(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3542213号
(P3542213)
(45)発行日　平成16年7月14日(2004.7.14)　(24)登録日　平成16年4月9日(2004.4.9)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02B 27/02　G02B 27/02　Z

請求項の数 10　(全 52 頁)

(21)出願番号　特願平7-335218
(22)出願日　平成7年12月22日(1995.12.22)
(65)公開番号　特開平9-181998
(43)公開日　平成9年7月11日(1997.7.11)
審査請求日　平成14年2月1日(2002.2.1)

(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　100092509
弁理士　白井　博樹
(74)代理人　100095120
弁理士　内田　亘彦
(74)代理人　100095980
弁理士　菅井　英雄

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、

前記画像表示素子は、表示された画像を左右両眼球に導かれる左眼用光路と右眼用光路とに向けて射出可能に構成され、

前記接眼光学系は、前記画像表示素子から左眼用光路に向けて射出された前記画像光束を左眼に向けて投影する左眼用接眼光学系と、前記画像表示素子から右眼用光路に向けて射出された前記画像光束を右眼に向けて投影する右眼用接眼光学系とを有し、

前記左眼用接眼光学系は、少なくとも３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者左眼球側から順に、左眼用第１面、左眼用第２面、左眼用第３面とし、前記左眼用第１面と前記左眼用第２面の間、及び、前記左眼用第２面と前記左眼用第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記左眼用第１面の曲率と前記左眼用第２面の曲率は異なり、前記左眼用第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者左側眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者左側眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記左眼用第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記左眼用第３面で屈折し、前記左眼用第２面によって反射され、前記左眼用第１面でさらに屈折し、前記観察者左側眼球に入射するように構成され、

前記右眼用接眼光学系は、少なくとも３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者

右眼球側から順に、右眼用第１面、右眼用第２面、右眼用第３面とし、前記右眼用第１面と前記右眼用第２面の間、及び、前記右眼用第２面と前記右眼用第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記右眼用第１面の曲率と前記右眼用第２面の曲率は異なり、前記右眼用第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者右側眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者右側眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記右眼用第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記右眼用第３面で屈折し、前記右眼用第２面によって反射され、前記右眼用第１面でさらに屈折し、前記観察者右側眼球に入射するように構成され、
前記画像表示素子が観察者顔面の前方に、かつ、表示面が観察者の略前方を向いて配置されていることを特徴とする画像表示装置。

【請求項２】
前記左右の接眼光学系は共に、前記第１面、前記第２面、前記第３面の何れか１面がアナモフィック面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左右の接眼光学系の焦点距離をf_y、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と直交する面内の前記左右の接眼光学系の焦点距離をf_xとするとき、

$$f_y / f_x > 1 \quad \cdots (6)$$

を満たすことを特徴とする請求項１記載の画像表示装置。

【請求項４】
前記左右の接眼光学系の第２面は、アナモフィック面であることを特徴とする請求項３記載の画像表示装置。

【請求項５】
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の前記左右の接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、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と直交する面内の前記左右の接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、

$$0.5 < R_{y2} / R_{x2} < 3 \quad \cdots (7)$$

を満たすことを特徴とする請求項１記載の画像表示装置。

【請求項６】
前記左右の接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面が、それぞれ正、正、負の屈折力を有す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７】
前記左右の接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面の屈折力をそれぞれϕ_1、ϕ_2、ϕ_3とするとき、

$$-1 > (\phi_1 + \phi_2) / \phi_3 > -15 \quad \cdots (10)$$

を満たすことを特徴とする請求項１記載の画像表示装置。

【請求項８】
前記接眼光学系の第１面は、観察者眼球に対して凸面を向けた面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９】
前記左右の接眼光学系の第３面は、画像表示素子に対して凹面を向けた面であることを特徴とする請求項１又は８記載の画像表示装置。

【請求項１０】
前記左右の接眼光学系の第２面と前記観察者視軸のなす角をαとするとき、

$$30° < \alpha < 80° \quad \cdots (11)$$

を満たすことを特徴とする請求項１記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

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４０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４１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４２（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４３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４０、図４１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４２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４３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、光学系のみならず画像表示素子周辺も小型軽量化した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、
前記画像表示素子は、表示された画像を左右両眼球に導かれる左眼用光路と右眼用光路とに向けて射出可能に構成され、
前記接眼光学系は、前記画像表示素子から左眼用光路に向けて射出された前記画像光束を左眼に向けて投影する左眼用接眼光学系と、前記画像表示素子から右眼用光路に向けて射出された前記画像光束を右眼に向けて投影する右眼用接眼光学系とを有し、
前記左眼用接眼光学系は、少なくとも３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者左眼球側から順に、左眼用第１面、左眼用第２面、左眼用第３面とし、前記左眼用第１面と前記左眼用第２面の間、及び、前記左眼用第２面と前記左眼用第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記左眼用第１面の曲率と前記左眼用第２面の曲率は異なり、前記左眼用第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者左側眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者左側眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記左眼用第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記左眼用第３面で屈折し、前記左眼用第２面によって反射され、前記左眼用第１面でさらに屈折し、前記観察者左側眼球に入射するように構成され、
前記右眼用接眼光学系は、少なくとも３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者右眼球側から順に、右眼用第１面、右眼用第２面、右眼用第３面とし、前記右眼用第１面と前記右眼用第２面の間、及び、前記右眼用第２面と前記右眼用第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記右眼用第１面の曲率と前記右眼用第２面の曲率は異なり、前記右眼用第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者右側眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者右側眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記右眼用第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記右眼用第３面で屈折し、前記右眼用第２面によって反射され、前記右眼用第１面でさらに屈折し、前記観察者右側眼球に入射するように構成され、
前記画像表示素子が観察者顔面の前方に、かつ、表示面が観察者の略前方を向いて配置されていることを特徴とするものである。

【００１１】
この場合、左右の接眼光学系は共に、第１面、第２面、第３面の何れか１面をアナモフィック面で構成することができる。

【００１２】
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、まず、接眼光学系の第１面と第２面と第３面によって形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たすことによって、偏心した第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つ明瞭な観察像を観察者に提供することに成功したものである。

【００１３】
そして、本発明では、画像表示素子を画像表示装置内にコンパクトに配置するために必要な光学系のレイアウトに関するものである。
画像表示素子を視軸に対して斜めに傾けて配置する構成にすると、傾いた画像表示素子を画像表示装置内に収納するために、観察者前方に当たる視軸方向の厚さが厚くなるため、画像表示装置の体積が大きくなり、重くなってしまう。そのため、本発明では、画像表示素子の表示面の垂線を視軸と略平行に配置するようにすることによって、画像表示装置の小型軽量化に成功したものである。

【００１４】
また、本発明のもう１つの画像表示装置は、左右両眼にそれぞれ必要となる画像表示素子を１つの画像表示素子で構成し、装置全体を小型化することに成功したものである。
【００１５】
まず、画像表示素子の表示面の垂線を視軸と略平行に配置したものの説明をする。
画像表示素子として、例えば液晶表示素子を利用する場合に、表示面の画素の明るさをコントロールするための電極を液晶表示素子基板より取り出すことが必要となる。この配線の処理のために、表示領域より大きい電気基板の上に液晶表示素子を配置し、基板上で配線を処理し、その基板からフレキシブル基板等を使用してコントローラー等に接続する構成が一般的である。
【００１６】
この構成で画像表示素子を視軸に対して斜めに傾けて配置する構成だと、大きい電気基板を斜めに配置するために、画像表示装置の体積が大きくなり、重くなってしまう。そのため、本発明では、画像表示素子の表示面の垂線を視軸と略平行に配置することによって、画像表示装置を小型軽量化に成功したものである。
【００１７】
一般に、傾いた凹面鏡の第２面で光路を曲げると、画像表示素子の表示面の方向は、第２面の方向を向き、観察者前方に当たる視軸と交差することとなり、画像表示素子６を図２２の点線のように傾けて配置しないと、観察する画像が傾いてしまい、明瞭に観察することができない。なお、図２２において、観察者視軸を２で、接眼光学系の第２面である凹面鏡を４で示してある。
【００１８】
そこで、本発明では、画像表示素子６の垂線と視軸２を略平行にしても、観察像が傾かないようにしている。
図２２の実線に示す位置に画像表示素子６を配置しても、観察画像が傾いて観察されないようにすることが重要である。
【００１９】
次に、観察像が傾かずに観察するために必要となる条件について説明する。まず、第２面の視軸に対する傾き角を少なくして、画像表示素子の視軸に対する傾き角の発生が少ないようにしている。
さらに好ましくは、観察者視軸上の逆光線追跡の光線が第２面で反射するときの反射角をθ_2　とするとき、θ_2　が以下に示す範囲にあることが重要である。
【００２０】
$30° < \theta_2 < 60°$　　・・・（１）
上記の式の下限の３０°を越えると、画像表示素子が視軸に近付きすぎてしまい、観察像の水平画角を３０°以上にとる場合に、観察像と画像表示素子が干渉してしまい、広い観察画角をとることができなくなる。
【００２１】
また、上記の式の上限の６０°を越えると、接眼光学系の第２面で反射する場合に発生する収差が大きくなると共に、画像表示素子を配置する物体面の傾きが左右の接眼光学系で傾いてしまい、観察像の傾きが左右の眼で異なってしまい、左右両眼で観察することが不可能となる。
【００２２】
さらに好ましくは、
$30° < \theta_2 < 40°$　　・・・（２）
なる条件を満足することが好ましい。この条件を満足することによって、観察画角の広い光学系を構成することができる。
この式の上限と下限の意味は前記の条件式（１）と同じである。
【００２３】
次に、接眼光学系の凹面鏡で発生する像面の傾きを少なくするために、観察者眼球側から

第１面と第３面の透過面の視軸上の光線に対する傾きを適切に設定することが重要となる。本発明の場合、第１面と第３面で光線を屈折させることが重要になる。

【００２４】

第１面に観察者視軸上の軸上光線が入射するときに、第１面と軸上光線がなす角をθ_1とし、第２面で反射し第３面に入射するときの観察者視軸上の軸上光線が第３面となす角をθ_3とし、第１面と第２面、第２面と第３面の間に形成される空間の屈折率をｎとするとき、以下の条件式を満足することが重要となる。

