

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6280749号  
(P6280749)

(45) 発行日 平成30年2月14日 (2018. 2. 14)

(24) 登録日 平成30年1月26日 (2018. 1. 26)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 13/04 (2006. 01)

G O 2 B 13/04 D

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

G O 2 B 23/26 C

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

G O 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 1/04 (2006. 01)

A 6 1 B 1/00 7 3 1

請求項の数 20 (全 50 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-5019 (P2014-5019)  
 (22) 出願日 平成26年1月15日 (2014. 1. 15)  
 (65) 公開番号 特開2014-160240 (P2014-160240A)  
 (43) 公開日 平成26年9月4日 (2014. 9. 4)  
 審査請求日 平成28年12月20日 (2016. 12. 20)  
 (31) 優先権主張番号 特願2013-10057 (P2013-10057)  
 (32) 優先日 平成25年1月23日 (2013. 1. 23)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 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】 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、

単一の後群中心軸を中心とする後群と、  
を備え、前記第1前群を通過した第1光束の中心主光線及び前記第2前群を通過した第2光束の中心主光線は、前記第1前群及び前記第2前群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差せず、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く、前記第1前群と前記第2前群は、それぞれ絞りを含む  
ことを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記第1光束及び前記第2光束は、前記第1前群及び前記第2前群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差しない収束光である請求項1に記載の光学系。

【請求項 3】

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、前記後群を射出した後の前記第 1 光束及び前記第 2 光束の収束を緩和し、前記第 1 光束及び前記第 2 光束の前記像面への入射角の絶対値が前記後偏向群への入射角の絶対値より小さくなるように偏向する

請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

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 3 に記載の光学系。

【請求項 5】

前記後偏向群は、後偏向部材を含み、

10

前記後偏向部材は、前記後中心軸に対して外周側に向かうにつれて、前記後中心軸方向の厚さが厚い光学素子である

請求項 3 又は 4 に記載の光学系。

【請求項 6】

前記後偏向部材は、楔プリズム形状の光学素子である

請求項 5 に記載の光学系。

【請求項 7】

前記後偏向部材は、曲面を含む

請求項 5 に記載の光学系。

【請求項 8】

20

前記後偏向群は、回折光学素子を含む

請求項 3 乃至 7 のいずれか 1 つに記載の光学系。

【請求項 9】

前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、前記物体側から前記像面側へ順に、それぞれ

負の屈折力を有する前 1 群と、

正の接合レンズを含む前 2 群と、

を有する請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 つに記載の光学系。

【請求項 10】

前記前 1 群は、物体側に平面を向けた平凹負レンズからなり、

前記前 2 群の接合レンズは、物体側に凸面を向けた正の接合メニスカスレンズからなる

30

請求項 9 に記載の光学系。

【請求項 11】

前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、それぞれ、前記前 2 群の前記後群側に前記前 2 群とは異なる正の接合レンズを含む前 3 群

を有する

ことを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の光学系。

【請求項 12】

以下の条件式 (1) を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 つに記載の光学系。

40

$$F A b / f < 50$$

(1)

ただし、

$F A b$  は、前記前群最終面から前記前群を射出する光束が結像する結像位置までの距離

、

$f$  は、光学系全系の焦点距離、

である。

【請求項 13】

以下の条件式 (2) を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 つに記載の光学系。

$$L b / f < 5$$

(2)

50

ただし、

$L_b$  は、前記後群最終面から前記像面までの距離、

$f$  は、光学系全系の焦点距離、

である。

【請求項 14】

第 1 前群に配置され前記第 1 光束を遮光する遮光部材と、

第 2 前群に配置され前記第 2 光束を偏向する瞳分割部材と、

を備える

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 13 のいずれか 1 つに記載の光学系。

【請求項 15】

前記瞳分割部材は、

前記第 2 光束のうち一部を偏向せずに結像させる第 1 の瞳と、

前記第 2 光束のうち他部を前記第 1 の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第 2 の瞳と、

を有する

ことを特徴とする請求項 14 に記載の光学系。

【請求項 16】

前記瞳分割部材は、正の屈折力を有し、

前記瞳分割部材を使用しない近点の結像位置と、前記瞳分割部材を使用する遠点の結像位置と、が同一である

ことを特徴とする請求項 14 又は 15 に記載の光学系。

【請求項 17】

前記遮光部材及び前記瞳分割部材は、前記第 1 前群と第 2 前群の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される

ことを特徴とする請求項 14 乃至 16 のいずれか 1 つに記載の光学系。

【請求項 18】

請求項 1 乃至請求項 17 のいずれか 1 項に記載の光学系と、撮像素子と、を備える立体撮像装置。

【請求項 19】

前記撮像素子は、単一の素子からなる請求項 18 に記載の立体撮像装置。

【請求項 20】

請求項 18 又は 19 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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系、立体撮像装置、及び内視鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

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 乃至 4 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 8 - 122665 号公報

【特許文献 2】特許 4248771 号公報

【特許文献 3】特許 4093503 号公報

【特許文献 4】特開 2001 - 147382 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

特許文献 1 乃至 3 に記載された技術は、物体側が 2 光軸で、像側が 1 光軸の光学系で構成されている。また、特許文献 4 に記載された技術は、物体から像まで 2 光軸で構成されている。これらの技術は、どちらも近年の高解像化に対応することができていないものである。

## 【 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、小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学系、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】

10

## 【 0 0 0 6 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
物体側から順に、  
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、  
単一の後群中心軸を中心とする後群と、  
を備え、

前記第 1 前群を通過した第 1 光束の中心主光線及び前記第 2 前群を通過した第 2 光束の中心主光線は、前記後群を射出後、像面に到達するまで互いに交差しないことを特徴とする。

20

## 【 0 0 0 7 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記第 1 光束及び前記第 2 光束は、前記後群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差しない収束光である。

## 【 0 0 0 8 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
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。

## 【 0 0 0 9 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
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、前記後群を射出した後の前記第 1 光束及び前記第 2 光束の収束を緩和し、前記第 1 光束及び前記第 2 光束の前記像面への入射角の絶対値が前記後偏向群への入射角の絶対値より小さくなるように偏向する。

30

## 【 0 0 1 0 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
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。

## 【 0 0 1 1 】

40

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記後偏向群は、後偏向部材を含み、  
前記後偏向部材は、前記後中心軸に対して外周側に向かうにつれて、前記後中心軸方向の厚さが厚い光学素子である。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記後偏向部材は、楔プリズム形状の光学素子である

## 【 0 0 1 3 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記後偏向部材は、曲面を含む。

50

## 【 0 0 1 4 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記後偏向群は、回折光学素子を含む。

## 【 0 0 1 5 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、前記物体側から前記像面側へ順に、それぞれ  
負の屈折力を有する前 1 群と、  
正の接合レンズを含む前 2 群と、  
を有する。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の一実施形態である光学系では、  
前記前 1 群は、物体側に平面を向けた平凹負レンズからなり、  
前記前 2 群の接合レンズは、物体側に凸面を向けた正の接合メニスカスレンズからなる。

## 【 0 0 1 7 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、それぞれ、前記第 2 群の前記後群側に前記第 2 群とは異なる正の接合レンズを含む前 3 群  
を有する。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
以下の条件式 ( 1 ) を満足する。

$$F A b / f < 5 0 \quad ( 1 )$$

ただし、

F A b は、前記前群最終面から前記前群を射出する光束が結像する結像位置までの距離、  
f は、光学系全系の焦点距離

である。

## 【 0 0 1 9 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
以下の条件式 ( 2 ) を満足する。

$$L b / f < 5 \quad ( 2 )$$

ただし、

L b は、前記後群最終面から前記像面までの距離、  
f は、光学系全系の焦点距離

である。

## 【 0 0 2 0 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
第 1 前群に配置され前記第 1 光束を遮光する遮光部材と、  
第 2 前群に配置され前記第 2 光束を偏向する瞳分割部材と、  
を備える。

## 【 0 0 2 1 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
前記偏向部材は、

前記第 2 光束のうち一部を偏向せずに結像させる第 1 の瞳と、

前記第 2 光束のうち他部を前記第 1 の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に  
結像させる第 2 の瞳と、  
を有する。

## 【 0 0 2 2 】

本発明の一実施形態である光学系は、

前記瞳分割部材は、正の屈折力を有し、  
前記瞳分割部材を使用しない近点の結像位置と、前記瞳分割部材を使用する遠点の結像位置と、が同一である。

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態である光学系は、  
前記遮光部材及び前記瞳分割部材は、前記第 1 前群と第 2 前群の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される。

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施形態である立体撮像装置は、前記光学系と、撮像素子と、を備える。

【 0 0 2 5 】

本発明の一実施形態である立体撮像装置では、前記撮像素子は、単一の素子からなる。

【 0 0 2 6 】

本発明の一実施形態である内視鏡は、前記立体撮像装置を備える。

【発明の効果】

【 0 0 2 7 】

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、小型で高解像な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】

【 0 0 2 8 】

【図 1】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【図 2】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の像面付近を示す図である。

【図 3】本発明に係る後偏向群を有する一実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【図 4】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の後偏向部材 L b v を楔プリズム形状とした一例を示す図である。

【図 5】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の後偏向部材 L b v が曲面を含む一例を示す図である。

【図 6】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の後偏向群 G b v に含まれる回折格子の一例を示す図である。

【図 7】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の後偏向群 G b v に含まれる楔プリズムに回折格子を取り付けた一例を示す図である。

【図 8】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の前群 G f のみで形成される像の位置を説明する図である。

【図 9】本発明に係る一実施形態の光学系 1 の焦点距離 f を説明する図である。

【図 10】本発明に係る一実施形態の光学系 1 のフィルタ F を取り除いた状態の像の位置を説明する図である。

【図 11】本発明に係る他の実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【図 12】瞳分割部材 3 を示す図である。

【図 13】実施例 1 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 14】実施例 1 の光学系 1 の横収差図である。

【図 15】実施例 2 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 16】実施例 2 の光学系 1 の横収差図である。

【図 17】実施例 3 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 18】実施例 3 の光学系 1 の横収差図である。

【図 19】実施例 4 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 20】実施例 4 の光学系 1 の横収差図である。

【図 21】実施例 5 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 22】実施例 5 の光学系 1 の横収差図である。

【図 23】実施例 6 の遠点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

10

20

30

40

50

【図 2 4】実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 2 5】実施例 6 の遠点観察時の光学系 1 の横収差図である。

【図 2 6】実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の第 1 の瞳 E 1 を通過する偏向第 1 光束 L 1 ' に対する横収差図である。

【図 2 7】実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の第 2 の瞳 E 2 を通過する偏向第 2 光束 L 2 ' に対する横収差図である。

【図 2 8】実施例 7 の遠点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 2 9】実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。

【図 3 0】実施例 7 の遠点観察時の光学系 1 の横収差図である。

【図 3 1】実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の第 1 の瞳 E 1 を通過する偏向第 1 光束 L 1 ' に対する横収差図である。

10

【図 3 2】実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の第 2 の瞳 E 2 を通過する偏向第 2 光束 L 2 ' に対する横収差図である。

【図 3 3】実施例 8 の光学系 1 の第 1 前群中心軸 C f 1 及び第 2 前群中心軸 C f 2 を含む断面図である。

【図 3 4】図 3 3 に直交する方向から見た図である。

【図 3 5】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 3 6】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 3 7】実施例 9 の光学系 1 の第 1 前群中心軸 C f 1 及び第 2 前群中心軸 C f 2 を含む断面図である。

20

【図 3 8】図 3 7 に直交する方向から見た図である。

【図 3 9】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 4 0】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 4 1】実施例 10 の光学系 1 の第 1 前群中心軸 C f 1 及び第 2 前群中心軸 C f 2 を含む断面図である。

【図 4 2】図 4 1 に直交する方向から見た図である。

【図 4 3】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 4 4】実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

【図 4 5】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。

【図 4 6】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

30

。【図 4 7】参考例としての光学系の像面付近を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

本実施形態の光学系 1 について説明する。

【0030】

図 1 は、本発明に係る一実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【0031】

本実施形態の光学系 1 は、物体側から順に、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 に並列した第 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、単一の後群中心軸 C b を中心とする後群 G b と、を備え、第 1 前群 G f 1 を通過した第 1 光束 L 1 の中心主光線及び第 2 前群 G f 2 を通過した第 2 光束 L 2 の中心主光線は、後群 G b を射出後、像面 I に到達するまで互いに交差しない収束光であることが好ましい。

40

【0032】

本実施形態の光学系 1 は、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、後群 G b を射出後、像面 I に到達するまで互いに交差しない収束光であることが好ましい。

【0033】

立体撮像系は、以下の 4 つのパターンが存在する。

1．完全に独立した 2 つの中心軸からなる光学系。

50

2. 物体側から1つの中心軸の前群と2つの中心軸の後群からなる光学系。
3. 物体側から2つの中心軸の前群と1つの中心軸の後群からなる光学系。
4. 全体は1つの中心軸で瞳分割により視差を得る光学系。

【0034】

1. の光学系は、2つの中心軸のそれぞれに撮像素子が必要となり、装置として大型になってしまう。2. と4. の光学系は、画角を広く取るうとすると、強い負のレンズを物体側に配置する必要がある、これにより基線長を長く取れない欠点がある。3. の光学系は、小型の立体撮像装置に良く採用されるタイプであるが、全長が長くなる欠点がある。

【0035】

近年、小型で高画素数の撮像素子が実用化されるようになったため、像高が小さくても高解像な撮像が可能になった。そこで本実施形態では、小型の撮像素子を用いることを想定し、小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学系を提供するものである。

【0036】

図2は、本発明に係る一実施形態の光学系1の像面I付近を示す図である。また、図47は、参考例としての光学系の像面付近を示す図である。なお、図2及び図47では、後群Gbを模式的に示している。

【0037】

図2に示した本実施形態の光学系1と図47に示した参考例の光学系100は、物体側から順に、図示しない前群と、後群Gbと、からなる。なお、図2及び図47において、左側を前側、右側を後側とする。

【0038】

光束は、図示しない2光軸の前群から並行に後群Gbに入射する。そして、第1光束L1及び第2光束L2の並行な第1中心主光線Lc1及び第2中心主光線Lc2は後群Gbを通過した後、後群Gbより後側の位置で交差する。これは入射する第1光束L1及び第2光束L2の焦点位置f0が後群Gbの後側の位置だからである。そして、前群を射出する軸上光束L10, L20のそれぞれが平行光だと、第1光束L1及び第2光束L2の像は後群Gbの後側の焦点位置f0に重なって結像されてしまい、立体撮像することができない。

【0039】

図47に示した参考例の光学系100は、前群を射出した軸上光束L10, L20のそれぞれを発散させることによって、焦点位置f0よりさらに後ろに結像する構成にすることによって、第1結像面I<sub>1</sub>及び第2結像面I<sub>2</sub>を並べる構成にしている。この方法は、像の大きさを比較的大きくしたい場合には効果があり、後群Gbから結像面I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>までの距離を長くとることによって像をいくらかでも大きく結像することが可能となる。その場合光路が交差しているので、光学系100の外径を太くすること無く大きな結像面を確保することが可能となる。

【0040】

本実施形態では、上記発想とは逆に、後群Gbの後側の焦点位置f0より前に結像することにより、左右の映像を並べて結像することに成功したものである。図2に示すように、図示しない前群を出た第1中心主光線Lc1及び第2中心主光線Lc2は、図47に示した参考例と同様に、後群Gbより後側の焦点位置f0で交差する。

