

(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2008-309860

(P2008-309860A)

(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)
<b>G02B</b>	<b>13/06</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B 13/06	2H040
<b>G02B</b>	<b>13/18</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B 13/18	2H087
<b>G02B</b>	<b>17/08</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B 17/08	Z 4C061
<b>G02B</b>	<b>23/26</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B 23/26	C
<b>A61B</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	A61B 1/00	300Y

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2007-155158 (P2007-155158)  
 (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 荻澤 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

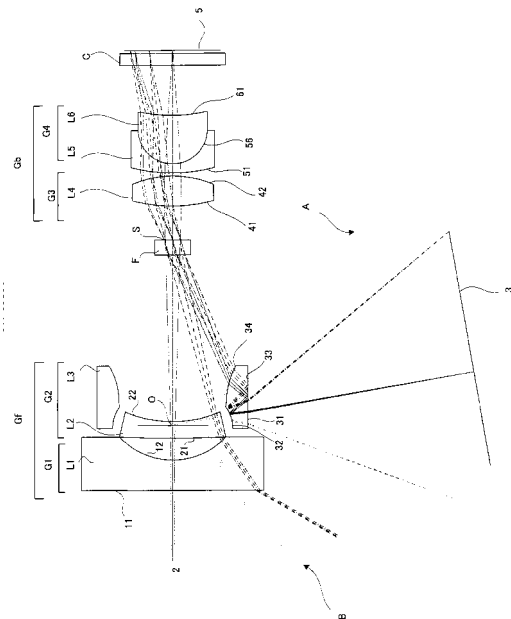
(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを用いた内視鏡

(57) 【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系及びそれを用いた内視鏡を提供する

【解決手段】 中心軸2上の物点を撮像又は投影する直視光路Bと、円環状の光学素子内で少なくとも2回の内部反射をし、直視光路Bの一部を使用し、同一の撮像素子または映像表示素子上に、直視光路Bの円形状の映像の外周に、全方位の円環状画像を形成する側視光路Aからな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】

中心軸に対して回転対称な光学系で、負のパワーを有する前群と、開口と、正のパワーを有する後群からなり、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において、

中心軸上の物点を撮像又は投影する直視光路と、

円環状の光学素子内で少なくとも2回の内部反射をし、前記直視光路の一部を使用し、同一の撮像素子または映像表示素子上に、前記直視光路の円形状の映像の外周に、全方位の円環状画像を形成する側視光路からなることを特徴とする光学系。

## 【請求項 2】

前記前群は、中心部に前記直視光路のための透過作用を有する第1光学素子を備え、周辺部に前記側視光路のための反射作用を有する前記円環状の光学素子からなる第2光学素子を備えることを特徴とする請求項1に記載の光学系。

## 【請求項 3】

前記第1光学素子は、前記開口側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであり、その外側に前記第2光学素子を備え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】

前記第2光学素子は、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反射面に対して中心軸と反対側に配置された第2反射面と、前記第2反射面より中心軸側に配置された第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透過面を有する透明媒体を備え、

順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、前記第1透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第1反射面で中心軸と反対側且つ像面側に反射され、前記第2反射面で中心軸側且つ像面側に反射され、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字状の光路を有し、

前記第1透過面と前記第2反射面を共用することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の光学系。

## 【請求項 5】

前記第2光学素子は、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反射面に対して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透過面を有する透明媒体を備え、

順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、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字状の光路を有し、

前記第1反射面と前記第2透過面を共用することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の光学系。

## 【請求項 6】

前記第2光学素子は、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反射面に対して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透過面を有する透明媒体を備え、

順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、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交差光路を形成することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の光学系。

## 【請求項 7】

前記前群の備える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

10

20

30

40

50

求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 8】

前記前群の備え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 7 のいずれかに記載の光学系。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 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 つの光路を光学系内で合成し、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。

【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

【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、どちらの特許文献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系及びそれ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系は、中心軸に対して回転対称な光学系で、負のパワーを有する前群と、開口と、正のパワーを有する後群からなり、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において、中心軸上の物点を撮像又は投影する直視光路と、円環状の光学素子内で少なくとも 2 回の内部反射をし、前記直視光路の一部を使用し、同一の撮像素子または映像表示素子上に、前記直視光路の円形状の映像の外周に、全方位の円環状画像を形成する側視光路からなることを特徴とする。

【0006】

また、前記前群は、中心部に前記直視光路のための透過作用を有する第 1 光学素子を備え、周辺部に前記側視光路のための反射作用を有する前記円環状の光学素子からなる第 2 光学素子を備えることを特徴とする。

【0007】

また、前記第 1 光学素子は、前記開口側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであり、

10

20

30

40

50

その外側に前記第 2 光学素子を備えることを特徴とする。

【0008】

また、前記第 2 光学素子は、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 反射面に対して中心軸と反対側に配置された第 2 反射面と、前記第 2 反射面より中心軸側に配置された第 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 透過面を有する透明媒体を備え、順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、前記第 1 透過面を経て前記透明媒体内に入り、前記第 1 反射面で中心軸と反対側且つ像面側に反射され、前記第 2 反射面で中心軸側且つ像面側に反射され、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 字状の光路を有し、前記第 1 透過面と前記第 2 反射面を共用することを特徴とする。

10

【0009】

また、前記第 2 光学素子は、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 反射面に対して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 透過面を有する透明媒体を備え、順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、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 字状の光路を有し、前記第 1 反射面と前記第 2 透過面を共用することを特徴とする。

20

【0010】

また、前記第 2 光学素子は、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 反射面に対して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 透過面を有する透明媒体を備え、順光線追跡の順に、前記前群に入射する光束は、前記側視光路では、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交差光路を形成することを特徴とする。

【0011】

また、前記前群の備える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。

30

【0012】

また、前記前群の備え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。

【0013】

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】

【0014】

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。また、広い観察画角を取ることが可能となる。さらに、外形の細い光学系を実現できる。また、偏心収差の発生を少なくすることが可能となる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

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。

【0016】

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。

50

## 【0017】

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Gfと、開口Sと、正のパワーを有する後群Gb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。

## 【0018】

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Gfと、中心軸2の周りで回転対称な後群Gbとからなり、前群Gfを負のパワーを有する第1群G1と光路合成光学系である第2群G2から構成され、開口Sの後ろ側に後群Gbである正パワーを有する第3群G3、接合レンズで正パワーを有する第4群G4からなる光学系である。

## 【0019】

この実施例では、前群の第2群G2が側視光路Aと直視光路Bを有し、後群Gbの第3群G3と第4群G4は第2群G2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。

## 【0020】

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。

## 【0021】

又、前群Gfを負、後群Gb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。

## 【0022】

前群Gfは、透過作用により中心軸2上の映像を結像又は投影する直視光路Bと、反射作用により中心軸2と略直交する方向の全方位の映像を結像又は投影する側視光路Aとを合成する作用を有する。

