

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6150717号
(P6150717)

(45) 発行日 平成29年6月21日 (2017. 6. 21)

(24) 登録日 平成29年6月2日 (2017. 6. 2)

(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
GO 2 B 23/24 (2006. 01)	GO 2 B 23/24 B
GO 2 B 23/26 (2006. 01)	GO 2 B 23/26 C
GO 2 B 5/04 (2006. 01)	GO 2 B 5/04 A
請求項の数 17 (全 38 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2013-251844 (P2013-251844)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成25年12月5日 (2013. 12. 5)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2015-108744 (P2015-108744A)		東京都八王子市石川町2951番地
(43) 公開日	平成27年6月11日 (2015. 6. 11)	(74) 代理人	100139103
審査請求日	平成28年7月25日 (2016. 7. 25)		弁理士 小山 卓志
		(74) 代理人	100097777
			弁理士 荏澤 弘
		(74) 代理人	100139114
			弁理士 田中 貞嗣
		(74) 代理人	100145920
			弁理士 森川 聡
		(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】 立体撮像光学系、立体撮像装置及び内視鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から像面側へ順に、

第1前群中心軸を中心とする第1前群及び前記第1前群中心軸に並列する第2前群中心軸を中心とする第2前群を有する前群と、

前記第1前群及び前記第2前群のうち少なくとも一方の像面側に配置される前偏向群と、

前記前群及び前記前偏向群の像面側に配置され、単一の後群中心軸を有する後群と、
を備え、

物体から射出した第1光束は、少なくとも前記第1前群及び前記後群を通過して像面に入射し、

物体から射出した第2光束は、少なくとも前記第2前群及び前記後群を通過して像面に入射し、

前記第1光束及び前記第2光束のうち少なくとも一方は、前記前偏向群を通過し、

前記前偏向群は、前記第1光束及び前記第2光束を、前記第1前群中心軸と前記第2前群中心軸を含む面に対して直交し、且つ、前記後群中心軸を含む断面に投影した場合に、互いに異なる方向となるように偏向し、

前記後群と前記像面の間に配置され、前記第1光束及び前記第2光束を偏向する後偏向群を有し、

前記後偏向群は、前記後群を通過した後の前記第1光束及び前記第2光束を前記後群中

10

20

心軸に軸対称に偏向し、前記第 1 光束及び前記第 2 光束の前記像面への入射角が垂直に近くなるように偏向する

ことを特徴とする立体撮像光学系。

【請求項 2】

前記前偏向群は、前記第 1 前群の像面側に配置される第 1 前偏向群及び前記第 2 前群の像面側に配置される第 2 前偏向群を有し、

物体から射出した前記第 1 光束は、少なくとも前記第 1 前群、前記第 1 前偏向群、及び前記後群を通過し、

物体から射出した前記第 2 光束は、少なくとも前記第 2 前群、前記第 2 前偏向群、及び前記後群を通過し、

前記前偏向群は、前記第 1 光束及び前記第 2 光束を前記断面に投影した場合に、前記後群中心軸から互いに離れる方向へ偏向する

請求項 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 3】

前記前偏向群は、前記第 1 光束及び前記第 2 光束を前記断面に投影した場合に、前記後群中心軸に対して対称な方向へ偏向する

請求項 2 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 4】

前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、それぞれ前記第 1 光束及び前記第 2 光束の一部が通過する第 1 絞り及び第 2 絞りを有し、

前記前偏向群は、前記第 1 絞り及び前記第 2 絞りの少なくとも一方に隣接して配置される

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 5】

以下の条件式 (1) を満足する

請求項 4 に記載の立体撮像光学系。

$$0 \leq d / f < 5 \quad (1)$$

ただし、

d は、前記前偏向群から前記絞りまでの距離、

f は、光学系全系の焦点距離、

である。

【請求項 6】

前記第 1 前群中心軸と前記第 2 前群中心軸の間隔は、前記像面での前記第 1 光束の中心と前記像面での前記第 2 光束の中心の間隔より広い

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 7】

前記後偏向群は、前記第 1 光束を偏向する第 1 後偏向群と、前記第 2 光束を偏向する第 2 後偏向群と、を含む

請求項 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 8】

前記後偏向群は、楔形プリズム状の光学素子を含む

請求項 1 又は 7 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 9】

前記後偏向群は、回折光学素子を含む

請求項 1 又は 7 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 10】

前記後偏向群は、曲面を有する光学素子を含む

請求項 1 又は 7 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 11】

前記前偏向群は、色消し可能な前偏向部材を含む

請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 2】

前記前偏向部材は、アッペ数の異なる 2 つの楔形プリズム状の光学素子を含む
請求項 1 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 3】

前記前偏向部材は、単一の楔形プリズム状の光学素子と回折光学素子を含む
請求項 1 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 4】

請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系と、
前記像面に配置され、複数の画素を有する撮像素子と、
を備える
ことを特徴とする立体撮像装置。

10

【請求項 1 5】

前記撮像素子は、単一の素子からなる
請求項 1 4 に記載の立体撮像装置。

【請求項 1 6】

前記偏向群で発生する色収差を電子的に補正する画像処理部を備える
請求項 1 4 又は 1 5 に記載の立体撮像装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 4 乃至 1 6 のいずれか 1 つに記載の立体撮像装置を備える
ことを特徴とする内視鏡。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、立体観察が可能な立体撮像光学系、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、視差の異なる 2 つの画像を、立体視をするために同一の平面内に結像する光学系
として、特許文献 1 及び 2 に記載された技術が開示されている。

30

【0 0 0 3】

特許文献 1 に記載の技術は、物体側が 2 光軸で、像側が 1 光軸の光学系で構成したもの
である。また、特許文献 2 に記載の技術は、物体から像まで 2 光軸で構成し、プリズムで
左右の光軸を上下に配置した撮像光学系を通過させ、撮像面側のプリズムで像中心の間隔
を短くして撮像面を上下に配置したものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 4】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 5 0 9 6 号公報

【特許文献 2】国際公開 2 0 1 1 / 0 4 9 1 9 5 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

本発明は、立体観察が可能な立体撮像光学系、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】

本発明にかかる一実施形態である立体撮像光学系は、
物体側から像面側へ順に、

第 1 前群中心軸を中心とする第 1 前群及び前記第 1 前群中心軸に並列する第 2 前群中心

50

軸を中心とする第2前群を有する前群と、

前記第1前群及び前記第2前群のうち少なくとも一方の像面側に配置される前偏向群と

、
前記前群及び前記前偏向群の像面側に配置され、単一の後群中心軸を有する後群と、
を備え、

物体から射出した第1光束は、少なくとも前記第1前群及び前記後群を通過して像面に
入射し、

物体から射出した第2光束は、少なくとも前記第2前群及び前記後群を通過して像面に
入射し、

前記第1光束及び前記第2光束のうち少なくとも一方は、前記前偏向群を通過し、

前記前偏向群は、前記第1光束及び前記第2光束を、前記第1前群中心軸と前記第2前
群中心軸を含む面に対して直交し、且つ、前記後群中心軸を含む断面に投影した場合に、
互いに異なる方向となるように偏向する

ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明にかかる一実施形態によれば、立体観察が可能な立体撮像光学系、立体撮像装置
及び内視鏡を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の光学系中心軸に沿って一方向から見
た断面図である。

【図2】図1に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図
である。

【図3】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の前偏向群の概念図である。

【図4】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の像面の概念図である。

【図5】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の焦点距離を示す概念図である。

【図6】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の偏向群から絞りまでの距離を示す図
である。

【図7】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の光学系中心軸に沿って一方向から見
た断面図である。

【図8】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の後偏向群の例を示す図である。

【図9】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の回折光学素子の例を示す図である。

【図10】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の2つの楔形プリズム状光学素子を
示す図である。

【図11】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の楔プリズムと回折光学素子を示す
図である。

【図12】実施例1の立体撮像光学系の中心軸Cに沿った断面図である。

【図13】図12に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断
面図である。

【図14】実施例1の立体撮像光学系の横収差図である。

【図15】実施例1の立体撮像光学系の横収差図である。

【図16】実施例2の立体撮像光学系の中心軸に沿った断面図である。

【図17】実施例2の立体撮像光学系の横収差図である。

【図18】実施例2の立体撮像光学系の横収差図である。

【図19】実施例3の立体撮像光学系の中心軸に沿った断面図である。

【図20】実施例3の立体撮像光学系の横収差図である。

【図21】実施例3の立体撮像光学系の横収差図である。

【図22】実施例4の立体撮像光学系の中心軸に沿った断面図である。

【図23】図22に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断

10

20

30

40

50

面図である。

【図 2 4】実施例 4 の立体撮像光学系の右光路の横収差図である。

【図 2 5】実施例 4 の立体撮像光学系の右光路の横収差図である。

【図 2 6】実施例 4 の立体撮像光学系の左光路の横収差図である。

【図 2 7】実施例 5 の立体撮像光学系の中心軸に沿った断面図である。

【図 2 8】図 2 7 に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。

【図 2 9】実施例 6 の立体撮像光学系の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 3 0】図 2 9 に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。

10

【図 3 1】実施例 6 の立体撮像光学系の横収差図である。

【図 3 2】実施例 6 の立体撮像光学系の横収差図である。

【図 3 3】実施例 7 の立体撮像光学系の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 3 4】図 3 3 に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。

【図 3 5】実施例 7 の立体撮像光学系の横収差図である。

【図 3 6】実施例 7 の立体撮像光学系の横収差図である。

【図 3 7】本実施形態にかかる立体撮像光学系を用いた硬性内視鏡の一例を示す図である。

【図 3 8】本実施形態にかかる立体撮像光学系を用いた軟性内視鏡の一例を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0009】

本実施形態の立体撮像光学系 1 について説明する。

【0010】

観察者が数ミリから百ミリ程度の物点距離で立体視をする場合、違和感なく自然に観察できる立体映像を得るためには、通常、両眼観察で作業をする視差量を与えることが好ましい。例えば、眼幅 6 cm の観察者が 50 mm 離れて立体視をする時の輻輳角は約 7° になる。したがって、眼幅 6 cm の観察者が 20 mm 離れて拡大観察する立体撮像光学系では、約 7° の輻輳角を得るために、光軸間隔を 2.4 mm 程度に近づける必要がある。そのため、単純に撮像光学系を 2 つ並べることでは立体撮像できない。また、左右の撮像領域をプリズムで上下に配置すると、プリズムを複数配置しなければならず、大型の光学系となってしまう。

30

【0011】

そこで、本実施形態では、小型で高解像であり、水平画角が広い立体像を得ることが可能な立体撮像光学系を提供する。

【0012】

図 1 は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の光学系中心軸に沿って一方向から見た断面図である。図 2 は、図 1 に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。図 2 (a) は、第 1 の光束の光路、図 2 (b) は、第 2 の光束の光路を示す。図 3 は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の前偏向群の概念図である。図 4 は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の像面の概念図である。

40

【0013】

本実施形態の立体撮像光学系 1 は、物体側から像面側へ順に、第 1 前群中心軸 C f 1 を中心とする第 1 前群 G f 1 及び第 1 前群中心軸 C f 1 に並列する第 2 前群中心軸 C f 2 を中心とする第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f と、第 1 前群 G f 1 及び第 2 前群 G f 2 のうち少なくとも一方の像面 I 側に配置される前偏向群 G f d と、前群 G f 及び前偏向群 G f d の像面 I 側に配置され、単一の後群中心軸 C b を有する後群 G b と、を備え、物体から射出した第 1 光束 L 1 は、少なくとも第 1 前群 G f 1 及び後群 G b を通過して像面 I に入射し、物体から射出した第 2 光束 L 2 は、少なくとも第 2 前群 G f 2 及び後群 G b を通過

50

して像面 I に入射し、前偏向群 G f d は、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を、第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 C b を含む断面に投影した場合に、互いに異なる方向となるように偏向することが好ましい。なお、本実施形態において偏向とは、屈折作用によって偏向させるものとする。

【0014】

本実施形態の立体撮像光学系 1 は、水平画角の広い左右の映像を小さい撮像領域に効率よく撮像させるために、上下方向に偏向したものである。そのために、前偏向群 G f d は、2 つの前群 G f を通過した 2 つの光束 L 1, L 2 のうち少なくとも 1 つを異なる方向に偏向し、単一の後群 G b に入射させて結像させる。

【0015】

前群 G f が、第 1 前群中心軸 C f 1 を中心とする第 1 前群 G f 1 及び第 1 前群中心軸 C f 1 に並列する第 2 前群中心軸 C f 2 を中心とする第 2 前群 G f 2 を有するものとした理由は、前群 G f が単一の中心軸の場合、入射瞳を 2 つに分割して立体像を得なければならず、観察画角を広くしようとする入射瞳が偏心して配置されているために、回転非対称な像歪みが大きく発生し、立体視ができなくなるからである。また、分割する入射瞳を単一の中心軸の前群 G f に配置するため、前群 G f の外径が大きくなってしまからである。

