(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3607736号
(P3607736)
(45)発行日　平成17年1月5日(2005.1.5)　(24)登録日　平成16年10月15日(2004.10.15)

(51)Int.Cl.[7]	F I
G02B 27/02	G02B 27/02 Z
H04N 5/64	H04N 5/64 511A

請求項の数 14　(全 27 頁)

(21)出願番号　特願平7-34
(22)出願日　平成7年1月4日(1995.1.4)
(65)公開番号　特開平8-184780
(43)公開日　平成8年7月16日(1996.7.16)
審査請求日　平成13年12月3日(2001.12.3)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100097777
弁理士　韮澤　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】画像表示装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し、観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、

前記接眼光学系は少なくとも２つの面を持ち、前記少なくとも２つの面の中、観察者眼球側の面を第１面、これに続く面を第２面とし、第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、前記の少なくとも２つの面は、観察者が観察する投影画像の中心方向となる視軸に対して２つとも同じ方向に偏心して配備され、

さらに、前記第２面は、反射又は半透過面で構成され、前記第２面は観察者眼球側に凹面を向けた曲面で構成され、かつ、前記第１面と前記第２面は異なる曲率を持ち、前記画像表示素子から出た光線は前記第１面で屈折し、前記第２面によって反射され、前記第１面でさらに屈折し、前記画像表示素子の前記接眼光学系による一次像を観察者眼球に入射するように構成され、

さらに、前記接眼光学系と前記観察者眼球の間に、正の屈折力を有する光学素子が配備されていることを特徴とする画像表示装置。

【請求項２】

前記正の屈折力を有する光学素子は正の屈折力を有するレンズであることを特徴とする請求項１記載の画像表示装置。

【請求項３】

前記画像表示素子から出た光線が、観察者の眼球に直接投影されることを特徴とする請求

項２記載の画像表示装置。
【請求項４】
前記接眼光学系の第１面は、観察者眼球側に凹面を向けた透過面として構成されていることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項５】
前記観察者視軸を含み、画像表示素子の中心を含む面の第１面及び第２面の曲率半径をR_{y1}、R_{y2}とするとき、
$R_{y1}／R_{y2}＜2$　　・・・（１）
なる条件を満足することを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項６】
前記観察者視軸を含み、前記画像表示素子の中心を含む面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、この面に直交し、前記観察者視軸を含む面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、R_{x2}とR_{y2}が異なることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項７】
前記観察者視軸を含み、前記画像表示素子の中心を含む面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、この面に直交する面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、前記接眼光学系の第２面の曲率半径R_{x2}とR_{y2}は
$R_{y2}／R_{x2}\leqq 1$　　・・・（４）
なることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項８】
前記正の屈折力を有する光学素子は前記観察者視軸に対して偏心していることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項９】
前記正の屈折力を有する光学素子は接合レンズであることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項１０】
前記接眼光学系の第２面はアナモルフィックアスフェリカル面で構成されたことを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項１１】
前記接眼光学系の第２面は視軸に対してティルトしていると同時にディセンタリングしていることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項１２】
前記画像表示素子と前記接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有すること特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項１３】
前記画像表示素子と前記接眼光学系を前記観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できることを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【請求項１４】
前記画像表示装置の少なくとも２組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする請求項２記載の画像表示装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、画像表示装置に関し、特に、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画像表示装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来、頭部装着式画像表示装置の周知なものとして、特開平３－１０１７０９号のものがある。この画像表示装置は、図１９に光路図を示すように、２次元画像表示素子の表示画

像を正レンズよりなるリレー光学系にて空中像として伝達し、凹面反射鏡からなる接眼光学系でこの空中像を拡大して観察者の眼球内に投影するものである。

【０００３】

また、従来の他のタイプのものとして、米国特許第４，６６９，８１０号のものがある。この装置は、図２０に示すように、ＣＲＴの画像をリレー光学系を介して中間像を形成し、反射型ホログラフィック素子とホログラム面を有するコンバイナによって観察者の眼に投影するものである。

【０００４】

また、従来の他のタイプの画像表示装置として、特開昭６２－２１４７８２号のものがある。この装置は、図２１（ａ）、（ｂ）に示すように、画像表示素子を接眼レンズで拡大して直接観察できるようにしたものである。

【０００５】

また、従来の他のタイプの画像表示装置として、米国特許第４，０２６，６４１号のものがある。この装置は、図２２に示すように、画像表示素子の像を伝達素子で湾曲した物体面に伝達し、その物体面をトーリック反射面で空中に投影するようにしたものである。

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図１９、図２０ような画像表示素子の映像をリレーするタイプの画像表示装置では、接眼光学系によらず、接眼光学系以外にリレー光学系として数枚のレンズを用いなければならないため、光路長が長く、光学系は大型になり、重量も重くなる。また、図２１のようなレイアウトでは、観察者の顔面からの装置突出量が大きくなってしまう。さらに、画像表示素子と照明光学系をその突出した部分に取り付けることになり、装置はますます大きく、重量も重くなる。

【０００７】

頭部装着式画像表示装置は、人間の体、特に頭部に装着する装置であるため、装置が顔面から突出する量が大きいと、頭部で支持している点から装置の重心までの距離が長くなり、装着時のバランスが悪く、疲労が大きくなる。さらに、装置を装着して移動、回転等を行うときに、装置が物にぶつかる恐れも生じる。つまり、頭部装着式画像表示装置は、小型軽量であることが重要である。そして、この装置の大きさ、重量を決定する大きな要因は光学系の構成にある。

【０００８】

しかしながら、接眼光学系として通常の拡大鏡のみを用いると、発生する収差は非常に大きく、補正する手段がない。拡大鏡の凹面の形状を非球面にすることである程度球面収差が補正されても、コマ収差、像面湾曲等が残存するため、観察画角を大きくすると、実用的な装置にはなり得ない。あるいは、接眼光学系として凹面鏡のみを用いる場合には、通常の光学素子（レンズやミラー）のみではなく、図２２に示すように、発生した像面湾曲にあわせて湾曲した面を有する伝達素子（ファイバープレート）によって補正するという手段を用いなければならない。

【０００９】

本発明は従来のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、広い画角において明瞭に観察が可能であり、さらに、非常に小型軽量であるために疲労し難い頭部装着式画像表示装置等の画像表示装置を提供することである。

