

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6000823号
(P6000823)

(45) 発行日 平成28年10月5日 (2016. 10. 5)

(24) 登録日 平成28年9月9日 (2016. 9. 9)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 17/08 (2006. 01)

G O 2 B 17/08 A

G O 2 B 23/26 (2006. 01)

G O 2 B 23/26 C

G O 2 B 13/18 (2006. 01)

G O 2 B 13/18

G O 3 B 35/08 (2006. 01)

G O 3 B 35/08

G O 3 B 11/04 (2006. 01)

G O 3 B 11/04 B

請求項の数 22 (全 46 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-258484 (P2012-258484)
 (22) 出願日 平成24年11月27日 (2012. 11. 27)
 (65) 公開番号 特開2014-106327 (P2014-106327A)
 (43) 公開日 平成26年6月9日 (2014. 6. 9)
 審査請求日 平成27年9月4日 (2015. 9. 4)

(73) 特許権者 000000376
 オリンパス株式会社
 東京都八王子市石川町2951番地
 (74) 代理人 100139103
 弁理士 小山 卓志
 (74) 代理人 100097777
 弁理士 荏澤 弘
 (74) 代理人 100157118
 弁理士 南 義明
 (74) 代理人 100139114
 弁理士 田中 貞嗣
 (72) 発明者 研野 孝吉
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ
 リンパス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子、光学系、立体撮像装置、及び内視鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中心軸の周りで回転対称な屈折率が1より大きい透明媒体を少なくとも2個含み、
 前記透明媒体は、

前記中心軸に対して最外周に配置された第1透過面と、
 前記第1透過面より中心軸側に配置された第1反射面と、
 前記第1反射面より像面と反対側に配置された第2反射面と、
 前記第2反射面より像面側に配置された第2透過面と、

を有し、

前記透明媒体に入射する光束は、

順光線追跡の順に、
 前記第1透過面を経て前記透明媒体内に入り、
 前記第1反射面で像面と反対側に反射され、
 前記第2反射面で像面側に反射され、
 前記第2透過面を経て前記透明媒体から像面側の外へ出る光路を構成し、
 前記透明媒体の光路は、前記中心軸に対して片側のみで構成され、
 前記第1反射面は、前記像面側に凹面を向けて配置される

ことを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

前記透明媒体は、第1透明媒体及び第2透明媒体を含み、

10

20

以下の条件式 (1) を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

$$0.5 < w1 / w2 < 2 \quad (1)$$

ただし、

$w1$ は、前記第 1 透明媒体を通過して結像される輪帯状の結像面の幅、

$w2$ は、前記第 2 透明媒体を通過して結像される輪帯状の結像面の幅、である。

【請求項 3】

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、前記中心軸上に直列に配置されることを特徴とする請求項 2 に記載の光学素子。

10

【請求項 4】

前記第 1 透明媒体の第 1 中心軸と、前記第 2 透明媒体の第 2 中心軸は、並列に配置されることを特徴とする請求項 2 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体が配置される前群と、
前記前群より像面側に配置された後群と、
前記前群と前記後群の間に配置された開口と、
を備え、

前記第 1 透明媒体を通過し前記前群から射出する光束と、前記第 2 透明媒体のみを通過し前記前群から射出する光束と、は、前記後群の直前で同一の位置に虚像を形成することを特徴とする請求項 3 に記載の光学素子を用いた光学系。

20

【請求項 6】

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光路を有し、

前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光路を有し、

前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する平面に同心に形成する

ことを特徴とする請求項 5 に記載の光学系。

30

【請求項 7】

前記第 2 透明媒体は、前記第 1 透明媒体を射出した前記第 1 側視光路の光束を前記第 2 側視光路よりも前記中心軸に近い側で透過させる

ことを特徴とする請求項 6 に記載の光学系。

【請求項 8】

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸上を観察する直視光路を有し、

前記直視光路の物体の像を前記平面の前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像と同心に形成する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の光学系。

40

【請求項 9】

前記第 1 透明媒体は、前記中心軸上を移動可能である

ことを特徴とする請求項 5 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記第 1 透明媒体が配置される第 1 前群、

前記第 1 前群より像面側に配置された第 1 後群、

及び

前記第 1 前群と前記第 1 後群の間に配置された第 1 開口、
を有し、

前記中心軸を囲むように物体の像を形成する第 1 光学系と、

50

前記第 2 透明媒体が配置される第 2 前群、
前記第 2 前群より像面側に配置された第 2 後群、
及び
前記第 2 前群と前記第 2 後群の間に配置された第 2 開口、
を有し、
前記中心軸を囲むように物体の像を形成する第 2 光学系と、
を備え、
前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、それぞれの前記第 2 反射面の凸面側が前記
中心軸上で向かい合うように配置される
ことを特徴とする請求項 3 に記載の光学素子を用いた光学系。

10

【請求項 1 1】

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光路を
有し、
前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光路を
有し、
前記第 1 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する第 1 平面内に形成し、
前記第 2 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する第 2 平面内に形成する
ことを特徴とする請求項 1 0 に記載の光学系。

【請求項 1 2】

前記第 1 光学系と前記第 2 光学系の前記中心軸上の間隔は、可変である
ことを特徴とする請求項 1 0 又は 1 1 に記載の光学系。

20

【請求項 1 3】

前記第 1 透明媒体が配置される第 1 前群、
前記第 1 前群より像面側に配置された第 1 後群、
及び
前記第 1 前群と前記第 1 後群の間に配置された第 1 開口、
を有し、
前記第 1 中心軸を囲むように物体の像を形成する第 1 光学系と、
前記第 2 透明媒体が配置される第 2 前群、
前記第 2 前群より像面側に配置された第 2 後群、
及び
前記第 2 前群と前記第 2 後群の間に配置された第 2 開口、
を有し、
前記第 2 中心軸を囲むように物体の像を形成する第 2 光学系と、
を備える
ことを特徴とする請求項 4 に記載の光学素子を用いた光学系。

30

【請求項 1 4】

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記第 1 中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光
路を有し、
前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記第 2 中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光
路を有し、
前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像を前記第 1 中心軸及び前記第 2 中心
軸と直交する平面内に形成する
ことを特徴とする請求項 1 3 に記載の光学系。

40

【請求項 1 5】

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記第 1 中心軸上を観察する第 1 直視光路を有し、
前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記第 2 中心軸上を観察する第 2 直視光路を有し、
前記第 1 直視光路及び前記第 2 直視光路の物体の像を前記平面内に形成する
ことを特徴とする請求項 1 4 に記載の光学系。

【請求項 1 6】

50

前記第 1 透明媒体は、第 1 切り欠き部を有し、
前記第 2 透明媒体は、第 2 切り欠き部を有し、
前記第 1 切り欠き部と、前記第 2 切り欠き部と、を当接させる
ことを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 7】

前記第 1 切り欠き部と前記第 2 切り欠き部の間に遮光部材を備える
ことを特徴とする請求項 1 6 に記載の光学系。

【請求項 1 8】

前記第 1 開口に光束を偏向する第 1 偏向部と、
前記第 2 開口に光束を偏向する第 2 偏向部と、
を備える
ことを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 9】

請求項 5 乃至請求項 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学系を用いた立体撮像装置。

【請求項 2 0】

前記第 1 透明媒体の前記第 1 透過面及び前記第 2 透明媒体の前記第 1 透過面に対応する
位置に開口を有するケースを備える
ことを特徴とする請求項 1 9 に記載の立体撮像装置。

【請求項 2 1】

前記像面に配置される撮像素子と、
前記撮像素子が撮像した映像のうち、所定角度の扇形の小領域の映像を画像処理して、
長方形の左目用観察映像及び長方形の右目用観察映像に変換する画像変換部と、
を備える
ことを特徴とする請求項 1 9 又は 2 0 に記載の立体撮像装置。

【請求項 2 2】

請求項 5 乃至請求項 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学系を用いた内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、光学素子、光学系、立体撮像装置、及び内視鏡に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来、立体視用に視差の異なる 2 つの画像を略同一の平面上に結像させて撮像する方法
が開示されている（特許文献 1 及び 2 参照）。また、
（特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【特許文献 1】米国特許 5 1 9 1 2 0 3 号公報

【特許文献 2】特開平 8 - 1 2 2 6 6 5 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 3 - 2 1 0 3 9 0 号公報

【特許文献 4】特開平 5 - 3 0 0 4 2 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

近年、高解像・高画素数化の流れから F ナンバーの小さい明るい光学系が必要とされる
ようになっている。しかしながら、従来の方法では、広画角の立体像、例えば 9 0 ° を超
えるような立体像を鮮明に撮像できなかった。また、今までの光学系では、光学系全長が
長くなり、小型の撮像光学系を構成することが不可能であった。さらに、凸面鏡を使う方
法は、凸面で反射する場合に非点収差が発生するために、高解像の撮像ができなかった。

【 0 0 0 5 】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、安価で簡単な構成によって、観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学素子、光学系、立体撮像装置、及び内視鏡を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一実施形態である光学素子は、
中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体を少なくとも 2 個含み、
前記透明媒体は、

前記中心軸に対して最外周に配置された第 1 透過面と、

10

前記第 1 透過面より中心軸側に配置された第 1 反射面と、

前記第 1 反射面より像面と反対側に配置された第 2 反射面と、

前記第 2 反射面より像面側に配置された第 2 透過面と、

を有し、

前記透明媒体に入射する光束は、

順光線追跡の順に、

前記第 1 透過面を経て前記透明媒体内に入り、

前記第 1 反射面で像面と反対側に反射され、

前記第 2 反射面で像面側に反射され、

前記第 2 透過面を経て前記透明媒体から像面側の外へ出る光路を構成し、

20

前記透明媒体の光路は、前記中心軸に対して片側のみで構成され、

前記第 1 反射面は、前記像面側に凹面を向けて配置される

ことを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

本発明の一実施形態である光学素子は、

前記透明媒体は、第 1 透明媒体及び第 2 透明媒体を含み、

以下の条件式 (1) を満足する。

$$0.5 < w1 / w2 < 2 \quad (1)$$

ただし、

w 1 は、前記第 1 透明媒体を通過して結像される輪帯状の結像面の幅、

30

w 2 は、前記第 2 透明媒体を通過して結像される輪帯状の結像面の幅、

である。

【 0 0 0 8 】

本発明の一実施形態である光学素子は、

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、前記中心軸上に直列に配置される。

【 0 0 0 9 】

本発明の一実施形態である光学素子は、

前記第 1 透明媒体の第 1 中心軸と、前記第 2 透明媒体の第 2 中心軸は、並列に配置される。

【 0 0 1 0 】

40

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体が配置される前群と、

前記前群より像面側に配置された後群と、

前記前群と前記後群の間に配置された開口と、

を備え、

前記第 1 透明媒体を通過し前記前群から射出する光束と、前記第 2 透明媒体のみを通過し前記前群から射出する光束と、は、前記後群の直前で同一の位置に虚像を形成する。

【 0 0 1 1 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光路を

50

有し、

前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光路を有し、

前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する平面に同心に形成する。

【 0 0 1 2 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 2 透明媒体は、前記第 1 透明媒体を射出した前記第 1 側視光路の光束を前記第 2 側視光路よりも前記中心軸に近い側で透過させる。

【 0 0 1 3 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸上を観察する直視光路を有し、

前記直視光路の物体の像を前記平面の前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像と同心に形成する。

【 0 0 1 4 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、前記中心軸上を移動可能である。

【 0 0 1 5 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体が配置される第 1 前群、

前記第 1 前群より像面側に配置された第 1 後群、

及び

前記第 1 前群と前記第 1 後群の間に配置された第 1 開口、

を有し、

前記中心軸を囲むように物体の像を形成する第 1 光学系と、

前記第 2 透明媒体が配置される第 2 前群、

前記第 2 前群より像面側に配置された第 2 後群、

及び

前記第 2 前群と前記第 2 後群の間に配置された第 2 開口、

を有し、

前記中心軸を囲むように物体の像を形成する第 2 光学系と、

を備え、

前記第 1 透明媒体及び前記第 2 透明媒体は、それぞれの前記第 2 反射面の凸面側が前記中心軸上で向かい合うように配置される。

【 0 0 1 6 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光路を有し、

前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光路を有し、

前記第 1 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する第 1 平面内に形成し、

前記第 2 側視光路の物体の像を前記中心軸と直交する第 2 平面内に形成する。

【 0 0 1 7 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 光学系と前記第 2 光学系の前記中心軸上の間隔は、可変である。

【 0 0 1 8 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体が配置される第 1 前群、

前記第 1 前群より像面側に配置された第 1 後群、

10

20

30

40

50

及び

前記第 1 前群と前記第 1 後群の間に配置された第 1 開口、
を有し、

前記第 1 中心軸を囲むように物体の像を形成する第 1 光学系と、
前記第 2 透明媒体が配置される第 2 前群、

前記第 2 前群より像面側に配置された第 2 後群、

及び

前記第 2 前群と前記第 2 後群の間に配置された第 2 開口、
を有し、

前記第 2 中心軸を囲むように物体の像を形成する第 2 光学系と、
を備える。

10

【 0 0 1 9 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記第 1 中心軸と直交する方向を観察する第 1 側視光路を有し、

前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記第 2 中心軸と直交する方向を観察する第 2 側視光路を有し、

前記第 1 側視光路及び前記第 2 側視光路の物体の像を前記第 1 中心軸及び前記第 2 中心軸と直交する平面内に形成する。

20

【 0 0 2 0 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、少なくとも前記第 1 中心軸上を観察する第 1 直視光路を有し、

前記第 2 透明媒体は、少なくとも前記第 2 中心軸上を観察する第 2 直視光路を有し、

前記第 1 直視光路及び前記第 2 直視光路の物体の像を前記平面内に形成する。

【 0 0 2 1 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 透明媒体は、第 1 切り欠き部を有し、

前記第 2 透明媒体は、第 2 切り欠き部を有し、

前記第 1 切り欠き部と、前記第 2 切り欠き部と、を当接させる。

30

【 0 0 2 2 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 切り欠き部と前記第 2 切り欠き部との間に遮光部材を備える。

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記第 1 開口に光束を偏向する第 1 偏向部と、

前記第 2 開口に光束を偏向する第 2 偏向部と、

を備える。

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施形態である立体撮像装置は、前記光学系を用いる。

【 0 0 2 5 】

本発明の一実施形態である立体撮像装置は、

前記第 1 透明媒体の前記第 1 透過面及び前記第 2 透明媒体の前記第 1 透過面に対応する位置に開口を有するケースを備える。

40

【 0 0 2 6 】

本発明の一実施形態である立体撮像装置は、

前記像面に配置される撮像素子と、

前記撮像素子が撮像した映像のうち、所定角度の扇形の小領域の映像を画像処理して、
長方形の左目用観察映像及び長方形の右目用観察映像に変換する画像変換部と、
を備える。

【 0 0 2 7 】

50

本発明の一実施形態である内視鏡は、前記光学系を用いる。

【発明の効果】

【0028】

本発明の一実施形態である光学系、立体撮像装置、及び内視鏡によれば、安価で簡単な構成によって、観察画角の広い立体像を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】第1実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図2】第1実施形態の結像面を示す図である。

