

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5031631号
(P5031631)

(45) 発行日 平成24年9月19日 (2012. 9. 19)

(24) 登録日 平成24年7月6日 (2012. 7. 6)

(51) Int. Cl.

F I

G02B 17/00 (2006.01)
G03B 15/00 (2006.01)
G03B 37/00 (2006.01)
G03B 17/17 (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01)

G02B 17/00 A
 G03B 15/00 W
 G03B 15/00 L
 G03B 37/00 A
 G03B 17/17

請求項の数 14 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-71176 (P2008-71176)
 (22) 出願日 平成20年3月19日 (2008. 3. 19)
 (65) 公開番号 特開2009-98600 (P2009-98600A)
 (43) 公開日 平成21年5月7日 (2009. 5. 7)
 審査請求日 平成23年1月12日 (2011. 1. 12)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-251103 (P2007-251103)
 (32) 優先日 平成19年9月27日 (2007. 9. 27)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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4番2号
 (74) 代理人 100139103
 弁理士 小山 卓志
 (74) 代理人 100097777
 弁理士 荏澤 弘
 (74) 代理人 100139114
 弁理士 田中 貞嗣
 (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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを用いた内視鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つの反射面を含む前群と、後群と、前記前群と前記後群の間に配置された開口とを有し、中心軸を含む断面内で、前記中心軸の周りで回転対称な光学系において、前記後群は、前記開口の像面側に配置され、屈折率が1より大きい後群透明媒体を有し、前記後群透明媒体は、前記開口近傍の前記中心軸上に配置された後群第1透過面と、前記後群第1透過面より像面側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第1反射面と、前記後群第1反射面より像面と反対側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第2反射面と、前記後群第2反射面より像面側に配置された後群第2透過面と、を有し、前記後群第1反射面と前記後群第2反射面のうち少なくとも1面は、中心軸上で連続な曲面で構成されており、前記後群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記開口を通り、前記後群第1透過面を経て前記後群透明媒体内に入り、前記後群第1反射面で像面と反対側に反射され、前記後群第2反射面で像面側に反射され、前記後群第2透過面を経て前記後群透明媒体から像面側に外へ出る略Z字状の第1光路を構成し、前記第1光路の少なくとも前記後群第1反射面と前記後群第2反射面の間は、前記中心軸に対して片側のみで構成され、前記第1光路中に中間像が結像されることなく、像面に円環状に結像されることを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記後群の第1反射面は球面であることを特徴とする請求項1に記載の光学系。

【請求項 3】

前記後群第 1 反射面は、全反射作用と、反射コーティングにより反射するように構成され、前記反射コーティングは前記後群第 1 反射面の中心軸近傍のみに施されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記後群第 1 透過面と前記後群第 2 反射面は、前記後群透明媒体の物体側に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 5】

前記後群第 1 透過面と前記後群第 2 反射面は、同一位置同一形状からなることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 6】

前記後群第 1 反射面と前記後群第 2 透過面は、前記後群透明媒体の像面側に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 7】

前記後群第 1 反射面と前記後群第 2 透過面は、同一位置同一形状からなることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 8】

前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第 1 透過面と、前記前群第 1 透過面より像面側に配置された前群第 1 反射面と、前記前群第 1 反射面より像面と反対側に配置された前群第 2 反射面と、前記前群第 2 反射面より像面側に配置された前群第 2 透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第 1 透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第 1 反射面で像面と反対側に反射され、中心軸と交差することなく、前記前群第 2 反射面で像面側に反射され、前記前群第 2 透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 9】

前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第 1 透過面と、前記前群第 1 透過面より像面側に配置された前群第 1 反射面と、前記前群第 1 反射面より像面と反対側に配置された前群第 2 反射面と、前記前群第 2 反射面より像面側に配置された前群第 2 透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第 1 透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第 1 反射面で像面と反対側に反射され、再度中心軸と交差した後、前記前群第 2 反射面で像面側に反射され、前記前群第 2 透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 10】

前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第 1 透過面と、前記前群第 1 透過面より像面と反対側に配置された前群第 1 反射面と、前記前群第 1 反射面より像面側に配置された前群第 2 透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第 1 透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第 1 反射面で像面側に反射され、前記前群第 2 透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 11】

最大像高を $I_{\max}$ 、前記後群の外径を D とするとき、

$$0.5 < D / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 12】

最大像高を $I_{\max}$ 、前記開口から前記像面までの距離を L とするとき、

$$0.5 < L / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項1乃至請求項11のいずれかに記載の光学系。

【請求項13】

後群第1反射面の曲率を R_1 、後群第2反射面の曲率を R_2 とすると、

$$0.2 < R_1 / R_2 < 5 \quad \dots (3)$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の光学系。

【請求項14】

請求項1乃至請求項13のいずれかに記載の光学系を用いた内視鏡。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光学系及びそれを用いた内視鏡に関し、特に、回転対称軸周りの映像を撮像素子に円環状の映像として結像する機能を有する結像光学系又は投影光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、2面の球面又は放物面鏡を組み合わせた光学系があった。

【特許文献1】特許第3382683号公報

20

【特許文献2】特許第3212784号公報

【特許文献3】特公昭62-52842号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、どの特許文献に記載された光学系も、小型な構成で、且つ、高画角の映像を得ることはできなかった。

【0004】

本発明は、従来技術のこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、簡単な構成で広い観察画角を撮像素子上に撮像することが可能であり、小型で安価な光学系及びそれを用いた内視鏡を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を達成する本発明の光学系は、少なくとも1つの反射面を含む前群と、後群と、前記前群と前記後群の間に配置された開口とを有し、中心軸を含む断面内で、前記中心軸の周りで回転対称な光学系において、前記後群は、前記開口の像面側に配置され、屈折率が1より大きい後群透明媒体を有し、前記後群透明媒体は、前記開口近傍の前記中心軸上に配置された後群第1透過面と、前記後群第1透過面より像面側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第1反射面と、前記後群第1反射面より像面と反対側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第2反射面と、前記後群第2反射面より像面側に配置された後群第2透過面と、を有し、前記後群第1反射面と前記後群第2反射面のうち少なくとも1面は、中心軸上で連続な曲面で構成されており、前記後群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記開口を通り、前記後群第1透過面を経て前記後群透明媒体内に入り、前記後群第1反射面で像面と反対側に反射され、前記後群第2反射面で像面側に反射され、前記後群第2透過面を経て前記後群透明媒体から像面側に外へ出る略Z字状の第1光路を構成し、前記第1光路の少なくとも前記後群第1反射面と前記後群第2反射面の間は、前記中心軸に対して片側のみで構成され、前記第1光路中に中間像が結像されることなく、像面に円環状に結像されることを特徴とする。

40

【0006】

また、前記後群の第1反射面は球面であることを特徴とする。

50

【0007】

また、前記後群第1反射面は、全反射作用と、反射コーティングにより反射するように構成され、前記反射コーティングは前記後群第1反射面の中心軸近傍のみに施されていることを特徴とする。

【0008】

また、前記後群第1透過面と前記後群第2反射面は、前記後群透明媒体の物体側に配置されていることを特徴とする。

【0009】

また、前記後群第1透過面と前記後群第2反射面は、同一位置同一形状からなることを特徴とする。

10

【0010】

また、前記後群第1反射面と前記後群第2透過面は、前記後群透明媒体の像面側に配置されていることを特徴とする。

【0011】

また、前記後群第1反射面と前記後群第2透過面は、同一位置同一形状からなることを特徴とする。

【0012】

また、前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第1透過面と、前記前群第1透過面より像面側に配置された前群第1反射面と、前記前群第1反射面より像面と反対側に配置された前群第2反射面と、前記前群第2反射面より像面側に配置された前群第2透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第1透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第1反射面で像面と反対側に反射され、中心軸と交差することなく、前記前群第2反射面で像面側に反射され、前記前群第2透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする。

20

【0013】

また、前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第1透過面と、前記前群第1透過面より像面側に配置された前群第1反射面と、前記前群第1反射面より像面と反対側に配置された前群第2反射面と、前記前群第2反射面より像面側に配置された前群第2透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第1透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第1反射面で像面と反対側に反射され、再度中心軸と交差した後、前記前群第2反射面で像面側に反射され、前記前群第2透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする。

30

【0014】

また、前記前群は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体を有し、前記前群透明媒体は、前群第1透過面と、前記前群第1透過面より像面と反対側に配置された前群第1反射面と、前記前群第1反射面より像面側に配置された前群第2透過面と、を有し、前記前群透明媒体に入射する光束は、順光線追跡の順に、前記前群第1透過面を経て前記前群透明媒体内に入り、中心軸と交差した後、前記前群第1反射面で像面側に反射され、前記前群第2透過面を経て前記前群透明媒体から像面側に外へ出る光路を構成することを特徴とする。

40

【0015】

また、最大像高を $I_{\max}$ 、前記後群の外径を D とするとき、

$$0.5 < D / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【0016】

また、最大像高を $I_{\max}$ 、前記開口から前記像面までの距離を L とするとき、

$$0.5 < L / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することを特徴とする。

50

【0017】

また、後群第1反射面の曲率を R_1 、後群第2反射面の曲率を R_2 とすると、

$$0.2 < R_1 / R_2 < 5 \quad \dots (3)$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【0018】

さらに、上記目的を達成する本発明は、前記光学系を用いた内視鏡であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

以上の本発明の光学系においては、簡単な構成で広い画角を観察又は広い画角に映像を投影することが可能な小型で収差が良好に補正された解像力の良い光学系を得ることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、実施例に基づいて本発明の光学系について説明する。

【0021】

図3は、後述する実施例1の光学系1の中心軸（回転対称軸）2に沿ってとった断面図である。なお、以下の説明は、結像光学系として説明するが、光路を逆にとって投影光学系として用いることもできる。