## 【0023】

本発明の光学系1は、中心軸2に対して回転対称な光学系1で、負のパワーを有する前群Gfと、開口Sと、正のパワーを有する後群Gb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において、中心軸2上の物点を撮像又は投影する直視光路Bと、円環状の光学素子としての透明媒体L3内で少なくとも2回の内部反射をし、直視光路Bの一部を使用し、同一の撮像素子または映像表示素子上に、直視光路Bの円形状の映像の外周に、全方位の円環状画像を形成する側視光路Aからなることにより、側視光路Aの光学素子が、少なくとも1面のメリジオナル断面において強い負のパワーを有する面で構成され、この負のパワーによりメリジオナル断面の観察画角を広くとることが可能となる。

## 【0024】

また、前群Gfは、中心部に直視光路Bのための透過作用を有する第1光学素子L2を備え、周辺部に側視光路Aのための反射作用を有する円環状の光学素子からなる第2光学素子L3を備えることにより、側視光路Aが直視光路Bの光学部品と干渉することがなくなり、広い観察画角を取ることが可能となる。

## 【0025】

また、第1光学素子L2は、開口側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであり、その外側に第2光学素子L3を備えることにより、第1群G1通過後の光束を絞ることができ、側視光路Aの光学素子を配置する空間を確保することが可能となり、外形の細い光学系を実現できる。

## 【0026】

さらに好ましくは、第1透過面31と第2反射面33をひとつの面で共用することにより、第1反射面32での偏向角度が少なくすみ、強い負のパワーを有する第1反射面32で発生する偏心収差を小さくすることが可能となる。

## 【0027】

10

20

30

40

50

さらに、円環状の第2光学素子L3の厚みを薄くすることが可能となり、第2群G2との干渉を避けることが可能となる。

【0028】

さらに好ましくは、第1反射面32と第2透過面34を共有することにより、第2反射面33の偏向角を小さくすることが可能になり、第2反射面33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。

【0029】

さらに好ましくは、交差光路を取ることににより、各反射面32, 33の偏向角をまんべんなく小さくすることができ、偏心収差の発生を少なくすることが可能となる。

【0030】

さらに、前群Gfの備える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2の周りで回転させて形成される回転対称な形状を有することが好ましい。対称面を持たないことにより、画角周辺部分の歪みを補正することが可能となる。

【0031】

さらに好ましくは、前群Gfの備え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であることが望ましい。この奇数次項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。

【0032】

以下に、本発明の光学系の実施例1~3を説明する。これら光学系の構成パラメータは後記する。

【0033】

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。

【0034】

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 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ (°))とが与えられている。その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\gamma$ 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 $\theta$ ,  $\phi$ 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 $\theta$ 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 $\phi$ 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 $\gamma$ 回転させるものである。

【0035】

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。

【0036】

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。

【0037】

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。

【0038】

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

10

20

30

40

50

・・・ ( 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。

【0039】

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。

【0040】

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。

【0041】

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

10

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(°)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。

【0042】

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。

20

【0043】

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。

【0044】

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。

【0045】

ここで、RYはY-Z断面での球面項の曲率半径、C<sub>1</sub>は円錐定数、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>...はそれぞれ1次、2次、3次、4次...の非球面係数である。

【0046】

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<sub>1</sub> , C<sub>2</sub> , C<sub>3</sub> , C<sub>4</sub> , C<sub>5</sub> , ... = 0とし、(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。

30

【0047】

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。

【0048】

40

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側視第1透過面と側視第2反射面を共通の面として使用する例である。

【0049】

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からなる。

【0050】

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。

50

## 【 0 0 5 1 】

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、その周辺部に配置され、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 からなる。

## 【 0 0 5 2 】

透明媒体 L 2 は、球面からなり、正のパワーをもつ直視第 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、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 4 透過面 2 2 をもつ。

## 【 0 0 5 3 】

透明媒体 L 3 は、側視物体面 3 に対向し、外側に配置され、Z 軸に平行な円柱状の側視第 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、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 透過面 3 1 と共通な面に配置される側視第 2 反射面 3 3 と、側視第 2 反射面 3 3 より中心軸 2 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 3 4 をもつ。

10

## 【 0 0 5 4 】

第 3 群 G 3 は、両凸正レンズ L 4 からなり、共通第 1 透過面 4 1 と、共通第 1 透過面 4 1 より像面 5 側に配置される共通第 2 透過面 4 2 をもつ。

## 【 0 0 5 5 】

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 5 と像面側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 の接合レンズからなり、共通第 3 透過面 5 1 と、共通第 3 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 4 透過面 6 1 をもつ。

20

## 【 0 0 5 6 】

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 第 2 群 G 2 のうち透明媒体 L 3 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 第 1 群と、第 2 群の透明媒体 L 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 近傍に円形に映像を形成する。

30

## 【 0 0 5 7 】

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 第 2 群 G 2 のうち透明媒体 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 で中心軸 2 と反対側且つ像面 5 側に反射され、側視第 2 反射面 3 3 で中心軸 2 側且つ像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 3 4 を経て透明媒体 L 3 から外に出る略 Z 字状の光路を有する。

## 【 0 0 5 8 】

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 の両凸正レンズ L 4 内に中心軸 2 を挟んで反対側で共通第 1 透過面 4 1 を経て入り、共通第 2 透過面 4 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 5 内に共通第 3 透過面 5 1 を経て入り、接合面 5 6 を経て、正メニスカスレンズ L 6 の共通第 4 透過面 6 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。

40

## 【 0 0 5 9 】

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 1 を経て入り、直視第 3 透過面 2 1 より像面 5 側に配置された直視第 4 透過面 2 2 を経て透明媒体 L 2 から外に出る。

## 【 0 0 6 0 】

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

50



経て、後群 G b の第 3 群 G 3 の両凸正レンズ L 4 内に共通第 1 透過面 4 1 を経て入り、共通第 2 透過面 4 2 から外に出て、接合レンズからなる第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 5 内に共通第 3 透過面 5 1 を経て入り、接合面 5 6 を経て、正メニスカスレンズ L 6 の共通第 4 透過面 6 1 から外に出て、像面 5 の中心軸 2 上に結像する。

【 0 0 6 1 】

この実施例 1 の仕様は、

画角（側視）	70° ~ 130°
画角（直視）	0° ~ 60°
絞り径	0.5 mm
像の大きさ（側視）	2.20 ~ 2.78
（直視）	1.55

10

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 6 2 】

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側視第 1 反射面と側視第 2 透過面を共通の面として使用する例である。

20

【 0 0 6 3 】

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 6 4 】

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 6 5 】

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、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 からなる。

