(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3636240号
(P3636240)
(45)発行日　平成17年4月6日(2005.4.6)　(24)登録日　平成17年1月14日(2005.1.14)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G02B 17/00	G02B	17/00	A
G02B 13/18	G02B	13/18	
G02B 27/02	G02B	27/02	Z
H04N 5/64	H04N	5/64	511A

請求項の数 18　(全 39 頁)

(21)出願番号　特願平8-68191
(22)出願日　平成8年3月25日(1996.3.25)
(65)公開番号　特開平9-258104
(43)公開日　平成9年10月3日(1997.10.3)
審査請求日　平成14年3月18日(2002.3.18)

(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】光学系

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
表示面から射出した光線を観察者の眼球に導く光学系であって、
光学素子、及び、該光学素子の主光線に対して偏心して配置される回折光学素子を有し、
前記光学素子は、少なくとも１つが曲面で構成された少なくとも３つの隣合って配置された光学面からなり、前記光学素子に入射した光線が、該光学面間で少なくとも２回以上反射すると共に、前記曲面で構成された光学面で、光線を収斂させるように構成され、さらに、前記光学面の内の少なくとも１面は、偏心収差を補正するための非回転対称な非球面形状とされ、
前記回折光学素子は、非球面作用を有する回転対称な形状とされ、
前記回折光学素子の前記光学素子に対する偏心量は、
ディセンタリングｄが、
　－１０＜ｄ＜１０　（ｍｍ）　・・・（６）’
を満たし、
チィルトαが、
　－１０＜α＜２０　（°）　・・・（７）’
を満たすことを特徴とする光学系。
ここで、前記主光線は、表示面の中心から射出し眼球を通過する光線をいう。
【請求項２】

前記回折光学素子は、回折面の回折格子の間隔を半径方向に変化させて構成されたことを特徴とする請求項１記載の光学系。

【請求項３】

前記光学系は、前記少なくとも３つの面で構成される空間が屈折率が１より大きい透明媒質で満たされていることを特徴とする請求項１記載の光学系。

【請求項４】

映像を表示する表示面を有する映像表示素子を有し、

前記映像表示素子を射出した光線が、前記表示面に対向して配置された前記光学素子の第１透過面から入射して光学系の内部に入射し、第１反射面で反射され、第２反射面で反射され、第２透過面を透過して観察者の眼球に導かれるように配置されていることを特徴とする請求項１記載の光学系。

【請求項５】

前記光学系は、前記映像表示素子に表示された映像を途中で結像することなく観察者の眼球に導くように構成されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項６】

前記の少なくとも３つの光学面の中、１つは前記の３つの面の偏心面内の曲率と、それと直交する面内の曲率とが異なることを特徴とする請求項１記載の光学系。

【請求項７】

前記第１反射面と第２透過面が同一場所の同一形状で配置されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項８】

前記第２反射面は、前記表示面の中心から射出し前記眼球を通過する光線を主光線とすると、主光線に対して偏心して配置されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項９】

前記第２反射面が、観察者の眼球側に凹面を向けた凹面鏡で構成されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項１０】

前記光学素子の透過面で発生する収差と、前記回折光学素子で発生する収差の符号が反対であることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項１１】

前記の同一場所の同一形状で配置された第１反射面と第２透過面が、１つの光路では臨界角を越えて入射して反射され、他の光路では臨界角以下の入射角で入射して透過するように配置されていることを特徴とする請求項７記載の光学系。

【請求項１２】

前記回折光学素子が、前記光学素子と観察者眼球の間に配置されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項１３】

前記回折光学素子が、前記光学素子と表示面の間に配置されていることを特徴とする請求項４記載の光学系。

【請求項１４】

前記回折光学素子を前記光学素子と観察者眼球の間に配置する場合、前記回折光学素子の焦点距離をｆとするとき、

$$-0.1 < 1/f < 0.1 \quad (mm^{-1}) \qquad \cdots (1)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項１２記載の光学系。

【請求項１５】

前記回折光学素子を前記光学素子と表示面の間に配置する場合、前記回折光学系の焦点距離をｆとするとき、

$$-0.05 < 1/f < 0.05 \quad (mm^{-1}) \qquad \cdots (3)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項１３記載の光学系。

【請求項１６】

請求項１記載の光学系と、前記光学系の瞳位置に観察者眼球が配置されるように位置決めをする位置決め手段とを有して構成されたことを特徴とする映像表示装置。

【請求項１７】

前記位置決め手段は、前記光学系を観察者頭部に装着できるようにする位置決め手段であることを特徴とする請求項１６記載の映像表示装置。

【請求項１８】

請求項４、５、７から１５の何れか１項記載の光学系と、前記映像表示素子に代えて映像記録手段を配置し、前記眼球の位置に眼球に代えて絞りを設けたことを特徴とする撮像光学系。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学系に関し、特に、画角が広く解像力の良い小型の結像及び接眼光学系に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

近年、バーチャルリアリティー用あるいは個人的に大画面の映像を楽しむことを目的として、ヘルメット型、ゴーグル型の頭部又は顔面装着式の映像表示装置が開発されている。

【０００３】

例えば、特開平２－２９７５１６号においては、図２１に示すように、映像を表示する２次元表示装置２１、対物視準レンズ２２、両端が軸外し放物面鏡である平行透明プレート２３で構成され、２次元表示装置２１の映像を対物視準レンズ２２で平行光にした後、平行透明プレート２３の平行面での第１の透過、第１の放物面鏡での反射、平行透明プレート内でのいくつかの全反射、第２の放物面鏡での反射、平行面での第２の透過（８回反射、２回透過）により、点Ｆに中間像を結像しつつその中間像を観察者の眼球２４に投影している。

【０００４】

また、米国特許第４，０２６，６４１号においては、図２２に示すように、映像表示素子２５に表示された物体像を伝達光学素子２６で湾曲した物体像に変換し、その物体像をトーリック反射面２７で観察者の眼球に投影している。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

図２１のように、映像表示素子の映像をリレーするタイプの映像表示装置では、光学系の他にリレー光学系が必要になるので、光学系が大型で重量が重く、顔面あるいは頭部からの突出量も大きくなり、頭部又は顔面装着式の映像表示装置として相応しくない。

【０００６】

また、平行光を中間像として結像する光学系も、中間像を眼球に投影する光学系も、パワーを有するのは放物面鏡のみであるので、光学系で発生する収差が非常に大きい。

【０００７】

また、図２２のように、接眼光学系として凹面鏡のみを使用すると、例えば凹面鏡が図２２のようにトーリック面であったとしても、接眼光学系で発生する収差が非常に大きく、画質が落ちる。そこで、接眼光学系で発生する像面湾曲を補正するためにファイバープレートのような伝達光学素子２６を使用する必要がある。しかし、伝達光学素子２６、トーリック反射面２７を使用しても、コマ収差等は十分補正できない。

【０００８】

本発明は以上のような従来技術の問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、中間像を作らない映像表示装置において、コンパクト・軽量で収差が良好に補正された結像光学系、及び、頭部又は顔面装着式映像表示装置用の接眼光学系に適した光学系を提供することである。

