

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02014/147856

発行日 平成29年2月16日 (2017. 2. 16)

(43) 国際公開日 平成26年9月25日 (2014. 9. 25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G02B 13/00 (2006.01)</b>	G02B 13/00	2H040
<b>G03B 35/10 (2006.01)</b>	G03B 35/10	2H059
<b>G02B 13/18 (2006.01)</b>	G02B 13/18	2H087
<b>G02B 23/24 (2006.01)</b>	G02B 23/24 B	4C161
<b>A61B 1/00 (2006.01)</b>	A61B 1/00 300Y	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 66 頁)

出願番号 特願2015-506532 (P2015-506532)	(71) 出願人 000000376 オリンパス株式会社 東京都八王子市石川町2951番地
(21) 国際出願番号 PCT/JP2013/069307	(74) 代理人 100139103 弁理士 小山 卓志
(22) 国際出願日 平成25年7月16日 (2013. 7. 16)	(74) 代理人 100097777 弁理士 葦澤 弘
(31) 優先権主張番号 特願2013-59953 (P2013-59953)	(74) 代理人 100139114 弁理士 田中 貞嗣
(32) 優先日 平成25年3月22日 (2013. 3. 22)	(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
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	Fターム(参考) 2H040 BA15 CA22 DA03 GA02 GA11 2H059 AA08 AA12 AA13

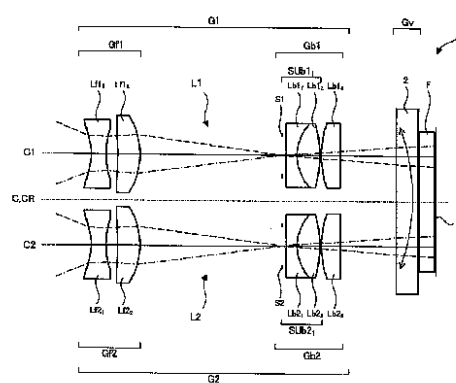
最終頁に続く

(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) 【要約】

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、負レンズと、開口 S と、を有し、第 1 中心軸 C1 に対して回転対称な第 1 光学系 G1 と、第 1 中心軸 C1 に平行な第 2 中心軸 C2 に対して回転対称であって、第 1 光学系 G1 と同一構成で並列に配置される第 2 光学系 G2 と、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ように配置される可変光学系 Gv と、を備え、可変光学系 Gv 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 つの可変光学系 Gv を有する。

【選択図】 図 1



**【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ことを特徴とする立体撮像光学系。

10

**【請求項 2】**

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

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、

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

請求項 1 又は 2 に記載の立体撮像光学系。

20

**【請求項 4】**

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

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

**【請求項 5】**

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

請求項 4 に記載の立体撮像光学系。

30

**【請求項 6】**

前記可変光学系は、前記後群よりも像面側に配置される

請求項 4 に記載の立体撮像光学系。

**【請求項 7】**

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

請求項 5 又は 6 に記載の立体撮像光学系。

**【請求項 8】**

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 7 に記載の立体撮像光学系。

**【請求項 9】**

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 5 又は 6 に記載の立体撮像光学系。

40

**【請求項 10】**

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

50

厚さが異なる前記第 2 平面部と、  
を有する

請求項 9 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 1】

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 9 又は 1 0 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 2】

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 9 乃至 1 1 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 3】

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 9 乃至 1 2 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 4】

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 7 又は 8 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 5】

前記曲面は、自由曲面である

請求項 1 4 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 6】

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

請求項 6 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 7】

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

請求項 1 6 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 8】

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

請求項 1 6 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 9】

前記第 1 中心軸と前記第 2 中心軸の間隔は、1 0 mm 以下である

請求項 1 乃至 1 8 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 2 0】

物体側観察画角が 6 0 ° 以上である

請求項 1 乃至 1 9 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 2 1】

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

10

20

30

40

50

る

請求項 1 乃至 20 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

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

【請求項 22】

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) を満足する請求項 1 乃至 21 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

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

【請求項 23】

請求項 1 乃至 22 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

10

ことを特徴とする立体撮像装置。

【請求項 24】

請求項 23 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。

20

【背景技術】

【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】

30

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 113281 号公報

【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。

40

【課題を解決するための手段】

【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、

50

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、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。

【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。

【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。

【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】

10

20

30

40

50

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。

【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。

10

【0020】

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。

20

【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。

30

【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。

40

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

【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。

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

50

## 【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。

$$0.3 < d v / f \quad (3)$$

## 【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。

10

## 【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。

20

## 【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。

30

【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。

40

【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。

50

- 【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。 10
- 【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。
- 【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。 20
- 【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。
- 【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。 30
- 【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。
- 【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。 40
- 【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。
- 【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。 50

【図 7 4】実施例 1 3 の立体撮像光学系 1 の近点での収差図を示す。

【図 7 5】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。

【図 7 6】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】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】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】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】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】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。

【図 8 2】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 8 3】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

10

【発明を実施するための形態】

【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。

20

【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。

30

【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 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。

40

【0040】

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  $L f_1$  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】

50

第1光学系G1及び第2光学系G2の物体側に負レンズ $L f 1_1$ 、 $L f 1_2$ を配置し、負レンズ $L f 1_1$ 、 $L f 1_2$ 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。

【0042】

さらに、可変光学系Gvは、第1光学系G1及び第2光学系G2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G1及び第2光学系G2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G1及び第2光学系G2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 $L f 1_1$ 、 $L f 1_2$ を有する前群Gf1、Gf2と、開口 $S 1$ 、 $S 2$ と、後群Gb1、Gb2と、を有し、可変光学系Gvは、前群Gf1、Gf2よりも像面I側に配置されることが好ましい。

【0047】

可変光学系Gvを前群Gf1、Gf2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。

【0049】

可変光学系Gvは、前群Gf1、Gf2と後群Gb1、Gb2の間に配置されることが好ましい。

【0050】

可変光学系Gvを前群Gf1、Gf2と後群Gb1、Gb2の間に配置するので、可変光学系Gvが開口 $S 1$ 、 $S 2$ 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。

【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

10

20

30

40

50

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。

【0056】

可変光学系Gv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。

10

【0057】

可変光学素子3は、このような構成の第1面部3aと第2面部3bを少なくとも1組有するので、可変光学系Gv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。

【0058】

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

20

【0059】

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

【0060】

また、可変光学素子3は、第1平面部3a<sub>1</sub>、3b<sub>1</sub>に、それぞれ物点1mmの光束Lo1<sub>1</sub>、Lo1<sub>2</sub>を通過させるための通過孔3a<sub>11</sub>、3b<sub>11</sub>が形成される。そして、物点15mmの光束Lo15<sub>1</sub>、Lo15<sub>2</sub>は、第1平面部3a<sub>1</sub>、3b<sub>1</sub>を透過し、物点50mmの光束Lo50<sub>1</sub>、Lo50<sub>2</sub>は、第2平面部3a<sub>2</sub>、3b<sub>2</sub>を透過する。

30

【0061】

可変光学素子3において、第1面部3a及び第2面部3bは、それぞれ、少なくとも第1平面部3a<sub>1</sub>、3b<sub>1</sub>と第2平面部3a<sub>2</sub>、3b<sub>2</sub>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、物点距離に応じた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。

【0062】

例えば、図4(a)に示すように、第1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の通過孔3a<sub>11</sub>、3b<sub>11</sub>が重なるようにあわせて、物点1mmの光束Lo1<sub>1</sub>、Lo1<sub>2</sub>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1平面部3a<sub>1</sub>、3b<sub>1</sub>が重なるようにあわせて、物点15mmの光束Lo15<sub>1</sub>、Lo15<sub>2</sub>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3a<sub>2</sub>、3b<sub>2</sub>が重なるようにあわせて、物点50mmの光束Lo50<sub>1</sub>、Lo50<sub>2</sub>を透過させることが好ましい。

40

【0063】

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CRを

50

中心として  $60^\circ$  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  $3a_{11}$ ,  $3b_{11}$ 、第 1 平面部  $3a_1$ ,  $3b_1$ 、及び第 2 平面部  $3a_2$ ,  $3b_2$  の位置関係をより小さい角度に設定してもよい。

【0064】

図 5 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 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。

【0065】

図 5 に示す例では、可変光学素子 3 の中心軸 CR 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。

10

【0066】

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  $3a_1$ ,  $3b_1$  が重なるようにあわせて、物点  $15\text{ mm}$  の光束  $L_{o15_1}$ ,  $L_{o15_2}$  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 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  $3a_2$ ,  $3b_2$  が重なるようにあわせて、物点  $50\text{ mm}$  の光束  $L_{o50_1}$ ,  $L_{o50_2}$  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。

20

【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  $3a_1$  及び第 2 平面部  $3a_2$  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 G 1 の中心軸 C 1 に可変光学素子 3 の第 1 平面部  $3a_1$  が重なるように配置して、物点  $15\text{ mm}$  の光束  $L_{o15}$  を透過させ、物体側から見て第 2 光学系 G 2 の中心軸 C 2 に可変光学素子 3 の第 2 平面部  $3a_2$  が重なるように配置して、物点  $50\text{ mm}$  の光束  $L_{o50}$  を透過させることが好ましい。

30

【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 G 1 の中心軸 C 1 に可変光学素子 3 の第 2 平面部  $3a_2$  が重なるように配置して、物点  $50\text{ mm}$  の光束  $L_{o50}$  を透過させ、物体側から見て第 2 光学系 G 2 の中心軸 C 2 に可変光学素子 3 の第 1 平面部  $3a_1$  が重なるように配置して、物点  $15\text{ mm}$  の光束  $L_{o15}$  を透過させることが好ましい。

40

【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  $180^\circ$  回転させて、第 1 光学系 G 1 と第 2 光学系 G 2 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 G v 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

50

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 $L_{o1_1}$ 、 $L_{o1_2}$ を通過させるための通過孔 $4a_1$ 、 $4b_1$ が形成される。そして、物点15mmの光束 $L_{o15_1}$ 、 $L_{o15_2}$ 及び物点50mmの光束 $L_{o50_1}$ 、 $L_{o50_2}$ 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。

10

【0077】

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。

【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4a及び第2面部4b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。

20

【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5a及び第2面部5bを有する。第1面部5a及び第2面部5b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5a及び第2面部5bは、それぞれ連続した螺旋面からなり、第1面部5aと第2面部5bとの境界には、それぞれ第1境界段部5ab及び第2境界段部5baが形成される。

30

【0081】

第1面部5a及び第2面部5bには、それぞれ物点1mmの光束 $L_{o1_1}$ 、 $L_{o1_2}$ を通過させるための通過孔 $5a_1$ 、 $5b_1$ が形成される。そして、物点15mmの光束 $L_{o15_1}$ 、 $L_{o15_2}$ 及び物点50mmの光束 $L_{o50_1}$ 、 $L_{o50_2}$ は、第1面部5a及び第2面部5b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。

40

【0083】

第1面部5a及び第2面部5b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。

【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】

50

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。

【 0 0 8 6 】

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 a<sub>1</sub> , 5 b<sub>1</sub> と第 2 螺旋面部 5 a<sub>2</sub> , 5 b<sub>2</sub> との間には、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。

【 0 0 8 7 】

また、物点 1 mm の光束 L o 1 , L o 1<sub>2</sub> は、第 1 螺旋面部 5 a<sub>1</sub> , 5 b<sub>1</sub> を透過し、物点 15 mm の光束 L o 15<sub>1</sub> , L o 15<sub>2</sub> 及び物点 50 mm の光束 L o 50<sub>1</sub> , L o 50<sub>2</sub> は、第 2 螺旋面部 5 a<sub>2</sub> , 5 b<sub>2</sub> を透過する。

10

【 0 0 8 8 】

図 9 に示した可変光学素子 5 は、物点 1 mm の光束 L o 1 , L o 1<sub>2</sub> の場合にも、螺旋面を使用するので、物点 15 mm の光束 L o 15<sub>1</sub> , L o 15<sub>2</sub> 及び物点 50 mm の光束 L o 50<sub>1</sub> , L o 50<sub>2</sub> のときと比較して、X Y 方向への像点の移動が少ない。

【 0 0 8 9 】

図 9 に示した可変光学素子 5 では、第 1 面部 5 a 及び第 2 面部 5 b は、それぞれ、少なくとも、第 1 螺旋面部 5 a<sub>1</sub> , 5 b<sub>1</sub> と、第 2 螺旋面部 5 a<sub>2</sub> , 5 b<sub>2</sub> 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。

20

【 0 0 9 0 】

また、螺旋形状では、可変光学素子 5 が回転中心軸 C R 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。

【 0 0 9 1 】

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。

【 0 0 9 2 】

本実施形態の可変光学系 G v 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 6 a 及び第 2 面部 6 b を有する。第 1 面部 6 a 及び第 2 面部 6 b は、それぞれ回転中心軸 C R を中心とする円の周方向に連続して回転中心軸 C R 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 6 a 及び第 2 面部 6 b は、それぞれ連続した放射方向傾斜面からなり、第 1 面部 6 a と第 2 面部 6 b との境界には、それぞれ第 1 境界段部 6 a b 及び第 2 境界段部 6 b a が形成される。

30

【 0 0 9 3 】

第 1 面部 6 a 及び第 2 面部 6 b には、物点 10 mm の光束 L o 10<sub>1</sub> , L o 10<sub>2</sub> 及び物点 50 mm の光束 L o 50<sub>1</sub> , L o 50<sub>2</sub> は、第 1 面部 6 a 及び第 2 面部 6 b をそれぞれ異なる位置で透過する。

【 0 0 9 4 】

第 1 面部 6 a 及び第 2 面部 6 b は、それぞれ回転中心軸 C R を中心とする円の周方向に連続して回転中心軸 C R 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。

40

【 0 0 9 5 】

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。

【 0 0 9 6 】

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 6 0

50

を用いた可変光学系 G v を示す図である。

【 0 0 9 7 】

図 1 1 又は図 1 2 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 1 3 に示すように、楔形の補正光学素子 6 0 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 6 0 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。

【 0 0 9 8 】

図 1 4 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。

【 0 0 9 9 】

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。

10

【 0 1 0 0 】

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 G 1 及び第 2 光学系 G 2 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。

【 0 1 0 1 】

この場合、曲面は、自由曲面であることが好ましい。

【 0 1 0 2 】

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。

20

【 0 1 0 3 】

図 1 5 は、少なくとも 1 つの光学素子 8 1 が中心軸 C 方向に移動可能な可変光学系 G v の一例を示す図である。

【 0 1 0 4 】

可変光学系 G v は、少なくとも 1 つの正又は負の可変光学素子 8 1 を有し、可変光学素子 8 1 は、中心軸 C 方向に移動可能であることが好ましい。図 1 5 に示すように、可変光学系 G v の可変光学素子 8 1 は、可変光学系 G v 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 8 1 を中心軸 C 方向に移動させることで、第 1 光学系 G 1 及び第 2 光学系 G 2 のフォーカスを調整することが可能となる。

30

【 0 1 0 5 】

また、可変光学系 G v は、第 1 中心軸 C 1 と第 2 中心軸 C 2 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 8 1 , 8 2 からなり、正と負の 2 枚のレンズ 8 1 , 8 2 のうち少なくとも 1 枚のレンズ 8 1 は、光学系中心軸 C の方向に移動可能な可変光学素子 8 1 であることが好ましい。

【 0 1 0 6 】

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 8 1 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。

40

【 0 1 0 7 】

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

【 0 1 0 8 】

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 50 mm 程度の入射瞳間隔を有している。また、顕微鏡は、20 mm 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

50

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。

【0110】

また、図15に示すように、第1前群Gf1の平凹負レンズLf1<sub>1</sub>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Lf2<sub>1</sub>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C1と第2前群Gf2の第2光軸C2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Gf1と第2前群Gf2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91と第2切り欠き部92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Gf1と第2前群Gf2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。

【0114】

また、平凹負レンズLf1<sub>1</sub>と平凹負レンズLf2<sub>1</sub>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Gv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Gvの中心軸は、第1光学系G1及び第2光学系G2の中心軸の中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。

【0118】

さらに、可変光学系Gv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。

【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Gvと開口Sとの距離、

fは、光学系全系の焦点距離、

である。

【0121】

10

20

30

40

50

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ギナル光線  $L 1'$  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。

【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。

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

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。

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

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。

$$0.3 < d v / f \quad (3)$$

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。

【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

10

20

30

40

50

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、実施例の横収差図に関して同様である。

【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る。

10

【0134】

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 1<sub>1</sub> と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 1<sub>2</sub> 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 1<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 1<sub>2</sub> の第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1<sub>3</sub> と、を有する第 1 後群 G b 1 と、を有する。

【0135】

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 2<sub>1</sub> と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 2<sub>2</sub> 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 2<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 2<sub>2</sub> の第 2 後群接合レンズ S U b 2<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 2<sub>3</sub> と、を有する第 2 後群 G b 2 と、を有する。