30

【 0 0 6 6 】

透明媒体 L 2 は、球面からなり、正のパワーをもつ直視第 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、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 4 透過面 2 2 をもつ。

【 0 0 6 7 】

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、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 に対して像面 5 と反対側に配置され、球面からなる側視第 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、側視第 1 反射面 3 2 と共通な面に配置され、球面からなり、負のパワーをもつ側視第 2 透過面 3 4 をもつ。

40

【 0 0 6 8 】

第 3 群 G 3 は、両凸正レンズ L 4 からなり、共通第 1 透過面 4 1 と、共通第 1 透過面 4 1 より像面 5 側に配置される共通第 2 透過面 4 2 をもつ。

【 0 0 6 9 】

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 5 と像面側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 の接合レンズからなり、共通第 3 透過面 5 1 と、共通第 3 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

50

第4透過面61をもつ。

【0070】

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第2群G2のうち透明媒体L3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第1群と、第2群の透明媒体L2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。

【0071】

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第2群G2のうち透明媒体L3内に側視第1透過面31を經て入り、側視第1反射面32で中心軸2側且つ像面5と反対側に反射され、側視第2反射面33で中心軸2側且つ像面5側に反射され、側視第2透過面34を經て透明媒体L3から外に出る略Z字状の光路を有する。

10

【0072】

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を經て、後群Gbの第3群G3の両凸正レンズL4内に中心軸2を挟んで反対側で共通第1透過面41を經て入り、共通第2透過面42から外に出て、第4群G4の負メニスカスレンズL5内に共通第3透過面51を經て入り、接合面56を經て、正メニスカスレンズL6の共通第4透過面61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。

20

【0073】

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を經て入り、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を經て透明媒体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21を經て入り、直視第3透過面21より像面5側に配置された直視第4透過面22を經て透明媒体L2から外に出る。

【0074】

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を經て、後群Gbの第3群G3の両凸正レンズL4内に共通第1透過面41を經て入り、共通第2透過面42から外に出て、接合レンズからなる第4群G4の負メニスカスレンズL5内に共通第3透過面51を經て入り、接合面56を經て、正メニスカスレンズL6の共通第4透過面61から外に出て、像面5の中心軸2上に結像する。

30

【0075】

この実施例2の仕様は、

画角（側視）	70°～130°
画角（直視）	0°～60°
絞り径	0.5mm
像の大きさ（側視）	1.82～2.36
（直視）	1.58

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。

40

【0076】

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内で交差光路を構成する例である。

【0077】

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

50

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 7 8 】

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 7 9 】

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、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 からなる。

【 0 0 8 0 】

透明媒体 L 2 は、球面からなり、正のパワーをもつ直視第 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、球面からなり、負のパワーをもつ直視第 4 透過面 2 2 をもつ。

【 0 0 8 1 】

透明媒体 L 3 は、側視物体面 3 に対向し、外側に配置され、Z 軸に平行な円柱状の側視第 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、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 に対して像面 5 と反対側に配置され、球面からなる側視第 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、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。

【 0 0 8 2 】

第 3 群 G 3 は、両凸正レンズ L 4 からなり、共通第 1 透過面 4 1 と、共通第 1 透過面 4 1 より像面 5 側に配置される共通第 2 透過面 4 2 をもつ。

【 0 0 8 3 】

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 5 と像面側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6 の接合レンズからなり、共通第 3 透過面 5 1 と、共通第 3 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 4 透過面 6 1 をもつ。

【 0 0 8 4 】

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 第 2 群 G 2 のうち透明媒体 L 3 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 第 1 群と、第 2 群の透明媒体 L 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 近傍に円形に映像を形成する。

【 0 0 8 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 第 2 群 G 2 のうち透明媒体 L 3 内に側視第 1 透過面 3 1 を経て入り、側視第 1 反射面 3 2 で中心軸 2 と反対側且つ像面 5 と反対側に反射され、側視第 2 反射面 3 3 で中心軸 2 側且つ像面 5 側に反射され、側視第 2 透過面 3 4 を経て透明媒体 L 3 から外に出る交差光路を有する。

【 0 0 8 6 】

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 の両凸正レンズ L 4 内に中心軸 2 を挟んで反対側で共通第 1 透過面 4 1 を経て入り、共通第 2 透過面 4 2 から外に出て、第 4 群 G 4 の負メニスカスレンズ L 5 内に共通第 3 透過面 5 1 を経て入り、接合面 5 6 を経て、正メニスカスレンズ L 6 の共通第 4 透過面 6 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 8 7 】

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

10

20

30

40

50

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21を経て入り、直視第3透過面21より像面5側に配置された直視第4透過面22を経て透明媒体L2から外に出る。

## 【0088】

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の両凸正レンズL4内に共通第1透過面41を経て入り、共通第2透過面42から外に出て、接合レンズからなる第4群G4の負メニスカスレンズL5内に共通第3透過面51を経て入り、接合面56を経て、正メニスカスレンズL6の共通第4透過面61から外に出て、像面5の中心軸2上に結像する。

## 【0089】

10

この実施例3の仕様は、

画角(側視)	80° ~ 120°
画角(直視)	0° ~ 60°
絞り径	0.5mm
像の大きさ(側視)	2.42 ~ 2.76
(直視)	1.45

以下に、上記実施例1~3の構成パラメータを示す。なお、以下の表中の“ASS”は非球面、“ERFS”は拡張回転自由曲面を、“RE”は反射面を示す。

## 【0090】

20

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		10.00	偏心(1)		
1	ERFS[1]		偏心(2)	1.8348	42.7
2	ERFS[2](RE)		偏心(3)	1.8348	42.7
3	ERFS[1](RE)		偏心(2)	1.8348	42.7
4	ERFS[3]		偏心(4)		
5		0.50	偏心(5)	1.5163	64.1
6	(絞り)	1.12			
7	5.24	1.00		1.7292	54.7
8	-3.36	0.10			
9	5.50	0.30		1.7554	27.4
10	1.15	1.60		1.7152	47.3
11	5.10	1.64			
12		0.40		1.5163	64.1
13		0.10			

30

像面

	ERFS[1]
RY	90.00
R	-2.50
	ERFS[2]
RY	1.17
	113.36
R	-1.89
	ERFS[3]
RY	-2.25
	73.71
R	-1.88
	偏心(1)

