

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-309861

(P2008-309861A)

(43) 公開日 平成20年12月25日(2008.12.25)

| (51) Int.Cl. | | | F I | テーマコード (参考) | |
|--------------|--------------|------------------|------------|-------------|-------|
| GO2B | 17/08 | (2006.01) | GO2B 17/08 | A | 2H040 |
| GO2B | 13/06 | (2006.01) | GO2B 13/06 | | 2H087 |
| GO2B | 13/18 | (2006.01) | GO2B 13/18 | | 4C061 |
| GO2B | 23/26 | (2006.01) | GO2B 23/26 | C | |
| A61B | 1/00 | (2006.01) | A61B 1/00 | 300Y | |

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2007-155159 (P2007-155159)
 (22) 出願日 平成19年6月12日 (2007.6.12)

(71) 出願人 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

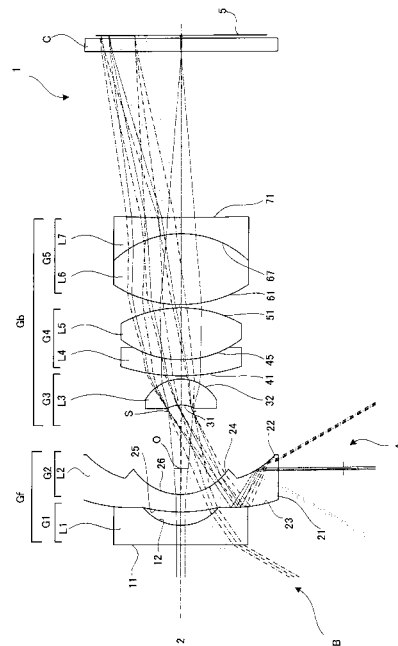
(54) 【発明の名称】 光学素子、それを備えた光学系及びそれを用いた内視鏡

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で中心軸上の物点と中心軸と略直交する方向の全方位の画像の両方を同時に1つの撮像素子上に撮像することが可能な小型で安価な光学素子、それを備えた光学系及びそれを用いた内視鏡を提供する。

【解決手段】 光学素子L2に入射する光束は、側視光路Aと直視光路Bとを有し、順光線追跡の順に、側視光路Aは、第1透過面21を経て光学素子L2内に入り、第1反射面22で像面5と反対側に反射され、第2反射面23で像面側に反射され、第2透過面24を経て光学素子L2から像面側に外へ出る略Z字状の光路を構成し、直視光路Bは、第3透過面25を経て光学素子L2内に入り、第4透過面26を経て光学素子L2から像面5側に外へ出る光路を構成することを特徴とする。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中心軸の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体からなり、前記透明媒体は、第 1 透過面と、前記第 1 透過面より中心軸側に配置された第 1 反射面と、前記第 1 反射面より像面と反対側に配置された第 2 反射面と、前記第 2 反射面より像面側に配置された第 2 透過面と、第 3 透過面と、前記第 3 透過面より像面側に配置された第 4 透過面を有し、前記透明媒体に入射する光束は、側視光路と直視光路とを有し、順光線追跡の順に、前記側視光路は、前記第 1 透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第 1 反射面で像面と反対側に反射され、前記第 2 反射面で像面側に反射され、前記第 2 透過面を経て前記透明媒体から像面側に外へ出る略 Z 字状の光路を構成し、前記直視光路は、前記第 3 透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第 4 透過面を経て前記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光学素子。

10

【請求項 2】

前記側視光路は、前記中心軸に対して片側のみで構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】

前記中心軸近傍に前記第 2 透過面を配置し、その周辺部に前記第 1 反射面及び前記第 2 反射面を配置し、最外周部に前記第 1 透過面を配置したことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光学素子。

20

【請求項 4】

前記第 1 反射面は、前記第 2 透過面と同一位置、同一形状の面であ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素子。

【請求項 5】

前記第 1 反射面は、前記第 4 透過面と同一位置、同一形状の面であ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素子。

【請求項 6】

前記第 2 反射面は、前記第 3 透過面と同一位置、同一形状の面であ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素子。

【請求項 7】

前記第 1 反射面及び前記第 2 反射面は、全反射作用を有す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素子。

30

【請求項 8】

前記第 1 透過面は、円柱又は円錐状の面であ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素子。

【請求項 9】

前記第 1 反射面と前記第 2 反射面のうち少なくとも 1 面は、対称面を持たない任意形状の線分を中心軸の周りで回転させて形成される拡張回転自由曲面で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれかに記載の光学素子。

【請求項 10】

前記透明媒体の有する面のうち少なくとも 1 面は、奇数次項を含む任意形状の線分を中心軸の周りで回転させて形状される拡張回転自由曲面で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれかに記載の光学素子。

40

【請求項 11】

前群と、前記前群より像面側に配置された後群と、前記前群と前記後群の間に配置された開口とを備え、前記光学素子は、前記前群に配置され、前記直視光路は、前記中心軸近傍の物点を撮像又は投影し、前記側視光路は、前記中心軸周辺の物点を撮像又は投影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素子を備えた光学系。

【請求項 12】

前記側視光路と前記直視光路は、前記光学素子の一部を共有使用し、前記直視光路の円形状の映像と、その外周の前記側視光路の円環状の映像を同一平面内に形成することを特

50

徴とする請求項 1 1 に記載の光学系。

【請求項 1 3】

前記第 2 反射面は、前記開口側に凹面を向けて配置されることを特徴とする請求項 1 1 又は請求項 1 2 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 1 4】

前記第 1 反射面は、前記開口側に凹面を向けて配置されることを特徴とする請求項 1 1 乃至請求項 1 3 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 1 5】

前記側視光路の映像は、光路中で中間像を形成しないことを特徴とする請求項 1 1 乃至請求項 1 4 のいずれかに記載の光学系。

10

【請求項 1 6】

前記光学素子の外形を D とするとき

$$D < 10 \text{ mm}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 1 乃至請求項 1 5 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 1 7】

前記側視光路の像の外形を D_r とするとき、

$$D / D_r < 2$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 1 乃至請求項 1 6 のいずれかに記載の光学系。

20

【請求項 1 8】

請求項 1 1 乃至請求項 1 7 のいずれかに記載の光学系を用いた内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光学素子、それを備えた光学系及びそれを用いた内視鏡に関し、特に 2 つの光路を有し、回転対称軸上の映像と回転対称軸と略直交する方向の 2 つの光路を合成する光学素子と、その光学素子を備え、1 つの撮像素子に円形と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。

30

【背景技術】

【0002】

屈折光学系と、反射光学系と、結像光学系とが配置され、2 つの光路を有し、パノラマ画像及び軸方向画像の撮像が可能な撮像光学系として特許文献 1 がある。また、同様に 2 つの光路を有する内視鏡として特許文献 2 がある。さらに、周囲全方位を観察できる内視鏡として特許文献 3、周囲全方位を観察できるカプセル内視鏡として特許文献 4 がある。また、周囲全方位と前方を同時に撮像できる撮像装置として特許文献 5 がある。

【特許文献 1】特表 2003 - 042743 号公報

【特許文献 2】米国特許公開 2004 - 0254424 号公報

【特許文献 3】特開昭 60 - 42728 号公報

【特許文献 4】特開 2001 - 174713 号公報

40

【特許文献 5】特開 2002 - 341409 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で解像力の良い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、簡単な構成で中心軸上の物点と中心軸と略直交する方向の全方位の画像の両方を同時に 1 つの撮像素子上に撮像することが可能な小型で安価な光学素子、それを備えた光学系及びそれ

50

を用いた内視鏡を提供することである。

【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素子は、中心軸の周りで回転対称な屈折率が1より大きい透明媒体からなり、前記透明媒体は、第1透過面と、前記第1透過面より中心軸側に配置された第1反射面と、前記第1反射面より像面と反対側に配置された第2反射面と、前記第2反射面より像面側に配置された第2透過面と、第3透過面と、前記第3透過面より像面側に配置された第4透過面を有し、前記透明媒体に入射する光束は、側視光路と直視光路とを有し、順光線追跡の順に、前記側視光路は、前記第1透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第1反射面で像面と反対側に反射され、前記第2反射面で像面側に反射され、前記第2透過面を経て前記透明媒体から像面側に外へ出る略Z字状の光路を構成し、前記直視光路は、前記第3透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第4透過面を経て前記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。

10

【0006】

また、前記側視光路は、前記中心軸に対して片側のみで構成されることを特徴とする。

【0007】

また、前記中心軸近傍に前記第2透過面を配置し、その周辺部に前記第1反射面及び前記第2反射面を配置し、最外周部に前記第1透過面を配置したことを特徴とする。

【0008】

また、前記第1反射面は、前記第2透過面と同一位置、同一形状の面であることを特徴とする。

20

【0009】

また、前記第1反射面は、前記第4透過面と同一位置、同一形状の面であることを特徴とする。

【0010】

また、前記第2反射面は、前記第3透過面と同一位置、同一形状の面であることを特徴とする。

【0011】

また、前記第1反射面及び前記第2反射面は、全反射作用を有することを特徴とする。

【0012】

また、前記第1透過面は、円柱又は円錐状の面であることを特徴とする。

30

【0013】

また、前記第1反射面と前記第2反射面のうち少なくとも1面は、対称面を持たない任意形状の線分を中心軸の周りで回転させて形成される拡張回転自由曲面で構成されていることを特徴とする。

【0014】

また、前記透明媒体の有する面のうち少なくとも1面は、奇数次項を含む任意形状の線分を中心軸の周りで回転させて形状される拡張回転自由曲面で構成されていることを特徴とする。

【0015】

さらに、本発明の光学素子を備えた光学系は、前記直視光路は、前記中心軸近傍の物点を撮像又は投影し、前記側視光路は、前記中心軸周辺の物点を撮像又は投影することを特徴とする。

40

【0016】

また、前記側視光路と前記直視光路は、前記光学素子の一部を共有使用し、前記直視光路の円形状の映像と、その外周の前記側視光路の円環状の映像を同一平面内に形成することを特徴とする。

【0017】

また、前記第2反射面は、前記開口側に凹面を向けて配置されることを特徴とする。

【0018】

50

また、前記第 1 反射面は、前記開口側に凹面を向けて配置されることを特徴とする。

【0019】

また、前記側視光路の映像は、光路中で中間像を形成しないことを特徴とする。

【0020】

また、前記光学素子の外形を D とするとき

$$D < 10 \text{ mm} \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【0021】

また、前記側視光路の像の外形を D_r とするとき、

$$D / D_r < 2 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【0022】

さらに、前記光学系を用いる内視鏡を特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

以上の本発明の光学系においては、簡単な構成で異なる方向を観察又は異なる方向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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、実施例に基づいて本発明の光学素子及びそれを備えた光学系について説明する。

【0025】

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。

【0026】

本発明の光学系 1 は、中心軸 2 に対して回転対称で、負のパワーを有する前群 G_f と、開口 S と、正のパワーを有する後群 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。

【0027】

実施例 1 の光学系 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な前群 G_f と、中心軸 2 の周りで回転対称な後群 G_b とからなり、前群 G_f を負のパワーを有する第 1 群 G_1 と光路合成光学系である第 2 群 G_2 から構成され、開口 S の後ろ側に後群 G_b である正パワーを有する第 3 群 G_3 、接合レンズで正パワーを有する第 4 群 G_4 からなる光学系である。

【0028】

この実施例では、前群の第 2 群 G_2 が側視光路 A と直視光路 B を有し、後群 G_b の第 3 群 G_3 と第 4 群 G_4 は第 2 群 G_2 で合成された空中像を結像する作用を有し、1 つの撮像面 5 上に、直視光路 B により中心軸 2 上の映像を像中心に円形に形成し、その外側に異なる側視光路 A の映像を円環状に形成する働きを持つ。

【0029】

開口 S 付近に配置された並行平板はフィルター F 等として作用する。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。

【0030】

また、前群 G_f を負、後群 G_b を正にすることにより、所謂レトロフォーカスタイプとなり、中心軸 2 上の物点に対する直視光路 B に対して、特に観察画角を広く取りたい場合に有効である。

【0031】

本発明の光学素子は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体 L_2 からなり、透明媒体 L_2 は、第 1 透過面 2 1 と、第 1 透過面 2 1 より中心軸 2 側に配置された第 1 反射面 2 2 と、第 1 反射面 2 2 に対して像面 5 と反対側に配置された第 2 反射面

10

20

30

40

50

23と、第2反射面23より像面5側に配置された第2透過面24と、第3透過面25と、第3透過面25より像面5側に配置された第4透過面26を有し、透明媒体L2に入射する光束は、側視光路Aと直視光路Bとを有し、順光線追跡の順に、側視光路Aは、第1透過面21を経て透明媒体L2内に入り、第1反射面22で像面5と反対側に反射され、第2反射面23で像面5側に反射され、第2透過面24を経て透明媒体L2から像面5側に外へ出る略Z字状の光路を構成し、直視光路Bは、第3透過面25を経て透明媒体L2内に入り、第4透過面26を経て透明媒体L2から像面5側に外へ出る光路を構成する。

