

(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2005-345964

(P2005-345964A)

(43) 公開日 平成17年12月15日(2005. 12. 15)

(51) Int.Cl.⁷G02B 17/08
H04N 5/225

F I

G02B 17/08
H04N 5/225A
D

テーマコード (参考)

2H087
5C122

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 63 頁)

(21) 出願番号 特願2004-168493 (P2004-168493)
(22) 出願日 平成16年6月7日(2004. 6. 7)(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43番2号
(74) 代理人 100097777
弁理士 荏澤 弘
(74) 代理人 100088041
弁理士 阿部 龍吉
(74) 代理人 100092495
弁理士 蛭川 昌信
(74) 代理人 100095120
弁理士 内田 亘彦
(74) 代理人 100095980
弁理士 菅井 英雄
(74) 代理人 100094787
弁理士 青木 健二

最終頁に続く

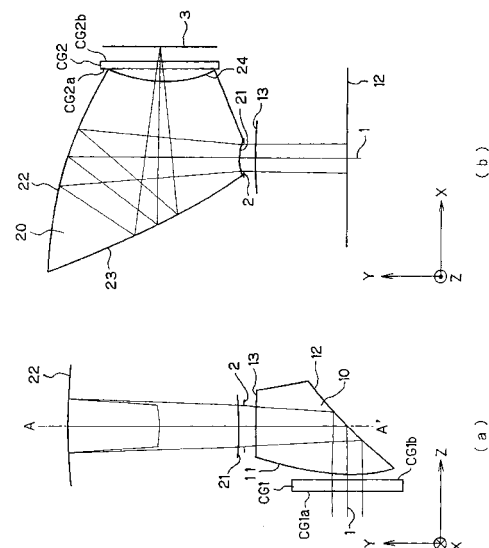
(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを用いた電子機器

(57) 【要約】

【課題】 低コストの小型薄型光学系及びそれを用いた電子機器。

【解決手段】 絞り2と、光軸から傾いた少なくとも2面の反射面12、22、23と、少なくとも1面の回転非対称な非球面屈折面11、13、21、24と、撮像素子3とを少なくとも有する光学系であり、全ての光軸1から傾いた反射面について、各々の反射面への入射側軸上主光線と反射側軸上主光線とによって規定される平面を各々の反射面の基準面としたとき、少なくとも何れか2面の反射面12、22、23が回転非対称な非球面形状を有し、かつ、反射面の方の反射面12の基準面と他方の反射面22、23の基準面とが任意の角度で交差し、物体側反射面12が回転非対称な非球面形状を有し、物体側反射面12とその基準面との交線を物体側反射面交線とすると、物体側反射面における物体側反射面交線方向と垂直方向の曲率半径に関する条件(1)を満たす。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絞りと、光軸から傾いた少なくとも 2 面の反射面と、少なくとも 1 面の回転非対称な非球面屈折面と、撮像素子とを少なくとも有する光学系において、

物体中心から絞り中心を通り像中心に至る光線を軸上主光線とし、光学系内の全ての光軸から傾いた反射面について、各々の反射面への入射側軸上主光線と反射側軸上主光線とによって規定される平面を各々の反射面の基準面としたとき、

少なくとも何れか 2 面の前記反射面が回転非対称な非球面形状を有し、かつ、前記反射面の一方の反射面の基準面と他方の反射面の基準面とが任意の角度で交差し、

前記反射面の中の最も物体側に配置された物体側反射面が回転非対称な非球面形状を有し、

前記物体側反射面とその基準面との交線を物体側反射面交線とするとき、

前記物体側反射面が、下記の条件式を満たすことを特徴とする光学系。

$$-0.5 < 1 / (R_{r1x} \cdot P_{1y}) < 0.5 \quad \dots (1)$$

ただし、 R_{r1x} ：前記物体側反射面における前記物体側反射面交線方向と垂直方向の曲率半径、

P_{1y} ：前記物体側反射面交線方向の全系のパワー、

である。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光学系と、その像側に配置された撮像素子とを備えていることを特徴とする電子機器。

【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電子機器に関するものであり、特に、コンパクトな光学系、及び、そのような光学系を用いた電子機器に関する。この電子機器には、例えば、デジタルカメラ、ビデオカメラ、デジタルビデオユニット、パーソナルコンピュータ、モバイルコンピュータ、携帯電話、情報携帯端末等がある。

【背景技術】

【0002】

自由曲面プリズムで撮像光学系を構成するものとして、特許文献 1、特許文献 2、特許文献 3、特許文献 4、特許文献 5 等のものが知られている。

【特許文献 1】特開平 11-64734 号公報

【特許文献 2】特開 2002-196243 号公報

【特許文献 3】特開平 8-292371 号公報

【特許文献 4】特開 2001-42220 号公報

【特許文献 5】特開 2001-330795 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

軸上主光線を、物体中心から絞り中心を通り、像中心に至る光線とする。また、光軸に対して傾いて配置されている反射面について、基準面を設定する。この基準面は、反射面に入射する軸上主光線と反射された軸上主光線とによって規定される平面である。この基準面は、各々の反射面毎に存在する。

【0004】

ここで、特許文献 1～特許文献 4 のものは全ての基準面が 1 つの面内にある。そのために、製造難易度が高くコストも上がる。この点を、図 1 を参照にして説明する。図 1 は、1 つの光軸（軸上主光線）に対して傾いており、かつ、回転非対称な非球面である反射面 R を模式的に示す斜視図である。ここで、入射光線の中心光線（軸上主光線）と反射光線の中心光線を含む平面を基準面とする。この基準面と非球面反射面 R が交差する方向を、

10

20

30

40

50

子午方向とする。また、軸上主光線が入射する点においてその基準面に直交する方向を、球欠方向とする。ここで、図1では、非球面反射面Rは、軸上主光線に対して傾いている（偏心している）。そのため、球欠方向の焦点距離は、偏心のないときに比べてより長くなる（パワーが弱くなる）。逆に、子午方向の焦点距離は、偏心のないときに比べてより短くなる（パワーが強くなる）。このため、収斂あるいは発散作用を、偏心のないときの焦点距離と同程度にしようとする、球欠方向については、焦点距離を短くしなくてはならない。このことは、収差補正上好ましくない。それだけでなく、非球面反射面Rの製造難易度が上がり、コストも上がる点からも、好ましくない。

【0005】

一方、特許文献5のものでは、基準面は1つの面内にないが、中間結像までは基準面が1つであり、同様である。 10

【0006】

本発明は、従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、低コストの小型薄型光学系及びそれを用いた電子機器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成する本発明の第1の光学系は、絞りと、光軸から傾いた少なくとも2面の反射面と、少なくとも1面の回転非対称な非球面屈折面と、撮像素子とを少なくとも有する光学系において、

物体中心から絞り中心を通り像中心に至る光線を軸上主光線とし、光学系内の全ての光軸から傾いた反射面について、各々の反射面への入射側軸上主光線と反射側軸上主光線とによって規定される平面を各々の反射面の基準面としたとき、 20

少なくとも何れか2面の前記反射面が回転非対称な非球面形状を有し、かつ、前記反射面の一方の反射面の基準面と他方の反射面の基準面とが任意の角度で交差し、

前記反射面の中の最も物体側に配置された物体側反射面が回転非対称な非球面形状を有し、

前記物体側反射面とその基準面との交線を物体側反射面交線とするとき、

前記物体側反射面が、下記の条件式を満たすことを特徴とするものである。

【0008】

$$-0.5 < 1 / (R_{r1x} \cdot P_{1y}) < 0.5 \quad \dots (1) \quad 30$$

ただし、 R_{r1x} ：前記物体側反射面における前記物体側反射面交線方向と垂直方向の曲率半径、

P_{1y} ：前記物体側反射面交線方向の全系のパワー、である。

【0009】

以下、第1の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。

【0010】

第1の光学系は、正パワーの撮像光学系であり、その光学系により撮像素子上に所定の物体の像を結像させるものである。この第1の光学系では、開口絞りと、光軸から傾いた少なくとも2面の反射面と、少なくとも1面の回転非対称な非球面屈折面と、撮像素子とを少なくとも有する。 40

【0011】

そして、少なくとも何れか2面の反射面が回転非対称な非球面形状を有し、かつ、その反射面の一方の反射面の基準面と他方の基準面とが任意の角度で交差するものである。このような配置を、ここでは3次元偏心と呼ぶことにする。なお、物体中心から絞り中心を通り像中心に至る光線が軸上主光線、反射面へ入射する軸上主光線と反射面で反射された軸上主光線とによって規定される平面がそれぞれの反射面の基準面である。

【0012】

このような反射屈折光学系において、上記のような3次元偏心配置をとると、光学系を小型化することができる。さらに、光学系の形状に自由度が増えるので、例えば、厚さ方 50

向を特に抑えたい等の要求に柔軟に応えることができる。

【0013】

上記のように、回転非対称な非球面形状を有する2面の反射面の基準面が相互に任意の角度で交差するように配置すると、各反射面は必然的に3次元的に偏心した配置となる。この場合、3次元的な偏心による回転非対称な収差（以下、単に、回転非対称な収差とする。）が発生するが、この回転非対称な収差は回転対称な光学系でのみ補正することは不可能である。ここで、回転非対称な収差を補正する最良な面形状は、回転非対称な非球面形状の面である。したがって、本発明の光学系においては、その少なくとも何れか2面の反射面が、このような回転非対称な非球面形状を有するものとしている。

【0014】

ここで、回転非対称な非球面形状を有する面としては、代表的なものとして自由曲面が使用できるが、自由曲面とは以下の式で定義されるものである。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0015】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{\{1 - (1 + k) c^2 r^2\}}] + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0016】

球面項中、

c：頂点の曲率

k：コーニック定数（円錐定数）

$r = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$

である。

【0017】

自由曲面項は、

$$\begin{aligned} & \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \\ &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 X Y + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 X Y^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} X Y^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} X Y^4 \\ &\quad + C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &\quad + C_{27} X Y^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &\quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} X Y^6 + C_{36} Y^7 \\ &\quad \dots \end{aligned}$$

ただし、 C_j （ j は2以上の整数）は係数である。

【0018】

上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、Xの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。また、Yの奇数次項を全て0にすることによって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。

【0019】

また、上記の回転非対称な曲面形状の面である自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式により定義できる。この面の形状は以下の式(b)により定義する。その定

10

20

30

40

50

義式 (b) の Z 軸が Z e r n i k e 多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y 面に対する Z の軸の高さの極座標で定義され、R は X-Y 面内の Z 軸からの距離、A は Z 軸回りの方位角で、X 軸から測った回転角で表せられる。

【0020】

$$\begin{aligned}
 x &= R \times \cos(A) \\
 y &= R \times \sin(A) \\
 Z &= D_2 \\
 &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\
 &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\
 &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\
 &+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\
 &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\
 &+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\
 &+ D_{16} R^4 \sin(4A) + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\
 &+ D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\
 &+ D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\
 &+ D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
 &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\
 &+ D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
 &+ D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
 &+ D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
 &+ D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \cdots \cdots
 \end{aligned}$$

10

20

... (b)

ただし、 D_m (m は 2 以上の整数) は係数である。なお、X 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_{10} 、 D_{11} 、 D_{12} 、 D_{13} 、 D_{14} 、 D_{20} 、 D_{21} 、 D_{22} ... を利用する。

【0021】

上記定義式は、回転非対称な曲面形状の面の例示のために示したものであり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0022】

なお、自由曲面の他の定義式の例として、次の定義式 (c) があげられる。

【0023】

$$Z = \sum \sum C_{nm} X^m Y^n$$

例として、 $k = 7$ (7 次項) を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

【0024】

$$\begin{aligned}
 Z &= C_2 \\
 &+ C_3 Y + C_4 |X| \\
 &+ C_5 Y^2 + C_6 Y |X| + C_7 X^2 \\
 &+ C_8 Y^3 + C_9 Y^2 |X| + C_{10} Y X^2 + C_{11} |X^3| \\
 &+ C_{12} Y^4 + C_{13} Y^3 |X| + C_{14} Y^2 X^2 + C_{15} Y |X^3| + C_{16} X^4 \\
 &+ C_{17} Y^5 + C_{18} Y^4 |X| + C_{19} Y^3 X^2 + C_{20} Y^2 |X^3| \\
 &+ C_{21} Y X^4 + C_{22} |X^5| \\
 &+ C_{23} Y^6 + C_{24} Y^5 |X| + C_{25} Y^4 X^2 + C_{26} Y^3 |X^3| \\
 &+ C_{27} Y^2 X^4 + C_{28} Y |X^5| + C_{29} X^6 \\
 &+ C_{30} Y^7 + C_{31} Y^6 |X| + C_{32} Y^5 X^2 + C_{33} Y^4 |X^3| \\
 &+ C_{34} Y^3 X^4 + C_{35} Y^2 |X^5| + C_{36} Y X^6 + C_{37} |X^7| \\
 &\cdots \cdots (c)
 \end{aligned}$$

