

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6261566号
(P6261566)

(45) 発行日 平成30年1月17日(2018.1.17)

(24) 登録日 平成29年12月22日(2017.12.22)

(51) Int. Cl.		F I	
GO2B	13/00 (2006.01)	GO2B	13/00
GO3B	35/10 (2006.01)	GO3B	35/10
GO2B	13/18 (2006.01)	GO2B	13/18
GO2B	23/24 (2006.01)	GO2B	23/24 B
A61B	1/00 (2006.01)	A61B	1/00 731

請求項の数 13 (全 58 頁)

(21) 出願番号	特願2015-506532 (P2015-506532)	(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
(86) (22) 出願日	平成25年7月16日(2013.7.16)	(74) 代理人	100139103 弁理士 小山 卓志
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/069307	(74) 代理人	100097777 弁理士 葦澤 弘
(87) 国際公開番号	W02014/147856	(74) 代理人	100139114 弁理士 田中 貞嗣
(87) 国際公開日	平成26年9月25日(2014.9.25)	(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
審査請求日	平成28年7月5日(2016.7.5)	審査官	小倉 宏之
(31) 優先権主張番号	特願2013-59953 (P2013-59953)		
(32) 優先日	平成25年3月22日(2013.3.22)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

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、少なくとも、負レンズと、開口と、を有し、第1中心軸に対して回転対称な第1光学系と、

前記第1中心軸に平行な第2中心軸に対して回転対称であって、前記第1光学系と同一構成で並列に配置される第2光学系と、

前記第1光学系及び前記第2光学系のそれぞれの光路に交差するように配置される可変光学系と、

を備え、

前記可変光学系は、少なくとも1つの可変光学素子を有し、

前記可変光学素子は、

透過面を有し、

前記第1光学系及び前記第2光学系に等しい屈折作用を与え、

単一の回転中心軸を有し、

前記回転中心軸を中心に回転することにより、前記第1光学系及び前記第2光学系のそれぞれの光路と交差する位置を変え、

前記第1光学系及び前記第2光学系について、前記第1光学系及び前記第2光学系のそれぞれの光路と交差する位置に応じて、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか1つを同時に変化させ、

前記第1光学系及び前記第2光学系は、それぞれ、物体側から像面側へ順に、負レンズ

10

20

を有する前群と、開口と、後群と、を有し、

前記可変光学系は、前記前群と後群の間、または前記後群よりも像面側に配置されることを特徴とする立体撮像光学系。

【請求項 2】

前記可変光学素子は、前記回転中心軸を対称軸とする回転対称な形状である請求項 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 3】

前記可変光学素子は、
第 1 面部と、

前記第 1 面部と同一構成で前記第 1 面部に対して前記回転中心軸を中心に所定角度回転した位置に配置される第 2 面部と、
を少なくとも 1 組有する
請求項 1 又は 2 に記載の立体撮像光学系。 10

【請求項 4】

前記第 1 面部及び前記第 2 面部は、それぞれ、少なくとも、
前記回転中心軸に直交する平面からなる第 1 平面部と、
前記回転中心軸に直交する平面からなり、前記第 1 平面部とは前記回転中心軸方向の厚さが異なる第 2 平面部と、
を有する
請求項 3 に記載の立体撮像光学系。 20

【請求項 5】

前記第 1 面部及び前記第 2 面部は、それぞれ所定の傾斜角で傾斜する少なくとも 1 つの傾斜面からなる
請求項 3 又は 4 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 6】

前記第 1 面部及び前記第 2 面部は、それぞれ前記回転中心軸を中心とする円の周方向に傾斜する少なくとも 1 つの螺旋面からなる
請求項 3 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 7】

前記第 1 面部及び前記第 2 面部は、それぞれ前記回転中心軸を中心とする円の周方向に連続して前記回転中心軸に対する放射方向の角度が変化する少なくとも 1 つの放射方向傾斜面からなる
請求項 6 に記載の立体撮像光学系。 30

【請求項 8】

前記可変光学素子は、
部分的曲率が変化している少なくとも 1 つの曲面を有する
請求項 1 又は 2 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 9】

前記曲面は、自由曲面である
請求項 8 に記載の立体撮像光学系。 40

【請求項 10】

前記第 1 中心軸と前記第 2 中心軸の間隔は、10 mm 以下である
請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 11】

物体側観察画角が 60° 以上である
請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 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 50

ことを特徴とする立体撮像装置。

【請求項 13】

請求項 12 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】

本発明にかかる一実施形態は、視差のある映像を撮像する立体撮像光学系及び立体撮像装置及び内視鏡に関する。

【背景技術】

10

【0002】

従来、立体視用に視差の異なる 2 つの画像を撮像する立体撮像光学系は、2 つの撮像光学系を並列に配置したものが一般的であった（特許文献 1 参照）。また、拡大して観察する顕微鏡用光学系として、物体側に単一の中心軸を有する光学系を配置した立体撮像光学系が開示されている（特許文献 2 参照）。さらに、双眼実体顕微鏡用の立体撮像光学系が開示されている（特許文献 3 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 113281 号公報

20

【特許文献 2】特開平 6 - 175033 号公報

【特許文献 3】特開 2011 - 70119 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 乃至 3 に記載された技術は、いずれも画角が狭く、小型な光学系ではない。

【0005】

本発明は、小型で観察画角の広い立体像を得ること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】

30

【0006】

本発明の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、少なくとも、負レンズと、開口と、を有し、第 1 中心軸に対して回転対称な第 1 光学系と、

前記第 1 中心軸に平行な第 2 中心軸に対して回転対称であって、前記第 1 光学系と同一構成で並列に配置される第 2 光学系と、

前記第 1 光学系及び前記第 2 光学系のそれぞれの光路に交差するように配置される可変光学系と、

を備え、

前記可変光学系は、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか 1 つを変化させる少なくとも 1 つの可変光学素子を有する

40

ことを特徴とする。

【0007】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、

前記第 1 光学系及び前記第 2 光学系について、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか 1 つを同時に変化させる。

【0008】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、

50

透過面を有し、

前記第1光学系及び前記第2光学系に等しい屈折作用を与える。

【0009】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記第1光学系及び前記第2光学系は、それぞれ、物体側から像面側へ順に、負レンズを有する前群と、開口と、後群と、を有し、

前記可変光学系は、前記前群よりも像面側に配置される。

【0010】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学系は、前記前群と前記後群の間に配置される。

10

【0011】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学系は、前記後群よりも像面側に配置される。

【0012】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、単一の回転中心軸の周りに回転可能である。

【0013】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、前記回転中心軸を対称軸とする回転対称な形状である。

【0014】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、

第1面部と、

前記第1面部と同一構成で前記第1面部に対して前記回転中心軸を中心に所定角度回転した位置に配置される第2面部と、
を少なくとも1組有する。

20

【0015】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記第1面部及び前記第2面部は、それぞれ、少なくとも、

前記回転中心軸に直交する平面からなる第1平面部と、

前記回転中心軸に直交する平面からなり、前記第1平面部とは前記回転中心軸方向の厚さが異なる前記第2平面部と、
を有する。

30

【0016】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記第1面部及び前記第2面部は、それぞれ所定の傾斜角で傾斜する少なくとも1つの傾斜面からなる。

【0017】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記第1面部及び前記第2面部は、それぞれ前記回転中心軸を中心とする円の周方向に傾斜する少なくとも1つの螺旋面からなる。

40

【0018】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記第1面部及び前記第2面部は、それぞれ前記円の周方向に連続して前記回転中心軸に対する放射方向の角度が変化する少なくとも1つの放射方向傾斜面からなる。

【0019】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、

前記可変光学素子は、

部分的曲率が変化している少なくとも1つの曲面を有する。

【0020】

50

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記曲面は、自由曲面である。

【0021】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学素子は、中心軸方向に移動可能な少なくとも1つの正又は負のレンズを有する。

【0022】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学系は、
前記第1中心軸と前記第2中心軸の間に光学系中心軸が配置され、
前記光学系中心軸に対して回転対称な正と負の2枚のレンズからなり、
前記正と負の2枚のレンズのうち少なくとも1枚のレンズは、前記光学系中心軸方向に移動可能な前記可変光学素子である。 10

【0023】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学系は、
前記第1中心軸と前記第2中心軸の間に光学系中心軸が配置され、
前記光学系中心軸に対して回転対称な正又は負の1枚のレンズからなり、
前記正又は負の1枚のレンズは、前記光学系中心軸方向に移動可能な前記可変光学素子である。 20

【0024】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記第1中心軸と前記第2中心軸の間隔は、10mm以下である。

【0025】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
物体側観察画角が60°以上である。

【0026】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学系は、後群の単一の中心軸を有する正と負又はどちらか一方の光学系全体の焦点距離を f_b 、光学系全体の焦点距離を f とするとき、以下の条件式(2)を満足する。 30

$$10 < |f_b / f| \quad (2)$$

【0027】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学系は、後群の単一の中心軸を有する正と負又はどちらか一方の光学系全体の焦点距離を f_b 、光学系全体の焦点距離を f とするとき、以下の条件式(2)を満足する。

$$50 < |f_b / f| \quad (2')$$

【0028】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、
前記可変光学系は、後群の単一の中心軸を有する正と負又はどちらか一方の可変光学素子の移動量を d_v 、光学系全体の焦点距離を f とするとき、以下の条件式(3)を満足する。 40

$$0.3 < d_v / f \quad (3)$$

【0029】

本発明の一実施形態である立体撮像装置は、
前記立体撮像光学系と、
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。 50

【0030】

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
ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0031】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系、立体撮像装置、及び内視鏡によれば、小型で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】

【0032】

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

【図2】可変光学系Gvが前群Gf1, Gf2と後群Gb1, Gb2の間に配置される一実施形態の立体撮像光学系1を示す図である。

【図3】平面部を有する可変光学素子3の一例を示す図である。

【図4】図3に示した可変光学素子3を回転中心軸CR方向から見た図である。

【図5】他の例の可変光学素子3を回転中心軸CR方向から見た図である。

【図6】他の例の可変光学素子3を回転中心軸CR方向から見た図である。

【図7】傾斜面を有する可変光学素子4の一例を示す図である。

【図8】螺旋面を有する可変光学素子5の一例を示す図である。

【図9】第1面部5a及び第2面部5bが段部5a', 5b'を有する可変光学素子5の一例を示す図である。

【図10】放射方向傾斜面6を有する可変光学素子6の一例を示す図である。

【図11】図10に示した可変光学素子6をX軸方向から見た図である。

【図12】図10に示した可変光学素子6をY軸方向から見た図である。

【図13】補正光学素子60を用いた可変光学系Gvを示す図である。

【図14】自由曲面7を有する可変光学素子7の一例を示す図である。

【図15】少なくとも1つの光学素子81が中心軸方向に移動可能な可変光学系Gvの一例を示す図である。

【図16】本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系1の焦点距離fを説明する図である。

【図17】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18】実施例1の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。

【図19】実施例1の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。

【図20】実施例1の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。

【図21】実施例1の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。

【図22】実施例1の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【図23】実施例2の立体撮像光学系1の像の移動を示す図である。

【図24】実施例5の可変光学系Gvの可変光学素子7の自由曲面形状を示す図である。

【図25】実施例5の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。

【図26】実施例5の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。

【図27】実施例5の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。

【図28】実施例5の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。

【図29】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】実施例6の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。

【図31】実施例6の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。

【図32】実施例6の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。

【図33】実施例6の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。

【図34】実施例6の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【図35】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。

10

20

30

40

50

- 【図36】実施例7の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図37】実施例7の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図38】実施例7の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図39】実施例7の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図40】実施例7の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図41】実施例8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42】実施例8の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図43】実施例8の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図44】実施例8の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図45】実施例8の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。 10
- 【図46】実施例8の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図47】実施例9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48】実施例9の可変光学素子9の物体側の面の概念図である。
- 【図49】実施例9の可変光学素子9の像面側の面の概念図である。
- 【図50】実施例9の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図51】実施例9の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図52】実施例9の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図53】実施例9の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図54】実施例9の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図55】実施例10の立体撮像光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。 20
- 【図56】実施例10の立体撮像光学系1の可変光学系Gvを示す。
- 【図57】実施例10の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図58】実施例10の立体撮像光学系1の中間状態での収差図を示す。
- 【図59】実施例10の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図60】実施例10の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図61】実施例11の立体撮像光学系1の可変光学系Gvを示す。
- 【図62】実施例11の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図63】実施例11の立体撮像光学系1の中間状態での収差図を示す。
- 【図64】実施例11の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図65】実施例11の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。 30
- 【図66】実施例12の立体撮像光学系1の可変光学系Gvを示す。
- 【図67】実施例12の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図68】実施例12の立体撮像光学系1の中間状態での収差図を示す。
- 【図69】実施例12の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図70】実施例12の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図71】実施例13の立体撮像光学系1の可変光学系Gvを示す。
- 【図72】実施例13の立体撮像光学系1の遠点での収差図を示す。
- 【図73】実施例13の立体撮像光学系1の中間状態での収差図を示す。
- 【図74】実施例13の立体撮像光学系1の近点での収差図を示す。
- 【図75】実施例13の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。 40
- 【図76】実施例14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77】実施例14の可変光学系Gvの中心軸Cに沿った断面図である。
- 【図78】実施例14の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。
- 【図79】実施例14の立体撮像光学系1の中間状態での横収差図である。
- 【図80】実施例14の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。
- 【図81】実施例14の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。
- 【図82】本実施形態の光学系を自動車の撮像光学系として用いた例を示す図である。
- 【図83】本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮像光学系として用いた例を示す図である。
- 。
- 【発明を実施するための形態】 50

【0033】

本実施形態の立体撮像光学系1について説明する。

【0034】

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

【0035】

従来、立体撮像する方法は、以下の3つのパターンが一般的であった。

1. 完全に独立した2つの中心軸からなる光学系で撮像する。
2. 全体は1つの中心軸で瞳分割により視差を得る光学系で撮像する。
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で撮像する。

10

【0036】

1. の光学系で撮像する方法では、機械的又は電氣的なリンク機構で2つの中心軸を調整するため、それぞれを連動させる必要があり、構造が複雑になり装置として大型になってしまう。2. の光学系で撮像する方法では、画角を広く取ろうとすると、物体側に強い負のレンズを配置するレトロフォーカス型のパワー配置にする必要があり、入射瞳の間隔を広く取るためには大きな光学系が必要になってしまう。3. の光学系で撮像する方法では、画角が広がると、偏心して配置された前群で発生する左右非対称な像歪みが大きく発生し、この左右非対称な像歪みが立体観察時の奥行きを誤認識させてしまう。

【0037】

また、従来の立体撮像装置は、撮像素子の画素数が例えば30万画素程度で少なく、F

20

ナンバーが大きかったため、焦点深度が深く、フォーカス調整は不要であった。

【0038】

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。例えば100万画素を超える高解像な撮像をするためには、撮像光学系は、Fナンバーを小さくして、解像限界を小さくする必要があり、そのため、焦点深度が浅くなり、フォーカス調整が必須になる。

【0039】

本実施形態の立体撮像光学系1は、小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることを可能とするものである。

【0040】

30

そのために、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、少なくとも、負レンズ $L f 1_1$ と、開口 $S 1$ と、を有し、第1中心軸 $C 1$ に対して回転対称な第1光学系 $G 1$ と、第1中心軸 $C 1$ に平行な第2中心軸 $C 2$ に対して回転対称であって、第1光学系 $G 1$ と同一構成で並列に配置される第2光学系 $G 2$ と、第1光学系 $G 1$ 及び第2光学系 $G 2$ のそれぞれの光路に交差するように配置される可変光学系 $G v$ と、を備え、可変光学系 $G v$ は、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか1つを変化させる少なくとも1つの可変光学素子2を有することが好ましい。

【0041】

第1光学系 $G 1$ 及び第2光学系 $G 2$ の物体側に負レンズ $L f 1_1$ 、 $L f 2_1$ を配置し、負レンズ $L f 1_1$ 、 $L f 2_1$ より像面I側の任意の位置に開口 $S 1$ 、 $S 2$ を配置することにより、非対称像歪みがなく、広画角を有し、100mm以下の比較的近い物点を違和感なく立体視することが可能な視差のある立体画像を撮像することが可能となる。

40

【0042】

さらに、可変光学系 $G v$ は、第1光学系 $G 1$ 及び第2光学系 $G 2$ の少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか1つを変化させる少なくとも1つの可変光学素子2を有するので、第1光学系 $G 1$ 及び第2光学系 $G 2$ の特性を一度に変化させることができ、小型な撮像光学系を形成することが可能となる。

【0043】

本発明の一実施形態である立体撮像光学系では、可変光学素子2は、第1光学系 $G 1$ 及び第2光学系 $G 2$ について、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか1つを同時に変化

50

させるので、第1光学系G1及び第2光学系G2の特性を同時に変化させることができ、性能を向上させることが可能となる。

【0044】

また、可変光学素子2は、透過面を有し、第1光学系G1及び第2光学系G2に等しい屈折作用を与えることが好ましい。

【0045】

第1光学系G1及び第2光学系G2に等しい屈折作用を与えるので、違和感なく立体視することが可能となる。

【0046】

また、第1光学系G1及び第2光学系G2は、それぞれ、物体側から像面側へ順に、負レンズL_{f1}、L_{f2}を有する前群G_{f1}、G_{f2}と、開口S1、S2と、後群G_{b1}、G_{b2}と、を有し、可変光学系G_vは、前群G_{f1}、G_{f2}よりも像面I側に配置されることが好ましい。

10

【0047】

可変光学系G_vを前群G_{f1}、G_{f2}よりも像面I側に配置するので、光束の変化を少なくすることが可能となる。

【0048】

図2は、可変光学系G_vが前群G_{f1}、G_{f2}と後群G_{b1}、G_{b2}の間に配置される一実施形態の立体撮像光学系1を示す図である。

【0049】

可変光学系G_vは、前群G_{f1}、G_{f2}と後群G_{b1}、G_{b2}の間に配置されることが好ましい。

20

【0050】

可変光学系G_vを前群G_{f1}、G_{f2}と後群G_{b1}、G_{b2}の間に配置するので、可変光学系G_vが開口S1、S2に近くなり、軸外収差を悪化させることなくフォーカスを変化させることが可能となると共に、少ない像劣化で輻輳を変化させることが可能となる。

【0051】

また、可変光学素子2は、単一の回転中心軸CRの周りに回転可能であることが好ましい。

【0052】

可変光学素子2が単一の回転中心軸CRの周りに回転するので、簡単な機構で第1光学系G1及び第2光学系G2のそれぞれの光路に交差することが可能となる。

30

【0053】

また、可変光学素子2は、回転中心軸CRを対称軸とする回転対称な形状であることが好ましい。

【0054】

可変光学素子2が回転中心軸CRを対称軸とする回転対称な形状なので、簡単な構造で第1光学系G1及び第2光学系G2のそれぞれの光路に交差し、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか1つを変化させることが可能となる。

【0055】

図3は、平面部を有する可変光学素子3の一例を示す図である。図4は、図3に示した可変光学素子3を回転中心軸方向から見た図である。また、図4(a)は可変光学素子3の第1状態、図4(b)は可変光学素子3の第2状態、図4(c)は可変光学素子3の第3状態を示す。

40

【0056】

可変光学系G_vは、可変光学素子3を有することが好ましい。可変光学素子3は、第1面部3aと、第1面部3aと同一構成で第1面部3aに対して回転中心軸CRを中心に所定角度回転した位置に配置される第2面部3bと、を少なくとも1組有することが好ましい。

【0057】

50

可変光学素子 3 は、このような構成の第 1 面部 3 a と第 2 面部 3 b を少なくとも 1 組有するので、可変光学系 G v を回転させることにより、少なくともフォーカス及び輻輳のどちらか 1 つを変化させることが可能となる。

【 0 0 5 8 】

また、可変光学素子 3 では、第 1 面部 3 a 及び第 2 面部 3 b は、それぞれ、少なくとも、回転中心軸 C R に直交する平面からなる第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ と、回転中心軸 C R に直交する平面からなり、第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ とは回転中心軸 C R 方向の厚さが異なる第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ と、を有することが好ましい。

【 0 0 5 9 】

図 3 に示す例では、可変光学素子 3 は、第 1 面部 3 a と第 2 面部 3 b との境界に、それぞれ第 1 境界段部 3 a b 及び第 2 境界段部 3 b a が形成され、第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ と第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ との間には、それぞれ第 1 切替段部 3 a' 及び第 2 切替段部 3 b' が形成される。

10

【 0 0 6 0 】

また、可変光学素子 3 は、第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ に、それぞれ物点 1 mm の光束 L o 1₁、L o 1₂ を通過させるための通過孔 3 a₁₁、3 b₁₁ が形成される。そして、物点 1.5 mm の光束 L o 1.5₁、L o 1.5₂ は、第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ を透過し、物点 5.0 mm の光束 L o 5.0₁、L o 5.0₂ は、第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ を透過する。

【 0 0 6 1 】

可変光学素子 3 において、第 1 面部 3 a 及び第 2 面部 3 b は、それぞれ、少なくとも第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ と第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ と、を有するので、可変光学素子 3 を回転させることにより、光路長が切り替わり、物点距離に応じて的確な回転角を与えてフォーカスをあわせることが可能となる。なお、本実施形態では、像点の移動がないので、光学系の任意の位置に所定の厚さの可変光学素子 3 を配置することが可能である。

20

【 0 0 6 2 】

例えば、図 4 (a) に示すように、第 1 状態として、第 1 光学系 G 1 の中心軸 C 1 及び第 2 光学系 G 2 の中心軸 C 2 に、物体側から見て、それぞれ可変光学素子 3 の通過孔 3 a₁₁、3 b₁₁ が重なるようにあわせて、物点 1 mm の光束 L o 1₁、L o 1₂ を通過させることが好ましい。また、図 4 (b) に示すように、第 2 状態として、第 1 光学系 G 1 の中心軸 C 1 及び第 2 光学系 G 2 の中心軸 C 2 に、物体側から見て、それぞれ可変光学素子 3 の第 1 平面部 3 a₁、3 b₁ が重なるようにあわせて、物点 1.5 mm の光束 L o 1.5₁、L o 1.5₂ を透過させることが好ましい。さらに、図 4 (c) に示すように、第 3 状態として、第 1 光学系 G 1 の中心軸 C 1 及び第 2 光学系 G 2 の中心軸 C 2 に、物体側から見て、それぞれ可変光学素子 3 の第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ が重なるようにあわせて、物点 5.0 mm の光束 L o 5.0₁、L o 5.0₂ を透過させることが好ましい。

