

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7285643号

(P7285643)

(45)発行日 令和5年6月2日(2023.6.2)

(24)登録日 令和5年5月25日(2023.5.25)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

G 0 2 B 13/04

G 0 2 B 13/18 (2006.01)

G 0 2 B 13/18

請求項の数 10 (全18頁)

(21)出願番号	特願2018-245709(P2018-245709)	(73)特許権者	000133227
(22)出願日	平成30年12月27日(2018.12.27)		株式会社タムロン
(65)公開番号	特開2020-106682(P2020-106682 A)		埼玉県さいたま市見沼区蓮沼1385番 地
(43)公開日	令和2年7月9日(2020.7.9)	(74)代理人	240000327
審査請求日	令和3年6月1日(2021.6.1)		弁理士 弁護士法人クレオ国際法律特許 事務所
		(74)代理人	100082821
			弁理士 村社 厚夫
		(74)代理人	100094569
			弁理士 田中 伸一郎
		(74)代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74)代理人	100103610
			弁理士 吉 田 和彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系及び撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側から順に、負の屈折力を有する第1レンズL1、負の屈折力を有する第2レンズL2、正の屈折力を有する第3レンズL3、及び正の屈折力を有する第4レンズL4から構成され、以下の条件を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.2 < f / EXP < 0 \quad \dots (1)$$

$$0.5 < f1 / f2 < 1.0 \quad \dots (2)$$

$$0.0 < (R2L + R2R) / (R2L - R2R) < 5.0 \quad \dots (4)$$

$$0.05 < f / R3L < 0.4 \quad \dots (7)$$

但し、

fは光学系の焦点距離を表し、

EXPは物体側から結像面へ向かう方向を正としたときの光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表し、

f1は第1レンズL1の焦点距離を表し、

f2は第2レンズL2の焦点距離を表し、

R2Lは第2レンズL2の物体側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R2Rは第2レンズL2の像側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R3Lは第3レンズL3の物体側のレンズ面の曲率半径を表す。

【請求項2】

物体側から順に、負の屈折力を有する第1レンズL1、負の屈折力を有する第2レンズ

L 2、正の屈折力を有する第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有する第 4 レンズ L 4 から構成され、以下の条件を満足することを特徴とする光学系。

$$\underline{-0.2 \quad f / EXP < 0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (1)}$$

$$\underline{0.5 \quad f_1 / f_2 \quad 1.0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (2)}$$

$$\underline{0.0 \quad (R_{2L} + R_{2R}) / (R_{2L} - R_{2R}) \quad 5.0 \quad \cdot \cdot (4)}$$

$$\underline{0.03 \quad f / R_{4L} \quad 0.5 \quad \cdot \cdot \cdot (8)}$$

但し、

f は光学系の焦点距離を表し、

EXP は物体側から結像面へ向かう方向を正としたときの光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表し、

f₁ は第 1 レンズ L 1 の焦点距離を表し、

f₂ は第 2 レンズ L 2 の焦点距離を表し、

R_{2L} は第 2 レンズ L 2 の物体側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R_{2R} は第 2 レンズ L 2 の像側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R_{4L} は第 4 レンズ L 4 の物体側のレンズ面の曲率半径を表す。

【請求項 3】

物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ L 1、負の屈折力を有する第 2 レンズ L 2、正の屈折力を有する第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有する第 4 レンズ L 4 から構成され、以下の条件を満足することを特徴とする光学系。

$$\underline{-0.2 \quad f / EXP < 0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (1)}$$

$$\underline{0.5 \quad f_1 / f_2 \quad 1.0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (2)}$$

$$\underline{0.5 \quad (R_{2L} + R_{2R}) / (R_{2L} - R_{2R}) \quad 5.0 \quad \cdot \cdot (4)}$$

但し、

f は光学系の焦点距離を表し、

EXP は物体側から結像面へ向かう方向を正としたときの光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表し、

f₁ は第 1 レンズ L 1 の焦点距離を表し、

f₂ は第 2 レンズ L 2 の焦点距離を表し、

R_{2L} は第 2 レンズ L 2 の物体側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R_{2R} は第 2 レンズ L 2 の像側のレンズ面の近軸曲率半径を表す。

【請求項 4】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の光学系。

$$\underline{-10.0 \quad f_1 / f \quad -2.0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (3)}$$

【請求項 5】

以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

$$\underline{2.0 \quad f_4 / f \quad 6.0 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (5)}$$

但し、

f₄ は第 4 レンズ L 4 の焦点距離を表す。

【請求項 6】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

$$\underline{1.1 \quad (R_{1L} + R_{1R}) / (R_{1L} - R_{1R}) \quad 4.0 \quad \cdot \cdot (6)}$$

但し、

R_{1L} は第 1 レンズ L 1 の物体側のレンズ面の曲率半径を表し、

R_{1R} は第 1 レンズ L 1 の像側のレンズ面の曲率半径を表す。

【請求項 7】

前記第 2 レンズ L 2 と前記第 3 レンズ L 3 との間に絞りをも有することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

少なくとも 1 枚のレンズは樹脂材料からなることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 9】

特定の波長域の光を選択して透過するバンドパスフィルタ B P F を有する請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の光学系と、当該光学系の像側に、当該光学系によって形成された光学像を電気的信号に変換する撮像素子とを備えたことを特徴とする撮像装置。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、高い結像性能をもつ光学系及びそれを備えた撮像装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、画像自動認識技術の発展に伴い、視野の周辺の情報も取得してその視野全域において高精度の距離測定や位置検出を行うシステムの需要が高まっている。これらのシステムでは、被測定対象に向けての投光及び該投光された光の反射光の受光のタイミングにより、距離測定や位置検出を行う方法が多く用いられている。本システムにおいては、測距精度の向上のためには視野全域にわたり反射光を均一に且つ効率よく受光することが必要となり、特に視野の周辺部においても視野の中心部と同一に効率的に反射光を受光する明るいレンズが求められる。また、撮像装置の設置・搭載のためのスペースが限られることから、該レンズは広角・小型・軽量であることが求められる。

20

【0003】

従来、前記システム用のレンズとして、物体側より順に、像側に凹面を向けた負メニスカスの第 1 レンズ L 1 および第 2 レンズ L 2、正の第 3 レンズ L 3、絞り 4、像側に凸面を向けた正の第 4 レンズ L 4、およびバンドパスフィルタ 3 を配列してなる広角レンズ系が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。この広角レンズ系は、小型化、軽量化を達成しつつ、近赤外域における撮像を良好なものとし得る構成とされ、かつ歪曲収差を始めとする諸収差を良好に補正している。