40

なお、回転非対称面としては、アナモフィック面、トーリック面を用いることもできる。

【0025】

ところで、光軸から傾きかつ回転非対称な非球面反射面において、子午方向と球欠方向とで同程度の収斂・発散作用を得ようとするとき、図1を参照にして前に説明したように、子午方向とに比べて球欠方向の曲率半径が小さくなり、収差補正上好ましくない。それだけでなく、非球面反射面の製造難易度が上がり、コストも上がるため、好ましくない。本発明の光学系では、上記のように、一方の反射面の基準面と他方の基準面とが、相互に任意の角度で交差するように、各面を配置している。この配置としては、例えば、両基準面が直交するように配置がある。このように配置することで、一方の反射面での球欠方向が、他方の反射面での子午方向となる。そのため、一方の反射面において球欠方向のパワーが不足しても、その不足を他方の反射面で補うことができる。すなわち、所定の焦点距離を得るために、一方の反射面で球欠方向の曲率半径を無理に小さくしなくてもよい。一方、他方の反射面で子午方向は、面を傾けるだけで、より強いパワーが得られる。したがって、比較的大きな曲率半径を調整して補正すればよいので、収差の発生も少なく抑えることができる。その結果、低コストで良好な収差補正が実現できるようになる。

【0026】

上記のように、回転非対称な非球面反射面が光軸に対して傾いた状態において、子午方向と同程度の収斂・発散作用を得ようすると、上記のように、子午方向と比べて球欠方向の曲率半径が小さくなる。この場合、収差補正上好ましくないだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がるため好ましくない。そこで、3次元偏心を行い、条件式(1)を満たすことで、最も物体側に配置された物体側反射面の球欠方向の曲率半径を大きくできる。このようにすることで、良好な収差補正が可能となる。なお、3次元偏心を行わずに、条件式(1)を満たしても意味はない。それは、最も物体側に配置された物体側反射面以外の面で、球欠方向のパワーを得なければならないからである。この場合、他の反射面や屈折面において、球欠方向の曲率半径を小さくしなければならない。これは、収差補正上、好ましくないだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がる点からも好ましくない。

【0027】

条件式(1)の下限の -0.5 を下回り、 R_{r1x} が小さくなると、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がるため好ましくない。また、全体として正のパワーを得るために R_{r1y} （最も物体側に配置された物体側反射面の子午方向の曲率半径）を正とすると、反射面が鞍状になる。そのために、製造難易度はさらに上がる。よって、コストも上がり好ましくない。上限の 0.5 を越え、 R_{r1x} が小さくなると、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がるため好ましくない。

【0028】

また、下記の条件式(1-2)を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、さらに製造難易度を下げて、低コスト化を行うことができる。

【0029】

$$0 < 1 / (R_{r1x} \cdot P1y) < 0.3 \quad \dots (1-2)$$

この条件式(1-2)の上限・下限共、意味は条件式(1)と同様である。

【0030】

また、下記の条件式(1-3)を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、さらに製造難易度を下げて、低コスト化を行うことができる。

【0031】

$$0 < 1 / (R_{r1x} \cdot P1y) < 0.1 \quad \dots (1-3)$$

この条件式(1-3)の上限・下限共、意味は条件式(1)と同様である。

【0032】

本発明の第2の光学系は、第1の光学系において、前記一方の反射面は前記絞りより物体側に配置され、前記他方の反射面は前記絞りより像側に配置されていることを特徴とするものである。

【0033】

以下、第2の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。

【0034】

このように、回転非対称な曲面形状の反射面を開口絞りに対して対称に配置すると、収差補正上好ましい。特に、3次元偏心と回転非対称な非球面反射面とを組み合わせる場合に好ましい。一方の反射面を物体側反射面、他方の反射面を像側反射面として考える。例えば、物体側反射面が絞りから離れて配置されているとき、物体側反射面での補正は、いわゆるコマ収差や歪曲収差等の収差に好ましい。しかし、上で述べたように、物体側反射面で球欠方向の曲率半径を比較的大きくすると、所望の収差補正が行われない。このとき、像側反射面も絞りから離れて配置し、像側反射面の子午方向で収差補正することで、収差補正上物体側反射面で補正したのと同程度の補正効果が得られる。その結果、回転非対称な非球面反射面と3次元偏心と絞り対称とを組み合わせることで、低コストで良好な収差補正を実現できる。このとき、リレー光学系を用いて共役な面を作ることと同様な効果が得られるが、光路長が長くなるので好ましくない。

10

【0035】

本発明の第3の光学系は、第1、第2の光学系において、前記反射面とその基準面との交線を各々の反射面の交線とするとき、前記反射面の中の回転非対称な非球面形状を有する全ての反射面が、下記の条件式を満たすことを特徴とするものである。

【0036】

$$-5 < R_{ry} / R_{rx} < 5 \quad \dots (2)$$

ただし、 R_{ry} ：各反射面の交線方向の曲率半径、

20

R_{rx} ：各反射面の交線方向と垂直方向の曲率半径、

である。

【0037】

以下、第3の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。

【0038】

回転非対称な非球面反射面が光軸に対して傾いた状態において、子午方向と同程度の収斂・発散作用を得ようとするとき、上記のように、子午方向に比べて球欠方向の曲率半径を小さくしなくてはならない。これは、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がる点からも好ましくない。そこで、3次元偏心を行い、条件式(2)を満たすことで、最も物体側に配置された物体側反射面における球欠方向の曲率半径を大きくすることができる。その結果、更に良好な収差補正が可能となる。また、製造難易度も下がるために、低コスト化が可能である。

30

【0039】

条件式(2)の上限の5を越え、 R_{rx} が小さくなると、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がるため好ましくない。なお、3次元偏心を行わずに、条件式(2)を満たしても意味はない。それは、最も物体側に配置された物体側反射面以外の面で、球欠方向のパワーを得なければならないからである。この場合、他の反射面や屈折面において、球欠方向の曲率半径を小さくしなければならない。そうすると、球欠方向のパワーをより強くすることになるので、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がり、コストも上がるため好ましくない。条件式(2)の下限の-5を下回って、 R_{rx} が小さくなると、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がるため好ましくない。また、反射面が鞍状になるために、製造難易度はさらに上がる。よって、コストも上がるので、好ましくない。

40

【0040】

さらに、下記の条件式(2-2)を満足するのが好ましい。この条件を満たすことで、さらに製造難易度を下げて、低コスト化を行うことができる。

【0041】

$$-2 < R_{ry} / R_{rx} < 2 \quad \dots (2-2)$$

この条件式(2-2)の上限・下限共、意味は条件式(2)と同様である。

【0042】

50

さらに、下記の条件式（２－３）を満足するのが好ましい。この条件を満たすことで、さらに製造難易度を下げて、低コスト化を行うことができる。

【００４３】

$$-0.5 < R_{ry} / R_{rx} < 0.5 \quad \dots (2-3)$$

この条件式（２－３）の上限・下限共、意味は条件式（２）と同様である。

【００４４】

本発明の第４の光学系は、第１～第３の光学系において、前記回転非対称な非球面屈折面の中の最も物体側の屈折面を物体側屈折面とし、前記物体側屈折面と前記物体側反射面の基準面との交線を物体側屈折面交線とすると、前記物体側屈折面が、下記の条件式を満たすことを特徴とするものである。

10

【００４５】

$$-3 < 1 / (R_{t1y} \cdot P_{2y}) < 0 \quad \dots (3)$$

ただし、 R_{t1y} ：前記物体側屈折面における前記物体側屈折面交線方向の曲率半径、
 P_{2y} ：前記物体側屈折面交線方向の全系のパワー、
 である。

【００４６】

以下、第４の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。

【００４７】

上記のように、(1) 絞りの前後に少なくとも１面の回転非対称な非球面形状を有する反射面を配置し、(2) ３次元偏心配置をとり、(3) 物体側反射面（第１反射面）の球欠方向の収斂作用については、像側の反射面（第２反射面）を利用すると、低コストで良好な収差補正を実現できる。ところが、第１反射面と第２反射面とは距離が離れているために、第１反射面の子午方向と球欠方向で光学系の主点位置と焦点距離が異なってしまう。その結果、像が歪むという悪影響が出る。そこで、条件式（３）を満足することが好ましい。この条件を満足することで、第１反射面の子午方向を、負パワーにすることができ、すると、第１反射面の子午方向において、全系の後側主点位置を、像側に設定できる。その結果、第１反射面の子午方向と球欠方向とで、全系の主点位置及び焦点距離の差を小さくできる。

20

【００４８】

条件式（３）の下限の－３を下回ると、 P_{2y} に比べて $1 / R_{t1y}$ の絶対値が大きすぎるため、収差補正上好ましくない。それだけでなく、製造難易度が上がるために好ましくない。上限の０を越えると、第１反射面の球欠方向における、物体側屈折面の負のパワーが小さくなりすぎる。そのため、その方向の後側主点位置を、より像側に設定することができない。その結果として、第１反射面の子午方向と球欠方向との主点位置、及び焦点距離の差を小さくできず、像歪み等の影響が大きくなる。また、下記の条件式（３－２）を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、第１反射面の子午方向と球欠方向との主点位置と焦点距離の差を小さくでき、像歪み等の影響を小さくできる。結果として、低コストで良好な画質を得ることができる。

30

【００４９】

$$-1 < 1 / (R_{t1y} \cdot P_{2y}) < 0 \quad \dots (3-2)$$

この条件式（３－２）の上限・下限共、意味は条件式（３）と同様である。

40

【００５０】

また、下記の条件式（３－３）を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、第１反射面の子午方向と球欠方向との主点位置と焦点距離の差を小さくでき、像歪み等の影響を小さくできる。その結果として、低コストで良好な画質を得ることができる。この条件式（３－３）の下限の意味は条件式（３）と同様である。また、その上限の－０．１を越えないようにすると、像歪み等の影響をより抑えることができる。

【００５１】

$$-0.5 / (R_{t1y} \cdot P_{2y}) < -0.1 \quad \dots (3-3)$$

第５の光学系は、第１～第４の光学系において、全ての反射面及び屈折面が回転非対称

50

な非球面形状を有することを特徴とするものである。

【0052】

以下、第5の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。光学系を構成する全ての反射面及び屈折面が、回転非対称な非球面形状を有するようにすることで、少ない面数で、回転非対称な収差をより良好に補正することができる。その結果として、より小型薄型な光学系を実現することができる。

【0053】

第6の光学系は、第1～第5の光学系において、前記絞りより物体側に配置された少なくとも1つの光学素子が、少なくとも1面の反射面と少なくとも2面の屈折面とを有するものであることを特徴とするものである。

10

【0054】

第7の光学系は、第1～第6の光学系において、前記絞りより像側に配置された少なくとも1つの光学素子が、少なくとも1面の反射面と少なくとも2面の屈折面とを有するものであることを特徴とするものである。

【0055】

以下、第6、第7の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。反射面は屈折面に比して偏心誤差感度が高いため、組み立て調整に高い精度を要求される。しかし、反射光学素子の中でも、プリズムは、それぞれの面の相対的な位置関係が固定されている。そのため、プリズム単体として偏心を制御すればよい。よって、プリズムを用いると、必要以上の組み立て精度、調整工数が不要である。さらに、プリズムは、屈折面である入射面と射出面、それと反射面を有している。そのため、反射面しか持たないミラーによる構成に比べて、収差補正の自由度が大きい。特に、プリズムでは、反射面に所望のパワーの大部分を分担させ、屈折面である入射面と射出面のパワーを小さくすることができる。このようにすることで、ミラーに比べて収差補正の自由度を大きく保ったまま、色収差の発生を非常に小さくすることが可能である。また、プリズム内部は空気よりも屈折率の高い透明体で満たされているために、空気に比べ光路長を長くとることができる。よって、空气中にミラーを配置する構成よりは、光学系の薄型化、小型化が可能である。

20

【0056】

第8の光学系は、第6、第7の光学系において、少なくとも1つの前記光学素子が移動することによって合焦を行うことを特徴とするものである。

30

【0057】

第9の光学系は、第1～第8の光学系において、少なくとも前記撮像素子が移動することによって合焦を行うことを特徴とするものである。

【0058】

第10の光学系は、第1～第9の光学系において、前記絞りが前記撮像素子の撮像面と略垂直に配置されることを特徴とするものである。

【0059】

第11の光学系は、第1～第10の光学系において、前記撮像素子の撮像面の法線ベクトルが、光学系の入射光線ベクトルと略垂直であることを特徴とするものである。

【0060】

第12の光学系は、第1～第11の光学系において、前記反射面の中、最も物体側に配置された物体側反射面と、その物体側反射面の基準面との交線上で反射した光線束が、前記撮像素子の略短辺方向に結像し、前記反射面の中、最も像側に配置された像側反射面と、その像側反射面の基準面との交線上で反射した光線束が、前記撮像素子の略長辺方向に結像するように配置されていることを特徴とするものである。