【0022】

20

本発明に係る光学系1は、中心軸2に対して回転対称で、少なくとも1つの反射面を含む前群 G_f と、開口 S と、後群 G_b とからなり、中間像を光路中に形成することなく像を形成又は投影する光学系1である。像面5近傍の平行平板は撮像素子のカバーガラス C 等である。

【0023】

実施例1の光学系1は、少なくとも1つの反射面を含む前群 G_f と、後群 G_b と、前群 G_f と後群 G_b の間に配置された開口 S とを有し、中心軸2を含む断面内で、中心軸2の周りで回転対称な光学系1において、後群 G_b は、開口 S の像面5側に配置され、屈折率が1より大きい後群透明媒体としての後1群透明媒体 L_b を有し、後1群透明媒体 L_b は、開口 S 近傍の中心軸2上に配置された後群第1透過面としての後1群第1透過面21と、後1群第1透過面21より像面側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第1反射面としての後1群第1反射面22と、後1群第1反射面22より像面と反対側に配置され、像面側に凹面を向けた後群第2反射面としての後1群第2反射面23と、後1群第2反射面23より像面側に配置された後群第2透過面としての後1群第2透過面24と、を有し、後1群第1透過面21、後1群第1反射面22、後1群第2反射面23及び後1群第2透過面24は、球面からなり、透明媒体 L に入射する光束は、順光線追跡の順に、開口 S を通り、後1群第1透過面21を経て透明媒体 L 内に入り、後1群第1反射面22で像面5と反対側に反射され、後1群第2反射面23で像面5側に反射され、後1群第2透過面24を経て透明媒体 L から像面5側に外へ出る略Z字状の第1光路 A を構成し、第1光路 A の少なくとも後1群第1反射面22と後1群第2反射面23の間は、中心軸2に対して片側のみで構成され、第1光路 A 中に中間像が結像されることなく、像面5に円環状に結像される。

30

40

【0024】

中心軸2上の物体側から光路順で、開口 S 及びその近傍に配置された後1群第1透過面21、後1群第1反射面22、後1群第2反射面23、後1群第2透過面24の順に配置され、後1群第1反射面22と後1群第2反射面23は共に像側に凹面を向け配置されていることが重要である。

【0025】

開口 S は物体側の後1群第1透過面21近傍にあることが重要で、開口 S を本発明の後1群透明媒体 L_b の像側に配置すると、非点収差が大きく発生しフラットな像を形成する

50

ことが出来なくなる。また、射出主光線傾角が大きくなってしまい、テレセン性が悪くなる。さらに、後1群第1透過面21と後1群第2反射面23の有効径の干渉が起き、画角を大きく取ることが出来なくなってしまう。

【0026】

次に、後1群第1反射面22と後1群第2反射面23は像側に凹面を向け、さらに後1群第1反射面22と後1群第2反射面23の間の光路は回転対称軸を跨ぐことなく片側で構成され、Z字光路になっていることが重要である。

【0027】

この配置により物体側から光路順に負、正のパワー配置になり、所謂レトロフォーカス構成にすることが可能となり、広画角化が可能となる。また、この配置により光学系の主点を物体側に配置することが可能となり、Fバックを取ることが可能となる。さらに、光路途中で中間像を形成しない為に、光学系を小型にすることが可能である。

【0028】

さらに、透過面の間に反射面を配置することにより、反射面を内部反射面で構成することにより、像面湾曲なので収差の発生を少なくすることが可能となる。また、後1群第1反射面22に当る光線の傾きが空気中より小さくなりなるので、広画角にも良い結果をもたらす。

【0029】

さらに、後1群第1反射面22は画角の広い光線は全反射により反射するように構成し、画角中心付近の後1群第1反射面22で全反射しない入射角の光線を反射させるように、後1群第1反射面22の中心部に反射コーティング4aすることが好ましい。これにより画角中心部の映像も撮像することが可能となる。さらに後1群第1反射面22周辺部は全反射するために、この部分は反射コーティングを行わないことが望ましい。これにより中心部分の光線が光学系から射出するのを妨げることがなくなる。

【0030】

さらに、後1群第1透過面21と後1群第2反射面23は透明媒体Lの物体側に近接して配置することが好ましい。これにより相互の面での光線の干渉が減り、広い画角を確保することが可能となる。

【0031】

さらに、後1群第1反射面22と後1群第2透過面24は透明媒体Lの像面5側に近接して配置することが好ましい。これにより透明媒体Lと像面5を短くすることが可能となり。光学系全長を短くすることが可能となる。

【0032】

さらに、後1群第2反射面23は周辺部に反射コーティング4bを行うことが望ましく、中心部分は後1群第1透過面21又は開口Sを配置する関係から、反射コーティングしないことが望ましい。

【0033】

さらに好ましくは、後1群第1反射面22と後1群第2透過面24を同一場所、同一形状で構成することが好ましい。この構成により、後1群第1反射面22に部分的に全反射を使うことが可能となり光学系の画角を広く取れる。

【0034】

さらに好ましくは、後1群第1透過面21と後1群第2反射面23を同一場所、同一形状で構成することが望ましい。この構成により、加工性がよくなる。

【0035】

また、前群Gfは、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体Lfを有し、前群透明媒体Lfは、光路順に、前群第1透過面11と、前群第1透過面11と中心軸2を挟んで反対側で像面5側に配置された前群第1反射面12と、前群第1反射面12と中心軸2に対して同じ側で前群第1反射面12より像面5と反対側に配置された前群第2反射面13と、前群第2反射面13より像面5側に配置された前群第2透過面14と、を有し、前群透明媒体Lfに入射する光束は、順光線追跡の順に、前群第1透過面

10

20

30

40

50

1 1 を経て前群透明媒体 L f 内に入り、前群第 1 反射面 1 2 で像面 5 と反対側に反射され、前群第 2 反射面 1 3 で像面 5 側に反射され、前群第 2 透過面 1 4 を経て前群透明媒体 L f から像面 5 側に外へ出る光路を構成することが好ましい。

【0036】

また、前群 G f は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体 L f を有し、前群透明媒体 L f は、光路順に、前群第 1 透過面 1 1 と、前群第 1 透過面 1 1 と中心軸 2 を挟んで反対側で像面 5 側に配置された前群第 1 反射面 1 2 と、前群第 1 反射面 1 2 と中心軸 2 に対して反対側で前群第 1 反射面 1 2 より像面 5 と反対側に配置された前群第 2 反射面 1 3 と、前群第 2 反射面 1 3 より像面 5 側に配置された前群第 2 透過面 1 4 と、を有し、前群透明媒体 L f に入射する光束は、順光線追跡の順に、前群第 1 透過面 1 1 を経て前群透明媒体 L f 内に入り、前群第 1 反射面 1 2 で像面 5 と反対側に反射され、前群第 2 反射面 1 3 で像面 5 側に反射され、前群第 2 透過面 1 4 を経て前群透明媒体 L f から像面 5 側に外へ出る光路を構成することが好ましい。

10

【0037】

また、前群 G f は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体 L f を有し、前群透明媒体 L f は、光路順に、前群第 1 透過面 1 1 と、前群第 1 透過面 1 1 と中心軸 2 を挟んで反対側で像面 5 と反対側に配置された前群第 1 反射面 1 2 と、前群第 1 反射面 1 2 より像面 5 側に配置された前群第 2 透過面 1 4 と、を有し、前群透明媒体 L f に入射する光束は、順光線追跡の順に、前群第 1 透過面 1 1 を経て前群透明媒体 L f 内に入り、前群第 1 反射面 1 2 で像面側に反射され、前群第 2 透過面 1 4 を経て前群透明媒体 L f から像面 5 側に外へ出る光路を構成することが好ましい。

20

【0038】

また、最大像高を $I_{\max}$ 、前記透明媒体の外径を D とするとき、

$$0.5 < D / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することが望ましい。

【0039】

条件式 (1) は、下限を超えるとテレセン性が悪くなり特に CCD 等の撮像素子を利用して撮像する場合に周辺光量不足を起こす。上限を超えると光学系の外径が大きくなりすぎ光学系が大型になってしまう。

【0040】

30

また、最大像高を $I_{\max}$ 、前記開口から前記像面までの距離を L とするとき、

$$0.5 < L / (2 \times I_{\max}) < 1.0 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することが望ましい。

【0041】

条件式 (2) は、像高に対する光学系全長を規定するものであり、下限を超えるとやはりテレセン性が悪くなり周辺光量不足を起こす。上限を超えると全長が長くなりすぎ、小型の光学系を構成することはできない。

【0042】

また、後 1 群第 1 反射面 2 2 の曲率を R_1 、後 1 群第 2 反射面 2 3 の曲率を R_2 とするとき、

40

$$0.2 < R_1 / R_2 < 5 \quad \dots (3)$$

なる条件を満足することが望ましい。

【0043】

条件式 (3) は、二つの反射面のパワーの比を規定しているものであり、下限を超えると、後 1 群第 1 反射面 2 2 の曲率半径が小さくなり、後 1 群第 2 反射面 2 3 の正のパワーに比べて、後 1 群第 1 反射面 2 2 の負のパワーが大きくなり光学系の全長を短くすることが出来ない。上限を超えると、後 1 群第 2 反射面 2 3 の曲率が小さくなり後 1 群第 2 反射面 2 3 の正のパワーが大きくなりすぎ、物体側に凸の像面湾曲が大きく発生する。