【0016】

後群 G b が単一の後群中心軸 C b を有する理由は、撮像領域を隣接して配置するためである。もし後群 G b を 2 つの中心軸で構成すると、レンズ枠を含めた光学系の外径が撮像領域よりも大きくなってしまい、隣接して 2 つの中心軸の後群 G b を配置しても左右の像が離れて結像してしまい、両眼を含めた撮像領域が広がってしまう。

【0017】

本実施形態の前偏向群 G f d は、前群 G f と後群 G b の間に配置され、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を、第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 C b を含む断面に投影した場合に、互いに異なる方向へ偏向するように配置する。例えば、図 3 に示すように、前偏向群 G f d は、楔形プリズム状の光学素子を含むことが好ましい。

【0018】

第 1 前群 G f 1 及び第 2 前群 G f 2 から射出した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、前偏向群 G f d により、第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 C b を含む断面に投影した場合に、互いに異なる方向へ偏向され、後群 G b を経て像面 I に結像する。

【0019】

したがって、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を像面 I の任意の位置にそれぞれ結像させることが可能となり、撮像領域を効率良く使用することができ、小型で高解像であり、水平画角が広い立体像を得ることが可能な立体撮像光学系を提供することが可能となる。

【0020】

なお、前偏向群 G f d は、第 1 前偏向群 G f d 1 及び第 2 前偏向群 G f d 2 のうち、少なくともいずれか一つを配置すればよい。

【0021】

また、本実施形態の立体撮像光学系 1 では、前偏向群 G f d は、第 1 前群 G f 1 の像面 I 側に配置される第 1 前偏向群 G f d 1 及び第 2 前群 G f 2 の像面 I 側に配置される第 2 前偏向群 G f d 2 を有し、物体から射出した第 1 光束 L 1 は、少なくとも第 1 前群 G f 1、第 1 前偏向群 G f d 1、及び後群 G b を通過し、物体から射出した第 2 光束 L 2 は、少なくとも第 2 前群 G f 2、第 2 前偏向群 G f d 2、及び後群 G b を通過し、前偏向群 G f d が第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を、第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 C b を含む断面に投影した場合に、後群中心軸 G b から互いに離れる方向へ偏向することが好ましい。

【0022】

このような構成によって、後群G bの収差補正の負担を減らすことが可能となる。また、各光束L 1、L 2をそれぞれ別々に偏向調節することが可能となる。なお、第1前偏向群G f d 1と第2前偏向群G f d 2は、一体に形成してもよい。

【0023】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、前偏向群G f dが第1光束L 1及び第2光束L 2を、第1前群中心軸C f 1と第2前群中心軸C f 2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸C bを含む断面に投影した場合に、後群中心軸C bに対して対称な方向へ偏向することが好ましい。

【0024】

このような構成によって、図4に示すように、前群G fに対して左右方向に並列に入射した第1光束L 1及び第2光束L 2による撮像領域I 1、I 2を、上下方向に並べて像面Iに対して効率的に配置することが可能となる。なお、上下方向に並べた撮像領域I 1、I 2は、離間させてもよい。離間させた場合、一方の撮像領域から漏れ出る光束が他方の撮像領域に混ざってしまうことを抑制することが可能となる。

【0025】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、第1前群G f 1及び第2前群G f 2は、それぞれ第1光束L 1及び第2光束L 2の一部が通過する第1絞りS 1及び第2絞りS 2を有し、前偏向群G f dは、第1絞りS 1及び第2絞りS 2の少なくとも一方に隣接して配置されることが好ましい。

【0026】

第1前偏向群G f d 1及び第2前偏向群G f d 2をそれぞれ第1絞りS 1及び第2絞りS 2に隣接して配置することによって、第1前偏向群G f d 1及び第2前偏向群G f d 2を小型に構成することが可能となる。また、第1光束L 1と第2光束L 2の干渉が少なくなり、広画角の映像を得ることが可能となる。

【0027】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$0 \leq d / f < 5 \quad (1)$$

ただし、

dは、前偏向群G f dから絞りSまでの距離、

fは、光学系全系の焦点距離、

である。

【0028】

図5は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の焦点距離を示す概念図である。図6は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の偏向群から絞りまでの距離を示す図である。

【0029】

本実施形態では、図5に示すように、立体撮像光学系1の全系の焦点距離をfとする。立体撮像光学系1が偏心光学系の場合には、偏心を取り除いて、無限遠から並行光束を立体撮像光学系1に入射させ、立体撮像光学系1に入射した軸上マージナル光線L 1'が、光学系1を通過後に射出され、仮想的に屈曲する位置Aから像面Iまでの距離をこの光学系1の焦点距離fとする。

【0030】

また、本実施形態では、図6に示すように、立体撮像光学系1の前偏向群G f dから絞りSまでの距離をdとする。距離dを規定する前偏向群G f dの基準となる位置は、例えば、第1前群中心軸C f 1と前偏向群G f dの最も像側の面との交点Bとする。

【0031】

条件式(1)の上限を上回ると、広画角な立体観察像を得ることができない。

【0032】

なお、本実施形態の立体撮像光学系1は、以下の条件式(1')を満足することがさら

10

20

30

40

50

に好ましい。

$$0 \leq d / f < 3$$

(1')

【0033】

条件式(1')を満足することで、広画角な立体観察像を得ることが可能となる。

【0034】

また、本実施形態では、第1前群中心軸Cf1と第2前群中心軸Cf2の間隔、言い換えれば、射出瞳の間隔は、像面Iでの第1光束L1の中心と像面Iでの第2光束L2の中心の間隔より広いことが好ましい。

【0035】

すなわち、図1に示した第1前群中心軸Cf1と光学系全体の中心軸Cの間隔X1及び第2前群中心軸Cf2と光学系全体の中心軸Cの間隔X2の和X1+X2は、図2に示した像面Iでの第1光束L1の中心と光学系全体の中心軸Cの間隔Y1及び像面Iでの第2光束L2の中心と光学系全体の中心軸Cの間隔Y2の和Y1+Y2よりも広いことが好ましい。

【0036】

このような構成とすることにより、光学系全体を小型化することが可能となる。

【0037】

図7は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の光学系中心軸に沿って一方向から見た断面図である。

【0038】

また、本実施形態では、図7に示すように、後群Gbと像面Iの間に配置され、第1光束L1及び第2光束L2を偏向する後偏向群Gb dを有し、後偏向群Gb dは、後群Gbを通過した後の第1光束L1及び第2光束L2を後群中心軸Cbに軸対称に偏向し、第1光束L1及び第2光束L2の像面Iへの入射角が垂直に近くなるように偏向することが好ましい。

【0039】

像面Iへの入射角が垂直に近くなるように偏向することにより、入射角特性を持つ高解像で高感度な撮像素子に対応することが可能となる。

【0040】

また、本実施形態では、後偏向群Gb dは、第1光束L1を偏向する第1後偏向群Gb d1と、第2光束L2を偏向する第2後偏向群Gb d2と、を含むことが好ましい。

【0041】

図8は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の後偏向群の例を示す図である。

【0042】

図8に示すように、後偏向群Gb dはが第1後偏向群Gb d1と第2後偏向群Gb d2を含むことによって、各光束をそれぞれ別々に偏向調節することが可能となる。なお、第1後偏向群Gb d1と第2後偏向群Gb d2は、別体に形成してもよいし、図8に示すように、一体に形成してもよい。

【0043】

また、本実施形態では、後偏向群Gb dは、楔形プリズム状の光学素子を含むことが好ましい。

【0044】

後偏向群Gb dは、楔形プリズム状の光学素子を平面で構成することが可能となり、後偏向群Gb dを容易に作製することが可能となる。

【0045】

また、本実施形態では、後偏向群Gb dは、回折光学素子を含むことが好ましい。

【0046】

図9は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の回折光学素子の例を示す図である。

【0047】

10

20

30

40

50

図9に示すように、回折光学素子d aは、任意の形状でよい。このように、後偏向群G b dが回折光学素子d aを含むことによって、像面の傾きとコマ収差の発生を低減できると共に、光学系をさらに小型化することが可能となる。

【0048】

また、本実施形態では、後偏向群G b dは、曲面を有する光学素子を含むことが好ましい。

【0049】

後偏向群G b dが曲面を有する光学素子を含むことによって、像面に入射する光線の角度をより自由に設定することが可能となる。また、後群を射出した後に各像高の主光線を平行に射出するテレセントリックな配置になると同時に像面湾曲を改善することが可能となる。なお、曲面は、球面、トーリック面、アナモルフィック面、又は自由曲面でよい。

【0050】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、前偏向群G f dは、色消し可能な偏向部材を含むことが好ましい。

【0051】

色消し可能な偏向部材を用いることによって、色収差の発生を抑制し、解像力を向上させることが可能となる。

【0052】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、偏向部材は、アッペ数の異なる2つの楔形プリズム状光学素子d b 1, d b 2を含むことが好ましい。

【0053】

図10は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の2つの楔形プリズム状光学素子を示す図である。

【0054】

図10に示すように、2つの楔形プリズム状光学素子d b 1, d b 2は、接合されて用いられることが好ましい。アッペ数の異なる2つの楔形プリズム状光学素子d b 1, d b 2を用いることによって、色収差の発生を抑制し、解像力を向上させることが可能となる。

【0055】

また、本実施形態の立体撮像光学系1では、偏向部材は、単一の楔形プリズム状光学素子d bと回折光学素子d aを含むことが好ましい。

【0056】

図11は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の楔形プリズムと回折光学素子を示す図である。

【0057】

図11に示すように、単一の楔形プリズム状光学素子d bと回折光学素子d aは、接合されて用いられることが好ましい。また、図9に示したように、回折光学素子d aは、任意の形状でよい。

【0058】

単一の楔形プリズム状光学素子d bと回折光学素子d aを用いることによって、色収差の発生を抑制し、解像力を向上させることが可能となると共に、立体撮像光学系の全長を短くすることが可能となる。

【0059】

なお、偏向部材を楔形プリズム状光学素子で構成した場合、前群G fと後群G bとの間は、平行光束にすることが好ましい。平行光束とは、像位置が無限大であって、軸上マージナル光線が中心軸と平行になることである。前群G fと後群G bとの間で、平行光束にすることによって、楔形プリズム状光学素子で発生するコマ収差を抑制することが可能となる。

【0060】

さらに、後群G bの少なくとも1つのレンズは、後群中心軸C b方向に移動可能にして

10

20

30

40

50

もよい。このように、後群G bの少なくとも1つのレンズを後群中心軸C b方向に移動可能とすることで、高画素の撮像素子に対してフォーカシング機能で対応することが可能となる。

【0061】

さらに、前偏向群G f d及び後偏向群G b dは、自由曲面を有する偏向部材を用いてもよい。自由曲面を用いることによって、後群G bの収差補正の負担が軽減され、解像力の高い撮像が可能となる。

【0062】

本実施形態で用いられる自由曲面F F Sの形状は、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZが自由曲面F F SのZ軸となる。なお、データの記載されていない係数項は0である。

10

【0063】

$$Z = (r^2 / R) / [1 + \sqrt{\{1 - (1 + k) (r / R)^2\}}]$$

$$+ \sum_{j=1}^{66} C_j X^m Y^n \cdots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

また、球面項中、

R：頂点の曲率半径

k：コーニック定数（円錐定数）

20

$$r = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

である。

【0064】

自由曲面項は、

$$\sum_{j=1}^{66} C_j X^m Y^n$$

$$= C_1$$

$$+ C_2 X + C_3 Y$$

$$+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2$$

30

$$+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3$$

$$+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4$$

$$+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4$$

$$+ C_{21} Y^5$$

$$+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4$$

$$+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6$$

$$+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4$$

$$+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7$$

$$\cdots \cdots \cdots$$

ただし、C_j（jは1以上の整数）は係数である。

40

【0065】

また、上記定義式(a)は、前述のように1つの例として示したものであり、本発明の自由曲面は、回転非対称な面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0066】

以下に、本実施形態にかかる光学系1の実施例1～7を説明する。なお、実施例1～4、6及び7の数値データは、後述する。実施例5の数値データは、省略する。

【0067】

座標系は、面ごとに定義される。その面が定義される座標系の原点Oから各中心軸で像

50

面に向かう方向をZ軸正方向とする。また、同じ面上で第2前群中心軸C f 2から第1前群中心軸C f 1へ向かう方向をX軸正方向とする。さらに、Y軸正方向は、右手系の座標系で定義する。

【0068】

図12は、実施例1の立体撮像光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図13は、図12に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。図14及び図15は、実施例1の立体撮像光学系1の横収差図である。

【0069】

横収差図において、中央に示された角度は、（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、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、6及び7の横収差図に関して同様である。実施例5の横収差図は、省略する。

