

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-228619

(P2014-228619A)

(43) 公開日 平成26年12月8日(2014.12.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 13/04 (2006.01)	GO2B 13/04 D	2H040
GO2B 23/24 (2006.01)	GO2B 23/24 B	2H044
GO2B 13/18 (2006.01)	GO2B 13/18	2H087
GO2B 7/04 (2006.01)	GO2B 7/04 Z	4C161
GO2B 7/16 (2006.01)	GO2B 7/16	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-106943 (P2013-106943)
 (22) 出願日 平成25年5月21日 (2013.5.21)

(71) 出願人 304050923
 オリンパスメディカルシステムズ株式会社
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
 (74) 代理人 100139103
 弁理士 小山 卓志
 (74) 代理人 100097777
 弁理士 荏澤 弘
 (74) 代理人 100157118
 弁理士 南 義明
 (74) 代理人 100139114
 弁理士 田中 貞嗣
 (72) 発明者 研野 孝吉
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス株式会社内
 Fターム(参考) 2H040 BA06 CA23 DA03 GA02 GA11
 最終頁に続く

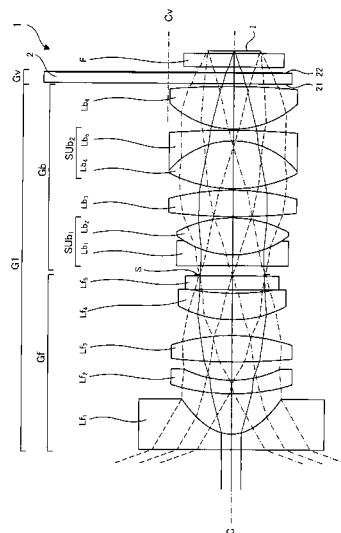
(54) 【発明の名称】 結像光学系、撮像装置、及び内視鏡

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構造でフォーカス調整が可能な結像光学系、撮像装置、及び内視鏡を提供する

【解決手段】 結像光学系 1 は、物体の像を撮像する撮像光学系 G 1 と、撮像光学系 G 1 の光路と交差するように配置され、撮像光学系 G 1 の中心軸 C と平行な回転軸 C v を中心に回転し、撮像光学系 G 1 のフォーカスを変化させる可変光学系 G v と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体の像を撮像する撮像光学系と、
前記撮像光学系の光路と交差するように配置され、前記撮像光学系の中心軸と平行な回転軸を中心に回転し、前記撮像光学系のフォーカスを変化させる可変光学系と、
を備える
ことを特徴とする結像光学系。

【請求項 2】

前記可変光学系は、前記回転軸を中心とした円弧状に配置される少なくとも 1 つの可変光学素子を有する
請求項 1 に記載の結像光学系。

10

【請求項 3】

前記可変光学素子は、連続的に前記撮像光学系のフォーカスを変化させる
請求項 2 に記載の結像光学系。

【請求項 4】

前記可変光学素子は、入射面と射出面が連続的な平面で構成される
請求項 3 に記載の結像光学系。

【請求項 5】

前記可変光学素子は、前記入射面と前記射出面が前記回転軸に対して異なる角度を有する
請求項 4 に記載の結像光学系。

20

【請求項 6】

前記可変光学素子は、入射面と射出面のうち少なくとも 1 つが連続的な曲面で構成される
請求項 3 に記載の結像光学系。

【請求項 7】

前記曲面は、螺旋面で構成される
請求項 6 に記載の結像光学系。

【請求項 8】

前記螺旋面は、常螺旋面で構成される
請求項 7 に記載の結像光学系。

30

【請求項 9】

前記曲面は、部分的曲率が異なる
請求項 6 に記載の結像光学系。

【請求項 10】

前記曲面は、自由曲面で構成される
請求項 9 に記載の結像光学系。

【請求項 11】

前記可変光学素子は、不連続的に前記撮像光学系のフォーカスを変化させる
請求項 2 に記載の結像光学系。

40

【請求項 12】

前記可変光学素子は、厚さの異なる複数の平行平板で構成される
請求項 11 に記載の結像光学系。

【請求項 13】

前記可変光学素子は、入射面又は射出面の形状が部分的に異なる
請求項 11 又は 12 に記載の結像光学系。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 つに記載の結像光学系と、
像面に配置され、複数の画素を有する撮像素子と、
を備え、

50

前記可変光学系は、前記撮像光学系と前記撮像素子の間に配置することを特徴とする撮像装置。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の撮像装置を備えることを特徴とする内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォーカスを調整する結像光学系、撮像装置、及び内視鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、フォーカスの調整は、一般に光学系のレンズの一部又は全部を光軸方向に移動することによって、行われていた。そのため、シフト及びチルトが生じることのない高精度の移動機構が必要となり、構造が複雑で、大型化してしまう傾向にあった。例えば、特許文献 1 には、内視鏡対物レンズを光軸に沿って移動させることによって、通常観察状態と近接観察状態との 2 状態において観察可能とする技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 4 - 218012 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、簡単な構造でフォーカス調整が可能な結像光学系、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】

【0005】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系は、物体の像を撮像する撮像光学系と、前記撮像光学系の光路と交差するように配置され、前記撮像光学系の中心軸と平行な回転軸を中心に回転し、前記撮像光学系のフォーカスを变化させる可変光学系と、を備えることを特徴とする。

【0006】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学系は、前記回転軸を中心とした円弧状に配置される少なくとも 1 つの可変光学素子を有する。

【0007】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、連続的に前記撮像光学系のフォーカスを变化させる。

【0008】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、入射面と射出面が連続的な平面で構成される。

【0009】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、前記入射面と前記射出面が前記回転軸に対して異なる角度を有する。

【0010】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、入射面と射出面のうち少なくとも 1 つが連続的な曲面で構成される。

【0011】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記曲面は、螺旋面で構成される。

【0012】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記螺旋面は、常螺旋面で構成され

10

20

30

40

50

る。

【0013】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記曲面は、部分的曲率が異なる。

【0014】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記曲面は、自由曲面で構成される。

【0015】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、不連続的に前記撮像光学系のフォーカスを変化させる。

【0016】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、厚さの異なる複数の平行平板で構成される。

【0017】

本発明にかかる一実施形態である結像光学系では、前記可変光学素子は、入射面又は射出面の形状が部分的に異なる。

【0018】

本発明にかかる一実施形態である撮像装置は、前記結像光学系と、像面に配置され、複数の画素を有する撮像素子と、を備え、前記可変光学系は、前記撮像光学系と前記撮像素子の間に配置することを特徴とする。

【0019】

本発明にかかる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】

【0020】

本発明にかかる一実施形態によれば、簡単な構造でフォーカス調整が可能な結像光学系、撮像装置、及び内視鏡を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