30

【0004】

他の従来の前記システム用のレンズとして、物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズと、負の屈折力を有する第 2 レンズと、正の屈折力を有する第 3 レンズと、開口絞りと、正の屈折力を有する第 4 レンズとで構成される撮像レンズが提案されている（例えば、特許文献 2 参照）。この広角撮像レンズは、自動車等の様々な箇所に搭載可能な大きさであり、広い視野を確保しながら画面全域で結像性能が良く、高い光学性能を持っている。

【先行技術文献】**【特許文献】**

40

【0005】

【文献】特開 2007 - 094032 号公報

特開 2017 - 027001 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

前述した従来技術のレンズは、4 枚のレンズで構成された単焦点広角レンズであるが、射出瞳と撮像素子のセンサー面との光軸上の距離が近く、視野周辺部において結像光束がセンサー面に対して斜めに入射することから、実質的な開口効率が減少してしまい、周辺部の光量低下の抑制に不利なものとなっている。

50

【 0 0 0 7 】

(発明の目的)

本発明は、従来の単焦点広角レンズの上述した問題点に鑑みてなされたものであって、低コストであり、広角ながら視野周辺部における光量の低下を抑制し、高い結像性能をもつ光学系及びそれを備えた撮像装置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 】

【 0 0 0 8 】

本発明に係る光学系は、

物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ L 1、負の屈折力を有する第 2 レンズ L 2、正の屈折力を有する第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有する第 4 レンズ L 4 から構成され、以下の条件を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.2 \leq f / \text{EXP} \leq 1 \quad (1)$$

但し、

f は光学系の焦点距離を表し、

EXP は物体側から結像面へ向かう方向を正としたときの光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表す。

【 0 0 0 9 】

本発明に係る撮像装置は、

前記光学系と、当該光学系の像側に、当該光学系によって形成された光学像を電気的信号に変換する撮像素子を備えたことを特徴とする撮像装置である。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、高倍率を達成し且つ高い光学性能を得ることが可能なズームレンズ及びそれを備えた撮像装置を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 1 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施例に係る光学系のレンズ構成図である。

【 図 2 】 本発明の第 1 実施例に係る光学系の波長 587.6nm における縦収差図である。

【 図 3 】 本発明の第 2 実施例に係る光学系のレンズ構成図である。

【 図 4 】 本発明の第 2 実施例に係る光学系の波長 587.6nm における縦収差図である。

【 図 5 】 本発明の第 3 実施例に係る光学系のレンズ構成図である。

【 図 6 】 本発明の第 3 実施例に係る光学系の波長 587.6nm における縦収差図である。

【 図 7 】 本発明の実施例の撮像装置の構成説明図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る光学系は、以下の条件式又は条件を少なくとも 1 つ以上満足することが好ましい。

【 0 0 1 3 】

以下に、本発明の好ましい実施の形態について説明する。本発明の好ましい実施の形態において、条件式の数値は、d 線を基準とする。

【 0 0 1 4 】

本発明に係る光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ L 1、負の屈折力を有する第 2 レンズ L 2、正の屈折力を有する第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有する第 4 レンズ L 4 から構成される。

【 0 0 1 5 】

広角系のレンズにおいては、光学系の前方に負の屈折力を有するレンズ、後方に正の屈折力を有するレンズを配置したレトロフォーカスタイプとすることが好ましい。

本発明に係る光学系は、物体側から順に負の屈折力を有する第 1 レンズ L 1 と負の屈折力を有する第 2 レンズ L 2 の 2 枚の負の屈折力を有するレンズを光学系の前方に配置することによって、大きな入射角の軸外主光線を少しずつ光軸に沿った小さい角度に変換する

10

20

30

40

50

働きを持つ。また、第2レンズL2の像側に、正の屈折力を有する第3レンズL3と正の屈折力を有する第4レンズL4の2枚の正の屈折力を有するレンズを光学系の後方に配置することによって、さらに軸外主光線の光軸とのなす角を小さくする働きを持つ。これらにより射出瞳位置を結像面から離し、光学系の射出瞳位置と結像面との光軸上の距離を確保することができる。この結果、結像面に対する光線の入射角を抑え、周辺光量低下を抑制することが可能となる。

また、第1レンズL1と第2レンズL2の2枚で負の屈折力を分担し、第3レンズL3と第4レンズL4の2枚で正の屈折力を分担することにより、各レンズの屈折力が強くなり過ぎず、収差の発生を抑えることが可能となる。レンズ枚数が増加するとコストアップにつながるため、本発明の構成とすることで、低コストで広角ながら周辺部における光量低下を抑制した光学系を実現することが可能となる。

10

【0016】

本発明に係る光学系を構成するレンズは、より好ましくは、単レンズであること、すなわち、各レンズ同士が空気間隔を介して配置されることによって、より良好に収差補正が可能となる。

【0017】

また、第1レンズL1、第2レンズL2、第3レンズL3、第4レンズL4の各レンズはそれぞれが一つの硝材からなることによって、低コストと小型化を実現することが可能となる。

【0018】

本発明に係る光学系は、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$-0.2 \leq f / EXP \leq 0 \quad (1)$$

但し、

fは光学系の焦点距離を表し、

EXPは物体側から結像面へ向かう方向を正としたときの光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表す。

【0019】

条件式(1)は、適切な射出瞳位置を規定するための条件である。

【0020】

条件式(1)を満足することで、射出瞳位置を最適化し周辺光量の低下を抑制することができる。

30

条件式(1)の下限を下回ると、光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離が近くなり、周辺光量の低下が大きくなる。

【0021】

なお、EXPは、光学系の射出瞳と結像面との光軸上の距離を表し、結像面を基準(0)とし、物体側から結像面へ向かう方向を正としている。つまり、EXPが負の時は、結像面よりも物体側に射出瞳が存在し、EXPが正の時は結像面よりも奥、つまり、光学系とは離れた方向に射出瞳が存在する。