【００１０】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の画像表示装置は、画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し、観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は少なくとも２つの面を持ち、前記少なくとも２つの面の中、観察者眼球側の面を第１面、これに続く面を第２面とし、第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、前記の少なくとも２つの面は、観察者が観察する投影画像の中心方向となる視軸に対して２つとも同じ方向に偏心して配備され、さらに、

前記第２面は、反射又は半透過面で構成され、前記第２面は観察者眼球側に凹面を向けた曲面で構成され、かつ、前記第１面と前記第２面は異なる曲率を持ち、前記画像表示素子から出た光線は前記第１面で屈折し、前記第２面によって反射され、前記第１面でさらに屈折し、前記画像表示素子の前記接眼光学系による一次像を観察者眼球に入射するように構成されたことを特徴とするものである。

【００１１】

本発明のもう１つの画像表示装置は、画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し、観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は少なくとも２つの面を持ち、前記少なくとも２つの面の中、観察者眼球側の面を第１面、これに続く面を第２面とし、第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、前記の少なくとも２つの面は、観察者が観察する投影画像の中心方向となる視軸に対して２つとも同じ方向に偏心して配備され、さらに、前記第２面は、反射又は半透過面で構成され、前記第２面は観察者眼球側に凹面を向けた曲面で構成され、かつ、前記第１面と前記第２面は異なる曲率を持ち、前記画像表示素子から出た光線は前記第１面で屈折し、前記第２面によって反射され、前記第１面でさらに屈折し、前記画像表示素子の前記接眼光学系による一次像を観察者眼球に入射するように構成され、さらに、前記接眼光学系と前記観察者眼球の間に、正の屈折力を有する光学素子が配備されていることを特徴とするものである。

【００１２】

この場合、正の屈折力を有する光学素子としては、正の屈折力を有するレンズを用いることができる。

【００１３】

【作用】

以下に、本発明の画像表示装置の作用について説明する。以下の説明においては、光学系の設計上の利便性から、観察者の瞳位置から画像表示素子に向けて光線を追跡する逆光線追跡に従って行う。

本発明においては、接眼光学系に２つの面を持たせ、その第１面と第２面に異なる曲率を持たせることによって、偏心して傾いた第２面で発生する球面収差とコマ収差の補正を行うことが可能となり、広い射出瞳径と広い観察画角を持ち、明瞭な観察像を観察者に提供できるようにしたことに成功したものである。

【００１４】

一般に、凹面鏡では、瞳位置が凹面鏡の反射面から見て、曲率中心より遠くにある場合には、強い内コマ収差が発生する。この強い内コマ収差を補正するために、本発明では、凹面鏡となる第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、第１面と第２面の曲率を異ならせることによって、第１面での光線の屈折作用を利用して、第２面に入射する光線高を低くすることが可能となる。この作用によって、凹面鏡で発生する強い内コマ収差の発生を比較的小さくすることに成功したものである。

【００１５】

また、本発明においては、画像表示素子の観察像をリレー光学系によって中間像として空中に実像を結像させるのではなく、画像表示素子をそのまま拡大して観察者の眼球に投影することによって、観察者は拡大された画像表示素子の画像を虚像として観察できるため、少ない光学素子で光学系を構成することができる。また、拡大投影する光学素子は、観察者の顔面の直前に顔面のカーブに沿った形状で配備される凹面鏡（拡大鏡）のみであるため、顔面からの突出量は非常に小さくでき、小型で軽量な画像表示装置を実現することができる。

【００１６】

この接眼光学系の第１面が観察者眼球側に凹面を向けた負の屈折力を持つ面とすることが重要である。第１面に負の屈折力を持たせることによって、第１面では負の球面収差が発生する。これは、凹面鏡で発生する正の球面収差と打ち消し合って、球面収差の発生を補正する効果がある。

【００１７】
この場合、コマ収差の発生は比較的大きくなってしまうが、収差全体としてのまとまりは良くなり、良い結果を得られる。しかし、第１面の曲率が第２面の曲率と概略等しくなってしまうと、コマ収差、球面収差共、補正効果が低減してしまう。
【００１８】
また、接眼光学系の第１面の曲率半径R_{y1}と第２面の曲率半径R_{y2}とが以下の条件式を満足することが重要となる。
$R_{y1}／R_{y2}＜2$ ・・・（１）
（１）式は、傾いて配置される第２面で発生するコマ収差、特に高次のコマ収差又はコマフレアーの発生を補正するために重要な条件である。特に、第２面の傾き角が大きくなると、この条件を満足することが重要となる。
【００１９】
本発明のように、観察者眼球の前方に傾いた凹面鏡を配置する接眼光学系を用いる画像表示装置では、凹面鏡に入射する光線が斜めであるため、凹面鏡の中心軸に対称ではない複雑なコマ収差が発生する。この複雑なコマ収差は、凹面鏡の傾き角が大きくなるに従って大きくなる。小型で広画角の画像表示装置を実現しようとすると、この傾き角を大きくしないと、画像表示素子と観察光路が干渉するため、広画角な観察像を確保することが困難になる。そのため、広画角で小型の画像表示装置になればなる程凹面鏡の傾き角が大きくなり、高次コマ収差の発生をいかに補正するかが重要になる。したがって、条件式（１）に示されたコマ収差の補正条件を満足することが重要となる。
【００２０】
さらに、接眼光学系の第１面の曲率半径R_{y1}と第２面の曲率半径R_{y2}とが以下の条件式を満足することが重要となる。
$R_{y1}／R_{y2}＜1$ ・・・（２）
（２）式も、傾いて配置される第２面で発生するコマ収差、特に高次コマ収差又はコマフレアーの発生を補正するために重要な条件である。観察画角を略３０°以上に確保するときに重要となる。（２）式の上限の１を越えると、第２面で発生する高次コマ収差の補正が第１面で補正し切れなくなり、周辺まで明瞭な観察像を観察することが難しくなる。
【００２１】
さらにまた、接眼光学系の第１面の曲率半径R_{y1}と第２面の曲率半径R_{y2}とが以下の条件式を満足することが重要となる。
$R_{y1}／R_{y2}＜0．8$ ・・・（３）
（３）式も、傾いて配置される第２面で発生するコマ収差、特に高次コマ収差又はコマフレアーの発生を補正するために重要な条件であり、観察画角を略３５°以上に確保するときに重要となる。（３）式の上限の０．８を越えると、広画角においては、特に第２面で発生する高次コマ収差の補正が困難となり、周辺まで明瞭な観察像を観察することが難しくなる。
【００２２】
観察者視軸を含み画像表示素子の中心を含む面内の接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、この面に直交し、観察者視軸を含む面内の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、R_{y2}とR_{x2}が異なることが重要である。
この条件は、第２面が視軸に対して傾いているために起こる収差を補正するための条件である。一般に、球面が傾いていると、その面に入射する光線は、入射面と入射面に直交する面内で、光線に対する曲率が異なる。このため、本発明のように視軸に対して偏心して配置されている接眼光学系では、観察画像中心に当たる視軸上の観察像も上記理由により非点収差が発生する。この軸上の非点収差を補正するために、第２面の反射面の入射面内とこれと直交する面内において曲率半径の異なるものとすることが重要になる。
【００２３】
接眼光学系の第２面の曲率半径R_{y2}とR_{x2}の関係は、以下の条件を満足することが重要となる。