【０００９】

【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系は、表示面から射出した光線を観察者の眼球に導く光学系であって、
光学素子、及び、該光学素子の主光線に対して偏心して配置される回折光学素子を有し、
前記光学素子は、少なくとも１つが曲面で構成された少なくとも３つの隣合って配置された光学面からなり、前記光学素子に入射した光線が、該光学面間で少なくとも２回以上反射すると共に、前記曲面で構成された光学面で、光線を収斂させるように構成され、さらに、前記光学面の内の少なくとも１面は、偏心収差を補正するための非回転対称な非球面形状とされ、
前記回折光学素子は、非球面作用を有する回転対称な形状とされ、
前記回折光学素子の前記光学素子に対する偏心量は、
ディセンタリングｄが、
　－１０＜ｄ＜１０　（ｍｍ）　　・・・（６）’
を満たし、
チィルトαが、
　－１０＜α＜２０　（°）　　・・・（７）’
を満たすことを特徴とするものである。
【００１０】
この場合、回折光学素子は、回折面の回折格子の間隔を半径方向に変化させて構成することができる。
また、この少なくとも３つの面で構成される空間が屈折率が１より大きい透明媒質で満たされていることが望ましい。
【００１１】
また、映像を表示する表示面を有する映像表示素子を有し、その映像表示素子を射出した光線が、表示面に対向して配置されたその光学素子の第１透過面から入射して光学系の内部に入射し、第１反射面で反射され、第２反射面で反射され、第２透過面を透過して観察者の眼球に導かれるように配置されているように構成することができる。
【００１２】
以下に、本発明の光学系を映像表示装置として使用した場合について、その作用の説明をする。結像光学系に利用した場合も、同様の作用となる。
【００１３】
本発明は、光学系を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。
光学系を薄くすることは、映像表示装置の厚さを薄くするために重要である。映像表示装置を薄くすると、重心が観察者頭部中心に近くなるために、同じ重量でも慣性モーメントを少なくすることができる。つまり、観察者が頭を動かしたときの追従性が飛躍的に良くなる。
【００１４】
そのために、本発明では、映像表示素子の映像をリレー光学系を利用しないで直接観察者眼球に投影する構成にした。
次に、光学系を薄く構成するために、光学系の中を光線が往復するように構成して、光路を折り畳むことによって光学系を薄くすることに成功したものである。
【００１５】
さらに、単に光学系を折り畳むだけでは、広い観察画角を確保することができないため、少なくとも１つの反射面を光学系瞳位置側に凹面を向けた曲面で構成し、その曲面で光線を反射すると共に光線を収斂させると同時に、光学系内を繰り返し反射する構成にすることが重要である。
【００１６】
本発明の要点は、上記構成の光学系の残存する収差を更に良好に補正するために、回折光

学素子を利用する点にある。回折光学素子は、薄い基板に回折作用を起こす回折面を形成することによって光線を屈折させることができる。このことは、小型で軽量の光学系を作る上で非常に重要になる。ガラスの屈折光学素子つまり通常のガラスレンズでは、その重量が非常に重くなってしまうが、回折光学素子は、薄く軽い基板に形成することができる。また、高度な製作技術を必要とする非球面作用も、回折面の回折格子の間隔を半径方向に変化させることによって回折光学素子に簡単に持たせることができる。

【００１７】

さらに、偏心して配置された光学素子で発生するコマ収差、非点収差を補正するために、回折光学素子もこの偏心して配置された光学素子の偏心面と同一面内で偏心させることが重要になる。この回折光学素子の偏心により、上記のコマ収差と非点収差を更に良好に補正することが可能となる。

【００１８】

さらに、好ましくは、少なくとも３つある光学面の中、少なくとも２つが絞り（眼球）側に凹面を向けて配置されていることが重要である。これは、絞りから入射した光線（映像表示装置に用いる場合は、逆追跡の光線）に対し、絞り側に凹面を向けた１つの凹面鏡と絞り側に凹面を向けたもう１つの凸面鏡の２つの反射面で光学系を構成することによって、凹面鏡が持つ像面湾曲の収差を補正することが可能となるからである。なお、この構成は、偏心して配置された光学系では、従来の光軸に対して回転対称な光学系の範疇を越え、光学系が偏心している偏心面内と、絞りと直交しかつ偏心面と直交する面内との２つの方向において考慮する必要がある。この２つの方向において、残存収差の大きい方向、又は、収差補正を重要視する方向に対して、上記の正と負、つまり、凹面と凸面の配置にすることが重要となる。

【００１９】

更に好ましくは、少なくとも３つの隣合って配置される光学面としては、３つの異なるパワーを有する反射面が３面以上あることが、パワーが分散でき、同じパワーを得る場合にはより少ない収差で投影することが可能となる。なお、光学面とは、光軸を介する面とする。

【００２０】

また、上記の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、反射面を裏面鏡で構成することが可能となり、コマ収差と球面収差の発生を抑えることができる。このことは、瞳からの逆追跡の光線が第２透過面を透過後、屈折収斂することにより、同じ観察画角を確保する場合に、表面鏡の光学系に比べて光学系内での光線の広がりを抑えることができ、反射面で発生する収差を少なくすることが可能となると同時に、光線のケラレを生ずることがなく、光学系を小型にすることが可能となるためである。

【００２１】

また、映像表示素子を出た光線は、第１透過面を透過し、少なくとも３つの面で構成され、屈折率が１より大きい透明媒質内に入射し、第１反射面と第２反射面の間で２回反射され、光路が折り畳まれ、絞りと第２反射面の間にある第２透過面を透過し、透明媒質から射出し、絞りを通過する。この構成により、第１反射面と第２反射面を裏面鏡として構成することが可能となる。すると、凹面鏡と凸面鏡を適切な間隔で適切に配置することが可能となり、凹面鏡と凸面鏡の反射面でそれぞれ発生する像面湾曲、球面収差等の発生収差がお互いに打ち消し合い、良好な収差状態を維持することが可能となる。

【００２２】

また、映像表示素子に表示された映像を途中で結像することなく観察者の眼球に導くように構成することが望ましい。像面に映像表示素子を配置し、絞り位置に観察者瞳を配置し、光学系の各パラメータを適切に選ぶことにより、小型で軽量の広画角な映像表示装置を提供することが可能となる。

【００２３】

少なくとも３つの光学面の中、１つは３つの面の偏心面内の曲率と、それと直交する面内

の曲率とが異なるようにすることにより、偏心した凹面鏡により発生する非点収差を補正することが可能となる。

【００２４】

また、縦と横の２方向の画角が異なる場合には、収差の補正も画角の少ない方向と画角の広い方向で異なってくる。また、偏心方向と偏心していない方向では、偏心による収差の発生が異なり、それぞれの組合せによって２つの面内の収差補正の目標が異なるため、何れか任意の光学面において異なる曲率に構成することが重要となる。この任意の光学面はその光学系の使用状況により異なり、変化するものである。

【００２５】

さらに、偏心面内の曲率とそれと直交する面内の曲率を変えることによって、回折光学素子の収差補正の負担が減り、回折光学素子を回転対称に製作しても、良好な収差補正が可能となる。

【００２６】

また、第１反射面と第２透過面が同一位置で同一形状で配置されていると、光学系を製作する上で加工する面形状が少なくなり、製作が簡単になる。また、第１反射面と第２透過面の有効領域が重なっていても、光線はそれぞれ反射と透過をすることができ、広い画角を確保することが可能となる。

【００２７】

また、第２反射面は、表示面の中心から射出し眼球を通過する光線を主光線とすると、主光線に対して偏心して配置されていることが望ましい。第２反射面が主光線に対して傾いて配置されていると、像面（表示面）を絞り（眼球の瞳位置）の側方に配置することが可能となり、絞りから光軸方向への突出量を減らすことが可能となる。

【００２８】

また、第２反射面が絞り側に凹面を向けて配置され、更に好ましくは、裏面鏡で構成すると、第２反射面は光学系の中でも比較的パワーを持つ反射面になり、また、コマ収差の発生が少なくてすみ、他の面で補正する負担が少なくてすみ、良い結果を得ることができる。

【００２９】

ところで、回折光学素子の特性については、本出願人による特開平４－２１４５１６号に説明されているように、負の非常に強い分散を持つ（アッベ数－３．４５）。このため、色収差補正を行うには、弱いパワーの回折光学素子でも強力な色収差補正能力を持つことが可能となる。上記の光学系の主な屈折力を持つ面を反射鏡で構成すると、色収差については全く発生せずに光線を屈折させることが可能となる。しかし、第１透過面と第２透過面を透過するときに発生する色収差は、反射面では補正できずに残ってしまう。この色収差を補正するためには、回折光学素子で第１透過面と第２透過面で発生する色収差を補正する色収差を発生させることによって、光学系全体しとて色収差が良好に補正された像を得ることが可能となる。

【００３０】

また、同一場所の同一形状で配置された第１反射面と第２透過面を反射面として作用させる場合は、臨界角を越えて光線が入射するように面を配置し、透過面として作用させる場合は、臨界角以下で光線が入射するように面を配置する。これにより、光量の損失を少なくすることが可能となり、明るい光学系を得ることが可能となる。

