

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6434352号
(P6434352)

(45) 発行日 平成30年12月5日(2018.12.5)

(24) 登録日 平成30年11月16日(2018.11.16)

(51) Int. Cl. F 1
GO 2 B 13/04 (2006.01) GO 2 B 13/04 D
GO 2 B 13/18 (2006.01) GO 2 B 13/18

請求項の数 9 (全 29 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-69444 (P2015-69444) (22) 出願日 平成27年3月30日 (2015. 3. 30) (65) 公開番号 特開2016-188969 (P2016-188969A) (43) 公開日 平成28年11月4日 (2016. 11. 4) 審査請求日 平成29年12月13日 (2017. 12. 13)</p>	<p>(73) 特許権者 000133227 株式会社タムロン 埼玉県さいたま市見沼区蓮沼 1 3 8 5 番地 (74) 代理人 100104190 弁理士 酒井 昭徳 (72) 発明者 大森 圭介 埼玉県さいたま市見沼区蓮沼 1 3 8 5 番地 株式会社タムロン内 審査官 殿岡 雅仁</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インナーフォーカス式レンズ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から順に配置された、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群と、からなり、

前記第1レンズ群は最も物体側に少なくとも1枚以上の負メニスカスレンズを備え、

前記第3レンズ群の最も像側には負の屈折力を有する単レンズ成分が配置され、

前記第1レンズ群および前記第3レンズ群を固定したまま、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間隔が拡大し、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間隔が縮小するように、前記第2レンズ群を光軸に沿って物体側から像側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行い、

以下に示す条件式を満足することを特徴とするインナーフォーカス式レンズ。

$$(1) \quad 0 < (R1 + R2) / (R1 - R2)$$

ただし、R1は前記負の屈折力を有する単レンズ成分の物体側空気境界面の曲率半径、R2は前記負の屈折力を有する単レンズ成分の像側空気境界面の曲率半径を示す。

【請求項 2】

前記第3レンズ群の最も像側に配置された、負の屈折力を有する単レンズ成分は、単一の硝材で形成され、

以下に示す条件式を満足することを特徴とする請求項1に記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(2) \quad 3.0 < d/n$$

ただし、 d_n は前記負の屈折力を有する単レンズ成分の d 線に対するアッペ数を示す。

【請求項 3】

以下に示す条件式を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(3) \quad 0.28 < f_1 / f < 1.30$$

ただし、 f_1 は無限遠物体合焦状態における前記第 1 レンズ群の焦点距離、 f は無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

【請求項 4】

以下に示す条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(4) \quad f_3 / f < 29.1$$

ただし、 f_3 は無限遠物体合焦状態における前記第 3 レンズ群の焦点距離、 f は無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

【請求項 5】

以下に示す条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(5) \quad 0.50 < \text{inf} / \text{mod} < 2.02$$

ただし、 inf は無限遠物体合焦状態における前記第 2 レンズ群の近軸倍率、 mod は最至近距離物体合焦状態における前記第 2 レンズ群の近軸倍率を示す。

【請求項 6】

前記第 3 レンズ群は、物体側から順に配置された、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群と、からなり、

前記フロントサブレンズ群と前記リアサブレンズ群との間には該第 3 レンズ群中で最も広い軸上空気間隔が形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

【請求項 7】

所定の口径を規定する開口絞りを備え、

以下に示す条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(6) \quad 0.24 < L_{1s} / L < 0.95$$

ただし、 L_{1s} は前記第 1 レンズ群の最物体側面から前記開口絞りまでの軸上距離、 L は光学系における、最物体側のレンズ面頂点から結像面までの軸上距離（光学系全長）を示す。

【請求項 8】

前記第 2 レンズ群は負の屈折力を有する単レンズ成分で構成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

【請求項 9】

以下に示す条件式を満足する請求項 1 ~ 8 のいずれか一つに記載のインナーフォーカス式レンズ。

$$(7) \quad -7.46 < f_2 / f < -2.11$$

ただし、 f_2 は無限遠物体合焦状態における前記第 2 レンズ群の焦点距離、 f は無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、小型で、高い結像性能を備えたインナーフォーカス式レンズに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、特に一眼レフレックスカメラ用レンズ等は、焦点距離に対して長いフランジバツ

10

20

30

40

50

クを確保すべく、光学系後方に正レンズ群を配置してバックフォーカスの確保が容易になるような構成を採用しているものが多かった。しかし、近年、カメラボディーの小型化が進んだことや、デジタルカメラの普及により、長いフランジバックを確保する必要がない場合も増えてきている。

【0003】

また、デジタルカメラでは、動画撮影も可能なことから、動画撮影に対応した高速なオートフォーカス処理が望まれる。オートフォーカスは、まず、一部のレンズ群（フォーカス群）を光軸方向へ高速で振動させて（ウォブリング）、非合焦状態 合焦状態 非合焦状態を作り出す。そして、撮像素子の出力信号から一部画像領域の特定の周波数帯の信号成分を検出して、合焦状態となるフォーカス群の最適位置を求め、その最適位置にフォーカス群を移動させる。特に、動画撮影では、これら一連の動作を高速で連続して繰り返すことが要求される。そして、ウォブリングを実行するためには、フォーカス群を高速に駆動することを可能にすべく、フォーカス群は極力口径を小さく、そして軽くすることが求められる。

10

【0004】

また、光学系の最像側に正レンズ群を配置した場合、フォーカス群の屈折力のある程度強くしなくてはならないため、フォーカシングの際のウォブリングによる収差変動や変倍作用が生じやすくなる。フォーカシングの際のウォブリングによる収差変動や変倍作用を抑制するためには、光学系の最像側に負レンズ群を配置することがより好ましい。

【0005】

かかる要求に応えるべく、動画撮影にも十分対応可能なインナーフォーカス式レンズが提案されている（たとえば、特許文献1を参照。）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2013-97212号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1に開示されたインナーフォーカス式レンズは、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群とを配置し、第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行うものである。このインナーフォーカス式レンズは、35mmフィルムカメラ換算で中望遠の焦点距離をもち、内部に小型、軽量のフォーカス群を備えている。

30

【0008】

ところで、従来、光学像を受光して電気的な画像信号に変換する撮像センサにおいては、オンチップマイクロレンズ等で入射光の効率的な取り込みをするための制限があり、レンズ側で射出瞳をある一定以上大きくして撮像センサへの入射光束のテレセントリック性を確保することが望まれていた。

【0009】

しかしながら、近年の撮像センサでは開口率の向上やオンチップマイクロレンズの設計自由度が進み、撮影レンズ側に求められる射出瞳の制限も少なくなってきた。さらに、昨今のソフトウェアやカメラシステムの進歩、向上もあり、歪曲収差がある程度大きく従来では目立つものであっても画像処理により補正することも可能になってきている。

40

【0010】

このため、従来の撮影レンズでは、光学系の最像側に正レンズ成分を配置して、テレセントリック性が確保されていたが、近年ではその必要がなくなっており、光学系の最像側に負レンズ成分を配置して撮像センサに対する光束の斜入射があってもオンチップマイクロレンズとの瞳の mismatch 等による周辺減光（シェーディング）が目立ちにくくなってきた。また、光学系の最像側に負レンズ成分を配置することが可能になったことで、

50

光学系口径の小型化が期待できる。

【0011】

これに対して、特許文献1に開示されたインナーフォーカス式レンズでは、光学系全長は短くなっているものの、光学系の最像側に正レンズ成分が配置されていることから、明るい光学系の実現のためには適しているが、第3レンズ群（最も像側のレンズ）の口径の小型化が不十分である。このため、近年広く普及しているミラーレス一眼カメラをはじめとする光学系の口径方向の小型化が進んだカメラには適用が難しい。

【0012】

さらに、特許文献1に開示されたインナーフォーカス式レンズは、広角化を目的としたものではないため、広角化を図るうえで必要とされる、像面湾曲、歪曲収差の補正や周辺光量の確保といった点が考慮されていない。

10

【0013】

本発明は、上述した従来技術による問題点を解消するため、小型、軽量のフォーカス群を備えるとともに、広角の焦点距離を有し、高い結像性能を備えた、小型のインナーフォーカス式レンズを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、物体側から順に配置された、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群と、からなり、前記第1レンズ群は最も物体側に少なくとも1枚以上の負メニスカスレンズを備え、前記第3レンズ群の最も像側には負の屈折力を有する単レンズ成分が配置され、前記第1レンズ群および前記第3レンズ群を固定したまま、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間隔が拡大し、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間隔が縮小するように、前記第2レンズ群を光軸に沿って物体側から像側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行い、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

20

$$(1) \quad 0 < (R1 + R2) / (R1 - R2)$$

ただし、R1は前記負の屈折力を有する単レンズ成分の物体側空気境界面の曲率半径、R2は前記負の屈折力を有する単レンズ成分の像側空気境界面の曲率半径を示す。

30

【0015】

本発明によれば、小型、軽量のフォーカス群を備えるとともに、広角の焦点距離を有し、高い結像性能を備えた、小型のインナーフォーカス式レンズを実現することができる。特に、条件式(1)を満足することで、第3レンズ群（最も像側のレンズ）の口径を縮小するとともに、軸外のコマ収差を良好に補正することができる。

【0016】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、前記第3レンズ群の最も像側に配置された、負の屈折力を有する単レンズ成分が、単一の硝材で形成され、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

$$(2) \quad 30 < d n$$

40

ただし、dnは前記負の屈折力を有する単レンズ成分のd線に対するアッペ数を示す。

【0017】

本発明によれば、第3レンズ群に含まれる、負の屈折力を有する単レンズ成分の小型、軽量化が容易になるとともに、倍率色収差を良好に補正することができる。

【0018】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

$$(3) \quad 0.28 < f1 / f < 1.30$$

ただし、f1は無限遠物体合焦状態における前記第1レンズ群の焦点距離、fは無限遠

50

物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

【0019】

本発明によれば、さらに小型で高い結像性能を備えたインナーフォーカス式レンズを実現することができる。

【0020】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

$$(4) \quad f_3 / f = 2.9 \sim 1$$

ただし、 f_3 は無限遠物体合焦状態における前記第3レンズ群の焦点距離、 f は無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