40

【0061】

以下、第12の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。最も物体側に配置された物体側反射面（以下、最物体側反射面とする。）について、子午方向に入射した光線束が撮像素子の略短辺方向に結像するように、最物体側反射面を配置する。これにより、光学系の入射面から最物体側反射面までの光路長を短くできる。その結果、光学系の

50

入射光線方向、いわゆる光学系厚さを薄くできる。また、最も像側に配置された像側反射面（以下、最像側反射面とする。）について、子午方向で反射した光線束が撮像素子の略長辺方向に結像するように、最像側反射面を配置する。このようにすることにより、最物体側反射面の基準面と最像側反射面の基準面が略垂直に交差するように、最物体側反射面と最像側反射面を構成することができる。よって、像面の法線ベクトルと光学系へ入射する光線の入射方向、すなわち、光学系の厚さ方向とが略垂直になる。よって、撮像素子自体の厚さの影響で光学系の厚さが厚くなるのを防ぐことができ、薄型化が実現しやすくなり好ましい。

【0062】

第13の光学系は、第1～第12の光学系において、全反射回数が以下の条件式を満たすことを特徴とするものである。 10

【0063】

$$2 \leq R_{a11} \leq 4 \quad \dots (4)$$

ただし、 R_{a11} ：全反射回数、である。

【0064】

以下、第13の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。3次元偏心を行うには複数の反射回数が必要となる。ところが、反射回数が多くなると、(1) 光学系が大型化する、(2) 各反射面での面精度誤差、偏心精度誤差等が積算され転送されるため、個々の精度が厳しくなり、コストアップにつながる、(3) 光量損失が大きくなる等の欠点が多く好ましくない。20 (3)の対策のために全反射を用いると、反射面への入射角度が大きくなる。そのために、(2)の問題がより大きくなり、やはり好ましくない。条件式(4)を満たすことで、小型化と低コスト化、さらには低光量損失の両立が可能となる。下限の2を下回ると、小型のままで3次元的に偏心することが不可能となる。上限の4を越えると、反射回数が多すぎるために、上記課題が顕在化し、好ましくない。

【0065】

また、下記の条件式(4-2)を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、さらに低コスト化・低光量損失の両立が可能となり、好ましい。

【0066】

$$2 \leq R_{a11} \leq 3 \quad \dots (4-2) \quad 30$$

この条件式(4-2)の上限の3を越えると、光路長が長くなるために、広画角化に不向きである。

【0067】

また、下記の条件式(4-3)を満足することが好ましい。この条件を満たすことで、光路長を短くできる。よって、高画質を保ったままで広画角化が可能となる。

【0068】

$$R_{a11} = 2 \quad \dots (4-3)$$

第14の光学系は、第1～第13の光学系において、前記反射面間に遮光部材を有することを特徴とするものである。

【0069】

第15の光学系は、第14の光学系において、前記遮光部材が前記絞りと一体に形成されていることを特徴とするものである。 40

【0070】

以下、第14、第15の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。上記のような複数の反射面を持つ偏心光学系においては、正規の入射角以外の角度から入射する光線が存在する。これらの光束は、光学系を構成する反射面や屈折面で反射して、撮像面に入射するものもある。このようにして撮像面に到達した光は、ゴースト光やノイズ光となる。そこで、反射面間に遮光部材を配置するのが好ましい。このようにすれば、ゴースト光やノイズ光を遮断することができる。特に、正規の光束径が最小になる開口位置に、遮光部材を配置することが望ましい。この場合、絞りとその遮光部材を、一体に形成する 50

ことができる。

【0071】

第16の光学系は、第1～第15の光学系において、少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とするものである。

【0072】

第17の光学系は、第16の光学系において、少なくとも1枚の前記レンズが、全ての前記反射面よりも像側に配置されていることを特徴とするものである。

【0073】

第18の光学系は、第16、第17の光学系において、少なくとも1枚の前記レンズを移動することによって合焦を行うことを特徴とするものである。

10

【0074】

第19の光学系は、第16の光学系において、撮影時に、全ての前記反射面よりも物体側に少なくとも1枚の前記レンズが取り付けられることを特徴とするものである。

【0075】

第20の光学系は、第19の光学系において、前記レンズの取り付けにより変倍効果を得ることを特徴とするものである。

【0076】

以下、第16～第20の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。上記のような3次元偏心光学系において、レンズを用いることは必須ではない。しかしながら、1枚以上の回転対称なレンズを何れかの位置に配置すれば、このレンズを合焦用、ワイドコンバータ用、テレコンバータ用に用いることができる。特に、合焦用には、光学系の最も像側にレンズを配置して、光軸に沿って移動可能にする。また、ワイドコンバータ用、テレコンバータ用には、光学系の最も物体側において、レンズを着脱可能にする。

20

【0077】

第21の光学系は、第1～第20の光学系において、光学系を構成する少なくとも1つの光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いることを特徴とするものである。

【0078】

以下、第21の光学系において上記構成をとる理由と作用を説明する。

【0079】

光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いると、有機成分と無機成分の種類と存在量比率に応じて、種々の光学特性（屈折率、波長分散性）が発現するようになる（得られる）。このことから、有機成分と無機成分を任意の比率で配合することで、種々の光学特性が得られるようになり、より少ない枚数すなわち低コスト・小型で諸収差を補正できる。

30

【0080】

第22の光学系は、第21の光学系において、前記有機無機複合体は、ジルコニアのナノ粒子を含むことを特徴とするものである。

【0081】

第23の光学系は、第21の光学系において、前記有機無機複合体は、ジルコニアとアルミナのナノ粒子を含むことを特徴とするものである。

40

【0082】

第24の光学系は、第21の光学系において、前記有機無機複合体は、ニオブ酸化物のナノ粒子を含むことを特徴とするものである。

【0083】

第25の光学系は、第21の光学系において、前記有機無機複合体は、ジルコニウムアルコキシドの加水分解物とアルミナのナノ粒子を含むことを特徴とするものである。

【0084】

第22～第25の光学系において、上記構成をとる理由とその作用を説明する。これらの材料のナノ粒子は、無機成分の例示である。そして、このようなナノ粒子を有機成分のプラスチック中に所定の存在量比率で分散させることにより、種々の光学特性（屈折率、

50

波長分散性)を発現させることができる。

【0085】

第26の電子機器は、第1～第25の光学系と、その像側に配置された電子撮像素子とを備えていることを特徴とするものである。

【0086】

以下、第26の電子機器において上記構成をとる理由と作用を説明する。上記の光学系は、小型薄型で低コストの光学系である。よって、このような光学系を撮像光学系として電子機器に搭載すれば、これらの電子機器の小型薄型化・低コスト化を図ることができる。なお、電子機器としては、デジタルカメラ、ビデオカメラ、デジタルビデオユニット、パーソナルコンピュータ、モバイルコンピュータ、携帯電話、情報携帯端末、電子内視鏡等がある。

10

【0087】

第27の電子機器は、第26の電子機器において、前記光学系で形成された像の形状を電氣的に補正する手段を備えていることを特徴とするものである。

【0088】

以下、第27の電子機器において上記構成をとる理由と作用を説明する。歪曲収差を光学系で良好に補正しようとする、光学素子数が増え光学系が大型化する。そこで、光学系で補正し切れない歪曲収差を、電氣的に補正する。このようにすることで、光学系をよりコンパクトにすることができるので好ましい。

【0089】

第28の電子機器は、第27の電子機器において、前記補正は波長領域毎に異なるパラメータを用いることを特徴とするものである。

20

【0090】

以下、第28の電子機器において上記構成をとる理由と作用を説明する。光学系で倍率色収差を良好に補正しようとする、光学素子数が増え光学系が大型化する。そこで、光学系で補正し切れない倍率色収差を、電氣的に補正する。このようにすることで、光学系をよりコンパクトにすることができるので好ましい。

【0091】

第29の電子機器は、第16～第20の光学系と、その像側に配置された撮像素子とを備えている電子機器において、前記レンズは未使用時は電子機器内に収納されていることを特徴とするものである。

30

【0092】

以下、第29の電子機器において上記構成をとる理由と作用を説明する。レンズを着脱可能にする場合、未使用時に、そのレンズを電子機器内に収納可能にする。このようにすることにより、携帯時に何時もレンズを使用でき、また、レンズの紛失を防止することができる。

【発明の効果】

【0093】

本発明によると、低コストの小型薄型光学系及びそれを用いた電子機器を得ることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0094】

以下に、本発明の光学系（撮像光学系）の実施例について、図面を用いて説明する。

【0095】

各実施例の構成パラメータにおいては、例えば図2(a)にY-Z断面図、図2(b)にX-Y断面図に示すように、順光線追跡で、軸上主光線1を、光学系の最も物体側の第1面(図2では、カバーガラスCG1の第1面CG1a)に対して垂直に入射し、光学系の絞り2の中心を通り、像面3の中心に至る光線で定義する。そして、光学系の最も物体側の第1面(図2では、カバーガラスCG1の第1面CG1a)と軸上主光線1とが交差する位置を、偏心光学系の偏心光学面の原点としている。また、軸上主光線1に沿う方向

50

をZ軸方向とし、物体から第1面に向かう方向をZ軸正方向とする。また、絞り2より物体側で光軸（軸上主光線）1が折り曲げられる平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交する方向をX軸方向とする。そして、図2（a）の紙面の表から裏へ向かう方向をX軸正方向とする。さらに、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。

【0096】

後述の実施例1～10は、自由曲面を有する2つの光学素子を含み、各実施例の物体側の光学素子の各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面とし、各実施例の像側の光学素子の各回転非対称自由曲面の唯一の対称面を絞り2の中心を通りX-Y面と平行な面としている。

【0097】

偏心面については、光学系の原点からその面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向のシフト量をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記の（a）式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（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、面の中心軸とそのXYZ直交座標系を、まずX軸の周りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した面の中心軸を新たな座標系のY軸の周りで反時計回りに β 回転させると共に、1度回転した座標系もY軸の周りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その2度回転した面の中心軸を新たな座標系の新たな座標系のZ軸の周りで時計回りに γ 回転させるものである。

【0098】

また、各実施例の光学系を構成する光学機能面（反射面、屈折面）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、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。

【0099】

図2は、本発明の実施例1に係る光学系の配置と光路を示す光軸（軸上主光線）1に沿う断面図である。図2（a）は、物体中心から絞り2の中心に至る光軸（軸上主光線）1に沿うY-Z断面図であり、後述の反射面23以降の面はこの断面上にないため図示はしていない。図2（b）は、絞り2の中心から像面3の中心に至る光軸（軸上主光線）1に沿う断面図であり、図2（a）におけるA-A'断面図である。この断面図において、後述の入射面11以前の面はこの断面上にないため、図示はしていない。

【0100】

この実施例の光学系の横収差図を図12、図13に示す。図12において、（a）はX方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、（b）はX方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のZ方向の横収差、（c）はX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（d）はX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、（e）はX正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（f）はX正方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、（g）はX正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、（h）はX正方向最大画角、Y方向画角がゼロを通る主光線のZ方向の横収差、（i）はX正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（j）はX正方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、図13において、（k）はX方向画角がゼロ、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（l）はX方向画角がゼロ、Y正方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、（m）はX負方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（n）はX負方向最大画角、Y正方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、（o）はX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（p）はX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のZ方向の横収差、（q）はX負方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、（r）はX負方向最大画角、Y負方向最大画角を通る主

10

20

30

40

50

光線の Z 方向の横収差を示している。なお、ここでの Y 方向、Z 方向は光学系の原点を基準にしている。

【0101】

実施例 1 の光学系は、物体側から順に、カバーガラス C G 1 と、前群の光学素子 1 0 と、開口絞り 2 と、後群の光学素子 2 0 と、カバーガラス C G 2 とを有して構成されている。図中、3 は像面（撮像面）である。

【0102】

カバーガラス C G 1、C G 2 は、平行平板状に形成されている。

【0103】

光学素子 1 0 は、光学機能面として、入射面 1 1、反射面 1 2 及び射出面 1 3 を有する。この光学素子 1 0 は偏心プリズムである。入射面 1 1 を経て入射した軸上主光線 1 は、反射面 1 2 で内部反射され、射出面 1 4 で屈折されて、光学素子 1 0 の外に射出する。 10

【0104】

光学素子 2 0 は、光学機能面として、入射面 2 1、反射面 2 2、反射面 2 3 及び射出面 2 4 を有する。この光学素子 2 0 も、偏心プリズムである。入射面 2 1 を経て入射した軸上主光線 1 は、反射面 2 2 で内部反射され、次いで反射面 2 3 で内部反射される。続いて軸上主光線 1 は、射出面 2 4 で屈折されて、光学素子 2 0 の外に射出する。入射面 2 1 から反射面 2 2 に向かう軸上主光線 1 と、反射面 2 3 から射出面 2 4 に向かう軸上主光線 1 とは、光学素子 2 0 内で交差している。すなわち、入射面 2 1、反射面 2 2、反射面 2 3 及び射出面 2 4 は、軸上主光線 1 が交差するように、それぞれ配置されている。ここで、Z 軸の正方向から見たとき、軸上主光線 1 は、光学素子 2 0 内で左回りに回転するように進む。 20