【図3】第1実施形態の他の例の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

10

【図4】第2実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった第1状態の断面図である。

【図5】第2実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった第2状態の断面図である。

【図6】第2実施形態の他の例の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図7】第3実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図8】第4実施形態の光学系1の第1の状態を中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図9】第4実施形態の光学系1の第2の状態を中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図10】第4実施形態の光学素子2を物体側から見た図である。

【図11】第4実施形態の像面Iを示す図である。

【図12】第4実施形態の光学系1の他の例の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【図13】第1実施形態の光学系1の鳥瞰図である。

20

【図14】第1実施形態の光学系1をケースに収納した立体撮像装置を示す図である。

【図15】第1実施形態の立体撮像装置の撮像素子を示す図である。

【図16】第1実施形態の立体撮像装置1で撮像された映像を肉眼観察用に画像処理した図である。

【図17】第1実施形態の光学系1の他の例の鳥瞰図である。

【図18】第1実施形態の光学系1の他の例の像面を示す図である。

【図19】拡張回転自由曲面を説明する図である。

【図20】実施例1の光学系1を示す図である。

【図21】実施例1の光学系の第1側視光路21に対応する横収差図である。

【図22】実施例1の光学系の第2側視光路22に対応する横収差図である。

30

【図23】実施例2の光学系1の第1状態を示す図である。

【図24】実施例2の光学系1の第2状態を示す図である。

【図25】実施例1の光学系の第1状態での第1側視光路21に対応する横収差図である。

【図26】実施例1の光学系の第2状態での第1側視光路21に対応する横収差図である。

【図27】実施例1の光学系の第2側視光路22に対応する横収差図である。

【図28】実施例3の光学系1を示す図である。

【図29】実施例3の光学系の側視光路21に対応する横収差図である。

【図30】実施例4の光学系1を示す図である。

40

【図31】実施例4の光学系1の偏向部5を第1状態とした例を示す図である。

【図32】実施例4の光学系1の偏向部5を第2状態とした例を示す図である。

【図33】実施例4の光学系の直視光路31に対応する横収差図である。

【図34】実施例4の光学系の側視光路21に対応する横収差図である。

【図35】本実施形態の光学系を自動車の撮影光学系として用いた例を示す図である。

【図36】本実施形態の光学系を屋外の被写体を撮影する撮像装置及び投影装置として用いた例を示す

【図37】本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮影光学系として用いた例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

50

【0030】

本実施形態の光学素子について説明する。

【0031】

図1は、第1実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【0032】

本実施形態の光学素子2は、中心軸Cの周りで回転対称な屈折率が1より大きい透明媒体10を少なくとも2個含み、透明媒体10は、中心軸Cに対して最外周に配置された第1透過面11と、第1透過面11より中心軸C側に配置された第1反射面12と、第1反射面12より像面と反対側に配置された第2反射面13と、第2反射面13より像面側に配置された第2透過面14と、を有し、透明媒体10に入射する光束は、順光線追跡の順に、第1透過面11を経て透明媒体10内に入り、第1反射面12で像面Iと反対側に反射され、第2反射面13で像面I側に反射され、第2透過面14を経て透明媒体10から像面I側の外へ出る光路を構成し、光路は、中心軸Cに対して片側のみで構成され、第1反射面12は、像面I側に凹面を向けて配置される。

10

【0033】

透明媒体10は、内側で反射する第1反射面12及び第2反射面13を有し、第1反射面12及び第2反射面13を裏面鏡で構成することができるので、収差の発生を低減させることが可能となる。また、透明媒体10は、第1透過面11及び第2透過面14を有し、光線を屈曲することができるので、設計の自由度を高くすることが可能となる。

【0034】

透明媒体10の屈折率は、1より大きいので、透明媒体10に入射した光束の幅が狭くなり、周辺映像の収差を補正することが可能となる。

20

【0035】

好ましくは、透明媒体10を屈折率1.5以上の媒質にして、反射作用を有する面を内部反射面で構成することにより、反射面で構成するより収差の発生が少なくなる。この構成により小型で高解像の光学系を構成することが可能となると同時に、2つの反射面を一体に構成することが可能となり、組み立て調整上好ましい。

【0036】

透明媒体10を屈折率1.7以上の媒質で構成することが好ましい。屈折率を上げるとそれだけ内部反射面の曲率を小さく（曲率半径を大きく）でき、本実施形態のように偏心光学系として構成している場合には、偏心収差の発生が小さくでき、解像力が向上するので好ましい。

30

【0037】

さらに好ましくは、屈折率を1.8以上にすることにより、臨界角は33度となり、第1反射面12を全反射面として構成することが可能となり、反射コーティングをする必要がなくなるため、加工上と光量の損失の点で好ましい。

【0038】

透明媒体10に入射する光束は、順光線追跡の順に、第1透過面11を経て透明媒体10内に入り、第1反射面12で像面Iと反対側に反射され、第2反射面13で像面I側に反射され、第2透過面14を経て透明媒体10から像面I側の外へ出る光路を構成させるので、略Z字状の光路を構成することになる。その結果、第1反射面12及び第2反射面13への入射角が小さくなり、偏心収差の発生を最小にすることが可能となる。

40

【0039】

透明媒体10内の光路は、中心軸Cに対して片側のみで構成されるので、光路長が短くなり、中間結像をしない光路となる。したがって、小型の光学系を構成することが可能となる。

【0040】

透明媒体10の第1反射面12及び第2反射面13は、像面I側に凹面を向けて配置されるので、面のパワーとしては強い負と正のパワーを有する。したがって、正のパワーの後群Gbとあわせて負 - 正 - 正のレトロフォーカスのパワー配置となり、広画角で収差の

50

良好な光学系を形成することが可能となる。また、第 1 反射面 1 2 で発生する像面湾曲を第 2 反射面 1 3 で補正することも可能となり、高解像な結像系に好ましい。

【 0 0 4 1 】

さらに好ましくは、第 1 反射面 1 2 を全反射にすることにより、第 1 反射面 1 2 と第 2 透過面 1 4 の有効領域を重ねることが可能となり、小型の光学素子を構成することが可能となる。また、全反射にすることにより、光量のロスを小さくすることが可能となる。

【 0 0 4 2 】

光学素子 2 は、このような構成を有する透明媒体 1 0 を少なくとも 2 つ用いることにより、2 光路での撮像が可能となり、安価で簡単な構成によって、観察画角の広い立体像を得ることが可能となる。

10

【 0 0 4 3 】

図 2 は、第 1 実施形態の光学系 1 の結像面を示す図である。

【 0 0 4 4 】

本実施形態の光学素子 2 では、透明媒体 1 0 は、第 1 透明媒体 1 0₁ 及び第 2 透明媒体 1 0₂ を含み、以下の条件式 (1) を満足することが好ましい。

$$0.5 < w1 / w2 < 2 \quad (1)$$

ただし、

w 1 は、第 1 透明媒体 1 0₁ を通過して結像される輪帯状の第 1 結像面 I₂₁ の幅 (m m)、

w 2 は、第 2 透明媒体 1 0₂ を通過して結像される輪帯状の第 2 結像面 I₂₂ の幅 (m m)、

20

である。

【 0 0 4 5 】

w 1 / w 2 が条件式 (1) の下限を下回る場合又は上限を上回る場合、二つの映像の大きさが大きく異なり、立体視や立体計測する場合に大きさを補正することが必要になる。したがって、光学素子 2 を使用する際の装置が複雑化してしまうので、好ましくない。なお、撮像素子 I S は、図 2 に示すように、第 1 結像面 I₂₁ 及び第 2 結像面 I₂₂ が含まれるように設置されればよい。

【 0 0 4 6 】

次に、第 1 実施形態の光学系 1 について説明する。

30

【 0 0 4 7 】

第 1 実施形態の光学系 1 の光学素子 2 では、第 1 透明媒体 1 0₁ 及び第 2 透明媒体 1 0₂ は、中心軸 C 上に直列に配置されることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

第 1 透明媒体 1 0₁ 及び第 2 透明媒体 1 0₂ を中心軸 C 上に直列に配置することによって、全方位を立体視することが可能となる。

【 0 0 4 9 】

第 1 実施形態の光学系 1 は、第 1 透明媒体 1 0₁ 及び第 2 透明媒体 1 0₂ が配置される前群 G f と、前群 G f より像面側に配置された後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間に配置された開口 S と、を備え、第 1 透明媒体 1 0₁ を通過し前群 G f から射出する光束と、第 2 透明媒体 1 0₂ のみを通し前群 G f から射出する光束と、は、後群 G b の直前で同一の位置に虚像を形成することが好ましい。

40

【 0 0 5 0 】

このように構成することにより、後群 G b で結像される像の位置を同一平面上にすることができるので、光路によってピントを合わせ直すことが不要となり、同時に両光路を撮像することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

第 1 実施形態の光学系 1 では、第 1 透明媒体 1 0₁ は、少なくとも中心軸 C と直交する方向を観察する第 1 側視光路 2 1 を有し、第 2 透明媒体 1 0₂ は、少なくとも中心軸 C と直交する方向を観察する第 2 側視光路 2 2 を有し、第 1 側視光路 2 1 及び第 2 側視光路 2

50

2の物体の像を中心軸Cと直交する平面に同心に形成することが好ましい。

【0052】

このように構成することにより、単一の平面で第1側視光路21及び第2側視光路22の物体の像を撮像することが可能となる。

【0053】

第1実施形態の光学系1では、第2透明媒体10₂は、第1透明媒体10₁を射出した第1側視光路21の光束を第2側視光路22よりも中心軸Cに近い側で透過させることが好ましい。

【0054】

第1側視光路21が第1透明媒体10₁を射出する位置から後群Gbまでの間には、第2透明媒体10₂が存在する。もし、第1側視光路21が第2透明媒体10₂を透過できない場合、第1側視光路21は、第2透明媒体10₂の側方を通過させることになり、第1透明媒体10₁を大型化させることになる。したがって、このように構成することにより、第1透明媒体10₁を小さく形成することが可能となる。

10

【0055】

図3は、第1実施形態の他の例の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

【0056】

第1実施形態の他の例の光学系1では、第1透明媒体10₁及び第2透明媒体10₂は、少なくとも中心軸C上を観察する直視光路23を有し、直視光路23の物体の像を平面の第1側視光路21及び第2側視光路22の物体の像と同心に形成することが好ましい。

20

【0057】

このように構成することにより、中心軸C上を観察することができ、単一の平面で第1側視光路21、第2側視光路22、及び直視光路23の物体の像を撮像することが可能となる。なお、図3に示した例の第1透明媒体10₁の物体側に配置された前群レンズ成分3の物体側に平面を向けた平凹レンズ31は、画角を広げるためのものであって、配置しなくてもよい。

【0058】

次に、第2実施形態の光学系1について説明する。

【0059】

図4は、第2実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった第1状態の断面図である。

30

図5は、第2実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった第2状態の断面図である。

【0060】

第2実施形態の光学系1では、第1透明媒体10₁は、図4に示す第1状態と図5に示す第2状態とに、それぞれ移動可能であり、第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂の中心軸C上の間隔は、可変であることが好ましい。

【0061】

第1透明媒体10₁を移動可能とし、第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂の中心軸C上の間隔を可変とすることにより、基線長を可変に調節することが可能となる。例えば、物体との距離が長い場合には、第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂を離間させるように配置して基線長を長くし、物体との距離が短い場合には、第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂を近接させるように配置して基線長を短くすることができ、物体を見込む輻輳角を適切に設定することができ、物点距離に対応して適切な立体感を得ることが可能となる。

40

【0062】

なお、図4に示した第2実施形態の光学系1は、第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂の間にアフォーカル素子4を配置している。アフォーカル素子4は、第1アフォーカル素子41及び第2アフォーカル素子42を有し、第1アフォーカル素子41と第2アフォーカル素子42の間の第1中心主光線21_cが中心軸Cに対して平行になるように配置されている。

【0063】

50

アフォーカル素子 4 を配置することによって、第 1 アフォーカル素子 4₁ と第 2 アフォーカル素子 4₂ の間の第 1 中心主光線 2_{1c} を中心軸 C に対して平行にすると共に、第 1 中心主光線 2_{1c} を含む光束を中心軸 C に対して平行とする。第 1 アフォーカル素子 4₁ と第 2 アフォーカル素子 4₂ の間の第 1 中心主光線 2_{1c} が中心軸 C に対して平行であれば、第 2 透明媒体 1₀₂ に入射する第 1 中心主光線 2_{1c} の位置が変化せず、像面中心も移動しない。さらに、第 1 中心主光線 2_{1c} を含む光束が中心軸 C に対して平行であれば、第 1 透明媒体 1₀₁ が移動しても中心軸 C 方向の像の位置も移動しない。

【 0 0 6 4 】

なお、アフォーカル素子 4 を用いることなく、第 1 透明媒体 1₀₁ と第 2 透明媒体 1₀₂ の間の第 1 中心主光線 2_{1c} を中心軸 C に対して平行とすることが可能であれば、アフォーカル素子 4 を用いる必要はない。

10

【 0 0 6 5 】

また、第 2 実施形態と同様に、第 1 実施形態の光学系 1 も第 1 透明媒体 1₀₁ と第 2 透明媒体 1₀₂ の中心軸 C 上の間隔を可変としてもよい。

【 0 0 6 6 】

図 6 は、第 2 実施形態の他の例の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【 0 0 6 7 】

図 6 に示すように、第 2 実施形態の他の例の光学系 1 では、第 1 実施形態と同様に、第 1 透明媒体 1₀₁ 及び第 2 透明媒体 1₀₂ は、少なくとも中心軸 C 上を観察する直視光路 2₃ を有し、直視光路 2₃ の物体の像を平面の第 1 側視光路 2₁ 及び第 2 側視光路 2₂ の物体の像と同心に形成することが好ましい。

20

【 0 0 6 8 】

このように構成することにより、中心軸 C 上を観察することができ、単一の平面で第 1 側視光路 2₁、第 2 側視光路 2₂、及び直視光路 2₃ の物体の像を撮像することが可能となる。なお、図 6 に示した例の第 1 透明媒体 1₀₁ の物体側に配置されたレンズ成分 3 の物体側に平面を向けた平凹レンズ 3 は、画角を広げるためのものであって、配置しなくてもよい。

【 0 0 6 9 】

次に、第 3 実施形態の光学系 1 について説明する。

【 0 0 7 0 】

図 7 は、第 3 実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

30

【 0 0 7 1 】

第 3 実施形態の光学系 1 は、第 1 透明媒体 1₀₁ が配置される第 1 前群 G f₁、第 1 前群 G f₁ より第 1 像面 I₁ 側に配置された第 1 後群 G b₁、及び第 1 前群 G f₁ と第 1 後群 G b₁ の間に配置された第 1 開口 S₁、を有し、中心軸 C を囲むように物体の像を形成する第 1 光学系 2₁ と、第 2 透明媒体 1₀₂ が配置される第 2 前群 G f₂、第 2 前群 G f₂ より第 2 像面 I₂ 側に配置された第 2 後群 G b₂、及び、第 2 前群 G f₂ と第 2 後群 G b₂ の間に配置された第 2 開口 S₂、を有し、中心軸 C を囲むように物体の像を形成する第 2 光学系 2₂ と、を備え、第 1 透明媒体 1₀₁ 及び第 2 透明媒体 1₀₂ は、それぞれの第 2 反射面 1₃₁、1₃₂ の凸面側が中心軸 C 上で向かい合うように配置されることが好ましい。