10

【0021】

本発明によれば、光学系の全長を短縮するとともに、結像性能を向上させることができる。

【0022】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

$$(5) \quad 0.50 < \text{inf} / \text{mod} < 2.02$$

ただし、 inf は無限遠物体合焦状態における前記第2レンズ群の近軸倍率、 mod は最至近距離物体合焦状態における前記第2レンズ群の近軸倍率を示す。

20

【0023】

本発明によれば、フォーカシングによる画角変動を抑制して、結像性能を向上させることができる。

【0024】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、前記第3レンズ群が、物体側から順に配置された、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群と、からなり、前記フロントサブレンズ群と前記リアサブレンズ群との間には該第3レンズ群中で最も広い軸上空気間隔が形成されていることを特徴とする。

【0025】

本発明によれば、結像面に近いレンズの口径を縮小するとともに、軸上収差や軸外収差（特に歪曲収差）を良好に補正することができる。

30

【0026】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、所定の口径を規定する開口絞りを備え、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

$$(6) \quad 0.24 < L_{1s} / L < 0.95$$

ただし、 L_{1s} は前記第1レンズ群の最物体側面から前記開口絞りまでの軸上距離、 L は光学系における、最物体側のレンズ面頂点から結像面までの軸上距離（光学系全長）を示す。

【0027】

本発明によれば、結像性能を維持しながら前玉径および後玉径の縮小を図ることで、光学系の小型化を促進することができる。

40

【0028】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、前記第2レンズ群が負の屈折力を有する単レンズ成分で構成されていることを特徴とする。

【0029】

本発明によれば、フォーカス群である第2レンズ群の小型、軽量化を図ることで、動画撮影に適したインナーフォーカス式レンズを提供することができる。

【0030】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、前記発明において、以下に示す条件式を満足することを特徴とする。

50

(7) $-7.46 f_2 / f - 2.11$

ただし、 f_2 は無限遠物体合焦状態における前記第2レンズ群の焦点距離、 f は無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を示す。

【0031】

本発明によれば、光学系の全長を短縮するとともに、結像性能を向上させることができる。

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、小型、軽量のフォーカス群を備えるとともに、広角の焦点距離を有し、高い結像性能を備えた、小型のインナーフォーカス式レンズを提供することができるという効果を奏する。本発明によれば、動画撮影にも好適な、小型のインナーフォーカス式レンズを提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】実施例1にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図2】実施例1にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。

【図3】実施例2にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図4】実施例2にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。

20

【図5】実施例3にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図6】実施例3にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。

【図7】実施例4にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図8】実施例4にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズの好適な実施の形態を詳細に説明する。

30

【0035】

本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、物体側から順に配置された、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群と、からなっている。

【0036】

本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第1レンズ群および第3レンズ群を固定したまま、第1レンズ群と第2レンズ群との間隔が拡大し、第2レンズ群と第3レンズ群との間隔が縮小するように、第2レンズ群を光軸に沿って物体側から像側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行う。このように、第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行うことで、光学系全長の変化がなく、防塵、防音性能を高めることができる。

40

【0037】

また、最も物体側に正の屈折力を有する第1レンズ群を配置したことにより、後続する第2レンズ群へ導かれる光束径を縮小することができる。このため、フォーカス群である第2レンズ群の口径を小さくして、第2レンズ群の軽量化を図ることができる。この結果、高速かつ静粛性の高いフォーカシングが可能になり、動画撮影に有効である。また、第2レンズ群の口径を小さくすることができるため、光学系口径の小型化に有利である。

【0038】

また、第1レンズ群の最も物体側に少なくとも1枚以上の負メニスカスレンズを配置することで、光学系の広角化が容易になる。

50

【0039】

さらに、最も像側に負の屈折力を有する第3レンズ群を配置したことにより、テレフォト比（全長／焦点距離）を小さくして、バックフォーカスを短縮することが可能になり、光学系の小型化を促進することができる。

【0040】

本発明は、小型、軽量のフォーカス群を備えるとともに、広角の焦点距離を有し、高い結像性能を備えた、小型のインナーフォーカス式レンズを提供することを目的としている。そこで、かかる目的を達成するため、上記特徴に加え、以下に示すような各種条件を設定している。

【0041】

まず、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第3レンズ群の最も像側に負の屈折力を有する単レンズ成分を配置することが好ましい。このようにすることで、第3レンズ群（最も像側のレンズ）の口径の小型化をより促進することができ、近年広く普及しているミラーレス一眼カメラ等の小型カメラに好適である。

【0042】

なお、単レンズ成分とは、単一の研磨レンズや、非球面レンズ、複合非球面レンズ、接合レンズを含み、空気層をもち互いに接着されていない、たとえば正負の2枚レンズなどは含まない。

【0043】

本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第3レンズ群の最も像側に負の屈折力を有する単レンズ成分を配置することに加え、当該負の屈折力を有する単レンズ成分の物体側空気境界面の曲率半径をR1、当該負の屈折力を有する単レンズ成分の像側空気境界面の曲率半径をR2とすると、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(1) \quad 0 < (R1 + R2) / (R1 - R2)$$

【0044】

条件式(1)は、第3レンズ群の最も像側に配置される、負の屈折力を有する単レンズ成分の形状を規定する式である。条件式(1)を満足することで、高い結像性能を備えることができる。すなわち、条件式(1)を満足すると、当該単レンズ成分において、物体側面の曲率半径が像側面の曲率半径より大きくなる。この結果、軸外コマ収差の良好な補正が可能になる。

【0045】

なお、上記条件式(1)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(1a) \quad 0.5 < (R1 + R2) / (R1 - R2)$$

【0046】

また、上記条件式(1a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(1b) \quad 0.7 < (R1 + R2) / (R1 - R2) < 1.0$$

【0047】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズにおいて、第3レンズ群の最も像側に配置された、負の屈折力を有する単レンズ成分は、単一の硝材で形成されることが好ましい。第3レンズ群中の当該単レンズ成分を単一の硝材で形成すると、当該単レンズ成分の光軸方向、径方向の小型化が容易になる。また、当該単レンズ成分の軽量化を図ることも容易になる。

【0048】

そして、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、当該負の屈折力を有する単レンズ成分のd線に対するアッペ数をdnとすると、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(2) \quad 3.0 < dn$$

【0049】

条件式(2)においてその下限を下回ると、倍率色収差が過補正になり、高い結像性能を維持することが困難になるため、好ましくない。

【0050】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、無限遠物体合焦状態における第1レンズ群の焦点距離を f_1 、無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を f とすると、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(3) \quad 0.28 < f_1 / f < 1.30$$

【0051】

条件式(3)は、無限遠物体合焦状態における、第1レンズ群の焦点距離と光学系全系の焦点距離との比を規定する式である。条件式(3)を満足することにより、光学系全系の焦点距離に対する第1レンズ群の焦点距離が適正なものとなって、後玉径の縮小および光学系全長の短縮を図るとともに、結像性能を向上させることが可能になる。

10

【0052】

条件式(3)においてその下限を下回ると、第1レンズ群の焦点距離が短くなって球面収差が補正不足となるばかりか、後続するレンズ群の近軸結像倍率が大きくなって後玉径が拡大し光学系の大型化につながるため、好ましくない。一方、条件式(3)においてその上限を超えると、第1レンズ群の焦点距離が長くなって光学系全長が伸び、光学系の小型化を図ることが困難になる。

【0053】

なお、上記条件式(3)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

20

$$(3a) \quad 0.37 < f_1 / f < 0.97$$

【0054】

また、上記条件式(3a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(3b) \quad 0.45 < f_1 / f < 0.80$$

【0055】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、無限遠物体合焦状態における第3レンズ群の焦点距離を f_3 、無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を f とすると、次の条件式を満足することが好ましい。

30

$$(4) \quad f_3 / f < -29.1$$

【0056】

条件式(4)は、無限遠物体合焦状態における、第3レンズ群の焦点距離と光学系全系の焦点距離との比を規定する式である。この条件式(4)を満足することにより、第3レンズ群の屈折力が適正化され、結像性能を劣化させることなく、光学系の全長および口径の小型化を達成することができる。

【0057】

条件式(4)においてその上限を超えると、第3レンズ群の屈折力が強くなる。この場合、当該光学系全系におけるFナンバーが大きくなる傾向になり、明るい光学系を得ることができない。この状態で明るい光学系を実現するためには、開口絞りを大きく開く必要がある。しかし、開口絞りを大きく開くと諸収差の発生が顕著になることから、結像性能の良好な光学系を実現するためには、収差補正のためにレンズ枚数を増やさなければならなくなる。特に、第1レンズ群を構成するレンズの枚数を増やす必要が生じる。光学系を構成するレンズ枚数が多くなると、光学系の小型、軽量化を図ることが困難になるため、好ましくない。

40

【0058】

なお、上記条件式(4)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(4a) \quad -12000 < f_3 / f < -30.1$$

【0059】

50

また、上記条件式(4a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(4b) \quad -10000 \leq f_3 / f \leq -31.1$$

【0060】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、無限遠物体合焦状態における第2レンズ群の近軸倍率を inf 、最至近距離物体合焦状態における第2レンズ群の近軸倍率を mod とするとき、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(5) \quad 0.50 \leq inf / mod \leq 2.02$$

【0061】

条件式(5)は、無限遠物体合焦状態と最至近距離物体合焦状態とにおける第2レンズ群の近軸横倍率の比を規定する式である。条件式(5)を満足することにより、フォーカス群(第2レンズ群)を稼動させても倍率の変化を抑制することができ、フォーカシングの際の画角変動を抑えることができる。条件式(5)で規定した範囲から逸脱すると、フォーカシングの際の画角変動を抑制することができなくなる。フォーカス群の移動中に画角変動が起きると、像が揺れているように見えて画像の品位が低下する。

【0062】

なお、上記条件式(5)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(5a) \quad 0.60 \leq inf / mod \leq 1.80$$

【0063】

また、上記条件式(5a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(5b) \quad 0.68 \leq inf / mod \leq 1.60$$