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

【図2】図1の結像光学系1の可変光学系Gv付近を拡大した図である。

【図3】実施例1の可変光学系2を示す概略図である。

【図4】実施例2の可変光学系2を示す概略図である。

【図5】実施例3の可変光学系2を示す概略図である。

【図6】実施例3の自由曲面を示す図である。

【図7】実施例4の可変光学系2を示す概略図である。

【図8】実施例5の可変光学系2を示す概略図である。

【図9】実施例6の可変光学系2を示す概略図である。

【図10】実施例7の可変光学系2を示す概略図である。

【図11】他の例の可変光学系2を示す概略図である。

【図12】実施例1の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図13】実施例1の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図14】実施例1の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図15】他の例の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図16】他の例の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図17】他の例の結像光学系1の各物点での横収差図である。

【図18】本実施形態の結像光学系1を内視鏡110の先端に用いた例を示す図である。

【図19】内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の一実施例を示す図である。

【図20】内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の他の実施例を示す図である。

【図21】内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の他の実施例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】軟性電子内視鏡 1 1 3 の先端に本実施形態にかかる結像光学系 1 を用いた例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本実施形態の結像光学系 1 について説明する。

【0023】

図 1 は、本発明に係る一実施形態の結像光学系 1 の光学系中心軸 C に沿ってとった断面図である。図 2 は、図 1 の結像光学系 1 の可変光学系 G v 付近を拡大した図である。

【0024】

本実施形態の結像光学系 1 は、光軸方向にレンズ又は撮像素子を移動する従来の方法ではなく、少なくとも可変光学系 G v の可変光学素子 2 を回転軸 C v を中心に回転させることでフォーカスを変化させるものである。

10

【0025】

近年、撮像素子の画素数を増やして映像の解像力を向上させる努力が取り組まれている。しかしながら、光学系には回折によって決まってしまう解像限界が存在する。したがって、この解像限界を超えて画素数を増やしていても、撮像された映像は回折限界で決まってしまう解像力以上の解像度は得られない。

【0026】

そこで、画素数の増加に合わせて解像限界を上げるために、Fno を明るくする必要がある。ただし、Fno を明るくすると被写界深度が浅くなり、解像力の高いピントが合った映像を撮像するためにはフォーカス調整が必須となる。しかしながら、小型の撮像系では撮像素子も小型になるために光学系の焦点距離が短くなり、光軸方向にレンズを移動する従来の方法では移動量が微小になりすぎ制御が難しかった。また、偏心を起こさずに精度良く直線移動する機構を小型化することは難しかった。

20

【0027】

本実施形態の結像光学系 1 は、物体の像を撮像する撮像光学系 G 1 と、撮像光学系 G 1 の光路と交差するように配置され、撮像光学系 G 1 の中心軸 C と平行な回転軸 C v を中心に回転し、撮像光学系 G 1 のフォーカスを変化させる可変光学系 G v と、を備えることが好ましい。

【0028】

このような構成によって、可変光学素子 2 のパワーは、零、もしくは非常に少ないために、可変光学素子 2 に要求される偏心精度が極めてラフなので、簡単な機構で回転させても偏心による像の劣化がなく、小型の光学系を実現することが可能となる。

30

【0029】

図 3 は、実施例 1 の可変光学系 2 を示す概略図である。

【0030】

本実施形態の結像光学系 1 では、図 3 に示すように、可変光学系 G v は、回転軸 C v を中心とした円弧状に配置される少なくとも 1 つの可変光学素子 2 を有することが好ましい。

【0031】

可変光学素子 2 は、入射面と射出面から構成された透過光学素子で構成される。回転軸 C v と直交する面内に、可変光学素子 2 が一つの場合は、回転軸 C v 周辺に円弧状に配され、可変光学系 G v の回転により可変光学素子 2 の任意の部分を撮像光学系 G 1 の光路が透過する。可変光学素子 2 が複数の場合は、撮像光学系の光路が複数の可変光学素子 2 を選択的に透過することによりフォーカスを変化させるものである。

40

【0032】

本実施形態の結像光学系 1 では、可変光学素子 2 は、連続的に撮像光学系 G 1 のフォーカスを変化させることが好ましい。

【0033】

可変光学素子 2 は、入射面 2 1 又は射出面 2 2 の少なくとも一方の光学透過面を連続す

50

る面として構成し、その面の異なる部位を選択的に切り替えることにより常にピントの合った高解像力の映像を撮像することが可能となる。

【0034】

本実施形態の結像光学系1では、図3に示すように、可変光学素子2は、入射面21と射出面22が連続的な平面で構成されることが好ましい。

【0035】

撮像光学系G1の光路は、可変光学素子2の連続的な平面の一部を通過する。このとき、可変光学素子2を回転させることにより、撮像光学系G1の光路の通過領域を可変光学素子2の回転により連続的に変えることが可能となる。この可変光学素子2の連続的な平面に任意の特性を持たせることにより、異なる物点位置に対応した撮像状態にすることが可能となる。

10

【0036】

本実施形態の結像光学系1では、図3に示すように、可変光学素子2は、入射面21と射出面22が回転軸Cvに対して異なる角度を有することが好ましい。

【0037】

入射面21と射出面22が回転軸Cvに対して異なる角度を有する、いわゆる楔状を形成した可変光学素子2を回転することにより、直線的に可変光学素子2を通過する光路の光路長を変化させることが可能となる。この光路長の変化により、フォーカス調整を行うことが可能となる。

【0038】

図4は、実施例2の可変光学系2を示す概略図である。

20

【0039】

本実施形態の結像光学系1では、図4に示すように、可変光学素子2は、入射面21と射出面22のうち少なくとも1つが連続的な曲面で構成されることが好ましい。

【0040】

撮像光学系Gvの光路は、可変光学素子2の連続的な曲面の一部を通過する。可変光学素子2の連続的な曲面を任意形状にすることにより可変光学素子2の光路長、パワー又はその両方を連続的に変えることが可能となる。また、可変光学素子2を回転させることにより異なる物点位置に対応した撮像状態にすることが可能となる。

【0041】

本実施形態の結像光学系1では、図4に示すように、曲面は、螺旋面で構成されることが好ましい。

30

【0042】

可変光学素子2の入射面か射出面のうちどちらか一方を螺旋面とすることにより、可変光学素子2の回転と共に可変光学素子2を通過する撮像光学系Gvの光路の光路長を変化させることが可能となる。さらに好ましくは、他方を平面として可変光学素子2を構成することが容易に制作できるので好ましい。

【0043】

本実施形態の結像光学系1では、図4に示すように、螺旋面は、常螺旋面で構成されることが好ましい。

40

【0044】

可変光学素子2を螺旋面を常螺旋面で構成することにより、撮像光学系Gvの軸上主光線と螺旋面のなす角度は可変光学素子2を回転軸Cv周りで回転しても変化しないので像が移動することは無く連続的にフォーカスを調整することが可能となる。