【0022】

なお、上記条件式(1)の下限は、 -0.19 であることが好ましく、 -0.18 であることがより好ましい。

40

なお、下限を満足することで周辺光量の低下を抑えられることから、上限を設ける必要はない。しかしながら、数値が大きくなる程、周辺光量の低下を抑制するという点に関しては有利になるが、全長を大きくするか個々のレンズの屈折力を大きくする必要がある。全長を大きくする場合、光学系の小型化が困難になり、また、屈折力を大きくする場合、像面湾曲やコマ収差の補正が困難になる。そこで、上限を設ける場合は、好ましくは0より小さく(<0)、より好ましくは -0.08 以下とすることで、射出瞳位置を遠ざけつつも、射出瞳位置を無限遠にしない場合すなわちテレセントリック光学系を形成しない場合、光学系の後方に配置されるレンズを小径に抑えることができる。

【0023】

50

本発明に係る光学系は、以下の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$0.5 \leq f_1 / f_2 \leq 1.5 \cdots (2)$$

但し、

f_1 は第1レンズL1の焦点距離、

f_2 は第2レンズL2の焦点距離を表す。

【0024】

条件式(2)は、第1レンズL1の焦点距離と第2レンズL2の焦点距離の比を適切に設定するための条件である。

【0025】

条件式(2)を満足することによって、広角化を達成しつつ良好な光学性能を得ることが可能となる。

10

条件式(2)の下限を下回ると、第1レンズL1の屈折力が相対的に強くなり、バックフォーカスを確保しやすくなるが、軸外の非点収差を補正することが困難になる。

条件式(2)の上限を上回ると、第2レンズL2の屈折力が相対的に強くなり、コマ収差、像面湾曲を補正することが困難となる。また、十分なバックフォーカスを確保することが困難となると共に、広角化を達成することが困難となる。

【0026】

なお、上記条件式(2)の下限は、0.55であることが好ましく、0.60であることがより好ましい。上記条件式(2)の上限は、1.20であることが好ましく、1.00であることがより好ましい。

20

【0027】

本発明に係る光学系は、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$-10 \leq f_1 / f \leq -2 \cdots (3)$$

但し、

f_1 は第1レンズL1の焦点距離を表し、

f は光学系の焦点距離を表す。

【0028】

条件式(3)は、第1レンズL1と全系の焦点距離の比を適切に設定するための条件である。

【0029】

条件式(3)を満足することによって、広角化を達成した上でバックフォーカスを確保し、射出瞳と結像面との光軸上の距離を確保しつつ非点収差や像面湾曲をバランスよく補正することが可能となる。

30

条件式(3)の下限を下回ると、第1レンズL1の負の屈折力が弱くなり、広角化を達成することが困難となると共に、バックフォーカスを確保することが困難となる。

条件式(3)の上限を上回ると、広角化やバックフォーカスの確保には有利となり、さらに射出瞳位置を結像面から遠ざけやすくなる。しかし、第1レンズL1の負の屈折力が強くなり過ぎ、非点収差や像面湾曲を補正することが困難となる。

【0030】

なお、上記条件式(3)の下限は、-8.0であることが好ましく、-7.0であることがより好ましい。上記条件式(3)の上限は-2.5であることが好ましく、-3.0であることがより好ましい。

40

【0031】

本発明に係る光学系は、以下の条件式(4)を満足することが好ましい。

$$0 \leq (R_{2L} + R_{2R}) / (R_{2L} - R_{2R}) \leq 5 \cdots (4)$$

但し、

R_{2L} は第2レンズL2の物体側のレンズ面の近軸曲率半径を表し、

R_{2R} は第2レンズL2の像側のレンズ面の近軸曲率半径を表す。

【0032】

条件式(4)は、負の屈折力を有する第2レンズL2の形状を規定するものである。

50

【 0 0 3 3 】

条件式 (4) を満足することで、特にコマ収差、非点収差をバランスよく補正することが可能となる。

条件式 (4) の下限を下回ると、第 2 レンズ L 2 の物体側のレンズ面の曲率が像側のレンズ面の曲率よりも強い両凹レンズ形状となる。そのため第 2 レンズ L 2 の物体側のレンズ面の発散作用が強くなり過ぎ、主光線よりレンズの周辺側を通る光線に対する発散作用が強くなるため、コマ収差を補正することが困難となる。また、非点収差も増大し、像面湾曲も正の方向に増大してしまう。

条件式 (4) の上限を上回ると、第 2 レンズ L 2 の物体側のレンズ面の正の曲率が強くなり過ぎ、第 2 レンズ L 2 全体として負の屈折力を確保することが難しくなると共に、第 2 レンズ L 2 の物体側の面の主光線よりレンズの周辺側を通る光線に対する収束作用が強くなるため、コマ収差の補正が困難となる。また、非点収差も増大し、像面湾曲も負の方向に増大してしまう。

10

【 0 0 3 4 】

なお、上記条件式 (4) の下限は、0 . 5 であることが好ましく、1 . 0 であることがより好ましい。上記条件式 (4) の上限は、4 . 0 であることが好ましく、3 . 8 であることがより好ましい。

【 0 0 3 5 】

本発明に係る光学系は、以下の条件式 (5) を満足することが好ましい。

$$2 . 0 \quad f_4 / f \quad 6 . 0 \quad \cdots (5)$$

20

但し、

f_4 は第 4 レンズ L 4 の焦点距離を表し、

f は光学系の焦点距離を表す。

【 0 0 3 6 】

条件式 (5) は、正の屈折力を有する第 4 レンズ L 4 の焦点距離と全系の焦点距離の比を適切に設定するための条件である。

【 0 0 3 7 】

条件式 (5) を満足することにより、射出瞳位置を結像面から遠ざけるという点で有利となり、非点収差やコマ収差をバランスよく補正することが可能となる。

条件式 (5) の下限を下回ると、第 4 レンズ L 4 の正の屈折力が強くなり過ぎ、射出瞳位置を結像面から遠ざけることはできるが、非点収差やコマ収差を補正することが困難となる。

30

条件式 (5) の上限を上回ると、第 4 レンズ L 4 の正の屈折力が弱くなり、射出瞳位置と結像面との光軸上の距離を確保することが困難になると共に、コマ収差の補正が困難となる。

【 0 0 3 8 】

なお、上記条件式 (5) の下限は、2 . 3 であることが好ましく、2 . 5 であることがより好ましい。上記条件式 (5) の上限は、5 . 5 であることが好ましく、5 . 0 であることがより好ましい。