【0044】

なお、すべての実施例は球面で構成されているが、通常の実例は非球面で構成することも可能

50

である。また物体側の平行平面は、光学系保護用のものであり、無くてもよい。像側の平行平面は撮像素子保護用のものであり、無くても良い。

【0045】

以下に、本発明の光学系の実施例1～4を説明する。これら光学系の構成パラメータは後記する。

【0046】

座標系は、順光線追跡において、例えば図1に示すように、絞り面Sが中心軸2と交差する点を偏心光学面の原点Oとし、中心軸2に直交する方向をY軸方向とし、図1の紙面内をY-Z平面とする。そして、図1の像面5側の方向をZ軸正方向とし、Y軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をX軸正方向とする。

【0047】

偏心面については、その面が定義される座標系の上記光学系1の原点Oからの偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、光学系1の原点Oに定義される座標系のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする各面を定義する座標系の傾き角（それぞれ α 、 β 、 γ （°））とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。なお、面の中心軸の α 、 β 、 γ の回転のさせ方は、各面を定義する座標系を光学系の原点に定義される座標系のまずX軸の回りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した新たな座標系のY軸の回りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その回転した別の新たな座標系のZ軸の回りで時計回りに γ 回転させるものである。

【0048】

また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には面間隔が与えられており、その他、面の曲率半径、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0049】

また、後記の構成パラメータ中にデータの記載されていない非球面に関する項は0である。屈折率、アッペ数については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。各面の偏心は、上記のように、基準面からの偏心量で表わす。

【0050】

なお、非球面は、以下の定義式で与えられる回転対称非球面である。

$$Z = (Y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + k) Y^2 / R^2\}^{1/2}] + a Y^4 + b Y^6 + c Y^8 + d Y^{10} + \dots \quad \dots (a)$$

ただし、Zを軸とし、Yを軸と垂直な方向にとる。ここで、Rは近軸曲率半径、kは円錐定数、a、b、c、d、…はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。この定義式のZ軸が回転対称非球面の軸となる。

【0051】

また、拡張回転自由曲面は、以下の定義で与えられる回転対称面である。

【0052】

まず、図2に示すように、Y-Z座標面上で原点を通る下記の曲線（b）が定められる。

【0053】

$$Z = (Y^2 / R Y) / [1 + \{1 - (C_1 + 1) Y^2 / R Y^2\}^{1/2}] + C_2 Y + C_3 Y^2 + C_4 Y^3 + C_5 Y^4 + C_6 Y^5 + C_7 Y^6 + \dots + C_{21} Y^{20} + \dots + C_{n+1} Y^n + \dots \quad \dots (b)$$

次いで、この曲線（b）をX軸正方向を向いて左回りを正として角度 θ （°）回転した曲線F（Y）が定められる。この曲線F（Y）もY-Z座標面上で原点を通る。

【0054】

その曲線 $F(Y)$ を Y 正方向に距離 R (負のときは Y 負方向) だけ平行移動し、その後 Z 軸の周りでその平行移動した曲線を回転させてできる回転対称面を拡張回転自由曲面とする。

【0055】

その結果、拡張回転自由曲面は $Y-Z$ 面内で自由曲面 (自由曲線) になり、 $X-Y$ 面内で半径 $|R|$ の円になる。

【0056】

この定義から Z 軸が拡張回転自由曲面の軸 (回転対称軸) となる。

【0057】

ここで、 RY は $Y-Z$ 断面での球面項の曲率半径、 C_1 は円錐定数、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 … はそれぞれ 1 次、2 次、3 次、4 次… の非球面係数である。

10

【0058】

なお、 Z 軸を中心軸に持つ円錐面は拡張回転自由曲面の 1 つとして与えられ、 $RY = \infty$ 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、… = 0 とし、 θ = (円錐面の傾き角)、 R = ($X-Z$ 面内での底面の半径) として与えられる。

【0059】

また、後記の構成パラメータ中にデータの記載されていない非球面に関する項は 0 である。屈折率、アッペ数については、 d 線 (波長 587.56 nm) に対するものを表記してある。長さの単位は mm である。各面の偏心は、上記のように、基準面からの偏心量で表わす。

20

【0060】

実施例 1 の光学系 1 の中心軸 2 に沿ってとった断面図を図 3 に示す。また、この実施例の光学系全体の横収差図を図 4 に示す。この横収差図において、中央に示された角度は、(水平方向画角、垂直方向の画角) を示し、その画角における Y 方向 (メリジオナル方向) と X 方向 (サジタル方向) の横収差を示す。なお、マイナスの画角は、水平方向画角については、 Y 軸正方向を向いて右回りの角度、垂直方向画角については、 X 軸正方向を向いて右回りの角度を意味する。以下、同じ。

【0061】

本実施例は、光学系 1 の中心軸 2 に同心に回転対称な屈折率が 1 より大きい後 1 群透明媒体 Lb の透過面及び反射面を、光路内で一部共通に使用する球面で構成し、該後 1 群透明媒体 Lb の前群 Gf として前群透明媒体 Lf を配置した例である。

30

【0062】

光学系 1 は、前群 Gf と、後群 Gb と、前群 Gf と後群 Gb の間で中心軸 2 に同軸に配置された開口 S とからなり、後群 Gb は、後 1 群 $Gb1$ と後 2 群 $Gb2$ からなる。

【0063】

前群 Gf は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体 Lf からなる。前群透明媒体 Lf は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい樹脂等からなり、遠方からの光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第 1 透過面 11 と、前群第 1 透過面 11 と中心軸 2 を挟んで反対側で前群第 1 透過面 11 より像面 5 側に配置されていて、前群第 1 透過面 11 から入射した光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第 1 反射面 12 と、前群第 1 反射面 12 と中心軸 2 に対して同じ側で前群第 1 反射面 12 より像面 5 と反対側に配置され、前群第 1 反射面 12 で反射された光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第 2 反射面 13 と、後群 Gb に面していて、前群第 2 反射面 13 で反射された光束が入射し球面からなる前群第 2 透過面 14 とからなる。

40

【0064】

後 1 群 $Gb1$ は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい後 1 群透明媒体 Lb からなる。後 1 群透明媒体 Lb は、中心軸 2 上で球面からなる後 1 群第 1 透過面 21 と、後 1 群第 1 透過面 21 に対して像側に形成され、一部を反射コーティング 4a し、負のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後 1 群第 1 反射面 22 と、後 1 群第 1 反射面 22 に対して像面 5 と反対側に配置され、反射コーティング 4b し、正のパワーをもつ像面側に凹

50

面を向けた後1群第2反射面23と、後1群第2反射面23より像面5側に配置され、負のパワーをもつ後1群第2透過面24とを有する。後1群第1透過面21と後1群第2反射面23は、同一位置同一形状からなり、後1群第1反射面22と後1群第2透過面24は、同一位置同一形状からなる。

【0065】

後2群Gb2は、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい後2群カバーガラスCb2からなる。後2群カバーガラスCb2は、平行平板からなり、後2群第1透過面31と、後2群第1透過面31に対して像側に形成される後2群第2透過面32とを有する。

【0066】

光学系1は、光路Aを形成する。光学系1の物体面3から入射する光束は、前群透明媒体Lfの前群第1透過面11を経て、中心軸2を横切って前群第1透過面11と反対側の前群第1反射面12で後群Gbから離れるように上方へ反射されて、前群第1反射面12と中心軸2に対して同じ側で後群Gbからより離れた側に位置している前群第2反射面13で後群Gb方向へ再度反射され、射出面の前群第2透過面14を経て前群透明媒体Lfから外に出る。

【0067】

その後、前群透明媒体Lfと後1群透明媒体Lbの間で中心軸2に同軸に配置された開口Sとを経て後1群透明媒体Lb内に入る。後1群透明媒体Lbでは、後1群第1透過面21を経て入り、後1群第1反射面22で一部が反射コーティング4a、一部が全反射により像面5と反対側に反射され、後1群第2反射面23で反射コーティング4bにより像面5側に反射され、後1群第2透過面24を経て後1群透明媒体Lbから外に出る略Z字状の光路を有する。その後、後2群カバーガラスCb2の後2群第1透過面31と後2群第2透過面32を経て、像面5の中心軸2から外れた半径方向の所定位置に円環状に結像する。

【0068】

この実施例1の仕様は、
 全系の画角 50.00°～360.0°
 後群の画角 26.81°～60.22°
 入射瞳孔径 φ0.94mm
 像の大きさ φ4.04mm～φ7.83mm
 である。

【0069】

実施例2の光学系1の中心軸2に沿ってとった断面図を図5に示す。また、この実施例の光学系全体の横収差図を図6に示す。

【0070】

本実施例は、光学系1の中心軸2に同心に回転対称な屈折率が1より大きい後群透明媒体Lbの透過面及び反射面を、光路内で一部共通に使用する球面で構成し、該後群透明媒体Lbの前群Gfとして前群透明媒体Lfを配置した例である。

【0071】

光学系1は、前群Gfと、後群Gbと、前群Gfと後群Gbの間で中心軸2に同軸に配置された開口Sとからなり、後群Gbは、第1群G1と第2群G2からなる。

【0072】

前群Gfは、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体Lfからなる。前群透明媒体Lfは、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい樹脂等からなり、遠方からの光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第1透過面11と、前群第1透過面11と中心軸2を挟んで反対側で前群第1透過面11より像面5側に配置されていて、前群第1透過面11から入射した光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第1反射面12と、前群第1反射面12と中心軸1を挟んで反対側で前群第1反射面12より像面5と反対側に配置され、前群第1反射面12で反射された光束が入射し拡張回転自

10

20

30

40

50

由曲面からなる前群第 2 反射面 1 3 と、中心軸 2 上で後群 G b に面していて前群第 2 反射面 1 3 より像面 5 側に配置され、前群第 2 反射面 1 3 で反射された光束が入射し球面からなる前群第 2 透過面 1 4 とからなる。

