(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3599828号
(P3599828)
(45)発行日　平成16年12月8日(2004.12.8)　(24)登録日　平成16年9月24日(2004.9.24)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
G02B 25/00	G02B 25/00	A
G02B 27/02	G02B 27/02	Z

請求項の数 9　(全 41 頁)

(21)出願番号　特願平7-120034
(22)出願日　平成7年5月18日(1995.5.18)
(65)公開番号　特開平8-313829
(43)公開日　平成8年11月29日(1996.11.29)
審査請求日　平成14年2月4日(2002.2.4)

(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】光学装置

(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光学装置において、

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つの面によって形成される空間が屈折率が１より大きい第１媒質で満たされており、

前記観察者眼球から前記画像表示素子に向かって順に、屈折面かつ全反射面である第１面と、前記第１面に対向し、観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた正のパワーを有する反射面である第２面と、前記画像表示素子に最も近接している屈折面である第３面とを備え、

前記少なくとも３つの面の中、少なくとも２つの面は有限の曲率半径を有する面であり、かつ、前記第１面、前記第２面及び前記第３面のいずれか１面は偏心非球面である偏心光学素子と、

屈折作用を有する少なくとも１つの光学面を、前記画像表示素子から前記観察者眼球までの間の光路中に配設してなることを特徴とする光学装置。

【請求項２】

前記第１面、前記第２面及び前記第３面のいずれか１面はアナモフィック面であることを特徴とする請求項１記載の光学装置。

【請求項３】

前記少なくとも１つの光学面は、前記観察者眼球と前記第１面の間に配設されていること

を特徴とする請求項１、２記載の光学装置。
【請求項４】
前記少なくとも１つの光学面は、前記第１面と前記第２面の間に配設されていることを特徴とする請求項１、２記載の光学装置。
【請求項５】
前記少なくとも１つの光学面は、前記第３面と前記画像表示素子との間に配設されていることを特徴とする請求項１、２記載の光学装置。
【請求項６】
前記少なくとも１つの光学面は、接合面であることを特徴とする請求項３から５のいずれかに記載の光学装置。
【請求項７】
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１から６のいずれかに記載の光学装置。
【請求項８】
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支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できるようにしたことを特徴とする請求項１から７のいずれかに記載の光学装置。
【請求項９】
前記光学装置の少なくとも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１から８のいずれかに記載の光学装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、光学装置に関し、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】
頭部又は顔面装着式画像表示装置の従来の周知なものとして、特開平３－１０１７０９号のものがある。図５０（ａ）に全体の光学系を、図５０（ｂ）にその接眼光学系の部分を示すように、この画像表示装置は、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５１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５２（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】
さらに、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５３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】
また、従来の他のタイプの画像表示素子として、米国再発行特許第２７，３５６号のものがある。この装置は、図５４に示すように、半透過凹面鏡と半透過平面鏡によって物体面を射出瞳に投影する接眼光学系である。
【０００７】

【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、図５０、図５１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、接眼光学系の形式によらず、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。
【０００８】
また、図５０（ａ）の接眼光学系のみの場合は、図５０（ｂ）に示すように、観察者に対して凹面を向けた反射面のみに正のパワーがあるため、図中、Ｐ１に示されるような負の像面湾曲が大きく発生してしまう。
【０００９】
また、図５２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がその突出した部分に取り付けられることになり、装置はますます大きく、重量も重くなってしまう。
【００１０】
頭部装着式画像表示装置は、人間の身体、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おそれも生じる。
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。
【００１１】
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、それを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できても、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５３に示すように、発生した像面湾曲に合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）によってこれを補正するという手段を用いなければならない。
【００１２】
一方、図５４に示すような、半透過凹面鏡と半透過平面鏡を用いて物体面を観察者の瞳に投影する共軸系の接眼光学系においては、半透過面を２枚用いているために、理論値でも像の明るさは１／１６にまで低下してしまう。さらに、半透過凹面鏡によって発生する像面湾曲を物体面自体を湾曲させて補正を行っているため、ＬＣＤ（液晶表示素子）等のいわゆるフラットディスプレイを画像表示素子として用いることが困難である。
【００１３】
本発明は従来技術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、像の明るさの低下がほとんど生じることがなく、さらに、非常に小型軽量であるために疲労し難い画像表示装置等の光学装置を提供することである。
【００１４】
【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光学装置は、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光学装置において、
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つの面によって形成される空間が屈折率が１より大きい第１媒質で満たされており、
前記観察者眼球から前記画像表示素子に向かって順に、屈折面かつ全反射面である第１面と、前記第１面に対向し、観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた正のパワーを有する反射面である第２面と、前記画像表示素子に最も近接している屈折面である第３面とを備え、
前記少なくとも３つの面の中、少なくとも２つの面は有限の曲率半径を有する面であり、

かつ、前記第１面、前記第２面及び前記第３面のいずれか１面は偏心非球面である偏心光学素子と、
屈折作用を有する少なくとも１つの光学面を、前記画像表示素子から前記観察者眼球までの間の光路中に配設してなることを特徴とするものである。
【００１８】
【作用】
以下に、上記の本発明の光学装置の作用について説明する。この説明においては、画像表示装置に用いる場合、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よって行う。
【００１９】
本発明の基本的な構成は、被観察像を形成する像形成手段と、前記像を観察者眼球に導くために設けられた接眼光学系とを備えた光学装置において、前記接眼光学系が、前記像側から順に入射面を形成する第３面と、反射面と射出面とを形成する第１面と、反射面を形成する第２面とを含み、前記第１面乃至第３面が屈折率が１より大きい媒質を挟んで一体形成されていることを特徴とするものである。この面番号の順は、観察者眼球側から逆光線追跡の順によると、第１面、第２面、第１面、第３面となる。
【００２０】
このような構成をとった理由は、第１面～第３面がそれぞれ独立した光学素子とする場合、これらを配置するときの角度や距離等に非常に高精度が求められるため、組立が困難となり、生産性が低下する不具合が生じる。そこで、第１面～第３面を一体的（例えば、プリズム）に形成し、組立を容易にし、生産性の向上を図ることができる。
【００２１】
ところで、このような接眼光学系に入射させるための像形成手段として、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する対物レンズ系からなり、この対物レンズ系と接眼光学系との間に物体像を形成するものとして、光学系をファインダー光学系として用いると、一眼レフカメラ、観察光学系とファインダー光学系とが別体に設けられたコンパクトカメラ、又は、フィルムに代えて電子撮像素子を用いた電子カメラ等への利用が可能になるものである。
【００２２】
もちろん、像形成手段として、観察画像を形成する画像表示素子を用い、画像表示素子と接眼光学系とを観察者頭部に装着する装着手段を備えさせることにより、この光学装置を頭部装着式画像表示装置に適用することができる。
【００２３】
なお、上記接眼光学系は、屈折率が共に１より大きくかつ相互に屈折率の異なった複数の媒質を接合して形成することもでき、これは、色収差等の補正のために接合面をレンズ（プリズム）内に加えたものであり、組立の容易化を妨げることなく、収差補正を実現することができる。
【００２４】
さて、本発明においては、接眼光学系の第１面、第２面及び第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し、さらに、３面の中、２面を有限の曲率半径を有するようにしたことによって、偏心して傾いた第２面で発生する球面収差とコマ収差及び像面湾曲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。
【００２５】
一般に、凹面鏡では、凹面に強いパワーを持たせることによってペッツバール和が大きくなり、正の像面湾曲が発生する。また、内コマ収差が発生する。第１面、第２面及び第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、瞳からの光線が第１面において屈折されるため、軸外光線の主光線及び従属光線の第２面に入射する高さを低く抑える効果が得られる。それによって主光線の高さが低いため、第２面が大きくならず、接眼光学系を小型にすることができる。あるいは、画角を広くとることが可

能になる。また、従属光線高が低くなるために、第２面で発生するコマ収差、特に高次コマ収差の発生を抑えることが可能となる。

【００２６】

接眼光学系の３面の中、２面を有限の曲率半径とする場合において、第２面の他に第１面が有限の曲率半径を有する面の場合であって第１面が正のパワーを有する場合には、第１面で光線が屈折する効果が大きいため、第２面に入射する光線高をより低くすることが可能となる。この作用によって、第２面の凹面鏡で発生する強い内コマ収差の発生を小さくすることができる。第１面が負のパワーを有する場合には、第２面で反射した後、再び第１面で内部反射するときに第２面で発生するコマ収差及び像面湾曲の補正に有効な手段となる。

【００２７】

第２面の他に第３面が有限の曲率半径を有する面の場合、第３面に負のパワーを持たせることで、特に第２面で発生する像面湾曲を補正することが可能となる。

【００２８】

さらに、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、接眼光学系によって眼球に拡大投影するのではなく、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ようにすることによって、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、少ない光学素子数で光学系を構成できる。また、構成する光学素子は、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されるため、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。

【００２９】

上記の第２面で反射した後の第１面での内部反射を全反射とすることが、光学素子の大きさ、性能上大変有効に作用する。以下に詳しく説明する。

図４５に本発明の光学装置の光路図を示す。同図（ａ）は第１面３が全反射しない場合の接眼光学系、同図（ｂ）は第１面３で全反射する場合の接眼光学系を示している。それぞれの断面図において、図中、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、５は接眼光学系の第３面、６は画像表示素子、７は接眼光学系である。また、図４５（ａ）において、第１面３の内部反射領域Ｍにはミラーコートが施してあり、その他の領域は屈折する領域である。