【 0 0 3 9 】

本発明に係る光学系は、以下の条件式 (6) を満足することが好ましい。

$$1 . 1 \quad (R_{1L} + R_{1R}) / (R_{1L} - R_{1R}) \quad 4 . 0 \quad \cdots (6)$$

40

但し、

R_{1L} は第 1 レンズ L 1 の物体側のレンズ面の曲率半径を表し、

R_{1R} は第 1 レンズ L 1 の像側のレンズ面の曲率半径を表す。

【 0 0 4 0 】

条件式 (6) は負の屈折力を有する第 1 レンズ L 1 の形状を規定するものである。

広角レンズにおいては、物体側のレンズはレンズ面に対する軸外光束の入射角が大きく、収差発生が大きい。そのため、第 1 レンズ L 1 の物体側の面を物体側に凸形状(負メニスカス)とすることで第 1 レンズ L 1 の物体側の面に対する軸外光線の入射角を小さく保つこ

50

とが可能となり、収差発生を抑制することができる。

【 0 0 4 1 】

条件式 (6) を満足することにより、特に非点収差や像面湾曲をバランスよく補正することが可能となる。

条件式 (6) の下限を下回ると、第 1 レンズ L 1 の物体側のレンズ面が平面に近づくと共に、像側のレンズ面の負の曲率が強いメニスカス形状となる。そのため第 1 レンズ L 1 の物体側のレンズ面に対する軸外光束の入射角が大きくなり、広角化には不利となる。また、第 1 レンズ L 1 の像側のレンズ面の発散作用が強くなり過ぎ、非点収差が増大すると共に、像面湾曲も正の方向に増大してしまう。

条件式 (6) の上限を上回ると、第 1 レンズ L 1 の物体側のレンズ面の正の曲率がきつくなり過ぎ、第 1 レンズ L 1 全体として負の屈折力を確保することが難しくなるため、広角化を達成することが困難となる。また非点収差が増大すると共に、像面湾曲も負の方向に増大してしまう。

10

【 0 0 4 2 】

なお、上記条件式 (6) の下限は、 1 . 2 であることが好ましく、 1 . 3 であることがより好ましい。上記条件式 (6) の上限は、 3 . 8 であることが好ましく、 3 . 6 であることがより好ましい。

【 0 0 4 3 】

本発明に係る光学系は、以下の条件式 (7) を満足することが好ましい。

$$0 . 0 5 \quad f / R 3 L \quad 0 . 4 \quad \cdots (7)$$

20

但し、

R 3 L は第 3 レンズ L 3 の物体側のレンズ面の曲率半径を表し、

f は光学系の焦点距離を表す。

【 0 0 4 4 】

条件式 (7) は、光学系の焦点距離と第 3 レンズ L 3 の物体側のレンズ面の曲率半径の比を適切に設定するための条件である。

【 0 0 4 5 】

第 3 レンズ L 3 の物体側のレンズ面は物体側に凸であることが好ましく、条件式 (7) を満足することにより、特に球面収差とコマ収差をバランスよく補正することが可能となる。

30

条件式 (7) の下限を下回ると、第 3 レンズ L 3 の物体側のレンズ面の曲率半径が大きくなり、コマ収差の補正が困難になると共に、球面収差が正の方向に増大してしまう。

条件式 (7) の上限を上回ると、第 3 レンズ L 3 の物体側のレンズ面の曲率半径が小さくなり、コマ収差の補正が困難になると共に、球面収差が負の方向に増大してしまう。

【 0 0 4 6 】

なお、上記条件式 (7) の下限は、 0 . 0 8 であることが好ましく、 0 . 1 0 であることがより好ましい。上記条件式 (7) の上限は、 0 . 3 8 であることが好ましく、 0 . 3 6 であることがより好ましい。

【 0 0 4 7 】

本発明に係る光学系は、以下の条件式 (8) を満足することが好ましい。

$$0 . 0 3 \quad f / R 4 L \quad 0 . 5 \quad \cdots (8)$$

40

但し、

R 4 L は第 4 レンズ L 4 の物体側のレンズ面の曲率半径を表し、

f は光学系の焦点距離を表す。

【 0 0 4 8 】

条件式 (8) は、光学系の焦点距離と第 4 レンズ L 4 の物体側の面の曲率半径の比を適切に設定するための条件である。

【 0 0 4 9 】

第 4 レンズ L 4 の物体側のレンズ面は、物体側に凸であることが好ましく、条件式 (8) を満足することで、特にコマ収差をバランスよく補正することが可能となる。

50

条件式(8)の下限を下回ると、第4レンズL4の物体側のレンズ面の曲率半径が大きくなり、主光線よりレンズの周辺側を通る光線の収束作用が弱くなるため、コマ収差の補正が困難となる。

条件式(8)の上限を上回ると、第4レンズL4の物体側のレンズ面の曲率半径が小さくなり、主光線よりレンズの周辺側を通る光線の収束作用が強くなるため、コマ収差の補正が困難となる。

【0050】

なお、上記条件式(8)の下限は、0.10であることが好ましく、0.15であることがより好ましい。上記条件式(8)の上限は、0.45であることが好ましく、0.40であることがより好ましい。

【0051】

本発明に係る光学系は、第2レンズL2と第3レンズL3との間に絞りを有することが好ましい。

【0052】

絞り位置を第2レンズL2と第3レンズL3との間に配置することにより、射出瞳位置を結像面から遠ざけるという点で有利となり、周辺光量を確保しやすくなる。

【0053】

本発明に係る光学系は、少なくとも1枚の樹脂レンズを有することが好ましい。

【0054】

樹脂レンズを用いることにより低コスト化が可能となる。また、樹脂レンズに非球面を用いることにより低コスト化を図りつつ、収差補正を効果的に実施することが可能となる。

樹脂レンズは、負の屈折力を有する第2レンズL2と、正の屈折力を有する第4レンズL4に用いることが好ましい。第2レンズL2と第4レンズL4に樹脂レンズを用いることにより、温度変化に伴う焦点距離変動を抑制することが可能となる。

【0055】

本発明に係る光学系は、特定の波長域の光を選択して透過するバンドパスフィルタBPFを有することが好ましい。

【0056】

前記バンドパスフィルタBPFを有することにより、少ないレンズ枚数でも収差補正をすることが可能となり、小型で簡素な構成とすることができる。

また、バンドパスフィルタBPFは、第3レンズL3より結像面側に配置することにより、広角レンズでも光の入射角のばらつきを小さくすることが可能となり、バンドパスフィルタBPFへ入射する光線の角度変化に伴う透過率特性のばらつきを抑制できるため好ましい。