【0041】

本実施形態では、焦点位置f0より後群Gbに近い位置で結像させることにより、第1結像面I<sub>1</sub>及び第2結像面I<sub>2</sub>より前では光路は交差しなくなる。後群Gbの後側の焦点位置f0より前側で結像させるためには、図30に示した参考例とは逆に、前群を射出する軸上光束L10, L20のそれぞれを収束するようにすることが重要である。

【0042】

後群Gbより後側の焦点位置f0より後群Gbに近い位置で結像させる配置により、結像面I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>の大きさを小さくすることが可能となり、近年の小型高精細撮像素子との相

10

20

30

40

50



性がよくなる。さらに、後群 G b から結像面  $I_1$ ,  $I_2$  までの距離を従来技術に比べて大幅に短くすることが可能となり、光学系 1 及び光学系 1 を用いた装置全体の長さを短くすることが可能となる。

【0043】

また、本実施形態では、図 1 に示すように、第 1 前群中心軸 C f 1 と第 2 前群中心軸 C f 2 の間隔は、像面 I での第 1 光束 L 1 の第 1 中心主光線 L c 1 と像面 I での第 2 光束 L 2 の第 2 中心主光線 L c 2 の間隔より広い。言い換えれば、光学系の入射瞳間隔よりも像中心間隔の方が狭いことが好ましい。

【0044】

数ミリから数百ミリの物点距離で立体視をする場合、自然に見える立体映像を得るためには、通常時に人間が両眼で観察する際の視差量を与えることが好ましい。例えば、50 cm 離れて眼幅 6 cm の観察者が立体視をする場合の輻輳角は約  $7^\circ$  となるので、15 mm 離れて拡大観察する立体撮像光学系で同様の輻輳角を得るためには光軸間隔を約 1.8 mm に近づける必要がある。

【0045】

しかしながら、中心軸の間隔を 1.8 mm 以下として第 1 前群 G f 1 と第 2 前群 G f 2 を並べると、光学系の F n o が大きくなり、高解像度の撮像をすることが困難であった。また、像面 I に小さい撮像素子を離間させて配置することは、組立調整等を考慮すると、困難であった。そこで、本実施形態では、小型で高画素数の撮像素子に対応できるように、入射瞳間隔よりも像中心間隔の方を狭くしたものである。このような構成によって、光学系を小型に形成することが可能となる。

【0046】

図 3 は、本発明に係る後偏向群を有する一実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

【0047】

本実施形態では、後群 G b と像面 I の間に配置され、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を偏向する後偏向群 G b v を有し、後偏向群 G b v は、後群 G b を射出した後の第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 の収束を緩和し、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 の像面 I への入射角の絶対値が後偏向群 G b v への入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

【0048】

本実施形態では、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 が各前群 G f を収束気味に射出し、各焦点位置の手前にある像面 I で結像するので、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、像面 I に斜めに入射することとなる。近年のマイクロレンズアレーを使用した高解像で高感度な撮像素子は入射角特性を有しているので、像面 I の入射角特性に光学系 1 の射出特性に対応させないと、像周辺の光量不足や色にじみ等の問題が発生するおそれがある。そこで、後群中心軸 C b に近づく方向に傾いた第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を後群中心軸 C b から離れる方向に偏向する後偏向群を配置する。このような構成によって、小型で高解像な光学系を得ることが可能となる。

【0049】

また、本実施形態では、後偏向群 G b v は、第 1 光束 L 1 を偏向する第 1 後偏向群と、第 2 光束 L 2 を偏向する第 2 後偏向群と、を含んでもよい。

【0050】

第 1 光束 L 1 と第 2 光束 L 2 のそれぞれに対応する第 1 後偏向群と第 2 後偏向群を別体に形成することで、各偏向群を後群中心軸 C b に垂直な平面内でそれぞれ回転させることができ、偏向を微量で変化させることが可能となる。したがって、像面 I 内での像中心の微少な移動ができ、第 1 光束 L 1 の中心と第 2 光束 L 2 の中心の微調整が可能となる。

【0051】

図 4 は、本発明に係る一実施形態の光学系 1 の後偏向部材 L b v を楔プリズム形状とした一例を示す図である。

## 【0052】

本実施形態では、後偏向群  $G_{bv}$  は、後偏向部材  $L_{bv}$  を含み、後偏向部材  $L_{bv}$  は、後群中心軸  $C_b$  に対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸  $C_b$  方向の厚さが厚い光学素子であることが好ましい。

## 【0053】

屈折作用を有する後偏向部材  $L_{bv}$  によって後偏向群  $G_{bv}$  を構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群  $G_{bv}$  を形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

## 【0054】

また、本実施形態では、後偏向部材  $L_{bv}$  は、楔プリズム形状の光学素子であることが好ましい。

10

## 【0055】

後偏向部材  $L_{bv}$  を楔プリズム形状とすることで、後偏向部材  $L_{bv}$  の両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

## 【0056】

図5は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向部材  $L_{bv}$  が曲面を含む一例を示す図である。

## 【0057】

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

20

## 【0058】

後偏向部材  $L_{bv}$  が曲面を含むことで、像面に入射する光束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  $G_b$  を射出した後の各像高の主光線のテレセントリック性及び像面湾曲を改善することが可能となる。さらに、好ましくは、曲面は球面、トーリック面、アナモルフィック面、又は自由曲面でもよい。

## 【0059】

図6は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群  $G_{bv}$  に含まれる回折格子の一例を示す図である。

## 【0060】

また、本実施形態では、後偏向群  $G_{bv}$  は、回折光学素子  $d_a$  を含んでもよい。図6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  $G_{bv}$  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が少なくなり、後群  $G_b$  での収差補正の負担が低減されると共に、光学系をさらに小型化することが可能となる。

30

## 【0061】

図7は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群  $G_{bv}$  に含まれる楔プリズムに回折格子を取り付けた一例を示す図である。

## 【0062】

図7に示すように、楔形プリズム状光学素子  $L_{bv}$  と回折光学素子  $d_a$  は、接合されて用いられてもよい。また、図6に示したように、回折光学素子  $d_a$  は、任意の形状でよい。

40

## 【0063】

楔形プリズム状光学素子  $L_{bv}$  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1の全長を短くすることが可能となる。

## 【0064】

また、本実施形態の光学系1は、図1に示すように、第1前群  $G_{f1}$  及び第2前群  $G_{f2}$  は、物体側から順に、それぞれ平凹負レンズ  $L_{f1_{11}}$ 、 $L_{f2_{11}}$  を含む第1群  $G_{f1_1}$ 、 $G_{f2_1}$  と、正の接合レンズ  $S_{Uf1_{21}}$ 、 $S_{Uf2_{21}}$  を含む第2群  $G_{f1_2}$ 、 $G_{f2_2}$  と、を有することが好ましい。

50

## 【 0 0 6 5 】

図2に示すように、前群Gfを射出した軸上光束L10、L20を収束させるためには、前群Gfへの負担が大きくなる。つまり広画角の物点からの光束を取り込み、収差発生をさせることなく、収束光束にするため、強い正の屈折力と高度な収差補正が前群Gfに要求されることになる。そのためには、図1に示すように、広画角の光束を取り込み、軸外主光線の角度を少なくするための強い負の屈折力を有する前1群Gf1<sub>1</sub>、Gf2<sub>1</sub>と、前1群Gf1<sub>1</sub>、Gf2<sub>1</sub>で発生する倍率色収差を強力に補正する正の接合レンズを含む前2群Gf1<sub>2</sub>、Gf2<sub>2</sub>で構成されることが好ましい。例えば、平凹負レンズLf1<sub>11</sub>、Lf2<sub>11</sub>からなる前1群Gf1<sub>1</sub>、Gf2<sub>1</sub>と、物体側に凹面を向けた接合メニスカスレンズSuf1<sub>21</sub>、Suf2<sub>21</sub>からなる前2群Gf1<sub>2</sub>、Gf2<sub>2</sub>と、を含む構成とすることが好ましい。

10

## 【 0 0 6 6 】

また、本実施形態の光学系1は、第1前群Gf1及び第2前群Gf2は、それぞれ、前2群Gf1<sub>2</sub>、Gf2<sub>2</sub>の後群Gb側に前2群Gf1<sub>2</sub>、Gf2<sub>2</sub>とは異なる正の接合レンズSuf1<sub>31</sub>、Suf2<sub>31</sub>を含む前3群Gf1<sub>3</sub>、Gf2<sub>3</sub>を有することが好ましい。

## 【 0 0 6 7 】

前群Gfの前1前群Gf1<sub>1</sub>、Gf2<sub>1</sub>と前2群Gf1<sub>2</sub>、Gf2<sub>2</sub>で画角を小さく変換された光束は、前群Gfの前3群Gf1<sub>3</sub>、Gf2<sub>3</sub>で収束光束になる。そのため、前群Gfには高い負担がかかるので、少なくとも接合レンズで軸上色収差を補正する前3群Gf1<sub>3</sub>、Gf2<sub>3</sub>を有することが好ましい。さらに、単体の正レンズからなる前4群Gf1<sub>4</sub>、Gf2<sub>4</sub>を有することが好ましい。

20

## 【 0 0 6 8 】

図8は、本発明に係る一実施形態の光学系1の前群Gfのみで形成される像の位置を説明する図である。図9は、本発明に係る一実施形態の光学系1の焦点距離fを説明する図である。

## 【 0 0 6 9 】

本実施形態の光学系1は、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$F A b / f < 50 \quad (1)$$

ただし、

F A bは、前群Gfの最終面から前群Gfを射出する光束が結像する結像位置までの距離、

30

fは、光学系全系の焦点距離、  
である。

## 【 0 0 7 0 】

本実施形態では、図8に示すように、前群Gfの最終面から前群Gfを射出する光束が結像する結像位置I fまでの距離をF A bとする。また、図9に示すように、光学系1の全系の焦点距離をfとする。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光学系1に入射させ、光学系1に入射した軸上マージナル光線L1'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。

40

## 【 0 0 7 1 】

条件式(1)の上限を上回ると、後群Gbから結像位置までの距離が長くなり、光学系1の全長も長くなってしまう。

## 【 0 0 7 2 】

なお、本実施形態の光学系1は、以下の条件式(1')を満足することがさらに好ましい。

$$F A b / f < 10 \quad (1')$$

## 【 0 0 7 3 】

条件式(1')を満足することで、後群Gbから結像位置までの距離がさらに短くなり、光学系1の全長もさらに短くなる。

50

## 【0074】

図10は、本発明に係る一実施形態の光学系1のフィルタFを取り除いた状態の像の位置を説明する図である。

## 【0075】

本実施形態の光学系1は、以下の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$L_b / f < 5 \quad (2)$$

ただし、

$L_b$  は、後群G<sub>b</sub>の最終面から像面Iまでの距離、

$f$  は、光学系1の全系の焦点距離、

である。

10

## 【0076】

条件式(2)の上限を上回ると、後群G<sub>b</sub>から結像位置までの距離が長くなり、光学系1の全長も長くなってしまう。

## 【0077】

なお、本実施形態の光学系1は、以下の条件式(2')を満足することがさらに好ましい。

$$L_b / f < 3 \quad (2')$$

## 【0078】

条件式(2')を満足することで、後群G<sub>b</sub>から結像位置までの距離がさらに短くなり、光学系1の全長もさらに短くなる。

20

## 【0079】

なお、本実施形態の光学系1は、以下の条件式(2'')を満足することがさらに好ましい。

$$L_b / f \leq 2 \quad (2'')$$

## 【0080】

条件式(2'')を満足することで、後群G<sub>b</sub>から結像位置までの距離がさらに短くなり、光学系1の全長もさらに短くなる。

## 【0081】

図11は、本発明に係る他の実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。図12は、瞳分割部材3を示す図である。

30

## 【0082】

本発明にかかる他の実施形態である光学系1は、第1前群G<sub>f1</sub>に配置され第1光束L<sub>1</sub>を遮光する遮蔽部材2と、第2前群G<sub>f2</sub>に配置され第2光束L<sub>2</sub>を偏向する瞳分割部材3と、を備えることが好ましい。

## 【0083】

日常、我々は立体観察をしている。立体観察時の物点距離は、無限遠から30cmであり、ディオプトリーにすると、 $0 \sim 3 \text{ m}^{-1}$ である。しかし、拡大光学系の場合、物点距離は20mm~1mmとなり、同じくディオプトリーにすると、 $50 \sim 1000 \text{ m}^{-1}$ となる。このため、基線長を変えないと立体観察に対応できなくなる。

## 【0084】

40

本実施形態の光学系1は、このように大きく物点距離が変化する立体拡大光学系の基線長を変える機構に関するものである。遠点観察の場合、一般的な2光路の光学系1で立体撮像を行う。また、近点観察の場合には、その2光路のうち第1の光路を通る第1光束L<sub>1</sub>を遮蔽部材2により遮蔽し、他の第2の光路に瞳を分割する瞳分割素子である瞳分割部材3を挿入して瞳分割により第2光束L<sub>2</sub>を偏向第1光束L<sub>1</sub>'及び偏向第2光束L<sub>2</sub>'に分割して立体撮像する。したがって、大きく異なる物点距離に対応して基線長を切り替えることにより、自然な立体感を得ることが可能となる。

## 【0085】

また、本発明に係る他の実施形態である光学系1では、瞳分割部材3は、第2光束L<sub>2</sub>のうち一部を偏向せずに結像させる第1の瞳E<sub>1</sub>と、第2光束L<sub>2</sub>のうち他部を第1の瞳

50

E 1 により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第 2 の瞳 E 2 と、を形成することが好ましい。

【 0 0 8 6 】

瞳を分割する瞳分割部材 3 は、第 1 の瞳 E 1 に対応する平行平板部  $3_1$  と、第 2 の瞳 E 2 に対応する楔状プリズム部  $3_2$  と、を有する。瞳分割部材 3 は、楔状プリズム部  $3_2$  が偏向作用を有し、第 1 の瞳 E 1 を通る偏向第 1 光束  $L 1'$  の結像位置から同一面内の隣接する位置に第 2 の瞳 E 2 を通る偏向第 2 光束  $L 2'$  の結像位置を移動する作用を有する。このような瞳分割部材 3 を設置し、基線長の短い瞳分割をすることにより、遠点を撮像する際に用いた撮像素子をそのまま使用して、近点に対して自然な立体撮像を行うことが可能となる。

10

【 0 0 8 7 】

また、本発明にかかる他の実施形態である光学系 1 では、瞳分割部材 3 は、正の屈折力を有し、瞳分割部材 3 を使用しない場合の遠点観察時の結像位置と、瞳分割部材 3 を使用する場合の近点観察時の結像位置と、が同一又は略同一であることが好ましい。

【 0 0 8 8 】

近点観察時の場合、基線長を短くする必要があるが、同時にピント位置も補正した方が好ましい。そこで、瞳分割部材 3 に弱い正のパワーと与えることにより、近点観察時でのピント移動を補正することが可能となる。

【 0 0 8 9 】

また、本発明にかかる他の実施形態である光学系 1 では、遮蔽部材 2 及び瞳分割部材 3 は、第 1 前群 G f 1 と第 2 前群 G f 2 の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置されることが好ましい。

20

【 0 0 9 0 】

遮蔽部材 2 及び瞳分割部材 3 を光学系 1 内に同時に移動させることが容易になる。

【 0 0 9 1 】

また、図 1 1 に示すように、第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub> の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub> は、第 2 前群 G f 2 側を一部切り欠いた第 1 切り欠き部 4 1<sub>1</sub> が形成され、第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub> の平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub> は、第 1 前群 G f 1 側を一部切り欠いた第 2 切り欠き部 4 1<sub>2</sub> が形成されてもよい。