【００２５】

$$30° < (\theta_1 + \theta_3) \times n < 70° \quad \cdots (3)$$

上記条件式の下限の３０°を越えると、第２面で反射する反射角が大きくなり、偏心による収差の発生が大きくなりすぎ、他の面で補正することが難しくなる。また、上限の７０°を越えると、第１面と第３面で屈折するときに発生する収差特に色収差の発生が大きくなりすぎ、補正が困難になる。

【００２６】

さらに好ましくは、以下の条件を満足することにより、より高解像の接眼光学系を構成することが可能となる。

$$50° < (\theta_1 + \theta_3) \times n < 70° \quad \cdots (4)$$

下限については上記条件式と同じで、特に偏心して配置された第２面で反射する時に発生するコマ収差の発生を少なくするためである。

【００２７】

下限については、上記条件式（３）と同じで、特に、偏心して配置された第２面で反射するときに発生するコマ収差の発生を少なくするために設定したものである。

【００２８】

次に、本発明において、１つの画像表示素子で、観察者左右の眼に対応した２つの接眼光学系に画像を供給する方法について説明する。

本発明の上記の場合と同じく、画像表示素子の表示面の垂線と観察者視軸が略平行にすることが重要となる。画像表示面が傾いたまま１つの画像表示素子で２つの接眼光学系に画像を供給すると、画像表示面が左右の接眼光学系に対して同一面にないために、観察する画像が傾いて観察されてしまう。つまり、傾いた凹面鏡を用いて１つの画像表示素子に表示される画像を両眼に導いても、左右の画像は傾いて観察者に観察されるために、両眼で融像できない像になってしまう。

【００２９】

さらに、本発明では、画像表示素子の表示面の中心と観察者視軸との距離をｄ（ｍｍ）とするとき、以下の条件式を満足することが重要である。

$$25 < d < 35 \quad \cdots (5)$$

この条件式の上限と下限は、観察者の両眼に合わせて眼幅調整をする必要から設定されたものであり、下限を越えると、眼幅５０ｍｍ以下の人に鮮明な画像を供給することが不可能となる。上限を越えると、眼幅７０ｍｍ以上の人が鮮明な画像を観察することができなくなる。

【００３０】

また、本発明においては、前記したように、接眼光学系の第１面と第２面と第３面によって形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たすことによって、偏心した第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つ明瞭な観察像を観察者に提供することに成功したものである。

【００３１】

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、接眼光学系となる第１面と第２面と第３面によって形成される空間を屈折率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。

【００３２】

また、接眼光学系の第２面は偏心（視軸に対して面を傾かせる、又は、面頂をずらす。）して配置されていることが望ましい。第２面を偏心することで光軸を屈曲させることになり、画像表示素子と頭部の干渉を避けることになる。さらに、第２面を偏心することにより、視軸に対して画像表示素子側の画像と、その反対側の画像での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ＬＣＤ（液晶表示装置）を用いるときに有効となる。

【００３３】

また、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できる。また、拡大投影する光学素子は、接眼光学系の反射面である第２面が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できるため、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。

【００３４】

また、接眼光学系の第１面、第２面及び第３面の何れか１面はアナモフィック面であることが重要である。つまり、観察者視軸と画像表示素子の中心を含む面内の曲率半径と、この面と直交し観察者視軸を含む面内の曲率半径とが異なる面であることである。

【００３５】

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、本発明のように反射面が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、接眼光学系の第１面、第２面及び第３面の何れか１面の曲率半径は、入射面内とこれと直交する面内において異なるものとすることが重要になる。

【００３６】

また、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焦点距離をf_y、観察者視軸を含み画像表示素子の中心を含む面と直交する面内の接眼光学系の焦点距離をf_x　とするとき、

$$f_y / f_x > 1 \qquad \cdots（６）$$

を満たすことが重要である。

【００３７】

上記で説明したように、接眼光学系の何れか１面が入射面内とこれと直交する面内において曲率半径が異なるものとすると、それぞれの方向での焦点距離が異なる。その場合、（６）式を満たすことが重要な条件となる。（６）式の条件を越えてf_y / f_x　が１以下になると、接眼光学系の反射面が傾いているために発生する非点収差の補正ができなくなる。

【００３８】

また、接眼光学系の第２面が観察者視軸と画像表示素子の中心を含む面とその面と直交する面で曲率が異なるアナモフィック面であることが望ましい。

【００３９】

本発明の接眼光学系において、主な正のパワーを持つ面は第２面の反射面である。この面の直交する面を異なる曲率とすることで、上記の非点収差の補正を有効に行うことが可能となる。

【００４０】

また、第１面、第３面をアナモフィック面とし、第２面である反射面が傾いているために

発生する収差を補正する場合、第２面もアナモフィック面とすることで、他の面で発生する収差補正、特にコマ収差の補正に効果が得られる。

【００４１】

さらに、観察者視軸と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$R_{y\,2}$とし、この面と直交し視軸を含む面内の第２面の曲率半径を$R_{x\,2}$とするとき、

$$0.5 < R_{y\,2} / R_{x\,2} < 3 \quad \cdots (7)$$

を満足することが有用である。

【００４２】

この条件は、第２面がアナモフィック面であることと同様に、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。本発明の接眼光学系において、主な正のパワーを持つ面は第２面の反射面である。この面が（７）の条件を満たすことによって、非点収差補正の効果を大きく持たせることが可能となる。一般に、反射面は屈折面に比べて曲率半径の差によるパワーの差が大きいため、第２面における曲率半径を入射面内とこれと直交する面内において異なるものとすることが大きな効果を有することとなる。

【００４３】

さらに、第２面の上記曲率半径$R_{x\,2}$と$R_{y\,2}$は、

$$1 < R_{y\,2} / R_{x\,2} < 3 \quad \cdots (8)$$

を満足することが有用である。

【００４４】

製作性、コストを考慮すると、接眼光学系の第１面及び第３面は球面あるいは平面に加工することが考えられる。そのような場合、特に、反射面である第２面を（８）の条件を満たすことによって、収差補正の効果を持たせることが可能となる。条件（８）の下限の１を越えると、十分な非点収差補正の効果が得られなくなる。上限の３を越えると、接眼光学系の入射面内とこれと直交する面内におけるパワーの差が大きくなりすぎるため、補正オーバーになってしまう。

【００４５】

接眼光学系の第１面、第３面をアナモフィック面とすることで、第２面である反射面が傾いていることによって発生する非点収差を補正する場合、第２面の上記曲率半径$R_{x\,2}$と$R_{y\,2}$は、

$$0.5 < R_{y\,2} / R_{x\,2} \leqq 1 \quad \cdots (9)$$

なる条件を満たすことが重要となる場合がある。

【００４６】

この条件は、第１面あるいは第３面がアナモフィック面で構成されている場合、特に、第１面及び第３面の何れか１面の観察者視軸と画像表示素子の中心を含む面内のパワーが、それと垂直な面内のパワーよりも大きい場合に有効である。つまり、第２面が視軸に対して傾いているために起こる非点収差を他の面によって補正されている場合の条件であり、（９）の条件を満たすことで、第１面あるいは第３面で発生するコマ収差を補正する効果を得ることとなる。

【００４７】

また、接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面をそれぞれ正、正、負の屈折力を有する面とすることが、光学系全体のパワー配置として有効な効果が得られることになる。図３９に、本発明の接眼光学系の光学要素の配置図を示す。図において、左側より右側に向かって観察者の瞳３０、接眼光学系３１、画像表示素子３２とする。接眼光学系３１は、左から第１面４１、第２面４２、第３面４３を有する。

【００４８】

接眼光学系３１のパワー配置は、正、正、負であると、画像表示素子３２に向かう光線の傾角ｕは小さくなる。そのため、光学系の主点位置Ｈは接眼光学系３１よりも瞳３０方向にシフトするため、バックフォーカスＢｆ（第３面４３から画像表示面３２までの距離）が短くなり、アイリリーフＥＲ（瞳３０から第１面４１までの距離）を長くとることが可

能となる。このような大きなアイリリーフとすることで、顔面、特に眼、鼻と光学系が干渉する心配がなくなる。

【００４９】

また、第１面４１が正のパワーを有することで、反射面である第２面４２における光線高を低くすることができる。そのため、観察画角を広くとることが可能となる。さらに、軸外光線の反射面における光線高を低くできるために、凹面鏡で発生するコマ収差の発生を小さく抑えることが可能となる。

第２面４２は接眼光学系の主な正のパワーを有する反射面であり、画像表示素子３２が顔に干渉しないために観察者視軸に対して偏心して配置されている。

【００５０】

また、第３面４３を負のパワーを持たせることによって、主に第２面４２で発生した像面湾曲を補正することが可能となる。

【００５１】

さらに、接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面の屈折力をそれぞれϕ_1、ϕ_2、ϕ_3とするとき、

$$-1 > (\phi_1 + \phi_2)/\phi_3 > -15 \quad \cdots (10)$$

なる条件を満たすことが望ましい。

【００５２】

これは、接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面をそれぞれ正、正、負の屈折力を有する面とすることと同様の効果を得るための条件であり、第１面と第２面のパワーの和と第３面のパワーの比を規定したものである。（１０）式の条件を満足することで、第１面及び第２面で発生する負の球面収差を第３面で発生する正の球面収差によって補正する効果が得られ、さらに、主点位置を瞳側にシフトさせることができ、十分なアイリリーフを確保することが可能となる。

【００５３】

接眼光学系の第１面は、観察者眼球に対して凸面を向けた面であることが望ましい。第１面に正のパワーを持たせることによって、逆光線追跡による瞳から出た軸外光線は屈折され、反射面である第２面における光線高を低くすることができる。そのため、観察画角を広くとることが可能となる。さらに、従属光線の反射面における光線高を低くできるために、凹面鏡で発生する高次コマ収差の発生を小さく抑えることが可能となる。

