

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第4129972号  
(P4129972)

(45) 発行日 平成20年8月6日 (2008.8.6)

(24) 登録日 平成20年5月30日 (2008.5.30)

(51) Int. Cl.	F I
GO 2 B 17/08 (2006.01)	GO 2 B 17/08 Z
GO 2 B 5/10 (2006.01)	GO 2 B 5/10 B
GO 2 B 25/00 (2006.01)	GO 2 B 25/00 Z
GO 2 B 27/22 (2006.01)	GO 2 B 27/22
HO 4 N 13/04 (2006.01)	HO 4 N 13/04

請求項の数 9 (全 46 頁)

(21) 出願番号	特願2002-39813 (P2002-39813)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成14年2月18日 (2002.2.18)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2003-241100 (P2003-241100A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(43) 公開日	平成15年8月27日 (2003.8.27)	(74) 代理人	100097777
審査請求日	平成17年2月3日 (2005.2.3)		弁理士 荏澤 弘
		(74) 代理人	100088041
			弁理士 阿部 龍吉
		(74) 代理人	100092495
			弁理士 蛭川 昌信
		(74) 代理人	100095120
			弁理士 内田 亘彦
		(74) 代理人	100095980
			弁理士 菅井 英雄
		(74) 代理人	100094787
			弁理士 青木 健二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏心光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子と、少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系において、偏心光学系が瞳面と像面との間に配置され、偏心光学系が瞳面と像面との間に中間像と瞳を形成し、次式を満足することを特徴とする偏心光学系。

(能動型反射光学素子における最大主光線高)

/ (能動型反射光学素子における軸上最大瞳半径) 1.5・・・(2)

ここで、能動型反射光学素子における最大主光線高は軸上主光線を基準とし、軸上最大瞳半径は非円形状瞳の場合、軸上主光線基準の瞳の大きさの最大値とする。

【請求項 2】

前記偏心光学系が、1.3よりも大きな屈折率の媒質で形成された少なくとも1つのプリズム部材を有し、プリズム部材は光束をプリズム部材に入射させる透過面、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも3面を有しており、前記偏心光学系を、逆光線追跡において、虚像を中間像として結像する接眼光学系と、中間像以降のリレー光学系に分けて考える場合、接眼光学系、リレー光学系共2回以上反射することを特徴とする請求項1記載の偏心光学系。

【請求項 3】

前記偏心光学系が、反射面の少なくとも1面と透過面の少なくとも1面が同一面に形成された反射と透過の兼用面を備えたプリズム部材を含むことを特徴とする請求項1に記

載の偏心光学系。

【請求項 4】

前記偏心光学系が、逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像を形成する際に、入射瞳から中間像に入射する主光線が収束状態であることを特徴とする請求項 1 に記載の偏心光学系。

【請求項 5】

前記偏心光学系において、能動型反射光学素子に入射する軸上主光線と能動型反射光学素子反射面法線がなす角  $\theta$  が以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の偏心光学系。

$$10^\circ < \theta < 60^\circ$$

・・・ (3)

10

【請求項 6】

前記偏心光学系の順追跡における瞳倍率  $M$  が以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の偏心光学系。

$$1 < M < 3$$

・・・ (4)

【請求項 7】

前記能動型反射光学素子が可変形状鏡であることを特徴とする請求項 1 に記載の偏心光学系。

【請求項 8】

映像表示素子と請求項 1 から 7 の何れか 1 項記載の偏心光学系とを観察者の左右の眼に対応してそれぞれ 1 つずつ配置してなることを特徴とする立体映像表示装置。

20

【請求項 9】

順光線追跡で、能動型反射光学素子の作用により像の位置を光軸方向に移動する際、能動型反射光学素子の変形の往復両方を利用して像形成をすることを特徴とする請求項 1 に記載の偏心光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、偏心光学系に関し、特に、可変焦点レンズ、可変焦点回折光学素子、可変偏角プリズム、可変形状鏡等の光学特性可変光学素子を含む光学系、及び、これら光学系を備えた映像表示装置、例えば、HMD、眼鏡、ビデオプロジェクター、デジタルカメラ等の光学装置、特に立体映像表示装置に関するものである。

30

【0002】

【従来の技術】

立体映像表示装置あるいは頭部装着式映像表示装置（いわゆる HMD）用光学系の従来技術には次のものがある。

【0003】

まず、特開平 11 - 355805 のものは、図 20 に示すように、接眼光学系 121、映像表示素子 122 の少なくとも何れか一方を光軸方向に移動することで、映像表示素子 122 に表示される映像の虚像の位置（調節位置）を輻輳位置に移動させている。その結果、調節と輻輳の矛盾のない映像観察装置としている。

40

【0004】

また、特開 2000 - 298237 のものは、図 21 に示すように、物体からの光束は、絞り 201 を通過後、第 1 透過面 221 から偏心プリズム 202 に入り、第 2 透過面 222 から一度偏心プリズム 202 から外に出て可変形状鏡 203 で反射後、第 3 透過面（＝第 2 透過面）222 から再度偏心プリズム 202 に入り、第 1 反射面 223 で反射後、第 4 透過面 224 から偏心プリズム 202 を出て、フィルター 205 を経て像面 204 に結像する。可変形状鏡 203 の変形により、無限遠から 100mm までの焦点合わせが可能な光学系となっている。これらの能動型反射光学素子を含む光学系を HMD 光学系として用いることができるとしている。

【0005】

50

# 【発明が解決しようとする課題】

しかし、特開平 1 1 - 3 5 5 8 0 5 のものには以下の問題がある。例えば、接眼光学系 1 2 1 の焦点距離が 2 0 m m の場合、映像表示素子 1 2 2 の位置を光軸方向に移動することで、映像表示素子 1 2 2 に表示される映像の虚像の位置を観察者眼球の前方 2 5 c m (明視距離) から無限遠まで変化させるとする。このとき、映像表示素子 1 2 2 の位置を 1 . 6 m m 移動する必要がある。所定の大きさ・重量を持つ映像表示素子 1 2 2 を 1 . 6 m m の範囲で高速移動させるのは困難だし、可動マウント台 1 2 3 を含むようにする必要があり、機械的機構が大型化し顔面に装着する H M D として好ましくない。接眼光学系 1 2 1 を移動する場合にも、同様の問題がある。また、単に映像表示素子 1 2 2 や接眼光学系 1 2 1 を光軸方向に移動することで虚像位置を光軸方向に移動すると、収差の変動により接

10

# 【 0 0 0 6 】

また、特開 2 0 0 0 - 2 9 8 2 3 7 には以下の問題点がある。能動型反射光学素子を含む光学系を H M D 光学系として用いることに言及しているが、実施例 1 ~ 7 として具体的に開示されている光学系のアイリリーフ (射出瞳と光学系の間隔) は 2 m m 以下で、H M D 光学系等接眼光学系として使うことができない。必要なアイリリーフ、例えば 2 0 m m を確保するには、光学系全体を 1 0 倍以上に係数倍する必要があり、光学系の大きさが巨大化し、顔面に装着する H M D として使用できず、可変形状鏡 2 0 3 の大きさ・変形量も巨大化し、製作が困難になる。また、そもそも特開 2 0 0 0 - 2 9 8 2 3 7 のものは、能

20

# 【 0 0 0 7 】

本発明は、従来技術のこのような問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、小型軽量な可変焦点接眼光学系、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着式映像表示装置のための小型軽量可変焦点光学系、立体感を感じる主な要素である両眼視差、両眼の輻輳、眼の焦点調節作用に矛盾を生じさせない立体映像観察が可能な立体映像表示装置を提供することである。

30

# 【 0 0 0 8 】

## 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成する本発明の第 1 の偏心光学系は、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子と、少なくとも 1 面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系において、偏心光学系が瞳面と像面との間に配置され、次式を満足することを特徴とするものである。

# 【 0 0 0 9 】

(瞳と偏心光学系の距離) / (焦点距離)  $0.6 \cdots (1)$

40

なお、軸上主光線に対して偏心して配置されている面を含む偏心光学系の場合、通常近軸光線追跡では正確な焦点距離を求めることができない。そこで、瞳中心と像面中心とを結ぶ光線を軸上主光線とし、偏心光学系外部に形成される瞳と偏心光学系の距離は、瞳と偏心光学系の瞳に面した第 1 面 (順光線追跡で結像光学系の場合は入射面、観察光学系の場合は射出面) の間の軸上主光線の光路長で定義し、焦点距離  $f$  は次式で定義する。

# 【 0 0 1 0 】

$f$  = 像面 (逆光線追跡の接眼光学系の場合、映像表示素子)

のサイズの半分 /  $\tan$  (半画面角)

50

観察光学系は、物体面に映像表示素子を置き、映像表示素子に表示された映像を遠方に投影して観察者眼球で観察し、撮像光学系は、遠方に位置する物体の像を撮像素子に結像する。以下の本発明の説明においては、特に断らない限り、本発明の結像光学系を逆光線追跡の観察光学系（接眼光学系）として説明するが、「像面」に「撮像素子」に置けば、撮像光学系として用いることができる。

【 0 0 1 1 】

なお、従来の技術であげた特開 2 0 0 0 - 2 9 8 2 3 7 の実施例 1 ~ 3 の焦点距離は 7 . 7 5 mm と記載してあるが、上記定義で求めると、9 . 4 8 mm となる。

【 0 0 1 2 】

上記発明は、後記の実施例 1 ~ 5 が対応する。

10

【 0 0 1 3 】

この発明の作用効果を説明すると、偏心光学系では、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転対称な収差には、歪曲収差、像面湾曲、軸上でも発生する非点収差、コマ収差等がある。

【 0 0 1 4 】

まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射した光線は凹面鏡で反射することで結像されるが、凹面鏡から像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。その結果、軸上主光線に対して傾斜して湾曲した像面を形成する（図 1 6。なお、図 1 6 中、M は凹面鏡である。）。このような回転非対称な像面湾曲の補正は、回転対称な光学系では不可能である。この軸上主光線に対して傾斜した像面湾曲をその発生源である凹面鏡 M 自身で補正するには、凹面鏡 M を回転非対称な面形状で構成し、この例では、Y 軸正方向を紙面の上方に向く方向と定義して Y 軸正方向の曲率を強くし、Y 軸負方向の曲率を弱くすれば補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を凹面鏡 M とは別に光学系中に配置することで、少ない構成枚数でフラットな像面を得ることができる。

20

【 0 0 1 5 】

次に、回転非対称な非点収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡 M では、入射光線に対する凹面鏡の X 方向と Y 方向の曲率の違いから、軸上光線に対しても非点収差が発生する（図 1 7）。この非点収差を補正するには、上記像面湾曲に関する説明と同様に、回転非対称面の X 軸方向（紙面に垂直な方向）と Y 軸方向の曲率を適切に設定することによって可能となる。

30

【 0 0 1 6 】

次に、回転非対称なコマ収差について説明する。偏心して配置された凹面鏡 M では、軸上光線に対しても図 1 8 に示すようなコマ収差が発生する。回転非対称面の X 軸の原点から離れるにしたがって面の傾きを適切に変えることによって、このコマ収差の補正が可能となる。

【 0 0 1 7 】

次に、回転非対称なディストーションについて説明する。偏心して配置された凹面鏡 M では、台形や弓なりのディストーションが発生し、見た目に非常に目立ち問題となりやすい。図 1 9 のような台形ディストーションが発生した場合、回転非対称面の Y 軸正方向のパワーを強くし、Y 軸負方向のパワーを弱くすれば、台形ディストーションの底辺側は投影倍率が大きくなり底辺を大きく引き伸ばす方向に補正され、上辺側は倍率がより小さくなり上辺を小さく縮める方向に補正されるので、台形ディストーションを補正することができる。

40

【 0 0 1 8 】

1 面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系であれば、上記の偏心により発生する回転非対称な収差を補正することができる。また、光学系を偏心光学系とすることで、光学系を小型化にすることができる。

【 0 0 1 9 】

50

また、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子を使うことにより、音が静かで、応答時間が短く、安価で、簡単な構成で小型な可変焦点光学系とすることができる。その結果、光学系を大型化させることなく、フォーカシング、観察光学系の視度調整、光学部品の製造誤差や温度・湿度等の環境変化による光学性能の劣化の補正、手ぶれ補正をすることができる。これは顔面に装着するHMD光学系の場合に特に重要となる。

【0020】

また、条件式(1)を満足すれば、大きなアイリリーフが確保されるので(瞳と偏心光学系の距離はアイリリーフに相当)、撮像光学系のみではなく、接眼光学系としても用いることができる。

10

【0021】

以下、本発明に適用可能な可変形状鏡、可変焦点レンズの構成例について説明する。図7に構成例を示すように、可変形状鏡3は、アルミコーティング等で作られた薄膜(反射面)とその裏面の複数の電極31からなり、各電極31にそれぞれ可変抵抗器32が接続され、可変形状鏡3と各電極31の間に可変抵抗器32'と電源スイッチ33を介して電源34が接続されている。可変形状鏡と各電極31の間に印加される電圧を可変抵抗器32により任意に設定することにより、両者の間に働く静電力分布を所望のものにして可変形状鏡3の面形状を任意に変形することが可能で、印加される電圧の極性を変えれば凸面とすることもできる。

【0022】

20

なお、電極の形は、薄膜の変形のさせ方に応じて、同心分割、矩形分割等適宜の形のものを選択することができる。また、変形する薄膜をポリイミド等の合成樹脂で製作すれば、低電圧でも大きな変形が可能であるので好都合である。また、温度センサー36、湿度センサー37により温度・湿度等の環境変化による光学性能の低下を補償するように、演算装置35は各可変抵抗器32の抵抗値を制御することができる。また、振れ(ブレ)センサー38を追加すれば、振れによる像の乱れを補償するように薄膜を変形させることができる。

