

(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2012-242742

(P2012-242742A)

(43) 公開日 平成24年12月10日(2012.12.10)

(51) Int.Cl.
G02B 13/02 (2006.01)

F1
G02B 13/02

テーマコード(参考)
2H087

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 53 頁)

(21) 出願番号 特願2011-114805 (P2011-114805)
(22) 出願日 平成23年5月23日 (2011.5.23)

(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
(74) 代理人 100086818
弁理士 高梨 幸雄
(72) 発明者 江口 薫
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
(72) 発明者 大元 純一
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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮影光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【要約】

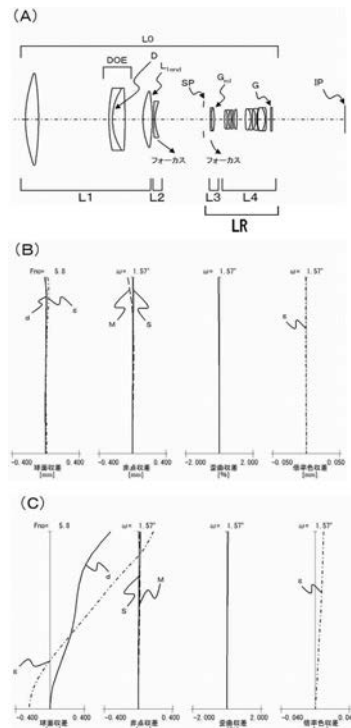
【課題】 フォーカスが容易でしかも、撮影可能な物体距離を短くしてもフォーカスの際の収差変動が少なく、高画質の画像が容易に得られる撮影光学系を得ること。

【解決手段】 物体側から像側へ順に、フォーカシングのためには不動で正の屈折力の第1レンズ群、フォーカシングのために移動する負の屈折力の第2レンズ群、正又は負の屈折力のレンズ群を1以上含む後続レンズ群を有する撮影光学系において、後続レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ部は、フォーカシングに際して第2レンズ群と関連付けて光軸上を移動し、全系の焦点距離をf、第1レンズ群の焦点距離をf₁、撮影光学系の最も物体側レンズの物体側面頂点から像面までの距離をLとすると、

$$0.050 < L \times f_1 / f^2 < 0.250$$

なる条件を満足すること。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から像側へ順に、フォーカシングのためには不動で正の屈折力の第 1 レンズ群、フォーカシングのために移動する負の屈折力の第 2 レンズ群、正又は負の屈折力のレンズ群を 1 以上含む後続レンズ群を有する撮影光学系において、

前記後続レンズ群のうち少なくとも 1 つのレンズ部は、フォーカシングに際して前記第 2 レンズ群と関連付けて光軸上を移動し、

全系の焦点距離を f 、

前記第 1 レンズ群の焦点距離を f_1 、

前記撮影光学系の最も物体側レンズの物体側面頂点から像面までの距離を L とするとき

10

$$0.050 < L \times f_1 / f^2 < 0.250$$

なる条件を満足することを特徴とする撮影光学系。

【請求項 2】

前記撮影光学系は、前記第 1 レンズ群よりも像側にフォーカシングのためには不動の開口絞りを有し、

前記後続レンズ群のうちフォーカシングに際して前記第 2 レンズ群と関連付けて光軸上を移動するレンズもしくはレンズ群をレンズ部 G_{m1} とするとき、無限遠物体にフォーカスしているときの前記レンズ部 G_{m1} の最も物体側面から前記開口絞りまでの距離の絶対値を d_{m1} 、前記第 2 レンズ群の屈折力を ϕ_2 、前記レンズ部 G_{m1} の屈折力を ϕ_{m1} 、フォーカシングに際しての前記第 2 レンズ群の最大移動量を M_2 、フォーカシングに際しての前記レンズ部 G_{m1} の最大移動量を M_{m1} とするとき、

20

$$0.00 < d_{m1} / L < 0.20$$

$$1.0 < \phi_2 \times M_2 / (\phi_{m1} \times M_{m1}) < 100.0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の撮影光学系。

【請求項 3】

前記後続レンズ群のうちフォーカシングに際して前記第 2 レンズ群と関連付けて光軸上を移動するレンズもしくはレンズ群をレンズ部 G_{i1} とするとき、無限遠物体にフォーカスしているときの前記レンズ部 G_{i1} の最も物体側面から像面までの距離の絶対値を d_{i1} 、前記第 2 レンズ群の屈折力を ϕ_2 、前記レンズ部 G_{i1} の屈折力を ϕ_{i1} 、フォーカシングに際しての前記第 2 レンズ群の最大移動量を M_2 、フォーカシングに際しての前記 G_{i1} の最大移動量を M_{i1} とするとき、

30

$$0.000 < d_{i1} / L < 0.350$$

$$1.0 < \phi_2 \times M_2 / (\phi_{i1} \times M_{i1}) < 100.0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の撮影光学系。

【請求項 4】

前記第 2 レンズ群の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-0.240 < f_2 / f < -0.050$$

$$-2.40 < f_1 / f_2 < -0.50$$

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 項に記載の撮影光学系。

40

【請求項 5】

前記第 1 レンズ群の最も像側に配置されているレンズ部 L_{1end} は、正の屈折力の単レンズ、もしくは合成屈折力が正の屈折力の接合レンズよりなり、

前記レンズ部 L_{1end} の最も物体側面の曲率半径を R_{L1end} 、前記レンズ部 L_{1end} の最も物体側面を形成する材料の屈折率を N_p 、前記第 2 レンズ群の最も像側面の曲率半径を R_{L2} 、前記第 2 レンズ群の最も像側面を形成する材料の屈折率を N_n とするとき、

$$0.50 < N_p \times R_{L1end} / (N_n \times R_{L2}) < 5.00$$

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 項に記載の撮影光学系。

50

【請求項 6】

前記第 2 レンズ群は 1 つの負レンズから構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の撮影光学系。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項の撮影光学系と前記撮影光学系によって形成された像を受光する光電変換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】

本発明は撮影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を用いた写真用カメラや、固体撮像素子を用いたビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、TVカメラ、監視用カメラ等に好適なものである。

10

【背景技術】

【0002】

従来、長焦点距離の撮影光学系として、物体側から像側へ順に、正の屈折力を有する前方レンズ群と、負の屈折力を有する後方レンズ群より成る、所謂望遠タイプの撮影光学系（望遠レンズ）が知られている（特許文献 1～3）。

【0003】

一般的に 35mmフィルム換算（以下同様である）で焦点距離が 300mm を超えるような望遠レンズは、その他の撮影レンズに比べてレンズ全長が長く、また第 1 レンズ群のレンズ有効径が他のレンズ群と比較して大きい。このような望遠タイプの撮影光学系においては、第 1 レンズ群よりも像側の比較的軽量のレンズ群を動かすことでフォーカシングを行う、所謂インナーフォーカスを採用したものが多い。

20

【0004】

特許文献 1 は焦点距離 293mm～391mm で F ナンバー 2.9～4.1 程度のレンズ全長が短い望遠レンズを開示している。そして物体側から数えて第 2 番目の負の屈折力の第 2 レンズ群を像側に動かすことで無限遠物体から近距離物体にフォーカシングを行っている。また、特許文献 2 はフォーカシングの際に単一のレンズ群ではなくて、2 つ以上のレンズ群を同時に動かす方式を用いた焦点距離 300mm で F ナンバー 2.85 程度の大口径比の望遠レンズを開示している。

30

【0005】

また特許文献 3 は、フォーカシングに際して 2 つのレンズ群を動かして、等倍撮影まで可能にした焦点距離 180mm で F ナンバー 3.6 程度、撮影レンズ（マクロレンズ）を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2009 - 271354 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 004698 号公報

【特許文献 3】特開 2005 - 062211 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

望遠レンズでは前方レンズ群（前群）が大型で高重量となるため前方レンズ群でフォーカスをせず、レンズ群中の一部の小型軽量のレンズ群でフォーカスをするインナーフォーカス方式を用いているのが多い。インナーフォーカス方式は、撮影可能な物体距離を短くし、かつ高速にフォーカスするのが容易である。

【0008】

しかしながらインナーフォーカス方式を採用すると多くの場合フォーカスの際に収差変動が多くなる。特に撮影可能な物体距離を短くすると諸収差が多く発生し、このときの収

50

差を補正するのが大変困難になってくる。

【0009】

望遠レンズにおいて、インナーフォーカス方式を採用し、かつフォーカスに際して2つ以上のレンズ群を移動させる方式を用いると、フォーカスに際しての収差変動を軽減することが容易となる。

【0010】

しかしながら単に2つ以上のレンズ群を用いてフォーカスをしただけでは、フォーカスの際の収差変動を軽減するのが困難となる。望遠レンズにおいて、2つ以上のレンズ群を移動させてフォーカスを行うときには移動させる2つ以上のレンズ群の選択及びレンズ群の構成を適切に設定することが重要である。これらが不適切であるとレンズ全長が長くなり、かつフォーカスに際しての収差変動を良好に補正するのが困難になる。

10

【0011】

特に撮影倍率が0.5倍以上となるような至近距離物体での撮影においては、球面収差や像面湾曲等の諸収差が多く発生し、これらの諸収差を補正するのが大変困難になってくる。

【0012】

本発明は、フォーカスが容易でしかも、撮影可能な物体距離を短くしてもフォーカスの際の収差変動が少なく、高画質の画像が容易に得られる撮影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】

本発明の撮影光学系は、物体側から像側へ順に、フォーカシングのためには不動で正の屈折力の第1レンズ群、フォーカシングのために移動する負の屈折力の第2レンズ群、正又は負の屈折力のレンズ群を1以上含む後続レンズ群を有する撮影光学系において、

20

前記後続レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ部は、フォーカシングに際して前記第2レンズ群と関連付けて光軸上を移動し、

全系の焦点距離を f 、

前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 、

前記撮影光学系の最も物体側レンズの物体側面頂点から像面までの距離を L とするとき

$$0.050 < L \times f_1 / f^2 < 0.250$$

30

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、フォーカスが容易でしかも、撮影可能な物体距離を短くしてもフォーカスの際の収差変動が少なく、高画質の画像が容易に得られる撮影光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】(A), (B), (C) 本発明の実施例1の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

40

【図2】(A), (B), (C) 本発明の実施例2の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図3】(A), (B), (C) 本発明の実施例3の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図4】(A), (B), (C) 本発明の実施例4の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図5】(A), (B), (C) 本発明の実施例5の撮影光学系の物体距離無限遠時に

50

おけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図6】(A), (B), (C) 本発明の実施例6の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図7】(A), (B), (C) 本発明の実施例7の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図8】(A), (B), (C) 本発明の実施例8の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図9】(A), (B), (C) 本発明の実施例9の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図、無限遠物体にフォーカスしたときの収差図、至近距離物体にフォーカスしたときの収差図である。

【図10】本発明の撮像装置の説明図

【図11】本発明の撮像光学系の近軸屈折力配置の模式図

【図12】本発明の撮像光学系の近軸屈折力配置の模式図

【図13】従来の望遠レンズの近軸屈折力配置の模式図

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下に本発明の好ましい実施の形態を、添付の図面に基づいて詳細に説明する。本発明の撮影光学系は物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群、正又は負の屈折力のレンズ群を1以上含む後続レンズ群より構成されている。第2レンズ群は、無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際して光軸上を像側へ移動し、更に後続レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ群は、フォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて光軸上を移動している。

【0017】

尚、ここで言う「フォーカシング」とは「フォーカス」とも言い、無限遠物体や有限距離の物体に撮影光学系の焦点を合わせる操作のことを言う。また「第2レンズ群と関連付けて光軸上を移動し」とは、例えばフォーカシング可能な全物体距離範囲（無限遠物体から至近距離物体）へのフォーカシング時に第2レンズ群と同一速度又は異なった速度で同時に移動することをいう。又はある特定の物体距離範囲においてのみ移動すること等をいう。

【0018】

図1(A)乃至図9(A)は、本発明の撮影光学系の実施例1乃至実施例9のレンズ断面図である。また図1(B)乃至図9(B)は本発明の撮影光学系の実施例1乃至実施例9の無限遠物体にフォーカシングした時の縦収差図である。図1(C)乃至図9(C)は本発明の撮影光学系の実施例1乃至実施例9の最も至近距離物体にフォーカシングした時の縦収差図である。また図10は本発明の撮影光学系をカメラ本体に装着した一眼レフカメラシステム（撮像装置）の要部概略図である。

【0019】

各レンズ断面図において、L0は撮影光学系である。SPは開口絞りである。撮影光学系L0は正の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、正又は負の屈折力のレンズ群を1以上有する後続レンズ群LRより構成されている。IPは像面であり、ビデオカメラやデジタルカメラの撮影光学系として使用する際には像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面が、銀塩フィルム用カメラの撮影光学系として使用する際にはフィルム面に相当する。

【0020】

各収差図において、d、gは順に、d線、g線である。M、Sはメリディオナル像面、サジタル像面である。倍率色収差はg線によって表している。FnoはFナンバー、は

10

20

30

40

50

撮影半画角（度）である。すべての収差図において、球面収差は0.4mm、非点収差は0.4mm、歪曲は2%、倍率色収差は0.05mmのスケールで描かれている。

【0021】

本発明の撮影光学系は望遠レンズ（望遠タイプのレンズ系）より成り、その特徴とする構成は次のとおりである。望遠レンズにおける課題の1つに撮影可能な物体距離の短縮化（至近距離化）がある。一般的に望遠レンズは、光軸と瞳近軸光線の交わる点より物体側のレンズのレンズ有効径の方が、像側のレンズのレンズ有効径よりも大きい。望遠レンズにおいて有限距離物体へのフォーカシングについては、第1レンズ群よりも像側の比較的軽量のレンズ群を動かすことでフォーカシングを行う、いわゆるインナーフォーカスを採用しているものが多い。

10

【0022】

こうすることで重量の重い第1レンズ群やレンズ系全体を繰り出しをすることなくフォーカシングを容易に行っている。また軽量のレンズ群を動かすのでフォーカス機構が容易になる。しかしながら、インナーフォーカス方式は、フォーカスレンズ群を固定レンズ群との間で動かすため、フォーカスレンズ群を動かせる移動範囲に限度がある。また多くの望遠タイプのレンズ構成では、フォーカスレンズ群以外のレンズ群とのパワーバランスから、フォーカスレンズ群のパワーを単独に強めてフォーカスレンズ群の移動量を短くすると収差が多く発生し、収差補正が困難になる。

【0023】

このため撮影可能な物体距離（近距離物体）を短くすることが困難であった。また近年、回折光学素子や異常分散材料などを光学設計に応用したレンズ全長の短い望遠レンズが種々提案されてきている。これは正の屈折力を持つ第1レンズ群のパワーを大きくすることでレンズ全長を短縮している（例えば特許文献1）。

20

【0024】

しかしながらフォーカスレンズ群を含めた全体的なレンズ構成は従来のレンズ構成とほとんど変わっていないため、前述したインナーフォーカスを採用したときの課題は残っていた。またレンズ全長が短いため固定レンズ群同士の間隔も狭くなり、フォーカスレンズ群の移動範囲が制約される。このため、撮影可能な物体距離の短縮化がより難しくなっていた。

【0025】

本発明の撮影光学系ではレンズ全長を短縮しつつ、撮影可能な物体距離の短縮化を容易にしている。

30

【0026】

本発明の撮影光学系は、物体側から像側へ順に、フォーカシング時に不動の正の屈折力の第1レンズ群、フォーカシング時に移動する負の屈折力の第2レンズ群、正または負の屈折力のレンズ群を1以上有する後続レンズ群を有している。後続レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ群が、フォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて光軸上を移動している。このようにフォーカシングする際に、第2レンズ群及び第2レンズ群と関連付けて1つ以上のレンズ群を動かすことにより、フォーカス感度を複数のレンズ群に分担している。

40

【0027】

これにより1つのレンズ群あたりのフォーカス移動量を低減させたり、フォーカシングによる収差変動を低減させている。

【0028】

次に、インナーフォーカス方式をとり、レンズ全長を短縮した望遠レンズにおいて、フォーカシングする際に複数のレンズ群を動かすと、1つのレンズ群あたりのフォーカス移動量を低減させることができるメカニズムについて説明する。

【0029】

望遠レンズにおいて負の屈折力の第2レンズ群のみを像側へ動かして、無限遠物体から近距離物体にフォーカシングすると、次のような横倍率の変化が起こる。正の屈折力の第

50

1 レンズ群の横倍率はゼロから負の方向に増大し、第2レンズ群の横倍率は正の値を維持しながら減少する。第3レンズ群以降の後続レンズ群は移動しないため、横倍率の変化はない。このように第2レンズ群では横倍率が減少するものの、第1レンズ群の横倍率の絶対値がゼロから増大する。このため、機構上最も近距離物体にフォーカシングした場合の横倍率の絶対値がおよそ0.1~0.2の間となっていた。