$R_{y2}/R_{x2} \leqq 1$ ・・・（４）

（４）の条件式の上限の１を越えると、上記の説明と同様に、入射面内と入射面と直交する面内の光線に対する曲率半径の違いにより発生する非点収差を補正することが困難になる。

【００２４】

また、接眼光学系の第２面の曲率半径R_{y2}とR_{x2}の関係は、以下の条件を満足することが重要となる。

$R_{y2}/R_{x2} < 0.8$ ・・・（５）

（５）の条件式の上限の０．８を越えると、上記の非点収差を補正することが不十分になり、観察画面周辺の観察像が不鮮明になったり、広い観察画角を観察できなくなる。また、第２面の傾き角が小さくなり、小型の画像表示装置を実現できなくなる。

【００２５】

接眼光学系と観察者眼球の間に正の屈折力を有する光学素子を配備することによって、接眼光学系の第２面での光束径が小さくなるため、高次のコマ収差の発生が少なくなり、画像表示画面周辺まで鮮明に画像を観察することができる。また、画像周辺での主光線は正の屈折力を有する光学素子によって屈折されるために、接眼光学系に入射する光線高を低くすることができ、接眼光学系のみの場合よりもさらに観察画角を大きく設定することが可能となる。

【００２６】

また、正の屈折力を有する光学素子としてレンズを用いることによって、製作性が良く、安価で広画角であり、画面周辺まで鮮明な画像表示装置を提供することができる。

【００２７】

また、この正の屈折力を有する光学素子を視軸に対して偏心して配備することによって、偏心した第２面で発生した高次コマ収差の補正に良い結果を得ることができる。

【００２８】

また、この正の屈折力を有する光学素子を接合レンズで構成することによって、その正の屈折力を有するレンズで発生する倍率の色収差を補正することができ、さらに鮮明で広画角な観察像を確保する場合に有効である。

【００２９】

また、接眼光学系の第２面をアナモルフィックアスフェリカル面で構成することによって、視軸上の非点収差だけでなく、周辺画像の非点収差やコマ収差の補正も可能となる。

【００３０】

また、接眼光学系の第２面は、視軸上になく視軸に対してティルトしていると同時にディセンタリングして配置されていることが望ましい。第２面の面頂をディセンタリングすることにより、視軸に対して画像表示素子側の画像とその反対側の画像とに非対称に発生するコマ収差の補正や、画像表示素子を配置する面を第２面での反射後の光軸に対して略垂直に配置することが可能となる。これは視野角特性の良くない液晶表示素子を用いるときに有効となる。

【００３１】

なお、本発明においては、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする手段を有することによって、観察者は安定した観察像を観察することが可能となる。

【００３２】

さらに、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする手段を有し、観察者頭部に装着できるようにすることによって、観察者は自由な観察姿勢や、観察方向で画像を観察することが可能となる。

【００３３】

さらにまた、少なくとも２組の画像表示装置を一定の間隔で支持する支持手段を有することによって、観察者は左右両眼で楽に観察することが可能となる。また、左右の画像表示面に視差を与えた画像を表示し、両眼でそれらを観察することによって立体像を楽しむことが可能となる。

【００３４】
【実施例】
以下に、本発明の画像表示装置の実施例１から８について、図面を参照して説明する。
各実施例の構成パラメータは後記するが、以下の説明において、面番号は、観察者の瞳位置１から画像表示素子６へ向う逆追跡の面番号として示してある。そして、座標の取り方は、図１～図８に示すように、観察者の瞳位置１中心から視軸方向をＺ軸とし、紙面に垂直な方向に紙面表面から裏面に向かう方向を正としてＸ軸をとり、Ｘ軸、Ｚ軸に垂直で右手系を構成するＹ軸を紙面内にとり、光軸は紙面のＹ－Ｚ面内で折り曲げられるものとする。
【００３５】
そして、後記する構成パラメータ中において、偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θが記載されている面については、基準面（１面、４面）に対してのその面の面頂のＹ軸方向、Ｚ軸方向の偏心量、及び、その面の中心軸のＺ軸からの傾き角を意味し、その場合、θが正は反時計回りを意味する。なお、偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θの記載のない面は、その前の面と同軸であることを意味する。ただし、実施例７に関しては、３面から７面までについては、２面の面頂を原点とし、元の座標を２面で与えられる傾き角θ（－１５°）だけ回転して得られる座標のＹ軸、Ｚ軸が新たなＹ軸、Ｚ軸となり、その新たなＹ軸方向、Ｚ軸方向の面頂の偏心量、及び、新たなＺ軸からの中心軸の傾き角θがそれらの面の偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θとして与えられている。
【００３６】
また、面間隔は、２面に関しては１面からのＺ軸に沿う距離であり、その位置が基準点になり、その基準点から偏心量Ｙの点が２面の面頂になる。同軸系部分（正のパワーを有する光学素子８）についてはその面から次の面までの軸上間隔である。なお、面間隔は、光軸に沿って逆追跡の方向を正として示してある。
【００３７】
また、各面において、非回転対称の非球面形状は、その面を規定する座標上で、R_y、R_xはそれぞれＹ－Ｚ面（紙面）内の近軸曲率半径、Ｘ－Ｚ面内での近軸曲率半径、K_x、K_yはそれぞれＸ－Ｚ面、Ｙ－Ｚ面内の円錐係数、ＡＲ、ＢＲはそれぞれＺ軸に対して回転対称な４次、６次の非球面係数、ＡＰ、ＢＰはそれぞれＺ軸に対して回転非対称な４次、６次の非球面係数とすると、非球面式は以下に示す通りである。

$$Z = [(X^2/R_X)+ (Y^2/R_y)] / [1+ \{ 1-(1+K_X) (X^2/R_X{}^2) -(1+K_y) (Y^2/R_y{}^2)\}^{1/2}] + AR [(1-AP) X^2+(1+AP) Y^2]^2 + BR [(1-BP) X^2+(1+BP) Y^2]^3$$