【0057】

より好ましくは、第4レンズL4と結像面の間にバンドパスフィルタBPFを配置すると良い。

【0058】

第4レンズL4と結像面の間にバンドパスフィルタBPFを配置することによって、バンドパスフィルタBPFへ入射する光線角度のばらつきをより小さくすることが可能となるため、バンドパスフィルタBPFの透過率特性のばらつきの抑制に有利となり好ましい。

【0059】

本発明に係る光学系は、いずれか一枚のレンズのd線における屈折率が1.85以上であることが好ましい。

【0060】

屈折率の高い硝材を用いることで、少ないレンズ枚数で収差補正を良好に行うことが可能となる。より好ましくは、いずれか一枚のレンズのd線における屈折率が1.88以上であることが好ましい。

【0061】

本発明に係る撮像装置は、本発明に係る光学系と、当該光学系の像側に、当該光学系に

10

20

30

40

50

よって形成された光学像を電気的信号に変換する撮像素子を備えたことを特徴とする。撮像素子としては、CMOS-TOF距離画像センサーが例示される。

【 0 0 6 2 】

本発明に係る撮像装置の撮像素子においては、視野中心のみならず視野周辺部においても結像光束が受光面に略垂直に入射し、視野周辺部の光電変換効率の低下を抑制し、高い結像性能をもつことができる。

【 0 0 6 3 】

(実施例)

以下に、本発明に係る光学系及びそれを備えた撮像装置を、数値実施例及び添付図面に基づいて説明する。

【 0 0 6 4 】

本発明に係る光学系の具体的数値を適用した数値実施例について説明する。表中の f は全系の焦点距離、 Fno は F ナンバー、 ω は半画角、 r は曲率半径、 d はレンズ厚またはレンズ間隔、 Nd は d 線における屈折率、 d は d 線におけるアッペ数、面番号の隣に記載された ASP はその面が非球面であることを表し、STOP は開口絞りが配置されることを示す。

また、各非球面形状は、光軸に垂直な高さを H 、面頂を原点としたときの高さ H における光軸方向の変位量を $X(H)$ 、近軸曲率半径を R 、円錐係数を k 、2 次、4 次、6 次、8 次、10 次の非球面係数をそれぞれ A 、 B 、 C 、 D 、 E とするとき、以下に示す非球面式により表される。

非球面式

$$X(H) = \frac{H^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(H^2/R^2)}} + AH^2 + BH^4 + CH^6 + DH^8 + EH^{10}$$

【 0 0 6 5 】

各実施例の縦収差図 (図 2、図 4、図 6) においては、左側から順に、球面収差 (SA (mm))、非点収差 (AST (mm))、歪曲収差 (DIS (%)) を示す。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、 d 線 ($d - line$) の特性である。非点収差図において、縦軸は画角 (図中、 ω で示す) を表し、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、 T で示す) の特性である。歪曲収差図において、縦軸は半画角 (図中、 $\omega/2$ で示す) を表す。

【 0 0 6 6 】

(第 1 実施例)

第 1 実施例に係る光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状の第 1 レンズ $L1$ 、及び負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状で、両面を非球面形状とした第 2 レンズ $L2$ 、正の屈折力を有し両凸形状の第 3 レンズ $L3$ 、及び正の屈折力を有し両凸形状で、両面を非球面形状とした第 4 レンズ $L4$ から構成されている。開口絞り S は第 2 レンズ $L2$ と第 3 レンズ $L3$ の間に配置されており、バンドパスフィルタ BPF は第 4 レンズ $L4$ と結像面 IMG の間に配置されている。また、第 2 レンズ $L2$ と第 4 レンズ $L4$ は樹脂レンズである。

【 0 0 6 7 】

バンドパスフィルタ BPF は、第 4 レンズ $L4$ と結像面 IMG との間に配置されているが、第 3 レンズ $L3$ と第 4 レンズ $L4$ との間に配置されてもよい。

第 1 実施例に係る光学系は、中心波長 850 nm 、波長範囲 $\pm 50\text{ nm}$ の近赤外領域で最適化しているが、中心波長 587.6 nm (d 線) でも収差は補正されている。

【 0 0 6 8 】

第 1 実施例の諸元を表 1 に示す。諸数値は d 線 (587.6 nm) における値を記載しており、参考値として 850 nm における値も記載している。

【 0 0 6 9 】

(表 1) 諸元表

	d 線基準	8 5 0 nm基準
f	2.41	2.49
Fno	1.40	1.40
	72.65	69.62

【 0 0 7 0 】

(表 2) レンズデータ

面番号	r	d	Nd	d
1	24.579	0.800	1.8343	37.20
2	5.908	4.080		
3 ASP	12.454	0.800	1.5350	55.63
4 ASP	4.567	7.979		
5 STOP	INF	0.600		
6	10.851	1.944	1.9108	35.30
7	-49.982	2.741		
8 ASP	7.618	2.343	1.5350	55.63
9 ASP	-13.651	2.500		
10	INF	0.300	1.5163	64.15
11	INF	2.000		
12	INF	0.500	1.5163	64.15
13	INF	0.686		

10

20

【 0 0 7 1 】

(表 3) 非球面データ (表示していない非球面係数は0.00000である。)

No.	K	B	C	D	E
3	-6.36471E+00	4.49955E-03	-2.03570E-04	4.49939E-06	-4.49026E-08
4	-8.27621E-01	6.35458E-03	-1.20708E-04	-2.42510E-06	1.62599E-07
8	5.82019E-01	-5.24399E-04	1.02789E-06	6.23788E-07	-5.40451E-08
9	-3.40325E+00	1.31530E-03	-2.65716E-07	5.84901E-07	-3.79953E-08

【 0 0 7 2 】

30

(第 2 実施例)

第 2 実施例に係る光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状の第 1 レンズ L 1、及び負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状で、両面を非球面形状とした第 2 レンズ L 2 からなる前レンズ群と、正の屈折力を有し両凸形状の第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有し両凸形状で、両面を非球面形状とした第 4 レンズ L 4 からなる後レンズ群により構成されている。開口絞り S は第 2 レンズ L 2 と第 3 レンズ L 3 の間に配置されており、バンドパスフィルタ BPF は第 4 レンズ L 4 と結像面 I M G の間に配置されている。また、第 2 レンズ L 2 と第 4 レンズ L 4 は樹脂レンズである。