【0023】

可変形状鏡の駆動方式には、上記静電力駆動の他、圧電素子駆動、電磁力駆動等がある。また、大きな変形を圧電効果で行い、微細な形状変化を静電気力で行う、あるいは、凸面の変形には圧電効果を主に用い、凹面の変形には静電気力を主に用いるというように、複数の駆動方式を組み合わせてもよい。その結果、大きな変形と微細な変形とを同時に実現でき、精度の良い鏡面が実現できる。

30

【0024】

液晶レンズ等透過型能動光学素子と比較すると、反射鏡は少しの形状変化で大きな焦点距離変化となるので、同じ焦点距離の変化を得る場合、高速駆動しやすい。

【0025】

上記可変形状鏡のような能動型反射光学素子を使うことで、レンズをモータ等で駆動する必要がなく、小型化、軽量化、低消費電力化、低騒音化の点で優れている。

【0026】

40

本発明の第2の偏心光学系は、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子と、少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系において、偏心光学系が瞳面と像面との間に配置され、偏心光学系が瞳面と像面との間に中間像と瞳を形成し、次式を満足することを特徴とするものである。

【0027】

(能動型反射光学素子における最大主光線高)

/ (能動型反射光学素子における軸上最大瞳半径)  $1.5 \cdots (2)$

ここで、能動型反射光学素子における最大主光線高は軸上主光線を基準とし、軸上最大瞳半径は非円形状瞳の場合、軸上主光線基準の瞳の大きさの最大値とする。

【0028】

50

上記発明は、後記の実施例 3 ~ 5 が対応する。

【 0 0 2 9 】

この発明の作用効果を説明すると、映像表示素子の大きさが小さい場合、接眼光学系の焦点距離を小さくしないと大画角が確保できない。一方、ルーペ型接眼光学系（非中間像結像光学系）の場合、図 8（a）に示すように、焦点距離を小さくすると、瞳位置が光学系に近づきアイリリーフが小さくなる。よって、ルーペ型接眼光学系（非中間像結像光学系）では、アイリリーフを確保したまま光学系を短焦点化するのは不可能である。

【 0 0 3 0 】

それに対して、中間像結像方式の場合、図 9 に示すように、中間像に対してテレセントリックにする必要がないので、映像表示素子が小さい場合でも光学系の短焦点化と大アイリリーフが両立できる。

10

【 0 0 3 1 】

また、ルーペ型接眼光学系（非中間結像光学系）に能動型反射光学素子を使う場合、能動型反射光学素子の大きさ（有効径）を小さくするには、能動型反射光学素子をできるだけ瞳に近い位置に配置する必要があるので、能動型反射光学素子の小型化と大アイリリーフ化の両立が難しい。よって、大アイリリーフを確保すると、能動型反射光学素子の大きさが大きくなり、例えば能動型反射光学素子として可変形状鏡を使う場合、同じ焦点距離を得るための可変形状鏡の変形量が大きくなる。その結果、必要な特性（大きさ、駆動周波数特性等）を持つ能動型反射光学素子の実現が困難になったり、実現が不可能になる。これは、大アイリリーフ、大画角を確保しようとする、より顕著になる。

20

【 0 0 3 2 】

一方、図 8（b）に示すように、中間結像方式光学系の瞳（逆光線追跡における射出瞳）付近に能動型反射光学素子を配置すれば、能動型反射光学素子の大きさや変形量を小さくでき、高速駆動することもある。また、光学系を大画角化しても瞳径の大きさは変わらないので、光学系の大画角化にも対応できる。また、映像表示素子の大きさを変更しても瞳径の大きさは変わらないので、映像表示素子の大きさの変更にも対応できる。これらの効果を十分得るために条件式（2）を満足することが望ましい。

【 0 0 3 3 】

なお、次式を満足すると、上記効果がより大きくなり、より好ましい。

【 0 0 3 4 】

（能動型反射光学素子における最大主光線高）

$\div$ （能動型反射光学素子における軸上最大瞳半径）  $1 \cdots (2 - 1)$

本発明の第 3 の偏心光学系は、第 1 又は第 2 の偏心光学系において、前記偏心光学系が、1. 3 よりも大きな屈折率の媒質で形成された少なくとも 1 つのプリズム部材を有し、プリズム部材は光束をプリズム部材に入射させる透過面、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも 3 面を有しており、前記偏心光学系を、逆光線追跡において、虚像を中間像として結像する接眼光学系と、中間像以降のリレー光学系に分けて考える場合、接眼光学系、リレー光学系共 2 回以上反射することを特徴とするものである。

【 0 0 3 5 】

この場合、反射回数は能動型反射光学素子での反射も含む。また、偏心光学系の折りたたみの効果を利用して光学系を小型化するために、中間像の一部あるいは全部がリレー光学系あるいは接眼光学系と重なっていてもよい。

40

【 0 0 3 6 】

上記発明は、後記の実施例 3 ~ 5 が対応する。

【 0 0 3 7 】

この発明の作用効果を説明すると、プリズム部材を透過する際にプリズム部材の透過面で屈折されるので、入射光線高を低く設定することができ光学系を小型にできると共に、より大きな画角を実現することができる。また、軸外光線の従属光線高も低くなるので、コマ収差等の発生を抑制することもできる。また、反射面は屈折面より偏心誤差を厳しく制

50

御しなければならないので、組み立て調整作業が大変になる。しかし、反射面をプリズム部材の1面として構成すれば、この反射面の調整作業が削減できる。また、プリズム部材の反射面が光学的パワーを有し光軸に対して偏心していればレンズ作用とミラー作用を持つので、光学系を構成する部品点数を削減することができる。

【0038】

また、接眼光学系とリレー光学系のそれぞれで2回以上反射させることで、接眼光学系とリレー光学系のそれぞれで偏心収差を良好に補正できるし、それでも残存する偏心収差を互いに補正することで、中心ばかりではなく軸外収差も良好に補正することができる。反射回数が接眼光学系とリレー光学系で1回の構成だと、偏心収差を良好に補正することはできない。

10

【0039】

また、計4回以上の反射による折り畳みの効果で、光学系を小型化することができる。

【0040】

また、計4回以上の反射による反射を主体とする光学系なので、色収差の発生が少なくなる。

【0041】

なお、コストと重量を削減するために、プリズム部材が光学プラスチックであることが望ましい。アモルファスポリオレフィン等のような低吸湿材料を用いれば、湿度変化に対しても結像性能の変化が少なくて望ましい。

【0042】

また、1つのプリズム部材で投影光学系を構成できれば、光学系の部品点数と位置調整作業が減るので、コストが下がり、製作時に性能を確保するのも容易になりより好ましい。

20

【0043】

なお、プリズム部材が中間像付近前後で2つ以上のプリズム部材に分割されていると、収差補正上好ましい。中間像付近は、光束が細く各画角の光束の位置が異なる。この箇所では光学系を2つのプリズム部材に分割すれば、2つのプリズム部材の中間像に対する面により、ディストーションや瞳収差を効果的に補正することができる。

【0044】

このとき、逆光線追跡で瞳側から第1プリズム部材と第2プリズム部材を経て映像表示素子に至るとき、第2プリズム部材内に中間像を形成していることが好ましい。逆光線追跡で、瞳と偏心光学系の間隔(アイリリーフ)を確保しようとする、接眼光学系の焦点距離をある程度大きくする必要がある、接眼光学系と中間像の間隔はある程度必要になる。この場合に、投影光学系全体を小型化するには、第2プリズム内に中間像を形成することが好ましい。

30

【0045】

また、中間像付近で2つのプリズムに分割する場合、中間像の位置に拡散板等の瞳拡大作用を持つ光学素子を置けば、順光線追跡で、映像表示素子から中間像までは小さな瞳径に対して光学系を構成すればよいので、光学系の設計が容易になる。

【0046】

本発明の第4の偏心光学系は、第1又は第2の偏心光学系において、前記偏心光学系が、反射面の少なくとも1面と透過面の少なくとも1面が同一面にて形成された反射と透過の兼用面を備えたプリズム部材を含むことを特徴とするものである。

40

【0047】

上記発明は、後記の実施例1～5が対応する。

【0048】

この発明の作用効果を説明すると、透過と反射という2つの作用を同一面で行うので、光学系を構成する面数を削減し、光学系を単純で小型なものにすることができる。

【0049】

プリズム部材が、逆光線追跡で少なくともプリズム部材へ入射する第1透過面、光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、プリズム部材から射出する第2透過面を含み、少

50

なくとも第1透過面と第2反射面が同一面（兼用面）の場合、特に有効である。この場合、第1透過面と第2反射面を別の面として構成すると、次の不具合が発生する。第1透過面と第2反射面を別の面として構成するには、第2反射面を第1透過面から離れた別の位置に形成する必要がある。このため、第1反射面と第2反射面の間隔を大きくしたり、第1反射面での反射角度を大きくする必要がある。その結果、光学系が大型化したり、他の面で補正し切れないような大きな偏心収差が第1反射面で発生する。しかし、第1透過面と第2反射面を兼用面とすることで、この不具合を解消できる。

#### 【0050】

また、この兼用面における反射が全反射であることが好ましい。反射面における反射を全反射ではなく、反射膜での反射により行おうとすると、以下の不具合が生ずる。反射面用の反射膜を透過面の透過領域と離れた別の位置に形成する必要があるため、第1反射面と第2反射面の間隔を大きくしたり、第1反射面での反射角度を大きくする必要がある。その結果、光学系が大型化したり、他の面で補正し切れないような大きな偏心収差が第1反射面で発生する。第2反射面での反射を全反射とすることで、この不具合を解消することができる。また、反射膜を作製する必要がなくなり、コストが削減できる。

#### 【0051】

本発明の第5の偏心光学系は、第1又は第2の偏心光学系において、前記偏心光学系が、逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像を形成する際に、入射瞳から中間像に入射する主光線が収束状態であることを特徴とするものである。

#### 【0052】

上記発明は、後記の実施例3～5が対応する。

#### 【0053】

この発明の作用効果を説明すると、図9に示すように、逆光線追跡において、中間像に入射する主光線が収束状態だと、接眼レンズから中間像を経て能動型反射光学素子付近に至る部分の有効径を小さくできるので、光学系を小型化できる。瞳付近に能動型反射光学素子を配置すれば、能動型反射光学素子の大きさや変形量をより小さくできるので、製作性がさらに向上する。

#### 【0054】

また、同じ焦点距離の場合、より大きなアイリリーフを確保できる構成なので、短焦点化と大アイリリーフ化が両立できる構成である。

#### 【0055】

偏心光学系の場合、一般に中間像が軸上主光線に対して傾斜しているので、軸外光束の主光線の入射角と軸上主光線の入射角の差で、中間像に入射する光線の収束具合を限定することができる。この場合、逆光線追跡において、入射瞳から入射した軸外主光線が中間像に入射する入射角と軸上光線の入射角の差が $20^\circ$ 以内であることが望ましい。逆光線追跡において、接眼レンズから中間像へ $20^\circ$ 以上の大きな角度で入射させると、リレー光学系の中間像側の画角が大きくなりすぎ、収差補正が困難になる。

#### 【0056】

本発明の第6の偏心光学系は、第1又は第2の偏心光学系において、能動型反射光学素子に入射する軸上主光線と能動型反射光学素子反射面法線がなす角  $\theta$  が以下の条件式を満足することを特徴とするものである。

#### 【0057】

$$10^\circ < \theta < 60^\circ \quad \cdots (3)$$

上記発明は、後記の実施例1～5が対応する。

#### 【0058】

この発明の作用効果を説明すると、条件式(3)の上限の $60^\circ$ を越えると、能動型反射光学素子に対する光線入射角が大きすぎるので、能動型反射光学素子で発生する収差が大きくなりすぎ、偏心光学系で補正し切れなくなる。また、能動型反射光学素子に対する入射光束と反射光束の位置が離れすぎ、光学系が大型化してしまう。また、同じ光束径でも、能動型反射光学素子に対する軸上主光線の入射角が大きくなると、能動型反射光学素子

10

20

30

40

50



の面積が大きくなる。その結果、能動型反射光学素子の変形量が大きくなり、高速走査や製作が難しくなるという問題が生ずる。

【 0 0 5 9 】

条件式 ( 3 ) の下限の  $10^\circ$  を越えると、能動型反射光学素子に入射する光路と能動型反射光学素子を反射する光路の差が小さく、能動型反射光学素子に入射させる光学系と能動型反射光学素子で反射後の光学系の構成が難しく、光学系を小型に構成するのが難しくなる。

【 0 0 6 0 】

本発明の第 7 の偏心光学系は、第 2 の偏心光学系において、前記偏心光学系の順追跡における瞳倍率 が以下の条件式を満足することを特徴とするものである。

10

【 0 0 6 1 】

$1 < \dots ( 4 )$

なお、瞳が非円形状の場合、軸上主光線基準の軸上瞳の最大半径で定義する。

【 0 0 6 2 】

上記発明は、後記の実施例 3 ~ 5 が対応する。

【 0 0 6 3 】

この発明の作用効果を説明すると、映像表示素子から偏心光学系により射出瞳（観察者瞳孔あるいは回旋中心）を経て虚像に至る順光線追跡方向で考える。下限の 1 を越えると、中間に形成された瞳径が大きくなるので可変形状鏡の大きさ・変形量が大きくなり、製作が困難である、高速駆動が困難である等の問題が生ずる。また、同じ中間像の大きさを得るにはリレー光学系の焦点距離を大きくする必要があり、光学系を小型化するのが困難になる。上限の 3 を越えると、リレー光学系を射出する光線角度が大きすぎ、リレー光学系等での収差補正が困難になる。

20

【 0 0 6 4 】

なお、次式を満足すると、上記効果がより大きくなり、より好ましい。

【 0 0 6 5 】

$1 < \dots ( 4 - 1 )$

本発明の第 8 の偏心光学系は、第 1 又は第 2 の偏心光学系において、前記能動型反射光学素子が可変形状鏡であることを特徴とするものである。

【 0 0 6 6 】

30

上記発明は、後記の実施例 1 ~ 6 が対応する。

【 0 0 6 7 】

この発明の作用効果を説明すると、反射鏡は少しの形状変化で大きな焦点距離変化となるので、同じ焦点距離の変化を得る場合、高速駆動しやすく、可変形状鏡の反射面周囲を真空封止、減圧封止すれば、より高速駆動しやすくなる。