【0032】

この構成により、側視光路Aの第1反射面22及び第2反射面23への入射角度を比較的小さくすることが可能となり、反射面で発生する偏心収差の発生を少なくすることが可能となる。また、中心軸2近傍を撮像する直視光路Bの中心軸2近傍の像の連続性が保たれ、滑らかな中心映像を形成することが可能となる。

10

【0033】

また、側視光路Aを中心軸の片側のみで構成することにより、光学素子内の光路が中心軸2を跨ぐことがなくなり、光学素子を薄くすることが可能となる。

【0034】

また、中心軸2近傍に第2透過面24を配置し、その周辺部に第1反射面22及び第2反射面23を配置し、最周辺部に第1透過面21を配置したので、側視光路Aは略中心軸2と直交する方向から入射し、第1反射面22及び第2反射面23で反射後、第2透過面24を通過する構成にすることが可能となり、第1反射面21及び第2反射面23を内面反射面として構成することが可能となる。そして、内面反射面にすることにより、偏心収差の発生を小さくすることが可能となる。

20

【0035】

また、第1反射面22と第2透過面24、第1反射面22と第4透過面26、第2反射面23と第3透過面25をそれぞれ同一位置同一形状で構成することにより加工性が向上して、製作が容易になる。開口側の面では直視光路Bと側視光路Aの光束の分離がしにくいので、特に、第1反射面22と第2透過面24を同一位置同一形状にすることにより両映像の間の何も映らない領域を小さくすることが可能である。

【0036】

また、第1反射面22及び第2反射面23は、全反射作用を有することにより、反射膜を付ける必要がなくなり、試作が容易になると同時に反射率も100%となり、明るい映像を撮像できる。

30

【0037】

また、第1透過面21は、円柱又は円錐状の面であることにより、光学素子を単体で構成することが可能となり、製作上好ましい。

【0038】

また、第1反射面22と第2反射面23のうち少なくとも1面は、対称面を持たない任意形状の線分を中心軸2の周りで回転させて形成される拡張回転自由曲面で構成されていることにより、画角周辺部分の歪みを補正することが可能となる。

40

【0039】

また、透明媒体L2の有する面のうち少なくとも1面は、奇数次項を含む任意形状の線分を中心軸2の周りで回転させて形状される拡張回転自由曲面で構成されていることにより、画角中心に対して上下非対称な形状を与えることが可能であり、収差補正上好ましい。

【0040】

さらに、前群Gfと、前群Gfより像面5側に配置された後群Gbと、前群Gfと後群Gbの間に配置された開口Sとを備え、光学素子は、前群Gfに配置され、直視光路Bは、中心軸2近傍の物点を撮像又は投影し、側視光路Aは、中心軸2周辺の物点を撮像又は投影するので、中心軸2近傍の画角における像の連続性が得られ、鮮明な映像を得ることができ、直視光路Bと側視光路Aが交差しない構成にすることが可能となり、反射面への

50

入射角度を小さくすることが可能となる。また、光学素子を開口 S 周辺に配置すると直視光路 B と側視光路 A の映像が重なってしまう。また、開口 S より像面 5 側に配置すると、結像のために使える光学素子が少なくなってしまう鮮明な像を結像することができなくなってしまう。開口 S より物体側に配置することにより、直視光路 B と側視光路 A が作る像の領域が分離できると同時に、両光路で共有できる光学素子が増え明瞭な映像を形成することが可能となる。

【 0 0 4 1 】

また、側視光路 A と直視光路 B は、光学素子の一部を共有使用し、直視光路 B の円形状の映像と、その外周の側視光路 A の円環状の映像を同一平面内に形成することにより、光学系を小型に構成することが可能となると共に、ひとつの撮像素子で両方の映像を、同時にピントを合わせて鮮明に撮像することが可能となる。

10

【 0 0 4 2 】

また、第 1 反射面 2 2 又は第 2 反射面 2 3 は、開口 S 側に凹面を向けて配置されるので、中心軸 2 と略直交する方向から来る光束を、中心軸 2 方向に反射することにより、側視光路 A と直視光路 B を合成するのに好ましい。また、強い負のパワーを物体側に配置することが可能となり、所謂テレフォトのパワー配置となり、画角を広く取ることが可能となる。

【 0 0 4 3 】

さらに、第 1 反射面 2 2 及び第 2 反射面 2 3 は、開口 S 側に凹面を向けて配置されるので、反射面のパワー配置は負正となりテレフォトタイプのパワー配置になり、画角を広く取れる。また側視光路 A のコマ収差の発生も少なくなり好ましい。

20

【 0 0 4 4 】

また、側視光路 A の映像は、光路中で中間像を形成しないので、光学系の全長を短くすることが可能となり、光学系の小型化に大きく貢献する。

【 0 0 4 5 】

さらに好ましくは、光学素子の外形を D とするとき

$$D < 10 \text{ mm} \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することが好ましい。

【 0 0 4 6 】

特に、内視鏡の撮像系として使用する場合は上記条件式を満足することが被験者への負担を減らす意味で好ましい。

30

【 0 0 4 7 】

さらに好ましくは、反射光路の像の外形を D_r とするとき、

$$D / D_r < 2 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することが好ましい。

【 0 0 4 8 】

上限を超えると光学系 1 の全体の外形に対して撮像エリアが小さくなりすぎ、撮像素子のノイズ等により良好な映像を撮影することができなくなってしまう。

【 0 0 4 9 】

以下に、本発明の光学系の実施例 1 ~ 5 を説明する。これら光学系の構成パラメータは後記する。

40

【 0 0 5 0 】

座標系は、順光線追跡において、例えば図 1 に示すように、側視物体面 3 から第 1 面に向かう中心主光線の延長が中心軸 2 と交差する点を偏心光学面の原点 O とし、側視物体面 3 とは中心軸 2 に対して反対側の中心軸 2 に直交する方向を Y 軸正方向とし、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。なお、4 は直視物体面を示す。

【 0 0 5 1 】

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

50

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。

【0052】

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。

10

【0053】

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。

【0054】

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。

【0055】

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

20

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。

【0056】

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。

【0057】

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。

30

【0058】

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

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。

【0059】

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、その後に 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。

40

【0060】

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。

【0061】

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。

【0062】

ここで、R Y は Y - Z 断面での球面頂の曲率半径、 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。

【0063】

50

なお、Y軸に平行な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、 $RY = C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, \dots = 0$ とし、 $\theta = (\text{円錐面の傾き角})$ 、 $R = (\text{X-Z面内での底面の半径})$ として与えられる。

【0064】

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。

【0065】

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側視光路の横収差図を図4、直視光路の横収差図を図5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。

10

【0066】

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より大きい透明媒体の透過面及び反射面を、側視光路内で共通に使用することなくすべて異なる面で構成した例である。

【0067】

光学系1は、中心軸2の周りで回転対称な前群Gfと、中心軸2の周りで回転対称な後群Gbと、前群Gfと後群Gbの間に中心軸2に同軸に配置された開口5とからなり、前群Gfは、第1群G1と第2群G2、後群Gbは、第3群G3と第4群G4と第5群G5からなる。

20

【0068】

第1群G1は、像面5側に凹面を向けた平凹負レンズL1からなる。平凹負レンズL1は、曲率半径無限大の直視第1透過面11と、直視第1透過面11より像面5側に配置される直視第2透過面12をもつ。

【0069】

第2群G2は、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい透明媒体L2からなり、側視光路Aと、直視光路Bとを合成する光路合成光学系である。透明媒体L2は、側視物体面3に対向し、外側に配置され、中心軸2に平行なシリンドリカル状の側視第1透過面21と、透明媒体L2の内部に形成され、側視第1透過面21より中心軸2側に形成され、トーリック面からなり、負のパワーをもつ側視第1反射面22と、透明媒体L2の内部に形成され、側視第1反射面22より像面5と反対側に配置され、トーリック面からなり、正のパワーをもつ側視第2反射面23と、側視第2反射面23より像面5側に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ側視第2透過面24をもつ。また、球面からなり、負のパワーをもつ直視第3透過面25と、直視第3透過面25より像面5側に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ直視第4透過面26をもつ。なお、側視第2透過面24と直視第4透過面26は同一面である。

30

40

【0070】

第3群G3は、像面5側に凸面を向けた正メニスカスレンズL3からなり、共通第1透過面31と、共通第1透過面31より像面5側に配置される共通第2透過面32をもつ。

【0071】

第4群G4は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズL4と両凸正レンズL5の接合レンズからなり、共通第3透過面41と、共通第3透過面41より像面5側に配置される接合面45と、接合面45より像面5側に配置される共通第4透過面51をもつ。

【0072】

第5群G5は、両凸正レンズL6と両凹負レンズL7の接合レンズからなり、共通第5透過面61と、共通第5透過面61より像面5側に配置される接合面67と、接合面67

50

より像面 5 側に配置される共通第 6 透過面 7 1 をもつ。

【 0 0 7 3 】

光学系 1 は、側視光路 A と、直視光路 B とを形成する。側視光路 A においては、光学系 1 側方の側視物体面 3 から入射する光束は、前群 G f のうち第 2 群 G 2 と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 から外れた外側に円環状に映像を形成する。また、直視光路 B においては、光学系 1 の中心軸 2 近傍の直視物体面 4 から入射する光束は、前群 G f と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 近傍に円形に映像を形成する。

【 0 0 7 4 】

側視光路 A として光学系 1 の側方から入射する光束は、前群 G f の第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に側視第 1 透過面 2 1 を経て入り、中心軸 2 側の側視第 1 反射面 2 2 で像面 5 と反対側に反射され、側視第 2 反射面 2 3 で像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 2 4 を経て透明媒体 L 2 から外に出る略 Z 字状の光路を有する。

【 0 0 7 5 】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の正メニスカスレンズ L 3 内に中心軸 2 を挟んで反対側で共通第 1 透過面 3 1 を経て入り、共通第 2 透過面 3 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 4 と両凸正レンズ L 5 の接合レンズ内に共通第 3 透過面 4 1 を経て入り、接合面 4 5 を経て、共通第 4 透過面 4 2 から外に出て、第 5 群 G 5 の両凸正レンズ L 6 と両凹負レンズ L 7 の接合レンズ内に共通第 5 透過面 6 1 を経て入り、接合面 6 7 を経て、共通第 6 透過面 7 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 から外れた半径方向の所定位置に結像する。

【 0 0 7 6 】

また、直視光路 B として光学系 1 に入射する光束は、前群 G f の第 1 群 G 1 の透明媒体 L 1 内に直視第 1 透過面 1 1 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 2 透過面 1 2 を経て透明媒体 L 1 から外に出て、第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に直視第 3 透過面 2 5 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 4 透過面 2 6 を経て透明媒体 L 2 から外に出る。

【 0 0 7 7 】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の正メニスカスレンズ L 3 内に共通第 1 透過面 3 1 を経て入り、共通第 2 透過面 3 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 4 と両凸正レンズ L 5 の接合レンズ内に共通第 3 透過面 4 1 を経て入り、接合面 4 5 を経て、共通第 4 透過面 4 2 から外に出て、第 5 群 G 5 の両凸正レンズ L 6 と両凹負レンズ L 7 の接合レンズ内に共通第 5 透過面 6 1 を経て入り、接合面 6 7 を経て、共通第 6 透過面 7 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

【 0 0 7 8 】

この実施例 1 の仕様は、

| | |
|-----------|-------------|
| 画角（側視） | 60° ~ 120° |
| 画角（直視） | 0° ~ 60° |
| 入射瞳径（側視） | 0.10 mm |
| （直視） | 0.42 mm |
| 像の大きさ（側視） | 3.80 ~ 4.96 |
| （直視） | 2.88 |

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 6 に示す。また、この実施例の光学系全体の側視光路の横収差図を図 7、直視光路の横収差図を図 8 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。

【 0 0 7 9 】

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 より大きい透明媒体の透過面及び反射面のうち、側視光路 A の側視第 1 反射面 2 2 と側視第 2 透過面 2 4、及び、側視光路 A の側視第 2 反射面 2 3 と直視光路 B の直視第 3 透過面 2 5 を同一位置同一形状で構成した例である。

【 0 0 8 0 】

光学系 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な前群 G f と、中心軸 2 の周りで回転対称な後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置された開口 5 とからなり、前群 G f は、第 1 群 G 1 と第 2 群 G 2、後群 G b は、第 3 群 G 3 と第 4 群 G 4 からなる。

【 0 0 8 1 】

第 1 群 G 1 は、像面 5 側に凹面を向けた平凹負レンズ L 1 からなる。平凹負レンズ L 1 は、曲率半径無限大の直視第 1 透過面 1 1 と、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置される直視第 2 透過面 1 2 をもつ。