【００３０】

瞳１から出た光線は接眼光学系の第１面３に入射して屈折されて凹面鏡である第２面４で反射し、再び第１面３で内部反射する構成であるが、図４５（ａ）のように、上側軸外光線Ｕの第２面４の反射高さと第２面４で反射した後の第１面３での反射高さの差が大きければそれだけ接眼光学系７自体が長くなり、大型化する。つまり、反射点の高さの差が小さければ小さい程、接眼光学系７の大きさは小型にできる。言い換えれば、同じ大きさの接眼光学系ならば、その反射点の高さの差が小さい程、観察画角を広くとることが可能になる。

【００３１】

しかしながら、本発明の接眼光学系において、図４５（ｂ）のように、上側光線Ｕの第２面４と第１面３の反射高さの差を小さくすると、第１面３に入射する下側光線Ｌよりも上で反射するため、第１面３が全反射でない場合には、第１面３の屈折領域がミラーコート領域Ｍ’と重なり、下側の光線Ｌが遮られてしまう。

【００３２】

すなわち、第１面３での内部反射が全反射する条件を満たしていれば、第１面３にミラーコートを施す必要がないため、第２面４で反射後の上側光線Ｕと第１面３に入射する下側光線Ｌが第１面３で干渉しても、それぞれの光線は本来の作用ができることになる。

【００３３】

また、偏心した凹面鏡である第２面４では、その反射角が大きくなればなる程コマ収差が大きく発生するが、第１面３で全反射する場合には、第２面４における反射角を小さくす

ることできるため、第２面４でのコマ収差の発生を抑制する効果を得ることができる。
【００３４】
なお、第１面３の内部反射が全反射条件を満足しない場合には、第１面３の内部反射する領域Ｍにおいてミラーコートされている必要がある。
【００３５】
さらに、接眼光学系の第１面、第２面及び第３面の何れか１面は、偏心非球面であることが収差補正上有効である。
特に、後記する座標系（Ｘ，Ｙ，Ｚ）において、Ｙ方向に偏心又は視軸から傾いて配置される第２面で発生するコマ収差、特に、高次コマ収差やコマフレアーを補正するために、これは重要な条件である。
【００３６】
本発明のように、観察者眼球の前方に偏心するかあるいは傾いた反射面を有するタイプの接眼光学系を用いる画像表示装置においては、観察者の視軸上においても反射面に入射する光線が斜めになるため、コマ収差が発生する。このコマ収差は、反射面の傾き角が大きくなるに従って大きくなる。しかしながら、小型で広画角の画像表示装置を実現しようとすると、偏心量又は傾き角をある程度大きくしないと、観察者の頭部と光路、又は、画像表示素子と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、反射面の傾き角が大きくなり、コマ収差の発生を如何に補正するかが重要な問題となる。
【００３７】
このような複雑なコマ収差を補正するためには、接眼光学系を構成する第１面、第２面、第３面の何れか１面を偏心した非球面とすることで、光学系のパワーを視軸に対して非対称な構成にすることができ、さらに、軸外においては非球面の効果を利用することができるため、軸上を含めたコマ収差の補正を有効に行うことが可能となる。
【００３８】
さらに、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、Ｙ－Ｚ面内の曲率半径と、この面と直交するＸ－Ｚ面内の曲率半径が異なる面であることである。
この条件は、第２面が視軸に対して偏心あるいは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、球面が偏心していると、その面に入射する光線は、入射面内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、本発明のように観察者眼球の前に反射面が視軸に対して偏心あるいは傾いて配置されている接眼光学系では、観察画像中心にあ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。
【００３９】
さて、観察者視軸を含む上下方向の面をＹ－Ｚ面、この観察者視軸を含む左右方向の面をＸ－Ｚ面と定義する場合、第２面のＹ－Ｚ面内における曲率半径を$R_{y\,2}$、第２面のＸ－Ｚ面内における曲率半径を$R_{x\,2}$とするとき、

$$R_{y\,2}／R_{x\,2}\geqq 1 \qquad \cdots\cdots（1）$$

を満たすことが好ましい。
【００４０】
上記（１）式は、第２面が視軸に対して傾いているために起こる収差、特に軸上を含む非点収差を補正するための条件である。一般的に、画角が大きくなると、高次の非点収差が現れ、凸レンズ系では、子午像は画角が大きくなると負の方向に大きくなり、球欠像は正の方向に大きくなる。これらの非点収差を補正するためには、子午面内のパワーを小さくし、球欠面内のパワーを大きくするような光学系の構成にすることが必要となる。したがって、１つの面における曲率半径ではＹ方向を大きく、Ｘ方向を小さくすることになる。
【００４１】
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面の反射面であるため、他

の面でＹ－Ｚ面内の曲率半径とＸ－Ｚ面内の曲率半径に差を持たせるよりも、第２面が（１）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り、収差補正上より好ましい。

【００４２】

さて、第１面は、第２面に対して凸面を向けた透過反射面であることが有効である。第２面は接眼光学系全体の主な正のパワーを有する反射面であるため、上述したコマ収差の他に、像面湾曲も大きく発生している。第１面を負のパワーを持つ面とすることで、第２面で発生する内コマ収差とは逆のコマ収差をこの面で発生させ、コマ収差を補正させることが可能である。さらに、第２面で発生する正の像面湾曲に対して、第３面で負の像面湾曲を発生させて像面湾曲の補正も同時に行うことが可能となる。

【００４３】

また、第１面の内部反射を全反射とするためには、第１面での全ての光線の反射角が臨界角$\theta_r = sin^{-1}(1/n)$よりも大きいことが条件となる（ただし、ｎは光学系の媒質の屈折率である。）。例えば、ｎ＝１．５の場合は、$\theta_r = 41.81$であり、それ以上の反射角が必要である。以下、図４６を参照にして説明する。

図４６に第２面４で反射した後、第１面３で内部反射する部分の説明図を示す。同図（ａ）は第１面３が第２面４に向かって凹面の場合、同図（ｂ）は第１面３が第２面４に向かって凸面の場合である。

【００４４】

第２面４で反射後の光線は、それぞれの光線はある角度をもって下側に反射される。図４６（ａ）に示すように、第１面３が第２面４に対して凹面を向けた反射面の場合、第１面３の法線Ｓは第２面４に対して内側に向かう方向になる。第２面４で反射した下側光線Ｌは第１面３の法線に沿った方向から入射するため、第１面３での反射角γを大きくすることができない。つまり、第１面３で反射した光線全てに対して全反射条件を満たすことは困難である。逆に、図４６（ｂ）のように、第１面３が第２面４に対して凸面の形状をしている場合には、第１面３の法線Ｓ’は第２面４に対して外側に発散する方向になるため、下側光線に対しても反射角γ’を大きくする効果が得られ、広い画角において、第１面３における全反射条件を満たすことが容易となる。

【００４５】

また、接眼光学系の第１面及び第３面の何れか１面は、視軸に対してティルトあるいはディセンタリングしていることが望ましい。第１面及び第３面の何れか１面がティルトあるいは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で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画像表示素子を用いるときに有効となる。

【００４６】

接眼光学系の第２面と視軸のなす角をαとするとき、

$40° < \alpha < 110°$　　・・・・（２）

であることが望ましい。

これは、本発明の画像表示装置の接眼光学系と画像表示素子を適性な位置に配備するための条件である。（２）式の下限の４０°を越えると、反射後の光線は視軸に対して９０度以上の反射角を持ってしまうため、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１１０°を越えると、図４５で示されている上側光線Ｕが第２面で反射後視軸より上方向に反射されてしまうため、軸外光線の結像位置が反対方向となってしまう。

【００４７】

また、画像表示素子の表示面は視軸に対して傾いて配備されていることが重要である。光学素子を構成する屈折面あるいは反射面が偏心又は傾いている場合、瞳からの光線は屈折面あるいは反射面での屈折角又は反射角が像高によって異なり、像面が視軸に対して傾くことがある。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、像面の傾

きを補正することが可能となる。

【００４８】

さて、より広画角な小型の画像表示装置になればなる程、最初の反射面である第２面の傾き角が大きくなり、高次コマ収差の発生が増える。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、第１面と第２面及び第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されており、少なくとも３つの面の中、少なくとも２面は有限の曲率半径を有する面である偏心光学素子のみでは、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場合がある。

【００４９】

そのため、観察者眼球と画像表示素子の間に、上述した偏心光学素子に加えて、屈折作用を有する少なくとも１つの光学面を配備することによって、接眼光学系で発生する収差の補正をより有効に行うことが可能となる。

【００５０】

本発明の偏心光学素子では、第２面とその後の第１面の内部反射は反射面であるため、それらの面で色収差は発生しない。また、画像表示素子に近接する第３面における主光線は光軸に略平行であるため、色収差の発生は少ない。したがって、接眼光学系の色収差は、屈折面である第１面での色収差の発生が支配的になる。また、本発明のような広画角な光学系では、軸上の色収差よりも倍率の色収差の方が顕著に現れる。つまり、第１面で発生する倍率の色収差の補正を行うことが重要であり、それによりより鮮明で高解像な画像を表示することを可能とする。そのために、接眼光学系の構成として、観察者眼球と画像表示素子の間に偏心光学素子と屈折作用を有する少なくとも１つの光学面とを配備することによって、接眼光学系を構成する光学素子を２種類以上の媒質にすることができ、それらの媒質のアッベ数の違いによって、倍率の色収差を補正することが可能となる。