【0045】

図5は、実施例3の可変光学系2を示す概略図である。図6は、実施例3の自由曲面を示す図である。

【0046】

本実施形態の結像光学系1では、図5及び図6に示すように、曲面は、部分的曲率が異なることが好ましい。

50

【0047】

可変光学素子2は、少なくとも入射面又は射出面のどちらか一方をなめらかに曲率が変化する曲面で構成し、他方を平面で構成することが制作上好ましい。この可変光学素子2を回転軸C_v周りに回転し、曲率の異なる部分を連続的に透過させることによりフォーカスを調整することが可能となる。

【0048】

本実施形態の結像光学系1では、図5及び図6に示すように、曲面は、自由曲面で構成されることが好ましい。

【0049】

可変光学素子2を自由曲面で構成することにより、設計の自由度を増加させることが可能となる。自由曲面は、偶数次項、奇数次項全て使用しても良い。

10

【0050】

本実施形態の結像光学系1では、可変光学素子2は、不連続的に撮像光学系G_vのフォーカスを変化させることが好ましい。

【0051】

撮像光学系G₁の中心軸Cと平行に配置した回転軸C_v周りに少なくとも複数の光路を選択できる不連続な複数の入射面2₁と射出面2₂を有する可変光学素子2を配置し、可変光学素子2を回転軸C_v周りに回転することによって、選択的にフォーカス調整を行うことが可能となる。

【0052】

図7は、実施例4の可変光学系2を示す概略図である。図8は、実施例5の可変光学系2を示す概略図である。

20

【0053】

本実施形態の結像光学系1では、図7及び図8に示すように、可変光学素子2は、厚さの異なる複数の平行平板で構成されることが好ましい。

【0054】

平行平面の光路長を変更することによりフォーカス調整を行う場合は、可変光学素子2の厚みが異なる部分を使うことになり、偏心しても像の劣化が低減するので、偏心精度を要求する必要が少なくなり、回転する場合の回転機構を簡略化することが可能となる。

【0055】

図9は、実施例6の可変光学系2を示す概略図である。

30

【0056】

本実施形態の結像光学系1では、図9に示すように、可変光学素子2は、入射面2₁又は射出面2₂の形状が部分的に異なることが好ましい。

【0057】

特に、わずかに曲率が異なる少なくとも2つの部分を選択的に切り替えることによりフォーカス調整することが好ましい。この場合、可変光学素子2はパワーを有するが、非常に小さいので、偏心に対する許容度は大きく、簡単な構造で小型撮像装置を実現することが可能となる。さらに好ましくは、可変光学素子2の厚さと形状の両方を調整ことによって、物点距離の変化に対する球面収差の変化をコントロールすることも可能となる。

40

【0058】

図10は、実施例7の可変光学系2を示す概略図である。

【0059】

本実施形態の結像光学系1では、図10に示すように、可変光学素子2は、各実施形態を組み合わせ形成してもよい。例えば、図10に示した実施例7の可変光学素子2は、不連続な常螺旋面を有している。

【0060】

図11は、他の例の可変光学系2を示す概略図である。

【0061】

可変光学素子2は、図11に示すように、2光軸の不連続な楔状の面を有してもよい。

50

さらに、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。他の例の結像光学系 1 は、2つの撮像光学系 G_v を可変光学系 G_v の中心軸 C_v に対して対称に配置することで 2 光軸の立体撮像光学系を構成する。

【0062】

また、可変光学素子 2 は、撮像光学系 G_1 と撮像素子 3 の間に配置することが好ましい。

【0063】

撮像光学系 G_1 と撮像素子 3 の間に配置することによって透過光路の光路長の変化を少なくすることが可能となる。これは撮像光学系 G_1 を射出した部分の軸上マージナル光線の傾きが比較的大きく、少ない光路長の変化で大きく異なる物点位置の変化に対応できるからである。例えば、撮像光学系 G_1 の絞り S の前後に配置する場合は、撮像光学系 G_1 の枠構造を前後で分割する必要があり、組立調整が難しくなってしまう。

10

【0064】

さらに好ましくは、合焦検出手段や測距手段を用いて自動でフォーカス調整を行うことが好ましい。

【0065】

さらに好ましくは、可変光学素子 2 を回転して交互に遠点と近点の撮像を行い、画像処理によりフォーカスの合っている部分を選択的に抽出する処理を行う被写界深度拡大も可能である。例えば、可変光学素子 2 を毎秒 60 回転して交互に遠点と近点の撮像を行うことが好ましい。

20

【0066】

以下に、本実施形態にかかる結像光学系 1 の各実施例を説明する。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、結像光学系 1 の中心軸 C の像面に向かう方向を Z 軸正方向とする。

【0067】

図 12 ~ 図 14 は、実施例 1 の結像光学系 1 の各物点での横収差図である。図 15 ~ 図 17 は、実施例 3 の結像光学系 1 の各物点での横収差図である。なお、実施例 4 及び 5 の収差図は実施例 1 と同様である。

【0068】

横収差図において、中央に示された角度は、(垂直方向の画角)を示し、その画角における Y 方向(メリジオナル方向)と X 方向(サジタル方向)の横収差を示す。なお、マイナスの画角は、 X 軸正方向を向いて右回りの角度を意味する。

30

【0069】

本実施形態にかかる結像光学系 1 の実施例 1 ~ 7 では、同一の撮像光学系 G_1 を用いる。結像光学系 1 は、図 1 に示すように、物体側から像面側へ順に、中心軸 C を光軸とする撮像光学系 G_1 と、中心軸 C と平行に配置された回転軸 C_v を中心とする可変光学系 G_v と、を備える。

【0070】

撮像光学系 G_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} と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{f_2} と、両凸正レンズ L_{f_3} と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L_{f_4} と、平行平板 L_{f_5} と、を有する前群 G_f と、絞り S と、両凹負レンズ L_{b_1} と両凸正レンズ L_{b_2} の後群第 1 接合レンズ $S U b_1$ と、両凸正レンズ L_{b_3} と、両凸正レンズ L_{b_4} と像側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L_{f_5} の後群第 2 接合レンズ $S U b_2$ と、両凸正レンズ L_{b_6} と、を有する後群 G_b と、を有する。

40

【0071】

また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

【0072】

図示しない物体面から前群 G_f に入射した光束 L は、図 1 に示すように、平凹負レンズ L_{f_1} 、負メニスカスレンズ L_{f_2} 、両凸正レンズ L_{f_3} 、正メニスカスレンズ L_{f_4} 、及び

50

平行平板 $L f_5$ 、を通過して前群 $G f$ を射出する。その後、絞り S を通過して、後群 $G b$ に入射した光束 L は、後群第 1 接合レンズ $S U b_1$ 、両凸正レンズ $L b_3$ 、後群第 2 接合レンズ $S U b_2$ 、及び両凸正レンズ $L b_6$ を通過する。以下、実施例 2 ~ 7 の撮像光学系 $G 1$ において、光束 L は実施例 1 と同様に撮像光学系 $G 1$ を通過するので、説明を省略する。