【0073】

後 1 群 G b 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい後 1 群透明媒体 L b からなる。後 1 群透明媒体 L b は、中心軸 2 上で球面からなる後 1 群第 1 透過面 2 1 と、後 1 群第 1 透過面 2 1 に対して像側に形成され、一部を反射コーティング 4 a し、負のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後 1 群第 1 反射面 2 2 と、後 1 群第 1 反射面 2 2 に対して像面 5 と反対側に配置され、反射コーティング 4 b し、正のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後 1 群第 2 反射面 2 3 と、後 1 群第 2 反射面 2 3 より像面 5 側に配置され、負のパワーをもつ後 1 群第 2 透過面 2 4 とを有する。後 1 群第 1 透過面 2 1 と後 1 群第 2 反射面 2 3 は、同一位置同一形状からなり、後 1 群第 1 反射面 2 2 と後 1 群第 2 透過面 2 4 は、同一位置同一形状からなる。

10

【0074】

後 2 群 G b 2 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい後 2 群カバーガラス C b 2 からなる。後 2 群カバーガラス C b 2 は、平行平板からなり、後 2 群第 1 透過面 3 1 と、後 2 群第 1 透過面 3 1 に対して像側に形成される後 2 群第 2 透過面 3 2 とを有する。

【0075】

光学系 1 は、光路 A を形成する。光路 A において、光学系 1 の物体面 3 から入射する光束は、前群第 1 透過面 1 1 を経て前群透明媒体 L f 内に入り、中心軸 2 を横切って前群第 1 透過面 1 1 と反対側の前群第 1 反射面 1 2 で後群 G b から離れるように上方へ像面 5 と反対側に反射され、前群第 1 反射面 1 2 と中心軸 2 に対して反対側で後群 G b からより離れた側に位置している前群第 2 反射面 1 3 で像面 5 側に反射され、射出面の前群第 2 透過面 1 4 を経て前群透明媒体 L f から外に出る。

20

【0076】

その後、前群透明媒体 L f と後 1 群透明媒体 L b の間で中心軸 2 に同軸に配置された開口 S とを経て、後 1 群透明媒体 L b 内に入る。後 1 群透明媒体 L b では、後 1 群第 1 透過面 2 1 を経て入り、後 1 群第 1 反射面 2 2 で一部が反射コーティング 4 a、他部が全反射により像面 5 と反対側に反射され、後 1 群第 2 反射面 2 3 で反射コーティング 4 b により像面 5 側に反射され、後 1 群第 2 透過面 2 4 を経て後 1 群透明媒体 L b から外に出る略 Z 字状の光路を有する。その後、後 2 群カバーガラス C b 2 の後 2 群第 1 透過面 3 1 と後 2 群第 2 透過面 3 2 を経て、像面 5 の中心軸 2 から外れた半径方向の所定位置に円環状に結像する。

30

【0077】

この実施例 2 の仕様は、

全系の画角	80.00°～360°
後群の画角	22.92°～58.29°
入射瞳孔	φ0.10mm
像の大きさ	φ3.58mm～φ7.91mm

40

である。

【0078】

実施例 3 の光学系 1 の中心軸 2 に沿ってとった断面図を図 7 に示す。また、この実施例の光学系全体の横収差図を図 8 に示す。

【0079】

本実施例は、光学系 1 の中心軸 2 に同心に回転対称な屈折率が 1 より大きい後群透明媒体 L b の透過面及び反射面を、光路内で一部共通に使用する球面で構成し、該後群透明媒体 L b の前群 G f として前群透明媒体 L f を配置した例である。

【0080】

光学系 1 は、前群 G f と、後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間で中心軸 2 に同軸に配

50

置された開口 S とからなる。

【0081】

前群 G f は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい前群透明媒体 L f からなる。前群透明媒体 L f は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい樹脂等からなり、遠方からの光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第 1 透過面 1 1 と、前群第 1 透過面 1 1 と中心軸 2 を挟んで反対側で前群第 1 透過面 1 1 より像面 5 と反対側に配置されていて、前群第 1 透過面 1 1 から入射した光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第 1 反射面 1 2 と、後群 G b に面していて中心軸 2 上で前群第 1 反射面 1 2 より像面 5 側に配置され、前群第 1 反射面 1 2 で反射された光束が入射し非球面からなる前群第 2 透過面 1 4 とからなる。

10

【0082】

後群 G 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい後 1 群透明媒体 L b からなる。後 1 群透明媒体 L b は、中心軸 2 上で球面からなる後 1 群第 1 透過面 2 1 と、後 1 群第 1 透過面 2 1 に対して像側に形成され、一部を反射コーティング 4 a し、負のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後 1 群第 1 反射面 2 2 と、後 1 群第 1 反射面 2 2 に対して像面 5 と反対側に配置され、一部を反射コーティング 4 b し、正のパワーをもつ後 1 群第 2 反射面 2 3 と、後 1 群第 2 反射面 2 3 より像面 5 側に配置され、負のパワーをもつ後 1 群第 2 透過面 2 4 を有する。後 1 群第 1 透過面 2 1 と後 1 群第 2 反射面 2 3 は、同一位置同一形状からなり、後 1 群第 1 反射面 2 2 と後 1 群第 2 透過面 2 4 は、同一位置同一形状からなる。

20

【0083】

光学系 1 は、光路 A を形成する。光路 A において、光学系 1 の物体面 3 から入射する光束は、前群第 1 透過面 1 1 を経て前群透明媒体 L f 内に入り、中心軸 2 を横切って前群第 1 透過面 1 1 と反対側の後群第 1 反射面 1 2 で後群 G b に向かって下方へ像面 5 側に反射され、射出面の後群第 2 透過面 1 4 を経て前群透明媒体 L f から外に出る。

【0084】

その後、前群透明媒体 L f と後 1 群透明媒体 L b の間で中心軸 2 に同軸に配置された開口 S とを経て、後 1 群透明媒体 L b 内に入る。後 1 群透明媒体 L b では、後 1 群第 1 透過面 2 1 を経て入り、後 1 群第 1 反射面 2 2 で一部が反射コーティング 4 a、他部が全反射により像面 5 と反対側に反射され、後 1 群第 2 反射面 2 3 で反射コーティング 4 b により像面 5 側に反射され、後 1 群第 2 透過面 2 4 を経て後 1 群透明媒体 L b から外に出る略 Z 字状の光路を有する。その後、像面 5 の中心軸 2 から外れた半径方向の所定位置に円環状に結像する。

30

【0085】

この実施例 3 の仕様は、
全系の画角 $60.00^\circ \times 360^\circ$
後群の画角 $13.52^\circ \sim 52.56^\circ$
後群の入射瞳径 $\phi 1.00\text{mm}$
像の大きさ $\phi 2.44\text{mm} \sim \phi 7.95\text{mm}$
である。

40

【0086】

実施例 4 の光学系 1 の中心軸 2 に沿ってとった断面図を図 9 に示す。また、この実施例の光学系全体の横収差図を図 10 に示す。

【0087】

本実施例は、光学系 1 の中心軸 2 に同心に回転対称な屈折率が 1 より大きい後群透明媒体 L b の透過面及び反射面を、光路内で一部共通に使用する球面で構成し、該後群透明媒体 L b の前に前群透明媒体 L f を配置した例である。

【0088】

光学系 1 は、前群 G f と、後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間で中心軸 2 に同軸に配置された開口 S とからなる。

50

【0089】

前群G fは、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい前群透明媒体L fからなる。前群透明媒体L fは、中心軸1の周りで回転対称な屈折率が1より大きい樹脂等からなり、遠方からの光束2が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第1透過面11と、前群第1透過面11と中心軸1を挟んで反対側で前群第1透過面11より像面5と反対側に配置されていて、前群第1透過面11から入射した光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第1反射面12と、前群第1反射面12と中心軸1を挟んで反対側で前群第1反射面12より像面5と反対側に配置され、前群第1反射面12で反射された光束が入射し拡張回転自由曲面からなる前群第2反射面13と、後群G bに面していて前群第2反射面12と中心軸2上で前群第2反射面13より像面5側に配置され、前群第2反射面13で反射された光束が入射し非球面からなる前群第2透過面14とからなる。

10

【0090】

後1群G b1は、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい後1群透明媒体L bからなる。後1群透明媒体L bは、中心軸2上で球面からなる後1群第1透過面21と、後1群第1透過面21に対して像側に形成され、一部を反射コーティング4 aし、負のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後1群第1反射面22と、後1群第1反射面22に対して像面5と反対側に配置され、反射コーティング4 bし、正のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後1群第2反射面23と、後1群第2反射面23より像面5側に配置され、負のパワーをもつ後1群第2透過面24とを有する。後1群第1透過面21と後1群第2反射面23は、同一位置同一形状からなり、後1群第1反射面22と後1群第2透過面24は、同一位置同一形状からなる。

20

【0091】

光学系1は、光路Aを形成する。光路Aにおいて、光学系1の物体面3から入射する光束は、前群第1透過面11を経て前群透明媒体L f内に入り、中心軸2を横切って前群第1透過面11と反対側の後群第1反射面12で後群G bから離れるように像面5と反対側に反射され、前群第1反射面12と中心軸2に対して反対側で後群G bから離れた側に位置している前群第2反射面13で像面5側に反射され、射出面の前群第2透過面14を経て前群透明媒体L fから外に出る。

【0092】

その後、前群透明媒体L fと後1群透明媒体L bの間で中心軸2に同軸に配置された開口Sとを経て、後1群透明媒体L b内に入る。後1群透明媒体L bでは、後1群第1透過面21を経て入り、後1群第1反射面22で一部が反射コーティング4 a、一部が全反射により像面5と反対側に反射され、後1群第2反射面23で反射コーティング4 bにより像面5側に反射され、後1群第2透過面24を経て後1群透明媒体L bから外に出る略Z字状の光路を有する。その後、像面5の中心軸2から外れた半径方向の所定位置に円環状に結像する。