40

50

X	0.00	Y	-9.85	Z	1.72
	112.50		0.00		0.00
			偏心(2)		
X	0.00	Y	0.00	Z	0.90
	0.00		0.00		0.00
			偏心(3)		
X	0.00	Y	0.00	Z	0.37
	0.00		0.00		0.00
			偏心(4)		
X	0.00	Y	0.00	Z	1.45
	0.00		0.00		0.00
			偏心(5)		
X	0.00	Y	0.00	Z	5.63
	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	アッペ数
物体面	20.00	20.00			
1		1.00		1.5163	64.1
2	2.42	1.16			
3	E R F S [4]		偏心(6)	1.8348	42.7
4	E R F S [5]		偏心(7)		
5		0.50	偏心(5)	1.5163	64.1
6	(絞リ)	1.12			
7	5.24	1.00		1.7292	54.7
8	-3.36	0.10			
9	5.50	0.30		1.7554	27.4
10	1.15	1.60		1.7152	47.3
11	5.10	1.64			
12		0.40		1.5163	64.1
13		0.10			

20

30

像面

	E R F S [4]				
R Y	43.13				
	3.35				
R	-2.53				
	E R F S [5]				
R Y	3.96				
	20.64				
R	-1.40				
	偏心[6]				
X	0.00	Y	0.00	Z	-0.36
	0.00		0.00		0.00
			偏心(7)		
X	0.00	Y	0.00	Z	0.36
	0.00		0.00		0.00
			偏心(5)		
X	0.00	Y	0.00	Z	5.63
	0.00		0.00		0.00

40

。

【 0 0 9 1 】

実施例 2

50

## 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	10.00	10.00	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 [2]		偏心(3)		
5		0.50	偏心(5)	1.5163	64.1
6	( 絞リ )	0.71			
7	3.45	1.00		1.7292	54.7
8	-3.36	0.10			
9	9.76	0.30		1.7552	27.6
10	1.02	1.60		1.7052	33.8
11	5.59	1.62			
12		0.40		1.5163	64.1
13		0.10			

## 像 面

	E R F S [1]				
R Y	90.00				20
R	-3.00				
	E R F S [2]				
R Y	1.73				
	27.52				
R	-2.14				
	E R F S [3]				
R Y	2.42				
	-13.50				
R	-1.68				
	偏心(1)				30
X	0.00	Y -9.85	Z 1.72		
	100.00	0.00	0.00		
	偏心(2)				
X	0.00	Y 0.00	Z -0.37		
	0.00	0.00	0.00		
	偏心(3)				
X	0.00	Y 0.00	Z 0.44		
	0.00	0.00	0.00		
	偏心(4)				40
X	0.00	Y 0.00	Z -0.10		
	0.00	0.00	0.00		
	偏心(5)				
X	0.00	Y 0.00	Z 5.00		
	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	20.00	20.00			
1		1.00		1.5163	64.1
2	2.19	1.88			
3	E R F S [4]		偏心(6)	1.8348	42.7

4	E R F S [5]		偏心(7)		
5		0.50	偏心(5)	1.5163	64.1
6	( 絞リ )	0.71			
7	3.45	1.00		1.7292	54.7
8	-3.36	0.10			
9	9.76	0.30		1.7552	27.6
10	1.02	1.60		1.7052	33.8
11	5.59	1.62			
12		0.40		1.5163	64.1
13		0.10			

10

像 面

	E R F S [4]	
R Y	24.60	
	3.94	
R	-1.69	
	E R F S [5]	
R Y	3.74	
	22.01	
R	-1.40	

20

	偏心(6)				
X	0.00	Y	0.00	Z	-0.91
	0.00		0.00		0.00
	偏心(7)				
X	0.00	Y	0.00	Z	-0.14
	0.00		0.00		0.00
	偏心(5)				
X	0.00	Y	0.00	Z	5.00
	0.00		0.00		0.00

【 0 0 9 2 】

実施例 3

30

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	10.00	10.00	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		0.50	偏心(6)	1.5163	64.1
6	( 絞リ )	0.91			
7	8.60	1.00		1.7292	54.7
8	-3.25	0.10			
9	5.66	0.30		1.7489	28.0
10	1.23	1.60		1.7295	45.7
11	16.99	1.69			
12		0.40		1.5163	64.1
13		0.10			

40

像 面

	E R F S [1]	
R Y	90.00	

50

R	-3.00							
	E R F S [2]							
R Y	2.71							
	76.60							
R	-1.78							
	E R F S [3]							
R Y	-40.21							
	34.56							
R	-2.64							
	E R F S [4]							10
R Y	-14.33							
	2.97							
R	-2.39							
	偏心(1)							
X	0.00	Y	-9.85	Z	1.72			
	100.00		0.00		0.00			
	偏心(2)							
X	0.00	Y	0.00	Z	0.59			
	0.00		0.00		0.00			
	偏心(3)							20
X	0.00	Y	0.00	Z	0.49			
	0.00		0.00		0.00			
	偏心(4)							
X	0.00	Y	0.00	Z	-0.18			
	0.00		0.00		0.00			
	偏心(5)							
X	0.00	Y	0.00	Z	1.12			
	0.00		0.00		0.00			
	偏心(5)							30
X	0.00	Y	0.00	Z	5.46			
	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	20.00	20.00						
1		1.00		1.5163	64.1			
2	2.38	1.21						
3	E R F S [5]		偏心(7)	1.8348	42.7			
4	E R F S [6]		偏心(8)					
5		0.50	偏心(6)	1.5163	64.1			
6	(絞リ)	0.91						40
7	8.60	1.00		1.7292	54.7			
8	-3.25	0.10						
9	5.66	0.30		1.7489	28.0			
10	1.23	1.60		1.7295	45.7			
11	16.99	1.69						
12		0.40		1.5163	64.1			
13		0.10						
像面								
	E R F S [5]							
R Y	31.94							50



4.99  
R -2.77  
E R F S [6]  
R Y 3.90  
21.13  
R -1.40  
偏 心 (7)  
X 0.00 Y 0.00 Z -0.38  
0.00 0.00 0.00  
偏 心 (8)  
X 0.00 Y 0.00 Z 0.31  
0.00 0.00 0.00  
偏 心 (6)  
X 0.00 Y 0.00 Z 5.46  
0.00 0.00 0.00

10

【 0 0 9 3 】

また、側視光学素子の負の焦点距離を A mm、直視光路の焦点距離を B mm とすると、A / B の値は、

	実施例 1	実施例 2	実施例 3
A	0.294	0.976	0.366
B	0.870	0.871	0.820
A / B	0.338	1.121	0.446

20

である。

【 0 0 9 4 】

また、

$$A / B < 2 \quad \dots (1)$$

なる条件を満足することにより、側視光路の観察画角を広く取ることが可能となる。上限を超えると、側視光路の観察画角を広く取ることができず、直視光路の像に対して側視光路の円環状の像を必要以上に大きくする必要が出てきてしまう。

【 0 0 9 5 】

30

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。

【 0 0 9 6 】

また、前群 1 0 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 0 9 7 】

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。

40

【 0 0 9 8 】

また、本発明の前群 1 0 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 等にする事により、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。