さらに、各面において、回転対称の非球面形状は、近軸曲率半径をＲとすると、次の式で与えられる。
【００３８】

$$Z = (h^2/R) / [1+ \{ 1-(1+K) (h^2/R^2)\}^{1/2}] + Ah^4 + Bh^6 \qquad (h^2 = X^2 + Y^2)$$

ここで、Ｋは円錐係数、Ａ、Ｂはそれぞれ４次、６次の非球面係数である。
なお、面と面の間の媒質の屈折率はｄ線の屈折率で表す。長さの単位はｍｍである。
【００３９】
さて、以下に示す実施例は全て右眼用の画像表示装置であり、左眼用は構成す光学要素を全てＸ－Ｚ面に対称に配備することで実現できる。
また、実際の装置においては、接眼光学系によって光軸が屈曲する方向は、観察者の上方あるいは下方、側方何れの方向にあってもよいことは言うまでもない。
【００４０】

図１～８に、それぞれ実施例１～８の単眼用の画像表示装置の断面図を示す。それぞれの断面図において、１は観察者瞳位置、２は観察者視軸、３は接眼光学系の第１面、４は接眼光学系の第２面を構成する凹面鏡、５は接眼光学系の第３面（第１面３と共通）、６は画像表示素子、７は第１面３と第２面（反射面）４と第３面５からなる接眼光学系、８は正のパワーを有する光学系である。

【００４１】

各実施例における実際の光線経路は、映像表示素子６から発した光線束は、順に接眼光学系７の第３面５で屈折、第２面（凹面鏡）４で反射、第１面３で屈折されて、実施例１、２、８の場合は、直接観察者の瞳の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳１として観察者の眼球内に投影され、実施例３～７の場合は、正のパワーを有する光学系８を経て観察者の瞳の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳１として観察者の眼球内に投影される。

【００４２】

実施例１

本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィク非球面である。

【００４３】

実施例２

本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第３面５はトーリック面であり、第２面４はアナモルフィック非球面である。

【００４４】

実施例３

本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィック非球面である。また、瞳１と接眼光学系７の間には無偏心で球面で構成された正のパワーを有する単レンズ８が配備されている。

【００４５】

実施例４

本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィック非球面である。また、瞳１と接眼光学系７の間には球面で構成された正のパワーを有する単レンズ８が視軸２に対して偏心して配備されている。

【００４６】

実施例５

本実施例は、水平画角４０°、垂直画角３０．６°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィック非球面である。また、瞳１と接眼光学系７の間には１面が非球面、１面が球面で構成された正のパワーを有する単レンズ８が視軸２に対して偏心して配備されている。

【００４７】

実施例６

本実施例は、水平画角４０°、垂直画角３０．６°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィック非球面である。また、瞳１と接眼光学系７の間にはそれぞれの面が球面であり、それぞれの面が偏心して構成された正のパワーを有する単レンズ８が配備されている。

【００４８】

実施例７

本実施例は、水平画角４０°、垂直画角３０．６°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５はアナモルフィック非球面である。また、瞳１と接眼光学系７の間にはそれぞれの面が球面である凹レンズと凸レンズの接合レンズで構成された正のパワーを有する光学系８が視軸に対して偏心して配備されている。

【００４９】

実施例８
本実施例は水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍであり、接眼光学系７の第１面３、第３面５は平面であり、第２面は球面である。
【００５０】
次に、上記実施例１～８の構成パラメータを示す。

実施例１

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	50.000		
2	R_y -115.364		1.5633	64.15
	R_X -127.909		(１面より)	
	K_y -7.421305		Y 0	θ 30.00 °
	K_X 0			
	AR 8.46165×10^{-8}			
	BR -7.76339×10^{-18}			
	AP -1.87052			
	BP 2.58902×10^{2}			
3	R_y -70.852		1.5633	64.15
	R_X -70.635		(１面より)	
	K_y -1.36906×10^{-1}		Y -16.545	θ 7.00 °
	K_X -5.4533×10^{-2}		Z 58.547	
	AR 3.62791×10^{-12}			
	BR 3.72459×10^{-11}			
	AP -7.25017×10			
	BP -1.07422			
4	R_y -115.364		(１面より)	
	R_X -127.909		Y 0	θ 30.00 °
	K_y -7.421305		Z 50.000	
	K_X 0			
	AR 8.46165×10^{-8}			
	BR -7.76339×10^{-18}			
	AP -1.87052			
	BP 2.58902×10^{2}			
5	(画像表示素子)		(１面より)	

Y -16.162 θ 16.10°
Z 28.408

(1) $R_{y1}/R_{y2}=1.63$
(4) $R_{y2}/R_{X2}=1.00$ 。

【００５１】

実施例２

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	32.000		
2	R_y	-36.183		1.5633	64.15
	R_X	111.868		(１面より)	
				Y 0	θ 30.00°
3	R_y	-49.444		1.5633	64.15
	R_X	-97.994		(１面より)	
	K_y	0		Y -32.692	θ -11.259°
	K_X	0		Z 39.000	
	AR	2.36416×10^{-7}			
	BR	-5.3209×10^{-10}			
	AP	-5.56393×10^{-1}			
	BP	-1.186116			
4	R_y	-36.183		(１面より)	
	R_X	111.868		Y 0	θ 30.00°
				Z 32.000	
5		(画像表示素子)		(１面より)	
				Y -23.089	θ 37.54°
				Z 17.216	

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.73$
(4) $R_{y2}/R_{X2}=0.50$ 。