【 0 0 9 2 】

30

第 1 切り欠き部 4 1<sub>1</sub> と第 2 切り欠き部 4 1<sub>2</sub> は、当接されることが好ましい。第 1 切り欠き部 4 1<sub>1</sub> と第 2 切り欠き部 4 1<sub>2</sub> が当接されることによって、第 1 前群 G f 1 の第 1 光軸と第 2 前群 G f 2 の第 2 光軸との距離を縮めることができ、光学系 1 を小型化することが可能となる。

【 0 0 9 3 】

なお、切り欠き部は、第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub> 及び第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub> に限らず、例えば、第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub> 及び第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub>、第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub> 及び第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub> 等の他の第 1 前群 G f 1 と第 2 前群 G f 2 のレンズに形成し、それぞれ当接させてもよい。

【 0 0 9 4 】

また、第 1 切り欠き部 4 1<sub>1</sub> と第 2 切り欠き部 4 1<sub>2</sub> との間に遮光部材 5 を設置してもよい。遮光部材 5 を設置することにより、基線長を短くしても、第 1 前群 G f 1 と第 2 前群 G f 2 の間でそれぞれのフレアー光が入射してしまうおそれを低減させることが可能となる。

40

【 0 0 9 5 】

さらに好ましくは、瞳分割部材 3 で偏向した場合に発生する像の色ズレは、電子的に補正することも可能である。さらに好ましくは、撮像素子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は電子的に補正することも可能である。

【 0 0 9 6 】

以下に、本実施形態にかかる光学系 1 の実施例 1 ~ 1 0 を説明する。なお、実施例 1 ~ 1 0 の数値データは、後述する。

50

## 【0097】

図13は、実施例1の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図14は、実施例1の光学系1の横収差図である。

## 【0098】

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1~10の横収差図に関して同様である。

## 【0099】

実施例1の光学系1は、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Cf1を有する第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を有する第2前群Gf2を有する前群Gfと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、を備える。

10

## 【0100】

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。

## 【0101】

第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1<sub>11</sub>を有する第1前1群Gf1<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf1<sub>21</sub>と両凸正レンズLf1<sub>22</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>を有する第1前2群Gf1<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1<sub>31</sub>と両凸正レンズLf1<sub>32</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>を有する第1前3群Gf1<sub>3</sub>と、第1絞りS1と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf1<sub>41</sub>を有する第1前4群Gf1<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

20

## 【0102】

第2前群Gf2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2<sub>11</sub>を有する第2前1群Gf2<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf2<sub>21</sub>と両凸正レンズLf2<sub>22</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>を有する第2前2群Gf2<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2<sub>31</sub>と両凸正レンズLf2<sub>32</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>を有する第2前3群Gf2<sub>3</sub>と、第2絞りS2と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf2<sub>41</sub>を有する第2前4群Gf2<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

30

## 【0103】

後群Gbは、両凸正レンズLb<sub>1</sub>と両凹負レンズLb<sub>2</sub>の接合レンズSUb<sub>11</sub>を有する後1群Gb1と、両凸正レンズLb<sub>3</sub>を有する後2群Gb2と、を備える。

## 【0104】

また、像面Iの手前には、フィルタを配置する。

## 【0105】

図示しない第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第1前1群Gf1<sub>1</sub>の平凹負レンズLf1<sub>11</sub>、第1前2群Gf1<sub>2</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>、第1前3群Gf1<sub>3</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>、第1絞りS1、及び、第1前4群Gf1<sub>4</sub>の正メニスカスレンズLf1<sub>41</sub>を通過して、第1前群Gf1を射出し、その後、後群Gbに入射する。

40

## 【0106】

図示しない第2物体面から第2前群Gf2に入射した第2光束L2は、第2前1群Gf2<sub>1</sub>の平凹負レンズLf2<sub>11</sub>、第2前2群Gf2<sub>2</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>、第2前3群Gf2<sub>3</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>、第2絞りS2、及び、第2前4群Gf2<sub>4</sub>の正メニスカスレンズLf2<sub>41</sub>を通過して、第2前群Gf2を射出し、その後、後群Gbに入射する。

## 【0107】

後群Gbに入射した第1光束L1及び第2光束L2は、それぞれ後1群Gb1の接合レンズSUb<sub>11</sub>、後2群Gb2の両凸正レンズLb<sub>3</sub>、及び、フィルタFを通過して像面に入射する。

## 【0108】

50

図15は、実施例2の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図16は、実施例2の光学系1の横収差図である。

【0109】

実施例2の光学系1は、図15に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸Cf1を有する第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を有する第2前群Gf2を有する前群Gfと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、を備える。

【0110】

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。

10

【0111】

第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1<sub>11</sub>を有する第1前1群Gf1<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf1<sub>21</sub>と両凸正レンズLf1<sub>22</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>を有する第1前2群Gf1<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1<sub>31</sub>と両凸正レンズLf1<sub>32</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>を有する第1前3群Gf1<sub>3</sub>と、第1絞りS1と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf1<sub>41</sub>を有する第1前4群Gf1<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

【0112】

第2前群Gf2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2<sub>11</sub>を有する第2前1群Gf2<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf2<sub>21</sub>と両凸正レンズLf2<sub>22</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>を有する第2前2群Gf2<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2<sub>31</sub>と両凸正レンズLf2<sub>32</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>を有する第2前3群Gf2<sub>3</sub>と、第2絞りS2と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf2<sub>41</sub>を有する第2前4群Gf2<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

20

【0113】

後群Gbは、両凸正レンズLb<sub>1</sub>と両凹負レンズLb<sub>2</sub>の接合レンズSUb<sub>1</sub>を有する後1群Gb1と、両凸正レンズLb<sub>3</sub>を有する後2群Gb2と、を備える。

【0114】

像面Iの手前には、フィルタを配置する。

【0115】

第1前1群Gf1<sub>1</sub>の平凹負レンズLf1<sub>11</sub>は、第2前群Gf2側を一部切り欠いた第1前1群第1切り欠き部4<sub>11</sub>が形成され、第2前1群Gf2<sub>1</sub>の平凹負レンズLf2<sub>11</sub>は、第1前群Gf1側を一部切り欠いた第2前1群第2切り欠き部4<sub>12</sub>が形成されている。

30

【0116】

また、第1前2群Gf1<sub>2</sub>の両凹負レンズLf1<sub>21</sub>と両凸正レンズLf1<sub>22</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>は、第2前群Gf2側を一部切り欠いた第1前2群第1切り欠き部4<sub>21</sub>が形成され、第2前2群Gf2<sub>2</sub>の両凹負レンズLf2<sub>21</sub>と両凸正レンズLf2<sub>22</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>は、第1前群Gf1側を一部切り欠いた第2前2群第2切り欠き部4<sub>22</sub>が形成されている。

【0117】

なお、第1前群Gf1と第2前群Gf2の当接するそれぞれの切り欠き部の間に遮光部材5を設置してもよい。

40

【0118】

図示しない第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第1前1群Gf1<sub>1</sub>の平凹負レンズLf1<sub>11</sub>、第1前2群Gf1<sub>2</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>、第1前3群Gf1<sub>3</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>、第1絞りS1、及び、第1前4群Gf1<sub>4</sub>の正メニスカスレンズLf1<sub>41</sub>を通過して、第1前群Gf1を射出し、その後、後群Gbに入射する。

【0119】

図示しない第2物体面から第2前群Gf2に入射した第2光束L2は、第2前1群Gf2<sub>1</sub>の平凹負レンズLf2<sub>11</sub>、第2前2群Gf2<sub>2</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>、第2前3群G

50

$f_{23}$ の接合レンズ $S U f_{231}$ 、第2絞り $S_2$ 、及び、第2前4群 $G f_{24}$ の正メニスカスレンズ $L f_{241}$ 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。

【0120】

後群 $G_b$ に入射した第1光束 $L_1$ 及び第2光束 $L_2$ は、それぞれ後1群 $G_{b1}$ の接合レンズ $S U b_{11}$ 、後2群 $G_{b2}$ の両凸正レンズ $L_{b3}$ 、及び、フィルタ $F$ を通過して像面に入射する。

【0121】

図17は、実施例3の光学系1の中心軸 $C$ に沿った断面図である。図18は、実施例3の光学系1の横収差図である。

【0122】

実施例3の光学系1は、図17に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸 $C f_1$ を有する第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 $C f_2$ を有する第2前群 $G f_2$ を有する前群 $G f$ と、単一の後群中心軸 $C_b$ を有する後群 $G_b$ と、を備える。

【0123】

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。

【0124】

第1前群 $G f_1$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f_{111}$ を有する第1前1群 $G f_{11}$ と、両凹負レンズ $L f_{121}$ と両凸正レンズ $L f_{122}$ の接合レンズ $S U f_{121}$ を有する第1前2群 $G f_{12}$ と、第1絞り $S_1$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f_{131}$ と両凸正レンズ $L f_{132}$ の接合レンズ $S U f_{131}$ を有する第1前3群 $G f_{13}$ と、を備えることが好ましい。

【0125】

第2前群 $G f_2$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f_{211}$ を有する第2前1群 $G f_{21}$ と、両凹負レンズ $L f_{221}$ と両凸正レンズ $L f_{222}$ の接合レンズ $S U f_{221}$ を有する第2前2群 $G f_{22}$ と、第2絞り $S_2$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f_{231}$ と両凸正レンズ $L f_{232}$ の接合レンズ $S U f_{231}$ を有する第2前3群 $G f_{23}$ と、を備えることが好ましい。

【0126】

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 $S U b_{11}$ を有する後1群 $G_{b1}$ と、両凸正レンズ $L_{b3}$ を有する後2群 $G_{b2}$ と、を備える。

【0127】

また、像面 $I$ の手前には、フィルタを配置する。

【0128】

第1前1群 $G f_{11}$ の平凹負レンズ $L f_{111}$ は、第2前群 $G f_2$ 側を一部切り欠いた第1前1群第1切り欠き部 $4_{11}$ が形成され、第2前1群 $G f_{21}$ の平凹負レンズ $L f_{211}$ は、第1前群 $G f_1$ 側を一部切り欠いた第2前1群第2切り欠き部 $4_{12}$ が形成されている。

【0129】

なお、第1前群 $G f_1$ と第2前群 $G f_2$ の当接する切り欠き部の間に遮光部材を設置してもよい。

【0130】

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、第1前1群 $G f_{11}$ の平凹負レンズ $L f_{111}$ 、第1前2群 $G f_{12}$ の接合レンズ $S U f_{121}$ 、第1絞り $S_1$ 、及び、第1前3群 $G f_{13}$ の接合レンズ $S U f_{131}$ を通過して、第1前群 $G f_1$ を射出し、その後、後群 $G_b$ に入射する。

【0131】

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、第2前1群 $G f_{21}$ の平凹負レンズ $L f_{211}$ 、第2前2群 $G f_{22}$ の接合レンズ $S U f_{221}$ 、第2絞り $S_2$ 、及び、第2前3群 $G f_{23}$ の接合レンズ $S U f_{231}$ を通過して、第2前群 $G f_2$ を射出

10

20

30

40

50



し、その後、後群 G b に入射する。

【 0 1 3 2 】

後群 G b に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、それぞれ後 1 群 G b 1 の接合レンズ S U b 1<sub>1</sub>、後 2 群 G b 2 の両凸正レンズ L b<sub>3</sub>、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

【 0 1 3 3 】

図 19 は、実施例 4 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 20 は、実施例 4 の光学系 1 の横収差図である。

【 0 1 3 4 】

実施例 4 の光学系 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 を有する第 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 を有する第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f と、単一の後群中心軸 C b を有する後群 G b と、を備える。

10

【 0 1 3 5 】

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。

【 0 1 3 6 】

第 1 前群 G f 1 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub> を有する第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub> と、両凹負レンズ L f 1<sub>21</sub> と両凸正レンズ L f 1<sub>22</sub> の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub> を有する第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub> と、第 1 絞り S 1 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1<sub>31</sub> と両凸正レンズ L f 1<sub>32</sub> の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub> を有する第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub> と、を備えることが好ましい。

20

【 0 1 3 7 】

第 2 前群 G f 2 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub> を有する第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub> と、両凹負レンズ L f 2<sub>21</sub> と両凸正レンズ L f 2<sub>22</sub> の接合レンズ S U f 2<sub>21</sub> を有する第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub> と、第 2 絞り S 2 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2<sub>31</sub> と両凸正レンズ L f 2<sub>32</sub> の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub> を有する第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub> と、を備えることが好ましい。

【 0 1 3 8 】

後群 G b は、両凸正レンズ L b<sub>1</sub> と両凹負レンズ L b<sub>2</sub> の接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> を有する後 1 群 G b 1 と、両凸正レンズ L b<sub>3</sub> を有する後 2 群 G b 2 と、を備える。

30

【 0 1 3 9 】

また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

【 0 1 4 0 】

第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub> の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub> は、第 2 前群 G f 2 側を一部切り欠いた第 1 前 1 群第 1 切り欠き部 4<sub>11</sub> が形成され、第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub> の平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub> は、第 1 前群 G f 1 側を一部切り欠いた第 2 前 1 群第 2 切り欠き部 4<sub>12</sub> が形成されている。

【 0 1 4 1 】

また、第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub> の物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1<sub>31</sub> と両凸正レンズ L f 1<sub>32</sub> の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub> は、第 2 前群 G f 2 側を一部切り欠いた第 1 前 3 群第 1 切り欠き部 4<sub>31</sub> が形成され、第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub> の物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2<sub>31</sub> と両凸正レンズ L f 2<sub>32</sub> の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub> は、第 1 前群 G f 1 側を一部切り欠いた第 2 前 3 群第 2 切り欠き部 4<sub>32</sub> が形成されている。

40

【 0 1 4 2 】

なお、第 1 前群 G f 1 と第 3 前群 G f 3 の当接するそれぞれの切り欠き部の間に遮光部材 5 を設置してもよい。

【 0 1 4 3 】

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、第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub> の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>、第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub> の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub>、第 1 絞り S 1、及び、第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub> の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub> を通過して、第 1 前群 G f 1 を射出

50

し、その後、後群 G b に入射する。

【 0 1 4 4 】

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、第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub>、第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>21</sub>、第 2 絞り S 2、及び、第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub>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。

【 0 1 4 5 】

後群 G b に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、それぞれ後 1 群 G b 1 の接合レンズ S U b 1<sub>1</sub>、後 2 群 G b 2 の両凸正レンズ L b<sub>3</sub>、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

10

【 0 1 4 6 】

図 2 1 は、実施例 5 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 2 2 は、実施例 5 の光学系 1 の横収差図である。

【 0 1 4 7 】

実施例 5 の光学系 1 は、図 2 1 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 を有する第 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 を有する第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f と、単一の後群中心軸 C b を有する後群 G b と、を備える。

【 0 1 4 8 】

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。

20

【 0 1 4 9 】

第 1 前群 G f 1 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>を有する第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub>と、両凹負レンズ L f 1<sub>21</sub>と両凸正レンズ L f 1<sub>22</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub>を有する第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub>と、第 1 絞り S 1 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1<sub>31</sub>と両凸正レンズ L f 1<sub>32</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub>を有する第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub>と、を備えることが好ましい。

