(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3645618号
(P3645618)
(45)発行日　平成17年5月11日(2005.5.11)　(24)登録日　平成17年2月10日(2005.2.10)

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

請求項の数 14　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願平7-178657
(22)出願日　平成7年7月14日(1995.7.14)
(65)公開番号　特開平9-33855
(43)公開日　平成9年2月7日(1997.2.7)
審査請求日　平成14年1月10日(2002.1.10)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100097777
弁理士　韮澤　弘
(74)代理人　100088041
弁理士　阿部　龍吉
(74)代理人　100092495
弁理士　蛭川　昌信
(74)代理人　100095120
弁理士　内田　亘彦
(74)代理人　100095980
弁理士　菅井　英雄
(74)代理人　100094787
弁理士　青木　健二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】画像表示装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

像位置と瞳位置との間に配置された光学系において、

前記光学系は、少なくとも３つの光学面を持ち、かつ、その少なくとも３つの光学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、

前記の少なくも３つの面は、前記瞳位置から前記像位置に到る逆光線追跡に従って、第１面、第２面、第３面の順に配置され、

前記瞳からの光線が、順番に、第１面を通過し、第２面で反射し、正のパワーを有する反射面である第３面で反射し、前記第１面で反射し、前記第２面を透過して、前記像位置に到達するように、前記第１面乃至前記第３面が配置され、

前記第３面が非回転対称な非球面であると共に、前記３つの面のうちで最も大きな正のパワーを有し、

前記第１面のパワーが負、前記第２面のパワーが負であることを特徴とする光学系。

【請求項２】

前記第１面での反射は全反射であることを特徴とする請求項１記載の光学系。

【請求項３】

前記第３面は、前記瞳からの光軸上の光線の第２面での反射後の光線を、前記瞳位置側に略３０°前後傾けた方向に反射させるように配置されていることを特徴とする請求項１又は２記載の光学系。

【請求項４】

前記光線の傾け角をθ_1とするとき、

$$20° < \theta_1 < 45° \quad \cdots (1)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項３記載の光学系。

【請求項５】

前記第１面と前記第２面とのなす角をθ_2とするとき、

$$30° < \theta_2 < 60° \quad \cdots (2)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項１又は２記載の光学系。

【請求項６】

前記第２面の内部反射は全反射であることを特徴とする請求項１又は２記載の光学系。

【請求項７】

前記光学系が、前記第２面と前記像面との間に、第４面を有し、かつ、前記逆光線追跡に従って、前記第２面を透過した後に、前記第４面を透過するように構成されたことを特徴とする請求項１又は２記載の光学系。

【請求項８】

前記光学系の光路中に、少なくとも１つの光学境界面が配置されていることを特徴とする請求項１又は７記載の光学系。

【請求項９】

前記像位置に画像表示素子を配置し、前記請求項１～８の何れか１項記載の光学系を接眼光学系として配置したことを特徴とする画像表示装置。

【請求項１０】

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を特徴とする請求項９記載の画像表示装置。

【請求項１１】

前記画像表示素子と前記接眼光学系を前記観察者頭部に対して支持する支持手段を有し、前記観察者頭部に装着できることを特徴とする請求項９記載の画像表示装置。

【請求項１２】

前記画像表示装置の少なくとも２組を一定の間隔で支持する支持手段を有することを特徴とする請求項９記載の画像表示装置。

【請求項１３】

前記像位置に、前記光学系を介して、前記瞳位置を通過した物体からの光束を物体像として形成させるように、前記請求項１～８の何れか１項記載の光学系を配置したことを特徴とする結像光学系。

【請求項１４】

請求項１３記載の結像光学系を含むことを特徴とするカメラ装置。

【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】

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１９（ａ）に全体の光学系を、図１９（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２０に示すように、ＣＲＴの画像をリレー光学系を介して中間像を形成し、反射ホログラフィック素子とホログラム面を有するコンバイナによって観察者の眼に投

影するものである。
【０００４】
また、従来の他のタイプの画像表示装置として、特開昭６２－２１４７８２号のものがある。この装置は、図２１（ａ）、（ｂ）に示すように、画像表示素子を接眼レンズで拡大して直接観察できるようにしたものである。
【０００５】
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２２に示すように、画像表示素子の像を伝達素子で湾曲した物体面に伝達し、その物体面をトーリック反射面で空中に投影するようにしたものである。
【０００６】
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２３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。
その他に、公知のものとして、米国特許第４，０８１，２０９号、米国特許第４，９６９，７２４号、米国特許第５，０００，５４４号等のものがある。
【０００７】
【発明が解決しようとする課題】
図１９、図２０ような画像表示素子の映像をリレーするタイプの画像表示装置では、接眼光学系により発生する収差をリレー光学系により補正することが可能となり、光学系全体として良好な収差補正が可能となる。しかし、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１９（ａ）の接眼光学系のみの場合は、図１９（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２１のようなレイアウトでは、観察者の顔面からの装置突出量が大きくなってしまう。さらに、画像表示素子と照明光学系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反射凹面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、軸上球面収差は補正されても、コマ収差、像面湾曲、非点較差等の軸外収差の発生が残存するため、観察画角を大きくすると、実用的な装置にはなり得ない。あるいは、接眼光学系として凹面鏡のみを用いる場合には、通常の光学素子（レンズやミラー）のみではなく、図２２に示すように、発生した像面湾曲に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２３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画像表示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画像表示装置は、像位置と瞳位置との間に配置された光学系において、
前記光学系は、少なくとも３つの光学面を持ち、かつ、その少なくとも３つの光学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、
前記の少なくも３つの面は、前記瞳位置から前記像位置に到る逆光線追跡に従って、第１面、第２面、第３面の順に配置され、
前記瞳からの光線が、順番に、第１面を通過し、第２面で反射し、正のパワーを有する反射面である第３面で反射し、前記第１面で反射し、前記第２面を透過して、前記像位置に到達するように、前記第１面乃至前記第３面が配置され、
前記第３面が非回転対称な非球面であると共に、前記３つの面のうちで最も大きな正のパワーを有し、
前記第１面のパワーが負、前記第２面のパワーが負であることを特徴とするものである。
この場合、第１面での反射は全反射となるようにすることが望ましい。
【００１５】
本発明のも１つの画像表示装置は、画像を表示する画像表示素子と、前記画像表示素子によって形成された画像を投影し観察者眼球に導く接眼光学系とからなる画像表示装置において、前記接眼光学系は少なくとも４つの光学面を持ち、かつ、その少なくとも４つの光学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、前記の少なくも４つの面は、観察者眼球から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って、第１面、第２面、第３面、第４面の順に配置され、観察者眼球からの光線は、順番に、第１面を通過し、第２面で反射し、正のパワーを有する反射面である第３面で反射し、前記第１面で反射し、第４面を透過して、前記画像表示素子に到達するように配置されていることを特徴とするものである。
【００１６】
以下に、本発明の上記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よって行う。
【００１７】
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すようにしたことによって、偏心して傾いた第３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ち、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。
【００１８】
一般に、凹面鏡では、凹面に強い正パワーを持たせることで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、瞳位置が凹面鏡の曲率中心より遠くにある場合には、内コマ収差が発生する。しかし、小型で広画角の画像表示装置を提供するためには、小さい画像表示素子を焦点距離の短いつまり強い正パワーの光学系で拡大することが重要である。
【００１９】
本発明は、この小型でかつ広画角であり、収差が少ないという相矛盾する問題点を、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解決している。