【 0 0 7 3 】

バンドパスフィルタ B P F は、第 4 レンズ L 4 と結像面 I M G との間に配置されているが、第 3 レンズ L 3 と第 4 レンズ L 4 との間に配置されてもよい。

40

第 2 実施例に係る光学系は、中心波長 8 5 0 n m、波長範囲 ± 5 0 n m の近赤外領域で最適化しているが、中心波長 5 8 7 . 6 n m (d 線) でも収差は補正されている。

【 0 0 7 4 】

第 2 実施例の諸元表を表 4 に示す。諸数値は d 線 (5 8 7 . 6 n m) における値を記載しており、参考値として 8 5 0 n m における値も記載している。

【 0 0 7 5 】

(表 4) 諸元表

	d 線基準	8 5 0 nm基準
f	2.38	2.47

50

Fno 1.42 1.42
 73.07 69.90

【 0 0 7 6 】

(表 5) レンズデータ

面番号	r	d	Nd	d
1	18.213	0.800	1.9109	35.20
2	5.656	3.153		
3 ASP	10.382	0.800	1.6172	25.00
4 ASP	4.495	8.937		
5 STOP	INF	0.600		
6	10.312	1.916	1.9109	35.20
7	-119.476	2.463		
8 ASP	7.476	2.385	1.5350	55.63
9 ASP	-14.003	2.500		
10	INF	0.300	1.5163	64.15
11	INF	2.000		
12	INF	0.500	1.5163	64.15
13	INF	0.895		

10

【 0 0 7 7 】

(表 6) 非球面データ (表示していない非球面係数は0.00000である。)

20

No.	K	B	C	D	E
3	-6.13628E+00	3.55948E-03	-1.57445E-04	2.70385E-06	-1.41667E-08
4	-1.50056E+00	5.72369E-03	-8.99683E-05	-5.54533E-06	2.76795E-07
8	2.97397E-01	-5.41806E-04	3.01951E-07	3.88254E-07	-3.56819E-08
9	-7.46456E-01	1.30352E-03	-4.45592E-06	4.03728E-07	-2.19383E-08

【 0 0 7 8 】

(第 3 実施例)

第 3 実施例に係る光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状の第 1 レンズ L 1、及び負の屈折力を有し物体側に凸のメニスカス形状で、両面を非球面形状とした第 2 レンズ L 2 からなる前レンズ群と、正の屈折力を有し両凸形状の第 3 レンズ L 3、及び正の屈折力を有し両凸形状で、両面を非球面形状とした第 4 レンズ L 4 からなる後レンズ群により構成されている。開口絞り S は、第 2 レンズ L 2 と第 3 レンズ L 3 の間に配置されており、バンドパスフィルタ BPF は第 4 レンズ L 4 と結像面 IMG の間に配置されている。また、第 2 レンズ L 2 と第 3 レンズ L 3 と第 4 レンズ L 4 は樹脂レンズである。

30

【 0 0 7 9 】

バンドパスフィルタ BPF は、第 4 レンズ L 4 と結像面 IMG との間に配置されているが、第 3 レンズ L 3 と第 4 レンズ L 4 との間に配置されてもよい。

【 0 0 8 0 】

第 3 実施例に係る光学系は、中心波長 850 nm、波長範囲 ± 50 nm の近赤外領域で最適化しているが、中心波長 587.6 nm (d 線) でも収差は補正されている。

40

【 0 0 8 1 】

第 3 実施例に係る光学系の諸元表を表 7 示す。諸数値は d 線 (587.6 nm) における値を記載しており、参考値として 850 nm における値も記載している。

【 0 0 8 2 】

(表 7) 諸元表

	d 線基準	850 nm 基準
f	2.41	2.49
Fno	1.45	1.45
	71.35	68.80

50

【 0 0 8 3 】

(表 8) レンズデータ

面番号	r	d	Nd	d
1	16.469	0.8000	1.9109	35.20
2	5.295	2.6887		
3 ASP	17.500	0.9756	1.5350	55.63
4 ASP	4.389	7.9059		
5 STOP	INF	0.7189		
6 ASP	8.442	2.5904	1.5350	55.63
7 ASP	-16.684	2.0205		
8 ASP	9.468	2.5000	1.5350	55.63
9 ASP	-10.381	2.5000		
10	INF	0.3000	1.5163	64.15
11	INF	2.0000		
12	INF	0.5000	1.5163	64.15
13	INF	1.8000		

10

【 0 0 8 4 】

(表 9) 非球面データ (表示していない非球面係数は0.00000である。)

No.	K	B	C	D	E
3	-7.69079E-01	2.70705E-03	-1.60653E-04	5.37853E-06	-8.15435E-08
4	-1.71633E+00	6.40322E-03	-1.66872E-04	8.18927E-06	-8.16843E-09
6	-8.39844E-01	-1.85333E-04	8.59034E-06	-5.56907E-08	0.00000E+00
7	7.31789E+00	-4.46747E-04	3.81024E-05	-3.80322E-07	0.00000E+00
8	-3.70256E+00	-7.59605E-04	4.68472E-06	3.51524E-07	-4.72965E-09
9	1.20079E+00	6.28101E-04	-1.38486E-05	7.14766E-07	5.23355E-09

20

【 0 0 8 5 】

(撮像装置)

実施例の撮像装置 1 0 0 は、図 7 に示すように、光学系 1 0 2 を撮像装置ハウジング 1 0 4 に装着して構成される。光学系 1 0 2 の結像面 B P F には、光電素子 P C が配置される。