10

【0070】

実施例1の立体撮像光学系1は、図12及び図13に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を光軸とする第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を光軸とする第2前群G f 2を有する前群G f と、第1前群中心軸C f 1が交差する第1前偏向群G f d 1、及び、第2前群中心軸C f 2が交差する第2前偏向群G f d 2を有する前偏向群G f d と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、を備える。

20

【0071】

第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0072】

第1前群G f 1は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₁と、両凸正レンズL f 1₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₃の接合レンズS U f 1₁と、両凹負レンズL f 1₄と両凸正レンズL f 1₅の接合レンズS U f 1₂と、第1絞りS 1と、を備えることが好ましい。

【0073】

第1前偏向群G f d 1は、楔形プリズム状光学素子L f d 1₁からなる。第1前偏向群G f d 1は、第1絞りS 1に隣接して配置される。

30

【0074】

第2前群G f 2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₁と、両凸正レンズL f 2₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₃の接合レンズS U f 2₁と、両凹負レンズL f 2₄と両凸正レンズL f 2₅の接合レンズS U f 2₂と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。

【0075】

第2前偏向群G f d 2は、楔形プリズム状光学素子L f d 2₁からなる。第2前偏向群G f d 2は、第2絞りS 2に隣接して配置される。

【0076】

後群G bは、両凸正レンズL b₁と、両凹負レンズL b₂と両凸正レンズL b₃の接合レンズS U b₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b₄と、を備える。

40

【0077】

また、像面Iの手前には、フィルタFを配置する。

【0078】

第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、負メニスカスレンズL f 1₁、接合レンズS U f 1₁、接合レンズS U f 1₂、及び、第1絞りS 1、を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、第1前偏向群G f d 1を経て、後群G bに入射する。

【0079】

第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、負メニスカスレンズL f 2₁、接合レンズS U f 2₁、接合レンズS U f 2₂、及び、第2絞りS 2、を通過して、第

50

2 前群 G f 2 を射出し、その後、第 2 前偏向群 G f d 2 を経て、後群 G b に入射する。

【0080】

後群 G b に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、それぞれ両凸正レンズ L b₁、接合レンズ S U b₁、正メニスカスレンズ L b₄、及び、フィルタ F を通過して像面 I に入射する。

【0081】

実施例 1 の立体撮像光学系 1 の前偏向群 G f d は、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 C b を含む断面に投影した場合に、後群中心軸 C b に対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

10

【0082】

図 16 は、実施例 2 の立体撮像光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 17 及び図 18 は、実施例 2 の立体撮像光学系 1 の横収差図である。

【0083】

実施例 2 の立体撮像光学系 1 は、図 16 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸 C f 1 を光軸とする第 1 前群 G f 1、及び、第 1 前群中心軸 C f 1 と並列に配置された第 2 前群中心軸 C f 2 を光軸とする第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f と、第 1 前群中心軸 C f 1 が交差する第 1 前偏向群 G f d 1、及び、第 2 前群中心軸 C f 2 が交差する第 2 前偏向群 G f d 2 を有する前偏向群 G f d と、単一の後群中心軸 C b を有する後群 G b と、を備える。

20

【0084】

第 1 前群 G f 1 及び第 2 前群 G f 2 を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0085】

第 1 前群 G f 1 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1₁と、両凸正レンズ L f 1₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1₃の接合レンズ S U f 1₁と、両凹負レンズ L f 1₄と両凸正レンズ L f 1₅の接合レンズ S U f 1₂と、第 1 絞り S 1 と、を備えることが好ましい。

【0086】

第 1 前偏向群 G f d 1 は、楔形プリズム状光学素子 L f d 1₁からなる。第 1 前偏向群 G f d 1 は、第 1 絞り S 1 に隣接して配置される。

30

【0087】

第 2 前群 G f 2 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2₁と、両凸正レンズ L f 2₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2₃の接合レンズ S U f 2₁と、両凹負レンズ L f 2₄と両凸正レンズ L f 2₅の接合レンズ S U f 2₂と、第 2 絞り S 2 と、を備えることが好ましい。

【0088】

第 2 前偏向群 G f d 2 は、楔形プリズム状光学素子 L f d 2₁からなる。第 2 前偏向群 G f d 2 は、第 2 絞り S 2 に隣接して配置される。

【0089】

40

後群 G b は、両凸正レンズ L b₁と、両凹負レンズ L b₂と両凸正レンズ L b₃の接合レンズ S U b₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b₄と、を備える。

【0090】

また、像面 I の手前には、フィルタ F を配置する。

【0091】

第 1 物体面から第 1 前群 G f 1 に入射した第 1 光束 L 1 は、負メニスカスレンズ L f 1₁、接合レンズ S U f 1₁、接合レンズ S U f 1₂、及び、第 1 絞り S 1、を通過して、第 1 前群 G f 1 を射出し、その後、第 1 前偏向群 G f d 1 を経て、後群 G b に入射する。

【0092】

第 2 物体面から第 2 前群 G f 2 に入射した第 2 光束 L 2 は、負メニスカスレンズ L f 2

50

1_1 、接合レンズ $S U f 2_1$ 、接合レンズ $S U f 2_2$ 、及び、第2絞り $S 2$ 、を通過して、第2前群 $G f 2$ を射出し、その後、第2前偏向群 $G f d 2$ を経て、後群 $G b$ に入射する。

【0093】

後群 $G b$ に入射した第1光束 $L 1$ 及び第2光束 $L 2$ は、それぞれ両凸正レンズ $L b_1$ 、接合レンズ $S U b_1$ 、正メニスカスレンズ $L b_4$ 、及び、フィルタ F を通過して像面 I に入射する。

【0094】

実施例2の立体撮像光学系1の前偏向群 $G f d$ は、第1光束 $L 1$ 及び第2光束 $L 2$ を第1前群中心軸 $C f 1$ と第2前群中心軸 $C f 2$ を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 $C b$ を含む断面に投影した場合に、後群中心軸 $C b$ に対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

10

【0095】

図19は、実施例3の立体撮像光学系1の中心軸 C に沿った断面図である。図20及び図21は、実施例3の立体撮像光学系1の横収差図である。

【0096】

実施例3の立体撮像光学系1は、図19に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸 $C f 1$ を光軸とする第1前群 $G f 1$ 、及び、第1前群中心軸 $C f 1$ と並列に配置された第2前群中心軸 $C f 2$ を光軸とする第2前群 $G f 2$ を有する前群 $G f$ と、第1前群中心軸 $C f 1$ が交差する第1前偏向群 $G f d 1$ 、及び、第2前群中心軸 $C f 2$ が交差する第2前偏向群 $G f d 2$ を有する前偏向群 $G f d$ と、単一の後群中心軸 $C b$ を有する後群 $G b$ と、を備える。

20

【0097】

第1前群 $G f 1$ 及び第2前群 $G f 2$ を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0098】

第1前群 $G f 1$ は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 1_1$ と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ $L f 1_2$ と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 1_3$ の接合レンズ $S U f 1_1$ と、両凹負レンズ $L f 1_4$ と両凸正レンズ $L f 1_5$ の接合レンズ $S U f 1_2$ と、第1絞り $S 1$ と、を備えることが好ましい。

【0099】

30

第1前偏向群 $G f d 1$ は、楔形プリズム状光学素子 $L f d 1_1$ からなる。第1前偏向群 $G f d 1$ は、第1絞り $S 1$ に隣接して配置される。

【0100】

第2前群 $G f 2$ は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_1$ と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ $L f 2_2$ と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_1$ と、両凹負レンズ $L f 2_4$ と両凸正レンズ $L f 2_5$ の接合レンズ $S U f 2_2$ と、第2絞り $S 2$ と、を備えることが好ましい。

【0101】

第2前偏向群 $G f d 2$ は、楔形プリズム状光学素子 $L f d 2_1$ からなる。第2前偏向群 $G f d 2$ は、第2絞り $S 2$ に隣接して配置される。

40

【0102】

後群 $G b$ は、両凸正レンズ $L b_1$ と、両凹負レンズ $L b_2$ と両凸正レンズ $L b_3$ の接合レンズ $S U b_1$ と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ $L b_4$ と、を備える。

【0103】

また、像面 I の手前には、フィルタ F を配置する。

【0104】

第1物体面から第1前群 $G f 1$ に入射した第1光束 $L 1$ は、負メニスカスレンズ $L f 1_1$ 、接合レンズ $S U f 1_1$ 、接合レンズ $S U f 1_2$ 、及び、第1絞り $S 1$ 、を通過して、第1前群 $G f 1$ を射出し、その後、第1前偏向群 $G f d 1$ を経て、後群 $G b$ に入射する。

【0105】

50

第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、負メニスカスレンズL f 2₁、接合レンズS U f 2₁、接合レンズS U f 2₂、及び、第2絞りS 2、を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、第2前偏向群G f d 2を経て、後群G bに入射する。

【0106】

後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ両凸正レンズL b₁、接合レンズS U b₁、正メニスカスレンズL b₄、及び、フィルタFを通過して像面Iに入射する。

【0107】

実施例3の立体撮像光学系1の前偏向群G f dは、第1光束L 1及び第2光束L 2を第1前群中心軸C f 1と第2前群中心軸C f 2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸C bを含む断面に投影した場合に、後群中心軸C bに対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

【0108】

図22は、実施例4の立体撮像光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図23は、図22に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。図24及び図25は、実施例4の立体撮像光学系1の右光路の横収差図である。図26は、実施例4の立体撮像光学系1の左光路の横収差図である。

【0109】

実施例4の立体撮像光学系1は、図22及び図23に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を光軸とする第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を光軸とする第2前群G f 2を有する前群G f と、第2前群中心軸C f 2が交差する前偏向群G f d と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、を備える。

【0110】

第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0111】

第1前群G f 1は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₁と、両凸正レンズL f 1₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₃の接合レンズS U f 1₁と、両凹負レンズL f 1₄と両凸正レンズL f 1₅の接合レンズS U f 1₂と、第1絞りS 1と、を備えることが好ましい。

【0112】

第2前群G f 2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₁と、両凸正レンズL f 2₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₃の接合レンズS U f 2₁と、両凹負レンズL f 2₄と両凸正レンズL f 2₅の接合レンズS U f 2₂と、平板L f 2₆と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。

【0113】

前偏向群G f dは、楔形プリズム状光学素子L f d₁からなる。前偏向群G f dは、第1絞りS 1に隣接して配置される。

【0114】

後群G bは、両凸正レンズL b₁と、両凹負レンズL b₂と両凸正レンズL b₃の接合レンズS U b₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b₄と、を備える。

【0115】

また、像面Iの手前には、フィルタFを配置する。

【0116】

第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、負メニスカスレンズL f 1₁、接合レンズS U f 1₁、接合レンズS U f 1₂、第1絞りS 1、を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、前偏向群G f dを経て、後群G bに入射する。

【0117】

第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、負メニスカスレンズL f 2

10

20

30

40

50

1 、接合レンズ $S U f 2_1$ 、接合レンズ $S U f 2_2$ 、及び、第 2 絞り $S 2$ 、及び、平板 $L f 2_6$ 、を通過して、第 2 前群 $G f 2$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

【0118】

後群 $G b$ に入射した第 1 光束 $L 1$ 及び第 2 光束 $L 2$ は、それぞれ両凸正レンズ $L b_1$ 、接合レンズ $S U b_1$ 、正メニスカスレンズ $L b_4$ 、及び、フィルタ F を通過して像面 I に入射する。

【0119】

実施例 4 の立体撮像光学系 1 の前偏向群 $G f d$ は、第 1 光束 $L 1$ 及び第 2 光束 $L 2$ を第 1 前群中心軸 $C f 1$ と第 2 前群中心軸 $C f 2$ を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸 $C b$ を含む断面に投影した場合に、前偏向群 $G f d$ を通過した第 1 光束 $L 1$ は後群中心軸 $C b$ に対して離間するように偏向させ、第 2 光束 $L 2$ は前偏向群 $G f d$ を通過しないから偏向されない。したがって、第 1 光束 $L 1$ と第 2 光束 $L 2$ は互いに異なる方向となる。

【0120】

図 27 は、実施例 5 の立体撮像光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 28 は、図 27 に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。

【0121】

実施例 5 の立体撮像光学系 1 は、図 27 及び図 28 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸 $C f 1$ を光軸とする第 1 前群 $G f 1$ 、及び、第 1 前群中心軸 $C f 1$ と並列に配置された第 2 前群中心軸 $C f 2$ を光軸とする第 2 前群 $G f 2$ を有する前群 $G f$ と、第 1 前群中心軸 $C f 1$ が交差する第 1 前偏向群 $G f d 1$ 、及び、第 2 前群中心軸 $C f 2$ が交差する第 2 前偏向群 $G f d 2$ を有する前偏向群 $G f d$ と、単一の後群中心軸 $C b$ を有する後群 $G b$ と、を備える。

【0122】

第 1 前群 $G f 1$ 及び第 2 前群 $G f 2$ を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0123】