【００５１】

上述したように、本発明の接眼光学系においては、偏心光学素子の第１面で発生する色収差の補正が重要である。上記の屈折作用を有する少なくとも１つの光学面が、第１面で発生する色収差量と略同等の逆の色収差を発生させる面で構成されることによって、この色収差の補正が可能となる。

【００５２】

以下に、色収差の補正について詳しく説明する。画像表示素子から観察者眼球に至る光路中に偏心光学素子と屈折作用を有する少なくとも１つの光学面とを配備することによって、接眼光学系の媒質を２つ以上で構成することができる。その場合、媒質のアッベ数の差異によって倍率の色収差を補正することが可能となる。例えば、偏心光学素子の第１面と第２面の間に光学面を配備した場合であって、偏心光学素子が２つの媒質で構成されている場合を考える。全体の焦点距離ｆ、第１面側偏心光学素子の焦点距離、アッベ数をそれぞれf_1、ν_1、第２面側偏心光学素子の焦点距離、アッベ数をそれぞれf_2、ν_2とすると、光学系全体の色消し条件は次式で与えられる。

【００５３】

$$f_1=(\nu_1-\nu_2)\times f/\nu_1$$
$$f_2=-(\nu_1-\nu_2)\times f/\nu_2$$
$$1/f=1/f_1+1/f_2$$

接眼光学系の焦点距離ｆ及び第２面側偏心光学素子の焦点距離f_2は正であり、第１面側の焦点距離f_1が負であるため、第１面側偏心光学系と第２面側偏心光学素子のアッベ数の関係は$\nu_1<\nu_2$となる。つまり、この場合の第１面側偏心光学素子は、アッベ数がより小さい媒質を用いることで、色収差を良好に補正することが可能となる。

【００５４】

上述以外の場所に、少なくとも１つの光学面が存在する場合におけるそれぞれの媒質のアッベ数の設定は、上述した例に準じて、同様の方法で設定することができる。

【００５５】

上記の少なくとも１つの光学面が、観察者眼球と偏心光学素子の第１面の間に配設されて

いる場合で、光学素子と観察者眼球の間に正の屈折力を有する光学面を配備する場合には、偏心光学素子の第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少なくとも１つの光学面によって屈折されるために、偏心光学素子に入射する光線高を低くすることができるため、偏心光学素子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。

【００５６】

また、上記の少なくとも１つの光学面が、偏心光学素子の第１面と第２面の間に配設された場合、上述したように、偏心光学素子が第１面側と第２面側に２種類の媒質で構成することになるため、色収差補正に有効である。

【００５７】

さらに、上記の少なくとも１つの光学面が、偏心光学素子の第３面と画像表示素子との間に配設されている場合、負のパワーを有するときは、画像表示素子に最も近い位置であるため、光学素子で発生した像面湾曲の補正を行なうことが可能である。

【００５８】

上記の少なくとも１つの光学面を視軸に対して偏心して配設することで、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に対する光軸を略垂直にすることが可能となる。

【００５９】

また、上記の少なくとも１つの光学面を接合レンズで構成することによって、偏心光学素子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。

【００６０】

また、上記の少なくとも１つの光学面と偏心光学素子の向かい合った面を凹面とすることで空気レンズが形成される。この場合、２面の負のパワーを有効に利用できるため、光学系全体のペッツバール和を小さくすることができ、偏心光学素子の第２面で発生する像面湾曲の補正を有効に行うことができる。

【００６１】

なお、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位置決め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。

【００６２】

また、画像表示素子と接眼光学系を観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、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。

【００６３】

また、光学装置の少なくとも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。

【００６４】

また、接眼光学系における画像表示素子面を像面として無限遠の物体を結像させるように構成することで、図４８～図４９に示すようなカメラのファインダー光学系等の結像光学系として利用することが可能である。

【００６５】

【実施例】

以下に、本発明の光学装置を適用した画像表示装置の実施例１から１１について、それぞれの単眼用の画像表示装置の断面図である図１～図１１を参照して説明する。

【００６６】

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に示すように、観察者の虹彩位置１を原点とし、観察者視軸２を原点から接眼光学系７に向かう方向を正とするＺ軸、観察者視軸２に直交し、観察者眼球から見て上下方向の下から上を正とするＹ軸、観察者視軸２に直交し、観察者眼球からみて左右方向の右から左を正とするＸ軸と定義する。つまり、紙面内をＹ－Ｚ面とし、紙面と垂直方向の面をＸ－Ｚ面とする。また、光軸は紙面のＹ－Ｚ面内で折り曲げられるものとする。

【００６７】

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、基準面である１面（瞳位置１）からのその面の面頂の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。

【００６８】

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。

【００６９】

また、各面において、非回転対称な非球面形状は、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。

【００７０】

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

また、回転対称な非球面形状は、Ｒは近軸曲率半径、Ｋは円錐係数、Ａ、Ｂはそれぞれ４次、６次の非球面係数、ｈは$h^2 = X^2 + Y^2$とすると、非球面式は以下に示す通りである。

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

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。

【００７１】

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Ｙ－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。

【００７２】

それぞれの断面図において、図中、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、５は接眼光学系の第３面、６は画像表示素子、７は接眼光学系、９は光学面である。

【００７３】

各実施例における実際の光線経路は、実施例１を例にとると、次のようになる。すなわち、画像表示素子６から発した光線束は、接眼光学系７の第３面５で屈折して接眼光学系７に入射し、第１面３で内部反射し、第２面４で反射されて、再び第１面３に入射して屈折されて、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。

【００７４】
実施例１
本実施例は、図１に断面を示すが、水平画角４０°、垂直画角３０．６°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、４面はアナモフィック非球面であり、５面は球面である。
【００７５】
実施例２
本実施例は、図２に断面を示すが、水平画角４５°、垂直画角３４．５°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、４面はアナモフィック非球面であり、５面は平面である。
【００７６】
実施例３
本実施例は、図３に断面を示すが、水平画角４５°、垂直画角３４．５°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、４、５面はアナモフィック非球面である。
【００７７】
実施例４
本実施例は、図４に断面を示すが、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、３面はアナモフィック非球面であり、２、４面は平面、５面は球面である。
【００７８】
実施例５
本実施例は、図５に断面を示すが、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、３、５面はアナモフィック非球面であり、２、４面は球面である。
【００７９】
実施例６
本実施例は、図６に断面を示すが、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、３面はアナモフィック非球面であり、２、４、５面は球面である。
【００８０】
実施例７
本実施例は、図７に断面を示すが、水平画角４５°、垂直画角３４．５°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、５、６、７面は球面、４面はアナモフィック非球面、８面は回転対称な非球面である。また、光学面９は、３面と５面と７面で定義されており、接眼光学系（偏心光学素子）７の２面と４面の間、４面と６面の間、６面と８面の間に視軸に対して偏心して配備されている。
【００８１】
実施例８
本実施例は、図８に断面を示すが、水平画角４０°、垂直画角３０．５°、瞳経８ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、４、６、７面は球面、５面はアナモフィック非球面である。また、光学面９は、２面と３面で定義された正レンズであり、接眼光学系（偏心光学素子）７と観察者眼球の間に視軸に対して偏心して配備されている。
【００８２】
実施例９
本実施例は、図９に断面を示すが、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経８ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、３、５、７面は球面、２、４、６面はアナモフィック非球面である。また、光学面９は、３面と５面で定義されており、接眼光学系（偏心光学素子）７の２面と４面の間、４面と６面の間に視軸に対して偏心して配備されている。

【００８３】
実施例１０
本実施例は、図１０に断面を示すが、水平画角４５°、垂直画角３４．５°、瞳経８ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、５、６面は球面、２、３、４面はアナモフィック非球面である。また、光学面９は、６面で定義されており、接眼光学系（偏心光学素子）７の５面と負レンズを形成して視軸に対して偏心して偏心光学素子７に接合されている。
【００８４】
実施例１１
本実施例は、図１１に断面を示すが、水平画角３０°、垂直画角２２．７°、瞳経４ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、２、３、４、６、７面は球面、５面はアナモフィック非球面である。また、光学面９は、２面と第３面で定義された正レンズであり、接眼光学系（偏心光学素子）７と観察者眼球の間に視軸に対して偏心して配備されている。
次に、上記実施例１～１１の構成パラメータを示す。
【００８５】

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)	26.360				
2	R_y	-108.187			1.4922		57.50
	R_X	-73.105		Y	-24.028	θ	-14.70°
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	5.54186×10^{-7}					
	BR	8.17563×10^{-11}					
	AP	-0.0804376					
	BP	-1.37947					
3	R_y	-69.871			1.4922		57.50
	R_X	-60.374		Y	19.109	θ	36.66°
	K_y	-0.136826		Z	33.339		
	K_X	-0.123306					
	AR	-7.23291×10^{-11}					
	BR	-4.52937×10^{-12}					
	AP	29.0752					
	BP	-2.08536					
4	R_y	-108.187			1.4922		57.50
	R_X	-73.105		Y	-24.028	θ	-14.70°
	K_y	0		Z	26.360		
	K_X	0					
	AR	5.54186×10^{-7}					
	BR	8.17563×10^{-11}					
	AP	-0.0804376					
	BP	-1.37947					
5		77.772		Y	-35.215	θ	-47.77°