【００５４】

さらに、接眼光学系の第３面は、画像表示素子に対して凹面を向けた面であることが望ましい。第３面に負のパワーを持たせることによって、主に第２面で発生した像面湾曲を補正することが可能となる。第２面では正のパワーを有するために、強い負の像面湾曲が生じる。この像面湾曲は、第３面を凹面とすることで正の像面湾曲を発生させて補正することが可能となる。

【００５５】

また、接眼光学系の第２面と視軸のなす角をαとするとき、

$$30° < \alpha < 80° \quad \cdots (11)$$

であることが望ましい。これは、装置が観察者の頭部に干渉しないための条件である。（１１）式の下限の３０°を越えると、反射後の光線は視軸に対して９０°以上の反射角をもってしまうため、画面の上と下の軸外光線の結像位置が非常に離れてしまい、現実的ではなくなる。逆に、上限の８０°を超えると、第２面で反射した光線がそのまま顔面方向に戻ってしまうため、画像表示素子と顔面が干渉してしまう。

【００５６】

また、画像表示素子の表示面は、観察者視軸に対して傾いて配備されていることが望ましい。反射面である第２面が視軸に対して傾いて配置されているため、反射された光線は入射高によって像高が異なり、像面が視軸に対して屈曲することがある。その場合、画像表示素子面を視軸に対して傾いて配備することで、像面の屈曲を補正することが可能となる。

【００５７】
さらに、本発明においては、接眼光学系と観察者眼球の間に正の屈折力を有する第１光学系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第１光学系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。
また、正のパワーを有する第１光学系と接眼光学系の媒質のアッベ数を異なる値に設定することで、倍率の色収差を補正することができる。
【００５８】
上記の第１光学系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。
【００５９】
また、第１光学系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。
【００６０】
さらに、第１光学系を接合レンズで構成することによって、第１光学系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を確保する場合に有効である。
また、第１光学系を接眼光学系と接合することによって、第１光学系と接眼光学系に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を確保する場合に有効である。
【００６１】
また、本発明においては、広画角で小型の画像表示装置になれば、凹面鏡の傾き角が大きくなり、高次コマ収差が発生する。また、面の傾きによって発生する非点収差も増大するため、接眼光学系単体ではこれらの収差補正を十分に行なうことが困難になってしまう。
そのため、前記接眼光学系と画像表示素子の間に第２光学系を配備することによって、前記接眼光学系で発生する収差の補正を行うことが可能となる。
【００６２】
また、頭部に装着する画像表示素子は顔面からの突出量が小さい程良いため、光学系は、観察者の眼球と接眼光学系との間に配備するよりも、接眼光学系と画像表示素子の間に配備する方が、顔面からの突出量を少なくできるメリットがある。これが第２光学系である。
また、第２光学系と接眼光学系の媒質のアッベ数を変化させることで、倍率の色収差を補正することができる。
【００６３】
さらに、前記した接眼光学系の第１面と観察者の瞳の間に第１光学系を配備したものと組み合わせた構成にすることでより、収差補正上有利になることは言うまでもない。
【００６４】
第２光学系を負の屈折力を有するレンズとすることで、光学系の主点位置をより瞳側にシフトすることができるため、アイリリーフを確保することが可能となる。
また、画像表示面の直前に負のパワーを有するレンズを配備することで、接眼光学系で発生した像面湾曲を補正することができる。
【００６５】
第２光学系を正の屈折力を有するレンズとすることで、光学系全体の正のパワーを接眼光学系の第２面と第２光学系に分散することになるため、第２面でのパワーは比較的小さくなり、反射面で発生する球面収差、コマ収差を小さくすることができる。
第２光学系を観察者視軸に対して偏心して配備することで、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の間で非対称に発生するコマ収差を補正し、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。
【００６６】

また、第２光学系を接合レンズで構成することによって、第２光学系で発生する倍率の色収差を補正することができ、画面の周辺まで色収差の少ない鮮明な画像を観察することが可能となる。

【００６７】

さらに、第２光学系を第３面に接合することによって、接眼光学系と第２光学系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を確保する場合に有効である。また、光学素子の数が増えても、光学系全体としてコンパクトな構成にすることが可能となる。

【００６８】

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。

【００６９】

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。

【００７０】

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。

【００７１】

【実施例】

以下に、本発明の画像表示装置の実施例１から２１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又は眼球回旋中心の位置から映像表示素子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、出発面である面番号１の面に関して、図１に示すように、観察者の瞳位置１中心を視軸方向をＺ軸とし、紙面をＹ－Ｚ面とし、紙面に垂直でＺ軸を含む面をＸ－Ｚ面とする。

【００７２】

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（記載のない項目はゼロ）されている面については、その前の面の面頂を原点とし、その前の面を規定している座標上でのＹ，Ｚで指定される位置に面頂が位置し、また、θで指定される角度だけその前の面の座標のＺ軸から中心軸が傾いていることを意味し、その場合、θが正は反時計回りを意味する。そして、その回転した座標（特に、Ｚ軸）が次の面を決める新たな座標になる。したがって、Ｚ軸方向について、傾き角θの指定がある毎に次の面を決める座標が変化して行く。

【００７３】

また、面間隔は、その面の座標におけるＺ軸に沿うその面の面頂から次の面を決める規準点までの距離であり、前の面にこの面間隔が規定されているときは、上記に係わらず、次の面は、この規準点を原点として、その前の面を規定している座標上でのＹ，Ｚで指定される位置に面頂が位置し、また、θで指定される角度だけその前の面の座標のＺ軸から中心軸が傾いていることを意味する。また、次の面に偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θが記載ないときは、次の面の面頂がその規準点に位置することになる。

【００７４】

なお、偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θについて、特に規準面が指定されている場合は、その指定された面の面頂を原点として、その指定された面を規定している座標上でのＹ，Ｚで指定される位置に面頂が位置し、また、θで指定される角度だけその指定された面の座標のＺ軸から中心軸が傾いていることを意味する。

【００７５】

また、各面において、アナモルフィック面の面形状は、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。

【００７６】

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

また、各面において、トーリック面の面形状は、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_y はＹ－Ｚ面内の円錐係数、Ａ、Ｂはそれぞれ Ｙ－Ｚ面内の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。

【００７７】

$$F(Y) = (Y^2/R_y) / [1+\{1-(1+K_y)(Y^2/R_y^2)\}^{1/2}] +AY^4+BY^6$$

$$Z = F(Y) + \{X^2+Z^2-F^2(Y)\} / (2R_X)$$

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。

【００７８】

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

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。

【００７９】

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、観察者の上方でも横方向（右眼では右方向）でも何れでもよいことは言うまでもない。

【００８０】

図１～図２０にそれぞれ実施例１～２０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、６は画像表示素子、７は第１面３、第２面４と第３面５からなる接眼光学系、８は第１光学系、９は第２光学系である。

【００８１】

これらの実施例における実際の光線経路は、画像表示素子６から発した光線束は、（第２光学系９）、接眼光学系７の第３面５、第２面（凹面鏡）４、第１面３、（第１光学系８）の順に（屈折）、屈折、反射、屈折、（屈折）されて、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。なお、図１９、図２０には、観察者視軸２上の光線が接眼光学系７の第１面３に入射する位置の第１面３の法線n_1 、その光線が接眼光学系７の第２面４に入射する位置の第２面４の法線n_2 、その光線が接眼光学系７の第３面５に入射する位置の第３面５の法線n_3 をそれぞれ図示してある。

【００８２】

実施例１
この実施例は、図１に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８３】
実施例２
本実施例は、図２に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、ゼロであり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８４】
実施例３
本実施例は、図３に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、正であり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は球面である。本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経８ｍｍである。
【００８５】
実施例４
本実施例は、図４に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３はトーリック面、第２面４は球面、第３面５はトーリック面である。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８６】
実施例５
本実施例は、図５に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれゼロ、正、負であり、第１面３は平面、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８７】
実施例６
本実施例は、図６に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、ゼロであり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、観察者の瞳１と接眼光学系７の第１面３の間に、視軸２に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８８】
実施例７
本実施例は、図７に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、ゼロであり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、視軸２に対して偏心して接眼光学系７の第１面３に接合されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。
【００８９】
実施例８
本実施例は、図８に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８、第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれゼロ、正、ゼロであり、第１面３は平面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である

。また、球面、平面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、接眼光学系７の第１面３に視軸に対して偏心して接合されており、平面、球面で構成された負のパワーを有する第２光学系９は、接眼光学系７の第３面５に偏心して接合されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９０】

実施例９

本実施例は、図９に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８、第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、ゼロであり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、観察者の瞳１と接眼光学系７の第１面３の間に、視軸２に対して偏心して配備されており、平面、球面で構成された負のパワーを有する第２光学系９は、接眼光学系７の第３面５に偏心して接合されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９１】

実施例１０

本実施例は、図１０に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８、第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、負であり、第１面３は球面、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、接眼光学系７の第１面３に、視軸に対して偏心して接合されており、球面レンズ２枚の接合レンズで構成された正のパワーを有する第２光学系９は、接眼光学系７の第３面５と画像表示素子６の間に偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９２】

実施例１１

本実施例は、図１１に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８、第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれゼロ、正、正であり、第１面３は平面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は球面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第１光学系８が、接眼光学系７の第１面３に、視軸２に対して偏心して接合されており、球面レンズ２枚の接合レンズで構成された正のパワーを有する第２光学系９は、接眼光学系７の第３面５に偏心して接合されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９３】

実施例１２

本実施例は、図１２に断面を示すように、接眼光学系７と第１光学系８とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、正であり、第１面３、第３面５は球面、第２面４はアナモフィック非球面である。また、球面レンズを２枚接合した構成の正のパワーを有する第１光学系８が、観察者の瞳１と接眼光学系７の第１面３の間に、視軸２に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９４】

実施例１３

本実施例は、図１３に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、ゼロであり、第１面３は球面、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は平面である。また、平面と球面で構成された負のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７の第３面５に平面側が接合され、視軸に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角４５°、垂直画角３５．５°、瞳経８ｍｍである。

【００９５】

実施例１４

本実施例は、図１４に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼

光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７と画像表示素子６の間に視軸に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９６】