30

【 0 0 6 3 】

なお、図 4 に示す例では、理解を容易にするために、第 1 状態から第 2 状態、第 2 状態から第 3 状態へ変更する際、又はその逆の際に、それぞれ可変光学素子 3 を回転軸 C R を中心として 60° 回転させる構成としたが、各状態を速く変更できるように、可変光学素子 3 の通過孔 3 a₁₁、3 b₁₁、第 1 平面部 3 a₁、3 b₁、及び第 2 平面部 3 a₂、3 b₂ の位置関係をより小さい角度に設定してもよい。

40

【 0 0 6 4 】

図 5 は、他の例の可変光学素子 3 を回転中心軸 C R 方向から見た図である。また、図 5 (a) は他の例の可変光学素子 3 の第 1 状態、図 5 (b) は他の例の可変光学素子 3 の第 2 状態を示す。

【 0 0 6 5 】

図 5 に示す例では、可変光学素子 3 の中心軸 C R は、第 1 光学系 G 1 の第 1 中心軸 C 1 と第 2 光学系 G 2 の第 2 中心軸 C 2 との中間から偏心して配置されている。

【 0 0 6 6 】

例えば、図 5 (a) に示すように、第 1 状態として、第 1 光学系 G 1 の中心軸 C 1 及び

50

第2光学系G2の中心軸C2に、物体側から見て、それぞれ可変光学素子3の第1平面部3a₁、3b₁が重なるようにあわせて、物点15mmの光束Lo15₁、Lo15₂を透過させることが好ましい。また、図5(b)に示すように、第2状態として、第1光学系G1の中心軸C1及び第2光学系G2の中心軸C2に、物体側から見て、それぞれ可変光学素子3の第2平面部3a₂、3b₂が重なるようにあわせて、物点50mmの光束Lo50₁、Lo50₂を透過させることが好ましい。

【0067】

なお、第1面部3aと第2面部3b以外の面を、第1面部3a及び第2面部3bと構成の等しい第3面部3cとして使用してもよい。

【0068】

図6は、他の例の可変光学素子3を回転中心軸CR方向から見た図である。また、図6(a)は他の例の可変光学素子3の第1状態、図6(b)は他の例の可変光学素子3の第2状態を示す。

【0069】

可変光学素子3は、一組の平面部からなる第1面部3aのみを使用し、第1平面部3a₁及び第2平面部3a₂から構成してもよい。

【0070】

例えば、図6(a)に示すように、第1状態として、物体側から見て第1光学系G1の中心軸C1に可変光学素子3の第1平面部3a₁が重なるように配置して、物点15mmの光束Lo15を透過させ、物体側から見て第2光学系G2の中心軸C2に可変光学素子3の第2平面部3a₂が重なるように配置して、物点50mmの光束Lo50を透過させることが好ましい。

【0071】

また、図6(b)に示すように、第2状態として、物体側から見て第1光学系G1の中心軸C1に可変光学素子3の第2平面部3a₂が重なるように配置して、物点50mmの光束Lo50を透過させ、物体側から見て第2光学系G2の中心軸C2に可変光学素子3の第1平面部3a₁が重なるように配置して、物点15mmの光束Lo15を透過させることが好ましい。

【0072】

立体撮像光学系1は、可変光学素子3を、回転中心軸を中心に180°回転させて、第1光学系G1と第2光学系G2で異なる位置にフォーカスが合った映像をそれぞれ高速に取り込む。そして、画面の周波数領域が高い方の映像を切り出してから合成することにより、焦点深度の深い映像を電子的に合成すればよい。

【0073】

図7は、傾斜面を有する可変光学素子4の一例を示す図である。

【0074】

本実施形態の可変光学系Gvは、可変光学素子4を有することが好ましい。可変光学素子4は、第1面部4a及び第2面部4bを有する。第1面部4a及び第2面部4bは、それぞれ所定の傾斜角で傾斜する少なくとも1つの傾斜面からなることが好ましい。図7に示す例では、第1面部4aと第2面部4bとの境界には、それぞれ第1境界段部4ab及び第2境界段部4baが形成される。

【0075】

可変光学素子4は、像面側に傾斜面を配置することが好ましい。像面側に傾斜面を配置することで、像点の移動を小さくすることが可能となる。

【0076】

第1面部4a及び第2面部4bには、それぞれ物点1mmの光束Lo1₁、Lo1₂を透過させるための通過孔4a₁、4b₁が形成される。そして、物点15mmの光束Lo15₁、Lo15₂及び物点50mmの光束Lo50₁、Lo50₂は、第1面部4a及び第2面部4bをそれぞれ異なる位置で透過する。

【0077】

10

20

30

40

50

第1面部4 a及び第2面部4 bは、それぞれ所定の傾斜角で傾斜する少なくとも1つの傾斜面からなるので、可変光学素子4を回転させることにより、光路長が連続的に変化し、物点距離に応じた的確な回転角を与えてフォーカスをあわせることが可能となる。

【0078】

なお、可変光学素子4が回転中心軸CRを中心に回転する場合、第1面部4 a及び第2面部4 bの垂線は、可変光学素子4の回転と共に2次元的な変化をする。そのため、通過する光束が屈折して、像中心が2次元的な移動をする。そのため、撮像素子からの画像の読み出し位置を変えて補正することが好ましい。また、像中心の移動を少なくするためには、可変光学系Gvを像面の近くに配置することが好ましい。

【0079】

図8は、螺旋面を有する可変光学素子5の一例を示す図である。

【0080】

本実施形態の可変光学系Gvは、可変光学素子5を有することが好ましい。可変光学素子5は、第1面部5 a及び第2面部5 bを有する。第1面部5 a及び第2面部5 bは、それぞれ回転中心軸CRを中心とする円の周方向に傾斜する少なくとも1つの螺旋面からなることが好ましい。図8に示す例では、第1面部5 a及び第2面部5 bは、それぞれ連続した螺旋面からなり、第1面部5 aと第2面部5 bとの境界には、それぞれ第1境界段部5 a b及び第2境界段部5 b aが形成される。

【0081】

第1面部5 a及び第2面部5 bには、それぞれ物点1 mmの光束Lo1₁, Lo1₂を通過させるための通過孔5 a₁, 5 b₁が形成される。そして、物点15 mmの光束Lo15₁, Lo15₂及び物点50 mmの光束Lo50₁, Lo50₂は、第1面部5 a及び第2面部5 bをそれぞれ異なる位置で透過する。

【0082】

図8に示す可変光学素子5の螺旋面は、常螺旋面で構成され、中心から回転しながら進む線分が常に中心軸CRと直交し、中心軸CRとなす角が垂直のままで変化しない面である。そのため、可変光学素子5が回転している際に、第1光学系G1の第1中心軸C1及び第2光学系G2の第2中心軸C2上を通る2つの主光線と可変光学素子5の透過面とのなす角度は、常に一定で変化しない。

【0083】

第1面部5 a及び第2面部5 bは、それぞれ回転中心軸CRを中心とする円の周方向に傾斜する少なくとも1つの螺旋面からなるので、可変光学素子5を回転させることにより、光路長が連続的に変化し、物点距離に応じた的確な回転角を与えてフォーカスをあわせることが可能となる。

【0084】

また、螺旋形状では、可変光学素子5が回転中心軸CRを中心に回転しても、螺旋面の垂線は変化しないので、あらかじめ撮像領域を設定しておくことが好ましい。

【0085】

図9は、第1面部5 a及び第2面部5 bが段部5 a', 5 b'を有する可変光学素子5の一例を示す図である。

【0086】

図9に示す例では、第1面部5 aと第2面部5 bとの境界には、それぞれ第1境界段部5 a b及び第2境界段部5 b aが形成され、第1螺旋面部5 a₁, 5 b₁と第2螺旋面部5 a₂, 5 b₂の間には、それぞれ第1切替段部5 a'及び第2切替段部5 b'が形成される。

【0087】

また、物点1 mmの光束Lo1, Lo1₂は、第1螺旋面部5 a₁, 5 b₁を透過し、物点15 mmの光束Lo15₁, Lo15₂及び物点50 mmの光束Lo50₁, Lo50₂は、第2螺旋面部5 a₂, 5 b₂を透過する。

【0088】

10

20

30

40

50

図9に示した可変光学素子5は、物点1mmの光束 L_{o1} 、 L_{o1_2} の場合にも、螺旋面を使用するので、物点15mmの光束 $L_{o1_5_1}$ 、 $L_{o1_5_2}$ 及び物点50mmの光束 L_{o50_1} 、 L_{o50_2} のときと比較して、XY方向への像点の移動が少ない。

【0089】

図9に示した可変光学素子5では、第1面部5a及び第2面部5bは、それぞれ、少なくとも、第1螺旋面部 $5a_1$ 、 $5b_1$ と、第2螺旋面部 $5a_2$ 、 $5b_2$ と、を有するので、可変光学素子5を回転させることにより、光路長が切り替わり、又は光路長が連続的に変化し、物点距離に応じた的確な回転角を与えてフォーカスをあわせることが可能となる。

【0090】

また、螺旋形状では、可変光学素子5が回転中心軸CRを中心に回転しても、螺旋面の垂線は変化しないので、あらかじめ撮像領域を設定しておくことが好ましい。

【0091】

図10は、放射方向傾斜面を有する可変光学素子6の一例を示す図である。

【0092】

本実施形態の可変光学系Gvは、可変光学素子6を有することが好ましい。可変光学素子6は、第1面部6a及び第2面部6bを有する。第1面部6a及び第2面部6bは、それぞれ回転中心軸CRを中心とする円の周方向に連続して回転中心軸CRに対する放射方向の角度が変化する少なくとも1つの放射方向傾斜面からなることが好ましい。図10に示す例では、第1面部6a及び第2面部6bは、それぞれ連続した放射方向傾斜面からなり、第1面部6aと第2面部6bとの境界には、それぞれ第1境界段部6ab及び第2境界段部6baが形成される。

【0093】

第1面部6a及び第2面部6bには、物点10mmの光束 L_{o10_1} 、 L_{o10_2} 及び物点50mmの光束 L_{o50_1} 、 L_{o50_2} は、第1面部6a及び第2面部6bをそれぞれ異なる位置で透過する。

【0094】

第1面部6a及び第2面部6bは、それぞれ回転中心軸CRを中心とする円の周方向に連続して回転中心軸CRに対する放射方向の角度が変化する少なくとも1つの放射方向傾斜面からなるので、可変光学素子6を回転させることにより、連続的に放射方向傾斜面の傾きを連続的に変化させることが可能となる。この場合、透過光路の光路長が変化することがなく、特に輻輳のみを変化させることが可能となる。

【0095】

さらに好ましくは、図8に示した螺旋面と、図10に示した放射方向傾斜面とを組み合わせることで、物点距離に応じた的確な回転角を与えてフォーカス及び輻輳を同時にあわせることが可能となり、常に物体中心を撮像面中心に配置することが可能となる。

【0096】

図11は、図10に示した可変光学素子6をX軸方向から見た図である。図12は、図10に示した可変光学素子6をY軸方向から見た図である。図13は、補正光学素子60を用いた可変光学系Gvを示す図である。

【0097】

図11又は図12に示すような可変光学素子6は、傾斜面又は螺旋面によって左右光軸に曲がりを生じさせる場合がある。そのため、図13に示すように、楔形の補正光学素子60を用いることが好ましい。このように、楔形の補正光学素子60を用いることで、傾斜面又は螺旋面によって発生する左右光路の像中心のズレを補正することが可能となる。

【0098】

図14は、自由曲面を有する可変光学素子7の一例を示す図である。

【0099】

可変光学素子7は、部分的曲率が変化している少なくとも1つの曲面を有することが好ましい。

【0100】

10

20

30

40

50

曲面の部分で曲率を異ならせることで、少なくとも第1光学系G1及び第2光学系G2の光路を選択的に透過させることにより、フォーカスの調整に使用することが可能となる。

【0101】

この場合、曲面は、自由曲面であることが好ましい。

【0102】

自由曲面で場所により異なる形状の面を作製し、遠点では可変光学素子7の比較的光学的に屈折力の弱い部分、又は負の屈折力の部分を光束が通過し、近点では、可変光学素子7の比較的光学的に屈折力の強い部分、又は正の屈折力の部分を光束が通過するように設定し、遠点と近点とでフォーカスを調整することが可能となる。

10

【0103】

図15は、少なくとも1つの光学素子81が中心軸C方向に移動可能な可変光学系Gvの一例を示す図である。

【0104】

可変光学系Gvは、少なくとも1つの正又は負の可変光学素子81を有し、可変光学素子81は、中心軸C方向に移動可能であることが好ましい。図15に示すように、可変光学系Gvの可変光学素子81は、可変光学系Gvの中心軸C方向に移動可能となっている。このため、物点が移動した場合に可変光学素子81を中心軸C方向に移動させることで、第1光学系G1及び第2光学系G2のフォーカスを調整することが可能となる。

【0105】

また、可変光学系Gvは、第1中心軸C1と第2中心軸C2の中間に光学系中心軸Cが配置され、光学系中心軸Cに対して回転対称な正と負の2枚のレンズ81, 82からなり、正と負の2枚のレンズ81, 82のうち少なくとも1枚のレンズ81は、光学系中心軸Cの方向に移動可能な可変光学素子81であることが好ましい。

20

【0106】

特に、物点移動の距離が大きい場合、パワーの強い可変光学素子81を移動する必要があるが、一般的にパワーの強い光学素子が像面近傍に配置されると、強い像面湾曲が発生する。本実施形態のように、偏心している光学系では、像面湾曲の発生が左右の光路で異なって発生してしまうので、著しく解像力が劣化してしまう。これを避けるため、正と負の光学素子を配置して像面湾曲の発生をキャンセルし、どちらか一方を移動することが重要である。

30

【0107】

また、第1中心軸C1と第2中心軸C2の間隔は、10mm以下であることが好ましい。

【0108】

通常の立体撮像光学系では、違和感のない立体感を得るために50mm程度の入射瞳間隔を有している。また、顕微鏡は、20mm程度の入射瞳間隔を有し、複雑な連動機構等を使用してズームやフォーカスを行っている。また、硬性鏡では撮像部が体内から外に出るので、撮像部にフォーカス機構等を入れやすい。

【0109】

これに対して、内視鏡に用いる立体撮像光学系では、撮像部も体内に入るため、単純な構造で、入射瞳を10mm以下とすることが好ましい。そこで、単一素子の単一動作で両眼共にフォーカス及び輻輳の操作が行えることが好ましい。

40

【0110】

また、図15に示すように、第1前群Gf1の平凹負レンズLf1₁は、第2前群Gf2側を一部切り欠いた第1切り欠き部91が形成され、第2前群Gf2の平凹負レンズLf2₁は、第1前群Gf1側を一部切り欠いた第2切り欠き部92が形成されてもよい。

【0111】

第1切り欠き部91と第2切り欠き部92は、当接されることが好ましい。第1切り欠き部91と第2切り欠き部92が当接されることによって、第1前群Gf1の第1光軸C

50

1と第2前群G f 2の第2光軸C 2との距離を縮めることができ、立体撮像光学系1を小型化することが可能となる。

【0112】

なお、切り欠き部は、他の第1前群G f 1と第2前群G f 2の対応するレンズに形成し、それぞれ当接させてもよい。

【0113】

また、第1切り欠き部9 1と第2切り欠き部9 2との間に図示しない遮光部材を設置してもよい。遮光部材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。

10

【0114】

また、平凹負レンズL f 1₁と平凹負レンズL f 2₁は、一体に成型してもよい。

【0115】

また、物体側観察画角が60°以上であることが好ましい。

【0116】

観察画角が広い場合、物体側でフォーカス及び内向角の調整を行うと、回転非対称な像歪みが発生する。本実施形態では、可変光学系G vを像面側に配置しているので、観察画角を広くすることが可能となっている。

【0117】

なお、図4～図6に示した可変光学素子3の構成の例は、平面だけでなく、他の傾斜面、螺旋面、放射方向傾斜面、自由曲面からなる可変光学素子4, 5, 6, 7にも適用することが可能である。また、可変光学系G vの中心軸は、第1光学系G 1及び第2光学系G 2の中心軸の間からずれていてもよい。さらに、可変光学素子4, 5, 6, 7の各面は、第1面部の1つの面で構成してもよい。

20

【0118】

さらに、可変光学系G vは、各実施形態を組み合わせた構造としてもよい。例えば、物体側の面と像面側の面で異なる種類の面を適用してもよい。

【0119】

図16は、本発明に係る一実施形態の立体撮像光学系1の焦点距離fを説明する図である。

30

【0120】

本実施形態の立体撮像装置は、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$d / f < 0.5 \quad (1)$$

ただし、

dは、可変光学系G vと開口Sとの距離、

fは、光学系全系の焦点距離、

である。

【0121】

本実施形態では、図16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までの距離をこの立体撮像光学系1の焦点距離fとする。

40

【0122】

条件式(1)の上限を上回ると、可変光学系G vと開口Sとの距離が離れてしまい、フォーカス及び輻輳を変換する場合、像周辺の収差が極端に悪化して解像力が悪くなってしまふ。

【0123】

本実施形態の立体撮像装置は、以下の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$10 < f b / f \quad (2)$$

50

ただし、

f_b は、可変光学系 G_v の焦点距離、

f は、光学系全系の焦点距離、

である。

【0124】

条件式(2)の下限を下回ると、可変光学系 G_v の焦点距離が短くなりすぎ、像面湾曲の発生が大きくなり、像周辺まで高い解像力を得ることができなくなる。

【0125】

さらに好ましくは、以下の条件式(2')を満足することが好ましい。

$$50 < |f_b / f| \quad (2')$$

10

ただし、

f_b は、可変光学系 G_v の焦点距離、

f は、光学系全系の焦点距離、

である。

【0126】

条件式(2')の下限を下回ると、可変光学系 G_v の焦点距離が短くなりすぎ、像面湾曲の発生が大きくなり、像周辺まで高い解像力を得ることができなくなる。

【0127】

本実施形態の立体撮像装置は、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$0.3 < d_v / f \quad (3)$$

20

ただし、

d_v は、可変光学素子 G_v の移動量

f は、光学系全系の焦点距離、

である。

【0128】

条件式(3)の下限を下回ると、可変光学系 G_v の移動に伴うフォーカス調整範囲が短くなり、近点と遠点の距離を十分に確保することができなくなる。

【0129】

以下に、本実施形態にかかる立体撮像光学系1の実施例を説明する。なお、実施例の数値データは、後述する。実施例における座標系は、回転中心軸 C_R の像面に向かう方向を Z 軸正方向、回転中心軸 C_R から第2中心軸 C_2 に向かう方向を X 軸正方向とする。なお、実施例6-8及び10-14は、参考例とする。

30

【0130】

図17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18及び図19は、実施例1の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図20及び図21は、実施例1の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図22は、実施例1の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0131】

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、実施例の横収差図に関して同様である。

40

【0132】

実施例1の立体撮像光学系1は、図17に示すように、物体側から像面側へ順に、第1中心軸 C_1 を光軸とする第1光学系 G_1 、及び、第1中心軸 C_1 と並列に配置された第2中心軸 C_2 を光軸とする第2光学系 G_2 と、単一の中心軸 C を有する可変光学系 G_v と、を備える。

【0133】

第1光学系 G_1 及び第2光学系 G_2 を並列に配置することにより、立体観察が可能とな

50

る。

【0134】

第1光学系G1は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズL f 1₁と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL f 1₂と、を有する第1前群G f 1と、第1開口S1と、両凹負レンズL b 1₁と両凸正レンズL b 1₂の第1後群接合レンズS U b 1₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b 1₃と、を有する第1後群G b 1と、を有する。

【0135】

第2光学系G2は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズL f 2₁と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL f 2₂と、を有する第2前群G f 2と、第2開口S2と、両凹負レンズL b 2₁と両凸正レンズL b 2₂の第2後群接合レンズS U b 2₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b 2₃と、を有する第2後群G b 2と、を有する。

10

【0136】

可変光学系Gvは、図3に示した可変光学素子3の形状であって、中心軸Cを回転中心軸CRとして回転可能であり、物点1mmの時に光束が通過する通過孔3 a₁₁, 3 b₁₁を有する。また、物点15mmの時に光束が通過する第1平面3 a₁, 3 b₁の厚さは、0.679mmである。物点50mmの時に光束が透過する第2平面3 a₂, 3 b₂の厚さは、0.755mmである。

【0137】

また、像面Iの手前には、フィルタを配置する。

【0138】

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L1は、両凹負レンズL f 1₁、正メニスカスレンズL f 1₂、第1開口S1、第1後群G b 1の接合レンズS U b 1₁、及び、正メニスカスレンズL b 1₃、を通過して、第1後群G b 1を射出し、その後、可変光学系Gvに入射する。

20

【0139】

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L2は、両凹負レンズL f 2₁、正メニスカスレンズL f 2₂、第2開口S2、第2後群G b 2の接合レンズS U b 2₁、及び、正メニスカスレンズL b 2₃、を通過して、第2後群G b 2を射出し、その後、可変光学系Gvに入射する。

【0140】

可変光学系Gvの可変光学素子3に入射した第1光束L1及び第2光束L2は、図3に示したように、物点1mmの時には、光束は通過孔3 a₁₁, 3 b₁₁を通過し、物点15mmの時には、光束は第1平面3 a₁, 3 b₁を透過し、物点50mmの時には、光束は第2平面3 a₂, 3 b₂を透過する。その後、第1光束L1及び第2光束L2は、フィルタFを通過して像面に入射する。