【 0 0 9 9 】

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

50

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。

#### 【0100】

図12は、本実施例の画像と撮像素子の配置例を示す。図12(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12(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B1に撮像素子50の大きさを合致させた例であり、図12(a)と同様に上下方向の映像は使用しない場合を示す。図12(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、側視光路Aの画像A1と直視光路Bの画像B1の両方をすべて撮像することができる。

10

#### 【0101】

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13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13(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13(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13(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を補正して表示するようにした例である。

20

#### 【0102】

図14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。

30

#### 【0103】

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。

#### 【0104】

図15(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15(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12(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。

40

#### 【0105】

また、図16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。

#### 【0106】

さらに、図17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

50

置 1 5 1 を取り付け、屋内に本発明による撮影光学系 1 0 1 を用いた投影装置 1 5 1 を配置し、撮影装置 1 5 1 で撮像された映像を電線 1 5 2 を介して投影装置 1 4 0 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 3 6 0 ° 全方位の被写体 O を、撮影光学系 1 0 1 を経て撮影装置 1 5 1 で撮影し、その映像信号を電線 1 5 2 を介して投影装置 1 4 0 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 1 0 2 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】

【 0 1 0 7 】

【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。

10

【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。

20

【図 12】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 13】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 14】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 15】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 16】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 17】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 0 8 】