第 1 前群 $G f 1$ は、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 1_1$ と、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 1_2$ と両凸正レンズ $L f 1_3$ の接合レンズ $S U f 1_1$ と、両凸正レンズ $L f 1_4$ と像面側に平面を向けた平凹レンズ $L f 1_5$ の接合レンズ $S U f 1_2$ と、第 1 絞り $S 1$ と、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 1_6$ と両凸正レンズ $L f 1_7$ の接合レンズ $S U f 1_3$ と、を備えることが好ましい。

【0124】

第 1 前偏向群 $G f d 1$ は、楔形プリズム状光学素子 $L f d 1_1$ と、楔形プリズム状光学素子 $L f d 1_2$ と、からなる。各楔形プリズム状光学素子 $L f d 1_1$ 、 $L f d 1_2$ は、アッベ数が異なり、色消し可能である。各楔形プリズム状光学素子 $L f d 1_1$ 、 $L f d 1_2$ が前群 $G f$ の 2 つの中心軸 $C f 1$ 、 $C f 2$ を含む面内でも偏向作用を有し、後群 $G b$ への収差補正の負担を減らすことが可能となる。

【0125】

第 2 前群 $G f 2$ は、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 2_1$ と、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 2_2$ と両凸正レンズ $L f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_1$ と、両凸正レンズ $L f 2_4$ と像面側に平面を向けた平凹レンズ $L f 2_5$ の接合レンズ $S U f 2_2$ と、第 2 絞り $S 2$ と、物体側に平面を向けた平凹レンズ $L f 2_6$ と両凸正レンズ $L f 2_7$ の接合レンズ $S U f 2_3$ と、を備えることが好ましい。

【0126】

第 2 前偏向群 $G f d 2$ は、楔形プリズム状光学素子 $L f d 2_1$ と、楔形プリズム状光学素子 $L f d 2_2$ と、からなる。各楔形プリズム状光学素子 $L f d 2_1$ 、 $L f d 2_2$ は、アッベ数が異なり、色消し可能である。各楔形プリズム状光学素子 $L f d 2_1$ 、 $L f d 2_2$ が前群 $G f$ の 2 つの中心軸 $C f 1$ 、 $C f 2$ を含む面内でも偏向作用を有し、後群 $G b$ への収差補正の負担を減らすことが可能となる。

10

20

30

40

50

【0127】

後群Gbは、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb₁と、両凹負レンズLb₂と両凸正レンズLb₃の接合レンズSUB₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb₄と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb₅と、を備える。

【0128】

また、像面Iの手前には、フィルタFを配置する。

【0129】

第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、平凹レンズLf2₁、接合レンズSUf1₁、接合レンズSUf1₂、第1絞りS1、及び接合レンズSUf1₃を通過して、第1前群Gf1を射出し、第1前偏向群Gfd1を経て、後群Gbに入射する。

10

【0130】

第2物体面から第2前群Gf2に入射した第2光束L2は、平凹レンズLf2₁、接合レンズSUf2₁、接合レンズSUf2₂、第2絞りS2、及び接合レンズSUf2₃を通過して、第2前群Gf2を射出し、第2前偏向群Gfd2を経て、後群Gbに入射する。

【0131】

後群Gbに入射した第1光束L1及び第2光束L2は、それぞれ正メニスカスレンズLb₁、接合レンズSUB₁、正メニスカスレンズLb₄、正メニスカスレンズLb₅、及び、フィルタFを通過して像面Iに入射する。

【0132】

実施例5の立体撮像光学系1の前偏向群Gfdは、第1光束L1及び第2光束L2を第1前群中心軸Cf1と第2前群中心軸Cf2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸Cbを含む断面に投影した場合に、後群中心軸Cbに対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

20

【0133】

図29は、実施例6の立体撮像光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図30は、図29に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。図31及び図32は、実施例6の立体撮像光学系1の横収差図である。

【0134】

実施例6の立体撮像光学系1は、図29及び図30に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸Cf1を光軸とする第1前群Gf1、及び、第1前群中心軸Cf1と並列に配置された第2前群中心軸Cf2を光軸とする第2前群Gf2を有する前群Gfと、第1前群中心軸Cf1が交差する第1前偏向群Gfd1、及び、第2前群中心軸Cf2が交差する第2前偏向群Gfd2を有する前偏向群Gfdと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、後群Gbと像面の間に配置され、第1前群中心軸Cf1と第2前群中心軸Cf2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸Cbを含む断面で、後群中心軸Cbに直交する方向に異なる位置に配置される第1後偏向群Gbd1、及び、第2後偏向群Gbd2を有する後偏向群Gbdと、を備える。

30

【0135】

第1前群Gf1及び第2前群Gf2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

40

【0136】

第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹レンズLf1₁と、両凸正レンズLf1₂と両凹負レンズLf1₃の接合レンズSUf1₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₄と両凸正レンズLf1₅の接合レンズSUf1₂と、第1絞りS1と、を備えることが好ましい。

【0137】

第1前偏向群Gfd1は、楔形プリズム状光学素子Lf d1₁と、楔形プリズム状光学素子Lf d1₂と、からなる。各楔形プリズム状光学素子Lf d1₁、Lf d1₂は、アッベ数が異なり、色消し可能である。

【0138】

50

第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹レンズL f 2₁と、両凸正レンズL f 2₂と両凹負レンズL f 2₃の接合レンズS U f 2₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₄と両凸正レンズL f 2₅の接合レンズS U f 2₂と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。

【0139】

第2前偏向群G f d 2は、楔形プリズム状光学素子L f d 2₁と、楔形プリズム状光学素子L f d 2₂と、からなる。各楔形プリズム状光学素子L f d 2₁、L f d 2₂は、アッベ数が異なり、色消し可能である。

【0140】

後群G bは、両凸正レンズL b₁と両凹負レンズL b₂の接合レンズS U b₁と、両凸正レンズL b₃と、を備える。

10

【0141】

第1後偏向群G b d 1は、楔形プリズム状光学素子L b d 1からなる。

【0142】

第2後偏向群G b d 2は、楔形プリズム状光学素子L b d 2からなる。

【0143】

楔形プリズム状光学素子L b d 1と楔形プリズム状光学素子L b d 2は、別々の素子ではなく、一体に形成してもよい。

【0144】

図示しない第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、平凹レンズL f 1₁、接合レンズS U f 1₁、接合レンズS U f 1₂、及び第1絞りS 1を通過して、第1前群G f 1を射出し、第1前偏向群G f d 1を経て、後群G bに入射する。

20

【0145】

図示しない第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、平凹レンズL f 2₁、接合レンズS U f 2₁、接合レンズS U f 2₂、及び第2絞りS 2を通過して、第2前群G f 2を射出し、第2前偏向群G f d 2を経て、後群G bに入射する。

【0146】

後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ接合レンズS U b₁及び両凸正レンズL b₃を通過して、後偏向群G b dに入射する。

【0147】

30

後偏向群G b dに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ第1後偏向群G b d 1の楔形プリズム状光学素子L b d 1及び第2後偏向群G b d 2の楔形プリズム状光学素子L b d 2を通過して、像面Iに入射する。

【0148】

実施例6の立体撮像光学系1の前偏向群G f dは、第1光束L 1及び第2光束L 2を第1前群中心軸C f 1と第2前群中心軸C f 2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸C bを含む断面に投影した場合に、後群中心軸C bに対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

【0149】

実施例6の立体撮像光学系1の後偏向群G b dは、後群G bを通過した後の第1光束L 1及び第2光束L 2を後群中心軸C bに軸対称に偏向し、第1光束L 1及び第2光束L 2の像面Iへの入射角が垂直に近くなるように偏向する。

40

【0150】

図33は、実施例7の立体撮像光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図34は、図33に直交する方向から見た本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系の断面図である。図35及び図36は、実施例7の立体撮像光学系1の横収差図である。

【0151】

実施例7の立体撮像光学系1は、図33及び図34に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を光軸とする第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を光軸とする第2前群G f 2を有する前群G f と

50

、第1前群中心軸C f 1が交差する第1前偏向群G f d 1、及び、第2前群中心軸C f 2が交差する第2前偏向群G f d 2を有する前偏向群G f d と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、後群G bと像面Iの間に配置され、第1前群中心軸C f 1と第2前群中心軸C f 2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸C bを含む断面で、後群中心軸C bに直交する方向に異なる位置に配置される第1後偏向群G b d 1、及び、第2後偏向群G b d 2を有する後偏向群G b d と、を備える。

【0152】

第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0153】

第1前群G f 1は、物体側に平面を向けた平凹レンズL f 1₁と、両凸正レンズL f 1₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₃の接合レンズS U f 1₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₄と両凸正レンズL f 1₅の接合レンズS U f 1₂と、第1絞りS 1と、を備えることが好ましい。

【0154】

第1前偏向群G f d 1は、楔形プリズム状光学素子L f d 1₁と、楔形プリズム状光学素子L f d 1₂と、からなる。各楔形プリズム状光学素子L f d 1₁、L f d 1₂は、アッペ数が異なり、色消し可能である。

【0155】

第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹レンズL f 2₁と、両凸正レンズL f 2₂と像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₃の接合レンズS U f 2₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₄と両凸正レンズL f 2₅の接合レンズS U f 2₂と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。

【0156】

第2前偏向群G f d 2は、楔形プリズム状光学素子L f d 2₁と、楔形プリズム状光学素子L f d 2₂と、からなる。各楔形プリズム状光学素子L f d 2₁、L f d 2₂は、アッペ数が異なり、色消し可能である。

【0157】

後群G bは、両凸正レンズL b₁と両凹負レンズL b₂の接合レンズS U b₁と、両凸正レンズL b₃と、を備える。

【0158】

第1後偏向群G b d 1は、平板の物体面側を鋸歯形状化した回折光学素子L b d 1からなる。

【0159】

第2後偏向群G b d 2は、平板の物体面側を鋸歯形状化した回折光学素子L b d 2からなる。

【0160】

楔形プリズム状光学素子L b d 1と楔形プリズム状光学素子L b d 2は、別々の素子ではなく、一体に形成してもよい。

【0161】

第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、平凹レンズL f 2₁、接合レンズS U f 1₁、接合レンズS U f 1₂、及び第1絞りS 1を通過して、第1前群G f 1を射出し、第1前偏向群G f d 1を経て、後群G bに入射する。

【0162】

第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、平凹レンズL f 2₁、接合レンズS U f 2₁、接合レンズS U f 2₂、及び第2絞りS 2を通過して、第2前群G f 2を射出し、第2前偏向群G f d 2を経て、後群G bに入射する。

【0163】

後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ接合レンズS U b₁及び両凸正レンズL b₃を通過して、後偏向群G b dに入射する。

10

20

30

40

50

【0164】

後偏向群G b dに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ第1後偏向群G b d 1の回折光学素子L b d 1及び第2後偏向群G b d 2の回折光学素子L b d 2を通して、像面Iに入射する。

【0165】

実施例7の立体撮像光学系1の前偏向群G f dは、第1光束L 1及び第2光束L 2を第1前群中心軸C f 1と第2前群中心軸C f 2を含む面に対して直交し、且つ、後群中心軸C bを含む断面に投影した場合に、後群中心軸C bに対して離間しながら対称な方向へ偏向させる。

【0166】

実施例7の立体撮像光学系1の後偏向群G b dは、後群G bを通過した後の第1光束L 1及び第2光束L 2を後群中心軸C bに軸対称に偏向し、第1光束L 1及び第2光束L 2の像面Iへの入射角が垂直に近くなるように偏向する。

【0167】

なお、実施例1～7に示した前偏向群G f d及び後偏向群G b dのどの面においても、任意の球面、非球面、アナモルフィック面、又は自由曲面等を用いてもよい。前偏向群G f d及び後偏向群G b dをこのような面で構成することによって、効果的に収差補正することが可能となる。

【0168】

以下に、上記実施例1～実施例4、6及び7の構成パラメータを示す。実施例1～4、6及び7の構成パラメータは、第1光束の光路を示している。

【0169】

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、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0170】

偏心面については、その面が定義される座標系の原点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、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。

【0171】

屈折率、アッペ数については、d線（波長587.56nm）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。

【0172】

非球面データには、面データ中、非球面形状としたレンズ面に関するデータが示されている。非球面形状は、zを光の進行方向を正とした光軸とし、yを光軸と直交する方向にとると下記の式にて表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + K) \cdot (y / r)^2\}^{1/2}] + A4y^4 + A6y^6 + A8y^8 + A10y^{10} \dots$$

【0173】

ただし、rは近軸曲率半径、Kは円錐係数、A4、A6、A8はそれぞれ4次、6次、8次の非球面係数である。なお、記号“e”は、それに続く数値が10を底にもつ、べき指数であることを示している。例えば「1.0e-5」は「 1.0×10^{-5} 」であることを意味している。