【 0 0 8 2 】

第 2 群 G 2 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体 L 2 からなり、側視光路 A と、直視光路 B とを合成する光路合成光学系である。透明媒体 L 2 は、側視物体面 3 に対向し、外側に配置され、中心軸 2 に平行なシリンドリカル状の側視第 1 透過面 2 1 と、透明媒体 L 2 の内部に形成され、側視第 1 透過面 2 1 より中心軸 2 側に形成され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第 1 反射面 2 2 と、透明媒体 L 2 の内部に形成され、側視第 1 反射面 2 2 より像面 5 と反対側に配置され、球面からなり、正のパワーをもつ側視第 2 反射面 2 3 と、側視第 2 反射面 2 3 より像面 5 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第 2 透過面 2 4 をもつ。また、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 3 透過面 2 5 と、直視第 3 透過面 2 5 より像面 5 側に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 4 透過面 2 6 をもつ。なお、側視第 1 反射面 2 2 と側視第 2 透過面 2 4 は同一面であり、側視第 2 反射面 2 3 と直視第 3 透過面 2 5 は同一面である。

【 0 0 8 3 】

第 3 群 G 3 は、像面 5 側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 3 からなり、共通第 1 透過面 3 1 と、共通第 1 透過面 3 1 より像面 5 側に配置される共通第 2 透過面 3 2 をもつ。

【 0 0 8 4 】

第 4 群 G 4 は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 4 と両凸正レンズ L 5 の接合レンズからなり、共通第 3 透過面 4 1 と、共通第 3 透過面 4 1 より像面 5 側に配置される接合面 4 5 と、接合面 4 5 より像面 5 側に配置される共通第 4 透過面 5 1 をもつ。

【 0 0 8 5 】

光学系 1 は、側視光路 A と、直視光路 B とを形成する。側視光路 A においては、光学系 1 側方の側視物体面 3 から入射する光束は、前群 G f のうち第 2 群 G 2 と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 から外れた外側に円環状に映像を形成する。また、直視光路 B においては、光学系 1 の中心軸 2 近傍の直視物体面 4 から入射する光束は、前群 G f と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 近傍に円形に映像を形成する。

【 0 0 8 6 】

側視光路 A として光学系 1 の側方から入射する光束は、前群 G f の第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に側視第 1 透過面 2 1 を経て入り、中心軸 2 側の側視第 1 反射面 2 2 で像面 5 と反対側に反射され、側視第 2 反射面 2 3 で像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 2 4 を経て透明媒体 L 2 から外に出る略 Z 字状の光路を有する。

【 0 0 8 7 】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の正メニスカスレンズ L 3 内に中心軸 2 を挟んで反対側で共通第 1 透過面 3 1 を経て入り、共通第 2 透過面 3 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 4 内に共通第 3 透過面 4 1 を経て入り、接合面 4 5 を経て、両凸正レンズ L 5 の共通第 4 透過面 5 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 から外れた半径方向の所定位置

10

20

30

40

50

に結像する。

【0088】

また、直視光路 B として光学系 1 に入射する光束は、前群 G f の第 1 群 G 1 の透明媒体 L 1 内に直視第 1 透過面 1 1 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 2 透過面 1 2 を経て透明媒体 L 1 から外に出て、第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に直視第 3 透過面 2 5 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 4 透過面 2 6 を経て透明媒体 L 2 から外に出る。

【0089】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の正メニスカスレンズ L 3 内に共通第 1 透過面 3 1 を経て入り、共通第 2 透過面 3 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 4 内に共通第 3 透過面 4 1 を経て入り、接合面 4 5 を経て、両凸正レンズ L 5 の共通第 4 透過面 5 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

【0090】

この実施例 2 の仕様は、

| | |
|-----------|-------------|
| 画角（側視） | 60° ~ 120° |
| 画角（直視） | 0° ~ 60° |
| 入射瞳径（側視） | 0.13 mm |
| （直視） | 0.68 mm |
| 像の大きさ（側視） | 3.87 ~ 4.90 |
| （直視） | 2.83 |

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 9 に示す。また、この実施例の光学系全体の側視光路の横収差図を図 10、直視光路の横収差図を図 11 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。

【0091】

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 より大きい透明媒体の透過面及び反射面のうち、側視光路 A の側視第 1 反射面 2 2 と側視第 2 透過面 2 4 と直視光路 B の直視第 4 透過面 2 6、及び、側視光路 A の側視第 2 反射面 2 3 と直視光路 B の直視第 3 透過面 2 5 を同一位置同一形状で構成した例である。

【0092】

光学系 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な前群 G f と、中心軸 2 の周りで回転対称な後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置された開口 5 とからなり、前群 G f は、第 1 群 G 1 と第 2 群 G 2、後群 G b は、第 3 群 G 3 と第 4 群 G 4 からなる。

【0093】

第 1 群 G 1 は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 からなる。負メニスカスレンズ L 1 は、直視第 1 透過面 1 1 と、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置される直視第 2 透過面 1 2 をもつ。

【0094】

第 2 群 G 2 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体 L 2 と、両凹負レンズ L 3 とからなり、側視光路 A と、直視光路 B とを合成する光路合成光学系である。

【0095】

透明媒体 L 2 は、側視物体面 3 に対向し、外側に配置され、中心軸 2 に平行なシリンドリカル状の側視第 1 透過面 2 1 と、透明媒体 L 2 の内部に形成され、側視第 1 透過面 2 1 より中心軸 2 側に形成され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第 1 反射面 2 2 と、透明媒体 L 2 の内部に形成され、側視第 1 反射面 2 2 より像面 5 と反対側に配置され、球面からなり、正のパワーをもつ側視第 2 反射面 2 3 と、側視第 2 反射面 2 3 より像面 5 側

10

20

30

40

50

に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第2透過面24をもつ。また、球面からなり、負のパワーをもつ直視第3透過面25と、直視第3透過面25より像面5側に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ直視第4透過面26をもつ。なお、側視第1反射面22と側視第2透過面24は同一面である。

【0096】

両凹負レンズL3は、球面からなり、負のパワーをもつ側視第3透過面31と負のパワーをもつ側視第4透過面32及び負のパワーをもつ直視第5透過面33と負のパワーをもつ直視第6透過面34をもつ。なお、側視第3透過面31と直視第5透過面33は、同一面であり、側視第4透過面32と直視第6透過面34は、同一面である。

【0097】

第3群G3は、像面5側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と像面5側に凸面を向けた正メニスカスレンズL5の接合レンズからなり、共通第1透過面41と、共通第1透過面41より像面5側に配置される接合面45と、接合面45より像面5側に配置される共通第2透過面51をもつ。

【0098】

第4群G4は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズL6と両凸正レンズL7の接合レンズからなり、共通第3透過面61と、共通第3透過面61より像面5側に配置される接合面67と、接合面67より像面5側に配置される共通第4透過面71をもつ。

【0099】

光学系1は、側視光路Aと、直視光路Bとを形成する。側視光路Aにおいては、光学系1側方の側視物体面3から入射する光束は、前群Gfのうち第2群G2と後群Gbを順に経て中心軸2に垂直な像面5の中心軸2から外れた外側に円環状に映像を形成する。また、直視光路Bにおいては、光学系1の中心軸2近傍の直視物体面4から入射する光束は、前群Gfと後群Gbを順に経て中心軸2に垂直な像面5の中心軸2近傍に円形に映像を形成する。

【0100】

側視光路Aとして光学系1の側方から入射する光束は、前群Gfの第2群G2の透明媒体L2内に側視第1透過面21を経て入り、中心軸2側の側視第1反射面22で像面5と反対側に反射され、側視第2反射面23で像面5側に反射され、側視第2透過面24を経て透明媒体L2から外に出る略Z字状の光路を有する。そして、透明媒体L3内に側視第3透過面31から入り、側視第4透過面32を経て透明媒体L3から外に出る

その後、前群Gfと後群Gbの間に中心軸2に同軸に配置され絞りを構成する開口5を経て、後群Gbの第3群G3の負メニスカスレンズL4と正メニスカスレンズL5の接合レンズ内に中心軸2を挟んで反対側で共通第1透過面41を経て入り、接合面45を経て、共通第2透過面51から外に出て、第4群G4の負メニスカスレンズL6と両凸正レンズL7の接合レンズ内に共通第3透過面61を経て入り、接合面67を経て、共通第4透過面71から外に出て、像面5の中心軸2から外れた半径方向の所定位置に結像する。

【0101】

また、直視光路Bとして光学系1に入射する光束は、前群Gfの第1群G1の透明媒体L1内に直視第1透過面11を経て入り、直視第1透過面11より像面5側に配置された直視第2透過面12を経て透明媒体L1から外に出て、第2群G2の透明媒体L2内に直視第3透過面25を経て入り、直視第1透過面11より像面5側に配置された直視第4透過面26を経て透明媒体L2から外に出て、透明媒体L3内に直視第5透過面33を経て入り、直視第5透過面33より像面5側に配置された直視第6透過面34を経て透明媒体L3から外に出る。

【0102】

その後、前群Gfと後群Gbの間に中心軸2に同軸に配置され絞りを構成する開口5を経て、後群Gbの第3群G3の負メニスカスレンズL4と正メニスカスレンズL5の接合レンズ内に共通第1透過面41を経て入り、接合面45を経て、共通第2透過面51から外に出て、第4群G4の負メニスカスレンズL6と両凸正レンズL7の接合レンズ内に共

10

20

30

40

50

通第 3 透過面 6 1 を経て入り、接合面 6 7 を経て、共通第 4 透過面 7 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

【 0 1 0 3 】

この実施例 3 の仕様は、

| | |
|-----------|-------------|
| 画角（側視） | 60° ~ 120° |
| 画角（直視） | 0° ~ 60° |
| 入射瞳径（側視） | 0.09 mm |
| （直視） | 0.49 mm |
| 像の大きさ（側視） | 3.78 ~ 4.94 |
| （直視） | 2.96 |

10

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 1 2 に示す。また、この実施例の光学系全体の側視光路の横収差図を図 1 3、直視光路の横収差図を図 1 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。

【 0 1 0 4 】

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 より大きい透明媒体の透過面及び反射面のうち、側視光路 A の側視第 1 反射面 2 2 と側視第 2 透過面 2 4 と直視光路 B の直視第 4 透過面 2 6、及び、側視光路 A の側視第 2 反射面 2 3 と直視光路 B の直視第 3 透過面 2 5 を同一位置同一形状で構成した例である。

20

【 0 1 0 5 】

光学系 1 は、中心軸 2 の周りで回転対称な前群 G f と、中心軸 2 の周りで回転対称な後群 G b と、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置された開口 5 とからなり、前群 G f は、第 1 群 G 1 と第 2 群 G 2、後群 G b は、第 3 群 G 3 と第 4 群 G 4 からなる。

【 0 1 0 6 】

第 1 群 G 1 は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 と像面 5 側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 とからなる。負メニスカスレンズ L 1 は、直視第 1 透過面 1 1 と、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置される直視第 2 透過面 1 2 をもつ。負メニスカスレンズ L 2 は、直視第 3 透過面 2 1 と、直視第 3 透過面 2 1 より像面 5 側に配置される直視第 4 透過面 2 2 をもつ。

30

【 0 1 0 7 】

第 2 群 G 2 は、中心軸 2 の周りで回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体 L 3 と、両凹負レンズ L 4 とからなり、側視光路 A と、直視光路 B とを合成する光路合成光学系である。

【 0 1 0 8 】

透明媒体 L 3 は、側視物体面 3 に対向し、外側に配置され、中心軸 2 に平行なシリンドリカル状の側視第 1 透過面 3 1 と、透明媒体 L 3 の内部に形成され、側視第 1 透過面 3 1 より中心軸 2 側に形成され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第 1 反射面 3 2 と、透明媒体 L 3 の内部に形成され、側視第 1 反射面 3 2 より像面 5 と反対側に配置され、球面からなり、正のパワーをもつ側視第 2 反射面 3 3 と、側視第 2 反射面 3 3 より像面 5 側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第 2 透過面 3 4 をもつ。また、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 5 透過面 3 5 と、直視第 5 透過面 3 5 より像面 5 側に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 6 透過面 3 6 をもつ。なお、側視第 1 反射面 3 2 と側視第 2 透過面 3 4 と直視第 6 透過面 3 6 は同一面であり、側視第 2 反射面 3 3 と直視第 5 透過面 3 5 は同一面である。

40

【 0 1 0 9 】

両凹負レンズ L 4 は、球面からなり、負のパワーをもつ側視第 3 透過面 4 1 と負のパワーをもつ側視第 4 透過面 4 2 及び負のパワーをもつ直視第 5 透過面 4 3 と負のパワーをも

50

つ直視第 6 透過面 4 4 をもつ。なお、側視第 3 透過面 4 1 と直視第 5 透過面 4 3 は、同一面であり、側視第 4 透過面 4 2 と直視第 6 透過面 4 4 は、同一面である。