20

【0136】

可変光学系 G v 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 C R として回転可能であり、物点 1 mm の時に光束が通過する通過孔 3 a<sub>11</sub>、3 b<sub>11</sub> を有する。また、物点 15 mm の時に光束が通過する第 1 平面 3 a<sub>1</sub>、3 b<sub>1</sub> の厚さは、0.679 mm である。物点 50 mm の時に光束が透過する第 2 平面 3 a<sub>2</sub>、3 b<sub>2</sub> の厚さは、0.755 mm 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 L 1 は、両凹負レンズ L f 1<sub>1</sub>、正メニスカスレンズ L f 1<sub>2</sub>、第 1 開口 S 1、第 1 後群 G b 1 の接合レンズ S U b 1<sub>1</sub>、及び、正メニスカスレンズ L b 1<sub>3</sub>、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

【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 L 2 は、両凹負レンズ L f 2<sub>1</sub>、正メニスカスレンズ L f 2<sub>2</sub>、第 2 開口 S 2、第 2 後群 G b 2 の接合レンズ S U b 2<sub>1</sub>、及び、正メニスカスレンズ L b 2<sub>3</sub>、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。

【0140】

可変光学系 G v の可変光学素子 3 に入射した第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 は、図 3 に示したように、物点 1 mm の時には、光束は通過孔 3 a<sub>11</sub>、3 b<sub>11</sub> を通過し、物点 15 mm の時には、光束は第 1 平面 3 a<sub>1</sub>、3 b<sub>1</sub> を透過し、物点 50 mm の時には、光束は第 2 平面 3 a<sub>2</sub>、3 b<sub>2</sub> 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 を通過して像面に入射する。

40

【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

50

施例 1 と同じなので、光路図と収差図は省略する。

【 0 1 4 3 】

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 X Y 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 X Y 平面に対する第 2 面部 4 b の角度である傾斜角度 を  $2.467^\circ$  とする。

【 0 1 4 4 】

物点 50 mm から物点 15 mm にフォーカスをあわせるためには、中心軸 C R を中心に可変光学素子 4 を  $45^\circ$  回転させる。また、物点 15 mm から物点 1 mm にフォーカスをあわせるためには、中心軸 C R を中心に可変光学素子 4 を  $45^\circ$  回転させる。可変光学系 G v 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 4 a 及び第 2 面部 4 b は、連続的に傾斜する。

10

【 0 1 4 5 】

実施例 2 の立体撮像光学系 1 では、図 23 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。

20

【 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 10 及び図 14 に示した構造の可変光学素子 6 を適用したものである。

30

【 0 1 5 0 】

実施例 4 の可変光学素子 6 は、物体側に図 10 に示した放射方向傾斜面、像面側に図 14 に示した自由曲面を有する。図 10 及び図 14 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  $L o 50_1$  ,  $L o 50_2$  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  $1.196^\circ$  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  $L o 10_1$  ,  $L o 10_2$  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  $1.196^\circ$  傾斜している。実施例 4 では、物点 50 mm の光束  $L o 50_1$  ,  $L o 50_2$  と物点 10 mm の光束  $L o 10_1$  ,  $L o 10_2$  は、可変光学素子 6 を  $90^\circ$  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。

40

【 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 24 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

50

。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 1 5 mm で使用する領域を物点 5 0 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。

10

【 0 1 5 6 】

図 2 9 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 3 0 及び図 3 1 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 3 2 及び図 3 3 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 3 4 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。

【 0 1 5 7 】

実施例 6 の立体撮像光学系 1 は、図 2 9 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。

20

【 0 1 5 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 5 9 】

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 f 1<sub>1</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>2</sub> と両凸正レンズ L f 1<sub>3</sub> の第 1 前群接合レンズ S U f 1<sub>1</sub> と、を有する第 1 前群 G f 1 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 b 1<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 1<sub>2</sub> の第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> を有する第 1 後群 G b 1 と、を有する。

30

【 0 1 6 0 】

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 f 2<sub>1</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>2</sub> と両凸正レンズ L f 2<sub>3</sub> の第 2 前群接合レンズ S U f 2<sub>1</sub> と、を有する第 2 前群 G f 2 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 b 2<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 2<sub>2</sub> の第 2 後群接合レンズ S U b 2<sub>1</sub> を有する第 2 後群 G b 2 と、を有する。

【 0 1 6 1 】

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 3 3 mm から物点 1 0 mm までフォーカスを合わせることが可能となる。

40

【 0 1 6 2 】

また、第 1 像面 I<sub>1</sub> 及び第 1 像面 I<sub>2</sub> の手前には、フィルタ F を配置する。

【 0 1 6 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 1<sub>1</sub>、第 1 前群接合レンズ S U f 1<sub>1</sub>、第 1 開口 S 1、及び、第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> 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。

50

## 【0164】

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Lf2<sub>1</sub>、第2前群接合レンズSuf2<sub>1</sub>、第2開口S2、及び、第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>、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。

## 【0165】

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I<sub>1</sub>及び第1像面I<sub>2</sub>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。

10

## 【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。

20

## 【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Lf1<sub>1</sub>と、両凸正レンズLf1<sub>2</sub>と、両凹負レンズLf1<sub>3</sub>と両凸正レンズLf1<sub>4</sub>の第1前群接合レンズSuf1<sub>1</sub>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Lb1<sub>1</sub>と両凸正レンズLb1<sub>2</sub>の第1後群接合レンズSub1<sub>1</sub>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Lf2<sub>1</sub>と、両凸正レンズLf2<sub>2</sub>と、両凹負レンズLf2<sub>3</sub>と両凸正レンズLf2<sub>4</sub>の第2前群接合レンズSuf2<sub>1</sub>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Lb2<sub>1</sub>と両凸正レンズLb2<sub>2</sub>の第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>を有する第2後群Gb2と、を有する。

30

## 【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I<sub>1</sub>及び第1像面I<sub>2</sub>の手前には、フィルタFを配置する。

40

## 【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Lf1<sub>1</sub>、両凸正レンズLf1<sub>2</sub>、第1前群接合レンズSuf1<sub>1</sub>、第1開口S1、及び、第1後群接合レンズSub1<sub>1</sub>、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Lf2<sub>1</sub>、両凸正レンズLf2<sub>2</sub>、第2前群接合レンズSuf2<sub>1</sub>、第2開口S2、及び、第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>、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。

50

## 【0175】

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<sub>1</sub> 及び第 1 像面 I<sub>2</sub> に入射する。

## 【0176】

図 4 1 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 4 2 及び図 4 3 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 4 4 及び図 4 5 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 4 6 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】

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。

## 【0178】

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。

## 【0179】

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 1<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L f 1<sub>2</sub> 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 1<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 1<sub>2</sub> の第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L b 1<sub>3</sub> と、を有する第 1 後群 G b 1 と、を有する。

## 【0180】

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 2<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L f 2<sub>2</sub> 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 2<sub>1</sub> と両凸正レンズ L b 2<sub>2</sub> の第 2 後群接合レンズ S U b 2<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L b 2<sub>3</sub> と、を有する第 2 後群 G b 2 と、を有する。

## 【0181】

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 62 . 500 mm から 18 . 750 mm まで合わせることが可能となる。

## 【0182】

また、第 1 像面 I<sub>1</sub> 及び第 1 像面 I<sub>2</sub> の手前には、フィルタ F を配置する。

## 【0183】

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 1<sub>1</sub>、両凸正レンズ L f 1<sub>2</sub>、第 1 開口 S 1、第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub>、及び、両凸正レンズ L b 1<sub>3</sub>、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。

## 【0184】

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 2<sub>1</sub>、両凸正レンズ L f 2<sub>2</sub>、第 2 開口 S 2、第 2 後群接合レンズ S U b 2<sub>1</sub>、及び、両凸正レンズ L b 2<sub>3</sub>、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。

## 【0185】

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 I<sub>1</sub> 及び第 1 像面 I<sub>2</sub> に入射する。

10

20

30

40

50

## 【0186】

図47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48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49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50及び図51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52及び図53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54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。

## 【0187】

実施例9の立体撮像光学系1は、図47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の第1前群Gf1、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の第2前群Gf2と、単一の中心軸Cを有する可変光学系Gvと、第1中心軸C1を光軸とする第1光学系G1の第1後群Gb1、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の第2後群Gb2と、を備える。

10

## 【0188】

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。第1中心軸C1と第2中心軸C2の間隔は3mmである。

## 【0189】

第1光学系G1の第1前群Gf1は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズLf1<sub>1</sub>と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf1<sub>2</sub>と、を有する。第1光学系G1の第1後群Gb1は、第1開口S1と、両凹負レンズLb1<sub>1</sub>と両凸正レンズLb1<sub>2</sub>の第1後群接合レンズSub1<sub>1</sub>と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb1<sub>3</sub>と、を有する。

20

## 【0190】

第2光学系G2の第2前群Gf2は、物体側から像面側へ順に、両凹負レンズLf2<sub>1</sub>と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズLf2<sub>2</sub>と、を有する。第2光学系G2の第2後群Gb2は、第2開口S2と、両凹負レンズLb2<sub>1</sub>と両凸正レンズLb2<sub>2</sub>の第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb2<sub>3</sub>と、を有する。

## 【0191】

可変光学系Gvは、物体側から像面側へ順に、図48示した放射方向傾斜螺旋面と、図49に示した自由曲面と、を有する可変光学素子9を備える。

30

## 【0192】

また、可変光学素子9の物体側は、図48に示したように、放射方向傾斜螺旋面を有する。物点50mmの光束Lo50<sub>1</sub>、Lo50<sub>2</sub>が通過する部分において、可変光学素子9は、回転中心軸CR側が上がる方向に0.044°傾斜している。そこから連続的に変化して、物点15mmの光束Lo15<sub>1</sub>、Lo15<sub>2</sub>が通過する部分において、可変光学素子9は、回転中心軸CR側が上がる方向に2.094°傾斜している。光束中心の厚さは、全周で変化せず、0.625mmである。実施例9では、物点50mmの光束Lo50<sub>1</sub>、Lo50<sub>2</sub>と物点15mmの光束Lo15<sub>1</sub>、Lo15<sub>2</sub>は、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。

40

## 【0193】

可変光学素子9の像面側は、図49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Gvの可変光学素子9は、物点50mmで使用する領域を物点15mm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。

## 【0194】

また、第1像面I<sub>1</sub>及び第1像面I<sub>2</sub>の手前には、第1フィルタF1及び第2フィルタF2を配置する。

## 【0195】

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L

50

f 1<sub>1</sub>、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 1<sub>2</sub>、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 1<sub>1</sub>、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1<sub>3</sub>、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 I<sub>1</sub> に入射する。

【0196】

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<sub>1</sub>、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 2<sub>2</sub>、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 2<sub>1</sub>、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 2<sub>3</sub>、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 I<sub>2</sub> に入射する。

10

【0197】

図 5 5 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 5 6 は、実施例 10 の可変光学系 G v の中心軸 C に沿った断面図である。図 5 7 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 5 8 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 5 9 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 6 0 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 5 5 に示すように、物体側から像面側へ順に、第 1 前群 G f 1、第 1 絞り S 1、及び、第 1 後群 G b 1 を有する第 1 中心軸 C 1 を光軸とする第 1 光学系 G 1 と、第 2 前群 G f 2、第 2 絞り S 2、及び、第 2 後群 G b 2 を有する第 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。

20

【0199】

立体撮像光学系 1 は、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。

【0200】

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、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 1<sub>1</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>2</sub> と両凸正レンズ L f 1<sub>3</sub> の第 1 前群第 1 接合レンズ S U f 1<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 1<sub>4</sub> と、両凸正レンズ L f 1<sub>5</sub> と両凹負レンズ L f 1<sub>6</sub> の第 1 前群第 2 接合レンズ S U f 1<sub>2</sub> と、を有する。

30

【0201】

第 1 光学系 G 1 の第 1 後群 G b 1 は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 1<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L b 1<sub>2</sub> と両凸正レンズ L b 1<sub>3</sub> の第 1 後群接合レンズ S U b 1<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L b 1<sub>4</sub> と、を有する。

【0202】

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、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 2<sub>1</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>2</sub> と両凸正レンズ L f 2<sub>3</sub> の第 2 前群第 1 接合レンズ S U f 2<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L f 2<sub>4</sub> と、両凸正レンズ L f 2<sub>5</sub> と両凹負レンズ L f 2<sub>6</sub> の第 2 前群第 2 接合レンズ S U f 2<sub>2</sub> と、を有する。

40

【0203】

第 2 光学系 G 2 の第 2 後群 G b 2 は、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L b 2<sub>1</sub> と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L b 2<sub>2</sub> と両凸正レンズ L b 2<sub>3</sub> の第 2 後群接合レンズ S U b 2<sub>1</sub> と、両凸正レンズ L b 2<sub>4</sub> と、を有する。

【0204】

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<sub>1</sub> と、像面側に平面を向けた平凹負レンズ L v<sub>2</sub> と、を有する。平凹負レンズ L v<sub>2</sub> は、可変光学素子を構成する。

【0205】

50

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。

【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Lf1<sub>1</sub>、第1前群第1接合レンズSuf1<sub>1</sub>、正メニスカスレンズLf1<sub>4</sub>、第1前群第2接合レンズSuf1<sub>2</sub>、第1開口S1、正メニスカスレンズLb1<sub>1</sub>、第1後群接合レンズSub1<sub>1</sub>、両凸正レンズLb1<sub>4</sub>、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Lv<sub>1</sub>及び平凹負レンズLv<sub>2</sub>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 $I_1$ 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Lf2<sub>1</sub>、第2前群第1接合レンズSuf2<sub>1</sub>、正メニスカスレンズLf2<sub>4</sub>、第2前群第2接合レンズSuf2<sub>2</sub>、第2開口S2、正メニスカスレンズLb2<sub>1</sub>、第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>、両凸正レンズLb2<sub>4</sub>、を通過して、第2後群Gb2を射出し、その後、可変光学系Gvに入射し、平凸正レンズLv<sub>1</sub>及び平凹負レンズLv<sub>2</sub>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2像面 $I_2$ に入射する。

【0208】

図61は、実施例11の可変光学系Gv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の像歪みを示す図である。

【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Gvを入れ替えたものであるので、可変光学系Gvのみ説明する。

【0210】

実施例11の可変光学系Gvは、物体側から像面側へ順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズLv<sub>1</sub>と、像面側に平面を向けた平凸正レンズLv<sub>2</sub>と、を有する。平凸正レンズLv<sub>2</sub>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Gf1に入射した第1光束L1は、両凹負レンズLf1<sub>1</sub>、第1前群第1接合レンズSuf1<sub>1</sub>、正メニスカスレンズLf1<sub>4</sub>、第1前群第2接合レンズSuf1<sub>2</sub>、第1開口S1、正メニスカスレンズLb1<sub>1</sub>、第1後群接合レンズSub1<sub>1</sub>、両凸正レンズLb1<sub>4</sub>、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、平凹負レンズLv<sub>1</sub>及び平凸正レンズLv<sub>2</sub>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 $I_1$ に入射する。

【0212】

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Lf2<sub>1</sub>、第2前群第1接合レンズSuf2<sub>1</sub>、正メニスカスレンズLf2<sub>4</sub>、第2前群第2接合レンズSuf2<sub>2</sub>、第2開口S2、正メニスカスレンズLb2<sub>1</sub>、第2後群接合レンズSub2<sub>1</sub>、両凸正レンズLb2<sub>4</sub>、を通過して、第2後群Gb2を射出し、その後、可変光学系Gvに入射し、平凹負レンズLv<sub>1</sub>及び平凸正レンズLv<sub>2</sub>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2像面 $I_2$ に入射する。

【0213】

図66は、実施例12の可変光学系Gv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。

【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  $L_{v1}$  と、像面側に平面を向けた平凸正レンズ  $L_{v2}$  と、を有する。平凹負レンズ  $L_{v1}$  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  $G_{f1}$  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  $S_{Uf1_1}$ 、正メニスカスレンズ  $L_{f1_4}$ 、第1前群第2接合レンズ  $S_{Uf1_2}$ 、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  $S_{Ub1_1}$ 、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、平凹負レンズ  $L_{v1}$  及び平凸正レンズ  $L_{v2}$  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。

10

【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  $S_{Uf2_1}$ 、正メニスカスレンズ  $L_{f2_4}$ 、第2前群第2接合レンズ  $S_{Uf2_2}$ 、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  $S_{Ub2_1}$ 、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  $L_{v1}$  及び平凸正レンズ  $L_{v2}$  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。