【００２０】
上記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、接眼光学系に入射する第１面を透過してから接眼光学系を射出する第２面を透過するまでの空間を有効に使用することが可能となる。このことは、瞳からの光線が第１面において屈折収斂されるため、光学系内での光線の広がりを抑えることができ、光線のケラレを生ずることがなくなる。
【００２１】
また、軸外光線の主光線及び従属光線の第３面に入射する高さを低く抑えることが可能となる。これによって、第２、第３面の有効径を小さくすることができ、接眼光学系を小型にすることができると同時に、像面湾曲の発生が少なくなり、画角を広くとることが可能になる。また、凹面鏡と瞳位置の光路長を機械的長さより長くすることができる。このことは、瞳位置を光学系から離してアイポイントを比較的長くとりながら、光学的には凹面鏡の曲率中心近傍に瞳を配置することが可能となり、第３面で発生するコマ収差の発生を抑えることができる。
【００２２】
また、第１面を透過後、第２面で反射され、正のパワーを有する第３面で反射した後、第１面で反射し、第２面を透過する光路をとることによって、光路を小さい体積の光学素子内にコンパクトに折り曲げることが可能となる。
【００２３】
さらに、光学系内の主な正の屈折力を持つ面が反射面で構成されているために、色収差の発生が原理的に少なくてすみ、アッベ数の異なるガラスを用いて色収差を補正する必要がなくなり、光学系を単一硝材で構成することが可能となる。
【００２４】
また、第３面で反射した後の第１面での内部反射は全反射とすることが、接眼光学系を小型化するために有効に作用する。以下に詳細に説明する。
図１７は本発明の画像表示装置の光路を示す断面図である。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、７は画像表示素子である。また、図１７（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、その他の領域はミラーコートを施していない領域である。
【００２５】
逆光線追跡にて、瞳１から出た光線は、接眼光学系の第１面３に入射し、そこで屈折されて第２面４で反射し、次に、第３面５で反射する構成であるが、図１７（ａ）のように、下側軸外光線Ｌの第１面３での反射領域と下側軸外光線Ｌの第１面３で透過領域が重ならない構成だと、接眼光学系の高さを高くとる必要が生じてくる。つまり、反射領域と透過領域を別々に構成する場合には、光学系を小型にすることが難しくなる。
【００２６】
言い換えれば、同じ大きさの接眼光学系ならば、透過領域と反射領域を分割することは、観察画角、特に上下方向の観察画角を広くとることが不可能になる。そこで、本発明の接眼光学系において、図１７（ｂ）のように、上側軸外光線Ｕから下側軸外光線Ｌの第１面３での透過領域と上側軸外光線Ｕから下側軸外光線Ｌの第１面３での反射領域を概略一致させるようにすることにより、光学系の小型化に成功したものである。
【００２７】
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１面３での透過光束と第１面３での反射光束が第１面３で干渉しても、それぞれの光線は第１面３で本来の作用ができることになる。
【００２８】
また、第３面は、観察者視軸上の光線の第２面での反射後の光線を観察者眼球側に略３０°前後傾けるように配置することが好ましい。正のパワーを持った凹面鏡である第３面５

では、その反射角が大きくなればなる程偏心によるコマ収差が大きく発生する。また、逆に、この反射角が小さいと、反射後の光線を第１面３で内部反射させることができなくなる。

【００２９】

実用的な収差発生量で第３面５での反射後の光線を第１面３で反射させるためには、上記の傾き角が略３０°前後になるように配置することが好ましい。

【００３０】

さらに好ましくは、上記光線の傾け角をθ_1とするとき、

$20° < \theta_1 < 45°$　　・・・（１）

なる条件を満足することが望ましい。この条件は、上記条件の実用的限界を示したものである。この条件（１）の下限の２０°を越えると、図１８に断面を示すように、凹面鏡の第３面５で反射後の光線を第１面３で反射させることができなくなり、第２面４を再び透過してしまう。この構成の場合には、第２面４を半透過面で構成する必要があり、光学系の透過率が下がってしまう。また、上限の４５°を越えると、第３面５で発生するコマ収差の発生が大きくなりすぎてしまい、他の面で補正することが不可能になってしまう。

【００３１】

さらに、接眼光学系のプリズム内を通る光線をより小さくし、光学系全体をよりコンパクト化させるためには、上記条件（１）の範囲を下記の条件（１’）の範囲に限定することが望ましい。