【 0 0 6 8 】

本発明の第 9 の発明は、映像表示素子と第 1 から第 8 の何れかの偏心光学系とを観察者の左右の眼に対応してそれぞれ 1 つずつ配置してなることを特徴とする立体映像表示装置である。

【 0 0 6 9 】

40

上記発明は、後記の実施例 1 ~ 5 が対応する。

【 0 0 7 0 】

この発明の作用効果を説明すると、図 10 に示すように、両眼 HMD の左右の映像表示素子に視差のある映像を表示すると、観察者は融像位置に視線を向け輻輳機能により物体の奥行き位置を認識できる。視差量を変化させることで、輻輳機能により認識する物体の位置が前後する。一方、映像表示素子の位置と接眼光学系の焦点距離が一定であれば映像表示素子の虚像の位置は一定であるので、調節機能により認識される物体の位置は固定である。このため、本来一致すべき輻輳機能による距離感と調節機能による距離感が一致せず、これが立体視の疲労の原因と言われている。

【 0 0 7 1 】

50

そこで、能動型反射光学素子により偏心光学系の焦点距離を変化させ、調節位置を輻輳位置に一致させるようにすれば、両者の矛盾を解消することができる。この場合、視線検出機能により観察者の輻輳角を検出し、調節位置を検出した輻輳位置に一致させてもよいし、映像表示素子に表示する映像の視差分布の最も近点位置に対して調節位置と輻輳位置を一致させてもよいし、映像表示素子に表示する映像の視差分布の重心位置に対して調節位置と輻輳位置を一致させてもよいし、映像表示素子に表示する映像の内容から注視するであろうと予測される物体に対して調節位置と輻輳位置を一致させてもよい。

【0072】

また、別の方法により調節と輻輳の矛盾を解消することもできる。調節位置と輻輳位置は完全に一致する必要はなく、両者には許容値がある。許容値としては、観察者眼球の焦点深度内に輻輳位置があればよいという考えもあれば、両眼の視線が調節位置に対してなす角と輻輳角の差が $1^{\circ}$ 以内であればよいという説もある。この調節と輻輳の不一致が許容される範囲内では、現HMDと同様に、両眼視差により3D(3次元)表示を行い、複数の虚像を奥行き方向(光軸方向範囲)に並べることで、全ての奥行き範囲を調節と輻輳の不一致の許容値内にするようにしてもよい。

【0073】

当然ながら、図11に示すように、奥行き方向(光軸方向範囲)に並べる虚像は、その位置に応じた異なる虚像を表示することになる。このとき、表示する映像に応じて奥の映像をピンボケにしたりピントが合っているようにすればよい。一般的には、注視点より奥の映像はピンボケにした方がよいが、室内のような近景のみの映像シーンで背景をぼかすと、たまに後ろを見たとき違和感あり見づらいし、HMDで形成された仮想空間の臨場感が劣る。よって、室内のような近景のみのシーンでは、全部にピントが合った方がよい。

【0074】

例えば、正弦波駆動された可変形状鏡の変形量が正弦波状に変化し、可変形状鏡の変形量振幅の全てを映像表示に利用し、等時間間隔で映像表示を行い、両眼の視線が調節位置に対してなす角と輻輳角の差が $1^{\circ}$ 以内であれば、調節と輻輳の不一致が許容値内であるとす。これらの前提条件の下で、 $-0.25\text{ m} \sim -2\text{ m}$ に虚像を形成する場合、約10枚の虚像を奥行き方向(光軸方向)に並べれば、映像表示範囲の全てを調節と輻輳の不一致の許容範囲にすることができる。

【0075】

なお、輻輳位置は眼幅により変化するので、特定眼幅の観察者に対して輻輳位置と調節位置を一致させると、異なる眼幅の観察者では輻輳位置が調節位置からずれてしまう。この場合、HMDに眼幅調整機能あるいは瞳孔位置検出機能を持たせたり、眼幅データを入力して表示する映像の視差を補正する機能を持たせれば、何の問題もない。また、HMDに眼幅調整機能、瞳孔位置検出機能、視差補正機能がない場合でも、調節と輻輳の不一致には許容範囲があるので、映像鑑賞用途等では平均眼幅65mmの観察者に対して調節位置と輻輳位置を一致させれば、全ての観察者に対して実用上問題ない。

【0076】

本発明の第10の偏心光学系は、第1又は第2の偏心光学系において、順光線追跡で、能動型反射光学素子の作用により像の位置を光軸方向に移動する際、能動型反射光学素子の変形の往復両方を利用して像形成をすることを特徴とするものである。

【0077】

上記発明は、後記の実施例1～5が対応する。

【0078】

この発明の作用効果を説明すると、図11のように奥行き方向(光軸方向)に複数の虚像を並べる場合、可変形状鏡の変形の往路片方だけ(例えば、変形量が大い方から小さい方へ変化する場合のみ)で像形成するのではなく、変形の往路と復路の両方を利用して像形成すれば、可変形状鏡の駆動周波数を半分にすることができるので、高速走査しより多くの虚像を形成しやすくなる。このとき、高速駆動をするためには、能動型反射光学素子、例えば可変形状鏡の変形量が正弦波状に変化することが好ましい。

## 【0079】

奥行き方向（光軸方向）に関する走査の往復両方で虚像を形成する場合、形成する虚像の枚数、可変形状鏡の変形量振幅の中映像表示に利用する割合等に応じて、映像表示のタイミングを最適化する必要がある。ここでは、簡単のために、以下の条件の下、映像表示を行う最適のタイミングの例について説明する。

## 【0080】

条件1：映像表示は等時間間隔で行う。条件2：可変形状鏡の変形量振幅全てを映像表示に利用できる。条件3：可変形状鏡の変形量はコサイン状に変化する。-1 変形量 1。条件4：奥行き方向（光軸方向）に虚像を10枚形成する場合、5枚形成する場合について検討する。

10

## 【0081】

映像表示を  $+36N(^{\circ})$  ( $N=0, 1, 2, \dots, 9$ ) で行い ( $\phi$  は初期位相)、1周期10枚の虚像を形成するとする。図12は初期位相  $\phi(^{\circ})$  毎の可変形状鏡変形量を示す図であり、図12の横軸の10箇所の虚像位置における可変形状鏡の変形量  $\cos(+36N)$  を変形量順に並べ替えると、図13のようになる。この変形量順で隣接する虚像の変形量の差をとると、図14のようになる。また、図15に初期位相  $\phi$  が  $45^{\circ}$  近傍の図13と同様の図を示す。図14と図15から明らかなように、初期位相  $\phi$  が  $45^{\circ}$  ( $45+90N^{\circ}$ 、 $1/8$ 周期)程度の場合、変形量順の可変形状鏡の変形量分布が最も滑らかで、可変形状鏡の変形量をまばらにできる。また、映像表示に利用できる可変形状鏡変形量も振幅の96%と大きくできる。

20

## 【0082】

同様の検討により、1周期5枚の虚像を形成する場合は、最適初期位相は  $55^{\circ}$  ( $1/6.5$ 周期)程度、 $20^{\circ}$  ( $1/18$ 周期)程度で、虚像5枚でも可変形状鏡変形量がばらついた状態で虚像を形成でき、虚像を形成する際の可変形状鏡変形量の振幅利用率も95%程度にできることが分かる。

## 【0083】

可変形状鏡の変形の往復両方を利用して像形成する場合、形成する虚像枚数や映像表示に利用する可変形状鏡変形量の割合等に応じて、上記のように、映像表示のタイミング（初期位相）を最適化すればよい。

## 【0084】

30

## 【発明の実施の形態】

以下に、本発明の偏心光学系の実施例1から実施例6について図面を参照して説明する。

## 【0085】

以下、実施例1～5は像（虚像）から物体（映像表示素子）に向かう逆光線追跡で説明する。実施例6は物体（光源）から像面（記録面）に向かう順光線追跡で説明する。

## 【0086】

図1に、実施例1の光路図を示す。この実施例は、可変形状鏡と偏心光学系を使って接眼光学系を構成した例であり、HMD用接眼光学系の例である。

## 【0087】

この実施例の水平画角  $25^{\circ}$ 、垂直画角  $18.9^{\circ}$ 、入射瞳（観察者瞳孔あるいは回旋中心）径 6mm、アイリリーフ 27mm、映像表示素子是对角 0.55インチ、横 11.18mm×縦 8.38mmのLCD（液晶表示素子）を用いる例である。

40

## 【0088】

図1の光路図は、観察者の横から見た図（Y-Z平面図）である。これを、上下方向を逆方向に配置してもよい。また、これを観察者の上側から見た図（X-Z平面図）となるように配置してもよい。このことは後記の全ての実施例について言えるが、以下の実施例ではいちいち説明しない。また、HMD光学系の全ての実施例で分かりやすいように視軸を水平方向に統一しているが、観察しやすいように視軸を下向き  $10^{\circ}$  等に変更してもよい。

## 【0089】

50

図 1 において、虚像から映像表示素子 4 に向かう逆光線追跡で、虚像からの光は、絞り（観察者瞳孔あるいは回旋中心）1 を経て、偏心プリズム 2 の第 1 透過面 1 1 から偏心プリズム 2 に入り、第 2 透過面 1 2 から一旦偏心プリズム 2 から外に出て、可変形状鏡 3 で反射し、第 3 透過面 1 3 から再び偏心プリズム 2 に入射し、第 1 反射面 1 4 で全反射した後、第 4 透過面 1 5 から偏心プリズム 2 の外に出て映像表示素子 4 に結像する。偏心プリズム 2 の第 1 透過面 1 1 と第 1 反射面 1 4 は同一面にて形成され、反射と透過の兼用面となっており、また、第 2 透過面 1 2 と第 3 透過面 1 3 も同一面にて形成されている。

【 0 0 9 0 】

後記する数値データで示す数値実施例として、可変形状鏡 3 が変形することで、遠点 - 2 m（可変形状鏡 3 の変形量大）～近点 - 0 . 2 5 m（可変形状鏡 3 の変形量小）の範囲で虚像位置を変動する場合を示す。当然ながら、可変形状鏡 3 の変位量を増やせば、虚像移動範囲を拡大できる。

【 0 0 9 1 】

このとき、図 1 1 のように可変形状鏡 3 が変形する過程で複数の映像表示を行い、奥行き方向（光軸方向）に複数の虚像を並べ、調節と輻輳の不一致が許容される範囲内では両眼視差により 3 D 表示を行うことで、奥行き方向（光軸方向）全域を調節と輻輳の不一致の許容値内にすることができる。その結果、調節と輻輳の矛盾のない 3 D 表示を行うことができる。このとき、虚像の間隔を変更するために、映像表示を非等時間間隔で行ってもよい。また、3 D 映像を表示する際に、奥行き方向（光軸方向）の特定位置の映像に対する調節と輻輳の矛盾を解消する方式にしてもよい。特定位置には、観察者の注視点、3 D 映像の最近点、3 D 映像の奥行き方向の重心位置等がある。

【 0 0 9 2 】

また、可変形状鏡 3 が変形することで、虚像位置を変更する以外に、製造誤差、温度や湿度等の環境変化に伴う光学性能劣化の補償、手ぶれ補正等を行うことができる。

【 0 0 9 3 】

能動型反射光学素子として図 7 に示すような可変形状鏡を使うと、光学系が非常に小型にできるので、HMD 光学系として利用する場合に有効である。また、静電駆動方式の可変形状鏡の場合、低消費電力化の効果が大きく、バッテリー駆動する携帯用の HMD や携帯用のプロジェクター等の場合に有効である。

【 0 0 9 4 】

偏心プリズム 2 の構成面は、偏心収差を補正するために回転非対称面であることが好ましい。

【 0 0 9 5 】

さらに、回転非対称な面形状が、対称面を 1 面のみに有する自由曲面形状にて構成されることが好ましい。

【 0 0 9 6 】

自由曲面は、例えば、次式で定義される。この定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。

【 0 0 9 7 】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^M C_j X^j Y^j \dots (a)$$

ここで、( a ) 式の第 1 項は球面項、第 2 項は自由曲面項である。M は 2 以上の自然数である。

【 0 0 9 8 】

球面項中、

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数（円錐定数）

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

である。

【 0 0 9 9 】

自由曲面項は、

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

10

20

ただし、 $C_j$  ( $j$  は 2 以上の整数) は係数である。

【 0 1 0 0 】

上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$  面、 $Y-Z$  面共に対称面を持つことはない。

【 0 1 0 1 】

本発明では、 $X$  の奇数項 ( $C_2$ ,  $C_5$ ,  $C_7$ , ...) を全て 0 にすることで、 $Y-Z$  平面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。また、 $Y$  の奇数項 ( $C_3$ ,  $C_5$ ,  $C_7$ , ...) を全て 0 にすることで、 $X-Z$  平面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。

30

【 0 1 0 2 】

上記対称面の何れか一方を対称面としその対称面方向に偏心させることで、偏心により発生する非回転対称な収差を効果的に補正できる。同時に、左右眼用の光学系を共通化できるので、製作性も向上させることができる。

【 0 1 0 3 】

このように対称面を 1 面のみ有する回転非対称面を用いることで、偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性を向上させるのが特徴であり、自由曲面が他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

40

【 0 1 0 4 】

また、自由曲面の他の定義式として、以下の (b) 式で与えられる Zernike 多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式の  $Z$  軸が Zernike 多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、 $X-Y$  面に対する  $Z$  の軸の高さの極座標で定義され、 $R$  は  $X-Y$  面内の  $Z$  軸からの距離、 $A$  は  $Z$  軸回りの方位角で、 $X$  軸から測った回転角で表せられる。