【0064】

さらに、上記条件式(5b)は、次に示す範囲を満足すると、フォーカシング時の画角変動を極めて小さくすることができる。

$$(5c) \quad 0.80 \leq inf / mod \leq 1.40$$

【0065】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第3レンズ群を、物体側から順に配置された、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群と、により構成するとともに、フロントサブレンズ群とリアサブレンズ群との間に第3レンズ群中で最も広い軸上空気間隔を形成している。

【0066】

このようにすることで、結像面に近いレンズ口径を縮小するとともに、結像性能を向上させることができる。すなわち、ミラーレス一眼カメラ等の小型カメラに搭載目的のショートフランジバックの光学系の小型化で課題となる像側のレンズ口径の拡大を、第3レンズ群の物体側に正の屈折力を有するフロントサブレンズ群を配置することで抑制できる。さらに、負の屈折力を有するリアサブレンズ群をフロントサブレンズ群の像側に空気間隔を設けて配置することで、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群で軸上収差を補正しつつ、リアサブレンズ群において軸外収差、特に歪曲収差を良好に補正することができる。

【0067】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、所定の口径を規定する開口絞りを備え、第1レンズ群の最物体側面から開口絞りまでの軸上距離を $L1s$ 、光学系における、最物体側のレンズ面頂点から結像面までの軸上距離(光学系全長)を L とするとき、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(6) \quad 0.24 \leq L1s / L \leq 0.95$$

【0068】

条件式(6)は、第1レンズ群の最物体側面から開口絞りまでの軸上距離と光学系全長との比を規定する式である。条件式(6)を満足することで、光学系全長に対する開口絞

10

20

30

40

50

りの適切な位置を規定して、高い結像性能を維持しながら、光学系口径の小型化を実現することができる。

【0069】

条件式(6)においてその下限を下回ると、開口絞りが物体側に近づきすぎて像側のレンズ口径が拡大するばかりか、後群における軸外収差、主に歪曲収差の発生が顕著になるため、好ましくない。一方、条件式(6)においてその上限を超えると、開口絞りが像側に近づきすぎて、前玉の有効径の拡大につながり、光学系の小型化が困難になる。なお、開口絞りは、第1レンズ群内に配置されることが好ましい。

【0070】

なお、上記条件式(6)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(6a) \quad 0.32 < L1s / L < 0.71$$

【0071】

また、上記条件式(6a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(6b) \quad 0.40 < L1s / L < 0.60$$

【0072】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第2レンズ群を負の屈折力を有する単レンズ成分で構成することが好ましい。なお、単レンズ成分の意味は、前述のとおりである。

【0073】

第2レンズ群を負の屈折力を有する単レンズ成分で構成することでフォーカス群の小型、軽量化が達成され、高速のフォーカシングが可能になり、動画撮影に有効である。また、フォーカス群の小型、軽量化を図ることにより、フォーカス群の駆動をつかさどるアクチュエータ等の駆動手段の負荷も減少し、省電力化に資することになる。また、当該駆動手段の一層の小型化を促進することができる。

【0074】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、無限遠物体合焦状態における第2レンズ群の焦点距離を f_2 、無限遠物体合焦状態における光学系全系の焦点距離を f とすると、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(7) \quad -7.46 < f_2 / f < -2.11$$

【0075】

条件式(7)は、無限遠物体合焦状態における、第2レンズ群の焦点距離と光学系全系の焦点距離との比を規定する式である。条件式(7)を満足することにより、光学系の小型化を実現しつつ、高い結像性能を維持することができる(特に像面湾曲の補正に有効)。

【0076】

条件式(7)においてその下限を下回ると、第2レンズ群の焦点距離が長くなって、第2レンズ群の負のパワーが弱くなりすぎる。この結果、フォーカシング時の第2レンズ群の移動量が増大して、光学系全長が延び、光学系の小型化が困難になる。一方、条件式(7)においてその上限を超えると、第2レンズ群の焦点距離が短くなって、第2レンズ群の負のパワーが強くなりすぎる。この結果、フォーカシング時の第2レンズ群の移動に伴う収差変動(特に像面湾曲の変動)、画角変動が過大となり、好ましくない。

【0077】

なお、上記条件式(7)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(7a) \quad -5.60 < f_2 / f < -1.80$$

【0078】

また、上記条件式(7a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

10

20

30

40

50

$$(7b) \quad -5.00 \quad f_2 / f \quad -1.62$$

【0079】

さらに、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズでは、第2レンズ群の最物体側面の曲率半径を R_{21} 、第2レンズ群の最像側面の曲率半径を R_{22} とすると、次の条件式を満足することが好ましい。

$$(8) \quad 0 < (R_{21} + R_{22}) / (R_{21} - R_{22})$$

【0080】

条件式(8)は、第2レンズ群における、最物体側面の形状と最像側面の形状を規定する式である。条件式(8)を満足することにより、第2レンズ群における、最像側面の曲率半径が最物体側面の曲率半径より小さくなる。この結果、強いパワーをもつ面に入射する光線角度の変化を小さくして、フォーカシング時の像面湾曲の変動を抑制することができる。

10

【0081】

なお、上記条件式(8)は、次に示す範囲を満足すると、より好ましい効果が期待できる。

$$(8a) \quad 1 < (R_{21} + R_{22}) / (R_{21} - R_{22})$$

【0082】

また、上記条件式(8a)は、次に示す範囲を満足すると、さらに好ましい効果が期待できる。

$$(8b) \quad 1 < (R_{21} + R_{22}) / (R_{21} - R_{22}) < 3.00$$

20

【0083】

また、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズにおいて、第1レンズ群中に非球面が形成された正レンズを配置すると、球面収差の補正に効果的である。特に、当該正レンズに近軸曲率のパワーを弱める形状の非球面を形成すると、球面収差の補正効果が向上する。

【0084】

また、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズにおいて、第2レンズ群を構成するレンズに非球面を形成すると、像面湾曲の補正により効果的である。特に、第2レンズ群を構成するレンズに近軸曲率のパワーを弱める形状の非球面を形成すると、像面湾曲の補正効果がより向上するとともに、フォーカシング時の像面湾曲の変動を抑える効果がより高くなる。

30

【0085】

また、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズにおいて、第3レンズ群を構成するレンズに非球面を形成すると、像面湾曲の補正に効果的である。特に、第3レンズ群を構成するレンズに近軸曲率のパワーを弱める形状の非球面を形成すると、像面湾曲の補正効果が向上する。

【0086】

以上説明したように、本発明によれば、小型、軽量のフォーカス群を備えるとともに、広角の焦点距離を有し、高い結像性能を備えた、小型のインナーフォーカス式レンズを実現することができる。特に、上記各条件式を満足することで、動画撮影に好適な、より小型で高い結像性能を有するインナーフォーカス式レンズを実現することができる。

40

【0087】

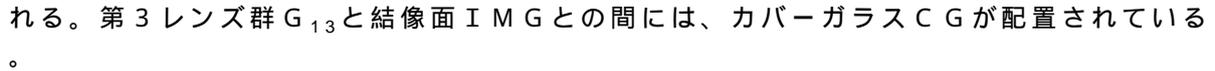
以下、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズの実施例を図面に基づき詳細に説明する。なお、以下の実施例によりこの発明が限定されるものではない。

【実施例1】

【0088】

図1は、実施例1にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。図1は、無限遠物体合焦状態を示している。このインナーフォーカス式レンズは、図示しない物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群 G_{11} と、負の屈折力を有する第2レンズ群 G_{12} と、負の屈折力を有する第3レンズ群 G_{13} と、が配置されて構成さ

50

れる。第3レンズ群 G_{13} と結像面との間には、カバーガラスCGが配置されている。

【0089】

第1レンズ群 G_{11} は、物体側から順に、負メニスカスレンズ L_{111} と、負メニスカスレンズ L_{112} と、負レンズ L_{113} と、正レンズ L_{114} と、負レンズ L_{115} と、正レンズ L_{116} と、所定の口径を規定する開口絞りSTPと、正レンズ L_{117} と、が配置されて構成される。負レンズ L_{113} の両面には、非球面が形成されている。負レンズ L_{115} と正レンズ L_{116} とは、接合されている。正レンズ L_{117} の両面には、非球面が形成されている。

【0090】

第2レンズ群 G_{12} は、負レンズ L_{121} により構成される。負レンズ L_{121} の両面には、非球面が形成されている。

10

【0091】

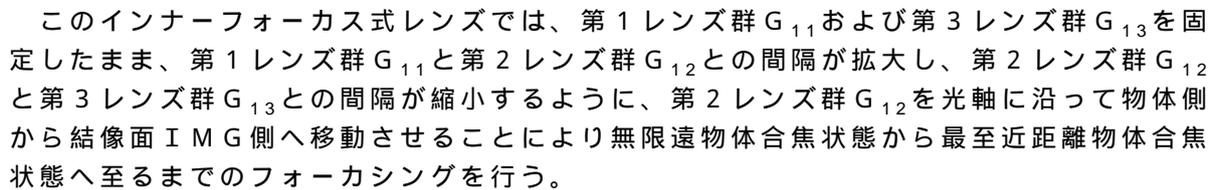
第3レンズ群 G_{13} は、物体側から順に、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群 G_{13F} と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群 G_{13R} と、が配置されて構成される。フロントサブレンズ群 G_{13F} とリアサブレンズ群 G_{13R} との間には、第3レンズ群 G_{13} 中で最も広い軸上空気間隔が形成されている。

【0092】

フロントサブレンズ群 G_{13F} は、物体側から順に、正レンズ L_{131} と、正レンズ L_{132} と、が配置されて構成される。リアサブレンズ群 G_{13R} は、負レンズ L_{133} により構成される。負レンズ L_{133} は、単一の硝材で形成されている。負レンズ L_{133} の両面には、非球面が形成されている。

20

【0093】

このインナーフォーカス式レンズでは、第1レンズ群 G_{11} および第3レンズ群 G_{13} を固定したまま、第1レンズ群 G_{11} と第2レンズ群 G_{12} との間隔が拡大し、第2レンズ群 G_{12} と第3レンズ群 G_{13} との間隔が縮小するように、第2レンズ群 G_{12} を光軸に沿って物体側から結像面側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行う。