【0030】

しかし、これ以上の距離の短い近距離物体へフォーカシングすることは、第2レンズ群だけではパワーバランスやレンズ群間隔の制約から難しい。

【0031】

そこで本発明の撮影光学系では、近距離物体へフォーカシングする際に第2レンズ群L2よりも像側のレンズ群を第2レンズ群L2と関連させて動かしている。これにより第2レンズ群L2の横倍率の減少量を低減させたり、第2レンズ群L2よりも像側のレンズ群の横倍率を増大させている。こうすることで、近距離物体へのフォーカシング時の全体の横倍率を従来よりも大幅に大きくして、撮影倍率0.5以上で撮影できるようにしている。

10

【0032】

次にこのインナーフォーカス方式をとり、レンズ全長を短縮した望遠レンズにおいて、フォーカシングする際に第2レンズ群と関連させて1以上のレンズ群を動かすと、収差変動を低減することができるメカニズムについて説明する。

【0033】

図13は負の屈折力の第2レンズ群が移動することでフォーカシングを行う従来の望遠レンズの模式図である。図13(A)は無遠距離物体にフォーカシングしている状態、図13(B)は第2レンズ群L2を矢印の如く像面側へ移動させて近距離物体にフォーカシングしている状態を示している。この場合、無遠距離物体にフォーカシングしているときと近距離物体にフォーカシングしているときでは第1レンズ群L1と第2レンズ群L2を通過する軸上光線の入射高さや瞳近軸光線の通過位置がそれぞれ変化している。

20

【0034】

これにより発生する球面収差や像面湾曲の変動を、従来は第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の中でキャンセルさせるようなパワー配置やレンズ形状を取っていた。しかしながら、従来以上に近距離の物体にフォーカシングしようとするとき、球面収差や像面湾曲の変動が大きくなりすぎる。このため、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の中だけではこれらの収差をキャンセルすることができなくなってしまう。

30

【0035】

そこで、本発明は第2レンズ群L2よりも像側に少なくとも1つのレンズ群よりなる後続レンズ群を配置している。更にこの後続レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ群をフォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて移動させることで、フォーカシング時の球面収差の変動や像面湾曲などの軸外収差の変動を低減している。

【0036】

次にそのメカニズムを具体的に説明する。望遠レンズにおいて、瞳近軸光線が光軸と交わる位置付近では、瞳近軸光線がレンズの中心付近を通過するため、諸収差の中でも特に球面収差が多く発生する。図11(A)、(B)はフォーカシングによる球面収差の変動を低減するための説明図である。

40

【0037】

図11(A)、(B)に示すように像面湾曲等の軸外収差の発生が少ない瞳近軸光線が光軸と交わる位置付近のレンズ部(レンズ群)G_{m1}をフォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて動かせばよい。レンズ部G_{m1}の屈折力の符号や移動方向は、第1レンズ群や第2レンズ群とのキャンセル関係の違いにより異なり、様々な解が得られる。

【0038】

例えば、レンズ部G_{m1}を正の屈折力を持つレンズ又はレンズ群とする。この時は、発生する球面収差の変動を正の屈折力の第1レンズ群L1とレンズ部G_{m1}の合成球面収差

50

の変動量と、負の屈折力の第2レンズ群L2による球面収差の変動量とでキャンセルすることが可能となる。レンズ部G_{m1}の動かす方向は、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の収差バランスにより決まってくる。

【0039】

もし近距離物体になればなるほど第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成球面収差変動量がマイナスの方向になるならば、レンズ部G_{m1}を物体側へ動かせばよい。図11(A)(B)はその時の例である。こうするとレンズ部G_{m1}を通過する軸上光線の入射高さが高くなるので、球面収差が無遠物体にフォーカスするよりも多く発生し、変動量の合計をゼロに近づけることができる。

【0040】

またその逆に近距離物体になればなるほど第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成球面収差変動量がプラスの方向になるならば、レンズ部G_{m1}を像側へ動かせばよい。もしレンズ部G_{m1}が負の屈折力を持つのであれば、第1レンズ群L1の球面収差変動量と第2レンズ群L2とレンズ部G_{m1}の合成球面収差の変動量とで前記同様にキャンセルさせればよい。また像面湾曲等の軸外収差のフォーカスの際の変動を低減させようとするならば、図12(A),(B)のように、より像面に近いレンズ又はレンズ群よりなるレンズ部G_{i1}をフォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて動かせばよい。

【0041】

瞳近軸光線が光軸と交わる位置から像側へ行けば行くほど軸上光線の入射高さが低くなり、瞳近軸光線がレンズの周辺部分を通過する。このため、より像側のレンズ(群)を動かすことで、球面収差にあまり影響を与えずに像面湾曲等の軸外収差を補正することができるからである。レンズ部G_{i1}の屈折力の符号や移動方向であるが、これも前述のレンズ部G_{m1}の時と同様にキャンセル関係の違いにより異なり、様々な解が得られる。

【0042】

例えば、レンズ部G_{i1}を正の屈折力を持つレンズ(群)とする。第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成の像面湾曲の変動がプラスの方向であるならば、フォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けてレンズ部G_{i1}を物体側に動かせばよい。そうすると、無限遠物体にフォーカシングする時よりも近距離物体にフォーカシングする時の方がレンズ部G_{i1}を通過する軸外光線の入射高さが低くできる。こうなると、レンズ部G_{i1}での像面湾曲の変動量をマイナス方向にすることができるため、全体として像面湾曲の変動量をゼロに近づけることができる。

【0043】

また逆に、1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成の像面湾曲変動がマイナスの方向であるならば、レンズ部G_{i1}を像側に動かせばよい。もしレンズ部G_{i1}が負の屈折力を持つのであれば、第1レンズ群L1の像面湾曲の変動量と第2レンズ群L2とレンズ部G_{i1}との合成像面湾曲変動量とで前記同様にキャンセルさせればよい。また更に、球面収差と軸外収差の両方のフォーカスの際の変動を低減しようとするならば、瞳近軸光線が光軸と交わる位置付近と像側のレンズの両方を動かせばよい。

【0044】

そこで各実施例の撮影光学系は、第2レンズ群L2を像側に移動させることによって無限遠物体から近距離物体にフォーカシングを行う。これにより、光学系全体や第1レンズ群L1全体を移動させてフォーカスすることに比して格段に小さい駆動装置でフォーカスすることが容易となる。また、第1レンズ群L1のパワーを適切にすることにより、第2レンズ群L2のパワーを強くすることができ、短い移動距離で同じ距離の近距離物体にフォーカシングすることが可能となる。

【0045】

また各実施例の撮影光学系は後続レンズ群のうち少なくとも1つをフォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて移動させている。これにより、第2レンズ群L2のフォーカス感度を分担したり、フォーカシング時の球面収差の変動や像面湾曲などの軸外収差の変動を低減している。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

各実施例の撮影光学系 L 0 において、全系の焦点距離を f、第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離を f_1 、撮影光学系の最も物体側レンズの物体側面頂点から像面までの距離を L とする。このとき、

$$0.050 < L \times f_1 / f^2 < 0.250 \quad \dots (1)$$

なる条件を満足している。

【 0 0 4 7 】

各実施例では条件式 (1) を満足しつつ、後続レンズ群 L R のうちの少なくとも 1 つのレンズ群がフォーカシングする際に第 2 レンズ群 L 2 と関連付けて光軸上を移動させている。これにより、撮影可能な物体距離を短縮している。また、このような望遠タイプのレンズ構成とすることで、レンズ全長をあまり長くせず、レンズ全系の焦点距離を長くすることを容易にしている。そうすることで、撮像倍率が 0.5 倍を超える高倍率な撮影時でも最短の撮影距離を長くしている。

10

【 0 0 4 8 】

次に前述の条件式 (1) の技術的意味について説明する。条件式 (1) は撮影光学系 L 0 の第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離とレンズ全長 (第 1 レンズ面から像面までの距離) に関する。望遠レンズにおいて第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離とレンズ全長は密接に関わっており、第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離を短くするとレンズ全長も短くできる。しかし第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離を短く保ったままレンズ全長を長くしたり、また逆に第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離を長くしてレンズ全長を短くしようとする、球面収差やコマ収差が多く残り、これらの諸収差を補正することが困難となる。

20

【 0 0 4 9 】

このような関係から、条件式 (1) の上限値を超えると、第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離が長くなりすぎるかレンズ全長が長くなる。第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離が長くなると、第 2 レンズ群 L 2 の焦点距離とのバランスがとれなくなり、フォーカシング時に第 1 レンズ群 L 1 と第 2 レンズ群 L 2 で発生する球面収差やコマ収差等を補正することが難しくなる。またレンズ全長が長くなると全系のコンパクト化が難しくなる。

【 0 0 5 0 】

一方、条件式 (1) の下限値を超えると、第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離が短くなりすぎるか、レンズ全長が短くなる。レンズ全長が短くなると、全系のコンパクト化が容易となるが、第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離が短くなりすぎる。そうすると、球面収差や軸上色収差等の補正が困難となる。条件式 (1) は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

30

【 0 0 5 1 】

$$0.100 < L \times f_1 / f^2 < 0.225 \quad \dots (1a)$$

条件式 (1a) は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【 0 0 5 2 】

$$0.140 < L \times f_1 / f^2 < 0.190 \quad \dots (1b)$$

以上のような構成とすることで最短の撮影距離が短く良好なる光学性能の撮影光学系を得ている。

【 0 0 5 3 】

本発明において、更に好ましくは次に述べる条件のうち少なくとも 1 つを満足するのが良く、これによれば更なる撮影距離の短縮効果と高い光学性能が容易に得られる。

40

【 0 0 5 4 】

撮影光学系は、第 1 レンズ群 L 1 よりも像側に開口絞り S P を有していることが好ましい。そうすることで開口絞り径を小さくことができ、開口絞りユニットの小型化が容易になるため全系の軽量化が容易になる。そして後続レンズ群 L R のうちフォーカシングする際に第 2 レンズ群 L 2 と関連付けて光軸上を移動するレンズもしくはレンズ群をレンズ部 G_{m1} とする。このとき、無限遠物体へフォーカシングしているときのレンズ部 G_{m1} の最も物体側面から開口絞り S P までの距離の絶対値を d_{m1} とする。

【 0 0 5 5 】

50

第2レンズ群の屈折力を n_2 、レンズ部 G_{m1} の屈折力を n_{m1} 、フォーカシングに際しての第2レンズ群L2の最大移動量を M_2 、フォーカシングに際してのレンズ部 G_{m1} の最大移動量を M_{m1} とする。また後続レンズ群LRのうちフォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動するレンズもしくはレンズ群をレンズ部 G_{i1} とする。このとき、無限遠物体へフォーカシングしているときのレンズ部 G_{i1} の最も物体側面から像面までの距離の絶対値を d_{i1} とする。

【0056】

レンズ部 G_{i1} の屈折力を n_{i1} 、フォーカシングに際してのレンズ部 G_{i1} の最大移動量を M_{i1} とする。第2レンズ群の焦点距離を f_2 とする。第1レンズ群L1の最も像側に配置されているレンズ部 L_{1end} は、正の屈折力の単レンズもしくは合成屈折力が正の屈折力を有する接合レンズである。レンズ部 L_{1end} の最も物体側面の曲率半径を R_{L1end} 、レンズ部 L_{1end} の最も物体側面を形成する材料の屈折率を N_p 、第2レンズ群L2の最も像側面の曲率半径を R_{L2} 、第2レンズ群L2の最も像側面を形成する材料の屈折率を N_n とする。

10

【0057】

このとき、以下の条件式のうち1以上を満足するのが良い。

$$0.00 < d_{m1}/L < 0.20 \quad \dots (2)$$

$$1.0 < n_2 \times M_2 / (n_{m1} \times M_{m1}) < 100.0 \quad \dots (3)$$

$$0.000 < d_{i1}/L < 0.350 \quad \dots (4)$$

$$1.0 < n_2 \times M_2 / (n_{i1} \times M_{i1}) < 100.0 \quad \dots (5)$$

$$-0.240 < f_2/f < -0.050 \quad \dots (6)$$

$$-2.40 < f_1/f_2 < -0.50 \quad \dots (7)$$

$$0.50 < N_p \times R_{L1end} / (N_n \times R_{L2}) < 5.00 \quad \dots (8)$$

20

ここで、条件式(3)、(5)式中の n_{m1} 、 n_{i1} は、レンズ部 G_{m1} やレンズ部 G_{i1} を複数有した場合、レンズ部 G_{m1} やレンズ部 G_{i1} の数だけ和を取るという意味である。

【0058】

条件式(2)は、第2レンズ群L2よりも像側のレンズ群で、フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動するレンズ部 G_{m1} の光軸方向の位置に関する。上述したように、フォーカシングによる球面収差の変動を低減しようとするならば条件式(2)の範囲内のレンズ部を動かすのが好ましい。

【0059】

条件式(2)の上限値を超える位置に配置されているレンズ部を動かすと、瞳近軸光線が光軸と交わる位置から遠くになってしまうため、球面収差に加えて像面湾曲も多く発生してくる。そうすると球面収差と像面湾曲のバランスがとりづらくなり好ましくない。また条件式(2)は距離の絶対値を取り扱っているため下限値は超えることがない。条件式(2)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

30

【0060】

$$0.00 < d_{m1}/L < 0.10 \quad \dots (2a)$$

条件式(3)は、第2レンズ群L2と、第2レンズ群L2よりも像側のレンズ群で、フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動するレンズ部 G_{m1} の最大移動量に関する。条件式(3)の上限値または下限値を超えると、第2レンズ群L2又はレンズ部 G_{m1} のどちらかの移動量が極端に大きくなってしまふ。そうすると移動するための空間を広く確保しなければならず、レンズ全長が長くなってしまふため好ましくない。

40

【0061】

条件式(3)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$2.0 < n_2 \times M_2 / (n_{m1} \times M_{m1}) < 90.0 \quad \dots (3a)$$

条件式(4)は、第2レンズ群L2よりも像側の群で、フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動するレンズ部 G_{m1} とは異なるレンズ部 G_{i1} の光軸上の位置に関する。

【0062】

50

上述したように、像面湾曲等の軸外収差のフォーカスに際しての変動を低減しようとするならば条件式(4)の範囲内のレンズ部を動かすのが好ましい。条件式(4)の上限値を超える位置に配置されているレンズ部を動かすと、瞳近軸光線が光軸と交わる位置に近づいてしまうため、像面湾曲等の軸外収差に加えて球面収差も多く発生してくる。そうすると球面収差と軸外収差のバランスがとりづらくなり好ましくない。また条件式(4)は距離の絶対値を取り扱っているため下限値は超えることがない。条件式(4)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0063】

$$0.000 < d_{i1} / L < 0.310 \quad \dots (4a)$$

条件式(5)は、第2レンズ群L2と、第2レンズ群L2よりも像側の群で、フォーカシングの際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動するレンズ部G_{i1}の最大移動量に関する。条件式(5)の上限値または下限値を超えると、第2レンズ群L2又はレンズ部G_{i1}のどちらか移動量が極端に大きくなってしまふ。そうすると移動するための空間を広く確保しなければならず、レンズ全長が長くなってしまふため好ましくない。

10

【0064】

条件式(5)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$2.0 < \frac{M_2}{M_{i1}} < 50.0 \quad \dots (5a)$$

条件式(5a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$2.0 < \frac{M_2}{M_{i1}} < 30.0 \quad \dots (5b)$$

条件式(6)は、第2レンズ群L2の焦点距離に関する。

20

【0065】

条件式(6)の上限値を超えると第2レンズ群L2の焦点距離が短くなりすぎてしまい、第1レンズ群L1との収差補正のバランスがとりづらくなるため好ましくない。また条件式(6)の下限値を超えると、第2レンズ群L2の焦点距離が長くなってしまふため、第2レンズ群L2でのフォーカシングするときに必要な移動量が多くなってしまふ。そうするとレンズ全長が長くなってしまふため好ましくない。

【0066】

条件式(6)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$-0.200 < f_2 / f < -0.075 \quad \dots (6a)$$

条件式(6a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$-0.180 < f_2 / f < -0.100 \quad \dots (6b)$$