30

【0141】

図23は、実施例2の立体撮像光学系1の像の移動を示す図である。

【0142】

図示しない実施例2の立体撮像光学系1は、実施例1の立体撮像光学系1に、図7に示した構造の可変光学素子4を適用したものである。なお、実施例2のレンズデータは、実施例1と同じなので、光路図と収差図は省略する。

40

【0143】

実施例2の可変光学素子4は、図7に示したように、傾斜面を有する。傾斜面は、第1境界段部4 a bでのXY平面に対する第1面部4 aの角度及び第2境界段部4 b aでのXY平面に対する第2面部4 bの角度である傾斜角度を2.467°とする。

【0144】

物点50mmから物点15mmにフォーカスをあわせるためには、中心軸CRを中心に可変光学素子4を45°回転させる。また、物点15mmから物点1mmにフォーカスをあわせるためには、中心軸CRを中心に可変光学素子4を45°回転させる。可変光学系Gvの最も厚い部分は、0.754mmで、最も薄い部分は、0.709mmであり、第

50

1 面部 4 a 及び第 2 面部 4 b は、連続的に傾斜する。

【 0 1 4 5 】

実施例 2 の立体撮像光学系 1 では、図 2 3 に示すような軌跡を描いて、像点が移動する。像点は、像高に対して約 6 % 移動する。この移動を小さくするために、可変光学系 G v を像面近傍に配置することが好ましい。

【 0 1 4 6 】

図示しない実施例 3 の立体撮像光学系 1 は、実施例 1 の立体撮像光学系 1 に、図 8 に示した構造の可変光学素子 5 を適用したものである。なお、実施例 3 のレンズデータは、実施例 1 と同じなので、光路図と収差図は省略する。

【 0 1 4 7 】

実施例 3 の可変光学素子 5 は、図 8 に示したように、螺旋面を有する。可変光学素子 5 の最も厚い部分は、0.754 mm で、最も薄い部分は、0.709 mm であり、第 1 面部 5 a 及び第 2 面部 5 b は、連続的な螺旋形状である。可変光学素子 5 は、連続的な螺旋形状なので、回転しても光路中での面の傾きが一定で変化しないので、像点は移動しない。

【 0 1 4 8 】

また、実施例 1 の立体撮像光学系 1 に、図 8 に示した構造の可変光学素子 5 を適用した場合、物点が 1 mm の光束 $L o 1_1$, $L o 1_2$ も螺旋面の、第 1 面部 5 a 及び第 2 面部 5 b を透過するので、像点の移動がなくなり、好ましい。

【 0 1 4 9 】

図示しない実施例 4 の立体撮像光学系 1 は、実施例 1 の立体撮像光学系 1 に、図 1 0 及び図 1 4 に示した構造の可変光学素子 6 を適用したものである。

【 0 1 5 0 】

実施例 4 の可変光学素子 6 は、物体側に図 1 0 に示した放射方向傾斜面、像面側に図 1 4 に示した自由曲面を有する。図 1 0 及び図 1 4 に示した構造の可変光学素子 6 を実施例 1 の立体撮像光学系 1 に適用する際には、実施例 1 の場合と面間隔を異ならせて配置する。なお、放射方向傾斜面及び自由曲面は、それぞれ単独の可変光学素子に別々に用いてもよい。

【 0 1 5 1 】

物点 50 mm の光束 $L o 5 0_1$, $L o 5 0_2$ が通過する部分において、可変光学素子 6 の厚さは 0.820 mm で、回転中心軸 C R 側が下がる方向に 1.196° 傾斜している。そこから連続的に変化して、物点 10 mm の光束 $L o 1 0_1$, $L o 1 0_2$ が通過する部分において、可変光学素子 6 の厚さは 0.700 mm で、回転中心軸 C R 側が上がる方向に 1.196° 傾斜している。実施例 4 では、物点 50 mm の光束 $L o 5 0_1$, $L o 5 0_2$ と物点 10 mm の光束 $L o 1 0_1$, $L o 1 0_2$ は、可変光学素子 6 を 90° 回転させて配置しているが、これに限らず、任意に設定してもよい。

【 0 1 5 2 】

なお、実施例 4 の自由曲面は、後述する実施例 5 の自由曲面と同様の構成を有する。

【 0 1 5 3 】

図 2 4 は、実施例 5 の可変光学系 G v の可変光学素子 7 の自由曲面形状を示す図である。図 2 5 及び図 2 6 は、実施例 5 の立体撮像光学系 1 の遠点での収差図を示す。図 2 7 及び図 2 8 は、実施例 5 の立体撮像光学系 1 の近点での収差図を示す。

【 0 1 5 4 】

実施例 5 の立体撮像光学系 1 は、実施例 1 の立体撮像光学系 1 に、図 1 4 に示した構造の可変光学素子 7 を適用したものである。なお、実施例 5 のレンズデータは、実施例 1 と同じなので、光路図は省略する。また、実施例 5 の自由曲面は、実施例 4 の自由曲面と同様の構成を有する。

【 0 1 5 5 】

実施例 5 の可変光学系 G v は、可変光学素子 7 を有する。可変光学素子 7 は、図 2 4 に示すように、なめらかな自由曲面を有し、部分的な曲率変化を生じさせてフォーカスを合

10

20

30

40

50

わせる。実施例 5 の可変光学系 G_v の可変光学素子 7 は、物点 15 mm で使用する領域を物点 50 mm で使用する領域よりも比較的凸成分とし、回転させることで、連続的にフォーカスを合わせる。

【0156】

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 及び図 31 は、実施例 6 の立体撮像光学系 1 の遠点での横収差図である。図 32 及び図 33 は、実施例 6 の立体撮像光学系 1 の近点での横収差図である。図 34 は、実施例 6 の立体撮像光学系 1 の像歪みを示す図である。

【0157】

実施例 6 の立体撮像光学系 1 は、図 29 に示すように、物体側から像面側へ順に、第 1 中心軸 C_1 を光軸とする第 1 光学系 G_1 、及び、第 1 中心軸 C_1 と並列に配置された第 2 中心軸 C_2 を光軸とする第 2 光学系 G_2 と、単一の中心軸 C を有する可変光学系 G_v と、を備える。

10

【0158】

第 1 光学系 G_1 及び第 2 光学系 G_2 を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0159】

第 1 光学系 G_1 は、物体側から像面側へ順に、平両凹負レンズ L_{f1_1} と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{f1_2} と両凸正レンズ L_{f1_3} の第 1 前群接合レンズ $S U_{f1_1}$ と、を有する第 1 前群 G_{f1} と、第 1 開口 S_1 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{b1_1} と両凸正レンズ L_{b1_2} の第 1 後群接合レンズ $S U_{b1_1}$ を有する第 1 後群 G_{b1} と、を有する。

20

【0160】

第 2 光学系 G_2 は、物体側から像面側へ順に、平両凹負レンズ L_{f2_1} と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{f2_2} と両凸正レンズ L_{f2_3} の第 2 前群接合レンズ $S U_{f2_1}$ と、を有する第 2 前群 G_{f2} と、第 2 開口 S_2 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{b2_1} と両凸正レンズ L_{b2_2} の第 2 後群接合レンズ $S U_{b2_1}$ を有する第 2 後群 G_{b2} と、を有する。

【0161】

可変光学系 G_v は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズからなる第 1 レンズ 8_1 と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなる第 2 レンズ 8_2 と、を有する。第 1 レンズ 8_1 は、可変光学素子を構成し、中心軸 C の方向に移動可能である。第 1 レンズ 8_1 を中心軸 C の方向に移動させることによって、物点 33 mm から物点 10 mm までフォーカスを合わせることが可能となる。

30

【0162】

また、第 1 像面 I_1 及び第 1 像面 I_2 の手前には、フィルタ F を配置する。

【0163】

図示しない第 1 物体面から第 1 前群 G_{f1} に入射した第 1 光束 L_1 は、平凹負レンズ L_{f1_1} 、第 1 前群接合レンズ $S U_{f1_1}$ 、第 1 開口 S_1 、及び、第 1 後群接合レンズ $S U_{b1_1}$ 、を通過して、第 1 後群 G_{b1} を射出し、その後、可変光学系 G_v に入射する。

40

【0164】

図示しない第 2 物体面から第 2 前群 G_{f2} に入射した第 2 光束 L_2 は、平凹負レンズ L_{f2_1} 、第 2 前群接合レンズ $S U_{f2_1}$ 、第 2 開口 S_2 、及び、第 2 後群接合レンズ $S U_{b2_1}$ 、を通過して、第 2 後群 G_{b2} を射出し、その後、可変光学系 G_v に入射する。

【0165】

可変光学系 G_v に入射した第 1 光束 L_1 及び第 2 光束 L_2 は、第 1 レンズ 8_1 及び第 2 レンズ 8_2 を透過する。その後、第 1 光束 L_1 及び第 2 光束 L_2 は、フィルタ F を通過して第 1 像面 I_1 及び第 1 像面 I_2 に入射する。

【0166】

図 35 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 36 及び

50

図37は、実施例7の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図38及び図39は、実施例7の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図40は、実施例7の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0167】

実施例7の立体撮像光学系1は、図35に示すように、物体側から像面側へ順に、第1中心軸C1を光軸とする第1光学系G1、及び、第1中心軸C1と並列に配置された第2中心軸C2を光軸とする第2光学系G2と、単一の中心軸Cを有する可変光学系Gvと、を備える。

【0168】

第1光学系G1及び第2光学系G2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

10

【0169】

第1光学系G1は、物体側から像面側へ順に、平凹負レンズLf1₁と、両凸正レンズLf1₂と、両凹負レンズLf1₃と両凸正レンズLf1₄の第1前群接合レンズSuf1₁と、を有する第1前群Gf1と、第1開口S1と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLb1₁と両凸正レンズLb1₂の第1後群接合レンズSub1₁を有する第1後群Gb1と、を有する。

【0170】

第2光学系G2は、物体側から像面側へ順に、平凹負レンズLf2₁と、両凸正レンズLf2₂と、両凹負レンズLf2₃と両凸正レンズLf2₄の第2前群接合レンズSuf2₁と、を有する第2前群Gf2と、第2開口S2と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLb2₁と両凸正レンズLb2₂の第2後群接合レンズSub2₁を有する第2後群Gb2と、を有する。

20

【0171】

可変光学系Gvは、両凹負レンズからなる第1レンズ81と、両凸正レンズからなる第2レンズ82と、を有する。第2レンズ82は、可変光学素子を構成し、中心軸Cの方向に移動可能である。第2レンズ82を中心軸Cの方向に移動させることによって、物点33mmから物点0mmまでフォーカスを合わせることが可能となる。

【0172】

また、第1像面I₁及び第1像面I₂の手前には、フィルタFを配置する。

30

【0173】

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、平凹負レンズLf1₁、両凸正レンズLf1₂、第1前群接合レンズSuf1₁、第1開口S1、及び、第1後群接合レンズSub1₁、を通過して、第1後群Gb1を射出し、その後、可変光学系Gvに入射する。

【0174】

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、平凹負レンズLf2₁、両凸正レンズLf2₂、第2前群接合レンズSuf2₁、第2開口S2、及び、第2後群接合レンズSub2₁、を通過して、第2後群Gb2を射出し、その後、可変光学系Gvに入射する。

40

【0175】

可変光学系Gvに入射した第1光束L1及び第2光束L2は、第1レンズ81及び第2レンズ82を透過する。その後、第1光束L1及び第2光束L2は、フィルタFを通過して第1像面I₁及び第1像面I₂に入射する。

【0176】

図41は、実施例8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42及び図43は、実施例8の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図44及び図45は、実施例8の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図46は、実施例8の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0177】

50

実施例 8 の立体撮像光学系 1 は、図 4 1 に示すように、物体側から像面側へ順に、第 1 中心軸 C 1 を光軸とする第 1 光学系 G 1、及び、第 1 中心軸 C 1 と並列に配置された第 2 中心軸 C 2 を光軸とする第 2 光学系 G 2 と、単一の中心軸 C を有する可変光学系 G v と、を備える。

【 0 1 7 8 】

第 1 光学系 G 1 及び第 2 光学系 G 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 9 】

第 1 光学系 G 1 は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズ L f 1₁ と、両凸正レンズ L f 1₂ と、を有する第 1 前群 G f 1 と、第 1 開口 S 1 と、両凹負レンズ L b 1₁ と両凸正レンズ L b 1₂ の第 1 後群接合レンズ S U b 1₁ と、両凸正レンズ L b 1₃ と、を有する第 1 後群 G b 1 と、を有する。

10

【 0 1 8 0 】

第 2 光学系 G 2 は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズ L f 2₁ と、両凸正レンズ L f 2₂ と、を有する第 2 前群 G f 2 と、第 2 開口 S 2 と、両凹負レンズ L b 2₁ と両凸正レンズ L b 2₂ の第 2 後群接合レンズ S U b 2₁ と、両凸正レンズ L b 2₃ と、を有する第 2 後群 G b 2 と、を有する。

【 0 1 8 1 】

可変光学系 G v は、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなる第 1 レンズ 8 1 と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなる第 2 レンズ 8 2 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズからなる第 3 レンズ 8 3 と、を有する。第 2 レンズ 8 2 は、可変光学素子を構成し、中心軸 C の方向に移動可能である。第 2 レンズ 8 2 を中心軸 C の方向に移動させることによって、輻輳を 6 2 . 5 0 0 mm から 1 8 . 7 5 0 mm まで合わせることが可能となる。

20

【 0 1 8 2 】

また、第 1 像面 I₁ 及び第 1 像面 I₂ の手前には、フィルタ F を配置する。

【 0 1 8 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、平凹負レンズ L f 1₁、両凸正レンズ L f 1₂、第 1 開口 S 1、第 1 後群接合レンズ S U b 1₁、及び、両凸正レンズ L b 1₃、を通過して、第 1 後群 G b 1 を射出し、その後、可変光学系 G v に入射する。

30

【 0 1 8 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、平凹負レンズ L f 2₁、両凸正レンズ L f 2₂、第 2 開口 S 2、第 2 後群接合レンズ S U b 2₁、及び、両凸正レンズ L b 2₃、を通過して、第 2 後群 G b 2 を射出し、その後、可変光学系 G v に入射する。

【 0 1 8 5 】

可変光学系 G v に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、第 1 レンズ 8 1、第 2 レンズ 8 2、及び第 3 レンズ 8 3 を透過する。その後、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、フィルタ F を通過して第 1 像面 I₁ 及び第 1 像面 I₂ に入射する。

40

【 0 1 8 6 】

図 4 7 は、実施例 9 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 4 8 は、実施例 9 の可変光学素子の物体側の面の概念図である。図 4 9 は、実施例 9 の可変光学素子の像面側の面の概念図である。図 5 0 及び図 5 1 は、実施例 9 の立体撮像光学系 1 の遠点での横収差図である。図 5 2 及び図 5 3 は、実施例 9 の立体撮像光学系 1 の近点での横収差図である。図 5 4 は、実施例 9 の立体撮像光学系 1 の像歪みを示す図である。

【 0 1 8 7 】

実施例 9 の立体撮像光学系 1 は、図 4 7 に示すように、物体側から像面側へ順に、第 1 中心軸 C 1 を光軸とする第 1 光学系 G 1 の第 1 前群 G f 1、及び、第 1 中心軸 C 1 と並列に配置された第 2 中心軸 C 2 を光軸とする第 2 光学系 G 2 の第 2 前群 G f 2 と、単一の中

50

心軸 C を有する可変光学系 G v と、第 1 中心軸 C 1 を光軸とする第 1 光学系 G 1 の第 1 後群 G b 1、及び、第 1 中心軸 C 1 と並列に配置された第 2 中心軸 C 2 を光軸とする第 2 光学系 G 2 の第 2 後群 G b 2 と、を備える。

【 0 1 8 8 】

第 1 光学系 G 1 及び第 2 光学系 G 2 を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。第 1 中心軸 C 1 と第 2 中心軸 C 2 の間隔は 3 mm である。

【 0 1 8 9 】

第 1 光学系 G 1 の第 1 前群 G f 1 は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズ L f 1₁ と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 1₂ と、を有する。第 1 光学系 G 1 の第 1 後群 G b 1 は、第 1 開口 S 1 と、両凹負レンズ L b 1₁ と両凸正レンズ L b 1₂ の第 1 後群接合レンズ S U b 1₁ と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1₃ と、を有する。

10

【 0 1 9 0 】

第 2 光学系 G 2 の第 2 前群 G f 2 は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズ L f 2₁ と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 2₂ と、を有する。第 2 光学系 G 2 の第 2 後群 G b 2 は、第 2 開口 S 2 と、両凹負レンズ L b 2₁ と両凸正レンズ L b 2₂ の第 2 後群接合レンズ S U b 2₁ と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 2₃ と、を有する。

【 0 1 9 1 】

可変光学系 G v は、物体側から像面側へ順に、図 4 8 示した放射方向傾斜螺旋面と、図 4 9 に示した自由曲面と、を有する可変光学素子 9 を備える。

20

【 0 1 9 2 】

また、可変光学素子 9 の物体側は、図 4 8 に示したように、放射方向傾斜螺旋面を有する。物点 5 0 mm の光束 L o 5 0₁、L o 5 0₂ が通過する部分において、可変光学素子 9 は、回転中心軸 C R 側が上がる方向に 0 . 0 4 4 ° 傾斜している。そこから連続的に変化して、物点 1 5 mm の光束 L o 1 5₁、L o 1 5₂ が通過する部分において、可変光学素子 9 は、回転中心軸 C R 側が上がる方向に 2 . 0 9 4 ° 傾斜している。光束中心の厚さは、全周で変化せず、0 . 6 2 5 mm である。実施例 9 では、物点 5 0 mm の光束 L o 5 0₁、L o 5 0₂ と物点 1 5 mm の光束 L o 1 5₁、L o 1 5₂ は、9 0 ° 回転させて配置しているが、これに限らず、任意に設定してもよい。

30

【 0 1 9 3 】

可変光学素子 9 の像面側は、図 4 9 に示したように、なめらかな自由曲面を有し、部分的な曲率変化を生じさせてフォーカスを合わせる。実施例 9 の可変光学系 G v の可変光学素子 9 は、物点 5 0 mm で使用する領域を物点 1 5 mm で使用する領域よりも比較的凸成分とし、回転させることで、連続的にフォーカスを合わせる。

【 0 1 9 4 】

また、第 1 像面 I₁ 及び第 1 像面 I₂ の手前には、第 1 フィルタ F 1 及び第 2 フィルタ F 2 を配置する。

【 0 1 9 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、両凹負レンズ L f 1₁、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 1₂、可変光学素子 9、第 1 開口 S 1、第 1 後群接合レンズ S U b 1₁、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1₃、を通過して、第 1 後群 G b 1 を射出し、その後、第 1 フィルタ F 1 を通過して第 1 像面 I₁ に入射する。

40

【 0 1 9 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、両凹負レンズ L f 2₁、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 2₂、可変光学素子 9、第 2 開口 S 2、第 2 後群接合レンズ S U b 2₁、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 2₃、を通過して、第 2 後群 G b 2 を射出し、その後、第 2 フィルタ F 2 を通過して第 2 像面 I₂ に入射する。

50

【0197】

図55は、実施例10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56は、実施例10の可変光学系Gvの中心軸Cに沿った断面図である。図57は、実施例10の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図58は、実施例10の立体撮像光学系1の中間状態での横収差図である。図59は、実施例10の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図60は、実施例10の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0198】

実施例10の立体撮像光学系1は、図55に示すように、物体側から像面側へ順に、第1前群Gf1、第1絞りS1、及び、第1後群Gb1を有する第1中心軸C1を光軸とする第1光学系G1と、第2前群Gf2、第2絞りS2、及び、第2後群Gb2を有する第1中心軸C1と並列に配置された第2中心軸C2を光軸とする第2光学系G2と、単一の中心軸Cを有する可変光学系Gvと、を備える。

10

【0199】

立体撮像光学系1は、第1光学系G1及び第2光学系G2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

【0200】

第1光学系G1の第1前群Gf1は、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₂と両凸正レンズLf1₃の第1前群第1接合レンズSuf1₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf1₄と、両凸正レンズLf1₅と両凹負レンズLf1₆の第1前群第2接合レンズSuf1₂と、を有する。

20

【0201】

第1光学系G1の第1後群Gb1は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb1₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLb1₂と両凸正レンズLb1₃の第1後群接合レンズSub1₁と、両凸正レンズLb1₄と、を有する。

【0202】

第2光学系G2の第2前群Gf2は、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2₂と両凸正レンズLf2₃の第2前群第1接合レンズSuf2₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf2₄と、両凸正レンズLf2₅と両凹負レンズLf2₆の第2前群第2接合レンズSuf2₂と、を有する。

30

【0203】

第2光学系G2の第2後群Gb2は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb2₁と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLb2₂と両凸正レンズLb2₃の第2後群接合レンズSub2₁と、両凸正レンズLb2₄と、を有する。

【0204】

可変光学系Gvは、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凸正レンズLv₁と、像面側に平面を向けた平凹負レンズLv₂と、を有する。平凹負レンズLv₂は、可変光学素子を構成する。

【0205】

また、第1像面I₁及び第1像面I₂の手前には、フィルタFを配置する。

40

【0206】

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、両凹負レンズLf1₁、第1前群第1接合レンズSuf1₁、正メニスカスレンズLf1₄、第1前群第2接合レンズSuf1₂、第1開口S1、正メニスカスレンズLb1₁、第1後群接合レンズSub1₁、両凸正レンズLb1₄、を通過して、第1後群Gb1を射出し、その後、可変光学系Gvに入射し、平凸正レンズLv₁及び平凹負レンズLv₂を通過して、可変光学系Gvから射出し、フィルタFを通過して第1像面I₁に入射する。