【0094】

以下、実施例1にかかるインナーフォーカス式レンズに関する各種数値データを示す。

【0095】

30

(レンズデータ)

$$r_1 = 28.832$$

$$d_1 = 2.000 \quad n_{d_1} = 1.5935 \quad d_1 = 67.00$$

$$r_2 = 15.623$$

$$d_2 = 6.886$$

$$r_3 = 29.397$$

$$d_3 = 1.500 \quad n_{d_2} = 1.4970 \quad d_2 = 81.61$$

$$r_4 = 13.122$$

$$d_4 = 5.883$$

$$r_5 = 52.568 \text{ (非球面)}$$

40

$$d_5 = 1.300 \quad n_{d_3} = 1.5920 \quad d_3 = 67.02$$

$$r_6 = 12.910 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 3.068$$

$$r_7 = 30.333$$

$$d_7 = 2.265 \quad n_{d_4} = 1.8810 \quad d_4 = 40.14$$

$$r_8 = 141.737$$

$$d_8 = 12.099$$

$$r_9 = 24.676$$

$$d_9 = 1.000 \quad n_{d_5} = 1.8810 \quad d_5 = 40.14$$

$$r_{10} = 13.601$$

50

$d_{10} = 5.292$	$n d_6 = 1.4875$	$d_6 = 70.44$	
$r_{11} = -35.502$			
$d_{11} = 1.300$			
$r_{12} =$ (開口絞り)			
$d_{12} = 2.425$			
$r_{13} = 30.850$ (非球面)			
$d_{13} = 4.386$	$n d_7 = 1.4971$	$d_7 = 81.56$	
$r_{14} = -18.338$ (非球面)			
$d_{14} = D(14)$ (可変)			
$r_{15} = 45.781$ (非球面)			10
$d_{15} = 0.800$	$n d_8 = 1.7290$	$d_8 = 54.04$	
$r_{16} = 19.193$ (非球面)			
$d_{16} = D(16)$ (可変)			
$r_{17} = -68.737$			
$d_{17} = 2.535$	$n d_9 = 1.4970$	$d_9 = 81.61$	
$r_{18} = -25.555$			
$d_{18} = 0.100$			
$r_{19} = -329.577$			
$d_{19} = 4.036$	$n d_{10} = 1.4970$	$d_{10} = 81.61$	20
$r_{20} = -23.042$			
$d_{20} = 0.329$			
$r_{21} = -400.000$ (非球面)			
$d_{21} = 1.200$	$n d_{11} = 1.8820$	$d_{11} = 37.22$	
$r_{22} = 26.785$ (非球面)			
$d_{22} = 25.606$			
$r_{23} =$			
$d_{23} = 2.500$	$n d_{12} = 1.5168$	$d_{12} = 64.20$	
$r_{24} =$			
$d_{24} = 1.000$			
$r_{25} =$ (結像面)			30
【 0 0 9 6 】			
円錐係数 (k) および非球面係数 (A_4, A_6, A_8, A_{10})			
(第 5 面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -2.6625 \times 10^{-5}, A_6 = 3.0031 \times 10^{-7},$			
$A_8 = -1.7989 \times 10^{-9}, A_{10} = 5.7847 \times 10^{-12}$			
(第 6 面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -6.8334 \times 10^{-5}, A_6 = 8.4364 \times 10^{-9},$			
$A_8 = -1.2228 \times 10^{-9}, A_{10} = -9.8374 \times 10^{-12}$			40
(第 1 3 面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -2.2269 \times 10^{-5}, A_6 = 1.1253 \times 10^{-9},$			
$A_8 = -1.0562 \times 10^{-9}, A_{10} = -3.1969 \times 10^{-12}$			
(第 1 4 面)			
$k = 0,$			
$A_4 = 5.1791 \times 10^{-5}, A_6 = -5.2286 \times 10^{-7},$			
$A_8 = 4.0083 \times 10^{-9}, A_{10} = 2.3692 \times 10^{-11}$			
(第 1 5 面)			
$k = 0,$			50

$$A_4 = 2.0348 \times 10^{-5}, A_6 = -1.1141 \times 10^{-6},$$

$$A_8 = 1.4175 \times 10^{-8}, A_{10} = -5.7786 \times 10^{-11}$$

(第16面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = 2.1580 \times 10^{-5}, A_6 = -8.9505 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 1.2780 \times 10^{-8}, A_{10} = -5.7413 \times 10^{-11}$$

(第21面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = -2.4151 \times 10^{-5}, A_6 = -1.3394 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 2.2182 \times 10^{-9}, A_{10} = -7.5852 \times 10^{-12}$$

(第22面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = -3.5206 \times 10^{-6}, A_6 = -1.2925 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 2.2655 \times 10^{-9}, A_{10} = -8.5817 \times 10^{-12}$$

【0097】

(各合焦状態の数値データ)

	無限遠	最至近距離 (物体距離158.000mm)	
D(14)	1.472	2.318	
D(16)	6.519	5.674	
f (光学系全系の焦点距離)	18.54	17.88	20
FNO (Fナンバー)	2.88	2.92	
(半画角)	50.29	49.76	
f1 (第1レンズ群G ₁₁ の焦点距離)	10.28	10.28	
f2 (第2レンズ群G ₁₂ の焦点距離)	-45.92	-45.92	
f3 (第3レンズ群G ₁₃ の焦点距離)	-722.75	-722.75	
BF (バックフォーカス)	29.106	29.106	

【0098】

(条件式(1)に関する数値)

$$R1 \text{ (負レンズ } L_{133} \text{ の物体側空気境界面の曲率半径)} = -400.000$$

$$R2 \text{ (負レンズ } L_{133} \text{ の像側空気境界面の曲率半径)} = 26.785$$

$$(R1 + R2) / (R1 - R2) = 0.87$$

【0099】

(条件式(2)に関する数値)

$$dn \text{ (負レンズ } L_{133} \text{ の } d \text{ 線に対するアッペ数)} = 37.22$$

【0100】

(条件式(3)に関する数値)

$$f1 / f = 0.55$$

【0101】

(条件式(4)に関する数値)

$$f3 / f = -38.97$$

【0102】

(条件式(5)に関する数値)

$$inf \text{ (無限遠物体合焦状態における第2レンズ群 } G_{12} \text{ の近軸倍率)} = 1.83$$

$$mod \text{ (最至近距離物体合焦状態における第2レンズ群 } G_{12} \text{ の近軸倍率)} = 1.81$$

$$inf / mod = 1.01$$

【0103】

(条件式(6)に関する数値)

$$L1s \text{ (第1レンズ群 } G_{11} \text{ の最物体側面から開口絞り } STP \text{ までの軸上距離)} = 42.593$$

$$L \text{ (第1レンズ群 } G_{11} \text{ の最物体側のレンズ面頂点から結像面 } IMG \text{ までの軸上距離 (光学系全長))} = 95.501$$

10

20

30

40

50

$$L_{1s} / L = 0.45$$

【0104】

(条件式(7)に関する数値)

$$f_2 / f = -2.48$$

【0105】

(条件式(8)に関する数値)

$$R_{21} \text{ (負レンズ } L_{121} \text{ の最物体側面の曲率半径)} = 45.781$$

$$R_{22} \text{ (負レンズ } L_{121} \text{ の最像側面の曲率半径)} = 19.193$$

$$(R_{21} + R_{22}) / (R_{21} - R_{22}) = 2.44$$

【0106】

図2は、実施例1にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。球面収差図において、縦軸はFナンバー(図中、FNOで示す)を表し、実線はd線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)、短破線はg線($\lambda = 435.84 \text{ nm}$)、長破線はC線($\lambda = 656.28 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。非点収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。なお、非点収差図において、実線はサジタル平面(図中、Sで示す)、破線はメリディオナル平面(図中、Mで示す)の特性を示している。歪曲収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。

10

【実施例2】

【0107】

図3は、実施例2にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。図3は、無限遠物体合焦状態を示している。このインナーフォーカス式レンズは、図示しない物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群 G_{21} と、負の屈折力を有する第2レンズ群 G_{22} と、負の屈折力を有する第3レンズ群 G_{23} と、が配置されて構成される。第3レンズ群 G_{23} と結像面IMGとの間には、カバーガラスCGが配置されている。

20

【0108】

第1レンズ群 G_{21} は、物体側から順に、負メニスカスレンズ L_{211} と、負メニスカスレンズ L_{212} と、負レンズ L_{213} と、正レンズ L_{214} と、負レンズ L_{215} と、正レンズ L_{216} と、所定の口径を規定する開口絞りSTPと、正レンズ L_{217} と、が配置されて構成される。負レンズ L_{213} の両面には、非球面が形成されている。負レンズ L_{215} と正レンズ L_{216} とは、接合されている。正レンズ L_{217} の両面には、非球面が形成されている。

30

【0109】

第2レンズ群 G_{22} は、負レンズ L_{221} により構成される。負レンズ L_{221} の両面には、非球面が形成されている。

【0110】

第3レンズ群 G_{23} は、物体側から順に、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群 G_{23F} と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群 G_{23R} と、が配置されて構成される。フロントサブレンズ群 G_{23F} とリアサブレンズ群 G_{23R} の間には、第3レンズ群 G_{23} 中で最も広い軸上空気間隔が形成されている。

40

【0111】

フロントサブレンズ群 G_{23F} は、物体側から順に、正レンズ L_{231} と、正レンズ L_{232} と、が配置されて構成される。リアサブレンズ群 G_{23R} は、負レンズ L_{233} により構成される。負レンズ L_{233} は、単一の硝材で形成されている。負レンズ L_{233} の両面には、非球面が形成されている。

【0112】

このインナーフォーカス式レンズでは、第1レンズ群 G_{21} および第3レンズ群 G_{23} を固定したまま、第1レンズ群 G_{21} と第2レンズ群 G_{22} との間隔が拡大し、第2レンズ群 G_{22} と第3レンズ群 G_{23} との間隔が縮小するように、第2レンズ群 G_{22} を光軸に沿って物体側