【 0 1 5 0 】

第 2 前群 G f 2 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub>を有する第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub>と、両凹負レンズ L f 2<sub>21</sub>と両凸正レンズ L f 2<sub>22</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>21</sub>を有する第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub>と、第 2 絞り S 2 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2<sub>31</sub>と両凸正レンズ L f 2<sub>32</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub>を有する第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub>と、を備えることが好ましい。

30

【 0 1 5 1 】

後群 G b は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b<sub>1</sub>を有する後 1 群 G b 1 と、両凸正レンズ L b<sub>2</sub>と両凹負レンズ L b<sub>3</sub>の接合レンズ S U b 2<sub>1</sub>を有する後 2 群 G b 2 と、を備える。

【 0 1 5 2 】

また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

【 0 1 5 3 】

第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>は、第 2 前群 G f 2 側を一部切り欠いた第 1 前 1 群第 1 切り欠き部 4<sub>11</sub>が形成され、第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub>は、第 1 前群 G f 1 側を一部切り欠いた第 2 前 1 群第 2 切り欠き部 4<sub>12</sub>が形成されている。

40

【 0 1 5 4 】

なお、第 1 前群 G f 1 と第 3 前群 G f 3 の当接するそれぞれの切り欠き部の間に遮光部材を設置してもよい。

【 0 1 5 5 】

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、第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>、第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub>、第 1 絞り S 1、及び、第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub>を通過して、第 1 前群 G f 1 を射出

50

し、その後、後群 G b に入射する。

【 0 1 5 6 】

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、第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub>、第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>21</sub>、第 2 絞り S 2、及び、第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub>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。

【 0 1 5 7 】

後群 G b に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、それぞれ後 1 群 G b 1 の正メニスカスレンズ L b<sub>1</sub>、後 2 群 G b 2 の接合レンズ S U b 2<sub>1</sub>、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

10

【 0 1 5 8 】

図 2 3 は、実施例 6 の遠点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 2 4 は、実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 2 5 は、実施例 6 の遠点観察時の光学系 1 の横収差図である。図 2 6 は、実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の第 1 の瞳 E 1 を通過する偏向第 1 光束 L 1' に対する横収差図である。図 2 7 は、実施例 6 の近点観察時の光学系 1 の第 2 の瞳 E 2 を通過する偏向第 2 光束 L 2' に対する横収差図である。

【 0 1 5 9 】

実施例 6 の光学系 1 は、図 2 3 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 を有する第 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 を有する第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f 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

【 0 1 6 0 】

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。

【 0 1 6 1 】

第 1 前群 G f 1 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>を有する第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub>と、両凹負レンズ L f 1<sub>21</sub>と両凸正レンズ L f 1<sub>22</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub>を有する第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1<sub>31</sub>と両凸正レンズ L f 1<sub>32</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub>を有する第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub>と、第 1 絞り S 1 と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1<sub>41</sub>を有する第 1 前 4 群 G f 1<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

30

【 0 1 6 2 】

第 2 前群 G f 2 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 2<sub>11</sub>を有する第 2 前 1 群 G f 2<sub>1</sub>と、両凹負レンズ L f 2<sub>21</sub>と両凸正レンズ L f 2<sub>22</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>21</sub>を有する第 2 前 2 群 G f 2<sub>2</sub>と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2<sub>31</sub>と両凸正レンズ L f 2<sub>32</sub>の接合レンズ S U f 2<sub>31</sub>を有する第 2 前 3 群 G f 2<sub>3</sub>と、第 2 絞り S 2 と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2<sub>41</sub>を有する第 2 前 4 群 G f 2<sub>4</sub>と、を備えることが好ましい。

【 0 1 6 3 】

後群 G b は、両凸正レンズ L b<sub>1</sub>と両凹負レンズ L b<sub>2</sub>の接合レンズ S U b 1<sub>1</sub>を有する後 1 群 G b 1 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b<sub>3</sub>を有する後 2 群 G b 2 と、を備える。

40

【 0 1 6 4 】

また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

【 0 1 6 5 】

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、第 1 前 1 群 G f 1<sub>1</sub>の平凹負レンズ L f 1<sub>11</sub>、第 1 前 2 群 G f 1<sub>2</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>21</sub>、第 1 前 3 群 G f 1<sub>3</sub>の接合レンズ S U f 1<sub>31</sub>、第 1 絞り S 1、及び、第 1 前 4 群 G f 1<sub>4</sub>の負メニスカスレンズ L f 1<sub>41</sub>を通過して、第 1 前群 G f 1 を射出し、その後、後群 G b に入射する。

50

## 【 0 1 6 6 】

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、第 2 前 1 群  $G f 2_1$  の平凹負レンズ  $L f 2_{11}$ 、第 2 前 2 群  $G f 2_2$  の接合レンズ  $S U f 2_{21}$ 、第 2 前 3 群  $G f 2_3$  の接合レンズ  $S U f 2_{31}$ 、第 2 絞り  $S 2$ 、及び、第 2 前 4 群  $G f 2_4$  の負メニスカスレンズ  $L f 2_{41}$  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。

## 【 0 1 6 7 】

後群  $G b$  に入射した第 1 光束  $L 1$  及び第 2 光束  $L 2$  は、それぞれ後 1 群  $G b 1$  の接合レンズ  $S U b 1_1$ 、後 2 群  $G b 2$  の正メニスカスレンズ  $L b_3$ 、及び、フィルタ  $F$  を通過して像面に入射する。

## 【 0 1 6 8 】

実施例 6 の光学系 1 は、図 2 4 に示すように、遮蔽部材 2 及び瞳分割部材 3 を設置して、近点観察を行うことが可能である。

## 【 0 1 6 9 】

遮蔽部材 2 は、図 2 3 に示した第 1 光束  $L 1$  を遮蔽するものである。図 2 4 に示した例では、遮蔽部材 2 を後群  $G b$  の後 1 群  $G b 1$  と後 2 群  $G b 2$  の間に設置したが、遮蔽部材 2 は、第 1 前群  $G f 1$  のいずれかのレンズ間に設置してもよい。また、遮蔽部材 2 は、前群  $G f$  と後群  $G b$  の間に設置してもよい。

## 【 0 1 7 0 】

瞳分割部材 3 は、図 2 3 に示した第 2 光束  $L 2$  のうち一部を偏向せずに結像させる第 1 の瞳  $E 1$  と、第 2 光束  $L 2$  のうち他部を第 1 の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第 2 の瞳  $E 2$  と、を形成する。

## 【 0 1 7 1 】

瞳を分割する瞳分割部材 3 は、第 1 の瞳  $E 1$  に対応する平行平板部  $3_1$  と、第 2 の瞳  $E 2$  に対応する楔状プリズム部  $3_2$  と、を有する。瞳分割部材 3 は、楔状プリズム部  $3_2$  が偏向作用を有し、第 1 の瞳  $E 1$  を通る偏向第 1 光束  $L 1'$  の結像位置から同一面内の隣接する位置に第 2 の瞳  $E 2$  を通る偏向第 2 光束  $L 2'$  の結像位置を移動する作用を有する。

## 【 0 1 7 2 】

図 2 8 は、実施例 7 の遠点観察時の光学系 1 の中心軸  $C$  に沿った断面図である。図 2 9 は、実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の中心軸  $C$  に沿った断面図である。図 3 0 は、実施例 7 の遠点観察時の光学系 1 の横収差図である。図 3 1 は、実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の第 1 の瞳  $E 1$  を通過する偏向第 1 光束  $L 1'$  に対する横収差図である。図 3 2 は、実施例 7 の近点観察時の光学系 1 の第 2 の瞳  $E 2$  を通過する偏向第 2 光束  $L 2'$  に対する横収差図である。

## 【 0 1 7 3 】

実施例 7 の光学系 1 は、図 2 8 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸  $C f 1$  を有する第 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  $C f 2$  を有する第 2 前群  $G f 2$  を有する前群  $G f$  と、単一の後群中心軸  $C b$  を有する後群  $G b$  と、を備える。

## 【 0 1 7 4 】

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。

## 【 0 1 7 5 】

第 1 前群  $G f 1$  は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ  $L f 1_{11}$  を有する第 1 前 1 群  $G f 1_1$  と、両凹負レンズ  $L f 1_{21}$  と両凸正レンズ  $L f 1_{22}$  の接合レンズ  $S U f 1_{21}$  を有する第 1 前 2 群  $G f 1_2$  と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ  $L f 1_{31}$  と両凸正レンズ  $L f 1_{32}$  の接合レンズ  $S U f 1_{31}$  を有する第 1 前 3 群  $G f 1_3$  と、第 1 絞り  $S 1$  と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ  $L f 1_{41}$  を有する第 1 前 4 群  $G f 1_4$  と、を備えることが好ましい。

## 【 0 1 7 6 】

第 2 前群  $G f 2$  は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ  $L f 2_{11}$  を有する第 2 前 1 群  $G$

10

20

30

40

50

$f_{2_1}$ と、両凹負レンズ $L_{f_{2_{21}}}$ と両凸正レンズ $L_{f_{2_{22}}}$ の接合レンズ $S U_{f_{2_{21}}}$ を有する第2前2群 $G_{f_{2_2}}$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L_{f_{2_{31}}}$ と両凸正レンズ $L_{f_{2_{32}}}$ の接合レンズ $S U_{f_{2_{31}}}$ を有する第2前3群 $G_{f_{2_3}}$ と、第2絞り $S_2$ と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L_{f_{2_{41}}}$ を有する第2前4群 $G_{f_{2_4}}$ と、を備えることが好ましい。

【0177】

後群 $G_b$ は、両凸正レンズ $L_{b_1}$ と両凹負レンズ $L_{b_2}$ の接合レンズ $S U_{b_1}$ を有する後1群 $G_{b_1}$ と、両凸正レンズ $L_{b_3}$ を有する後2群 $G_{b_2}$ と、を備える。

【0178】

また、像面 $I$ の手前には、フィルタを配置する。

10

【0179】

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、第1前1群 $G_{f_{1_1}}$ の平凹負レンズ $L_{f_{1_{11}}}$ 、第1前2群 $G_{f_{1_2}}$ の接合レンズ $S U_{f_{1_{21}}}$ 、第1前3群 $G_{f_{1_3}}$ の接合レンズ $S U_{f_{1_{31}}}$ 、第1絞り $S_1$ 、及び、第1前4群 $G_{f_{1_4}}$ の負メニスカスレンズ $L_{f_{1_{41}}}$ を通過して、第1前群 $G_{f_1}$ を射出し、その後、後群 $G_b$ に入射する。

【0180】

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、第2前1群 $G_{f_{2_1}}$ の平凹負レンズ $L_{f_{2_{11}}}$ 、第2前2群 $G_{f_{2_2}}$ の接合レンズ $S U_{f_{2_{21}}}$ 、第2前3群 $G_{f_{2_3}}$ の接合レンズ $S U_{f_{2_{31}}}$ 、第2絞り $S_2$ 、及び、第2前4群 $G_{f_{2_4}}$ の負メニスカスレンズ $L_{f_{2_{41}}}$ 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。

20

【0181】

後群 $G_b$ に入射した第1光束 $L_1$ 及び第2光束 $L_2$ は、それぞれ後1群 $G_{b_1}$ の接合レンズ $S U_{b_1}$ 、後2群 $G_{b_2}$ の両凸正レンズ $L_{b_3}$ 、及び、フィルタ $F$ を通過して像面に入射する。

【0182】

実施例7の光学系1は、図29に示すように、遮蔽部材2及び瞳分割部材3を設置して、近点観察を行うことが可能である。

【0183】

遮蔽部材2は、図28に示した第1光束 $L_1$ を遮蔽するものである。図29に示した例では、遮蔽部材2を第1前3群 $G_{f_{1_3}}$ と第1前4群 $G_{f_{1_4}}$ の間の第1絞り $S_1$ の近傍に設置した。

30

【0184】

瞳分割部材3は、図28に示した第2光束 $L_2$ のうち一部を偏向せずに結像させる第1の瞳 $E_1$ と、第2光束 $L_2$ のうち他部を第1の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第2の瞳 $E_2$ と、を形成する。

【0185】

瞳を分割する瞳分割部材3は、第1の瞳 $E_1$ に対応する平行平板部 $3_1$ と、第2の瞳 $E_2$ に対応する楔状プリズム部 $3_2$ と、を有する。瞳分割部材3は、楔状プリズム部 $3_2$ が偏向作用を有し、第1の瞳 $E_1$ を通る偏向第1光束 $L_1'$ の結像位置から同一面内の隣接する位置に第2の瞳 $E_2$ を通る偏向第2光束 $L_2'$ の結像位置を移動する作用を有する。

40

【0186】

実施例7の光学系1では、遮光部材2は、第1前3群 $G_{f_{1_3}}$ と第1前4群 $G_{f_{1_4}}$ の間の第1絞り $S_1$ 近傍に配置され、瞳分割部材3は、第2前3群 $G_{f_{2_3}}$ と第2前4群 $G_{f_{2_4}}$ の間の第2絞り $S_2$ 近傍に配置される。すなわち、遮光部材2及び瞳分割部材3は、第1前群 $G_{f_1}$ と第2前群 $G_{f_2}$ の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される。

【0187】

図33は、実施例8の光学系1の第1前群中心軸 $C_{f_1}$ 及び第2前群中心軸 $C_{f_2}$ を含む断面図である。図34は、図33に直交する方向から見た図である。図35及び図36は、実施例8の光学系1の横収差図である。

【0188】

50

実施例 8 の光学系 1 は、図 3 3 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸  $C f 1$  を有する第 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  $C f 2$  を有する第 2 前群  $G f 2$  を有する前群  $G f$  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  $I$  の間に配置される後偏向群  $G b v$  と、を備える。

【0189】

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。

【0190】

第 1 前群  $G f 1$  は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ  $L f 1_{11}$  を有する第 1 前 1 群  $G f 1_1$  と、両凹負レンズ  $L f 1_{21}$  と両凸正レンズ  $L f 1_{22}$  の接合レンズ  $S U f 1_{21}$  を有する第 1 前 2 群  $G f 1_2$  と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ  $L f 1_{31}$  と両凸正レンズ  $L f 1_{32}$  の接合レンズ  $S U f 1_{31}$  を有する第 1 前 3 群  $G f 1_3$  と、第 1 絞り  $S 1$  と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズ  $L f 1_{11}$  の像側の面は、非球面である。

【0191】

第 2 前群  $G f 2$  は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ  $L f 2_{11}$  を有する第 2 前 1 群  $G f 2_1$  と、両凹負レンズ  $L f 2_{21}$  と両凸正レンズ  $L f 2_{22}$  の接合レンズ  $S U f 2_{21}$  を有する第 2 前 2 群  $G f 2_2$  と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ  $L f 2_{31}$  と両凸正レンズ  $L f 2_{32}$  の接合レンズ  $S U f 2_{31}$  を有する第 2 前 3 群  $G f 2_3$  と、第 2 絞り  $S 2$  と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズ  $L f 2_{11}$  の像側の面は、非球面である。

【0192】

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、を有する後 1 群  $G b 1$  を備えることが好ましい。

【0193】

後偏向群  $G b v$  は、後群  $G b$  と像面  $I$  の間に配置され、第 1 光束  $L 1$  及び第 2 光束  $L 2$  を偏向する後偏向部材  $L b v$  を有する。後偏向部材  $L b v$  は、後群  $G b$  を射出した後の第 1 光束  $L 1$  及び第 2 光束  $L 2$  の収束を緩和し、第 1 光束  $L 1$  及び第 2 光束  $L 2$  の像面  $I$  への入射角の絶対値が後偏向群  $G b v$  への入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