【0207】

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、両凹負レンズL

50

f_{2_1} 、第2前群第1接合レンズ $S U f_{2_1}$ 、正メニスカスレンズ $L f_{2_4}$ 、第2前群第2接合レンズ $S U f_{2_2}$ 、第2開口 S_2 、正メニスカスレンズ $L b_{2_1}$ 、第2後群接合レンズ $S U b_{2_1}$ 、両凸正レンズ $L b_{2_4}$ 、を通過して、第2後群 $G b_2$ を射出し、その後、可変光学系 $G v$ に入射し、平凸正レンズ $L v_1$ 及び平凹負レンズ $L v_2$ を通過して、可変光学系 $G v$ から射出し、フィルタ F を通過して第2像面 I_2 に入射する。

【0208】

図61は、実施例11の可変光学系 $G v$ の中心軸 C に沿った断面図である。図62は、実施例11の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図63は、実施例11の立体撮像光学系1の中間状態での横収差図である。図64は、実施例11の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図65は、実施例11の立体撮像光学系1の像歪みを示す図

10

【0209】

実施例11の立体撮像光学系1は、図55に示した実施例10の立体撮像光学系1の可変光学系 $G v$ を入れ替えたものであるので、可変光学系 $G v$ のみ説明する。

【0210】

実施例11の可変光学系 $G v$ は、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L v_1$ と、像面側に平面を向けた平凸正レンズ $L v_2$ と、を有する。平凸正レンズ $L v_2$ は、可変光学素子を構成する。

【0211】

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、両凹負レンズ $L f_{1_1}$ 、第1前群第1接合レンズ $S U f_{1_1}$ 、正メニスカスレンズ $L f_{1_4}$ 、第1前群第2接合レンズ $S U f_{1_2}$ 、第1開口 S_1 、正メニスカスレンズ $L b_{1_1}$ 、第1後群接合レンズ $S U b_{1_1}$ 、両凸正レンズ $L b_{1_4}$ 、を通過して、第1後群 $G b_1$ を射出し、その後、可変光学系 $G v$ に入射し、平凹負レンズ $L v_1$ 及び平凸正レンズ $L v_2$ を通過して、可変光学系 $G v$ から射出し、フィルタ F を通過して第1像面 I_1 に入射する。

20

【0212】

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、両凹負レンズ $L f_{2_1}$ 、第2前群第1接合レンズ $S U f_{2_1}$ 、正メニスカスレンズ $L f_{2_4}$ 、第2前群第2接合レンズ $S U f_{2_2}$ 、第2開口 S_2 、正メニスカスレンズ $L b_{2_1}$ 、第2後群接合レンズ $S U b_{2_1}$ 、両凸正レンズ $L b_{2_4}$ 、を通過して、第2後群 $G b_2$ を射出し、その後、可変光学系 $G v$ に入射し、平凹負レンズ $L v_1$ 及び平凸正レンズ $L v_2$ を通過して、可変光学系 $G v$ から射出し、フィルタ F を通過して第2像面 I_2 に入射する。

30

【0213】

図66は、実施例12の可変光学系 $G v$ の中心軸 C に沿った断面図である。図67は、実施例12の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図68は、実施例12の立体撮像光学系1の中間状態での横収差図である。図69は、実施例12の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図70は、実施例12の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0214】

実施例12の立体撮像光学系1は、図61に示した実施例11の立体撮像光学系1の可変光学系 $G v$ の可変光学素子を替えたものであるので、可変光学系 $G v$ のみ説明する。

40

【0215】

実施例12の可変光学系 $G v$ は、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L v_1$ と、像面側に平面を向けた平凸正レンズ $L v_2$ と、を有する。平凹負レンズ $L v_1$ は、可変光学素子を構成する。

【0216】

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、両凹負レンズ $L f_{1_1}$ 、第1前群第1接合レンズ $S U f_{1_1}$ 、正メニスカスレンズ $L f_{1_4}$ 、第1前群第2接合レンズ $S U f_{1_2}$ 、第1開口 S_1 、正メニスカスレンズ $L b_{1_1}$ 、第1後群接合レンズ $S U b_{1_1}$ 、両凸正レンズ $L b_{1_4}$ 、を通過して、第1後群 $G b_1$ を射出し、その後、可変

50

光学系 G_v に入射し、平凹負レンズ L_{v_1} 及び平凸正レンズ L_{v_2} を通過して、可変光学系 G_v から射出し、フィルタ F を通過して第 1 像面 I_1 に入射する。

【0217】

図示しない第 2 物体面から第 2 前群 G_{f2} に入射した第 2 光束 L_2 は、両凹負レンズ L_{f2_1} 、第 2 前群第 1 接合レンズ SU_{f2_1} 、正メニスカスレンズ L_{f2_4} 、第 2 前群第 2 接合レンズ SU_{f2_2} 、第 2 開口 S_2 、正メニスカスレンズ L_{b2_1} 、第 2 後群接合レンズ SU_{b2_1} 、両凸正レンズ L_{b2_4} 、を通過して、第 2 後群 G_{b2} を射出し、その後、可変光学系 G_v に入射し、平凹負レンズ L_{v_1} 及び平凸正レンズ L_{v_2} を通過して、可変光学系 G_v から射出し、フィルタ F を通過して第 2 像面 I_2 に入射する。

【0218】

図 7 1 は、実施例 1 3 の可変光学系 G_v の中心軸 C に沿った断面図である。図 7 2 は、実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の遠点での横収差図である。図 7 3 は、実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の中間状態での横収差図である。図 7 4 は、実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の近点での横収差図である。図 7 5 は、実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の像歪みを示す図である。

【0219】

実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 は、図 6 6 に示した実施例 1 2 の立体撮像光学系 1 の可変光学系 G_v を入れ替えたものであるので、可変光学系 G_v のみ説明する。

【0220】

実施例 1 3 の可変光学系 G_v は、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凸正レンズ L_{v_1} と、像面側に平面を向けた平凹負レンズ L_{v_2} と、を有する。平凸正レンズ L_{v_1} は、可変光学素子を構成する。

【0221】

図示しない第 1 物体面から第 1 前群 G_{f1} に入射した第 1 光束 L_1 は、両凹負レンズ L_{f1_1} 、第 1 前群第 1 接合レンズ SU_{f1_1} 、正メニスカスレンズ L_{f1_4} 、第 1 前群第 2 接合レンズ SU_{f1_2} 、第 1 開口 S_1 、正メニスカスレンズ L_{b1_1} 、第 1 後群接合レンズ SU_{b1_1} 、両凸正レンズ L_{b1_4} 、を通過して、第 1 後群 G_{b1} を射出し、その後、可変光学系 G_v に入射し、平凸正レンズ L_{v_1} 及び平凹負レンズ L_{v_2} を通過して、可変光学系 G_v から射出し、フィルタ F を通過して第 1 像面 I_1 に入射する。

【0222】

図示しない第 2 物体面から第 2 前群 G_{f2} に入射した第 2 光束 L_2 は、両凹負レンズ L_{f2_1} 、第 2 前群第 1 接合レンズ SU_{f2_1} 、正メニスカスレンズ L_{f2_4} 、第 2 前群第 2 接合レンズ SU_{f2_2} 、第 2 開口 S_2 、正メニスカスレンズ L_{b2_1} 、第 2 後群接合レンズ SU_{b2_1} 、両凸正レンズ L_{b2_4} 、を通過して、第 2 後群 G_{b2} を射出し、その後、可変光学系 G_v に入射し、平凸正レンズ L_{v_1} 及び平凹負レンズ L_{v_2} を通過して、可変光学系 G_v から射出し、フィルタ F を通過して第 2 像面 I_2 に入射する。

【0223】

図 7 6 は、実施例 1 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 7 7 は、実施例 1 4 の可変光学系 G_v の中心軸 C に沿った断面図である。図 7 8 は、実施例 1 4 の立体撮像光学系 1 の遠点での横収差図である。図 7 9 は、実施例 1 4 の立体撮像光学系 1 の中間状態での横収差図である。図 8 0 は、実施例 1 4 の立体撮像光学系 1 の近点での横収差図である。図 8 1 は、実施例 1 4 の立体撮像光学系 1 の像歪みを示す図である。

【0224】

実施例 1 4 の立体撮像光学系 1 は、図 7 1 に示した実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の可変光学系 G_v を入れ替えたものであるので、可変光学系 G_v のみ説明する。

【0225】

実施例 1 4 の可変光学系 G_v は、物体側から像面側へ順に、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L_{v_1} を有する。負メニスカスレンズ L_{v_1} は、可変光学素子を構成する。

【0226】

図示しない第 1 物体面から第 1 前群 G_{f1} に入射した第 1 光束 L_1 は、両凹負レンズ L

10

20

30

40

50

f 1₁、第 1 前群第 1 接合レンズ S U f 1₁、正メニスカスレンズ L f 1₄、第 1 前群第 2 接合レンズ S U f 1₂、第 1 開口 S 1、正メニスカスレンズ L b 1₁、第 1 後群接合レンズ S U b 1₁、両凸正レンズ L b 1₄、を通過して、第 1 後群 G b 1 を射出し、その後、可変光学系 G v に入射し、負メニスカスレンズ L v₁ を通過して、可変光学系 G v から射出し、フィルタ F を通過して第 1 像面 I₁ に入射する。

【 0 2 2 7 】

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、両凹負レンズ L f 2₁、第 2 前群第 1 接合レンズ S U f 2₁、正メニスカスレンズ L f 2₄、第 2 前群第 2 接合レンズ S U f 2₂、第 2 開口 S 2、正メニスカスレンズ L b 2₁、第 2 後群接合レンズ S U b 2₁、両凸正レンズ L b 2₄、を通過して、第 2 後群 G b 2 を射出し、その後、可変光学系 G v に入射し、負メニスカスレンズ L v₁ を通過して、可変光学系 G v から射出し、フィルタ F を通過して第 2 像面 I₂ に入射する。

10

【 0 2 2 8 】

以下に、実施例の構成パラメータを示す。

【 0 2 2 9 】

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。

【 0 2 3 0 】

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

20

【 0 2 3 1 】

屈折率、アッペ数については、 d 線 (波長 5 8 7 . 5 6 n m) に対するものを表記してある。長さの単位は m m 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。面間隔が変化する場合には、 * を付与している。

30

【 0 2 3 2 】

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。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{ 1 - (1 + K) \cdot (y / r)^2 \}^{1/2}] + a y^4 + b y^6 + c y^8 + d y^{10} \dots$$

【 0 2 3 3 】

ただし、 r は近軸曲率半径、 K は円錐係数、 A 4、 A 6、 A 8 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 1 0 を底にもつ、べき指数であることを示している。例えば 「 1 . 0 e - 5 」 は 「 1 . 0 x 1 0⁻⁵ 」 であることを意味している。

40

【 0 2 3 4 】

また、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 軸が自由曲面 F F S の軸となる。なお、データの記載されていない係数項は 0 である。

【 0 2 3 5 】

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

50

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

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)

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

である。

【 0 2 3 6 】

10

自由曲面項は、

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

20

ただし、C_j (j は 1 以上の整数) は係数である。

【 0 2 3 7 】

実施例 1

30

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面		50.000			
1	非球面 [1]	0.500		1.8830	40.7
2	非球面 [2]	0.383			
3	-10.595	0.750		1.9229	18.9
4	-2.377	4.782			
5	絞り面	0.125			
6	-15.941	0.375		1.9229	18.9
7	1.546	0.750		1.8830	40.7
8	-4.136	0.063			
9	3.390	0.625		1.9229	18.9
10	336.258	1.875			
11		0.000	偏心 (1)		
12		0.710	偏心 (2)	1.8830	40.7
13		0.065			
14		0.500		1.5163	64.1
15		0.050			

40

像 面

50

曲率半径 -1.516
 k 0.0000e+000
 a 1.9351e-001 b -2.7113e-002

非球面[2]

曲率半径 4.199
 k 1.1576e+001
 a 4.2146e-002 b 1.0304e-001 c -8.9984e-002

偏心[1]

X 1.500 Y 0.000 Z 0.000
 0.000 0.000 0.000

10

偏心[2]

X 0.000 Y 0.000 Z 0.000
 2.467 0.000 0.000

仕様

画角 90 °
 焦点距離 0.915
 絞り径 1.250mm
 像の大きさ 1.000
 有効Fno 2.171

20

【 0 2 3 8 】

実施例 2

実施例 1 と同じ

【 0 2 3 9 】

実施例 3

30

実施例 1 と同じ

【 0 2 4 0 】

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		50.000			
1	非球面[1]	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[2]	0.383			
3	-10.595	0.750		1.9229	18.9
4	-2.377	4.782			
5	絞り面	0.125			
6	-15.941	0.375		1.9229	18.9
7	1.546	0.750		1.8830	40.7
8	-4.136	0.063			
9	3.390	0.625		1.9229	18.9
10	336.258	0.125			
11		0.000	偏心(1)		
12	スロープ面	0.820		1.8830	40.7
13	FFS[1]	1.727			
14		0.500		1.5163	64.1

40

50

15 0.050
像 面

非球面 [1]

曲率半径 -1.516
k 0.0000e+000
a 1.9351e-001 b -2.7113e-002

非球面 [2]

曲率半径 4.199
k 1.1576e+001
a 4.2146e-002 b 1.0304e-001 c -8.9984e-002

10

FFS [1]

C 4 1.9534e-003 C 6 -4.9348e-005 C 11 -1.9028e-004
C 13 -5.4524e-005 C 15 3.4418e-004 C 22 9.5229e-006
C 24 5.2482e-005 C 26 -7.9299e-005 C 28 -1.0146e-005
C 67 2.7000e+001

偏心 [1]

X 1.500 Y 0.000 Z 0.000
0.000 0.000 0.000

20

【 0 2 4 1 】

実施例 5

実施例 4 と同じ

【 0 2 4 2 】

実施例 6

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面		*1 33.000			
1		0.400		1.8830	40.7
2	非球面 [1]	2.445			
3	6.597	0.400		1.8040	46.6
4	1.473	0.800		1.8081	22.8
5	-7.655	0.845			
6	絞り面	0.100			
7	2.036	0.400		1.9229	18.9
8	0.746	0.800		1.8040	46.6
9	-3.412	0.000			
10		*2 0.155	偏心 (1)		
11	-26.019	0.600		1.8830	40.7
12	-10.000	*3 0.256			
13	-4.690	0.600		1.9229	18.9
14	-5.194	0.100			
15		1.000		1.5163	64.1
16		0.100			

30

40

像 面

非球面 [1]

50

曲率半径 0.611
 k -6.7809e-001
 a -1.1758e-001

偏心[1]
 X 1.00 Y 0.00 Z 0.00
 0.00 0.00 0.00

*1 33.000 16.000 10.000
 *2 0.155 0.129 0.102
 *3 0.256 0.282 0.309

10

仕様
 画角 140 °
 焦点距離 0.423
 絞り径 0.900mm
 像の大きさ 1.000
 有効Fno 2.566

【 0 2 4 3 】
 実施例 7

20

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面		*1 33.000			
1		0.400		1.8830	40.7
2	非球面[1]	1.196			
3	5.944	0.600		1.9229	18.9
4	-8.831	1.773			
5	-1.584	0.400		1.8830	40.7
6	1.025	0.800		1.6330	31.4
7	-1.316	0.100			
8	絞り面	0.233			
9	3.699	0.400		1.9229	18.9
10	1.137	0.800		1.8830	40.7
11	-2.440	0.000			
12		0.150	偏心(1)		
13	-10.480	0.400		1.6938	36.2
14	3.843	0.000			
15		*2 0.303			
16	3.644	1.200		1.8830	40.7
17	-12.577	*3 0.546			
18		2.049			
19		0.500		1.5163	64.1
20		0.100			

30

40

像 面

非球面[1]

曲率半径 0.840
 k -1.0098e+000
 a 2.3338e-002

50

	偏心[1]				
X	1.000	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000
*1	33.000		10.000		0.000
*2	0.303		0.291		0.100
*3	0.546		0.558		0.749

仕様

画角	140 °	10
焦点距離	0.412	
絞り径	1.000mm	
像の大きさ	1.000	
有効Fno	2.204	

【 0 2 4 4 】

実施例 8

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数	
物体面		*1 62.500				
1	非球面[1]	0.500		1.8830	40.7	20
2	非球面[2]	0.231				
3	3.513	0.750		1.9229	18.9	
4	-3.835	4.081				
5	絞り面	0.125				
6	-32.785	0.375		1.9229	18.9	
7	1.650	0.750		1.8830	40.7	
8	-4.644	0.063				
9	3.688	0.625		1.9229	18.9	
10	-28.330	0.188				
11		0.000	偏心(1)			30
12	-54.603	0.750		1.9229	18.9	
13	-71.025	*2 0.125				
14	18.604	0.750		1.6180	63.3	
15	6.554	*3 0.755				
17	6.696	0.750		1.8830	40.7	
18	20.976	0.152				
19		0.500		1.5163	64.1	
20		0.050				
21		0.000				
像面						40

非球面[1]

曲率半径	-1.864
k	0.0000e+000
a	1.5065e-001
b	-4.7179e-002

非球面[2]

曲率半径	1.446					
k	-1.5475e+001					
a	4.2102e-001	b	-3.1830e-001	c	7.7613e-002	50

偏心[1]
 X 1.875 Y 0.000 Z 0.000
 0.000 0.000 0.000

*1 62.500 18.750
 *2 0.125 0.637
 *3 0.755 0.243

仕様

10

画角 90°
 焦点距離 0.867
 絞り径 1.250mm
 像の大きさ 1.000
 有効Fno 2.185

【 0 2 4 5 】

実施例 9

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面		*1 50.000			
1	非球面[1]	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[2]	0.345			
3	-125.536	0.750		1.9229	18.9
4	-2.482	2.945			
5	FFS[1]	0.625	偏心(1)	1.8830	40.7
6	螺旋面	0.063			
7	絞り面	0.125	偏心(2)		
8	-7.332	0.375		1.9229	18.9
9	1.136	0.750		1.8830	40.7
10	-3.433	0.063			
11	2.450	0.625		1.9229	18.9
12	773.483	0.188			
13		1.467			
14		0.500		1.5163	64.1
15		0.050			

20

30

像面

非球面[1]

曲率半径 -3.129
 k 0.0000e+000
 a 1.5225e-002 b -8.7392e-004

40

非球面[2]

曲率半径 2.002
 k -1.1136e+001
 a 1.2832e-001 b -6.0868e-002 c 1.1736e-002

偏心[1]

X 1.500 Y 0.000 Z 0.000
 0.000 0.000 0.000

50

偏心[2]
 X -1.500 Y 0.000 Z 0.000
 0.000 0.000 0.000

FFS[1]
 C 4 7.4954e-003 C 6 9.2849e-004 C 11 -7.3163e-004
 C 13 1.4209e-004 C 15 9.7045e-004 C 22 4.9732e-005
 C 24 2.8193e-005 C 26 -2.2641e-004 C 28 -9.9491e-005
 C 67 2.7000e+001

10

*1 50 33 15

仕様

画角 90 °
 焦点距離 0.953
 絞り径 1.250mm
 像の大きさ 1.000
 有効Fno 1.664

【 0 2 4 6 】

20

実施例 1 0

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面		*1 83.330			
1		0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	1.542			
3	10.745	0.400		1.8830	40.7
4	1.978	1.500		1.9229	18.9
5	-8.755	0.050			
6	5.086	0.600		1.5174	52.4
7	75.034	0.050			
8	3.689	1.000		1.4875	70.2
9	-1.998	0.400		1.9229	18.9
10	5.108	0.050			
11	絞り面	0.180			
12	-7.317	0.600		1.8830	40.7
13	-2.848	0.050			
14	8.261	0.400		1.9229	18.9
15	2.533	1.300		1.6398	34.5
16	-3.967	0.050			
17	3.484	1.000		1.8830	40.7
18	-17.964	0.100			
19		0.000	偏心(1)		
20		0.500		1.8830	40.7
21	-48.782	*2 0.070			
22	-40.376	0.400		1.8830	40.7
23		*3 0.657			
24		0.500		1.5163	64.1
25		0.100			

30

40

像面

偏心(2)

50

非球面[1]

曲率半径 1.232

k -9.2269e-001

偏心[1]

X	2.250	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

偏心[2]

X	-2.258	Y	0.000	Z	0.000
	0.000		0.000		0.000

10

*1 88.330 41.670 25.000

*2 0.070 0.184 0.340

*3 0.657 0.543 0.387

仕様

画角 140°

焦点距離 0.816

絞り径 1.400mm

20

像の大きさ 2.000

有効Fno 1.474

【 0 2 4 7 】

実施例 1 1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
19		0.000	偏心(1)		
20		0.400		1.8830	40.7
21	36.987	*2 0.336			
22	30.471	0.500		1.8830	40.7
23		*3 0.390			

30

*1 88.330 41.670 25.000

*2 0.335 0.211 0.080

*3 0.390 0.514 0.645

仕様

実施例 1 0 と同じ

【 0 2 4 8 】

実施例 1 2

40

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
19		*2 0.060			
20		0.400		1.8830	40.7
21	55.300	*3 0.654			
22	29.140	0.500		1.8830	40.7
23		0.100			

*1 88.330 41.670 25.000

*2 0.060 0.243 0.500

50

*3 0.655 0.472 0.215

仕様

実施例 10 と同じ

【 0 2 4 9 】

実施例 13

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
19		*2 0.533				
20		0.400		1.8830	40.7	10
21	36.987	*3 0.200				
22	30.471	0.500		1.8830	40.7	
23		0.100				

*1 88.330 41.670 25.000

*2 0.533 0.304 0.050

*3 0.200 0.429 0.683

仕様

実施例 10 と同じ

【 0 2 5 0 】

実施例 14

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
19		*2 0.218				
20	-33.491	0.300		1.8978	28.2	
21	-35.533	*3 0.832				

*1 88.330 41.670 25.000

*2 0.218 0.456 0.950

*3 0.832 0.594 0.100

仕様

実施例 10 と同じ

【 0 2 5 1 】

上記実施例について、条件式 (1) 及び (2) の値を下記に示しておく。

【 0 2 5 2 】

条件式	実施例 6	実施例 7	実施例 8	実施例 9	
(1) d / f				0.082	
f	0.423	0.412	0.867		40
$f b$	22.670	10.942	32.555		
(2) $f b / f$	53.522	26.558	37.549		