【００３１】

また、回折光学素子を光学系と絞り（観察者眼球の瞳位置）の間に配置すると、回折光学素子の焦点距離を長くすることが可能となり、回折格子の間隔が広くて製作性の良い回折光学素子によって収差補正が可能となる。

【００３２】

また、回折光学素子を光学系と像面（表示面）の間に配置すると、回折光学素子の有効面積が少なくてすみ、小型の回折光学素子で収差補正が可能となる。

【００３３】

また、回折光学素子の焦点距離をｆとするとき、
－０．１＜１／ｆ＜０．１　（mm^{-1}）　・・・（１）
なる条件を満足することが望ましい。この条件式は、回折光学素子の焦点距離を規定したものであり、その下限の－０．１を越えると、回折光学素子で発生する収差が他の光学系で発生する収差に比べて補正不足になり、良好な収差補正ができなくなる。また、上限の０．１を越えると、回折光学素子で発生する収差が逆に大きくなりすぎ、他の光学系で発生する収差に対して補正過剰になってしまう。

【００３４】

回折光学素子を光学素子と観察者眼球の間に配置する場合、
－０．１＜１／ｆ＜０．１　（mm^{-1}）　・・・（２）
なる条件を満足することが望ましい。これは、回折光学素子を光学素子と絞りの間に配置する場合の条件式である。この条件は、上記条件式と同様に回折光学素子の焦点距離を規定したものである。この条件式を満足することにより、回折光学素子で発生する収差が他の光学系で発生する収差と丁度打ち消し合い、良好な収差補正が可能となる。上限と下限は、上記条件式（１）の説明と同様である。
更に好ましくは、
－０．０５＜１／ｆ＜０．０５　（mm^{-1}）　・・・（２）’
なる条件を満足すると、収差補正上より好ましい。

【００３５】

また、回折光学素子を光学素子と表示面の間に配置する場合、
－０．０５＜１／ｆ＜０．０５　（mm^{-1}）　・・・（３）
なる条件を満足することが望ましい。これは、回折光学素子を光学素子と像面の間に配置する場合の条件式である。この条件式は、上記条件式と同様に回折光学素子の焦点距離を規定したものである。この条件式を満足することにより、回折光学素子で発生する収差が他の光学系で発生する収差と丁度打ち消し合い、良好な収差補正が可能となる。上限と下限は、上記条件式（１）の説明と同様である。

【００３６】

以上の光学系の像面に映像表示素子を配置し、瞳位置に観察者眼球を配置するようにする位置決め手段を設けると、小型の映像表示装置を構成することが可能となる。

【００３７】

さらに、その位置決め手段が光学系を観察者頭部に装着できるようにする位置決め手段であると、観察者は自由な観察姿勢や観察方向で映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、頭部に映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小型の頭部装着式映像表示装置を構成することが可能となる。

【００３８】

また、光学系の映像表示素子に代えて映像記録手段を配置し、眼球の位置に眼球に代えて絞りを設けると、小型の撮像光学系を提供することが可能となり、無限遠の物体を結像させるように構成することで、図１９、図２０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。

【００３９】

さらに、第１反射面と第２反射面を瞳側に凹面を向けた凸面鏡と凹面鏡にすることにより、コマ収差、像面湾曲等の収差補正に更に良い結果を得ることができる。

【００４０】

更に好ましくは、光学系を１つの光学素子で構成し、回折光学素子と組み合わせることにより、光学系全体を簡単な構成に製作することが可能となる。

【００４１】

更に好ましくは、物点の中心を出て瞳中心に到達する光線を主光線とするとき、第１反射面に入射する主光線と射出する主光線とがなす角度をθ_1とするとき、
７０°＜θ_1＜１６０°　・・・（４）

なる条件を満足することが重要である。

【００４２】

この条件式は、光学系の縦方向の大きさを決める条件式であり、下限の７０°を越えると、光学系の第１透過面と第２反射面が干渉し、広い観察画角をとることができない。また、上限の１６０°を越えると、光学系が縦に長くなり、小型化することが難しくなる。

【００４３】

更に好ましくは、

$８０° < \theta_1 < １４０°$ ・・・（４）’

なる条件を満足することが好ましい。

【００４４】

更に好ましくは、物点の中心を出て瞳中心に到達する光線を主光線とするとき、第２反射面に入射する主光線と射出する主光線とがなす角度をθ_2とするとき、

$３０° < \theta_2 < １２０°$ ・・・（５）

なる条件を満足することが重要である。

【００４５】

この条件式は、光学系の縦方向の大きさを決める条件式であり、下限の３０°を越えると、光学系の第１透過面と第２反射面が干渉し、広い観察画角をとることができない。また、上限の１２０°を越えると、光学系が縦に長くなり、小型化することが難しくなる。

【００４６】

更に好ましくは、

$３５° < \theta_2 < ７０°$ ・・・（５）’

なる条件を満足することが好ましい。

【００４７】

また、回折光学素子を回転対称に製作する場合には、回折光学素子を主光線に対して偏心して配置することが好ましい。この場合の回折光学素子の偏心量は、ディセンタリングをｄ、チィルトをαとすると、

$－５０ < d < ５０$ （ｍｍ） ・・・（６）

$－５０ < \alpha < ５０$ （°） ・・・（７）

なる条件を満足することが好ましい。

【００４８】

これらの上限と下限を越えると、回折光学素子の偏心量が大きくなり、光学系で発生する偏心により発生するコマ収差と非点収差に対して、回折光学素子で補正するバランスが崩れ、良好な収差補正を達成することができなくなる。

【００４９】

更に好ましくは、

$－１０ < d < １０$ （ｍｍ） ・・・（６）’

$－１０ < \alpha < ２０$ （°） ・・・（７）’

なる条件を満足することにより、より良好な収差補正が可能となる。

【００５０】

また、絞りの中心を通過して像面の中心に到達する主光線と、主光線の近傍ｈの高さで絞りを通過した光線に注目する。主光線が像面と交差するときの角度をu_1、主光線近傍ｈの高さで絞りを通過した光線が像面と交差する角度をu_2とすると、

$f = h / \sin(\tan^{-1}u_1 - \tan^{-1}u_2)$

によって、主光線近傍の光学系全体の焦点距離を求めることができる。

【００５１】

（光学系全体の焦点距離ｆ）／（回折光学素子の焦点距離ｆ）の値をＦとするとき、

$－２ < F < ２$ ・・・（８）

なる条件を満足することが好ましい。

【００５２】

この条件も、光学系全体と回折光学素子の収差補正のバランスを決める条件であり、この

上限と下限を越えると、回折光学素子の収差補正量が大きくなり、光学系で発生する像面湾曲と色収差に対し回折光学素子で補正する収差のバランスが崩れ、良好な収差補正を達成することができなくなる。

【００５３】

更に好ましくは、

－１＜Ｆ＜１　　・・・（８）’

なる条件を満足することが好ましい。

【００５４】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の光学系を映像表示装置に構成した場合のいくつかの数値実施例について、図面を参照して説明する。

これら各数値実施例は、瞳位置から映像表示素子に向けた逆追跡によるものである。そして、物体位置は、瞳から－１ｍにある虚像位置から行っている。

【００５５】

実施例１～７について、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、光学系の射出瞳位置（観察者瞳位置）１から映像表示素子６の表示面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、光学系の射出瞳１の中心を原点とし、観察者の視軸２をＺ軸とする。なお、Ｚ軸の符号は、瞳１の中心から遠ざかる方向を正としている。また、図の平面内に、図の上方を正としてＺ軸とは垂直にＹ軸をとり、さらに、Ｚ軸、Ｙ軸と直交するように、すなわち、図に垂直にＸ軸をとるものとする。なお、Ｘ軸の方向は図の表から裏への方向を正とする。

【００５６】

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。また、回折光学素子基板面から回折面に到る３面は同軸であるので、回折光学素子基板面の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軸からの傾き角のみが示され、他の面については、面間隔によって各面の配置が示されている。