【００３２】

$25° < \theta_1 < 40°$　　・・・（1'）

また、第１面３と第２面４とのなす角をθ_2とするとき、

$30° < \theta_2 < 60°$　　・・・（２）

なる条件を満足することが望ましい。この条件（２）の上限の６０°を越えると、接眼光学系のプリズム内を通る光路が長くなりすぎ、プリズムが大型化し、好ましくない。下限の３０°を超えると、θ_2がθ_1と密接に関連することから、θ_1が大きくなってしまい、凹面鏡５で発生する収差が大きくなり、他の面でその収差を補正しきれなくなり、好ましくない。

【００３３】

さらに好ましくは、第２面４の内部反射は全反射であることが望ましい。第２面４を全反射するように傾けることによって、反射コーティングを行う必要がなくなる。また、第１面３で全反射後の光線に対して透過するように配置すると、第１面３と同様に、反射領域と透過領域を分ける必要がなくなるので、接眼光学系を小型にすることが可能とな。また、全反射の場合は１００％の反射率が得られるが、コーティングによる反射では、９０％程度しか反射率が得ることができない。

【００３４】

次に、本発明の第２の発明について説明する。この発明は４つの光学面で囲まれている領域を屈折率１以上の媒質で満たすことを特徴としている。第１の発明に対して、第２の発明は、第２面を透過するのではなく、透過専用の第４面を配置することによって、収差の補正をより良好に行うことが可能となる。

【００３５】

この場合も、第１の発明と同様の理由で、第３面で反射した後の第１面での内部反射は全反射とすること望ましい。また、第３面は、観察者視軸上の光線の第２面での反射後の光線を観察者眼球側に略３０°前後傾けるように配置することが好ましい。さらに好ましくは、上記光線の傾け角をθ_1とするとき、

$20° < \theta_1 < 45°$　　・・・（１）

なる条件を満足することが望ましい。上記条件（１）の範囲を下記の条件（１’）の範囲に限定することがさらに望ましい。

$25° < \theta_1 < 40°$　　・・・（1'）

また、第１面３と第２面４とのなす角をθ_2とするとき、

$30° < \theta_2 < 60°$ ・・・（２）

なる条件を満足することが望ましい。

なお、第２の発明の偏心光学素子（プリズム）では、第２面と第３面、その後の第１面の内部反射は反射面であるため、それらの面での色収差は発生しない。また、画像表示素子に近接する第３面又は第４面における主光線は光軸に略平衡であるため、倍率の色収差の発生は少ない。したがって、接眼光学系の色収差の発生は、屈折面である第１面でのみ発生することになり、略無視することが可能である。しかし、さらに好ましくは、第１面で発生する倍率の色収差の補正を行うことによって、より鮮明で高解像な画像を表示することを可能となる。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。

【００３６】

第１面で発生する色収差の補正のためには、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可能となる。すなわち、接眼光学系の光路中に、少なくとも１つの光学境界面を配置することが望ましい。

【００３７】

以下に、色収差の補正について詳しく説明すると、画像表示素子から観察者眼球に到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つの光学面を配備することによって、接眼光学系の媒質が２つ以上で構成することができる。その場合、媒質のアッベ数の変化によって倍率の色収差を補正することが可能となる。これは、一般に色消し条件と呼ばれ、アッベ数ν_1、ν_2を適切に選べばよい。

【００３８】

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。

【００３９】

また、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。つまり、楽な姿勢をとって映像を観察することができる。例えば、ベッドに寝たままの病人でも、頭部に画像表示装置を装着して、寝たままの姿勢で映像を観察することができる。

【００４０】

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。

【００４１】

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１４、図１５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。

【００４２】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の画像表示装置の実施例１から７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７を参照して説明する。なお、実施例１、４はそれぞれ本発明の参考例１、２である。

【００４３】

実施例１～５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７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、観察者の瞳位置１を原点とし、観察者視軸２を原点から接眼

光学系８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。

【００４４】

そして、後記する構成パラメータ中において、面間隔が２面に関して記載されているが、これは１面からのＺ軸に沿う距離であり、その位置が２面以降の各面の基準点になり、２面以降各面について偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θが記載されており、上記基準点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、画像表示素子７についても、偏心量Ｙ，Ｚと傾き角θが記載されており、画像表示素子７の場合は、１面（観察者の瞳位置１）からのその中心のＹ軸方向、Ｚ軸方向の偏心量、及び、法線のＺ軸からの傾き角を意味する。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。

【００４５】

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。

【００４６】

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

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。

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

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。

【００４７】

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。

【００４８】

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は接眼光学系の第４面、７は画像表示素子、８は接眼光学系、９は光学面である。

【００４９】

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７から発した光線束は、接眼光学系８の第２面４で屈折して接眼光学系８に入射し、第１面３で内部反射し、第３面５で反射されて、再び第２面４に入射して反射され、今度は第１面３で屈折されて、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。

【００５０】

実施例１

本実施例は、第１の発明に関するものであり、図１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、第１面３（２