【 0 1 1 0 】

第 3 群 G 3 は、両凹負レンズ L 5 と両凸正レンズ L 6 の接合レンズからなり、共通第 1 透過面 5 1 と、共通第 1 透過面 5 1 より像面 5 側に配置される接合面 5 6 と、接合面 5 6 より像面 5 側に配置される共通第 2 透過面 6 1 をもつ。

【 0 1 1 1 】

第 4 群 G 4 は、像面側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 7 と両凸正レンズ L 8 の接合レンズからなり、共通第 3 透過面 7 1 と、共通第 3 透過面 7 1 より像面 5 側に配置される接合面 7 8 と、接合面 7 8 より像面 5 側に配置される共通第 4 透過面 8 1 をもつ。

10

【 0 1 1 2 】

光学系 1 は、側視光路 A と、直視光路 B とを形成する。側視光路 A においては、光学系 1 側方の側視物体面 3 から入射する光束は、前群 G f のうち第 2 群 G 2 と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 から外れた外側に円環状に映像を形成する。また、直視光路 B においては、光学系 1 の中心軸 2 近傍の直視物体面 4 から入射する光束は、前群 G f と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 近傍に円形に映像を形成する。

【 0 1 1 3 】

側視光路 A として光学系 1 の側方から入射する光束は、前群 G f の第 2 群 G 2 の透明媒体 L 3 内に側視第 1 透過面 3 1 を経て入り、中心軸 2 側の側視第 1 反射面 3 2 で像面 5 と反対側に反射され、側視第 2 反射面 3 3 で像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 3 4 を経て透明媒体 L 2 から外に出る略 Z 字状の光路を有する。そして、透明媒体 L 4 内に側視第 3 透過面 4 1 から入り、側視第 4 透過面 4 2 を経て透明媒体 L 3 から外に出る

20

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の両凹負レンズ L 5 と両凸正レンズ L 6 の接合レンズ内に中心軸 2 を挟んで反対側で共通第 1 透過面 5 1 を経て入り、接合面 5 6 を経て、共通第 2 透過面 6 1 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 7 と両凸正レンズ L 8 の接合レンズ内に共通第 3 透過面 7 1 を経て入り、接合面 7 8 を経て、共通第 4 透過面 8 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 から外れた半径方向の所定位置に結像する。

【 0 1 1 4 】

30

また、直視光路 B として光学系 1 に入射する光束は、前群 G f の第 1 群 G 1 の透明媒体 L 1 内に直視第 1 透過面 1 1 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 2 透過面 1 2 を経て透明媒体 L 1 から外に出て、第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に直視第 3 透過面 2 5 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 4 透過面 2 6 を経て透明媒体 L 2 から外に出て、透明媒体 L 3 内に直視第 5 透過面 3 3 を経て入り、直視第 5 透過面 3 3 より像面 5 側に配置された直視第 6 透過面 3 4 を経て透明媒体 L 3 から外に出て、透明媒体 L 4 内に直視第 7 透過面 4 3 を経て入り、直視第 7 透過面 4 3 より像面 5 側に配置された直視第 8 透過面 4 4 を経て透明媒体 L 4 から外に出る。

【 0 1 1 5 】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の両凹負レンズ L 5 と両凸正レンズ L 6 の接合レンズ内に共通第 1 透過面 5 1 を経て入り、接合面 5 6 を経て、共通第 2 透過面 6 1 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 7 と両凸正レンズ L 8 の接合レンズ内に共通第 3 透過面 7 1 を経て入り、接合面 7 8 を経て、共通第 4 透過面 8 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

40

【 0 1 1 6 】

この実施例 4 の仕様は、

| | |
|----------|------------|
| 画角（側視） | 60° ~ 120° |
| 画角（直視） | 0° ~ 60° |
| 入射瞳径（側視） | 0.11 mm |

50

(直視) 0.46 mm
 像の大きさ(側視) 3.77 ~ 4.94
 (直視) 2.97

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15に示す。また、この実施例の光学系全体の側視光路の横収差図を図16、直視光路の横収差図を図17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。

10

【0117】

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より大きい透明媒体の透過面及び反射面のうち、側視光路Aの側視第1反射面22と側視第2透過面24と直視光路Bの直視第4透過面26、及び、側視光路Aの側視第2反射面23と直視光路Bの直視第3透過面25を同一位置同一形状で構成し、既存の光学系の先端に取り付けるアタッチメント光学系として構成した例である。図中、矢印は理想レンズを示している。

【0118】

光学系1は、中心軸2の周りで回転対称な前群Gfと、理想レンズからなる後群Gbと、前群Gfと後群Gbの間に中心軸2に同軸に配置された開口5とからなり、前群Gfは、第1群G1と第2群G2、後群Gbは、理想レンズL0からなる。

20

【0119】

第1群G1は、物体面側に凸面を向けた負メニスカスレンズL1からなり、直視第1透過面11と、直視第1透過面11より像面5側に配置され、負のパワーをもつ直視第2透過面12をもつ。

【0120】

第2群G2は、中心軸2の周りで回転対称な屈折率が1より大きい透明媒体L2と、像面5側に凸面を向けた負メニスカスレンズL3とからなり、側視光路Aと、直視光路Bとを合成する光路合成光学系である。

【0121】

透明媒体L2は、側視物体面3に対向し、外側に配置され、中心軸2に平行なシリンダリカル状の側視第1透過面21と、透明媒体L2の内部に形成され、側視第1透過面21より中心軸2側に形成され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第1反射面22と、透明媒体L2の内部に形成され、側視第1反射面22より像面5と反対側に配置され、非球面からなり、正のパワーをもつ側視第2反射面23と、側視第2反射面23より像面5側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ側視第2透過面24をもつ。また、非球面からなり、負のパワーをもつ直視第3透過面25と、直視第3透過面25より像面5側に配置され、非球面からなり、負のパワーをもつ直視第4透過面26をもつ。なお、側視第1反射面22と側視第2透過面24と直視第4透過面26は同一面であり、側視第2反射面23と直視第3透過面25は同一面である。

30

【0122】

負メニスカスレンズL3は、側視第3透過面31と側視第4透過面32及び直視第5透過面33と直視第6透過面34をもつ。なお、側視第3透過面31と直視第5透過面33は、同一面であり、側視第4透過面32と直視第6透過面34は、同一面である。

40

【0123】

後群Gbは、理想レンズL0である。

【0124】

光学系1は、側視光路Aと、直視光路Bとを形成する。側視光路Aにおいては、光学系1側方の側視物体面3から入射する光束は、前群Gfのうち第2群G2と後群Gbを順に経て中心軸2に垂直な像面5の中心軸2から外れた外側に円環状に映像を形成する。また、直視光路Bにおいては、光学系1の中心軸2近傍の直視物体面4から入射する光束は、

50

前群 G f と後群 G b を順に経て中心軸 2 に垂直な像面 5 の中心軸 2 近傍に円形に映像を形成する。

【 0 1 2 5 】

側視光路 A として光学系 1 の側方から入射する光束は、前群 G f の第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に側視第 1 透過面 2 1 を経て入り、中心軸 2 側の側視第 1 反射面 2 2 で像面 5 と反対側に反射され、側視第 2 反射面 2 3 で像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 2 4 を経て透明媒体 L 2 から外に出る略 Z 字状の光路を有する。そして、透明媒体 L 3 内に側視第 3 透過面 3 1 から入り、側視第 4 透過面 3 2 を経て透明媒体 L 3 から外に出る

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の理想レンズ L 0 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結像する。

10

【 0 1 2 6 】

また、直視光路 B として光学系 1 に入射する光束は、前群 G f の第 1 群 G 1 の透明媒体 L 1 内に直視第 1 透過面 1 1 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 2 透過面 1 2 を経て透明媒体 L 1 から外に出て、第 2 群 G 2 の透明媒体 L 2 内に直視第 3 透過面 2 5 を経て入り、直視第 1 透過面 1 1 より像面 5 側に配置された直視第 4 透過面 2 6 を経て透明媒体 L 2 から外に出て、透明媒体 L 3 内に直視第 5 透過面 3 3 を経て入り、直視第 5 透過面 3 3 より像面 5 側に配置された直視第 6 透過面 3 4 を経て透明媒体 L 3 から外に出る。

20

【 0 1 2 7 】

その後、前群 G f と後群 G b の間に中心軸 2 に同軸に配置され絞りを構成する開口 5 を経て、後群 G b の理想レンズ L 0 を経て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

【 0 1 2 8 】

この実施例 5 の仕様は、

- 画角（側視） 60° ~ 120°
- 画角（直視） 0° ~ 60°
- 入射瞳径（側視） 0.08 mm
- （直視） 0.37 mm
- 像の大きさ（側視） 3.74 ~ 4.99
- （直視） 2.86

30

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 “ A S S ” は非球面、“ E R F S ” は拡張回転自由曲面を、“ R E ” は反射面を示す。

【 0 1 2 9 】

実施例 1

側視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッペ数 |
|-----|---------------------|------|-------|--------|------|
| 物体面 | | | 偏心(1) | | |
| 1 | E R F S [1] | | 偏心(2) | 1.8348 | 42.7 |
| 2 | E R F S [2] (R E) | | 偏心(3) | 1.8348 | 42.7 |
| 3 | E R F S [3] (R E) | | 偏心(4) | 1.8348 | 42.7 |
| 4 | E R F S [4] | | 偏心(5) | | |
| 5 | (絞り) | 0.20 | 偏心(6) | | |
| 6 | -0.89 | 0.80 | | 1.7440 | 44.8 |
| 7 | -1.26 | 0.10 | | | |
| 8 | 6.06 | 0.50 | | 1.7502 | 33.2 |
| 9 | 3.02 | 1.60 | | 1.5174 | 67.3 |
| 10 | -3.73 | 0.10 | | | |
| 11 | 3.78 | 2.20 | | 1.4875 | 70.4 |
| 12 | -2.99 | 0.50 | | 1.7508 | 32.4 |
| 13 | 56.93 | 5.13 | | | |

40

50

| | | | | | | |
|------|-------------|------|-------|--------|-------|----|
| 14 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 | |
| 15 | | 0.10 | | | | |
| 像面 | | | | | | |
| | E R F S [1] | | | | | |
| R Y | | | | | | |
| | 90.00 | | | | | |
| R | -3.00 | | | | | |
| | E R F S [2] | | | | | |
| R Y | 2.56 | | | | | |
| | 31.22 | | | | | 10 |
| R | -2.33 | | | | | |
| | E R F S [3] | | | | | |
| R Y | 4.88 | | | | | |
| | 2.88 | | | | | |
| R | -1.71 | | | | | |
| | E R F S [4] | | | | | |
| R Y | 1.75 | | | | | |
| | 40.71 | | | | | |
| R | -1.14 | | | | | |
| | 偏心(1) | | | | | 20 |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.00 | |
| | 90.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| | 偏心[2] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.03 | |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| | 偏心[3] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.04 | |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| | 偏心[4] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.22 | 30 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| | 偏心[5] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.38 | |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| | 偏心[6] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 1.77 | |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 | |
| 直視光路 | | | | | | |
| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 | |
| 物体面 | | | | | | 40 |
| 1 | | 0.60 | | 1.5163 | 64.1 | |
| 2 | 1.50 | 1.76 | | | | |
| 3 | E R F S [5] | | 偏心(7) | 1.8348 | 42.7 | |
| 4 | E R F S [4] | | 偏心(5) | | | |
| 5 | (絞リ) | 0.20 | 偏心(6) | | | |
| 6 | -0.89 | 0.80 | | 1.7440 | 44.8 | |
| 7 | -1.26 | 0.10 | | | | |
| 8 | 6.06 | 0.50 | | 1.7502 | 33.2 | |
| 9 | 3.02 | 1.60 | | 1.5174 | 67.3 | |
| 10 | -3.73 | 0.10 | | | | 50 |

| | | | | |
|----|-------|------|--------|------|
| 11 | 3.78 | 2.20 | 1.4875 | 70.4 |
| 12 | -2.99 | 0.50 | 1.7508 | 32.4 |
| 13 | 56.93 | 5.13 | | |
| 14 | | 0.40 | 1.5163 | 64.1 |
| 15 | | 0.10 | | |

像 面

E R F S [5]

| | |
|-----|-------|
| R Y | 5.00 |
| | 5.04 |
| R | -0.44 |

10

E R F S [4]

| | |
|-----|-------|
| R Y | 1.75 |
| | 40.71 |
| R | -1.14 |

偏心 (7)

| | | | | | |
|---|------|---|------|---|-------|
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.33 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

偏心 (5)

| | | | | | |
|---|------|---|------|---|-------|
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.38 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

20

偏心 (6)

| | | | | | |
|---|------|---|------|---|------|
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 1.77 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

。

【 0 1 3 0 】

実施例 2

側視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|-----|------|-----|----|-----|------|
|-----|------|-----|----|-----|------|

側視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|-----|------|-----|----|-----|------|
|-----|------|-----|----|-----|------|