10

20

30

40

50

【0174】

実施例1

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 100.000	偏心	屈折率	アッベ数	
1	非球面[1]	0.600		1.8830	40.7	
2	非球面[2]	1.066				
3	26.845	1.000		1.9229	18.9	
4	-1.428	0.400		1.8830	40.7	
5	-7.449	0.966				10
6	-12.279	0.300		1.9229	18.9	
7	3.471	0.800		1.4875	70.2	
8	-1.709	0.075				
9	絞り面	0.000				
10	∞	0.500		1.4875	70.2	
11	∞	0.300	偏心(1)			
12	∞	0.000	偏心(2)			
13	6.487	1.200		1.8830	40.7	
14	-29.393	0.421				
15	-5.655	0.600		1.9229	18.9	20
16	75.749	1.400		1.8830	40.7	
17	-6.615	2.232				
18	3.235	1.400		1.8903	33.4	
19	11.056	0.611				
20	∞	0.750		1.5163	64.1	
21	∞	0.100				
像面	∞		偏心(3)			

非球面[1]

r	4.208					30
k	-3.1711e+000					

非球面[2]

r	0.877
k	-5.5206e-001

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	12.000	β	0.000	γ	0.000

40

偏心[2]

X	-1.500	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[3]

X	0.000	Y	-0.420	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

仕様

基線長（入射瞳間隔） 3mm

50

画角（対角） 90°
 絞り径 $\phi 1.0\text{mm}$
 像の大きさ $\phi 2.17\text{mm}(1.92 \times 1.08)$
 焦点距離 1.29
 有効Fno 3.94

【0175】

実施例2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
物体面	∞	100.000				10
1	非球面[1]	0.600		1.8830	40.7	
2	非球面[2]	0.904				
3	519.737	1.000		1.9229	18.9	
4	-1.493	0.400		1.8830	40.7	
5	-8.396	1.236				
6	絞り面	0.100				
7	-18.475	0.300		1.9229	18.9	
8	4.639	0.800		1.4875	70.2	
9	-1.890	0.100				
10	∞	0.500		1.4875	70.2	20
11	∞	0.300	偏心(1)			
12	∞	0.000	偏心(2)			
13	6.088	1.200		1.8830	40.7	
14	-60.708	0.561				
15	-6.409	0.600		1.9229	18.9	
16	20.191	1.400		1.8830	40.7	
17	-7.575	2.100				
18	3.091	1.600		1.8921	32.0	
19	10.903	0.448				
20	∞	0.750		1.5163	64.1	30
21	∞	0.100				
像面	∞		偏心(3)			

非球面[1]

r 4.038
 k -2.2135e+000

非球面[2]

r 0.920
 k -5.3147e-001

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	12.070	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	-1.500	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[3]

X 0.000 Y -0.420 Z 0.000
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

仕様

基線長（入射瞳間隔） 3mm

画角（対角） 90°

絞り径 $\phi 1.0\text{mm}$

像の大きさ $\phi 2.17\text{mm}(1.92 \times 1.08)$

焦点距離 1.29

有効Fno 3.33

10

【0176】

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	∞	100.000			
1	非球面[1]	0.600		1.8830	40.7
2	非球面[2]	0.974			
3	-486.159	1.000		1.9229	18.9
4	-1.281	0.400		1.8830	40.7
5	-5.917	0.942			
6	-12.817	0.300		1.9229	18.9
7	3.314	0.800		1.4875	70.2
8	-1.675	0.100			
9	∞	0.500		1.4875	70.2
10	∞	0.300	偏心(1)		
11	絞り面	0.000			
12	∞	0.000	偏心(2)		
13	6.676	1.200		1.8830	40.7
14	-33.664	0.668			
15	-5.594	0.600		1.9229	18.9
16	30.538	1.400		1.8830	40.7
17	-6.542	2.282			
18	3.236	1.600		1.8943	30.4
19	12.049	0.483			
20	∞	0.750		1.5163	64.1
21	∞	0.100			
像面	∞		偏心(3)		

20

30

非球面[1]

r 4.175

40

k -3.2958e+000

非球面[2]

r 0.837

k -5.3767e-001

偏心[1]

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

α 11.68 β 0.00 γ 0.00

50

偏心[2]					
X	-1.50	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[3]					
X	0.00	Y	-0.42	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔） 3mm

10

画角（対角） 90°

絞り径 $\phi 1.0\text{mm}$ 像の大きさ $\phi 2.17\text{mm}(1.92 \times 1.08)$

焦点距離 1.29

有効Fno 3.85

【0 1 7 7】

実施例 4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
物体面	∞	100.000				20
1	非球面[1]	0.600		1.8830	40.7	
2	非球面[2]	1.066				
3	26.845	1.000		1.9229	18.9	
4	-1.428	0.400		1.8830	40.7	
5	-7.449	0.966				
6	-12.279	0.300		1.9229	18.9	
7	3.471	0.800		1.4875	70.2	
8	-1.709	0.075				
9	絞り面	0.000				
10	∞	0.500		1.4875	70.2	30
11	∞	0.300	偏心(1)			
12	∞	0.000	偏心(2)			
13	6.487	1.200		1.8830	40.7	
14	-29.393	0.421				
15	-5.655	0.600		1.9229	18.9	
16	75.749	1.400		1.8830	40.7	
17	-6.615	2.232				
18	3.235	1.400		1.8903	33.4	
19	11.056	0.611				
20	∞	0.750		1.5163	64.1	40
21	∞	0.100				
像面	∞		偏心(3)			

非球面[1]

r 4.208

k -3.1711e+000

非球面[2]

r 0.877

k -5.5206e-001

50

第 1 光束の光路 偏心[1]
 X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

第 2 光束の光路 偏心[1]
 X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 22.400 β 0.000 γ 0.000

偏心[2]
 X -1.500 Y 0.000 Z 0.000
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

10

第 1 光束の光路 偏心[3]
 X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

第 2 光束の光路 偏心[3]
 X 0.000 Y -0.830 Z 0.000
 α 0.000 β 0.000 γ 0.000

20

仕様
 基線長（入射瞳間隔） 3mm
 画角（対角） 90 °
 絞り径 φ 1.0mm
 像の大きさ φ 2.17mm(1.92×1.08)
 焦点距離 1.29
 有効Fno 3.94

【 0 1 7 8 】

実施例 6

30

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	15.000			
1	∞	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.146			
3	1.578	1.000		1.6923	26.0
4	-0.701	0.400		1.8830	40.7
5	48.345	1.066			
6	5.635	0.400		1.8911	32.8
7	1.442	1.000		1.6682	52.9
8	-1.759	0.050			
9	絞り面	0.050			
10	∞	0.500		1.7172	24.7
11	∞	0.600	偏心(1)	1.8303	42.8
12	∞	0.200	偏心(2)		
13	∞	0.000	偏心(3)		
14	2.608	2.000		1.8214	43.2
15	-3.428	0.500		1.9018	26.2
16	1.541	1.188			
17	3.009	1.200		1.8830	40.7

40

50

18	-7.744	0.600			
19	∞	0.500	偏心(4)	1.8830	40.7
20	∞	0.100			
像 面	∞		偏心(5)		

非球面[1]

曲率半径 0.650

k -1.0275e+000

a 1.6281e-002

10

偏心[1]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-10.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	6.259	β	6.391	γ	0.000

偏心[3]

X	-1.100	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

20

偏心[4]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	10.417	γ	0.000

偏心[5]

X	0.000	Y	-0.500	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

30

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2.2mm

画角（対角） 90°

絞り径 $\phi 1.2\text{mm}$ 像の大きさ $\phi 1.47\text{mm}(1.28 \times 0.72)$

焦点距離 1.07

有効Fno 3.85

【0179】

実施例7

40

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	15.000			
1	∞	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.146			
3	1.594	1.000		1.6592	28.1
4	-0.793	0.400		1.8830	40.7
5	-4.141	1.066			
6	7.965	0.400		1.8830	40.7
7	1.641	1.000		1.6229	43.5
8	-1.734	0.050			

50

9	絞り面	0.050		
10	∞	0.500	1.7172	24.7
11	∞	0.600 偏心(1)	1.8303	42.8
12	∞	0.200 偏心(2)		
13	∞	0.000 偏心(3)		
14	3.097	2.000	1.8830	40.7
15	-2.923	0.500	1.9229	18.9
16	2.243	1.515		
17	2.202	1.200	1.9105	22.5
18	17.968	0.273		10
19	回折面[1]	0.500	1.8830	40.7
20	∞	0.100		
像面	∞		偏心(4)	

非球面[1]

曲率半径 0.620

k -9.8312e-001

a -2.5404e-002

偏心[1]

20

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	-10.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	0.000	Y	0.000	Z	0.000
α	7.301	β	6.367	γ	0.000

偏心[3]

X	-1.100	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

30

偏心[4]

X	0.000	Y	-0.500	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

回折面[1]

回折次数 1

ピッチ 0.003003

【0180】

上記実施例1～4、6及び7について、要素及び条件式(1)の値を下記に示しておく。また、参考として、第1前群中心軸Cf1と第2前群中心軸Cf2の間隔Dep及び後群の最大有効径Dbをあわせて示す。

40

【0181】

	実施例1	実施例2	実施例3
d	1.250	1.250	0.600
f	0.809	0.828	1.070
(1) d/f	1.545	1.510	0.561
Dep	3.00	3.00	3.00
Db	ϕ 5.06	ϕ 6.00	ϕ 4.66

【0182】

50

	実施例 4	実施例 6	実施例 7
d	0.600	1.15	1.15
f	1.037	1.07	1.04
(1) d / f	0.579	1.07	1.11
Dep	3.00	2.20	2.20
Db	φ5.29	φ3.52	φ3.58

【0183】

このように、本実施形態の立体撮像光学系1の各実施例は、以下の条件式(1)を満足する。

$$0 \leq d / f < 5 \quad (1)$$

10

ただし、

dは、前偏向群から絞りまでの距離、

fは、光学系全系の焦点距離、

である。

【0184】

また、本実施形態の立体撮像光学系1の各実施例は、第1前群中心軸Cf1と第2前群中心軸Cf2の間隔は、像面Iでの第1光束L1の中心と像面Iでの第2光束L2の中心の間隔より広い。

【0185】

さらに、本実施形態の立体撮像光学系1の各実施例では、後偏向群Gb dは、楔形プリズム状の光学素子、回折光学素子、及び曲面を有する光学素子のうち、少なくとも1つを含んでもよい。また後偏向群Gb dの第1後偏向群Gb d1と第2後偏向群Gb d2は、一体に形成してもよい。

20

【0186】

また、本実施形態の立体撮像光学系1の各実施例では、前偏向群Gf dは、色消し可能な前偏向部材を含んでもよい。前偏向部材は、アッペ数の異なる2つの楔形プリズム状の光学素子及び単一の楔形プリズム状の光学素子と回折光学素子のうち、少なくとも1つを含んでもよい。また前偏向群Gb dの第1前偏向群Gf d1と第2前偏向群Gf d2は、一体でもよい。

【0187】

以下に、本実施形態の立体撮像光学系1の適用例を説明する。

30

【0188】

図37は、本実施形態にかかる立体撮像光学系を用いた硬性内視鏡の一例を示す図である。図38は、本実施形態にかかる立体撮像光学系を用いた軟性内視鏡30の一例を示す図である。

【0189】

図37(a)は、本実施形態にかかる立体撮像光学系1を用いた立体撮像装置の概略の構成を示す。図37(b)は、硬性内視鏡20の先端に本実施形態にかかる立体撮像光学系1を取り付けて画像を立体的に撮像観察する例である。

【0190】

本実施形態の立体撮像装置10は、立体撮像光学系1と、像面Iに配置され、複数の画素を有する撮像素子2と、を備えることが好ましい。

40

【0191】

本実施形態の立体撮像装置10によれば、小型で高解像であり、水平画角が広い立体像を得ることが可能となる。

【0192】

また、本実施形態の立体撮像装置10では、撮像素子2が単一の素子からなることが好ましい。

【0193】

撮像素子2を単一の素子とすることにより、撮像信号を出力する配線を1つにすること

50

ができ、立体撮像装置 10 を小型にすることが可能となる。

【0194】

また、本実施形態の立体撮像装置 10 では、前述した偏向群 G f d, G b d で発生する色収差や光学系で発生する歪みを電子的に補正する画像処理部 4 を備えることが好ましい。

【0195】

前述した偏向群 G d で発生する色収差や光学系で発生する歪みを電子的に補正する画像処理部 4 を備えることによって、高解像な映像を表示部 5 に立体的に表示させることが可能となる。

【0196】

なお、画像処理部 4 は、撮像素子 2 に入射する光線角度が大きくなる場合に発生するシェーディングを電子的に補正してもよい。

【0197】

さらに、本実施形態の硬性内視鏡 20 又は軟性内視鏡 30 は、立体撮像装置 10 を用いることが好ましい。

【0198】

硬性内視鏡 20 又は軟性内視鏡 30 に立体撮像装置 10 を用いることによって、小型で高解像な内視鏡とすることができ、低侵襲な医療機器とすることが可能となる。