条件式(7)は、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の焦点距離の比に関する。

30

【0067】

条件式(7)の上限値を超えると、第2レンズ群L2の焦点距離に比較して第1レンズ群L1の焦点距離が短くなりすぎる。そうするとレンズ全長の短縮には効果があるが、第1レンズ群L1で発生した球面収差を第2レンズ群L2以降のレンズ群でキャンセルすることが困難となり、球面収差が残存してしまふため好ましくない。また、条件式(7)の下限値を超えると、第2レンズ群L2の焦点距離に比較して第1レンズ群L1の焦点距離が長くなりすぎる。そうするとレンズ全長が長くなってしまふため好ましくない。

【0068】

条件式(7)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$-2.40 < f_1 / f_2 < -1.00 \quad \dots (7a)$$

条件式(7a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$-2.30 < f_1 / f_2 < -1.40 \quad \dots (7b)$$

条件式(8)は、第1レンズ群L1の最も像側に配置されたレンズ部R_{L1end}と第2レンズ群L2の最も像側に配置されたレンズにおける材料と面形状に関する。

40

【0069】

第2レンズ群L2がフォーカシングに際して移動する際に発生する球面収差の変動を低減させるには次のように設定するのが好ましい。第1レンズ群L1の最も像側に配置されたレンズの物体側面と第2レンズ群L2の最も像側の面を構成する材料の屈折率とレンズ

50

形状を適切に設定する。

【0070】

条件式(8)の上限値または下限値を超えると、第1レンズ群L1の最も像側に配置されたレンズの物体側面と第2レンズ群L2の最も像側の面のパワー比がどちらかに大きく偏ってしまう。このため、フォーカシングに際して発生する球面収差の変動が大きくなってしまふ。そうなると、レンズ系全体で球面収差が残存してしまうので好ましくない。

【0071】

条件式(8)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$0.75 < N_p \times R_{L_{1end}} / (N_n \times R_{L_2}) < 4.00 \quad \dots (8a)$$

条件式(8a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

$$1.00 < N_p \times R_{L_{1end}} / (N_n \times R_{L_2}) < 3.00 \quad \dots (8b)$$

また第2レンズ群L2は1つの負レンズから構成されていることが好ましい。1枚とすることで、軽量化が容易であり、フォーカシング機構のモーターへの負荷を減らすことができるため小型化につながり好ましい。

【0072】

以上のように各実施例によればレンズ全長を短縮した望遠レンズにおいて、撮影可能な物体距離を短くしつつ、0.5倍以上の撮影倍率で撮影可能であり諸収差が良好に補正された撮影光学系及びそれを有する撮像装置が得られる。

【0073】

次に各実施例のレンズ構成の特徴について説明する。各レンズに付した符号のレンズは前述した各レンズに付した符号のレンズと対応している。まず各実施例で共通しているレンズ構成を説明する。各実施例では、最も物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、正又は負の屈折力の1以上のレンズ群を含む後続レンズ群LRを有している。そして第1レンズ群L1よりも像側に開口絞りSPを有している。

【0074】

無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際しては前記第2レンズ群L2が光軸上を像側へ移動し、更に後続レンズ群LRのうち少なくとも1つのレンズ部が第2レンズ群L2と関連付けて像側または物体側へ光軸上を移動する。次に各実施例の構成について説明する。

【0075】

[実施例1]

以下、図1を参照して、実施例1の撮影光学系について説明する。実施例1の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率-1.02までの横倍率で撮影可能である。図1(A)は実施例1の撮影光学系の断面図(レンズ断面図)である。第1レンズ群L1は3つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、接合レンズの接合面に配置されている。条件式(8)に対応するレンズ部L_{1end}は物体側から数えて3番目の両凸形状の正レンズである。

【0076】

第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されている。開口絞りSPは第2レンズ群L2の像側に配置されている。開口絞りSPの像側に後続レンズ群LRが配置されている。後続レンズ群LRは、物体側から像側へ順に、フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動する正の屈折力の第3レンズ群L3と、フォーカシングのためには不動の負の屈折力の第4レンズ群L4から構成されている。第3レンズ群L3がレンズ部G_{m1}に対応している。

【0077】

本実施例では、開口絞りSP付近の正の屈折力のレンズ群(第3レンズ群L3)を無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群と同時に像側へ

10

20

30

40

50

移動させている。これにより、第3レンズ群L3を通る軸上光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、第3レンズ群L3よりも物体側のレンズで発生した球面収差のフォーカスに際しての変動を各被写体位置でバランスさせ、全体として収差量を低減している。

【0078】

また無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際して第3レンズ群L3を像側へ移動させることにより、第3レンズ群L3の横倍率を大きくすることができる。このため、等倍撮影までのフォーカシングに際しての第2レンズ群L2の移動量を少なくする効果も持たせている。

【0079】

[実施例2]

以下、図2を参照して、実施例2の撮影光学系について説明する。実施例2の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率-2までの横倍率で撮影可能である。

【0080】

図2(A)は実施例2の撮影光学系の断面図である。実施例2では色収差の補正のために光学素子NLを2つ有している。光学素子NLの材料は2つとも表-1に示すような光学特性を有しており、紫外線を照射することによって硬化する特性を有する樹脂材料である。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正の屈折力の光学素子NL、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構成している。

【0081】

条件式(8)に対応するレンズ部 $L_{1, \text{end}}$ は最も像側の両凸形状の正レンズである。第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されており、物体側の面が非球面形状である。開口絞りSPは第2レンズ群L2の像側に配置されている。

【0082】

開口絞りSPの像側に後続レンズ群LRが配置されている。後続レンズ群LRは、物体側から像側へ順に、フォーカシングのためには不動の負の屈折力の第3レンズ群L3と、フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて光軸上を移動する正の屈折力の第4レンズ群L4から構成されている。第3レンズ群L3の最も像側には接合レンズがあり、その接合面に2つ目の光学素子NLを負の屈折力で配置している。第3レンズ群L3と第4レンズ群L4の最も物体側の面は非球面形状である。第4レンズ群L4がレンズ部 G_{i1} に対応している。

【0083】

本実施例では、像面付近の正の屈折力のレンズ群(第4レンズ群L4)を無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群と同時に物体側に移動させている。こうすることにより、第4レンズ群L4を通る瞳近軸光線の入射高さを低くすることができる。こうすることで、近距離物体にフォーカシングした時に第4レンズ群L4で発生する像面湾曲の量を低減させている。

【0084】

[実施例3]

以下、図3を参照して、実施例3の撮影光学系について説明する。実施例3の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率-1までの横倍率で撮影可能である。図3(A)は実施例3の撮影光学系の断面図である。実施例3では色収差の補正のために光学素子NLを2つ有しており、2つともその光学特性や物性は実施例2で説明したものと同一のものである。

【0085】

第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正の屈折力の光学素子NL、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構

10

20

30

40

50

成している。条件式(8)に対応するレンズ部 $L_{1\text{end}}$ は第1レンズ群L1の最も像側の両凸形状の正レンズである。第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されており、物体側の面が非球面形状である。

【0086】

後続レンズ群LRとして、物体側から像側へ順に開口絞りSPと正の屈折力の第3レンズ群L3が配置されており、フォーカシングする際に第2レンズ群と関連付けて開口絞りと共に光軸上を移動している。第3レンズ群L3の最も像側から2番目のレンズは接合レンズであり、その接合面に2つ目の光学素子NLを負の屈折力で配置している。第3レンズ群L3の最も物体側の面と、最も像側に配置された両凸形状の正レンズの物体側の面は非球面形状である。第3レンズ群L3がレンズ部 G_{m1} に対応している。

10

【0087】

本実施例では、無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群と同時に第2レンズ群L2よりも像側のレンズ群(第3レンズ群L3)が全て一体となって物体側へ動いている。こうすることにより、開口絞りSP付近のレンズでは軸上光線の入射高さを、そして像側のレンズでは瞳近軸光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、球面収差や像面湾曲のフォーカスに際しての変動をバランスさせて、全体として収差量を低減させている。

【0088】

[実施例4]

以下、図4を参照して、実施例4の撮影光学系について説明する。実施例4の撮影光学系は無限遠物体から撮影倍率-1までの横倍率で撮影可能である。図4(A)は実施例4の撮影光学系の断面図である。

20

【0089】

実施例4では色収差の補正のために光学素子NLを2つ有しており、2つともその光学特性や物性は実施例2で説明したものと同一のものである。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正の屈折力の光学素子NL、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構成している。

【0090】

条件式(8)に対応するレンズ部 $L_{1\text{end}}$ は第1レンズ群L1の最も像側の両凸形状の正レンズである。第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されており、物体側の面が非球面形状である。開口絞りSPは第2レンズ群L2の像側に配置されている。

30

【0091】

後続レンズ群LRとして、物体側から像側へ順に、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、そして正の屈折力の第5レンズ群L5が配置されている。無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群L2と同時に第3レンズ群L3と第5レンズ群L5が光軸上を移動している。第4レンズ群L4の最も像側のレンズは接合レンズであり、その接合面に2つ目の光学素子NLを負の屈折力で配置している。第3レンズ群L3の最も物体側の面と、第5レンズ群L5の最も物体側の面は非球面形状である。

40

【0092】

第3レンズ群L3がレンズ部 G_{m1} に、そして第5レンズ群L5がレンズ部 G_{i1} に対応している。

【0093】

本実施例では、無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際して開口絞りSP付近の正の屈折力のレンズ群(第3レンズ群L3)を物体側に移動させることにより、第3レンズ群L3を通る軸上光線の高さを変化させることができる。こうすることで、第3レンズ群L3よりも物体側のレンズで発生した球面収差のフォーカスに際しての変動を各物

50

体距離でバランスさせ、全体として収差量を低減している。

【0094】

また、像面付近の正の屈折力のレンズ群（第5レンズ群L5）を無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングに際して物体側に移動させることにより、瞳近軸光線の入射高さを低くすることができる。こうすることで、近距離物体にフォーカシングした時に第5レンズ群L5で発生する像面湾曲の量を低減させている。

【0095】

[実施例5]

以下、図5を参照して、実施例5による撮影光学系について説明する。実施例5の撮影光学系は無限遠物体から撮影倍率-1までの横倍率で撮影可能である。

10

【0096】

図5(A)は実施例5の撮影光学系の断面図である。実施例5では色収差の補正のために光学素子NLを2つ有しており、2つともその光学特性や物性は実施例2で説明したものと同一のものである。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、前記接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正の屈折力の光学素子NL、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構成している。

【0097】

条件式(8)に対応するレンズ部 $L_{1, \text{end}}$ は第1レンズ群L1の最も像側の両凸形状の正レンズである。第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されており、物体側の面が非球面形状である。開口絞りSPは第2レンズ群L2の像側に配置されている。

20

【0098】

後続レンズ群LRとして、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第3レンズ群L3、正の屈折力の第4レンズ群L4、そして負の屈折力の第5レンズ群L5が配置されている。フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて第3レンズ群L3と第4レンズ群L4が光軸上を移動している。第5レンズ群L5の最も像側から2番目のレンズは接合レンズであり、その接合面に2つ目の光学素子NLを負の屈折力で配置している。第3レンズ群L3の最も像側の面と、第5レンズ群L5の最も像側の正レンズの物体側の面は非球面形状である。

30

【0099】

第3レンズ群L3と第4レンズ群L4の両方がレンズ部 $G_{m, 1}$ に対応している。本実施例では、開口絞りSP付近の負の屈折力のレンズ群（第3レンズ群L3）と正の屈折力のレンズ群（第4レンズ群L4）を共に無限遠物体から近距離物体へフォーカシングする際に物体側に移動させている。これにより、それぞれのレンズ群を通る軸上光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、第3レンズ群L3よりも物体側のレンズで発生した球面収差のフォーカスに際しての変動を各被写体位置でバランスさせ、全体として収差量を低減させている。

【0100】

更に、第3レンズ群L3は全ての物体距離で第2レンズ群L2と同時に移動しているが、第4レンズ群L4は、無限遠物体からある物体距離までは固定とし、それよりも近づくと移動させるようにしている。こうすることで、無限遠物体からある程度までは第3レンズ群L3のみで球面収差のフォーカス変動をキャンセルさせている。また、フォーカスの際の収差変動が大きくなりやすい近距離物体へフォーカシングに際しては、第4レンズ群L4も移動させて、球面収差のフォーカスに際しての変動をキャンセルしている。こうすることで、更に良好に球面収差のフォーカスに際しての変動を低減させている。

40

【0101】

[実施例6]

以下、図6を参照して、実施例6の撮影光学系について説明する。実施例6の撮影光学系は無限遠物体から撮影倍率-1までの横倍率で撮影可能である。

50

【 0 1 0 2 】

図 6 (A) は実施例 6 の撮影光学系の断面図である。実施例 6 では色収差の補正のために光学素子 NL を 2 つ有しており、2 つともその光学特性や物性は実施例 2 で説明したものと同一のものである。第 1 レンズ群 L 1 は 4 つの正レンズと 2 つの負レンズで構成されている。接合レンズを 2 つ有しており、物体側の接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、回折光学部 D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子 DOE を構成している。像側の接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正レンズから構成されている。

【 0 1 0 3 】

条件式 (8) に対応するレンズ部 L_{1_end} は第 1 レンズ群 L 1 の最も像側の接合レンズである。第 1 レンズ群 L 1 内の最も物体側の面と物体側の接合レンズの最も物体側の面は共に非球面である。そして第 2 レンズ群 L 2 は 1 枚の負レンズから構成されている。開口絞り SP は第 2 レンズ群 L 2 の像側に配置されている。

10

【 0 1 0 4 】

後続レンズ群 LR として、物体側から像側へ順に負の屈折力の第 3 レンズ群 L 3、正の屈折力の第 4 レンズ群 L 4、正の屈折力の第 5 レンズ群 L 5、そして正の屈折力の第 6 レンズ群 L 6 が配置されている。無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に前記第 2 レンズ群と同時に第 4 レンズ群 L 4 と第 5 レンズ群 L 5 が移動している。第 4 レンズ群 L 4 は第 3 レンズ群 L 3 との間隔を変化させながら移動し、第 5 レンズ群 L 5 は光軸上を像側に移動している。

20

【 0 1 0 5 】

光学素子 NL は第 3 レンズ群 L 3 の最も物体側の接合レンズの接合面と、第 6 レンズ群 L 6 の接合レンズの接合面にそれぞれ負の屈折力で配置している。第 3 レンズ群 L 3 の物体側から 2 番目の接合レンズの最も物体側の面と、第 5 レンズ群 L 5 の最も物体側の面は非球面形状である。第 4 レンズ群 L 4 と前記第 5 レンズ群 L 5 の両方がレンズ部 G_{i1} に対応している。

【 0 1 0 6 】

本実施例では、像面付近の複数の正の屈折力のレンズ群 (第 4 レンズ群 L 4 と第 5 レンズ群 L 5) を共にフォーカシング時に移動させることにより、瞳近軸光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、像面湾曲のフォーカスに際しての変動を各物体距離でバランスさせ、全体として収差量を低減させている。

30

【 0 1 0 7 】

[実施例 7]

以下、図 7 を参照して、実施例 7 の撮影光学系について説明する。実施例 7 の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率 - 1 までの横倍率で撮影可能である。

【 0 1 0 8 】

図 7 (A) は実施例 7 の撮影光学系の断面図である。実施例 7 では色収差の補正のために光学素子 NL を 2 つ有しており、2 つともその光学特性や物性は実施例 2 で説明したものと同一のものである。第 1 レンズ群 L 1 は 4 つの正レンズと 1 つの負レンズで構成されている。接合レンズを 1 つ有しており、接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、回折光学部 D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子 DOE を構成している。

40

【 0 1 0 9 】

条件式 (8) に対応するレンズ部 L_{1_end} は第 1 レンズ群 L 1 の最も像側の両凸形状の正レンズである。第 1 レンズ群 L 1 内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第 2 レンズ群 L 2 は 1 枚の負レンズから構成されている。開口絞り SP は第 2 レンズ群 L 2 の像側に配置されている。

【 0 1 1 0 】

後続レンズ群 LR として、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第 3 レンズ群 L 3、負の屈折力の第 4 レンズ群 L 4、そして負の屈折力の第 5 レンズ群 L 5 が配置されている。

50

フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて第4レンズ群L4が光軸上を移動している。光学素子NLは第3レンズ群L3の接合レンズの接合面と、第5レンズ群L5の最も像側の接合レンズの接合面にそれぞれ負の屈折力で配置している。第4レンズ群L4の物体側の面と、第5レンズ群L5中の両凸形状の正レンズの物体側の面は非球面形状である。第4レンズ群L4がレンズ部 G_{m1} に対応している。

【0111】

本実施例では、開口絞りSP付近の負の屈折力のレンズ群(第4レンズ群L4)を無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群L2と同時に像側に移動させている。これにより、第4レンズ群L4を通る軸上光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、第4レンズ群L4よりも物体側のレンズで発生した球面収差のフォーカスに際しての変動を各被写体位置でバランスさせ、全体として収差量を低減させている。