30

【0093】

この実施例4の仕様は、
全系の画角 $60.00^\circ \times 360^\circ$
後群の画角 $26.47^\circ \sim 55.67^\circ$
後群の入射瞳径 $\phi 1.00\text{mm}$
像の大きさ $\phi 4.12\text{mm} \sim \phi 7.66\text{mm}$
である。

40

【0094】

実施例5の光学系1の中心軸2に沿ってとった断面図を図11に示す。また、この実施例の光学系全体の横収差図を図12に示す。

【0095】

本実施例は、光学系1の中心軸2に同心に回転対称な屈折率が1より大きい後群透明媒体L bの透過面及び反射面を、光路内で一部共通に使用する球面で構成し、該後群透明媒体L bの前に前群反射体R fを配置した例である。

50

【0096】

光学系1は、前群Gfと、後群Gbと、前群Gfと後群Gbの間で中心軸2に同軸に配置された開口Sとからなる。

前群Gfは、中心軸2の周りで回転対称な前群反射体Rfからなる。前群反射体Rfは、像面5側に凸の前群第1反射面12からなる。

【0097】

後1群Gb1は、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい後1群透明媒体Lbからなる。後1群透明媒体Lbは、中心軸2上で球面からなる後1群第1透過面21と、後1群第1透過面21に対して像側に形成され、一部を反射コーティング4aし、負のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後1群第1反射面22と、後1群第1反射面22に対して像面5と反対側に配置され、反射コーティング4bし、正のパワーをもつ像面側に凹面を向けた後1群第2反射面23と、後1群第2反射面23より像面5側に配置され、負のパワーをもつ後1群第2透過面24とを有する。後1群第1透過面21と後1群第2反射面23は、同一位置同一形状からなり、後1群第1反射面22と後1群第2透過面24は、同一位置同一形状からなる。

【0098】

光学系1は、光路Aを形成する。光路Aにおいて、光学系1の物体面3から入射する光束は、前群反射体Rfの前群第1反射面11と、前群反射体Rfと後1群透明媒体Lbの間で中心軸2に同軸に配置された開口Sとを経て、後1群透明媒体Lb内に入る。その後、前群透明媒体Lfと後1群透明媒体Lbの間に中心軸2に同軸に配置された開口Sとを経て、後1群透明媒体Lb内に入る。後1群透明媒体Lbでは、後1群第1透過面21を経て入り、後1群第1反射面22で一部が反射コーティング4a、一部が全反射により像面5と反対側に反射され、後1群第2反射面23で反射コーティング4bにより像面5側に反射され、後1群第2透過面24を経て後1群透明媒体Lbから外に出る略Z字状の光路を有する。その後、像面5の中心軸2から外れた半径方向の所定位置に円環状に結像する。

【0099】

この実施例5の仕様は、

全系の画角 $60.00^\circ (10 \pm 30^\circ) \times 360^\circ$
 後群の画角 $29.59^\circ \sim 49.38^\circ$
 後群の入射瞳径 $\phi 1.00\text{mm}$
 像の大きさ $\phi 2.56\text{mm} \sim \phi 3.92\text{mm}$

である。

【0100】

また、最大像高をImax (mm)、最小像高をImin (mm)、後群Grの最大画角を $\theta_{\max}$ (度)、後群Grの最小画角を $\theta_{\min}$ (度)、焦点距離 $F = (I_{\max} - I_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min})$ とし、後群Grの外径をD (mm)、平行平面の保護ガラスを除いた後群Grの全長をLs (mm)、後群第1反射面22の曲率をR1、後群第2反射面23の曲率をR2とすると、

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
I max	3.92	3.96	3.98	3.83	1.96
$\theta_{\max}$	60.22	58.29	52.56	55.67	49.38
I min	2.02	1.78	1.22	2.06	1.28
$\theta_{\min}$	26.81	22.92	13.52	26.47	29.59
F	0.057	0.061	0.071	0.061	0.034
D	24.80	21.60	25.20	20.40	12.00
L	9.600	7.800	13.000	6.20	4.20
D (2 × I max)	3.167	2.730	3.169	2.663	3.069
L (2 × I max)	1.226	0.986	1.635	0.809	1.074
R 1	6.92	7.33	8.06	9.35	3.32

R 2	8.10	8.15	8.95	8.89	4.13
R 1 / R 2	0.85	0.90	0.90	1.05	0.81

である。

【0101】

以下に、上記実施例1～5の構成パラメータを示す。なお、以下の表中の“RE”は反射面を示す。

【0102】

実施例1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
物体面	∞	∞	偏心(1)			10
1	ERFS[1]	0.00	偏心(2)	1.8348	42.7	
2(RE)	ERFS[2]	0.00	偏心(3)	1.8348	42.7	
3(RE)	ERFS[3]	0.00	偏心(4)	1.8348	42.7	
4	81.36	0.00	偏心(5)			
5	∞ (絞り)	0.00				
6	8.10	3.48		1.8348	42.7	
7(RE)	6.92	-3.48		1.8348	42.7	
8(RE)	8.10	3.48		1.8348	42.7	
9	6.92	4.23				
10	∞	1.00		1.5163	64.1	20
11	∞	0.70				
像面	∞					
	ERFS[1]					
RY	27.36					
θ	53.19					
R	-10.91					
	ERFS[2]					
RY	-23.52					
θ	37.63					
R	7.93					30
C4	2.4445E-05					
	ERFS[3]					
RY	-56.42					
θ	-5.65					
R	6.05					
C4	8.0159E-05					
	偏心[1]					
X	0.00	Y	0.00	Z	-9.64	
α	75.00	β	0.00	γ	0.00	
	偏心[2]					40
X	0.00	Y	0.00	Z	-12.56	
α	0.00	β	0.00	γ	0.00	
	偏心[3]					
X	0.00	Y	0.00	Z	-3.71	
α	0.00	β	0.00	γ	0.00	
	偏心[4]					
X	0.00	Y	0.00	Z	-13.93	
α	0.00	β	0.00	γ	0.00	
	偏心[5]					
X	0.00	Y	0.00	Z	-1.00	50

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

【0103】

実施例 2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞	偏心(1)		
1	E R F S [1]	0.00	偏心(2)	1.8348	42.7
2 (R E)	E R F S [2]	0.00	偏心(3)	1.8348	42.7
3 (R E)	E R F S [3]	0.00	偏心(4)	1.8348	42.7
4	-6.46	0.00	偏心(5)		
5	∞ (絞り)	0.00			
6	8.15	3.33		1.8348	42.7
7 (R E)	7.33	-3.33		1.8348	42.7
8 (R E)	8.15	3.33		1.8348	42.7
9	7.33	2.66			
10	∞	1.00		1.5163	64.1
11	∞	0.70			

像 面 ∞

E R F S [1]

R Y -5.96

θ 72.36

R -9.56

E R F S [2]

R Y -16.71

θ 50.86

R 7.55

C 4 -2.4173E-04

E R F S [3]

R Y 8.79

θ 31.80

R -6.39

C 4 1.9000E-03

偏心[1]

X 0.00 Y 0.00 Z -5.79

α 42.56 β 0.00 γ 0.00

偏心[2]

X 0.00 Y 0.00 Z -16.21

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[3]

X 0.00 Y 0.00 Z -4.96

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[4]

X 0.00 Y 0.00 Z -18.89

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[5]

X 0.00 Y 0.00 Z -0.10

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

【0104】

実施例 3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞	偏心(1)		

10

20

30

40

50

1	E R F S [1]	0.00	偏心 (2)		
2 (R E)	E R F S [2]	0.00	偏心 (3)	1.8348	42.7
3	-16.07	0.00	偏心 (4)		
4	∞ (絞り)	0.10			
7	8.95	3.62		1.8348	42.7
8 (R E)	8.06	-3.62		1.8348	42.7
9 (R E)	8.95	3.62		1.8348	42.7
10	8.06	9.31			
像 面	∞				
	E R F S [1]				10
R Y	-2685.93				
θ	-34.51				
R	-6.91				
	E R F S [2]				
R Y	14.47				
θ	-45.37				
R	5.36				
C 4	-4.6617E-05				
	偏心 [1]				
X	0.00	Y	0.00	Z	-7.24
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 [2]				
X	0.00	Y	0.00	Z	-7.24
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 [3]				
X	0.00	Y	0.00	Z	-12.35
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 [4]				
X	0.00	Y	0.00	Z	-0.10
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	【0 1 0 5】				30
実施例 4					
面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞	偏心 (1)		
1	E R F S [1]	0.00	偏心 (2)	2.0033	28.3
2 (R E)	E R F S [2]	0.00	偏心 (3)	2.0033	28.3
3 (R E)	E R F S [3]	0.00	偏心 (4)	2.0033	28.3
4	A S S [1]	0.00	偏心 (5)		
5	∞ (絞り)	0.10			
6	8.89	3.34		1.8348	42.7
7 (R E)	9.35	-3.34		1.8348	42.7
8 (R E)	8.89	3.34		1.8348	42.7
9	9.35	4.76			
像 面	∞				
	E R F S [1]				
R Y	21.56				
θ	88.06				
R	-7.74				
	E R F S [2]				
R Y	-13.48				50