Z 18.817

6 (画像表示素子) (第１面より)

Y -30.892 θ -52.77°

Z 43.084

(1) R_{y2}/R_{x2}= 1.157

(2) α = 53.34°

【００８６】

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)	20.267				
2	R_y	-420.378			1.4922		57.50
	R_X	-99.789		Y	-49.262	θ	-13.94°
	K_y	5.709616					
	K_X	-2.785007					
	AR	5.37533×10^{-7}					
	BR	-6.41106×10^{-11}					
	AP	-0.422753					
	BP	-0.455912					
3	R_y	-122.291			1.4922		57.50
	R_X	-69.335		Y	-34.556	θ	37.99°
	K_y	0.774787		Z	24.367		
	K_X	-0.104426					
	AR	-1.82945×10^{-9}					
	BR	4.45272×10^{-14}					
	AP	5.40431					
	BP	-1.13468					
4	R_y	-420.378			1.4922		57.50
	R_X	-99.789		Y	-49.262	θ	-13.94°
	K_y	5.709616		Z	20.267		
	K_X	-2.785007					
	AR	5.37533×10^{-7}					
	BR	-6.41106×10^{-11}					
	AP	-0.422753					
	BP	-0.455912					
5		∞		Y	-33.816	θ	-56.84°

Z 21.726

6 (画像表示素子) Y -31.165 θ -50.91°

Z 38.433

(1) R_{y2}/R_{x2}= 1.764

(2) α = 52.01°

。

【００８７】

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)	19.657				
2	R_y	-178.469			1.4922		57.50
	R_X	-75.710		Y	-42.983	θ	-19.56°
	K_y	-4.700072					
	K_X	-1.222689					
	AR	9.71232×10^{-7}					
	BR	-1.79187×10^{-10}					
	AP	-0.426826					
	BP	-0.380615					
3	R_y	-81.632			1.4922		57.50
	R_X	-66.826		Y	30.011	θ	40.46°
	K_y	-0.070545		Z	26.362		
	K_X	-0.574123					
	AR	3.90381×10^{-11}					
	BR	-2.95604×10^{-14}					
	AP	-62.1044					
	BP	3.68602					
4	R_y	-178.469			1.4922		57.50
	R_X	-75.710		Y	-42.983	θ	-19.56°
	K_y	-4.700072		Z	19.657		
	K_X	-1.222689					
	AR	9.71232×10^{-7}					
	BR	-1.79187×10^{-10}					
	AP	-0.426826					
	BP	-0.380615					
5	R_y	-78.809		Y	-28.629	θ	-69.21°

R_X -15.380
K_y -12.000
K_X -7.201382
AR -9.38885×10^{-7}
BR -3.46619×10^{-9}
AP -0.995315
BP 0.706461

Z 27.051

6 (画像表示素子)

Y -30.077 θ -55.73°
Z 38.578

(1) R_{y2}/R_{X2}= 1.222
(2) α = 49.54°

【００８８】

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)	35.674				
2		∞			1.4870		70.40
				Y	4.942	θ	15.45°
3	R_y	-166.785			1.4870		70.40
	R_X	-129.798		Y	-2.361	θ	30.67°
	K_y	0.644353		Z	64.642		
	K_X	-3.574565					
	AR	-1.34076×10^{-7}					
	BR	-6.16761×10^{-13}					
	AP	-0.140999					
	BP	-6.05079					
4		∞			1.4870		70.40
				Y	4.942	θ	15.45°
				Z	35.674		
5		92.827		Y	-21.834	θ	-50.80°
				Z	78.827		
6		(画像表示素子)		Y	-44.030	θ	-8.14°
				Z	74.025		

（1）R_{y2}/R_{X2}＝ 1.285

（2） α ＝ 59.33°

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)	32.614				
2		359.756			1.4870		70.40
				Y	2.346	θ	9.84°

3	R_y	-173.440		1.4870		70.40
	R_X	-140.501	Y	-1.857	θ	29.87°
	K_y	-8.751468	Z	58.946		
	K_X	4.994003				
	AR	2.50178×10^{-8}				
	BR	-1.79281×10^{-14}				
	AP	-3.8616				
	BP	23.172				
4		359.756		1.4870		70.40
			Y	2.346	θ	9.84°
			Z	32.614		
5	R_y	-71.035	Y	-28.993	θ	-50.31°
	R_X	-30.258	Z	64.366		
	K_y	0				
	K_X	-4.016232				
	AR	1.64494×10^{-5}				
	BR	-6.89738×10^{-9}				
	AP	0.757293				
	BP	-0.0405894				
6		(画像表示素子)	Y	-42.040	θ	-9.06°
			Z	63.493		

(1) $R_{y2}/R_{X2}=$ 1.234

(2) α = 60.13°

。

【００８９】

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)	31.861				
2		624.447			1.4870		70.40°
				Y	4.081	θ	12.08°
3	R_y	-205.155			1.4870		70.40
	R_X	-147.117		Y	-0.579	θ	31.42°
	K_y	5.070131		Z	59.565		
	K_X	-2.741334					
	AR	-9.17885×10^{-9}					
	BR	-4.90794×10^{-13}					
	AP	0.353607					
	BP	-8.4008					
4		624.447			1.4870		70.40
				Y	4.081	θ	12.08°
				Z	31.861		
5		62.779		Y	-30.891	θ	-54.73°
				Z	69.696		
6		(画像表示素子)		Y	-46.009	θ	-6.40°
				Z	71.400		

(1) R_{y2}/R_{X2}= 1.395

(2) α = 58.58°。

【００９０】

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)	25.798				
2		-96.979			1.7550		27.60
				Y	35.503	θ	19.41°
3		-371.916			1.7184		46.86
				Y	28.466	θ	1.64°
				Z	34.179		
4	R_y	-73.443			1.7184		46.86
	R_x	-69.804		Y	-27.105	θ	-5.80°
	K_y	0.36532		Z	50.843		
	K_x	-0.017813					
	AR	2.37314×10^{-10}					
	BR	3.61091×10^{-12}					
	AP	-8.04115					
	BP	0.142633					
5		-371.916			1.7550		27.60
				Y	28.466	θ	1.64°
				Z	34.179		
6		-96.979			1.7550		27.60
				Y	35.503	θ	19.41°
				Z	25.789		
7		-371.916			1.7184		46.86
				Y	28.466	θ	1.64°
				Z	34.171		
8	R	-64.000		Y	-5.065	θ	-14.73°
	K	0.032998		Z	55.928		
	A	-2.03599×10^{-6}					

	B	8.44986×10^{-10}			
9	(画像表示素子)		Y	-32.487	θ -42.92°
			Z	46.354	

(1) R_{y2}/R_{X2}= 1.052

(2) α = 95.80°

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)	5.434			
2		-67.198	12.671	1.4870		70.40
				Y -28.840	θ	-62.14°
3		-55.775				
4		-108.280		1.7095		47.70
				Y 23.401	θ	20.84°
				Z 45.112		
5		-81.008		1.7095		47.70
	R_y	-76.504		Y -20.800	θ	9.41°
	R_X	0.596647		Z 73.513		
	K_y	0.2904				
	K_X	6.598×10^{-8}				
	AR	7.20621×10^{-12}				
	BR	-0.0350833				
	AP	-0.148558				
	BP					
6		-108.280		1.7095		47.70
				Y 23.401	θ	20.84°
				Z 45.112		
7		-168.220		Y -4.594	θ	-33.61°
				Z 96.768		
8		(画像表示素子)		Y -44.345	θ	-40.19°
				Z 69.067		

(1) R_{y2}/R_{X2}= 1.059

(2) α = 80.59°

【００９１】

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)	44.607				
2	R_y	-735.371			1.6792		51.00
	R_X	∞		Y	-18.782	θ	-7.75°
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	-1.57554×10^{-8}					
	BR	9.32392×10^{-14}					
	AP	-1.67996					
	BP	0.122856					
3		-61.610			1.6682		32.23
				Y	18.019	θ	29.91°
				Z	60.673		
4	R_y	-151.581			1.6682		32.23
	R_X	-170.090		Y	23.479	θ	23.76°
	K_y	-8.127909		Z	62.324		
	K_X	1.633055					
	AR	-5.16785×10^{-8}					
	BR	2.0965×10^{-12}					
	AP	0.595412					
	BP	0.638703					
5		-61.610			1.6792		51.00
				Y	18.019	θ	29.91°
				Z	60.673		
6	R_y	-735.371			1.6792		51.00
	R_X	∞		Y	-18.782	θ	-7.75°
	K_y	0		Z	44.607		