10

【0112】

[実施例8]

以下、図8を参照して、実施例8の撮影光学系について説明する。実施例8の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率-1までの横倍率で撮影可能である。

【0113】

図8(A)は実施例8の撮影光学系の断面図である。実施例8では色収差の補正のために光学素子NLを2つ有しており、2つともその光学特性や物性は実施例2で説明したものと同一のものである。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、前記接合レンズは物体側から像側へ順に、負レンズ、正の屈折力の光学素子NL、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構成している。条件式(8)に対応するレンズ部 L_{1end} は第1レンズ群L1の最も像側の両凸形状の正レンズである。

20

【0114】

第1レンズ群L1内の最も物体側の面と接合レンズの最も物体側の面は共に非球面形状である。そして第2レンズ群L2は1枚の負レンズから構成されており、物体側の面が非球面形状である。開口絞りSPは第2レンズ群L2の像側に配置されている。

【0115】

後続レンズ群LRとして、物体側から像側へ順に正の屈折力の第3レンズ群L3、負の屈折力の第4レンズ群L4、そして正の屈折力の第5レンズ群L5が配置されている。フォーカシングする際に第2レンズ群L2と関連付けて第4レンズ群L4が光軸上を移動している。2つ目の光学素子NLは第5レンズ群L5の接合レンズの接合面に負の屈折力で配置している。第3レンズ群L3の最も物体側の面と、第5レンズ群L5の最も物体側の面は非球面形状である。前記第4レンズ群L4が G_{i1} に対応している。

30

【0116】

本実施例では、像面付近の複数の負の屈折力のレンズ群(第4レンズ群L4)を無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第2レンズ群と同時に像側へ移動させることにより、瞳近軸光線の入射高さを変化させることができる。こうすることで、像面湾曲のフォーカスに際しての変動を各物体距離でバランスさせ、全体として収差量を低減させている。

40

【0117】

[実施例9]

以下、図9を参照して、実施例9の撮影光学系について説明する。実施例9の撮影光学系は無遠物体から撮影倍率-0.7までの横倍率で撮影可能である。

【0118】

図9(A)は実施例9の撮影光学系の断面図である。第1レンズ群L1は5つの正レンズと1つの負レンズで構成されている。接合レンズを1つ有しており、接合レンズは物体側から像側へ順に、正レンズ、回折光学部D、正レンズから構成されており、全体として回折光学素子DOEを構成している。条件式(8)に対応するレンズ部 L_{1end} は第1レンズ

50

群 L 1 の最も像側の両凸形状の正レンズである。第 1 レンズ群 L 1 内の最も物体側の面と正レンズ L_{1end} の物体側の面は共に非球面形状である。そして第 2 レンズ群 L 2 は 1 枚の負レンズから構成されており、像側の面が非球面である。

【 0 1 1 9 】

開口絞り S P は第 2 レンズ群 L 2 の像側に配置されている。開口絞り S P の像側に後続レンズ群 L R が配置されている。後続レンズ群 L R は、物体側から像側へ順に、フォーカシングのためには不動の負の屈折力の第 3 レンズ群 L 3 と、フォーカシングする際に第 2 レンズ群と関連付けて光軸上を移動する正の屈折力の第 4 レンズ群 L 4 から構成されている。第 4 レンズ群 L 4 の正レンズの像側の面は非球面形状である。第 4 レンズ群 L 4 がレンズ部 G_{i 1} に対応している。

10

【 0 1 2 0 】

本実施例では、像面付近の正の屈折力のレンズ群（第 4 レンズ群 L 4）を無限遠物体から近距離物体の全物体距離へのフォーカシング時に第 2 レンズ群と同時に物体側に移動させている。これにより、瞳近軸光線の入射高さを低くすることができる。こうすることで、近距離物体にフォーカシングした時に第 4 レンズ群 L 4 で発生する像面湾曲の量を低減させている。

【 0 1 2 1 】

以上のように各実施例によればレンズ全長を短縮した望遠タイプの投影光学系において、最短撮影可能距離を大幅に短くし、0.5 倍以上の倍率で撮影する時でも最短撮影距離が長く、諸収差が良好に補正された撮影光学系が得られる。

20

【 0 1 2 2 】

ここで、各実施例の撮影光学系 L 0 で用いた回折光学素子 D O E の構成について説明する。各実施例で用いている回折格子は従来より知られている単層又は積層型の回折格子である。即ち、撮影光学系 L 0 内に配置される回折光学素子 D O E を構成する回折光学部 D は、光軸に対して回転対称な回折格子より成っている。回折格子の形状は、その 2 i 次項の位相係数を C_{2 i} とした時、光軸からの距離 H における位相 φ(H) は次式で表される。ただし m は回折次数、λ₀ は基準波長である。

【 0 1 2 3 】

【 数 1 】

$$\phi(H) = \left(2\pi \frac{m}{\lambda_0} \right) \cdot (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4 + C_6 \cdot H^6 + \dots + C_{2i} \cdot H^{2i}) \dots\dots (a)$$

30

【 0 1 2 4 】

一般に、レンズ、プリズム等の屈折光学材料のアッペ数（分散値）D_d は、d、C、F 線の各波長における屈折力を N_d、N_C、N_F とした時、次式で表される。

【 0 1 2 5 】

$$D_d = (N_d - 1) / (N_F - N_C) > 0 \dots\dots (b)$$

40

一方、回折光学部のアッペ数 D_d は d、C、F 線の各波長を λ_d、λ_C、λ_F とした時

$$D_d = \frac{N_d}{\lambda_d} / \left(\frac{N_F}{\lambda_F} - \frac{N_C}{\lambda_C} \right) \dots\dots (c)$$

と表され、D_d = - 3.45 となる。

【 0 1 2 6 】

これにより、任意波長における分散性は、屈折光学素子と逆作用を有する。また、回折光学部の基準波長における近軸的な一時回折光 (m = 1) の屈折力 N_D は、回折光学部の位相を表す前式 (a) から 2 次項の係数を C₂ とした時、N_D = - 2 · C₂ と表される。これより回折光学素子 D O E の回折成分のみによる焦点距離 f_{D O E} は

$$f_{D O E} = 1 / N_D = - 1 / (2 \cdot C_2)$$

となる。さらに、任意波長を λ、基準波長を λ₀ とした時、任意波長の基準波長に対する

50

屈折力変化は、次式となる。

【 0 1 2 7 】

$$D' = (/ 0) \times (- 2 \cdot C_2) \dots (d)$$

以下に本発明の実施例 1 ~ 9 に対応する数値実施例 1 ~ 9 を示す。各数値実施例において、i は物体側からの面の順序を示し、r_i は物体側より第 i 番目の面の曲率半径、d_i は物体側より第 i 番目と第 i + 1 番目の間隔、n_{d i} と d_i は第 i 番目の光学部材の屈折率とアッペ数である。B F はバックフォーカスで最像レンズ面から像面までの空気換算長で表している。

【 0 1 2 8 】

各数値実施例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。回折光学素子 (回折面) は前述 (a) 式の位相関数の位相係数 C_{2 i} を与えることで表している。非球面形状は光軸方向に X 軸、光軸と垂直方向に H 軸、光の進行方向を正、R を近軸曲率半径、k を離心率、A4、A6、A8、A10 を各々非球面係数としたとき、

【 0 1 2 9 】

【 数 2 】

$$X = \frac{\left(\frac{H^2}{R}\right)}{\left\{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot \left(\frac{H}{R}\right)^2}\right\}} + A4 \cdot H^4 + A6 \cdot H^6 + A8 \cdot H^8 + A10 \cdot H^{10}$$

10

20

【 0 1 3 0 】

なる式で表している。また例えば「 e - Z 」の表示は「 1 0 - Z 」を意味する。実施例 2 ~ 8 で使用している固体材料からなる光学素子 N L の材料は、全ての数値実施例で UV 硬化樹脂 1 を単体で用いている。その光学特性を (表 - 1) に示す。

【 0 1 3 1 】

表 - 1 においてアッペ数 d、部分分散比 g F は材料の d 線、g 線、F 線、C 線に対する屈折率を各々 n_d、n_g、n_F、n_C とする。このとき

$$d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$$

$$g F = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$$

30

である。前述の各条件式と各数値実施例における諸数値との関係を (表 - 2) に示す。

【 0 1 3 2 】

(数値実施例 1)

$$f = 788.34\text{mm} \quad Fno = 5.80 \quad 2 = 3.14$$

面番号	r	d	nd	d	有効径
1(非球面)	191.726	19.84	1.48749	70.2	135.92
2	-481.406	107.12			135.19
3(非球面)	237.599	5.50	1.88300	40.8	91.89
4(回折)	86.874	19.00	1.43875	94.9	87.84
5	-879.846	27.40			87.46
6	113.491	13.97	1.43387	95.1	82.56
7	-272.631	(可変)			81.54
8	1371.458	2.00	1.72916	54.7	53.91
9	69.280	(可変)			50.96
10(絞り)		(可変)			36.56
11	751.827	1.88	1.84666	23.8	34.43
12	100.949	4.72	1.54072	47.2	34.01
13	-92.336	(可変)			33.86
14	168.979	3.94	1.80809	22.8	27.66
15	-94.433	1.94	1.77250	49.6	27.01

正レンズL_{1end}

開口部SP
レンズ群G_{m1}

40

50

16	57.078	4.23			26.26
17	-194.050	1.90	1.78800	47.4	26.60
18	110.116	2.00			27.07
19	60.262	4.34	1.54072	47.2	28.43
20	-505.693	13.23			28.73
21	167.078	8.63	1.54814	45.8	30.96
22	-34.769	2.00	1.43875	94.9	31.11
23	-1208.207	4.53			30.90
24	-45.388	2.00	1.43875	94.9	30.77
25	53.528	1.19			32.00
26	58.290	11.59	1.61340	44.3	32.60
27	-38.168	2.00	1.80809	22.8	33.15
28	-102.853	6.42			33.99
29		2.20	1.51633	64.1	34.60
30		110.67			34.71
像面					

10

【 0 1 3 3 】

非球面データ

第1面

K = -6.73243e-001 A 4 = -2.14649e-008 A 6 = -7.06929e-013 A 8 = 2.84947e-017
A10 = -4.09297e-021 A12 = 2.49854e-025

20

第3面

K = -4.75418e-001 A 4 = -5.75764e-009 A 6 = 4.46375e-012 A 8 = -8.21625e-016
A10 = 3.44529e-019 A12 = -4.25221e-023

第4面(回折面)

C 2 = -2.83940e-005 C 4 = -1.13368e-009 C 6 = 7.41627e-013 C 8 = -4.01207e-016
C10 = 2.96328e-019 C12 = -4.84215e-023

30

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 788.34

Fナンバー 5.80

半画角(度) 1.57

像高 21.64

レンズ全長 486.00

BF 110.67

40

可変間隔

物体距離 無限 40000 6000 1986 1156.18 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.02 -0.14 -0.50 -1.02

d 7 2.50 3.48 9.53 28.76 63.18

d 9 73.78 72.80 66.75 47.52 13.10

d10 10.00 10.28 11.81 15.04 16.34

d13 15.48 15.48 15.20 13.67 9.14

入射瞳位置 1172.56

50

射出瞳位置 -92.33
 前側主点位置 -1100.57
 後側主点位置 -677.66

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	
L1	1	183.56	192.84	150.03	-109.44	
L2	8	-100.13	2.00	1.22	0.06	
SP	10		0.00	0.00	0.00	
L3	11	251.11	6.59	5.24	1.17	10
L4	14	-182.52	72.14	-13.65	-76.88	

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	284.02	
2	3	-159.20	
3	4	179.46	
4	6	186.74	
5	8	-100.13	
6	11	-137.91	20
7	12	89.96	
8	14	75.47	
9	15	-45.80	
10	17	-88.91	
11	19	99.85	
12	21	53.31	
13	22	-81.64	
14	24	-55.64	
15	26	39.40	
16	27	-76.16	30
G	29	0.00	

【 0 1 3 4 】

(数値実施例 2)

f= 400.00mm Fno= 4.12 2 = 6.20

面番号	r	d	nd	d	有効径	
1(非球面)	79.986	18.00	1.53172	48.8	97.09	
2	-1650.746	0.10			96.40	
3	79.716	12.00	1.43387	95.1	86.08	
4	306.519	13.67			84.00	40
5(非球面)	1642.370	3.60	1.83400	37.2	73.12	
6	45.086	2.00	1.63555	22.7	66.05	光学素子 N L
7(回折)	48.799	20.00	1.49700	81.5	65.96	
8	-277.851	1.60			65.61	
9	91.059	9.00	1.43387	95.1	63.55	正レンズ L _{1end}
10	-620.412	(可変)			62.61	
11(非球面)	-99.503	2.50	1.48749	70.2	45.86	
12	30.784	(可変)			39.12	
13(絞り)		3.00			30.95	開口部 SP
14(非球面)	81.847	1.30	1.84666	23.8	31.39	50

15	24.159	8.36	1.65412	39.7	30.69
16	-107.673	1.56			30.75
17	39.862	8.00	1.65412	39.7	29.97
18	-29.404	1.50	1.88300	40.8	29.54
19	90.937	3.14			28.30
20	809.211	4.10	1.84666	23.8	28.14
21	-52.182	1.30	1.83481	42.7	28.02
22	48.560	4.32			27.71
23	-83.089	1.30	1.72916	54.7	28.15
24	196.764	2.86			29.30
25	73.502	9.13	1.72342	38.0	32.72
26	-30.039	0.10	1.63555	22.7	33.25
27	-33.358	1.40	1.61405	55.0	33.36
28		(可変)			34.33
29(非球面)	106.186	6.00	1.54814	45.8	42.67
30	-543.819	(可変)			42.78
31		2.20	1.51633	64.1	42.80
32		55.00			42.82

10

光学素子 N L

レンズ群G₁₁

像面

20

【 0 1 3 5 】

非球面データ

第1面

K = -2.36853e-001 A 4 = -5.11731e-009 A 6 = -5.67368e-012 A 8 = 2.84140e-016
 A10 = -7.56855e-019 A12 = 2.32519e-023

第5面

K = 0.00000e+000 A 4 = -2.42020e-007 A 6 = 4.56311e-011 A 8 = 1.83701e-014
 A10 = 8.85693e-018 A12 = -1.37197e-020 A14 = 3.80535e-024

30

第7面(回折面)

C 2 = -2.15983e-005 C 4 = 9.97725e-009 C 6 = -2.25073e-011 C 8 = 1.44822e-014
 C10 = 2.63879e-017 C12 = -1.45550e-020 C14 = -6.82220e-024 C16 = -7.25695e-027
 C18 = 1.09780e-029 C20 = -2.66987e-033

第11面

K = 0.00000e+000 A 4 = 3.43056e-006 A 6 = -1.98726e-009 A 8 = 1.45758e-012
 A10 = -8.43730e-016 A12 = 9.81280e-021 A14 = 2.86217e-022

第14面

K = 7.49774e+000 A 4 = 1.83086e-006 A 6 = 1.93664e-009 A 8 = -2.20776e-012
 A10 = 8.03558e-015 A12 = -9.64147e-018

40

第29面

K = -4.42376e+000 A 4 = 1.32392e-007 A 6 = -1.58790e-010 A 8 = 6.21132e-013
 A10 = -1.07025e-015 A12 = 6.92851e-019

各種データ

ズーム比 1.00

50

焦点距離	400.00					
Fナンバー	4.12					
半画角(度)	3.10					
像高	21.64					
レンズ全長	300.00					
BF	55.00					
可変間隔						
物体距離	無限	20000	2500	1130.07	865.45	(像面からの距離)
横倍率	無限	-0.02	-0.18	-0.50	-0.75	
d10	4.41	4.88	8.75	16.65	23.31	10
d12	67.66	67.18	63.31	55.41	48.75	
d28	28.89	28.73	25.64	20.06	16.38	
d30	2.00	2.15	5.25	10.83	14.51	
物体距離	733.686	654.99	602.80	565.77	538.11	(像面からの距離)
横倍率	-1.00	-1.25	-1.5	-1.75	-2.00	
d10	30.34	37.71	45.45	53.54	62.07	
d12	41.73	34.35	26.61	18.52	9.99	
d28	13.20	10.02	7.16	4.23	2.00	
d30	17.69	20.87	23.73	26.66	28.89	20
入射瞳位置	670.30					
射出瞳位置	-109.33					
前側主点位置	96.68					
後側主点位置	-345.00					