1 ... 光学系中心軸

2 ... 中心軸

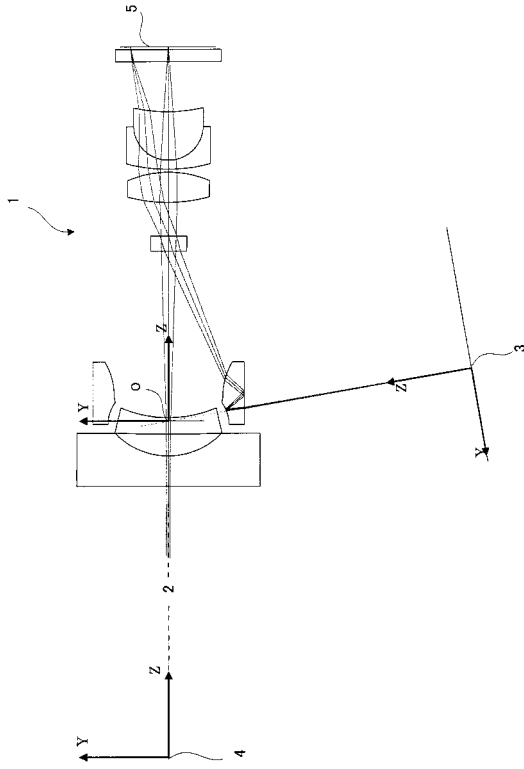
3 ... 側視物体面

4 ... 直視物体面

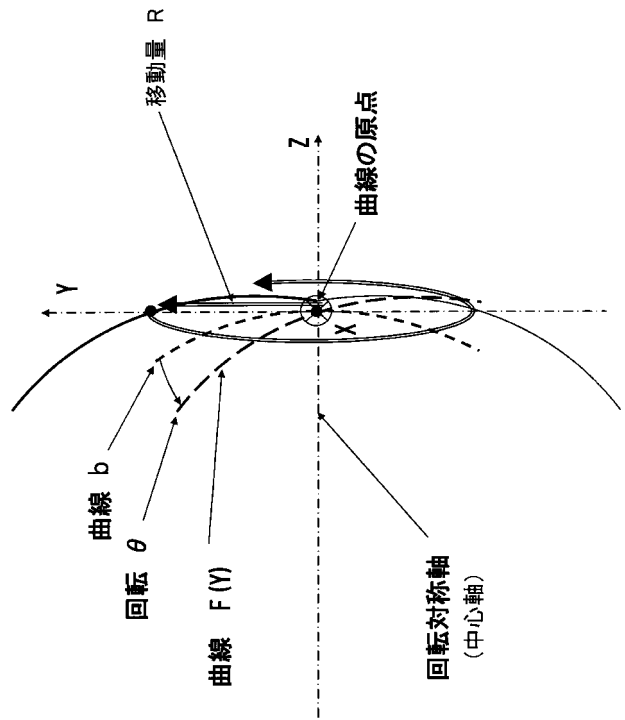
5 ... 像面

30

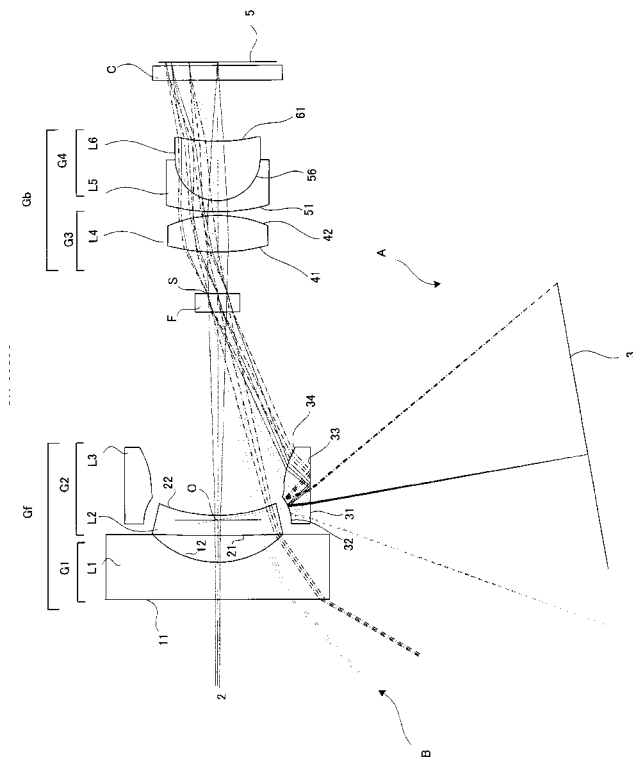
【図1】



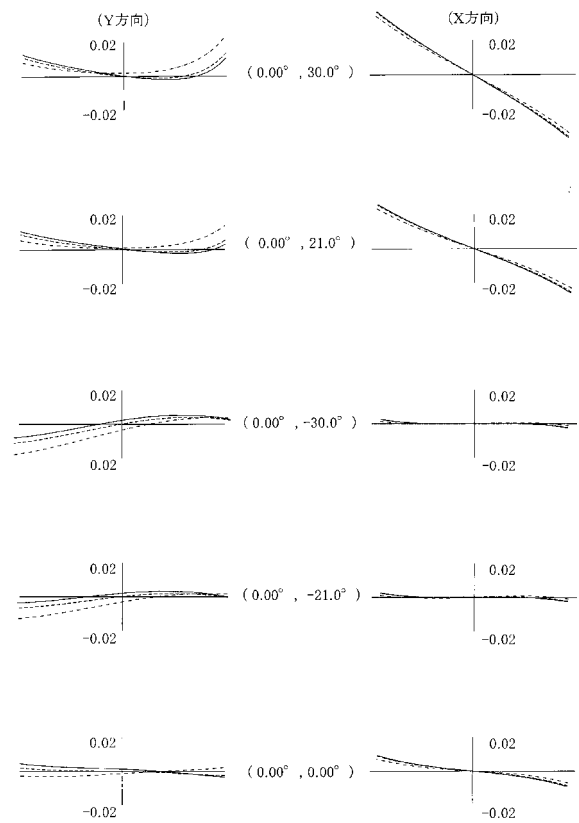
【図2】



【図3】

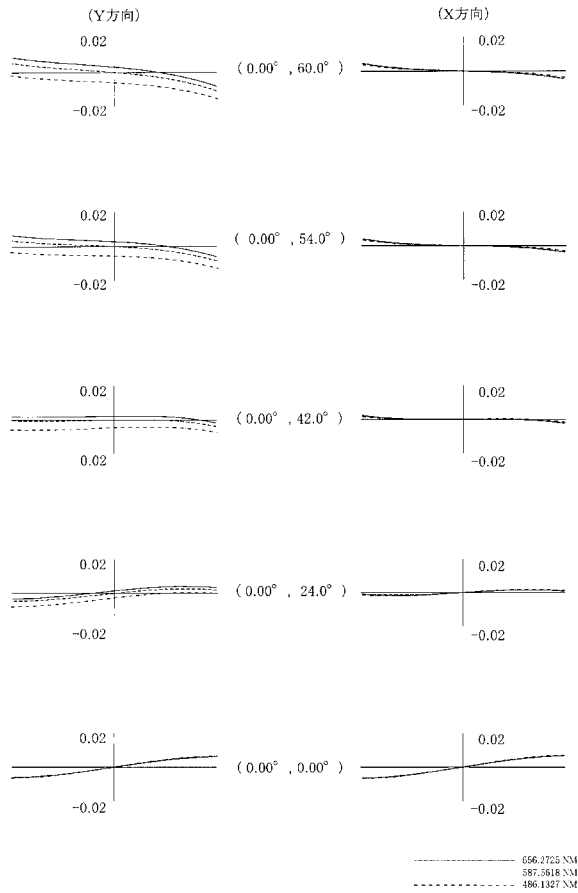


【図4】

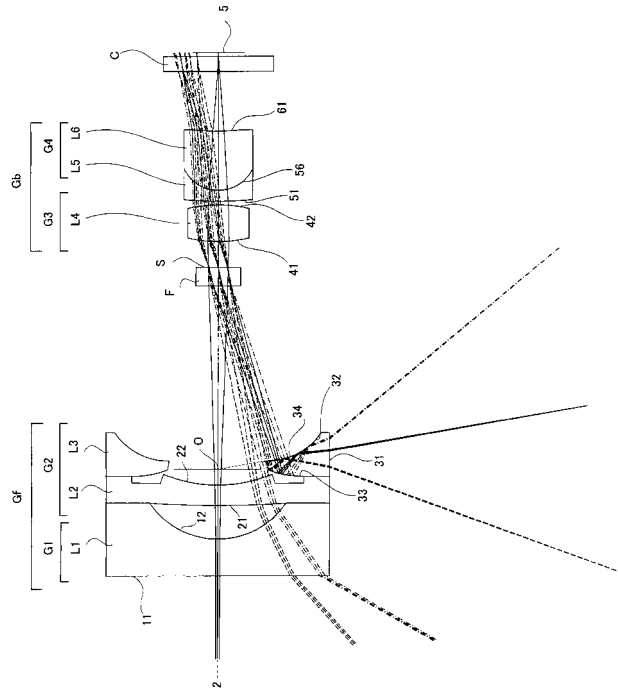


- - - - - 656.2725 NM  
 . . . . . 597.5618 NM  
 - - - - - 486.1327 NM