【0194】

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、第 1 前 1 群  $G f 1_1$  の平凹負レンズ  $L f 1_{11}$ 、第 1 前 2 群  $G f 1_2$  の接合レンズ  $S U f 1_{21}$ 、第 1 前 3 群  $G f 1_3$  の接合レンズ  $S U f 1_{31}$ 、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、後群  $G b$  に入射する。

【0195】

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、第 2 前 1 群  $G f 2_1$  の平凹負レンズ  $L f 2_{11}$ 、第 2 前 2 群  $G f 2_2$  の接合レンズ  $S U f 2_{21}$ 、第 2 前 3 群  $G f 2_3$  の接合レンズ  $S U f 2_{31}$ 、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、後群  $G b$  に入射する。

【0196】

後群  $G b$  に入射した第 1 光束  $L 1$  及び第 2 光束  $L 2$  は、それぞれ後 1 群  $G b 1$  の両凸正レンズ  $L b_1$ 、両凹負レンズ  $L b_2$ 、及び、後偏向群  $G b v$  の後偏向部材  $L b v$  を通過して像面に入射する。

【0197】

実施例 8 の光学系 1 では、図 3 3 に示すように、後偏向群  $G b v$  は、後偏向部材  $L b v$  を含み、後偏向部材  $L b v$  は、後群中心軸  $C b$  に対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸  $C b$  方向の厚さが厚い光学素子である。

【0198】

屈折作用を有する後偏向部材  $L b v$  によって後偏向群  $G b v$  を構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群  $G b v$  を形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【0199】

また、実施例8では、後偏向部材Lbvは、楔プリズム形状の光学素子である。

## 【0200】

後偏向部材Lbvを楔プリズム形状とすることで、後偏向部材Lbvの両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

## 【0201】

図37は、実施例9の光学系1の第1前群中心軸Cf1及び第2前群中心軸Cf2を含む断面図である。図38は、図37に直交する方向から見た図である。図39及び図40は、実施例9の光学系1の横収差図である。

## 【0202】

実施例9の光学系1は、図37に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸Cf1を有する第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を有する第2前群Gf2を有する前群Gfと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、後群Gbと像面Iの間に配置される後偏向群Gbvと、を備える。

## 【0203】

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。

## 【0204】

第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1<sub>11</sub>を有する第1前1群Gf1<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf1<sub>21</sub>と両凸正レンズLf1<sub>22</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>を有する第1前2群Gf1<sub>2</sub>と、両凹負レンズLf1<sub>31</sub>と両凸正レンズLf1<sub>32</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>を有する第1前3群Gf1<sub>3</sub>と、両凸正レンズLf1<sub>41</sub>を有する第1前4群Gf1<sub>4</sub>と、第1絞りS1と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズLf1<sub>11</sub>の像側の面は、非球面である。

## 【0205】

第2前群Gf2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2<sub>11</sub>を有する第2前1群Gf2<sub>1</sub>と、両凹負レンズLf2<sub>21</sub>と両凸正レンズLf2<sub>22</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>を有する第2前2群Gf2<sub>2</sub>と、両凹負レンズLf2<sub>31</sub>と両凸正レンズLf2<sub>32</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>を有する第2前3群Gf2<sub>3</sub>と、両凸正レンズLf2<sub>41</sub>を有する第2前4群Gf2<sub>4</sub>と、第2絞りS2と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズLf2<sub>11</sub>の像側の面は、非球面である。

## 【0206】

後群Gbは、両凸正レンズLb<sub>1</sub>と両凹負レンズLb<sub>2</sub>の接合レンズSUb1<sub>11</sub>を有する後1群Gb1を備えることが好ましい。

## 【0207】

後偏向群Gbvは、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を偏向する後偏向部材Lbvを有する。後偏向部材Lbvは、後群Gbを射出した後の第1光束L1及び第2光束L2の収束を緩和し、第1光束L1及び第2光束L2の像面Iへの入射角の絶対値が後偏向群Gbvへの入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

## 【0208】

第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第1前1群Gf1<sub>1</sub>の平凹負レンズLf1<sub>11</sub>、第1前2群Gf1<sub>2</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>、第1前3群Gf1<sub>3</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>、及び、第1絞りS1を通過して、第1前群Gf1を射出し、その後、後群Gbに入射する。

## 【0209】

第2物体面から第2前群Gf2に入射した第2光束L2は、第2前1群Gf2<sub>1</sub>の平凹負レンズLf2<sub>11</sub>、第2前2群Gf2<sub>2</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>、第2前3群Gf2<sub>3</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>、及び、第2絞りS2を通過して、第2前群Gf2を射出し、その後、後群Gbに入射する。

10

20

30

40

50

## 【0210】

後群G<sub>b</sub>に入射した第1光束L<sub>1</sub>及び第2光束L<sub>2</sub>は、それぞれ後1群G<sub>b1</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>b<sub>11</sub>、及び、後偏向群G<sub>bv</sub>の後偏向部材L<sub>bv</sub>を通過して像面に入射する。

## 【0211】

実施例9の光学系1では、図37に示すように、後偏向群G<sub>bv</sub>は、後偏向部材L<sub>bv</sub>を含み、後偏向部材L<sub>bv</sub>は、後群中心軸C<sub>b</sub>に対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸C<sub>b</sub>方向の厚さが厚い光学素子である。

## 【0212】

屈折作用を有する後偏向部材L<sub>bv</sub>によって後偏向群G<sub>bv</sub>を構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群G<sub>bv</sub>を形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

10

## 【0213】

また、実施例9では、後偏向部材L<sub>bv</sub>は、楔プリズム形状の光学素子である。

## 【0214】

後偏向部材L<sub>bv</sub>を楔プリズム形状とすることで、後偏向部材L<sub>bv</sub>の両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

## 【0215】

図41は、実施例10の光学系1の第1前群中心軸C<sub>f1</sub>及び第2前群中心軸C<sub>f2</sub>を含む断面図である。図42は、図41に直交する方向から見た図である。図43及び図44は、実施例10の光学系1の横収差図である。

20

## 【0216】

実施例10の光学系1は、図41に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C<sub>f1</sub>を有する第1前群G<sub>f1</sub>、及び、第1前群中心軸C<sub>f1</sub>と並列に配置された第2前群中心軸C<sub>f2</sub>を有する第2前群G<sub>f2</sub>を有する前群G<sub>f</sub>と、単一の後群中心軸C<sub>b</sub>を有する後群G<sub>b</sub>と、後群G<sub>b</sub>と像面Iの間に配置される後偏向群G<sub>bv</sub>と、を備える。

## 【0217】

第1前群G<sub>f1</sub>及び第2前群G<sub>f2</sub>を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

## 【0218】

第1前群G<sub>f1</sub>は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL<sub>f11</sub>を有する第1前1群G<sub>f11</sub>と、両凹負レンズL<sub>f121</sub>と両凸正レンズL<sub>f122</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>f<sub>121</sub>を有する第1前2群G<sub>f12</sub>と、両凹負レンズL<sub>f131</sub>と両凸正レンズL<sub>f132</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>f<sub>131</sub>を有する第1前3群G<sub>f13</sub>と、両凸正レンズL<sub>f141</sub>を有する第1前4群G<sub>f14</sub>と、第1絞りS<sub>1</sub>と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL<sub>f11</sub>の像側の面は、非球面である。

30

## 【0219】

第2前群G<sub>f2</sub>は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL<sub>f21</sub>を有する第2前1群G<sub>f21</sub>と、両凹負レンズL<sub>f221</sub>と両凸正レンズL<sub>f222</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>f<sub>221</sub>を有する第2前2群G<sub>f22</sub>と、両凹負レンズL<sub>f231</sub>と両凸正レンズL<sub>f232</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>f<sub>231</sub>を有する第2前3群G<sub>f23</sub>と、両凸正レンズL<sub>f241</sub>を有する第2前4群G<sub>f24</sub>と、第2絞りS<sub>2</sub>と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL<sub>f21</sub>の像側の面は、非球面である。

40

## 【0220】

後群G<sub>b</sub>は、両凸正レンズL<sub>b1</sub>と像面I側に凸面を向けた負メニスカスレンズL<sub>b2</sub>の接合レンズS<sub>U</sub>b<sub>11</sub>を有する後1群G<sub>b1</sub>を備えることが好ましい。

## 【0221】

後偏向群G<sub>bv</sub>は、後群G<sub>b</sub>と像面Iの間に配置され、第1光束L<sub>1</sub>及び第2光束L<sub>2</sub>を偏向する後偏向部材L<sub>bv</sub>を有する。後偏向部材L<sub>bv</sub>は、後群G<sub>b</sub>を射出した後の第1光束L<sub>1</sub>及び第2光束L<sub>2</sub>の収束を緩和し、第1光束L<sub>1</sub>及び第2光束L<sub>2</sub>の像面Iへの入射角の絶対値が後偏向群G<sub>bv</sub>への入射角の絶対値より小さくなるように偏向するこ

50



とが好ましい。

【0222】

第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第1前1群Gf1<sub>1</sub>の平凹負レンズLf1<sub>11</sub>、第1前2群Gf1<sub>2</sub>の接合レンズSuf1<sub>21</sub>、第1前3群Gf1<sub>3</sub>の接合レンズSuf1<sub>31</sub>、及び、第1絞りS1を通過して、第1前群Gf1を射出し、その後、後群Gbに入射する。

【0223】

第2物体面から第2前群Gf2に入射した第2光束L2は、第2前1群Gf2<sub>1</sub>の平凹負レンズLf2<sub>11</sub>、第2前2群Gf2<sub>2</sub>の接合レンズSuf2<sub>21</sub>、第2前3群Gf2<sub>3</sub>の接合レンズSuf2<sub>31</sub>、及び、第2絞りS2を通過して、第2前群Gf2を射出し、その後、後群Gbに入射する。

10

【0224】

後群Gbに入射した第1光束L1及び第2光束L2は、それぞれ後1群Gb1の接合レンズSub1<sub>11</sub>、及び、後偏向群Gb<sub>v</sub>の後偏向部材Lbvを通過して像面に入射する。

【0225】

実施例10の光学系1では、図41に示すように、後偏向群Gb<sub>v</sub>は、曲面を有する光学素子を含む。

【0226】

後偏向部材Lbvが曲面を含むことで、像面に入射する光束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Gbを射出した後の各像高の主光線のテレセントリック性及び像面湾曲を改善することが可能となる。さらに、好ましくは、曲面は球面、トーリック面、アナモルフィック面、又は自由曲面でもよい。

20

【0227】

なお、後偏向部材Lbvは、どの実施例にも配置することが可能である。

【0228】

以下に、上記実施例1～実施例10の構成パラメータを示す。

【0229】

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Cf2から第1前群中心軸Cf1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。

30

【0230】

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。

【0231】

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、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ (°))とが与えられている。その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\gamma$ 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 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 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 $\alpha$ 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 $\beta$ 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 $\gamma$ 回転させるものである。

40

【0232】

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。

【0233】

50

本実施形態で用いられる非球面データには、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以下の式( a )にて表される。

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

【0234】

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「 $1.0 \times 10^{-5}$ 」であることを意味している。

10

【0235】

また、本実施形態で用いられる自由曲面FFSの形状は、以下の式( b )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FFS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。

【0236】

$$Z = (r^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + k)(r / R)^2\}] + \sum_{j=1}^{66} C_j X^m Y^n \dots \quad (b)$$

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。

20

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)

$r = (X^2 + Y^2)$

である。

【0237】

自由曲面項は、

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{66} C_j X^m Y^n \\ &= C_1 \\ &+ C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 \\ &+ C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ &\dots \end{aligned}$$

30

40

ただし、 $C_j$  ( $j$ は1以上の整数)は係数である。

【0238】

また、上記定義式( b )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。

【0239】

実施例1

50

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		0.600		1.8830	40.7	
2	1.780	0.805				
3	-1.761	0.600		1.8830	40.7	
4	3.212	1.000		1.9229	18.9	
5	-4.531	1.816				
6	4.215	0.600		1.8830	40.7	
7	1.261	0.800		1.4875	70.2	10
8	-4.965	0.200				
9	絞り面	0.600				
10	-4.839	1.000		1.4875	70.2	
11	-1.839	0.300				
12	基準面	0.000	偏心(1)			
13	5.239	2.800		1.8467	23.8	
14	-7.173	1.000		1.9229	18.9	
15	3.535	0.500				
16	5.438	3.779		1.8830	40.7	
17	-13.184	0.500				20
18		1.000		1.5163	64.1	
19		0.100				
像面			偏心(2)			

偏心[1]					
X	2.00	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏心[2]					
X	-0.70	Y	-0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔）	4mm
画角（対角）	140°
絞り径	1.0mm
像の大きさ	1.00mm
焦点距離	1.105mm
有効Fno	5.07

【 0 2 4 0 】

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		16.000				
1		0.600		1.8830	40.7	
2	2.078	1.760				
3	-3.800	0.600		1.8830	40.7	
4	4.946	0.800		1.9229	18.9	
5	-5.853	3.717				
6	6.030	0.600		1.8830	40.7	50

7	1.228	0.800	1.4875	70.2	
8	-4.995	0.200			
9	絞り面	0.600			
10	-5.355	0.800	1.4875	70.2	
11	-1.740	0.300			
12	基準面	0.000	偏心(1)		
13	4.806	1.908	1.8467	23.8	
14	-19.258	1.000	1.9229	18.9	
15	3.473	0.290			
16	6.706	4.035	1.8830	40.7	10
17	-79.279	0.500			
18		1.000	1.5163	64.1	
19		0.100			
像面			偏心(2)		

偏心[1]					
X	1.50	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏心 [2]					
X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

仕様

基線長(入射瞳間隔)	3mm
画角(対角)	140°
絞り径	1.0mm
像の大きさ	1.00mm
焦点距離	1.035mm
有効Fno	4.67

【0 2 4 1】

実施例3

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	1.646	1.515				
3	-6.519	0.600		1.8830	40.7	
4	1.829	1.000		1.9229	18.9	
5	-129.380	5.136				40
6	絞り面	0.00				
7	2.007	0.600		1.8830	40.7	
8	1.216	1.000		1.4875	70.2	
9	-5.462	0.200				
10	基準面	0.000	偏心(1)			
11	6.267	1.200		1.8973	22.4	
12	-6.950	1.000		1.9229	18.9	
13	4.982	0.467				
14	18.257	4.437		1.9229	18.9	
15	-19.936	0.500				50

16	1.000	1.5163	64.1
17	0.100		
像 面	偏 心 (2)		

偏 心 [1]					
X	1.00	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏 心 [2]					
X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

10

仕様

基線長 (入射瞳間隔)	2mm
画角 (対角)	140 °
絞り径	1.0mm
像の大きさ	1.00mm
焦点距離	1.046mm
有効Fno	5.82

【 0 2 4 2 】

20

実施例 4

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	1.407	2.216			
3	-72.977	0.500		1.8830	40.7
4	2.693	1.000		1.8081	22.8
5	-4.310	0.692			
6	絞り面	0.544			
7	6.678	0.500		1.9229	18.9
8	1.719	0.800		1.7880	47.3
9	-3.971	0.200			
10	基準面	0.000	偏 心 (1)		
11	3.866	1.200		1.6204	60.3
12	-222.046	1.000		1.8830	40.7
13	3.239	0.400			
14	5.702	1.000		1.8830	40.7
15	-38.833	0.200			
16		1.000		1.5163	64.1
17		0.100			

30

40

像 面	偏 心 (2)		
-----	---------	--	--

偏 心 [1]					
X	1.00	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏 心 [2]					
X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