K_X 0
AR -1.57554×10^{-8}
BR 9.32392×10^{-14}
AP -1.67996
BP 0.122856

7 -290.903 Y -40.650 θ -69.40°
Z 38.685

8 (画像表示素子) Y -44.086 θ -35.00°
Z 77.749

(1) R_{y2}/R_{x2}= 0.891
(2) α = 66.24°

【００９２】

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)	27.648				
2	R_y	-127.773			1.7394		45.06
	R_X	-74.145		Y	-39.982	θ	-19.01°
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	3.66126×10^{-7}					
	BR	1.819×10^{-11}					
	AP	-0.356073					
	BP	-0.699016					
3	R_y	-81.881			1.7394		45.06
	R_X	-68.040		Y	28.434	θ	39.91°
	K_y	-0.111977		Z	37.099		
	K_X	-0.354898					
	AR	5.28817×10^{-12}					
	BR	-3.7857×10^{-12}					
	AP	37.4793					
	BP	-0.751459					
4	R_y	-127.773			1.7394		45.06
	R_X	-74.145		Y	-39.982	θ	-19.01°
	K_y	0		Z	27.648		
	K_X	0					
	AR	3.66126×10^{-7}					
	BR	1.819×10^{-11}					
	AP	-0.356073					
	BP	-0.699016					
5		-21.067	1.567		1.7550		27.60

Y -33.151 θ -59.68°
Z 46.009

6 -66.347

7 (画像表示素子)

Y -36.167 θ -50.37°
Z 52.703

(1) R_{Y2}/R_{X2}= 1.203
(2) α = 50.09°

。

【００９３】

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)	25.000		
2	123.041	6.500	1.5940	61.72
			Y -24.800	θ 5.787°
3	-594.632			
4	239.449		1.4870	70.40
			Y -6.355	θ 14.22 °
			Z 34.191	
5	R_y -408.357		1.4870	70.40
	R_X -239.896		Y -11.547	θ 27.47°
	K_y -59.547081		Z 63.131	
	K_X 29.562822			
	AR 2.289885×10^{-7}			
	BR 8.51773×10^{-11}			
	AP -0.538645			
	BP -0.20468			
6	239.449		1.4870	70.40
			Y -6.355	θ 34.19°
			Z 34.191	
7	35.931		Y -36.256	θ -31.36°
			Z 52.780	
8	(画像表示素子)		Y -36.901	θ -6.46°
			Z 70.463	

(1) R_{y2}/R_{X2}= 1.702

(2) α = 62.53°

【００９４】

次に、上記実施例１の横収差図を図１２～図１４に、同様に実施例２～１１の横収差図をそれぞれ図１５～図１７、図１８～図２０、図２１～図２３、図２４～図２６、図２７～図２９、図３０～図３２、図３３～図３５、図３６～図３８、図３９～図４１、図４２～図４４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。

【００９５】

以上、本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合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。本発明の光学装置を頭部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）１３として構成するには、図４７（ａ）に断面図、同

図（ｂ）に斜視図を示すように、例えばヘッドバンド１０を取り付けて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）１２とし、このハーフミラー１２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６の映像と重畳して観察できるようにしている。

【００９６】

さらに、本発明の画像表示装置の接眼光学系を結像光学系として用いた場合、例えば、図４８に斜視図を示すように、撮影光学系Ｏｂとファインダー光学系Ｆｉが別体に併設されたコンパクトカメラＣａのファインダー光学系Ｆｉに用いることができる。このような結像光学系として用いた場合の光学系の構成図を図４９に示す。前側レンズ群ＧＦと、明るさ絞りＤとその後方に配備された本発明による接眼光学系ＤＳとで対物光学系Ｌｔを構成することができる。この対物光学系Ｌｔによって形成された像は、この対物光学系Ｌｔの観察者側に設けられた４回反射のホロプリズムＰによって正立され、接眼レンズＯｃによって観察できる。

【００９７】

以上の本発明の光学装置は、例えば次のように構成することができる。

〔１〕　被観察像を形成する像形成手段と、前記像を観察者眼球に導くために設けられた接眼光学系とを備えた光学装置において、

前記接眼光学系が、前記像側から順に入射面を形成する第３面と、反射面と射出面とを形成する第１面と、反射面を形成する第２面とを含み、前記第１面乃至第３面が屈折率が１より大きい媒質を挟んで一体形成されていることを特徴とする光学装置。

【００９８】

〔２〕　前記像形成手段が、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する対物レンズ系からなり、前記対物レンズ系と前記接眼光学系との間に前記物体像が形成され、ファインダー光学系として用いられることを特徴とする上記〔１〕記載の光学装置。

【００９９】

〔３〕　前記像形成手段が、観察画像を形成する画像表示素子からなり、前記画像表示素子と前記接眼光学系とを観察者頭部に装着する装着手段を備えていることを特徴とする上記〔１〕記載の光学装置。

【０１００】

〔４〕　前記接眼光学系が、屈折率が共に１より大きくかつ相互に屈折率の異なった複数の媒質を接合して形成されていることを特徴とする上記〔１〕から〔３〕の何れか１項記載の光学装置。

【０１０１】

〔５〕　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光学装置において、

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つの面によって形成される空間が屈折率が１より大きい媒質で満たされており、前記観察者眼球から前記画像表示素子に向かって順に、屈折面かつ内部反射面である第１面、前記第１面に対向し、観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた正のパワーを有する反射面である第２面、前記画像表示素子に最も近接している屈折面である第３面で構成され、前記少なくとも３つの面の中、少なくとも２つの面は有限の曲率半径を有する面であることを特徴とする光学装置。

【０１０２】

〔６〕　前記第１面の内部反射は全反射であることを特徴とする上記〔５〕記載の光学装置。

【０１０３】

〔７〕　前記第１面の内部反射領域はミラーコートされていることを特徴とする上記〔５〕記載の光学装置。

【０１０４】

〔８〕　前記第１面、前記第２面及び前記第３面の何れか１面は偏心非球面であることを

特徴とする上記〔５〕から〔７〕の何れか１項記載の光学装置。

【０１０５】

〔９〕　前記第１面、前記第２面及び前記第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〔８〕記載の光学装置。

【０１０６】

〔１０〕　前記観察者視軸を含む上下方向の面をＹ－Ｚ面、前記観察者視軸を含む左右方向の面をＸ－Ｚ面と定義する場合、前記第２面のＹ－Ｚ面内における曲率半径を$R_{y\,2}$、前記第２面のＸ－Ｚ面内における曲率半径を$R_{x\,2}$とするとき、

$$R_{y\,2}／R_{x\,2} \geqq 1 \qquad \cdots\cdots（１）$$

であることを特徴とする上記〔９〕記載の光学装置。

【０１０７】

〔１１〕　前記第１面は前記第２面に対して凸面を向けた反射面であることを特徴とする上記〔５〕又は〔６〕記載の光学装置。

【０１０８】

〔１２〕　前記接眼光学系の第１面及び第３面の何れか１面は視軸に対してティルトあるいはディセンタリングしていることを特徴とする上記〔１１〕記載の光学装置。

【０１０９】

〔１３〕　前記接眼光学系の第２面と視軸のなす角をαとするとき、

$$40° < \alpha < 110° \qquad \cdots\cdots（２）$$

であることを特徴とする上記〔１２〕記載の光学装置。

【０１１０】

〔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〔１３〕記載の光学装置。

【０１１１】

〔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光学装置において、

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つの面によって形成される空間が屈折率が１より大きい媒質で満たされており、前記観察者眼球から前記画像表示素子に向かって順に、屈折面かつ全反射面である第１面、前記第１面に対向し、観察者視軸に対して偏心するかあるいは傾いた正のパワーを有する反射面である第２面、前記画像表示素子に最も近接している屈折面である第３面で構成され、前記少なくとも３つの面の中、少なくとも２つの面は有限の曲率半径を有する面である偏心光学素子と、屈折作用を有する少なくとも１つの光学面とを前記画像表示素子から前記観察者眼球に至る光路中に配設してなることを特徴とする光学装置。

【０１１２】

〔１６〕　前記少なくとも１つの光学面は、前記第１面で発生する色収差量と略同等の逆の色収差量を発生させる面で構成されていることを特徴とする上記〔１５〕記載の光学装置。

【０１１３】

〔１７〕　前記少なくとも１つの光学面は、前記観察者眼球と前記偏心光学素子の第１面の間に配設されていることを特徴とする上記〔１５〕記載の光学装置。

【０１１４】

〔１８〕　前記少なくとも１つの光学面は、前記偏心光学素子の第１面と第２面の間に配設されていることを特徴とする上記〔１５〕記載の光学装置。

【０１１５】

〔１９〕　前記少なくとも１つの光学面は、前記偏心光学素子の第３面と前記画像表示素子との間に配設されていることを特徴とする上記〔１５〕記載の光学装置。

【０１１６】

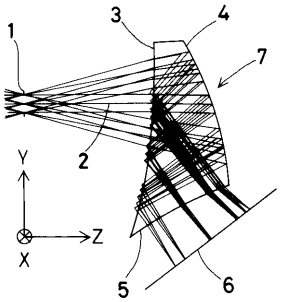
〔２０〕　前記少なくとも１つの光学面は、前記観察者視軸に対して偏心していることを特徴とする上記〔１５〕記載の光学装置。