20

【0218】

図71は、実施例13の可変光学系  $G_v$  の中心軸  $C$  に沿った断面図である。図72は、実施例13の立体撮像光学系1の遠点での横収差図である。図73は、実施例13の立体撮像光学系1の中間状態での横収差図である。図74は、実施例13の立体撮像光学系1の近点での横収差図である。図75は、実施例13の立体撮像光学系1の像歪みを示す図である。

【0219】

実施例13の立体撮像光学系1は、図66に示した実施例12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13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  $L_{v1}$  と、像面側に平面を向けた平凹負レンズ  $L_{v2}$  と、を有する。平凸正レンズ  $L_{v1}$  は、可変光学素子を構成する。

30

【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  $S_{Uf1_1}$ 、正メニスカスレンズ  $L_{f1_4}$ 、第1前群第2接合レンズ  $S_{Uf1_2}$ 、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  $S_{Ub1_1}$ 、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  $L_{v1}$  及び平凹負レンズ  $L_{v2}$  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  $S_{Uf2_1}$ 、正メニスカスレンズ  $L_{f2_4}$ 、第2前群第2接合レンズ  $S_{Uf2_2}$ 、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  $S_{Ub2_1}$ 、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  $L_{v1}$  及び平凹負レンズ  $L_{v2}$  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。

40

【0223】

図76は、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は、実施例14の可変光学系  $G_v$  の中心軸  $C$  に沿った断面図である。図78は、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は、実施例14の立体撮像光学系

50

1 の中間状態での横収差図である。図 80 は、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 は、実施例 14 の立体撮像光学系 1 の像歪みを示す図である。

【0224】

実施例 14 の立体撮像光学系 1 は、図 71 に示した実施例 13 の立体撮像光学系 1 の可変光学系 Gv を入れ替えたものであるので、可変光学系 Gv のみ説明する。

【0225】

実施例 14 の可変光学系 Gv 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 Lv<sub>1</sub> を有する。負メニスカスレンズ Lv<sub>1</sub> 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 Gf1 に入射した第 1 光束 L1 は、両凹負レンズ Lf1<sub>1</sub>、第 1 前群第 1 接合レンズ SUf1<sub>1</sub>、正メニスカスレンズ Lf1<sub>4</sub>、第 1 前群第 2 接合レンズ SUf1<sub>2</sub>、第 1 開口 S1、正メニスカスレンズ Lb1<sub>1</sub>、第 1 後群接合レンズ SUB1<sub>1</sub>、両凸正レンズ Lb1<sub>4</sub>、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、負メニスカスレンズ Lv<sub>1</sub> 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 I<sub>1</sub> に入射する。

10

【0227】

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 Lf2<sub>1</sub>、第 2 前群第 1 接合レンズ SUf2<sub>1</sub>、正メニスカスレンズ Lf2<sub>4</sub>、第 2 前群第 2 接合レンズ SUf2<sub>2</sub>、第 2 開口 S2、正メニスカスレンズ Lb2<sub>1</sub>、第 2 後群接合レンズ SUB2<sub>1</sub>、両凸正レンズ Lb2<sub>4</sub>、を通過して、第 2 後群 Gb2 を射出し、その後、可変光学系 Gv に入射し、負メニスカスレンズ Lv<sub>1</sub> 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 2 像面 I<sub>2</sub> に入射する。

20

【0228】

以下に、実施例の構成パラメータを示す。

【0229】

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。

【0230】

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

30

【0231】

屈折率、アッペ数については、d 線 (波長 587.56 nm) に対するものを表記してある。長さの単位は mm である。各面の偏心は、上記のように、基準面からの偏心量で表わす。曲率半径に記載する “∞” は、無限大であることを示している。面間隔が変化する場合には、\* を付与している。

40

【0232】

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。

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

【0233】

50

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

【0234】

また、実施形態で用いられる自由曲面FFS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FFS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。

【0235】

$$Z = (r^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + k)(r / R)^2\}] + \sum_{j=1}^{66} C_j X^m Y^n \dots (a) \tag{10}$$

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)

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

である。

【0236】

20

自由曲面項は、

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

ただし、C<sub>j</sub> (jは1以上の整数)は係数である。

【0237】

実施例1

40

面番号 物体面	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
		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			

50

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		

像面

非球面[1]

曲率半径 -1.516

k 0.0000e+000

a 1.9351e-001 b -2.7113e-002

10

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

20

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

30

【0238】

実施例2

実施例1と同じ

【0239】

実施例3

40

実施例1と同じ

【0240】

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		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			

50

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	10
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

20

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

【 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				40
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				50

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			

像面

非球面[1]

10

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

20

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

【0243】

実施例7

30

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			

40

50

18	2.049		
19	0.500	1.5163	64.1
20	0.100		

像 面

非球面 [1]

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

10

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

20

【 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
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)		
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			

30

40

像 面

50

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

10

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

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

20

【 0 2 4 5 】  
 実施例 9

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
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			

30

40

像面

非球面 [1]

曲率半径 -3.129  
 k 0.0000e+000

50

a 1.5225e-002 b -8.7392e-004

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

10

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

20

\*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 】

30

実施例 1 0

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
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			

40

50

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		
像面			偏心(2)	10

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

*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
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			

*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

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		
*3	0.655	0.472	0.215		

10

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
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		

20

仕様  
 実施例 10 と同じ  
 【 0 2 5 0 】  
 実施例 14

30

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		

40

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。

条件式	実施例 6	実施例 7	実施例 8	実施例 9
【 0 2 5 2 】				
( 1 ) $d / f$				0.082
f	0.423	0.412	0.867	

50

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 1 0	実施例 1 1	実施例 1 2	実施例 1 3
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 】