面、５面）、第２面４（３面、６面）、第３面４（４面）の面形状は全て球面である。
【００５１】
実施例２
本実施例は、第１の発明に関するものであり、図２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、第１面３（２面、５面）、第２面４（３面、６面）の面形状は球面であり、第３面４（４面）の面形状はアナモフィック非球面である。
【００５２】
実施例３
本実施例は、第１の発明に関するものであり、図３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、第１面３（２面、５面）、第３面４（４面）の面形状はアナモフィック非球面であり、第２面４（３面、６面）の面形状は球面である。
【００５３】
実施例４
本実施例は、第１の発明に関するものであり、図４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、第１面３（２面、５面）、第２面４（３面、６面）、第３面４（４面）の面形状は全て球面である。
【００５４】
実施例５
本実施例は、第１の発明に関するものであり、図５に断面を示すが、水平画角４５°、垂直画角３４．５２°、瞳経８ｍｍである。後記する構成パラメータにおいて、第１面３（２面、５面）、第２面４（３面、６面）の面形状は球面であり、第３面４（４面）の面形状はアナモフィック非球面である。
【００５５】
実施例６
本実施例は、第２の発明に関するものであり、図６に断面を示すが、接眼光学系８の第４面６の入射側に光学境界面９を配置して、倍率の色収差を補正したものである。本実施例の構成パラメータは省略する。
【００５６】
実施例７
本実施例は、第１の発明に関するものであり、図６に断面を示すが、接眼光学系８の第３面５の入射出側に光学境界面９を配置して、倍率の色収差を補正したものである。本実施例の構成パラメータは省略する。
【００５７】
次に、上記実施例１～５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)	29.409				
2	-1065.772			1.51633		64.10
			Y	-32.663	θ	7.273 °
			Z	0.277		
3	4956.938			1.51633		64.10
			Y	17.043	θ	53.107 °
			Z	-13.120		
4	133.057			1.51633		64.10
			Y	-44.740	θ	98.811 °
			Z	-30.773		
5	-1065.772			1.51633		64.10
			Y	-32.663	θ	7.273 °
			Z	0.277		
6	4956.938		Y	17.043	θ	53.107 °
			Z	-13.120		
7	(画像表示素子)		Y	23.253	θ	81.241 °
			Z	44.479		

（1）θ_1 ＝32°

（2）θ_2 ＝45°

。

【００５８】

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)	29.908		
2	-1144.435		1.51633	64.10
			Y -35.014 θ	6.519 °
			Z -0.359	
3	-2248.872		1.51633	64.10
			Y 18.501 θ	52.669 °
			Z -11.257	
4	R_y 147.243		1.51633	64.10
	R_x 140.017		Y -44.195 θ	98.410 °
	K_y -0.065527		Z -31.524	
	K_x 0.782804			
	AR -0.444399×10^{-8}			
	BR $-0.506063 \times 10^{-12}$			
	AP 0.862947×10^{-1}			
	BP 0.748578×10^{-1}			
5	-1144.435		1.51633	64.10
			Y -35.014 θ	6.519 °
			Z -0.359	
6	-2248.872		Y 18.501 θ	53.669 °
			Z -11.257	
7	(画像表示素子)		Y 22.812 θ	80.398 °
			Z 41.504	

（１）θ_1 ＝32°

（２）θ_2 ＝45°

。

【００５９】

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)	24.480				
2	R_y	-736.361			1.48700		70.40
	R_X	-505.846		Y	-21.744	θ	-2.450 °
	K_y	0.000000		Z	0.000		
	K_X	0.000000					
	AR	-0.306697×10^{-7}					
	BR	0.809687×10^{-10}					
	AP	0.263980×10^{1}					
	BP	0.574278×10^{-1}					
3		-553.259			1.48700		70.40
				Y	23.482	θ	53.267 °
				Z	-4.568		
4	R_y	146.168			1.48700		70.40
	R_X	128.931		Y	-42.800	θ	93.371 °
	K_y	-0.06771		Z	-31.014		
	K_X	-0.407545					
	AR	0.550524×10^{-8}					
	BR	$-0.151433 \times 10^{-11}$					
	AP	-0.155988×10^{1}					
	BP	0.437690					
5	R_y	-736.361			1.48700		70.40
	R_X	-505.846		Y	-21.744	θ	-2.450 °
	K_y	0.000000		Z	0.000		
	K_X	0.000000					
	AR	-0.306697×10^{-7}					
	BR	0.809687×10^{-10}					

AP 0.263980 $\times 10^{1}$

BP 0.574278 $\times 10^{-1}$

6	-553.259		Y	23.482	θ	53.267 °
			Z	-4.568		
7	(画像表示素子)		Y	16.438	θ	58.428 °
			Z	39.101		

(1) θ_1 =36°

(2) θ_2 =50°

【００６０】

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)	32.764				
2	-677.269			1.51633		64.10
			Y	-57.272	θ	8.459 °
			Z	3.506		
3	2651.719			1.51633		64.10
			Y	13.829	θ	53.626 °
			Z	5.278		
4	137.501			1.51633		64.10
			Y	-41.948	θ	101.521 °
			Z	-17.362		
5	-677.269			1.51633		64.10
			Y	-57.272	θ	8.459 °
			Z	3.506		
6	2651.719		Y	13.829	θ	53.626 °
			Z	5.278		
7	(画像表示素子)		Y	31.172	θ	88.536 °
			Z	31.427		

(1) θ_1 =32°

(2) θ_2 =40°

【００６１】

実施例５

面番号	曲率半径	間隔	屈折率 (偏心量)	アッベ数 (傾き角)
1	∞ (瞳)	19.348		
2	-740.335		1.51633	64.10
			Y -22.650 θ	6.519 °
			Z -0.232	
3	-1454.796		1.51633	64.10
			Y 11.969 θ	52.669 °
			Z 0.000	
4	R_y 120.000		1.5163	64.10
	R_x 90.577		Y -40.000 θ	98.410 °
	K_y -0.065527		Z -20.393	
	K_x 0.782804			
	AR -0.164158×10^{-7}			
	BR $-0.446703 \times 10^{-11}$			
	AP 0.862947×10^{-1}			
	BP 0.748578×10^{-1}			
5	-740.335		1.51633	64.10
			Y -22.650 θ	6.519 °
			Z -0.232	
6	-1454.796		Y 11.969 θ	52.669 °
			Z 0.000	
7	(画像表示素子)		Y 17.000 θ	70.000 °
			Z 30.000	