【0073】

実施例 1 の可変光学系 $G v$ は、図 3 に示した可変光学素子 2 であって、回転軸 $C v$ に直交する入射面 2 1 と回転軸 $C v$ に対して傾斜する射出面 2 2 がそれぞれ連続的な平面で構成され、回転軸 $C v$ に対して異なる角度を有する楔形状で形成される。そして、回転軸 $C v$ を中心に回転することで、連続的に結像光学系 1 のフォーカスを変化させる。

10

【0074】

図 3 において、第 1 領域 $L o 1$ は、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 2 領域 $L o 2$ は、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 3 領域 $L o 3$ は、第 3 物点 $2 5 . 0 0 \text{ mm}$ からの光束が通過する。第 1 領域 $L o 1$ の厚さは、 $0 . 4 3 2 \text{ mm}$ 、第 2 領域 $L o 2$ の厚さは、 $0 . 4 1 6 \text{ mm}$ 、第 3 領域 $L o 3$ の厚さは、 $0 . 3 9 6 \text{ mm}$ である。

【0075】

可変光学系 $G v$ の可変光学素子 2 は、入射した光束 L の物点が、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ m}$ の時には、第 1 領域 $L o 1$ を通過し、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ の時には、第 2 領域 $L o 2$ を通過し、第 3 物点 $2 5 . 0 0 \text{ mm}$ の時には、第 3 領域 $L o 3$ を通過するように、少なくとも $1 8 0^\circ$ 回転可能である。その後、光束 L は、フィルタ F を通過して像面に入射する。

20

【0076】

実施例 2 の可変光学系 $G v$ は、図 4 に示した可変光学素子 2 であって、回転軸 $C v$ に直交する入射面 2 1 と常螺旋面からなる射出面 2 2 とがそれぞれ連続的に構成される。そして、回転軸 $C v$ を中心に回転することで、連続的に結像光学系 1 のフォーカスを変化させる。

【0077】

図 4 において、第 1 領域 $L o 1$ は、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 2 領域 $L o 2$ は、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 3 領域 $L o 3$ は、第 3 物点 $2 5 . 0 0 \text{ mm}$ からの光束が通過する。第 1 領域 $L o 1$ の厚さは、 $0 . 4 3 2 \text{ mm}$ 、第 2 領域 $L o 2$ の厚さは、 $0 . 4 1 6 \text{ mm}$ 、第 3 領域 $L o 3$ の厚さは、 $0 . 3 9 6 \text{ mm}$ である。

30

【0078】

可変光学系 $G v$ の可変光学素子 2 は、入射した光束 L の物点が、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ m}$ の時には、第 1 領域 $L o 1$ を通過し、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ の時には、第 2 領域 $L o 2$ を通過し、第 3 物点 $2 5 . 0 0 \text{ mm}$ の時には、第 3 領域 $L o 3$ を通過するように、 $3 6 0^\circ$ 近く回転可能である。その後、光束 L は、フィルタ F を通過して像面に入射する。

【0079】

実施例 3 の可変光学系 $G v$ は、図 5 及び図 6 に示した可変光学素子 2 であって、回転軸 $C v$ に直交する入射面 2 1 と自由曲面からなる射出面 2 2 とがそれぞれ連続的に構成される。そして、回転軸 $C v$ を中心に回転することで、連続的に結像光学系 1 のフォーカスを変化させる。

40

【0080】

図 5 において、第 1 領域 $L o 1$ は、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 2 領域 $L o 2$ は、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ からの光束が通過し、第 3 領域 $L o 3$ は、第 3 物点 $2 5 . 0 0 \text{ mm}$ からの光束が通過する。

【0081】

可変光学系 $G v$ の可変光学素子 2 は、入射した光束 L の物点が、第 1 物点 $8 3 . 3 3 \text{ m}$ の時には、第 1 領域 $L o 1$ を通過し、第 2 物点 $4 1 . 6 7 \text{ mm}$ の時には、第 2 領域 $L o$

50

2を通過し、第3物点25.00mmの時には、第3領域Lo3を通過するように、少なくとも180°回転可能である。その後、光束Lは、フィルタFを通過して像面に入射する。

【0082】

実施例4の可変光学系Gvは、図7に示した可変光学素子2であって、不連続で厚さの異なる複数の平行平板で構成され、回転軸Cvに直交する入射面21及び射出面22、で構成される。射出面22は、それぞれ180°の扇形からなる第1射出面22a及び第2射出面22bを有する。そして、回転軸Cvを中心に回転することで、結像光学系1のフォーカスを切り替える。

【0083】

例えば、光学系の焦点距離をfとして $f = 1\text{ mm}$ と仮定し、物体側焦点位置をX、像側焦点位置をX'、とすると、ニュートンの結像式 $f \times f = X \times X'$ が成り立つ。したがって、焦点距離1mmの撮像光学系G1の場合、第1物点83.33mmから第2物点25.00mmになるとすると、第1物点83.33mmの時、 $X' = 0.012\text{ mm}$ 、第2物点25.00mmの時、 $X' = 0.040\text{ mm}$ となり、像側焦点位置は0.028mm変化する。空気換算長の計算から、屈折率1.882997のガラスを使用する場合、可変光学素子2の厚さを0.060mm変化させればよい。したがって、実施例4では、第1領域Lo1の厚さは、0.500mm、第2領域Lo2の厚さは、0.440mmである。なお、実際には、球面収差も変化するので、こちらも勘案して決定することが好ましい。

【0084】

可変光学系Gvの可変光学素子2は、入射した光束Lの物点が、第1物点83.33mmの時には、第1射出面22aの第1領域Lo1を通過し、第2物点25.00mmの時には、第2射出面22bの第2領域Lo2を通過するように、少なくとも180°回転可能である。その後、光束Lは、フィルタFを通過して像面に入射する。

【0085】

実施例5の可変光学系Gvは、図8に示した可変光学素子2であって、半円形状からなる。可変光学素子2は、不連続で厚さの異なる複数の平行平板で構成され、回転軸Cvに直交する入射面21及び射出面22で構成される。射出面22は、それぞれ60°の扇形からなる第1射出面22a、第2射出面22b及び第3射出面22cを有する。そして、

【0086】

図8において、第1射出面22aの第1領域Lo1は、第1物点83.33mmからの光束が通過し、第2射出面22bの第2領域Lo2は、第2物点41.67mmからの光束が通過し、第3射出面22cの第3領域Lo3は、第3物点25.00mmからの光束が通過する。第1領域Lo1の厚さは、0.432mm、第2領域Lo2の厚さは、0.416mm、第3領域Lo3の厚さは、0.396mmである。