θ 87.67
 R 8.55
 $C4$ -1.5105E-04
 E R F S [3]
 $R Y$ 10.49
 θ 43.16
 R -6.45
 $C4$ 6.0876E-04
 A S S [1]
 R -12.90
 k 0.0000
 a 2.4853E-03
 偏心[1]
 X 0.00 Y 0.00 Z -14.91
 α 132.30 β 0.00 γ 0.00
 偏心[2]
 X 0.00 Y 0.00 Z -6.96
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心[3]
 X 0.00 Y 0.00 Z -12.37
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心[4]
 X 0.00 Y 0.00 Z -18.62
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00
 偏心[5]
 X 0.00 Y 0.00 Z -0.10
 α 0.00 β 0.00 γ 0.00

【0106】

実施例5

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1 (R E)	-16.88	5.00			
2	∞ (絞り)	0.10			
3	4.13	1.74		1.8348	42.7
4 (R E)	3.32	-1.74		1.8348	42.7
5 (R E)	4.13	1.74		1.8348	42.7
6	3.32	2.52			
像 面	∞				

【0107】

図13は、本実施例の画像と撮像素子の配置例を示す。図13(a)は、画面比が16 : 9の撮像素子を使用した例である。上下方向の画像は使用しない場合、光路Aの画像A1の左右の位置に撮像素子50の大きさを合致させると好ましい。図13(b)は、画面比が4 : 3の撮像素子50を使用し、上下方向の映像は使用しない場合を示す。図13(c)は、画面比が4 : 3の撮像素子50を使用し、光路Aでの画像A1に撮像素子50の大きさを合致させた例である。このように、配置をすると、光路Aの画像A1をすべて撮像することができる。

以下に、本発明の光学系1の適用例として、撮影光学系101又は投影光学系102の使用例を説明する。図14は、内視鏡先端の撮影光学系として本発明による撮影光学系101を用いた例を示すための図であり、図14(a)は、硬性内視鏡110の先端101に本発明による撮影光学系を取り付けて画像を撮像観察する例である。図14(b)にそ

10

20

30

40

50

の先端の概略の構成を示す。本発明によるパノラマ撮影光学系101の入射面11の周囲には円周方向に伸びる開口106を有するケーシング等からなるフレア絞り107が配置され、フレア光が入射するのを防止している。また、図14(c)は、軟性電子内視鏡113の先端に本発明によるパノラマ撮影光学系101を同様に取付けて、表示装置114に撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して表示するようにした例である。

【0108】

図15は、カプセル内視鏡120に本発明による撮影光学系101を取り付けて360°全方位の画像を撮像観察する例である。本発明による撮影光学系101の光路Aにおける前群Gfの第1透過面11の周囲には円周方向に伸びる開口106を有するケーシング等に、フレア絞り107が形成され、フレア光が入射するのを防止している。

10

【0109】

図13及び図14に示すように、内視鏡に撮影光学系101を用いることにより、撮影光学系101の後方の画像を撮像観察することができ、従来と異なる角度から様々な部位を撮像観察することができる。

【0110】

図16(a)は、自動車130の前方に撮影光学系として本発明による撮影光学系101を取り付けて、車内の表示装置に各撮影光学系101を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に表示するようにした例を示す図であり、図16(b)は、自動車130の各コーナやヘッド部のポールの頂部に撮影光学系として本発明による撮影光学系101を複数取り付けて、車内の表示装置に各撮影光学系101を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に表示するようにした例を示す図である。この場合、図15(a)に示したように、光路Aの画像A1の左右の位置に撮像素子50の大きさを合致させると、左右の画像が広く撮像でき、好ましい。

20

【0111】

また、図17は、投影装置140の投影光学系として本発明による投影光学系102を用い、その像面5に配置した表示素子にパノラマ画像を表示し、投影光学系102を通して360°全方位に配置したスクリーン141に360°全方位画像を投影表示する例である。

【0112】

さらに、図18は、建物150の外部に本発明による撮影光学系101を用いた撮影装置151を取り付け、屋内に本発明による撮影光学系101を用いた投影装置151を配置し、撮影装置151で撮像された映像を電線152を介して投影装置140に送るように接続している。このような配置において、屋外の360°全方位の被写体Pを、撮影光学系101を経て撮影装置151で撮影し、その映像信号を電線152を介して投影装置140に送り、像面に配置した表示素子にその映像を表示して、投影光学系102を通して屋内の壁面等に被写体Pの映像P'を投影表示するようにしている例である。

30

【図面の簡単な説明】

【0113】

【図1】本発明の光学系の座標系を説明するための図である。

【図2】拡張回転自由曲面の原理を示す図である。

40

【図3】本発明の実施例1の光学系の中心軸に沿ってとった断面図である。

【図4】実施例1の光学系全体の横収差図を示す図である。

【図5】本発明の実施例2の光学系の中心軸に沿ってとった断面図である。

【図6】実施例2の光学系全体の横収差図を示す図である。

【図7】本発明の実施例3の光学系の中心軸に沿ってとった断面図である。

【図8】実施例3の光学系全体の横収差図を示す図である。

【図9】本発明の実施例4の光学系の中心軸に沿ってとった断面図である。

【図10】実施例4の光学系全体の横収差図を示す図である。

【図11】本発明の実施例5の光学系の中心軸に沿ってとった断面図である。

【図12】実施例5の光学系全体の横収差図を示す図である。

50

【図 1 3】 本発明の光学系の画像と撮像素子の配置例を示す図である。

【図 1 4】 本発明の光学系を内視鏡先端の撮影光学系として用いた例を示す図である。

【図 1 5】 本発明の光学系をカプセル内視鏡の撮影光学系として用いた例を示す図である。

。

【図 1 6】 本発明の光学系を自動車の撮影光学系として用いた例を示す図である。

【図 1 7】 本発明の光学系を投影装置の投影光学系として用いた例を示す図である。

【図 1 8】 本発明の光学系を屋外の被写体を撮影する撮影光学系として用いた例を示す図である。

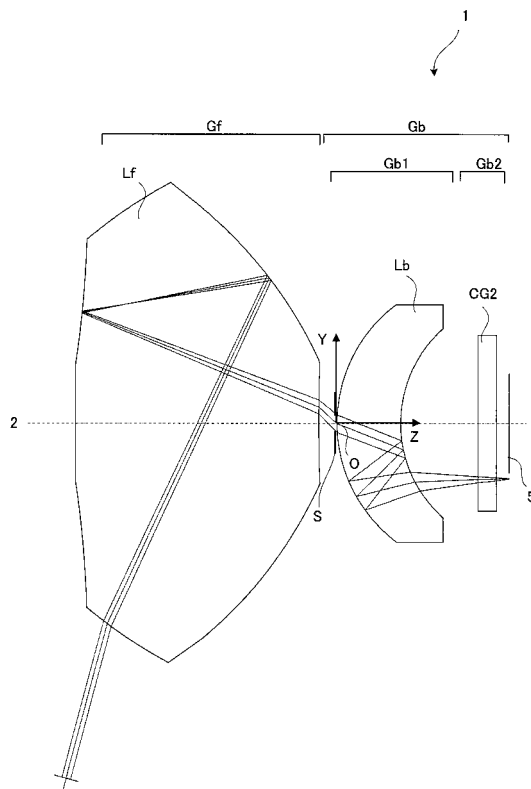
【符号の説明】

【0 1 1 4】

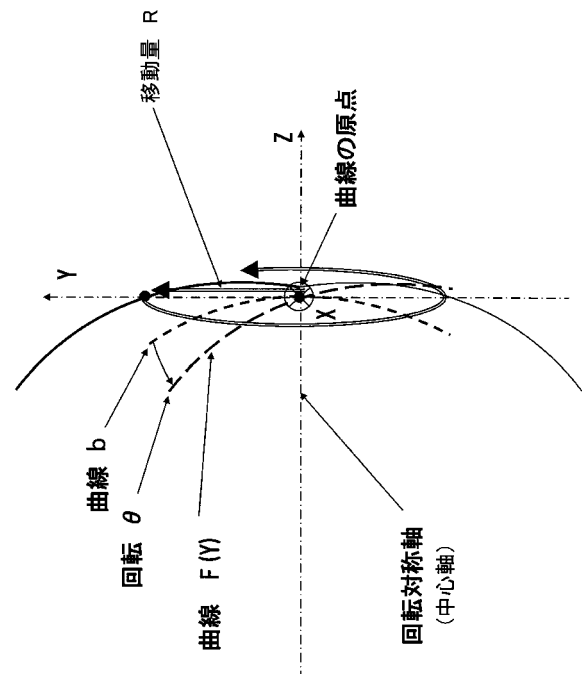
- 1 … 光学系
- 2 … 中心軸
- 3 … 物体面（無限遠なので図示しない）
- 5 … 像面