【００５２】

実施例３

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	20.000		
2		89.043	2.000	1.4870	70.40
3		-35.868			
4	R_y	-30.763		1.5633	64.15
	R_X	-58.178		（１面より）	
	K_y	8.5269×10^{-2}		Y 0	θ 30.00 °
	K_X	-8.323018		Z 42.660	
	AR	-8.98778×10^{-8}			
	BR	9.49781×10^{-10}			
	AP	4.09749			
	BP	-2.00615			
5	R_y	-54.312		1.5633	64.15
	R_X	-72.939		（１面より）	
	K_y	0		Y -21.154	θ 3.17 °
	K_X	0		Z 49.660	
	AR	4.30715×10^{-7}			
	BR	5.97047×10^{-15}			
	AP	-1.87208			
	BP	-4.75833×10			
6	R_y	-30.763		（１面より）	
	R_X	-58.178		Y 0	θ 30.00 °
	K_y	8.5269×10^{-2}		Z 42.660	
	K_X	-8.323018			
	AR	-8.98778×10^{-8}			
	BR	9.49781×10^{-10}			
	AP	4.09749			

ＢＰ -2.00615

7 (画像表示素子) (１面より)

Y -13.709 θ 36.717°

Z 32.348

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.57$

(4) $R_{y2}/R_{x2}=0.74$

。

【００５３】

実施例４

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	20.686		
2		60.659	3.910	1.4870	70.40
				(１面より)	
				Y -1.095	θ -15.45 °
3		-53.427			
4	R_y	-27.822		1.5633	64.15
	R_X	-147.601		(１面より)	
	K_y	-9.2496×10^{-1}		Y 0	θ 30.00 °
	K_X	0		Z 36.000	
	AR	-8.97807×10^{-8}			
	BR	3.07711×10^{-11}			
	AP	1.58667×10			
	BP	-4.11804			
5	R_y	-54.141		1.5633	64.15
	R_X	-78.603		(１面より)	
	K_y	0		Y -16.961	θ 5.49 °
	K_X	0		Z 42.955	
	AR	-1.11106×10^{-7}			
	BR	5.80094×10^{-15}			
	AP	1.95015			
	BP	-2.90911×10			
6	R_y	-27.822		(１面より)	
	R_X	-147.601		Y 0	θ 30.00 °
	K_y	9.2496×10^{-1}		Z 36.000	
	K_X	0			
	AR	-8.97807×10^{-8}			

ＢＲ　3.07711×10^{-11}

ＡＰ　1.58667×10

ＢＰ　-4.11804

7　　(画像表示素子)　　(１面より)

Ｙ　-15.418　　θ　30.699°

Ｚ　24.646

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.51$

(4) $R_{y2}/R_{x2}=0.69$

【００５４】

実施例５

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	19.865		
2		153.020	4.000	1.4870	70.40
				(１面より)	
	K	-287.670		Y -0.344	θ -21.36 °
	A	3.48592×10^{-7}			
	B	-7.86793×10^{-9}			
3		-37.717			
4	R_y	-29.433		1.5633	64.15
	R_X	∞		(１面より)	
	K_y	-2.697475		Y 0	θ 30.00 °
	K_X	0		Z 35.000	
	AR	-1.38537×10^{-8}			
	BR	3.68465×10^{-11}			
	AP	2.35979×10			
	BP	-4.34114			
5	R_y	-47.976		1.5633	64.15
	R_X	-81.052		(１面より)	
	K_y	0		Y -18.821	θ 1.58 °
	K_X	0		Z 41.952	
	AR	-7.30519×10^{-7}			
	BR	1.73135×10^{-15}			
	AP	-9.32438×10^{-1}			
	BP	-6.43587×10			
6	R_y	-29.433		(１面より)	
	R_X	∞		Y 0	θ 30.00 °
	K_y	-2.697475		Z 35.000	

K_X 0
AR -1.38537×10^{-8}
BR 3.68465×10^{-11}
AP 2.35979×10
BP -4.34114

7 (画像表示素子) (1面より)
Y -14.061 θ 29.869°
Z 24.680

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.61$
(4) $R_{y2}/R_{x2}=0.59$ 。

【００５５】

実施例６

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	22.125		
2		211.333		1.4870	70.40
				(１面より)	
				Y 5.732	θ -21.28 °
3		-38.907		(１面より)	
				Y 3.955	θ -10.87 °
				Z 25.041	
4	R_y	-28.926		1.4870	70.40
	R_X	∞		(１面より)	
	K_y	-1.655529		Y 0	θ 30.00 °
	K_X	0		Z 35.000	
	AR	-1.56055×10^{-8}			
	BR	1.68174×10^{-10}			
	AP	1.74304×10			
	BP	-2.08703			
5	R_y	-46.424		1.5633	64.15
	R_X	-71.978		(１面より)	
	K_y	0		Y -18.891	θ 0.10 °
	K_X	0		Z 41.772	
	AR	-2.25009×10^{-8}			
	BR	1.09724×10^{-15}			
	AP	-4.13001			
	BP	-6.40157×10			
6	R_y	-28.926		(１面より)	
	R_X	∞		Y 0	θ 30.00 °
	K_y	-1.655529		Z 35.000	

K_X 0
AR -1.56055×10^{-8}
BR 1.68174×10^{-10}
AP 1.74304×10
BP -2.08703

7 (画像表示素子) (1面より)
Y -13.686 θ 28.515°
Z 24.461

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.62$
(4) $R_{y2}/R_{x2}=0.64$ 。

【００５６】

実施例７

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	22.000		
2		79.298	6.000	1.6200	60.30
				(１面より)	
				Y -3.096	θ -15.00 °
3		-39.864	1.000	1.7550	27.60
4		-57.753			
5	R_y	-28.332		1.5633	64.15
	R_X	∞		(４面より)	
	K_y	-2.14084×10^{-1}		Y 0	θ 30.00 °
	K_X	0		Z 18.000	
	AR	2.67938×10^{-6}			
	BR	-2.14615×10^{-9}			
	AP	4.32917×10^{-1}			
	BP	5.86993×10^{-1}			
6	R_y	-39.619	0	1.5633	64.15
	R_X	-67.799		(４面より)	
	K_y	0		Y -9.093	θ 15.98 °
	K_X	0		Z 24.500	
	AR	2.14587×10^{-6}			
	BR	-3.20475×10^{-10}			
	AP	-1.39488×10^{-1}			
	BP	-9.57286×10^{-1}			
7	R_y	-28.332	-13.113	(４面より)	
	R_X	∞		Y 0	θ 30.00 °
	K_y	-2.14084×10^{-1}		Z 18.000	
	K_X	0			