【 0 1 0 5 】

$$x = R \times \cos(A)$$

$$y = R \times \sin(A)$$

$$Z = D_2$$

$$+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A)$$

$$+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (2 R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A)$$

$$+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3 R^3 - 2 R) \cos(A)$$

$$+ D_{10} (3 R^3 - 2 R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A)$$

10

$$+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4 R^4 - 3 R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{14} (6 R^4 - 6 R^2 + 1) + D_{15} (4 R^4 - 3 R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{16} R^4 \sin(4A)$$

$$+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5 R^5 - 4 R^3) \cos(3A)$$

$$+ D_{19} (10 R^5 - 12 R^3 + 3 R) \cos(A)$$

$$+ D_{20} (10 R^5 - 12 R^3 + 3 R) \sin(A)$$

$$+ D_{21} (5 R^5 - 4 R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A)$$

20

$$+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6 R^6 - 5 R^4) \cos(4A)$$

$$+ D_{25} (15 R^6 - 20 R^4 + 6 R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{26} (20 R^6 - 30 R^4 + 12 R^2 - 1)$$

$$+ D_{27} (15 R^6 - 20 R^4 + 6 R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{28} (6 R^6 - 5 R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots$$

\dots \dots (b)

ただし、 $D_m$  ( $m$ は2以上の整数)は係数である。なお、 $X$ 軸方向に対称な光学系として設計するには、 $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$ 、 $D_{13}$ 、 $D_{14}$ 、 $D_{20}$ 、 $D_{21}$ 、 $D_{22}$ ...を利用する。

30

【0106】

逆光線追跡で、軸上主光線5の第1透過面11への入射角  $\theta_1$  が、

$$20^\circ > \theta_1 > -30^\circ \quad \dots (5)$$

を満たすことが望ましい(法線に対して、反時計回りが正とする。 )。

【0107】

この条件式(5)の下限の $-30^\circ$ を越えると、第1透過面11で発生する倍率の色収差が大きくなる。上限の $20^\circ$ を越えると、可変形状鏡3で反射後、第1反射面14(=第1透過面11との兼用面)で全反射させるために、可変形状鏡3の傾斜角を非常に大きくする必要が生じ、大きな収差が発生する。

40

【0108】

また、逆光線追跡で、軸上主光線5の可変形状鏡3への入射角  $\theta_2$  が、

$$40^\circ > \theta_2 > 5^\circ \quad \dots (6)$$

を満たすことが好ましい。

【0109】

この条件式(6)の上限を越えると、可変形状鏡3の突出量が大きくなり、また第1反射面14での反射位置までの距離が大きくなるので、光学系が大型化する。また、他の面で補正し切れない程の偏心収差(特に、偏心によるコマ収差)が発生するので、第1反射面14で発生する収差を少ない面数で補正するには、上限の $40^\circ$ を越えないことが望まし

50

い。下限の  $5^\circ$  を越えると、可変形状鏡 3 での反射光が瞳 1 方向に戻るので、光学系が構成できなくなる。

【0110】

ここでは、能動型反射光学素子として可変形状鏡 3 を用いたが、液晶レンズ等透過型能動型光学素子を用いてもよい。

【0111】

図 2 に、実施例 2 の図 1 と同様の光路図を示す。この実施例は、実施例 1 の構成に DOE (回折光学素子) 6 を追加したものであり、可変形状鏡 3 の製作性を改善したり、可変形状鏡 3 を高速駆動するために、可変形状鏡 3 の変形量・変位量を小さくすると、可変形状鏡 3 のパワーが弱くなるので、その分偏心プリズム 2 のパワーを強くする必要がある。その結果、光学系全体の色収差が増加してしまう。この実施例のように、DOE 6 を使うことで、色収差の発生を抑制し、可変形状鏡 3 の変形に伴う色収差の変動もほとんどなくすることができている。

10

【0112】

この実施例の水平画角  $25^\circ$ 、垂直画角  $18.9^\circ$ 、入射瞳(観察者瞳孔あるいは回旋中心)径 6 mm、アイリリーフ 27 mm、映像表示素子是对角 0.55 インチ、横 11.18 mm × 縦 8.38 mm の LCD (液晶表示素子) を用いており、後記する数値データで示す数値実施例として、可変形状鏡 3 が変形することで、遠点 - 2 m (可変形状鏡 3 の変形量大) ~ 近点 - 0.25 m (可変形状鏡 3 の変形量小) の範囲で虚像位置を変動する場合を示す。

20

【0113】

この実施例においては、虚像から映像表示素子 4 に向かう逆光線追跡で、虚像からの光は、絞り(観察者瞳孔あるいは回旋中心) 1 を経て、偏心プリズム 2 の第 1 透過面 11 から偏心プリズム 2 に入り、第 2 透過面 12 から一旦偏心プリズム 2 から外に出て、可変形状鏡 3 で反射し、第 3 透過面 13 から再び偏心プリズム 2 に入射し、第 1 反射面 14 で全反射した後、第 4 透過面 15 から偏心プリズム 2 の外に出て、DOE 6 の入射側の回折面 7 で回折され、映像表示素子 4 に結像する。偏心プリズム 2 の第 1 透過面 11 と第 1 反射面 14 は同一面にて形成され、反射と透過の兼用面となっており、また、第 2 透過面 12 と第 3 透過面 13 も同一面にて形成されている。

30

【0114】

この実施例における DOE 6 は、光軸に垂直で回転対称なパターンを持つようにしている。

【0115】

なお、この実施例では、偏心プリズム 2 と映像表示素子 4 の間に DOE 6 を配置しているが、偏心プリズム 2 の透過面や反射面を DOE としてもよい。この場合、新たな光学素子を追加する必要がないので、部品点数の増加に伴う光学系の大型化やコストアップがない。また、位置合わせ調整作業を複雑にすることもない。

【0116】

図 3 に、実施例 3 の図 1 と同様の光路図を示す。この実施例の水平画角  $25^\circ$ 、垂直画角  $18.9^\circ$ 、入射瞳(観察者瞳孔あるいは回旋中心)径 6 mm、アイリリーフ 28 mm、映像表示素子是对角 0.29 インチ、横 5.9 mm × 縦 4.4 mm の LCD (液晶表示素子) を用いる例である。

40

【0117】

図 3 において、虚像から映像表示素子 4 に向かう逆光線追跡で、虚像からの光は、絞り(観察者瞳孔あるいは回旋中心) 1 を経て、偏心プリズム 2 の第 1 透過面 11 から偏心プリズム 2 に入り、第 1 反射面 12 で反射、第 2 反射面 13 で全反射した後に、一度中間像を偏心プリズム 2 内に結像し、第 3 反射面 14 で反射後に、第 2 透過面 15 から一旦偏心プリズム 2 から外に出て、可変形状鏡 3 で反射し、第 3 透過面 16 から再び偏心プリズム 2 に入射し、第 4 透過面 17 から偏心プリズム 2 外に出て映像表示素子 4 に結像する。偏心プリズム 2 の第 1 透過面 11 と第 2 反射面 13 は同一面にて形成され、反射と透過の兼用

50

面となっており、また、第2透過面15と第3透過面16も同一面にて形成されている。

【0118】

この実施例においては、虚像から映像表示素子4に向かう逆光線追跡で、虚像を一度中間像として結像した後に、再度像面（映像表示素子4）に結像する光学系において、可変形状鏡3を瞳（絞り1と共役な位置）付近に配置しているため、可変形状鏡3の大きさ・変形量が小さく、可変形状鏡3を高速変形することができる。その結果、調節位置を輻輳位置に高速移動することができるし、図11のように複数の虚像を奥行き方向（光軸方向）に形成する場合の虚像形成枚数を増やすこともできる。

【0119】

ここでは、図7に示すように外周部固定で変形する可変形状鏡3に対する設計を行っている。このとき、虚像の位置が-2mのときの可変形状鏡3の最大変形量は $23\mu\text{m}$ で、虚像の位置が-0.25mのときの可変形状鏡3の最大変形量は $8\mu\text{m}$ である。当然ながら可変形状鏡3の変形量を増やせば、虚像の位置をより近点より遠点にすることができる。また、可変形状鏡3の大きさは5mm弱である。

【0120】

ここでは、後記する数値データで示す数値実施例のように、可変形状鏡3を表現する自由曲面項の $C_4 = C_6$ 、 $C_{11} = C_{15}$ 、 $C_{13}$ を使用し、X軸とY軸に対称な同心状の変形となるように設計している。

【0121】

本実施例の構成の場合、図3のように、第1反射面12の外界側にシースループリズム8を配置し、その第1反射面12とシースループリズム8との接合面に半透過膜を形成し、シースループリズム8の絞り1と反対側に液晶シャッター等の外界光の透過率を切り換える手段を配置すれば、スーパーインポーズ機能やシースルー機能が付加できる。ここで、シースループリズム8とは、偏心プリズム2とシースループリズム8の合成パワーが外界光に対して略0となる光学素子のことである。

【0122】

本実施例では、偏心光学系を1個の自由曲面プリズム2で構成し、ディストーション1%以下、像面（映像表示素子面）での主光線傾角 $1.7^\circ$ 以下が達成できている。光学系を複数の自由曲面プリズムで構成すれば、水平画角の拡大、瞳径の拡大、さらなる収差補正等ができる。特に、中間像付近（図の矢印Aで示した位置近傍）で自由曲面プリズム2個に分割すれば、構成上無理がない。

【0123】

図4に、実施例4の図1と同様の光路図を示す。この実施例は、実施例3の光学系で、映像表示素子4の大きさを大きくし、画角を拡大したものである。この実施例の水平画角 $35^\circ$ 、垂直画角 $26.5^\circ$ 、入射瞳（観察者瞳孔あるいは回旋中心）径6mm、アイリリーフ28mm、映像表示素子是对角0.47インチ、横9.6mm×縦7.2mmのLCD（液晶表示素子）を用いる例である。

【0124】

この実施例においては、虚像から映像表示素子4に向かう逆光線追跡で、虚像からの光は、絞り（観察者瞳孔あるいは回旋中心）1を経て、偏心プリズム2の第1透過面11から偏心プリズム2に入り、第1反射面12で反射、第2反射面13で全反射した後に、一度中間像を偏心プリズム2内に結像し、第3反射面14で反射後に、第2透過面15から一旦偏心プリズム2から外に出て、可変形状鏡3で反射し、第3透過面16から再び偏心プリズム2に入射し、第4透過面17から偏心プリズム2外に出て映像表示素子4に結像する。偏心プリズム2の第1透過面11と第2反射面13は同一面にて形成され、反射と透過の兼用面となっており、また、第2透過面15と第3透過面16も同一面にて形成されている。

【0125】

図5に、実施例5の図1と同様の光路図を示す。この実施例は、実施例4の中間像付近でプリズム2個に分割した構成の例である。この実施例の水平画角 $35^\circ$ 、垂直画角 $26.5^\circ$ 、

10

20

30

40

50



5°、入射瞳（観察者瞳孔あるいは回旋中心）径 6 mm、アイリリーフ 2.9 mm、映像表示素子是对角 0.47 インチ、横 9.6 mm × 縦 7.2 mm の LCD（液晶表示素子）を用いる例である。

#### 【0126】

この実施例においては、虚像から映像表示素子 4 に向かう逆光線追跡で、虚像からの光は、絞り（観察者瞳孔あるいは回旋中心）1 を経て、第 1 偏心プリズム 2<sub>1</sub> の第 1 透過面 11 から第 1 偏心プリズム 2<sub>1</sub> に入り、第 1 反射面 12 で反射、第 2 反射面 13 で全反射した後、第 1 偏心プリズム 2<sub>1</sub> から外に出て第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> の第 1 透過面 15 から第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> に入る。この第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> の第 1 透過面 15 近傍に一度中間像を結像し、第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> の第 1 反射面 16 で反射後に、その第 2 透過面 17 から一旦第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> から外に出て、可変形状鏡 3 で反射し、その第 3 透過面 18 から再び第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> に入射し、その第 4 透過面 19 から第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> 外に出て映像表示素子 4 に結像する。第 1 偏心プリズム 2<sub>1</sub> の第 1 透過面 11 と第 2 反射面 13 は同一面にて形成され、反射と透過の兼用面となっており、また、第 2 偏心プリズム 2<sub>2</sub> の第 2 透過面 17 と第 3 透過面 18 も同一面にて形成されている。

10

#### 【0127】

図 6 に、実施例 6 の光路図を示す。この実施例は、結像光学系の例として、CD、DVD 兼用対物光学系に可変形状鏡 3 を使った光学系であり、無限遠の光源から記録面（像面）25 に向かう順光線追跡で、光源からの光は、可変形状鏡 3 で反射して光路が 90° 折り曲げられ、第 1 面 21、第 2 面 22 共にアナモルフィック面の対物レンズ 20 を経て、DVD の場合はカバーガラス 23（図 6（a））を経て、CD の場合はカバーガラス 23'（図 6（b））を経て、記録面（像面）25 に結像する。絞りは、対物レンズ 20 の第 1 面 21 の位置にある。

20

#### 【0128】

DVD 用の場合の照明光の波長 = 640 nm、NA 0.6、カバーガラス厚 0.6 mm で、CD 用の場合の照明光の波長 = 780 nm、NA 0.45、カバーガラス厚 1.2 mm で、回折限界の性能にする必要がある。

#### 【0129】

従来技術には、対物レンズ表面に回折面を加工し、DVD 用には DOE の 0 次回折光を使い、CD 用には DOE の 1 次回折光を使う方式等がある。

30

#### 【0130】

本実施例では、可変形状鏡 3 の変形と対物レンズ 20 のフォーカシングにより、両状態で良好な性能を補償している。そのため、複数回折光を使う従来技術より光量が大きくアップしている。また、可変形状鏡 3 が光路折り曲げミラーの役割も持つので、部品点数も増えていない。