実施例１５

本実施例は、図１５に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３、第３面５は球面、第２面４はアナモフィック非球面である。また、球面で構成された正のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７の第３面５に視軸に対して偏心して接合されている。本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経８ｍｍである。

【００９７】

実施例１６

本実施例は、図１６に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。また、球面レンズを２枚接合した構成の正のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７と画像表示素子６の間に視軸に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９８】

実施例１７

本実施例は、図１７に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３、第２面４はアナモフィック非球面、第３面５は球面である。また、球面レンズを２枚接合した構成の正のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７に視軸に対して偏心して接合されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【００９９】

実施例１８

本実施例は、図１８に断面を示すように、接眼光学系７と第２光学系９とからなり、接眼光学系７の第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ正、正、負であり、第１面３はアナモフィック非球面、第２面４、第３面５は球面である。また、球面レンズを２枚接合した構成の正のパワーを有する第２光学系９が、接眼光学系７と画像表示素子６の間に、視軸に対して偏心して配備されている。本実施例は、水平画角３５°、垂直画角２６．６°、瞳経８ｍｍである。

【０１００】

実施例１９

この実施例は、図１９に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、負であり、第１面３、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。

【０１０１】

実施例２０

この実施例は、図２０に断面を示すように、接眼光学系７のみからなり、第１面３、第２面４、第３面５のパワーは、それぞれ負、正、負であり、第１面３、第２面４、第３面５はアナモフィック非球面である。本実施例は、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。

【０１０２】

なお、以上の各実施例において、アナモルフィック非球面、トーリック面の面形状にこだわらず、回転対称な非球面、球面、さらに、次に式で定義される自由曲面等の面形状で構成できることは言うまでもない。

$$z = \sum_{n=0}^{k} \sum_{m=0}^{k'} C_{nm} x^{m} y^{n-m}$$

ここで、ｘ，ｙ，ｚは直交座標を表し、$C_{n\,m}$は任意の係数、ｋ，ｋ’も任意とする。

【０１０３】

さらに、面の曲率、パワー等を定義できない形状の場合は、視軸上を進み画像表示素子に到る軸上光線に沿って、軸上光線と面とが当たる部分の面の形状の微分値によって得られるある任意のある領域内の曲率をその面の曲率とすることで、曲率、パワーを求めることもできる。

【０１０４】

次に、図２１に実施例２１の水平断面図を示す。この実施例は両眼用の画像表示装置の断面図であり、実施例１９の接眼光学系を２つ用い、１つの画像表示素子６からの画像を左右の接眼光学系7_L、7_Rに供給している。なお、1_L、1_Rは観察者の左右の瞳位置、2_L、2_Rは観察者の左右の視軸を示す。

次に、上記実施例１～２０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)		31.247				
2	R_y	276.464		39.745		1.5163		64.15
	R_X	105.242			Y	2.792	θ	-17.70°
	K_y	176.284						
	K_X	17.596						
	AR	7.70344	$\times10^{-7}$					
	BR	-4.42381	$\times10^{-9}$					
	AP	1.24899						
	BP	9.45301	$\times10^{-2}$					
3	R_y	-115.076		0		1.5163		64.15
	R_X	-109.349			Y	-15.00	θ	29.85°
	K_y	-9.55591	$\times10^{-1}$					
	K_X	-6.173689						
	AR	1.52656	$\times10^{-10}$					
	BR	-2.18269	$\times10^{-13}$					
	AP	1.56741	$\times10$					
	BP	-5.13958						
4	R_y	-84.948		0		(2面より)		
	R_X	-71.864			Y	-27.925	θ	47.26°
	K_y	2.690462			Z	10.892		
	K_X	-3.997544						
	AR	-1.72765	$\times10^{-6}$					
	BR	8.97516	$\times10^{-10}$					
	AP	0.674265						
	BP	0.108674						
5		(画像表示素子)				(1面より)		
					Y	-33.951	θ	23.99°

Z 26.499

f_y / f_x = 1.07
R_{y2} / R_{x2} = 1.05
$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3$ = -3.124
α = 77.84°

【０１０５】
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)	30.048		
2		74.481	35.475	1.4870	70.40
				Y -2.504	θ -12.70°
3	R_y	-276.247	0	1.4870	70.40
	R_x	-169.609		Y -13.949	θ 30.00°
	K_y	22.492490			
	K_x	-4.695438			
	AR	4.76325×10^{-13}			
	BR	3.65877×10^{-11}			
	AP	-6.47839×10			
	BP	0.25757			
4		∞	0	（２面より）	
				Y -20.901	θ 80.93°
5		(画像表示素子)		（１面より）	
				Y -37.948	θ 31.25°
				Z 17.514	

f_y / f_x = 1.37
R_{y2} / R_{x2} = 1.63
$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3$ = ∞
α = 72.70°

【０１０６】
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)	53.100		
2	57.295	30.784	1.51633	64.15
3	R_y -356.503	0		
	R_x -233.239		Y 2.597	θ 36.46°
	k_y -51.331834			
	k_x 31.598154			
	AR 2.34782 $\times 10^{-7}$			
	BR 7.22862 $\times 10^{-11}$			
	AP -0.669695			
	AR -0.168105			
4	206.104	0	(2面より)	
			Y -29.873	θ 83.29°
5	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -50.724	θ 56.04°
			Z 67.059	

$f_y / f_x = 1.20$

$R_{y2} / R_{x2} = 1.53$

$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3 = 6.57$

$\alpha = 53.54°$

【０１０７】

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)	38.060		
2	R_y 413.784	26.415	1.4870	70.40
	R_x 100.921		Y 15.589	θ -19.27°
3	-138.139	0	1.4870	70.40
			Y -13.921	θ 38.00°
4	R_y -97.085	0	(2面より)	
	R_x -228.894		Y -30.000	θ 80.00°
			Z -11.270	
5	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -35.297	θ 21.06°
			Z 21.066	

$f_y / f_x = 1.26$

$R_{y2} / R_{x2} = 1.00$

$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3 = -3.14$

$\alpha = 71.27°$

【０１０８】

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)	30.000		
2	∞	42.809	1.5163	64.15
			Y -1.557	θ -13.01°
3	R_y -107.677	0	1.5163	64.15
	R_X -124.033		Y -18.916	θ 30.00°
	K_y 0.713			
	K_X -1.355			
	AR 3.62201 $\times 10^{-10}$			
	BR -7.43591 $\times 10^{-15}$			
	AP 29.8897			
	BP 6.50741			
4	R_y -311.976	0	(2面より)	
	R_X 90.339		Y -26.833	θ 66.13°
	K_y 22.560			
	K_X 0			
	AR -7.62678 $\times 10^{-7}$			
	BR 2.08695 $\times 10^{-10}$			
	AP 1.90694			
	BP 0.86329			
5	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -43.950	θ 37.54°
			Z 32.513	

f_y / f_x = 1.19
R_{y2} / R_{X2} = 0.87
$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3$ = -11.22
α = 73.01°

【０１０９】
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)	28.024		
2	47.970	9.309	1.6201	60.27
			Y 0.232	θ -5.97°
3	-31.146	3.866		
4	-26.468	9.500	1.7550	27.60
5	R_y -212.641	0	1.7550	27.60
	R_X -150.033		Y 11.476	θ 40.00°
	K_y -4.575			
	K_X -3.639			
	AR 4.83678 $\times 10^{-8}$			
	BR 1.8208 $\times 10^{-11}$			
	AP -0.069392			
	BP -0.40101			
6	∞	0	(4面より)	
			Y -15.089	θ 74.70°
			Z -16.770	
7	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -37.882	θ 41.01°
			Z 38.525	

f_y / f_x = 1.25

R_{y2} / R_{X2} = 1.42

α = 55.97°

【０１１０】

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)	34.904		
2	86.297	11.523	1.6383	56.89
			Y 0.673	θ -14.71°
3	-25.358	30.000	1.6344	34.94
4	R_y -224.233	0	1.6344	34.94
	R_x -158.986		Y -3.951	θ 33.68°
	K_y -2.207			
	K_x 0.088			
	AR 1.01137 $\times 10^{-7}$			
	BR -3.6633 $\times 10^{-14}$			
	AP -0.194047			
	BP 5.65461			
5	-164.621	0	(3面より)	
			Y -16.498	θ 77.89°
			Z -14.078	
6	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -36.695	θ 29.01°
			Z 35.750	

f_y / f_x = 1.30

R_{y2} / R_{x2} = 1.41

α = 71.03°

【０１１１】

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)		30.091				
2	R_y	83.071		9.022		1.4870		70.40
	R_X	81.196			Y	17.244	θ	-6.07°
	K_y	-0.0811						
	K_X	4.590						
	AR	-7.70164	$\times 10^{-9}$					
	BR	7.63576	$\times 10^{-11}$					
	AP	-1.06835	$\times 10$					
	BP	0.539891						
3		∞		24.577		1.5027		68.73
4	R_y	-198.652		0		1.5027		68.73
	R_X	-136.845			Y	-15.000	θ	36.92°
	K_y	13.841						
	K_X	1.762						
	AR	2.79908	$\times 10^{-7}$					
	BR	1.60174	$\times 10^{-12}$					
	AP	-3.18503	$\times 10^{-3}$					
	BP	-1.00853						
5		∞		-1.5		1.7550		27.60
						(3面より)		
					Y	-43.693	θ	103.95°
					Z	-41.399		
6	R_y	-193.685		0				
	R_X	-138.084						
	K_y	0.204						
	K_X	24.814						
	AR	2.88725	$\times 10^{-9}$					

BR 5.01773 $\times 10^{-11}$

AP 5.17891

BP -1.6592

7 (画像表示素子) (1面より)