【００５７】

なお、回折光学素子に関しては、例えば「光学系デザイナーのための小型光学エレメント」第６、７章（オプトロニクス社刊）や「ＳＰＩＥ」第１２６巻、ｐ．４６～５３（１９７７）等に記載されており、可視域でのアッベ数ν＝－３．４５３、部分分散比$\theta_{g,F}$＝０．０３であり、その回折格子の間隔を自由に変えることが可能なため、任意の非球面レンズ面と等価に扱える。以下では、「ＳＰＩＥ」第１２６巻、ｐ．４６～５３（１９７７）に記載されている「ｕｌｔｒａ－ｈｉｇｈ　ｉｎｄｅｘ　ｍｅｔｈｏｄ」を用いている。

【００５８】

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、ＣＲ、ＤＲはそれぞれＺ軸に対して回転対称な４次、６次、８次、１０次の非球面係数、ＡＰ、ＢＰ、ＣＰ、ＤＰはそれぞれＺ軸に対して回転非対称な４次、６次、８次、１０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。

【００５９】

$$Z = [(X^2/R_X)+(Y^2/R_Y)] / [1+\{1-(1+K_X)(X^2/R_X^2) -(1+K_Y)(Y^2/R_Y^2)\}^{1/2}] +AR[(1-AP)X^2+(1+AP)Y^2]^2 +BR[(1-BP)X^2+(1+BP)Y^2]^3 +CR[(1-CP)X^2+(1+CP)Y^2]^4 +DR[(1-DP)X^2+(1+DP)Y^2]^5$$

また、各面において、回転対称な非球面形状は、その面を規定する座標上で、Ｒは近軸曲率半径、Ｋは円錐係数、Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄはそれぞれ４次、６次、８次、１０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。

$Z = (h^2/R) / [1+\{1-(1+K)(h^2/R^2)\}^{1/2}] + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10}$

なお、面形状を表す上記各式の座標系は、各面の面頂を原点とし、各面の中心軸をＺ軸とした座標系である。

【００６０】

また、後記する構成パラメータ中において値の記載されていないパラメータの値はゼロである。面と面の間の媒質の屈折率はｄ線（波長５８７．５６ｎｍ）の屈折率で表す。なお、長さの単位はｍｍである。

なお、実際の装置においては、光学系によって反射する方向は、観察者の上方でも横方向でもどちらでも構わないことは言うまでもない。

また、本発明の光学系を遠方にある部点を結像する結像光学系として利用できることは、言うまでもない。

【００６１】

図１～７にそれぞれ実施例１～７の単眼用の映像表示装置の断面図を示す。

【００６２】

それぞれの断面図において、図中、１は観察者瞳位置（射出瞳位置）、２は観察者視軸、３は光学素子の第１面、４は光学素子の第２面、５は光学素子の第３面、６は映像表示素子、７は光学素子、８は回折光学素子である。

【００６３】

各実施例における実際の光線経路は、実施例１、２、４、７においては、映像表示素子６から発した光線束は、回折光学素子８を経て、光学素子７の第３面５で屈折して光学素子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。これら実施例において、第１透過面は第３面５、第１反射面は第１面３、第２反射面は第２面４、第２透過面は第１面３であり、第１反射面と第２透過面が同一場所、同一形状である。

【００６４】

実施例３、６においては、映像表示素子６から発した光線束は、光学素子７の第３面５で屈折して光学素子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光学素子７から射出し、回折光学素子８を経て、観察者の瞳の虹彩位置又は眼球の回旋中心を射出瞳１として観察者の眼球内に投影される。これら実施例において、第１透過面は第３面５、第１反射面は第１面３、第２反射面は第２面４、第２透過面は第１面３であり、第１反射面と第２透過面が同一場所、同一形状である。

【００６５】

実施例５においては、映像表示素子６から発した光線束は、回折光学素子８を経て、光学素子７の第３面５で屈折して光学素子７に入射し、第１面３で内部反射し、再び第３面５に入射して今度は内部反射し、第１面３で内部反射し、第２面４で反射されて、三たび第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。この実施例において、第１透過面は第３面５、第１反射

面は第１面３、第２反射面は第３面５、第３反射面は第１面３、第４反射面は第２面４、第２透過面は第１面３であり、第１透過面と第２反射面が同一場所、同一形状であり、第１反射面と第３反射面と第２透過面が同一場所、同一形状である。

【００６６】

各実施例の画角、瞳径は次の通りである。

実施例１は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

実施例２は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

実施例３は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

実施例４は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

実施例５は、水平画角３０度、垂直画角２２．５度、瞳径４ｍｍである。

実施例６は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

実施例７は、水平画角４０度、垂直画角３０度、瞳径４ｍｍである。

【００６７】

以下に、上記実施例１～７の構成パラメータの値を示す。

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)						
2	R_y	-71.17939				1.4922		57.50
	R_X	-64.5987			Y	43.462	θ	21.63°
	K_y	0			Z	24.298		
	K_X	0						
	AR	0.189094	$\times10^{-5}$					
	BR	0.502157	$\times10^{-15}$					
	CR	-0.279487	$\times10^{-13}$					
	DR	-0.109879	$\times10^{-15}$					
	AP	-0.164076						
	BP	53.350587						
	CP	0.031156						
	DP	-0.572366						
3	R_y	-77.512310				1.4922		57.50
	R_X	-59.71490			Y	14.711	θ	-10.29°
	K_y	0			Z	46.484		
	K_X	0						
	AR	-0.869330	$\times10^{-12}$					
	BR	0.233397	$\times10^{-10}$					
	CR	-0.939132	$\times10^{-13}$					
	DR	-0.269891	$\times10^{-15}$					
	AP	-341.628501						
	BP	1.998719						
	CP	0.538375						
	DP	-0.017896						
4	R_y	-71.17939				1.4922		57.50

	R_X	-64.5987		Y	43.462	θ	21.63°
	K_y	0		Z	24.298		
	K_X	0					
	AR	0.189094 $\times 10^{-5}$					
	BR	0.502157 $\times 10^{-15}$					
	CR	-0.279487 $\times 10^{-13}$					
	DR	-0.109879 $\times 10^{-15}$					
	AP	-0.164076					
	BP	53.350587					
	CP	0.031156					
	DP	-0.572366					
5	R_y	-52.225998		Y	29.105	θ	78.19°
	R_X	-39.65538		Z	21.624		
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	0.290484 $\times 10^{-4}$					
	BR	-0.875623 $\times 10^{-7}$					
	CR	0.144496 $\times 10^{-9}$					
	DR	-0.779302 $\times 10^{-13}$					
	AP	-0.787876					
	BP	-0.424320					
	CP	-0.261606					
	DP	-0.191974					
6		∞ (回折格子基板面)	.		1.5163		64.10
				Y	23.095	θ	49.79°
				Z	39.274		
7		∞	0.000		1001		-3.45
8		-244948.903275 (回折面)					
	K	0					

	A	-0.590641×10^{-8}			
	B	0.524567×10^{-10}			
	C	0.914818×10^{-13}			
	D	$-0.907250 \times 10^{-15}$			
9		∞（表示面）	Y	27.171	θ 39.16°
			Z	43.254	

。

【００６８】

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)						
2	R_y	-79.38031				1.4922		57.50
	R_x	-80.18493			Y	41.448	θ	21.53°
	K_y	0			Z	23.485		
	K_x	0						
	AR	0.146956	$\times10^{-5}$					
	BR	0.549579	$\times10^{-15}$					
	CR	-0.258466	$\times10^{-13}$					
	DR	-0.732260	$\times10^{-15}$					
	AP	-0.147439						
	BP	55.826649						
	CP	0.012500						
	DP	-0.775575						
3	R_y	-80.70890				1.4922		57.50
	R_x	-61.92076			Y	10.566	θ	-12.08°
	K_y	0			Z	45.313		
	K_x	0						
	AR	0.37995	$\times10^{-11}$					
	BR	0.587113	$\times10^{-10}$					
	CR	-0.577526	$\times10^{-13}$					
	DR	-0.107906	$\times10^{-14}$					
	AP	-151.584065						
	BP	1.826841						
	CP	0.952204						
	DP	-0.242091						
4	R_y	-79.38031				1.4922		57.50