AR 2.67938×10^{-6}
BR -2.14615×10^{-9}
AP 4.32917×10^{-1}
BP 5.86993×10^{-1}

8	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -16.158	θ 37.542°
			Z 34.338	

(1) $R_{y1}/R_{y2}=0.72$
(4) $R_{y2}/R_{x2}=0.58$

【００５７】
実施例８

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	37.534		
2	∞		1.5633	64.15
			(1面より)	
			Y 0	θ 31.31 °
3	-71.813		1.5633	64.15
			(1面より)	
			Y -14.754	θ 8.97 °
			Z 46.891	
4	∞		(1面より)	
			Y 0	θ 31.31 °
			Z 37.534	
5	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -11.946	θ 18.429°
			Z 21.500	

(1) $R_{y1}/R_{y2}=\infty$
(4) $R_{y2}/R_{x2}=1$

【００５８】
次に、上記実施例の中、実施例１、実施例３、実施例７の横収差図をそれぞれ図９～図１１、図１２～図１４、図１５～図１７に示す。これらの横収差図において、括弧内に示された数字は（水平画角，垂直画角）を表し、その画角における横収差を示す。
【００５９】
以上、本発明の画像表示装置をいくつかの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。そして、本発明の画像表示装置を頭

部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）として構成するには、例えば、図１８（ａ）に断面図、同図（ｂ）に斜視図を示すように、左右のＨＭＤ１３の間を眼幅距離に合わせて固定的に支持し、これに例えばヘッドバンド１０を取り付けて、このヘッドバンド１０により観察者の頭部に装着して使用する。この使用例の場合に、接眼光学系の第２面を半透過ミラー（ハーフミラー）とし、このハーフミラーの前方に液晶シヤッター１１を配備し、外界像を選択的に、又は、画像表示素子の映像と重畳して観察できるようにすることができる。

【００６０】

以上に説明した本発明の画像表示装置は、例えば次にように構成することができる。

〔１〕　画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し、観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は少なくとも２つの面を持ち、前記少なくとも２つの面の中、観察者眼球側の面を第１面、これに続く面を第２面とし、第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、前記の少なくとも２つの面は、観察者が観察する投影画像の中心方向となる視軸に対して２つとも同じ方向に偏心して配備され、さらに、前記第２面は、反射又は半透過面で構成され、前記第２面は観察者眼球側に凹面を向けた曲面で構成され、かつ、前記第１面と前記第２面は異なる曲率を持ち、前記画像表示素子から出た光線は前記第１面で屈折し、前記第２面によって反射され、前記第１面でさらに屈折し、前記画像表示素子の前記接眼光学系による一次像を観察者眼球に入射するように構成されたことを特徴とする画像表示装置。

【００６１】

〔２〕　前記画像表示素子から出た光線が観察者の眼球に直接投影されることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。

【００６２】

〔３〕　前記接眼光学系の第１面は、観察者眼球側に凹面を向けた透過面として構成されていることを特徴とする上記〔１〕又は〔２〕記載の画像表示装置。

【００６３】

〔４〕　前記観察者視軸を含み、画像表示素子の中心を含む面の第１面及び第２面の曲率半径をR_{y1}、R_{y2}とするとき、

$$R_{y1}／R_{y2}＜2 \qquad \cdots（1）$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６４】

〔５〕　前記接眼光学系の第１面の曲率半径R_{y1}と前記接眼光学系の第２面の曲率半径R_{y2}が

$$R_{y1}／R_{y2}＜1 \qquad \cdots（2）$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６５】

〔６〕　前記接眼光学系の第１面の曲率半径R_{y1}と前記接眼光学系の第２面の曲率半径R_{y2}が

$$R_{y1}／R_{y2}＜0．8 \qquad \cdots（3）$$

なる条件を満足することを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６６】

〔７〕　前記観察者視軸を含み、前記画像表示素子の中心を含む面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、この面に直交し、前記観察者視軸を含む面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、R_{x2}とR_{y2}が異なることを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６７】

〔８〕　前記観察者視軸を含み、前記画像表示素子の中心を含む面内の前記接眼光学系の

第２面の曲率半径を$R_{y\,2}$とし、この面に直交する面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径を$R_{x\,2}$とするとき、前記接眼光学系の第２面の曲率半径$R_{x\,2}$と$R_{y\,2}$は

$$R_{y\,2}／R_{x\,2} \leqq 1 \quad \cdots（４）$$

なることを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６８】

〔９〕　前記接眼光学系の第２面の曲率半径$R_{x\,2}$と$R_{y\,2}$は

$$R_{y\,2}／R_{x\,2} ＜ ０．８ \quad \cdots（５）$$

なることを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００６９】

〔１０〕　画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し、観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、

前記接眼光学系は少なくとも２つの面を持ち、前記少なくとも２つの面の中、観察者眼球側の面を第１面、これに続く面を第２面とし、第１面と第２面の間を屈折率１以上の媒質で満たすと同時に、前記の少なくとも２つの面は、観察者が観察する投影画像の中心方向となる視軸に対して２つとも同じ方向に偏心して配備され、さらに、前記第２面は、反射又は半透過面で構成され、前記第２面は観察者眼球側に凹面を向けた曲面で構成され、かつ、前記第１面と前記第２面は異なる曲率を持ち、前記画像表示素子から出た光線は前記第１面で屈折し、前記第２面によって反射され、前記第１面でさらに屈折し、前記画像表示素子の前記接眼光学系による一次像を観察者眼球に入射するように構成され、さらに、前記接眼光学系と前記観察者眼球の間に、正の屈折力を有する光学素子が配備されていることを特徴とする画像表示装置。

【００７０】

〔１１〕　前記正の屈折力を有する光学素子は正の屈折力を有するレンズであることを特徴とする上記〔１０〕記載の画像表示装置。

【００７１】

〔１２〕　前記正の屈折力を有する光学素子は前記観察者視軸に対して偏心していることを特徴とする上記〔１０〕記載の画像表示装置。

【００７２】

〔１３〕　前記正の屈折力を有する光学素子は接合レンズであることを特徴とする上記〔１０〕記載の画像表示装置。

【００７３】

〔１４〕　前記接眼光学系の第２面はアナモルフィックアスフェリカル面で構成されたことを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００７４】