Y -40.715 θ 38.97°

Z 32.850

f_y / f_x = 1.36

R_{y2} / R_{x2} = 1.45

α = 59.15°

【0112】

実施例9

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	25.250		
2	82.662	9.967	1.4965	69.36
			Y 17.240	θ -4.22°
3	-101.884	1.967		
4	-101.337	9.500	1.5163	64.15
5	R_y -213.810	0	1.5163	64.15
	R_X -128.219		Y -2.364	θ 44.85°
	K_y 10.298			
	K_X 1.364			
	AR 2.76231 $\times 10^{-7}$			
	BR -6.66096 $\times 10^{-12}$			
	AP -0.0309059			
	BP -1.37769			
6	∞	-5.076	1.7538	27.65
			(4面より)	
			Y -50.140	θ 111.74°
			Z -31.051	
7	-236.972	0		
8	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -44.993	θ 43.72°
			Z 35.241	

f_y / f_x = 1.53

R_{y2} / R_{X2} = 1.67

α = 49.37°。

【０１１３】

実施例１０

面番号		曲率半径		間隔		屈折率 (偏心量)		アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)		31.097				
2	R_y	139.405		3.324		1.4896		70.10
	R_X	61.718			Y	3.225	θ	-19.49°
	K_y	34.871						
	K_X	3.532						
	AR	7.70344	$\times 10^{-7}$					
	BR	-4.42381	$\times 10^{-9}$					
	AP	0.361603						
	BP	0.0354448						
3		-200.000		27.000		1.5163		64.15
4	R_y	-258.516		0		1.5163		64.15
	R_X	-279.493			Y	-8.244	θ	44.07°
	K_y	21.058						
	K_X	-3.010						
	AR	1.75101	$\times 10^{-10}$					
	BR	8.01808	$\times 10^{-11}$					
	AP	18.6627						
	BP	0.0471687						
5	R_y	-199.068		0		(3面より)		
	R_X	-342.870			Y	-15.332	θ	85.138 °
	K_y	-12.037572						
	K_X	-453.468						
	AR	-3.09	$\times 10^{-7}$					
	BR	-4.98901	$\times 10^{-12}$					
	AP	0.0206667						
	BP	-2.99819						
6		-36.548		-10.691		1.6259		59.12

			（１面より）	
			Y -25.646	θ 58.07°
			Z 39.014	
7	55.628	-3.007	1.7550	27.60
8	(画像表示素子)		（１面より）	
			Y -49.246	θ 43.56°
			Z 19.509	

f_y / f_x ＝ 1.21

R_{y2} / R_{x2} ＝ 0.92

α ＝ 65.42°

【０１１４】

実施例１１

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	30.353		
2	81.809	9.485	1.5518	64.49
			Y 3.047	θ -11.40°
3	∞	30.000	1.5163	64.15
4	R_y -281.144	0	1.5163	64.15
	R_x -153.073		Y -9.677	θ 37.33°
	K_y 4.511			
	K_x -2.620			
	AR -3.17464 $\times 10^{-11}$			
	BR -1.06044 $\times 10^{-14}$			
	AP -13.484			
	BP 8.57385			
5	191.029	-2.110	1.6666	32.34
			(3面より)	
			Y -16.991	θ 95.56°
6	-27.157	-8.164	1.7440	44.70
7	-453.659	0		
	K 111.826			
	A -4.94954 $\times 10^{-7}$			
	B 8.70349 $\times 10^{-11}$			
8	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -43.506	θ 38.91°
			Z 32.012	

f_y / f_x = 1.47

R_{y2} / R_{x2} = 1.84

α = 64.08°

【０１１５】

実施例１２

面番号		曲率半径		間隔		屈折率 (偏心量)		アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)		28.009				
2		43.771		7.450		1.6022		61.25
					Y	0	θ	-5.85°
3		-36.941		4.854		1.5356		65.74
4		-30.202		3.675				
5		-25.618		9.500		1.7550		27.60
6	R_y	-211.455		0		1.7550		27.60
	R_x	-149.472			Y	11.733	θ	40.00°
	K_y	-5.135						
	K_x	-3.989						
	AR	4.36042	$\times 10^{-8}$					
	BR	1.60262	$\times 10^{-11}$					
	AP	-0.116601						
	BP	-0.28892						
7		573.387		0		(5面より)		
					Y	-14.924	θ	72.46°
					Z	-15.576		
8		(画像表示素子)				(1面より)		
					Y	-37.262	θ	41.77°
					Z	42.032		

f_y / f_x = 1.23
R_{y2} / R_{x2} = 1.41
α = 55.84°

【０１１６】
実施例１３

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	30.000		
2	50.215	30.352	1.5163	64.15
3	R_y -172.842	0	1.5163	64.15
	R_x -120.499		Y -6.288	θ 30.00°
	K_y 9.571582			
	K_x 3.09809			
	AR 6.31318 $\times 10^{-7}$			
	BR 7.77737 $\times 10^{-11}$			
	AP -0.125979			
	BP -0.152575			
4	∞	-2.000	1.7550	27.60
			(2面より)	
			Y -20.911	θ 91.19°
			Z -23.819	
5	-116.435	0		
6	(画像表示素子)		(1面より)	
			Y -34.708	θ 48.86°
			Z 37.379	

f_y / f_x = 1.31

R_{y2} / R_{x2} = 1.43

α = 60.00°

【０１１７】

実施例１４

面番号		曲率半径		間隔		屈折率 (偏心量)		アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)		32.585				
2	R_y	145.095		31.907		1.4870		70.40
	R_X	109.066			Y	3.225	θ	-19.49°
	K_y	50.659						
	K_X	8.645						
	AR	7.77034	$\times 10^{-7}$					
	BR	-4.42381	$\times 10^{-9}$					
	AP	1.29734						
	BP	0.366886						
3	R_y	-236.303		0		1.4870		70.40
	R_X	-271.086			Y	-11.811	θ	41.94°
	K_y	15.028						
	K_X	21.498						
	AR	1.67678	$\times 10^{-10}$					
	BR	5.39271	$\times 10^{-11}$					
	AP	2.51861						
	BP	0.334236						
4	R_y	-40.759		0		(2面より)		
	R_X	-135.367			Y	-24.833	θ	48.01°
	K_y	-1.942474			Z	12.524		
	K_X	-57.305						
	AR	-2.47132	$\times 10^{-6}$					
	BR	-1.45235	$\times 10^{-11}$					
	AP	0.381923						
	BP	-3.39339						
5		-35.462		-14.000		1.6214 (1面より)		60.00

			Y -25.646	θ	58.07°
			Z 39.014		
6	-71.958	0			
7	(画像表示素子)		（1面より）		
			Y -54.687	θ	39.72°
			Z 16.376		

f_y / f_x ＝ 1.45
R_{y2} / R_{x2} ＝ 0.87
α ＝ 67.55°

【０１１８】
実施例１５

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	53.100		
2	57.773	30.279	1.5046	68.53
3	R_y -313.753	0	1.5046	68.53
	R_x -198.345		Y 2.651 θ	36.34°
	K_y -28.703			
	K_x 22.001			
	AR 2.3892 $\times 10^{-7}$			
	BR 6.42789 $\times 10^{-11}$			
	AP -0.596766			
	BP -0.434327			
4	-81.742	-8.179	1.4870	70.40
			（2面より）	
			Y -25.838 θ	84.09°
			Z 4.829	
5	830.592	0		
6	(画像表示素子)		（1面より）	
			Y -50.879 θ	50.89°
			Z 65.919	

f_y / f_x ＝ 1.27
R_{y2} / R_{x2} ＝ 1.58
α ＝ 53.66°

【０１１９】

実施例１６

面番号		曲率半径		間隔		屈折率 (偏心量)		アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)		37.413				
2	R_y	149.929		39.526		1.5919		61.85
	R_X	58.77			Y	3.490	θ	-25.40°
	K_y	29.902						
	K_X	2.230						
	AR	7.56485	$\times 10^{-7}$					
	BR	-2.2239	$\times 10^{-9}$					
	AP	0.325219						
	BP	-0.033102						
3	R_y	-226.132		0		1.5919		61.85
	R_X	-255.234			Y	-12.092	θ	48.12°
	K_y	5.585						
	K_X	-27.508						
	AR	1.35684	$\times 10^{-10}$					
	BR	1.61885	$\times 10^{-11}$					
	AP	15.2035						
	BP	0.111233						
4	R_y	-100.909		0		1.5919		61.85
	R_X	-123.857				(２面より)		
	K_y	-1.092337			Y	-12.873	θ	79.67°
	K_X	-26.047854			Z	30.820		
	AR	-4.88626	$\times 10^{-7}$					
	BR	1.75231	$\times 10^{-11}$					
	AP	-0.407978						
	BP	-1.16031						
5		-46.552		-13.041		1.5900		61.96
						(１面より)		

			Y	-30.332	θ 50.87°
			Z	50.335	
6	35.406	-10.000		1.7550	27.60
7	-62.325	0			
8	(画像表示素子)		（１面より）		
			Y	-53.275	θ 45.89°
			Z	28.762	

f_y / f_x ＝ 1.60

R_{y2} / R_{x2} ＝ 0.89

α ＝ 67.28°

【０１２０】

実施例１７

面番号		曲率半径		間隔		屈折率 (偏心量)		アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)		37.065				
2	R_y	132.871		29.174		1.5163		64.15
	R_X	62.737			Y	2.631	θ	-22.08°
	K_y	27.156						
	K_X	1.146						
	AR	7.39961	$\times10^{-8}$					
	BR	-1.51681	$\times10^{-9}$					
	AP	1.89107						
	BP	0.326147						
3	R_y	-235.809		0		1.5163		64.15
	R_X	-178.414			Y	-6.897	θ	46.00°
	K_y	13.089						
	K_X	-15.704						
	AR	3.2092	$\times10^{-12}$					
	BR	4.84694	$\times10^{-11}$					
	AP	7.96135						
	BP	0.179971						
4		-52.251		-8.000		1.6219		59.91
						(2面より)		
					Y	-14.166	θ	102.72°
					Z	-9.241		
5		53.204		-1.424		1.7550		27.60
6		-759.286		0				
7		(画像表示素子)				(1面より)		
					Y	-46.083	θ	36.92°
					Z	26.956		