30

【 0 0 8 6 】

(条件式対応値) d 線にて計算した結果

40

	条件式	実施例1	実施例2	実施例3	
(1)	f / EXP	-0.14	-0.16	-0.13	
(2)	f_1 / f_2	0.68	0.69	0.79	
(3)	f_1 / f	-3.94	-3.90	-3.68	
(4)	$(R_{2L}+R_{2R}) / (R_{2L}-R_{2R})$	2.16	2.53	1.67	
(5)	f_4 / f	3.94	3.98	4.02	
(6)	$(R_{1L}+R_{1R}) / (R_{1L}-R_{1R})$	1.63	1.90	1.95	
(7)	f / R_{3L}	0.22	0.23	0.29	
(8)	f / R_{4L}	0.32	0.32	0.25	10
	f	2.41	2.38	2.41	
	EXP	-16.64	-15.34	-18.79	
	f_1	-9.51	-9.29	-8.87	
	f_2	-13.97	-13.55	-11.24	
	R_{2L}	12.45	10.38	17.5	
	R_{2R}	4.57	4.49	4.39	
	f_4	9.50	9.48	9.68	
	R_{1L}	24.58	18.21	16.47	
	R_{1R}	5.91	5.66	5.29	
	R_{3L}	10.85	10.31	8.44	20
	R_{4L}	7.62	7.48	9.47	

【 0 0 8 7 】

(条件式対応値) 850nmにて計算した結果

	条件式	実施例1	実施例2	実施例3	
(1)	f / EXP	-0.15	-0.16	-0.13	
(2)	f_1 / f_2	0.68	0.68	0.79	
(3)	f_1 / f	-3.89	-3.84	-3.64	
(4)	$(R_{2L}+R_{2R}) / (R_{2L}-R_{2R})$	2.16	2.53	1.67	30
(5)	f_4 / f	3.87	3.89	3.95	
(6)	$(R_{1L}+R_{1R}) / (R_{1L}-R_{1R})$	1.63	1.90	1.95	
(7)	f / R_{3L}	0.23	0.24	0.29	
(8)	f / R_{4L}	0.33	0.33	0.26	
	f	2.49	2.47	2.49	
	EXP	-16.53	-15.26	-18.61	
	f_1	-9.71	-9.49	-9.07	
	f_2	-14.18	-13.94	-11.42	
	R_{2L}	12.45	10.38	17.50	
	R_{2R}	4.57	4.49	4.39	40
	f_4	9.64	9.62	9.82	
	R_{1L}	24.58	18.21	16.47	
	R_{1R}	5.91	5.66	5.29	
	R_{3L}	10.85	10.31	8.44	
	R_{4L}	7.62	7.48	9.47	

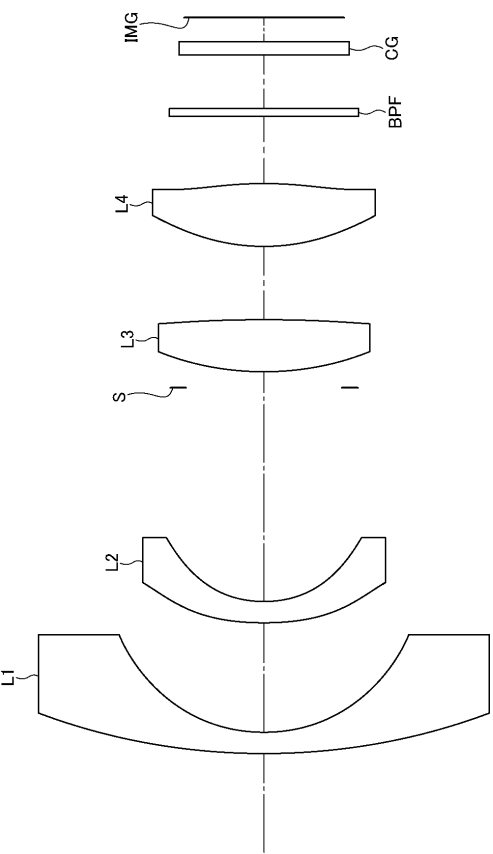
【 符号の説明 】

【 0 0 8 8 】

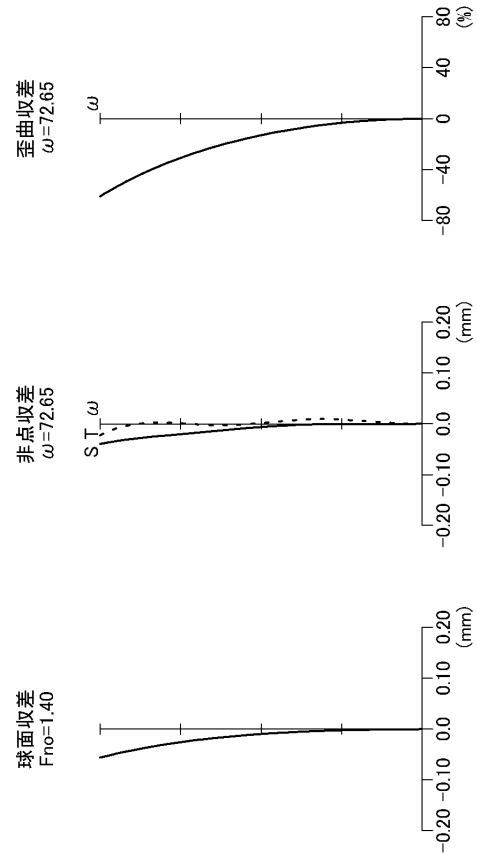
B P F	バンドパスフィルタ
I M G	結像面
S	開口絞り
P C	光電素子
L 1	第 1 レンズ
L 2	第 2 レンズ
L 3	第 3 レンズ
L 4	第 4 レンズ
1 0 0	撮像装置
1 0 2	光学系
1 0 4	撮像装置ハウジング