【0105】

光学素子 1 0 の入射面 1 1、反射面 1 2 及び射出面 1 3、光学素子 2 0 の入射面 2 1、反射面 2 2、反射面 2 3 及び射出面 2 4 は、何れも、自由曲面形状に形成されている。そして、これらの面は、回転非対称なパワーを有する。また、光学素子 1 0 の入射面 1 1、反射面 1 2 及び射出面 1 3 は、Y-Z 面内で偏心し、光学素子 2 0 の入射面 2 1、反射面 2 2、反射面 2 3 及び射出面 2 4 は、X-Y 面内で偏心している。

【0106】

この実施例の光学系において、遠方の物体の中心から出た軸上主光線 1 は、カバーガラス C G 1、光学素子 1 0、開口絞り 2 の中心、光学素子 2 0 及びカバーガラス C G 2 を経て、像面 3 中心に達してその物体の像を結像する。 30

【0107】

この実施例においては、ゴースト光やノイズ光の発生を防止する対策が施されている。具体的には、例えば、光学素子 1 0 の射出面 1 3 の有効領域以外の面部分に、黒色塗料等の遮光部材が施されている。また、開口絞り 2 の外側に、開口絞り 2 と一体に、光吸収部材を設けるようにしてもよい。このようにしても、ゴースト光やノイズ光の発生を防止することができる。

【0108】

ここで、実施例 1 の各光学機能面 1 1～1 3、2 1～2 4 を規定するために用いられる自由曲面の面の形状は、前記 (a) 式により定義される自由曲面であり、その定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。偏心光学系のパワーと焦点距離の定義については、例えば米国特許第 6, 124, 989 号（特開 2000-66105 号）の図 15 に基づいて定義されるものである。なお、以上の自由曲面の面の形状、偏心光学系のパワーと焦点距離の定義については、以下の実施例においても同じである。 40

【0109】

この実施例の数値データは後記するが、その数値データ中、“F F S” は自由曲面、“R E” は反射面を示している。また、屈折率、アッペ数は d 線のものである。これらは、以下の実施例の数値データにおいて共通である。

【0110】

また、後記の数値データ中の偏心量は、全て第1面（図2では、カバーガラスCG1の第1面CG1aに設定された原点）を基準とした偏心量で示してある。以下の実施例においても同じである。

【0111】

また、本実施例では、波長領域毎に異なる補正パラメータを用いて、電氣的に像形状を補正するようにしている。これにより、非対称な像歪や色にじみを効果的に補正することができる。その結果、好ましい像形状・画質を得ることができる。

【0112】

図3は、本発明の実施例2に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【0113】

実施例2の光学系の図12、図13と同様の横収差図をそれぞれ図14、図15に示す。

【0114】

光学系の構成は実施例1と同様であるので、詳細な説明は省く。この実施例の数値データは後記する。

【0115】

図4は、本発明の実施例3に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【0116】

実施例3の光学系の図12、図13と同様の横収差図をそれぞれ図16、図17に示す。

【0117】

光学系の構成は実施例1と同様であるので、詳細な説明は省く。この実施例の数値データは後記する。

【0118】

図5は、本発明の実施例4に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【0119】

実施例4の光学系の図12、図13と同様の横収差図をそれぞれ図18、図19に示す。

【0120】

実施例4の光学系は、物体側から順に、カバーガラスCG1と、前群の光学素子10と、開口絞り2と、後群の光学素子20と、カバーガラスCG2とを有して構成されている。図中、3は像面（撮像面）である。

【0121】

カバーガラスCG1、CG2は、平行平板状に形成されている。

【0122】

光学素子10は、光学機能面として、入射面11、反射面12及び射出面13を有する。この光学素子10は偏心プリズムである。入射面11を経て入射した軸上主光線1は、反射面12で内部反射され、射出面14で屈折されて、光学素子10の外に射出する。

【0123】

光学素子20は、光学機能面として、入射面21、反射面22及び射出面23を有する。この光学素子20も、偏心プリズムである。入射面21を経て入射した軸上主光線1は、反射面22で内部反射され、射出面23で屈折されて、光学素子20の外に射出する。

【0124】

光学素子10の入射面11、反射面12及び射出面13、光学素子20の入射面21、反射面22及び射出面23は、何れも、自由曲面形状に形成されている。そして、これらの面は、回転非対称なパワーを有する。また、光学素子10の入射面11、反射面12及び射出面13は、Y-Z面内で偏心し、光学素子20の入射面21、反射面22及び射出面23は、X-Y面内で偏心している。

【0125】

この実施例の光学系において、遠方の物体の中心から出た軸上主光線1は、カバーガラ

10

20

30

40

50

スCG1、光学素子10、開口絞り2の中心、光学素子20及びカバーガラスCG2を経て、像面3中心に達してその物体の像を結像する。

【0126】

また、本実施例では、波長領域毎に異なる補正パラメータを用いて、電氣的に像形状を補正するようにしている。これにより、非対称な像歪や色にじみを効果的に補正することができる。その結果、好ましい像形状・画質を得ることができる。

【0127】

この実施例の数値データは後記する。

【0128】

図6は、本発明の実施例5に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

10

【0129】

実施例5の光学系の図12、図13と同様の横収差図をそれぞれ図20、図21に示す。

【0130】

光学系の構成は実施例4と同様であるので、詳細な説明は省く。この実施例の数値データは後記する。

【0131】

図7は、本発明の実施例6に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【0132】

実施例6の光学系の図12、図13と同様の横収差図をそれぞれ図22、図23に示す。

20

【0133】

実施例6の光学系は、物体側から順に、カバーガラスCG1と、前群の光学素子10と、開口絞り2と、後群の光学素子20と、カバーガラスCG2とを有して構成されている。図中、3は像面（撮像面）である。

【0134】

カバーガラスCG1、CG2は、平行平板状に形成されている。

【0135】

光学素子10は、光学機能面として、入射面11、反射面12、反射面13及び射出面14を有する。この光学素子10は、偏心プリズムである。入射面11を経て入射した軸上主光線1は、反射面12で内部反射され、次いで反射面13で内部反射される。続いて軸上主光線1は、射出面14で屈折されて、光学素子10の外に射出する。入射面11から反射面12に向かう軸上主光線1と、反射面13から射出面14に向かう軸上主光線1とは、光学素子10内で交差している。すなわち、入射面11、反射面12、反射面13及び射出面14は、軸上主光線1が交差するように、それぞれ配置されている。ここで、X軸の正方向から見たとき、軸上主光線1は、光学素子10内で左回りに回転するように進む。

30

【0136】

光学素子20は、光学機能面として、入射面21、反射面22、反射面23及び射出面24を有する。この光学素子20も、偏心プリズムである。入射面21を経て入射した軸上主光線1は、反射面22で内部反射され、次いで反射面23で内部反射され、射出面24で屈折されて、光学素子20の外に射出する。入射面21から反射面22に向かう軸上主光線1と、反射面23から射出面24に向かう軸上主光線1とは、光学素子20内で交差している。すなわち、入射面21、反射面22、反射面23及び射出面24は、軸上主光線1が交差するように、それぞれ配置されている。ここで、Z軸の正方向から見たとき、軸上主光線1は、光学素子20内で左回りに回転するように進む。

40

【0137】

光学素子10の入射面11、反射面12、反射面13及び射出面14、光学素子20の入射面21、反射面22、反射面23及び射出面24は、何れも、自由曲面形状に形成されている。そして、これらの面は、回転非対称なパワーを有する。また、光学素子10の

50

入射面 1 1、反射面 1 2、反射面 1 3 及び射出面 1 4 は、Y-Z 面内で偏心し、光学素子 2 0 の入射面 2 1、反射面 2 2、反射面 2 3 及び射出面 2 4 は、X-Y 面内で偏心している。

【0 1 3 8】

この実施例の光学系において、遠方の物体の中心から出た軸上主光線 1 は、カバーガラス C G 1、光学素子 1 0、開口絞り 2 の中心、光学素子 2 0 及びカバーガラス C G 2 を経て、像面 3 中心に達してその物体の像を結像する。

【0 1 3 9】

また、本実施例では、波長領域毎に異なる補正パラメータを用いて、電氣的に像形状を補正するようにしている。これにより、非対称な像歪や色にじみを効果的に補正することができる。その結果、好ましい像形状・画質を得ることができる。 10

【0 1 4 0】

この実施例の数値データは後記する。

【0 1 4 1】

図 8 は、本発明の実施例 7 に係る光学系の配置と光路を示す図 2 と同様の図である。

【0 1 4 2】

実施例 7 の光学系の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 2 4、図 2 5 に示す。

【0 1 4 3】

光学系の構成は実施例 4 と同様であるので、詳細な説明は省く。この実施例の数値データは後記する。なお、この実施例 7 の光学素子 1 0 の反射面 1 2 の X 方向（球欠方向）の曲率は 0 で、その面を示す係数には X に関する項がない。 20

【0 1 4 4】

図 9 は、本発明の実施例 8 に係る光学系の配置と光路を示す図 2 と同様の図である。

【0 1 4 5】

実施例 8 の光学系の無限遠合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 2 6、図 2 7 に示す。また、至近合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 2 8、図 2 9 に示す。

【0 1 4 6】

光学系の構成は実施例 1 と同様であるので、詳細な説明は省く。本実施例の光学系は、図 9（a）の矢印方向に光学素子 1 0 を移動することで合焦を行う。至近時には、光学素子 1 0 が図 9（a）の矢印方向下向きに移動して合焦する。この実施例の数値データは後記する。 30

【0 1 4 7】

図 1 0 は、本発明の実施例 9 に係る光学系の配置と光路を示す図 2 と同様の図である。

【0 1 4 8】

実施例 9 の光学系の無限遠合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 3 0、図 3 1 に示す。また、至近合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 3 2、図 3 3 に示す。

【0 1 4 9】

光学系の構成は実施例 1 と同様であるので、詳細な説明は省く。本実施例の光学系は、図 1 0（b）の矢印方向に光学素子 2 0 を移動することで合焦を行う。至近時には、光学素子 2 0 が図 1 0（b）の矢印方向左上向きに移動して合焦する。この実施例の数値データは後記する。 40

【0 1 5 0】

図 1 1 は、本発明の実施例 1 0 に係る光学系の配置と光路を示す図 2 と同様の図である。

【0 1 5 1】

実施例 1 0 の光学系の無限遠合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 3 4、図 3 5 に示す。また、至近合焦時の図 1 2、図 1 3 と同様の横収差図をそれぞれ図 3 50

6、図 37 に示す。

【0152】

光学系の構成は実施例 4 と同様であるので、詳細な説明は省く。本実施例の光学系は、図 11 (a) の矢印方向に光学素子 10 を移動することで合焦を行う。至近時には、光学素子 10 が図 11 (b) の矢印方向下向きに移動して合焦する。この実施例の数値データは後記する。

【0153】

以下に、実施例 1 ～ 10 の数値データを示す。

【0154】

実施例 1

入射瞳径 : 1.27mm

入射半画角 [X] : 26.6°

入射半画角 [Y] : 20.6°

焦点距離 [X] : 4.1mm

焦点距離 [Y] : 3.7mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心 (1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心 (2)		
3	F F S [1]		偏心 (3)	1.5842	30.5
4	F F S [2] (R E)		偏心 (4)	1.5842	30.5
5	F F S [3]		偏心 (5)		
6	∞ (絞り面)		偏心 (6)		
7	F F S [4]		偏心 (7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心 (8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心 (9)	1.5256	56.4
10	F F S [7]		偏心 (10)		
11	∞		偏心 (11)	1.5163	64.1
12	∞		偏心 (12)		
像面	∞		偏心 (13)		

F F S [1]					
C_4	1.9752×10^{-2}	C_6	6.0861×10^{-2}	C_8	-2.1810×10^{-3}
C_{10}	-3.5006×10^{-3}	C_{11}	5.1509×10^{-4}	C_{13}	6.6310×10^{-4}
C_{15}	1.5687×10^{-4}				

F F S [2]					
C_4	1.7422×10^{-4}	C_6	2.7161×10^{-2}	C_8	-7.9263×10^{-4}
C_{10}	1.0776×10^{-3}	C_{11}	-4.0118×10^{-5}	C_{13}	-2.0162×10^{-4}
C_{15}	-2.7664×10^{-5}				

F F S [3]					
C_4	3.4298×10^{-3}	C_6	8.5707×10^{-3}	C_8	-1.2238×10^{-3}
C_{10}	7.7644×10^{-3}	C_{11}	9.7427×10^{-3}	C_{13}	-2.1673×10^{-2}
C_{15}	-1.4252×10^{-3}				

F F S [4]					
C_4	-3.7853×10^{-2}	C_6	2.4726×10^{-1}	C_8	-2.8027×10^{-3}
C_{10}	3.6268×10^{-3}	C_{11}	-7.9097×10^{-4}	C_{13}	-2.3035×10^{-2}
C_{15}	1.8123×10^{-2}				