50

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2mm  
 画角（対角） 120°  
 絞り径 0.9mm  
 像の大きさ 1.00mm  
 焦点距離 1.104mm  
 有効Fno 3.80

【 0 2 4 3 】

実施例 5

10

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	1.246	1.495			
3	-10.577	0.500		1.8830	40.7
4	1.366	0.800		1.8081	22.8
5	-2.947	0.505			
6	絞り面	0.100			
7	25.912	0.500		1.9229	18.9
8	1.481	0.800		1.8348	42.7
9	-2.651	0.800			
10	基準面	0.000	偏 心 (1)		
11	-3.172	1.400		1.8830	40.7
12	-3.593	0.100			
13	5.111	2.000		1.7620	40.1
14	-3.683	0.800		1.8467	23.8
15	58.674	0.500			
16		1.000		1.5163	64.1
17		0.100			
像 面			偏 心 (2)		

20

30

偏 心 [1]

X 1.00 Y 0.00 Z 0.00  
 0.00 0.00 0.00

偏 心 [2]

X -0.70 Y 0.00 Z 0.00  
 0.00 0.00 0.00

40

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2mm  
 画角（対角） 120°  
 絞り径 0.9mm  
 像の大きさ 1.00mm  
 焦点距離 1.107mm  
 有効Fno 3.560

【 0 2 4 4 】

実施例 6

50

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	2.255	1.167			
3	-4.055	0.600		1.8830	40.7
4	3.656	1.600		1.9229	18.9
5	-6.965	12.026			
6	100.005	0.600		1.5481	45.8
7	1.473	1.200		1.5400	59.4
8	-7.807	0.200			10
9	絞り面	0.300	偏心(1)	硝材(1)	
10		0.300	偏心(2)		
11	-3.278	0.800		1.9229	18.9
12	-3.472	0.300			
13	基準面	0.000	偏心(3)		
14	11.239	5.000	偏心(3)	1.6400	60.1
15	-4.949	0.800		1.6398	34.5
16	33.704	5.707			
17	5.562	2.200		1.9229	18.9
18	151.444	0.500			20
19		1.000		1.5163	64.1
20		0.100			
像 面			偏心(4)		

## 8面の面間隔

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2
d8	0.20	0.20	0.10

## 9面の面間隔

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2	
d9	0.30	0.30	0.40	30

## 10面の曲率半径

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2
R10		-202.184	-202.184

## 9面の硝材(1)

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2	
屈折率 9	1.0000	1.8830	1.8830	
アッペ数 9		40.7	40.7	40

## 偏心[1]

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2
X	0.00	0.50	-0.50
	0.00	0.00	-13.67

## 偏心[2]

	分割無し	第1の瞳E1	第2の瞳E2	
X	0.00	0.50	-0.50	
	0.00	0.00	-2.12	50

偏心 [3]					
X	3.00	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏 心 [ 4 ]					
X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

仕様

10

	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
基線長 (入射瞳間隔)	6mm	0.135mm
画角 (対角)	140 °	
絞り径	2.0mm	1.0mm
像の大きさ	1.00	1.0mm
焦点距離	1.040mm	1.057mm
有効Fno	3.85	7.84

【 0 2 4 5 】

実施例 7

20

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	1.684	0.900			
3	-3.162	0.600		1.8830	40.7
4	2.965	1.600		1.9229	18.9
5	-4.780	5.255			
6	16.321	0.600		1.6668	33.0
7	1.575	1.600		1.5638	60.6
8	-3.483	0.200			
9	絞り面	0.300	偏心(1)	硝材(1)	
10		0.300	偏心(2)		
11	-2.604	0.800		1.9229	18.9
12	-2.726	0.300			
13	基準面	0.000	偏心(3)		
14	8.115	2.800		1.6935	53.2
15	-3.245	0.800		1.6889	31.1
16	6.452	2.914			
17	4.652	1.600		1.9229	18.9
18	-66.351	0.500			
19		1.000		1.5163	64.1
20		0.100			
像面			偏心(4)		

30

40

8面の面間隔				
分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2		
d8	0.20	0.10	0.20	

9面の面間隔				
分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2		

50



d9      0.30                      0.40                      0.30

10面の曲率半径

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
d10		-202.184	-202.184

9面の硝材 ( 1 )

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
屈折率 9	1.0000	1.8830	1.8830
アッベ数 9		40.7	40.7

10

偏心[1]

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
X	0.00	0.50	-0.50
	0.00	0.00	-13.666

偏心[2]

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
X	0.00	0.50	-0.50
	0.00	0.00	-2.120

20

偏心[3]

X	1.50	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

偏心[4]

X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
	0.00		0.00		0.00

仕様

30

		第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
基線長 ( 入射瞳間隔 )	3mm	0.152mm	
画角 ( 対角 )	140 °		
絞り径	1.6mm	0.8mm	0.8mm
像の大きさ	1.00		
焦点距離	1.032mm	1.029mm	1.033mm
有効Fno	3.40	6.83	6.94

【 0 2 4 6 】

実施例 8

40

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面		20.000			
1		0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	1.439			
3	-39.792	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.7847	25.7
5	-4.963	0.100			
6	4.316	0.500		1.9229	18.9
7	1.596	0.900		1.5831	59.4
8	-1.806	0.050			

50

9	絞り面	0.000		
10	基準面	0.000	偏心(1)	
11	2.834	1.200	1.5831	59.4
12	-46.290	0.878		
13	-40.929	0.600	1.9229	18.9
14	5.915	0.383		
15		1.100	偏心(2)	1.5163 64.1
16		0.150	偏心(3)	
像面			偏心(3)	

10

## 非球面[1]

曲率半径 0.717

k -2.2311e-001

## 偏心[1]

X	1.000	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

## 偏心[2]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		19.443		0.000

20

## 偏心[3]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

## 仕様

基線長(入射瞳間隔) 2.0mm

画角(対角) 90°

絞り径 1.05mm

像の大きさ 1.41mm(1.00×1.00)

焦点距離 0.809mm

有効Fno 3.422

【0 2 4 7】

実施例9

30

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面		20.000			
1		0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.286			
3	-3.513	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.8591	20.1
5	-2.632	0.434			
6	-1.826	0.500		1.8927	31.6
7	1.534	0.900		1.4875	70.4
8	-1.664	0.050			
9	16.256	0.800		1.5589	64.0
10	-1.792	0.000			
11	絞り面	0.000			
12	基準面	0.000	偏心(1)		

40

50

13	3.533	1.500	1.6204	60.3
14	-3.617	0.800	1.5739	37.6
15	7.980	1.580		
16		1.100 偏心(2)	1.5163	64.1
17		0.150 偏心(3)		
像 面		偏心(3)		

## 非球面[1]

曲率半径 0.989

k 7.8037e-001

10

## 偏心[1]

X	1.100	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

## 偏心[2]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		18.532		0.000

## 偏心[3]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

20

## 仕様

基線長(入射瞳間隔) 2.2mm

画角(対角) 90°

絞り径 1.15mm

像の大きさ 1.41mm(1.00×1.00)

焦点距離 0.828mm

有効Fno 3.55

30

【0 2 4 8】

実施例10

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面		20.000			
1		0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.310			
3	-13.875	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.9229	18.9
5	-2.178	0.100			
6	-1.493	0.500		1.8952	29.8
7	1.534	0.900		1.5714	63.1
8	-1.727	0.050			
9	17.392	0.800		1.4983	69.2
10	-1.738	0.000			
11	絞り面	0.000			
12	基準面	0.000	偏心(1)		
13	4.077	1.500		1.5539	64.4
14	-2.378	0.800		1.5659	42.4
15	-23.139	1.298			

40

50

16 FFS[1] 1.100 偏心(2) 1.5163 64.1  
 17 0.150 偏心(3)  
 像面 偏心(3)

## 非球面[1]

曲率半径 0.851  
 k -7.6361e-002

## FFS[1]

C 4	2.0964e-001	C 6	1.6540e-001	C 7	4.9915e-024	10
C 9	5.6305e-023	C 67	8.0000e+000			

## 偏心[1]

X	1.100	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

## 偏心[2]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		11.462		0.000

20

## 偏心[3]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

## 仕様

基線長(入射瞳間隔) 2.2mm  
 画角(対角) 90°  
 絞り径 1.15mm  
 像の大きさ 1.41mm(1.00×1.00)  
 撮像面の大きさ 2.42  
 焦点距離 0.914mm  
 有効Fno 3.37

30

## 【0249】

上記実施例1～7について、条件式(1)及び(2)の値を下記に示しておく。

## 【0250】

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(1) $F A b / f$	15.723	12.444	7.805	36.816
(2) $L b / f$	1.448	1.546	1.530	1.538

## 【0251】

条件式	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8
(1) $F A b / f$	12.491	4.524	4.459	9.951
(2) $L b / f$	1.551	0.871	1.144	2.019

40

## 【0252】

条件式	実施例9	実施例10
(1) $F A b / f$	11.964	9.239
(2) $L b / f$	3.418	2.788

## 【0253】

以下に、本実施形態の光学系1の適用例を説明する。

## 【0254】

図45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。

50

## 【 0 2 5 5 】

図 4 5 ( a ) は、自動車 1 3 0 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 4 5 ( b ) は、自動車 1 3 0 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。

## 【 0 2 5 6 】

図 4 6 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。

10

## 【 0 2 5 7 】

図 4 6 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 4 6 ( a ) は、硬性内視鏡 1 1 0 の先端に本実施形態にかかる光学系 1 を取り付けて 3 6 0 ° 全方位の画像を立体的に撮像観察する例である。図 4 6 ( b ) にその先端の概略の構成を示す。また、図 4 6 ( c ) は、軟性電子内視鏡 1 1 3 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 1 1 4 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。