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。

## 【 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。

## 【 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。

## 【 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

10

20

30

40

50

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。

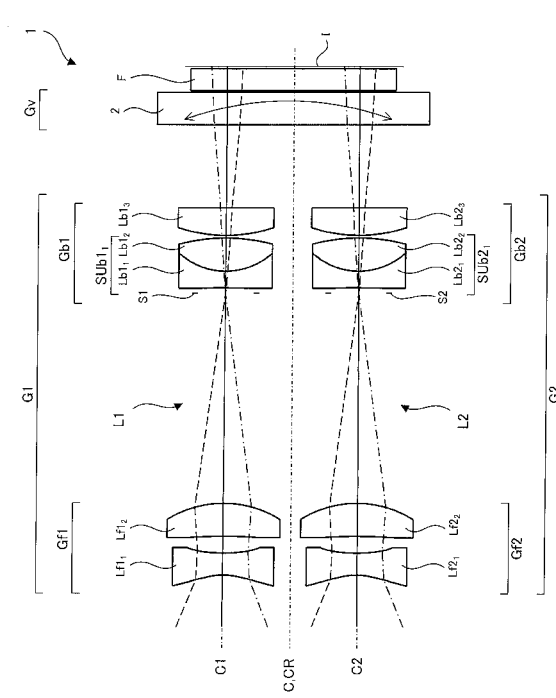
【 0 2 6 5 】

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。

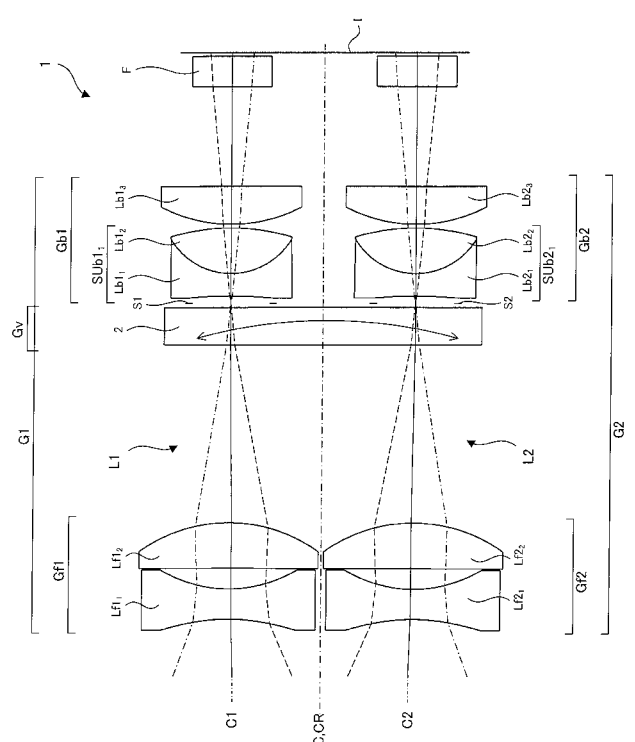
【 0 2 6 6 】

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。

【 図 1 】

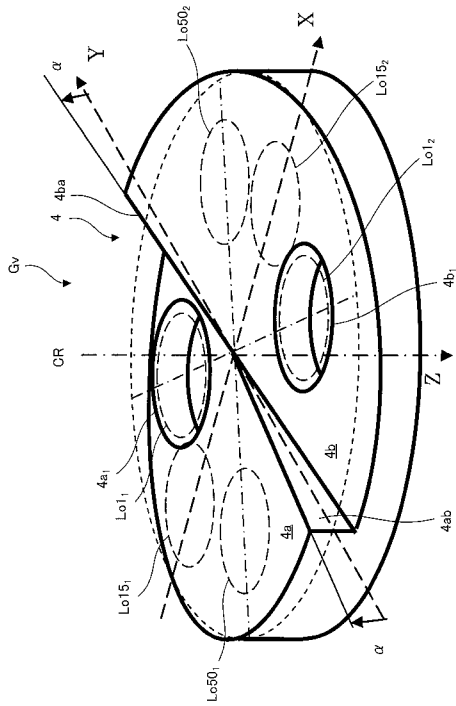


【 図 2 】

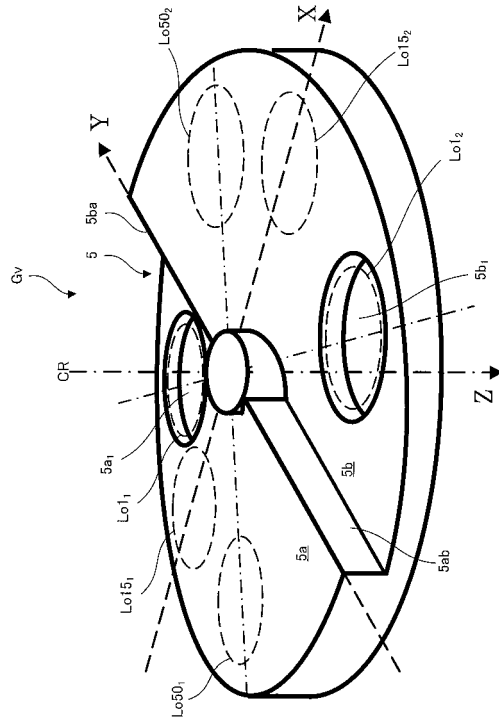




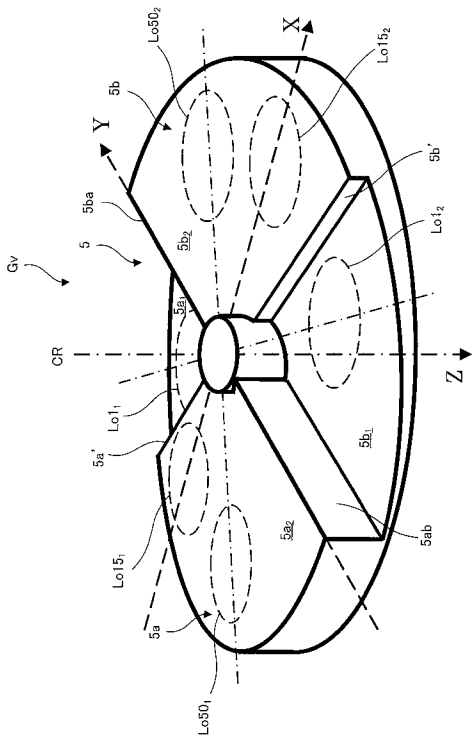
【 図 7 】



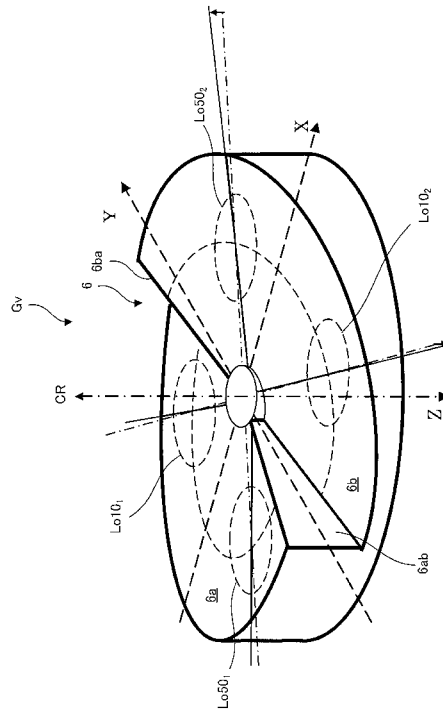
【 図 8 】



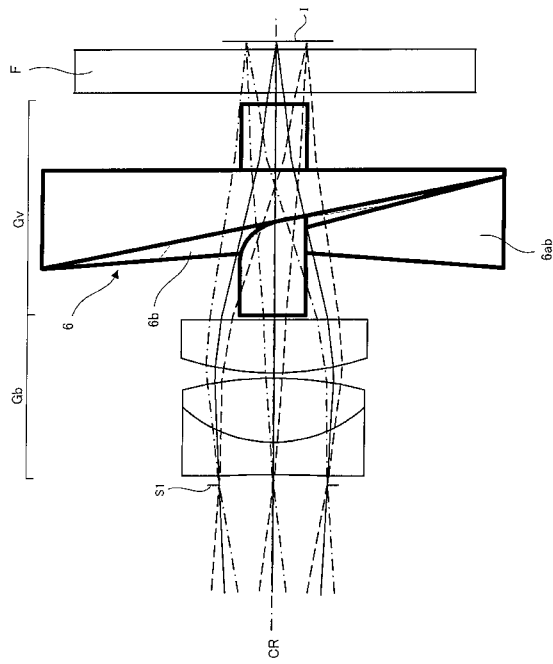
【 図 9 】



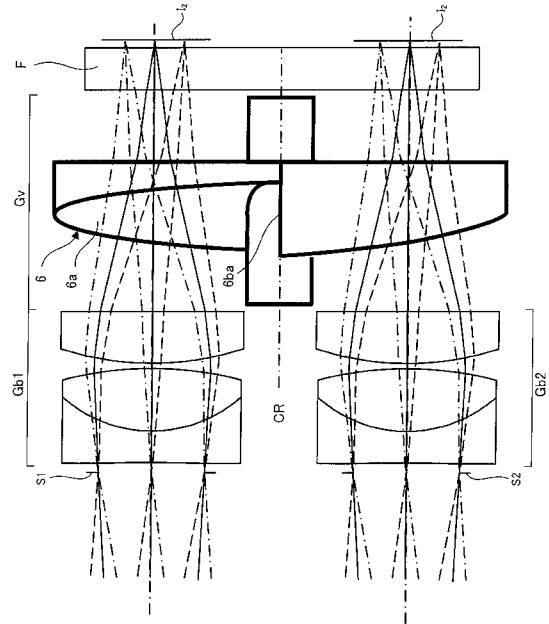
【 図 10 】



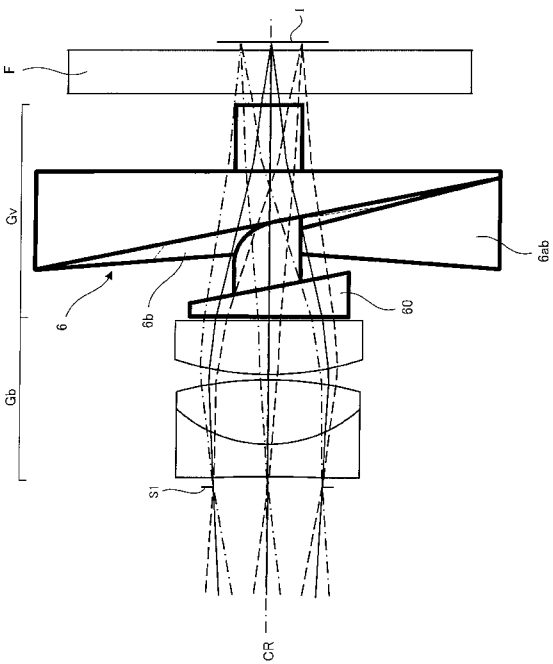
【 図 1 1 】



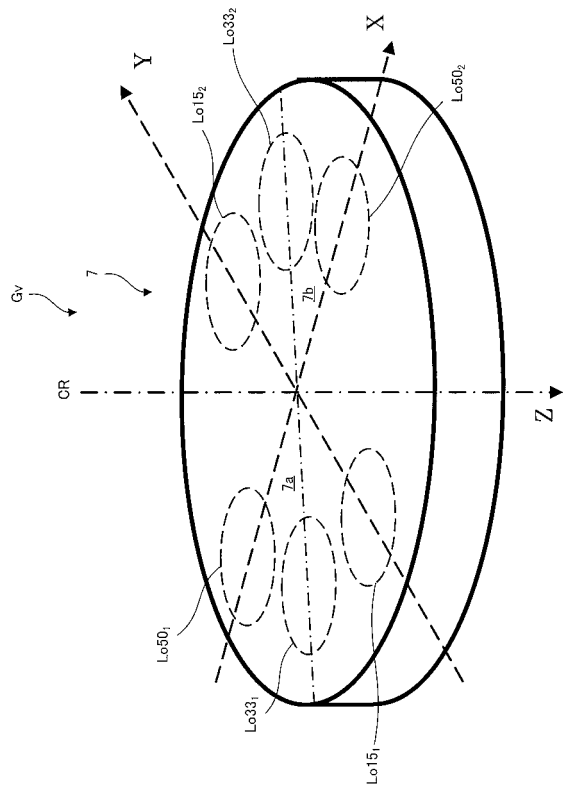
【 図 1 2 】



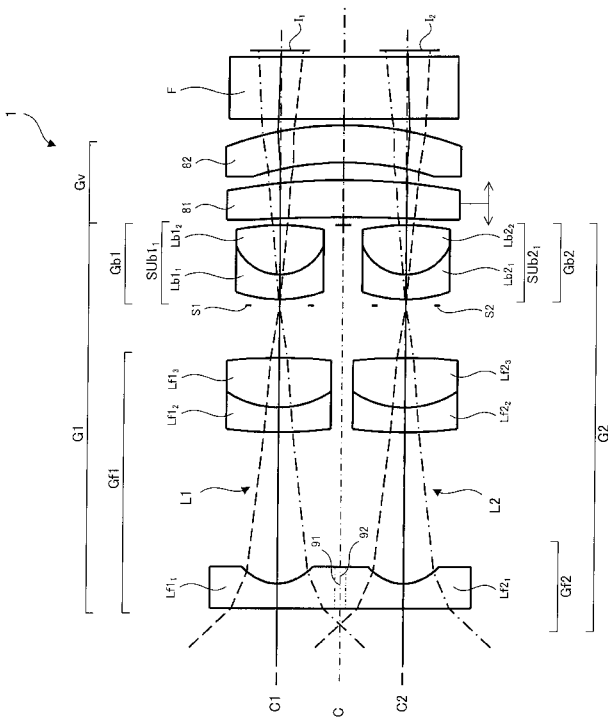
【 図 1 3 】



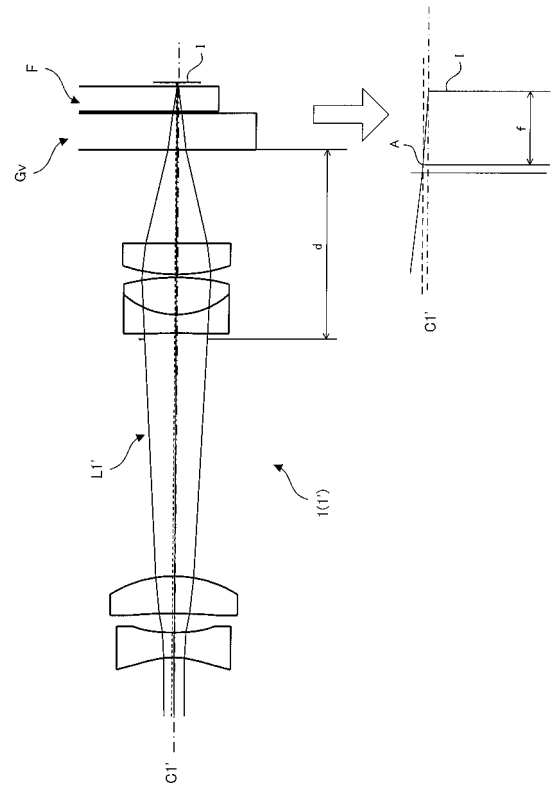
【 図 1 4 】



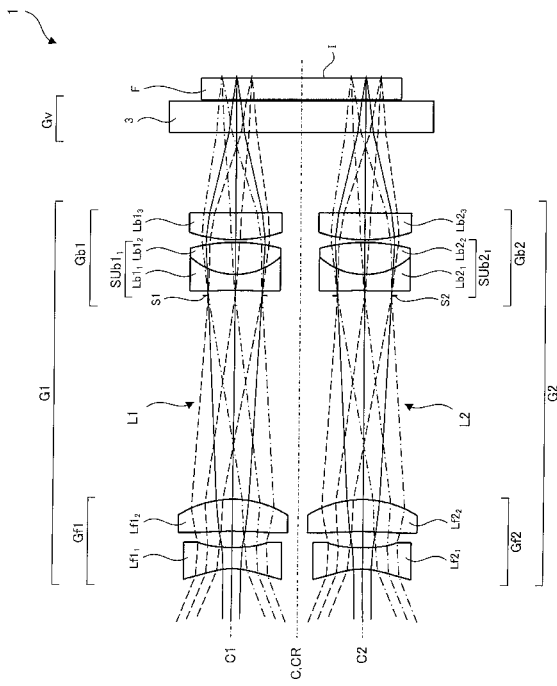
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

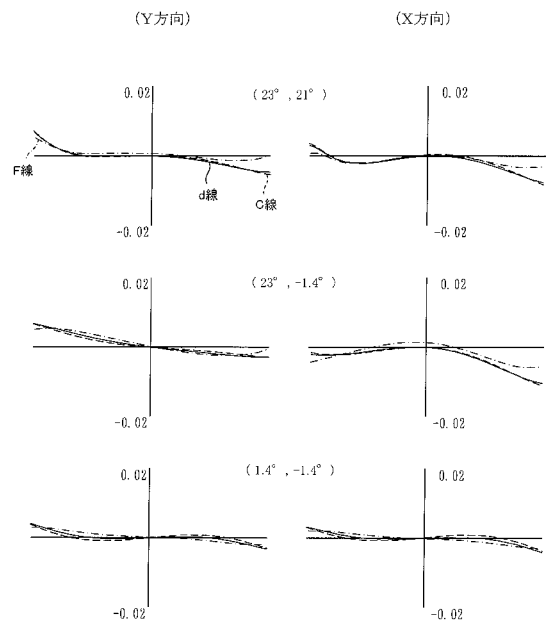


【 図 1 7 】



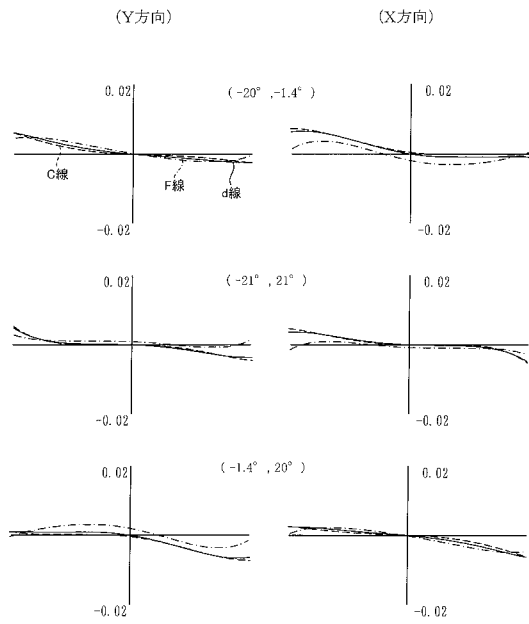
【 図 1 8 】

実施例1(遠点)



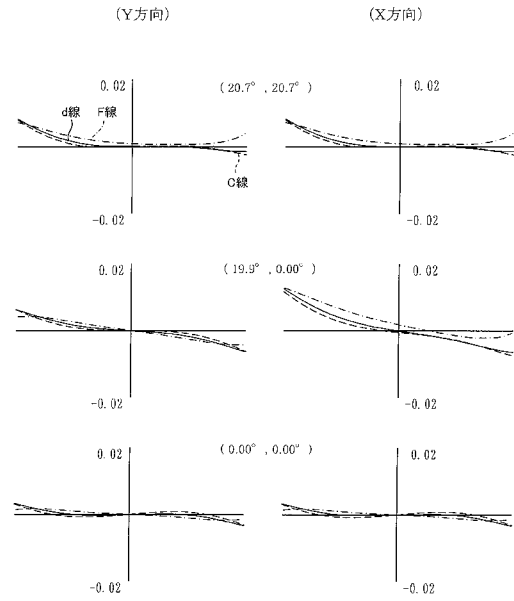
【图 19】

实施例1(远点)



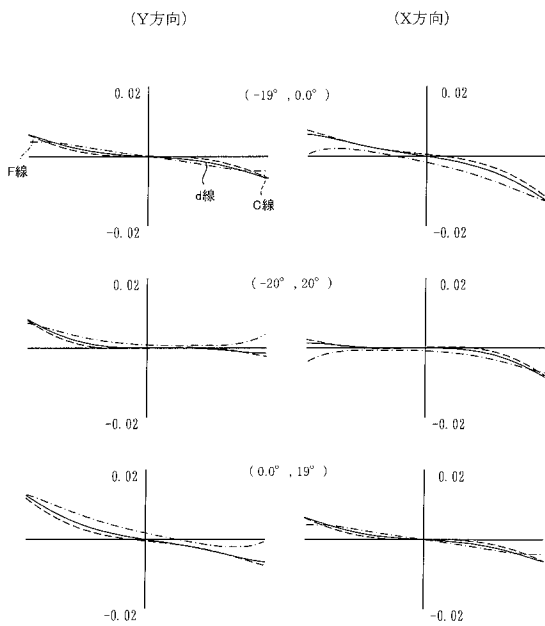
【图 20】

实施例1(近点)

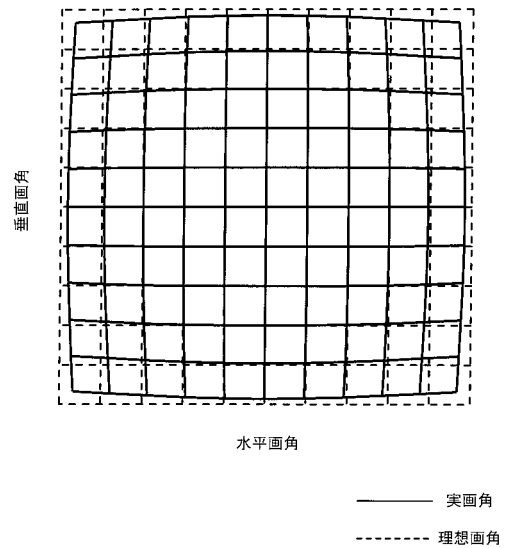


【图 21】

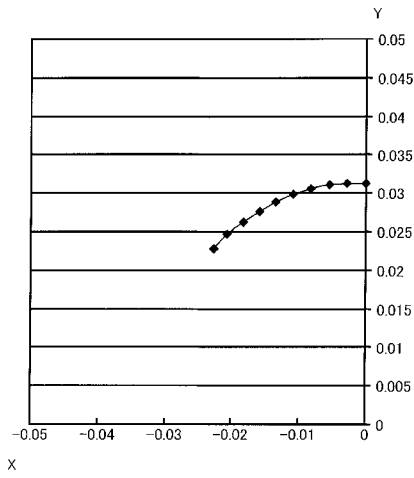
实施例1(近点)



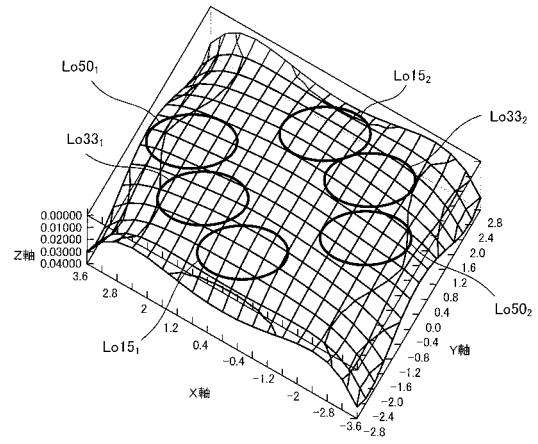
【图 22】



【 図 2 3 】

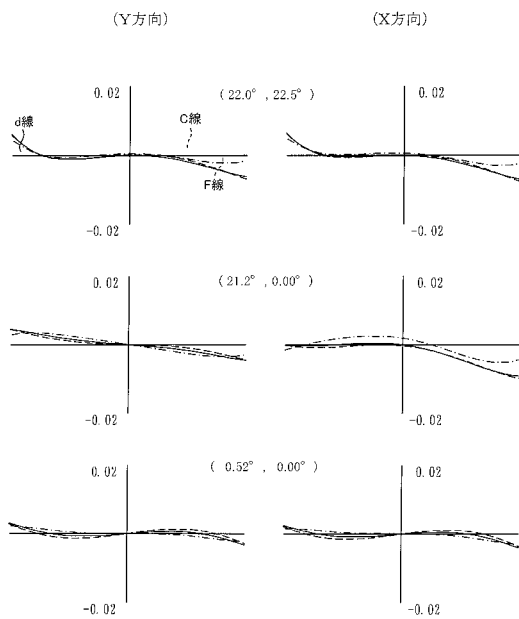


【 図 2 4 】



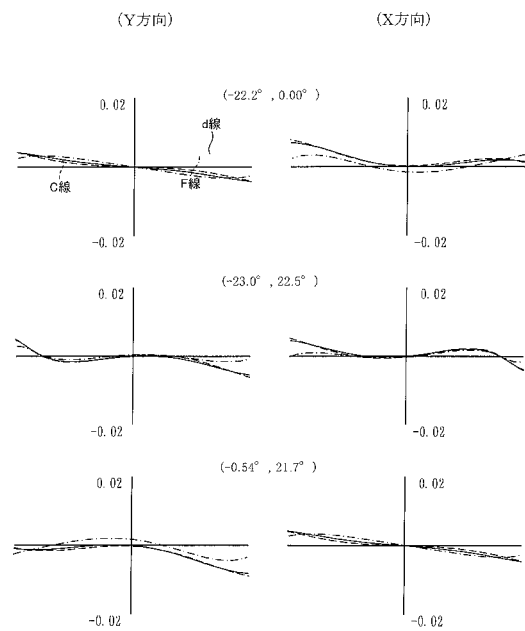
【 図 2 5 】

実施例5(遠点)



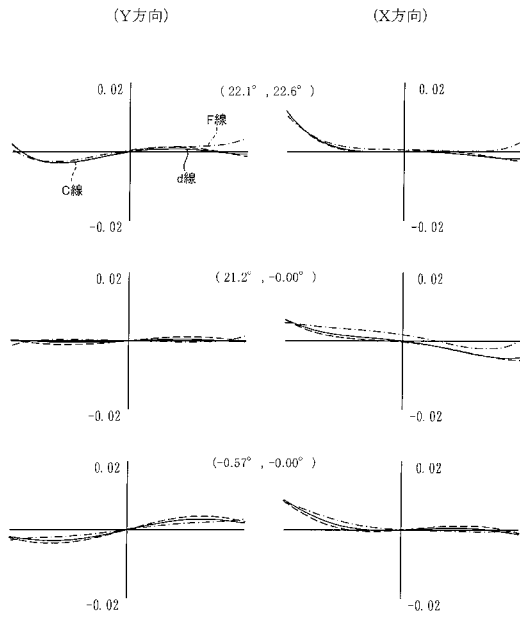
【 図 2 6 】

実施例5(遠点)



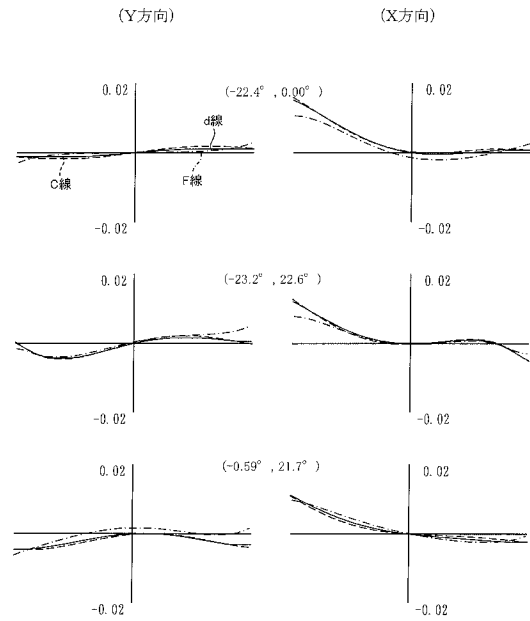
【图 27】

实施例5(近点)