【0087】

可変光学系Gvの可変光学素子2は、入射した光束Lの物点が、第1物点83.33mmの時には、第1領域Lo1を通過し、第2物点41.67mmの時には、第2領域Lo2を通過し、第3物点25.00mmの時には、第3領域Lo3を通過するように、少なくとも120°回転可能である。その後、光束Lは、フィルタFを通過して像面に入射する。

【0088】

実施例6の可変光学系Gvは、図9に示した可変光学素子2であって、入射面21又は射出面22の形状が部分的に異なるものである。すなわち、第1物点の光束が通過する第1領域Lo1、第2物点の光束が通過する第2領域Lo2、及び第3物点の光束が通過する第3領域Lo3の形状が異なるものである。可変光学素子2は、回転軸Cvを中心に回転することで、結像光学系1のフォーカスを切り替える。

【0089】

10

20

30

40

50

図9において、第1領域L_{o1}は、第1物点83.33mmからの光束が通過し、第2領域L_{o2}は、第2物点41.67mmからの光束が通過し、第3領域L_{o3}は、第3物点25.00mmからの光束が通過する。第1領域L_{o1}の凹面2aの曲率はR312.5mm、第2領域L_{o2}は平面、第3領域L_{o3}の凸面2bの曲率はR200.0mmである。

【0090】

可変光学系G_vの可変光学素子2は、入射した光束Lの物点が、第1物点83.33mmの時には、第1領域L_{o1}を通過し、第2物点41.67mmの時には、第2領域L_{o2}を通過し、第3物点25.00mmの時には、第3領域L_{o3}を通過するように、少なくとも180°回転可能である。その後、光束Lは、フィルタFを通過して像面に入射する。

10

【0091】

実施例7の可変光学系G_vは、図10に示した可変光学素子2であって、半円形状からなる。可変光学素子2は、回転軸C_vに直交する入射面21と、不連続な常螺旋面で構成される射出面22と、で構成される。射出面22は、それぞれ常螺旋面の第1射出面22a及び第2射出面22bを有する。そして、回転軸C_vを中心に回転することで、結像光学系1のフォーカスを切り替える。

【0092】

図10において、第1射出面22aの第1領域L_{o1}は、第1物点83.33mmからの光束が通過し、第1射出面22aの第2領域L_{o2}は、第2物点41.67mmからの光束が通過し、第2射出面22bの第3領域L_{o3}は、第3物点25.00mmからの光束が通過する。第1領域L_{o1}の厚さは、0.432mm、第2領域L_{o2}の厚さは、0.416mm、第3領域L_{o3}の厚さは、0.396mmである。

20

【0093】

可変光学系G_vの可変光学素子2は、入射した光束Lが、第1物点83.33mmの時には、第1領域L_{o1}を通過し、第2物点41.67mmの時には、第2領域L_{o2}を通過し、第3物点25.00mmの時には、第3領域L_{o3}を通過するように、少なくとも120°回転可能である。その後、光束Lは、フィルタFを通過して像面に入射する。

【0094】

他の例の可変光学系G_vは、図11に示した可変光学素子2であって、異なる2つの撮像光学系に対応して、傾斜する2つの半円を有し、2つの半円が組み合わされた円形からなる。可変光学素子2は、回転軸C_vに直交する入射面21と、傾斜する2つの半円で構成される射出面22と、で構成される。射出面22は、それぞれ傾斜面の第1射出面22a及び第2射出面22bを有する。そして、回転軸C_vを中心に回転することで、結像光学系1のフォーカスを切り替える。

30

【0095】

例えば、可変光学素子2の傾斜面は、第1境界段部22abでのXY平面に対する第1面部22aの角度及び第2境界段部22baでのXY平面に対する第2面部22bの角度である傾斜角度を2.467°とする。

【0096】

また、第1面部22a及び第2面部22bには、それぞれ物点1mmの光束L_{o3₁}, L_{o3₂}を通過させるための通過孔22a₁, 22b₁が形成される。そして、物点15mmの光束L_{o2₁}, L_{o2₂}及び物点50mmの光束L_{o1₁}, L_{o1₂}は、第1面部22a及び第2面部22bをそれぞれ異なる位置で透過する。

40

【0097】

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C_vを中心に可変光学素子2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C_vを中心に可変光学素子2を45°回転させる。可変光学系G_vの最も厚い部分は、0.754mmで、最も薄い部分は、0.709mmであり、第1面部22a及び第2面部22bは、連続的に傾斜する。

50

【0098】

第1面部22a及び第2面部22b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2を回転させることにより、光路長が連続的に変化し、物点距離に応じた確か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。

【0099】

なお、可変光学素子2が回転中心軸Cvを中心に回転する場合、第1面部22a及び第2面部22bの垂線は、可変光学素子2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。

10

【0100】

以下に、実施例の構成パラメータを示す。なお、実施例2～7の数値実施例は、実施例1と異なる部分のみを記載する。

【0101】

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。

【0102】

屈折率、アッペ数については、d線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。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。

20

【0103】

非球面データには、面データ中、非球面形状としたレンズ面に関するデータが示されている。非球面形状は、zを光の進行方向を正とした光軸とし、yを光軸と直交する方向にとると以下の式(a)にて表される。なお、データの記載されていない係数項は0である。

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

30

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

【0104】

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(b)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。

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

40

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。

【0105】

50

自由曲面項は、

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

10

ただし、 C_j (j は 1 以上の整数) は係数である。

【 0 1 0 6 】

実施例 1

20

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数
物体面		*1 83.330		
1		0.600	1.8830	40.7
2	非球面 [1]	1.520		
3	7.984	0.500	1.6668	33.0
4	4.197	0.688		
5	22.220	1.000	1.9229	18.9
6	-7.440	0.594		
7	4.312	1.000	1.9229	18.9
8	9.886	0.135		
9		0.500	1.5163	64.1
10		0.050		
11	絞り面	0.332		
12	-98.576	0.400	1.9229	18.9
13	3.519	1.400	1.4387	94.9
14	-4.494	0.050		
15	21.614	1.000	1.8830	40.7
16	-9.117	0.050		
17	5.324	1.800	1.6204	60.3
18	-3.192	0.400	1.9229	18.9
19	-32.250	0.050		
20	3.524	1.600	1.8830	40.7
21	-28.761	0.100		
22		*2 0.432	1.8830	40.7
23		*3 0.198		
24		0.500	1.5163	64.1
25		0.100		

30

40

像面

曲率半径 1.413
 k -9.9894e-001
 a 4.1243e-003

面間隔

*1	83.330	41.670	25.000
*2	0.432	0.416	0.396
*3	0.198	0.214	0.234

仕様

画角 140 °
 焦点距離 0.835
 絞り径 2.400
 像の大きさ 2.000
 有効Fno 1.079

【 0 1 0 7 】

実施例 2

10

実施例 1 と同じ

【 0 1 0 8 】

実施例 3

20

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数
22		0.416	1.8830	40.7
23	FFS[1]	0.214		