$f_y / f_x = 1.47$

$R_{y2} / R_{X2} = 1.32$

$\alpha = 66.08°$

【０１２１】

実施例１８

面番号		曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)	37.882		
2	R_y	82.505	35.426	1.6479	55.31
	R_x	55.304		Y 4.614	θ -19.24°
	K_y	7.482			
	K_x	1.079			
	AR	-5.76586×10^{-7}			
	BR	-9.41749×10^{-10}			
	AP	0.0278216			
	BP	0.271564			
3		-339.501	0	1.6479	55.31
				Y -14.928	θ 44.65°
4		-338.328	0	(2面より)	
				Y -14.444	θ 92.37°
				Z -3.737	
5		-34.866	-13.520	1.4870	70.40
				(1面より)	
				Y -21.358	θ 54.65°
				Z 50.128	
6		35.818	-5.598	1.7550	27.61
7		-76.565	0		
8		(画像表示素子)		(1面より)	
				Y -47.668	θ 49.44°
				Z 29.711	

f_y / f_x = 1.24

R_{y2} / R_{x2} = 1.00

α = 64.59°

。

【０１２２】

実施例１９

面番号		曲率半径		間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)				
2	R_y	-41.34			1.5163	64.15
	R_X	-148.65			(1面より)	
	K_y	0		Y	-4.50	θ 21.99°
	K_X	0		Z	47.38	
	AR	2.25879	$\times 10^{-7}$			
	BR	0				
	AP	9.72790	$\times 10^{-1}$			
	BP	0				
3	R_y	-82.28			1.5163	64.15
	R_X	-87.60			(1面より)	
	K_y	0		Y	-33.19	θ -44.28°
	K_X	0		Z	46.31	
	AR	5.37423	$\times 10^{-12}$			
	BR	-5.27252	$\times 10^{-11}$			
	AP	1.09883	$\times 10^{2}$			
	BP	-1.03412				
4	R_y	-48.96			(1面より)	
	R_X	-61.76		Y	15.44	θ -103.61°
	K_y	0		Z	16.59	
	K_X	0				
	AR	4.17500	$\times 10^{-7}$			
	BR	0				
	AP	-1.35043				
	BP	0				
5		(画像表示素子)			(1面より)	
				Y	30.00	θ 0.00°

Z 27.20

f_y / f_x	= 1.499
R_{y2} / R_{x2}	= 0.93932
$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3$	= -0.976
θ_1	= 37.40°
θ_2	= 23.73°
θ_3	= 6.34°

。

【０１２３】
実施例２０

面番号		曲率半径		間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1		∞ (瞳)				
2	R_y	-36.46			1.5163	64.15
	R_X	-74.77			(1面より)	
	K_y	0			Y -21.96	θ 1.35°
	K_X	0			Z 54.33	
	AR	2.56434	$\times 10^{-7}$			
	BR	0				
	AP	7.96475	$\times 10^{-1}$			
	BP	0				
3	R_y	-69.85			1.5163	64.15
	R_X	-76.70			(1面より)	
	K_y	0			Y -33.48	θ -46.14°
	K_X	0			Z 49.50	
	AR	6.37975	$\times 10^{-12}$			
	BR	-7.94628	$\times 10^{-11}$			
	AP	1.19321	$\times 10^{2}$			
	BP	-9.03050	$\times 10^{-1}$			
4	R_y	-58.98			(1面より)	
	R_X	-279.28			Y 21.94	θ -40.24°
	K_y	0			Z 41.74	
	K_X	0				
	AR	-1.41400	$\times 10^{-7}$			
	BR	0				
	AP	-8.97712	$\times 10^{-1}$			
	BP	0				
5		(画像表示素子)			(1面より)	
					Y 30.00	θ 0.00°

Z 33.25

f_y / f_x = 1.501
R_{y2} / R_{x2} = 0.91071
$(\phi_1 + \phi_2) / \phi_3$ = -0.726
θ_1 = 28.87°
θ_2 = 25.26°
θ_3 = 37.99°

【０１２４】
次に、上記実施例の中、実施例１、実施例６、実施例１８～２０の横収差図をそれぞれ図２３～図２５、図２６～図２８、図２９～図３１、図３２～図３４、図３５～図３７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。
【０１２５】
以上、本発明の画像表示装置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。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３８（ａ）に断面図、同図（ｂ）に斜視図を示すように、左右のＨＭＤ１２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、映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。
【０１２６】
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３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者眼球側から第１面、第２面、第３面とし、前記第１面と前記第２面の間、及び、前記第２面と前記第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記第１面の曲率と前記第２面の曲率は異なり、前記第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、
前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記第３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、前記観察者眼球に入射するように構成され、
前記画像表示素子が観察者顔面の前方に、かつ、表示面が観察者の略前方を向いて配置されていることを特徴とする画像表示装置。
【０１２７】
〔２〕　前記画像表示装置は、１つの画像表示素子と２つの接眼光学系とから構成されていることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１２８】
〔３〕　　前記第１面、第２面、第３面の何れか１面はアナモフィック面であることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１２９】
〔４〕　　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焦点距離をf_y　、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と直交する面内の前記接眼光学系の焦点距離をf_x　とするとき、

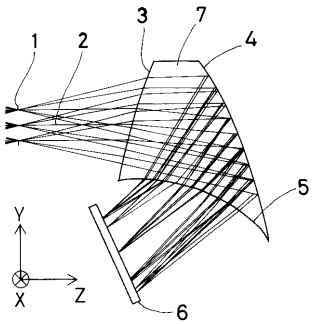
$f_y / f_x > 1$ ・・・（６）
を満たすことを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３０】
〔５〕　前記接眼光学系の第２面はアナモフィック面であることを特徴とする上記〔３〕記載の画像表示装置。
【０１３１】
〔６〕　前記観察者視軸を含み前記画像表示素子の中心を含む面の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{y2}とし、前記観察者視軸を含み前記画像表示素子の中心を含む面と直交する面内の前記接眼光学系の第２面の曲率半径をR_{x2}とするとき、
$0.5 < R_{y2} / R_{x2} < 3$ ・・・（７）
を満たすことを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３２】
〔７〕　前記接眼光学系の第２面の曲率半径R_{x2}とR_{y2}は、
$1 < R_{y2} / R_{x2} < 3$ ・・・（８）
を満たすことを特徴とする上記〔６〕記載の画像表示装置。
【０１３３】
〔８〕　前記接眼光学系の第２面の曲率半径R_{x2}とR_{y2}は、
$0.5 < R_{y2} / R_{x2} \leqq 1$ ・・・（９）
を満たすことを特徴とする上記〔６〕記載の画像表示装置。
【０１３４】
〔９〕　前記接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面が、それぞれ正、正、負の屈折力を有することを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３５】
〔１０〕　前記接眼光学系の第１面、第２面、第３面の各面の屈折力をそれぞれϕ_1、ϕ_2、ϕ_3とするとき、
$-1 > (\phi_1 + \phi_2) / \phi_3 > -15$ ・・・（１０）
を満たすことを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３６】
〔１１〕　前記接眼光学系の第１面は観察者眼球に対して凸面を向けた面であることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３７】
〔１２〕　前記接眼光学系の第３面は画像表示素子に対して凹面を向けた面であることを特徴とする上記〔１〕又は〔１１〕記載の画像表示装置。
【０１３８】
〔１３〕　前記接眼光学系の第２面と前記観察者視軸のなす角をαとするとき、３０°＜α＜８０°　・・・（１１）
を満たすことを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１３９】
〔１４〕　前記画像表示素子の表示面は前記観察者視軸に対して傾いて配備されていることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【０１４０】
〔１５〕　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３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者眼球側から第１面、第２面、第３面とし、前記第１面と前記第２面の間、及び、前記第２面と前記第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記第１面の曲率と前記第２面の曲率は異なり、前記第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記第１面と前記観察者眼球の間に正のパワーを有する第１光学系を備え、
前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者眼球に入射するまでに中間像を形成するこ

となく、また、前記第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記第３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、前記第１光学系を介して前記観察者眼球に入射するように構成され、
前記画像表示素子が観察者顔面の前方に、かつ、表示面が観察者の略前方を向いて配置されていることを特徴とする画像表示装置。
【０１４１】
〔１６〕　前記第１光学系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〔１５〕記載の画像表示装置。
【０１４２】
〔１７〕　前記第１光学系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〔１５〕記載の画像表示装置。
【０１４３】
〔１８〕　前記第１光学系は接合レンズであることを特徴とする上記〔１５〕記載の画像表示装置。
【０１４４】
〔１９〕　前記第１光学系は前記第１面に接合されていることを特徴とする上記〔１５〕記載の画像表示装置。
【０１４５】
〔２０〕　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３つの面を持ち、前記少なくとも３つの面を観察者眼球側から第１面、第２面、第３面とし、前記第１面と前記第２面の間、及び、前記第２面と前記第３面の間に形成される空間を屈折率が１より大きい媒質で満たし、前記第１面の曲率と前記第２面の曲率は異なり、前記第２面は、観察者視軸に対して偏心して配備され、前記観察者眼球に対して凹面を向けた反射又は半透過面であり、前記第３面と前記画像表示素子の間に第２光学系を備え、
前記画像表示素子から出た光線は、前記観察者眼球に入射するまでに中間像を形成することなく、また、前記第２面でのみ１回反射し、前記画像表示素子からの光線経路が、前記第２光学系を介して、前記第３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、前記観察者眼球に入射するように構成され、
前記画像表示素子が観察者顔面の前方に、かつ、表示面が観察者の略前方を向いて配置されていることを特徴とする画像表示装置。
【０１４６】
〔２１〕　前記第２光学系は負の屈折力を有するレンズであることを特徴とする上記〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１４７】
〔２２〕　前記第２光学系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〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１４８】
〔２３〕　前記第２光学系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〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１４９】
〔２４〕　前記第２光学系は接合レンズであることを特徴とする上記〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１５０】
〔２５〕　前記第２光学系は前記第３面に接合されていることを特徴とする上記〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１５１】
〔２６〕　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〕、〔１５〕又は〔２０〕記載の画像表示装置