40

【 0 0 7 2 】

このように構成することによって、第 1 後群 G b₁ と第 1 像面 I₁ 及び第 2 後群 G b₂ と第 2 像面 I₂ が両端に配置されることになり、基線長を短くすることができ、近距離の物点に対して適切な立体感を得ることが可能となる。

【 0 0 7 3 】

第 3 実施形態の光学系 1 では、第 1 透明媒体 1₀₁ は、少なくとも中心軸 C と直交する方向を観察する第 1 側視光路 2₁ を形成し、第 2 透明媒体 1₀₂ は、少なくとも中心軸 C と直交する方向を観察する第 2 側視光路 2₂ を形成し、第 1 側視光路 2₁ の物体の像を中心軸 C と直交する第 1 平面内に形成し、第 2 側視光路 2₂ の物体の像を中心軸 C と直交する第 2 平面内に形成することが好ましい。

50

【 0 0 7 4 】

このように構成することによって、安価で簡単な構成によって、全方位を立体視することが可能となる。

【 0 0 7 5 】

第3実施形態の光学系1では、第1光学系 1_1 と第2光学系 1_2 の中心軸C上の間隔は、可変であることが好ましい。

【 0 0 7 6 】

第1光学系 1_1 と第2光学系 1_2 の中心軸C上の間隔を可変とすることにより、基線長を可変に調節することが可能となる。例えば、物体との距離が長い場合には、第1透明媒体 10_1 と第2透明媒体 10_2 を離間させるように配置して基線長を長くし、物体との距離が短い場合には、第1透明媒体 10_1 と第2透明媒体 10_2 を近接させるように配置して基線長を短くすることができ、物体を見込む輻輳角を適切に設定することができ、物点距離に対応して適切な立体感を得ることが可能となる。

10

【 0 0 7 7 】

次に、第4実施形態の光学系1について説明する。

【 0 0 7 8 】

図8は、第4実施形態の光学系1の第1の状態を中心軸Cに沿ってとった断面図である。図9は、第4実施形態の光学系1の第2の状態を中心軸Cに沿ってとった断面図である。図10は、第4実施形態の光学素子2を物体側から見た図である。図11は、第4実施形態の像面Iを示す図である。

20

【 0 0 7 9 】

第4実施形態の光学系1では、図8に示すように、第1透明媒体 10_1 の第1中心軸 C_1 と、第2透明媒体 10_2 の第2中心軸 C_2 は、並列に配置されることが好ましい。

【 0 0 8 0 】

並列に配置することにより、直視光路23で立体視が可能となり、中心軸C方向の物体も立体視することが可能となる。また、広い画角を観察することが可能となる。

【 0 0 8 1 】

第4実施形態の光学系1では、第1透明媒体 10_1 が配置される第1前群 Gf_1 、第1前群 Gf_1 より第1像面 I_1 側に配置された第1後群 Gb_1 、及び第1前群 Gf_1 と第1後群 Gb_1 の間に配置された第1開口 S_1 、を有し、第1中心軸 C_1 を囲むように物体の像を形成する第1光学系 1_1 と、第2透明媒体 10_2 が配置される第2前群 Gf_2 、第2前群 Gf_2 より像面側に配置された第2後群 Gb_2 、及び第2前群 Gf_2 と第2後群 Gb_2 の間に配置された第2開口 S_2 を有し、第2中心軸 C_2 を囲むように物体の像を形成する第2光学系 1_2 と、を備えることが好ましい。

30

【 0 0 8 2 】

このように構成することによって、安価で簡単な構成によって、全方位を立体視することが可能となる。

【 0 0 8 3 】

第4実施形態の光学系1では、第1透明媒体 10_1 は、少なくとも第1中心軸 C_1 と直交する方向を観察する第1側視光路21を有し、第2透明媒体 10_2 は、少なくとも第2中心軸 C_2 と直交する方向を観察する第2側視光路22を有し、第1側視光路21及び第2側視光路22の物体の像を第1中心軸 C_1 及び第2中心軸 C_2 と直交する平面内に形成することが好ましい。

40

【 0 0 8 4 】

このように構成することにより、単一の平面で第1側視光路21及び第2側視光路22の物体の像を撮像することが可能となる。

【 0 0 8 5 】

第4実施形態の光学系1では、第1透明媒体 10_1 は、少なくとも第1中心軸 C_1 上を観察する第1直視光路23₁を有し、第2透明媒体 10_2 は、少なくとも第2中心軸 C_2 上を観察する第2直視光路23₂を有し、第1直視光路23₁及び第2直視光路23₂の物体

50

の像を平面内に形成することが好ましい。

【0086】

正面を観察することができ、単一の平面で第1側視光路21、第2側視光路22、及び直視光路23の物体の像を撮像することが可能となる。

【0087】

なお、図8及び図9に示した例の第1透明媒体10₁の物体側に配置されたレンズ成分3の物体側に平面を向けた平凹レンズ31は、画角を広げるためのものであって、配置しなくてもよい。また、図11に示すISは、想定される撮像素子ISの設置位置を示すものである。

【0088】

第4実施形態の光学系1では、図10に示すように、第1透明媒体10₁は、第1切り欠き部10a₁を有し、第2透明媒体10₂は、第2切り欠き部10a₂を有し、第1切り欠き部10a₁と、第2切り欠き部10a₂と、を当接させることが好ましい。

【0089】

光学素子2の隣り合う第1透明媒体10₁及び第2透明媒体10₂が干渉し、第1透明媒体10₁及び第2透明媒体10₂の影になって撮像できない場合、撮像できない側方視野の部分をカットして第1中心軸C₁と第2中心軸C₂の間隔を短くすることが可能となる。

【0090】

第4実施形態の光学系1は、第1切り欠き部10a₁と第2切り欠き部10a₂との間に遮光部材7を備えることが好ましい。

【0091】

例えば、近距離物点の場合に輻輳角が大きくなりすぎないようにするため、入射瞳間隔である基線長を短くすると、隣接する第1透明媒体10₁と第2透明媒体10₂の間でフレア光が入射してしまうおそれがある。そこで、遮光部材7を設けることにより、フレア光を低減することが可能となる。

【0092】

第4実施形態の光学系1は、偏向部5を備える。第1光学系1₁は、第1開口S₁に光束を偏向する第1偏向部5₁を有し、第2光学系1₂は、第2開口S₂に光束を偏向する第2偏向部5₂を有することが好ましい。

【0093】

第1偏向部5₁を第1開口S₁の近傍に設置することによって、第1開口S₁より像面側の第1光学系1₁の第1後群Gb₁を第1中心軸C₁に同軸に配置することが可能となる。また、第2偏向部5₂を第2開口S₂の近傍に設置することによって、第2開口S₂より像面側の第2光学系1₂の第2後群Gb₂を第2中心軸C₂に同軸に配置することが可能となる。

【0094】

図8に示すように、第1偏向部5₁及び第2偏向部5₂によって、第1光学系1₁の第1後群Gb₁を通過する第1光束と、第2光学系1₂の第2後群Gb₂を通過する第2光束との間隔を狭める第1状態とすると、図11(a)に示すように、第1像面I₁及び第2像面I₂の間隔を狭めることができる。したがって、第1結像面I₂₁及び第2結像面I₂₂が含まれるように単一の撮像素子ISを設置すれば、第1光学系1₁及び第2光学系1₂の映像を撮像することが可能となる。

【0095】

また、図11(b)に示すように、第1光学系1₁及び第2光学系1₂の映像の使用領域を狭めて、第1結像面I₂₁及び第2結像面I₂₂を小さくすることにより、さらに小型の撮像素子ISに第1光学系1₁及び第2光学系1₂の映像を撮像することが可能となる。

【0096】

なお、第1光学系1₁及び第2光学系1₂の映像の間隔よりも狭い基線長にすることも可能である。

【0097】

10

20

30

40

50

また、図 9 に示すように、第 1 偏向部 5_1 及び第 2 偏向部 5_2 によって、第 1 光学系 1_1 の第 1 後群 $G b_1$ を通過する第 1 光束と、第 2 光学系 1_2 の第 2 後群 $G b_2$ を通過する第 2 光束と、の間隔を広げる第 2 状態とすることにより、図 11 (c) に示すように、第 1 像面 I_1 及び第 2 像面 I_2 の間隔を広げることができる。したがって、第 1 撮像素子 $I S_1$ と第 2 撮像素子 $I S_2$ との間隔を広くすることで、各撮像素子 $I S_1$ 、 $I S_2$ への入射角を小さくすることができ、良好な収差状態を得ることが可能となる。

【0098】

図 12 は、第 4 実施形態の光学系 1 の他の例の中心軸 C に沿ってとった断面図である。なお、図 12 では、第 1 光学系 1_1 のみを示しており、第 2 光学系 1_2 を省略している。

【0099】

図 12 に示す例の第 4 実施形態の光学系 1 は、第 1 透明媒体 10_1 の中心軸 C_1 付近に孔 15_1 が形成され、直視光路 23_1 が孔 15_1 を通過する構成としている。

【0100】

このように、直視光路 23_1 が孔 15_1 を通過する構成としているので、光学系 1 を軽量化することが可能となる。また、直視光路 23_1 を通る光束の収差を小さくすることが可能となる。

【0101】

図 13 は、第 1 実施形態の光学系 1 の鳥瞰図である。図 14 は、第 1 実施形態の光学系 1 をケースに収納した立体撮像装置を示す図である。

【0102】

第 1 実施形態の光学系 1 は、図 13 に示すように構成される。このように構成される第 1 実施形態の光学系 1 を撮像装置等に用いる際には、図 14 に示すように、第 1 透明媒体 10_1 の第 1 透過面 11_1 及び第 2 透明媒体 10_2 の第 1 透過面 11_2 に対応する位置に開口を有するケース 8 を備えることが好ましい。

【0103】

なお、他の実施形態の光学系 1 も、使用時には、ケース 8 に収納して立体撮像装置として用いることが好ましい。また、直視光路 23 を有する光学系 1 に用いるには、ケース 8 に直視光路 23 を通過する光束のための図示しない開口部を設けることが好ましい。

【0104】

図 15 は、第 1 実施形態の立体撮像装置の撮像素子を示す図である。図 16 は、第 1 実施形態の立体撮像装置で撮像された映像を肉眼観察用に画像処理した図である。

【0105】

本実施形態の立体撮像装置は、像面 I に配置される撮像素子 $I S$ と、撮像素子 $I S$ が撮像した映像のうち、所定角度の扇形の小領域 $I_{21} a$ 、 $I_{22} a$ の映像を画像処理して、長方形の左目用観察映像及び長方形の右目用観察映像に変換する画像変換部と、を備えることが好ましい。

【0106】

具体的には、図 15 に示すように第 1 実施形態の立体撮像装置の撮像素子が撮像した映像のうち、第 1 側視光路小領域 $I_{21} a$ 及び第 2 側視光路小領域 $I_{22} a$ の映像を観察する場合、図 16 に示すように、第 1 側視光路小領域 $I_{21} a$ 及び第 2 側視光路小領域 $I_{22} a$ の映像を画像処理して、それぞれ長方形の左目用観察映像 L 及び右目用観察映像 R に変換することが好ましい。

【0107】

したがって、必要な領域の映像のみを簡単に立体的に観察することが可能となる。

【0108】

図 17 は、第 1 実施形態の光学系 1 の他の例の鳥瞰図である。図 18 は、第 1 実施形態の光学系 1 の他の例の像面を示す図である。

【0109】

第 1 実施形態の光学系 1 の他の例では、図 17 に示すように、第 1 透明媒体 10_1 及び第 2 透明媒体 10_2 の角度を限定して使用する場合を示したものである。このように、使

10

20

30

40

50

用する部分のみを残して他の部分をカットすることで、さらに小型化することが可能となる。また、図 1 8 に示すように、像面 I での映像も第 1 透明媒体 1 0₁ 及び第 2 透明媒体 1 0₂ の使用する部分に対応して観察可能となるので、像面 I での映像に対応した有効な撮像エリアを有する撮像素子 I S を用いればよく、撮像素子 I S を小型化することが可能となる。

【 0 1 1 0 】

なお、本実施形態の光学系 1 において、反射作用を持つ第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 はいずれも開口 S に凹面を向けている。これにより、第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 のパワー配置が負 - 正の配置となり、光学素子 2 の反射面のパワー配置が所謂レトロフォーカス型となり、広画角を取りやすくなると同時にコマ収差の発生を少なくすることが可能となる。

10

【 0 1 1 1 】

また、第 2 透過面 1 4 は、開口 S 側に凹面を向けた強い負のパワーを持つ面とすることが好ましい。この面を通して光学素子 2 から射出する画角を小さくすることにより、後群 G b に入射する画角を小さくし、後群 G b の収差補正上の負担を減らし、全体として小型で構成枚数の少ない光学系 1 を達成することができる。

【 0 1 1 2 】

また、光学素子 2 を開口 S より物体側に配置することにより、後群 G b とのバランスを取りやすくなり、光学系 1 の小型化と簡素化に良い結果が得られる。開口 S 近傍では、メリジオナル断面の中心光線と画角の大きい光線が接近しているので、開口 S 近傍に光学素子 2 を配置すると、高い角倍率が得られなくなり、他のレンズの負担が増えてしまう。また、開口 S の像側に光学素子 2 を配置すると、開口 S より物体側の前群 G f により広い画角を取ることが不可能になる。

20

【 0 1 1 3 】

本実施形態の光学系 1 の光学素子 2 の有する面のうち少なくとも 1 面は、対称面を持たない任意形状の線分を中心軸 2 の周りで回転させて形成される拡張回転自由曲面で構成されていることにより、画角周辺部分の歪みを補正することが可能となる。

【 0 1 1 4 】

本実施形態の光学系 1 の光学素子 2 の有する面のうち少なくとも 1 面は、奇数次項を含む任意形状の線分を中心軸 2 の周りで回転させて形状される拡張回転自由曲面で構成されていることにより、画角中心に対して上下非対称な形状を与えることが可能であり、収差補正上好ましい。

30

【 0 1 1 5 】

図 1 9 は、拡張回転自由曲面を説明する図である。

【 0 1 1 6 】

なお、拡張回転自由曲面は、以下の定義で与えられる回転対称面である。

【 0 1 1 7 】

まず、図 1 9 に示すように、Y - Z 座標面上で原点を通る下記の曲線 (a) が定められる。

$$Z = (Y^2 / R Y) / [1 + \{ 1 - (C_1 + 1) Y^2 / R Y^2 \}^{1/2}] \\ + C_2 Y + C_3 Y^2 + C_4 Y^3 + C_5 Y^4 + C_6 Y^5 + C_7 Y^6 \\ + \dots + C_{21} Y^{20} + \dots + C_{n+1} Y^n + \dots \\ \dots (a)$$

40

【 0 1 1 8 】

次いで、この曲線 (a) を、X 軸正方向を向いて左回りを正として角度 θ (°) 回転した曲線 F (Y) が定められる。この曲線 F (Y) も Y - Z 座標面上で原点を通る。その曲線 F (Y) を Y 正方向に距離 R (負のときは Y 負方向) だけ平行移動する。その後、Z 軸の周りでその平行移動した曲線を回転させてできる回転対称面を拡張回転自由曲面とする。その結果、拡張回転自由曲面は Y - Z 面内で自由曲面 (自由曲線) になり、X - Y 面内で半径 | R | の円になる。この定義から Z 軸が拡張回転自由曲面の軸 (回転対称軸) とな