#### 【0131】

なお、多層記録用として使ってもよい。また、可変形状鏡 3 にフォーカシング機能を持たせてもよい。

#### 【0132】

以下、上記実施例 1～6 の数値データ（レンズデータ）を示す。

40

#### 【0133】

本発明で使用する自由曲面とは、前記の式（a）で定義されるものである。この定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。

#### 【0134】

また、非球面は、以下の定義式で与えられる回転対称非球面である。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線が回転対称非球面の軸となる。

$$Z = (Y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + K) Y^2 / R^2\}^{1/2}] \\ + AY^4 + BY^6 + CY^8 + DY^{10} + \dots \quad (c)$$

ただし、Zを光の進行方向を正とした光軸（軸上主光線）とし、Yを光軸と垂直な方向にとる。ここで、Rは近軸曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、...はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。この定義式のZ軸が回転対称非球面の軸となる。

【0135】

10

また、アナモルフィック面の形状は以下の式により定義される。面形状の原点を通り、光学面に垂直な直線がアナモルフィック面の軸となる。

【0136】

$$Z = (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) C_x^2 \cdot X^2 \\ - (1 + K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] \\ + \sum R_n \{ (1 - P_n) X^2 + (1 + P_n) Y^2 \}^{(n+1)}$$

ここで、例としてn = 4（4次項）を考えると、展開したとき、以下の式（a）で表すことができる。

20

【0137】

$$Z = (C_x \cdot X^2 + C_y \cdot Y^2) / [1 + \{1 - (1 + K_x) C_x^2 \cdot X^2 \\ - (1 + K_y) C_y^2 \cdot Y^2\}^{1/2}] \\ + R_1 \{ (1 - P_1) X^2 + (1 + P_1) Y^2 \}^2 \\ + R_2 \{ (1 - P_2) X^2 + (1 + P_2) Y^2 \}^3 \\ + R_3 \{ (1 - P_3) X^2 + (1 + P_3) Y^2 \}^4 \\ + R_4 \{ (1 - P_4) X^2 + (1 + P_4) Y^2 \}^5 \\ \dots \quad (d)$$

30

ただし、Zは面形状の原点に対する接平面からのズレ量、C<sub>x</sub>はX軸方向曲率、C<sub>y</sub>はY軸方向曲率、K<sub>x</sub>はX軸方向円錐係数、K<sub>y</sub>はY軸方向円錐係数、R<sub>n</sub>は非球面項回転対称成分、P<sub>n</sub>は非球面項回転非対称成分である。なお、X軸方向曲率半径R<sub>x</sub>、Y軸方向曲率半径R<sub>y</sub>と曲率C<sub>x</sub>、C<sub>y</sub>の間には、

$$R_x = 1 / C_x, \quad R_y = 1 / C_y$$

の関係にある。

【0138】

また、回折光学素子に関しては、例えば「光学系デザイナーのための小型光学エレメント」第6、7章（オプトロニクス社刊）や「SPIE」第126巻、p. 46～53（1977）等に記載されており、可視域でのアップベ数 = -3.453、部分分散比<sub>g,F</sub> = 0.03であり、その回折格子の間隔を自由に変えることが可能なため、任意の非球面レンズ面と等価に扱える。以下では、「SPIE」第126巻、p. 46～53（1977）に記載されている「ultra-high index method」を用いている。具体的には、厚みが0で、波長587.56nmのときの仮想屈折率を1.001で表現している。したがって、後述する数値データにおいても、（c）式のような通常の非球面式にて表現される。また、回折面と厚みが0で接する面は回折光学素子の基板形状である。そして、実際の製造においては、回折面の非球面係数と基板形状との差及び屈折率から位相変化を求め、この位相変化をグレーティングのピッチに換算して基板表面上にグレー

40

50

ティングを形成する。

【 0 1 3 9 】

なお、データの記載されていない自由曲面、非球面に関する項は 0 である。屈折率については、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。

【 0 1 4 0 】

また、実施例 1 ～ 5 の座標の取り方は、図 1 に示すように、逆光線追跡において、入射瞳 1 位置を原点とし、軸上主光線（観察者視軸）5 から光学系に向かう方向を正とする Z 軸、軸上主光線 5 に直交し、入射瞳 1 から見て上下方向の下から上を正とする Y 軸、軸上主光線 5 に直交し、入射瞳 1 から見て左右方向の右から左を正とする X 軸と定義する。

10

【 0 1 4 1 】

偏心面は、その座標系の原点から、その面の面頂位置のシフト（X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向をそれぞれ X, Y, Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記（a）式の Z 軸、回転対称非球面については、前記（c）式の Z 軸）の X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれを中心とするティルト（それぞれ  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ （°））で与えられる。なお、その場合、 $\alpha$  の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\beta$  の正は Z 軸の正方向に対して時計回りを意味する。偏心の順序は、X シフト、Y シフト、Z シフト、 $\alpha$  ティルト、 $\beta$  ティルト、 $\gamma$  ティルトの順である。

【 0 1 4 2 】

なお、実施例 6 における偏心データは可変形状鏡 3 の X 軸回りのティルト  $\alpha$  のみが与えられており、共軸光学系と同様に、面間隔、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。

20

【 0 1 4 3 】

また、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、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【 0 1 4 4 】

以下に、上記実施例 1 ～ 6 の数値データを示す。なお、以下の表中の“ F F S ”は自由曲面、“ A S S ”は非球面、“ R E ”は反射面、“ D M ”は可変形状鏡、“ D O E ”は回折面、“ A N M ”はアナモルフィック面をそれぞれ示す。また、“ O D ”は物体距離（虚像位置）を示す。

30

【 0 1 4 5 】

## 実施例 1

面番号 物体面	曲率半径 $\infty$	面間隔 OD	偏心	屈折率	アッベ数	
1	$\infty$ (絞り面)					
2	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.3	
3	F F S ②		偏心(2)			
4	F F S ③ (DM)		偏心(3)			10
5	F F S ②		偏心(2)	1.5254	56.3	
6	F F S ① (RE)		偏心(1)	1.5254	56.3	
7	F F S ④		偏心(4)			
像 面	$\infty$		偏心(5)			
F F S ①						
C <sub>4</sub>	$6.4827 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$1.1855 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-7.6394 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$3.0331 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.6538 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$4.6539 \times 10^{-5}$	20
C <sub>15</sub>	$-1.0349 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$2.9307 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-1.7285 \times 10^{-6}$	
C <sub>21</sub>	$1.7477 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$6.6313 \times 10^{-8}$	C <sub>24</sub>	$-9.2108 \times 10^{-8}$	
C <sub>26</sub>	$3.3265 \times 10^{-8}$	C <sub>28</sub>	$-2.0855 \times 10^{-9}$			
F F S ②						
C <sub>4</sub>	$-9.3364 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-3.6436 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.0570 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$-1.9729 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-2.5454 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-4.6418 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$-8.8220 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-2.0508 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-1.3461 \times 10^{-6}$	30
C <sub>21</sub>	$-1.0710 \times 10^{-6}$	C <sub>22</sub>	$-7.3115 \times 10^{-8}$	C <sub>24</sub>	$4.9598 \times 10^{-7}$	
C <sub>26</sub>	$1.8087 \times 10^{-7}$	C <sub>28</sub>	$-2.7395 \times 10^{-9}$			
F F S ③						
OD : -2000mm						
C <sub>4</sub>	$-2.1643 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-9.3176 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$-2.0983 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$-6.9398 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-1.5022 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$4.8204 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$-3.6357 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$2.4726 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-3.1222 \times 10^{-7}$	40
C <sub>21</sub>	$1.3631 \times 10^{-6}$	C <sub>22</sub>	$1.0422 \times 10^{-7}$	C <sub>24</sub>	$-4.3240 \times 10^{-7}$	

$$C_{26} -5.6241 \times 10^{-8} \quad C_{28} -2.2443 \times 10^{-8}$$

OD : -250mm

$$C_4 -1.1784 \times 10^{-3} \quad C_6 -3.5504 \times 10^{-5} \quad C_8 -2.1893 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -7.0093 \times 10^{-5} \quad C_{11} -3.1537 \times 10^{-6} \quad C_{13} 4.9274 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} -3.3957 \times 10^{-6} \quad C_{17} 2.6376 \times 10^{-6} \quad C_{19} -3.9708 \times 10^{-7}$$

$$C_{21} 1.4024 \times 10^{-6} \quad C_{22} 1.2632 \times 10^{-7} \quad C_{24} -4.6279 \times 10^{-7}$$

$$C_{26} -5.2160 \times 10^{-8} \quad C_{28} -2.5375 \times 10^{-8}$$

10

FFS④

$$C_4 -1.5359 \times 10^{-2} \quad C_6 3.0058 \times 10^{-2} \quad C_8 2.4068 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -1.6693 \times 10^{-3} \quad C_{11} 1.1453 \times 10^{-4} \quad C_{13} 1.6033 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} -6.8667 \times 10^{-5} \quad C_{17} -1.2281 \times 10^{-5} \quad C_{19} 1.6290 \times 10^{-5}$$

$$C_{21} 9.2242 \times 10^{-6}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -4.81 \quad Z \quad 27.00$$

20

$$\alpha \quad 16.71 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 1.69 \quad Z \quad 35.00$$

$$\alpha \quad -15.55 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(3)

OD : -2000mm

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.29 \quad Z \quad 35.49$$

30

$$\alpha \quad -14.68 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

OD : -250mm

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.33 \quad Z \quad 35.33$$

$$\alpha \quad -14.68 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 18.83 \quad Z \quad 31.32$$

40

$$\alpha \quad 71.61 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 25.00 \quad Z \quad 36.29$$

$$\alpha \quad 44.55 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

【 0 1 4 6 】

## 実施例 2

面番号 物体面	曲率半径 $\infty$	面間隔 OD	偏心	屈折率	アッペ数
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DM)		偏心(3)		10
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.3
6	FFS① (RE)		偏心(1)	1.5254	56.3
7	FFS④		偏心(4)		
8	ASS① (DOE)		偏心(5)	1001.0000	-3.5
9	$\infty$		偏心(6)	1.5254	56.3
10	$\infty$		偏心(7)		
像 面	$\infty$		偏心(8)		20
ASS①					
R 198580.03					
K 0.0000					
A $1.4656 \times 10^{-7}$					
B $-5.0560 \times 10^{-9}$					
C $7.6597 \times 10^{-11}$					
D $-4.1270 \times 10^{-13}$					30
FFS①					
C <sub>4</sub>	$2.6183 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$3.4977 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.1398 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$6.6838 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-5.9924 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-7.9476 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-7.2903 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-6.4700 \times 10^{-8}$	C <sub>19</sub>	$2.2854 \times 10^{-7}$
C <sub>21</sub>	$2.3976 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$-9.2830 \times 10^{-9}$	C <sub>24</sub>	$-3.6068 \times 10^{-9}$
C <sub>26</sub>	$-1.2259 \times 10^{-8}$	C <sub>28</sub>	$-1.2365 \times 10^{-8}$		
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.2111 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-9.4624 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.1672 \times 10^{-4}$

$C_{10}$	$2.2766 \times 10^{-6}$	$C_{11}$	$-5.0160 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$2.2059 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$4.7875 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$-5.9398 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$-8.6833 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-5.6712 \times 10^{-7}$	$C_{22}$	$1.1118 \times 10^{-7}$	$C_{24}$	$-3.0676 \times 10^{-7}$
$C_{26}$	$-2.8293 \times 10^{-7}$	$C_{28}$	$-2.0502 \times 10^{-7}$		

## F F S ③

OD : -2000mm

$C_4$	$-1.0357 \times 10^{-3}$	$C_6$	$1.1881 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$-3.1266 \times 10^{-6}$
$C_{13}$	$-2.3273 \times 10^{-5}$	$C_{15}$	$-3.8181 \times 10^{-5}$	$C_{22}$	$-6.3556 \times 10^{-8}$
$C_{24}$	$1.9644 \times 10^{-7}$	$C_{26}$	$1.7667 \times 10^{-7}$	$C_{28}$	$1.2875 \times 10^{-7}$

10

OD : -250mm

$C_4$	$8.5782 \times 10^{-5}$	$C_6$	$1.2073 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-3.7428 \times 10^{-6}$
$C_{13}$	$-2.3093 \times 10^{-5}$	$C_{15}$	$-4.0075 \times 10^{-5}$	$C_{22}$	$-6.2107 \times 10^{-8}$
$C_{24}$	$1.7981 \times 10^{-7}$	$C_{26}$	$1.4762 \times 10^{-7}$	$C_{28}$	$1.3967 \times 10^{-7}$

20

## F F S ④

$C_4$	$-3.0248 \times 10^{-5}$	$C_6$	$1.0615 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-3.0387 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.9477 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-2.6574 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$-7.6651 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$-1.5698 \times 10^{-4}$	$C_{17}$	$1.1402 \times 10^{-6}$	$C_{19}$	$3.1978 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$2.6701 \times 10^{-6}$				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	1.90	Z	27.11
$\alpha$	14.27	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

30

## 偏心(2)

X	0.00	Y	1.80	Z	37.00
$\alpha$	-14.33	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(3)

OD : -2000mm

X	0.00	Y	0.27	Z	37.51
$\alpha$	-12.58	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

40

OD : -250mm

X 0.00 Y 0.31 Z 37.34

$\alpha$  -12.58  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 18.30 Z 30.86

$\alpha$  64.50  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(5)

X 0.00 Y 20.28 Z 33.85

$\alpha$  50.32  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(6)

X 0.00 Y 20.28 Z 33.85

$\alpha$  50.32  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 21.80 Z 35.10

$\alpha$  50.32  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 25.00 Z 37.76

$\alpha$  50.32  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【 0 1 4 7 】