非球面 [1]

曲率半径 1.413
 k -9.0353e-001
 a -9.6047e-004

30

FFS[1]

C 2	-1.1476e-002	C 3	4.3851e-004	C 4	-1.0515e-003
C 5	1.7752e-003	C 6	3.9883e-004	C 7	4.9745e-004
C 8	-1.5837e-005	C 9	1.0224e-003	C 10	-3.6906e-004
C 11	4.9743e-005	C 12	-1.2040e-004	C 13	1.3702e-004
C 14	-2.3055e-004	C 15	6.5815e-005	C 67	1.4000e+001

仕様

画角 140 °
 焦点距離 0.835
 絞り径 2.400
 像の大きさ 2.000
 有効Fno 1.094

【 0 1 0 9 】

実施例 4

40

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数
物体面		*1 83.330		
22		*2 0.500	1.8830	40.7

50

23 *3 0.130

面間隔

*1	83.330	25.000
*2	0.500	0.440
*3	0.130	0.190

【0 1 1 0】

実施例 5

実施例 1 と同じ

【0 1 1 1】

実施例 6

10

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
物体面		*1 83.330		
22		*2 0.432	1.8830	40.7
23	*4 312.5	*3 0.198		

面間隔

*1	83.330	41.670	25.000
*2	0.432	0.416	0.396
*3	0.198	0.214	0.234

20

曲率半径

*4	312.5	200.0
----	-------	-------

【0 1 1 2】

実施例 7

実施例 1 と同じ

【0 1 1 3】

以下に、本実施形態の結像光学系 1 の適用例を説明する。

【0 1 1 4】

本実施形態の結像光学系 1 と、像面に配置され、複数の画素を有する撮像素子と、を備える撮像装置として使用することが好ましい。

【0 1 1 5】

本実施形態の結像光学系 1 を用いることで、撮像装置の小型化を実現することが可能となる。

【0 1 1 6】

また、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 1 1 7】

本実施形態の撮像装置は、フォーカス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。

40

【0 1 1 8】

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 1 1 9】

図 1 8 は、本実施形態の結像光学系 1 を内視鏡 1 1 0 の先端に用いた例を示す図である。

【0 1 2 0】

図 1 8 に示すように、硬性内視鏡 1 1 0 の先端に本実施形態にかかる結像光学系 1 を取

50

り付けて撮像観察する。

【0121】

図19は、内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の一実施例を示す図である。

【0122】

図19に示す例では、結像光学系1は、可変光学系Gvが回転可能に内視鏡110の先端に設置される。撮像光学系G1は、内視鏡110の先端に固着される。可変光学系Gvを構成する可変光学素子2は、可変光学素子2の回転軸に設置された軸部材3によって回転可能に設置される。軸部材3は、図示しない駆動部によって駆動される。結像光学系1の像面の位置には撮像素子10が設置され、撮像装置を構成する。

【0123】

このような構成の撮像装置及び内視鏡110によって、小型で高精細な観察が可能であり、簡単な構造でフォーカス調整が可能となる。

【0124】

図20は、内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の他の実施例を示す図である。

【0125】

図20に示す例では、可変光学系Gvを構成する可変光学素子2が扇形で形成されている。その他の構成は、図19に示した内視鏡110と同様である。

【0126】

図21は、内視鏡110の先端に用いた結像光学系1の他の実施例を示す図である。

【0127】

図21に示す例では、結像光学系1は、可変光学系Gvが回転可能に内視鏡110の先端に設置される。撮像光学系G1は、内視鏡110の先端に固着される。可変光学系Gvを構成する可変光学素子2は、円環部材4の内周に外周部が固着される。円環部材4の可変光学素子2が設置されていない内周の一部には、軸部材3の先端に設置された歯車5に噛み合う歯が形成されている。したがって、結像光学系1は、軸部材3が図示しない駆動部によって駆動されると、歯車5が回転し、歯車5に噛み合う円環部材4が回転することで、可変光学素子2が回転する。

【0128】

また、結像光学系1の像面の位置には図示しない撮像素子が設置され、撮像装置を構成する。このような構成の撮像装置及び内視鏡110によって、小型で高精細な観察が可能であり、簡単な構造でフォーカス調整が可能となる。

【0129】

図22は、軟性電子内視鏡113の先端に本実施形態にかかる結像光学系1を用いた例を示す図である。

【0130】

図22に示すように、軟性電子内視鏡113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114に画像処理を施し、歪みを補正して表示するようにしてもよい。