10

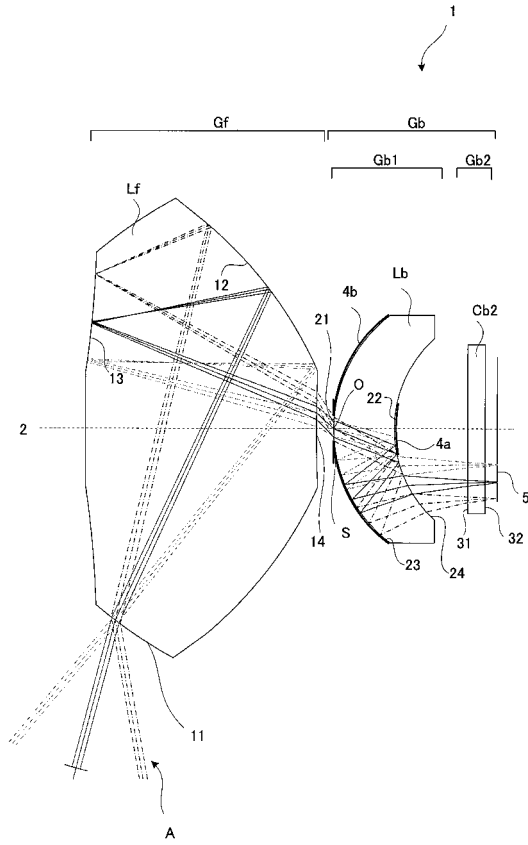
【図 1】



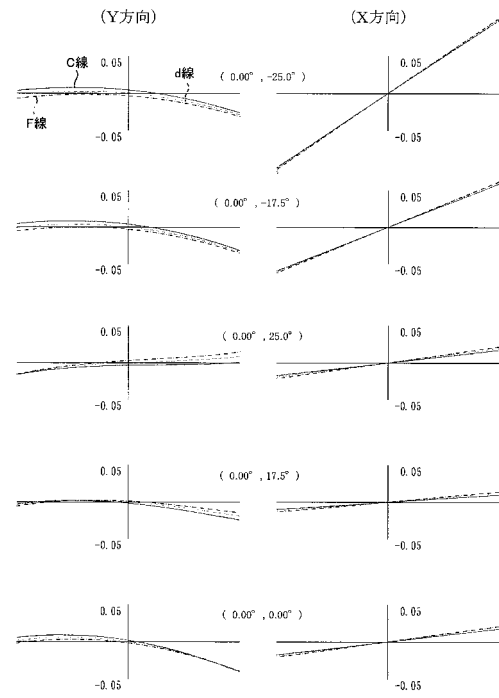
【図 2】



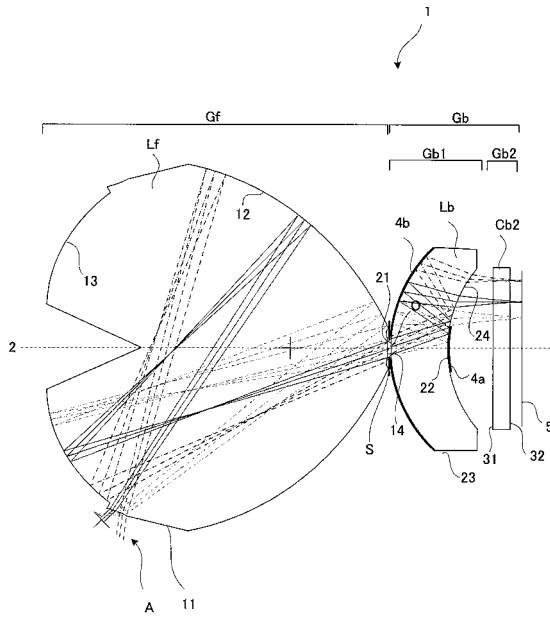
【図 3】



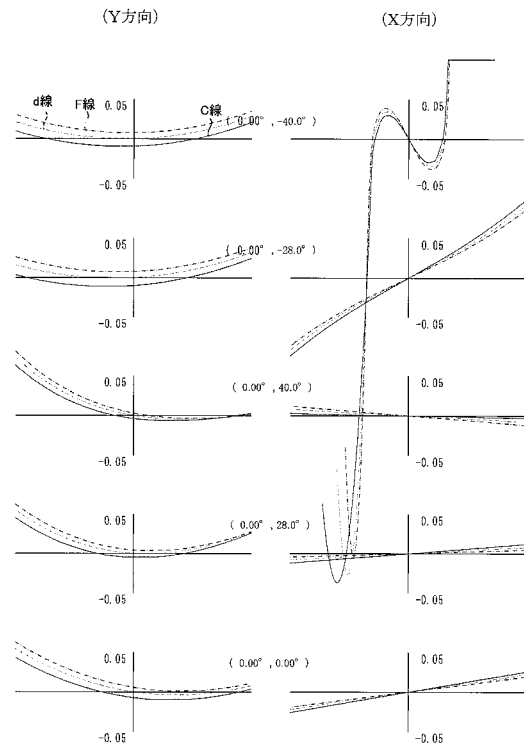
【図 4】



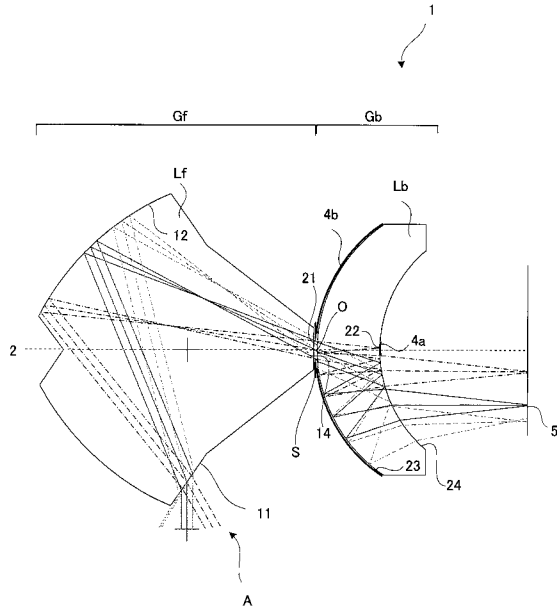
【図 5】



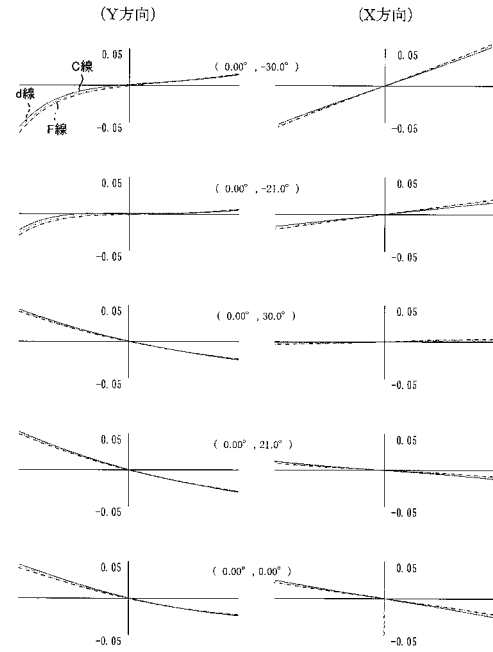
【図 6】



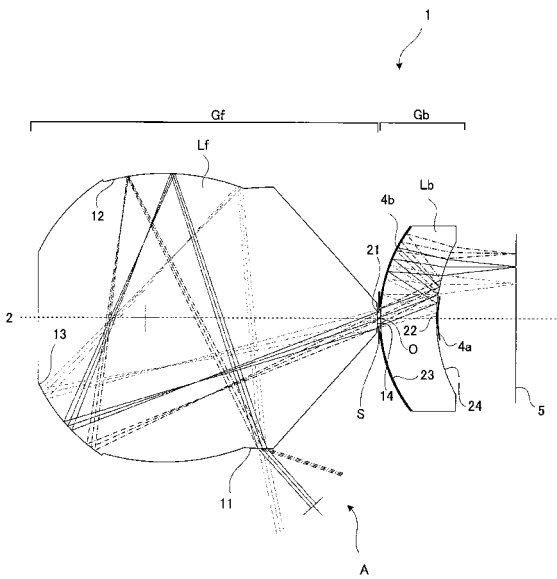
【図 7】



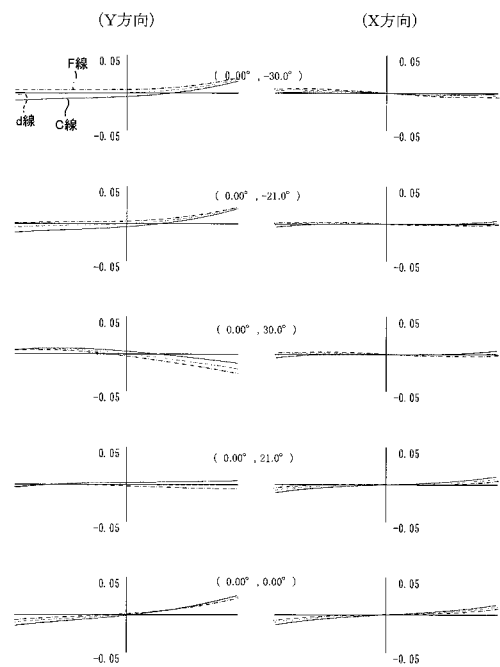
【図 8】



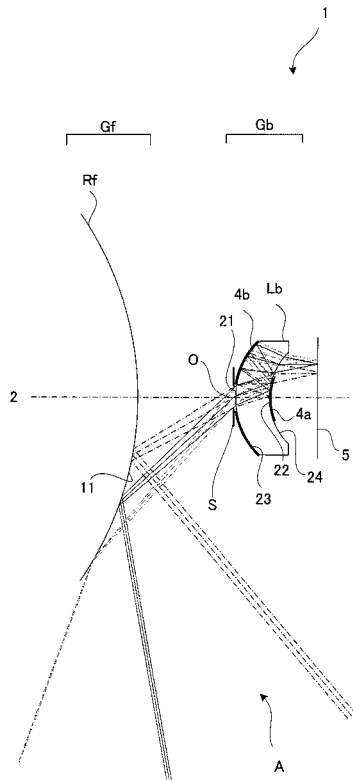
【図 9】



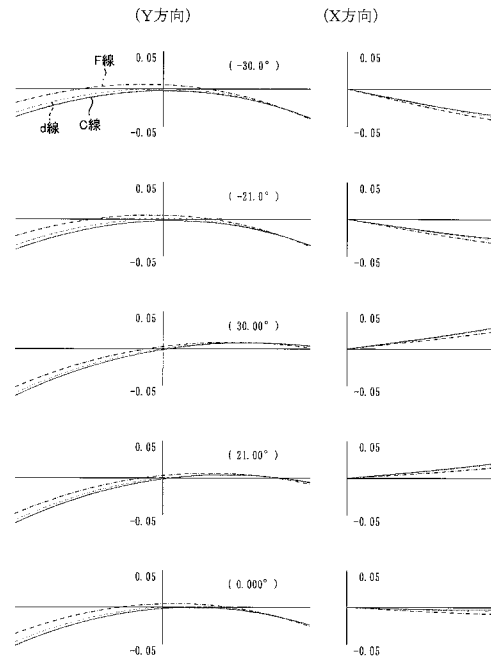
【図 10】



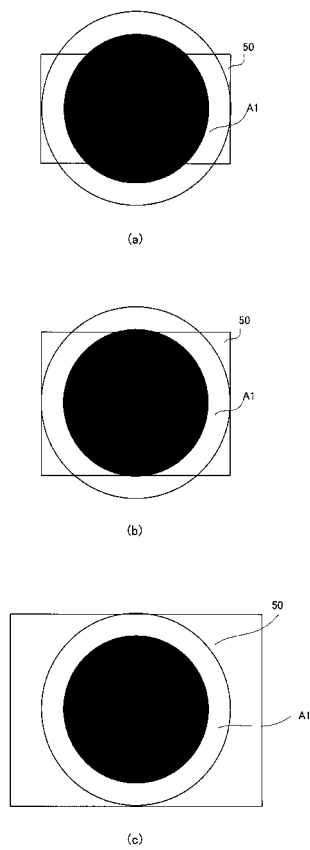
【図 1 1】



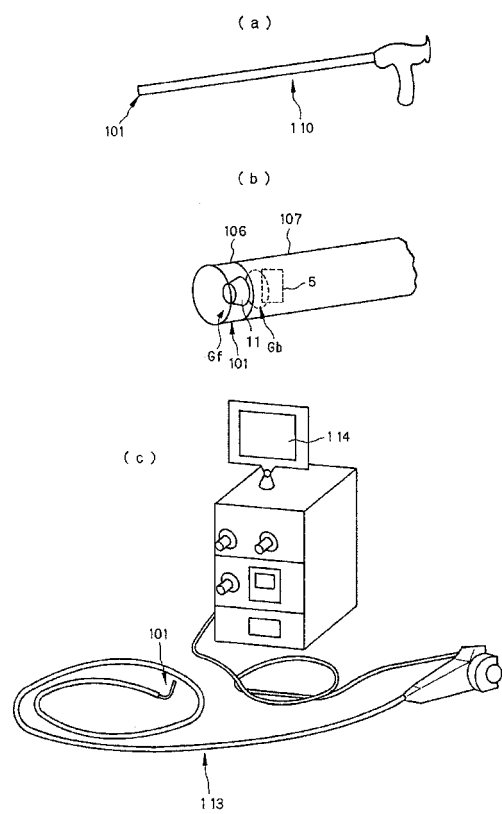
【図 1 2】



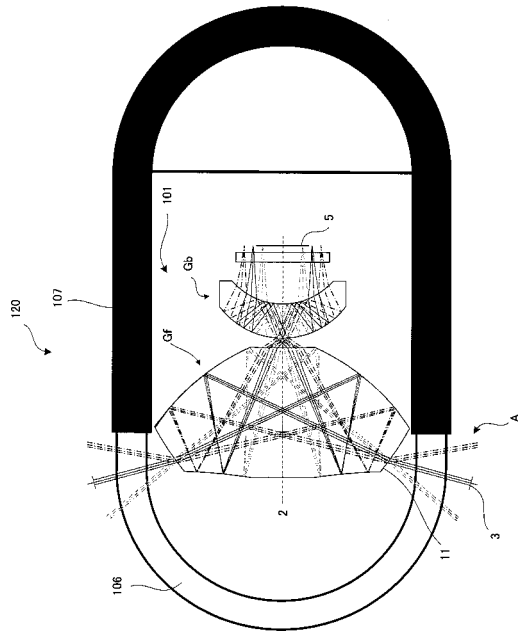
【図 1 3】



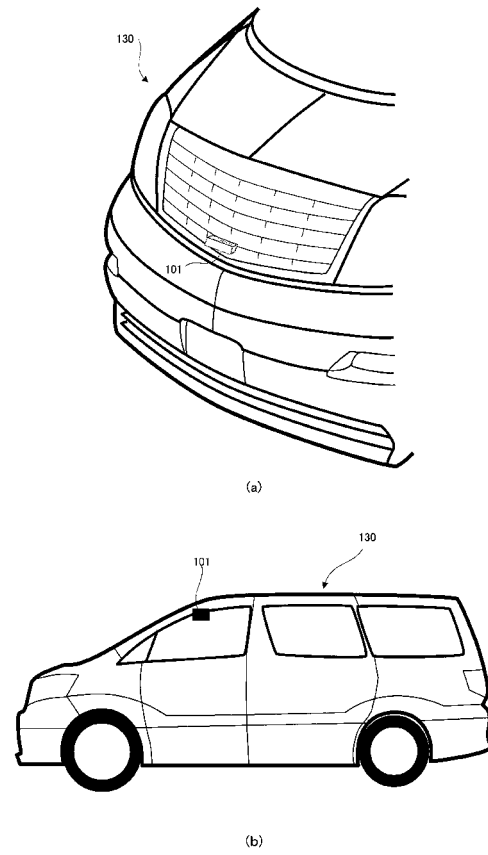
【図 1 4】



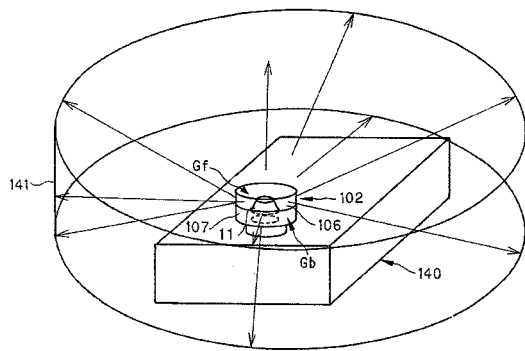
【図 15】



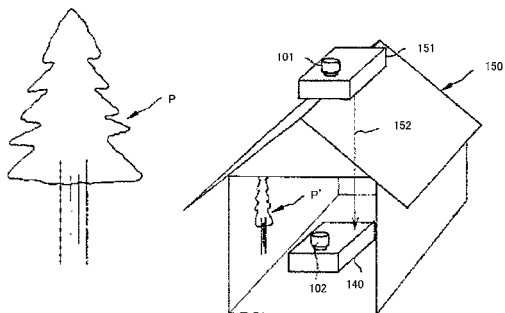
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 4 N 5/225 (2006.01) A 6 1 B 1/00 3 0 0 Y
H 0 4 N 5/225 C

(74)代理人 100095980
弁理士 菅井 英雄

(74)代理人 100094787
弁理士 青木 健二

(74)代理人 100091971
弁理士 米澤 明

(72)発明者 研野 孝吉
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリnbas株式会社内

審査官 堀井 康司

(56)参考文献 特開平7-174973 (JP, A)
特開平8-122642 (JP, A)
特開2006-330353 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 2 B 1 7 / 0 0
A 6 1 B 1 / 0 0
G 0 3 B 1 5 / 0 0
G 0 3 B 1 7 / 1 7