10

20

。



## 実施例 3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	OD			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RE)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RE)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RE)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④		偏心(4)		
7	FFS⑤ (DM)		偏心(5)		
8	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.3
9	FFS⑥		偏心(6)		
像 面	$\infty$		偏心(7)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-2.2920 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$1.1128 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$7.9606 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$2.9664 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-1.1849 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$-2.5866 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.2919 \times 10^{-4}$	C <sub>17</sub>	$-2.0032 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-2.5246 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$1.5506 \times 10^{-6}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.9345 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.0303 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.2961 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-1.5121 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.4736 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-1.4456 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$5.9970 \times 10^{-6}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$-2.0546 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.3683 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.1157 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-6.5925 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$6.7679 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-9.4751 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-9.6979 \times 10^{-6}$				
FFS④					
C <sub>4</sub>	$1.4250 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$2.1273 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-2.7747 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$-2.3484 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$2.9067 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$1.4823 \times 10^{-4}$

$C_{15} \quad 6.5508 \times 10^{-5}$

FFS⑤

OD : -2000mm

$C_4 \quad 3.1732 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 3.1732 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad -2.3700 \times 10^{-5}$

$C_{13} \quad -3.9707 \times 10^{-4} \quad C_{15} \quad -2.3700 \times 10^{-5}$

OD : -250mm

$C_4 \quad 1.0884 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 1.0884 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad -7.7782 \times 10^{-6}$

$C_{13} \quad 3.4603 \times 10^{-5} \quad C_{15} \quad -7.7782 \times 10^{-6}$

FFS⑥

$C_4 \quad -3.3958 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -8.0401 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 9.6098 \times 10^{-4}$

$C_{10} \quad 3.3240 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad -1.5223 \times 10^{-3} \quad C_{13} \quad -2.0565 \times 10^{-3}$

$C_{15} \quad -2.7354 \times 10^{-4}$

偏心(1)

X 0.00 Y -10.80 Z 28.00

$\alpha$  29.04  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.93 Z 35.50

$\alpha$  -25.87  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 28.68 Z 40.50

$\alpha$  21.19  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 27.02 Z 32.39

$\alpha$  -27.38  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(5)

OD : -2000mm

X 0.00 Y 28.00 Z 31.18

$\alpha$  -22.37  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

OD : -250mm

10

20

30

40

X	0.00	Y	28.00	Z	31.19
---	------	---	-------	---	-------

$\alpha$	-22.37	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
----------	--------	---------	------	----------	------

偏心(6)

X	0.00	Y	17.76	Z	40.00
---	------	---	-------	---	-------

$\alpha$	-42.36	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
----------	--------	---------	------	----------	------

偏心(7)

X	0.00	Y	16.65	Z	42.25
---	------	---	-------	---	-------

$\alpha$	-49.20	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
----------	--------	---------	------	----------	------

【 0 1 4 8 】

## 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	$\infty$	OD			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RE)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RE)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RE)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④		偏心(4)		
7	FFS⑤ (DM)		偏心(5)		
8	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.3
9	FFS⑥		偏心(6)		
像 面	$\infty$		偏心(7)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-7.2751 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$4.0805 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-3.8871 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$4.1564 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-5.0313 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.7725 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.4619 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$4.6673 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub>	$1.0958 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$7.6502 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$3.2798 \times 10^{-8}$	C <sub>24</sub>	$4.2348 \times 10^{-8}$
C <sub>26</sub>	$-2.4746 \times 10^{-8}$	C <sub>28</sub>	$-1.3956 \times 10^{-8}$		
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.5863 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-7.9500 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-5.2050 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-1.2825 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-2.7061 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$4.8033 \times 10^{-7}$
C <sub>15</sub>	$2.4691 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$3.4109 \times 10^{-8}$	C <sub>19</sub>	$-3.7917 \times 10^{-7}$
C <sub>21</sub>	$-7.4471 \times 10^{-8}$	C <sub>22</sub>	$4.6510 \times 10^{-9}$	C <sub>24</sub>	$-1.1290 \times 10^{-8}$
C <sub>26</sub>	$4.7242 \times 10^{-9}$	C <sub>28</sub>	$1.1852 \times 10^{-9}$		
FFS③					
C <sub>4</sub>	$-1.2685 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-9.7121 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$2.7140 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$1.0534 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$3.5633 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.1414 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-5.1446 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$3.1790 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$3.5504 \times 10^{-6}$

C <sub>21</sub>	$1.3942 \times 10^{-5}$	C <sub>22</sub>	$1.0076 \times 10^{-7}$	C <sub>24</sub>	$1.1643 \times 10^{-6}$
C <sub>26</sub>	$1.1722 \times 10^{-6}$	C <sub>28</sub>	$-6.4800 \times 10^{-7}$		

F F S ④

C <sub>4</sub>	$2.4674 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$3.0296 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.2526 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$-5.1782 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$9.7351 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$4.3111 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-2.1527 \times 10^{-4}$	C <sub>17</sub>	$3.8429 \times 10^{-5}$	C <sub>19</sub>	$8.5579 \times 10^{-5}$
C <sub>21</sub>	$2.1601 \times 10^{-5}$	C <sub>22</sub>	$-5.1542 \times 10^{-7}$	C <sub>24</sub>	$5.4368 \times 10^{-6}$
C <sub>26</sub>	$8.8504 \times 10^{-6}$	C <sub>28</sub>	$2.7531 \times 10^{-6}$		

10

F F S ⑤

OD : -2000mm

C <sub>4</sub>	$5.4947 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$8.6105 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-3.7017 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.7939 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-2.4419 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-5.7135 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$1.6401 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$-2.6682 \times 10^{-5}$	C <sub>19</sub>	$-7.4994 \times 10^{-5}$
C <sub>21</sub>	$1.5533 \times 10^{-5}$				

20

OD : -250mm

C <sub>4</sub>	$3.8620 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$5.9788 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-3.9203 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.8624 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-2.9318 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$1.5786 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$7.8154 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$-3.2852 \times 10^{-5}$	C <sub>19</sub>	$2.6938 \times 10^{-5}$
C <sub>21</sub>	$2.0987 \times 10^{-5}$				

F F S ⑥

C <sub>4</sub>	$-2.2461 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-8.0556 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-9.0104 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$8.1158 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-2.5003 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$6.3367 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$-5.3986 \times 10^{-4}$	C <sub>17</sub>	$7.2976 \times 10^{-5}$	C <sub>19</sub>	$-1.3216 \times 10^{-5}$
C <sub>21</sub>	$6.2543 \times 10^{-5}$				

30

偏心(1)

X	0.00	Y	-7.88	Z	28.00
$\alpha$	11.78	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-0.34	Z	35.91
---	------	---	-------	---	-------

40

$\alpha$  -20.35  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 28.78 Z 39.78

$\alpha$  30.54  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 29.92 Z 28.92

$\alpha$  -14.76  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(5)

OD : -2000mm

X 0.00 Y 28.50 Z 27.50

$\alpha$  -12.57  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

OD : -250mm

X 0.00 Y 28.50 Z 27.51

$\alpha$  -12.57  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(6)

X 0.00 Y 18.92 Z 40.68

$\alpha$  -31.44  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 17.89 Z 44.06

$\alpha$  -33.43  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【 0 1 4 9 】

10

20

30

## 実施例 5

面番号 物体面	曲率半径 $\infty$	面間隔 OD	偏心	屈折率	アッペ数	
1	$\infty$ (絞り面)					
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3	
3	FFS② (RE)		偏心(2)	1.5254	56.3	
4	FFS① (RE)		偏心(1)	1.5254	56.3	10
5	FFS③		偏心(3)			
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.3	
7	FFS⑤ (RE)		偏心(5)	1.5254	56.3	
8	FFS⑥		偏心(6)			
9	FFS⑦ (DM)		偏心(7)			
10	FFS⑥		偏心(6)	1.5254	56.3	
11	FFS⑧		偏心(8)			20
像 面	$\infty$		偏心(9)			
FFS①						
C <sub>4</sub>	$-1.1761 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-7.4390 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-6.3864 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$-2.4328 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-7.0185 \times 10^{-7}$	C <sub>13</sub>	$3.0716 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$2.4537 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$1.0292 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-1.4145 \times 10^{-7}$	
C <sub>21</sub>	$-6.8253 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$1.7540 \times 10^{-8}$	C <sub>24</sub>	$-8.7664 \times 10^{-8}$	
C <sub>26</sub>	$2.3017 \times 10^{-8}$	C <sub>28</sub>	$-6.8796 \times 10^{-9}$			30
FFS②						
C <sub>4</sub>	$-1.5709 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.3739 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$6.3714 \times 10^{-5}$	
C <sub>10</sub>	$-2.0940 \times 10^{-6}$	C <sub>11</sub>	$-2.7217 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.6789 \times 10^{-6}$	
C <sub>15</sub>	$-5.5528 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$7.2929 \times 10^{-8}$	C <sub>19</sub>	$-3.0026 \times 10^{-7}$	
C <sub>21</sub>	$1.6408 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$3.5525 \times 10^{-9}$	C <sub>24</sub>	$7.1301 \times 10^{-9}$	
C <sub>26</sub>	$3.0552 \times 10^{-9}$	C <sub>28</sub>	$2.1278 \times 10^{-9}$			40
FFS③						
C <sub>4</sub>	$9.5475 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$7.3748 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$1.2225 \times 10^{-2}$	

$C_{10}$	$2.3380 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-2.9767 \times 10^{-4}$	$C_{13}$	$-4.9894 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$-1.2317 \times 10^{-3}$	$C_{17}$	$-5.8066 \times 10^{-5}$	$C_{19}$	$-1.6969 \times 10^{-4}$
$C_{21}$	$9.6162 \times 10^{-5}$	$C_{22}$	$2.0832 \times 10^{-6}$	$C_{24}$	$7.6778 \times 10^{-6}$
$C_{26}$	$1.4443 \times 10^{-5}$	$C_{28}$	$-1.2126 \times 10^{-6}$		

## F F S ④

$C_4$	$1.4927 \times 10^{-2}$	$C_6$	$2.4037 \times 10^{-2}$	$C_8$	$1.3372 \times 10^{-2}$
$C_{10}$	$8.8155 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$3.3296 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$1.1949 \times 10^{-3}$
$C_{15}$	$-9.7024 \times 10^{-4}$	$C_{17}$	$-3.7652 \times 10^{-5}$	$C_{19}$	$-2.9397 \times 10^{-4}$
$C_{21}$	$7.9668 \times 10^{-5}$	$C_{22}$	$1.9405 \times 10^{-6}$	$C_{24}$	$-1.2207 \times 10^{-5}$
$C_{26}$	$6.2501 \times 10^{-7}$	$C_{28}$	$-6.5572 \times 10^{-7}$		

## F F S ⑤

$C_4$	$-3.4175 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-1.3349 \times 10^{-3}$	$C_8$	$8.4704 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$5.8417 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$7.5211 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$1.2029 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$7.3742 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$1.4455 \times 10^{-5}$	$C_{19}$	$8.3160 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$9.1066 \times 10^{-6}$	$C_{22}$	$-2.3061 \times 10^{-7}$	$C_{24}$	$2.2946 \times 10^{-6}$
$C_{26}$	$-3.9266 \times 10^{-8}$	$C_{28}$	$4.2252 \times 10^{-7}$		

## F F S ⑥

$C_4$	$3.2274 \times 10^{-2}$	$C_6$	$3.0486 \times 10^{-2}$	$C_8$	$1.4878 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$2.8184 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$5.0481 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$4.3724 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$-7.5309 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$-2.6521 \times 10^{-5}$	$C_{19}$	$7.2430 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$1.0554 \times 10^{-5}$	$C_{22}$	$-7.5556 \times 10^{-7}$	$C_{24}$	$8.6567 \times 10^{-6}$
$C_{26}$	$-3.0261 \times 10^{-6}$	$C_{28}$	$3.6689 \times 10^{-7}$		

## F F S ⑦

OD : -2000mm

$C_4$	$1.9026 \times 10^{-2}$	$C_6$	$1.8033 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-9.4920 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-4.8559 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$-7.8992 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$2.9677 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$4.8856 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$6.9249 \times 10^{-6}$	$C_{19}$	$-1.8067 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$-1.3979 \times 10^{-6}$				

OD : -250mm

10

20

30

40



$C_4$	$1.7582 \times 10^{-2}$	$C_6$	$1.6391 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-9.8808 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-4.9040 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$-1.2205 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$2.9652 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$5.7402 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$1.3372 \times 10^{-5}$	$C_{19}$	$-2.8693 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$-2.4700 \times 10^{-6}$				

## F F S ⑧

$C_4$	$1.9576 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-4.4900 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-5.6119 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$-1.3040 \times 10^{-2}$	$C_{11}$	$-1.1099 \times 10^{-3}$	$C_{13}$	$1.2329 \times 10^{-3}$
$C_{15}$	$-1.0829 \times 10^{-3}$	$C_{17}$	$3.3759 \times 10^{-4}$	$C_{19}$	$1.3497 \times 10^{-4}$
$C_{21}$	$3.4614 \times 10^{-4}$				

10

## 偏心(1)

X	0.00	Y	-7.34	Z	28.72
$\alpha$	-1.98	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	-1.18	Z	36.50
$\alpha$	-18.92	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

20

## 偏心(3)

X	0.00	Y	15.70	Z	33.74
$\alpha$	83.50	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	16.36	Z	35.00
$\alpha$	79.08	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

30

## 偏心(5)

X	0.00	Y	28.50	Z	41.20
$\alpha$	24.98	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(6)

X	0.00	Y	27.57	Z	30.69
$\alpha$	-19.04	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

40

## 偏心(7)

OD : -2000mm

X 0.00 Y 27.83 Z 28.20

$\alpha$  -19.98  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

OD : -250mm

X 0.00 Y 27.79 Z 28.33

$\alpha$  -19.98  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 17.49 Z 42.80

$\alpha$  -48.98  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(9)

X 0.00 Y 17.37 Z 43.70

$\alpha$  -25.38  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

[ 0 1 5 0 ]