50

る。

【0119】

ここで、 R_Y は $Y-Z$ 断面での球面頂の曲率半径、 C_1 は円錐定数、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 ...はそれぞれ1次、2次、3次、4次...の非球面係数である。

【0120】

なお、本実施形態では、第1透明媒体 10_1 及び第2透明媒体 10_2 の第1反射面 12_1 、 12_2 を拡張回転自由曲面としての円筒面で形成したが、円錐面やトーリック面等であってもよい。

【0121】

以下に、本実施形態にかかる光学系1の実施例1～4を説明する。なお、実施例1～4の数値データは、後述する。

【0122】

まず、実施例1について説明する。

【0123】

図20は、実施例1の光学系1を示す図である。図21は、実施例1の光学系の第1側視光路21に対応する横収差図である。図22は、実施例1の光学系の第2側視光路22に対応する横収差図である。

【0124】

横収差図において、中央に示された角度は、(水平方向画角、垂直方向の画角)を示し、その画角における Y 方向(メリジオナル方向)と X 方向(サジタル方向)の横収差を示す。なお、マイナスの画角は、水平方向画角については、 Y 軸正方向を向いて右回りの角度、垂直方向画角については、 X 軸正方向を向いて右回りの角度を意味する。以下、実施例1～4の横収差図に関して同様である。

【0125】

図20に示す実施例1は、図1に示した第1実施形態の光学系1の一例である。

【0126】

実施例1の座標系は、第1側視光路21に対応する第1座標系と、第2側視光路22に対応する第2座標系と、がある。第1物体面 OB_1 と第2物体面 OB_2 は、半径16の円筒面であり、中心軸 C 上に第1基準面 BS_1 及び第2基準面 BS_2 を配置する。第1側視光路21の各光学面は、第1基準面 BS_1 からの偏心量で示し、第2側視光路22の各光学面は、第2基準面 BS_2 からの偏心量で示す。

【0127】

第1側視光路21に対応する第1座標系は、順光線追跡において、例えば図20に示すように、第1物体面 OB_1 から第1透明媒体 10_1 の第1透過面 11_1 に向かう第1中心主光線 21_c の延長が中心軸 C と交差する点を偏心光学面の第1原点 O_1 とし、第1物体面 OB_1 とは中心軸 C に対して反対側の中心軸 C に直交する方向を Y_1 軸正方向とし、図20の紙面内を Y_1-Z_1 平面とする。そして、図20の像面 I 側の方向を Z_1 軸正方向とし、 Y_1 軸、 Z_1 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_1 軸正方向とする。

【0128】

第2側視光路22に対応する第2座標系は、順光線追跡において、例えば図20に示すように、第2物体面 OB_2 から第2透明媒体 10_2 の第1透過面 11_2 に向かう第2中心主光線 22_c の延長が中心軸 C と交差する点を偏心光学面の第2原点 O_2 とし、第2物体面 OB_2 とは中心軸 C に対して反対側の中心軸 C に直交する方向を Y_2 軸正方向とし、図20の紙面内を Y_2-Z 平面とする。そして、図20の像面 I 側の方向を Z_2 軸正方向とし、 Y_2 軸、 Z_2 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_2 軸正方向とする。

【0129】

光学系1は、中心軸 C の周りで回転対称な前群 G_f と、中心軸 C の周りで回転対称な後群 G_b と、前群 G_f と後群 G_b の間に中心軸 C に同軸に配置された開口 S とからなる。

【0130】

前群 G_f は、中心軸 C の周りで回転対称な屈折率が1より大きい第1透明媒体 10_1 と

10

20

30

40

50

、中心軸Cの周りで回転対称な屈折率が1より大きい第2透明媒体10₂と、からなる。

【0131】

第1透明媒体10₁は、第1物体面OB₁に対向し、外側に配置され、中心軸Cに平行に形成された拡張回転自由曲面としてのシリンドリカル面からなる第1透過面11₁と、第1透明媒体10₁の内部に形成され、第1透過面11₁に対して中心軸C側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第1反射面12₁と、第1透明媒体10₁の内部に形成され、第1反射面12₁に対して像面Iと反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第2反射面13₁と、第2反射面13₁より像面I側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第2透過面14₁を有する。

【0132】

なお、第1透明媒体10₁の第1反射面12₁と第2透過面14₁は、共通の面である。

【0133】

第2透明媒体10₂は、第2物体面OB₂に対向し、外側に配置され、中心軸Cに平行に形成された拡張回転自由曲面としてのシリンドリカル面からなる第1透過面11₂と、第1透明媒体10₂の内部に形成され、第1透過面11₂に対して中心軸C側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第1反射面12₂と、第1透明媒体10₂の内部に形成され、第1反射面12₂に対して像面Iと反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第2反射面13₂と、第2反射面13₂より像面I側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第2透過面14₂を有する。

【0134】

また、第2透明媒体10₂は、第2透明媒体10₂の内部に形成され、第1反射面12₂に対して像面Iと反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ、第1側視光路21に対する第3透過面15₁と、第3透過面15₁より像面I側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ、第1側視光路21に対する第4透過面16₁を有する。

【0135】

なお、第2透明媒体10₂の第2反射面13₂と第3透過面15₁は、共通の面であり、第1反射面12₂と第2透過面14₂と第4透過面16₁は、共通の面である。

【0136】

後群Gbは、像面I側に凸面を向けた負メニスカスレンズL₁と、像面I側に凸面を向けた正メニスカスレンズL₂と、両凸正レンズL₃と、両凸正レンズL₄と両凹負レンズL₅の接合レンズSU₁と、フィルタFと、カバーガラスCと、からなる。

【0137】

光学系1の第1側視光路21において、中心軸Cに対して直角方向の360°の円環状の物体面OB₁から入射する光束は、前群Gfの第1透明媒体10₁及び第2透明媒体10₂、開口S、並びに後群Gbを経て、中心軸Cに垂直な像面Iの中心軸Cから外れた外側に円環状に映像を形成する。

【0138】

光学系1の第2側視光路22において、中心軸Cに対して直角方向の360°の円環状の物体面OB₂から入射する光束は、前群Gfの第2透明媒体10₂、開口S、及び後群Gbを経て、中心軸Cに垂直な像面Iの中心軸Cから外れ、第1側視光路21の映像の外側に円環状に映像を形成する。

【0139】

第1側視光路21の光束は、前群Gfの第1透明媒体10₁内に第1透過面11₁を経て入り、第1反射面12₁で像面Iと反対側に反射され、第2反射面13₁で像面I側に反射され、第2透過面14₁を経て、略Z字状の光路で第1透明媒体10₁から外に出る。

【0140】

続いて、第1側視光路21の光束は、第2透明媒体10₂の第3透過面15₁及び第4透過面16₁を経て、前群Gfと後群Gbの間に中心軸Cに同軸に配置され絞りを構成する開口Sを通過する。

【0141】

10

20

30

40

50

その後、後群 G b を経て、像面 I の中心軸 C から外れた半径方向の所定位置に結像する。

【 0 1 4 2 】

第 2 側視光路 2 2 の光束は、前群 G f の第 2 透明媒体 1 0₂ 内に第 1 透過面 1 1₂ を経て入り、第 1 反射面 1 2₂ で像面 I と反対側に反射され、第 2 反射面 1 3₂ で像面 I 側に反射され、第 2 透過面 1 4₂ を経て、略 Z 字状の光路で第 2 透明媒体 1 0₂ から外に出る。

【 0 1 4 3 】

続いて、第 2 側視光路 2 2 の光束は、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 C に同軸に配置され絞りを構成する開口 S を通過する。その後、後群 G b を経て、像面 I の中心軸 C から外れた半径方向の第 1 側視光路 2 1 の結像位置の外側の所定位置に結像する。

10

【 0 1 4 4 】

なお、第 1 実施形態の観察角度は、180°又は90°とすることにより、外径を細くしたり、照明光学系を配置してもよい。

【 0 1 4 5 】

実施例 1 の仕様は、	
画角（第 1 側視光路）	90°
画角（第 2 側視光路）	90°
絞り径	φ 0 . 5 mm
像の大きさ（第 1 側視光路）	φ 0 . 4 0 0 ~ φ 0 . 9 9 8
像の大きさ（第 2 側視光路）	φ 1 . 3 1 5 ~ φ 2 . 0 0 1
物体側 NA（第 1 側視光路）	0 . 0 0 3 2 4
物体側 NA（第 2 側視光路）	0 . 0 0 7 8 2

20

である。

【 0 1 4 6 】

次に、実施例 2 について説明する。

【 0 1 4 7 】

図 2 3 は、実施例 2 の光学系 1 の第 1 状態を示す図である。図 2 4 は、実施例 2 の光学系 1 の第 2 状態を示す図である。図 2 5 は、実施例 1 の光学系の第 1 状態での第 1 側視光路 2 1 に対応する横収差図である。図 2 6 は、実施例 1 の光学系の第 2 状態での第 1 側視光路 2 1 に対応する横収差図である。図 2 7 は、実施例 1 の光学系の第 2 側視光路 2 2 に対応する横収差図である。

30

【 0 1 4 8 】

図 2 3 及び図 2 4 に示す実施例 2 は、図 4 に示した第 2 実施形態の光学系 1 の一例である。

【 0 1 4 9 】

実施例 2 の座標系は、第 1 側視光路 2 1 に対応する第 1 座標系と、第 2 側視光路 2 2 に対応する第 2 座標系と、がある。第 1 物体面 O B₁ と第 2 物体面 O B₂ は、半径 16 の円筒面であり、中心軸 C 上に第 1 基準面 B S₁ 及び第 2 基準面 B S₂ を配置する。第 1 側視光路 2 1 の各光学面は、第 1 基準面 B S₁ からの偏心量で示し、第 2 側視光路 2 2 の各光学面は、第 2 基準面 B S₂ からの偏心量で示す。

40

【 0 1 5 0 】

実施例 2 は、第 1 透明媒体 1 0₁ が移動可能であるため、第 1 基準面 B S₁ が移動可能である。したがって、第 1 側視光路 2 1 が移動し、第 1 基準面 B S₁ と第 2 基準面 B S₂ の間隔が可変となり、基線長を可変にすることが可能である。

【 0 1 5 1 】

第 1 基準面 B S₁ と第 2 基準面 B S₂ の間隔を変えた場合、像面中心と焦点位置が変化しないための条件は、開口 S の中心を通る第 1 中心主光線 2 1_C が第 1 基準面 B S₁ の移動方向である中心軸 C に対して平行になることである。第 1 中心主光線 2 1_C が中心軸 C に対して平行であれば、第 2 基準面 B S₂ に入射する第 1 中心主光線 2 1_C の位置が変化せず、像面中心も移動しない。さらに、第 1 中心主光線 2 1_C を含む光束が中心軸 C に対して平

50

行であれば、第2基準面 BS_2 が移動しても中心軸 C 方向の像の位置も移動しない。

【0152】

したがって、実施例2では、第1基準面 BS_1 と第2基準面 BS_2 の間の第2基準面 BS_2 の近傍に、移動しない正の屈折力を有する楔形状のアフォーカル素子4を配置する。アフォーカル素子4を配置することによって、第1中心主光線 21_C を中心軸 C に対して平行にすると共に、第1中心主光線 21_C を含む光束を中心軸 C に対して平行とする。なお、アフォーカル素子4を用いることなく、第1中心主光線 21_C を中心軸 C に対して平行にすることが可能であれば、図23又は図24に示したアフォーカル素子4は、省略してもよい。

【0153】

10

第1側視光路21に対応する第1座標系は、順光線追跡において、例えば図23又は図24に示すように、第1物体面 OB_1 から第1透明媒体 10_1 の第1透過面 11_1 に向かう第1中心主光線 21_C の延長が中心軸 C と交差する点を偏心光学面の第1原点 O_1 とし、第1物体面 OB_1 とは中心軸 C に対して反対側の中心軸 C に直交する方向を Y_1 軸正方向とし、図20の紙面内を Y_1-Z_1 平面とする。そして、図23又は図24の像面 I 側の方向を Z_1 軸正方向とし、 Y_1 軸、 Z_1 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_1 軸正方向とする。

【0154】

第2側視光路22に対応する第2座標系は、順光線追跡において、例えば図23又は図24に示すように、第2物体面 OB_2 から第2透明媒体 10_2 の第1透過面 11_2 に向かう第2中心主光線 22_C の延長が中心軸 C と交差する点を偏心光学面の第2原点 O_2 とし、第2物体面 OB_2 とは中心軸 C に対して反対側の中心軸 C に直交する方向を Y_2 軸正方向とし、図23の紙面内を Y_2-Z_2 平面とする。そして、図23又は図24の像面 I 側の方向を Z_2 軸正方向とし、 Y_2 軸、 Z_2 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_2 軸正方向とする。

20

【0155】

光学系1は、中心軸 C の周りで回転対称な前群 Gf と、中心軸 C の周りで回転対称な後群 Gb と、前群 Gf と後群 Gb の間に中心軸 C に同軸に配置された開口 S とからなる。

【0156】

前群 Gf は、中心軸 C の周りで回転対称な屈折率が1より大きい第1透明媒体 10_1 と、アフォーカル素子4と、中心軸 C の周りで回転対称な屈折率が1より大きい第2透明媒体 10_2 と、からなる。

30

【0157】

第1透明媒体 10_1 は、第1物体面 OB_1 に対向し、外側に配置され、中心軸 C に平行に形成された拡張回転自由曲面としてのシリンドリカル面からなる第1透過面 11_1 と、第1透明媒体 10_1 の内部に形成され、第1透過面 11_1 に対して中心軸 C 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第1反射面 12_1 と、第1透明媒体 10_1 の内部に形成され、第1反射面 12_1 に対して像面 I と反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第2反射面 13_1 と、第2反射面 13_1 より像面 I 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第2透過面 14_1 を有する。

【0158】

なお、第1透明媒体 10_1 の第1反射面 12_1 と第2透過面 14_1 は、共通の面である。

40

【0159】

アフォーカル素子4は、第1アフォーカル素子41と、第2アフォーカル素子42と、を有する。第1アフォーカル素子41は、第1透明媒体 10_1 と第2透明媒体 10_2 の間の第1透明媒体 10_1 近傍に配置され、両面が拡張回転自由曲面の透明媒体からなり、第1透明媒体 10_1 と共に移動する。第2アフォーカル素子42は、両面が拡張回転自由曲面の楔形の透明媒体からなり、第1透明媒体 10_1 と第2透明媒体 10_2 の間の第2透明媒体 10_2 近傍に配置され、移動しない。

【0160】

第2透明媒体 10_2 は、第2物体面 OB_2 に対向し、外側に配置され、中心軸 C に平行に形成された拡張回転自由曲面としてのシリンドリカル面からなる第1透過面 11_2 と、第

50

第1透明媒体10₂の内部に形成され、第1透過面11₂に対して中心軸C側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第1反射面12₂と、第1透明媒体10₂の内部に形成され、第1反射面12₂に対して像面Iと反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第2反射面13₂と、第2反射面13₂より像面I側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第2透過面14₂を有する。