【 0 2 5 3 】

条件式	実施例 10	実施例 11	実施例 12	実施例 13	
f	0.816	0.815	0.812	0.817	
$f b$	-267.332	187.376	68.254	-111.459	
$d v$	0.270	0.255	0.440	0.483	
(2) $f b / f$	-352.113	229.909	84.057	-136.425	
(3) $d v / f$	0.331	0.313	0.542	0.591	

【 0 2 5 4 】

50

条件式	実施例 1 4
f	1.335
f b	-697.476
d v	0.732
(2) f b / f	-522.454
(3) d v / f	0.548

【 0 2 5 5 】

以下に、本実施形態の光学系 1 の適用例を説明する。

【 0 2 5 6 】

本実施形態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、を備える立体撮像装置として使用することが好ましい。

10

【 0 2 5 7 】

本実施形態の立体撮像光学系を用いることで、立体撮像装置の小型化を実現することが可能となる。

【 0 2 5 8 】

また、立体撮像装置を備える内視鏡として使用することが好ましい。

【 0 2 5 9 】

本実施形態の立体撮像光学装置は、フォーカス及び輻輳の変更を非常に簡単な動きで動作するので、内視鏡のような小型の装置に用いることで、内視鏡の性能を向上させることが可能となる。

20

【 0 2 6 0 】

さらに好ましくは、合焦検出部又は測距部等を用いて自動でフォーカス調整を行うことが好ましい。

【 0 2 6 1 】

図 8 2 は、本実施形態の光学系を自動車の撮像光学系として用いた例を示す図である。

【 0 2 6 2 】

図 8 2 (a) は、自動車 1 3 0 の前方に撮像光学系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 8 2 (b) は、自動車 1 3 0 の各コーナやヘッド部のポールの頂部に立体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。

30

【 0 2 6 3 】

図 8 3 は、本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮像光学系として用いた例を示す図である。

【 0 2 6 4 】

図 8 3 は、内視鏡先端の撮像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 8 3 (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 8 3 (b) にその先端の概略の構成を示す。また、図 8 3 (c) は、軟性電子内視鏡 1 1 3 の先端に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。

40

【 0 2 6 5 】

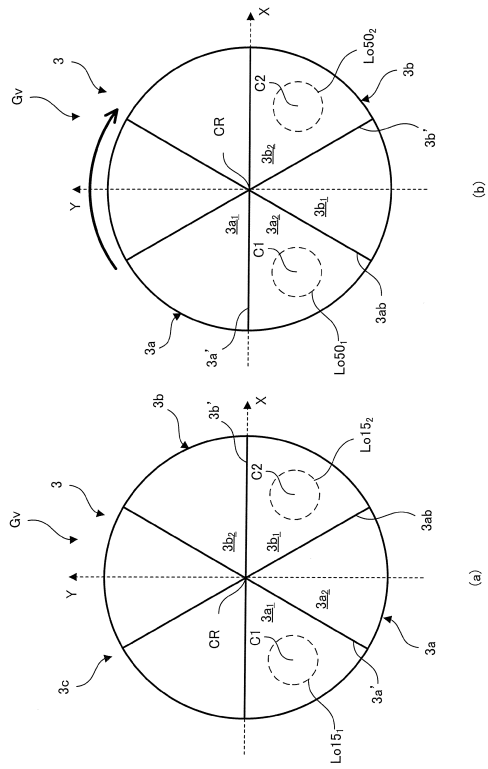
図 8 3 に示すように、内視鏡に光学系 1 又は立体撮像装置を用いることにより、全方位の画像を立体的に撮像観察することができ、従来と異なる角度から様々な部位を立体的に撮像観察することができる。

【 0 2 6 6 】

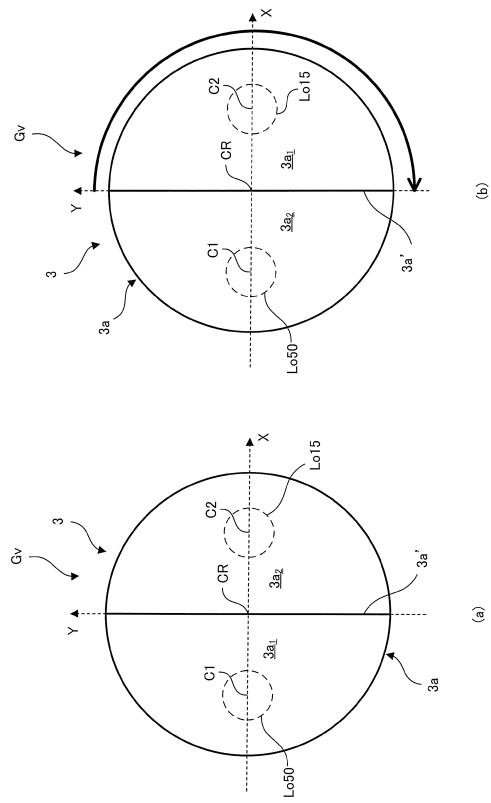
以上、本発明の種々の実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態のみに限られるものではなく、それぞれの実施形態の構成を適宜組み合わせる構成した実施形態も本発明の範疇となるものである。

50

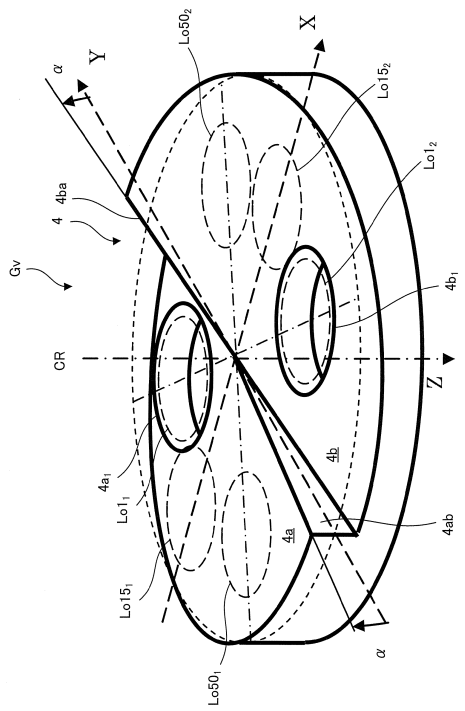
【 図 5 】



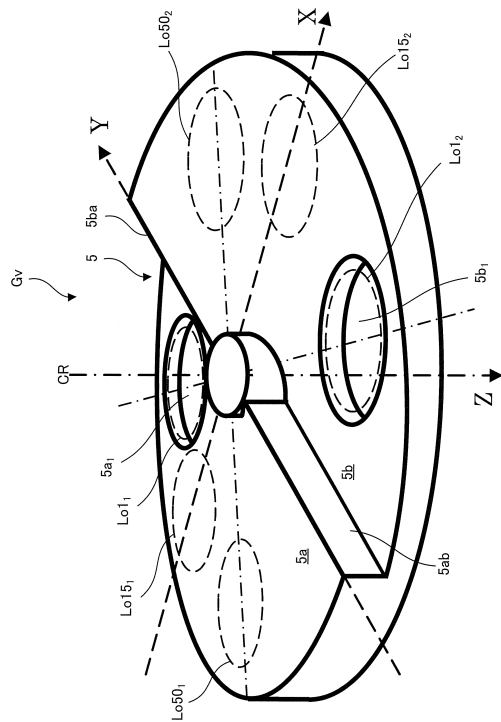
【 図 6 】



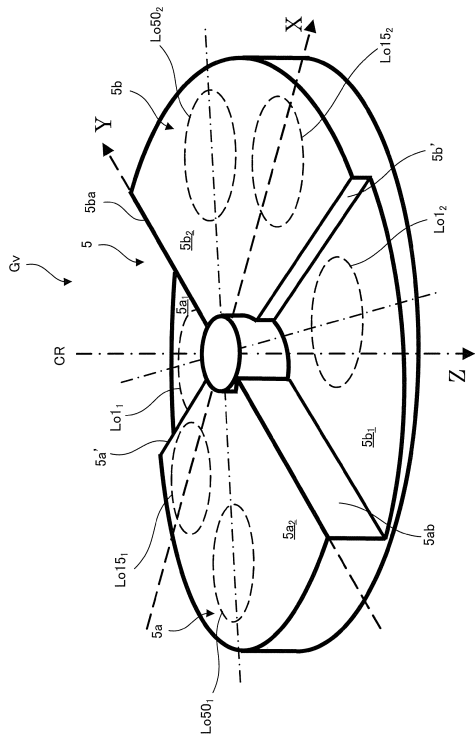
【 図 7 】



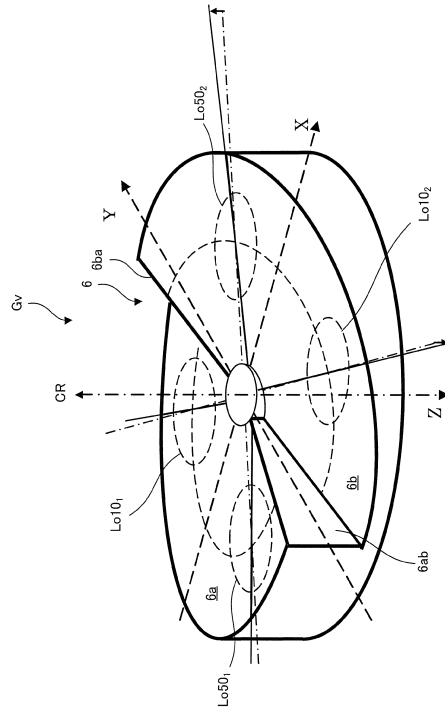
【 図 8 】



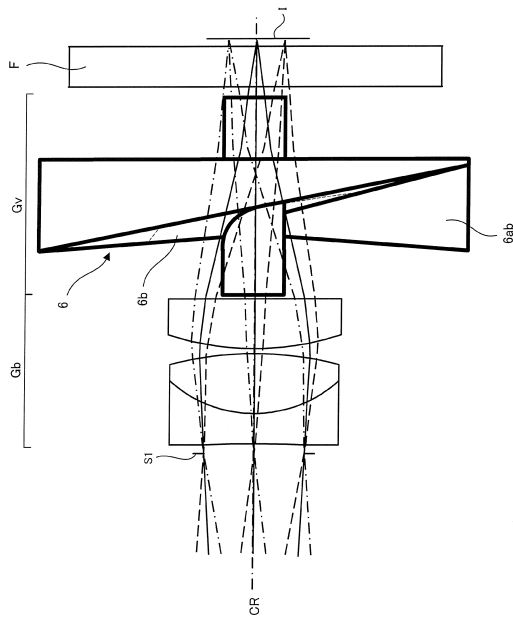
【 図 9 】



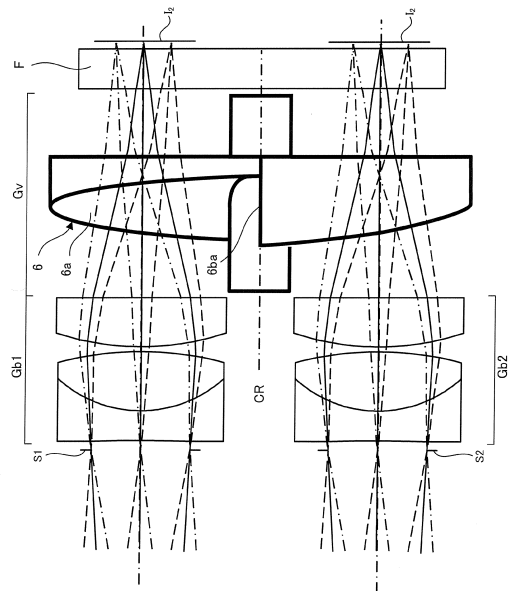
【 図 10 】



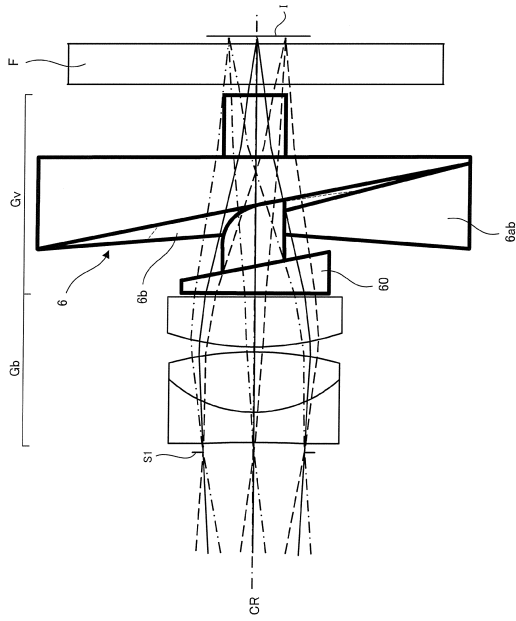
【 図 11 】



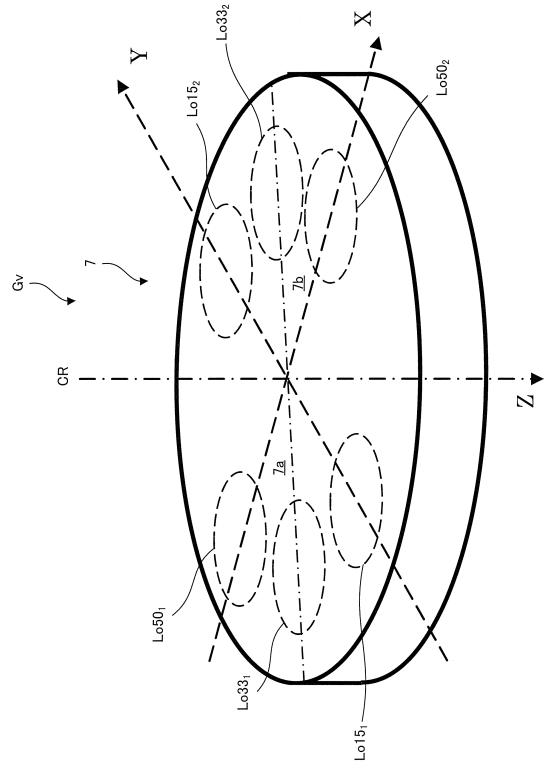
【 図 12 】



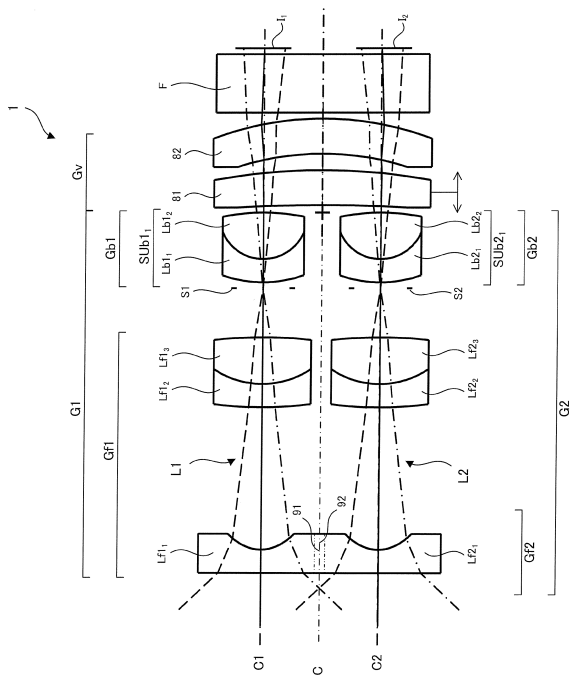
【 13 】



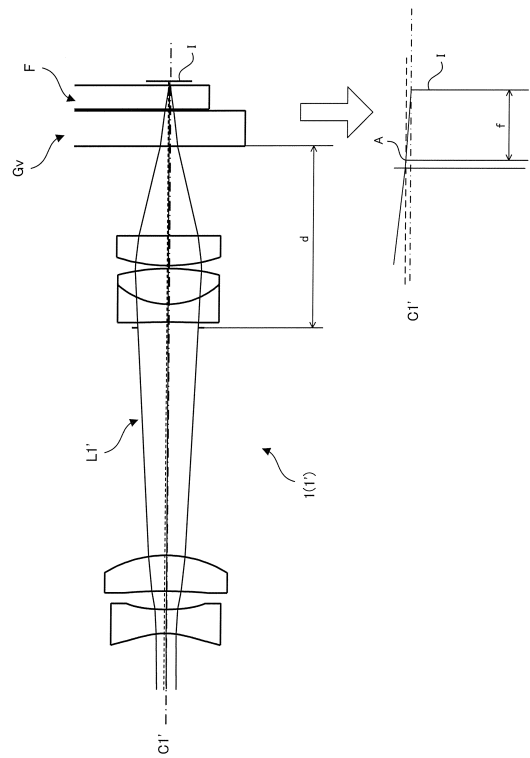
【 14 】



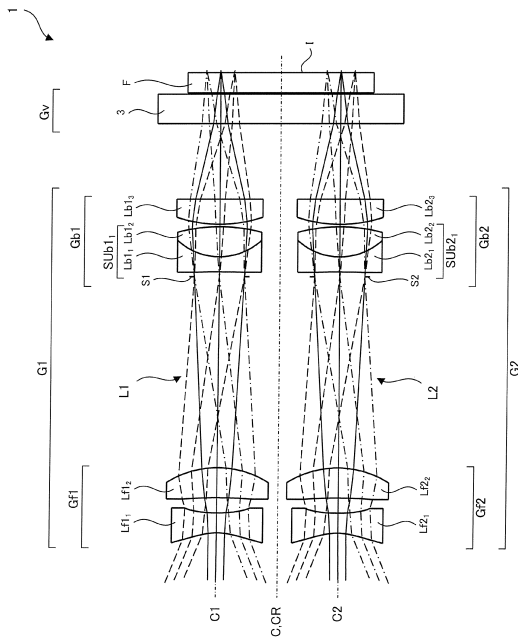
【 15 】



【 16 】



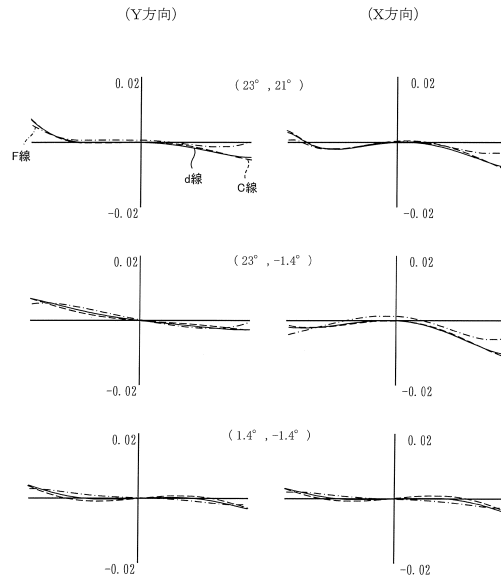
【図17】



実施例1

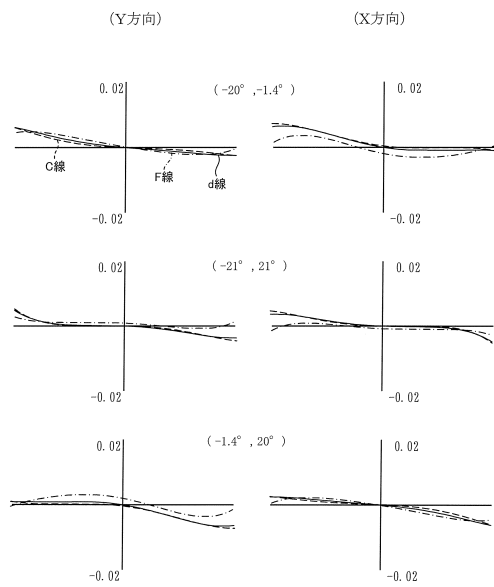
【図18】

実施例1(遠点)



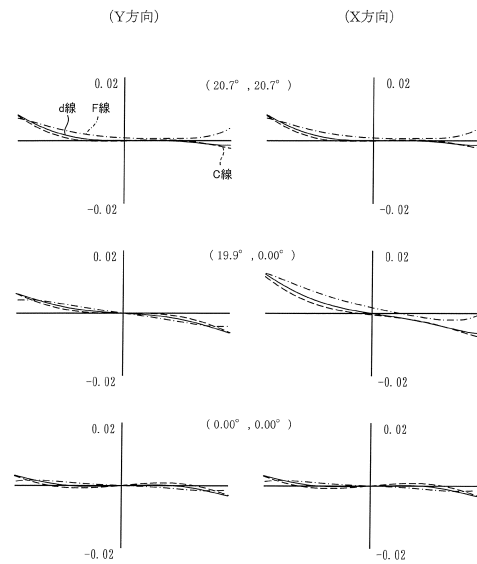
【図19】

実施例1(遠点)



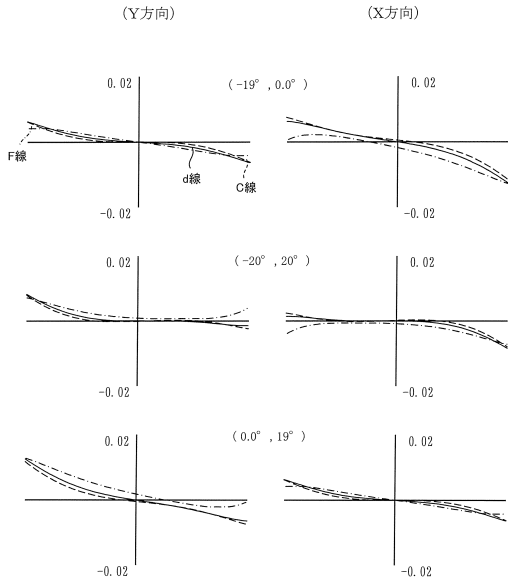
【図20】

実施例1(近点)