物体面

| | | | | | |
|-----|-------------------|------|--------|--------|------|
| 1 | E R F S [1] | | 偏心 (1) | | |
| 2 | A S S [1] (R E) | | 偏心 (2) | 1.8348 | 42.7 |
| 3 | 11.26 (R E) | | 偏心 (3) | 1.8348 | 42.7 |
| 4 | A S S [1] | | 偏心 (4) | 1.8348 | 42.7 |
| 5 | (絞リ) | 0.10 | 偏心 (5) | | |
| 6 | -1.59 | 2.00 | | 1.7292 | 54.7 |
| 7 | -2.02 | 0.10 | | | |
| 8 | 4.80 | 1.00 | | 1.8467 | 23.8 |
| 9 | 2.52 | 2.50 | | 1.7440 | 44.8 |
| 10 | -12.02 | 3.62 | | | |
| 11 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | | 0.10 | | | |
| 像 面 | | 0.00 | | | |

30

40

E R F S [1]

| | |
|-----|-------|
| R Y | 90.00 |
| R | -3.00 |

A S S [1]

| | |
|---|------------|
| R | 3.25 |
| k | -7.5002e-1 |

50

| | | | | | |
|-------|-------|---|------|---|-------|
| 偏心(1) | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.00 |
| | 90.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[2] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.03 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[3] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.91 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[4] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.73 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[5] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.55 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

10

直視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|-----|--------|------|-------|--------|------|
| 物体面 | | | | | |
| 1 | | 0.80 | | 1.7292 | 54.7 |
| 2 | 4.61 | 3.57 | | | |
| 3 | 11.26 | | 偏心(4) | 1.8348 | 42.7 |
| 4 | 3.25 | | 偏心(3) | | |
| 5 | (絞リ) | 0.10 | 偏心(5) | | |
| 6 | -1.59 | 2.00 | | 1.7292 | 54.7 |
| 7 | -2.02 | 0.10 | | | |
| 8 | 4.80 | 1.00 | | 1.8467 | 23.8 |
| 9 | 2.52 | 2.50 | | 1.7440 | 44.8 |
| 10 | -12.02 | 3.62 | | | |
| 11 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | | 0.10 | | | |
| 像面 | | 0.00 | | | |

20

30

| | | | | | |
|-------|------|---|------|---|-------|
| 偏心[4] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.73 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[3] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.91 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| 偏心[5] | | | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.55 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

40

【 0 1 3 1 】

実施例 3

側視光路

| 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 | ERFS[1] | | 偏心(2) | 1.5163 | 64.1 |
| 2 | ASS[1](RE) | | 偏心(3) | 1.5163 | 64.1 |
| 3 | 15.47(RE) | | 偏心(4) | 1.5163 | 64.1 |
| 4 | ASS[1] | | 偏心(3) | | |
| 5 | -8.96 | 0.55 | 偏心(5) | 1.4875 | 70.4 |

50

| | | | | |
|----|--------|------|--------|------|
| 6 | 0.88 | 0.50 | | |
| 7 | (絞リ) | 0.50 | | |
| 8 | -3.52 | 0.50 | 1.7552 | 27.6 |
| 9 | -25.30 | 1.50 | 1.7440 | 44.8 |
| 10 | -2.04 | 0.10 | | |
| 11 | 9.45 | 1.00 | 1.8467 | 23.8 |
| 12 | 2.95 | 2.50 | 1.6204 | 60.3 |
| 13 | -5.81 | 8.41 | | |
| 14 | | 0.40 | 1.5163 | 64.1 |
| 15 | | 0.10 | | |

10

像 面

E R F S [1]

R Y

90.00

R

-3.00

A S S [1]

R

4.01

k

-3.0163e-1

偏 心 (1)

X

| | | | | |
|-------|---|-------|---|------|
| 0.00 | Y | -5.00 | Z | 0.00 |
| 90.00 | | 0.00 | | 0.00 |

20

偏 心 [2]

X

| | | | | |
|------|---|------|---|-------|
| 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.03 |
| 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

偏 心 [3]

X

| | | | | |
|------|---|------|---|-------|
| 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.78 |
| 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

偏 心 [4]

X

| | | | | |
|------|---|------|---|-------|
| 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.37 |
| 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

30

偏 心 [5]

X

| | | | | |
|------|---|------|---|------|
| 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.16 |
| 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

直 視 光 路

| 面 番 号 | 曲 率 半 径 | 面 間 隔 | 偏 心 | 屈 折 率 | ア ッ ペ 数 |
|-------|---------|-------|-----|-------|---------|
|-------|---------|-------|-----|-------|---------|

物 体 面

| | | | | | |
|----|--------|------|---------|--------|------|
| 1 | 8.69 | 0.80 | | 1.5163 | 64.1 |
| 2 | 1.65 | 2.86 | | | |
| 3 | 15.47 | | 偏 心 (4) | 1.8348 | 42.7 |
| 4 | 4.01 | | 偏 心 (3) | | |
| 5 | -8.96 | 0.55 | 偏 心 (5) | 1.4875 | 70.4 |
| 6 | 0.88 | 0.50 | | | |
| 7 | (絞リ) | 0.50 | | | |
| 8 | -3.52 | 0.50 | | 1.7552 | 27.6 |
| 9 | -25.30 | 1.50 | | 1.7440 | 44.8 |
| 10 | -2.04 | 0.10 | | | |
| 11 | 9.45 | 1.00 | | 1.8467 | 23.8 |
| 12 | 2.95 | 2.50 | | 1.6204 | 60.3 |
| 13 | -5.81 | 8.41 | | | |
| 14 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 |

40

50

| | | | | | |
|-----|------|--------|------|------|-------|
| 15 | | | | 0.10 | |
| 像 面 | | | | | |
| | | 偏心 [4] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.37 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 偏心 [3] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.78 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 偏心 [5] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.16 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |

10

。

【 0 1 3 2 】

実施例 4

側視光路

| 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] | | 偏心 (2) | 1.5163 | 64.1 |
| 2 | A S S [1] (R E) | | 偏心 (3) | 1.5163 | 64.1 |
| 3 | 14.19 (R E) | | 偏心 (4) | 1.5163 | 64.1 |
| 4 | A S S [1] | | 偏心 (3) | | |
| 5 | -3.01 | 0.55 | 偏心 (5) | 1.4875 | 70.4 |
| 6 | 1.10 | 0.50 | | | |
| 7 | (絞リ) | 0.50 | | | |
| 8 | -4.75 | 0.50 | | 1.7209 | 29.1 |
| 9 | 43.27 | 1.50 | | 1.7440 | 44.8 |
| 10 | -2.26 | 0.10 | | | |
| 11 | 16.57 | 1.00 | | 1.8467 | 23.8 |
| 12 | 3.66 | 2.50 | | 1.6204 | 60.3 |
| 13 | -4.87 | 9.25 | | | |
| 14 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 |
| 15 | | 0.10 | | | |

20

30

像 面

| | | | | | |
|-----|------------|-------------|------|---|-------|
| | | E R F S [1] | | | |
| R Y | | | | | |
| | 90.00 | | | | |
| R | -4.00 | | | | |
| | | A S S [1] | | | |
| R | 4.40 | | | | |
| k | -7.3106e-1 | | | | |
| | | 偏心 (1) | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | 0.00 |
| | 90.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 偏心 [2] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -0.02 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 偏心 [3] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -1.12 |
| | 0.00 | | 0.00 | | 0.00 |
| | | 偏心 [4] | | | |
| X | 0.00 | Y | 0.00 | Z | -2.28 |

40

50

0.00 0.00 0.00
 偏心[5]
 X 0.00 Y 0.00 Z 0.06
 0.00 0.00 0.00

直視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッペ数 |
|-----|-----------|------|-------|--------|------|
| 物体面 | | | | | |
| 1 | 9.42 | 0.80 | | 1.5163 | 64.1 |
| 2 | 2.13 | 2.35 | | | |
| 3 | -4.29 | 0.80 | | 1.5163 | 64.1 |
| 4 | -3.86 | 2.38 | | | |
| 5 | 14.19 | 0.00 | 偏心(5) | 1.8348 | 42.7 |
| 6 | A S S [1] | 0.00 | 偏心(4) | | |
| 7 | -3.01 | 0.55 | 偏心(6) | 1.4875 | 70.4 |
| 8 | 1.10 | 0.50 | | | |
| 9 | (絞リ) | 0.50 | | | |
| 10 | -4.75 | 0.50 | | 1.7209 | 29.1 |
| 11 | 43.27 | 1.50 | | 1.7440 | 44.8 |
| 12 | -2.26 | 0.10 | | | |
| 13 | 16.57 | 1.00 | | 1.8467 | 23.8 |
| 14 | 3.66 | 2.50 | | 1.6204 | 60.3 |
| 15 | -4.87 | 9.25 | | | |
| 16 | | 0.40 | | 1.5163 | 64.1 |
| 17 | | 0.10 | | | |

像面

A S S [1]
 R 4.40
 k -7.3106e-1
 偏心[4]
 X 0.00 Y 0.00 Z -2.28
 0.00 0.00 0.00
 偏心[3]
 X 0.00 Y 0.00 Z -1.12
 0.00 0.00 0.00
 偏心[5]
 X 0.00 Y 0.00 Z 0.06
 0.00 0.00 0.00

【 0 1 3 3 】

実施例 5

側視光路

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッペ数 |
|-----|-------------------|------|-------|--------|------|
| 物体面 | | | | | |
| 1 | E R F S [1] | | 偏心(1) | | |
| 2 | A S S [1] (R E) | | 偏心(2) | 1.5163 | 64.1 |
| 3 | A S S [2] (R E) | | 偏心(3) | 1.5163 | 64.1 |
| 4 | A S S [1] | | 偏心(4) | 1.5163 | 64.1 |
| 5 | -3.66 | 0.55 | 偏心(5) | 1.7440 | 44.8 |
| 6 | -2.96 | 0.50 | | | |
| 7 | (絞リ) | 3.00 | | | |
| 8 | 理想レンズ | 3.58 | | | |

10

20

30

40

50

像 面

E R F S [1]

R Y

90.00

R

-4.00

A S S [1]

R

5.11

k

1.3753e+0

A S S [2]

R

13.09

k

0.0000

偏心 [1]

X

0.00

Y

-5.00

Z

0.00

90.00

0.00

0.00

偏心 [2]

X

0.00

Y

-4.00

Z

-0.04

90.00

0.00

0.00

偏心 [3]

X

0.00

Y

0.00

Z

-0.87

0.00

0.00

0.00

偏心 [4]

X

0.00

Y

0.00

Z

-1.64

0.00

0.00

0.00

偏心 [5]

X

0.00

Y

0.00

Z

1.17

0.00

0.00

0.00

直視光路

面番号

曲率半径

面間隔

偏心

屈折率

アッペ数

物体面

1

205.85

0.80

1.5163

64.1

2

2.32

2.30

3

A S S [2] (R E)

偏心 (4)

1.5163

64.1

4

A S S [1]

偏心 (3)

5

-3.66

0.55

偏心 (5)

1.7440

44.8

6

-2.96

0.50

7

(絞 り)

3.00

8

理想レンズ

3.58

像 面

A S S [1]

R

5.11

k

1.3753e+0

A S S [2]

R

13.09

k

0.0000

偏心 [3]

X

0.00

Y

0.00

Z

-0.87

0.00

0.00

0.00

偏心 [5]

X

0.00

Y

0.00

Z

1.17

0.00

0.00

0.00

10

20

30

40

50

。

【 0 1 3 4 】

また、光学素子の外形を D 、反射光路の像の外形を D_r とすると、次のようになる。

【 0 1 3 5 】

| | 実施例 1 | 実施例 2 | 実施例 3 | 実施例 4 | 実施例 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 8.00 | 8.00 |
| D_r | 4.96 | 4.90 | 4.94 | 4.94 | 4.99 |
| D / D_r | 1.21 | 1.22 | 1.21 | 1.62 | 1.60 |

【 0 1 3 6 】

以上の実施例では、光学系 1 の中心軸 2 に同心に回転対称な屈折率が 1 より大きい透明媒体の透過面及び反射面を、拡張回転自由曲面で設計されている例であるが、拡張回転自由曲面が回転対称面と直交し、高次項を使用していない場合、球面と等価な構成となる。

10

【 0 1 3 7 】

また、前群 10 の反射面、屈折面をそれぞれ任意形状の線分を回転対称軸 1 の周りで回転することにより形成され回転対称軸 1 上に面頂を有さない拡張回転自由曲面で設計しているが、それぞれ任意の曲面に置き換えてもよい。

【 0 1 3 8 】

また、本発明の光学系は、回転対称面を形成する任意形状の線分を定義する式に奇数次項を含むものを用いることにより、偏心により発生する像面 5 の傾きや、絞りの逆投影時の瞳収差を補正している。

【 0 1 3 9 】

また、本発明の前群 10 を構成する中心軸 2 の周りで回転対称な透明媒体はそのまま用いることにより、 360° 全方位の画角を有する画像を撮影したり投影できるが、その透明媒体を中心軸 2 を含む断面で切断して 2 分の 1、3 分の 1、3 分の 2 等により、中心軸 2 の周りの画角が 180° 、 120° 、 240° 等の画像を撮影したり投影するようにしてもよい。