【0161】

また、第2透明媒体10₂は、第2透明媒体10₂の内部に形成され、第1反射面12₂に対して像面Iと反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ、第1側視光路21に対する第3透過面15₁と、第3透過面15₁より像面I側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ、第1側視光路21に対する第4透過面16₁を有する。

10

【0162】

なお、第2透明媒体10₂の第2反射面13₂と第3透過面15₁は、共通の面であり、第2透過面14₂と第1反射面12₂と第4透過面16₁は、共通の面である。

【0163】

後群Gbは、像面I側に凸面を向けた負メニスカスレンズL₁と、像面I側に凸面を向けた正メニスカスレンズL₂と、両凸正レンズL₃と像面I側に凸面を向けた負メニスカスレンズL₄の接合レンズSU₁と、フィルタFと、カバーガラスCと、からなる。

【0164】

光学系1の第1側視光路21において、中心軸Cに対して直角方向の360°の円環状の物体面OB₁から入射する光束は、前群Gfの第1透明媒体10₁、アフォーカル素子4、及び第2透明媒体10₂、開口S、並びに後群Gbを経て、中心軸Cに垂直な像面Iの中心軸Cから外れた外側に円環状に映像を形成する。

20

【0165】

光学系1の第2側視光路22において、中心軸Cに対して直角方向の360°の円環状の物体面OB₂から入射する光束は、前群Gfの第2透明媒体10₂、開口S、及び後群Gbを経て、中心軸Cに垂直な像面Iの中心軸Cから外れ、第1側視光路21の映像の外側に円環状に映像を形成する。

【0166】

第1側視光路21の光束は、前群Gfの第1透明媒体10₁内に第1透過面11₁を経て入り、第1反射面12₁で像面Iと反対側に反射され、第2反射面13₁で像面I側に反射され、第2透過面14₁を経て、略Z字状の光路で第1透明媒体10₁から外に出る。

30

【0167】

続いて、第1側視光路21の光束は、第1アフォーカル素子41及び第2アフォーカル素子42を通り、第2透明媒体10₂の第3透過面15₁及び第4透過面16₁を経て、前群Gfと後群Gbの間に中心軸Cに同軸に配置され絞りを構成する開口Sを通過する。

【0168】

その後、後群Gbを経て、像面Iの中心軸Cから外れた半径方向の所定位置に結像する。

【0169】

第2側視光路22の光束は、前群Gfの第2透明媒体10₂内に第1透過面11₂を経て入り、第1反射面12₂で像面Iと反対側に反射され、第2反射面13₂で像面I側に反射され、第2透過面14₂を経て、略Z字状の光路で第2透明媒体10₂から外に出る。

40

【0170】

続いて、第2側視光路22の光束は、前群Gfと後群Gbの間に中心軸Cに同軸に配置され絞りを構成する開口Sを通過する。その後、後群Gbを経て、像面Iの中心軸Cから外れた半径方向の第1側視光路21の結像位置の外側の所定位置に結像する。

【0171】

なお、実施例2の観察角度は、180°又は90°とすることにより、外径を細くしたり、照明光学系を配置してもよい。

【0172】

50

実施例 2 の仕様は、

画角 (第 1 側視光路)	60°
画角 (第 2 側視光路)	60°
絞り径	$\phi 0.5 \text{ mm}$
像の大きさ (第 1 側視光路の第 1 状態)	$\phi 0.405 \sim \phi 1.008$
像の大きさ (第 1 側視光路の第 2 状態)	$\phi 0.308 \sim \phi 1.070$
像の大きさ (第 2 側視光路)	$\phi 1.333 \sim \phi 1.995$
物体側 NA (第 1 側視光路の第 1 状態)	0.00316
物体側 NA (第 1 側視光路の第 2 状態)	0.00439
物体側 NA (第 2 側視光路)	0.00718

である。

【0173】

次に、実施例 3 について説明する。

【0174】

図 28 は、実施例 3 の光学系 1 を示す図である。図 29 は、実施例 3 の光学系の側視光路 21 に対応する横収差図である。実施例 3 では、第 1 光学系 1₁ と第 2 光学系 1₂ は、同じ構成なので、第 1 光学系 1₁ のみを説明する。

【0175】

図 28 に示す実施例 3 は、図 7 に示した第 3 実施形態の光学系 1 の一例である。

【0176】

実施例 3 の座標系では、第 1 物体面 OB₁ は、半径 16 mm の円筒面であり、中心軸 C 上に第 1 基準面 BS₁ を配置する。第 1 側視光路 21 の各光学面は、第 1 基準面 BS₁ からの偏心量で示す。

【0177】

第 1 側視光路 21 に対応する第 1 座標系は、順光線追跡において、例えば図 28 に示すように、第 1 物体面 OB₁ から第 1 透明媒体 10₁ の第 1 透過面 11₁ に向かう第 1 中心主光線 21_C の延長が中心軸 C と交差する点を偏心光学面の第 1 原点 O₁ とし、第 1 物体面 OB₁ とは中心軸 C に対して反対側の中心軸 C に直交する方向を Y₁ 軸正方向とし、図 20 の紙面内を Y₁ - Z₁ 平面とする。そして、図 20 の像面 I 側の方向を Z₁ 軸正方向とし、Y₁ 軸、Z₁ 軸と右手直交座標系を構成する軸を X₁ 軸正方向とする。

【0178】

第 1 光学系 1₁ は、中心軸 C の周りで回転対称な第 1 前群 Gf₁ と、中心軸 C の周りで回転対称な第 1 後群 Gb₁ と、第 1 前群 Gf₁ と第 1 後群 Gb₁ の間に中心軸 C に同軸に配置された第 1 開口 S₁ とからなる。

【0179】

第 1 前群 Gf₁ は、中心軸 C の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい第 1 透明媒体 10₁ からなる。

【0180】

第 1 透明媒体 10₁ は、第 1 物体面 OB₁ に対向し、外側に配置され、中心軸 C に平行に形成された拡張回転自由曲面としてのシリンドリカル面からなる第 1 透過面 11₁ と、第 1 透明媒体 10₁ の内部に形成され、第 1 透過面 11₁ に対して中心軸 C 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第 1 反射面 12₁ と、第 1 透明媒体 10₁ の内部に形成され、第 1 反射面 12₁ に対して像面 I と反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第 2 反射面 13₁ と、第 2 反射面 13₁ より像面 I 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第 2 透過面 14₁ を有する。

【0181】

なお、第 1 透明媒体 10₁ の第 1 反射面 12₁ と第 2 透過面 14₁ は、共通の面である。

【0182】

第 1 後群 Gb₁ は、像面 I 側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L₁₁ と、像面 I 側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L₁₂ と、両凸正レンズ L₁₃ と像面 I 側に凸面を向けた負メ

10

20

30

40

50

ニスカスレンズ L_{14} の接合レンズ $S U_1$ と、フィルタ F_1 と、カバーガラス C_1 と、からなる。

【0183】

第1光学系 1_1 の第1側視光路 2_1 において、中心軸 C に対して直角方向の 360° の円環状の第1物体面 $O B_1$ から入射する光束は、第1前群 $G f_1$ の第1透明媒体 10_1 、第1開口 S_1 、及び第1後群 $G b_1$ を経て、中心軸 C に垂直な第1像面 I_1 の中心軸 C から外れた外側に円環状に映像を形成する。

【0184】

第1側視光路 2_1 の光束は、第1前群 $G f_1$ の第1透明媒体 10_1 内に第1透過面 11_1 を経て入り、第1反射面 12_1 で像面 I と反対側に反射され、第2反射面 13_1 で第1像面 I_1 側に反射され、第2透過面 14_1 を経て、略Z字状の光路で第1透明媒体 10_1 から外に出る。

10

【0185】

続いて、第1側視光路 2_1 の光束は、第1前群 $G f_1$ と第1後群 $G b_1$ の間に中心軸 C に同軸に配置され絞りを構成する第1開口 S_1 を通過する。

【0186】

その後、第1後群 $G b_1$ を経て、第1像面 I_1 の中心軸 C から外れた半径方向の所定位置に結像する。

【0187】

なお、第1実施形態の観察角度は、 180° 又は 90° とすることにより、外径を細くしたり、照明光学系を配置してもよい。

20

【0188】

実施例3の仕様は、
 画角（第1側視光路） 60°
 絞径 $\phi 0.5 \text{ mm}$
 像の大きさ（第1側視光路） $\phi 1.333 \sim \phi 1.995$
 物体側 NA（第1側視光路） 0.00718
 である。

【0189】

次に、実施例4について説明する。

30

【0190】

図30は、実施例4の光学系1の座標系を示す図である。図31は、実施例4の光学系1の偏向部5を第1状態とした例を示す図である。図32は、実施例4の光学系1の偏向部5を第2状態とした例を示す図である。図33は、実施例4の光学系の直視光路 3_1 に対応する横収差図である。図34は、実施例4の光学系の側視光路 2_1 に対応する横収差図である。実施例4では、第1光学系 1_1 と第2光学系 1_2 は、同じ構成なので、第1光学系 1_1 のみを説明する。

【0191】

図30に示す実施例4は、図8に示した第4実施形態の光学系1の一例である。

【0192】

実施例4の座標系は、第1直視光路 23_1 に対応する第1直視座標系と、第1側視光路 2_1 に対応する第1側視座標系を有する。

40

【0193】

第1直視光路 23_1 に対応する第1直視座標系では、第1直視物体面 $O B_3$ は、第1中心軸 C_1 上に第1直視基準面 $B S_3$ を配置する。第1直視光路 23_1 の各光学面は、第1直視第1直視基準面 $B S_3$ からの面間隔又は偏心量で示す。第1側視光路 2_1 に対応する第1側視物体面 $O B_1$ は、半径16の円筒面であり、第1中心軸 C_1 上に第1側視基準面 $B S_1$ を配置する。第1側視光路 2_1 の各光学面は、第1側視基準面 $B S_1$ からの偏心量で示す。

【0194】

50

第1直視光路 $2\ 3_1$ に対応する第1直視座標系は、順光線追跡において、例えば図30に示すように、第1直視物体面 $O\ B_3$ と中心軸 C の交点を第1直視原点 O_3 とし、第1中心軸 C_1 の像面 I に向かう方向を Z_3 軸、第1直視原点 O_3 を通り、第1側視物体面 $O\ B_1$ とは第1中心軸 C_1 に対して反対側の第1中心軸 C_1 に直交する方向を Y_3 軸正方向とし、図30の紙面内を $Y_3 - Z_3$ 平面とする。そして、図30の像面 I 側の方向を Z_3 軸正方向とし、 Y_3 軸、 Z_3 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_3 軸正方向とする。

【0195】

第1側視光路 $2\ 1$ に対応する第1側視座標系は、順光線追跡において、例えば図30に示すように、第1側視物体面 $O\ B_1$ から第1透明媒体 $1\ 0_1$ の第1透過面 $1\ 1_1$ に向かう第1側視中心主光線 $2\ 1_c$ の延長が第1中心軸 C_1 と交差する点を偏心光学面の第1側視原点 O_1 とし、第1側視物体面 $O\ B_1$ とは第1中心軸 C_1 に対して反対側の第1中心軸 C_1 に直交する方向を Y_1 軸正方向とし、図30の紙面内を $Y_1 - Z_1$ 平面とする。そして、図30の像面 I 側の方向を Z_1 軸正方向とし、 Y_1 軸、 Z_1 軸と右手直交座標系を構成する軸を X_1 軸正方向とする。

【0196】

第1光学系 1_1 は、第1中心軸 C_1 の周りで回転対称な第1前群 $G\ f_1$ と、第1中心軸 C_1 の周りで回転対称な第1後群 $G\ b_1$ と、第1前群 $G\ f_1$ と第1後群 $G\ b_1$ の間に第1中心軸 C_1 に同軸に配置された第1開口 S_1 とからなる。

【0197】

第1前群 $G\ f_1$ は、第1中心軸 C_1 の周りで回転対称な屈折率が1より大きい第1透明媒体 $1\ 0_1$ と、第1レンズ成分 3_1 と、からなる。

【0198】

第1透明媒体 $1\ 0_1$ は、第1側視物体面 $O\ B_1$ に対向し、外側に配置され、第1中心軸 C_1 に平行に形成されたシリンドリカル面からなる第1透過面 $1\ 1_1$ と、第1透明媒体 $1\ 0_1$ の内部に形成され、第1透過面 $1\ 1_1$ に対して第1中心軸 C_1 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第1反射面 $1\ 2_1$ と、第1透明媒体 $1\ 0_1$ の内部に形成され、第1反射面 $1\ 2_1$ に対して像面 I と反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ第2反射面 $1\ 3_1$ と、第2反射面 $1\ 3_1$ より像面 I 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ第2透過面 $1\ 4_1$ を有する。

【0199】

なお、第1透明媒体 $1\ 0_1$ の第1反射面 $1\ 2_1$ と第2透過面 $1\ 4_1$ は、共通の面である。

【0200】

第1レンズ成分 3_1 は、第1レンズ $3\ 1_1$ と、第2レンズ $3\ 2_1$ と、第3レンズ $3\ 3_1$ と、を有する。第1レンズ $3\ 1_1$ は、第1直視物体面 $O\ B_3$ 側に平面を向けた平凹負レンズからなり、第1透明媒体 $1\ 0_1$ の物体面側に配置される。第2レンズ $3\ 2_1$ は、第1直視物体面 $O\ B_3$ 側に凸面を向けた正メニスカスレンズ $3\ 2_1$ からなり、第1透明媒体 $1\ 0_1$ と偏光部材 5_1 の間の第1透明媒体 $1\ 0_1$ に近い側に配置される。第3レンズ $3\ 3_1$ は、第1像面 I_1 側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $3\ 3_1$ からなり、第1透明媒体 $1\ 0_1$ と偏光部材 5_1 の間の偏光部材 5_1 に近い側に配置される。なお、第1レンズ成分 3 は、必要ない場合には、配置しなくてもよい。

【0201】

第1後群 $G\ b_1$ は、第1像面 I_1 側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{11} と、第1像面 I_1 側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L_{12} と、両凸正レンズ L_{13} と両凹負レンズ L_{14} の接合レンズ $S\ U_1$ と、フィルタ F_1 と、カバーガラス C_1 と、からなる。

【0202】

第1偏向部 5_1 は、第1偏光部材 $5\ 1_1$ を有する。第1偏光部材 $5\ 1_1$ は、楔プリズムからなり、第1開口 S_1 の近傍に配置され、光路を偏光させる。

【0203】

第1光学系 1_1 の第1直視光路 $2\ 3_1$ において、第1中心軸 C_1 に直交する平面からなる第1直視物体面 $O\ B_3$ から入射する光束は、第1前群 $G\ f_1$ の第1透明媒体 $1\ 0_1$ 、第1レ

10

20

30

40

50

ンズ成分 3_1 、第1偏向部 5_1 、第1開口 S_1 、及び第1後群 $G b_1$ を経て、第1中心軸 C_1 に垂直な第1像面 I_1 の第1中心軸 C_1 上に円状に映像を形成する。