【0199】

なお、立体撮像装置を車両に搭載する車載撮像装置として用いてもよい。例えば、自動車の前方に撮像装置の一部として本実施形態にかかる光学系を取り付けて、車内の表示装置に各光学系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り、自動車の各コーナやヘッド部のポールの頂部に撮像装置の一部として本実施形態にかかる光学系を複数取り付けて、車内の表示装置に各光学系を経て撮影された画像を、立体撮像装置 10 により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てもよい。

【0200】

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変更して構成した実施形態及び適宜組み合わせで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】

【0201】

- 1 … 立体撮像光学系
- 2 … 撮像素子
- 3 … 配線
- 4 … 画像処理部
- 5 … 表示部
- 10 … 立体撮像装置
- 20 … 内視鏡
- G f … 前群
- G b … 後群
- G d … 偏向群
- S … 絞り
- I … 像面

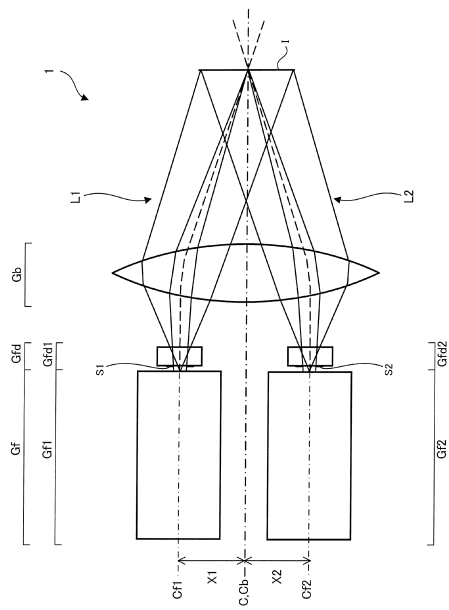
10

20

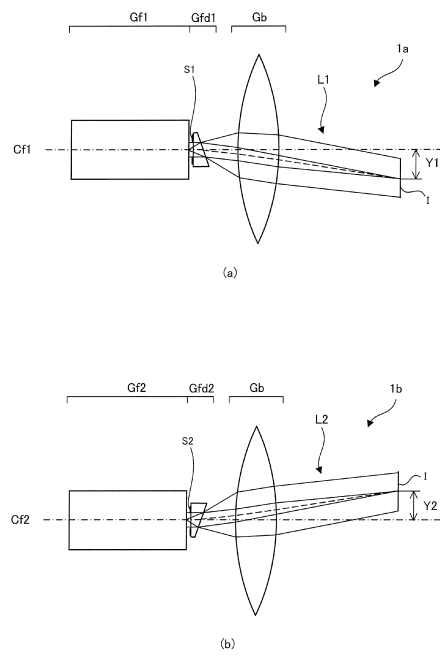
30

40

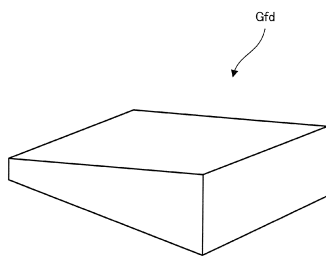
【図 1】



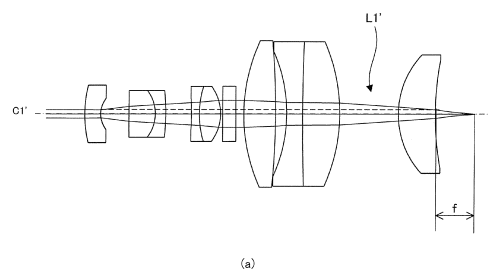
【図 2】



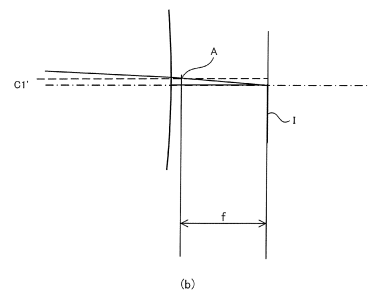
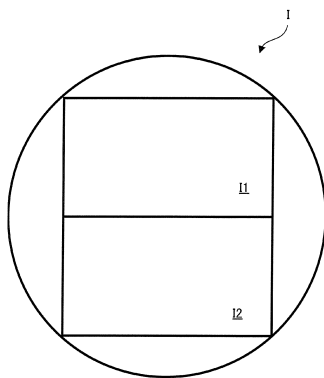
【図 3】