【０１１７】
〔２１〕　前記少なくとも１つの光学面は、接合面であることを特徴とする上記〔１５〕から〔２０〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１１８】
〔２２〕　前記少なくとも１つの光学面と前記偏心光学素子は空気レンズを形成することを特徴とする上記〔１５〕から〔２０〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１１９】
〔２３〕　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〔５〕から〔２２〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１２０】
〔２４〕　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支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できるようにしたことを特徴とする上記〔５〕から〔２３〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１２１】
〔２５〕　前記光学装置の少なくとも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〔５〕から〔２４〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１２２】
〔２６〕　前記光学装置における接眼光学系を結像光学系として用いることを特徴とする上記〔５〕から〔２２〕の何れか１項記載の光学装置。
【０１２３】
【発明の効果】
以上の説明から明らかなように、本発明の光学装置によると、広い観察画角で、非常に小型軽量な画像表示装置、及び、新規な結像光学系を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例１の光路図である。
【図２】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例２の光路図である。
【図３】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例３の光路図である。
【図４】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例４の光路図である。
【図５】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例５の光路図である。
【図６】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例６の光路図である。
【図７】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例７の光路図である。
【図８】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例８の光路図である。
【図９】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例９の光路図である。
【図１０】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例１０の光路図である。
【図１１】本発明の光学装置を画像表示装置に適用した場合の実施例１１の光路図である。
【図１２】本発明の実施例１の横収差図の一部である。
【図１３】本発明の実施例１の横収差図の残りの一部である。
【図１４】本発明の実施例１の横収差図の残りの部分である。
【図１５】本発明の実施例２の横収差図の一部である。
【図１６】本発明の実施例２の横収差図の残りの一部である。
【図１６】本発明の実施例２の横収差図の残りの部分である。
【図１７】本発明の実施例３の横収差図の一部である。
【図１８】本発明の実施例３の横収差図の残りの一部である。
【図１９】本発明の実施例３の横収差図の残りの部分である。
【図２０】本発明の実施例４の横収差図の一部である。
【図２１】本発明の実施例４の横収差図の残りの一部である。
【図２２】本発明の実施例４の横収差図の残りの部分である。
【図２３】本発明の実施例５の横収差図の一部である。

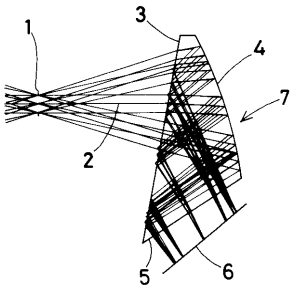
【図２４】本発明の実施例５の横収差図の残りの一部である。
【図２５】本発明の実施例５の横収差図の残りの部分である。
【図２７】本発明の実施例６の横収差図の一部である。
【図２８】本発明の実施例６の横収差図の残りの一部である。
【図２９】本発明の実施例６の横収差図の残りの部分である。
【図３０】本発明の実施例７の横収差図の一部である。
【図３１】本発明の実施例７の横収差図の残りの一部である。
【図３２】本発明の実施例７の横収差図の残りの部分である。
【図３３】本発明の実施例８の横収差図の一部である。
【図３４】本発明の実施例８の横収差図の残りの一部である。
【図３５】本発明の実施例８の横収差図の残りの部分である。
【図３６】本発明の実施例９の横収差図の一部である。
【図３７】本発明の実施例９の横収差図の残りの一部である。
【図３８】本発明の実施例９の横収差図の残りの部分である。
【図３９】本発明の実施例１０の横収差図の一部である。
【図４０】本発明の実施例１０の横収差図の残りの一部である。
【図４１】本発明の実施例１０の横収差図の残りの部分である。
【図４２】本発明の実施例１１の横収差図の一部である。
【図４３】本発明の実施例１１の横収差図の残りの一部である。
【図４４】本発明の実施例１１の横収差図の残りの部分である。
【図４５】本発明による光学装置の第１面の内部反射についての説明図である。
【図４６】本発明による光学装置の第１面の形状と全反射の関係の説明図である。
【図４７】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４８】本発明による光学装置を結像光学系として利用した場合の構成図である。
【図４９】本発明による光学装置を結像光学系として利用した場合の光学系の構成図である。
【図５０】従来の１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【図５１】従来の別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図５２】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５３】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。
【図５４】従来のさらにもう１つ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
５…接眼光学系の第３面
６…画像表示素子
７…接眼光学系
９…光学面
１０…ヘッドバンド
１１…液晶シヤッター
１２…半透過ミラー（ハーフミラー）
１３…頭部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）
Ｏｂ…撮影光学系
Ｆｉ…ファインダー光学系
Ｃａ…コンパクトカメラ
ＧＦ…前側レンズ群
Ｄ　…明るさ絞り
ＤＳ…接眼光学系（本発明）