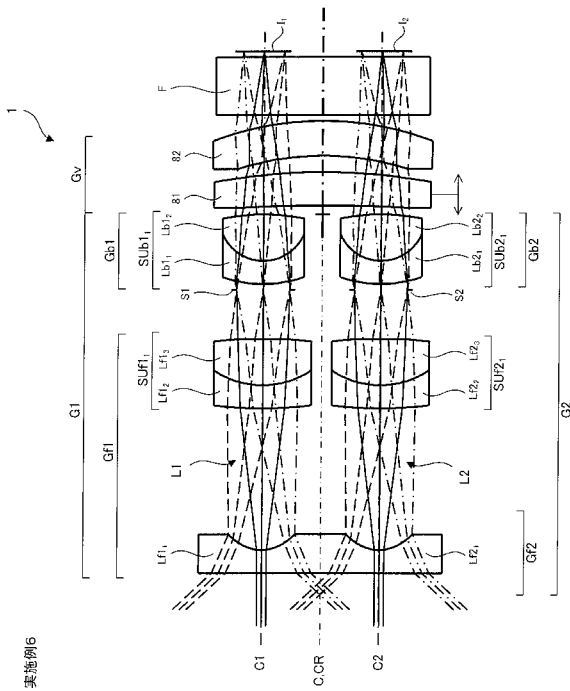


【图 28】

实施例5(近点)



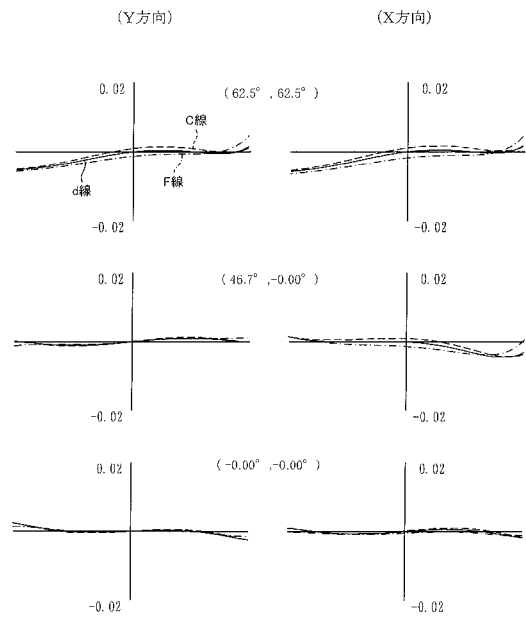
【图 29】



实施例6

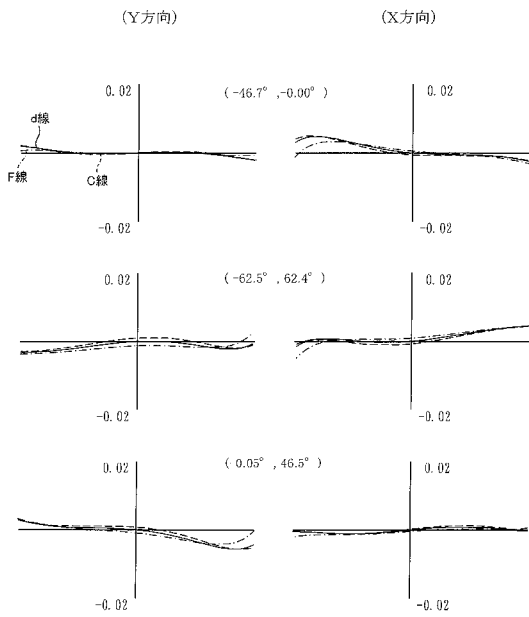
【图 30】

实施例6(远点)



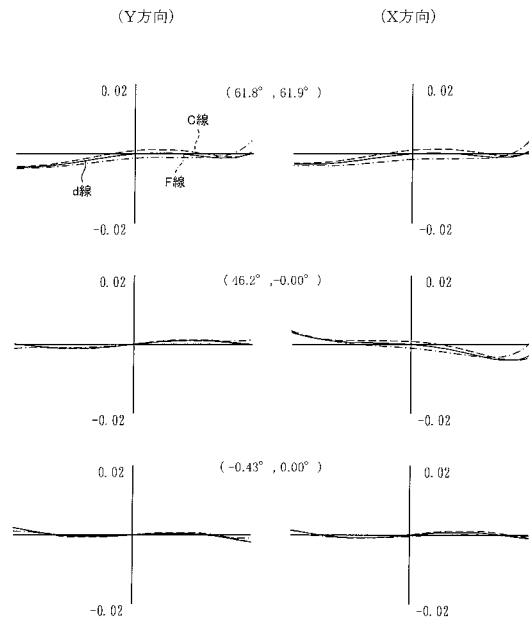
【图 3 1】

实施例6(远点)



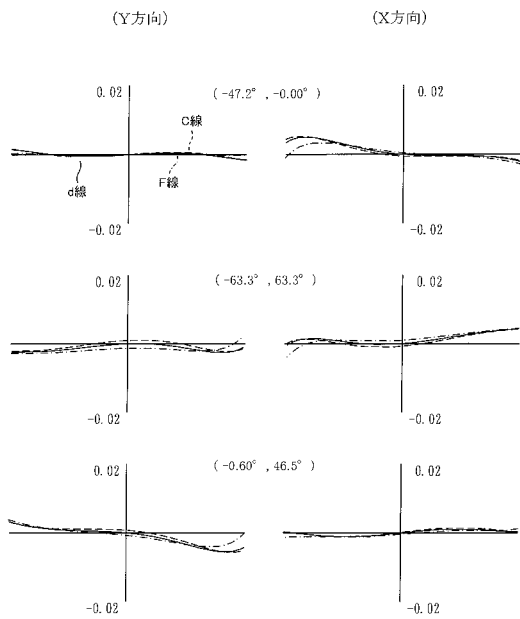
【图 3 2】

实施例6(近点)

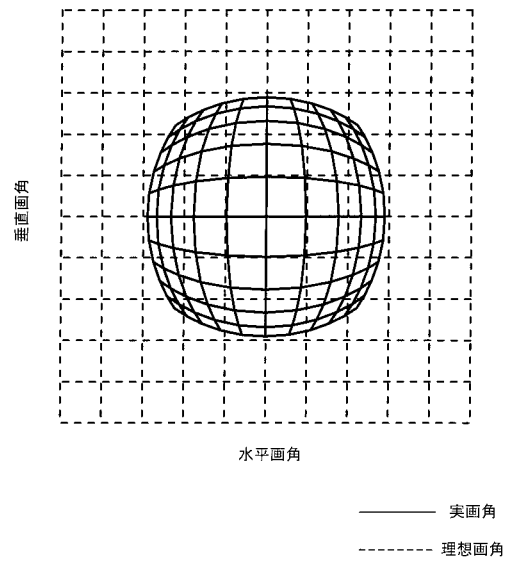


【图 3 3】

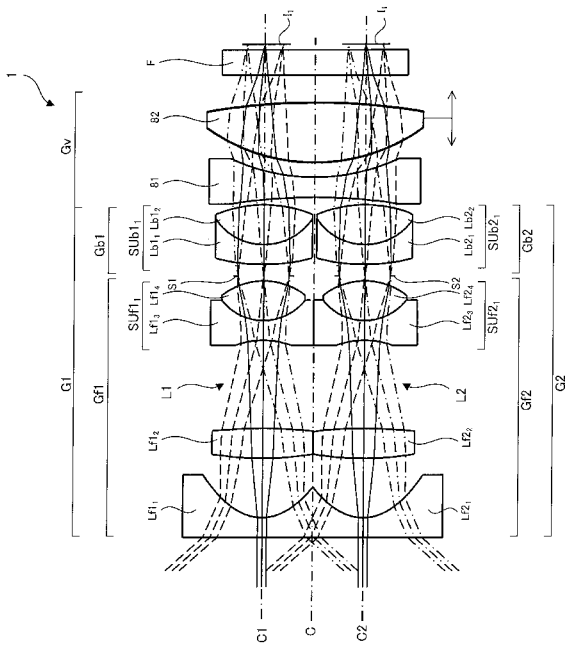
实施例6(近点)



【图 3 4】



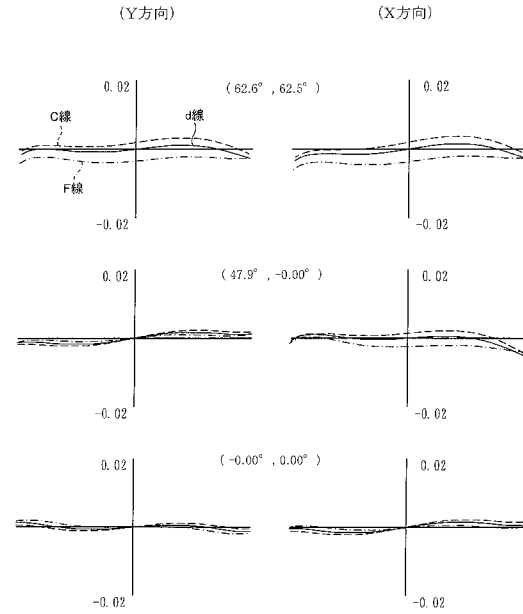
【 図 3 5 】



実施例7

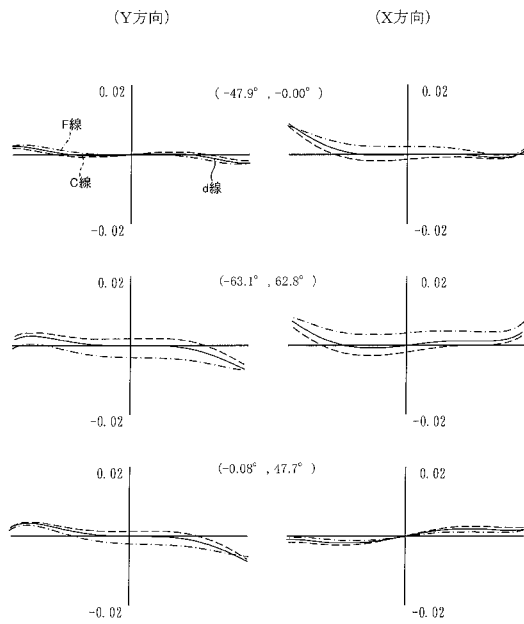
【 図 3 6 】

実施例7(遠点)



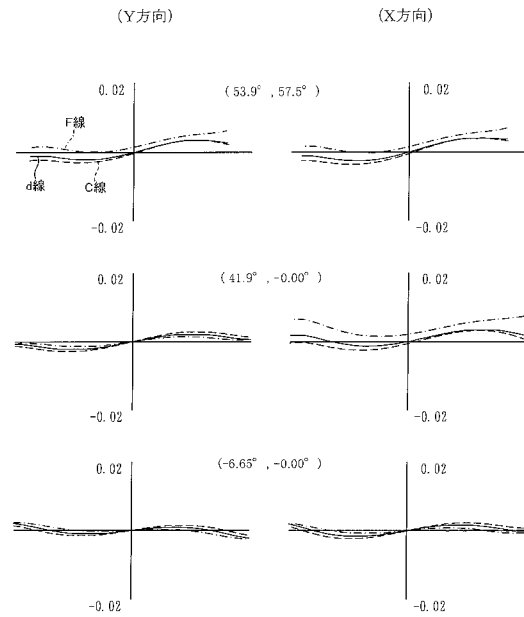
【 図 3 7 】

実施例7(遠点)



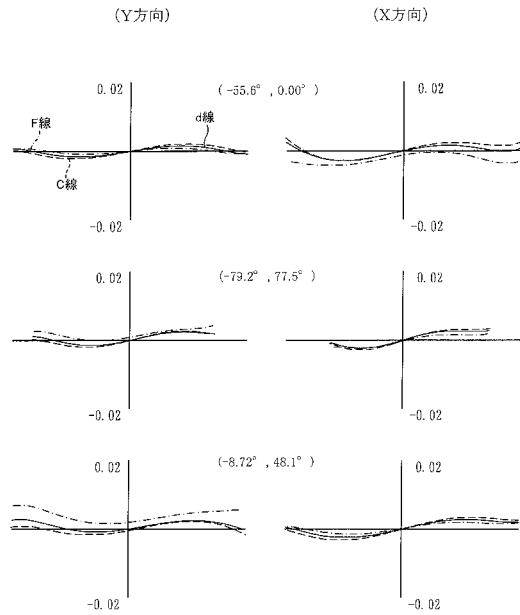
【 図 3 8 】

実施例7(近点)

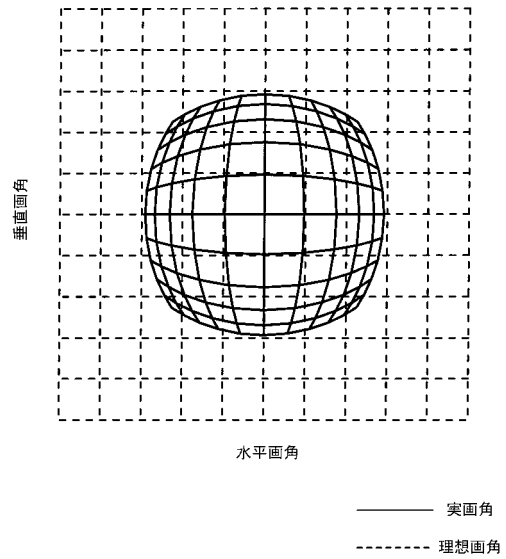


【图 3 9】

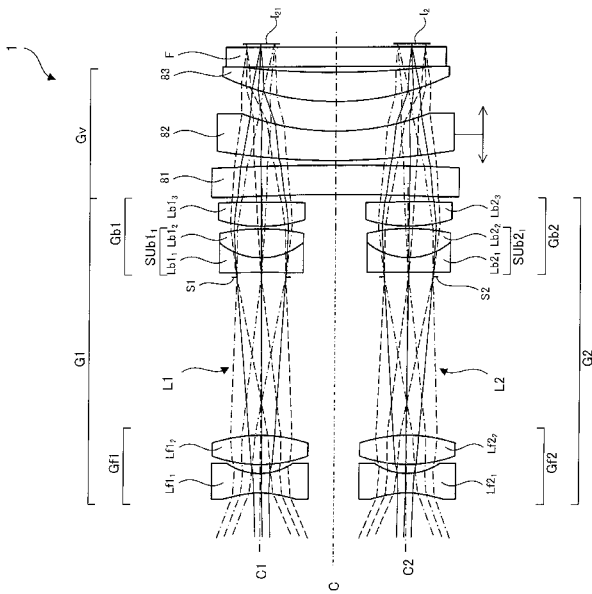
实施例7(近点)



【图 4 0】



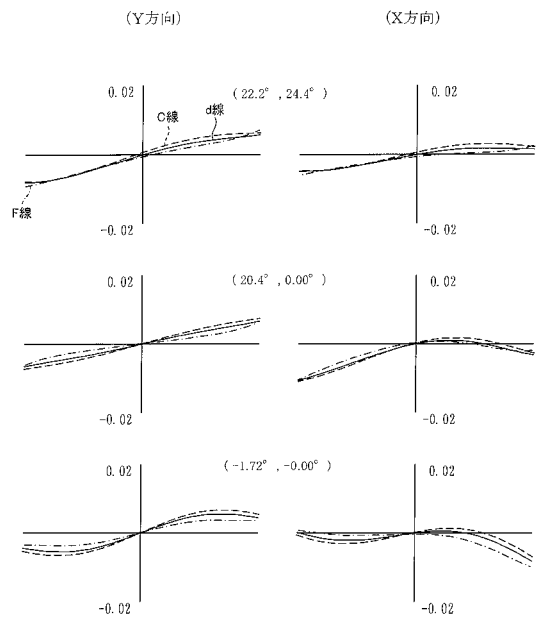
【图 4 1】



实施例B

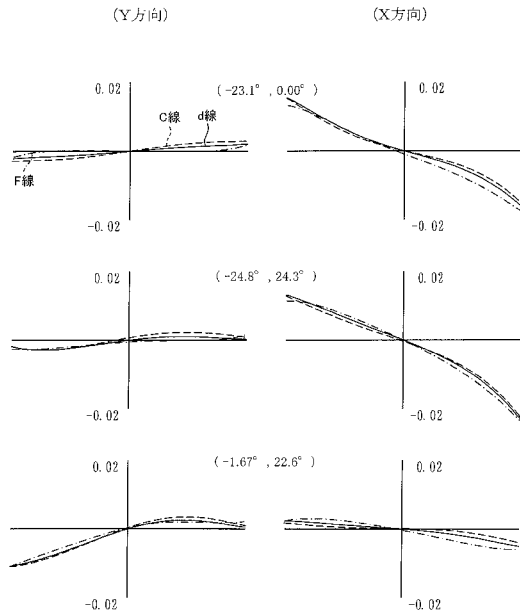
【图 4 2】

实施例8(远点)