（１）$\theta_1 = 36°$

（２）$\theta_2 = 40°$

。

【００６２】

次に、上記実施例１～５の横収差図をそれぞれ図８～図１２に示す。これらにおいて、番号▲１▼～▲６▼で与えられる収差は、各実施例に与えられている水平画角、垂直画角で規定される画面を図１６の黒枠で示し、視軸を画面中心においたときに、図１６中に示したそれぞれの画角位置（物体高）での横収差を示す。

【００６３】

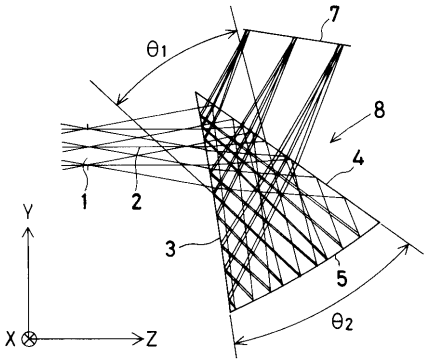
以上、本発明の画像表示装置を実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されず種々の変形が可能である。本発明の画像表示装置を頭部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）１１として構成するには、図１３（ａ）に断面図、図１３（ｂ）に斜視図を示すように、例えばヘッドバンド１２を取り付けて観察者の頭部に装着して使用する。

【００６４】
さらに、本発明の画像表示装置の接眼光学系８を結像光学系として用いた場合、例えば、図１４に示すように、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。結像光学系として用いた場合の光学系の構成図を図１５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の接眼光学系ＤＳとで対物系Ｌｔを構成することができる。この対物系Ｌｔによって形成された像を接眼レンズＯｃによって観察できる。
【００６５】
また、いくつかの実施例において、面形状としてアナモフィック非球面を光学設計上使用したが、前記非球面の定義式にとどまることなく、自由曲面、トーリック面等の形状の面でも、本発明の構成をとることによって、発明の目的を達成できることは明白である。
【００６６】
以上の本発明の画像表示装置は、例えば次のように構成することができる。
【００６７】
〔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つの光学面を持ち、かつ、その少なくとも３つの光学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、前記の少なくも３つの面は、観察者眼球から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って、第１面、第２面、第３面の順に配置され、
観察者眼球からの光線は、順番に、第１面を通過し、第２面で反射し、正のパワーを有する反射面である第３面で反射し、前記第１面で反射し、前記第２面を透過して、前記画像表示素子に到達するように配置されていることを特徴とする画像表示装置。
【００６８】
〔２〕　前記第１面での反射は全反射であることを特徴とする上記〔１〕記載の画像表示装置。
【００６９】
〔３〕　前記第３面は、観察者視軸上の光線の第２面での反射後の光線を観察者眼球側に略３０°前後傾けるように配置されていることを特徴とする上記〔１〕又は〔２〕記載の画像表示装置。
【００７０】
〔４〕　前記光線の傾け角をθ_1とするとき、
$20° < \theta_1 < 45°$　　・・・（１）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔３〕記載の画像表示装置。
【００７１】
〔５〕　前記光線の傾け角をθ_1とするとき、
$25° < \theta_1 < 40°$　　・・・（1'）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔３〕記載の画像表示装置。
【００７２】
〔６〕　前記第１面と前記第２面とのなす角をθ_2とするとき、
$30° < \theta_2 < 60°$　　・・・（２）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１〕から〔５〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００７３】
〔７〕　前記第２面の内部反射は全反射であることを特徴とする上記〔１〕から〔６〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００７４】
〔８〕　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４つの光学面を持ち、かつ、その少なくとも４つの光学面に

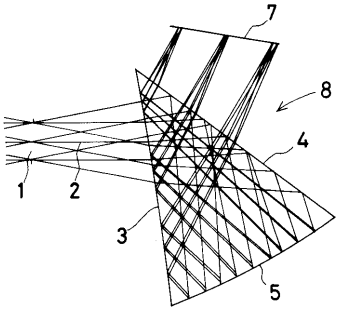
よって形成される空間が屈折率が１より大きい媒質で満たされており、前記の少なくも４つの面は、観察者眼球から前記画像表示素子に到る逆光線追跡に従って、第１面、第２面、第３面、第４面の順に配置され、
観察者眼球からの光線は、順番に、第１面を通過し、第２面で反射し、正のパワーを有する反射面である第３面で反射し、前記第１面で反射し、第４面を透過して、前記画像表示素子に到達するように配置されていることを特徴とする画像表示装置。
【００７５】
〔９〕　前記第１面での反射は全反射であることを特徴とする上記〔８〕記載の画像表示装置。
【００７６】
〔１０〕　前記第３面は、観察者視軸上の光線の第２面での反射後の光線を観察者眼球側に略３０°前後傾けるように配置されていることを特徴とする上記〔８〕又は〔９〕記載の画像表示装置。
【００７７】
〔１１〕　前記光線の傾け角をθ_1とするとき、
$20° < \theta_1 < 45°$　　・・・（１）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１０〕記載の画像表示装置。
【００７８】
〔１２〕　前記光線の傾け角をθ_1とするとき、
$25° < \theta_1 < 40°$　　・・・（1'）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１０〕記載の画像表示装置。
【００７９】
〔１３〕　前記第１面と前記第２面とのなす角をθ_2とするとき、
$30° < \theta_2 < 60°$　　・・・（２）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔８〕から〔１２〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８０】
〔１４〕　前記接眼光学系の光路中に、少なくとも１つの光学境界面が配置されていることを特徴とする上記〔１〕から〔１３〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８１】
〔１５〕　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を特徴とする上記〔１〕から〔１４〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８２】
〔１６〕　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〕から〔１５〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８３】
〔１７〕　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〕から〔１６〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８４】
〔１８〕　前記画像表示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〔１〕から〔１４〕の何れか１項記載の画像表示装置。
【００８５】
【発明の効果】
以上の説明から明らかなように、本発明の画像表示装置によると、広い観察画角で、非常に小型軽量な画像表示装置を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の画像表示装置の実施例１の光路図である。
【図２】本発明の画像表示装置の実施例２の光路図である。