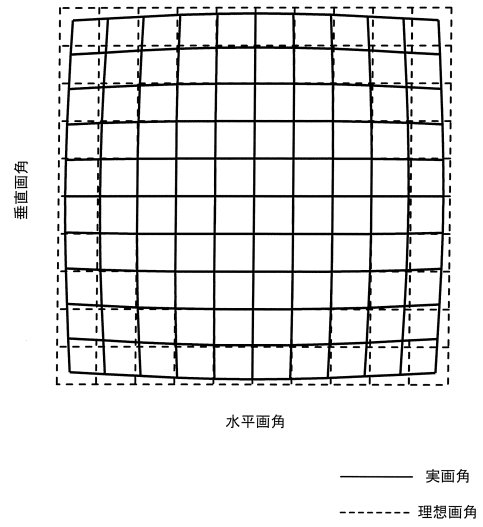


【图 2 1】

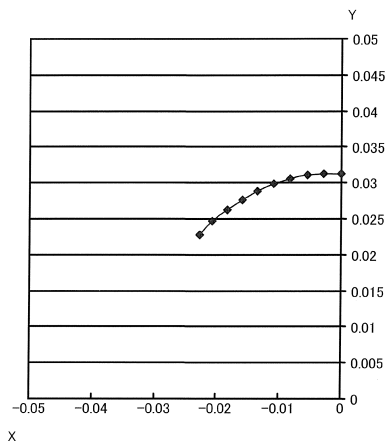
实施例1(近点)



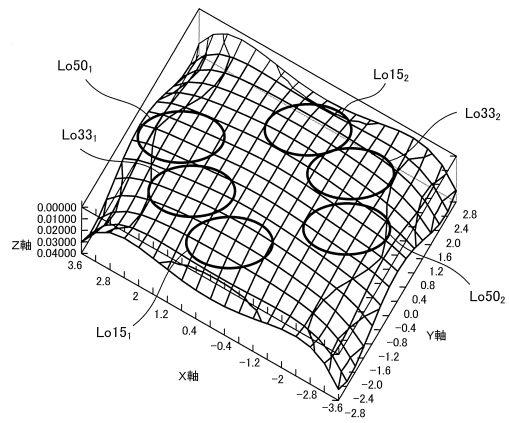
【图 2 2】



【图 2 3】

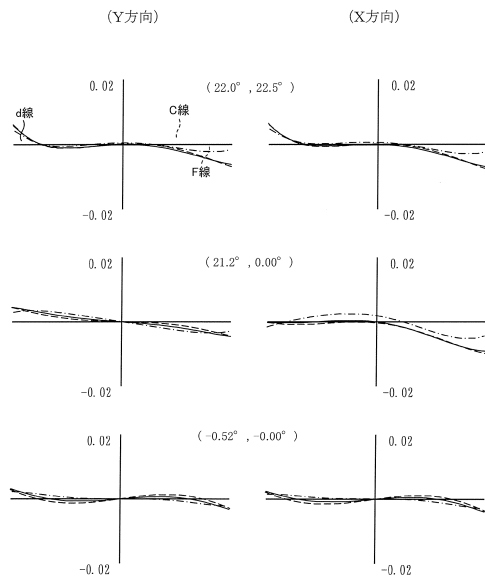


【图 2 4】



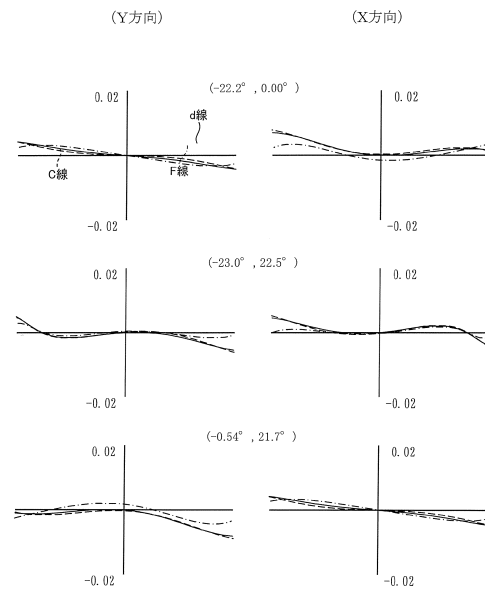
【図 25】

実施例5(遠点)



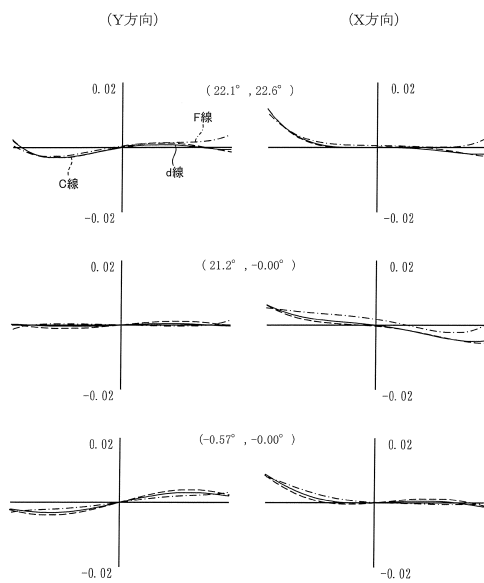
【図 26】

実施例5(遠点)



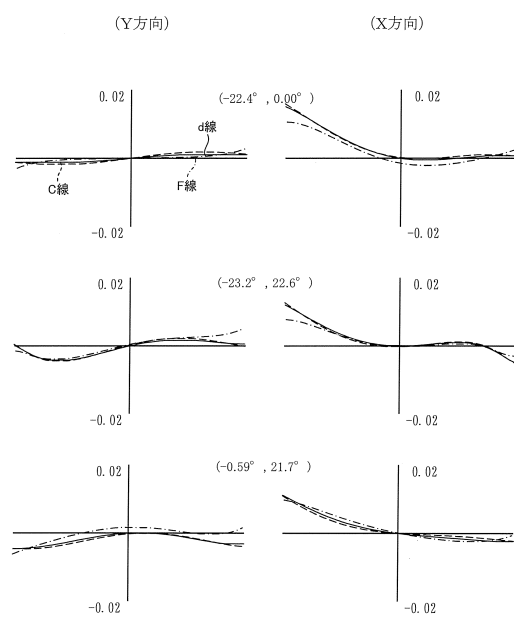
【図 27】

実施例5(近点)

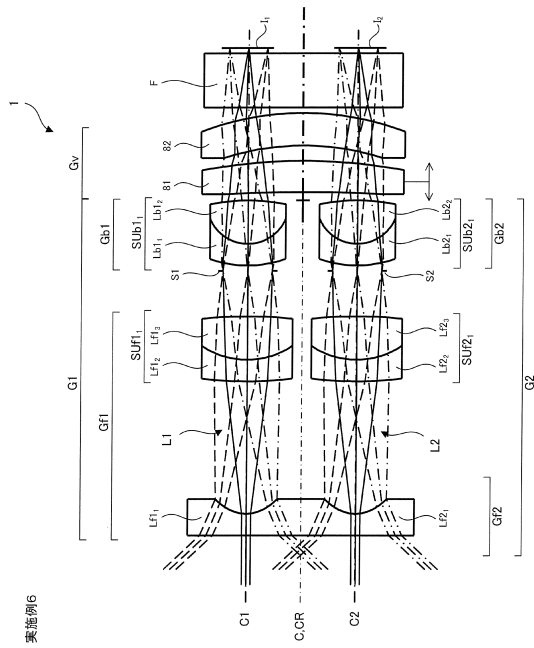


【図 28】

実施例5(近点)



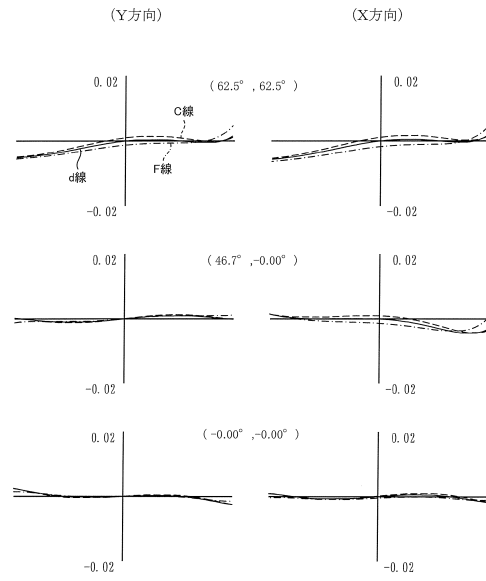
【图 29】



实施例6

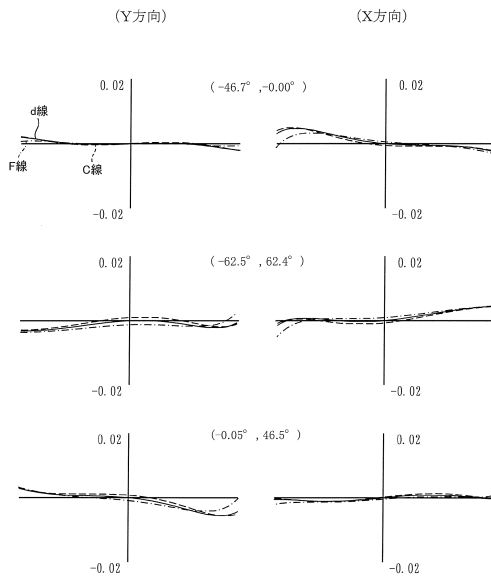
【图 30】

实施例6(远点)



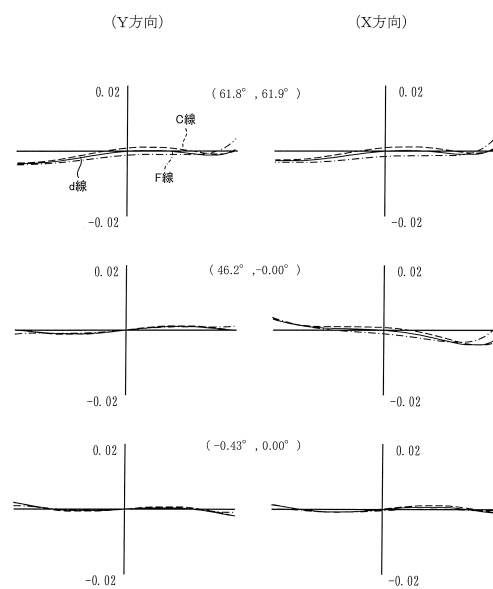
【图 31】

实施例6(远点)



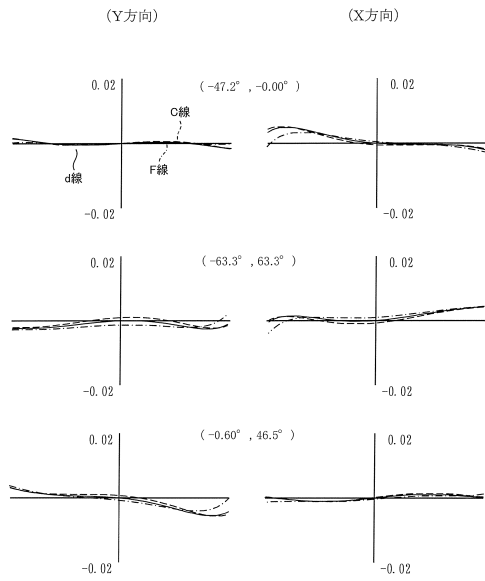
【图 32】

实施例6(近点)

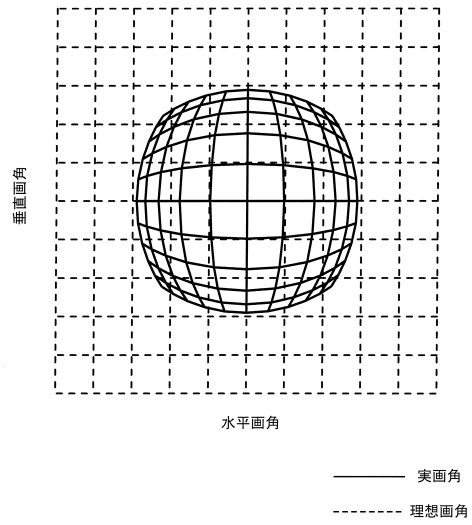


【图 3 3】

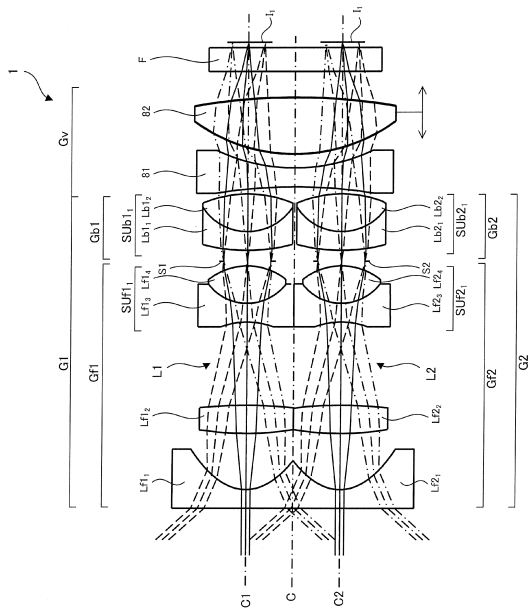
实施例6(近点)



【图 3 4】



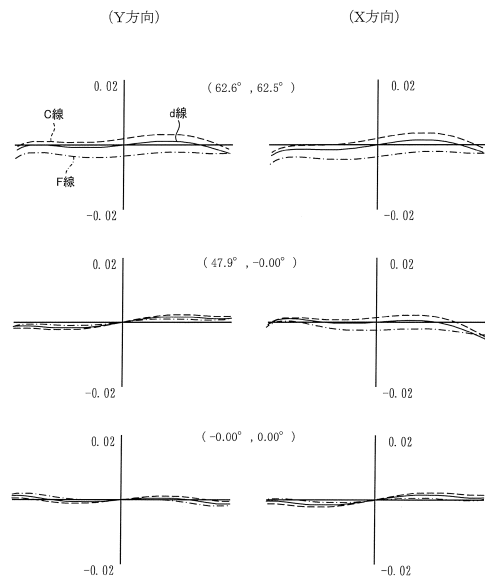
【图 3 5】



实施例7

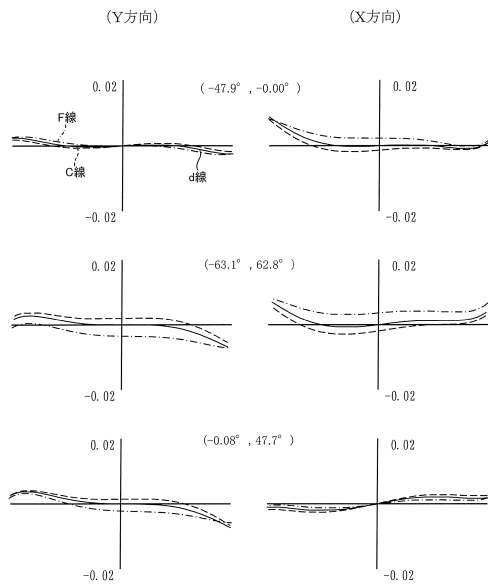
【图 3 6】

实施例7(远点)



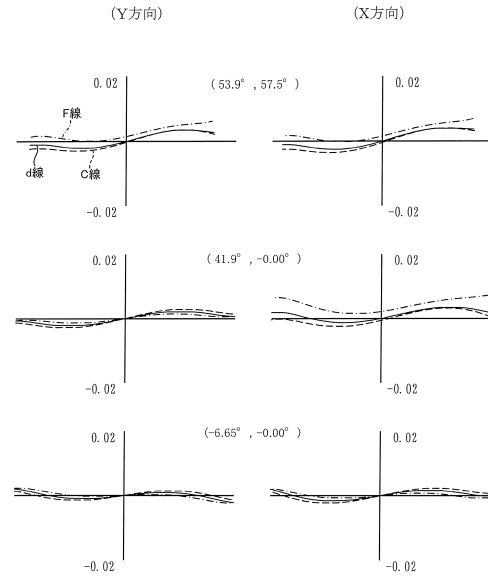
【图 37】

实施例7(远点)



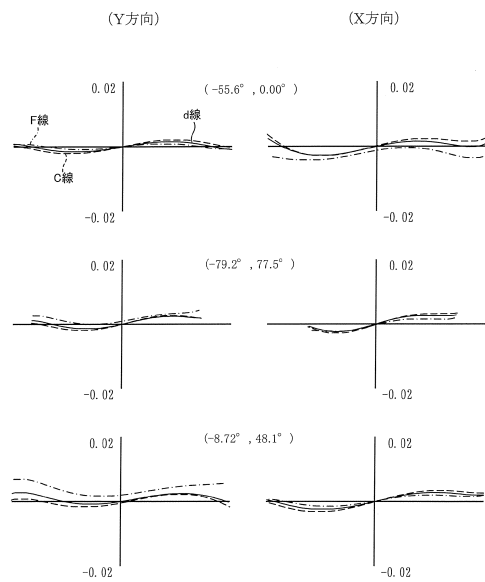
【图 38】

实施例7(近点)

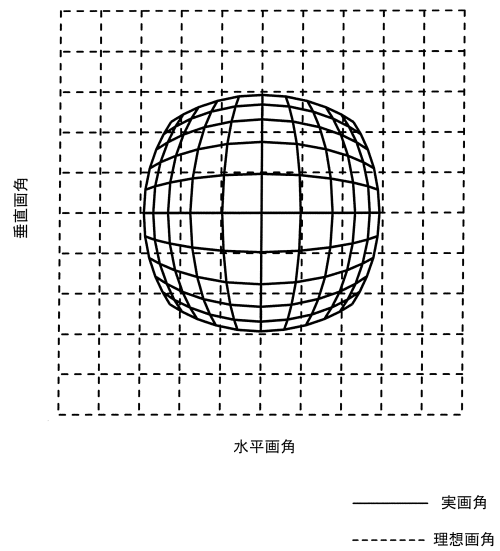


【图 39】

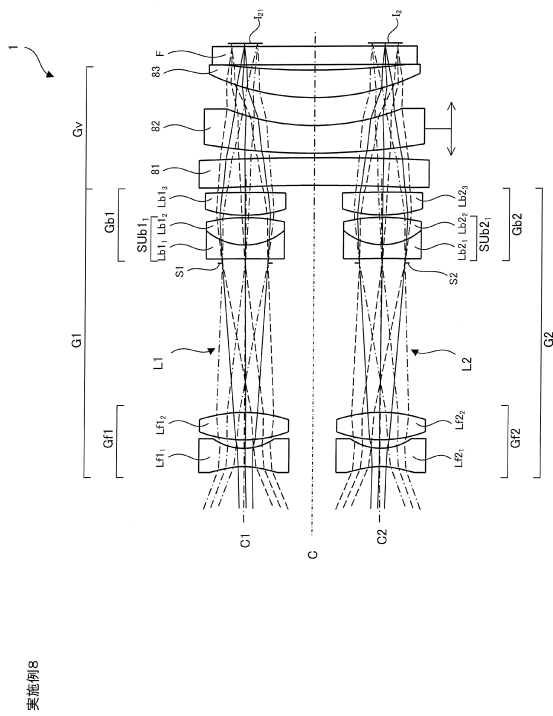
实施例7(近点)



【图 40】



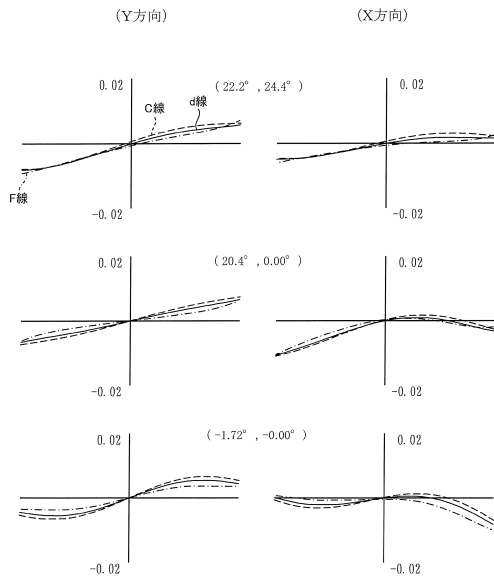
【图 4 1】



实施例8

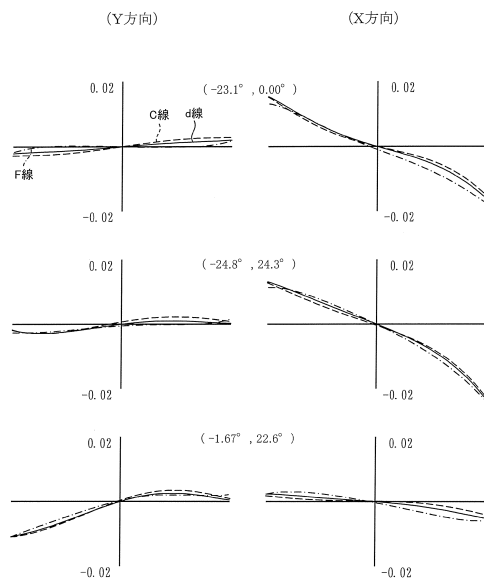
【图 4 2】

实施例8(远点)



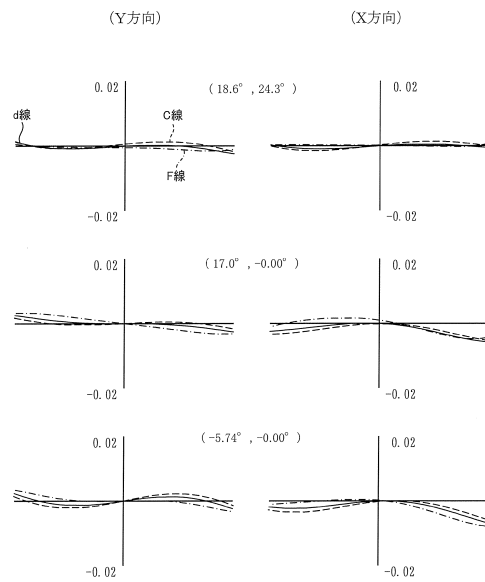
【图 4 3】

实施例8(远点)



