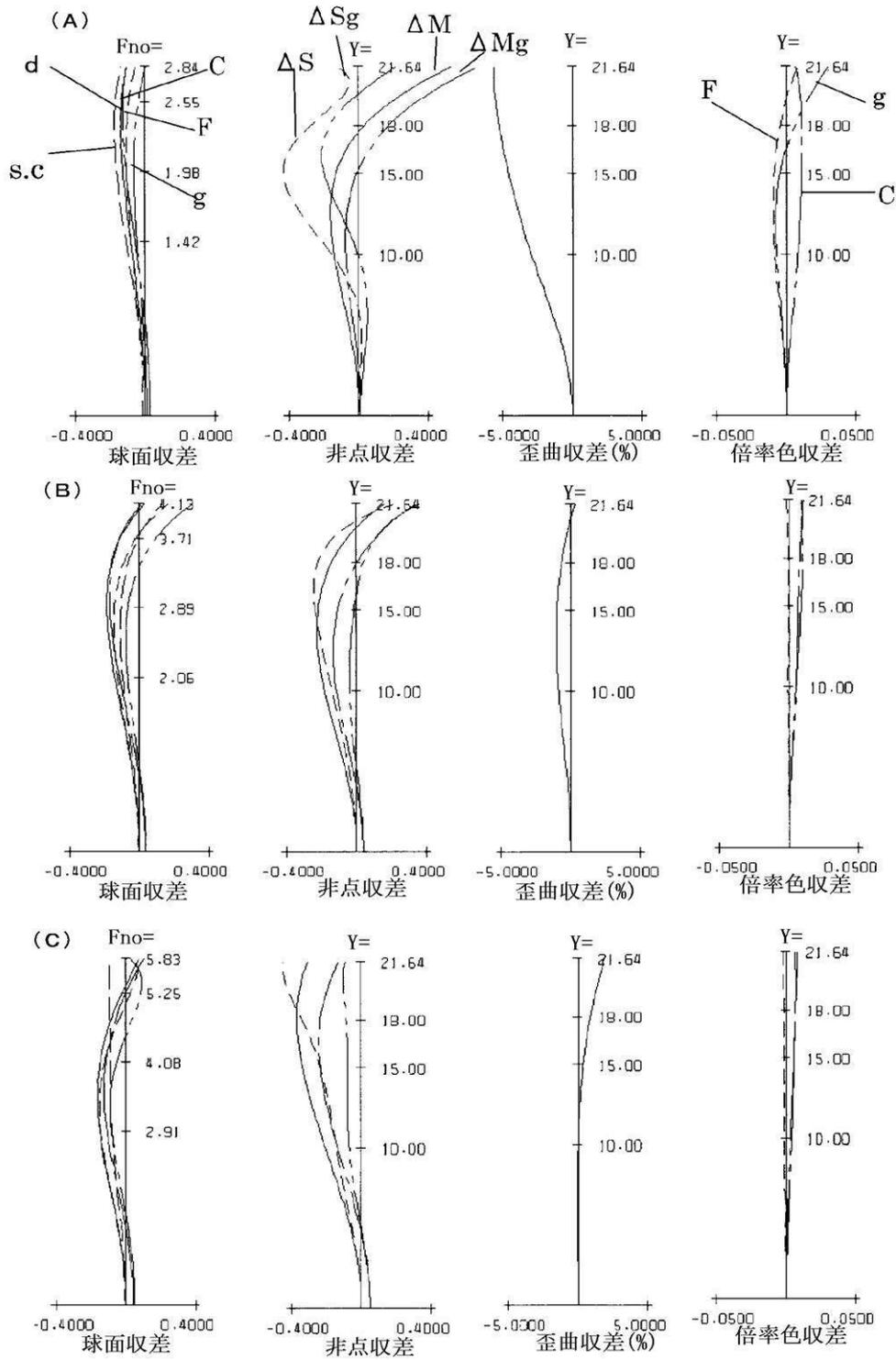
【 図 1 1 】



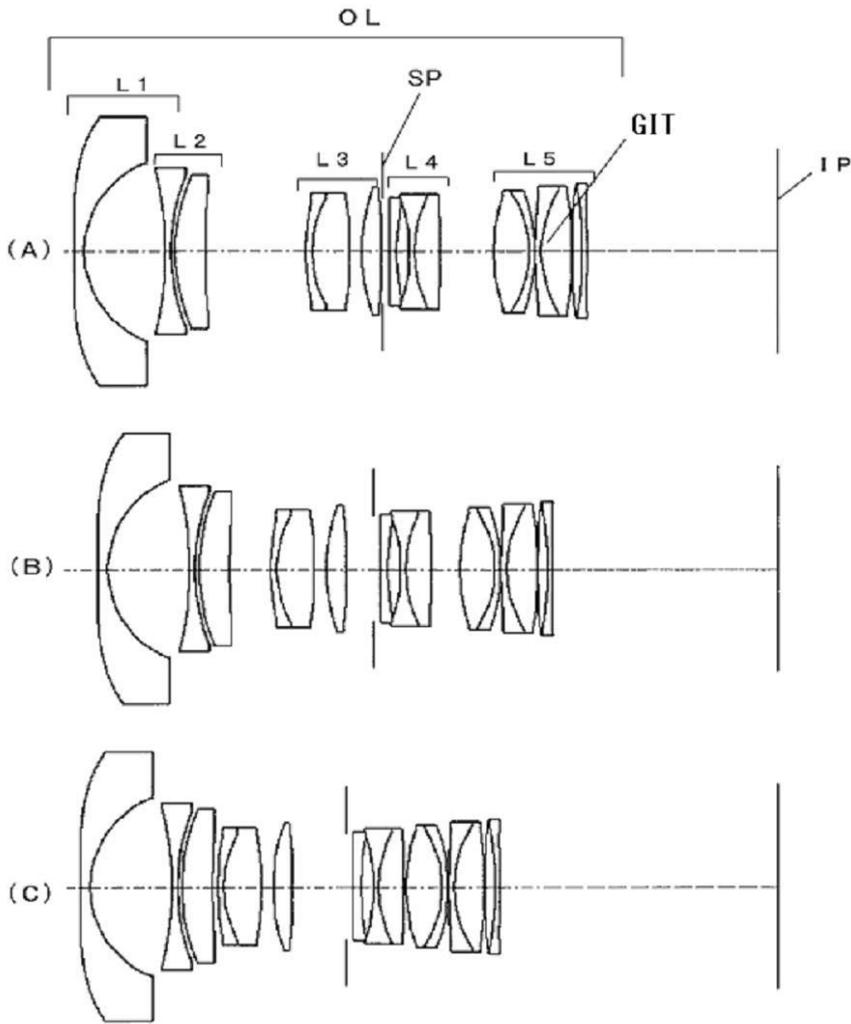
【 図 1 2 】



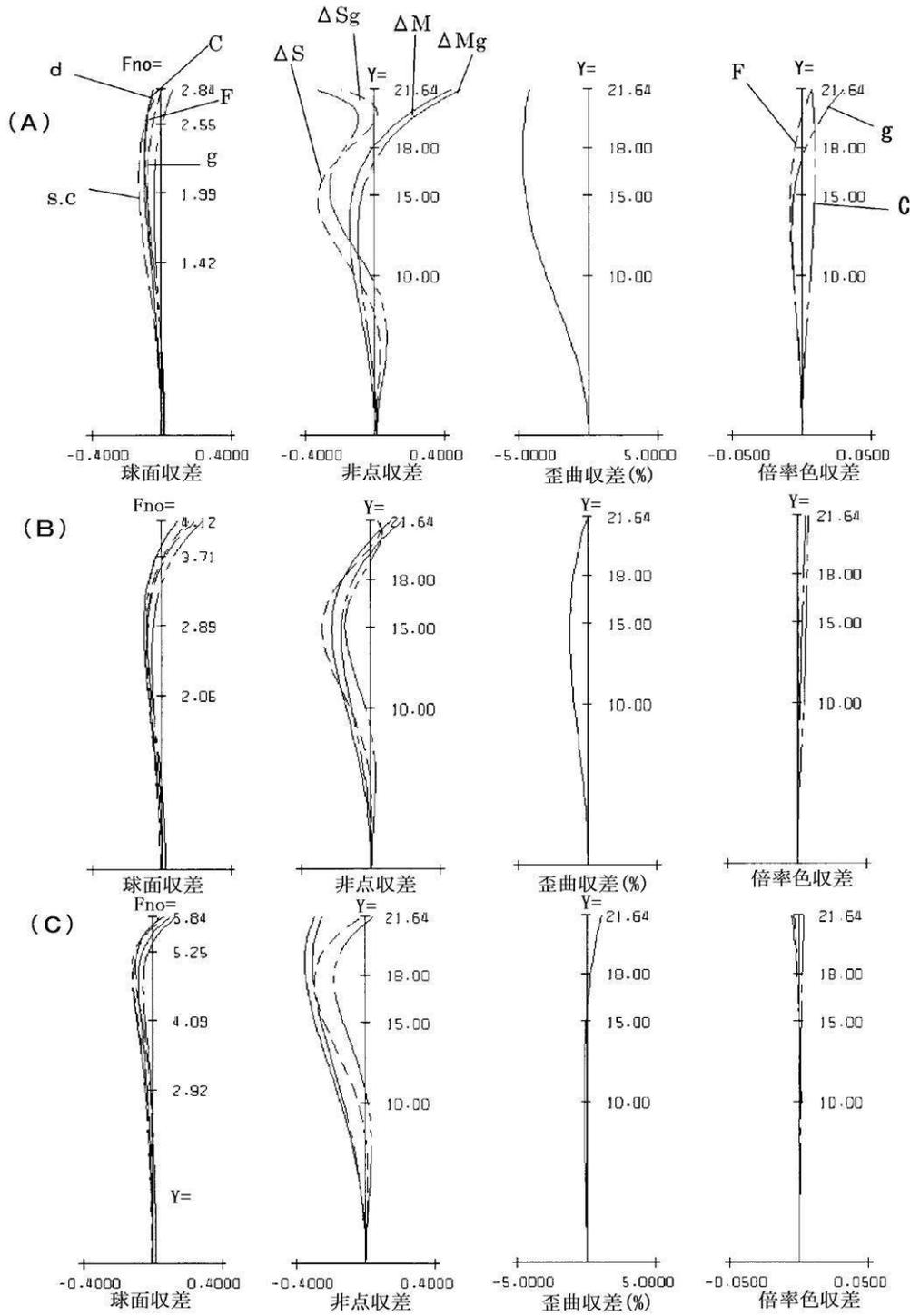