20

【 0 1 4 0 】

以上、本発明の光学系を中心軸（回転対称軸）1 を垂直方向に向けて天頂を含む 360° 全方位（全周）の画角の画像を得る撮像あるいは観察光学系として説明してきたが、本発明は撮影光学系、観察光学系に限定されず、光路を逆にとって天頂を含む 360° 全方位（全周）の画角に画像を投影する投影光学系として用いることもできる。また、内視鏡は管内観察装置の全周観察光学系として用いることもできる。

30

【 0 1 4 1 】

図 18 は、本実施例の画像と撮像素子の配置例を示す。図 18 (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、側視光路 A の画像 A 1 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 18 (b) は、画面比が 4 : 3 の撮像素子 50 を使用し、直視光路 B での画像 B 1 に撮像素子 50 の大きさを合致させた例であり、図 18 (a) と同様に上下方向の映像は使用しない場合を示す。図 18 (c) は、画面比が 4 : 3 の撮像素子 50 を使用し、側視光路 A での画像 A 1 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、側視光路 A の画像 A 1 と直視光路 B の画像 B 1 の両方をすべて撮像することができる。

40

【 0 1 4 2 】

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 19 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 19 (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 360° 全方位の画像を撮像観察する例である。図 19 (b) にそ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 の前群 Gf の入射面 21 の周囲には円周方向にスリット状に伸びる開口 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 19 (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 を同様に取り付けて、表示装置 114 に撮影された画像を、画像処理を施して歪み

50

を補正して表示するようにした例である。

【0143】

図20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の側視光路Aにおける前群Gf第2群の側視第1透過面21の周囲には円周方向にスリット状に伸びる開口106、及び、直視光路Bにおける前群Gfの第1群の直視第1透過面11の前方に円形状の開口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。

【0144】

図19及び図20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。

【0145】

図21(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21(b)は、自動車130の各コーナやヘッド部のボ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18(a)に示したように、側視光路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。

【0146】

また、図22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。

【0147】

さらに、図23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O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Oの映像O'を投影表示するようにしている例である。

【図面の簡単な説明】

【0148】

【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。

【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の側視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図5】実施例1の直視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図6】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7】実施例2の側視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図8】実施例2の直視光路における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3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3の側視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図11】実施例3の直視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図12】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13】実施例4の側視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

【図14】実施例4の直視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図15】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16】実施例5の側視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。
- 【図17】実施例5の直視光路における光学系全体の横収差図を示す図である。
- 【図18】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19】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20】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。

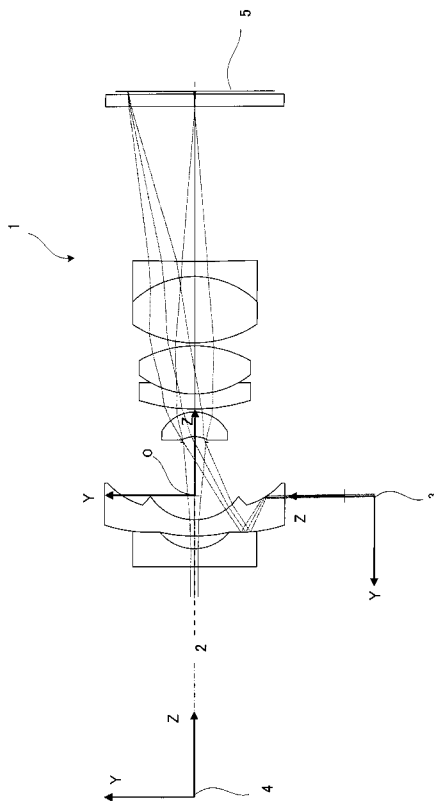
- 【図21】本発明の光学系を自動車の撮影光学系として用いた例を示す図である。
- 【図22】本発明の光学系を投影装置の投影光学系として用いた例を示す図である。
- 【図23】本発明の光学系を屋外の被写体を撮影する撮影光学系として用いた例を示す図である。