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置	
L1	1	96.23	79.97	18.69	-50.04	
L2	11	-47.93	2.50	1.28	-0.39	30
L3	13	-710.18	51.38	167.81	102.34	
L4	29	162.61	6.00	0.64	-3.25	
G	31		2.20	0.73	-0.73	

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	144.00	
2	3	244.40	
3	5	-55.64	
4	6	746.44	40
5	7	84.95	
6	9	183.72	
7	11	-47.93	
8	14	-40.91	
9	15	30.94	
10	17	27.11	
11	18	-25.02	
12	20	58.03	
13	21	-29.95	
14	23	-79.96	50

15	25	30.61
16	26	-480.73
17	27	-54.33
18	29	162.61
G	31	0.00

【 0 1 3 6 】

(数値実施例 3)

$$f = 394.52\text{mm} \quad Fno = 4.12 \quad 2 = 6.28$$

面番号	r	d	nd	d	有効径		
1(非球面)	78.832	18.00	1.57099	50.8	95.73		10
2	-6808.220	0.10			94.59		
3	95.127	12.00	1.43387	95.1	86.32		
4	1487.257	12.97			84.41		
5(非球面)	-1009.165	3.60	1.83400	37.2	69.31		
6	42.842	2.00	1.63555	22.7	59.88	光学素子 N L	
7(回折)	48.506	16.00	1.49700	81.5	59.83		
8	-228.987	16.51			58.58		
9	64.109	7.64	1.43387	95.1	44.00	正レンズL _{1end}	
10	-215.924	(可変)			42.64		20
11(非球面)	-140.666	1.80	1.60311	60.6	38.47		
12	30.111	(可変)			33.72		
13(絞り)		3.00			27.09	開口部SP/レンズ群G _{m1}	
14(非球面)	73.776	1.30	1.84666	23.8	26.29		
15	25.708	7.15	1.65412	39.7	25.28		
16	-144.104	0.50			24.59		
17	48.873	8.00	1.65412	39.7	23.42		
18	-31.136	1.50	1.88300	40.8	21.14		
19	135.968	2.86			19.95		
20	194.510	3.85	1.84666	23.8	19.12		30
21	-43.902	1.30	1.83481	42.7	19.13		
22	38.174	3.68			19.13		
23	-123.874	1.30	1.69680	55.5	20.07		
24	63.910	2.39			20.94		
25	53.311	11.51	1.59551	39.2	23.46		
26	-19.478	0.10	1.63555	22.7	25.27	光学素子 N L	
27	-23.050	1.40	1.59282	68.6	25.59		
28	-788.272	3.00			27.31		
29(非球面)	51.503	5.27	1.48749	70.2	30.06		
30	1640.128	3.79			30.49		40
31		2.20	1.51633	64.1	31.28		
32		(可変)			31.59		
像面							

【 0 1 3 7 】

非球面データ

第1面

$$K = -2.50512e-001 \quad A_4 = -2.83545e-008 \quad A_6 = -7.92809e-012 \quad A_8 = -5.31479e-016 \\ A_{10} = -7.41085e-019 \quad A_{12} = 1.35845e-023$$

第5面

K = 0.00000e+000 A 4=-2.54936e-007 A 6= 7.98782e-011 A 8= 1.31433e-014
A10=-5.40654e-018 A12= 1.36436e-021 A14=-5.82631e-025

第7面(回折面)

C 2=-4.45084e-006 C 4= 6.48780e-010 C 6=-6.01955e-012 C 8= 1.27977e-014
C10=-2.85825e-018 C12=-2.64143e-022 C14= 1.33411e-024 C16=-1.70448e-026
C18= 2.84658e-029 C20=-1.23653e-032

第11面

K = 0.00000e+000 A 4= 3.02959e-006 A 6=-1.81929e-009 A 8= 3.50303e-013
A10= 2.80846e-015 A12=-8.12004e-018 A14= 9.07191e-021

10

第14面

K = 7.84000e+000 A 4= 1.04444e-006 A 6= 9.77442e-010 A 8=-7.71447e-012
A10= 3.51985e-014 A12=-7.39341e-017

第29面

K =-1.57138e+000 A 4= 5.97709e-007 A 6=-6.71691e-010 A 8= 7.57162e-013
A10=-1.41036e-016 A12=-1.37013e-018

20

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 394.52

Fナンバー 4.12

半画角(度) 3.14

像高 21.64

レンズ全長 253.46

BF 55.00

30

可変間隔

物体距離 無限 20000 2500 1049.10 652.28 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.02 -0.18 -0.50 -1.00

d10 3.08 3.51 6.93 14.41 27.32

d12 40.65 40.12 35.90 26.24 11.41

d32 55.00 55.10 55.90 58.08 60.00

入射瞳位置 604.00

射出瞳位置 -53.84

前側主点位置 -431.55

後側主点位置 -339.52

40

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	90.35	88.83	42.05	-53.39
L2	11	-40.96	1.80	0.92	-0.20
L3	13	749.89	64.11	-2.12	-55.96

単レンズデータ

レンズ 始面 焦点距離

50

1	1	136.61		
2	3	233.63		
3	5	-49.20		
4	6	505.37		
5	7	82.05		
6	9	114.88		
7	11	-40.96		
8	14	-47.19		
9	15	33.92		
10	17	30.27		10
11	18	-28.57		
12	20	42.62		
13	21	-24.28		
14	23	-60.33		
15	25	25.46		
16	26	-199.98		
17	27	-40.08		
18	29	108.96		
G	31	0.00		20

【 0 1 3 8 】

(数值実施例 4)

$$f = 392.00\text{mm} \quad Fno = 4.12 \quad 2 = 6.32$$

面番号	r	d	nd	d	有効径		
1(非球面)	79.457	18.00	1.53172	48.8	95.13		
2	1311.795	0.10			93.47		
3	83.939	12.00	1.43387	95.1	86.12		
4	493.421	6.54			84.56		
5(非球面)	191.750	3.60	1.83400	37.2	75.35		
6	45.905	2.00	1.63555	22.7	65.15	光学素子 N L	30
7(回折)	48.782	16.00	1.49700	81.5	64.71		
8	-1477.245	13.27			62.97		
9	87.557	5.84	1.43387	95.1	48.77	正レンズL _{1end}	
10	-573.163	(可変)			47.35		
11(非球面)	-185.761	1.80	1.60311	60.6	43.53		
12	35.386	(可変)			38.23		
13(絞り)		(可変)			30.75	開口部SP	
14(非球面)	79.552	1.30	1.84666	23.8	25.19	レンズ群G _{m1}	
15	32.288	5.96	1.48749	70.2	24.36		
16	-147.471	(可変)			23.76		40
17	54.764	8.00	1.65412	39.7	22.93		
18	-39.076	1.50	1.72916	54.7	21.95		
19	103.703	2.92			21.69		
20	433.018	3.95	1.84666	23.8	21.77		
21	-41.677	1.30	1.83481	42.7	21.75		
22	40.829	4.38			21.71		
23	-96.746	1.30	1.69680	55.5	22.76		
24	85.599	2.73			23.81		
25	71.186	10.54	1.63980	34.5	26.71		
26	-21.599	0.10	1.63555	22.7	28.14	光学素子 N L	50

27	-29.889	1.40	1.72916	54.7	28.70	
28	-126.599	(可変)			30.31	
29(非球面)	83.886	5.84	1.48749	70.2	37.22	レンズ群G ₁₁
30	-128.999	(可変)			37.59	
31		2.20	1.51633	64.1	37.91	
32		55.00			38.05	
像面						

【 0 1 3 9 】

非球面データ

10

第1面

K = -2.39829e-001 A 4 = -2.54309e-008 A 6 = -9.04214e-012 A 8 = 6.82768e-016
A10 = -1.01785e-018 A12 = 7.66493e-023

第5面

K = 0.00000e+000 A 4 = -2.72935e-007 A 6 = 1.84402e-011 A 8 = 5.67724e-015
A10 = -2.14404e-018 A12 = 3.14218e-021 A14 = -1.12001e-024

第7面(回折面)

C 2 = -1.04296e-005 C 4 = -6.26658e-011 C 6 = -6.86570e-012 C 8 = 1.18827e-014
C10 = -7.08678e-018 C12 = -2.00104e-021 C14 = 1.14700e-023 C16 = -2.15029e-026
C18 = 2.20559e-029 C20 = -8.36345e-033

20

第11面

K = 0.00000e+000 A 4 = 1.95141e-006 A 6 = -9.57547e-010 A 8 = -4.85442e-014
A10 = 2.40950e-015 A12 = -4.96213e-018 A14 = 3.53685e-021

第14面

K = 6.08304e+000 A 4 = -2.76701e-007 A 6 = -7.22717e-011 A 8 = 1.55452e-013
A10 = -2.08733e-015 A12 = 1.87158e-018

30

第29面

K = -1.30126e+000 A 4 = 7.38439e-007 A 6 = -3.00900e-010 A 8 = -1.48398e-013
A10 = 8.37118e-016 A12 = -1.22281e-018

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 392.00

Fナンバー 4.12

40

半画角(度) 3.16

像高 21.64

レンズ全長 255.00

BF 55.00

可変間隔

物体距離 無限 20000 2500 1056.64 664.85 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.02 -0.18 -0.50 -1.00

d10 3.53 3.90 6.89 13.55 25.43

d12 31.90 31.52 28.54 21.88 9.99

d13 18.51 18.12 15.29 9.88 3.50

50

d16	0.50	0.89	3.72	9.14	15.51
d28	11.00	10.67	6.95	1.67	1.00
d30	2.00	2.33	6.05	11.31	12.00

入射瞳位置 384.01
 射出瞳位置 -105.06
 前側主点位置 -184.04
 後側主点位置 -337.00

レンズ群データ

10

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
L1	1	86.39	77.34	23.72	-45.81
L2	11	-49.13	1.80	0.94	-0.18
SP	13		0.00	0.00	0.00
L3	14	346.21	7.26	2.72	-2.04
L4	17	-66.97	38.12	16.39	-12.86
L5	29	105.22	5.84	1.56	-2.40
G	31		2.20	0.73	-0.73

単レンズデータ

20

レンズ	始面	焦点距離
1	1	158.27
2	3	231.08
3	5	-73.19
4	6	945.37
5	7	95.16
6	9	175.53
7	11	-49.13
8	14	-65.01
9	15	54.93
10	17	36.08
11	18	-38.75
12	20	45.07
13	21	-24.53
14	23	-64.99
15	25	27.10
16	26	-123.11
17	27	-53.99
18	29	105.22
G	31	0.00

30

40

【 0 1 4 0 】

(数値実施例 5)

$f = 392.01\text{mm}$ $Fno = 4.12$ $2 = 6.32$

面番号	r	d	nd	d	有効径
1(非球面)	73.706	18.00	1.53172	48.8	95.13
2	540.879	0.10			93.42
3	93.568	12.00	1.43387	95.1	87.43
4	1099.666	11.35			85.86
5(非球面)	314.351	3.60	1.83400	37.2	71.60

50

6	43.536	2.00	1.63555	22.7	61.82	光学素子 N L	
7(回折)	45.886	16.00	1.49700	81.5	61.35		
8	-591.253	19.46			59.88		
9	65.385	6.69	1.43387	95.1	42.82	正レンズL _{1end}	
10	-633.462	(可変)			40.86		
11(非球面)	-215.306	1.80	1.60311	60.6	37.31		
12	30.673	(可変)			32.94		
13(絞り)		(可変)			24.94	開口部SP	
14	64.264	2.28	1.62041	60.3	22.82	レンズ群G _{m1}	
15	689.310	1.30	1.84666	23.8	22.82		10
16(非球面)	66.972	(可変)			22.82		
17	90.911	5.75	1.61772	49.8	23.45	レンズ群G _{m1}	
18	-28.301	1.50	1.72916	54.7	23.64		
19	-71.984	(可変)			24.04		
20	170.031	3.91	1.84666	23.8	23.98		
21	-44.529	1.30	1.83481	42.7	23.84		
22	37.125	4.85			23.46		
23	-84.793	1.30	1.69680	55.5	24.36		
24	70.561	2.38			25.62		
25	81.463	10.58	1.62004	36.3	28.11		20
26	-19.584	0.10	1.63555	22.7	29.28	光学素子 N L	
27	-26.788	1.40	1.72916	54.7	30.17		
28	-78.811	5.38			32.28		
29(非球面)	82.638	5.88	1.48749	70.2	37.26		
30	-134.334	2.00			37.61		
31		2.20	1.51633	64.1	37.93		
32		55.00			38.06		
像面							

【 0 1 4 1 】

30

非球面データ

第1面

K = -2.40615e-001 A 4 = -2.60758e-008 A 6 = -8.48951e-012 A 8 = 5.93910e-016
 A10 = -8.68765e-019 A12 = 8.91255e-024

第5面

K = 0.00000e+000 A 4 = -2.63373e-007 A 6 = 3.44580e-011 A 8 = 4.29947e-015
 A10 = -2.07129e-018 A12 = 4.44444e-021 A14 = -1.81181e-024

第7面(回折面)

40

C 2 = -1.50053e-005 C 4 = 1.15282e-009 C 6 = -6.60168e-012 C 8 = 1.04479e-014
 C10 = -2.99195e-018 C12 = -5.18238e-021 C14 = 8.41188e-024 C16 = -1.78408e-026
 C18 = 2.70162e-029 C20 = -1.32072e-032

第11面

K = 0.00000e+000 A 4 = 2.29138e-006 A 6 = -1.29423e-009 A 8 = 3.27129e-013
 A10 = 2.47872e-015 A12 = -7.92147e-018 A14 = 8.78028e-021

第16面

K = -3.25902e+000 A 4 = 1.55057e-006 A 6 = -3.55080e-009 A 8 = 1.22838e-011

50

A10=-6.84989e-014 A12= 1.37787e-016

第29面

K = 1.18400e+000 A 4= 1.78721e-006 A 6=-8.71032e-010 A 8=-5.92926e-013
A10= 1.29373e-015 A12=-1.02892e-018

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離	392.01					10
Fナンバー	4.12					
半画角(度)	3.16					
像高	21.64					
レンズ全長	255.00					
BF	55.00					
可変間隔						
物体距離	無限	20000	2500	1030.35	636.53	(像面からの距離)
横倍率	無限	-0.02	-0.17	-0.50	-1.00	
d10	3.37	3.84	7.62	15.78	30.42	
d12	37.06	36.59	32.81	24.65	10.00	20
d13	12.35	11.97	9.65	5.79	3.00	
d16	2.36	2.74	5.01	6.13	4.94	
d19	1.74	1.74	1.79	4.52	8.50	

入射瞳位置 599.14
射出瞳位置 -80.05
前側主点位置 -146.72
後側主点位置 -337.01

ズームレンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置	
L1	1	92.83	89.20	37.17	-55.08	30
L2	11	-44.39	1.80	0.98	-0.14	
SP	13		0.00	0.00	0.00	
L3	14	-416.10	3.58	10.92	8.58	
L4	17	78.06	7.25	2.41	-2.09	
L5	20	-163.23	41.29	-38.28	-91.47	

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	158.37	
2	3	234.87	
3	5	-60.96	
4	6	976.35	
5	7	86.18	
6	9	137.00	
7	11	-44.39	
8	14	114.07	
9	15	-87.70	
10	17	35.60	50

11	18	-64.90
12	20	42.03
13	21	-24.08
14	23	-55.08
15	25	26.53
16	26	-115.21
17	27	-56.29
18	29	105.89
G	31	0.00

10

【 0 1 4 2 】

(数值実施例 6)

$$f = 585.00\text{mm} \quad Fno = 4.12 \quad 2 = 4.24$$

面番号	r	d	nd	d	有効径	
1(非球面)	114.180	24.10	1.57501	41.5	142.00	
2	644.585	0.35			140.12	
3	144.690	14.31	1.43387	95.1	131.32	
4	416.784	34.94			128.47	
5(非球面)	-1436.899	4.60	1.88300	40.8	98.26	
6(回折)	75.225	25.00	1.49700	81.5	89.21	20
7	-191.186	1.00			88.17	
8	77.170	3.00	1.72047	34.7	78.54	接合レンズL _{1end}
9	63.867	14.95	1.43387	95.1	74.95	
10	3852.453	(可変)			72.88	
11	566.689	3.00	1.74400	44.8	63.26	
12	61.841	(可変)			57.58	
13(絞り)		3.00			38.88	開口部SP
14	65.416	2.00	1.88300	40.8	37.08	
15	41.835	0.10	1.63555	22.7	35.62	光学素子NL
16	32.820	8.84	1.54072	47.2	35.17	30
17	-96.998	12.01			34.47	
18(非球面)	20111.973	6.30	1.74000	28.3	24.32	
19	-27.137	2.00	1.85026	32.3	22.72	
20	113.412	4.83			21.14	
21	-574.208	2.81	1.84666	23.8	21.31	
22	-91.419	1.70	1.72916	54.7	21.40	
23	45.073	3.50			21.50	
24	-153.101	2.50	1.72916	54.7	22.26	
25	88.457	(可変)			23.38	
26	75.939	7.88	1.62004	36.3	25.97	レンズ群G ₁₁
27	-30.729	2.00	1.88300	40.8	27.09	40
28	-124.115	(可変)			28.81	
29(非球面)	78.596	2.26	1.53172	48.8	30.96	レンズ群G ₁₁
30	138.787	(可変)			31.29	
31	163.536	11.86	1.59551	39.2	35.71	
32	-26.177	0.10	1.63555	22.7	36.38	光学素子NL
33	-30.636	2.50	1.59282	68.6	36.69	
34	-99.982	2.50			38.03	
35		2.00	1.51633	64.1	38.41	
36		55.00			38.52	50