【0204】

第1光学系 1_1 の第1側視光路 2_1 において、第1中心軸 C_1 に対して直角方向の所定角度の円環状の第1側視物体面 $O B_1$ から入射する光束は、第1前群 $G f_1$ の第1透明媒体 $1 0_1$ 、第1レンズ成分 3_1 、第1偏向部 5_1 、第1開口 S_1 、及び第1後群 $G b_1$ を経て、第1中心軸 C_1 に垂直な第1像面 I_1 の第1中心軸 C_1 から外れた外側に円環状に映像を形成する。

【0205】

第1直視光路 $2 3_1$ の光束は、第1レンズ成分 3_1 の第1レンズ $3 1_1$ を通り、第1前群 $G f_1$ の第1透明媒体 $1 0_1$ 内に第3透過面 $1 5_1$ を経て入り、第4透過面 $1 6_1$ を経て、第1透明媒体 $1 0_1$ から外に出る。

10

【0206】

続いて、第1直視光路 $2 3_1$ の光束は、第1レンズ成分 3_1 の第2レンズ $3 2_1$ 及び第3レンズ $3 3_1$ を通り、第1前群 $G f_1$ と第1後群 $G b_1$ の間に第1中心軸 C_1 に同軸に配置され絞りを構成する第1開口 S_1 を通過する。

【0207】

その後、第1後群 $G b_1$ を経て、第1像面 I_1 の第1中心軸 C_1 上に結像する。

【0208】

第1側視光路 $2 1$ の光束は、第1前群 $G f_1$ の第1透明媒体 $1 0_1$ 内に第1透過面 $1 1_1$ を経て入り、第1反射面 $1 2_1$ で像面 I と反対側に反射され、第2反射面 $1 3_1$ で第1像面 I_1 側に反射され、第2透過面 $1 4_1$ を経て、略Z字状の光路で第1透明媒体 $1 0_1$ から外に出る。

20

【0209】

続いて、第1側視光路 $2 1$ の光束は、第1レンズ成分 3_1 の第2レンズ $3 2_1$ 及び第3レンズ $3 3_1$ を通り、第1前群 $G f_1$ と第1後群 $G b_1$ の間に第1中心軸 C_1 に同軸に配置され絞りを構成する第1開口 S_1 を通過する。

【0210】

その後、第1後群 $G b_1$ を経て、第1像面 I_1 の第1中心軸 C_1 から外れた半径方向の所定位置に結像する。

30

【0211】

実施例4の光学系1は、第1中心軸 C_1 と第2中心軸 C_2 の間隔は、3 mmと設定している。図31に示すように、実施例4の光学系1の偏向部5を第1状態とした場合、像面Iでの結像中心の間隔は、2 mmとなる。また、図32に示すように、実施例4の光学系1の偏向部5を第2状態とした場合、像面Iでの結像中心の間隔は、4 mmとなる。

【0212】

また、実施例4の光学系1の第1透明媒体 $1 0_1$ の外径及び第2透明媒体 $1 0_2$ の外径は、それぞれ $\phi 3.6$ mmである。したがって、光軸間隔を3 mmにするために、第1透明媒体 $1 0_1$ の側面及び第2透明媒体 $1 0_2$ の側面を平面に加工するDカットを行うと同時に各光学系 $1_1, 1_2$ のフレアー光が相互に入射しないように遮光部材7を設置している。

40

【0213】

さらに、実施例4の光学系1では、偏向部5によって発生する色収差により像の横ずれが発生するおそれがある。この色収差は、電子的に補正したり、偏向部5を色消しプリズムで構成したり、回折光学素子DOEを用いてもよい。

【0214】

実施例4の仕様は、

画角（直視光路）	120°
画角（側視光路）	60°
絞り径	$\phi 0.6$ mm
像の大きさ（直視光路）	$\phi 0.80$

50

像の大きさ（側視光路） $\phi 1.20 \sim \phi 2.00$
 物体側 NA（直視光路） 0.00284
 物体側 NA（側視光路） 0.00494

である。

【0215】

以下に、上記実施例 1 ～ 実施例 4 の構成パラメータを示す。

【0216】

各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には面間隔が与えられており、その他、面の曲率半径、媒質の屈折率、アップベ数が慣用法に従って与えられている。

10

【0217】

偏心面については、その面が定義される座標系の上記光学系 1 の原点 O からの偏心量（X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向をそれぞれ X, Y, Z）と、光学系 1 の原点 O に定義される座標系の X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれを中心とする各面を定義する座標系の傾き角（それぞれ α , β , γ （°））とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正は Z 軸の正方向に対して時計回りを意味する。なお、面の中心軸の α , β , γ の回転のさせ方は、各面を定義する座標系を光学系の原点に定義される座標系のまず X 軸の回りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した新たな座標系の Y 軸の回りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その回転した別の新たな座標系の Z 軸の回りで時計回りに γ 回転させるものである。

20

【0218】

後記の構成パラメータ中にデータの記載されていない非球面に関する項は 0 である。屈折率、アップベ数については、d 線（波長 587.56 nm）に対するものを表記してある。長さの単位は mm である。各面の偏心は、上記のように、基準面からの偏心量で表わす。曲率半径に記載する“ ∞ ”は、無限大であることを示している。

【0219】

各非球面形状は、各実施例における各非球面係数を用いて、以下の式で表される。但し、光軸方向の座標を Z、光軸と垂直な方向の座標を Y とする。

$$Z = (Y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + K) \cdot (Y / r)^2\}^{1/2}] + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10}$$

30

ただし、r は近軸曲率半径、K は円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} はそれぞれ 4 次、6 次、8 次、10 次の非球面係数である。また、 $e \pm N$ は $\times 10^{\pm N}$ をそれぞれ示している。

【0220】

実施例 1

第 1 側視光路

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アップベ数
物体面	∞	16.000			
1	基準面 [1]	0.000	偏心 (1)		
2	E R F S [1]	0.000	偏心 (2)	1.8830	40.7
3	非球面 [1]	0.000	偏心 (3)	1.8830	40.7
4	非球面 [2]	0.000	偏心 (4)	1.8830	40.7
5	非球面 [1]	0.000	偏心 (3)		
6	基準面 [1]	3.298	(1 面と同一位置)		
7	基準面 [2]	-1.795			
8	非球面 [3]	1.073		1.8830	40.7
9	非球面 [4]	1.824			
10	絞り面	0.200			
11	-0.6545	0.700		1.8830	40.7

40

50

12	-1.1516	0.100		
13	-2.8964	0.600	1.8348	42.7
14	-2.0878	0.100		
15	9.9937	0.800	1.6779	55.3
16	-3.8548	0.100		
17	2.4207	1.455	1.6779	55.3
18	-2.7776	0.500	1.9229	18.9
19	3.0957	0.167		
20	∞	0.310	1.5163	64.1
21	∞	0.030		10
22	∞	0.310	1.5163	64.1
23	∞	0.200		
24	∞	0.800	1.5163	64.1
25	∞	0.100		
像 面	∞	0.000		

E R F S [1]

R Y	∞	
θ	0.000	
R	-3.000	20

非球面 [1]

曲率半径 1.0356
k -3.5555e+000
a 1.6474e-002

非球面 [2]

曲率半径 6.8433
k -6.2073e-001
a -2.8749e-004

30

非球面 [3]

曲率半径 11.1350
k 7.6482e+000
a 3.6714e-003

非球面 [4]

曲率半径 2.2039
k 1.5556e-001
a -2.5136e-002

40

偏心 [1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-90.000	β	0.000	γ	0.000

偏心 [2]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	90.000	β	0.000	γ	0.000

偏心 [3]

50

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.138
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[4]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.938
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

第2側視光路

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	16.000			
1	基準面[2]	0.000	偏心(1)		
2	E R F S [2]	0.000	偏心(2)	1.8830	40.7
3	非球面[4]	0.000	偏心(4)	1.8830	40.7
4	非球面[3]	0.000	偏心(3)	1.8830	40.7
5	非球面[4]	0.000	偏心(4)		

(以下、第1側視光路と同じ)

E R F S [2]

R Y	∞
θ	0.000
R	-3.000

非球面[4]

曲率半径	2.2039
k	1.5556e-001
a	-2.5136e-002

非球面[3]

曲率半径	11.1350
k	7.6482e+000
a	3.6714e-003

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-90.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[3]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.795
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[4]

X	0.000	Y	0.000	Z	-0.722
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

【0 2 2 1】

実施例2

10

20

30

40

50

第 1 側視光路及び第 2 側視光路

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	基準面 [1]	0.000	偏心 (1)		
2	E R F S [1]	0.000	偏心 (2)	1.8830	40.7
3	非球面 [1]	0.000	偏心 (3)	1.8830	40.7
4	非球面 [2]	0.000	偏心 (4)	1.8830	40.7
5	非球面 [1]	0.000	偏心 (3)		
6	E R F S [2]	0.000	偏心 (5)	1.8830	40.7
7	E R F S [3]	0.000	偏心 (6)		10
8	基準面 [1]	*			
* 基準面間隔 第 1 側視光路 5.207 第 2 側視光路 3.277					
9	基準面 [2]	0.000			
10	E R F S [4]	0.000	偏心 (7)	1.8830	40.7
12	E R F S [5]	0.000	偏心 (8)		
13	非球面 [3]	0.000	偏心 (10)	1.8830	40.7
14	非球面 [4]	0.000	偏心 (11)		
15	基準面 [2]	3.685			
16	絞り面	0.200			
17	-0.8162	0.700		1.8830	40.7
18	-1.2735	0.100			20
19	-7.2049	0.800		1.6779	55.3
20	-2.4894	0.100			
21	2.2780	2.000		1.6779	55.3
22	-1.7271	0.500		1.9229	18.9
23	-7.1380	0.100			
24	∞	0.310		1.5163	64.1
25	∞	0.030			
26	∞	0.310		1.5163	64.1
27	∞	0.200			30
28	∞	0.800		1.5163	64.1
29	∞	0.100			
像 面	∞				

E R F S [1]

R Y ∞
 θ 0.0000
R -4.0000

E R F S [2]

R Y 1.9957
 θ 31.8796
R -1.6269

E R F S [3]

R Y 1.9270
 θ 37.1846
R -1.5231

E R F S [4]

R Y 8.6698
 θ 45.5292
 R -1.5723

E R F S [5]

R Y 24.1221
 θ 23.1387
 R -1.3192

非球面 [1]

10

曲率半径 0.9001
 k -2.2142e+000
 a 2.6261e-003

非球面 [2]

曲率半径 7.7963
 k -2.0186e+001
 a 3.3828e-004

非球面 [3]

20

曲率半径 10.4023
 k 3.0046e+000
 a 6.4793e-004

非球面 [4]

曲率半径 2.8697
 k -2.7463e-001
 a -5.4091e-003

偏心 [1]

30

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α -90.000 β 0.000 γ 0.000

偏心 [2]

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 90.000 β 0.000 γ 0.000

偏心 [3]

X 0.000 Y 0.000 Z -1.659
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

40

偏心 [4]

X 0.00 Y 0.00 Z -2.859
 α 0.00 β 0.00 γ 0.000

偏心 [5]

X 0.000 Y 0.000 Z -0.398
 α 0.000 β 0.000 γ 0.00

偏心 [6]

50

X	0.000	Y	0.000	Z	-0.0773
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[7]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.650
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[8]

X	0.000	Y	0.000	Z	-2.816
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

10

偏心[10]

X	0.000	Y	0.000	Z	-2.009
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[11]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.409
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

20

第2側視光路(数値実施例1と同じ)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
10	基準面[2]	0.000	偏心(1)		
11	E R F S [6]	0.000	偏心(2)	1.8830	40.7
12	非球面[4]	0.000	偏心(3)	1.8830	40.7
13	非球面[3]	0.000	偏心(4)	1.8830	40.7
14	非球面[4]	3.685	偏心(3)		
15	絞り面				

30

(以下、第1側視光路と同じ)

E R F S [6]

R Y	∞
θ	0.0000
R	-4.0000

非球面[3]

曲率半径	10.4023
k	3.0046e+000
a	6.4793e-004

40

非球面[4]

曲率半径	2.8697
k	-2.7463e-001
a	-5.4091e-003

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-90.000	β	0.000	γ	0.000

50

偏心[2]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	90.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[3]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.409
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[4]

X	0.000	Y	0.000	Z	-2.009
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

【 0 2 2 2 】

実施例 3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	16.000			
1	基準面[1]	0.000	偏心(1)		
2	E R F S [1]	0.000	偏心(2)	1.8830	40.7
3	非球面[2]	0.000	偏心(3)	1.8830	40.7
4	非球面[1]	0.000	偏心(4)	1.8830	40.7
5	非球面[2]	3.685	偏心(3)		
6	絞り面	0.200			
7	-0.8162	0.700		1.8830	40.7
8	-1.2735	0.100			
9	-7.2049	0.800		1.6779	55.3
10	-2.4894	0.100			
11	2.2780	2.000		1.6779	55.3
12	-1.7271	0.500		1.9229	18.9
13	-7.1380	0.100			
14	∞	0.310		1.5163	64.1
15	∞	0.030			
16	∞	0.310		1.5163	64.1
17	∞	0.200			
18	∞	0.800		1.5163	64.1
19	∞	0.100			
像 面	∞				

E R F S [1]

R Y	∞
θ	0.000
R	-4.000

非球面[1]

曲率半径	10.4023
k	3.0046e+000
a	6.4793e-004

非球面[2]

曲率半径	2.8697
------	--------

k -2.7463e-001

a -5.4091e-003

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-90.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	90.000	β	0.000	γ	0.000

10

偏心[3]

X	0.000	Y	0.000	Z	-1.409
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[4]

X	0.000	Y	0.000	Z	-2.009
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

【 0 2 2 3 】

実施例 4

20

直視光路

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	0.7266	1.500			
3	基準面[1]	-1.100			
4	非球面[1]	0.639		1.8830	40.7
5	非球面[2]	0.461			
6	基準面[1]	0.233	(3 面と同一位置)		
7	1.8832	0.500		1.8830	40.7
8	20.9001	0.178			
9	-0.6032	0.629		1.8830	40.7
10	-0.8773	0.200			
11	∞	0.300	偏心(1)	1.9229	18.9
12	∞	0.000			
13	絞り面	0.200			
14	-0.7828	0.700		1.8830	40.7
15	-1.2235	0.100			
16	-10.4190	0.800		1.8160	46.6
17	-2.9832	0.100			
18	2.1224	1.600		1.6180	63.3
19	-2.1646	0.500		1.9229	18.9
20	4.8056	1.300			
21	∞	0.310		1.5163	64.1
22	∞	0.030			
23	∞	0.310		1.5163	64.1
24	∞	0.200			
25	∞	0.800		1.5163	64.1
26	∞	0.100			

30

40

50

像 面 ∞

非球面 [1]

曲率半径 6256.12
 k 0.0000e+000
 a 3.7828e-003

非球面 [2]

曲率半径 1.1551
 k -1.7870e+000

10

偏心 [1]

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 10.444 β 0.000 γ 0.000

側視光路

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	基準面 [1]	0.000	偏心 (1)		
2	E R F S [1]	0.000	偏心 (2)	1.8830	40.7
3	非球面 [2]	0.000	偏心 (3)	1.8830	40.7
4	非球面 [1]	0.000	偏心 (4)	1.8830	40.7
5	非球面 [2]	0.000	偏心 (3)		