50

から結像面 I M G 側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行う。

【 0 1 1 3 】

以下、実施例 2 にかかるインナーフォーカス式レンズに関する各種数値データを示す。

【 0 1 1 4 】

(レンズデータ)

$r_1 = 30.152$				
$d_1 = 2.000$	$n d_1 = 1.5935$	$d_1 = 67.00$		
$r_2 = 16.214$				10
$d_2 = 6.369$				
$r_3 = 31.366$				
$d_3 = 1.500$	$n d_2 = 1.4970$	$d_2 = 81.61$		
$r_4 = 13.499$				
$d_4 = 5.658$				
$r_5 = 51.837$ (非球面)				
$d_5 = 1.300$	$n d_3 = 1.5920$	$d_3 = 67.02$		
$r_6 = 13.285$ (非球面)				
$d_6 = 2.866$				
$r_7 = 27.620$				20
$d_7 = 2.238$	$n d_4 = 1.8810$	$d_4 = 40.14$		
$r_8 = 87.188$				
$d_8 = 12.690$				
$r_9 = 23.272$				
$d_9 = 1.000$	$n d_5 = 1.8810$	$d_5 = 40.14$		
$r_{10} = 13.324$				
$d_{10} = 5.334$	$n d_6 = 1.4875$	$d_6 = 70.44$		
$r_{11} = -43.127$				
$d_{11} = 1.629$				
$r_{12} =$ (開口絞り)				30
$d_{12} = 1.822$				
$r_{13} = 30.203$ (非球面)				
$d_{13} = 4.424$	$n d_7 = 1.4971$	$d_7 = 81.56$		
$r_{14} = -18.833$ (非球面)				
$d_{14} = D(14)$ (可変)				
$r_{15} = 42.496$ (非球面)				
$d_{15} = 0.800$	$n d_8 = 1.7290$	$d_8 = 54.04$		
$r_{16} = 18.812$ (非球面)				
$d_{16} = D(16)$ (可変)				
$r_{17} = 647.460$				40
$d_{17} = 3.783$	$n d_9 = 1.4970$	$d_9 = 81.61$		
$r_{18} = -19.801$				
$d_{18} = 0.100$				
$r_{19} = -48.734$				
$d_{19} = 2.492$	$n d_{10} = 1.4970$	$d_{10} = 81.61$		
$r_{20} = -33.384$				
$d_{20} = 0.761$				
$r_{21} = -400.000$ (非球面)				
$d_{21} = 1.200$	$n d_{11} = 1.8820$	$d_{11} = 37.22$		
$r_{22} = 27.667$ (非球面)				50
$d_{22} = 22.428$				

$$r_{23} =$$

$$d_{23} = 2.500 \quad n_{d_{12}} = 1.5168 \quad d_{12} = 64.20$$

$$r_{24} =$$

$$d_{24} = 1.000$$

$$r_{25} = \text{ (結像面)}$$

【 0 1 1 5 】

円錐係数 (k) および非球面係数 (A_4 , A_6 , A_8 , A_{10})

(第 5 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = -2.7090 \times 10^{-5} , A_6 = 2.6283 \times 10^{-7} ,$$

$$A_8 = -1.4454 \times 10^{-9} , A_{10} = 4.3803 \times 10^{-12}$$

10

(第 6 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = -6.1483 \times 10^{-5} , A_6 = 4.0703 \times 10^{-8} ,$$

$$A_8 = -1.1388 \times 10^{-9} , A_{10} = -6.0150 \times 10^{-12}$$

(第 1 3 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = -2.2964 \times 10^{-5} , A_6 = -6.1034 \times 10^{-9} ,$$

$$A_8 = -1.0258 \times 10^{-9} , A_{10} = 2.5147 \times 10^{-12}$$

20

(第 1 4 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = 4.6889 \times 10^{-5} , A_6 = -4.5934 \times 10^{-7} ,$$

$$A_8 = 3.4940 \times 10^{-9} , A_{10} = -1.7504 \times 10^{-11}$$

(第 1 5 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = 2.0032 \times 10^{-5} , A_6 = -1.0580 \times 10^{-6} ,$$

$$A_8 = 1.3913 \times 10^{-8} , A_{10} = -6.6138 \times 10^{-11}$$

(第 1 6 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = 2.3359 \times 10^{-5} , A_6 = -8.3928 \times 10^{-7} ,$$

$$A_8 = 1.2186 \times 10^{-8} , A_{10} = -6.4391 \times 10^{-11}$$

30

(第 2 1 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = -2.3499 \times 10^{-5} , A_6 = -1.2412 \times 10^{-7} ,$$

$$A_8 = 2.2965 \times 10^{-9} , A_{10} = -8.5091 \times 10^{-12}$$

(第 2 2 面)

$$k = 0 ,$$

$$A_4 = -2.5375 \times 10^{-6} , A_6 = -1.1587 \times 10^{-7} ,$$

$$A_8 = 2.1605 \times 10^{-9} , A_{10} = -8.6835 \times 10^{-12}$$

【 0 1 1 6 】

40

(各合焦状態の数値データ)

	無限遠	最至近距離 (物体距離158.000mm)
D(14)	1.480	2.405
D(16)	6.626	5.702
f (光学系全系の焦点距離)	19.41	18.66
FNO (Fナンバー)	2.88	2.92
(半画角)	49.11	48.48
f 1 (第 1 レンズ群 G_{21} の焦点距離)	10.82	10.82
f 2 (第 2 レンズ群 G_{22} の焦点距離)	-46.97	-46.97
f 3 (第 3 レンズ群 G_{23} の焦点距離)	-626.90	-626.90

50

B F (バックフォーカス) 25.928 25.928

【0117】

(条件式(1)に関する数値)

R 1 (負レンズ L₂₃₃の物体側空気境界面の曲率半径) = -400.000

R 2 (負レンズ L₂₃₃の像側空気境界面の曲率半径) = 27.667

(R 1 + R 2) / (R 1 - R 2) = 0.87

【0118】

(条件式(2)に関する数値)

d n (負レンズ L₂₃₃の d 線に対するアッペ数) = 37.22

【0119】

(条件式(3)に関する数値)

f 1 / f = 0.56

【0120】

(条件式(4)に関する数値)

f 3 / f = -32.30

【0121】

(条件式(5)に関する数値)

i n f (無限遠物体合焦状態における第2レンズ群 G₂₂の近軸倍率) = 1.85

m o d (最至近距離物体合焦状態における第2レンズ群 G₂₂の近軸倍率) = 1.83

i n f / m o d = 1.01

【0122】

(条件式(6)に関する数値)

L 1 s (第1レンズ群 G₂₁の最物体側面から開口絞り S T P までの軸上距離) = 42.584

L (第1レンズ群 G₂₁の最物体側のレンズ面頂点から結像面 I M G までの軸上距離(光学系全長)) = 92.000

L 1 s / L = 0.46

【0123】

(条件式(7)に関する数値)

f 2 / f = -2.42

【0124】

(条件式(8)に関する数値)

R 2 1 (負レンズ L₂₂₁の最物体側面の曲率半径) = 42.496

R 2 2 (負レンズ L₂₂₁の最像側面の曲率半径) = 18.812

(R 2 1 + R 2 2) / (R 2 1 - R 2 2) = 2.59

【0125】

図4は、実施例2にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。球面収差図において、縦軸はFナンバー(図中、FNOで示す)を表し、実線はd線(λ = 587.56nm)、短破線はg線(λ = 435.84nm)、長破線はC線(λ = 656.28nm)に相当する波長の特性を示している。非点収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線(λ = 587.56nm)に相当する波長の特性を示している。なお、非点収差図において、実線はサジタル平面(図中、Sで示す)、破線はメリディオナル平面(図中、Mで示す)の特性を示している。歪曲収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線(λ = 587.56nm)に相当する波長の特性を示している。

【実施例3】

【0126】

図5は、実施例3にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。図5は、無限遠物体合焦状態を示している。このインナーフォーカス式レンズは、図示しない物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群 G₃₁と、負の屈折力を有する第2レンズ群 G₃₂と、負の屈折力を有する第3レンズ群 G₃₃と、が配置されて構成さ

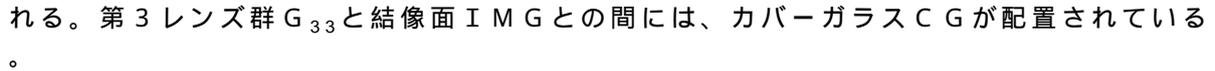
10

20

30

40

50

れる。第3レンズ群 G_{33} と結像面との間には、カバーガラスCGが配置されている。

【0127】

第1レンズ群 G_{31} は、物体側から順に、負メニスカスレンズ L_{311} と、負メニスカスレンズ L_{312} と、負レンズ L_{313} と、正レンズ L_{314} と、負レンズ L_{315} と、正レンズ L_{316} と、所定の口径を規定する開口絞りSTPと、正レンズ L_{317} と、が配置されて構成される。負レンズ L_{313} の両面には、非球面が形成されている。負レンズ L_{315} と正レンズ L_{316} とは、接合されている。正レンズ L_{317} の両面には、非球面が形成されている。

【0128】

第2レンズ群 G_{32} は、負レンズ L_{321} により構成される。負レンズ L_{321} の両面には、非球面が形成されている。

10

【0129】

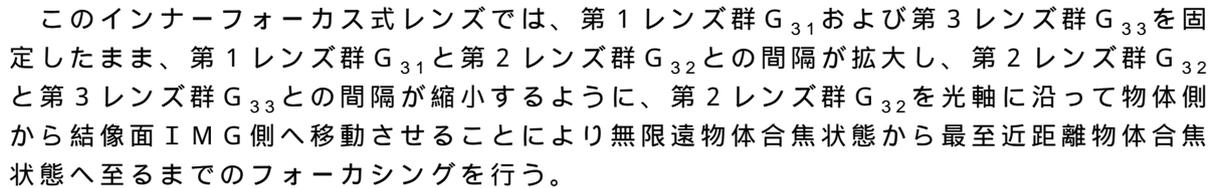
第3レンズ群 G_{33} は、物体側から順に、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群 G_{33F} と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群 G_{33R} と、が配置されて構成される。フロントサブレンズ群 G_{33F} とリアサブレンズ群 G_{33R} との間には、第3レンズ群 G_{33} 中で最も広い軸上空気間隔が形成されている。