像面

【 0 1 4 3 】

非球面データ

第1面

K = -7.45849e-002 A 4 = -5.26622e-009 A 6 = -7.97179e-014 A 8 = 7.42785e-018
A10 = -4.07241e-021

第5面

K = 0.00000e+000 A 4 = -9.02010e-008 A 6 = 6.25232e-012 A 8 = 8.71942e-016
A10 = -1.09945e-019

10

第6面(回折面)

C 2 = -1.77104e-005 C 4 = -1.00108e-010 C 6 = -1.54739e-014 C 8 = 2.75223e-016

第18面

K = 0.00000e+000 A 4 = 2.03209e-006 A 6 = 2.80520e-010 A 8 = 1.07005e-011
A10 = -2.00933e-014 A12 = 3.85458e-017

第29面

K = 0.00000e+000 A 4 = -3.93160e-007 A 6 = -5.53935e-010 A 8 = 2.73190e-012
A10 = -3.09961e-015

20

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

30

レンズ全長 350.00

BF 55.00

可変間隔

物体距離 無限 30000 4500 1504.10 913.36 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.02 -0.14 -0.50 -1.00

d10 8.34 9.17 14.37 31.72 63.04

d12 66.41 65.58 60.38 43.03 11.70

d25 2.97 2.86 3.13 4.63 4.21

d28 1.55 2.92 5.38 4.68 7.10

40

d30 9.79 8.53 5.80 5.00 3.00

入射瞳位置 838.15

射出瞳位置 -111.32

前側主点位置 -634.46

後側主点位置 -530.00

レンズ群データ

群 始面 焦点距離 レンズ構成 前側主点位置 後側主点位置

L1 1 145.91 122.25 40.45 -74.30

50

L2	11	-93.54	3.00	1.94	0.21
L3	13	-43.88	49.59	59.39	6.59
L4	26	147.50	9.88	0.13	-5.85
L5	29	336.45	2.26	-1.90	-3.35
L6	31	108.16	18.96	5.71	-7.36

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	237.38	
2	3	502.82	10
3	5	-81.07	
4	6	111.69	
5	8	-567.86	
6	9	149.51	
7	11	-93.54	
8	14	-136.88	
9	15	-240.66	
10	16	46.46	
11	18	36.63	
12	19	-25.59	20
13	21	128.08	
14	22	-41.19	
15	24	-76.56	
16	26	36.31	
17	27	-46.72	
18	29	336.45	
19	31	38.80	
20	32	-285.45	
21	33	-75.52	
G	35	0.00	30

【 0 1 4 4 】

(数値実施例 7)

$$f = 585.00\text{mm} \quad Fno = 4.12 \quad 2 = 4.24$$

面番号	r	d	nd	d	有効径	
1(非球面)	123.492	22.58	1.58144	40.8	142.00	
2	696.736	0.35			140.12	
3	119.982	17.55	1.43387	95.1	129.80	
4	399.459	39.14			126.85	
5(非球面)	-1289.967	4.60	1.88300	40.8	90.94	40
6(回折)	67.170	25.00	1.49700	81.5	81.80	
7	-279.301	2.50			79.97	
8	90.618	11.65	1.43387	95.1	73.45	正レンズL _{1end}
9	-737.760	(可変)			71.62	
10	229.773	3.00	1.83400	37.2	62.16	
11	61.976	(可変)			57.15	
12(絞り)		3.68			35.13	開口部SP
13	66.218	2.00	1.88300	40.8	33.23	
14	64.024	0.10	1.63555	22.7	32.41	光学素子N L
15	35.671	6.35	1.58267	46.4	31.71	50

16	-173.892	(可変)			30.97		
17(非球面)	4080.129	1.60	1.88300	40.8	29.67	レンズ群G _{m1}	
18	98.026	(可変)			28.65		
19	-591.320	2.81	1.84666	23.8	21.42		
20	-91.479	1.70	1.72916	54.7	21.51		
21	40.682	3.72			21.60		
22	-145.229	1.70	1.72916	54.7	22.46		
23	75.931	2.00			23.48		
24	144.855	8.09	1.72151	29.2	24.94		
25	-23.934	2.00	1.88300	40.8	26.40		10
26	-257.963	1.58			29.06		
27(非球面)	50.911	5.57	1.51633	64.1	32.86		
28	-134.730	2.54			33.44		
29	-94.502	9.18	1.69895	30.1	34.07		
30	-25.237	0.10	1.63555	22.7	35.25	光学素子N L	
31	-29.964	2.50	1.88300	40.8	35.64		
32	-49.875	2.50			37.61		
33		2.00	1.51633	64.1	38.17		
34		55.00			38.29		
像面							20

【 0 1 4 5 】

非球面データ

第1面

K = -1.13612e-001 A 4= 1.59295e-010 A 6= 1.48695e-013 A 8= 3.56677e-018
A10=-2.85323e-021

第5面

K = 0.00000e+000 A 4=-8.12067e-008 A 6= 1.22409e-011 A 8= 8.53658e-016
A10=-1.91819e-019

第6面(回折面)

C 2=-2.81983e-005 C 4= 3.94855e-010 C 6=-4.40458e-013 C 8= 6.42138e-016

第17面

K = 0.00000e+000 A 4= 2.93274e-007 A 6=-1.65346e-010 A 8=-5.93620e-013
A10= 3.89729e-015 A12=-6.57056e-018

第27面

K = -6.93044e-001 A 4=-1.81746e-006 A 6=-4.33698e-010 A 8= 1.34159e-012
A10=-1.68343e-015

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 350.00

BF 55.00

可変間隔

物体距離	無限	30000	4500	1413.19	844.70	(像面からの距離)
横倍率	無限	-0.02	-0.14	-0.50	-1.00	
d 9	6.64	7.39	12.17	30.39	68.87	
d11	74.02	73.27	68.49	50.28	11.79	
d16	1.00	1.49	4.40	13.90	24.23	
d18	25.23	24.75	21.83	12.33	2.00	

10

入射瞳位置 984.30
 射出瞳位置 -115.38
 前側主点位置 -439.24
 後側主点位置 -530.00

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	155.66	123.38	39.98	-81.94
L2	10	-102.59	3.00	2.26	0.61
L3	12	88.83	12.12	4.70	-4.18
L4	17	-113.77	1.60	0.87	0.02
L5	19	-271.90	48.00	-88.99	-182.35

20

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	254.46
2	3	387.89
3	5	-72.49
4	6	110.95
5	8	186.81
6	10	-102.59
7	13	-3820.65
8	14	-126.91
9	15	51.37
10	17	-113.77
11	19	127.49
12	20	-38.41
13	22	-68.16
14	24	29.05
15	25	-30.00
16	27	72.30
17	29	46.71
18	30	-253.76
19	31	-90.32
G	33	0.00

30

40

【 0 1 4 6 】

(数値実施例 8)

f= 392.00mm Fno= 4.12 2 = 6.32

面番号 r d nd d 有効径

50

1(非球面)	81.128	18.00	1.53172	48.8	95.13		
2	-9747.507	0.10			93.77		
3	100.046	12.00	1.43387	95.1	86.74		
4	675.760	16.83			84.09		
5(非球面)	-3125.370	3.60	1.83400	37.2	67.17		
6	45.524	2.00	1.63555	22.7	59.38	光学素子 N L	
7(回折)	50.349	16.00	1.49700	81.5	59.15		
8	-297.659	17.08			57.65		
9	71.540	9.00	1.43387	95.1	46.11	正レンズL _{1end}	
10	-188.336	(可変)			44.74		10
11(非球面)	-207.629	1.80	1.60311	60.6	39.16		
12	30.904	(可変)			34.73		
13(絞り)		3.00			28.65	開口部SP	
14(非球面)	64.801	1.30	1.84666	23.8	29.47		
15	22.604	7.58	1.65412	39.7	28.80		
16	-135.042	0.50			28.84		
17	37.481	8.00	1.65412	39.7	28.43		
18	-33.611	1.50	1.88300	40.8	27.59		
19	73.947	3.21			26.41		
20	1197.136	3.81	1.84666	23.8	26.25		20
21	-39.924	1.30	1.83481	42.7	26.17		
22	44.783	3.24			25.88		
23	-126.331	1.30	1.69680	55.5	26.15		
24	91.617	2.02			27.16		
25	58.691	4.87	1.74950	35.3	29.65		
26	-78.477	(可変)			29.96		
27	-74.661	1.40	1.59282	68.6	30.06	レンズ群G ₁₁	
28	212.838	(可変)			30.75		
29(非球面)	97.949	1.50	1.48749	70.2	37.34		
30	100.696	0.10	1.63555	22.7	37.54	光学素子 N L	30
31	70.738	4.67	1.60342	38.0	37.63		
32	-301.508	2.00			37.79		
33		2.20	1.51633	64.1	38.03		
34		55.00			38.16		
像面							

【 0 1 4 7 】

非球面データ

第1面

K = -2.38484e-001 A 4 = -2.64503e-008 A 6 = -6.64050e-012 A 8 = 2.67935e-016 40
A10 = -6.09917e-019 A12 = 4.68397e-023

第5面

K = 0.00000e+000 A 4 = -2.49671e-007 A 6 = 6.13689e-011 A 8 = 8.84749e-015
A10 = -4.31028e-018 A12 = 1.11894e-021 A14 = -7.43252e-025

第7面(回折面)

C 2 = -1.14427e-005 C 4 = 7.63683e-009 C 6 = -1.69245e-011 C 8 = 2.37366e-014
C10 = 3.79762e-019 C12 = -9.16850e-021 C14 = -6.83679e-025 C16 = -1.20473e-026
C18 = 2.98387e-029 C20 = -1.62428e-032 50

第11面

K = 0.00000e+000 A 4= 2.51136e-006 A 6=-1.70662e-009 A 8= 9.77809e-013
 A10= 2.21693e-015 A12=-7.80962e-018 A14= 7.55434e-021

第14面

K = 7.23140e+000 A 4= 1.78055e-007 A 6=-7.68191e-010 A 8=-3.30134e-012
 A10= 2.56418e-016 A12=-3.00504e-017

第29面

K = -8.67851e+000 A 4= 1.06644e-006 A 6=-5.85786e-010 A 8= 2.16313e-013
 A10=-3.00882e-016 A12= 4.26169e-019

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 392.00

Fナンバー 4.12

半画角(度) 3.16

像高 21.64

レンズ全長 272.66

BF 55.00

10

20

可変間隔

物体距離 無限 20000 2500 1069.40 678.50 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.02 -0.18 -0.50 -1.00

d10 2.69 3.17 6.97 15.36 29.82

d12 48.48 48.00 44.20 35.80 21.34

d26 1.59 1.97 5.39 10.66 15.59

d28 15.00 14.62 11.19 5.92 1.00

30

入射瞳位置 645.51

射出瞳位置 -67.40

前側主点位置 -217.92

後側主点位置 -337.00

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	98.79	94.61	45.47	-57.93
L2	11	-44.48	1.80	0.97	-0.15
L3	13	196.90	41.63	-7.75	-38.61
L4	27	-93.07	1.40	0.23	-0.65
L5	29	125.88	10.47	1.13	-6.33

40

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	151.41
2	3	268.97
3	5	-53.77
4	6	634.54

50

5	7	87.82
6	9	120.76
7	11	-44.48
8	14	-41.59
9	15	30.18
10	17	28.35
11	18	-26.00
12	20	45.70
13	21	-25.11
14	23	-76.03
15	25	45.49
16	27	-93.07
17	29	6247.66
18	30	-374.60
19	31	95.40
G	33	0.00

10

【 0 1 4 8 】

(数值実施例 9)

f= 390.99mm Fno= 4.12 2 = 6.34

20

面番号	r	d	nd	d	有効径
1(非球面)	108.531	8.78	1.80518	25.4	94.90
2(回折)	254.502	8.08	1.48749	70.2	93.86
3	-2173.584	20.90			92.60
4	105.465	8.58	1.48749	70.2	75.05
5	463.903	1.33			72.98
6	164.667	3.60	1.80518	25.4	69.54
7	48.524	3.68			61.77
8	50.306	10.56	1.49700	81.5	61.62
9	211.322	32.67			60.50
10(非球面)	52.345	8.37	1.49700	81.5	39.00
11	-233.354	(可変)			36.32
12	3842.894	1.80	1.80440	39.6	34.00
13(非球面)	31.968	(可変)			30.62
14(絞り)		6.00			25.54
15	318.811	1.30	1.80809	22.8	24.43
16	30.958	4.75	1.68893	31.1	24.60
17	-70.890	1.50			24.73
18	82.230	5.10	1.69895	30.1	24.55
19	-31.882	1.30	1.72000	46.0	24.28
20	38.562	2.61			23.50
21	-90.037	1.30	1.81600	46.6	23.50
22	75.525	2.00			24.23
23	126.006	6.36	1.66680	33.0	25.51
24	-22.698	1.40	1.81600	46.6	26.06
25	-75.765	(可変)			27.87
26	-232.999	4.77	1.54072	47.2	37.30
27(非球面)	-49.991	(可変)			37.87
28		2.20	1.51633	64.1	38.37
29		62.35			38.49

30

正レンズL_{1end}

開口部SP

40

レンズ群G₁₁

50

像面

【 0 1 4 9 】

非球面データ

第1面

K = 0.00000e+000 A 4=-8.24421e-008 A 6=-4.68107e-012 A 8=-4.69921e-016
A10= 1.38492e-020 A12=-1.01603e-023

第2面(回折面)

C 2=-2.53921e-005 C 4=-3.07132e-009 C 6= 1.55647e-012 C 8=-2.83136e-016

10

第10面

K = 0.00000e+000 A 4=-6.74436e-007 A 6=-4.80530e-010 A 8= 5.79823e-013
A10=-7.40976e-016 A12= 3.06510e-019

第13面

K = 0.00000e+000 A 4=-8.80761e-007 A 6=-3.79162e-009 A 8= 1.51886e-011
A10=-5.64627e-014 A12= 7.12238e-017

第27面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.29638e-006 A 6=-4.17672e-010 A 8=-2.77652e-013
A10=-4.20431e-017

20

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 390.99

Fナンバー 4.12

半画角(度) 3.17

像高 21.64

レンズ全長 256.40

BF 62.35

30

可変間隔

物体距離 無限 5256.40 756.40 (像面からの距離)

横倍率 無限 -0.08 -0.70

d11 1.16 2.82 18.01

d13 21.84 20.18 4.99

d25 19.50 19.42 17.50

d27 2.61 2.69 4.61

40

入射瞳位置 506.10

射出瞳位置 -78.13

前側主点位置 -191.12

後側主点位置 -328.64

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	87.70	106.56	82.55	-56.35
L2	12	-40.08	1.80	1.01	0.01

50

L3	14	-100.46	33.62	21.21	-4.70
L4	26	116.64	4.77	3.90	0.84
G	28		2.20	0.73	-0.73

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	226.33
2	2	457.01
3	4	277.82
4	6	-86.64
5	8	130.01
6	10	86.87
7	12	-40.08
8	15	-42.52
9	16	31.88
10	18	33.49
11	19	-24.05
12	21	-50.16
13	23	29.35
14	24	-40.19
15	26	116.64
G	28	0.00

10

20

【 0 1 5 0 】

(表 - 1)

UV硬化樹脂1	
d線屈折率	1.63555
g線屈折率	1.67532
C線屈折率	1.62807
F線屈折率	1.65604
νd	22.7
θ_{gF}	0.68947

30

【 0 1 5 1 】

(表 - 2)