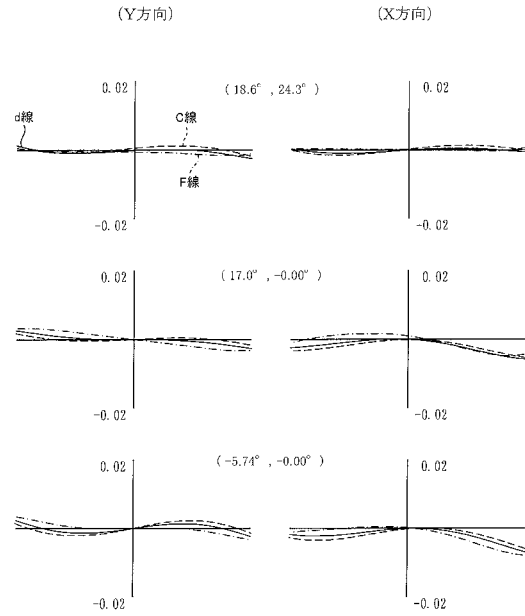
【图 4 3】

实施例8(遠点)



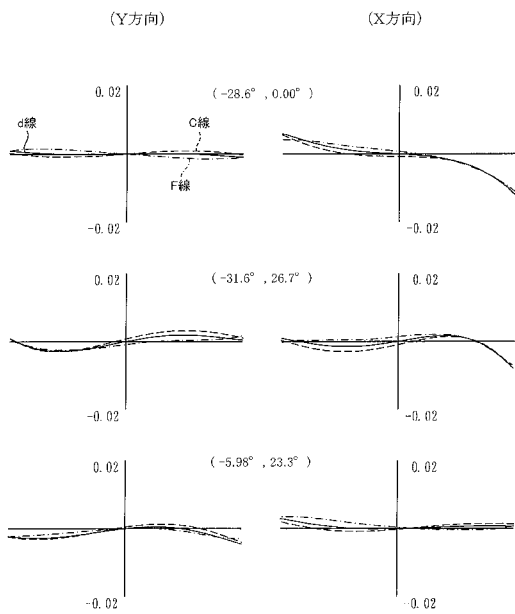
【图 4 4】

实施例8(近点)

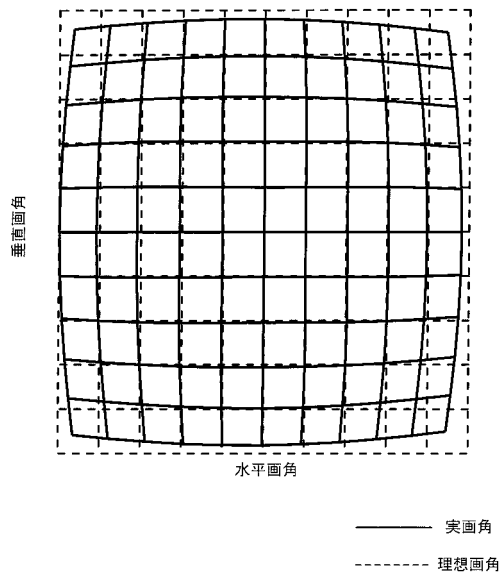


【图 4 5】

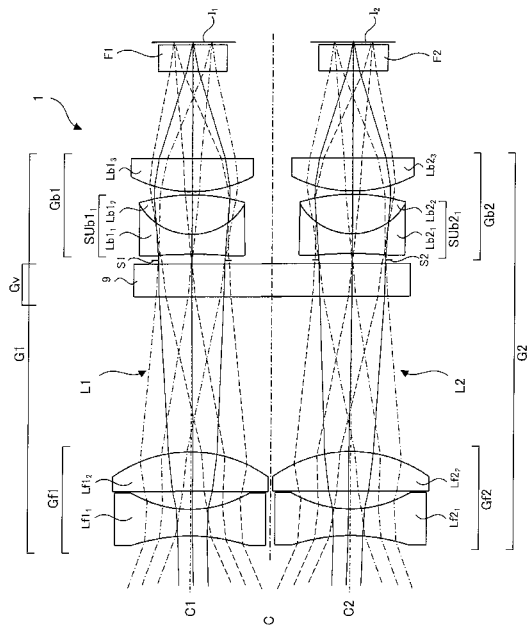
实施例8(近点)



【图 4 6】

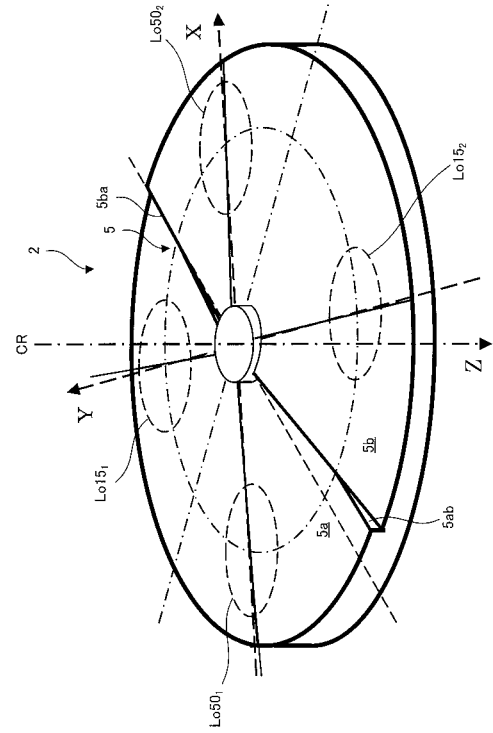


【 図 4 7 】



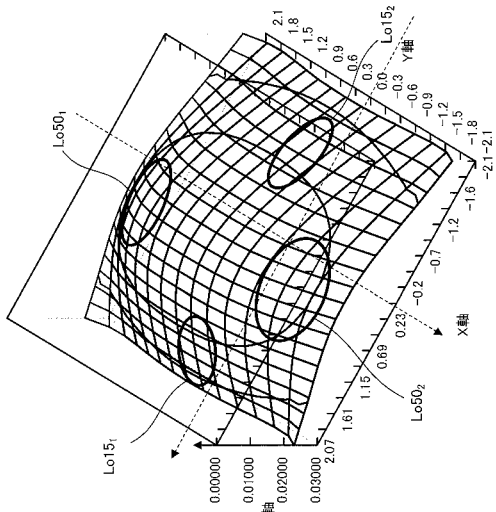
実施例9

【 図 4 8 】



実施例9

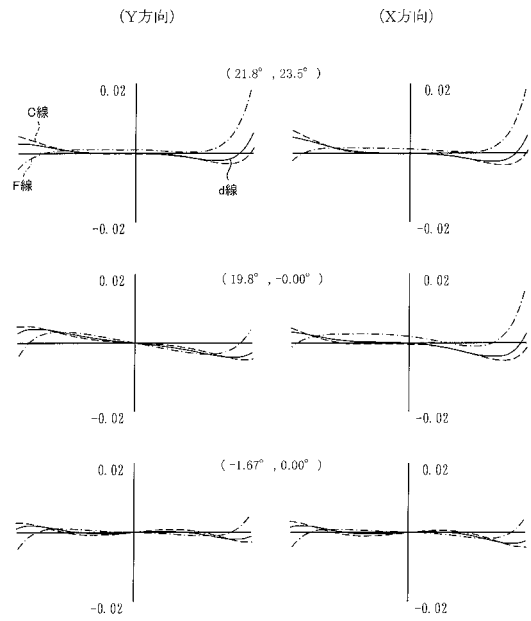
【 図 4 9 】



実施例9

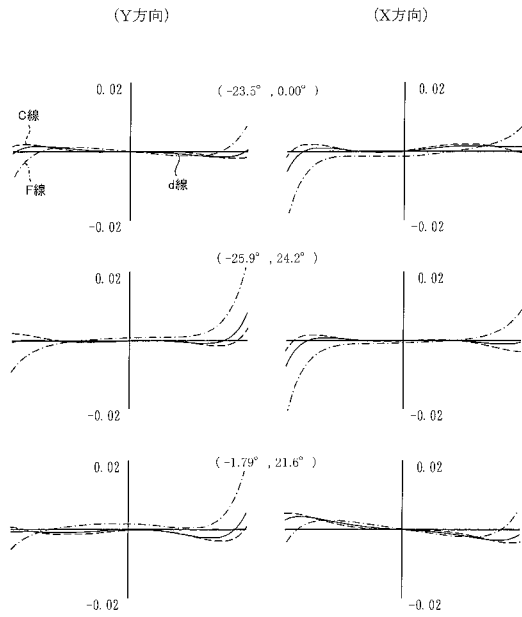
【 図 5 0 】

実施例9 (遠点)



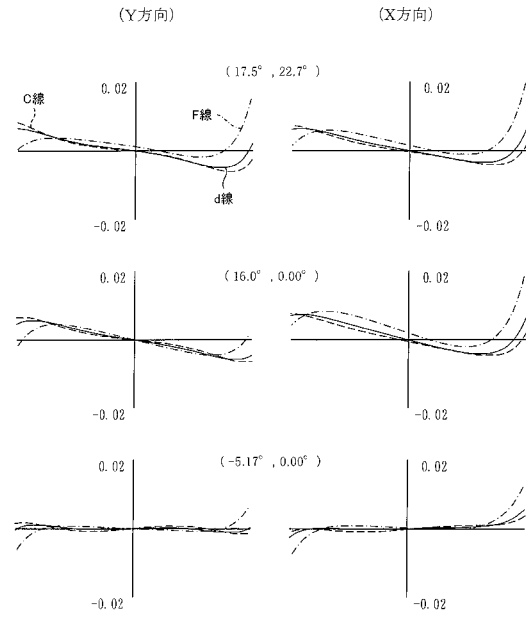
【图 5 1】

实施例9(远点)



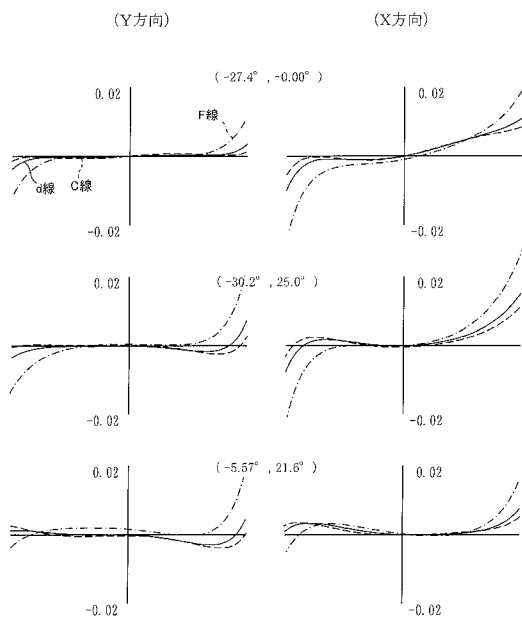
【图 5 2】

实施例9(近点)

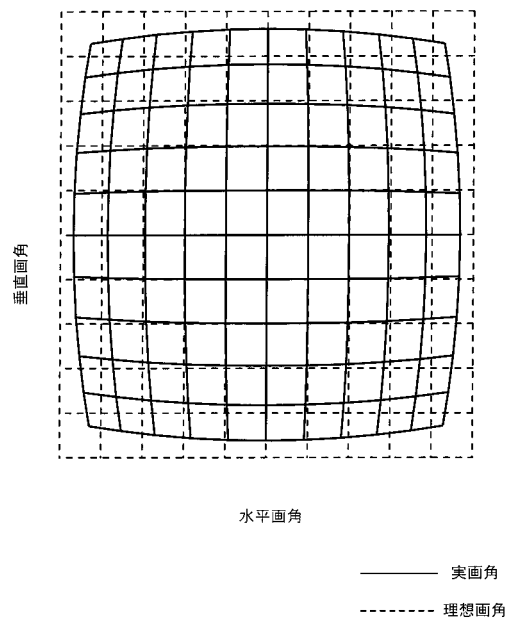


【图 5 3】

实施例9(近点)



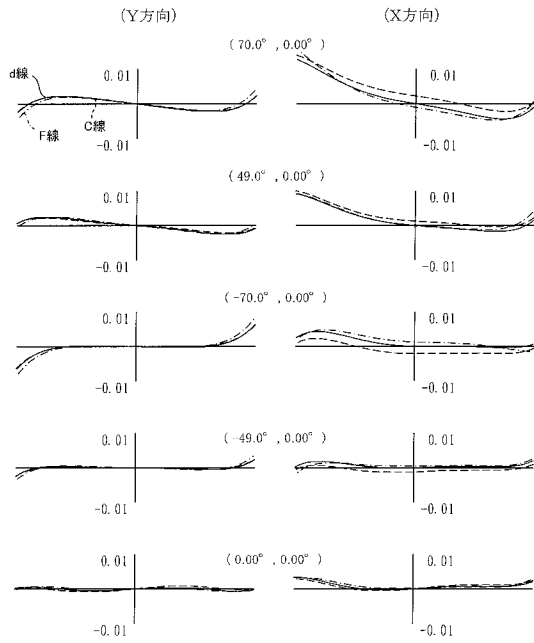
【图 5 4】



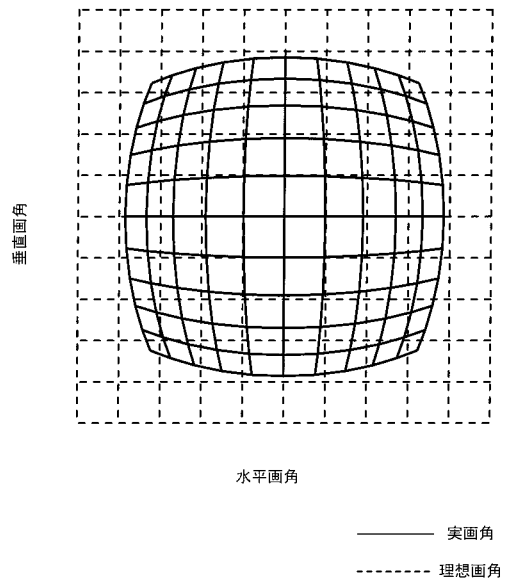


【图 5 9】

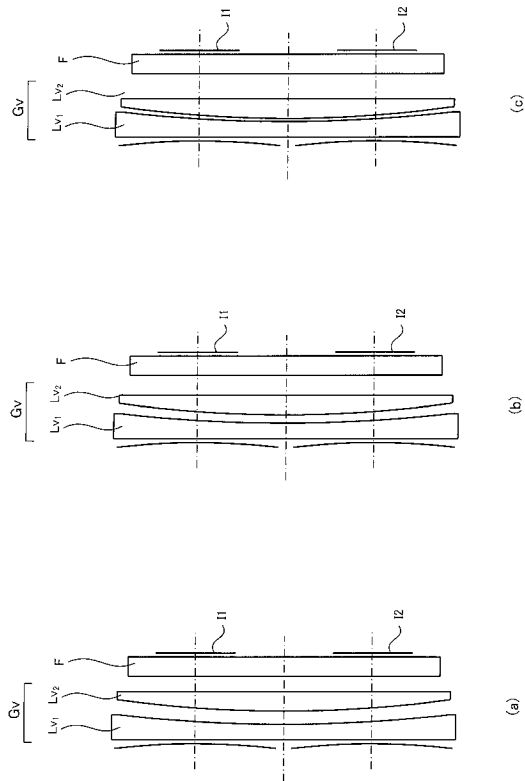
实施例10(近点)



【图 6 0】

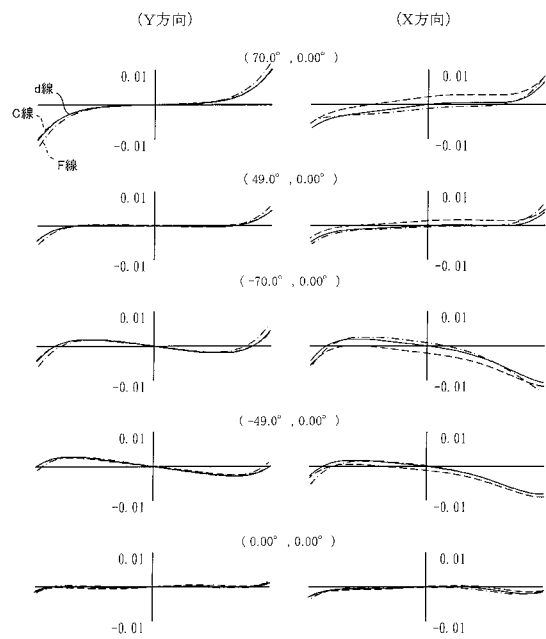


【图 6 1】



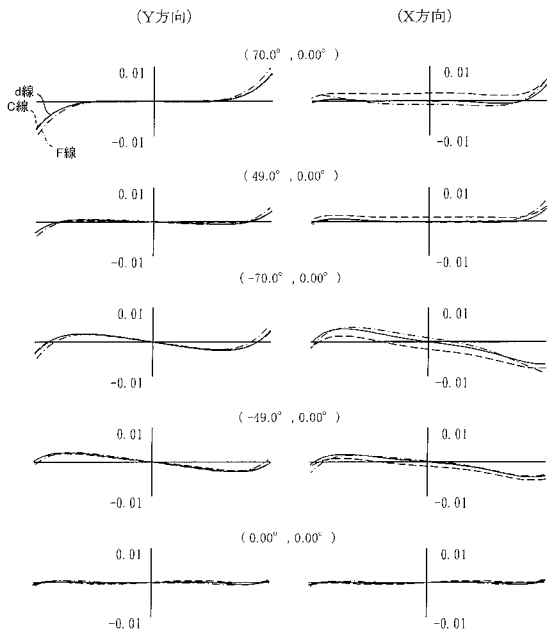
【图 6 2】

实施例11(远点)