	R_X	-80.18493		Y	41.448	θ	21.53°
	K_y	0		Z	23.485		
	K_X	0					
	AR	0.146956	$\times 10^{-5}$				
	BR	0.549579	$\times 10^{-15}$				
	CR	-0.258466	$\times 10^{-13}$				
	DR	-0.732260	$\times 10^{-15}$				
	AP	-0.147439					
	BP	55.826649					
	CP	0.012500					
	DP	-0.775575					
5	R_y	-42.27641		Y	27.378	θ	86.34°
	R_X	-89.13397		Z	21.361		
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	0.362749	$\times 10^{-7}$				
	BR	-0.123433	$\times 10^{-7}$				
	CR	0					
	DR	0					
	AP	-14.544698					
	BP	0.088670					
	CP	0					
	DP	0					
6		∞ (回折格子基板面)	0.250		1.5163		64.10
				Y	27.521	θ	44.04°
				Z	35.248		
7		∞	0.000		1001		-3.45
8		-259967.754835 (回折面)					
	K	0					

	A	0.295513×10^{-7}			
	B	$-0.270162 \times 10^{-10}$			
	C	0.223860×10^{-12}			
	D	$-0.328751 \times 10^{-15}$			
9		∞（表示面）	Y 26.947	θ 38.98°	
			Z 42.638		。

【００６９】

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)						
2		∞ (回折格子基板面)		0.280		1.5163		64.10
					Y	4.361	θ	6.46°
					Z	30.506		
3		∞		0.000		1001		-3.45
4		-1210471.75072 (回折面)						
	K	0						
	A	0.681966	$\times 10^{-9}$					
	B	-0.294141	$\times 10^{-11}$					
	C	0.635773	$\times 10^{-14}$					
	D	-0.316842	$\times 10^{-17}$					
5	R_y	-91.85932				1.4922		57.50
	R_X	-85.77710			Y	42.786	θ	25.01°
	K_y	0			Z	21.186		
	K_X	0						
	AR	0.150944	$\times 10^{-5}$					
	BR	0.581341	$\times 10^{-15}$					
	CR	-0.309854	$\times 10^{-13}$					
	DR	-0.622017	$\times 10^{-15}$					
	AP	-0.238195						
	BP	55.180495						
	CP	0.096230						
	DP	-0.784416						
6	R_y	-80.263766				1.4922		57.50
	R_X	-65.58356			Y	12.859	θ	-8.05°
	K_y	0			Z	46.986		

	K_X	0					
	AR	-0.320509×10^{-8}					
	BR	0.441212×10^{-10}					
	CR	$-0.320183 \times 10^{-12}$					
	DR	$-0.790570 \times 10^{-15}$					
	AP	-0.748250					
	BP	1.67572					
	CP	0.472263					
	DP	-0.340182					
7	R_y	-91.85932			1.4922		57.50
	R_X	-85.77710		Y	42.786	θ	25.01°
	K_y	0		Z	21.186		
	K_X	0					
	AR	0.150944×10^{-5}					
	BR	0.581341×10^{-15}					
	CR	$-0.309854 \times 10^{-13}$					
	DR	$-0.622017 \times 10^{-15}$					
	AP	-0.238195					
	BP	55.180495					
	CP	0.096230					
	DP	-0.784416					
8	R_y	-60.476554		Y	28.128	θ	81.46°
	R_X	-34.92352		Z	20.175		
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	0.445485×10^{-4}					
	BR	-0.169231×10^{-6}					
	CR	0.331085×10^{-9}					
	DR	$-0.217700 \times 10^{-12}$					

	ＡＰ	-0.785547			
	ＢＰ	-0.518386			
	ＣＰ	-0.402954			
	ＤＰ	-0.355235			
9	∞（表示面）		Y	27.946	θ 47.35°
			Z	40.648	。

【００７０】

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)					
2	R_y	-63.687638			1.4922		57.50
	R_X	-52.93087		Y	42.650	θ	21.79°
	K_y	0		Z	25.411		
	K_X	0					
	AR	0.237756×10^{-5}					
	BR	0.497821×10^{-15}					
	CR	$-0.279870 \times 10^{-13}$					
	DR	$-0.880162 \times 10^{-16}$					
	AP	-0.194847					
	BP	54.229862					
	CP	-0.082177					
	DP	-0.563852					
3	R_y	-74.468047			1.4922		57.50
	R_X	-56.85709		Y	12.514	θ	-12.67°
	K_y	0		Z	46.582		
	K_X	0					
	AR	$-0.175162 \times 10^{-12}$					
	BR	0.101402×10^{-10}					
	CR	$-0.133271 \times 10^{-12}$					
	DR	$-0.313264 \times 10^{-15}$					
	AP	-102.638843					
	BP	2.769603					
	CP	0.488057					
	DP	-0.048522					
4	R_y	-63.687638			1.4922		57.50

	R_X	-52.93087		Y	42.650	θ	21.79°
	K_y	0		Z	25.411		
	K_X	0					
	AR	0.237756	$\times 10^{-5}$				
	BR	0.497821	$\times 10^{-15}$				
	CR	-0.279870	$\times 10^{-13}$				
	DR	-0.880162	$\times 10^{-16}$				
	AP	-0.194847					
	BP	54.229862					
	CP	-0.082177					
	DP	-0.563852					
5	R_y	-32.35945		Y	28.650	θ	71.97°
	R_X	-28.57891		Z	28.100		
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	0.180717	$\times 10^{-4}$				
	BR	-0.215221	$\times 10^{-7}$				
	CR	0.107474	$\times 10^{-9}$				
	DR	-0.117215	$\times 10^{-12}$				
	AP	-1.132480					
	BP	-0.971905					
	CP	0.000688					
	DP	0.051621					
6		∞ (回折格子基板面)	0.250		1.5163		64.10
				Y	23.040	θ	47.79°
				Z	40.285		
7		∞	0.000		1001		-3.45
8	-464779	(回折面)					
	K	0					
	A	-0.796488	$\times 10^{-8}$				
	B	0.233311	$\times 10^{-10}$				
9		∞ (表示面)		Y	27.154	θ	37.36°
				Z	43.842		

。

【００７１】

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)						
2	R_y	-292.331787				1.5163		64.10
	R_X	-64.47050			Y	33.943	θ	7.70°
	K_y	0			Z	27.360		
	K_X	0						
	AR	0.401020	$\times10^{-6}$					
	AP	-0.693944						
3	R_y	-1501.496515				1.5163		64.10
	R_X	-102.59918			Y	94.211	θ	-10.16°
	K_y	0			Z	64.769		
	K_X	0						
	AR	-0.870453	$\times10^{-7}$					
	AP	-0.042140						
4	R_y	-292.331787				1.5163		64.10
	R_X	-64.47050			Y	33.943	θ	7.70°
	K_y	0			Z	27.360		
	K_X	0						
	AR	0.401020	$\times10^{-6}$					
	AP	-0.693944						
5	R_y	-119.796883				1.5163		64.10
	R_X	-49.36833			Y	63.187	θ	38.77°
	K_y	0			Z	19.430		
	K_X	0						
	AR	0.946153	$\times10^{-6}$					
	AP	-0.548848						
6	R_y	-292.331787				1.5163		64.10

	R_X	-64.47050		Y	33.943	θ 7.70°
	K_y	0		Z	27.360	
	K_X	0				
	AR	0.401020×10^{-6}				
	AP	-0.693944				
7	R_y	-119.796883		Y	63.187	θ 38.77°
	R_X	-49.36833		Z	19.430	
	K_y	0				
	K_X	0				
	AR	0.946153×10^{-6}				
	AP	-0.548848				
8		∞（回折格子基板面）	1.000		1.5163	64.10
				Y	40.627	θ 30.59°
				Z	35.332	
9		∞	0.000		1001	-3.45
10		-43047.588167 （回折面）				
	K	0				
	A	0.436299×10^{-8}				
11		∞（表示面）		Y	47.9	θ 27.12°
				Z	40	