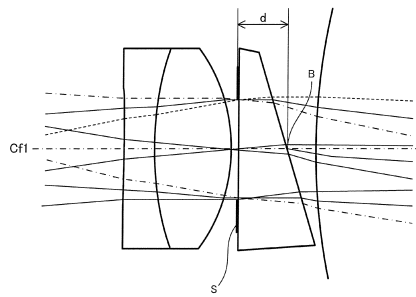
【図 5】



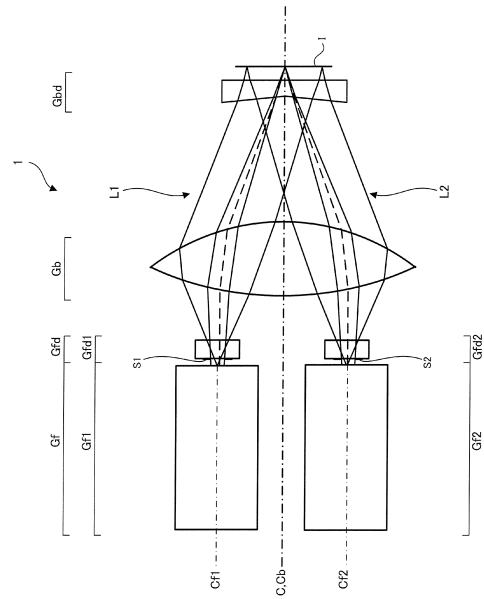
【図 4】



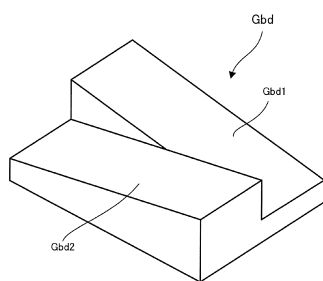
【図 6】



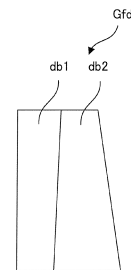
【図 7】



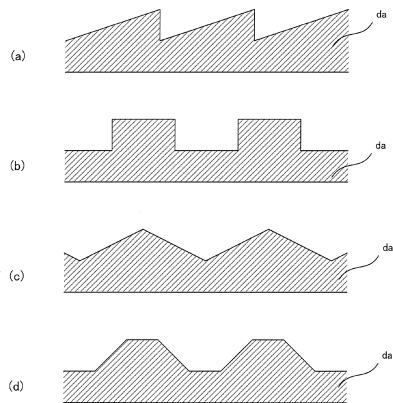
【図 8】



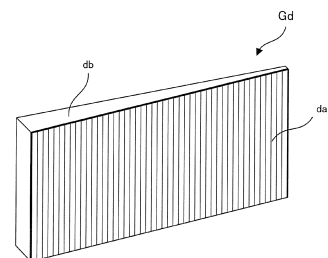
【図 10】



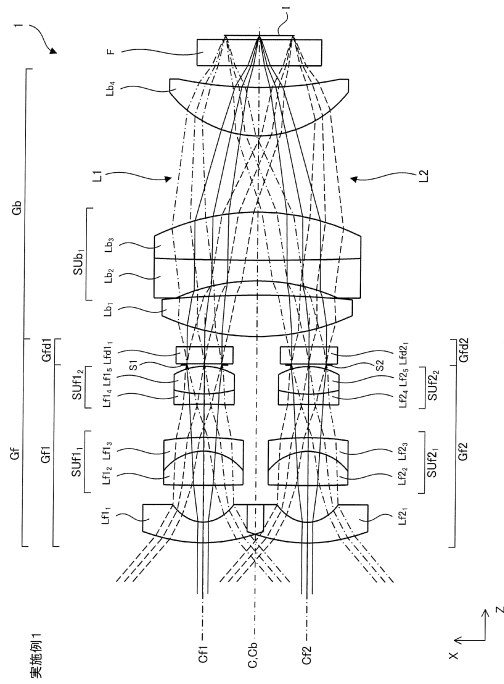
【図 9】



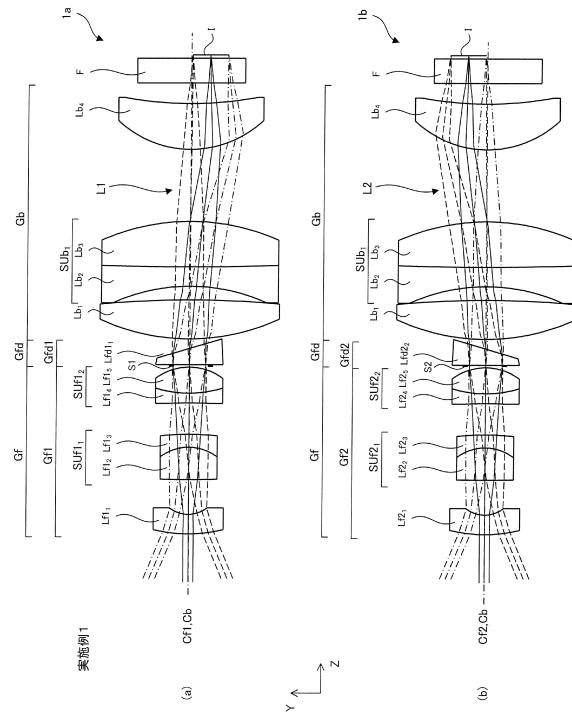
【図 11】



【図 1 2】

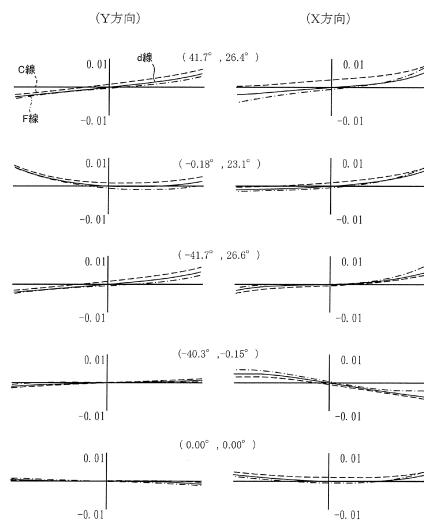


【図 1 3】



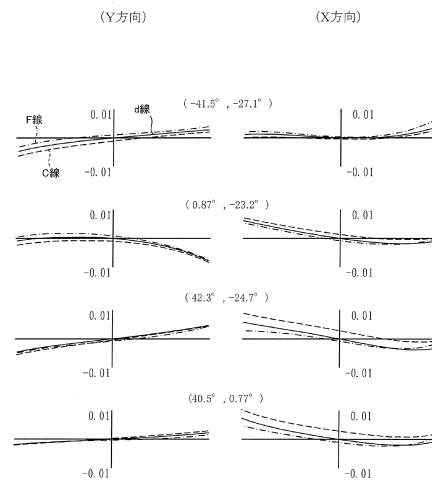
【図 1 4】

実施例 1

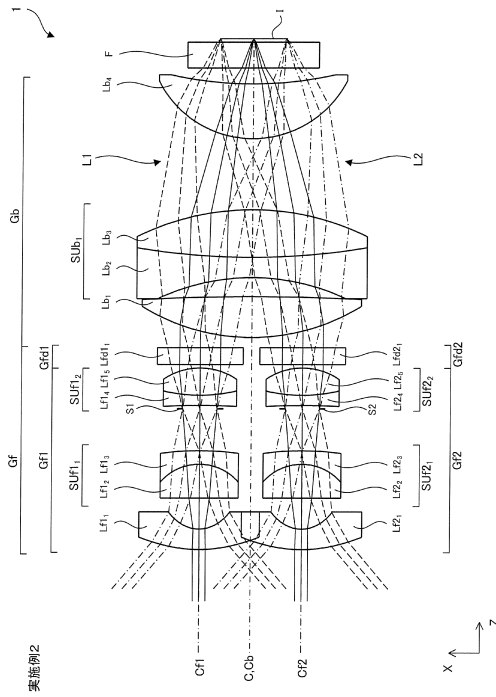


【図 1 5】

実施例 1

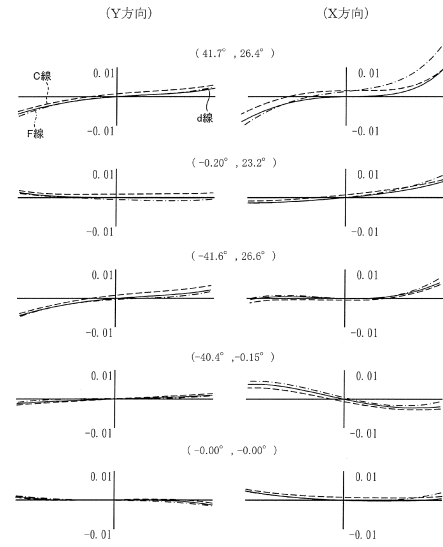


【図 16】



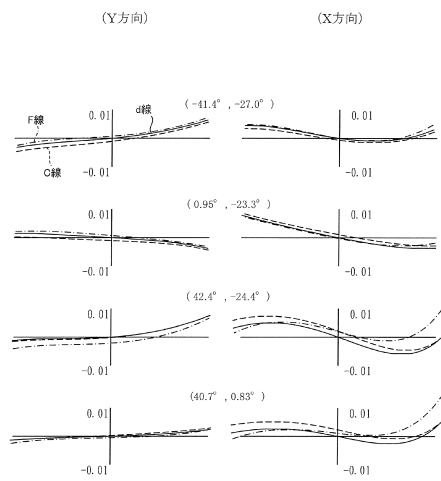
【図 17】

実施例2

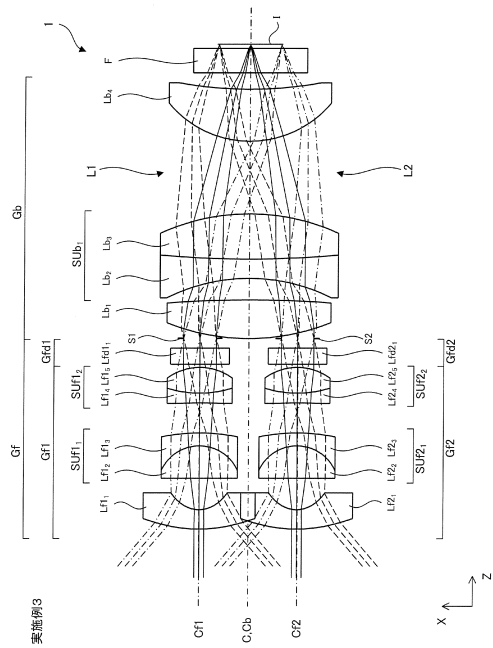


【図 18】

実施例2

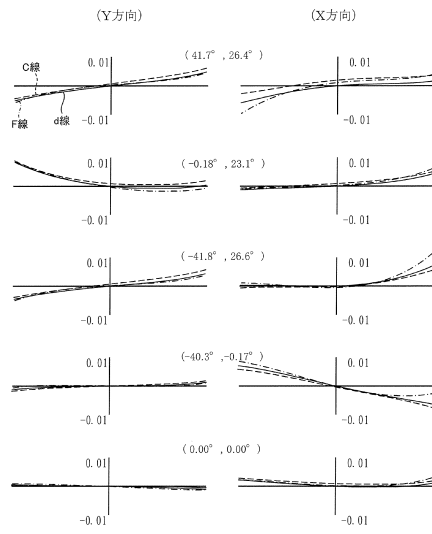


【図 19】



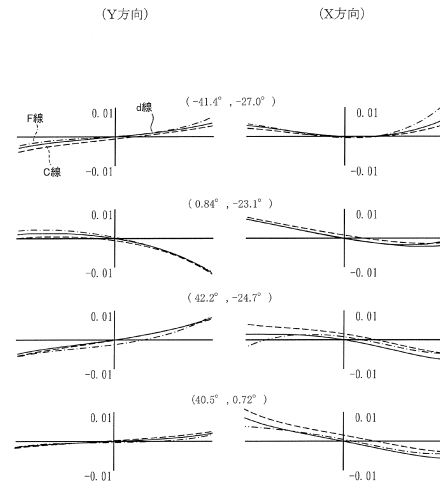
【図 20】

実施例3

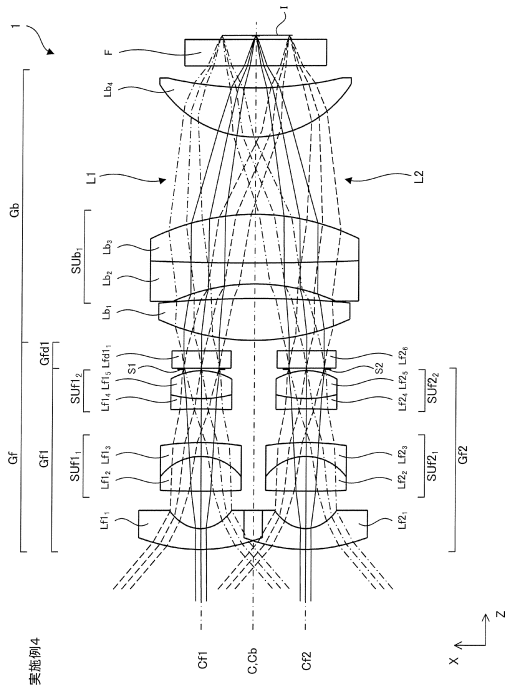


【図 21】

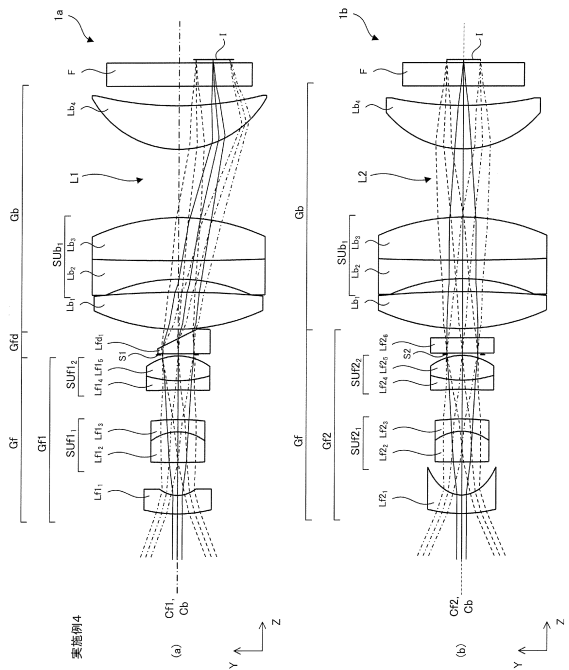
実施例3



【図 22】

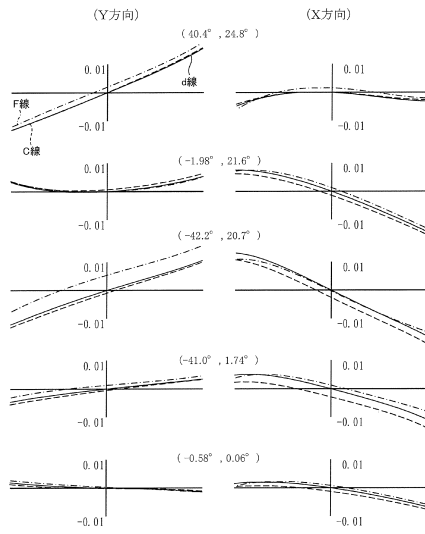


【図 23】



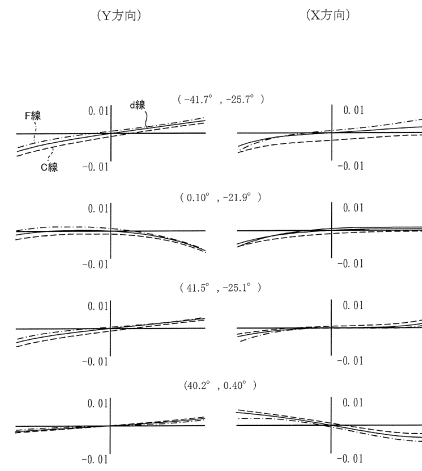
【図 2 4】

実施例4(右光路)



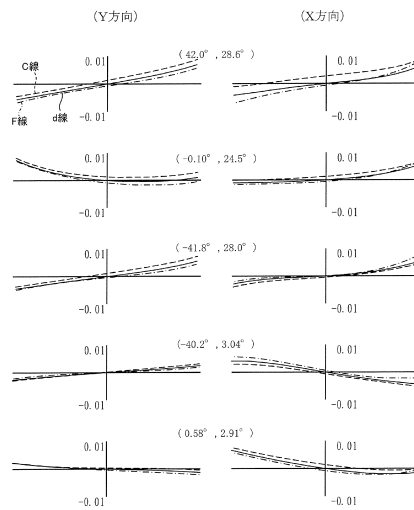
【図 2 5】

実施例4(右光路)

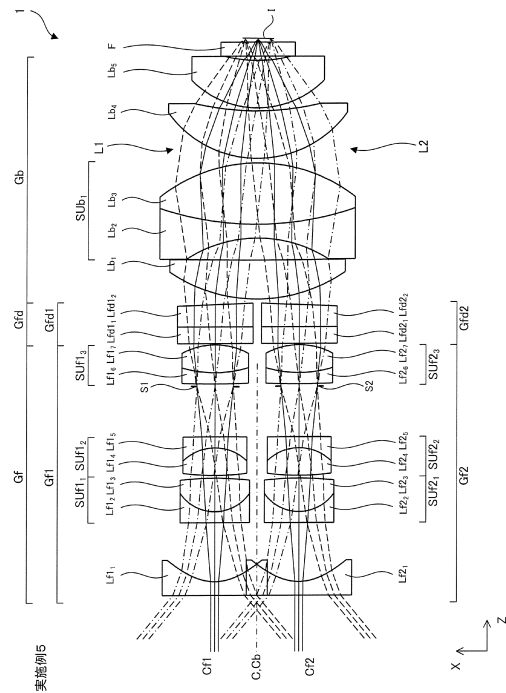


【図 2 6】

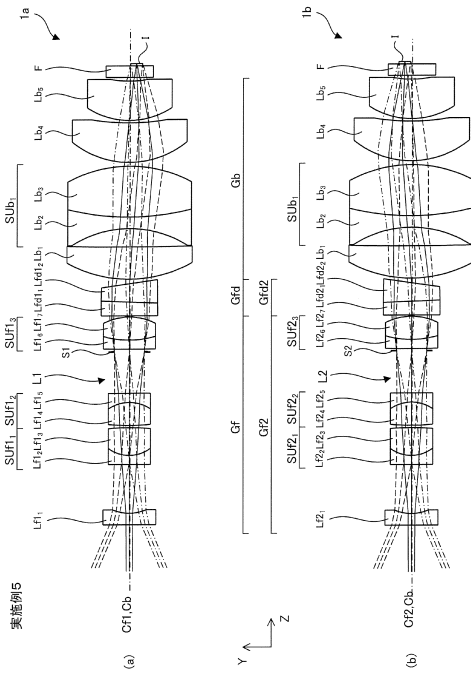
実施例4(左光路)