〔１５〕　前記接眼光学系の第２面は視軸に対してティルトしていると同時にディセンタリングしていることを特徴とする上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の画像表示装置。

【００７５】

〔１６〕　前記画像表示素子と前記接眼光学系を観察者頭部に対して位置決めする位置決め手段を有すること特徴とする上記〔１〕又は〔１０〕記載の画像表示装置。

【００７６】

〔１７〕　前記画像表示素子と前記接眼光学系を前記観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できることを特徴とする上記〔１〕又は〔１０〕記載の画像表示装置。

【００７７】

〔１８〕　前記画像表示装置の少なくとも２組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする上記〔１〕又は〔１０〕記載の画像表示装置。

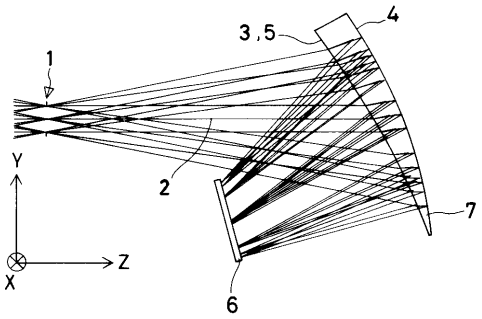
【００７８】

【発明の効果】

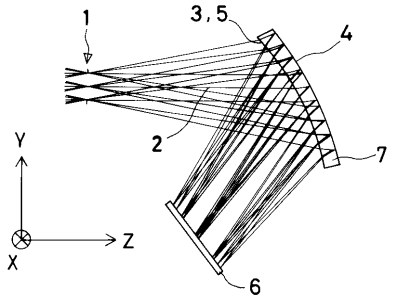
以上の説明から明らかなように、本発明の画像表示装置によると、広い観察画角で、非常に小型軽量な画像表示装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の実施例１の画像表示装置の光路図である。
【図２】本発明の実施例２の画像表示装置の光路図である。
【図３】本発明の実施例３の画像表示装置の光路図である。
【図４】本発明の実施例４の画像表示装置の光路図である。
【図５】本発明の実施例５の画像表示装置の光路図である。
【図６】本発明の実施例６の画像表示装置の光路図である。
【図７】本発明の実施例７の画像表示装置の光路図である。
【図８】本発明の実施例８の画像表示装置の光路図である。
【図９】本発明の実施例１の横収差図の一部である。
【図１０】本発明の実施例１の横収差図の別の部分である。
【図１１】本発明の実施例１の横収差図の残りの部分である。
【図１２】本発明の実施例３の横収差図の一部である。
【図１３】本発明の実施例３の横収差図の別の部分である。
【図１４】本発明の実施例３の横収差図の残りの部分である。
【図１５】本発明の実施例７の横収差図の一部である。
【図１６】本発明の実施例７の横収差図の別の部分である。
【図１７】本発明の実施例７の横収差図の残りの部分である。
【図１８】本発明による頭部装着式画像表示装置の断面図と斜視図である。
【図１９】従来の１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２０】従来の別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２１】従来のさらに別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２２】従来のもう１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【符号の説明】
１…観察者瞳位置
２…観察者視軸
３…接眼光学系の第１面
４…接眼光学系の第２面を構成する凹面鏡
５…接眼光学系の第３面
６…画像表示素子
７…接眼光学系
８…正のパワーを有する光学系
１０…ヘッドバンド
１１…液晶シヤッター
１３…頭部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）