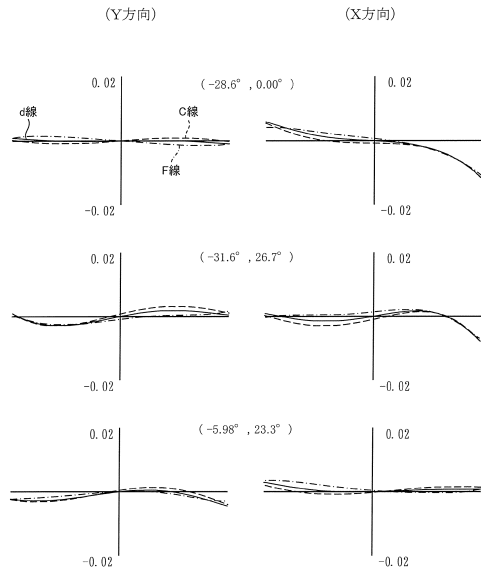
【图 4 4】

实施例8(近点)

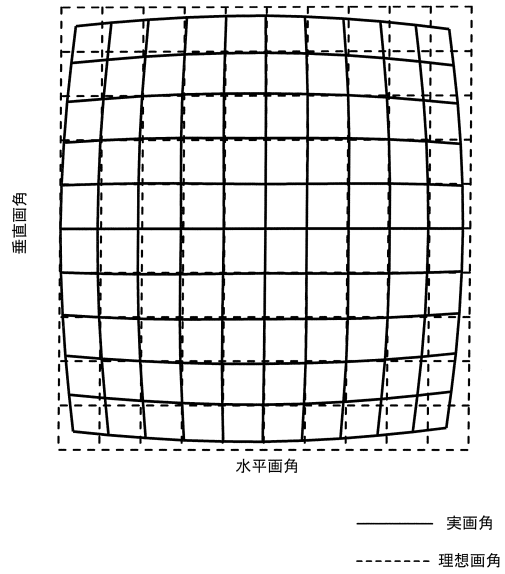


【图 45】

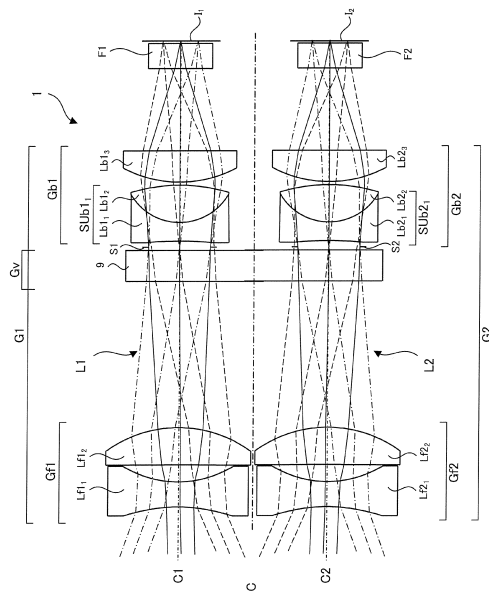
实施例8(近点)



【图 46】

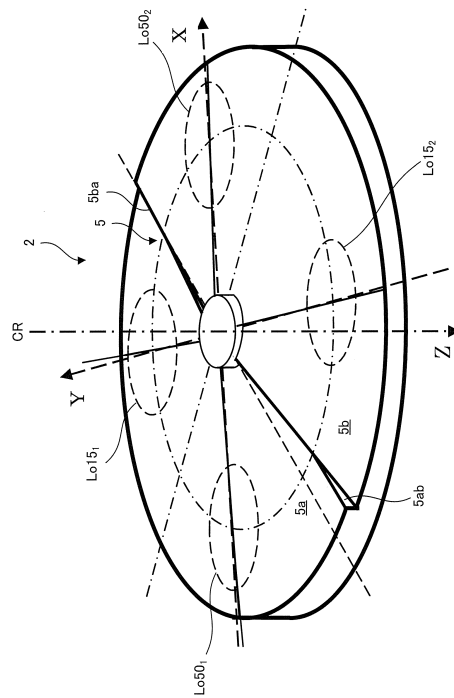


【图 47】



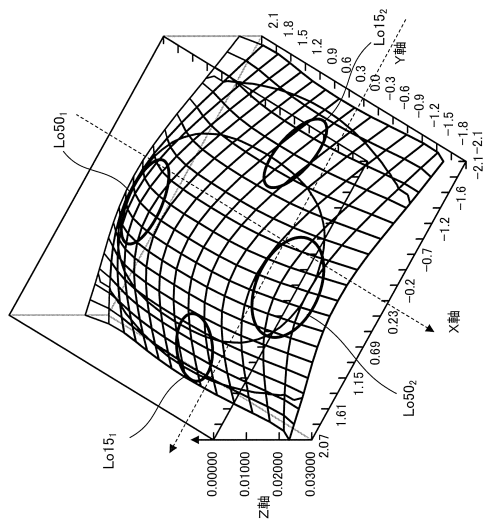
实施例9

【图 48】



实施例9

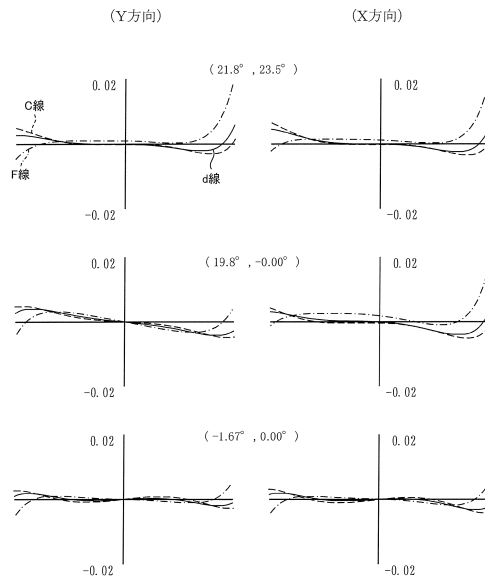
【图 49】



实施例9

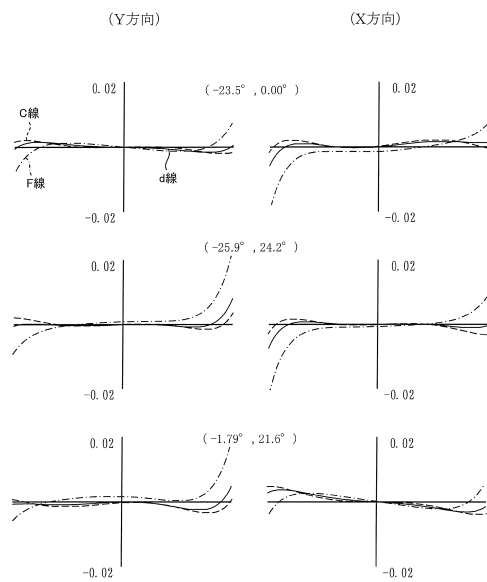
【图 50】

实施例9(远点)



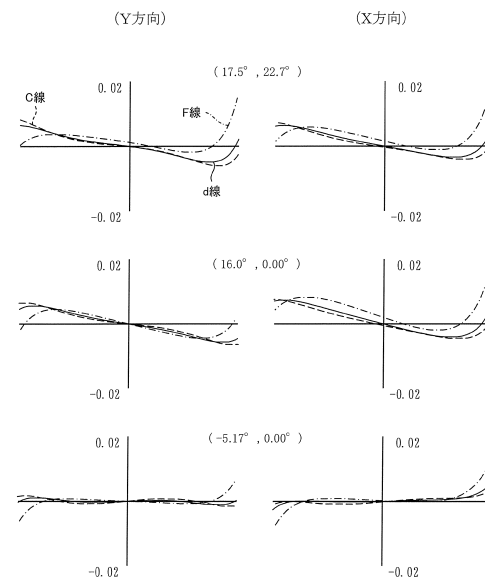
【图 51】

实施例9(远点)



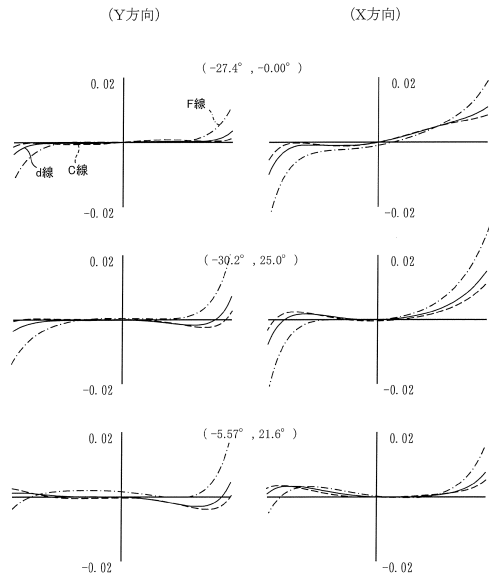
【图 52】

实施例9(近点)

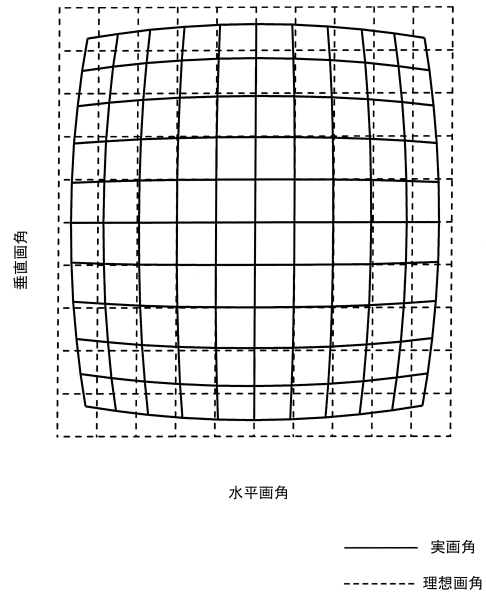


【图 5 3】

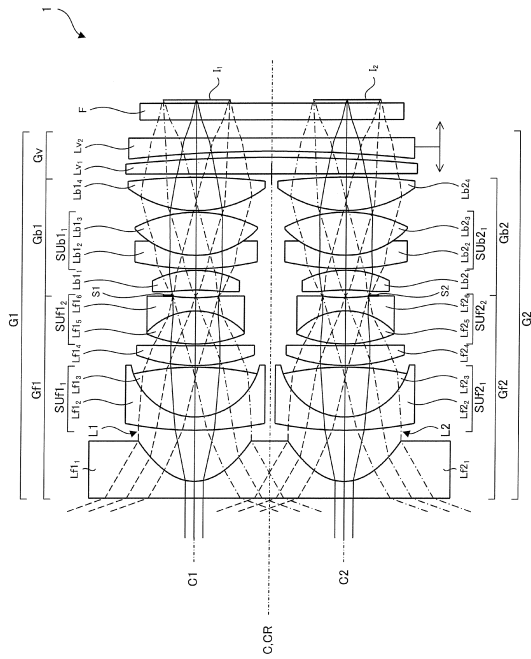
实施例9(近点)



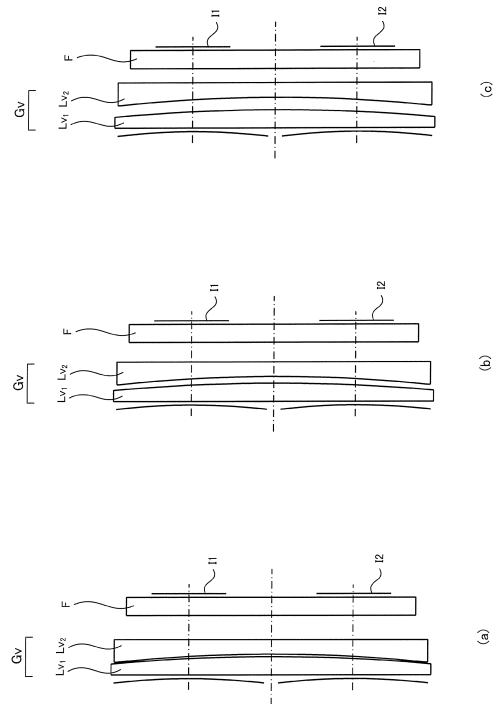
【图 5 4】



【图 5 5】

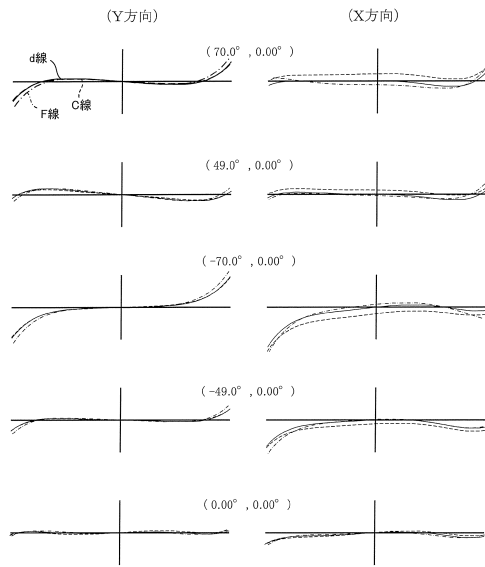


【图 5 6】



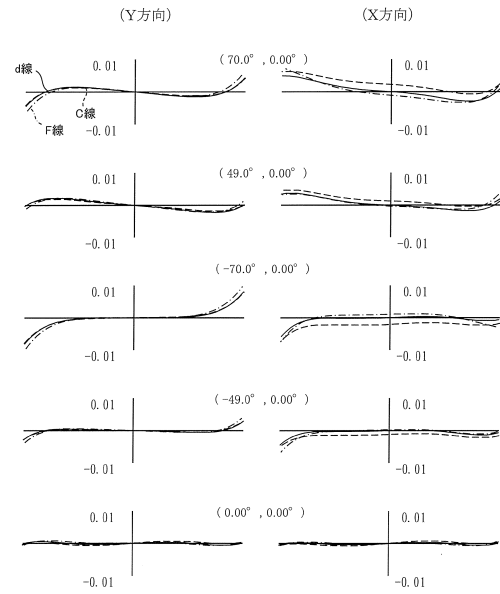
【图 57】

实施例10(遠点)



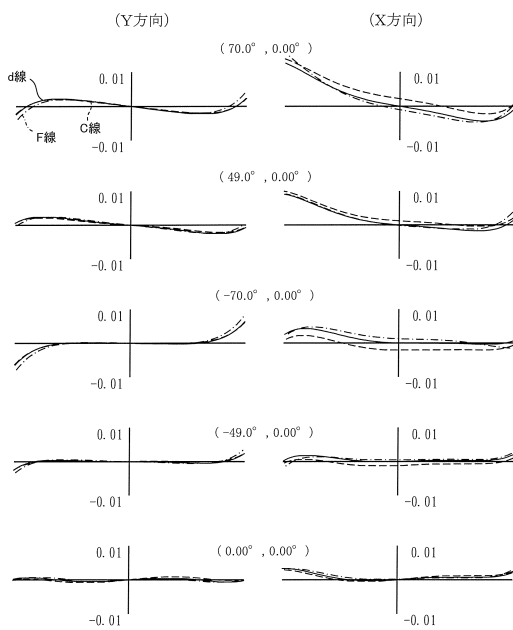
【图 58】

实施例10(中間)

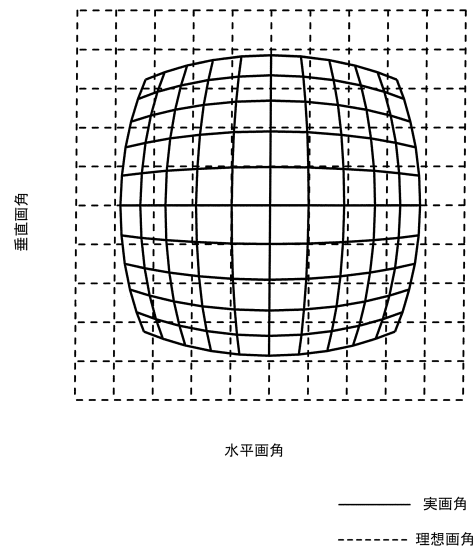


【图 59】

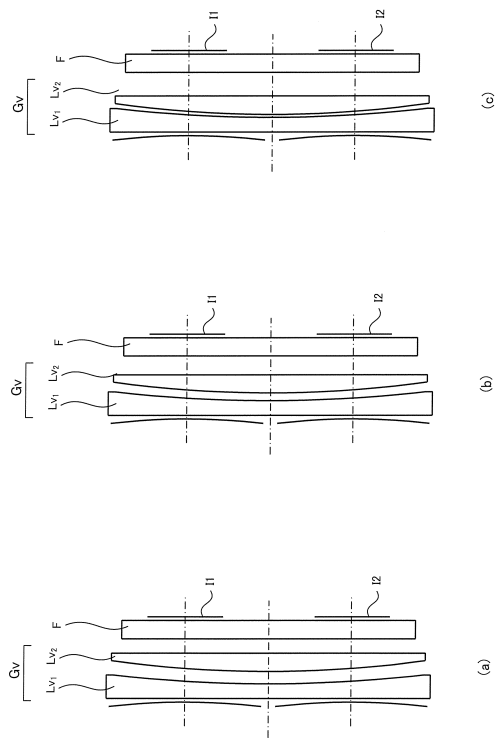
实施例10(近点)



【图 60】

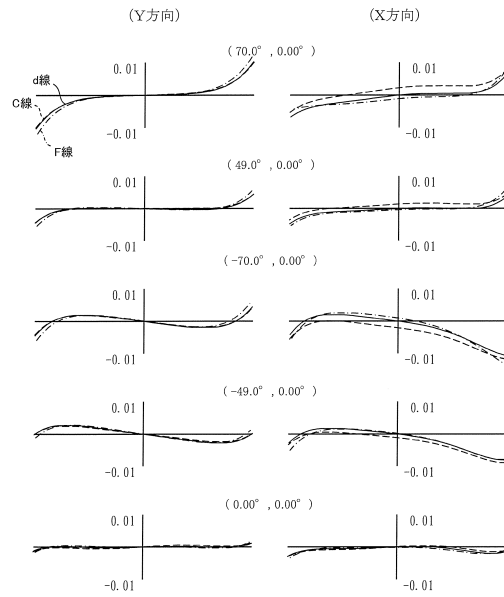


【図 6 1】



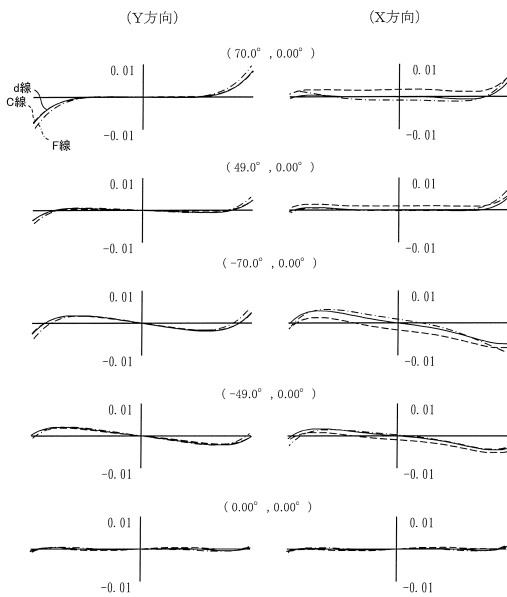
【図 6 2】

実施例11(遠点)



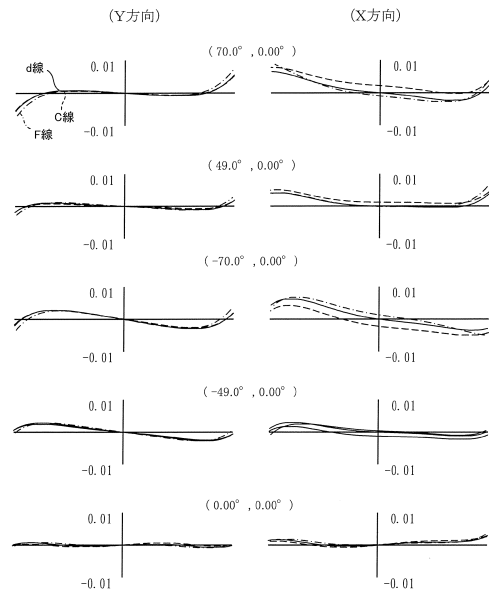
【図 6 3】

実施例11(中間)

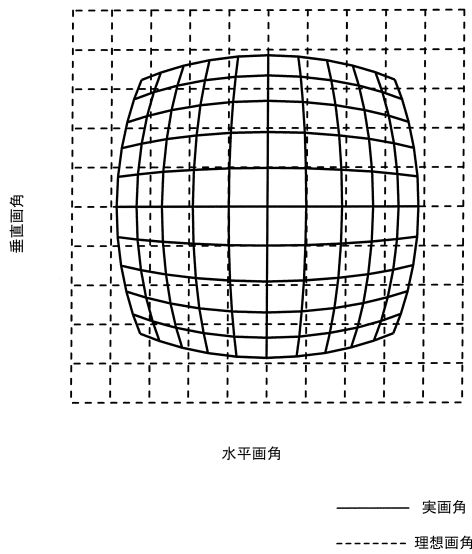


【図 6 4】

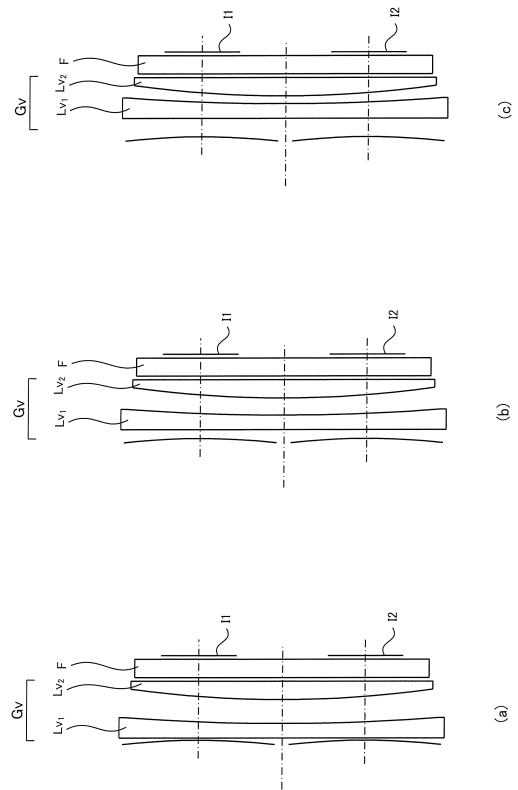
実施例11(近点)