	数値実施例1	数値実施例2	数値実施例3	数値実施例4	数値実施例5	数値実施例6	数値実施例7	数値実施例8	数値実施例9
条件式(1)	0.144	0.180	0.147	0.143	0.154	0.149	0.159	0.175	0.147
条件式(2)	0.02	--	0.00	0.07	0.06	--	0.04	--	--
条件式(3)	24.0	--	88.7	10.3	9.5	--	3.0	--	--
条件式(4)	--	0.217	--	0.255	--	0.278	--	0.300	0.281
条件式(5)	--	7.3	--	4.7	--	0.246	--	--	--
条件式(6)	--	--	--	--	--	1.86	--	4.1	24.5
条件式(7)	-0.127	-0.120	-0.104	-0.125	-0.113	-0.160	-0.175	-0.113	-0.103
条件式(8)	-1.83	-2.01	-2.21	-1.76	-2.09	-1.56	-1.52	-2.22	-2.19
条件式(9)	1.36	2.85	1.90	2.21	1.31	1.23	1.14	2.07	1.36

【 0 1 5 2 】

表中の「--」とは、その数値実施例には該当しない条件式であることを表わす。以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

40

【 0 1 5 3 】

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10を用いて説明する。

【 0 1 5 4 】

図10は一眼レフカメラの要部概略図である。図10において、10は実施例1～9のいずれか1つの撮影光学系1を有する撮像レンズである。撮影光学系1は保持部材である鏡筒2に保持されている。20はカメラ本体である。カメラ本体は撮像レンズ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、撮像レンズ10の像形成位置に配置さ

50

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 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 6 等によって構成されている。

【0155】

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。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。このように実施例 1 ~ 9 の撮影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、全長短縮した望遠レンズにおいて 0.5 倍以上の横倍率で撮影可能にしている。そして従来のマクロレンズと比較して最短撮影距離が長い諸収差が良好に補正された撮像装置を実現している。

10

【0156】

本発明はクイックリターンミラーのない一眼レフカメラにも適用できる。

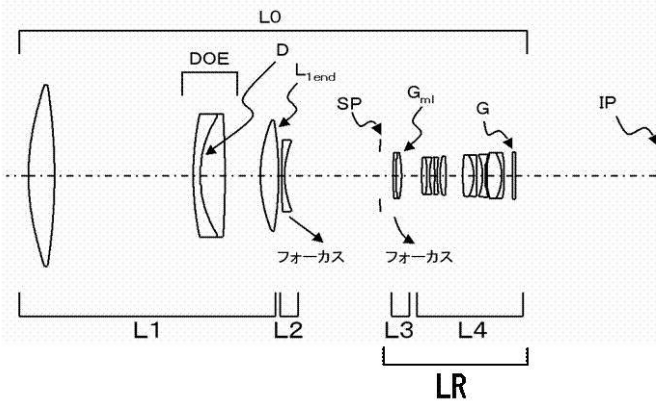
【符号の説明】

【0157】

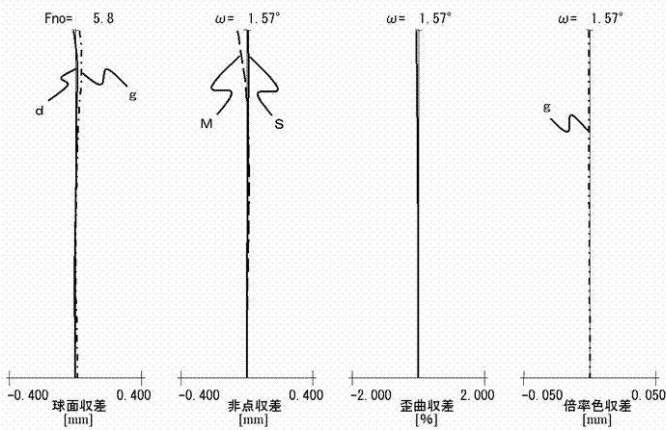
L0 は撮影光学系 L1 は第 1 レンズ群 L2 は第 2 レンズ群 L3 は第 3 レンズ群
 L4 は第 4 レンズ群 L5 は第 5 レンズ群 L6 は第 6 レンズ群
 L_{1end} は正レンズ（又は合成屈折力が正の接合レンズ） L_{1end}
 G_{m1} はレンズ群 G_{m1} G_{i1} はレンズ群 G_{i1}
 DOE は回折光学素子 D は回折光学部 NL は光学素子 NL

【図1】

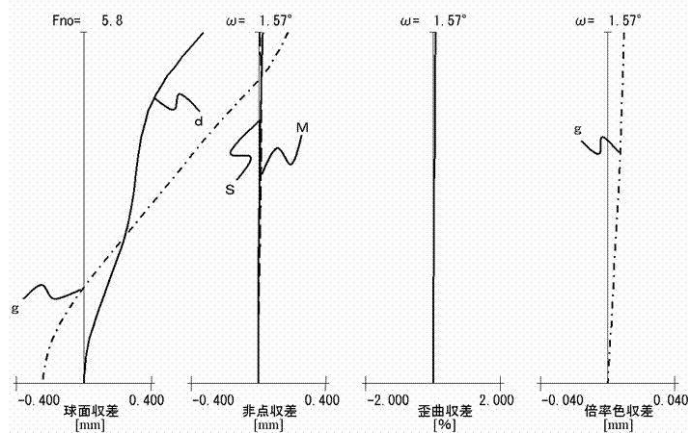
(A)



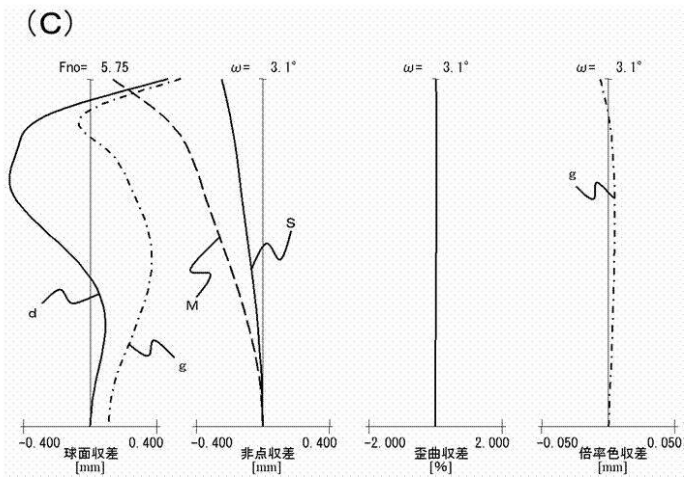
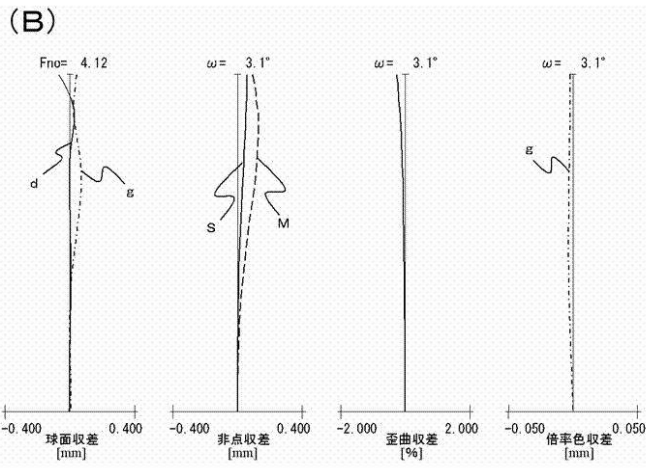
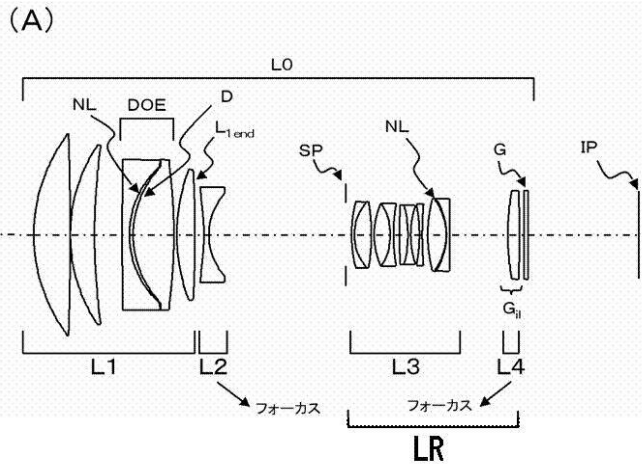
(B)



(C)

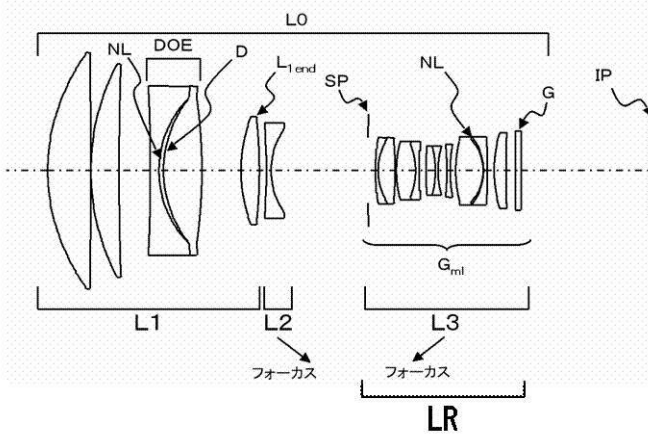


【図2】

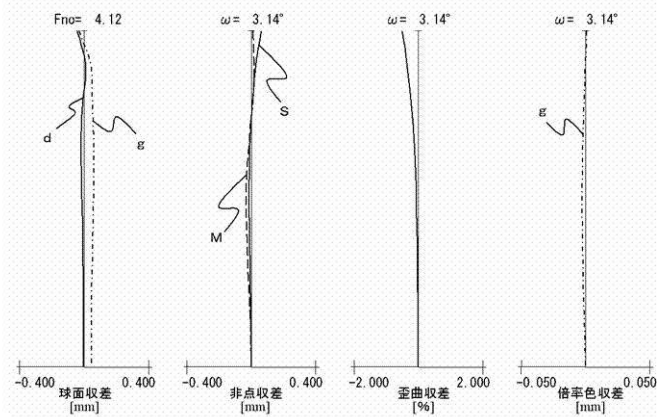


【図3】

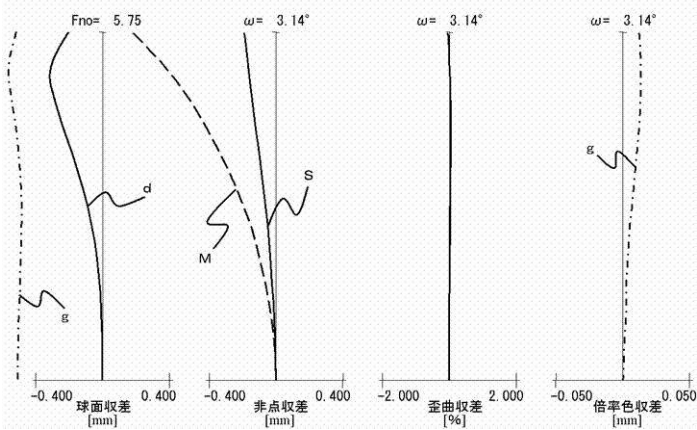
(A)



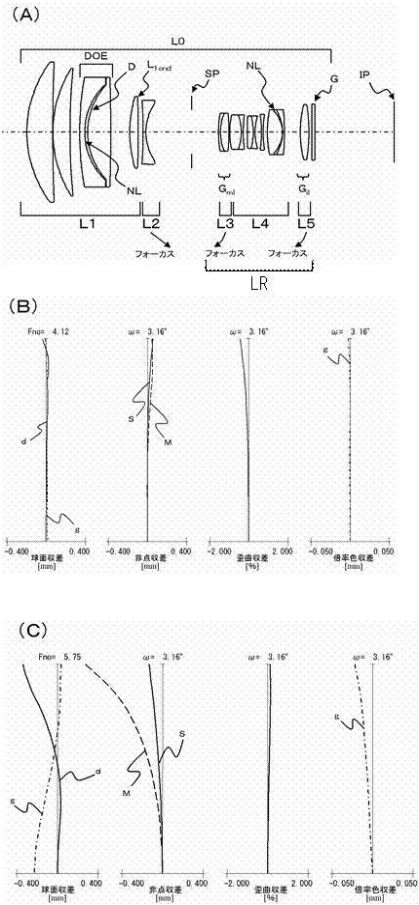
(B)



(C)

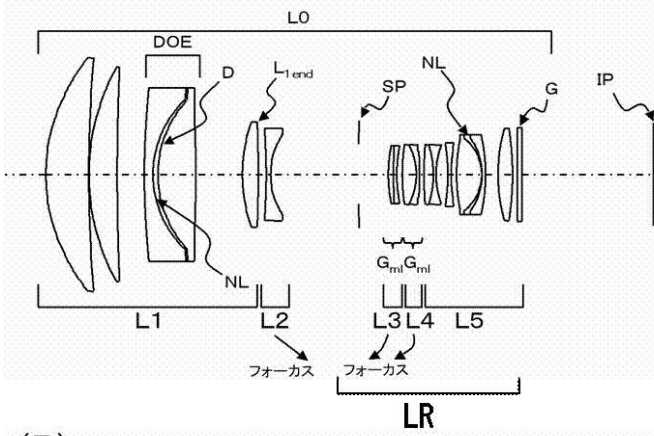


【 図 4 】

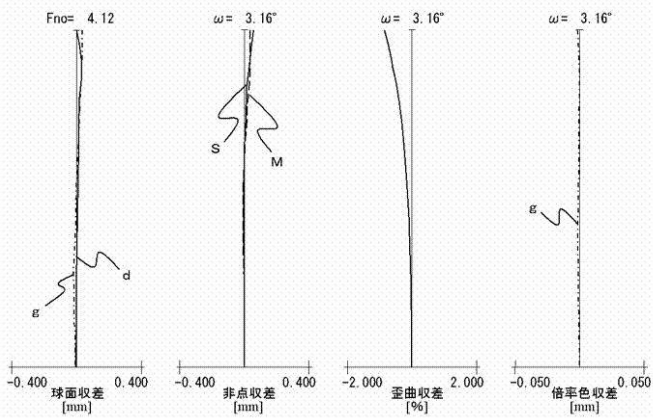


【図5】

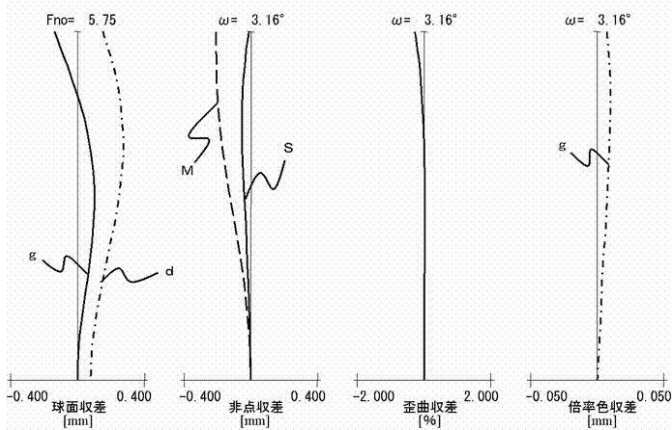
(A)