Ｌｔ…対物光学系
Ｐ　…ホロプリズム
Ｏｃ…接眼レンズ

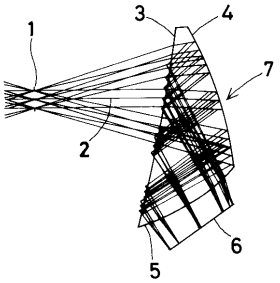
【図１】



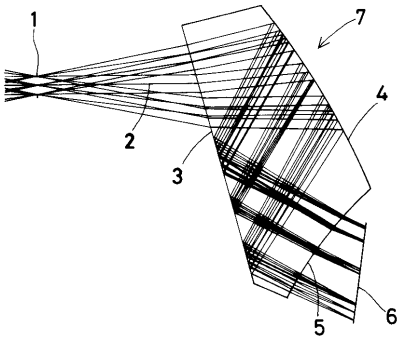
【図２】



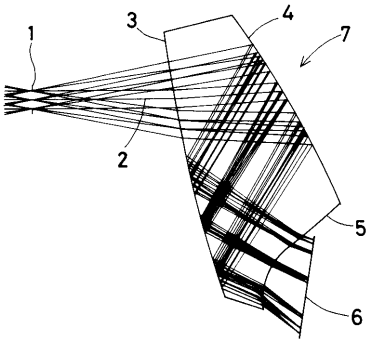
【図３】



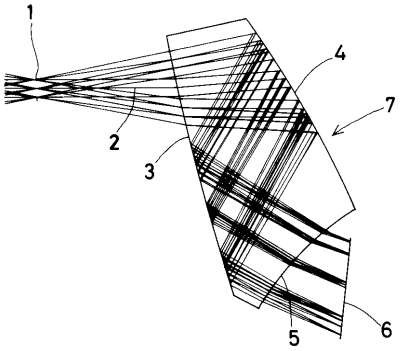
【図４】



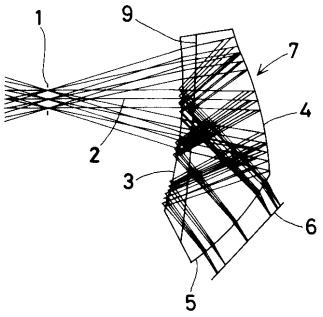
【図５】



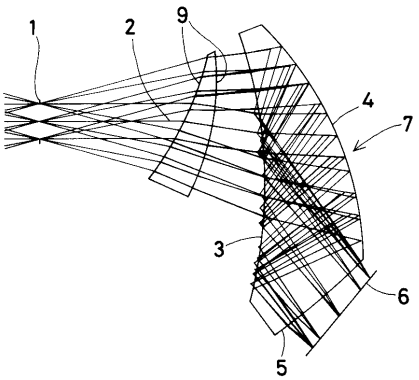
【図６】



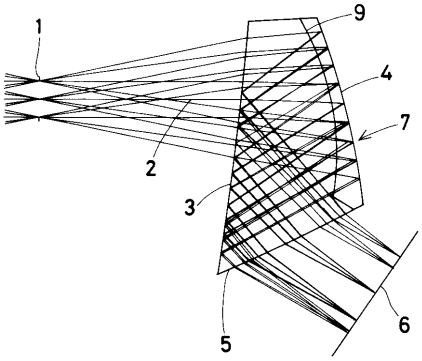
【図７】



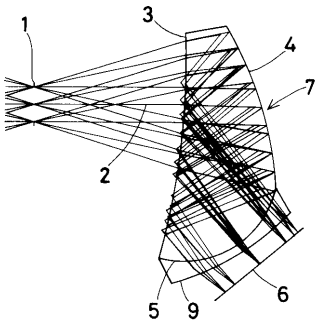
【図８】



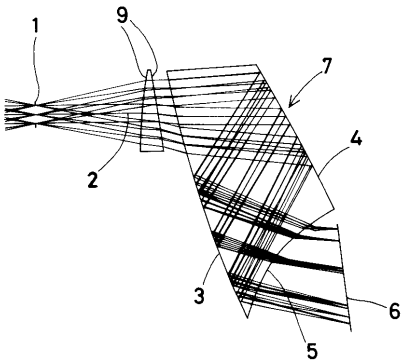
【図９】



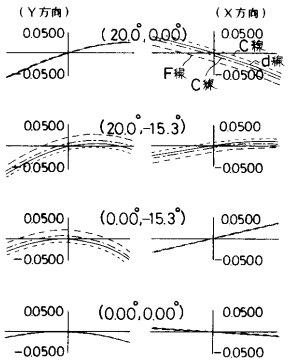
【図１０】



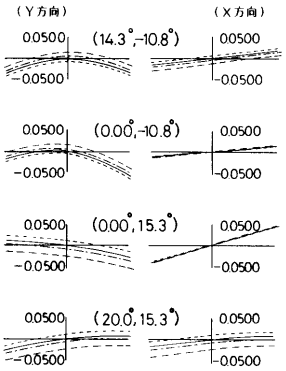
【図１１】



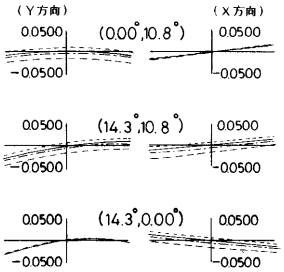
【図１２】



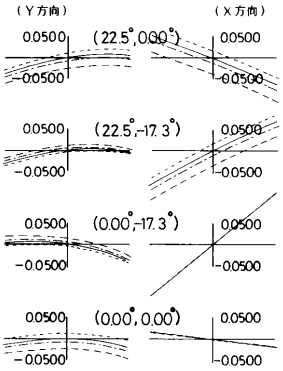
【図１３】



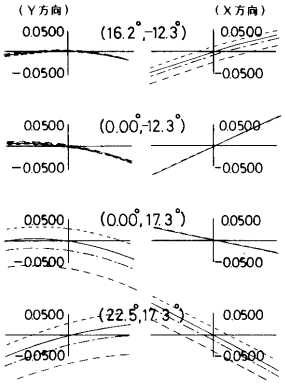
【図１４】



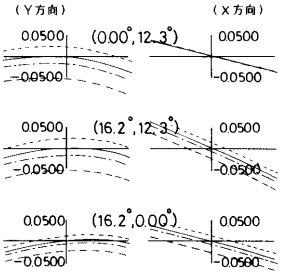
【図１５】



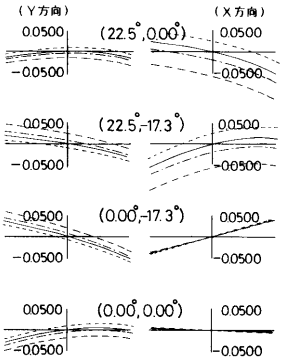
【図１６】



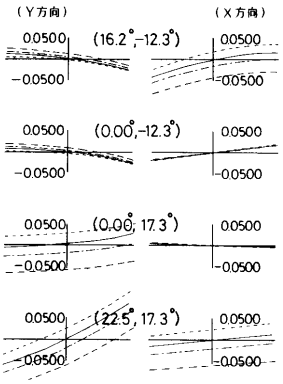
【図１７】



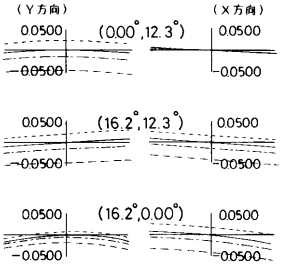
【図１８】



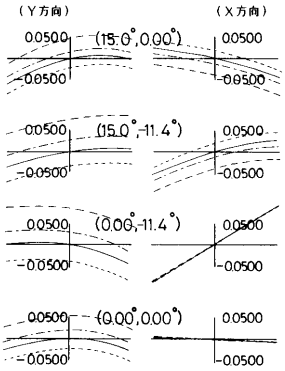
【図１９】



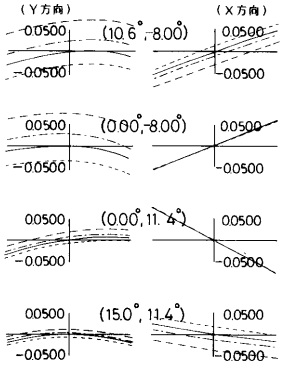
【図２０】



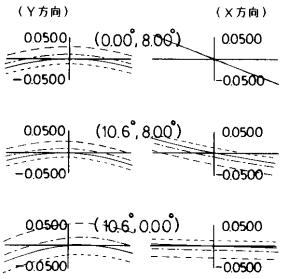
【図２１】



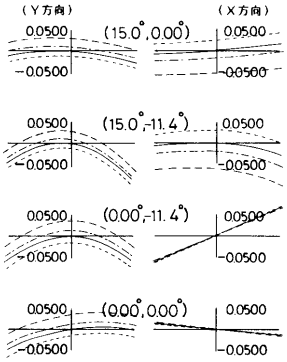
【図２２】



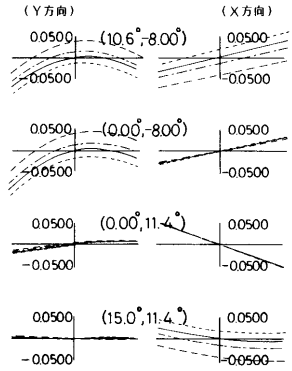
【図２３】



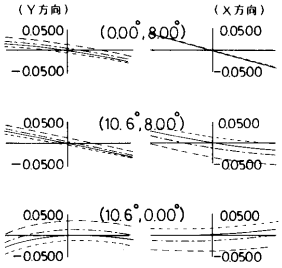
【図２４】



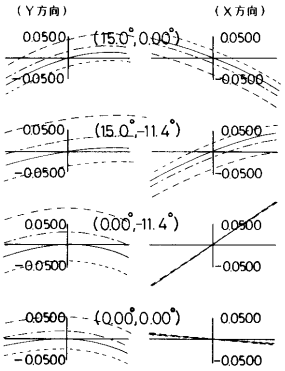
【図２５】



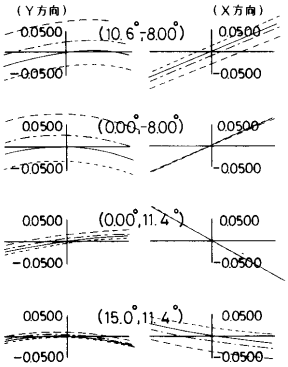
【図２６】



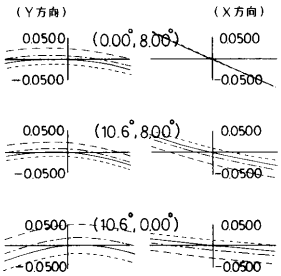
【図２７】



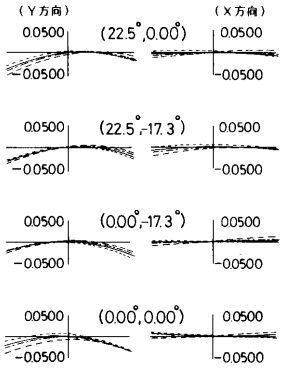
【図２８】



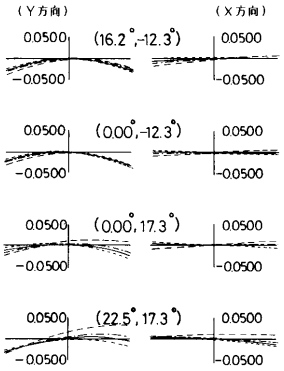
【図２９】



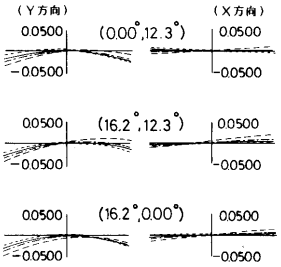
【図３０】



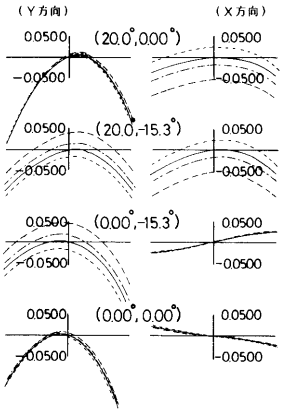
【図３１】



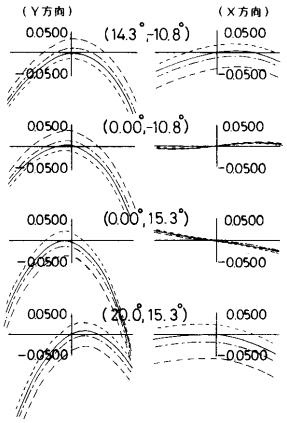
【図３２】