20

(以下、直視光路と同じ)

E R F S [1]

R Y ∞
 θ 0.000
 R -1.800

30

非球面 [1]

曲率半径 6256.12
 k 0.0000e+000
 a 3.7828e-003

非球面 [2]

曲率半径 1.1551
 k -1.7870e+000

40

偏心 [1]

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α -90.000 β 0.000 γ 0.000

偏心 [2]

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 90.000 β 0.000 γ 0.000

偏心 [3]

X 0.000 Y 0.000 Z -0.461

50

α 0.000 β 0.000 γ 0.000

偏心[4]

X 0.000 Y 0.000 Z -1.100

α 0.000 β 0.000 γ 0.000

【0224】

上記実施例1～4について、条件式(1)の値を下記に示しておく。

【0225】

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	
(1) w_1 / w_2	0.9118	0.8993	1.0000	1.1547	10

【0226】

以下に、本実施形態の光学系1の適用例を説明する。

【0227】

図35は、本実施形態の光学系を自動車の撮像装置として用いた例を示す図である。

【0228】

図35(a)は、自動車130の前方に撮像装置として本実施形態にかかる光学系1を取り付けて、車内の表示装置に各光学系1を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に表示するようにした例を示す図であり、図35(b)は、自動車130の各コーナやヘッド部のボールの頂部に撮像装置として本実施形態にかかる光学系1を複数取り付けて、車内の表示装置に各光学系1を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に立体的に表示するようにした例を示す図である。

20

【0229】

図36は、本実施形態の光学系を屋外の被写体を撮影する撮像装置及び投影装置として用いた例を示す図である。

【0230】

図36は、建物150の外部に本実施形態にかかる光学系1を用いた撮像装置151を取り付け、屋内に本実施形態にかかる光学系1を用いた投影装置140を配置し、撮像装置151で撮像された映像を電線152を介して、又は無線で投影装置140に送るようにしている。このような配置において、屋外の360°全方位の被写体Oを、光学系1を経て撮像装置151で撮影し、その映像信号を投影装置140に送り、像面に配置した表示素子にその映像を表示して、光学系1を通して屋内の壁面等に被写体Oの映像O'を立体的に投影表示するようにしている例である。

30

【0231】

図37は、本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮影光学系として用いた例を示す図である。

【0232】

図37は、内視鏡先端の撮影光学系として本実施形態にかかる光学系1を用いた例を示すための図である。図37(a)は、硬性内視鏡110の先端に本実施形態にかかる光学系1を取り付けて360°全方位の画像を立体的に撮像観察する例である。図37(b)にその先端の概略の構成を示す。本実施形態にかかる光学系1の第1透明媒体10₁及び第2透明媒体10₂の周囲には円周方向にスリット状に伸びる開口106を有するケーシング等からなるフレアー絞り107が配置され、フレアー光が入射するのを低減している。また、図37(c)は、軟性電子内視鏡113の先端に本発明による本実施形態にかかる光学系1を同様に取り付けて、撮影された画像を、表示装置114に画像処理を施して歪みを補正して立体的に表示するようにした例である。

40

【0233】

図37に示すように、内視鏡に光学系1を用いることにより、全方位の画像を立体的に撮像観察することができ、従来と異なる角度から様々な部位を立体的に撮像観察することができる。

【0234】

50

以上、本発明の種々の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のみに限られるものではなく、それぞれの実施形態の構成を適宜組み合わせて構成した実施形態も本発明の範疇となるものである。