F F S [5]					
C_4	2.0890×10^{-2}	C_6	3.0672×10^{-2}	C_8	-7.8752×10^{-4}
C_{10}	1.4443×10^{-5}	C_{11}	-2.6216×10^{-5}	C_{13}	3.5995×10^{-5}

10

20

30

40

50

C_{15}	1.6708×10^{-5}				
	F F S [6]				
C_4	-1.7671×10^{-2}	C_6	-1.2102×10^{-2}	C_8	-1.6531×10^{-3}
C_{10}	-8.4736×10^{-4}	C_{11}	-1.6626×10^{-5}	C_{13}	-8.7406×10^{-5}
C_{15}	-4.4735×10^{-5}				
	F F S [7]				
C_4	2.4963×10^{-2}	C_6	-1.0095×10^{-1}	C_8	-8.1546×10^{-3}
C_{10}	-5.5282×10^{-3}	C_{11}	-3.0733×10^{-3}	C_{13}	-5.8691×10^{-3}
C_{15}	1.9688×10^{-3}				

偏 心 (1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (3)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.70
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (4)

X	0.00	Y	0.00	Z	2.69
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (5)

X	0.00	Y	3.80	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (6)

X	0.00	Y	4.28	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (7)

X	0.00	Y	4.50	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00

偏 心 (8)

X	0.00	Y	11.61	Z	2.69
α	-90.00	β	18.33	γ	-90.00

偏 心 (9)

X	-2.78	Y	7.87	Z	2.69
α	-90.00	β	63.77	γ	-90.00

偏 心 (10)

X	3.09	Y	7.78	Z	2.69
α	90.00	β	88.00	γ	90.00

偏 心 (11)

X	3.61	Y	7.78	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏 心 (12)

X	3.91	Y	7.78	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏 心 (13)

X	4.53	Y	7.78	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

【 0 1 5 5 】

10

20

30

40

。

50

実施例 2

入射瞳径 : 1.27mm

入射半画角 [X] : 26.6°

入射半画角 [Y] : 20.6°

焦点距離 [X] : 4.1mm

焦点距離 [Y] : 3.6mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心 (1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心 (2)		10
3	F F S [1]		偏心 (3)	1.5842	30.5
4	F F S [2] (R E)		偏心 (4)	1.5842	30.5
5	F F S [3]		偏心 (5)		
6	∞ (絞り面)		偏心 (6)		
7	F F S [4]		偏心 (7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心 (8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心 (9)	1.5256	56.4
10	F F S [7]		偏心 (10)		
11	∞		偏心 (11)	1.5163	64.1
12	∞		偏心 (12)		20
像面	∞		偏心 (13)		
F F S [1]					
C ₄	2.1366×10^{-2}	C ₆	6.9035×10^{-2}	C ₈	3.0084×10^{-4}
C ₁₀	-4.6241×10^{-3}	C ₁₁	4.4574×10^{-4}	C ₁₃	7.3373×10^{-4}
C ₁₅	4.2539×10^{-4}				
F F S [2]					
C ₄	9.2833×10^{-4}	C ₆	2.8526×10^{-2}	C ₈	-1.0384×10^{-3}
C ₁₀	8.2126×10^{-4}	C ₁₁	2.7293×10^{-5}	C ₁₃	-1.6379×10^{-4}
C ₁₅	-8.3839×10^{-5}				
F F S [3]					
C ₄	-9.2434×10^{-3}	C ₆	-4.5319×10^{-3}	C ₈	-9.8337×10^{-3}
C ₁₀	7.2874×10^{-3}	C ₁₁	9.0652×10^{-3}	C ₁₃	-1.8192×10^{-2}
C ₁₅	-1.7790×10^{-3}				30
F F S [4]					
C ₄	-4.5834×10^{-2}	C ₆	2.2522×10^{-1}	C ₇	-9.8797×10^{-4}
C ₈	-2.3361×10^{-3}	C ₉	9.2701×10^{-4}	C ₁₀	2.4411×10^{-3}
C ₁₁	-5.9122×10^{-4}	C ₁₂	1.7361×10^{-4}	C ₁₃	-1.8242×10^{-2}
C ₁₄	1.2584×10^{-5}	C ₁₅	1.6159×10^{-2}		
F F S [5]					
C ₄	2.0528×10^{-2}	C ₆	2.9875×10^{-2}	C ₇	-4.2166×10^{-5}
C ₈	-6.9711×10^{-4}	C ₉	-9.8063×10^{-5}	C ₁₀	-5.9507×10^{-5}
C ₁₁	-1.8875×10^{-5}	C ₁₂	6.7699×10^{-6}	C ₁₃	5.2455×10^{-5}
C ₁₄	-1.9258×10^{-5}	C ₁₅	2.3219×10^{-5}		40
F F S [6]					
C ₄	-1.7756×10^{-2}	C ₆	-1.2013×10^{-2}	C ₇	4.8486×10^{-6}
C ₈	-1.5375×10^{-3}	C ₉	9.5416×10^{-5}	C ₁₀	-9.3881×10^{-4}
C ₁₁	-8.9675×10^{-6}	C ₁₂	1.2098×10^{-5}	C ₁₃	-7.3535×10^{-5}
C ₁₄	-1.2286×10^{-5}	C ₁₅	-4.8407×10^{-5}		
F F S [7]					
C ₄	3.7412×10^{-2}	C ₆	-8.6455×10^{-2}	C ₇	1.0895×10^{-3}

C_8	-1.0188×10^{-2}	C_9	7.2058×10^{-3}	C_{10}	-6.2964×10^{-3}
C_{11}	-4.8071×10^{-3}	C_{12}	1.1183×10^{-3}	C_{13}	-8.2850×10^{-3}
C_{14}	6.4640×10^{-4}	C_{15}	-8.6390×10^{-4}		

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.70
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	0.00	Z	2.71
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	4.15	Z	2.71
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	4.69	Z	2.71
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

X	0.00	Y	4.91	Z	2.71
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00

偏心(8)

X	0.00	Y	12.16	Z	2.71
α	-90.00	β	18.52	γ	-90.00

偏心(9)

X	-2.86	Y	8.37	Z	2.71
α	-90.00	β	63.96	γ	-90.00

偏心(10)

X	3.17	Y	8.28	Z	2.71
α	90.00	β	87.96	γ	90.00

偏心(11)

X	3.67	Y	8.27	Z	2.71
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏心(12)

X	3.97	Y	8.27	Z	2.71
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏心(13)

X	4.59	Y	8.27	Z	2.71
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

【0 1 5 6】

実施例 3

入射瞳径 : 1.27mm
 入射半画角[X] : 26.6°
 入射半画角[Y] : 20.6°
 焦点距離[X] : 4.1mm
 焦点距離[Y] : 3.5mm

10

20

30

40

。

50

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 ∞	偏心	屈折率	アッベ数
1	∞		偏心(1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心(2)		
3	F F S [1]		偏心(3)	1.5842	30.5
4	F F S [2] (R E)		偏心(4)	1.5842	30.5
5	F F S [3]		偏心(5)		
6	∞ (絞り面)		偏心(6)		
7	F F S [4]		偏心(7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心(8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心(9)	1.5256	56.4
10	F F S [7]		偏心(10)		
11	∞		偏心(11)	1.5163	64.1
12	∞		偏心(12)		
像 面	∞		偏心(13)		

10

20

30

40

50

偏心 (1)				
X	0.00	Y	0.00	Z 0.00
α	0.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (2)				
X	0.00	Y	0.00	Z 0.50
α	0.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (3)				
X	0.00	Y	0.00	Z 0.70
α	0.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (4)				
X	0.00	Y	0.00	Z 2.70
α	-45.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (5)				
X	0.00	Y	4.16	Z 2.70
α	-90.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (6)				
X	0.00	Y	4.67	Z 2.70
α	-90.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (7)				
X	0.00	Y	4.89	Z 2.70
α	-90.00	β	0.00	γ -90.00
偏心 (8)				
X	0.00	Y	12.18	Z 2.70
α	-90.00	β	18.30	γ -90.00
偏心 (9)				
X	-2.85	Y	8.34	Z 2.70
α	-90.00	β	63.70	γ -90.00
偏心 (10)				
X	3.24	Y	8.26	Z 2.70
α	90.00	β	88.34	γ 90.00
偏心 (11)				
X	3.72	Y	8.25	Z 2.70
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心 (12)				
X	4.02	Y	8.25	Z 2.70
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心 (13)				
X	4.65	Y	8.25	Z 2.70
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
【 0 1 5 7 】				

10

20

30

。

40

実施例 4

入射瞳径 : 1.27mm

入射半画角 [X] : 26.6 °

入射半画角 [Y] : 20.6 °

焦点距離 [X] : 4.1mm

焦点距離 [Y] : 4.4mm

面番号 曲率半径

物体面 ∞ 1 ∞

面間隔

 ∞

偏心

偏心 (1)

屈折率

1.4950

アッペ数

65.0

50

2	∞	偏心 (2)			
3	F F S [1]	偏心 (3)	1.5256	56.4	
4	F F S [2] (R E)	偏心 (4)	1.5256	56.4	
5	F F S [3]	偏心 (5)			
6	∞ (絞り面)	偏心 (6)			
7	F F S [4]	偏心 (7)	1.5256	56.4	
8	F F S [5] (R E)	偏心 (8)	1.5256	56.4	
9	F F S [6]	偏心 (9)			
10	∞	偏心 (10)	1.5163	64.1	
11	∞	偏心 (11)			10
像面	∞	偏心 (12)			
F F S [1]					
C_4	3.9616×10^{-2}	C_6	-4.2054×10^{-2}	C_8	1.3727×10^{-3}
C_{10}	6.4585×10^{-3}	C_{11}	-9.5394×10^{-4}	C_{13}	-5.3679×10^{-3}
C_{15}	-4.4338×10^{-3}				
F F S [2]					
C_4	-3.3462×10^{-5}	C_6	-9.0793×10^{-3}	C_8	3.9190×10^{-4}
C_{10}	1.6208×10^{-4}	C_{11}	-3.4593×10^{-6}	C_{13}	-1.7121×10^{-5}
C_{15}	-3.1413×10^{-5}				
F F S [3]					
C_4	3.3987×10^{-2}	C_6	1.1125×10^{-1}	C_8	9.4059×10^{-4}
C_{10}	-3.4179×10^{-3}	C_{11}	-3.3500×10^{-3}	C_{13}	-7.0494×10^{-4}
C_{15}	-2.1413×10^{-3}				20
F F S [4]					
C_4	-7.4417×10^{-2}	C_6	-5.8730×10^{-2}	C_8	2.5042×10^{-3}
C_{10}	-2.1917×10^{-2}	C_{11}	-4.9969×10^{-3}	C_{13}	-9.1821×10^{-3}
C_{15}	7.0674×10^{-4}				
F F S [5]					
C_4	3.6834×10^{-3}	C_6	2.5557×10^{-2}	C_8	1.0064×10^{-3}
C_{10}	1.3099×10^{-4}	C_{11}	-4.2399×10^{-4}	C_{13}	-9.6762×10^{-4}
C_{15}	4.3159×10^{-4}				30
F F S [6]					
C_4	2.3016×10^{-2}	C_6	5.3844×10^{-2}	C_8	4.2404×10^{-3}
C_{10}	2.0380×10^{-2}	C_{11}	-6.8972×10^{-3}	C_{13}	-5.4397×10^{-3}
C_{15}	7.2070×10^{-3}				
偏心 (1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心 (2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心 (3)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.96
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心 (4)					
X	0.00	Y	0.00	Z	3.82
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00
偏心 (5)					
X	0.00	Y	2.39	Z	3.82
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (6)				
X	0.00	Y	3.40	Z 3.82
α	-90.00	β	0.00	γ 0.00
偏心 (7)				
X	0.00	Y	3.60	Z 3.82
α	-90.00	β	0.00	γ -90.00
偏心 (8)				
X	0.00	Y	5.35	Z 3.82
α	-90.00	β	-46.03	γ -90.00
偏心 (9)				
X	1.93	Y	5.41	Z 3.82
α	90.00	β	-83.95	γ 90.00
偏心 (10)				
X	2.32	Y	5.41	Z 3.82
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心 (11)				
X	2.62	Y	5.41	Z 3.82
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心 (12)				
X	3.24	Y	5.41	Z 3.82
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
【 0 1 5 8 】				

10

20

。

実施例 5

入射瞳孔 : 1.27mm

入射半画角 [X] : 26.6 °

入射半画角 [Y] : 20.6 °

焦点距離 [X] : 4.0mm

焦点距離 [Y] : 4.3mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心 (1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心 (2)		
3	F F S [1]		偏心 (3)	1.5256	56.4
4	F F S [2] (R E)		偏心 (4)	1.5256	56.4
5	F F S [3]		偏心 (5)		
6	∞ (絞り面)		偏心 (6)		
7	F F S [4]		偏心 (7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心 (8)	1.5256	56.4
9	F F S [6]		偏心 (9)		
10	∞		偏心 (10)	1.5163	64.1
11	∞		偏心 (11)		
像 面	∞		偏心 (12)		