【0130】

フロントサブレンズ群 G_{33F} は、物体側から順に、正レンズ L_{331} と、正レンズ L_{332} と、が配置されて構成される。リアサブレンズ群 G_{33R} は、負レンズ L_{333} により構成される。負レンズ L_{333} は、単一の硝材で形成されている。負レンズ L_{333} の両面には、非球面が形成されている。

20

【0131】

このインナーフォーカス式レンズでは、第1レンズ群 G_{31} および第3レンズ群 G_{33} を固定したまま、第1レンズ群 G_{31} と第2レンズ群 G_{32} との間隔が拡大し、第2レンズ群 G_{32} と第3レンズ群 G_{33} との間隔が縮小するように、第2レンズ群 G_{32} を光軸に沿って物体側から結像面側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行う。

【0132】

以下、実施例3にかかるインナーフォーカス式レンズに関する各種数値データを示す。

【0133】

30

(レンズデータ)

$$r_1 = 29.863$$

$$d_1 = 2.000 \quad n d_1 = 1.5935 \quad d_1 = 67.00$$

$$r_2 = 15.214$$

$$d_2 = 7.108$$

$$r_3 = 31.676$$

$$d_3 = 1.500 \quad n d_2 = 1.4970 \quad d_2 = 81.61$$

$$r_4 = 12.821$$

$$d_4 = 5.662$$

$$r_5 = 56.855 \text{ (非球面)}$$

40

$$d_5 = 1.300 \quad n d_3 = 1.5920 \quad d_3 = 67.02$$

$$r_6 = 12.496 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 4.710$$

$$r_7 = 25.649$$

$$d_7 = 2.736 \quad n d_4 = 1.8810 \quad d_4 = 40.14$$

$$r_8 = -2872.181$$

$$d_8 = 10.427$$

$$r_9 = 29.340$$

$$d_9 = 1.000 \quad n d_5 = 1.8810 \quad d_5 = 40.14$$

$$r_{10} = 11.062$$

50

$d_{10} = 5.282$	$n d_6 = 1.4875$	$d_6 = 70.44$	
$r_{11} = -36.758$			
$d_{11} = 1.300$			
$r_{12} =$ (開口絞り)			
$d_{12} = 3.832$			
$r_{13} = 32.994$ (非球面)			
$d_{13} = 4.343$	$n d_7 = 1.4971$	$d_7 = 81.56$	
$r_{14} = -16.586$ (非球面)			
$d_{14} = D(14)$ (可変)			
$r_{15} = 168.747$ (非球面)			10
$d_{15} = 0.800$	$n d_8 = 1.7290$	$d_8 = 54.04$	
$r_{16} = 35.344$ (非球面)			
$d_{16} = D(16)$ (可変)			
$r_{17} = -47.172$			
$d_{17} = 2.755$	$n d_9 = 1.4970$	$d_9 = 81.61$	
$r_{18} = -20.329$			
$d_{18} = 0.100$			
$r_{19} = -45.060$			
$d_{19} = 3.412$	$n d_{10} = 1.4970$	$d_{10} = 81.61$	
$r_{20} = -20.831$			20
$d_{20} = 0.833$			
$r_{21} = -400.000$ (非球面)			
$d_{21} = 1.200$	$n d_{11} = 1.8820$	$d_{11} = 37.22$	
$r_{22} = 34.153$ (非球面)			
$d_{22} = 20.338$			
$r_{23} =$			
$d_{23} = 2.500$	$n d_{12} = 1.5168$	$d_{12} = 64.20$	
$r_{24} =$			
$d_{24} = 1.000$			
$r_{25} =$ (結像面)			30
【 0 1 3 4 】			
円錐係数 (k) および非球面係数 (A_4, A_6, A_8, A_{10})			
(第5面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -2.3716 \times 10^{-5}, A_6 = 1.7317 \times 10^{-7},$			
$A_8 = -6.4139 \times 10^{-10}, A_{10} = 1.5464 \times 10^{-12}$			
(第6面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -8.7141 \times 10^{-5}, A_6 = -3.1834 \times 10^{-7},$			
$A_8 = 1.5577 \times 10^{-9}, A_{10} = -2.7154 \times 10^{-11}$			40
(第13面)			
$k = 0,$			
$A_4 = -1.4834 \times 10^{-5}, A_6 = -1.6560 \times 10^{-7},$			
$A_8 = 1.3132 \times 10^{-9}, A_{10} = -1.6004 \times 10^{-11}$			
(第14面)			
$k = 0,$			
$A_4 = 2.5383 \times 10^{-5}, A_6 = -2.6971 \times 10^{-7},$			
$A_8 = 1.9137 \times 10^{-9}, A_{10} = -1.9738 \times 10^{-11}$			
(第15面)			
$k = 0,$			50

$$A_4 = 4.8211 \times 10^{-5}, A_6 = -8.0172 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 1.0635 \times 10^{-8}, A_{10} = -4.7053 \times 10^{-11}$$

(第16面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = 5.9595 \times 10^{-5}, A_6 = -8.2829 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 1.1533 \times 10^{-8}, A_{10} = -4.9667 \times 10^{-11}$$

(第21面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = -7.9720 \times 10^{-5}, A_6 = -2.0100 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 2.0113 \times 10^{-9}, A_{10} = 7.2706 \times 10^{-14}$$

(第22面)

$$k = 0,$$

$$A_4 = -4.3301 \times 10^{-5}, A_6 = -1.5941 \times 10^{-7},$$

$$A_8 = 3.0911 \times 10^{-9}, A_{10} = -7.0460 \times 10^{-12}$$

【0135】

(各合焦状態の数値データ)

	無限遠	最至近距離 (物体距離158.000mm)	
D(14)	1.489	2.539	
D(16)	6.373	5.323	
f (光学系全系の焦点距離)	16.49	16.05	20
FNO (Fナンバー)	2.88	2.91	
(半画角)	53.50	53.14	
f1 (第1レンズ群G ₃₁ の焦点距離)	10.68	10.68	
f2 (第2レンズ群G ₃₂ の焦点距離)	-61.48	-61.48	
f3 (第3レンズ群G ₃₃ の焦点距離)	-126154	-126154	
BF (バックフォーカス)	23.838	23.838	

【0136】

(条件式(1)に関する数値)

$$R1 \text{ (負レンズ } L_{333} \text{ の物体側空気境界面の曲率半径)} = -400.000$$

$$R2 \text{ (負レンズ } L_{333} \text{ の像側空気境界面の曲率半径)} = 34.153$$

$$(R1 + R2) / (R1 - R2) = 0.84$$

【0137】

(条件式(2)に関する数値)

$$dn \text{ (負レンズ } L_{333} \text{ の } d \text{ 線に対するアッペ数)} = 37.22$$

【0138】

(条件式(3)に関する数値)

$$f1 / f = 0.65$$

【0139】

(条件式(4)に関する数値)

$$f3 / f = -7652.47$$

【0140】

(条件式(5)に関する数値)

$$inf \text{ (無限遠物体合焦状態における第2レンズ群 } G_{32} \text{ の近軸倍率)} = 1.59$$

$$mod \text{ (最至近距離物体合焦状態における第2レンズ群 } G_{32} \text{ の近軸倍率)} = 1.57$$

$$inf / mod = 1.01$$

【0141】

(条件式(6)に関する数値)

$$L1s \text{ (第1レンズ群 } G_{31} \text{ の最物体側面から開口絞り } STP \text{ までの軸上距離)} = 43.025$$

$$L \text{ (第1レンズ群 } G_{31} \text{ の最物体側のレンズ面頂点から結像面 } IMG \text{ までの軸上距離 (光学系全長))} = 92.000$$

10

20

30

40

50

$$L1s / L = 0.47$$

【0142】

(条件式(7)に関する数値)

$$f2 / f = -3.73$$

【0143】

(条件式(8)に関する数値)

$$R21 \text{ (負レンズ } L_{321} \text{ の最物体側面の曲率半径)} = 168.747$$

$$R22 \text{ (負レンズ } L_{321} \text{ の最像側面の曲率半径)} = 35.344$$

$$(R21 + R22) / (R21 - R22) = 1.53$$

【0144】

図6は、実施例3にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。球面収差図において、縦軸はFナンバー(図中、FNOで示す)を表し、実線はd線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)、短破線はg線($\lambda = 435.84 \text{ nm}$)、長破線はC線($\lambda = 656.28 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。非点収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。なお、非点収差図において、実線はサジタル平面(図中、Sで示す)、破線はメリディオナル平面(図中、Mで示す)の特性を示している。歪曲収差図において、縦軸は像高(図中、Yで示す)を表し、d線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。

10

【実施例4】

【0145】

図7は、実施例4にかかるインナーフォーカス式レンズの構成を示す光軸に沿う断面図である。図7は、無限遠物体合焦状態を示している。このインナーフォーカス式レンズは、図示しない物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群 G_{41} と、負の屈折力を有する第2レンズ群 G_{42} と、負の屈折力を有する第3レンズ群 G_{43} と、が配置されて構成される。第3レンズ群 G_{43} と結像面IMGとの間には、カバーガラスCGが配置されている。

20

【0146】

第1レンズ群 G_{41} は、物体側から順に、負メニスカスレンズ L_{411} と、負メニスカスレンズ L_{412} と、負レンズ L_{413} と、正レンズ L_{414} と、負レンズ L_{415} と、正レンズ L_{416} と、正レンズ L_{417} と、所定の口径を規定する開口絞りSTPと、が配置されて構成される。負レンズ L_{413} の両面には、非球面が形成されている。負レンズ L_{415} と正レンズ L_{416} とは、接合されている。正レンズ L_{417} の両面には、非球面が形成されている。

30

【0147】

第2レンズ群 G_{42} は、負レンズ L_{421} により構成される。負レンズ L_{421} の両面には、非球面が形成されている。

【0148】

第3レンズ群 G_{43} は、物体側から順に、正の屈折力を有するフロントサブレンズ群 G_{43F} と、負の屈折力を有するリアサブレンズ群 G_{43R} と、が配置されて構成される。フロントサブレンズ群 G_{43F} とリアサブレンズ群 G_{43R} との間には、第3レンズ群 G_{43} 中で最も広い軸上空気間隔が形成されている。