【图 13】



【 図 1 4 】

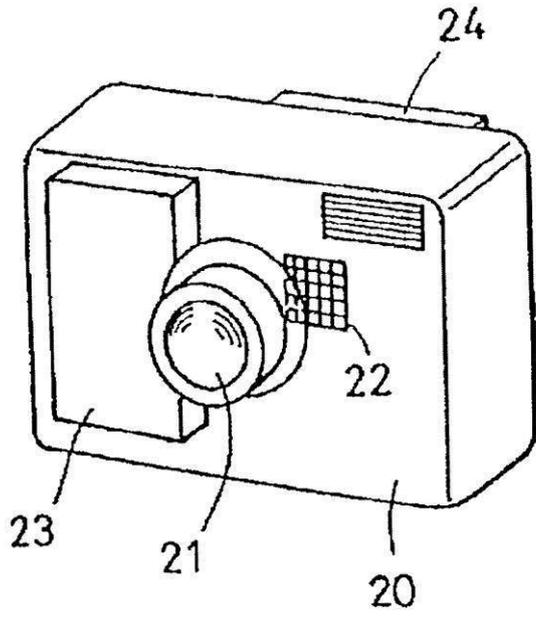


【 図 15 】



【図16】

3/6



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B	9 / 0 0	-	1 7 / 0 8
G 0 2 B	2 1 / 0 2	-	2 1 / 0 4
G 0 2 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4