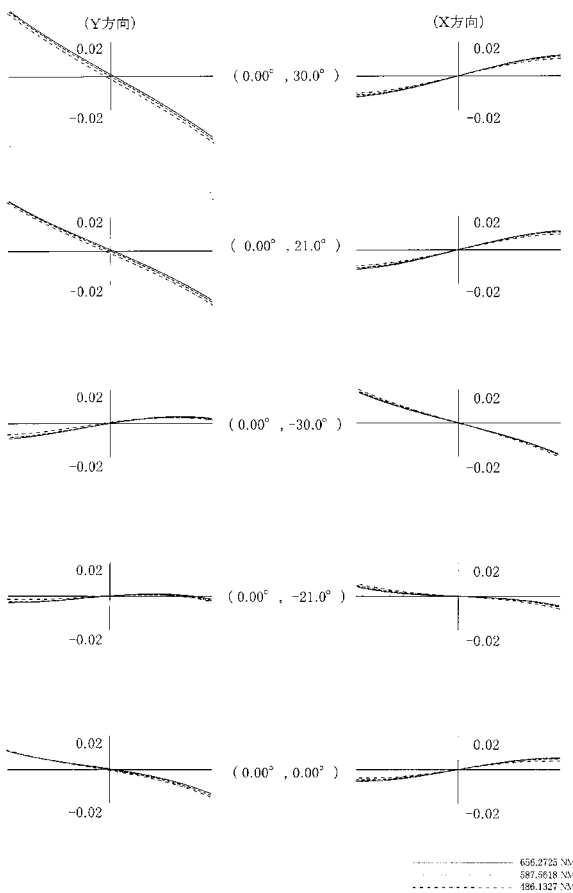
【 図 5 】



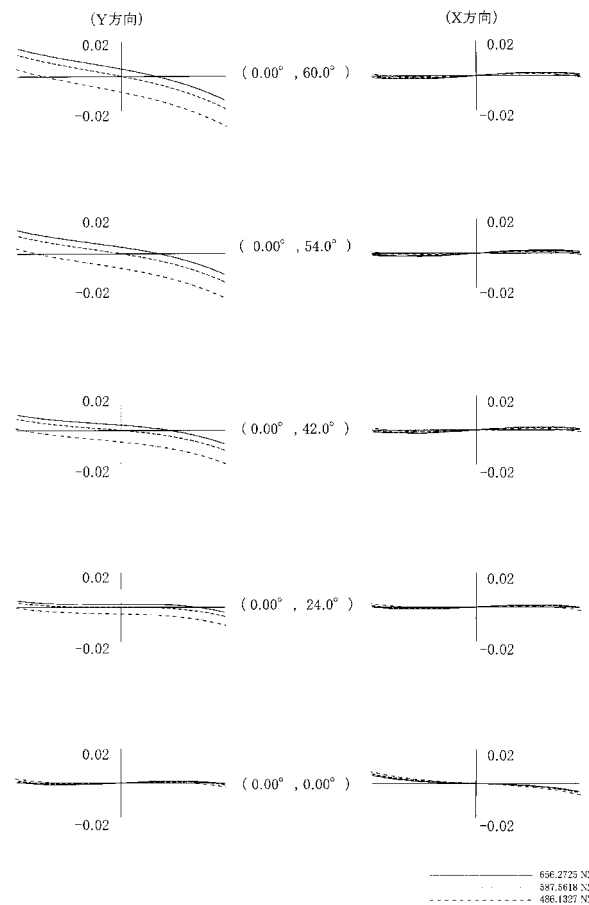
【 図 6 】



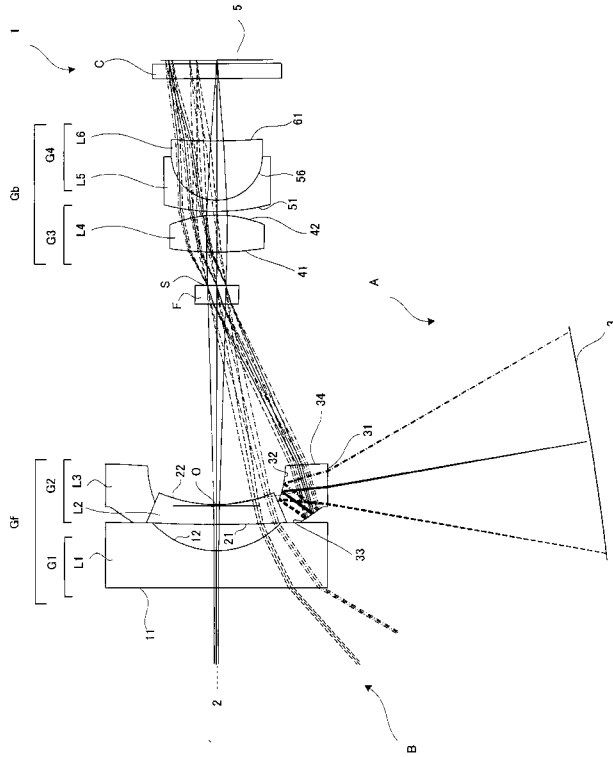
【 図 7 】



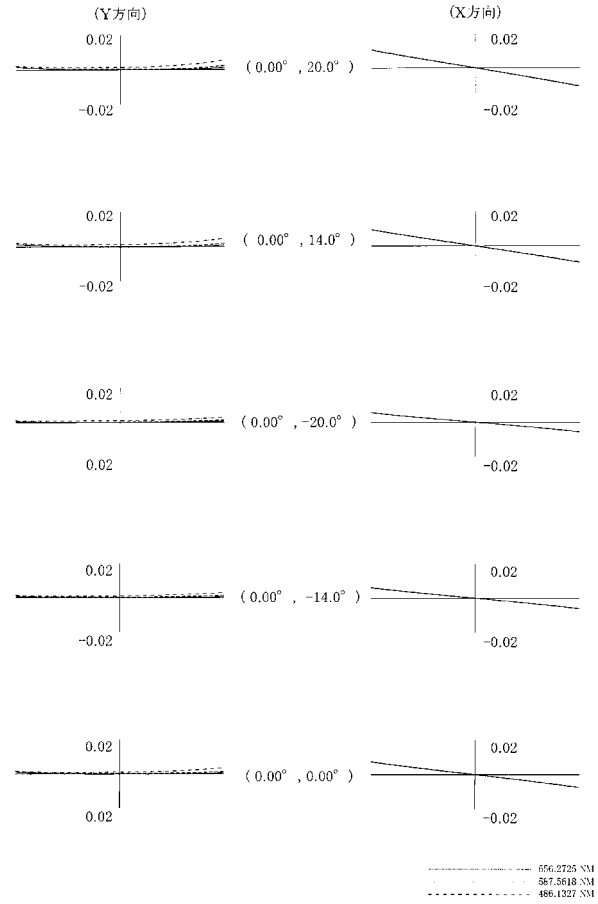
【 図 8 】



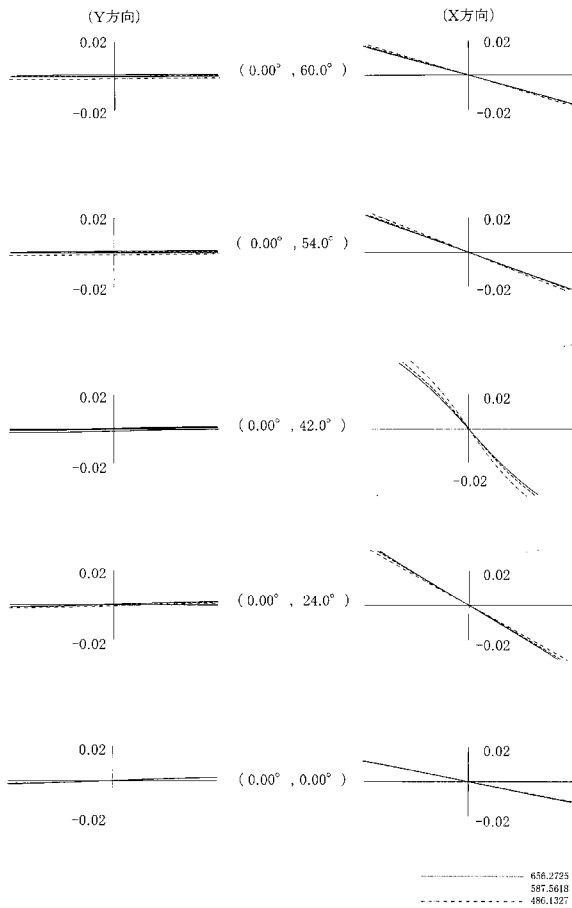
【 図 9 】



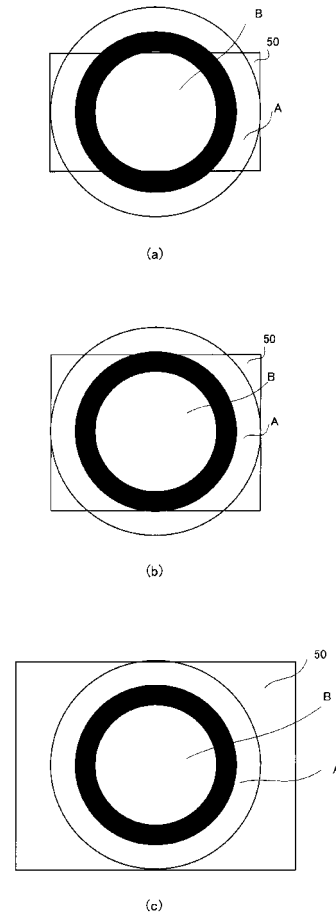
【 図 10 】



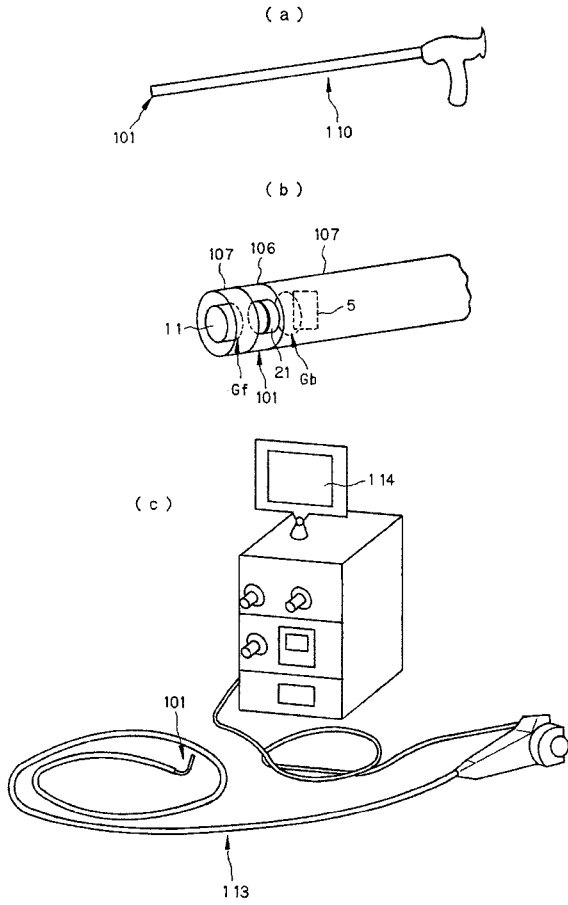
【 図 11 】



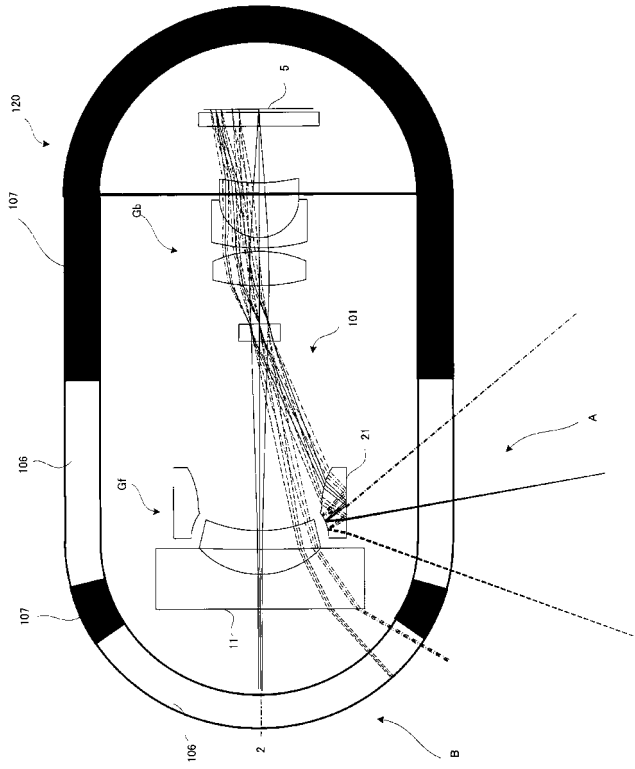
【 図 12 】