40

【0149】

フロントサブレンズ群 G_{43F} は、物体側から順に、正レンズ L_{431} と、正レンズ L_{432} と、が配置されて構成される。リアサブレンズ群 G_{43R} は、負レンズ L_{433} により構成される。負レンズ L_{433} は、単一の硝材で形成されている。負レンズ L_{433} の両面には、非球面が形成されている。

【0150】

このインナーフォーカス式レンズでは、第1レンズ群 G_{41} および第3レンズ群 G_{43} を固定したまま、第1レンズ群 G_{41} と第2レンズ群 G_{42} との間隔が拡大し、第2レンズ群 G_{42} と第3レンズ群 G_{43} との間隔が縮小するように、第2レンズ群 G_{42} を光軸に沿って物体側

50

から結像面 I M G 側へ移動させることにより無限遠物体合焦状態から最至近距離物体合焦状態へ至るまでのフォーカシングを行う。

【 0 1 5 1 】

以下、実施例 4 にかかるインナーフォーカス式レンズに関する各種数値データを示す。

【 0 1 5 2 】

(レンズデータ)

$r_1 = 28.832$				
$d_1 = 2.0000$	$n d_1 = 1.5935$	$d_1 = 67.00$		
$r_2 = 15.623$				10
$d_2 = 6.8857$				
$r_3 = 29.397$				
$d_3 = 1.5000$	$n d_2 = 1.4970$	$d_2 = 81.61$		
$r_4 = 13.122$				
$d_4 = 5.8831$				
$r_5 = 52.568$ (非球面)				
$d_5 = 1.3000$	$n d_3 = 1.5920$	$d_3 = 67.02$		
$r_6 = 12.910$ (非球面)				
$d_6 = 3.0680$				
$r_7 = 30.333$				20
$d_7 = 2.2648$	$n d_4 = 1.8810$	$d_4 = 40.14$		
$r_8 = 141.737$				
$d_8 = 12.0987$				
$r_9 = 24.676$				
$d_9 = 1.0000$	$n d_5 = 1.8810$	$d_5 = 40.14$		
$r_{10} = 13.601$				
$d_{10} = 5.2921$	$n d_6 = 1.4875$	$d_6 = 70.44$		
$r_{11} = -35.502$				
$d_{11} = 3.7248$				
$r_{12} = 30.850$ (非球面)				30
$d_{12} = 4.3865$	$n d_7 = 1.4971$	$d_7 = 81.56$		
$r_{13} = -18.338$ (非球面)				
$d_{13} = 1.0000$				
$r_{14} =$ (開口絞り)				
$d_{14} = D(14)$ (可変)				
$r_{15} = 45.781$ (非球面)				
$d_{15} = 0.8000$	$n d_8 = 1.7290$	$d_8 = 54.04$		
$r_{16} = 19.193$ (非球面)				
$d_{16} = D(16)$ (可変)				
$r_{17} = -68.737$				40
$d_{17} = 2.5350$	$n d_9 = 1.4970$	$d_9 = 81.61$		
$r_{18} = -25.555$				
$d_{18} = 0.1000$				
$r_{19} = -329.577$				
$d_{19} = 4.0360$	$n d_{10} = 1.4970$	$d_{10} = 81.61$		
$r_{20} = -23.042$				
$d_{20} = 0.3290$				
$r_{21} = -400.000$ (非球面)				
$d_{21} = 1.2000$	$n d_{11} = 1.8820$	$d_{11} = 37.22$		
$r_{22} = 26.785$ (非球面)				50
$d_{22} = 25.606$				

$r_{23} =$
 $d_{23} = 2.5000 \quad n_{d12} = 1.5168 \quad d_{12} = 64.20$

$r_{24} =$
 $d_{24} = 1.0000$

$r_{25} =$ (結像面)

【 0 1 5 3 】

円錐係数 (k) および非球面係数 (A_4, A_6, A_8, A_{10})

(第5面)

$k = 0,$

$A_4 = -2.6625 \times 10^{-5}, A_6 = 3.0031 \times 10^{-7},$
 $A_8 = -1.7989 \times 10^{-9}, A_{10} = 5.7847 \times 10^{-12}$

10

(第6面)

$k = 0,$

$A_4 = -6.8334 \times 10^{-5}, A_6 = 8.4364 \times 10^{-9},$
 $A_8 = -1.2228 \times 10^{-9}, A_{10} = -9.8374 \times 10^{-12}$

(第12面)

$k = 0,$

$A_4 = -2.2269 \times 10^{-5}, A_6 = 1.1253 \times 10^{-9},$
 $A_8 = -1.0562 \times 10^{-9}, A_{10} = -3.1969 \times 10^{-12}$

20

(第13面)

$k = 0,$

$A_4 = 5.1791 \times 10^{-5}, A_6 = -5.2286 \times 10^{-7},$
 $A_8 = 4.0083 \times 10^{-9}, A_{10} = -2.3692 \times 10^{-11}$

(第15面)

$k = 0,$

$A_4 = 2.0348 \times 10^{-5}, A_6 = -1.1141 \times 10^{-6},$
 $A_8 = 1.4175 \times 10^{-8}, A_{10} = -5.7786 \times 10^{-11}$

(第16面)

$k = 0,$

$A_4 = 2.1580 \times 10^{-5}, A_6 = -8.9505 \times 10^{-7},$
 $A_8 = 1.2780 \times 10^{-8}, A_{10} = -5.7413 \times 10^{-11}$

30

(第21面)

$k = 0,$

$A_4 = -2.4151 \times 10^{-5}, A_6 = -1.3394 \times 10^{-7},$
 $A_8 = 2.2182 \times 10^{-9}, A_{10} = -7.5852 \times 10^{-12}$

(第22面)

$k = 0,$

$A_4 = -3.5206 \times 10^{-6}, A_6 = -1.2925 \times 10^{-7},$
 $A_8 = 2.2655 \times 10^{-9}, A_{10} = -8.5817 \times 10^{-12}$

【 0 1 5 4 】

40

(各合焦状態の数値データ)

	無限遠	最至近距離 (物体距離158.000mm)
D(14)	0.4719	1.3177
D(16)	5.8194	4.9736
f (光学系全系の焦点距離)	18.54	17.89
FNO (Fナンバー)	2.88	2.93
(半画角)	50.29	49.47
f1 (第1レンズ群G ₄₁ の焦点距離)	10.28	10.28
f2 (第2レンズ群G ₄₂ の焦点距離)	-45.92	-45.92
f3 (第3レンズ群G ₄₃ の焦点距離)	-722.75	-722.75

50

B F (バックフォーカス) 29.106 29.106

【0155】

(条件式(1)に関する数値)

R_1 (負レンズ L_{433} の物体側空気境界面の曲率半径) = -400.000

R_2 (負レンズ L_{433} の像側空気境界面の曲率半径) = 26.785

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.87$

【0156】

(条件式(2)に関する数値)

d_n (負レンズ L_{433} の d 線に対するアッペ数) = 37.22

【0157】

(条件式(3)に関する数値)

$f_1 / f = 0.55$

【0158】

(条件式(4)に関する数値)

$f_3 / f = -38.97$

【0159】

(条件式(5)に関する数値)

inf (無限遠物体合焦状態における第2レンズ群 G_{42} の近軸倍率) = 1.83

mod (最至近距離物体合焦状態における第2レンズ群 G_{42} の近軸倍率) = 1.81

$inf / mod = 1.01$

【0160】

(条件式(6)に関する数値)

L_{1s} (第1レンズ群 G_{41} の最物体側面から開口絞り S T P までの軸上距離) = 50.4037

L (第1レンズ群 G_{41} の最物体側のレンズ面頂点から結像面 I M G までの軸上距離(光学系全長)) = 94.8010

$L_{1s} / L = 0.53$

【0161】

(条件式(7)に関する数値)

$f_2 / f = -2.48$

【0162】

(条件式(8)に関する数値)

R_{21} (負レンズ L_{421} の最物体側面の曲率半径) = 45.781

R_{22} (負レンズ L_{421} の最像側面の曲率半径) = 19.193

$(R_{21} + R_{22}) / (R_{21} - R_{22}) = 2.44$

【0163】

図8は、実施例4にかかるインナーフォーカス式レンズの諸収差図である。球面収差図において、縦軸はFナンバー(図中、FNOで示す)を表し、実線は d 線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)、短破線は g 線($\lambda = 435.84 \text{ nm}$)、長破線は C 線($\lambda = 656.28 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。非点収差図において、縦軸は像高(図中、 Y で示す)を表し、 d 線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。なお、非点収差図において、実線はサジタル平面(図中、 S で示す)、破線はメリディオナル平面(図中、 M で示す)の特性を示している。歪曲収差図において、縦軸は像高(図中、 Y で示す)を表し、 d 線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に相当する波長の特性を示している。

【0164】

なお、上記各実施例中の数値データにおいて、 r_1, r_2, \dots は各レンズ、絞り面などの曲率半径、 d_1, d_2, \dots は各レンズ、絞り面などの肉厚またはそれらの面間隔、 nd_1, nd_2, \dots は各レンズの d 線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に対する屈折率、 d_1, d_2, \dots は各レンズの d 線($\lambda = 587.56 \text{ nm}$)に対するアッペ数を示している。また、B F (バックフォーカス)は、光学系の最終面から近軸像面までの

10

20

30

40

50

距離を表したものである。光学系全長は最も物体側の面から最終レンズ面までの距離に B F を加えたものである。そして、長さの単位はすべて「mm」、角度の単位はすべて「°」である。

【0165】

また、上記各非球面形状は、非球面の深さを Z、曲率を $c(1/r)$ 、光軸からの高さを h、円錐係数を k、4次、6次、8次、10次の非球面係数をそれぞれ A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} とし、光の進行方向を正とするとき、以下に示す式により表される。