。

【００７２】

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)						
2		∞ (回折格子基板面)		0.300		1.5163		64.10
					Y	0.528	θ	3.52°
					Z	30.968		
3		∞		0.000		1001		-3.45
4		-1014751.75463	(回折面)					
	K	0						
	A	0.787268	$\times 10^{-9}$					
	B	0.182929	$\times 10^{-11}$					
	C	-0.131126	$\times 10^{-13}$					
	D	0.130609	$\times 10^{-16}$					
5	R_y	-73.944129				1.4922		57.50
	R_X	-69.91809			Y	46.027	θ	24.71°
	K_y	0			Z	22.895		
	K_X	0						
	AR	0.173092	$\times 10^{-5}$					
	BR	0.394778	$\times 10^{-15}$					
	CR	-0.310330	$\times 10^{-13}$					
	DR	-0.421275	$\times 10^{-16}$					
	AP	-0.180837						
	BP	56.720372						
	CP	-0.033823						
	DP	-0.622396						
6	R_y	-80.26792				1.4922		57.50
	R_X	-62.52811			Y	17.982	θ	-6.91°
	K_y	0			Z	47.566		

	K_X	0					
	AR	$-0.406113 \times 10^{-12}$					
	BR	0.137027×10^{-10}					
	CR	$-0.478711 \times 10^{-13}$					
	DR	$-0.107178 \times 10^{-15}$					
	AP	-640.994824					
	BP	2.330409					
	CP	0.475262					
	DP	0.169588					
7	R_y	-73.944129			1.4922		57.50
	R_X	-69.91809		Y	46.027	θ	24.71°
	K_y	0		Z	22.895		
	K_X	0					
	AR	0.173092×10^{-5}					
	BR	0.394778×10^{-15}					
	CR	$-0.310330 \times 10^{-13}$					
	DR	$-0.421275 \times 10^{-16}$					
	AP	-0.180837					
	BP	56.720372					
	CP	-0.033823					
	DP	-0.622396					
8	R_y	-53.640971		Y	28.627	θ	83.27°
	R_X	-36.56938		Z	20.211		
	K_y	0					
	K_X	0					
	AR	0.313093×10^{-4}					
	BR	-0.981865×10^{-7}					
	CR	0.153577×10^{-9}					
	DR	$-0.710929 \times 10^{-13}$					

	AP	-0.887541			
	BP	-0.531847			
	CP	-0.347911			
	DP	-0.245694			
9	∞ (表示面)		Y	27.588	θ 43.23°
			Z	43.381	

。

【００７３】

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）					
2	∞			1.4922		57.50
			Y	0	θ	1.79°
			Z	31		
3	R_y -141.407945			1.4922		57.50
	R_x -126.83786		Y	-5.513	θ	-22.10°
	K_y 0		Z	43.891		
	K_x 0					
	AR 0.514241 $\times 10^{-6}$					
	BR 0.691483 $\times 10^{-10}$					
	CR 0.237472 $\times 10^{-12}$					
	DR -0.978814 $\times 10^{-16}$					
	AP -0.079009					
	BP 0.169964					
	CP -0.300765					
	DP -0.242091					
4	∞			1.4922		57.50
			Y	0	θ	1.79°
			Z	31		
5	-41.519166		Y	23.703	θ	44.32°
			Z	43.596		
6	∞（回折格子基板面）	1.000		1.5163		64.10
			Y	32.575	θ	28.99°
			Z	51.228		
7	∞	0.000		1001		-3.45
8	91082.1383941（回折面）					

	K	0			
	A	-0.201624×10^{-6}			
	B	0.177572×10^{-8}			
	C	$-0.722700 \times 10^{-11}$			
	D	0.108209×10^{-13}			
9		∞（表示面）	Y 50.265	θ 24.87°	
			Z 47.812		。

【００７４】
次に、上記７実施例中、実施例１の横収差図を図８～図１０に示す。これら横収差図において、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。
【００７５】
上記実施例１～７の光学系全体の焦点距離ｆ、回折光学素子の焦点距離ｆ、条件式（４）のθ_1、条件式（５）のθ_2、条件式（６）のｄ、条件式（７）のα、条件式（８）のＦの値は、それぞれ次の通りである。

実施例	光学系全体のｆ	回折光学素子のｆ	θ_1 （°）	θ_2 （°）
1	27.715mm	244.948mm	95.047	44.658
2	27.715mm	259.967mm	93.263	42.891
3	27.286mm	1210.471mm	96.631	40.897
4	28.775mm	464.779mm	94.909	45.589
5	36.201mm	43.047mm	128.768	60.972
6	27.778mm	1014.751mm	96.191	43.475
7	38.531mm	-91.082mm	83.442	40.511

実施例	d （mm）	α （°）	F
1	-0.248	-1.69	0.11315
2	-5.867	3.89	0.10661
3	-4.410	-6.26	0.02254
4	0.026	1.07	0.06191
5	2.933	8.07	0.84096
6	-0.542	-3.49	0.02737
7	-0.037	13.23	-0.42304

【００７６】
以上の実施例では、光学素子を構成する面としてアナモルフィック面を使用したが、トーリック面でも、回転対称な非球面、球面、さらに、以下の式で表現される自由曲面等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_{nm}は任意の係数、ｋ，ｋ’も任意とする。
【００７７】
さらに、面の曲率、パワー等の条件については、視軸上を進み映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から得られるある任意のある領域内の曲率により求めることもできる。
さらに、各実施例の光学系を２組配置することによって、観察者両眼に映像を投影できるようにすることが可能である。
【００７８】
なお、上記実施例１～４、６、７は何れも図１１に示した光学素子７を基本に用いている

が、図１２～図１７に示すような光学素子７を用い、これに回折光学素子を組み合わせるようにしてもよい。図１２の場合は、光学素子７は第１面３、第２面４、第３面５、第４面９からなり、映像表示素子６から発した光線束は、第３面５で屈折して光学素子７に入射し、第４面９で内部反射し、第２面４に入射して内部反射し、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。

【００７９】

図１３の場合は、光学素子７は第１面３、第２面４、第３面５、第４面９からなり、映像表示素子６から発した光線束は、第３面５で屈折して光学素子７に入射し、第４面９で内部反射し、第３面５に入射して今度は内部反射し、第２面４に入射して内部反射し、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。

【００８０】

図１４の場合は、光学素子７は第１面３、第２面４、第３面５、第４面９からなり、映像表示素子６から発した光線束は、第３面５で屈折して光学素子７に入射し、第２面４で内部反射し、第４面９に入射して内部反射し、第２面４に再度入射して内部反射し、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。

【００８１】

図１５の場合は、光学素子７は第１面３、第２面４、第３面５、第４面９からなり、映像表示素子６から発した光線束は、第２面４で屈折して光学素子７に入射し、第３面５で内部反射し、第２面４に入射して内部反射し、第４面９で内部反射し、第２面４に再度入射して内部反射し、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。

【００８２】

図１６の場合は、実施例５の光学素子７と同様であり、映像表示素子６から発した光線束は、第３面５で屈折して光学素子７に入射し、第１面３で内部反射し、再び第３面５に入射して今度は内部反射し、第１面３で内部反射し、第２面４で反射されて、三たび第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。

【００８３】

図１７の場合は、映像表示素子６から発した光線束は、第１面３で屈折して光学素子７に入射し、第３面５で内部反射し、再び第１面３に入射して今度は内部反射し、第３面５で再度内部反射し、三たび第１面３に入射して内部反射し、第２面４で反射されて、四たび第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。

【００８４】

さて、以上のような３面又は４面の光学面で構成され、その間が屈折率が１より大きい媒質で満たされた偏心プリズム単体（光学素子）に残留する色収差、像面湾曲等を回折光学素子を用いて補正した光学系を接眼光学系として用いる場合、単眼に限らなくともよく、２組使用するようにしてもよい。両眼で観察できるようにすると、観察者にとって疲れない観察が可能となる。また、両眼に視差のある映像を提示することによって、立体像としての観察も可能となる。また、本発明による接眼光学系を２組使用し、観察者頭部に支持する支持機構を付けることによって、楽な姿勢で観察像を観察することが可能となる。

【００８５】

上記のように、本発明による光学系を接眼光学系として用い、この光学系と映像表示素子からなる組を左右一対用意し、それらを眼輻距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着式映像表示装置のようなポータブル型の映像表示装置として構成することができる。このようなポータブル型の映像表示装置の１例の全体の構成を図１８に示す。表示装置本体５０には、上記のような接眼光学系が左右１対備えられ