30

40

F F S [1]					
C_4	4.2266×10^{-2}	C_6	-4.4799×10^{-2}	C_8	8.7203×10^{-4}
C_{10}	7.0054×10^{-3}	C_{11}	-1.3889×10^{-3}	C_{13}	-7.2215×10^{-3}
C_{15}	-5.8584×10^{-3}				
F F S [2]					
C_4	3.0582×10^{-5}	C_6	-8.6401×10^{-3}	C_8	1.9951×10^{-4}
C_{10}	1.7849×10^{-4}	C_{11}	-1.1989×10^{-5}	C_{13}	-5.6367×10^{-5}

50

C_{15}	-6.8646×10^{-5}				
F F S [3]					
C_4	3.7482×10^{-2}	C_6	1.1994×10^{-1}	C_8	4.4719×10^{-4}
C_{10}	-3.9973×10^{-3}	C_{11}	-3.2342×10^{-3}	C_{13}	2.8310×10^{-4}
C_{15}	-2.0528×10^{-3}				
F F S [4]					
C_4	-7.6534×10^{-2}	C_6	-5.2456×10^{-2}	C_8	2.7445×10^{-3}
C_{10}	-2.2625×10^{-2}	C_{11}	-5.4339×10^{-3}	C_{13}	-8.8405×10^{-3}
C_{15}	5.1742×10^{-4}				
F F S [5]					
C_4	4.0645×10^{-3}	C_6	2.6032×10^{-2}	C_8	1.2188×10^{-3}
C_{10}	1.8484×10^{-4}	C_{11}	-5.6907×10^{-4}	C_{13}	-9.9903×10^{-4}
C_{15}	4.3353×10^{-4}				
F F S [6]					
C_4	2.1603×10^{-2}	C_6	5.8156×10^{-2}	C_8	6.0968×10^{-3}
C_{10}	2.2412×10^{-2}	C_{11}	-3.7661×10^{-3}	C_{13}	-3.0283×10^{-3}
C_{15}	8.1590×10^{-3}				

10

偏 心 (1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

20

偏 心 (2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (3)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.94
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (4)					
X	0.00	Y	0.00	Z	3.01
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (5)					
X	0.00	Y	2.33	Z	3.01
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

30

偏 心 (6)					
X	0.00	Y	3.28	Z	3.01
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏 心 (7)					
X	0.00	Y	3.48	Z	3.01
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00

偏 心 (8)					
X	0.00	Y	5.19	Z	3.01
α	-90.00	β	-46.10	γ	-90.00

40

偏 心 (9)					
X	1.89	Y	5.26	Z	3.01
α	90.00	β	-83.63	γ	90.00

偏 心 (10)					
X	2.29	Y	5.29	Z	3.01
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏 心 (11)					
X	2.59	Y	5.29	Z	3.01
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

50

偏心 (12)
 X 3.21 Y 5.29 Z 3.01
 α 0.00 β -90.00 γ 0.00
 【 0 1 5 9 】

実施例 6

入射瞳径 : 1.27mm
 入射半画角 [X] : 26.6°
 入射半画角 [Y] : 20.6°
 焦点距離 [X] : 4.0mm
 焦点距離 [Y] : 4.0mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心 (1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心 (2)		
3	F F S [1]		偏心 (3)	1.6069	27.0
4	F F S [2] (R E)		偏心 (4)	1.6069	27.0
5	F F S [3] (R E)		偏心 (5)	1.6069	27.0
6	F F S [4]		偏心 (6)		
7	∞ (絞り面)		偏心 (7)		
8	F F S [5]		偏心 (8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心 (9)	1.5256	56.4
10	F F S [7] (R E)		偏心 (10)	1.5256	56.4
11	F F S [8]		偏心 (11)		
12	∞		偏心 (12)	1.5163	64.1
13	∞		偏心 (13)		
像 面	∞		偏心 (14)		

	F F S [1]				
C_4	1.6091×10^{-2}	C_6	1.7007×10^{-2}	C_8	8.5578×10^{-5}
C_{10}	5.6459×10^{-5}	C_{11}	2.1816×10^{-5}	C_{13}	2.9986×10^{-4}
C_{15}	-2.5255×10^{-4}				

	F F S [2]				
C_4	1.2306×10^{-2}	C_6	4.4210×10^{-2}	C_8	-3.3468×10^{-4}
C_{10}	-2.3918×10^{-3}	C_{11}	3.2048×10^{-5}	C_{13}	-2.0511×10^{-5}
C_{15}	1.3173×10^{-4}				

	F F S [3]				
C_4	-1.8468×10^{-2}	C_6	1.7145×10^{-2}	C_8	-1.9670×10^{-4}
C_{10}	-1.2147×10^{-3}	C_{11}	-1.0462×10^{-4}	C_{13}	-5.6839×10^{-4}
C_{15}	2.3997×10^{-5}				

	F F S [4]				
C_4	-4.6313×10^{-4}	C_6	4.7743×10^{-3}	C_8	-8.6361×10^{-4}
C_{10}	-2.6606×10^{-4}				

	F F S [5]				
C_4	1.7539×10^{-2}	C_6	2.4793×10^{-2}	C_8	1.8102×10^{-4}
C_{10}	3.3830×10^{-3}	C_{11}	-4.7712×10^{-5}	C_{13}	7.9555×10^{-4}
C_{15}	-7.5888×10^{-4}				

	F F S [6]				
C_4	-1.4471×10^{-2}	C_6	-1.7526×10^{-2}	C_8	-1.3089×10^{-4}
C_{10}	4.3751×10^{-4}	C_{11}	-9.2316×10^{-6}	C_{13}	3.4973×10^{-5}
C_{15}	-4.9484×10^{-5}				

F F S [7]					
C_4	1.5531×10^{-2}	C_6	1.1525×10^{-2}	C_8	-5.9797×10^{-4}
C_{10}	-1.4998×10^{-6}	C_{11}	1.3856×10^{-6}	C_{13}	3.5283×10^{-5}
C_{15}	-5.4624×10^{-5}				

F F S [8]					
C_4	4.9833×10^{-2}	C_6	3.3573×10^{-2}	C_8	-2.2342×10^{-3}
C_{10}	1.1149×10^{-4}	C_{11}	3.6664×10^{-4}	C_{13}	2.0997×10^{-3}
C_{15}	-6.9195×10^{-4}				

偏心 (1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

10

偏心 (2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (3)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.71
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (4)

X	0.00	Y	0.00	Z	6.31
α	28.01	β	0.00	γ	0.00

20

偏心 (5)

X	0.00	Y	-3.71	Z	3.81
α	73.01	β	0.00	γ	0.00

偏心 (6)

X	0.00	Y	2.90	Z	3.81
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (7)

X	0.00	Y	3.11	Z	3.81
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (8)

X	0.00	Y	3.21	Z	3.81
α	90.00	β	0.00	γ	90.00

30

偏心 (9)

X	-0.00	Y	9.03	Z	3.81
α	90.00	β	-21.10	γ	90.00

偏心 (10)

X	-2.93	Y	5.80	Z	3.81
α	90.00	β	-66.19	γ	90.00

偏心 (11)

X	2.31	Y	5.78	Z	3.81
α	-90.00	β	-89.56	γ	-90.00

40

偏心 (12)

X	5.01	Y	5.79	Z	3.81
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏心 (13)

X	5.31	Y	5.79	Z	3.81
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

偏心 (14)

X	5.94	Y	5.79	Z	3.81
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

。

50

【 0 1 6 0 】

実施例 7

入射瞳径 : 1.27mm

入射半画角 [X] : 26.6 °

入射半画角 [Y] : 20.6 °

焦点距離 [X] : 4.3mm

焦点距離 [Y] : 4.0mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心 (1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心 (2)		
3	F F S [1]		偏心 (3)	1.5256	56.4
4	F F S [2] (R E)		偏心 (4)	1.5256	56.4
5	F F S [3]		偏心 (5)		
6	∞ (絞り面)		偏心 (6)		
7	F F S [4]		偏心 (7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心 (8)	1.5256	56.4
9	F F S [6]		偏心 (9)		
10	∞		偏心 (10)	1.5163	64.1
11	∞		偏心 (11)		
像 面	∞		偏心 (12)		
F F S [1]					
C ₄	4.3629×10^{-2}	C ₆	-3.5958×10^{-2}	C ₈	1.2045×10^{-4}
C ₁₀	5.4092×10^{-3}	C ₁₁	-1.5101×10^{-3}	C ₁₃	-7.0489×10^{-3}
C ₁₅	-5.3215×10^{-3}				
F F S [2]					
C ₆	-8.1441×10^{-3}	C ₁₀	2.2177×10^{-5}	C ₁₅	-3.9365×10^{-5}
F F S [3]					
C ₄	3.9640×10^{-2}	C ₆	1.1831×10^{-1}	C ₈	-1.9797×10^{-4}
C ₁₀	-4.5637×10^{-3}	C ₁₁	-3.7810×10^{-3}	C ₁₃	2.4290×10^{-4}
C ₁₅	-2.2506×10^{-3}				
F F S [4]					
C ₄	-7.4882×10^{-2}	C ₆	-4.4540×10^{-2}	C ₈	2.5029×10^{-3}
C ₁₀	-2.3411×10^{-2}	C ₁₁	-5.7378×10^{-3}	C ₁₃	-8.7523×10^{-3}
C ₁₅	-1.4576×10^{-4}				
F F S [5]					
C ₄	4.2957×10^{-3}	C ₆	2.6698×10^{-2}	C ₈	1.1585×10^{-3}
C ₁₀	1.9793×10^{-4}	C ₁₁	-6.6443×10^{-4}	C ₁₃	-9.6415×10^{-4}
C ₁₅	4.2278×10^{-4}				
F F S [6]					
C ₄	1.1685×10^{-2}	C ₆	6.1242×10^{-2}	C ₈	6.5990×10^{-3}
C ₁₀	2.3694×10^{-2}	C ₁₁	-1.0188×10^{-3}	C ₁₃	-2.2547×10^{-3}
C ₁₅	7.7475×10^{-3}				
偏心 (1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心 (2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)				
X	0.00	Y	0.00	Z 0.89
α	0.00	β	0.00	γ 0.00
偏心(4)				
X	0.00	Y	0.00	Z 3.01
α	-45.00	β	0.00	γ 0.00
偏心(5)				
X	0.00	Y	2.18	Z 3.01
α	-90.00	β	0.00	γ 0.00
偏心(6)				
X	0.00	Y	3.01	Z 3.01
α	-90.00	β	0.00	γ 0.00
偏心(7)				
X	0.00	Y	3.21	Z 3.01
α	-90.00	β	0.00	γ -90.00
偏心(8)				
X	0.00	Y	4.93	Z 3.01
α	-90.00	β	-46.16	γ -90.00
偏心(9)				
X	1.90	Y	5.00	Z 3.01
α	90.00	β	-83.35	γ 90.00
偏心(10)				
X	2.30	Y	5.02	Z 3.01
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心(11)				
X	2.60	Y	5.02	Z 3.01
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00
偏心(12)				
X	3.22	Y	5.02	Z 3.01
α	0.00	β	-90.00	γ 0.00

10

20

30

【0 1 6 1】

実施例 8

入射瞳径 : 1.27mm

入射半画角[X] : 26.6°

入射半画角[Y] : 20.6°

焦点距離[X] : 4.0mm

焦点距離[Y] : 3.6mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心(1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心(2)		
3	F F S [1]		偏心(3)	1.5842	30.5
4	F F S [2] (R E)		偏心(4)	1.5842	30.5
5	F F S [3]		偏心(5)		
6	∞ (絞り面)		偏心(6)		
7	F F S [4]		偏心(7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心(8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心(9)	1.5256	56.4
10	F F S [7]		偏心(10)		

40

50

11	∞	偏心 (11)	1.5163	64.1
12	∞	偏心 (12)		
像 面	∞	偏心 (13)		

F F S [1]

C_4	2.0546×10^{-2}	C_6	6.0876×10^{-2}	C_8	-1.6941×10^{-3}
C_{10}	-3.7164×10^{-3}	C_{11}	5.8505×10^{-4}	C_{13}	5.1260×10^{-4}
C_{15}	2.7272×10^{-4}				

F F S [2]

C_4	2.3414×10^{-4}	C_6	2.7979×10^{-2}	C_8	-6.0094×10^{-4}
C_{10}	9.5370×10^{-4}	C_{11}	-3.8800×10^{-5}	C_{13}	-1.6408×10^{-4}
C_{15}	-4.0821×10^{-5}				

F F S [3]

C_4	-1.0188×10^{-2}	C_6	4.8395×10^{-3}	C_8	-8.2611×10^{-4}
C_{10}	6.8637×10^{-3}	C_{11}	6.3207×10^{-3}	C_{13}	-1.9246×10^{-2}
C_{15}	-2.0395×10^{-3}				

F F S [4]