【0131】

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

【符号の説明】

【0132】

1...結像光学系
2...可変光学素子
G1...撮像光学系
Gf...前群
Gb...後群
Gv...可変光学系

10

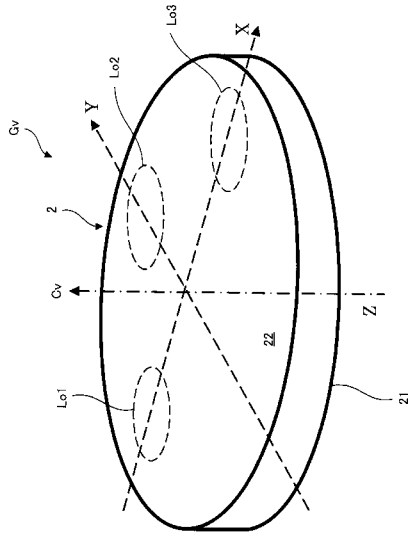
20

30

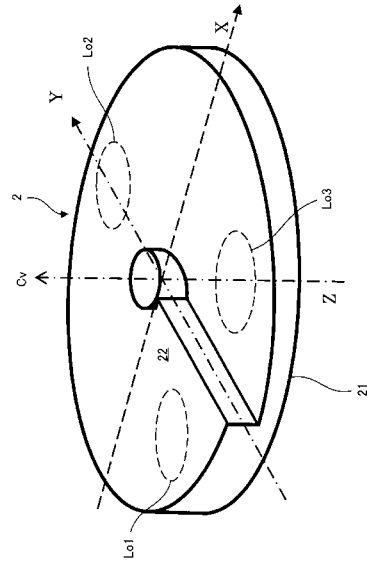
40

50

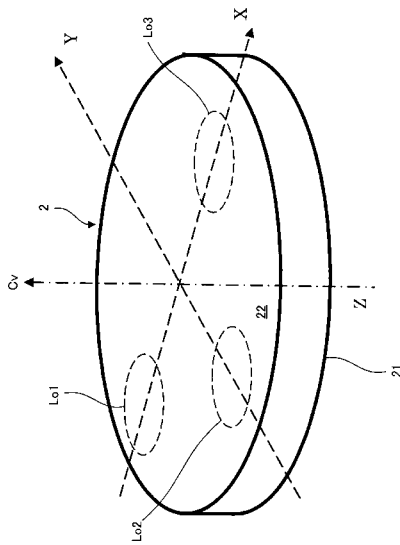
【 図 3 】



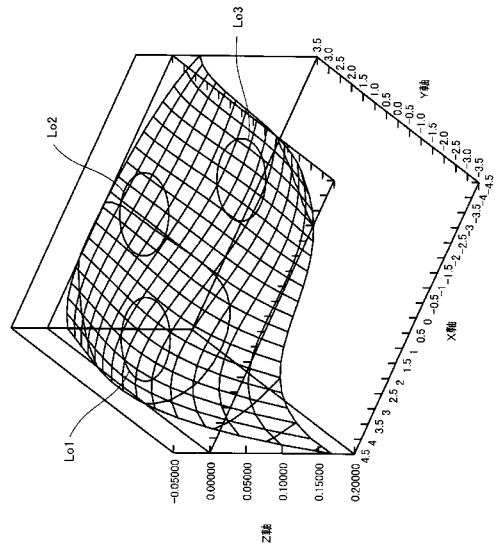
【 図 4 】



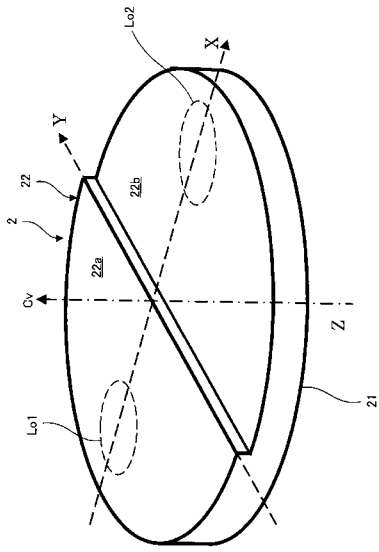
【 図 5 】



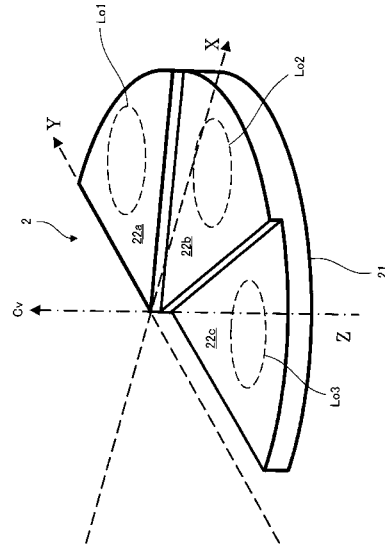
【 図 6 】



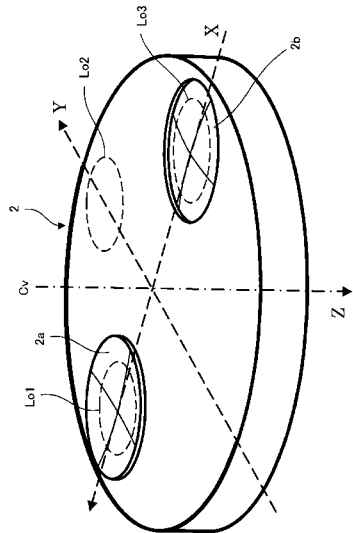
【 図 7 】



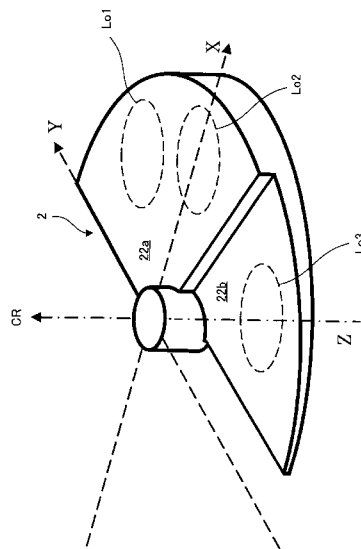
【 図 8 】



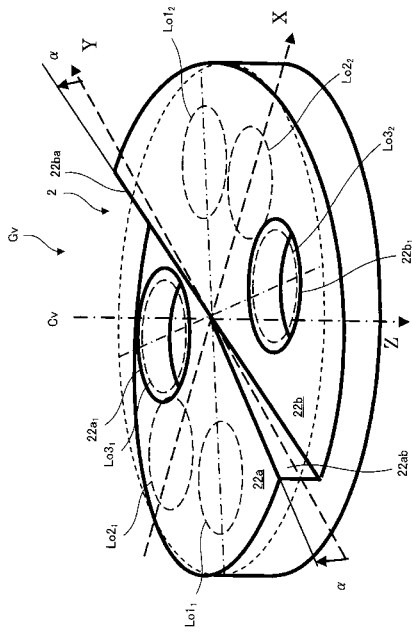
【 図 9 】



【 図 10 】

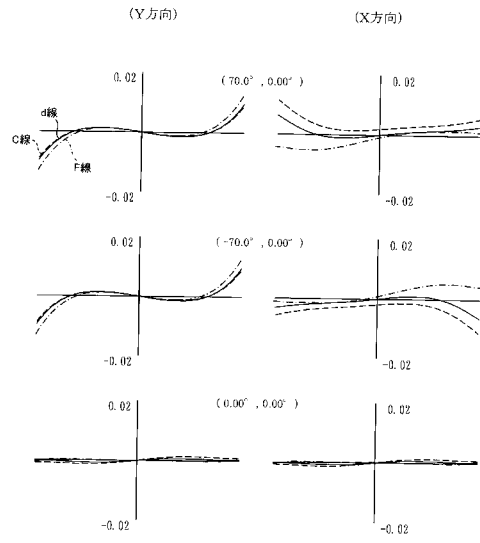


【 図 1 1 】



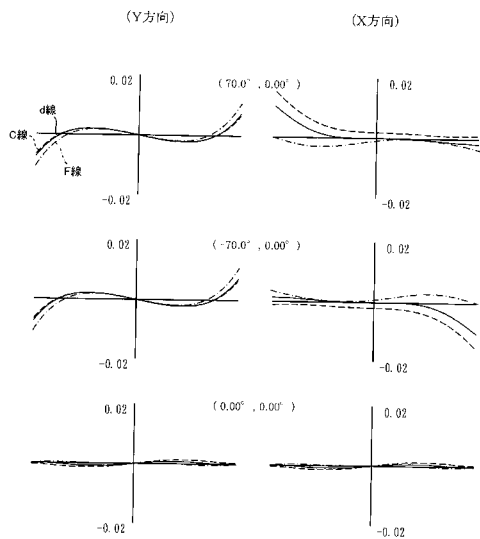
【 図 1 2 】

実施例1 (物点83.33)