【図３】本発明の画像表示装置の実施例３の光路図である。
【図４】本発明の画像表示装置の実施例４の光路図である。
【図５】本発明の画像表示装置の実施例５の光路図である。
【図６】本発明の画像表示装置の実施例６の光路図である。
【図７】本発明の画像表示装置の実施例７の光路図である。
【図８】実施例１の横収差図である。
【図９】実施例２の横収差図である。
【図１０】実施例３の横収差図である。
【図１１】実施例４の横収差図である。
【図１２】実施例５の横収差図である。
【図１３】本発明の画像表示装置を頭部装着式画像表示装置として構成した場合の１例の断面図と斜視図である。
【図１４】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コンパクトカメラの斜視図である。
【図１５】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る場合の光学系の構成図である。
【図１６】各実施例の横収差図をとる位置を画面上で示す図である。
【図１７】本発明の画像表示装置の光路を示す概念図である。
【図１８】本発明における条件（１）の意味を説明するための図である。
【図１９】従来の１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２０】従来の別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２１】従来のさらに別の画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２２】従来のもう１つの画像表示装置の光学系を示す図である。
【図２３】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…接眼光学系の第４面
７…画像表示素子
８…接眼光学系
９…光学面
１１…頭部装着式画像表示装置（ＨＭＤ）
１２…ヘッドバンド
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
Ｌｔ…対物系
Ｏｃ…接眼レンズ