【0166】

【数1】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + A_{10}h^{10}$$

10

【0167】

上記各実施例には、35mmフィルムカメラ換算で広角の焦点距離をもつインナーフォーカス式レンズの一例を示した。上記各実施例のインナーフォーカス式レンズは、フォーカス群の小型、軽量化を図ることで、動画撮影に欠かせない高速なオートフォーカス処理を良好に行うことが可能になる。特に、上記各条件式を満足することで、動画撮影に好適な、小型、広角で高い結像性能を備えたインナーフォーカス式レンズを実現することができる。

【産業上の利用可能性】

20

【0168】

以上のように、本発明にかかるインナーフォーカス式レンズは、写真用カメラ、ビデオカメラなどの小型の撮像装置に有用であり、特に、動画撮影用の撮像装置に最適である。

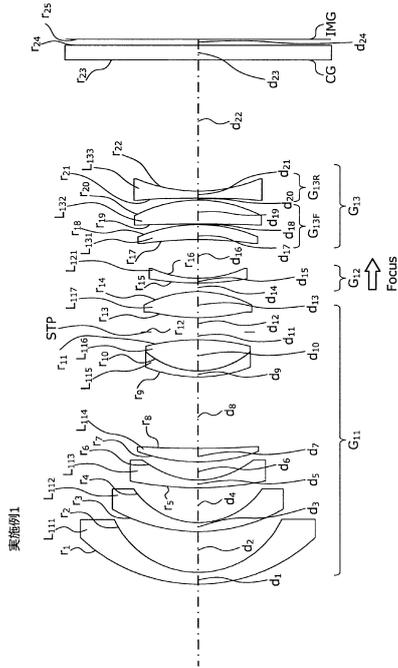
【符号の説明】

【0169】

G₁₁、G₂₁、G₃₁、G₄₁ 第1レンズ群
 G₁₂、G₂₂、G₃₂、G₄₂ 第2レンズ群
 G₁₃、G₂₃、G₃₃、G₄₃ 第3レンズ群
 G_{13F}、G_{23F}、G_{33F}、G_{43F} フロントサブレンズ群
 G_{13R}、G_{23R}、G_{33R}、G_{43R} リアサブレンズ群
 L₁₁₁、L₁₁₂、L₂₁₁、L₂₁₂、L₃₁₁、L₃₁₂、L₄₁₁、L₄₁₂ 負メニスカスレンズ
 L₁₁₃、L₁₁₅、L₁₂₁、L₁₃₃、L₂₁₃、L₂₁₅、L₂₂₁、L₂₃₃、L₃₁₃、L₃₁₅、L₃₂₁、
 L₃₃₃、L₄₁₃、L₄₁₅、L₄₂₁、L₄₃₃ 負レンズ
 L₁₁₄、L₁₁₆、L₁₁₇、L₁₃₁、L₁₃₂、L₂₁₄、L₂₁₆、L₂₁₇、L₂₃₁、L₂₃₂、L₃₁₄、
 L₃₁₆、L₃₁₇、L₃₃₁、L₃₃₂、L₄₁₄、L₄₁₆、L₄₁₇、L₄₃₁、L₄₃₂ 正レンズ
 S T P 開口絞り
 I M G 結像面
 C G カバーガラス

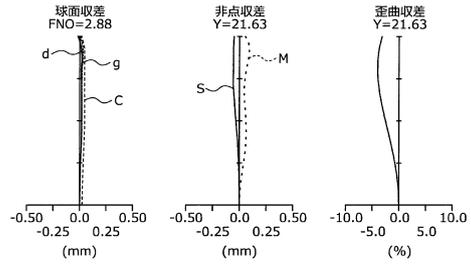
30

【 图 1 】

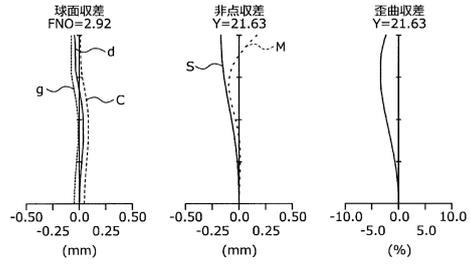


【 图 2 】

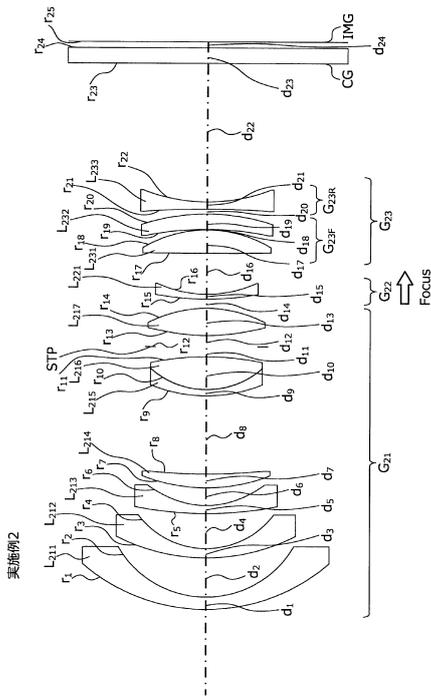
实施例1 无限远物体合焦状态



最至近距离物体合焦状态

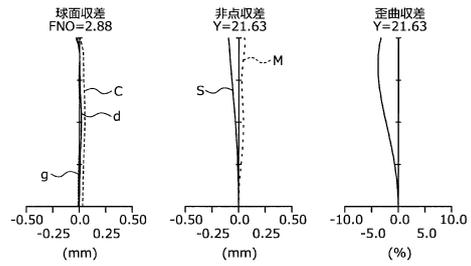


【 图 3 】

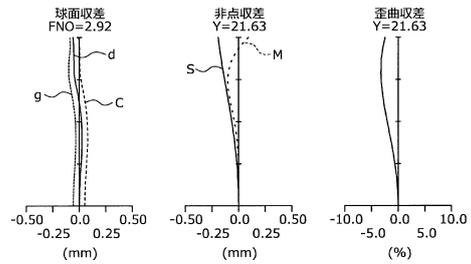


【 图 4 】

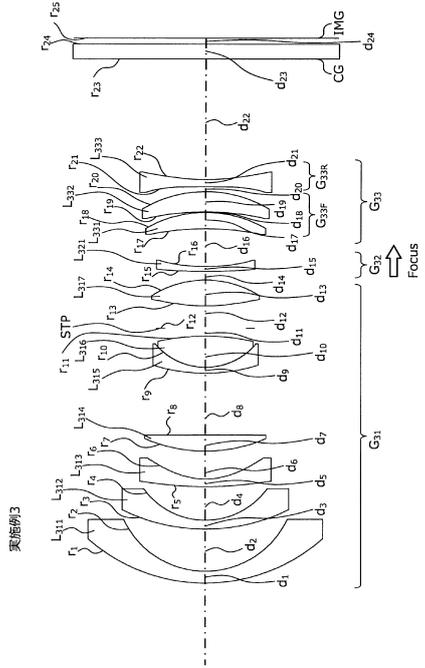
实施例2 无限远物体合焦状态



最至近距离物体合焦状态

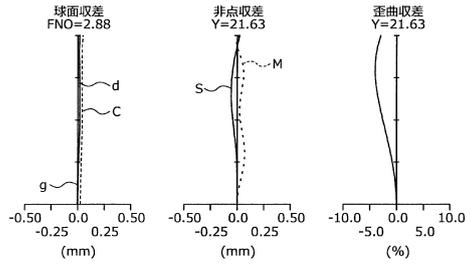


【 图 5 】

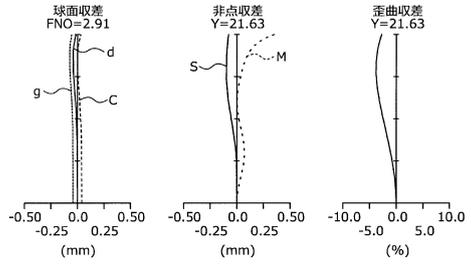


【 图 6 】

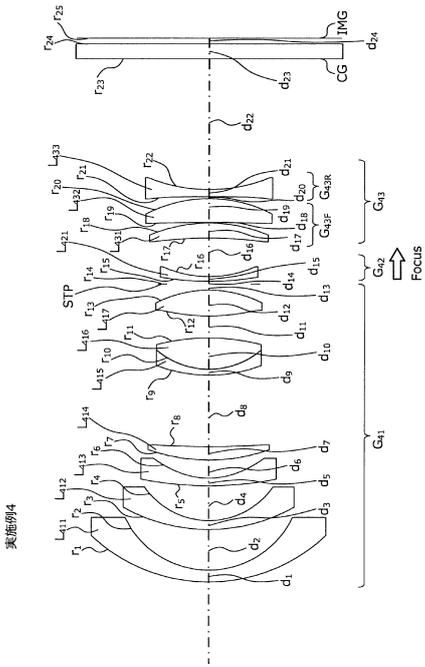
实施例3 无限远物体合焦状态



最至近距離物体合焦状态

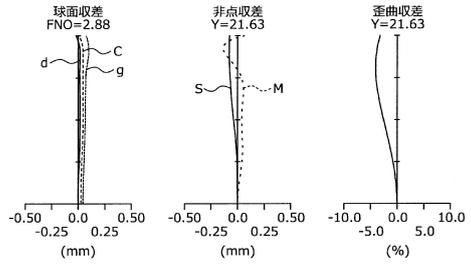


【 图 7 】

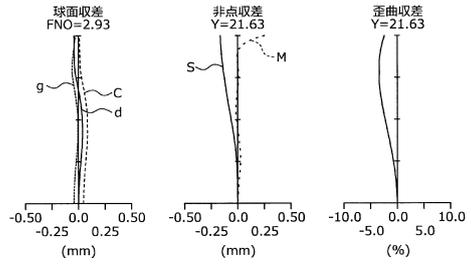


【 图 8 】

实施例4 无限远物体合焦状态



最至近距離物体合焦状态



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭58-075107(JP,A)
特開昭58-082217(JP,A)
特開昭61-067016(JP,A)
特開2014-211497(JP,A)
特開2014-157168(JP,A)
特開2009-265656(JP,A)
特開2013-257395(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0314588(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04