## 実施例6 (DVD用)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	$\infty$			
1	FFS①	1.97	偏心(1)		
2	ANM① (絞り面)	1.51		1.6935	53.3
3	ANM②	1.23			
4	$\infty$	0.60		1.5842	30.8
像 面	$\infty$				10
ANM①					
R x	1.80				
R y	1.79				
K x	$-7.5060 \times 10^{-1}$				
K y	$-7.7079 \times 10^{-1}$				
P 1	$-1.0183 \times 10^{-2}$				20
P 2	$-1.6798 \times 10^{-2}$				
P 3	$4.6657 \times 10^1$				
P 4	0.0000				
R 1	$8.0497 \times 10^{-3}$				
R 2	$1.0456 \times 10^{-3}$				
R 3	$-3.8750 \times 10^{-14}$				
R 4	0.0000				30
ANM②					
R x	-22.08				
R y	-25.49				
K x	$-3.1777 \times 10^2$				
K y	$-1.6456 \times 10^2$				
P 1	$-1.1990 \times 10^{-2}$				
P 2	$4.4290 \times 10^{-3}$				40
P 3	$1.8546 \times 10^{-2}$				

P 4     0.0000  
 R 1      $1.6118 \times 10^{-2}$   
 R 2      $-5.4967 \times 10^{-3}$   
 R 3      $8.2607 \times 10^{-4}$   
 R 4     0.0000

## F F S ①

C <sub>4</sub>	$9.2504 \times 10^{-4}$	C <sub>6</sub>	$4.7395 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$-5.0138 \times 10^{-7}$	
C <sub>10</sub>	$-5.0168 \times 10^{-7}$	C <sub>11</sub>	$-4.4910 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$-3.2666 \times 10^{-4}$	
C <sub>15</sub>	$-4.3536 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$4.2060 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub>	$3.7101 \times 10^{-7}$	
C <sub>21</sub>	$1.4240 \times 10^{-7}$	C <sub>22</sub>	$4.9005 \times 10^{-5}$	C <sub>24</sub>	$5.5770 \times 10^{-5}$	
C <sub>26</sub>	$1.4966 \times 10^{-5}$	C <sub>28</sub>	$-4.9303 \times 10^{-7}$			

10

## 偏心(1)

X     0.00    Y     0.00    Z     0.00  
 $\alpha$  -45.00    $\beta$      0.00     $\gamma$      0.00

20

【 0 1 5 1 】

## 実施例6 (CD用)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	$\infty$			
1	FFS①	2.31	偏心(1)		
2	ANM① (絞り面)	1.51		1.6935	53.3
3	ANM②	0.89			
4	$\infty$	1.20		1.5842	30.8
像 面	$\infty$				10
ANM①					
R x	1.80				
R y	1.79				
K x	$-7.5060 \times 10^{-1}$				
K y	$-7.7079 \times 10^{-1}$				
P 1	$-1.0183 \times 10^{-2}$				20
P 2	$-1.6798 \times 10^{-2}$				
P 3	$4.6657 \times 10^1$				
P 4	0.0000				
R 1	$8.0497 \times 10^{-3}$				
R 2	$1.0456 \times 10^{-3}$				
R 3	$-3.8750 \times 10^{-14}$				
R 4	0.0000				30
ANM②					
R x	-22.08				
R y	-25.49				
K x	$-3.1777 \times 10^2$				
K y	$-1.6456 \times 10^2$				
P 1	$-1.1990 \times 10^{-2}$				
P 2	$4.4290 \times 10^{-3}$				40
P 3	$1.8546 \times 10^{-2}$				

P 4     0.0000  
 R 1      $1.6118 \times 10^{-2}$   
 R 2      $-5.4967 \times 10^{-3}$   
 R 3      $8.2607 \times 10^{-4}$   
 R 4     0.0000

## F F S ①

C <sub>4</sub>	$-7.6026 \times 10^{-4}$	C <sub>6</sub>	$-3.3392 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$-1.4765 \times 10^{-6}$	10
C <sub>10</sub>	$5.8433 \times 10^{-6}$	C <sub>11</sub>	$1.5475 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$1.5087 \times 10^{-4}$	
C <sub>15</sub>	$7.1553 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$4.0667 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-4.2989 \times 10^{-6}$	
C <sub>21</sub>	$-2.3225 \times 10^{-6}$	C <sub>22</sub>	$5.1674 \times 10^{-5}$	C <sub>24</sub>	$1.4378 \times 10^{-4}$	
C <sub>26</sub>	$7.0944 \times 10^{-5}$	C <sub>28</sub>	$8.3914 \times 10^{-6}$			

## 偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00	20
$\alpha$	-45.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	

【 0 1 5 2 】

上記実施例 1 ~ 5 の条件式 ( 1 ) ~ ( 4 ) に関する値は次の通りである。

【 0 1 5 3 】

	L / f	Z 1	Z 2	$\phi$	$\beta_H$	$\beta_V$	30
実施例 1	1.07	2.97	3.37	32.0	1.10	1.19	
実施例 2	1.08	3.22	3.66	28.7	1.13	1.20	
実施例 3	2.11	0.27	0.27	31.3	1.19	1.28	
実施例 4	1.84	0.51	0.51	32.0	1.35	1.17	
実施例 5	1.89	0.28	0.25	23.9	1.27	1.23	

ただし、L : 瞳と偏心光学系の距離

f : 焦点距離

Z 1 : OD = - 2 0 0 0 mm のときの能動型反射光学素子における最大主光線高 / 軸上最大瞳半径

Z 2 : OD = - 2 5 0 mm のときの能動型反射光学素子における最大主光線高 / 軸上最大瞳半径

$\beta_H$  : 水平方向の瞳倍率

$\beta_V$  : 垂直方向の瞳倍率

である。

【 0 1 5 4 】

なお、以上の本発明の実施例 1 ~ 6 では、定義式 ( a ) の自由曲面により光学系を構成したが、他の定義の曲面でも光学系を構成できることはいうまでもない。

【 0 1 5 5 】

以上、本発明の映像表示装置等を実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されず種々の変形が可能である。

【 0 1 5 6 】

以上の本発明の偏心光学系等は例えば次のように構成することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 5 7 】

〔 1 〕 反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子と、少なくとも 1 面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系において、偏心光学系が瞳面と像面との間に配置され、次式を満足することを特徴とする偏心光学系。

## 【 0 1 5 8 】

( 瞳と偏心光学系の距離 ) / ( 焦点距離 )  $0.6 \dots ( 1 )$

〔 2 〕 反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動型反射光学素子と、少なくとも 1 面の回転非対称な面形状の反射面を含む偏心光学系において、偏心光学系が瞳面と像面との間に配置され、偏心光学系が瞳面と像面との間に中間像と瞳を形成し、次式を満足することを特徴とする偏心光学系。

10

## 【 0 1 5 9 】

( 能動型反射光学素子における最大主光線高 )

/ ( 能動型反射光学素子における軸上最大瞳半径 )  $1.5 \dots ( 2 )$

ここで、能動型反射光学素子における最大主光線高は軸上主光線を基準とし、軸上最大瞳半径は非円形状瞳の場合、軸上主光線基準の瞳の大きさの最大値とする。

## 【 0 1 6 0 】

〔 3 〕 前記偏心光学系が、1.3 よりも大きな屈折率の媒質で形成された少なくとも 1 つのプリズム部材を有し、プリズム部材は光束をプリズム部材に入射させる透過面、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも 3 面を有しており、前記偏心光学系を、逆光線追跡において、虚像を中間像として結像する接眼光学系と、中間像以降のリレー光学系に分けて考える場合、接眼光学系、リレー光学系共 2 回以上反射することを特徴とする上記 1 又は 2 記載の偏心光学系。

20

## 【 0 1 6 1 】

〔 4 〕 前記偏心光学系が、反射面の少なくとも 1 面と透過面の少なくとも 1 面が同一面にて形成された反射と透過の兼用面を備えたプリズム部材を含むことを特徴とする上記 1 又は 2 記載の偏心光学系。

## 【 0 1 6 2 】

〔 5 〕 前記偏心光学系が、逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像を形成する際に、入射瞳から中間像に入射する主光線が収束状態であることを特徴とする上記 2 記載の偏心光学系。

30

## 【 0 1 6 3 】

〔 6 〕 前記偏心光学系において、能動型反射光学素子に入射する軸上主光線と能動型反射光学素子反射面法線がなす角  $\theta$  が以下の条件式を満足することを特徴とする上記 1 又は 2 記載の偏心光学系。

## 【 0 1 6 4 】

$10^\circ < \theta < 60^\circ \dots ( 3 )$

〔 7 〕 前記偏心光学系の順追跡における瞳倍率  $M$  が以下の条件式を満足することを特徴とする上記 2 記載の偏心光学系。

## 【 0 1 6 5 】

$1 < M < 3 \dots ( 4 )$

40

〔 8 〕 前記能動型反射光学素子が可変形状鏡であることを特徴とする上記 1 又は 2 記載の偏心光学系。

## 【 0 1 6 6 】

〔 9 〕 映像表示素子と上記 1 から 8 の何れか 1 項記載の偏心光学系とを観察者の左右の眼に対応してそれぞれ 1 つずつ配置してなることを特徴とする立体映像表示装置。

## 【 0 1 6 7 】

〔 10 〕 順光線追跡で、能動型反射光学素子の作用により像の位置を光軸方向に移動する際、能動型反射光学素子の変形の往復両方を利用して像形成をすることを特徴とする上記 1 又は 2 記載の偏心光学系。

## 【 0 1 6 8 】

50

## 【発明の効果】

以上の本発明によれば、能動型反射光学素子、反射作用を主体としたプリズム部材で構成する偏心光学系により、小型軽量な可変焦点接眼光学系、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着式映像表示装置のための小型軽量可変焦点光学系、立体感を感じる主な要素である両眼視差、両眼の輻輳、眼の焦点調節作用に矛盾を生じさせない立体映像観察が可能な小型軽量光学系が実現できる。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 の偏心光学系の光路図である。

【図 2】本発明の実施例 2 の偏心光学系の光路図である。

【図 3】本発明の実施例 3 の偏心光学系の光路図である。

10

【図 4】本発明の実施例 4 の偏心光学系の光路図である。

【図 5】本発明の実施例 5 の偏心光学系の光路図である。

【図 6】本発明の実施例 6 の偏心光学系の光路図である。

【図 7】本発明に適用可能な可変形状鏡の構成例を示す図である。

【図 8】ルーペ型接眼光学系と中間像結像方式接眼光学系との違いを説明するための図である。

【図 9】逆光線追跡において中間像の結像の仕方を説明するための図である。

【図 10】眼の調節機能と輻輳機能の矛盾を説明するための図である。

【図 11】眼の調節機能と輻輳機能の矛盾の解消方法を説明するための図である。

【図 12】初期位相毎の可変形状鏡変形量を示す図である。

20

【図 13】図 12 の可変形状鏡の変形量を変形量順に並べ替えた図である。

【図 14】図 12 の可変形状鏡の変形量の順で隣接する虚像の変形量の差をとった図である。

【図 15】初期位相が  $45^\circ$  近傍の図 13 と同様の図である。

【図 16】偏心光学系による像面湾曲の説明図である。

【図 17】偏心光学系による軸上非点収差の説明図である。

【図 18】偏心光学系による軸上コマ収差の説明図である。

【図 19】偏心光学系によるディストーションの説明図である。

【図 20】従来技術の説明図である。

【図 21】別の従来技術の説明図である。

30

## 【符号の説明】

1 ... 絞り（観察者瞳孔あるいは回旋中心）

2 ... 偏心プリズム

2<sub>1</sub> ... 第 1 偏心プリズム

2<sub>2</sub> ... 第 2 偏心プリズム

3 ... 可変形状鏡

4 ... 映像表示素子

5 ... 軸上主光線

6 ... D O E（回折光学素子）

7 ... D O E の回折面

40

8 ... シースループリズム

1 1 ... 偏心プリズム系の第 1 面

1 2 ... 偏心プリズム系の第 2 面

1 3 ... 偏心プリズム系の第 3 面

1 4 ... 偏心プリズム系の第 4 面

1 5 ... 偏心プリズム系の第 5 面

1 6 ... 偏心プリズム系の第 6 面

1 7 ... 偏心プリズム系の第 7 面

1 8 ... 偏心プリズム系の第 8 面

1 9 ... 偏心プリズム系の第 9 面

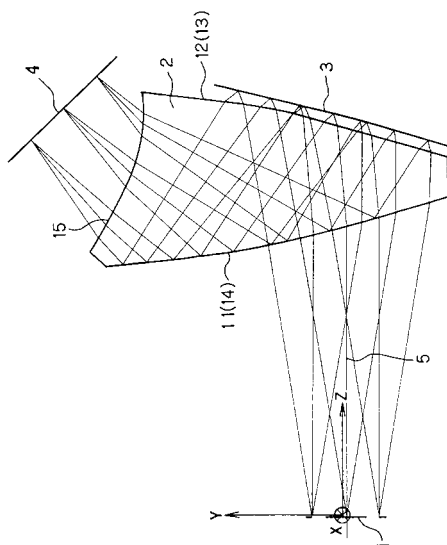
50



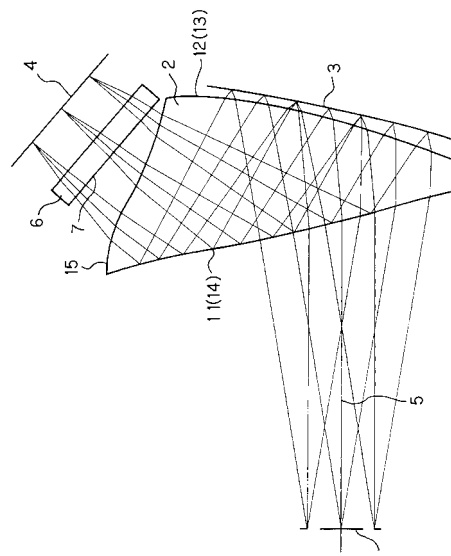
- 2 1 ... 対物レンズの第 1 面
- 2 2 ... 対物レンズの第 2 面
- 2 0 ... 対物レンズ
- 2 3、2 3 ' ... カバーガラス
- 2 5 ... 記録面 ( 像面 )
- 3 1 ... 電極
- 3 2、3 2 ' ... 可変抵抗器
- 3 3 ... 電源スイッチ
- 3 4 ... 電源
- 3 5 ... 演算装置
- 3 6 ... 温度センサー
- 3 7 ... 湿度センサー
- 3 8 ... 振れ ( プレ ) センサー
- M ... 凹面鏡