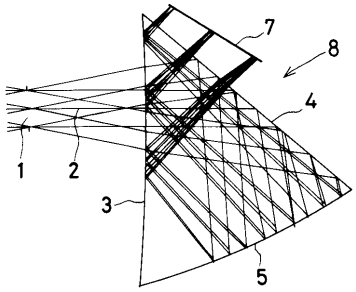
【図１】



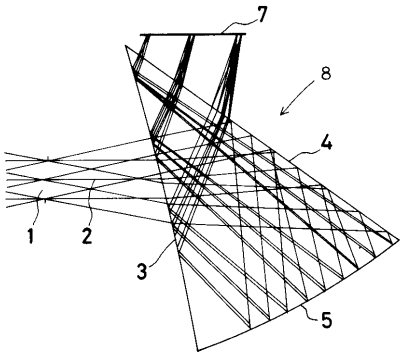
【図２】



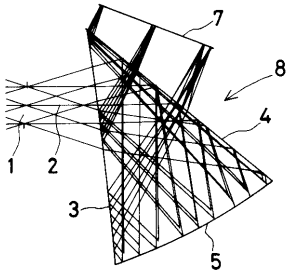
【図３】



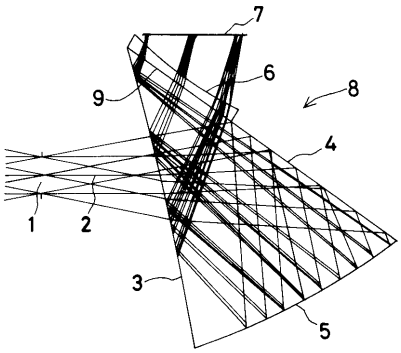
【図４】



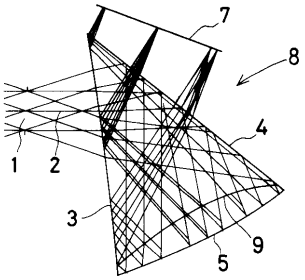
【図５】



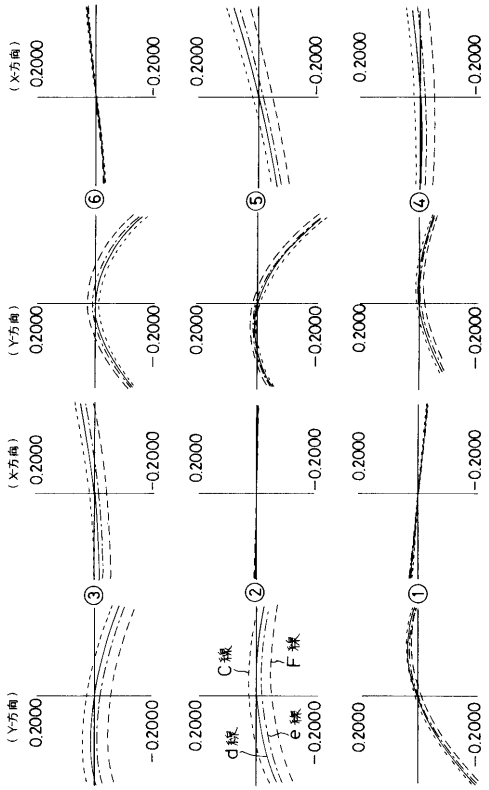
【図６】



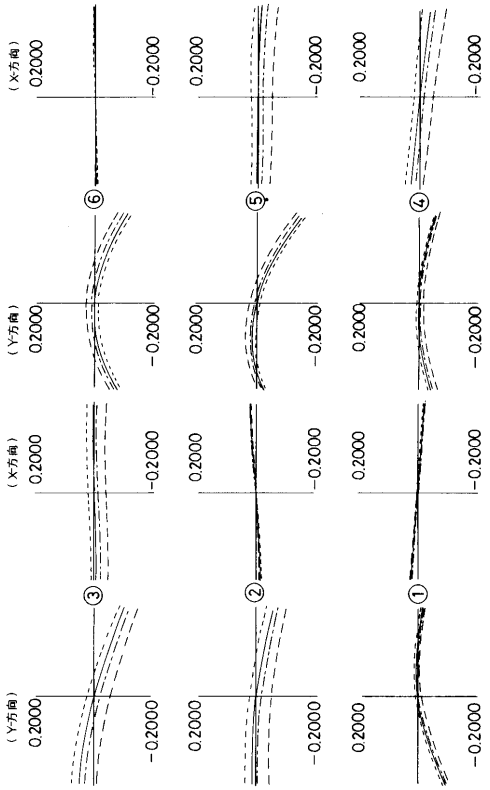
【図７】



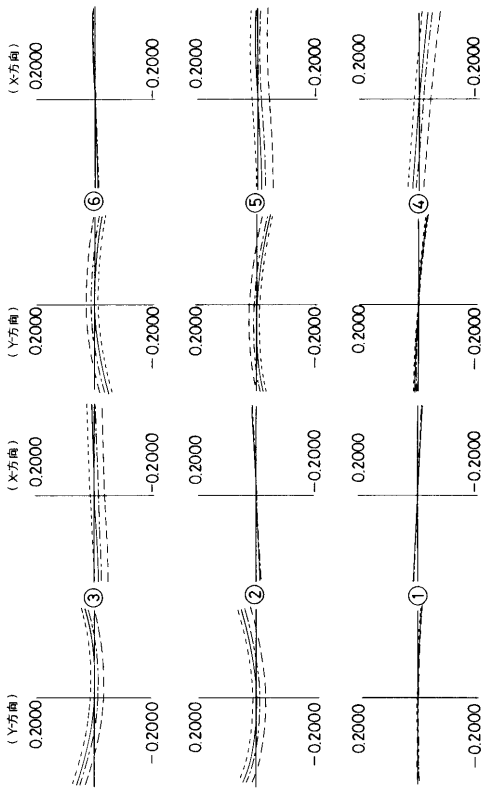
【図８】


(X方向)
(Y方向)
0.2000
-0.2000
①
②
③
④
⑤
⑥
C線
d線
e線
F線

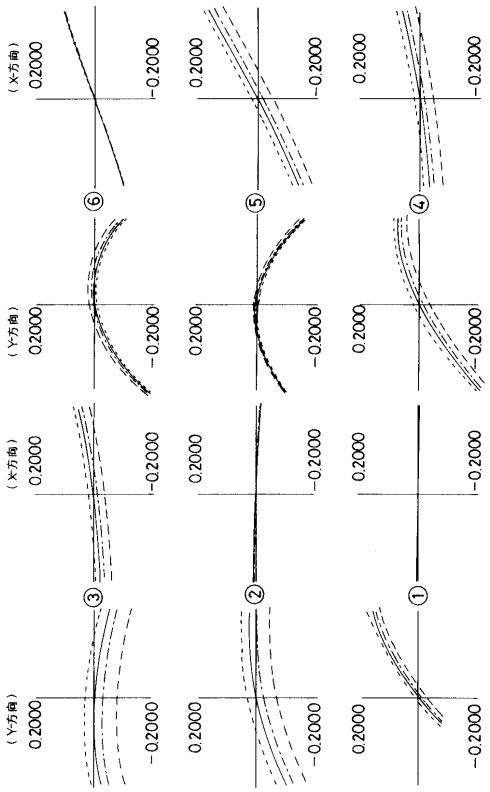
【図９】


(X方向)
(Y方向)
0.2000
-0.2000
①
②
③
④
⑤
⑥

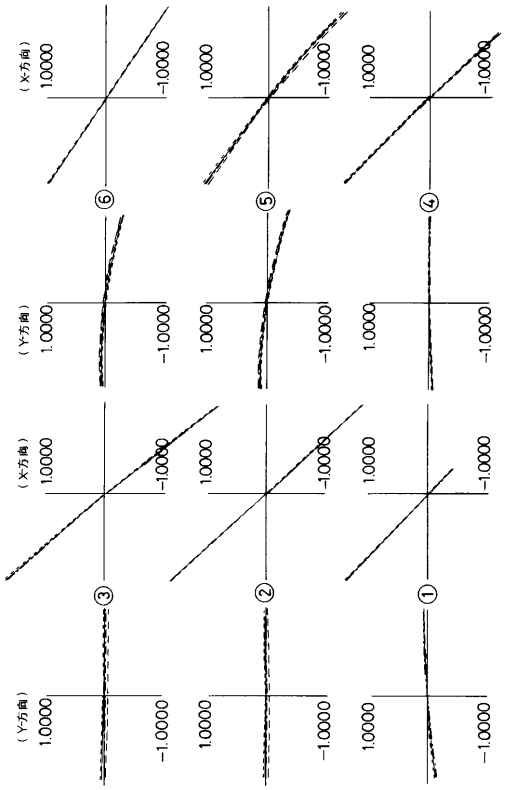
【図１０】


(X方向)
(Y方向)
0.2000
-0.2000
①
②
③
④
⑤
⑥

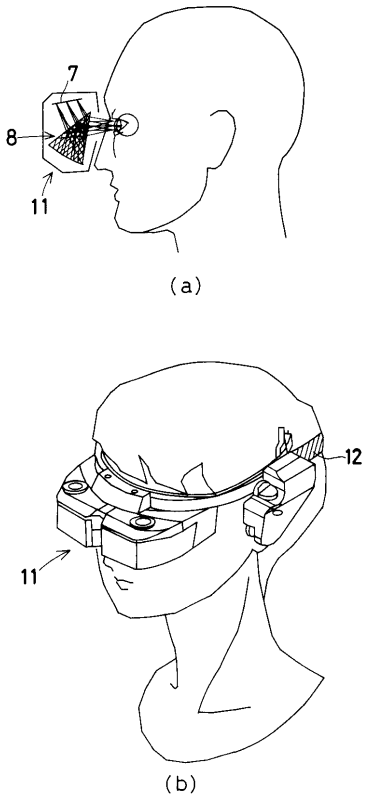
【図１１】


(X方向)
(Y方向)
0.2000
-0.2000
①
②
③
④
⑤
⑥

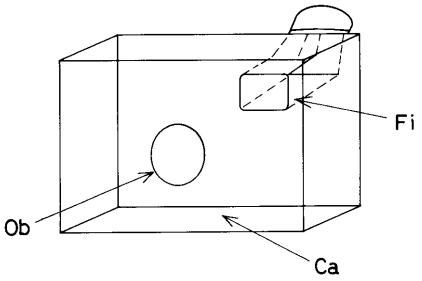
【図１２】



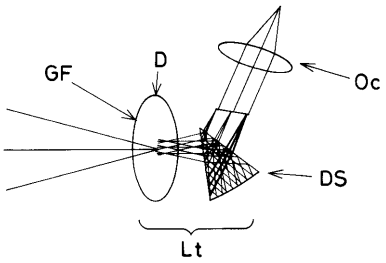
【図１３】



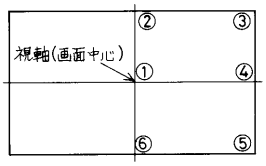