、それらに対応して像面に液晶表示素子からなる映像表示素子が配置されている。本体５０に左右に連続して図示のような側頭フレーム５１が設けられ、両側の側頭フレーム５１は頭頂フレーム５２でつながれており、また、両側の側頭フレーム５１の中間には板バネ５３を介してリアフレーム５４が設けてあり、リアフレーム５４を眼鏡のツルのように観察者の両耳の後部に当て、また、頭頂フレーム５２を観察者の頭頂に載せることにより、表示装置本体５０を観察者の眼前に保持できるようになっている。なお、頭頂フレーム５２の内側には海綿体のような弾性体からなる頭頂パッド５５が取り付けてあり、同様にリアフレーム５４の内側にも同様なパッドが取り付けられており、この表示装置を頭部に装着したときに違和感を感じないようにしてある。

【００８６】

また、リアフレーム５４にはスピーカ５６が付設されており、映像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカ５６を有する表示装置本体５０には、映像音声伝達コード５７を介してポータブルビデオカセット等の再生装置５８が接続されているので、観察者はこの再生装置５８を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像、音響を楽しむことができるようになっている。図示の５９は再生装置５８のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、頭頂フレーム５２の内部に、映像処理・音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

【００８７】

なお、コード５７は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、ＴＶ電波受信用チューナーに接続してＴＶ観賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

【００８８】

さらに、本発明の光学系を結像光学系として用いた場合、例えば、図１９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２０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。

【００８９】

以上、本発明の光学系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。

以上の本発明の光学系は、例えば次のように構成することができる。

【００９０】

〔１〕　互いに偏心して配置された光学素子及び回折光学素子で構成され、前記光学素子は、少なくとも３つの隣合って配置された光学面からなり、前記の３つの光学面の中、少なくとも１つは曲面で構成され、かつ、前記光学面間で少なくとも２回以上の反射をすることを特徴とする光学系。

【００９１】

〔２〕　前記の少なくとも３つの面で構成される空間が屈折率が１より大きい透明媒質で満たされていることを特徴とする上記〔１〕記載の光学系。

【００９２】

〔３〕　映像を表示する表示面を有する映像表示素子を有し、前記映像表示素子を射出した光線が、前記表示面に対向して配置された前記光学素子の第１透過面から入射して光学系の内部に入射し、第１反射面で反射され、第２反射面で反射され、第２透過面を透過して観察者の眼球に導かれ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〕記載の光学系。

【００９３】

〔４〕　前記映像表示素子に表示された映像を途中で結像することなく観察者の眼球に導くように構成されていることを特徴とする上記〔３〕記載の光学系。
【００９４】
〔５〕　前記の少なくとも３つの光学面の中、１つは前記の３つの面の偏心面内の曲率と、それと直交する面内の曲率とが異なることを特徴とする上記〔１〕から〔４〕の何れか１項記載の光学系。
【００９５】
〔６〕　前記第１反射面と第２透過面が同一場所の同一形状で配置されていることを特徴とする上記〔３〕から〔５〕の何れか１項記載の光学系。
【００９６】
〔７〕　前記第２反射面は、前記表示面の中心から射出し前記眼球を通過する光線を主光線とすると、主光線に対して偏心して配置されていることを特徴とする上記〔３〕から〔６〕の何れか１項記載の光学系。
【００９７】
〔８〕　前記第２反射面が眼球側に凹面を向けた凹面鏡で構成されていることを特徴とする上記〔３〕から〔７〕の何れか１項記載の光学系。
【００９８】
〔９〕　前記光学素子の透過面で発生する収差と前記回折光学素子で発生する収差の符号が反対であることを特徴とする上記〔３〕から〔８〕の何れか１項記載の光学系。
【００９９】
〔１０〕　前記の同一場所の同一形状で配置された第１反射面と第２透過面が、１つの光路では臨界角を越えて入射して反射され、他の光路では臨界角以下の入射角で入射して透過するように配置されていることを特徴とする上記〔６〕記載の光学系。
【０１００】
〔１１〕　前記回折光学素子が前記光学素子と観察者眼球の間に配置されていることを特徴とする上記〔３〕から〔１０〕の何れか１項記載の光学系。
【０１０１】
〔１２〕　前記回折光学素子が前記光学素子と表示面の間に配置されていることを特徴とする上記〔３〕から〔１１〕の何れか１項記載の光学系。
【０１０２】
〔１３〕　前記回折光学素子の焦点距離をｆとするとき、
$-0.1 < 1/f < 0.1$　（mm^{-1}）　　・・・（１）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１１〕又は〔１２〕記載の光学系。
【０１０３】
〔１４〕　前記回折光学素子を前記光学素子と観察者眼球の間に配置する場合、前記回折光学素子の焦点距離をｆとするとき、
$-0.1 < 1/f < 0.1$　（mm^{-1}）　　・・・（２）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１１〕記載の光学系。
【０１０４】
〔１５〕　前記回折光学素子を前記光学素子と表示面の間に配置する場合、前記回折光学系の焦点距離をｆとするとき、
$-0.05 < 1/f < 0.05$　（mm^{-1}）　　・・・（３）
なる条件を満足することを特徴とする上記〔１２〕記載の光学系。
【０１０５】
〔１６〕　上記〔１〕から〔１５〕の何れか１項記載の光学系の瞳位置に観察者眼球を配置するようにする位置決め手段を有することを特徴とする映像表示装置。
【０１０６】
〔１７〕　前記位置決め手段は、前記光学系を観察者頭部に装着できるようにする位置決め手段であることを特徴とする上記〔１６〕記載の映像表示装置。
【０１０７】

〔１８〕　上記〔３〕から〔１５〕の何れか１項記載の光学系の前記映像表示素子に代えて映像記録手段を配置し、前記眼球の位置に眼球に代えて絞りを設けたことを特徴とする撮像光学系。

【０１０８】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によると、コンパクト・軽量で収差が良好に補正された結像光学系、及び、頭部又は顔面装着式映像表示装置用の接眼光学系に適した光学系を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例１の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図２】本発明の実施例２の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図３】本発明の実施例３の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図４】本発明の実施例４の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図５】本発明の実施例５の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図６】本発明の実施例６の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図７】本発明の実施例７の光学系を用いた単眼用の映像表示装置の断面図である。

【図８】本発明の実施例１の横収差図の一部である。

【図９】本発明の実施例１の横収差図の残りの一部である。

【図１０】本発明の実施例１の横収差図の残りの部分である。

【図１１】本発明が適用できる光学素子の１例を示す断面図である。

【図１２】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１３】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１４】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１５】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１６】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１７】本発明が適用できる光学素子の別の例を示す断面図である。

【図１８】本発明による光学系を用いた頭部装着式映像表示装置の１例の全体の構成を示す図である。

【図１９】本発明による光学系を結像光学系として利用した場合の構成図である。

【図２０】本発明による光学系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２１】従来の１つの映像表示装置の光学系を示す図である。

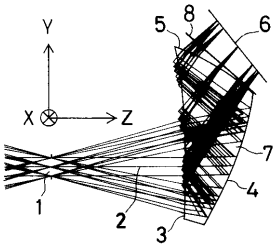
【図２２】従来の別の映像表示装置の光学系を示す図である。

【符号の説明】

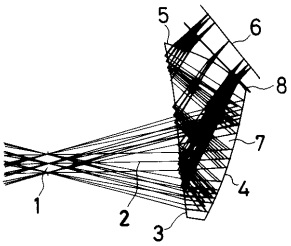
１…観察者瞳位置（射出瞳位置）
２…観察者視軸
３…光学素子の第１面
４…光学素子の第２面
５…光学素子の第３面
６…映像表示素子
７…光学素子
８…回折光学素子
９…光学素子の第４面
５０…表示装置本体
５１…側頭フレーム
５２…頭頂フレーム
５３…板バネ
５４…リアフレーム
５５…頭頂パッド
５６…スピーカ

５７…映像音声伝達コード
５８…再生装置
５９…スイッチ、ボリューム等の調節部
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