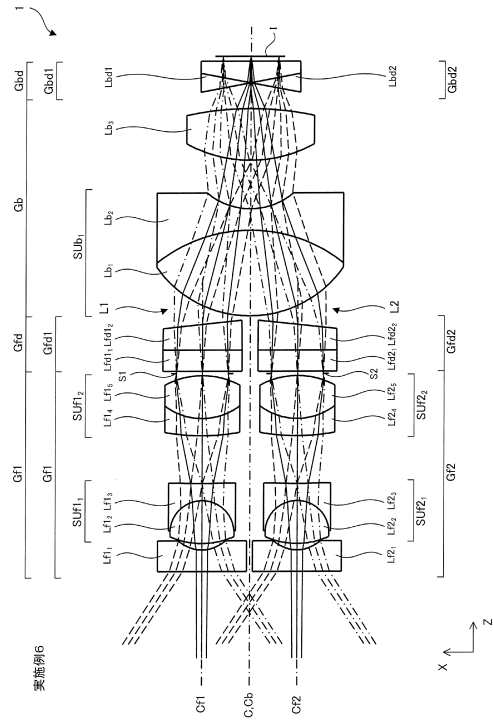
【図 2 7】



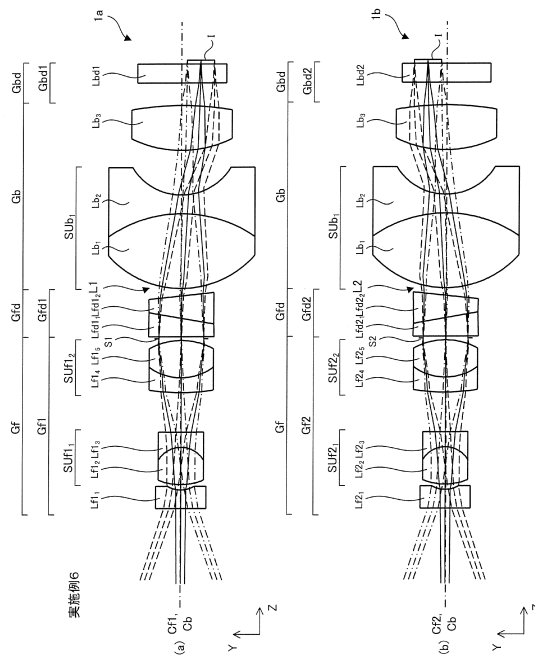
【图 2 8】



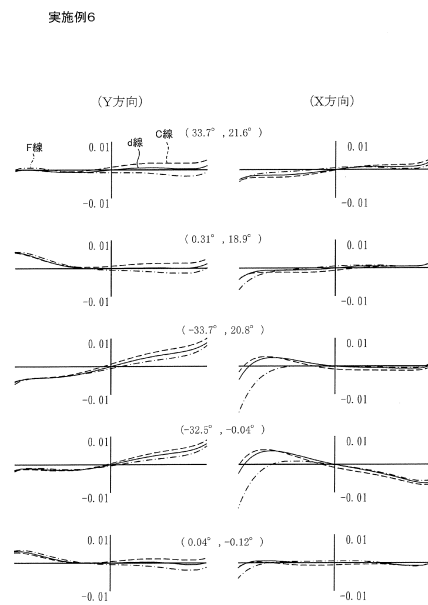
【図 29】



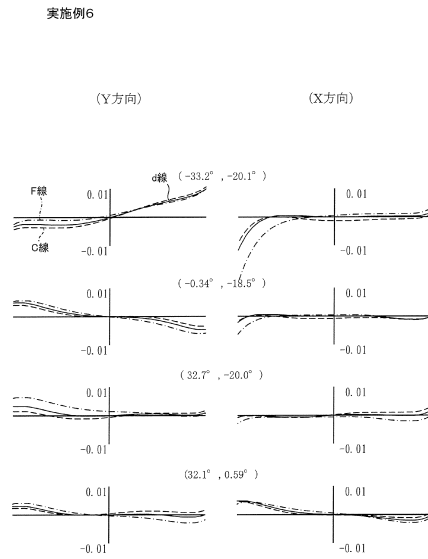
【図 30】



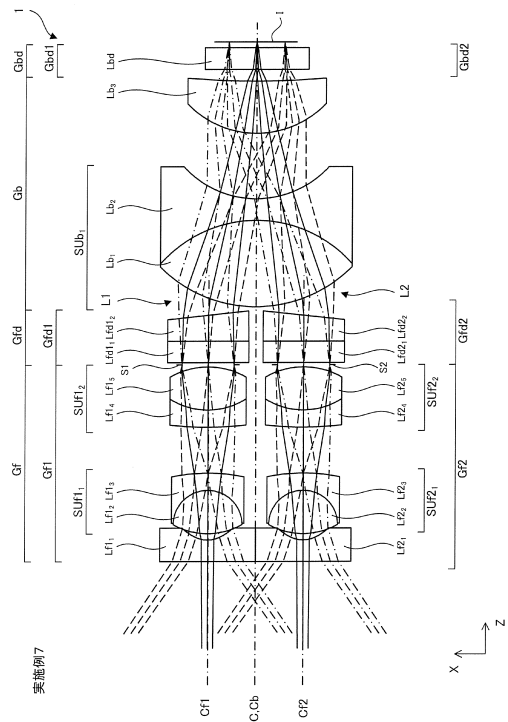
【図 3 1】



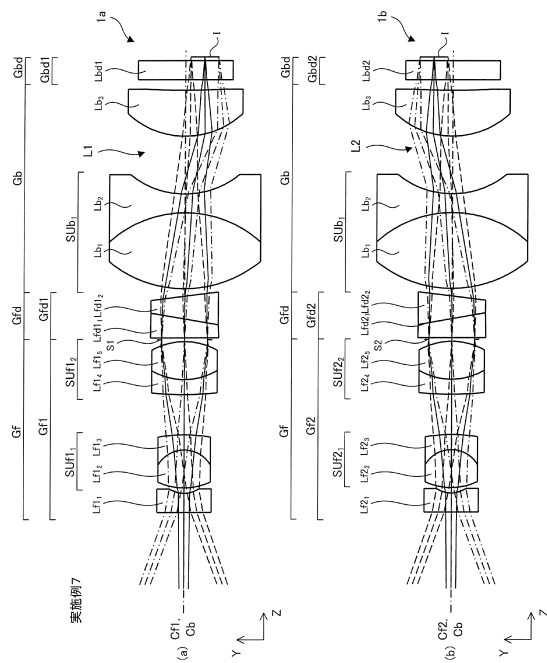
【図 3 2】



【図 3 3】

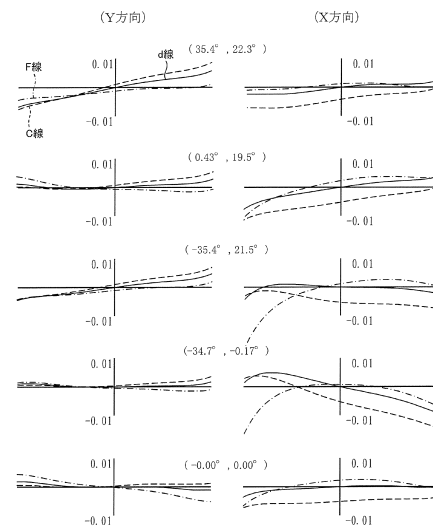


【図 3 4】



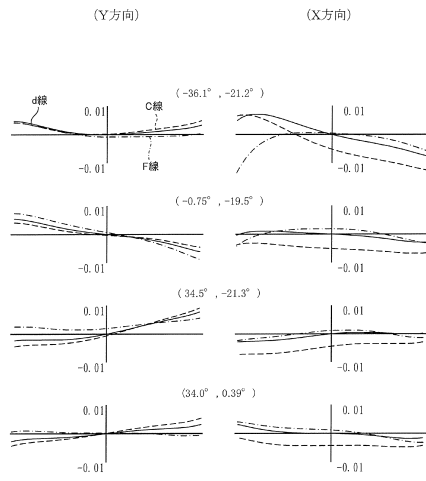
【図 3 5】

実施例7

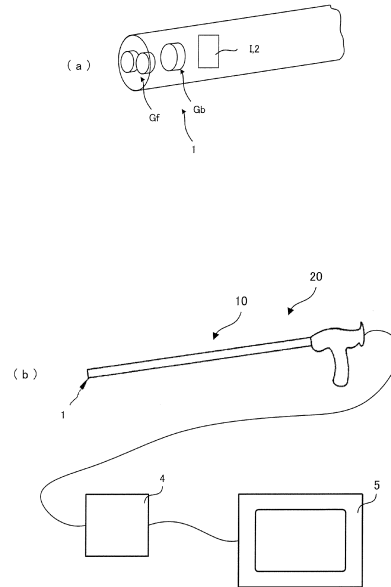


【図 3 6】

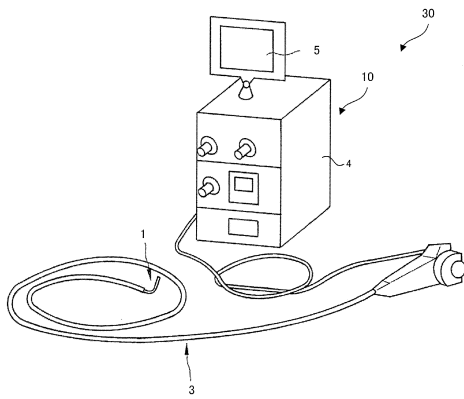
実施例7



【図 3 7】



【図 3 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
G 0 3 B	35/08	(2006.01)	G 0 3 B	35/08	
A 6 1 B	1/00	(2006.01)	A 6 1 B	1/00	5 2 2
			A 6 1 B	1/00	7 3 1

審査官 殿岡 雅仁

(56)参考文献 国際公開第2013/114725 (WO, A1)
特開2001-075046 (JP, A)
特開2005-241791 (JP, A)
特開2012-220848 (JP, A)
特開平08-220449 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 2 B 9/00 - 17/08
G 0 2 B 21/02 - 21/04
G 0 2 B 25/00 - 25/04

专利名称(译)	立体成像光学系统，立体成像装置和内窥镜		
公开(公告)号	JP6150717B2	公开(公告)日	2017-06-21
申请号	JP2013251844	申请日	2013-12-05
[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	G02B13/04 G02B13/18 G02B23/24 G02B23/26 G02B5/04 G03B35/08 A61B1/00		
CPC分类号	A61B1/00009 A61B1/00096 A61B1/00101 A61B1/00188 A61B1/00193 A61B1/05 G02B13/22 G02B23/2415 G02B23/243 G02B27/4205 G03B35/10 H04N13/204 A61B1/04 G02B13/18 G02B23/06 G02B23/2484 G02B27/0025		
FI分类号	G02B13/04.D G02B13/18 G02B23/24.B G02B23/26.C G02B5/04.A G03B35/08 A61B1/00.522 A61B1/00.731 A61B1/00.300.D A61B1/00.300.Y A61B1/00.550		
F-TERM分类号	2H040/BA15 2H040/CA23 2H040/CA24 2H040/DA02 2H040/DA03 2H040/GA02 2H042/CA14 2H042/CA17 2H059/AA09 2H087/KA10 2H087/LA03 2H087/LA21 2H087/NA02 2H087/PA05 2H087/PA06 2H087/PA08 2H087/PA16 2H087/PA20 2H087/PB08 2H087/PB09 2H087/PB12 2H087/QA01 2H087/QA02 2H087/QA06 2H087/QA07 2H087/QA17 2H087/QA18 2H087/QA21 2H087/QA22 2H087/QA25 2H087/QA26 2H087/QA32 2H087/QA34 2H087/QA41 2H087/QA42 2H087/QA45 2H087/QA46 2H087/RA06 2H087/RA12 2H087/RA26 2H087/RA32 2H087/RA41 2H087/RA43 2H087/RA44 2H087/RA46 4C161/AA00 4C161/BB06 4C161/CC06 4C161/DD00 4C161/FF40 4C161/HH52 4C161/HH53 4C161/JJ06 4C161/JJ11 4C161/LL02		
代理人(译)	森川智		
审查员(译)	正人Tonooka		
其他公开文献	JP2015108744A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)	(19) 日本国特許庁 (JP) (12) 特 許 公 報 (B2) (11) 特許番号 特許第6150717号 (P6150717) (45) 発行日 平成29年6月21日 (2017. 6. 21) (24) 登録日 平成29年6月2日 (2017. 6. 2) (51) Int. Cl. G 0 2 B 13/04 (2006. 01) G 0 2 B 13/18 (2006. 01) G 0 2 B 23/24 (2006. 01) G 0 2 B 23/26 (2006. 01) G 0 2 B 5/04 (2006. 01) F I G 0 2 B 13/04 D G 0 2 B 13/18 G 0 2 B 23/24 B G 0 2 B 23/26 C G 0 2 B 5/04 A 請求項の数 17 (全 38 頁) 最終頁に続く
[问题]提供能够进行3D观察的3D成像光学系统，3D成像装置和内窥镜。 [解决方案] 3D成像光学系统 (1) 的特征在于，从物侧到成像平面侧依次设置：前组 (Gf) ，其具有以第一前方为中心的第一前组 (Gf1) 组中心轴 (C1) 和第二前组 (Gf2) 以与第一前组中心轴 (C1) 平行的第二前组中心轴 (C2) 为中心;设置在第一前组 (Gf1) 和/或第二前组的成像平面侧的前偏转组 (Gfd) ;背面组 (Gb) 设置在前组 (Gf) 和前偏转组 (Gfd) 的成像平面侧，并具有单个后组中心轴。3D成像光学系统 (1) 的特征还在于，从物体辐射的第一光束 (L1) 至少穿过第一前组 (Gf1) 和后组 (Gb) 并进入成像平面 (I) ，第二光从物体辐射的光束 (L2) 至少穿过第二前组 (Gf2) 和后组 (Gb) 并进入成像平面 (I) ，第一光束和/或第二光束穿过前方偏转组和前偏转组 (Gfd) 使第一光束 (L1) 和	(21) 出願番号 特許2013-251844 (P2013-251844) (22) 出願日 平成25年12月5日 (2013. 12. 5) (65) 公開番号 特開2015-108744 (P2015-108744A) (43) 公開日 平成27年6月11日 (2015. 6. 11) 審査請求日 平成28年7月25日 (2016. 7. 25) (73) 特許権者 000000376 オリンパス株式会社 (74) 代理人 100139103 東京都八王子市石川町2 9 5 1 番地 (74) 代理人 100097777 弁理士 小山 卓志 (74) 代理人 100139114 弁理士 蓮澤 弘 (74) 代理人 100145920 弁理士 田中 貞嗣 (74) 代理人 100145920 弁理士 森川 聡 (72) 発明者 研野 孝吉 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4 3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】 立体撮像光学系、立体撮像装置及び内視鏡	

第二光束 (L2) 偏转，以便当在包含后组中心的横截面处投射时，使第

一光束 (L1) 和第二光束 (L2) 具有不同的取向。轴 (Cb) 垂直于包含第一前组中心轴 (C1) 和第二前组中心轴的平面 (C2)。