C_4	-4.0932×10^{-2}	C_6	2.3444×10^{-1}	C_8	-2.7353×10^{-3}
C_{10}	3.3573×10^{-3}	C_{11}	-1.2551×10^{-3}	C_{13}	-1.9912×10^{-2}
C_{15}	1.3156×10^{-2}				

F F S [5]

C_4	2.0899×10^{-2}	C_6	3.0111×10^{-2}	C_8	-8.0779×10^{-4}
C_{10}	2.2131×10^{-5}	C_{11}	-3.9723×10^{-5}	C_{13}	4.6809×10^{-5}
C_{15}	1.8799×10^{-5}				

F F S [6]

C_4	-1.7704×10^{-2}	C_6	-1.2732×10^{-2}	C_8	-1.6848×10^{-3}
C_{10}	-8.4758×10^{-4}	C_{11}	-2.0887×10^{-5}	C_{13}	-8.1105×10^{-5}
C_{15}	-4.0256×10^{-5}				

F F S [7]

C_4	2.5400×10^{-2}	C_6	-9.4522×10^{-2}	C_8	-1.1009×10^{-2}
C_{10}	-7.0438×10^{-3}	C_{11}	-3.1848×10^{-3}	C_{13}	-7.4213×10^{-3}
C_{15}	1.1954×10^{-3}				

偏心 (1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (3)

X	0.00	Y	(可変)	Z	0.70
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (4)

X	0.00	Y	(可変)	Z	2.69
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (5)

X	0.00	Y	(可変)	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (6)

X	0.00	Y	4.53	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (7)

10

20

30

40

50

X	0.00	Y	4.74	Z	2.69
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	11.92	Z	2.69
α	-90.00	β	18.46	γ	-90.00
偏心(9)					
X	-2.82	Y	8.17	Z	2.69
α	-90.00	β	63.92	γ	-90.00
偏心(10)					
X	3.15	Y	8.07	Z	2.69
α	90.00	β	87.84	γ	90.00
偏心(11)					
X	3.65	Y	8.07	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00
偏心(12)					
X	3.95	Y	8.07	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00
偏心(13)					
X	4.58	Y	8.07	Z	2.69
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

10

20

(可変偏心量)

物体距離	無限遠	300mm
偏心(3) Y	0.00	-0.11
偏心(4) Y	0.00	-0.11
偏心(5) Y	4.06	3.96

。

【0 1 6 2】

実施例 9

入射瞳径	: 1.27mm
入射半画角[X]	: 26.6°
入射半画角[Y]	: 20.6°
焦点距離[X]	: 3.8mm
焦点距離[Y]	: 3.8mm

30

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心(1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心(2)		
3	F F S [1]		偏心(3)	1.5842	30.5
4	F F S [2] (R E)		偏心(4)	1.5842	30.5
5	F F S [3]		偏心(5)		
6	∞ (絞り面)		偏心(6)		
7	F F S [4]		偏心(7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心(8)	1.5256	56.4
9	F F S [6] (R E)		偏心(9)	1.5256	56.4
10	F F S [7]		偏心(10)		
11	∞		偏心(11)	1.5163	64.1
12	∞		偏心(12)		
像面	∞		偏心(13)		
F F S [1]					
C ₄	2.7963×10^{-2}	C ₆	3.3427×10^{-2}	C ₈	-5.1888×10^{-4}

40

50

C_{10}	-3.8534×10^{-3}	C_{11}	8.9830×10^{-4}	C_{13}	2.2239×10^{-4}
C_{15}	-3.3038×10^{-4}				
F F S [2]					
C_4	3.4437×10^{-4}	C_6	2.4673×10^{-2}	C_8	-2.5128×10^{-4}
C_{10}	7.5584×10^{-4}	C_{11}	-2.9278×10^{-5}	C_{13}	-8.4864×10^{-5}
C_{15}	-1.6528×10^{-5}				
F F S [3]					
C_4	-6.8275×10^{-2}	C_6	5.8499×10^{-2}	C_8	-9.3924×10^{-4}
C_{10}	7.6517×10^{-3}	C_{11}	-5.0871×10^{-3}	C_{13}	-4.5720×10^{-3}
C_{15}	-2.0754×10^{-4}				
F F S [4]					
C_4	-4.5663×10^{-3}	C_6	1.8783×10^{-1}	C_8	-2.2943×10^{-3}
C_{10}	6.8410×10^{-3}	C_{11}	-3.8661×10^{-4}	C_{13}	-1.6654×10^{-3}
C_{15}	3.5034×10^{-3}				
F F S [5]					
C_4	2.0397×10^{-2}	C_6	3.1101×10^{-2}	C_8	-7.8656×10^{-4}
C_{10}	2.0294×10^{-4}	C_{11}	4.2526×10^{-6}	C_{13}	2.1295×10^{-5}
C_{15}	3.1019×10^{-5}				
F F S [6]					
C_4	-1.7760×10^{-2}	C_6	-1.2882×10^{-2}	C_8	-1.6580×10^{-3}
C_{10}	-6.1565×10^{-4}	C_{11}	-1.4850×10^{-6}	C_{13}	-1.0825×10^{-4}
C_{15}	-1.7420×10^{-5}				
F F S [7]					
C_4	-1.1625×10^{-2}	C_6	-8.6638×10^{-2}	C_8	-1.0966×10^{-2}
C_{10}	-2.7272×10^{-3}	C_{11}	-2.0328×10^{-3}	C_{13}	-3.4369×10^{-3}
C_{15}	-1.3695×10^{-3}				

10

20

30

40

50

偏心 (1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (2)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (3)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.70
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (4)

X	0.00	Y	0.00	Z	2.80
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (5)

X	0.00	Y	3.41	Z	2.80
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (6)

X	0.00	Y	4.75	Z	2.80
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心 (7)

X	(可変)	Y	(可変)	Z	2.80
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00

偏心 (8)

X	(可変)	Y	(可変)	Z	2.80
α	-90.00	β	18.37	γ	-90.00

偏心(9)
 X (可変) Y (可変) Z 2.80
 α -90.00 β 63.91 γ -90.00

偏心(10)
 X (可変) Y (可変) Z 2.80
 α 90.00 β 87.14 γ 90.00

偏心(11)
 X 3.56 Y 8.12 Z 2.80
 α 0.00 β -90.00 γ 0.00

偏心(12)
 X 3.86 Y 8.12 Z 2.80
 α 0.00 β -90.00 γ 0.00

偏心(13)
 X 4.48 Y 8.12 Z 2.80
 α 0.00 β -90.00 γ 0.00

(可変偏心量)

物体距離	無限遠	100mm
偏心(7) X	0.00	-0.11
偏心(7) Y	4.97	5.26
偏心(8) X	0.00	-0.11
偏心(8) Y	11.87	12.16
偏心(9) X	-2.71	2.82
偏心(9) Y	8.24	8.53
偏心(10) X	2.98	2.87
偏心(10) Y	8.13	8.42

【0 1 6 3】

実施例 10

入射瞳径 : 1.27mm
 入射半画角[X] : 26.6°
 入射半画角[Y] : 20.6°
 焦点距離[X] : 3.9mm
 焦点距離[Y] : 4.3mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞		偏心(1)	1.4950	65.0
2	∞		偏心(2)		
3	F F S [1]		偏心(3)	1.5256	56.4
4	F F S [2] (R E)		偏心(4)	1.5256	56.4
5	F F S [3]		偏心(5)		
6	∞ (絞り面)		偏心(6)		
7	F F S [4]		偏心(7)	1.5256	56.4
8	F F S [5] (R E)		偏心(8)	1.5256	56.4
9	F F S [6]		偏心(9)		
10	∞		偏心(10)	1.5163	64.1
11	∞		偏心(11)		
像面	∞		偏心(12)		

F F S [1]

C_4	4.4756×10^{-2}	C_6	-3.9937×10^{-2}	C_8	1.9063×10^{-3}
C_{10}	9.4431×10^{-3}	C_{11}	-2.3508×10^{-3}	C_{13}	-9.4210×10^{-3}

C_{15}	-7.1779×10^{-3}				
	F F S [2]				
C_4	3.9507×10^{-5}	C_6	-1.0580×10^{-2}	C_8	5.2588×10^{-4}
C_{10}	2.3911×10^{-4}	C_{11}	-2.0456×10^{-5}	C_{13}	-5.9896×10^{-5}
C_{15}	-8.4142×10^{-5}				
	F F S [3]				
C_4	7.5781×10^{-2}	C_6	1.2914×10^{-1}	C_8	1.2875×10^{-3}
C_{10}	-5.0020×10^{-3}	C_{11}	-3.5006×10^{-3}	C_{13}	-4.4055×10^{-3}
C_{15}	-3.5110×10^{-3}				
	F F S [4]				
C_4	-4.9123×10^{-2}	C_6	-1.6509×10^{-2}	C_8	1.1555×10^{-3}
C_{10}	-2.2120×10^{-2}	C_{11}	-7.1237×10^{-3}	C_{13}	-1.7782×10^{-2}
C_{15}	-2.0575×10^{-3}				
	F F S [5]				
C_4	4.0778×10^{-3}	C_6	2.3644×10^{-2}	C_8	6.0815×10^{-4}
C_{10}	-1.8396×10^{-4}	C_{11}	-5.7542×10^{-4}	C_{13}	-1.1029×10^{-3}
C_{15}	3.6481×10^{-4}				
	F F S [6]				
C_4	2.8735×10^{-2}	C_6	2.1049×10^{-2}	C_8	2.8137×10^{-3}
C_{10}	1.9066×10^{-2}	C_{11}	-4.4282×10^{-3}	C_{13}	-7.5164×10^{-3}
C_{15}	8.9010×10^{-4}				
	偏心 (1)				
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (2)				
X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (3)				
X	0.00	Y (可変)	Z	0.90	
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (4)				
X	0.00	Y (可変)	Z	3.02	
α	-45.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (5)				
X	0.00	Y (可変)	Z	3.02	
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (6)				
X	0.00	Y 2.66	Z	3.02	
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00
	偏心 (7)				
X	0.00	Y 2.86	Z	3.02	
α	-90.00	β	0.00	γ	-90.00
	偏心 (8)				
X	0.00	Y 4.54	Z	3.02	
α	-90.00	β	-46.11	γ	-90.00
	偏心 (9)				
X	1.98	Y 4.62	Z	3.02	
α	90.00	β	-84.31	γ	90.00
	偏心 (10)				
X	2.30	Y 4.63	Z	3.02	

10

20

30

40

50

α	0.00	β	-90.00	γ	0.00
偏心(11)					
X	2.60	Y	4.63	Z	3.02
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00
偏心(12)					
X	3.22	Y	4.63	Z	3.02
α	0.00	β	-90.00	γ	0.00

(可変偏心量)

物体距離	無限遠	300mm
偏心(3) Y	0.00	-0.07
偏心(4) Y	0.00	-0.07
偏心(5) Y	2.06	2.00

10

。

【0164】

次に、上記各実施例における条件式(1)～(4)の値を示す。

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7
(1)	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10	0.00
(2)	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.28	0.00
	0.68	0.69	0.69	0.14	0.16	-1.08	0.16
	1.46	1.48	1.53			0.83	
						1.35	
(3)	—	—	—	-0.37	-0.39	—	-0.31
(4)	3	3	3	2	2	4	2

20

条件式	実施例8	実施例9	実施例10
(1)	0.00	0.00	0.00
(2)	0.01	0.01	0.00
	0.69	0.66	0.17
	1.39	1.38	
(3)	—	—	-0.34
(4)	3	3	2

30

。

【0165】

以上の実施例では、絞りの前後にそれぞれ1個の光学素子(偏心プリズム)を配置していたが、何れか一方あるいは両方に複数の光学素子(偏心プリズム)を配置してもよい。また、光学素子が偏心プリズムである場合、偏心プリズムとしては、図2～図11に示したような、内部反射回数が1回又は2回の偏心プリズムに限定されない。例えば、内部反射回数が1回以上の種々の偏心プリズムを用いることができる。

【0166】

光学素子として利用できる偏心プリズムの例を、以下に示す。なお、何れも、順光線追跡を行った場合として説明する。すなわち、偏心プリズムPは、遠方に位置する物体を、瞳131を経て像面136に結像するプリズムとして説明する。しかしながら、これらの偏心プリズムPは、像面136側から光線が入射し、瞳131側に結像する偏心プリズムPとしても使用することができる。

40

【0167】

図38の場合は、偏心プリズムPは第1面132、第2面133、第3面134、第4面135からなる。入射瞳131を通して入射した光は、第1面132で屈折して偏心プリズムPに入射する。偏心プリズムPに入射した光は、第2面133で内部反射し、第3面134でZ字型の光路を形成するように内部反射する。更に、この光は、第4面135に入射して屈折されて、像面136に結像する。