【图 6 5】

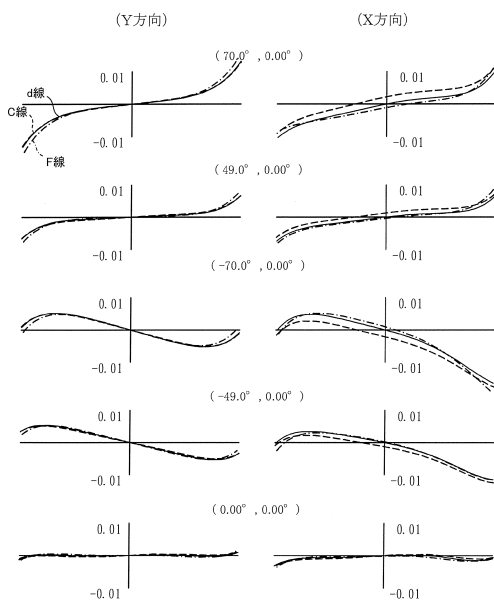


【图 6 6】



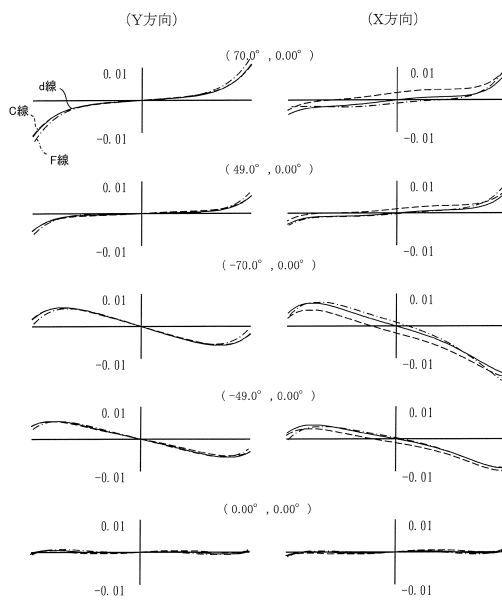
【图 6 7】

实施例12(远点)



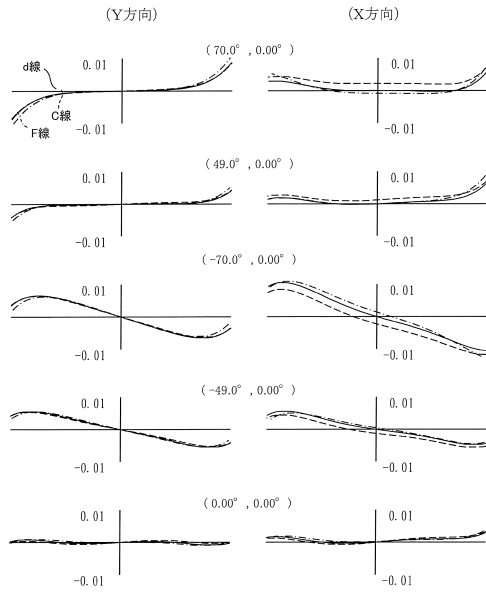
【图 6 8】

实施例12(中间)

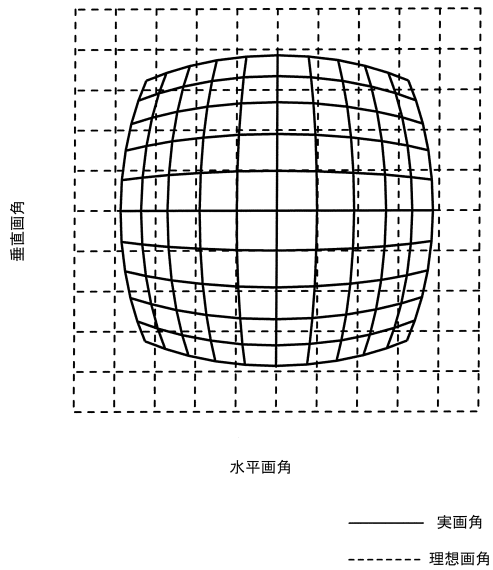


【图 69】

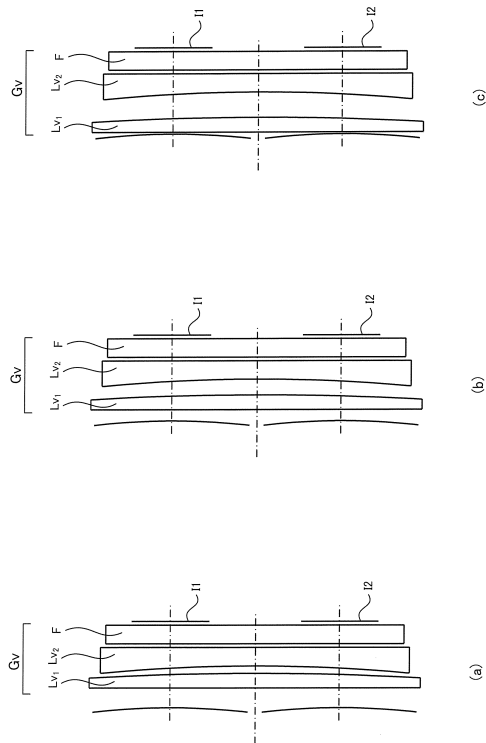
实施例12(近点)



【图 70】

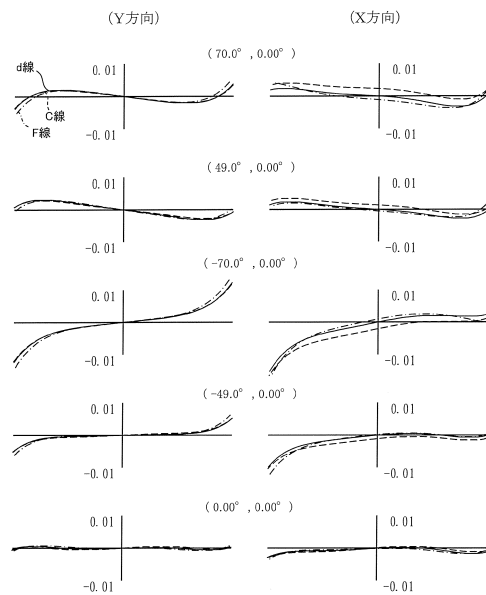


【图 71】



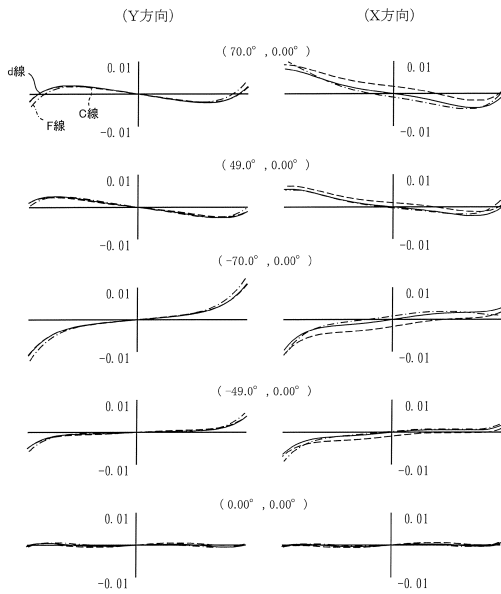
【图 72】

实施例13(远点)



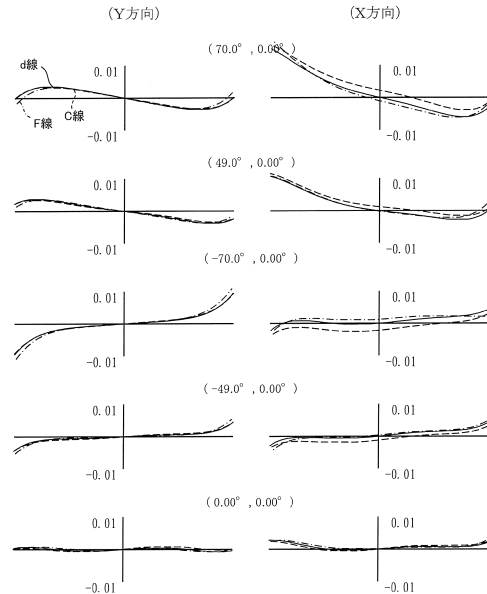
【图 7 3】

实施例13(中间)

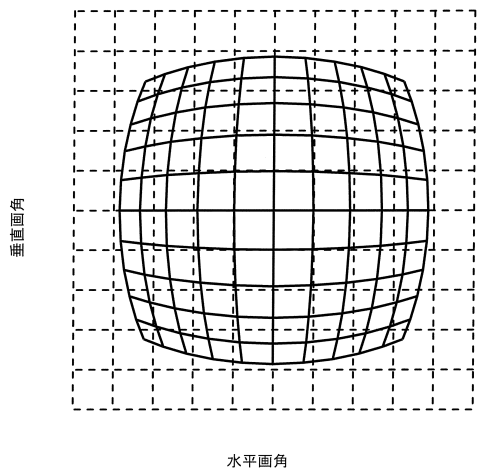


【图 7 4】

实施例13(近点)

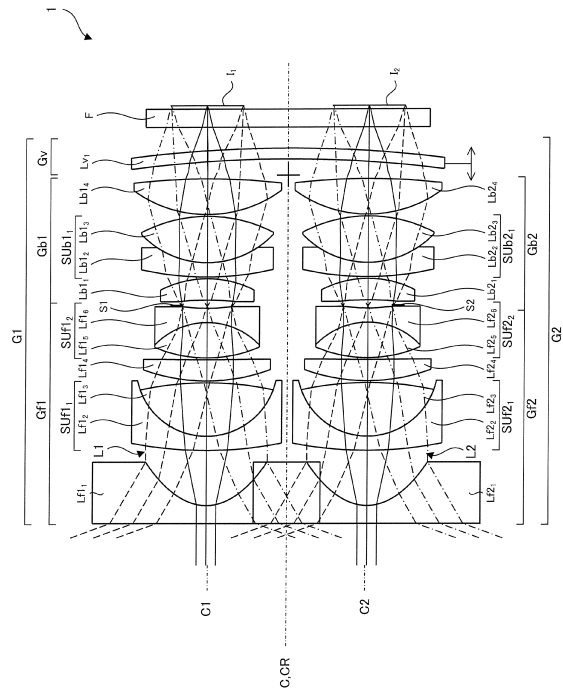


【图 7 5】

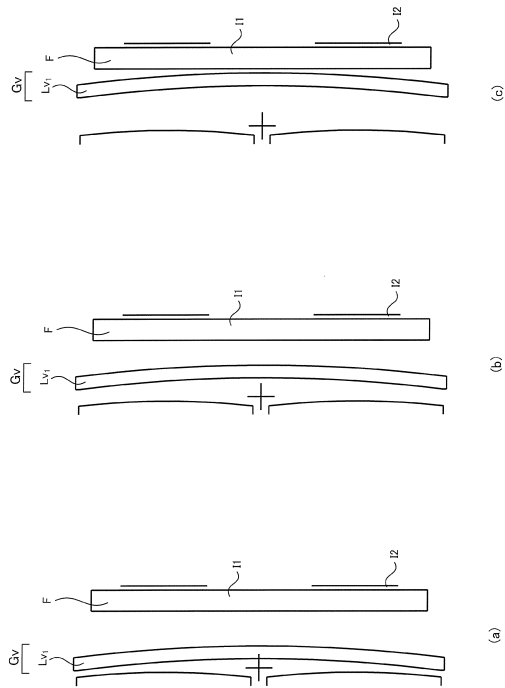


—— 实画角
 - - - - 理想画角

【图 7 6】

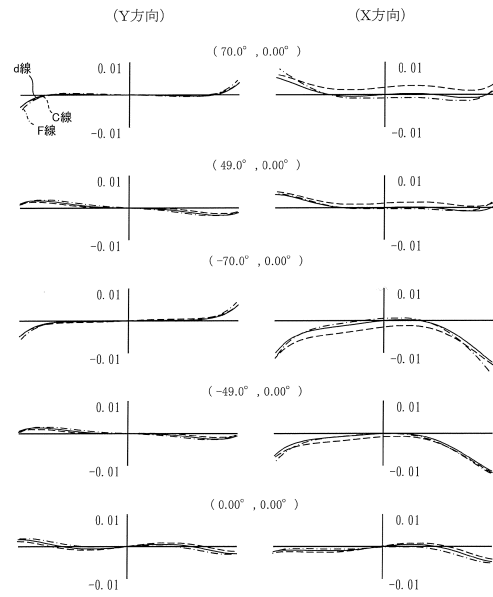


【図77】



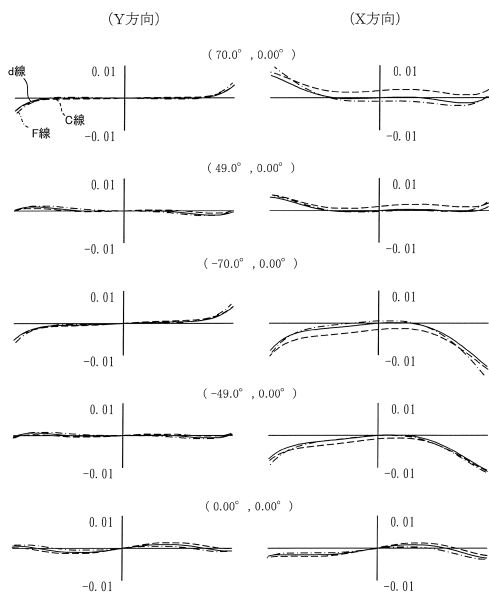
【図78】

実施例14(遠点)



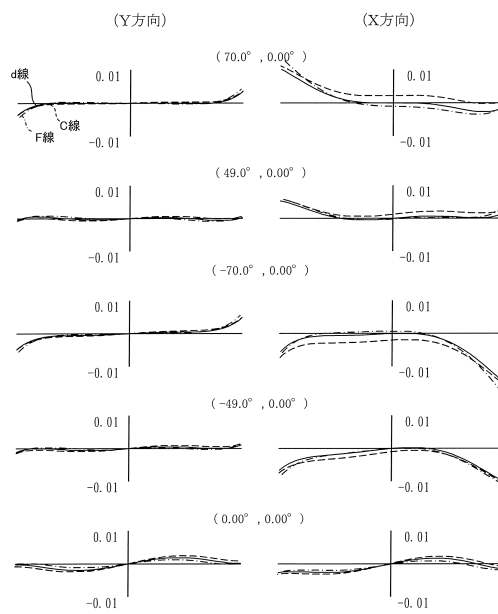
【図79】

実施例14(中間)

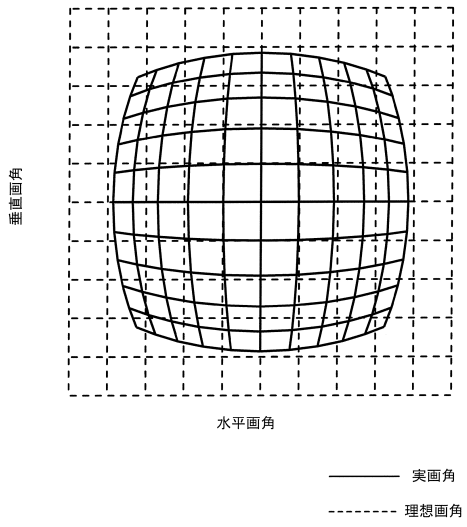


【図80】

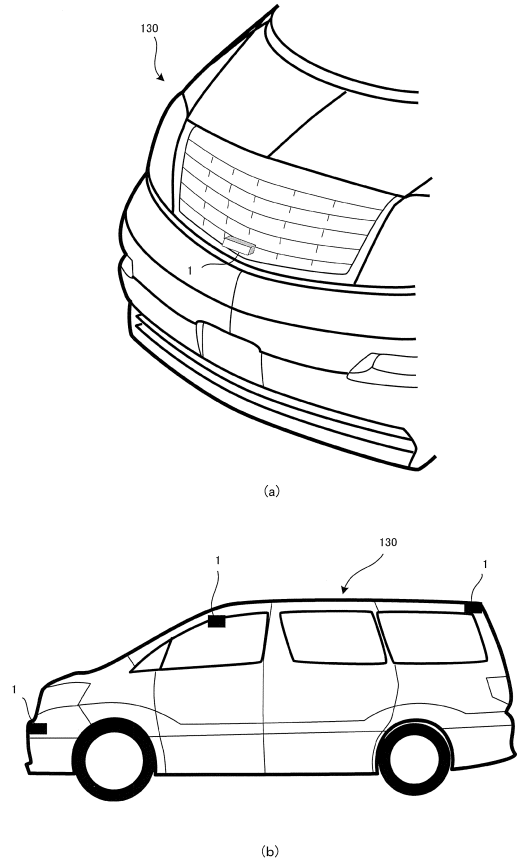
実施例14(近点)



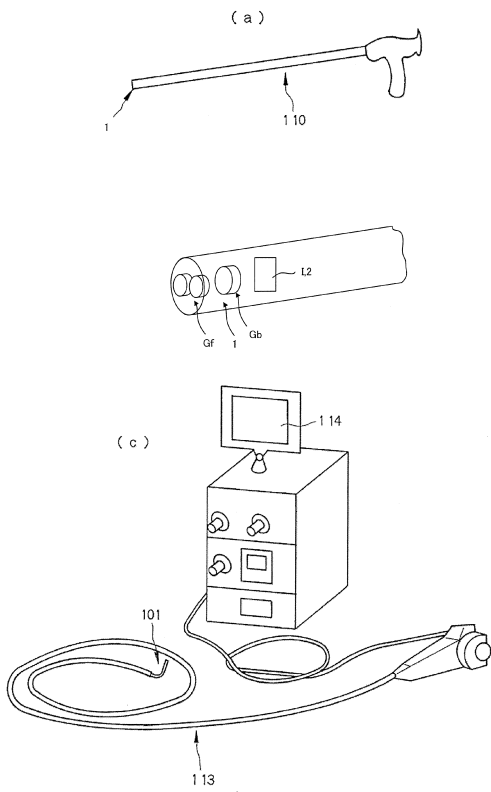
【图 8 1】



【图 8 2】



【图 8 3】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-241791(JP,A)
特開2010-128354(JP,A)
特開2012-198414(JP,A)
特開2013-017096(JP,A)
特開2003-005313(JP,A)
国際公開第2012/017684(WO,A1)
特開2000-019663(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 13/00
A61B 1/00
G02B 13/18
G02B 23/24
G03B 35/10

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	JP6261566B2	公开(公告)日	2018-01-17
申请号	JP2015506532	申请日	2013-07-16
[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	G02B13/00 G03B35/10 G02B13/18 G02B23/24 A61B1/00		
CPC分类号	G02B7/04 G02B7/06 G02B7/16 G02B13/04 G02B23/2415 G02B23/243 G02B30/27 G03B3/10 G03B5/00 G03B35/10 G03B2205/00 H04N5/2254 H04N13/211 H04N13/218 H04N13/239 H04N2005/2255 H04N2213/001 A61B1/00193 G03B35/08 H04N13/204		
FI分类号	G02B13/00 G03B35/10 G02B13/18 G02B23/24.B A61B1/00.731		
审查员(译)	小仓浩之		
优先权	2013059953 2013-03-22 JP		
其他公开文献	JPWO2014147856A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

一种立体成像光学系统组件，包括：第一光学系统，至少包括从物侧到像面侧的顺序，负透镜和孔径，第一光学系统相对于第一中心轴旋转对称，第二光学系统，其相对于与第一中心轴平行的第二中心轴旋转对称，并且具有与第一光学系统相同的结构，并且与第一光学系统平行，并且可变光学系统位于第一光学系统中。通过第一光学系统和第二光学系统使各个光路相交的方法。可变光学系统实现焦点和聚散中的至少一个的改变。

(19) 日本国特許庁(JP)	(12) 特許公報(B2)	(11) 特許番号 特許第6261566号 (P6261566)
(45) 発行日 平成30年1月17日(2018.1.17)	(24) 登録日 平成29年12月22日(2017.12.22)	
(51) Int. Cl.	F 1	
G02B 13/00 (2006.01)	G02B 13/00	
G03B 35/10 (2006.01)	G03B 35/10	
G02B 13/18 (2006.01)	G02B 13/18	
G02B 23/24 (2006.01)	G02B 23/24	B
A61B 1/00 (2006.01)	A61B 1/00	731
請求項の数 13 (全 58 頁)		
(21) 出願番号 特願2015-506532(P2015-506532)	(73) 特許権者 000000376	
(86) (22) 出願日 平成25年7月16日(2013.7.16)	オリンパス株式会社	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2013/069307	東京都八王子市石川町2951番地	
(87) 国際公開番号 W02014/147856	(74) 代理人 100139103	
(87) 国際公開日 平成26年9月25日(2014.9.25)	弁理士 小山 卓志	
審査請求日 平成28年7月5日(2016.7.5)	(74) 代理人 100097777	
(31) 優先権主張番号 特願2013-59953(P2013-59953)	弁理士 藍澤 弘	
(32) 優先日 平成25年3月22日(2013.3.22)	(74) 代理人 100139114	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	弁理士 田中 貞嗣	
	(72) 発明者 研野 孝吉	
	東京都渋谷区穂ヶ谷2丁目43番2号	
	オリンパス株式会社内	
	審査官 小倉 宏之	
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窥镜