## 【 0 2 5 8 】

図 4 6 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。

20

## 【 0 2 5 9 】

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 6 0 】

1 ... 光学系

G f ... 前レンズ群

G b ... 後レンズ群

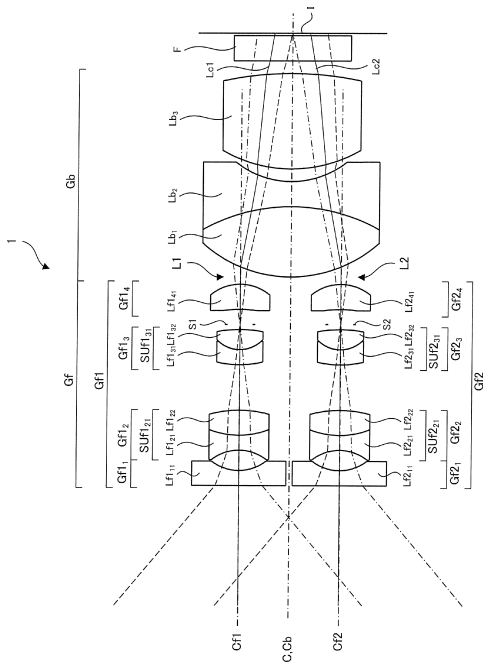
S 1 ... 第 1 絞り

S 2 ... 第 2 絞り

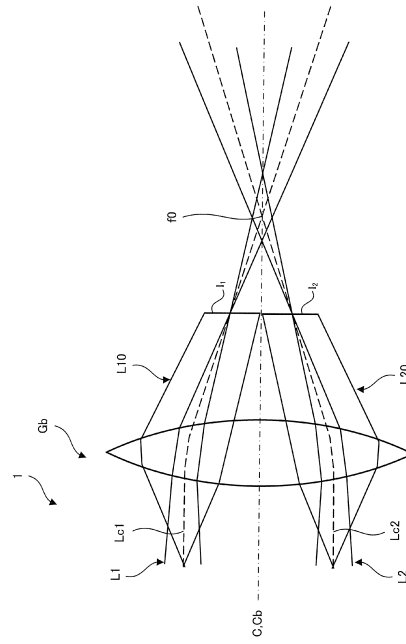
I ... 像面

30

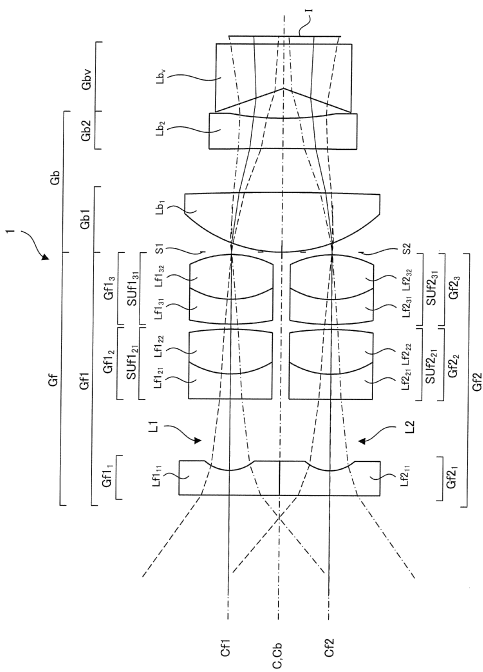
【図 1】



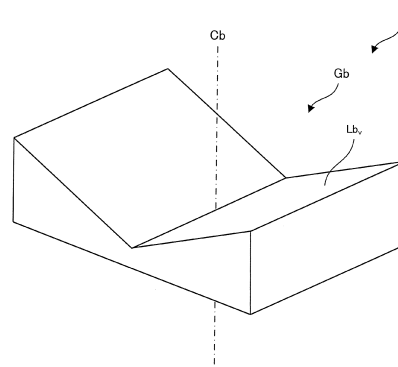
【図 2】



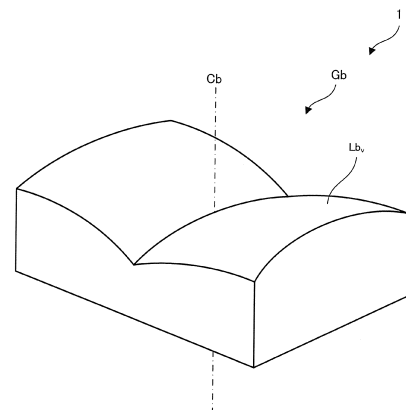
【図 3】



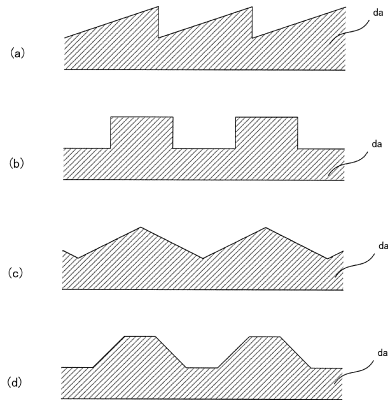
【図 4】



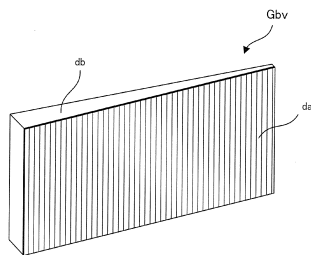
【図 5】



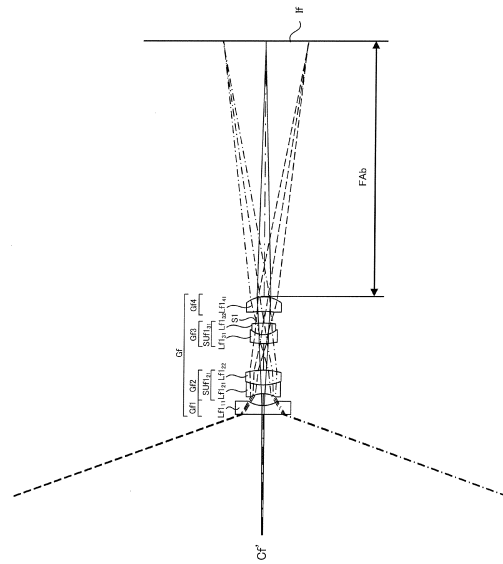
【 図 6 】



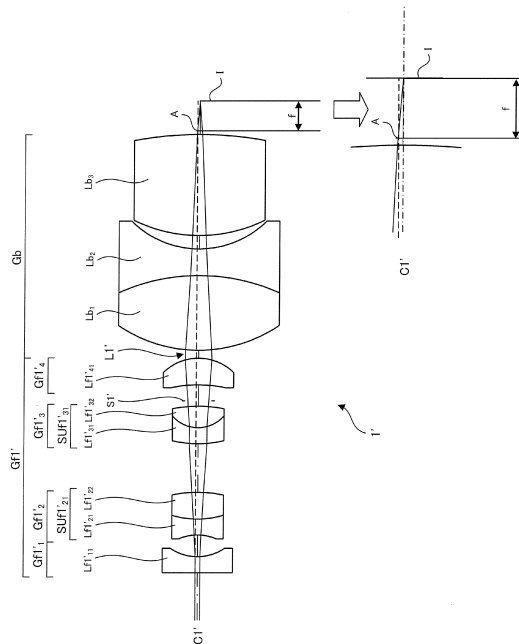
【圖 7】



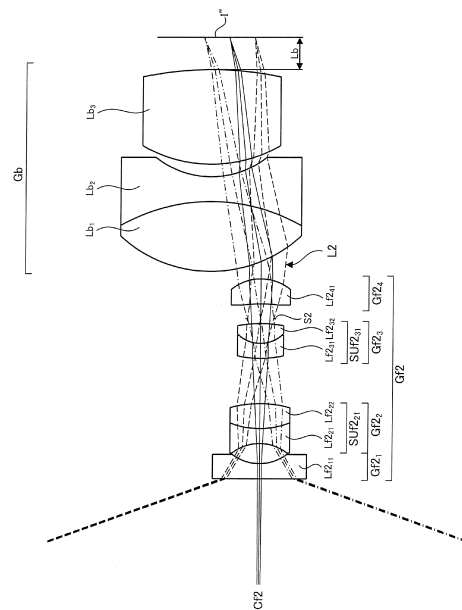
【圖 8】



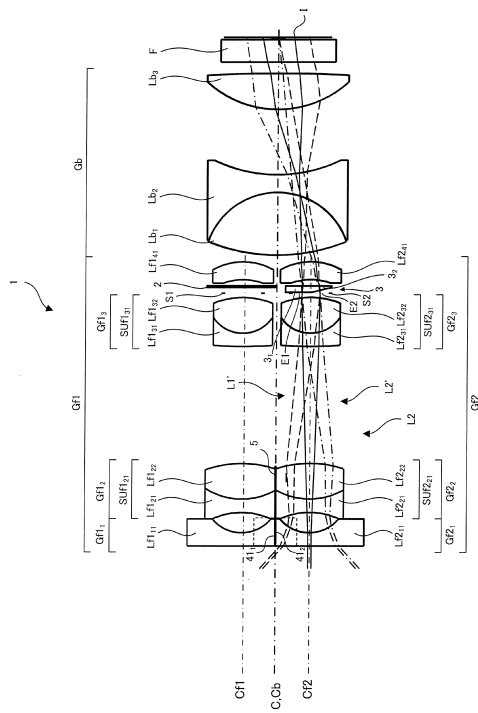
【圖 9】



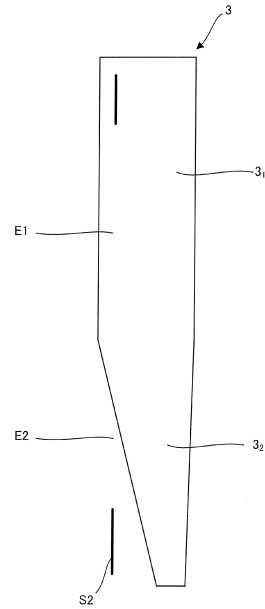
【 図 1 0 】



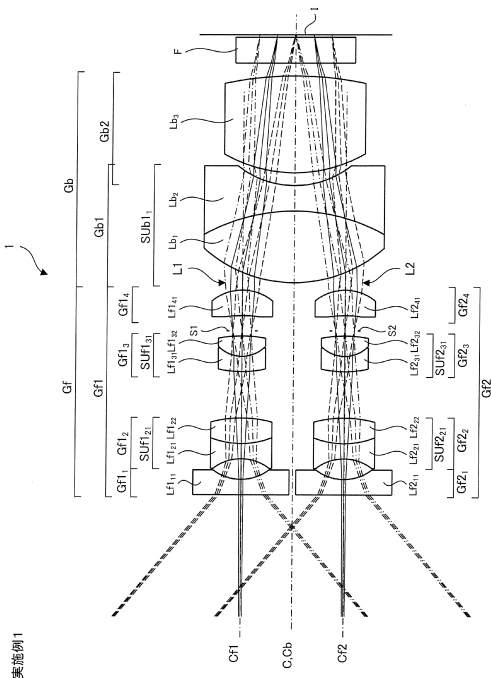
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