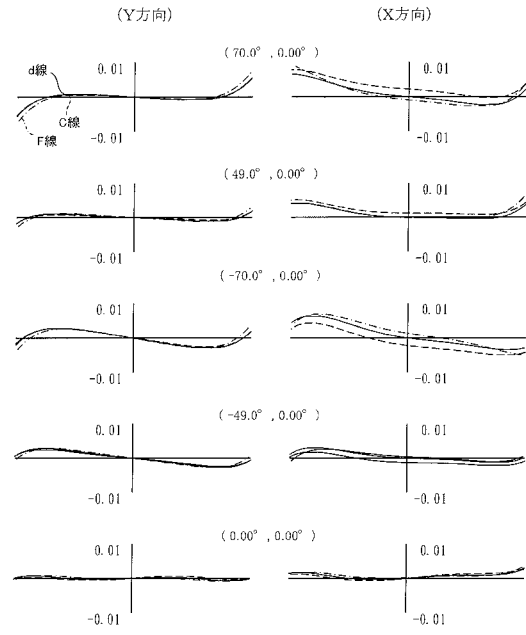
【图 6 3】

实施例11(中间)

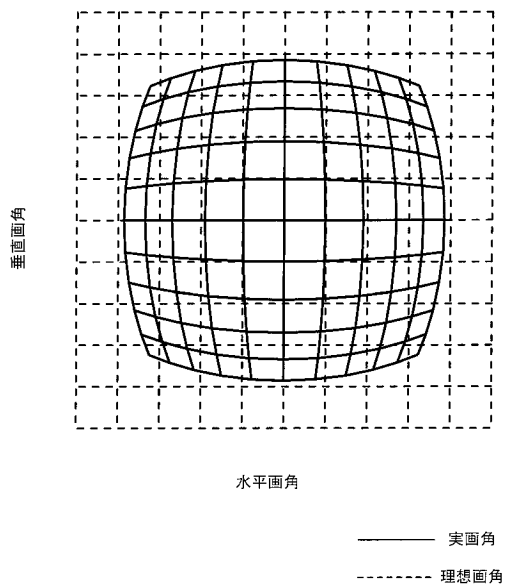


【图 6 4】

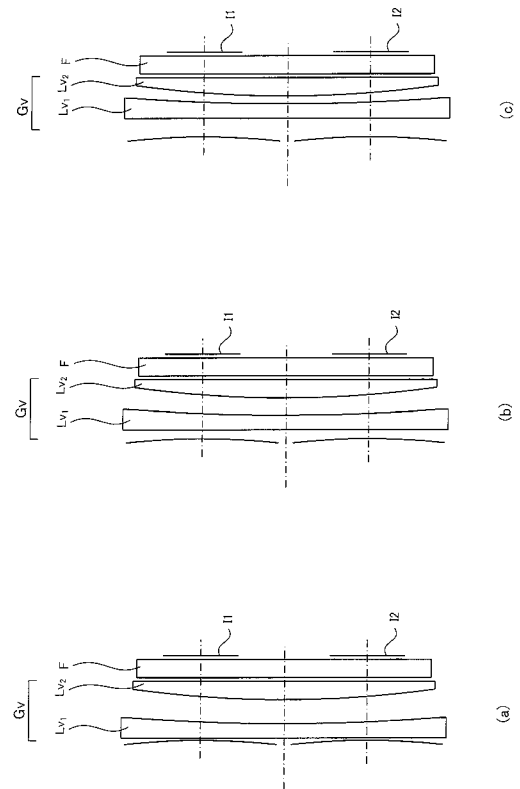
实施例11(近点)



【图 6 5】

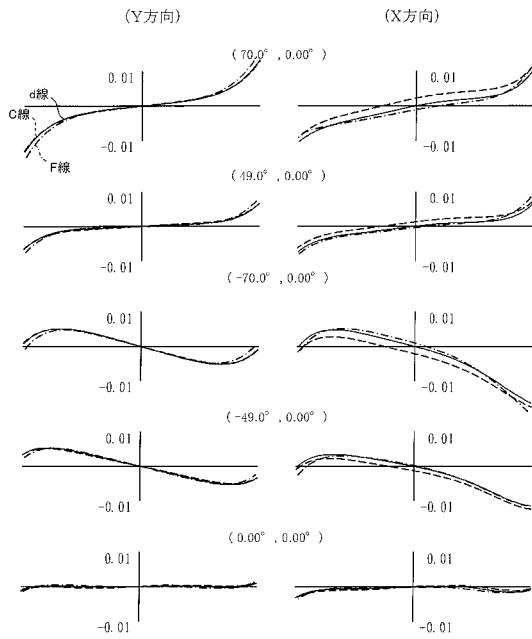


【图 6 6】



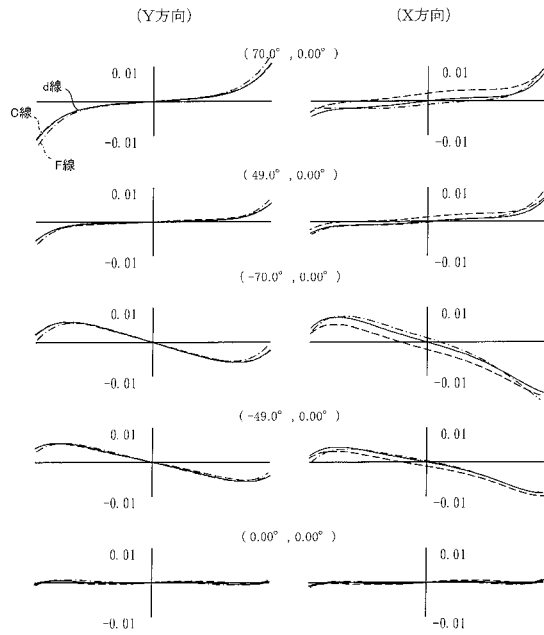
【图 6 7】

实施例12(遠点)



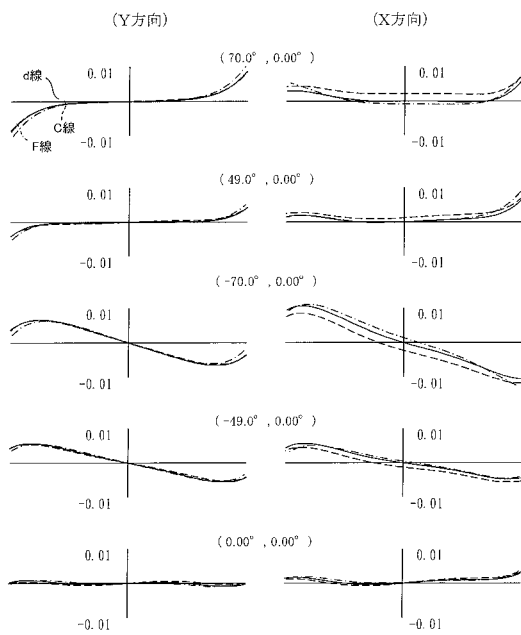
【图 6 8】

实施例12(中間)

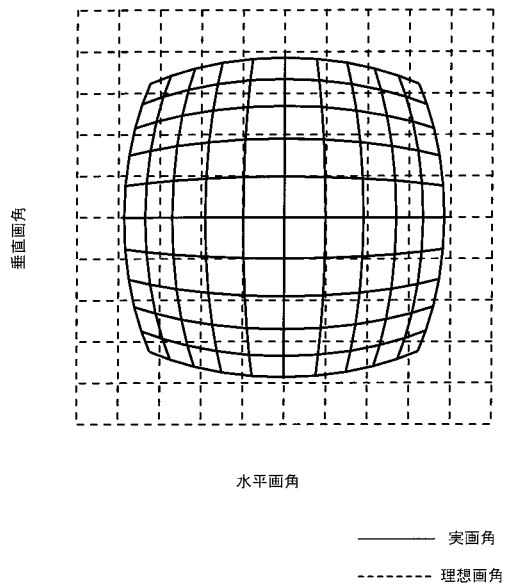


【图 6 9】

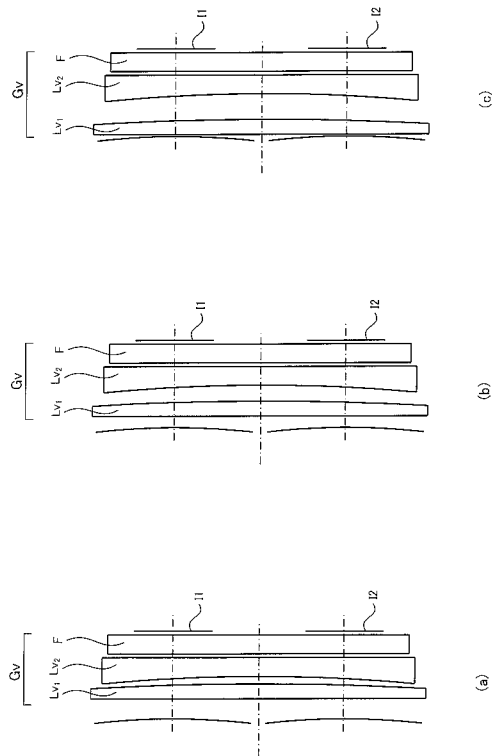
实施例12(近点)



【图 7 0】

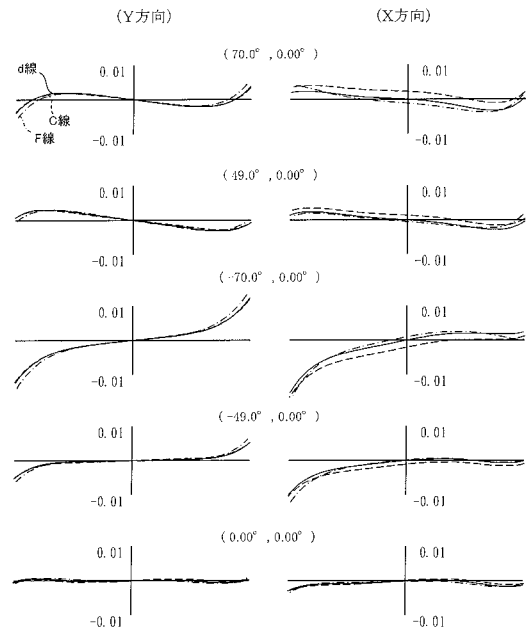


【 図 7 1 】



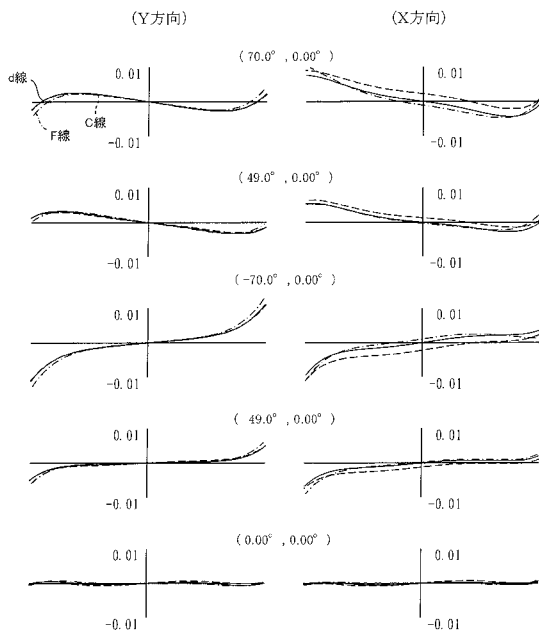
【 図 7 2 】

実施例13(遠点)



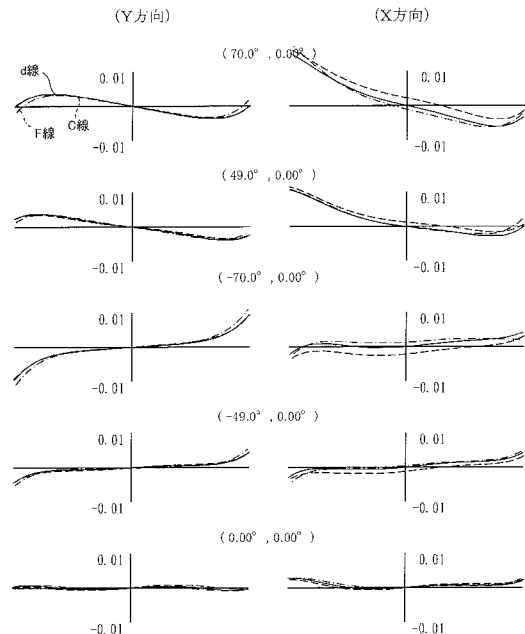
【 図 7 3 】

実施例13(中間)

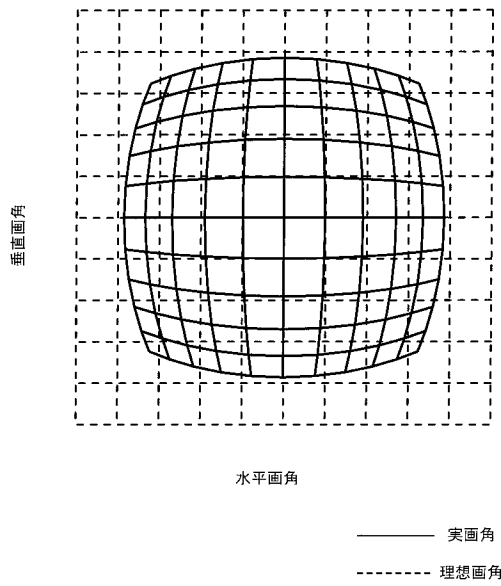


【 図 7 4 】

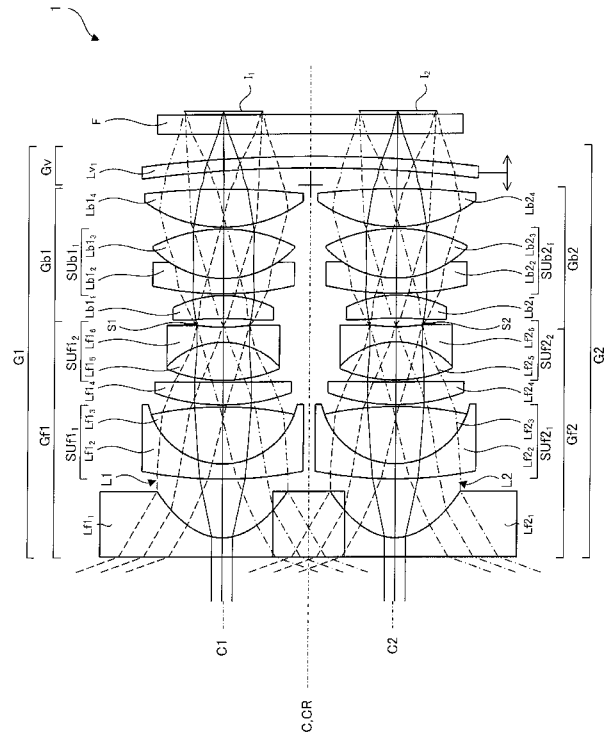
実施例13(近点)