【符号の説明】

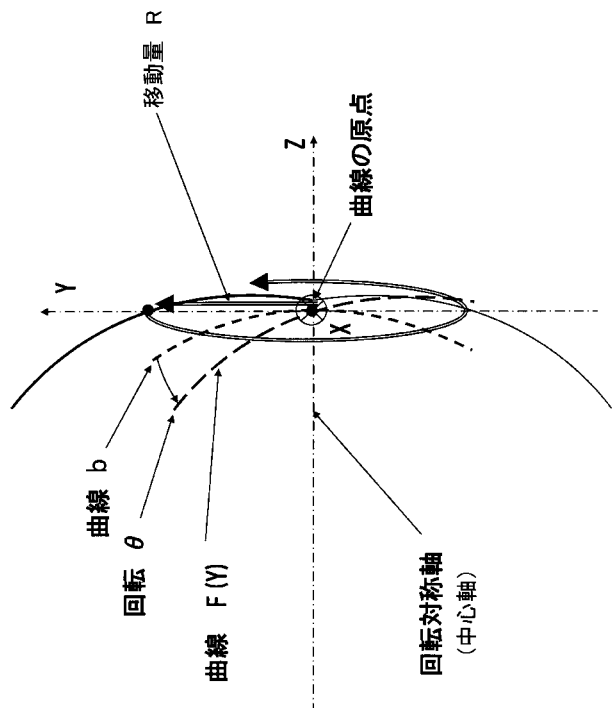
【0149】

- 1 ... 光学系中心軸
- 2 ... 中心軸
- 3 ... 側視物体面
- 4 ... 直視物体面
- 5 ... 像面

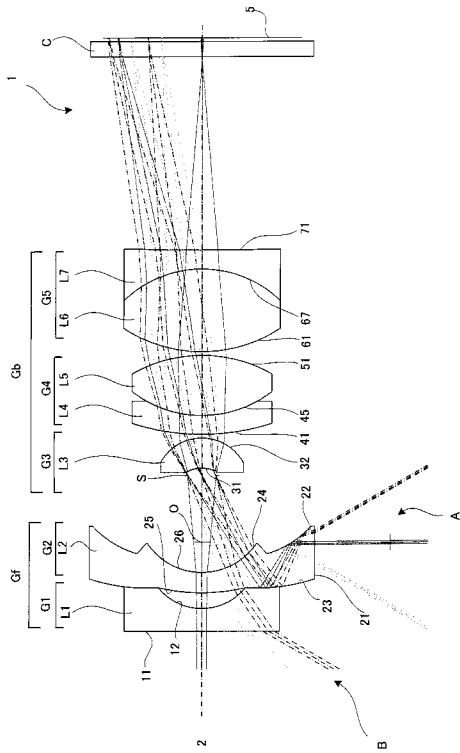
【図1】



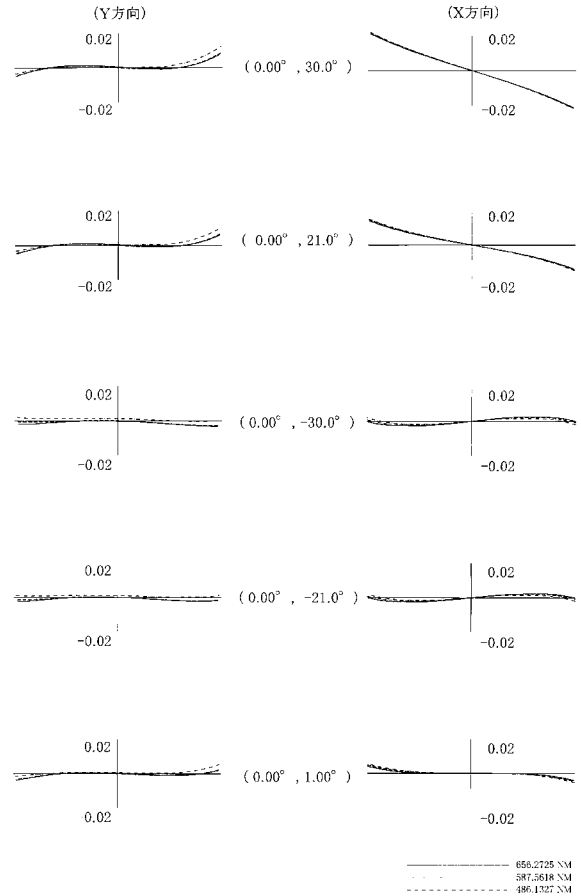
【図2】



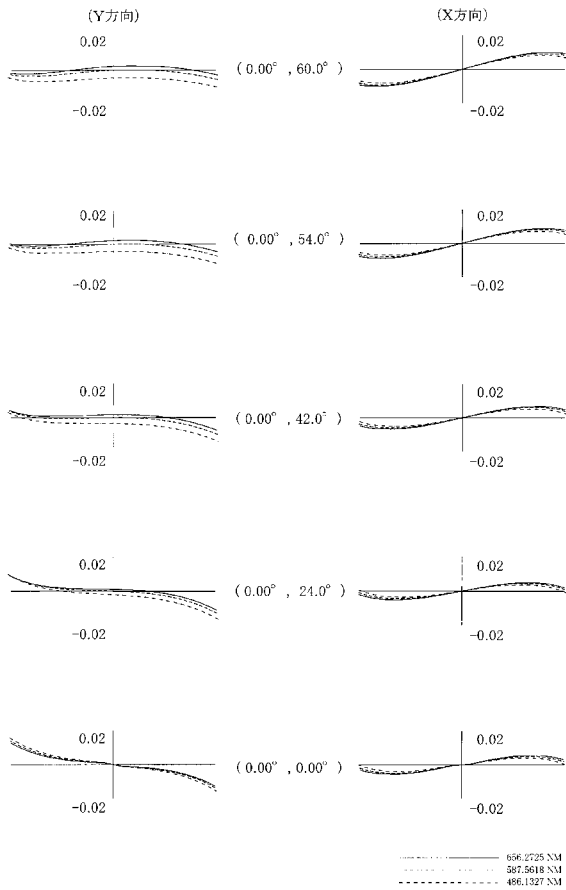
【 図 3 】



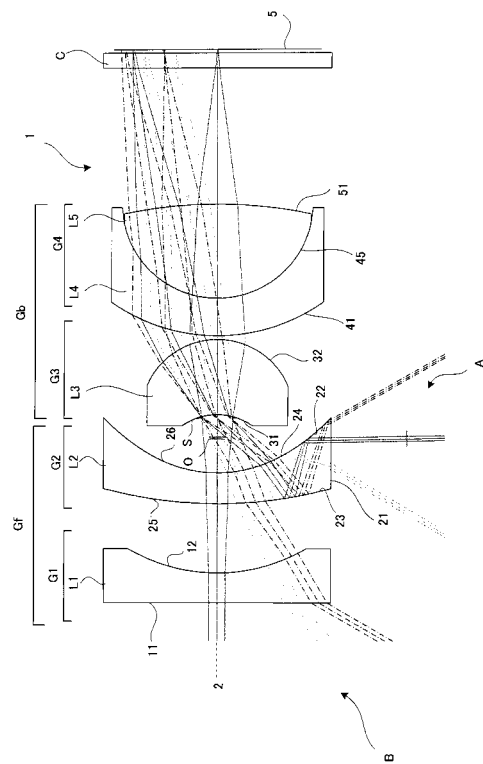
【 図 4 】



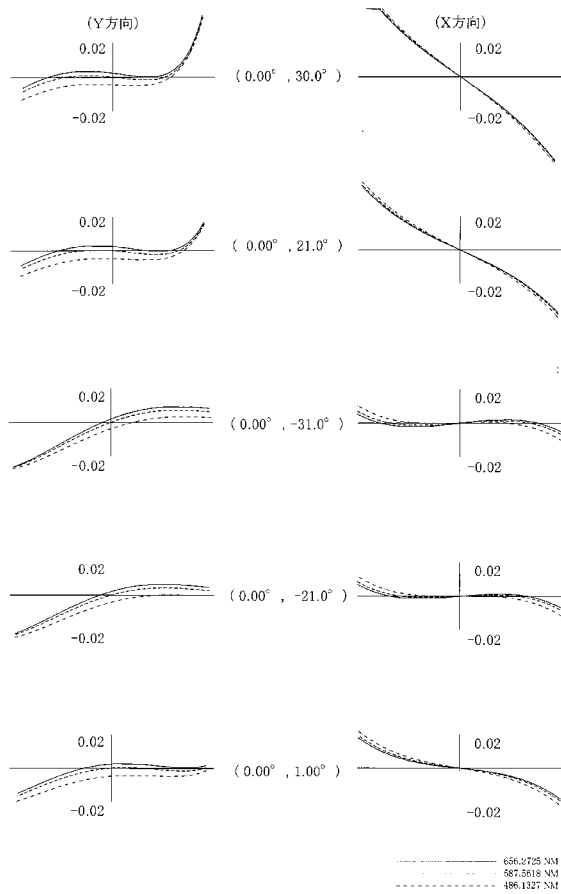
【 図 5 】



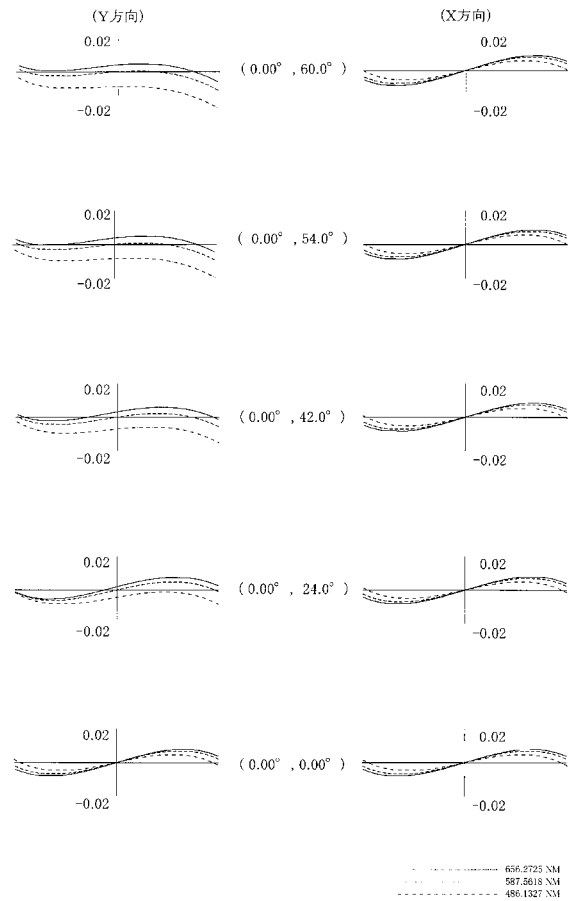
【 図 6 】



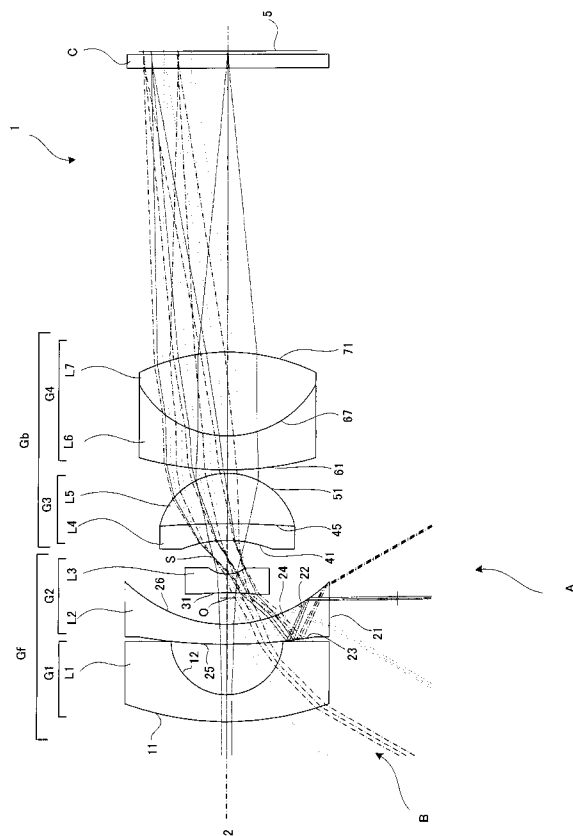
【 図 7 】



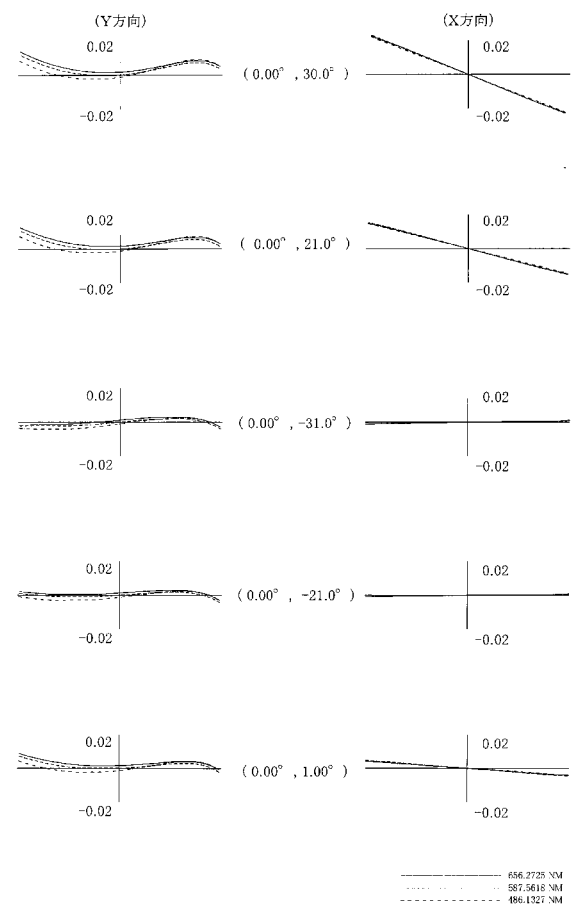
【 図 8 】



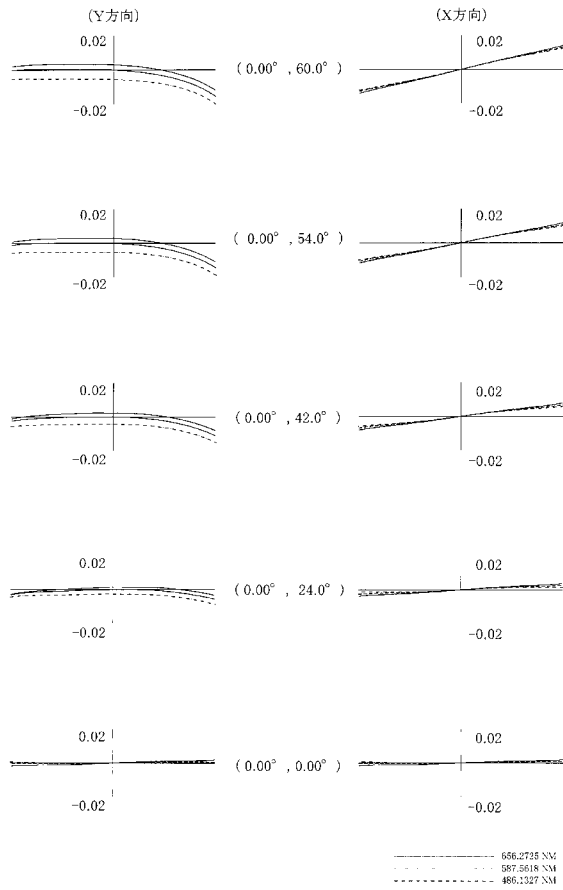
【 図 9 】



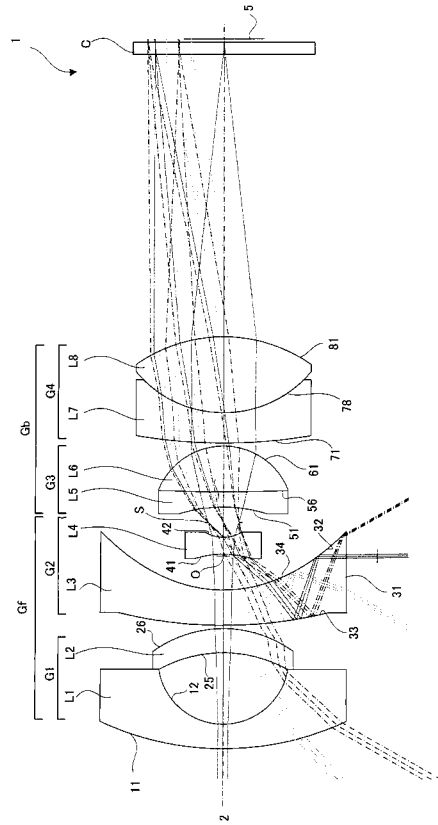
【 図 10 】



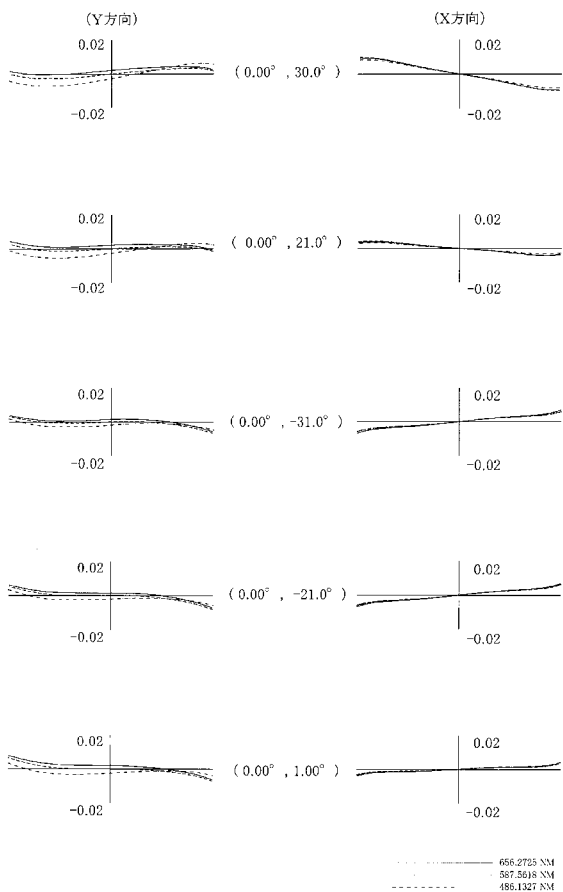
【 図 1 1 】



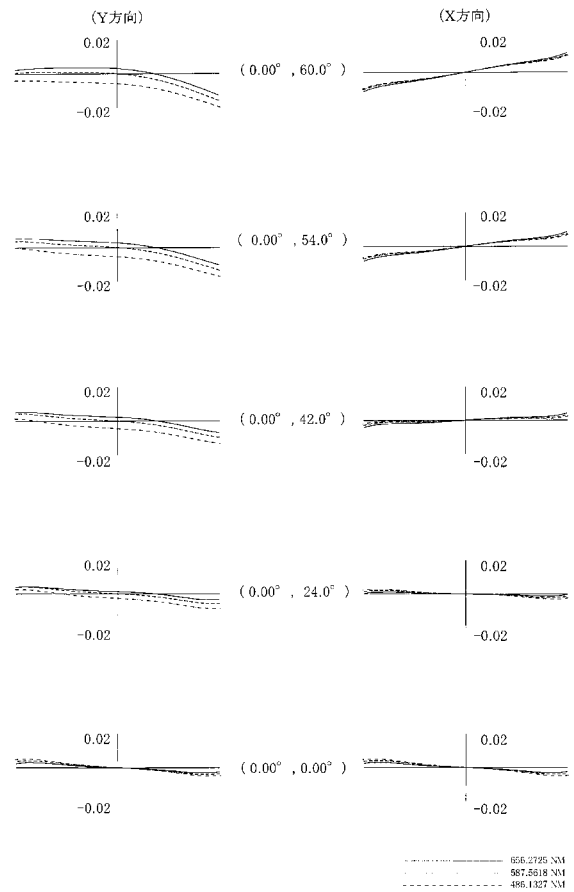
【 図 1 2 】



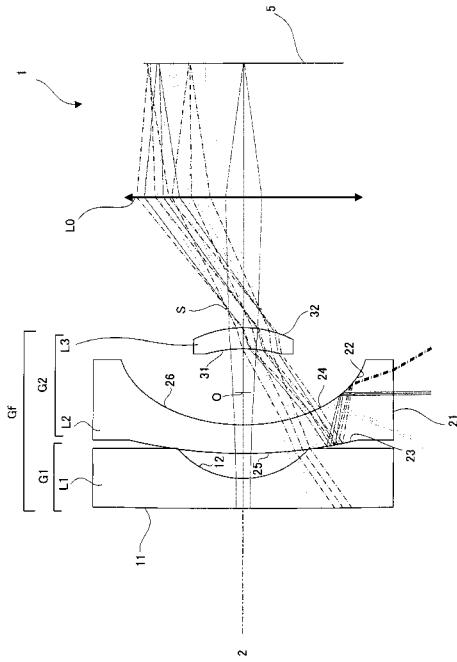
【 図 1 3 】



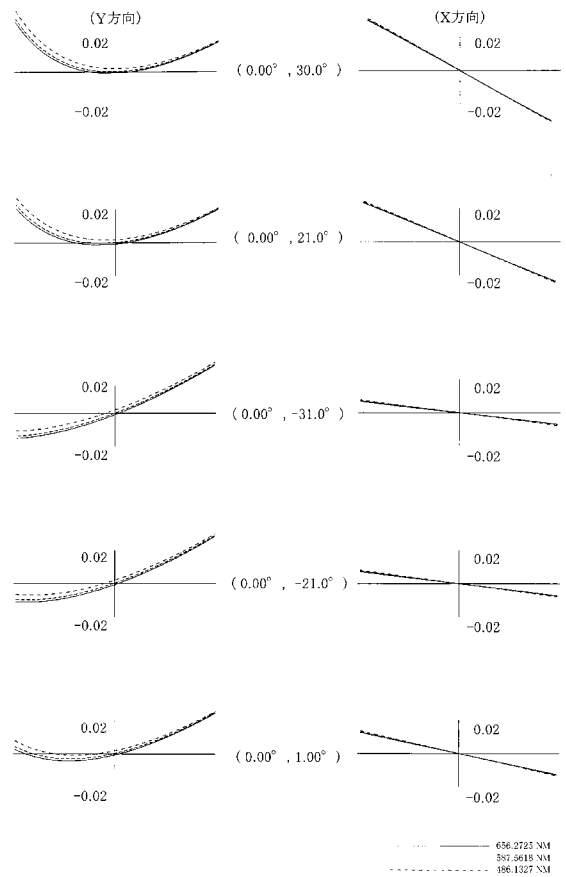
【 図 1 4 】



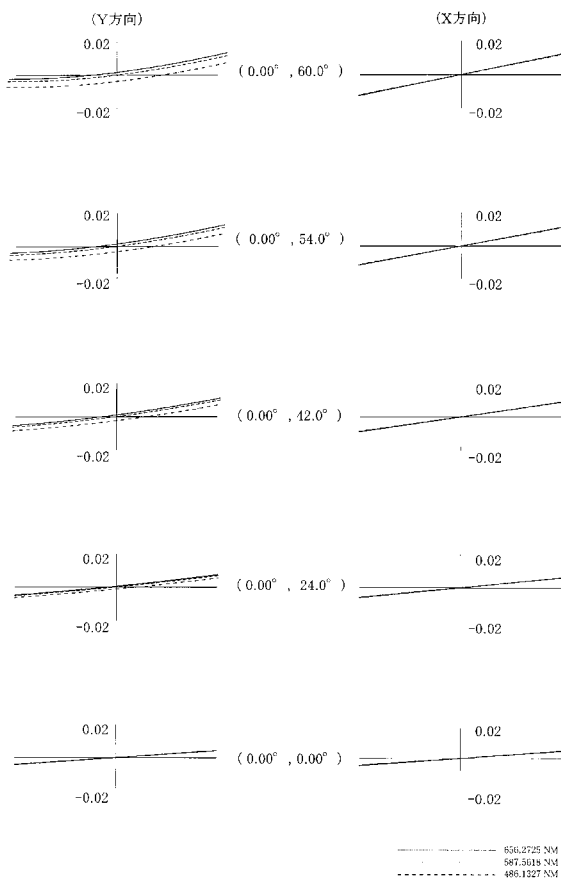
【 図 1 5 】



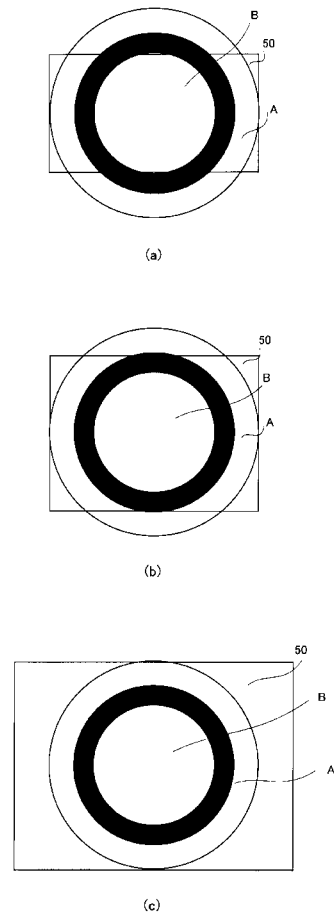
【 図 1 6 】



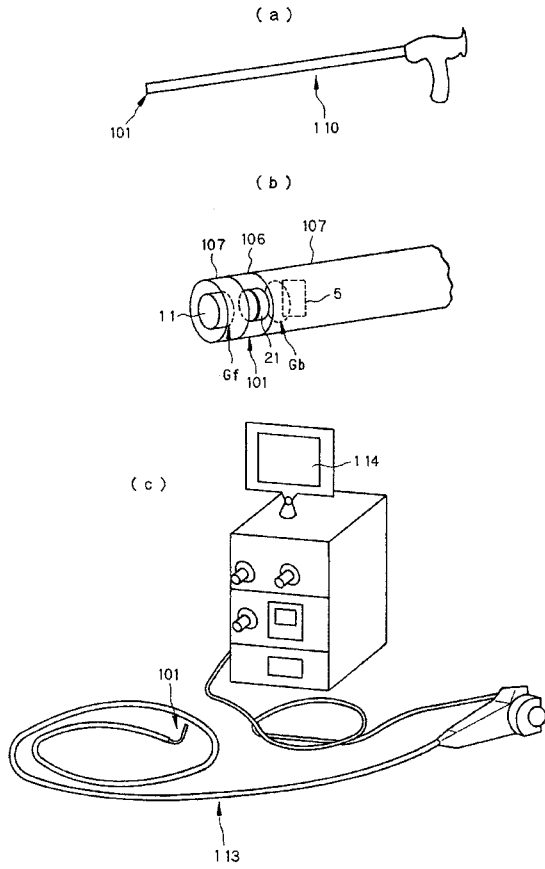
【 図 1 7 】



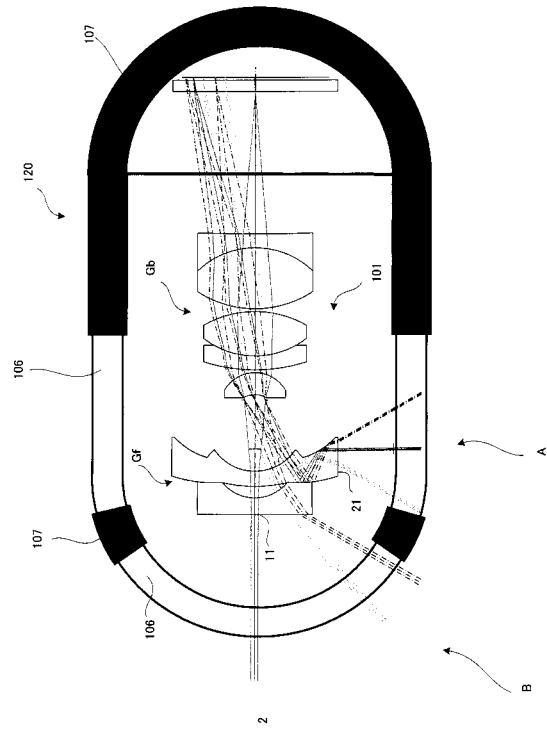
【 図 1 8 】



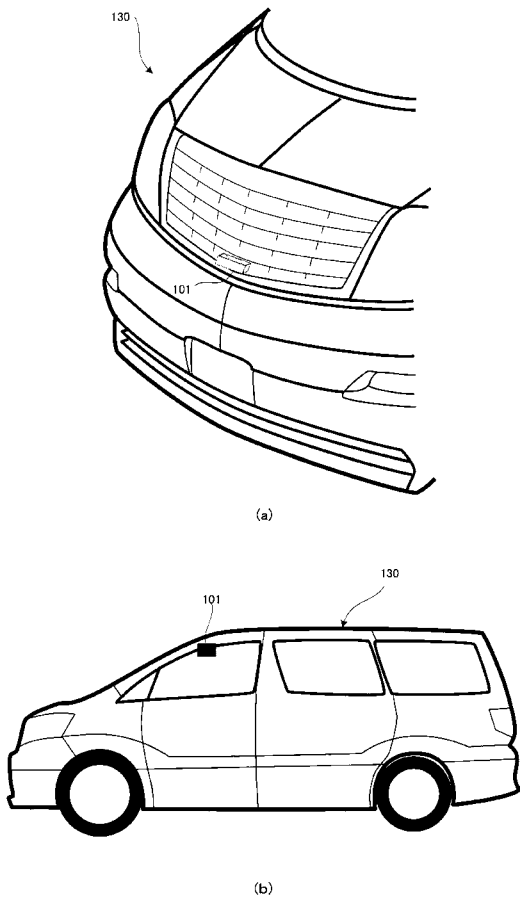
【 図 19 】



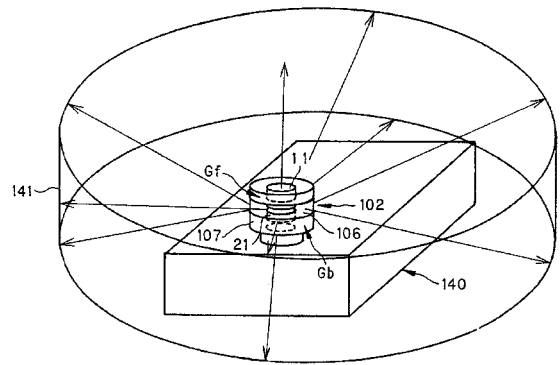
【 図 20 】



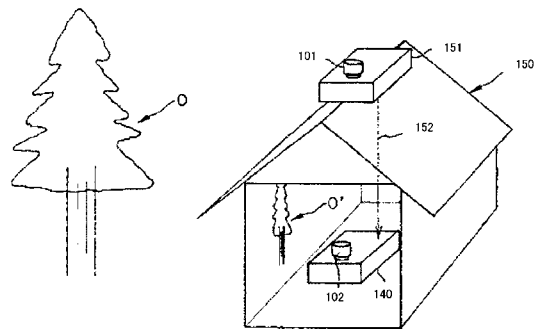
【 図 21 】



【 図 22 】



【 図 23 】



フロントページの続き

(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 4 3 番 2 号 オリンパス株式会社内

F ターム(参考) 2H040 BA02 CA23

2H087 KA10 LA01 LA07 PA03 PA04 PA05 PA06 PA17 PA18 PA19

PB03 PB05 PB07 PB08 QA01 QA02 QA06 QA07 QA17 QA18

QA21 QA22 QA25 QA26 QA34 QA37 QA39 QA41 QA42 QA45