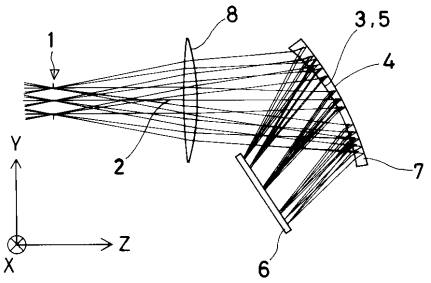
【図１】



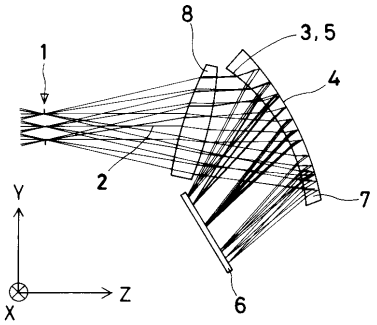
【図２】



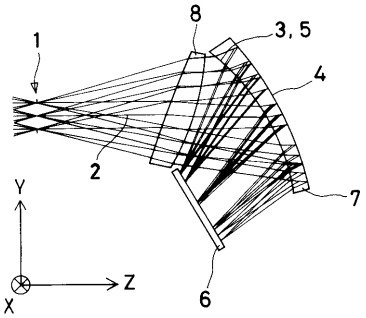
【図３】



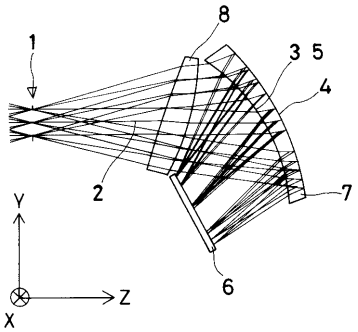
【図４】



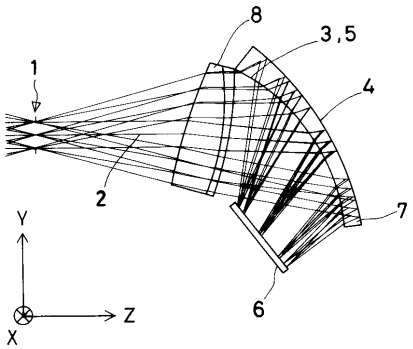
【図５】



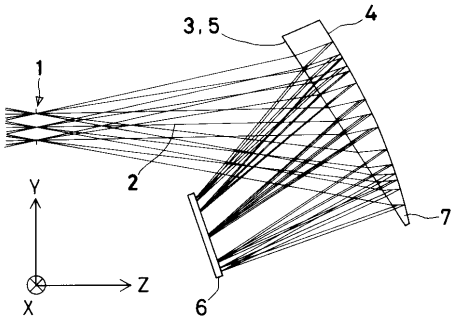
【図６】



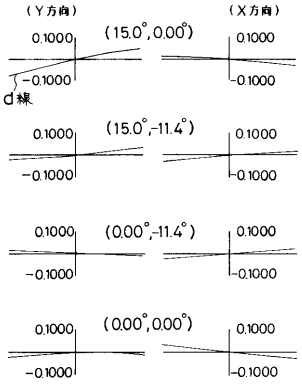
【図７】



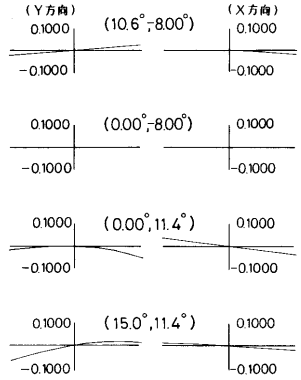
【図８】



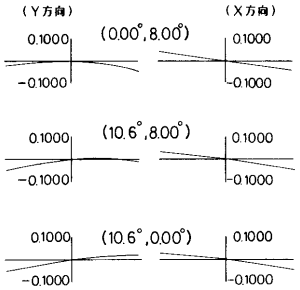
【図９】



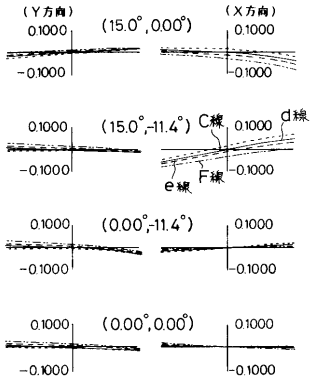
【図１０】



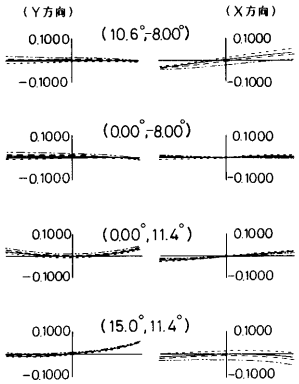
【図１１】



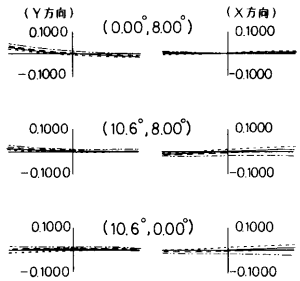
【図１２】



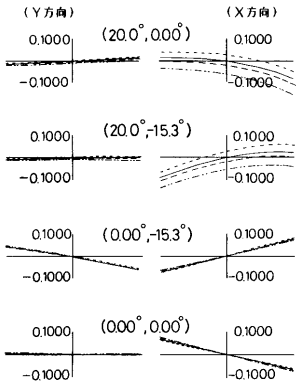
【図１３】



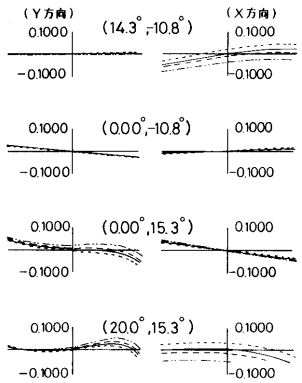
【図１４】



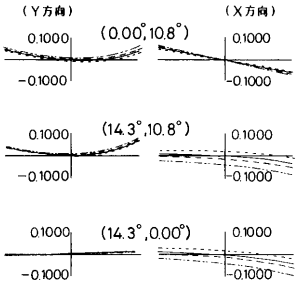
【図１５】



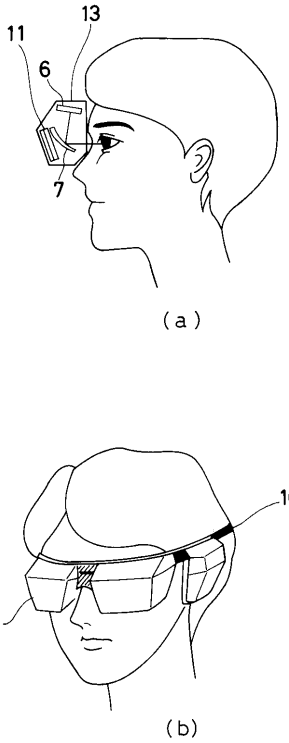
【図１６】



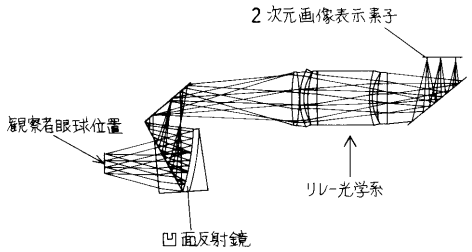
【図１７】



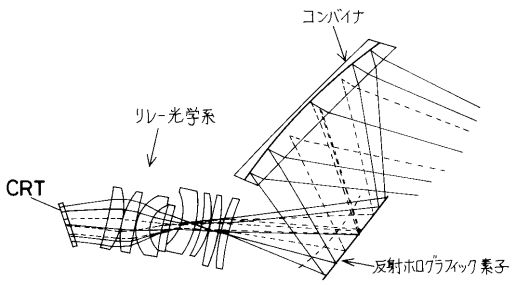
【図１８】



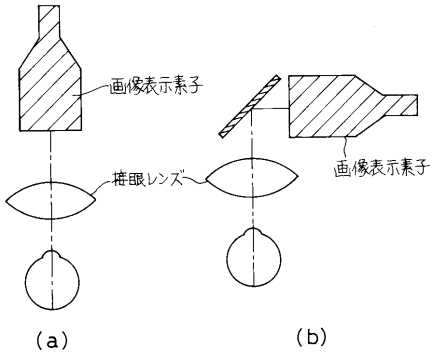
【図１９】



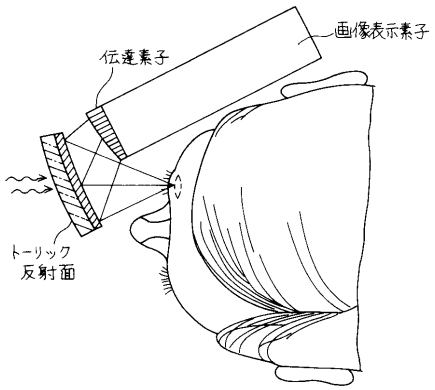
【図２０】



【図２１】



【図２２】



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 高橋浩一
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号オリンパス光学工業株式会社内

審査官 田部 元史

(58)調査した分野(Int.Cl.[7], ＤＢ名)
G02B 27/02