10

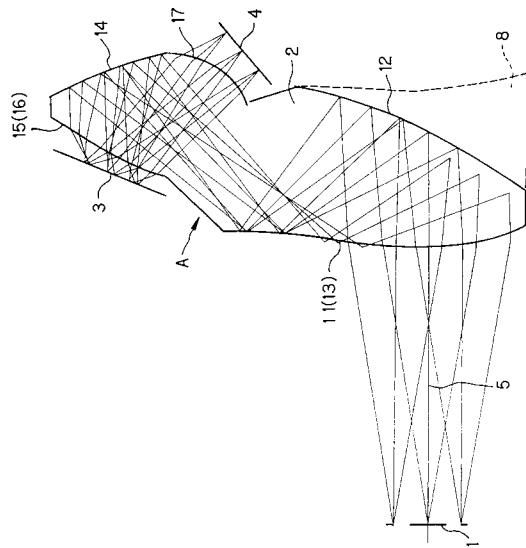
【 図 1 】



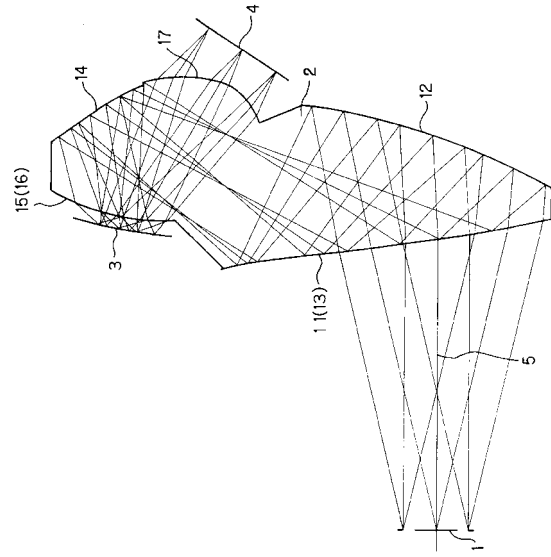
【 図 2 】



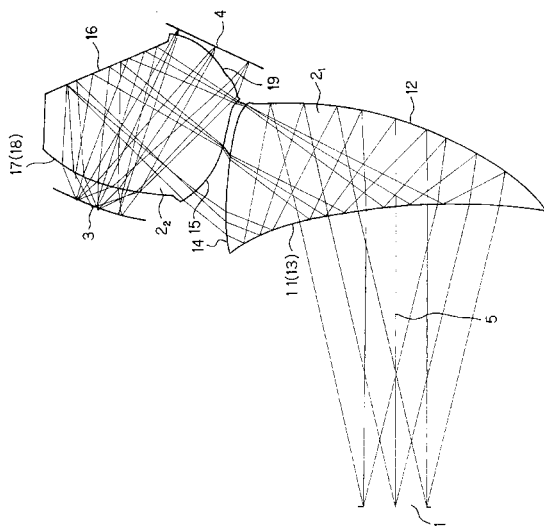
【図 3】



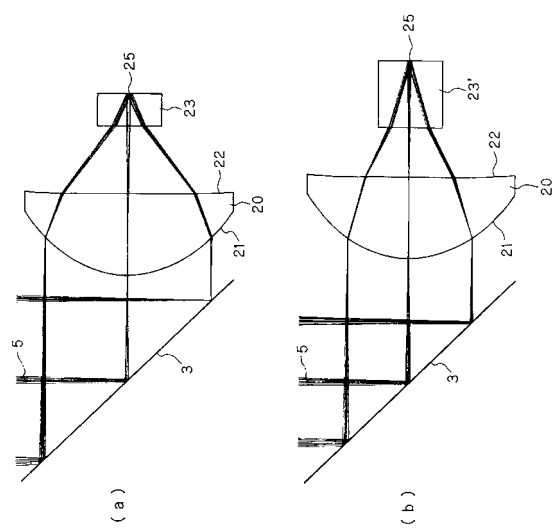
【図 4】



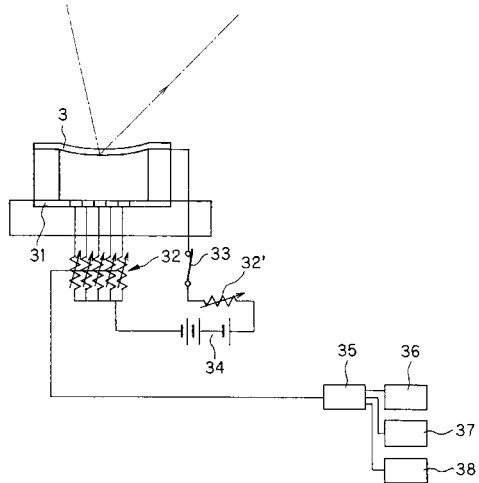
【図 5】



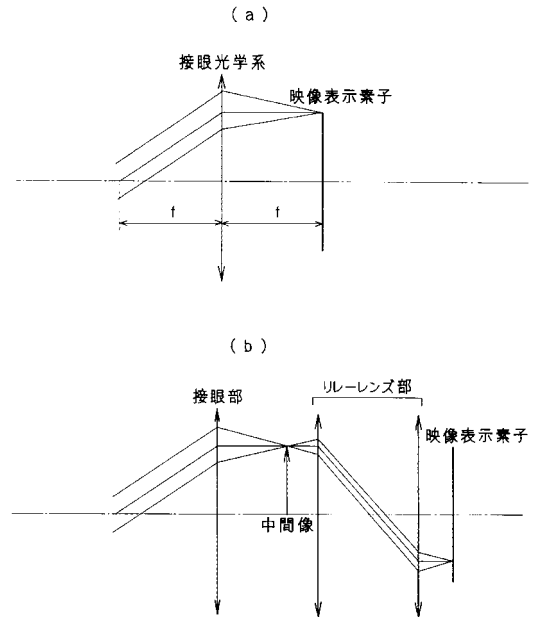
【図 6】



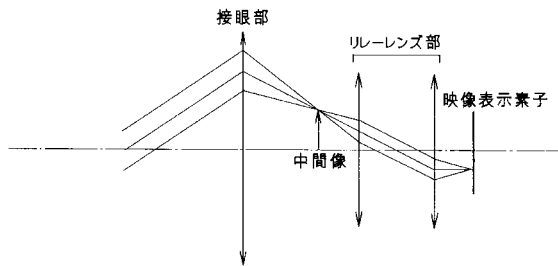
【図 7】



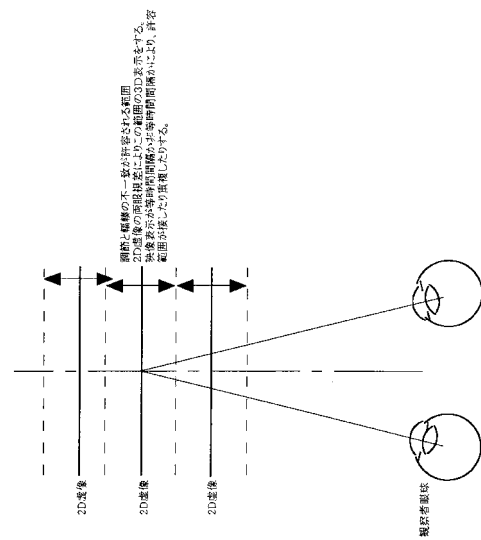
【図 8】



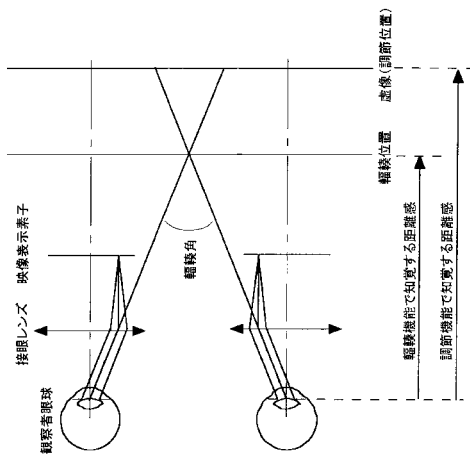
【図 9】



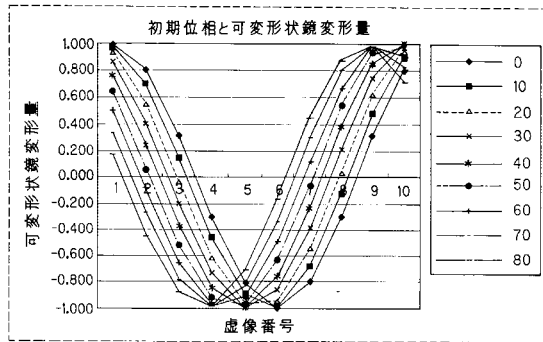
【図 11】



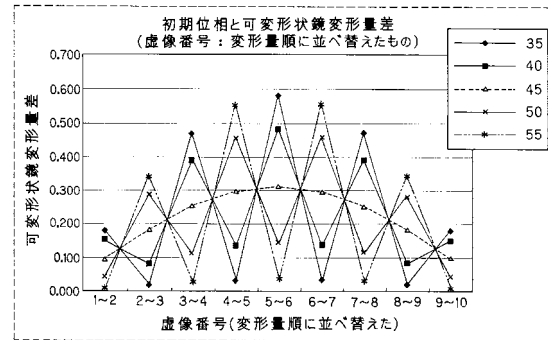
【図 10】



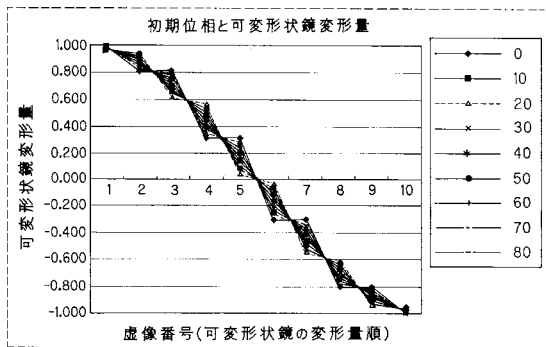
【図 12】



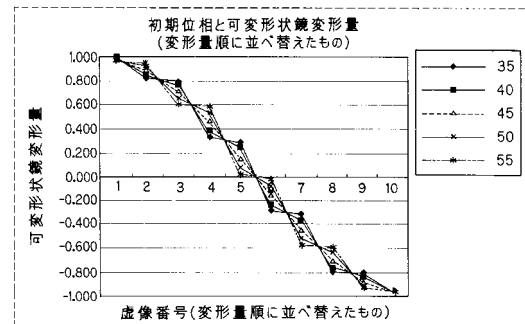
【図 14】



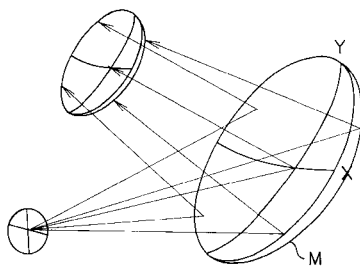
【図 13】



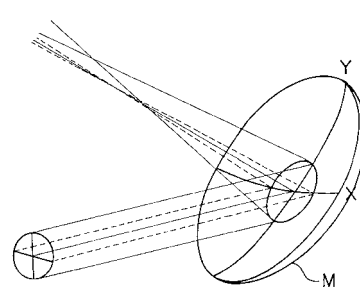
【図 15】



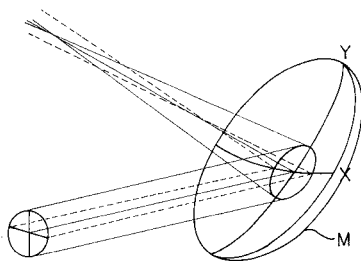
【図 16】



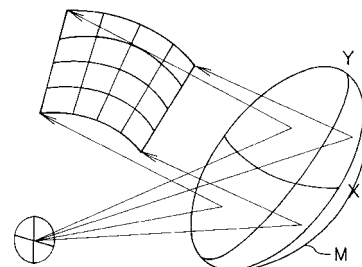
【図 18】



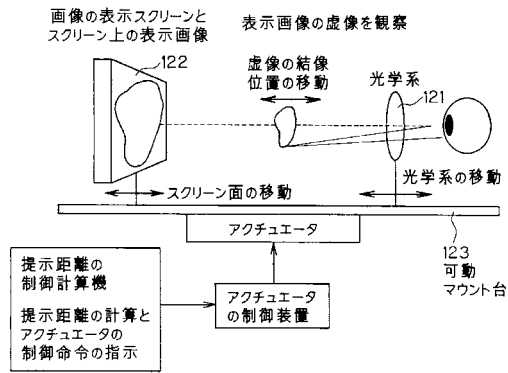
【図 17】



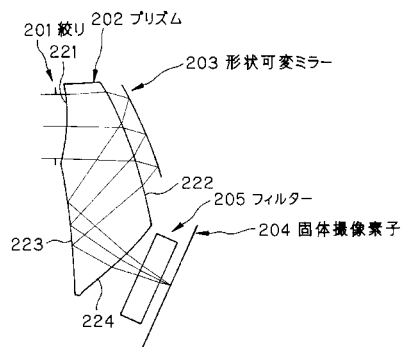
【図 19】



【図 20】



【図 21】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100091971

弁理士 米澤 明

(72)発明者 久芳 圭一

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号

オリンパス光学工業株式会社内

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 2 9 8 2 3 7 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 9/00-17/08

G02B 25/00