【図１４】



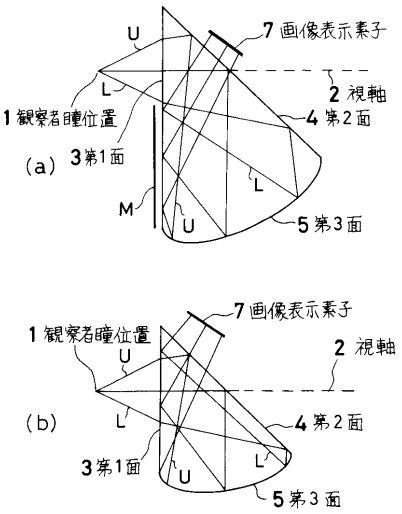
【図１５】



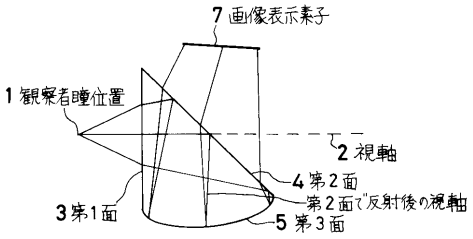
【図１６】



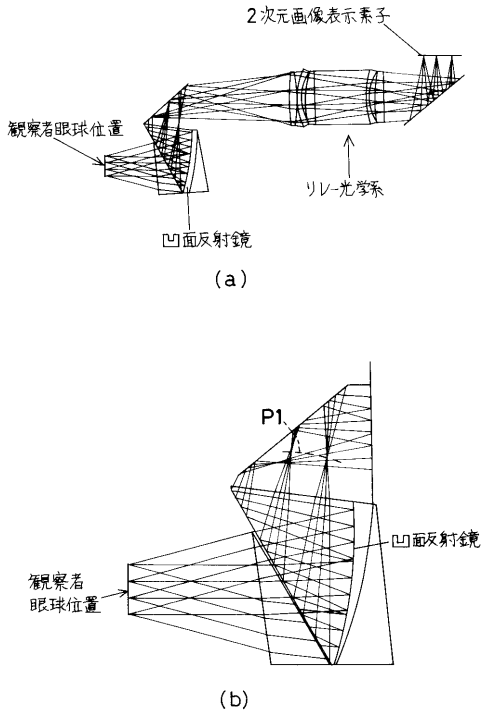
【図１７】



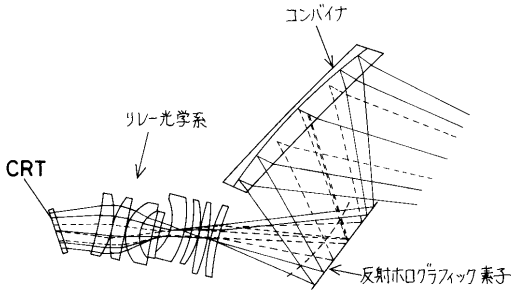
【図１８】



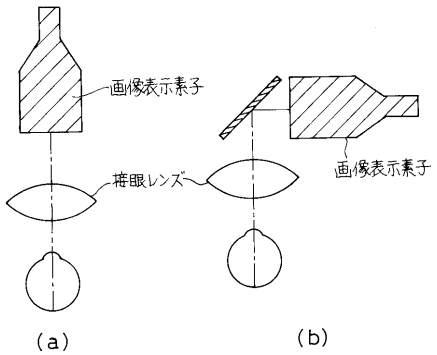
【図１９】



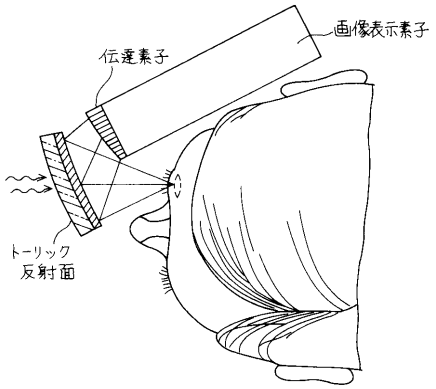
【図２０】



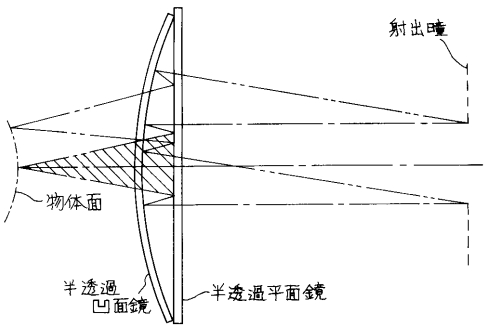
【図２１】



【図２２】



【図２３】



フロントページの続き

(74)代理人 100091971
弁理士 米澤 明
(72)発明者 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 三橋 健二

(56)参考文献 特公昭３７－０１４７９１（ＪＰ，Ｂ１）
特開平０５－３０３０５５（ＪＰ，Ａ）
特公昭４８－０４２１７８（ＪＰ，Ｂ１）
特開平０６－３２６９４６（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２３１７１３（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２６４７０１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１５９８６３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G02B 27/02
G02B 17/08
H04N 5/64