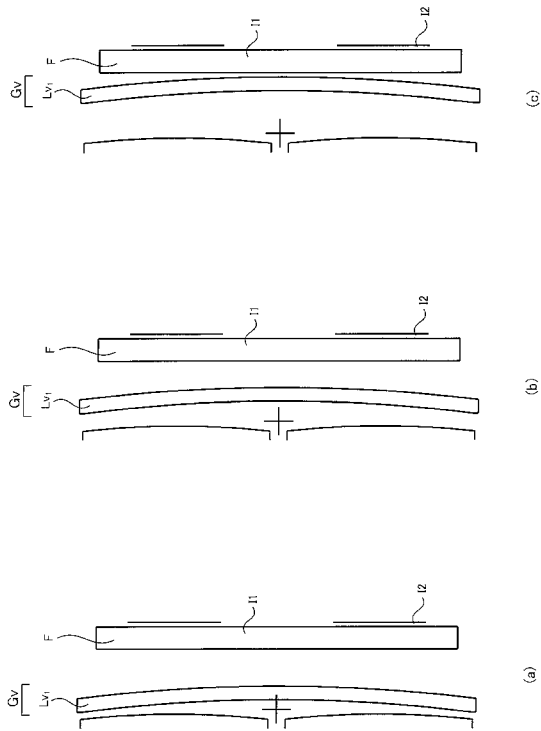
【图 7 5】



【图 7 6】

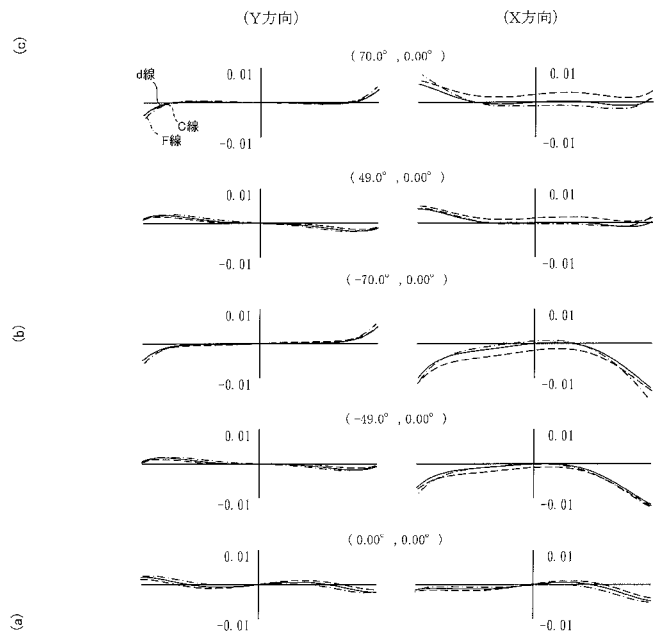


【图 7 7】



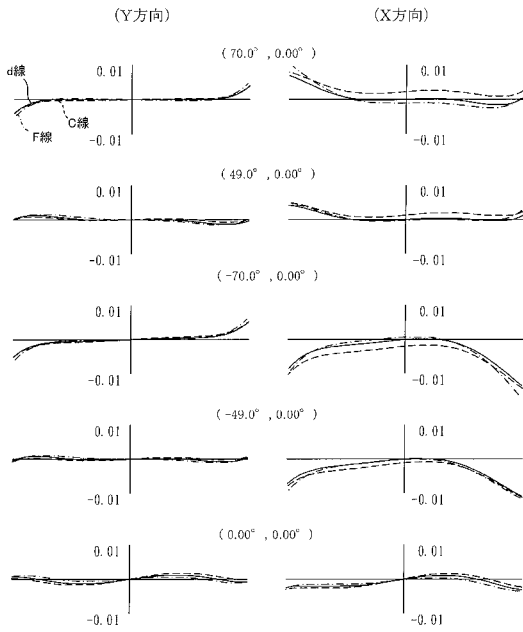
【图 7 8】

实施例14(遠点)



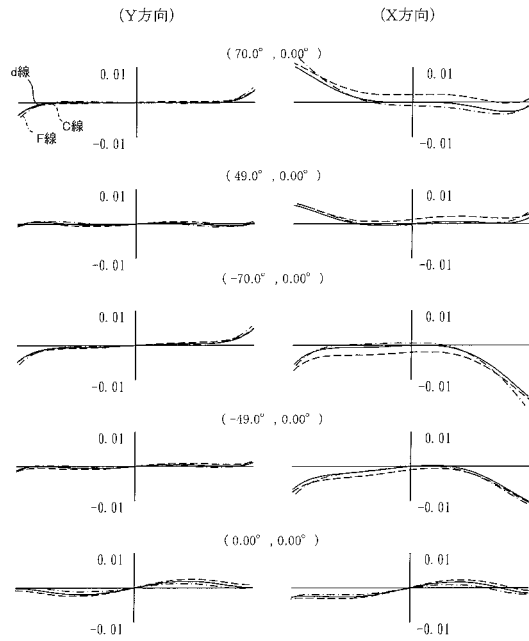
【图 79】

实施例14(中间)

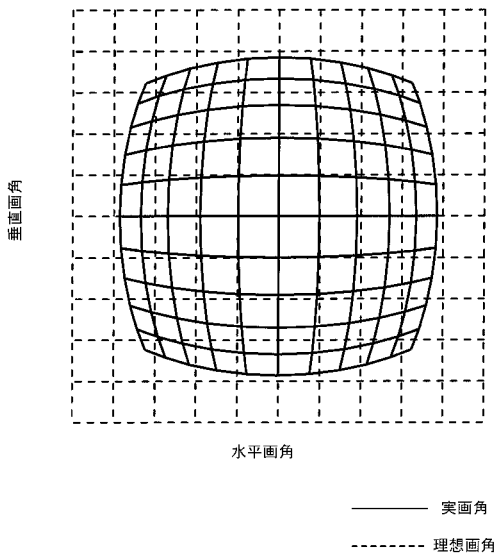


【图 80】

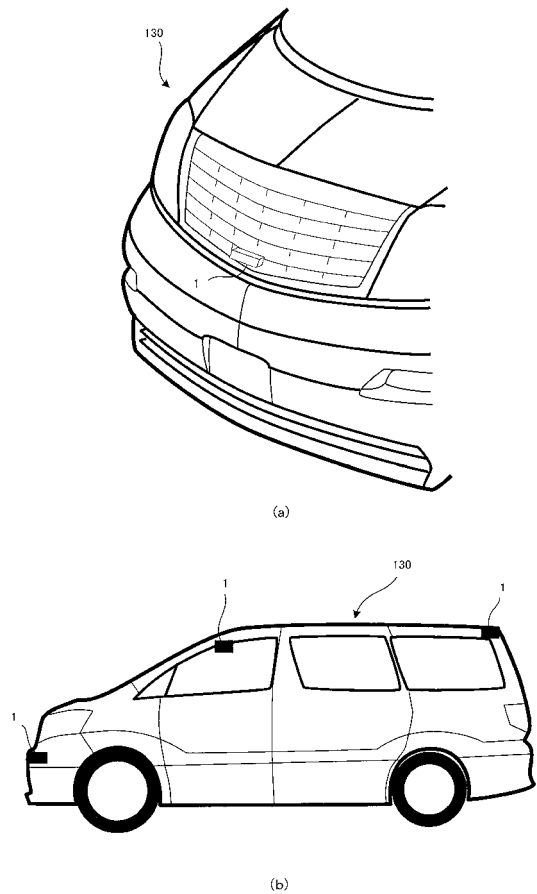
实施例14(近点)



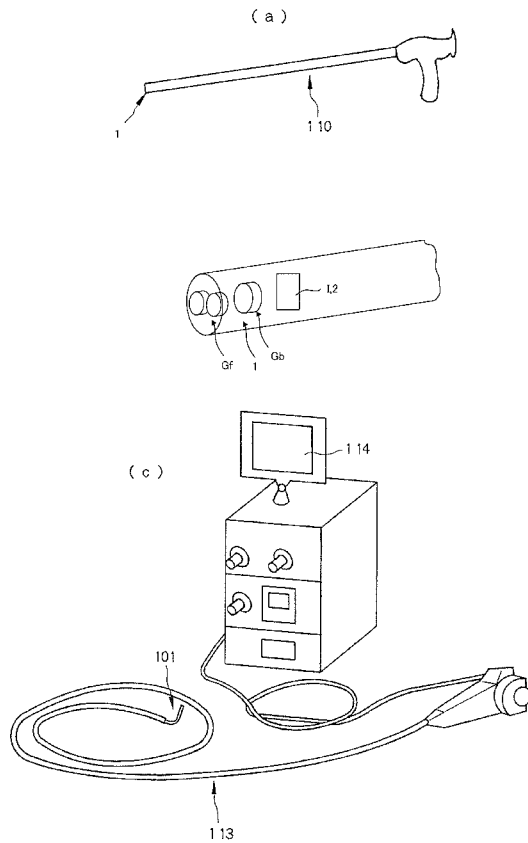
【图 81】



【图 82】



【図 8 3】



## 【手続補正書】

【提出日】平成28年7月5日(2016.7.5)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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、

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、

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、

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

ことを特徴とする立体撮像光学系。

【請求項 2】

前記可変光学系は、前記前群と前記後群の間に配置される  
請求項 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 3】

前記可変光学系は、前記後群よりも像面側に配置される  
請求項 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 4】

前記可変光学素子は、  
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 つを変化させる  
請求項 2 又は 3 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 5】

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 4 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 6】

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 4 又は 5 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、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  
請求項 6 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 8】

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 6 又は 7 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 9】

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 6 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 10】

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 9 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 11】

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 4 又は 5 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 12】

前記曲面は、自由曲面である

請求項 1 1 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 3】

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し、

前記可変光学系は、

前記第 1 中心軸と前記第 2 中心軸の中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

請求項 3 に記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 4】

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 1 3 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 5】

物体側観察画角が 60° 以上である

請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系。

【請求項 1 6】

前記可変光学系は、前記可変光学素子の全系の焦点距離を  $f_b$ 、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

請求項 1 3 に記載の立体撮像光学系。

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

【請求項 1 7】

前記可変光学系は、前記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) を満足する請求項 1 3 に記載の立体撮像光学系。

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

【請求項 1 8】

請求項 1 乃至 1 7 のいずれか 1 つに記載の立体撮像光学系と、

前記像面に配置され、複数の画素を有する撮像素子と、

を備える

ことを特徴とする立体撮像装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 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。

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2013/069307
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G03B35/08(2006.01)i, G02B7/04(2006.01)i, G02B7/16(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G03B3/00(2006.01)i, G03B3/04(2006.01)i, G03B13/32(2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G03B35/08, G02B7/04, G02B7/16, G02B13/00, G03B3/00, G03B3/04, G03B13/32  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2005-241791 A (Olympus Corp.), 08 September 2005 (08.09.2005), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0079] to [0082]; fig. 6 to 10)	1-4, 6, 9, 11, 16, 18-20, 23-24
Y		7, 21-22
A	& US 2005/0185050 A1	5, 8, 10, 12-15, 17
X	JP 2010-128354 A (Olympus Medical Systems Corp.), 10 June 2010 (10.06.2010), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0046] to [0062]; fig. 4 to 10)	1-3, 19-20, 23-24
Y		21-22
A	& US 2010/0208046 A1	4-18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 11 October, 2013 (11.10.13)		Date of mailing of the international search report 29 October, 2013 (29.10.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/069307

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-198414 A (Sharp Corp.), 18 October 2012 (18.10.2012), entire text; all drawings (particularly, Y A columns concerning '1st carrying-out mode'; paragraph [0080]) & WO 2012/127924 A1	1-6, 16-20, 23-24 7, 9, 11, 21-22 8, 10, 12-15
Y	JP 2013-17096 A (Canon Inc.), 24 January 2013 (24.01.2013), entire text; all drawings (particularly, fig. A 1) (Family: none)	1-4, 6-7, 9, 11, 16-24 5, 8, 10, 12-15
Y	JP 2003-5313 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 08 January 2003 (08.01.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-4, 6-7, 9, 11, 16-24
Y	WO 2012/017684 A1 (Panasonic Corp.), 09 February 2012 (09.02.2012), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0017]; fig. 3) & US 2013/0170029 A1 & CN 103026295 A	1-4, 6-7, 9, 11, 16-24
Y	JP 7-152096 A (Canon Inc.), A 16 June 1995 (16.06.1995), entire text; all drawings (particularly, fig. 6) (Family: none)	7, 9, 11 8, 10, 12-15
Y	JP 2000-19663 A (Canon Inc.), 21 January 2000 (21.01.2000), entire text; all drawings & US 6414791 B1 & EP 969308 A2	21-22
A	JP 2010-271429 A (Ricoh Co., Ltd.), 02 December 2010 (02.12.2010), entire text; all drawings (particularly, fig. 10) (Family: none)	9-13

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 3 / 0 6 9 3 0 7	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G03B35/08(2006.01)i, G02B7/04(2006.01)i, G02B7/16(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G03B3/00(2006.01)i, G03B3/04(2006.01)i, G03B13/32(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G03B35/08, G02B7/04, G02B7/16, G02B13/00, G03B3/00, G03B3/04, G03B13/32			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X	JP 2005-241791 A (オリンパス株式会社) 2005.09.08, 全文、全図 (特に、段落【0079】 - 【0082】、図6-10等) & US 2005/0185050 A1	1-4, 6, 9, 11, 16, 18 -20, 23- 24 7, 21-22 5, 8, 10, 12-15, 17	
Y			
A			
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献	
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 11.10.2013		国際調査報告の発送日 29.10.2013	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 小倉 宏之	2V 4464
		電話番号 03-3581-1101 内線 3271	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 3 / 0 6 9 3 0 7
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2010-128354 A (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 2010.06.10, 全文、全図 (特に、段落【0046】 - 【0062】、図4 - 10等) & US 2010/0208046 A1	1-3, 19- 20, 23-24 21-22 4-18
X Y A	JP 2012-198414 A (シャープ株式会社) 2012.10.18, 全文、全図 (特に、「第1実施形態」に関する欄、段落【0080】等) & WO 2012/127924 A1	1-6, 16- 20, 23-24 7, 9, 11, 21-22 8, 10, 12- 15
Y A	JP 2013-17096 A (キヤノン株式会社) 2013.01.24, 全文、全図 (特に、図1等) (ファミリーなし)	1-4, 6-7, 9, 11, 16- 24 5, 8, 10, 12-15
Y	JP 2003-5313 A (オリンパス光学工業株式会社) 2003.01.08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-4, 6-7, 9, 11, 16- 24
Y	WO 2012/017684 A1 (パナソニック株式会社) 2012.02.09, 全文、全図 (特に、段落【0017】、図3等) & US 2013/0170029 A1 & CN 103026295 A	1-4, 6-7, 9, 11, 16- 24
Y A	JP 7-152096 A (キヤノン株式会社) 1995.06.16, 全文、全図 (特に、図6等) (ファミリーなし)	7, 9, 11 8, 10, 12- 15
Y	JP 2000-19663 A (キヤノン株式会社) 2000.01.21, 全文、全図 & US 6414791 B1 & EP 969308 A2	21-22
A	JP 2010-271429 A (株式会社リコー) 2010.12.02, 全文、全図 (特に、図10等) (ファミリーなし)	9-13

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

Fターム(参考) 2H087 KA10 LA01 MA02 MA07 MA08 NA00 NA01 PA04 PA05 PA06  
 PA07 PA09 PA18 PA19 PA20 PB05 PB07 PB08 PB09 QA01  
 QA03 QA05 QA06 QA07 QA18 QA19 QA21 QA22 QA25 QA26  
 QA32 QA34 QA37 QA38 QA41 QA42 QA45 QA46 RA05 RA06  
 RA12 RA13 RA32 RA42 RA43 RA44  
 4C161 BB06 FF40

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。

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	<a href="#">JPWO2014147856A1</a>	公开(公告)日	2017-02-16
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		
[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 A61B1/00.300.Y		
F-TERM分类号	2H040/BA15 2H040/CA22 2H040/DA03 2H040/GA02 2H040/GA11 2H059/AA08 2H059/AA12 2H059/AA13 2H087/KA10 2H087/LA01 2H087/MA02 2H087/MA07 2H087/MA08 2H087/NA00 2H087/NA01 2H087/PA04 2H087/PA05 2H087/PA06 2H087/PA07 2H087/PA09 2H087/PA18 2H087/PA19 2H087/PA20 2H087/PB05 2H087/PB07 2H087/PB08 2H087/PB09 2H087/QA01 2H087/QA03 2H087/QA05 2H087/QA06 2H087/QA07 2H087/QA18 2H087/QA19 2H087/QA21 2H087/QA22 2H087/QA25 2H087/QA26 2H087/QA32 2H087/QA34 2H087/QA37 2H087/QA38 2H087/QA41 2H087/QA42 2H087/QA45 2H087/QA46 2H087/RA05 2H087/RA06 2H087/RA12 2H087/RA13 2H087/RA32 2H087/RA42 2H087/RA43 2H087/RA44 4C161/BB06 4C161/FF40		
优先权	2013059953 2013-03-22 JP		
其他公开文献	JP6261566B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

立体成像光学系统1从物侧到像面侧依次至少具有负透镜和光圈S，并且具有相对于第一中心轴C1旋转对称的第一光学系统G1和第一光学系统G1。第二光学系统G2相对于平行于中心轴C1的第二中心轴C2旋转对称，并以与第一光学系统G1，第一光学系统G1和第二光学系统相同的配置平行布置。可变光学系统Gv布置成与系统G2的每个光路相交，并且可变光学系统Gv具有改变焦点和会聚中的至少一个的至少一个可变光学系统Gv。。[选型图]图1