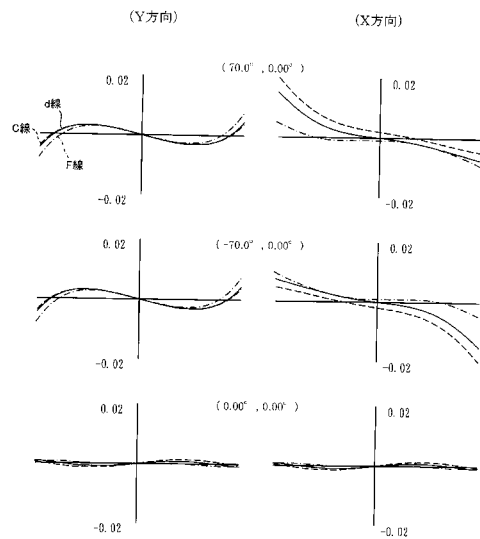
【 図 1 3 】

実施例1 (物点31.67)



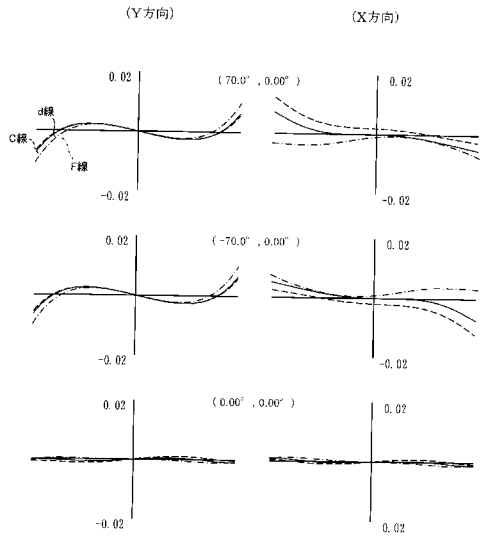
【 図 1 4 】

実施例1 (物点25.00)



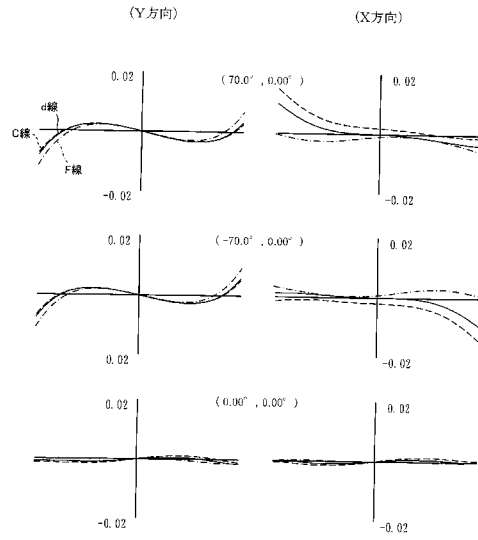
【 図 1 5 】

実施例3(物点83.33)



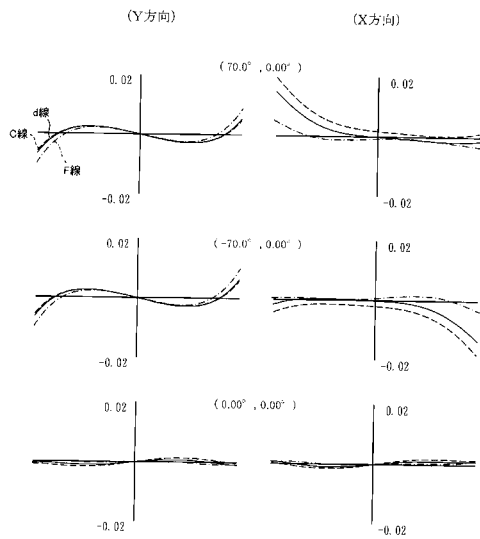
【 図 1 6 】

実施例3(物点41.67)

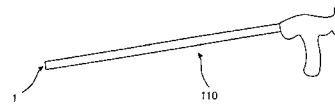


【 図 1 7 】

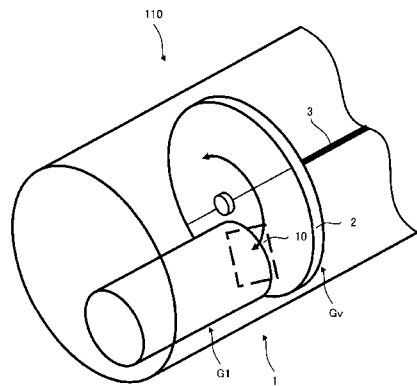
実施例3(物点25.00)



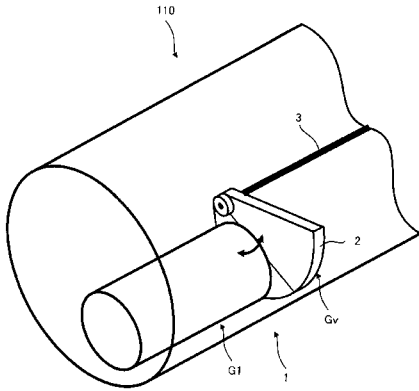
【 図 1 8 】



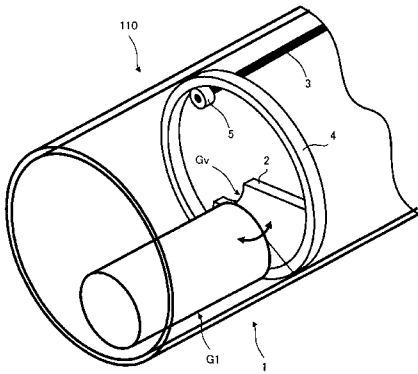
【 図 1 9 】



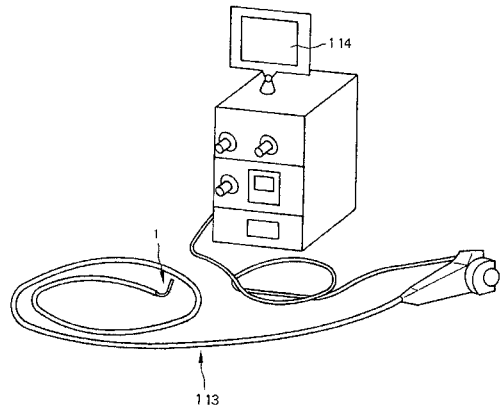
【 図 2 0 】



【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.				F I				テーマコード(参考)
G 0 2 B	7/08	(2006.01)		G 0 2 B	7/08		B	
A 6 1 B	1/00	(2006.01)		A 6 1 B	1/00	3 0 0 Y		

Fターム(参考) 2H044 BF01 DA01 HC01
2H087 KA10 LA03 MA10 PA08 PA19 PB10 QA01 QA07 QA18 QA22
QA25 QA34 QA42 QA45 RA05 RA06 RA12 RA32 RA42 RA43
RA44
4C161 CC06 FF40 LL02