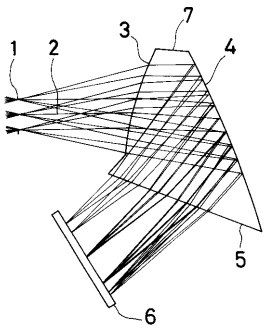
。
【０１５２】
〔２７〕　前記画像表示素子と前記接眼光学系を前記観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できることを特徴とする上記〔１〕、〔１５〕又は〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１５３】
〔２８〕　前記画像表示装置の少なくとも２組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする上記〔１〕、〔１５〕又は〔２０〕記載の画像表示装置。
【０１５４】
【発明の効果】
以上の説明から明らかなように、本発明の画像表示装置によると、広い観察画角で、光学系のみならず画像表示素子周辺も小型軽量な頭部装着式画像表示装置等の画像表示装置を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【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９の画像表示装置の光路図である。
【図１０】本発明の実施例１０の画像表示装置の光路図である。
【図１１】本発明の実施例１１の画像表示装置の光路図である。
【図１２】本発明の実施例１２の画像表示装置の光路図である。
【図１３】本発明の実施例１３の画像表示装置の光路図である。
【図１４】本発明の実施例１４の画像表示装置の光路図である。
【図１５】本発明の実施例１５の画像表示装置の光路図である。
【図１６】本発明の実施例１６の画像表示装置の光路図である。
【図１７】本発明の実施例１７の画像表示装置の光路図である。
【図１８】本発明の実施例１８の画像表示装置の光路図である。
【図１９】本発明の実施例１９の画像表示装置の光路図である。
【図２０】本発明の実施例２０の画像表示装置の光路図である。
【図２１】本発明の実施例２１の画像表示装置の水平断面図である。
【図２２】本発明における画像表示素子の配置を説明するための図である。
【図２３】本発明の実施例１の横収差図の一部である。
【図２４】本発明の実施例１の横収差図の別の部分である。
【図２５】本発明の実施例１の横収差図の残りの部分である。
【図２６】本発明の実施例６の横収差図の一部である。
【図２７】本発明の実施例６の横収差図の別の部分である。
【図２８】本発明の実施例６の横収差図の残りの部分である。
【図２９】本発明の実施例１８の横収差図の一部である。
【図３０】本発明の実施例１８の横収差図の別の部分である。
【図３１】本発明の実施例１８の横収差図の残りの部分である。
【図３２】本発明の実施例１９の横収差図の一部である。
【図３３】本発明の実施例１９の横収差図の別の部分である。
【図３４】本発明の実施例１９の横収差図の残りの部分である。
【図３５】本発明の実施例２０の横収差図の一部である。
【図３６】本発明の実施例２０の横収差図の別の部分である。

【図３７】本発明の実施例２０の横収差図の残りの部分である。
【図３８】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３９】本発明の接眼光学系の光学要素の配置図である。
【図４０】従来の１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【図４１】従来の別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図４２】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４３】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…観察者の瞳位置
２…視軸
３…接眼光学系の第１面
４…接眼光学系の第２面（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…第１光学系
９…第２光学系
１０…ヘッドバンド
１１…液晶シヤッター
１２…ＨＭＤ