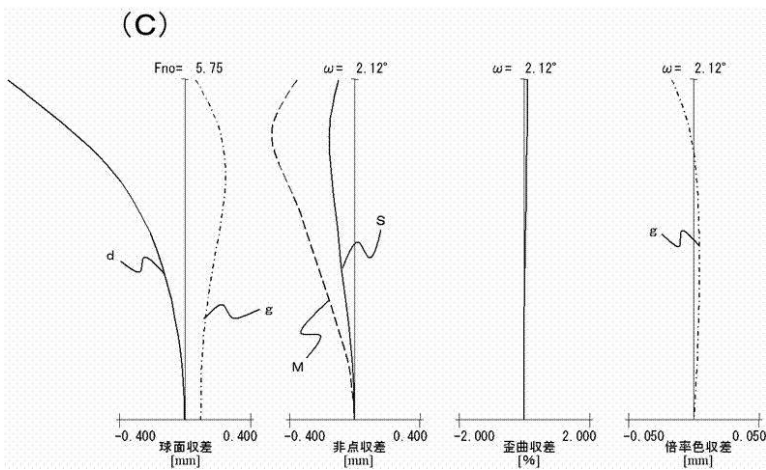
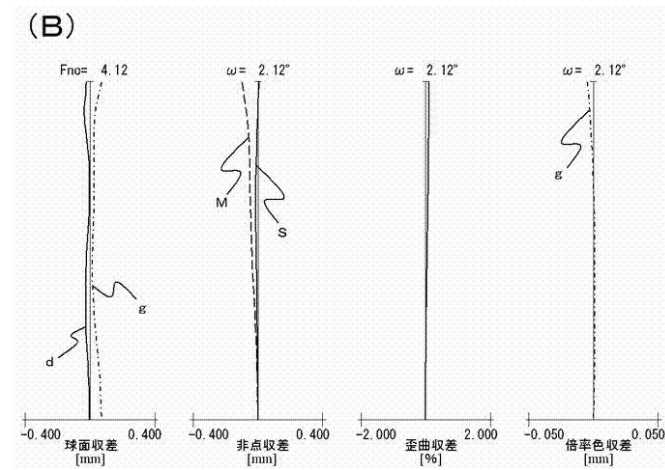
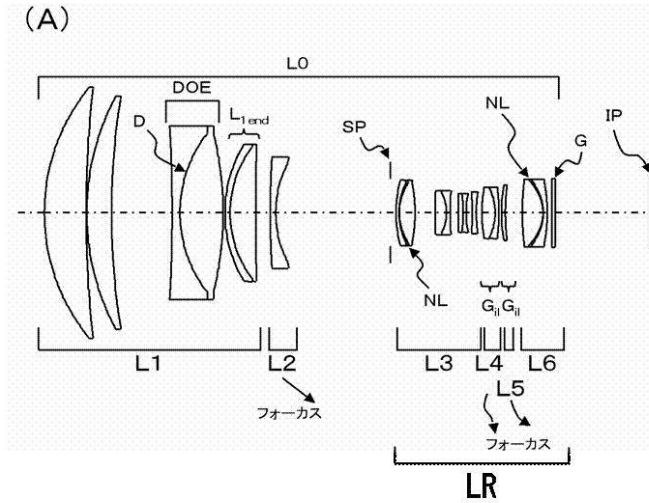
(B)



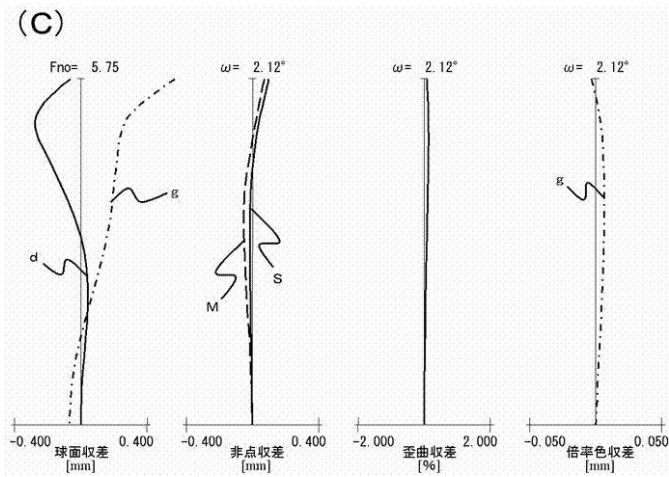
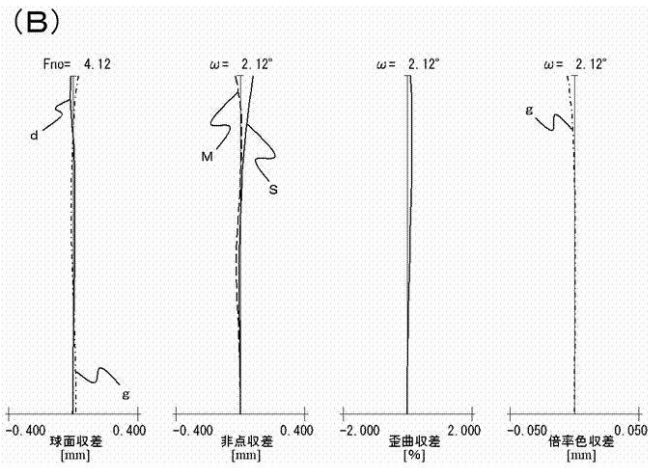
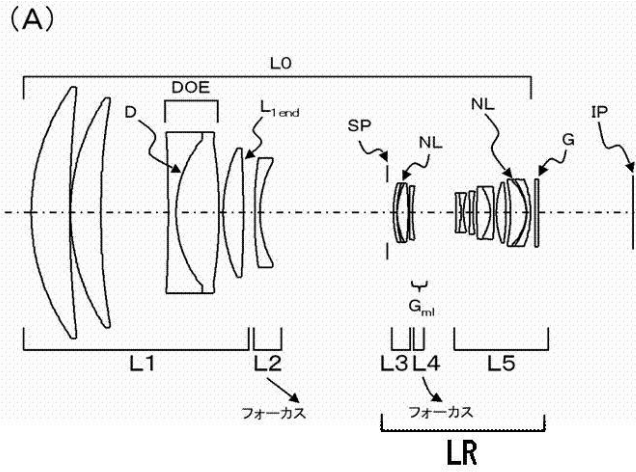
(C)



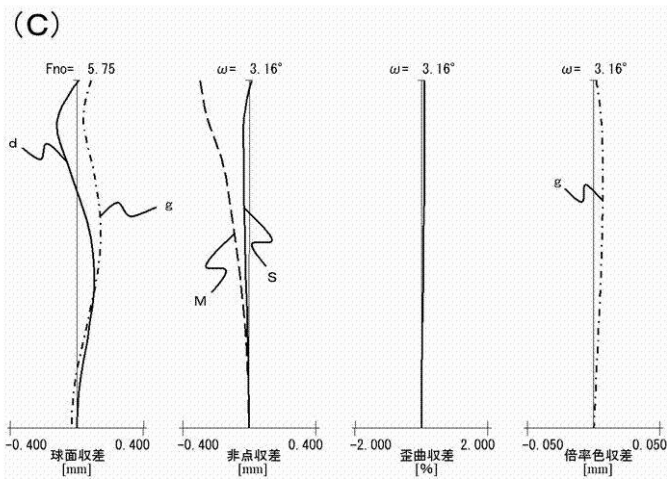
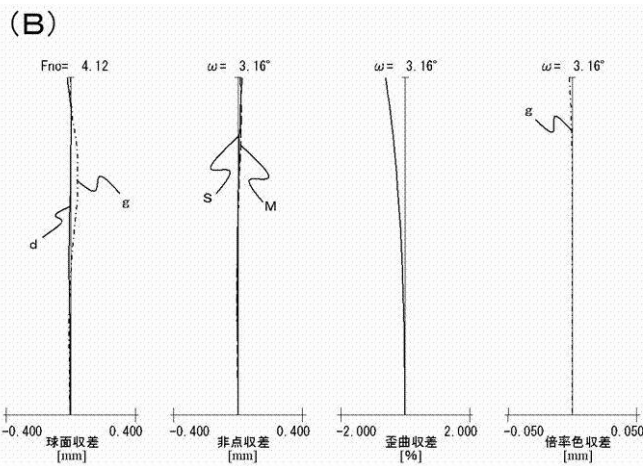
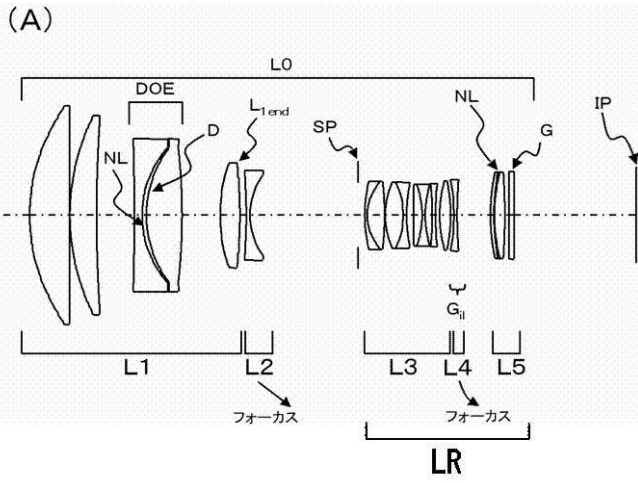
【 図 6 】



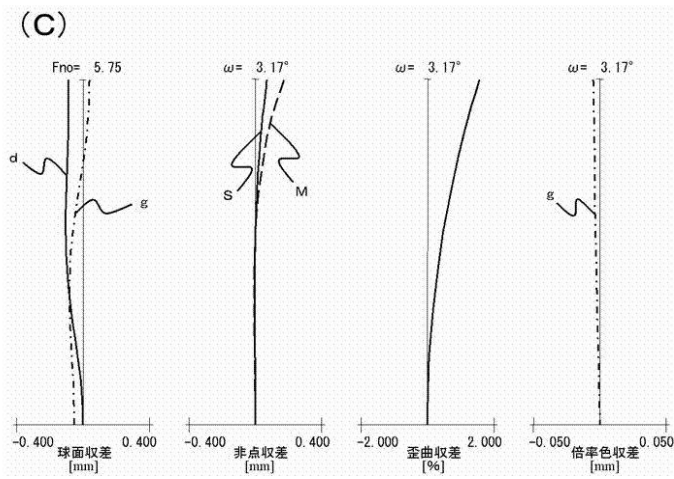
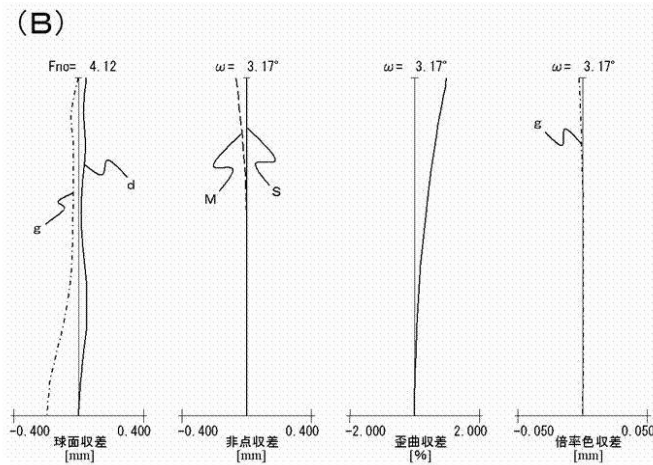
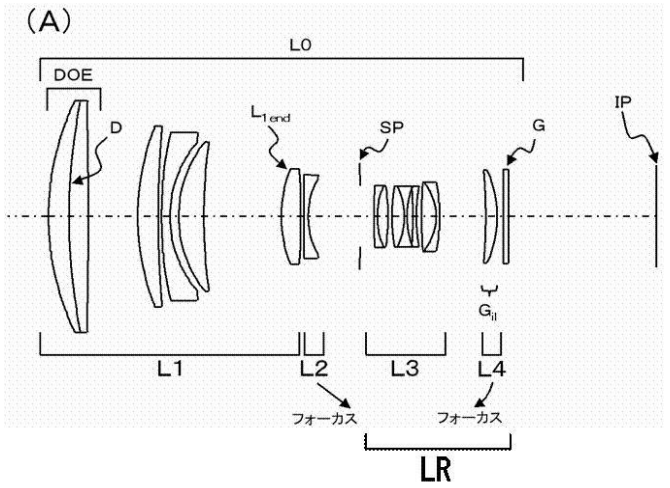
【図7】



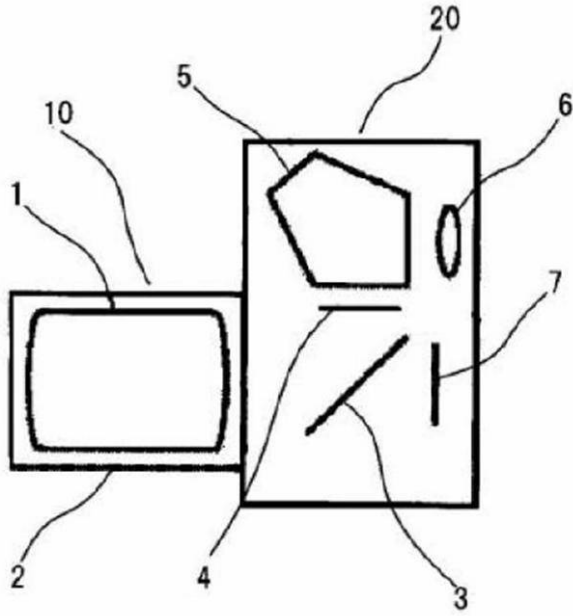
【 図 8 】



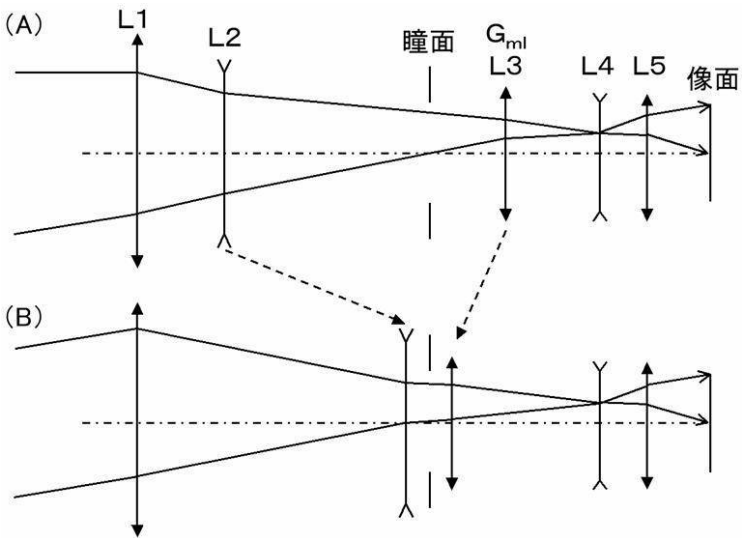
【図 9】



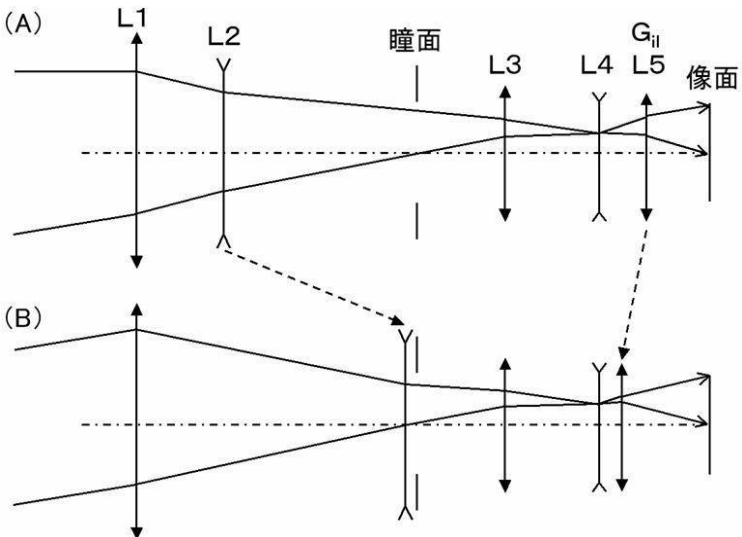
【 図 1 0 】

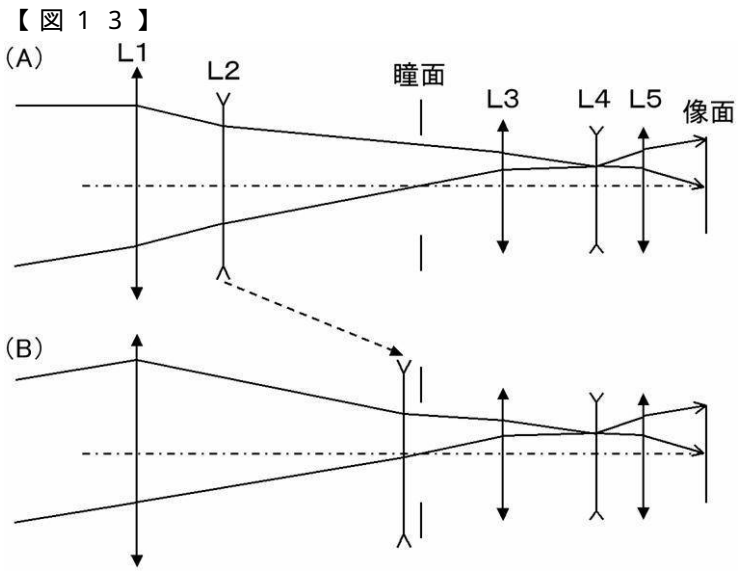


【 図 1 1 】



【 図 1 2 】





フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA01 LA02 MA01 MA07 MA08 MA09 PA11 PA12 PA16 PB15
PB16 PB18 PB19 PB20 QA02 QA06 QA07 QA12 QA14 QA21
QA22 QA25 QA26 QA32 QA34 QA37 QA39 QA41 QA42 QA45
QA46 RA05 RA12 RA13 RA32 RA42 RA46