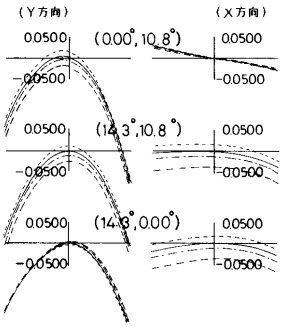
【図３３】



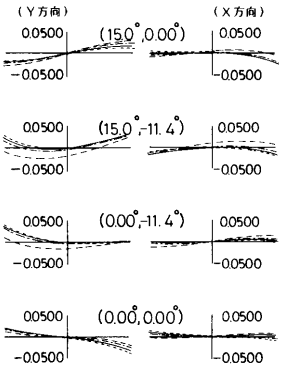
【図３４】



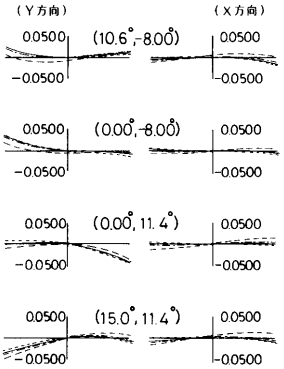
【図３５】



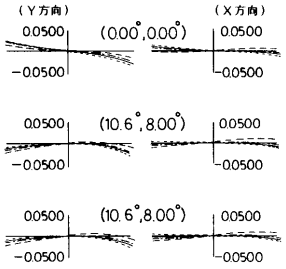
【図３６】



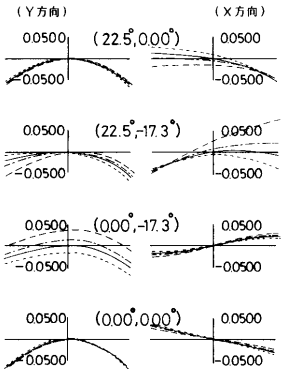
【図３７】



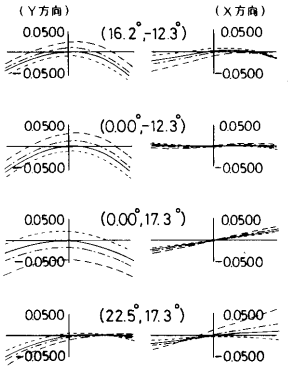
【図３８】



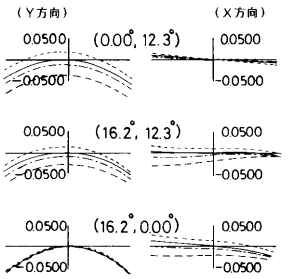
【図３９】



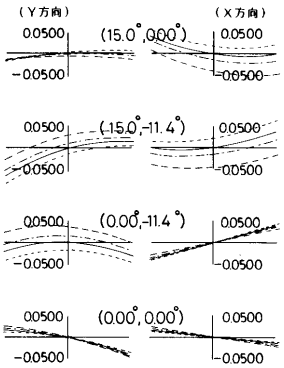
【図４０】



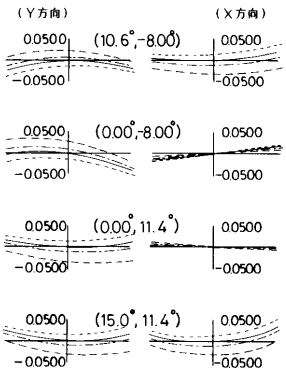
【図４１】



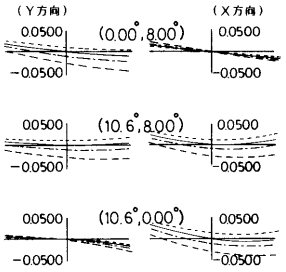
【図４２】



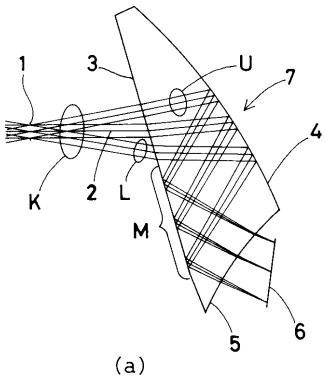
【図４３】



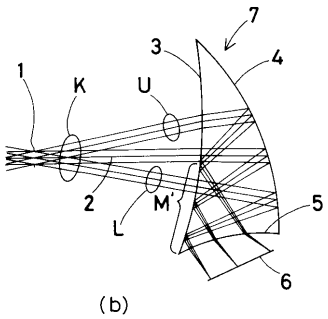
【図４４】



【図４５】

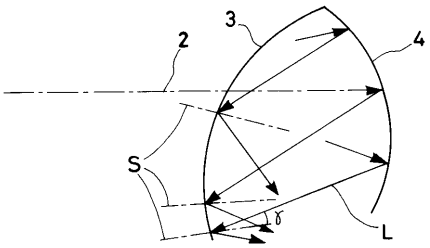


(a)

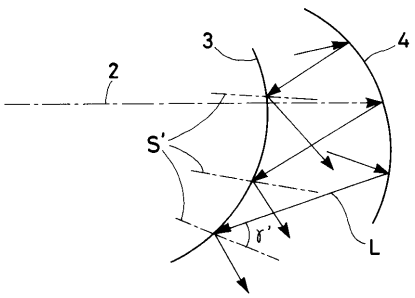


(b)

【図４６】

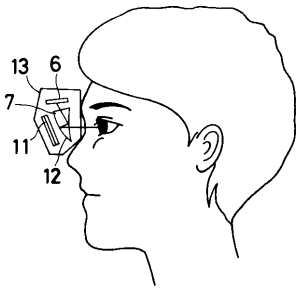


(a)

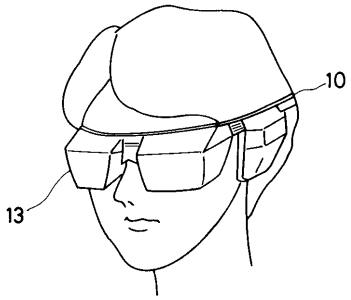


(b)

【図４７】

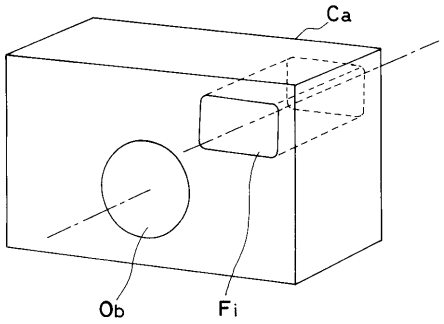


(a)

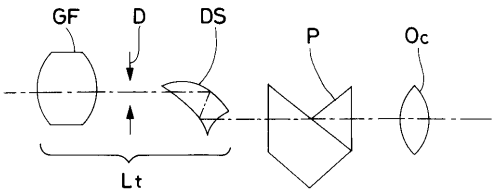


(b)

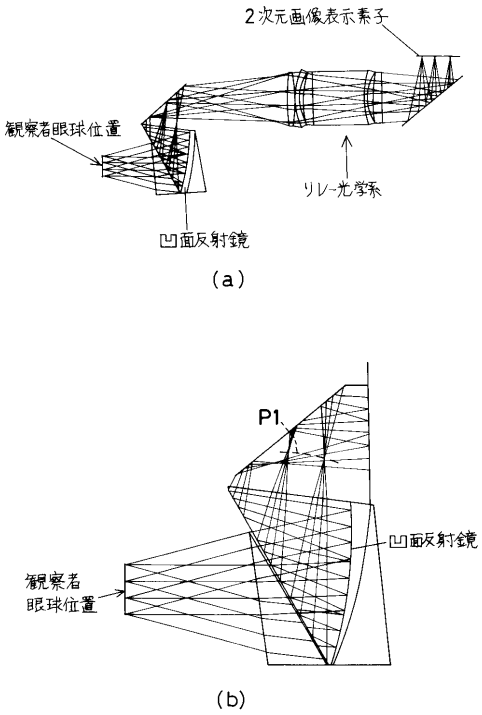
【図４８】



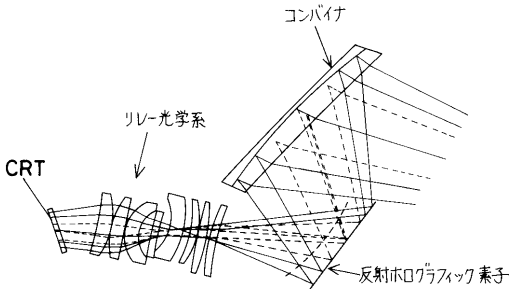
【図４９】



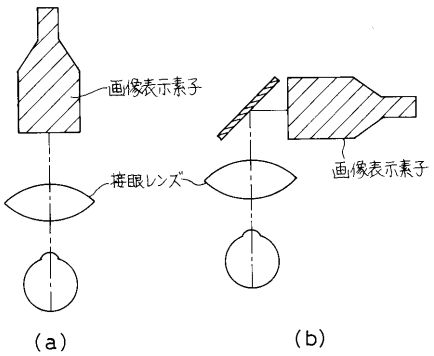
【図５０】



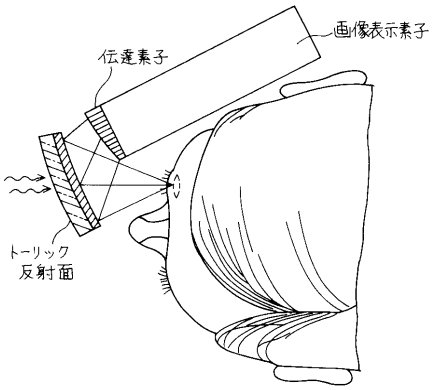
【図５１】



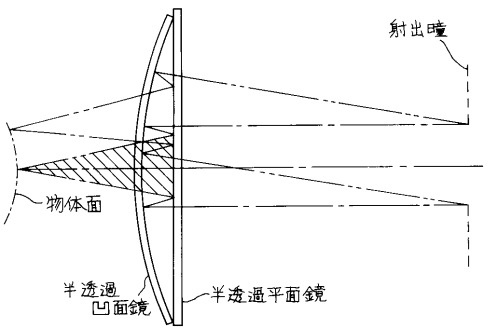
【図５２】



【図５３】



【図５４】



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 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 東 治企

(56)参考文献 特開平０８－２３４１３７（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４８７４２１４（ＵＳ，Ａ）
特開昭５８－０７８１１６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第９４／０２４６５８（WO，Ａ１）
特開平０２－２９７５１６（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１２１２５６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G02B 27/02
G02B 13/00
G02B 25/00
G02F 1/1335