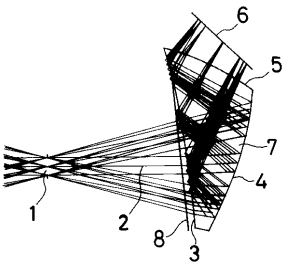
【図１】



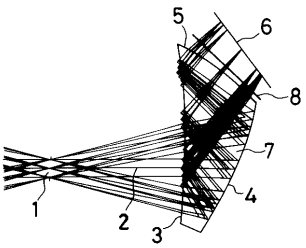
【図２】



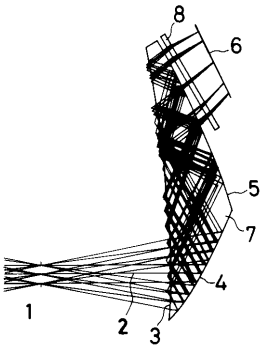
【図３】



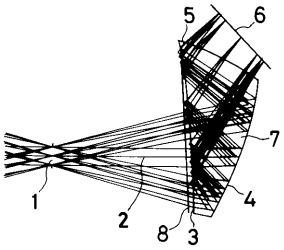
【図４】



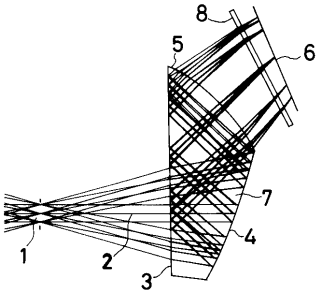
【図５】



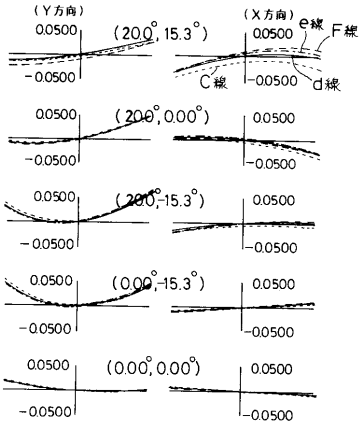
【図６】



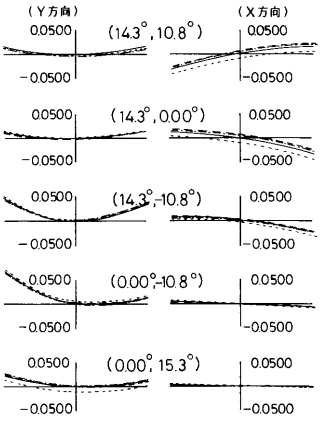
【図７】



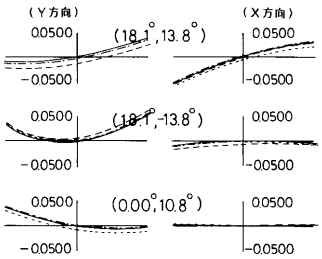
【図８】



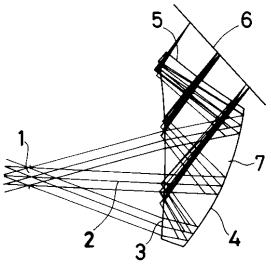
【図９】



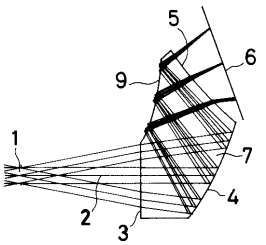
【図１０】



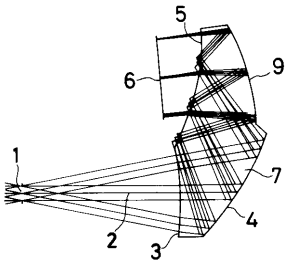
【図１１】



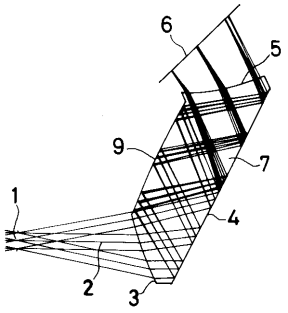
【図１２】



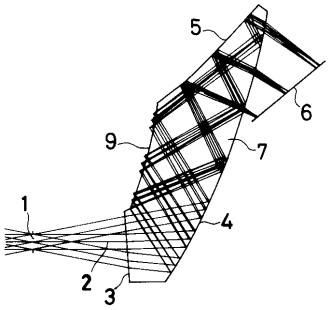
【図１３】



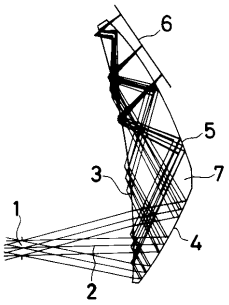
【図１４】



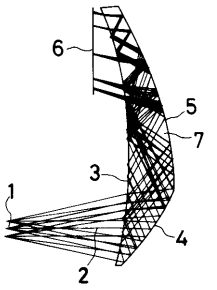
【図１５】



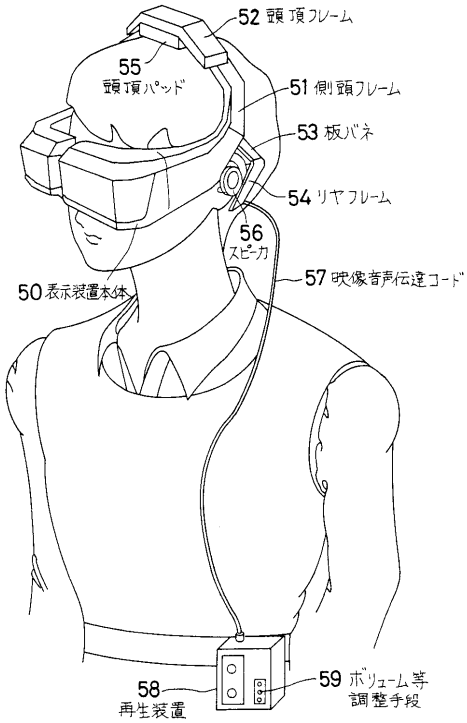
【図１６】



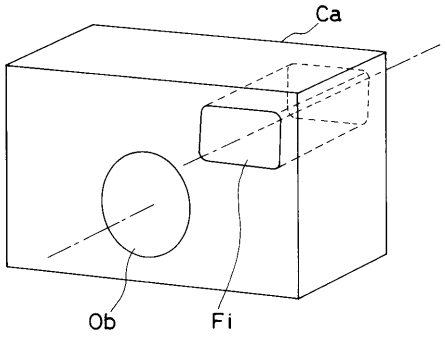
【図１７】



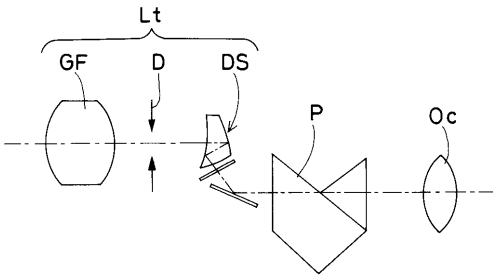
【図１８】



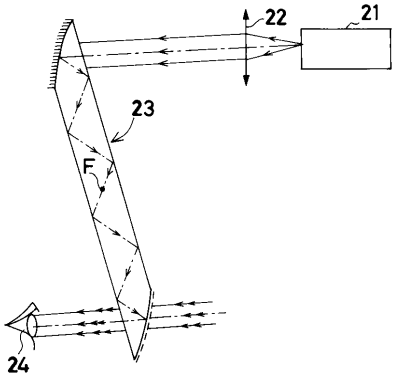
【図１９】



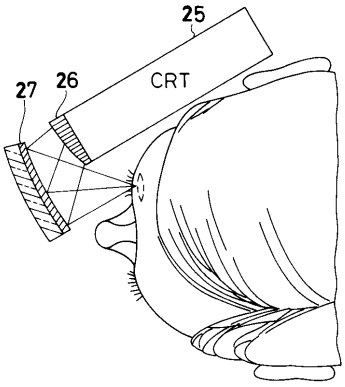
【図２０】



【図２１】



【図２２】



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

審査官 東 治企

(56)参考文献 特開平０８－０７６０３４（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－３３３５５１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１８１３９１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１２０６７９（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－３３３５４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１８６４９４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G02B 27/02
G02B 13/00
G02B 17/00
G02B 25/00
G02B 5/18