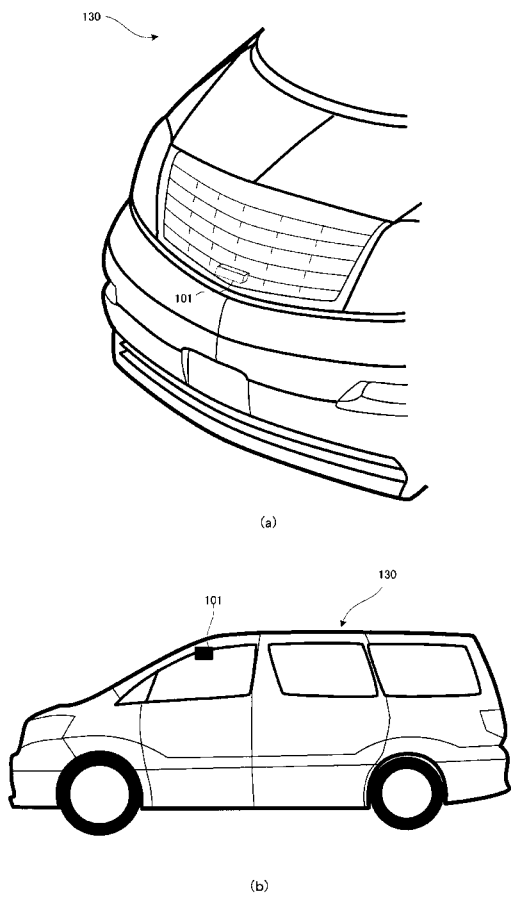
【 図 1 3 】



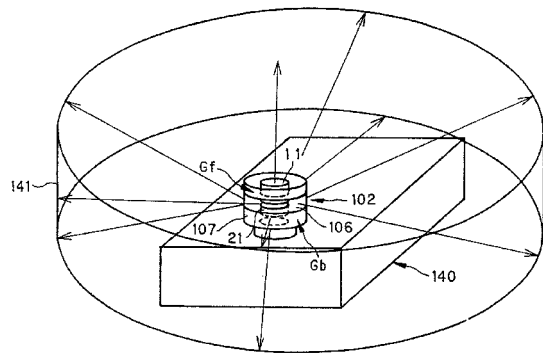
【 図 1 4 】



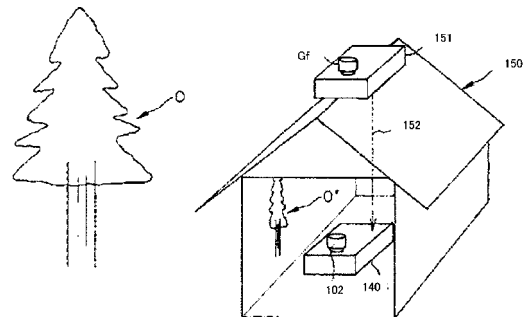
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



---

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 BA15 CA22 CA25 DA12 GA02

2H087 KA10 LA07 PA04 PA18 PB05 QA01 QA06 QA18 QA22 QA25

QA32 QA42 QA45 RA06 RA12 RA32 RA42 TA01 TA04

4C061 CC06 DD10 JJ20 LL02 PP11 UU06 UU08