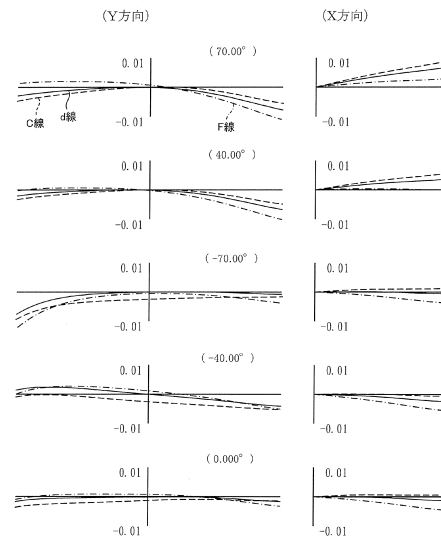


【 図 1 3 】



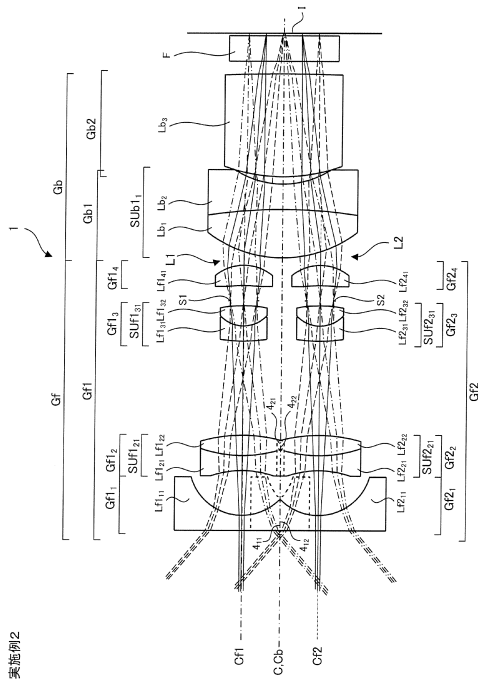
【 図 1 4 】

### 实施例1



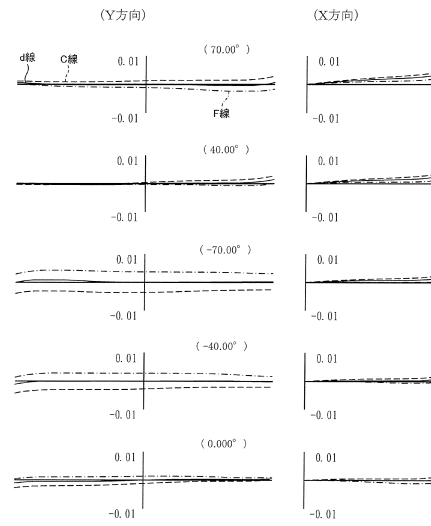


【図 15】

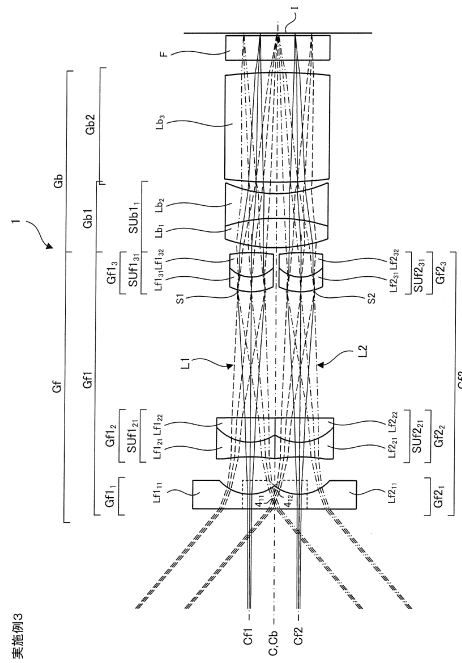


【図 16】

実施例2

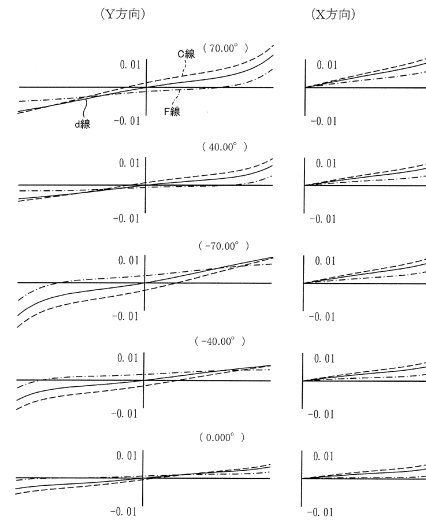


【図 17】

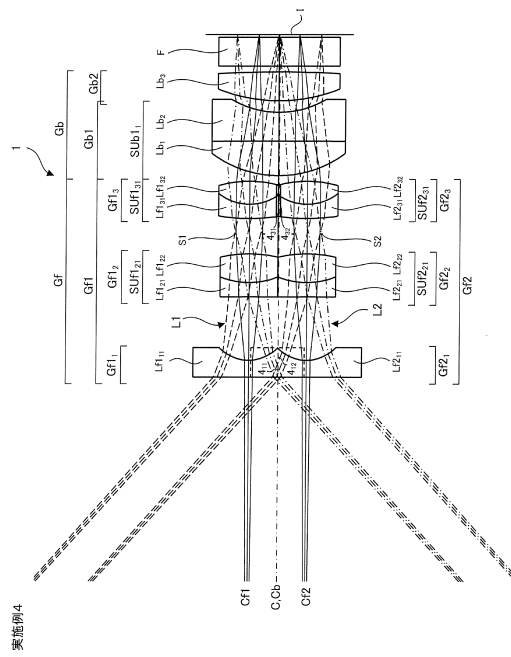


【図 18】

実施例3

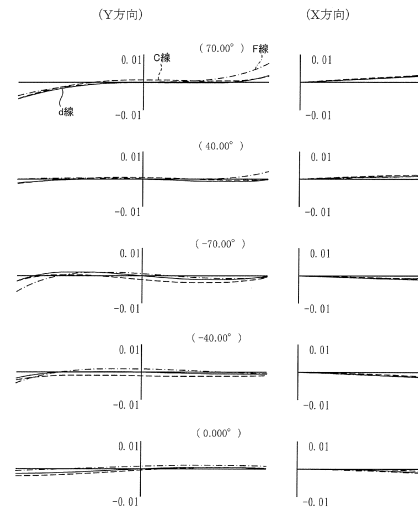


【図 19】

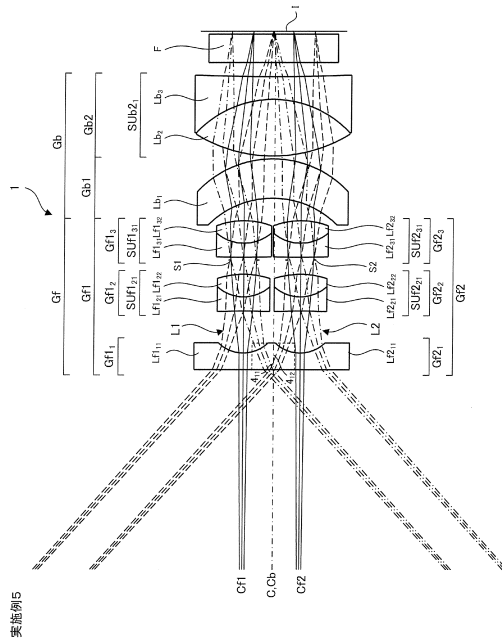


【図 20】

実施例4

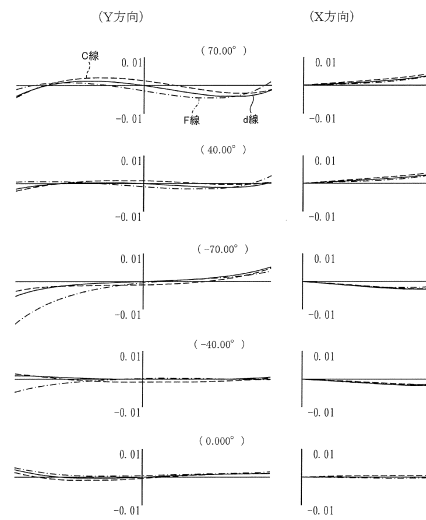


【図 21】

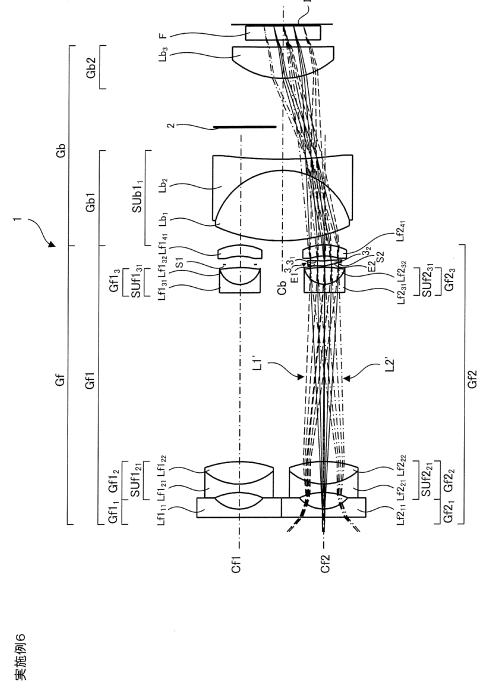


【図 22】

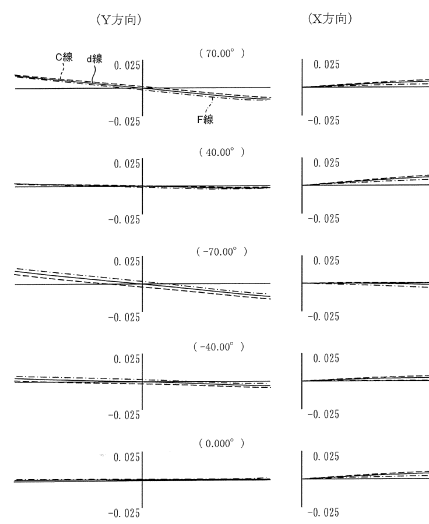
実施例5



【圖 24】

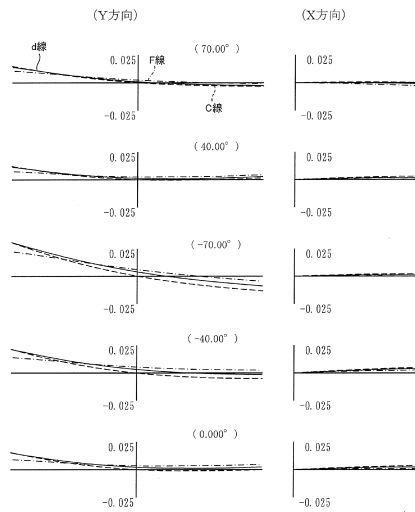


【 図 2 6 】

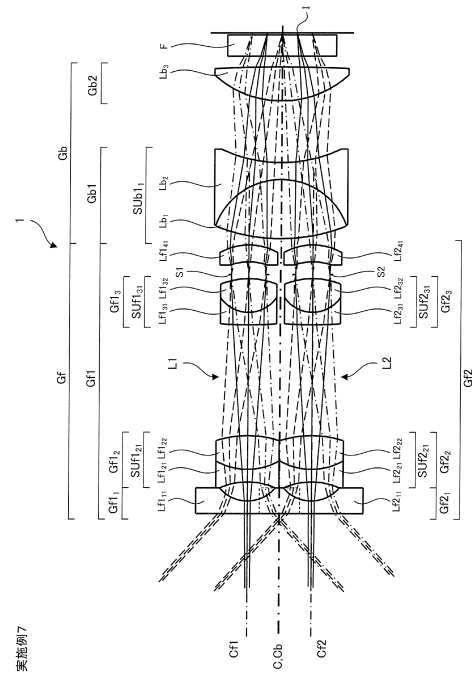


【図 27】

実施例6

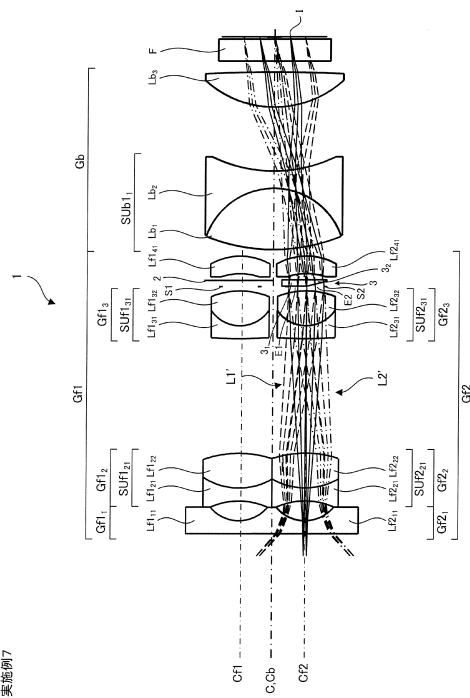


【図 28】



実施例7

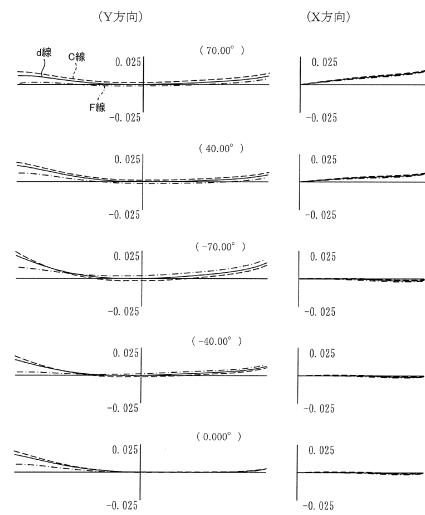
【図 29】



実施例7

【図 30】

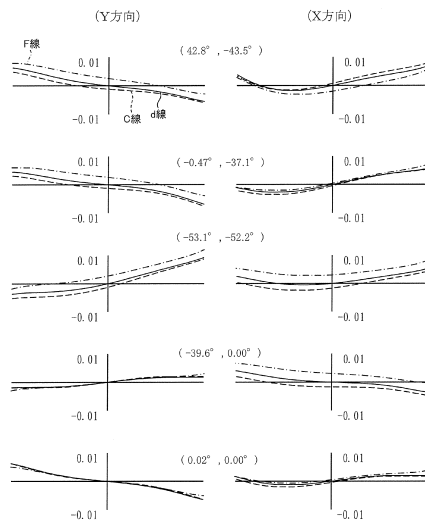
実施例7





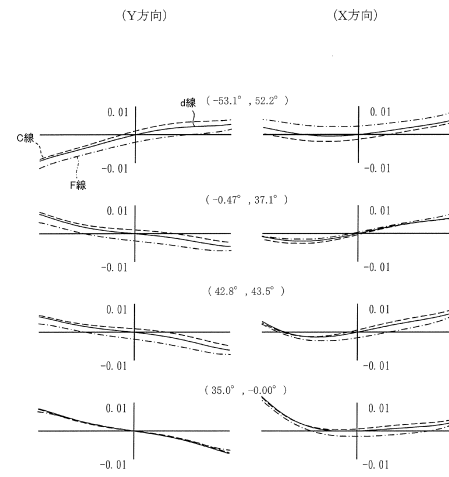
【図 35】

実施例8



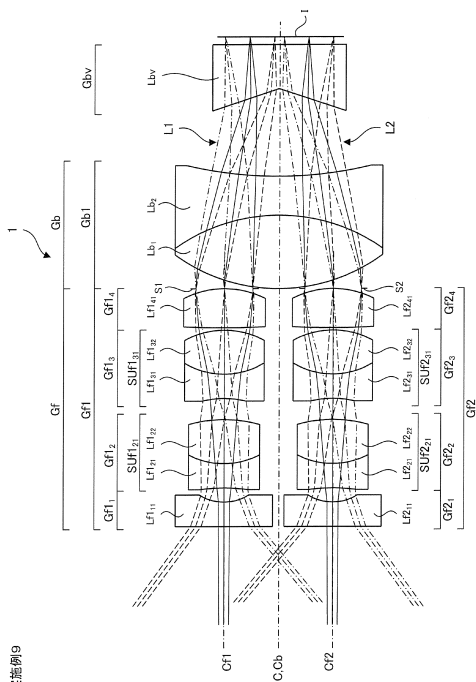
【図 36】

実施例8



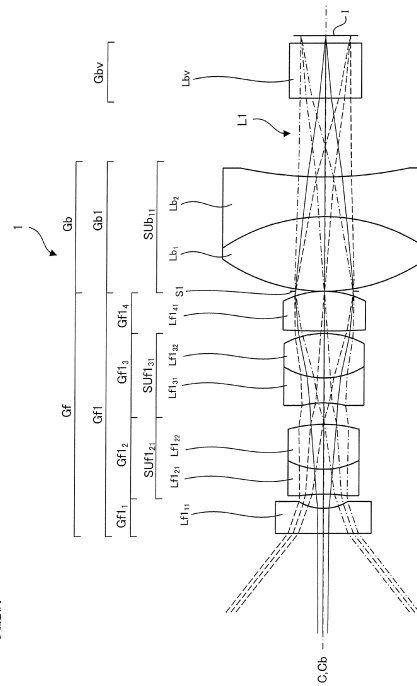
【図 37】

実施例9



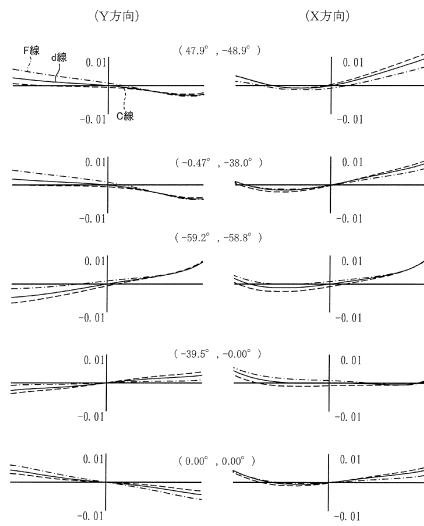
【図 38】

実施例9



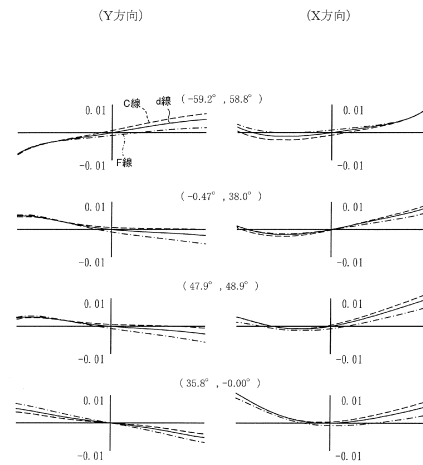
【図 39】

実施例9

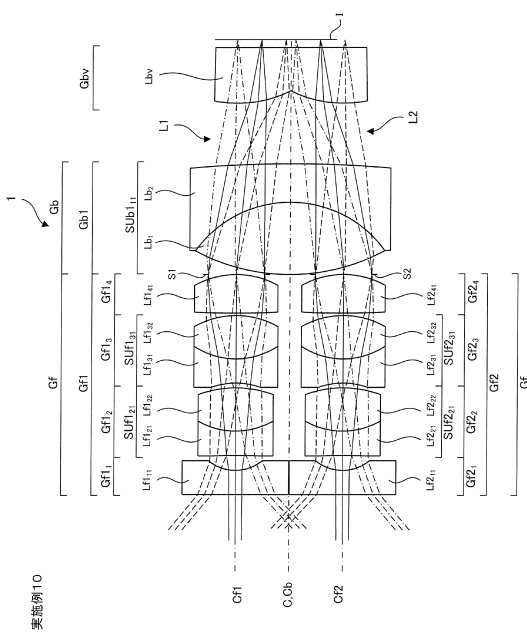


【図 40】

実施例9

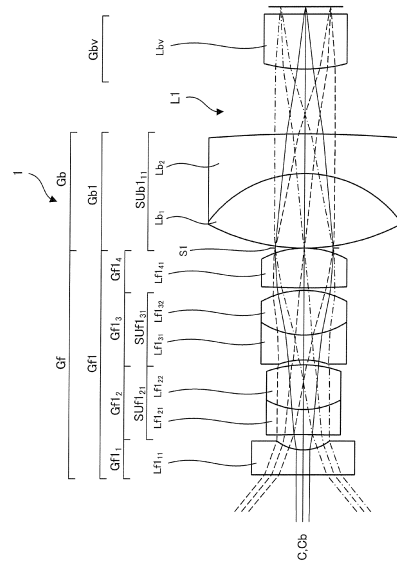


【図 41】



実施例10

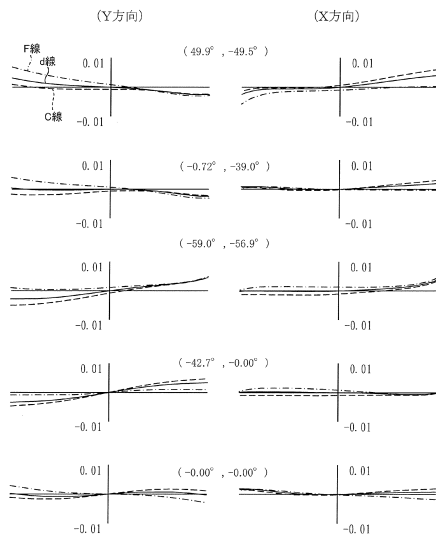
【図 42】



実施例10

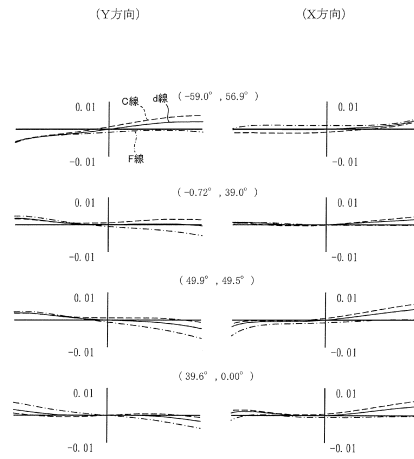
【図 4 3】

実施例10

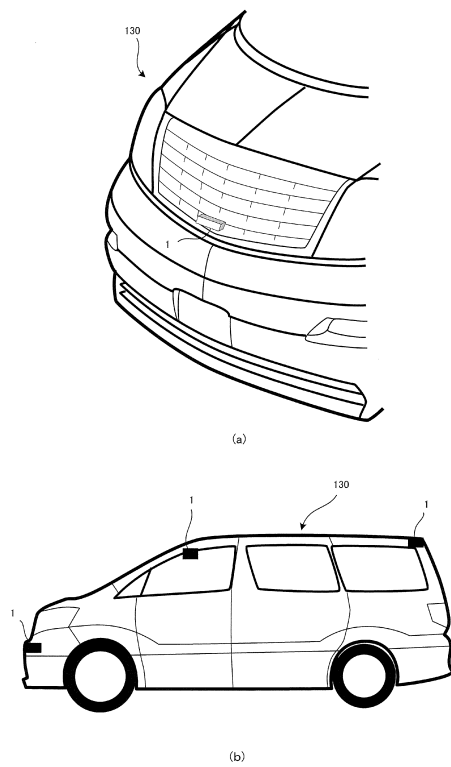


【図 4 4】

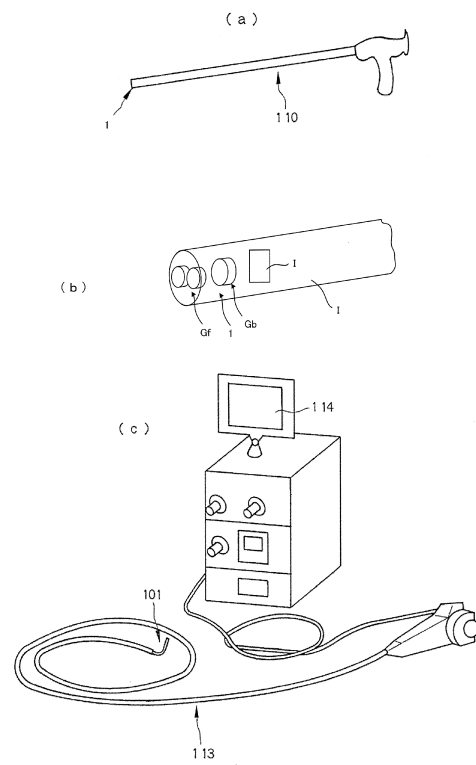
実施例10



【図 4 5】

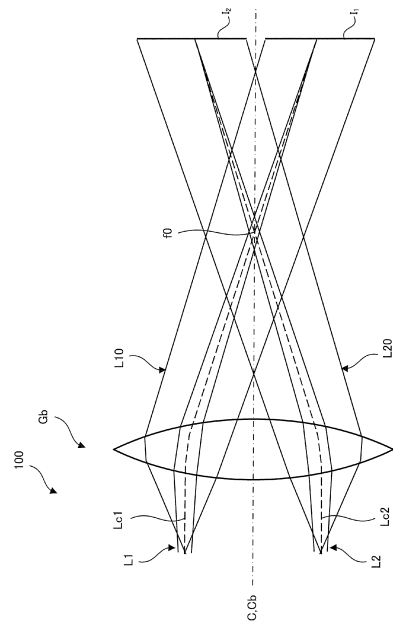


【図 4 6】





【図 47】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
A 6 1 B 1/04

審査官 森内 正明

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 5 0 9 6 ( J P , A )  
特開平 8 - 5 6 8 9 1 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 1 2 8 3 5 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A 6 1 B	1 / 0 0	-	1 / 3 2
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	3 5 / 0 0	-	3 5 / 2 6