【符号の説明】

【 0 2 3 5 】

1 ... 光学系

G f ... 前レンズ群

G b ... 後レンズ群

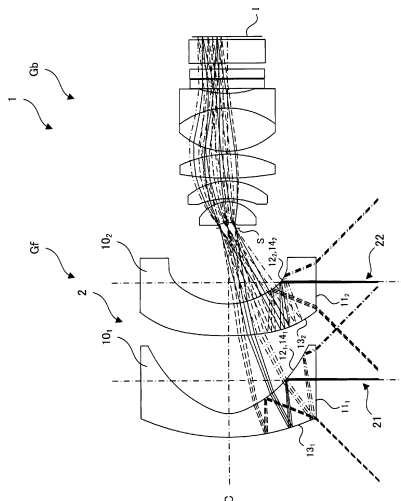
2 ... 光学素子

S ... 開口（絞り）

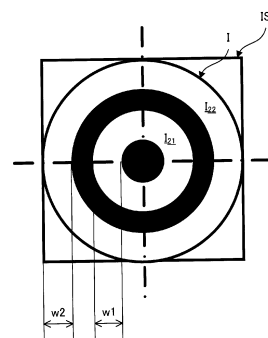
I ... 像面

10

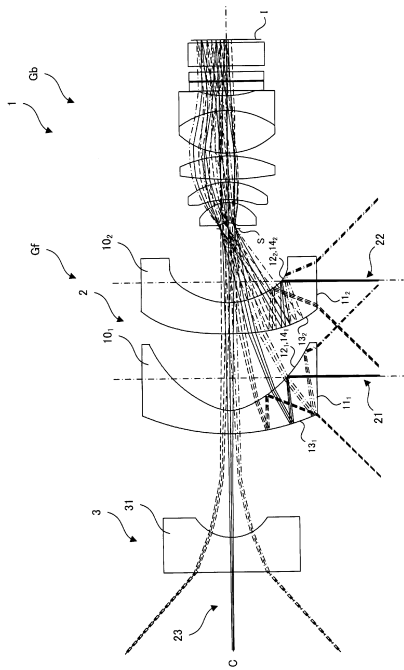
【図 1】



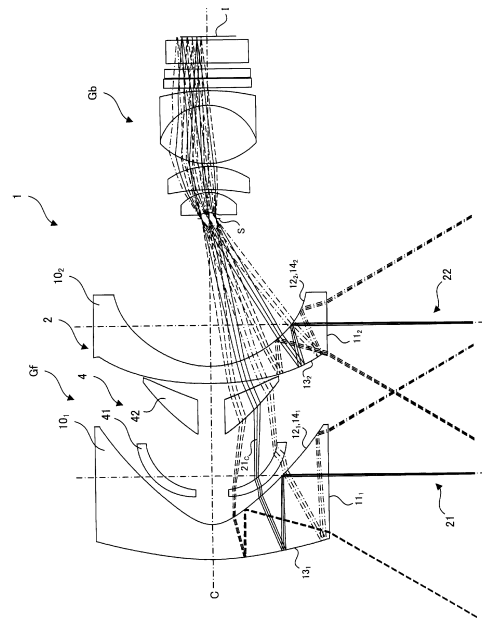
【図 2】



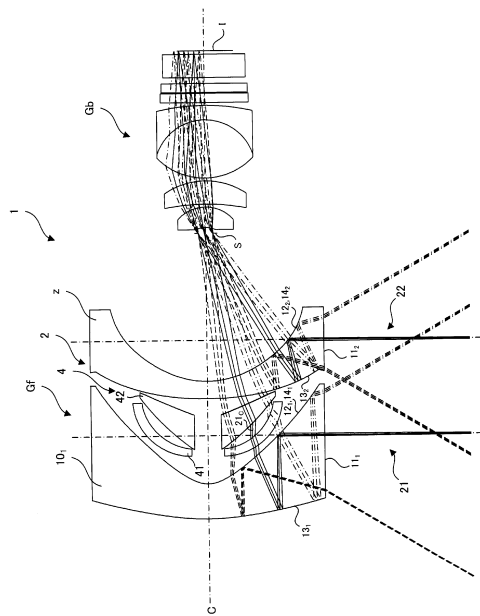
【図 3】



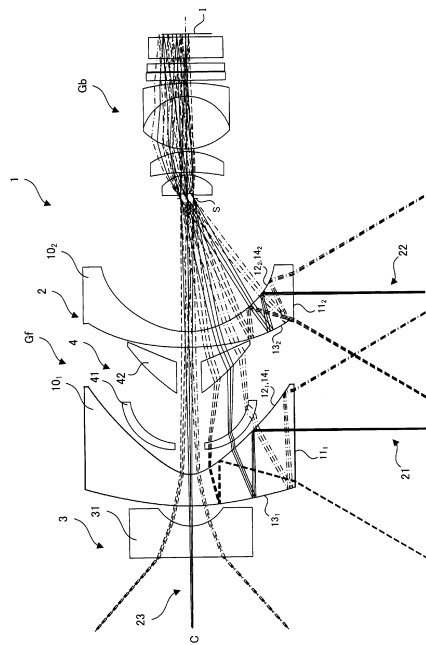
【図 4】



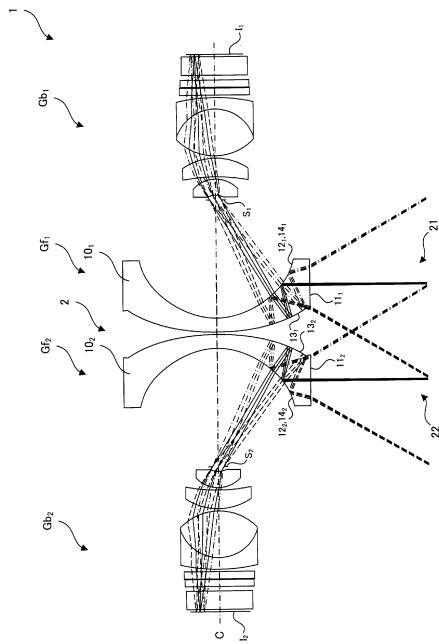
【図 5】



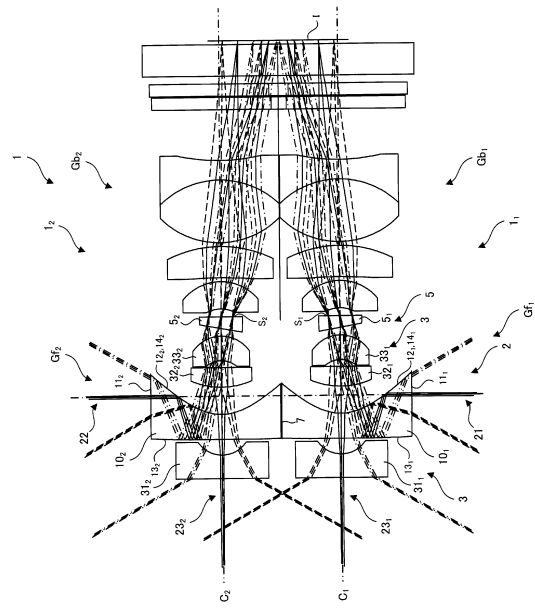
【図 6】



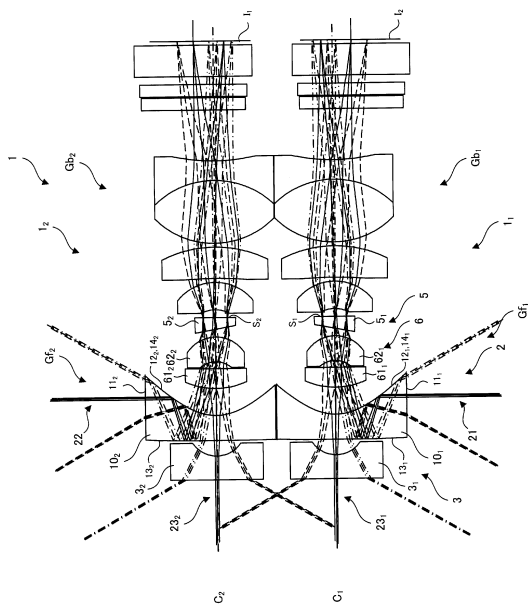
【図 7】



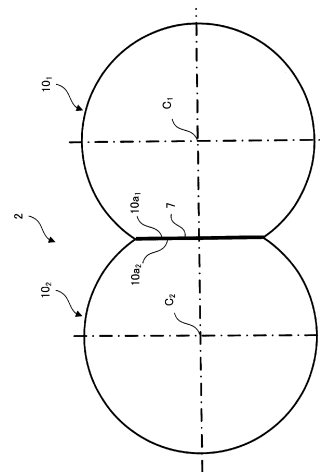
【図 8】



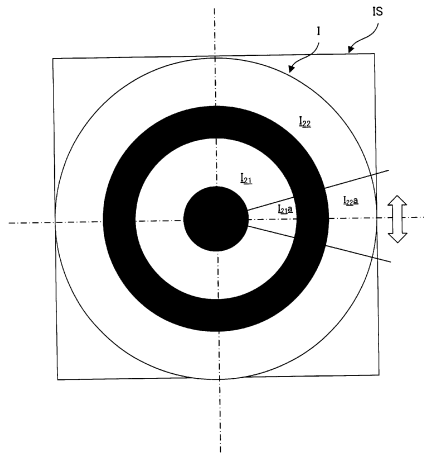
【図 9】



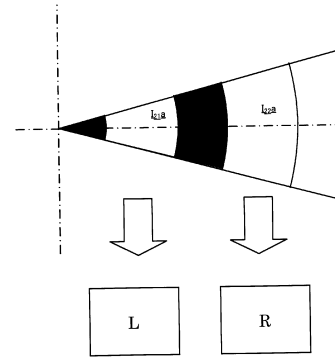
【図 10】



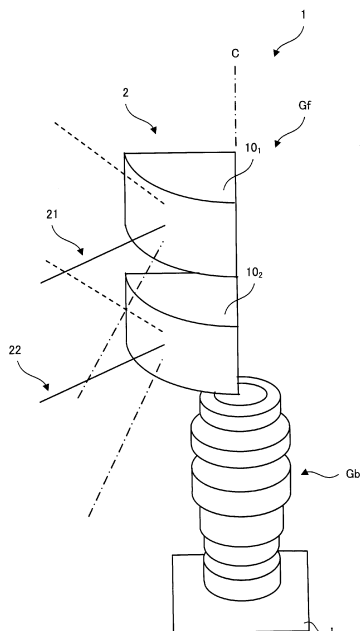
【図 15】



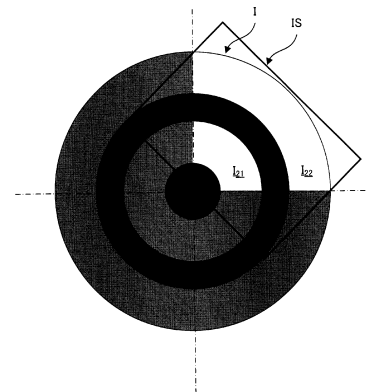
【図 16】



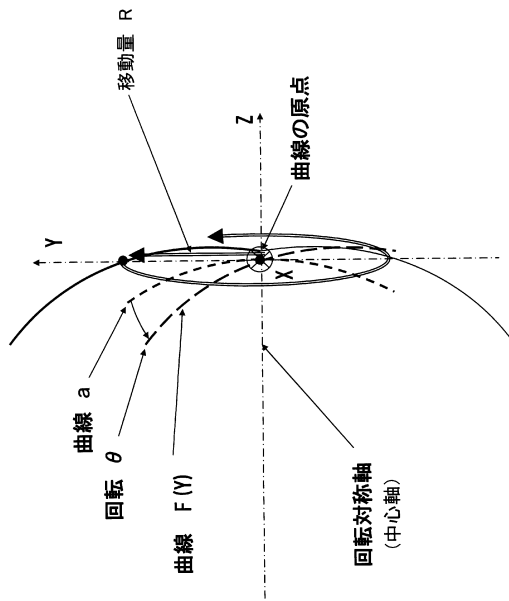
【図 17】



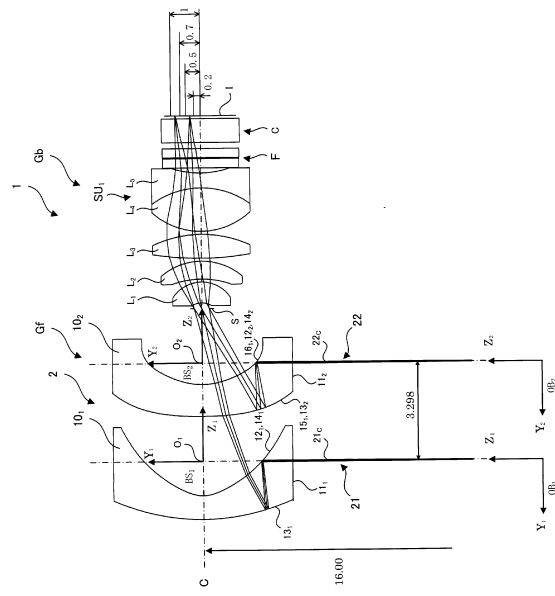
【図 18】



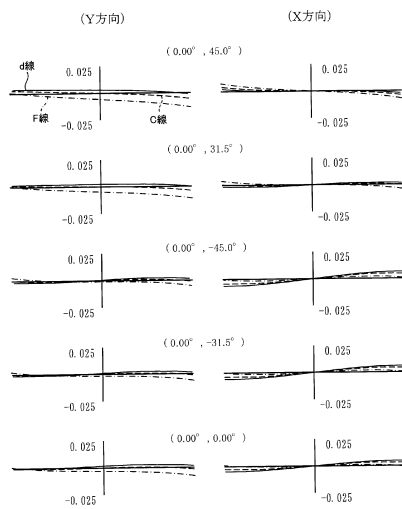
【図 19】



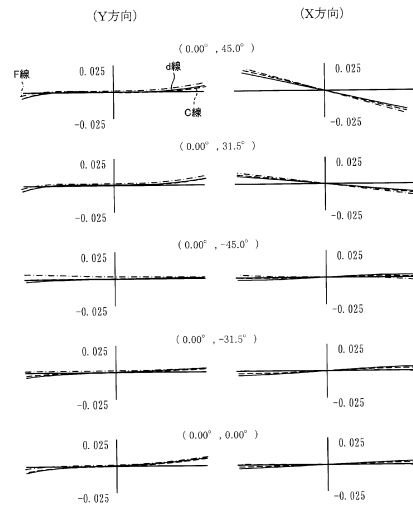
【図 20】



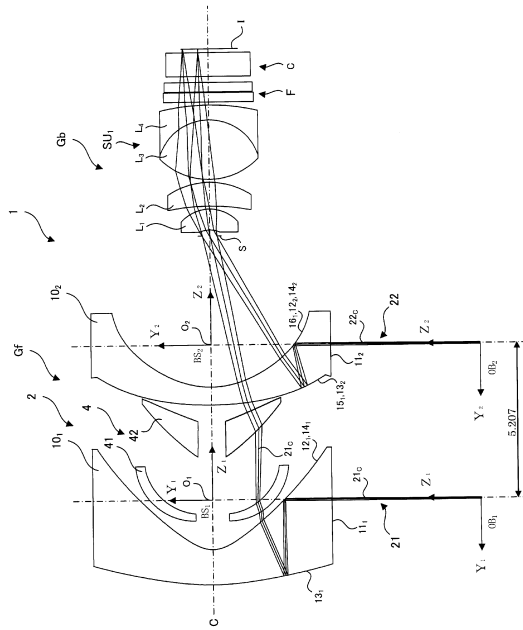
【図 21】



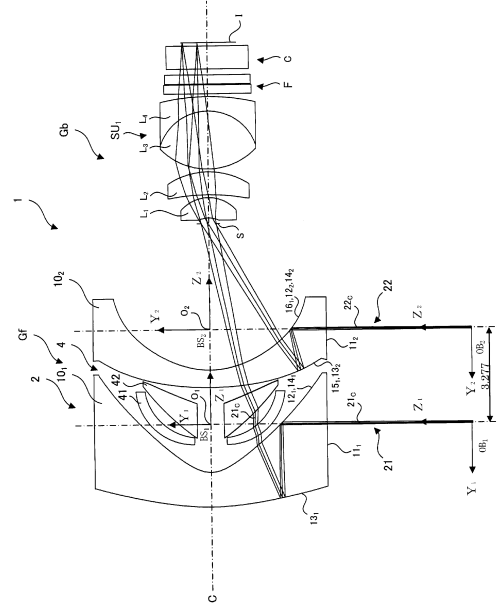
【図 22】



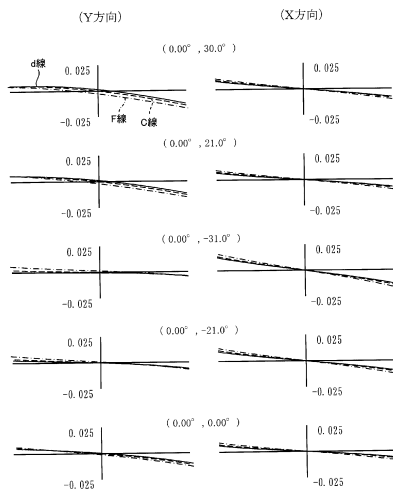
【図 23】



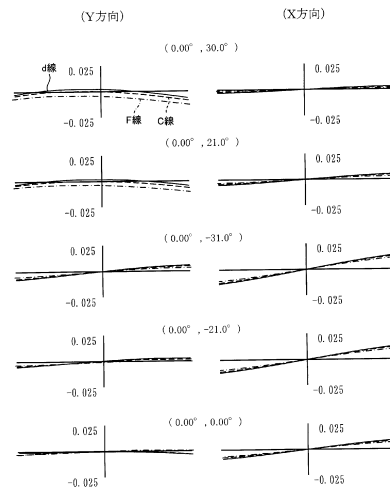
【図 24】



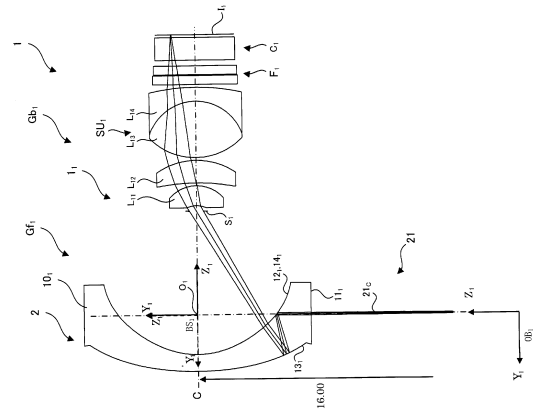
【図 25】



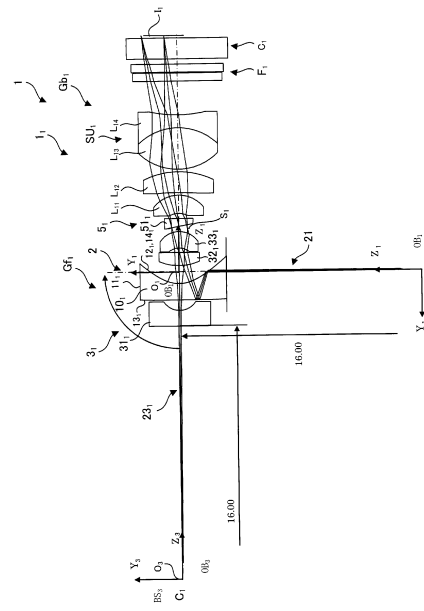
【図 26】



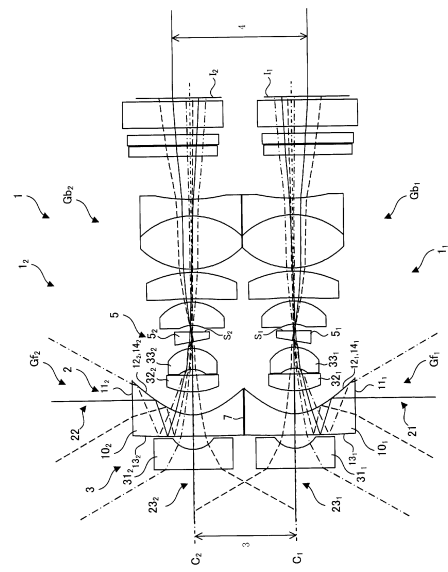
【圖 28】



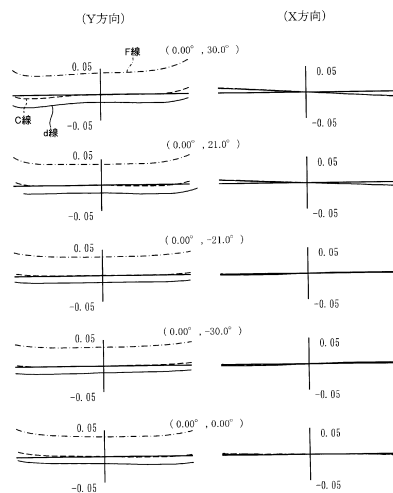
【 図 3 0 】



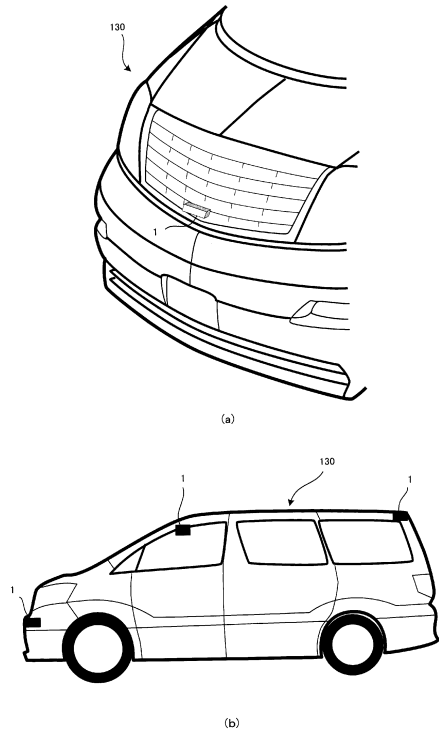
【 図 3 2 】



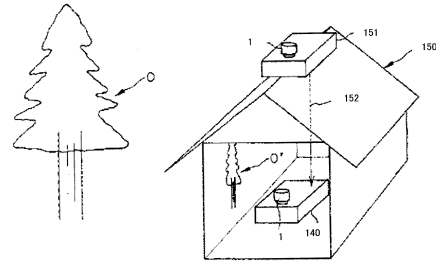
【 図 3 4 】



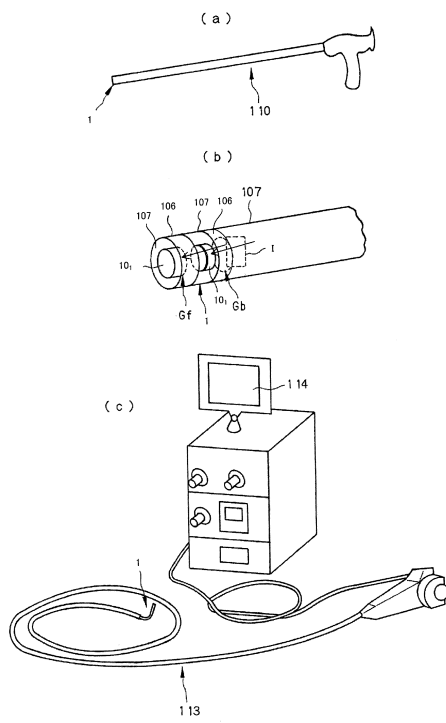
【図 3 5】



【図 3 6】



【図 3 7】



 フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I			
G 0 3 B	19/07	(2006.01)	G 0 3 B	19/07	
A 6 1 B	1/00	(2006.01)	A 6 1 B	1/00	3 0 0 Y

審査官 瀬戸 息吹

(56) 参考文献 特開 2 0 0 8 - 3 0 9 8 5 9 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 0 7 5 9 1 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 0 4 0 4 6 8 (J P , A)
 国際公開第 2 0 0 3 / 0 4 2 7 4 3 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 3 - 1 6 3 8 1 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 2 2 1 9 6 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 1 4 7 3 8 2 (J P , A)
 欧州特許出願公開第 0 2 4 9 2 7 3 3 (E P , A 1)

(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 3 / 2 4	-	2 3 / 2 6
G 0 2 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4
G 0 3 B	1 1 / 0 0	-	1 1 / 0 6
G 0 3 B	1 9 / 0 0	-	1 9 / 1 6
G 0 3 B	3 5 / 0 0	-	3 7 / 0 6
A 6 1 B	1 / 0 0	-	1 / 3 2

专利名称(译)	光学元件，光学系统，立体成像装置和内窥镜		
公开(公告)号	JP6000823B2	公开(公告)日	2016-10-05
申请号	JP2012258484	申请日	2012-11-27
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
当前申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
[标]发明人	研野孝吉		
发明人	研野 孝吉		
IPC分类号	G02B17/08 G02B23/26 G02B13/18 G03B35/08 G03B11/04 G03B19/07 A61B1/00		
FI分类号	G02B17/08.A G02B23/26.C G02B13/18 G03B35/08 G03B11/04.B G03B19/07 A61B1/00.300.Y A61B1/00.522 A61B1/00.731		
F-TERM分类号	2H040/BA14 2H040/BA15 2H040/CA22 2H054/BB05 2H059/AA08 2H059/AA09 2H059/AA13 2H083/CC07 2H087/KA01 2H087/KA10 2H087/LA01 2H087/NA14 2H087/NA18 2H087/PA07 2H087/PA18 2H087/PB08 2H087/QA06 2H087/QA18 2H087/QA22 2H087/QA25 2H087/QA39 2H087/QA41 2H087/QA45 2H087/RA04 2H087/RA05 2H087/RA12 2H087/RA13 2H087/RA32 2H087/RA42 2H087/RA43 2H087/TA02 4C161/BB06 4C161/FF40 4C161/PP11		
代理人(译)	南义明		
其他公开文献	JP2014106327A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

(经修改) 提供了一种光学元件，光学系统，立体成像系统和能够获得具有宽视角的立体图像的內窥镜。光学元件2包括至少两个旋转对称的折射率大于约中心轴C，在透明介质10中，被布置在最外周，以中心轴线C一个透明介质10更大第一透射表面11，设置在第一透射表面11的中心轴C侧的第一反射表面12，设置在第一反射表面12的图像表面I相对的一侧的第二反射表面13，时，光束从设置在像平面I侧，第二反射面13的第二透射面14具有经由第1透射面11进入透明介质10，在向前射线追踪，透明介质的顺序进入如图10所示，反映在像面I在第一反射面12的相反侧，被反映在由所述第二反射面13的像平面I侧，从透明介质10通过第2透射面14上的像平面I侧并且，透明介质10中的光路仅由相对于中心轴C的一侧构成，并且第一反射表面12以其凹面朝向像面I侧布置。点域1