QA46 RA07 RA12 RA32 RA42 TA01 TA04 TA06

4C061 CC06 DD10 JJ20 LL02 PP11 UU06 UU08

| | | | |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译) | 光学元件，具有光学元件的光学系统 | | |
| 公开(公告)号 | JP2008309861A | 公开(公告)日 | 2008-12-25 |
| 申请号 | JP2007155159 | 申请日 | 2007-06-12 |
| [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 | | |
| [标]发明人 | 研野孝吉 | | |
| 发明人 | 研野 孝吉 | | |
| IPC分类号 | G02B17/08 G02B13/06 G02B13/18 G02B23/26 A61B1/00 | | |
| FI分类号 | G02B17/08.A G02B13/06 G02B13/18 G02B23/26.C A61B1/00.300.Y A61B1/00.731 | | |
| F-TERM分类号 | 2H040/BA02 2H040/CA23 2H087/KA10 2H087/LA01 2H087/LA07 2H087/PA03 2H087/PA04 2H087/PA05 2H087/PA06 2H087/PA17 2H087/PA18 2H087/PA19 2H087/PB03 2H087/PB05 2H087/PB07 2H087/PB08 2H087/QA01 2H087/QA02 2H087/QA06 2H087/QA07 2H087/QA17 2H087/QA18 2H087/QA21 2H087/QA22 2H087/QA25 2H087/QA26 2H087/QA34 2H087/QA37 2H087/QA39 2H087/QA41 2H087/QA42 2H087/QA45 2H087/QA46 2H087/RA07 2H087/RA12 2H087/RA32 2H087/RA42 2H087/TA01 2H087/TA04 2H087/TA06 4C061/CC06 4C061/DD10 4C061/JJ20 4C061/LL02 4C061/PP11 4C061/UU06 4C061/UU08 4C161/CC06 4C161/DD07 4C161/DD10 4C161/JJ20 4C161/LL02 4C161/PP11 4C161/UU06 4C161/UU08 | | |
| 代理人(译) | 青木健二 米泽 明 | | |
| 其他公开文献 | JP5030676B2 | | |
| 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元件，其能够同时成像中心轴上的物点和在一个成像元件上基本垂直于中心轴的方向上的全方向图像，具有简单的配置，以及使用光学系统的内窥镜。入射在光学元件L2上的光束具有侧视光路A和直视光路B。按照前向光线追踪的顺序，侧视光路A穿过第一透射表面21并进入光学元件L2。进入，通过第一反射面22反射在与像面5相对的一侧，被第二反射面23朝向像面侧反射，穿过第二透射面24并从光学元件L2射出到像面侧。构成Z形光路，直视光路B构成经由第三透射面25进入光学元件L2并经由第四透射面26从光学元件L2出射到像面5侧的光路。如图1所示。点域