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

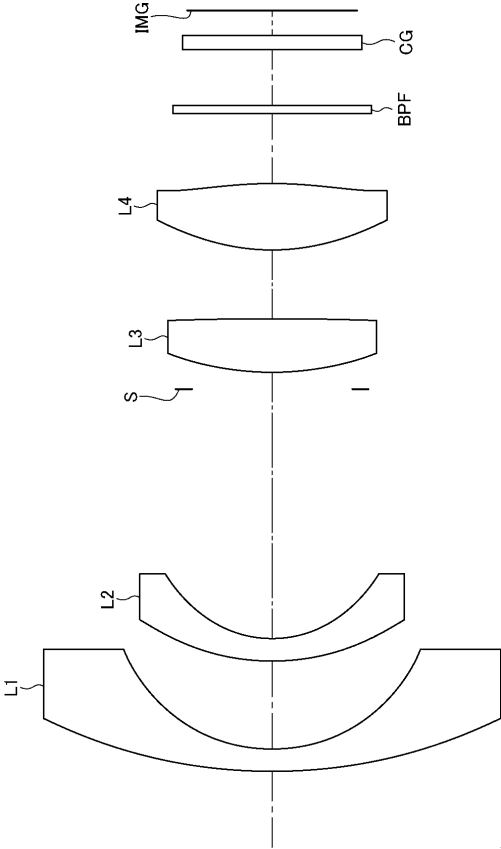
20

30

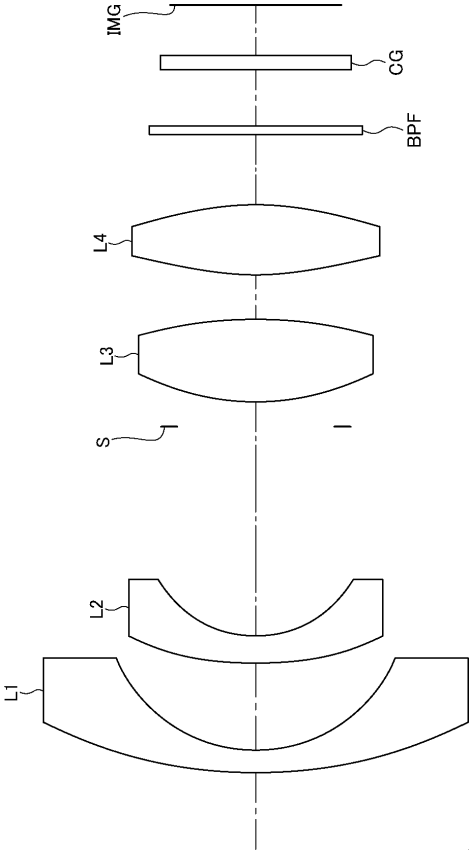
40

50

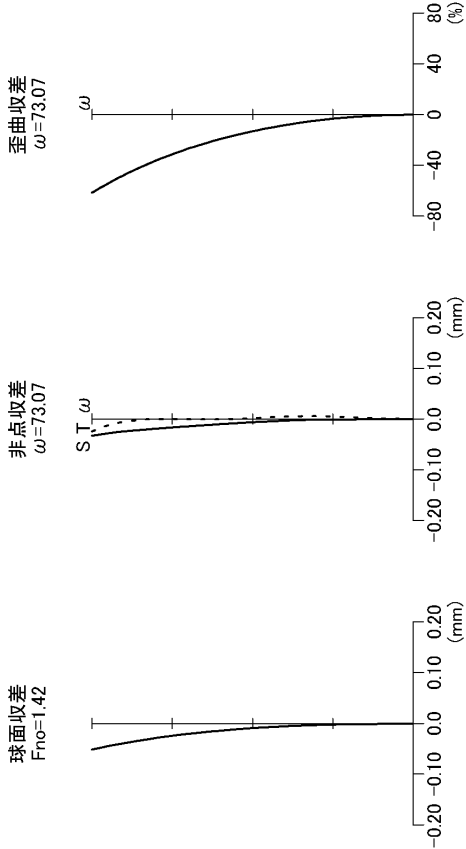
【図 3】



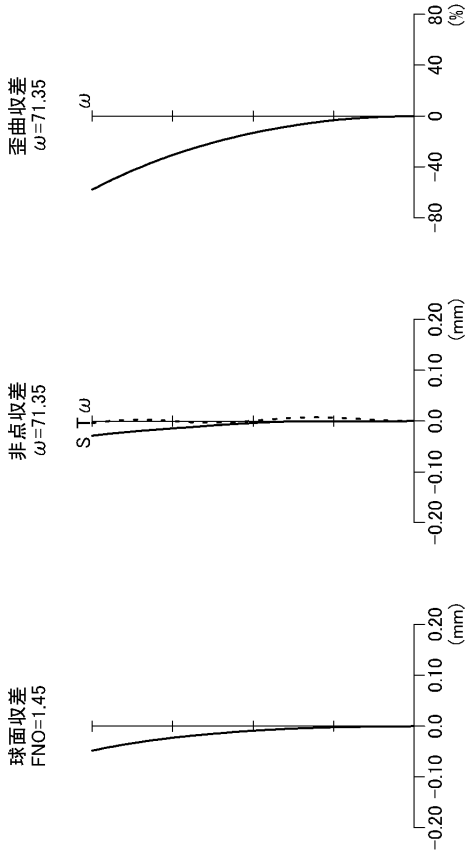
【図 5】



【図 4】



【図 6】



10

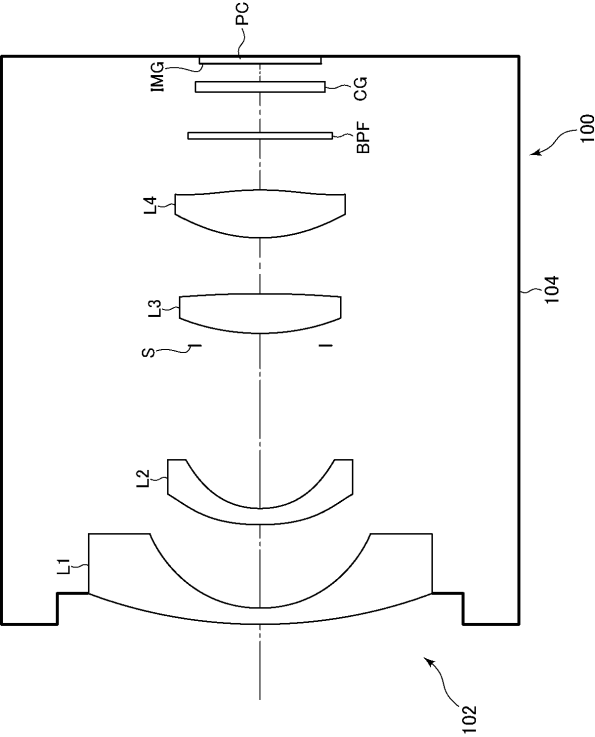
20

30

40

50

【図 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(74)代理人

松下 満

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100130937

弁理士 山本 泰史

(72)発明者 佐藤 允基

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 岡田 弘

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 1 0 1 9 2 0 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 1 6 4 2 3 7 (J P , A)

特開 2 0 0 7 - 2 0 6 5 1 6 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 2 9 9 6 5 4 (U S , A 1)

特開 2 0 0 8 - 2 4 2 0 4 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

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

G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4

G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4