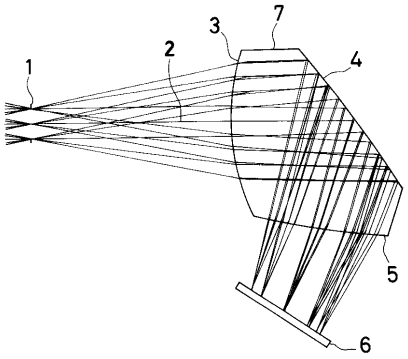
【図１】



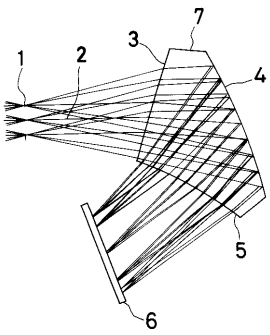
【図２】



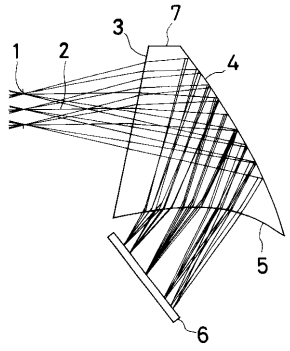
【図３】



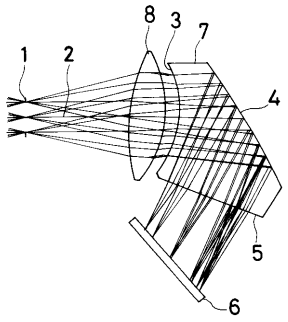
【図４】



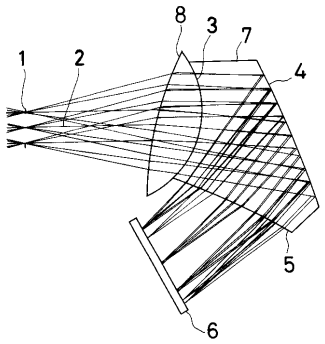
【図５】



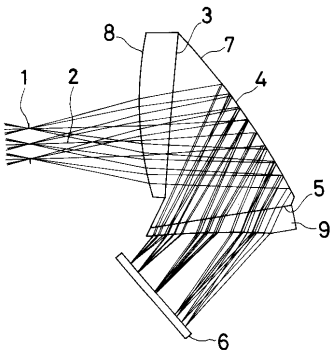
【図６】



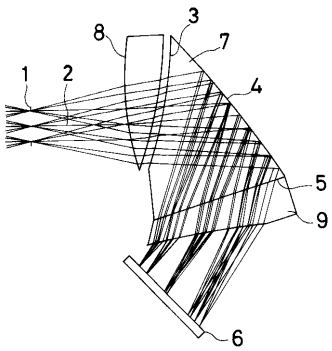
【図７】



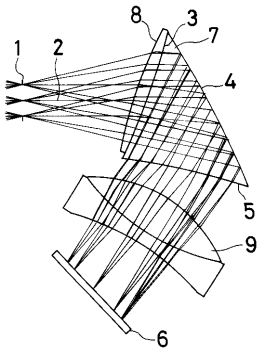
【図８】



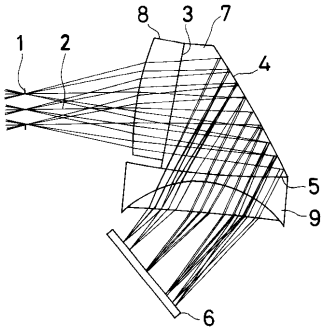
【図９】



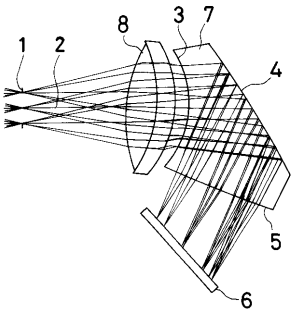
【図１０】



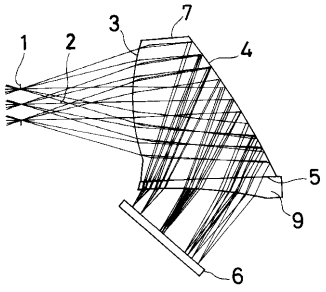
【図１１】



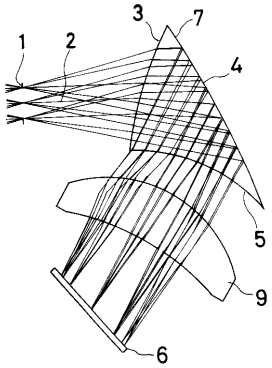
【図１２】



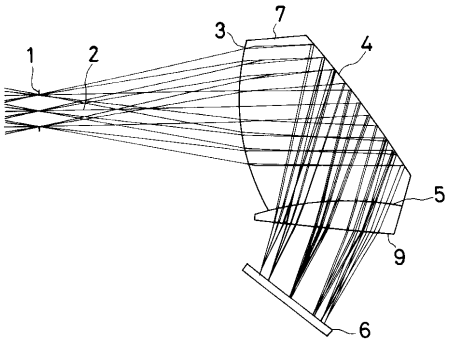
【図１３】



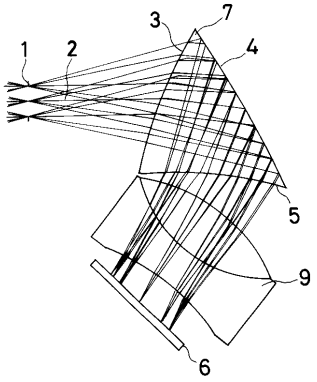
【図１４】



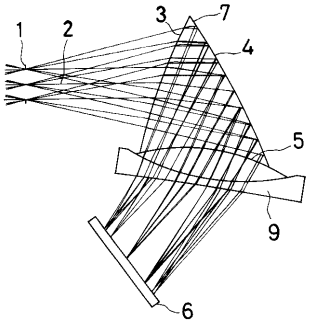
【図１５】



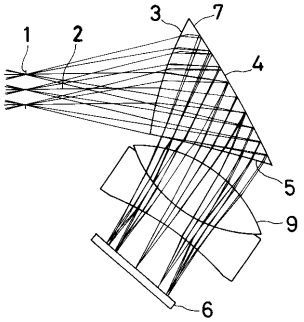
【図１６】



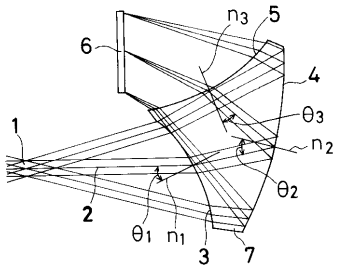
【図１７】



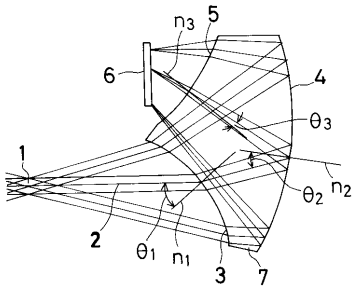
【図１８】



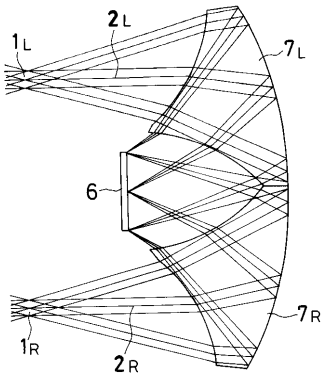
【図１９】



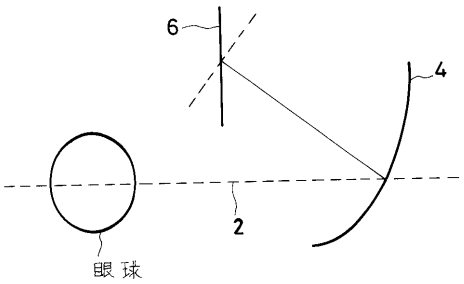
【図２０】



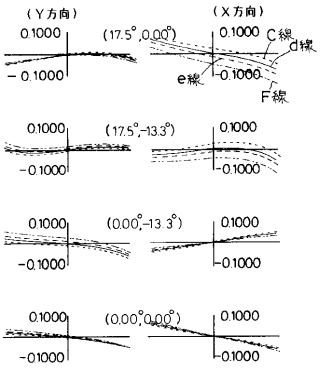
【図２１】



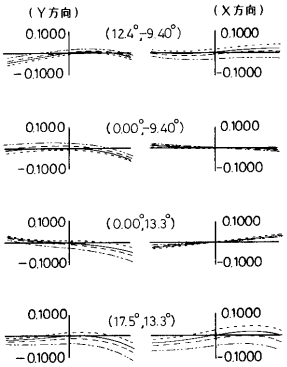
【図２２】



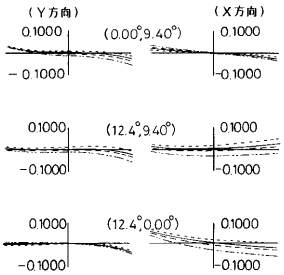
【図２３】



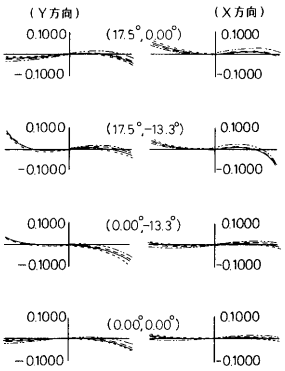
【図２４】



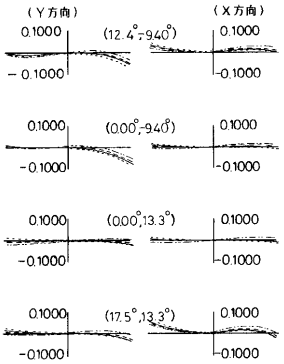
【図２５】



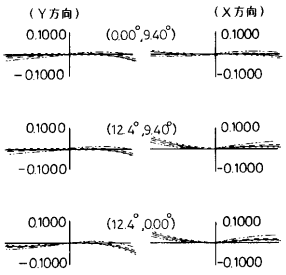
【図２６】



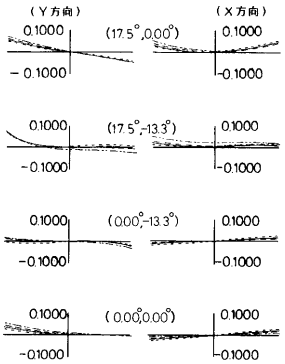
【図２７】



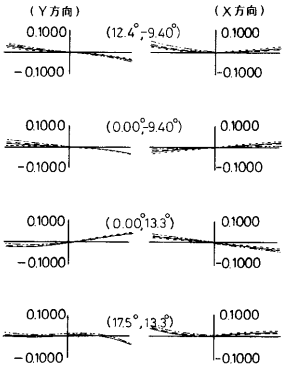
【図２８】



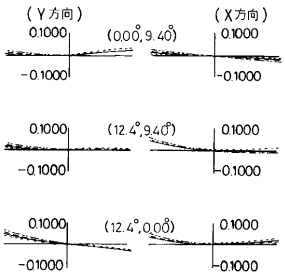
【図２９】



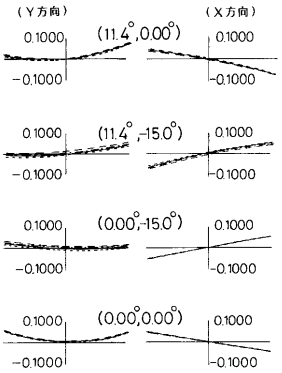
【図３０】



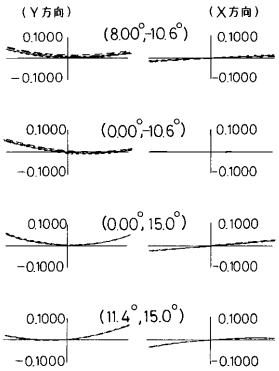
【図３１】



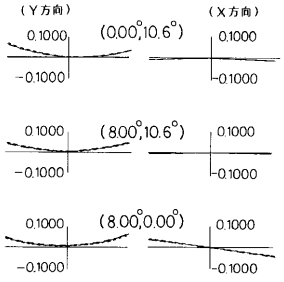
【図３２】



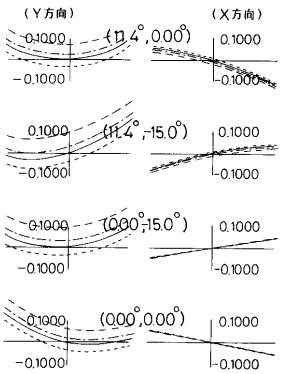
【図３３】



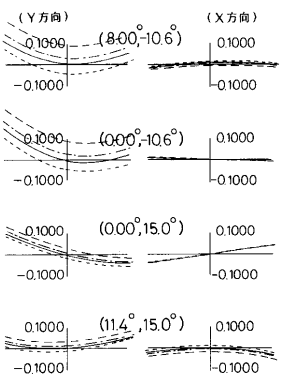
【図３４】



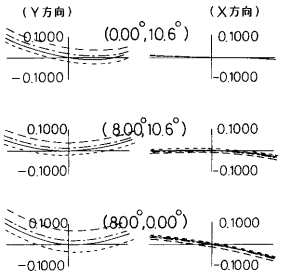
【図３５】



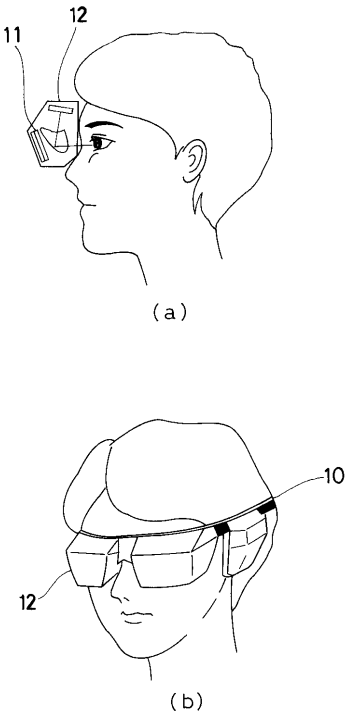
【図３６】



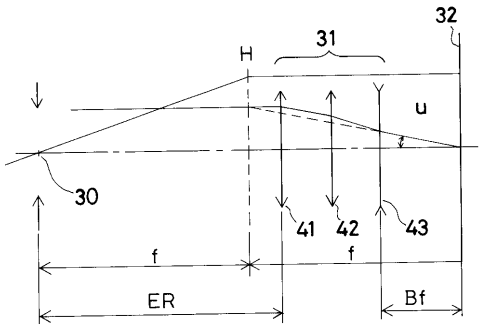
【図３７】



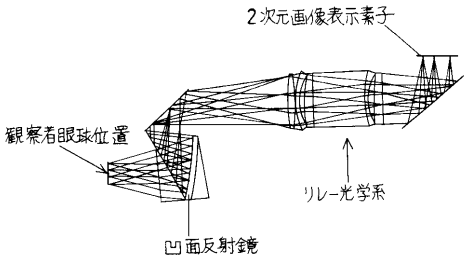
【図３８】



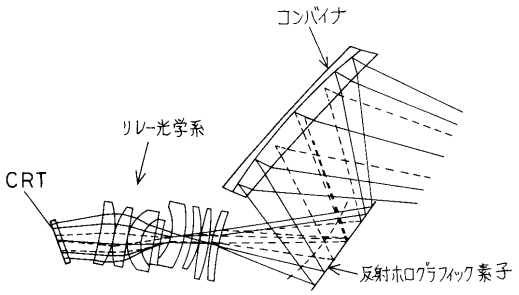
【図３９】



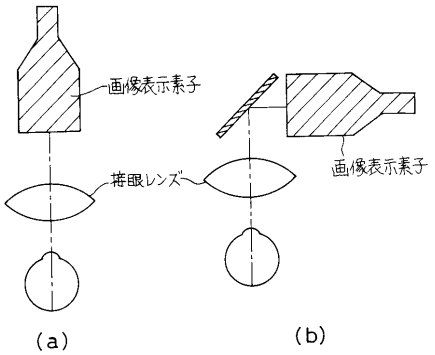
【図４０】



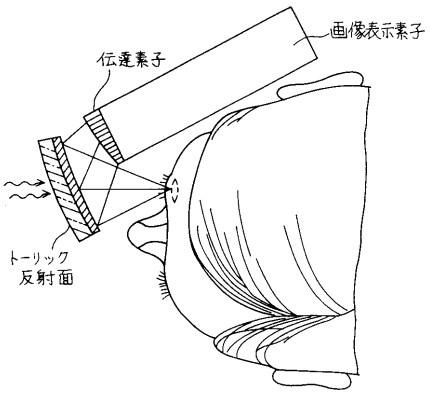
【図４１】



【図４２】



【図４３】



フロントページの続き

(74)代理人　100094787
　　弁理士　青木　健二
(74)代理人　100091971
　　弁理士　米澤　明
(72)発明者　研野孝吉
　　東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号オリンパス光学工業株式会社内
(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