G 0 3 B 3 7 / 0 0
H 0 4 N 5 / 2 2 5

专利名称(译)	光学系统和使用它的内窥镜		
公开(公告)号	JP5031631B2	公开(公告)日	2012-09-19
申请号	JP2008071176	申请日	2008-03-19
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
当前申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
[标]发明人	研野孝吉		
发明人	研野 孝吉		
IPC分类号	G02B17/00 G03B15/00 G03B37/00 G03B17/17 A61B1/00 H04N5/225		
CPC分类号	A61B1/041		
FI分类号	G02B17/00.A G03B15/00.W G03B15/00.L G03B37/00.A G03B17/17 A61B1/00.300.Y H04N5/225.C A61B1/00.731 G03B37/00.B H04N5/225 H04N5/225.100 H04N5/225.500		
F-TERM分类号	2H059/BA02 2H059/BA03 2H059/BA18 2H087/KA10 2H087/LA07 2H087/RA48 2H087/TA01 2H087/TA02 2H087/TA06 2H101/FF08 4C061/FF40 4C161/DD07 4C161/FF40 4C161/LL02 5C122/DA14 5C122/DA26 5C122/EA54 5C122/EA55 5C122/FB03 5C122/FB08 5C122/FB11 5C122/HB06		
代理人(译)	青木健二 米泽 明		
审查员(译)	堀井浩二		
优先权	2007251103 2007-09-27 JP		
其他公开文献	JP2009098600A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种紧凑且便宜的光学系统，其能够以简单的构造在成像装置上以宽的观察视角成像，以及使用该光学系统的内窥镜。解决方案：光学系统包括前组Gf，前组Gf包括至少一个反射表面，后组Gb和设置在前组Gf和后组Gb之间的开口S。后组第一反射表面22和后组第二反射表面23的至少一个表面由中心轴上的连续曲面形成。进入后组透明介质Lb的光通量以前向光线追踪的顺序通过开口S形成近似Z形的第一光路A，经由后组第一透射表面21进入后组透明介质Lb，被后组第一反射表面22反射到与图像表面5相对的一侧，通过后组第二反射被反射到图像表面5侧表面23，并且经由后组第二透射表面24从后组透明介质Lb出射到图像表面5侧。第一光路A至少位于后组第一反射表面22和后组第二反射表面之间如图23所示，在相对于中心轴2的一侧仅形成图像，并且在图像表面5上形成环形的图像，而不在第一光路A中形成中间图像。