【0168】

50

図 39 の場合は、偏心プリズム P は第 1 面 1 3 2、第 2 面 1 3 3、第 3 面 1 3 4、第 4 面 1 3 5 からなる。入射瞳 1 3 1 を通って入射した光は、第 1 面 1 3 2 で屈折して偏心プリズム P に入射する。偏心プリズム P に入射した光は、第 2 面 1 3 3 で内部反射し、第 3 面 1 3 4 に入射して全反射し、第 4 面 1 3 5 に入射して内部反射する。更に、この光は、再び第 3 面 1 3 4 に入射して今度は屈折されて、像面 1 3 6 に結像する。

【0169】

図 40 の場合は、偏心プリズム P は第 1 面 1 3 2、第 2 面 1 3 3、第 3 面 1 3 4、第 4 面 1 3 5 からなる。入射瞳 1 3 1 を通って入射した光は、第 1 面 1 3 2 で屈折して偏心プリズム P に入射する。偏心プリズム P に入射した光は、第 2 面 1 3 3 で内部反射し、第 3 面 1 3 4 に入射して内部反射し、第 2 面 1 3 3 に再度入射して内部反射する。更に、この光は、第 4 面 1 3 5 に入射して屈折されて、像面 1 3 6 に結像する。 10

【0170】

図 41 の場合は、偏心プリズム P は第 1 面 1 3 2、第 2 面 1 3 3、第 3 面 1 3 4、第 4 面 1 3 5 からなる。入射瞳 1 3 1 を通って入射した光は、第 1 面 1 3 2 で屈折して偏心プリズム P に入射する。偏心プリズム P に入射した光は、第 2 面 1 3 3 で内部反射し、第 3 面 1 3 4 に入射して内部反射する。続いて、この光は、第 2 面 1 3 3 に再度入射して内部反射し、第 4 面 1 3 5 に入射して内部反射する。更に、この光は、第 2 面 1 3 3 に再度入射して今度は屈折されて、像面 1 3 6 に結像する。

【0171】

図 42 の場合は、偏心プリズム P は第 1 面 1 3 2、第 2 面 1 3 3、第 3 面 1 3 4 からなる。入射瞳 1 3 1 を通って入射した光は、第 1 面 1 3 2 で屈折して偏心プリズム P に入射する。偏心プリズム P に入射した光は、第 2 面 1 3 3 で内部反射し、再び第 1 面 1 3 2 に入射して今度は全反射する。続いて、この光は、第 3 面 1 3 4 で内部反射し、三たび第 1 面 1 3 2 に入射して全反射する。更に、この光は、第 3 面 1 3 4 に再度入射して今度は屈折されて、像面 1 3 6 に結像する。 20

【0172】

図 43 の場合は、偏心プリズム P は第 1 面 1 3 2、第 2 面 1 3 3、第 3 面 1 3 4 からなる。入射瞳 1 3 1 を通って入射した光は、第 1 面 1 3 2 で屈折して偏心プリズム P に入射する。偏心プリズム P に入射した光は、第 2 面 1 3 3 で内部反射し、再び第 1 面 1 3 2 に入射して今度は全反射する。続いて、この光は、第 3 面 1 3 4 で内部反射し、三たび第 1 面 1 3 2 に入射して全反射する。更に、この光は、再び第 3 面 1 3 4 に入射して内部反射し、四たび第 1 面 1 3 2 に入射して今度は屈折されて、像面 1 3 6 に結像する。 30

【0173】

さらには、後記の図 44 の偏心プリズム 20 のように、第 1 面 2 1 乃至第 4 面 2 4 からなり、プリズム内で 3 回の反射をするものであってもよい。あるいは、後記の図 45 の偏心プリズム 20 のように、第 1 面 2 1 乃至第 3 面 2 3 からなり、その第 2 面 2 2 が全反射面と射出面を兼用するプリズム内で 2 回の反射をするものであってもよい。あるいは、後記の図 46 の偏心プリズム 20 のように、第 1 面 2 1 乃至第 3 面 2 3 からなり、その第 1 面 2 1 が入射面と全反射面を兼用し、プリズム内で 2 回の反射をするものであってもよい。これらを、前群の光学素子（偏心プリズム）あるいは、後群の光学素子（偏心プリズム）として用いるようにすることもできる。 40

【0174】

以下の図 44～図 47 に、前記実施例 1～10 の場合とは異なる光学素子（偏心プリズム）の組み合わせの本発明の光学系の例を示す。ただし、数値データは省く。また、偏心プリズムを、単にプリズムと記載する。なお、図 44～図 47 の構成では、本来は、絞り 2 より物体側のプリズムに対して絞り 2 より像側のプリズムは、軸上主光線 1 の周りで略 90°回転して配置されるが、分かりやすくするために、その回転を行っていない状態で図示してある。

【0175】

図 44 の場合は、プリズム 10 は図 7 の場合と同じである。また、プリズム 20 は、光 50

学機能面として、第1面21乃至第4面24を有する。その第1面21は、入射面と第2反射面を兼用する兼用面、第2面22は第1反射面、第3面23は第3反射面、第4面24は射出面である。プリズム10及び絞り2を経た光は、入射面21を透過し、第1反射面22で反射され、今度は第1面21で全反射される。続いて、この光は、第3反射面23で内面反射され、射出面24を透過して像面3上に結像する。このプリズム20においては、プリズム中で、光線はM字型の光路を形成するように内部反射する。

【0176】

図45の場合は、プリズム10は図2の場合と同じである。また、プリズム20は、光学機能面として、第1面21乃至第3面23を有する。その第1面21は入射面、第2面22は第1反射面と射出面を兼用する兼用面、第3面23は第2反射面である。プリズム10及び絞り2を経た光線は、入射面21を透過し、第1反射面22で全反射され、第2反射面23で内面反射され、今度は第2面22を透過して像面3上に結像する。

10

【0177】

図46の場合は、プリズム10は図2の場合と同じである。また、プリズム20は、光学機能面として、第1面21乃至第3面23を有する。その第1面21は入射面と第2反射面を兼用する兼用面、第2面22は第1反射面、第3面23は射出面である。前群のプリズム10及び絞り2を経た光線は、入射面21を透過し、第1反射面22で反射され、今度は第1面21で全反射され、射出面23を透過して像面3上に結像する。

【0178】

図47は、本発明の光学系を構成する場合を示す図である。図47では、絞り2より前側に1つのプリズム10を、絞り2より後側に2つのプリズム20、20'を配置している。何れのプリズム10、20、20'も、プリズム内で1回の反射をするプリズムである。

20

【0179】

また、実施例1～10では光学素子の材料として樹脂材料を用いているが、代わりに有機無機複合材料を用いてもよい。本発明で利用可能な有機無機複合体について説明する。

【0180】

有機無機複合体は、有機成分と無機成分とが分子レベル、若しくはナノスケールで混合複合化されたものである。その形態は、(1) 有機骨格からなる高分子マトリックスと無機骨格からなるマトリックスが相互に絡み合い、互いのマトリックスへ貫入された構造のもの、(2) 有機骨格からなる高分子マトリックス中に、ナノスケールの光の波長より十分小さな無機微粒子（いわゆるナノ粒子）が均一分散したもの、及び、(3) これらの複合構造になったものがある。有機成分と無機成分との間には、水素結合や分散力、クーロン力等の分子間力や、共有結合、イオン結合、 π 電子雲の相互作用による引力等、何らかの相互作用が働いている。有機無機複合体では、前述のように有機成分と無機成分が分子レベル、若しくは光の波長より小さなスケール領域で混合されている。このため、光の散乱に対する影響がほとんどなくなっており、透明体が得られる。また、マックスウェル方程式からも導かれるように、有機成分、無機成分それぞれの光学特性を反映した材料となる。よって、有機成分、無機成分の種類と存在量比率に応じて、種々の光学特性（屈折率、波長分散性）を発現するようになる。このことから、有機成分と無機成分を任意の比率で配

30

40

【0181】

以下の表1は、アクリレート樹脂（紫外線硬化型）とジルコニア（ ZrO_2 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表2は、アクリレート樹脂とジルコニア（ ZrO_2 ）／アルミナ（ Al_2O_3 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表3は、アクリレート系樹脂とニオブ氧化物（ Nb_2O_5 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。表4は、アクリレート樹脂とジルコニウムアルコキシドとアルミナ（ Al_2O_3 ）ナノ粒子の有機無機複合体の組成例を示す。

【0182】

50

表 1

ジルコニア含有量	n_d	v_d	n_c	n_F	n_g	備考
0	1.49236	57.85664	1.48981	1.49832	1.50309	アクリル 100 %
0.1	1.579526	54.85037	1.57579	1.586355	1.59311	
0.2	1.662128	53.223	1.657315	1.669756	1.678308	
0.3	1.740814	52.27971	1.735014	1.749184	1.759385	
0.4	1.816094	51.71726	1.809379	1.825159	1.836887	
0.5	1.888376	51.3837	1.880807	1.898096	1.911249	

10

【0183】

。

20

表 2

Al ₂ O ₃ 存在率	ZrO ₂ 存在率	n_d	v_d	n_c	n_F	n_g	備考
0.1	0.4	1.831515	53.56672	1.824851	1.840374	1.851956	アクリレート50%
0.2	0.3	1.772832	56.58516	1.767125	1.780783	1.790701	
0.3	0.2	1.712138	60.97687	1.707449	1.719127	1.727275	
0.4	0.1	1.649213	67.85669	1.645609	1.655177	1.661429	
0.2	0.2	1.695632	58.32581	1.690903	1.702829	1.774891	

30

。

【0184】

40

表 3

Nb ₂ O ₅ 含有量	Al ₂ O ₃ 含有量	n_d	v_d	n_c	n_F	n_g
0.1	0	1.589861	29.55772	1.584508	1.604464	1.617565
0.2	0	1.681719	22.6091	1.673857	1.70401	1.724457
0.3	0	1.768813	19.52321	1.758673	1.798053	1.8251

50

0.4	0	1.851815	17.80818	1.839583	1.887415	1.920475
0.5	0	1.931253	16.73291	1.91708	1.972734	2.011334

【0185】

表 4

Al ₂ O ₃ (膜) 含有量	ジルコニア ルコキシド	n _d	v _d	n _c	n _f
0	0.3	1.533113	58.39837	1.530205	1.539334
0.1	0.27	1.54737	62.10192	1.544525	1.553339
0.2	0.24	1.561498	66.01481	1.558713	1.567219
0.3	0.21	1.575498	70.15415	1.572774	1.580977
0.4	0.18	1.589376	74.53905	1.586709	1.594616

【0186】

さて、以上のような本発明の光学系を備えた電子機器について説明する。この電子機器には、撮影ユニットが用いられている。この撮影ユニットでは、上記光学系で物体像を形成し、その像をCCDや銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影が行われる。この撮像ユニットは、小型の撮像素子を用いた光学装置、例えば内視鏡の撮像光学系としても用いることができる。また、この撮像ユニットは、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置、とりわけカメラの撮像光学系として用いることができる。

【0187】

そして、電子機器には、デジタルカメラやビデオカメラ、デジタルビデオユニット、情報処理装置の例であるパーソナルコンピュータ、モバイルコンピュータ、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話、情報携帯端末、電子内視鏡等がある。以下に、その実施形態を例示する。

【0188】

図48～図50は、電子カメラの撮影用対物光学系に、本発明の光学系を組み込んだ構成の概念図を示す。図48は電子カメラ40の外観を示す前方斜視図、図49は同後方斜視図、図50は電子カメラ40の構成を示す断面図である。

【0189】

電子カメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含む。このような構成において、使用者が、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影用対物光学系48を通して撮影が行われる。

【0190】

撮影用光路42上には、撮影用対物光学系48が配置されている。この撮影用対物光学系48は、カバーガラスCG1、前群のプリズム10、開口絞り2、後群のプリズム20からなる。ここでは、カバーガラスCG1あるいは第1プリズム10から第2プリズム20

0までの光学系に、本発明による光学系を用いている。撮影用対物光学系48によって形成された物体像は、図示しないローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルターを介して、CCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段52にはメモリ等が配置され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、このメモリは処理手段52と別体に設けられてもよいし、フロッピー（登録商標）ディスク等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

【0191】

さらに、ファインダー用光路44上には、カバー部材54を介してファインダー用対物光学系53が配置されている。このファインダー用対物光学系53によって結像面67上に形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム55の視野枠57上に形成される。なお、視野枠57は、ポロプリズム55の第1反射面56と第2反射面58との間を分離し、その間に配置されている。このポロプリズム55の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系59が配置されている。

【0192】

このように構成されたカメラ40は、撮影用対物光学系48を少ない光学部材で小型薄型に構成できる。そのため、カメラ自身も小型薄型できると共に、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

【0193】

次に、図51は、電子カメラ40の撮影部の対物光学系48に、本発明の光学系を組み込んだ別の構成の概念図を示す。この場合は、撮影用光路42上に配置された撮影用対物光学系48に、カバーガラスCG1、前群のプリズム10、開口絞り2、後群のプリズム20からなる本発明による光学系を用いている。

【0194】

この撮影用対物光学系48により形成された物体像は、図示しないローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルターを介して、CCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、液晶表示素子（LCD）60上に電子像として表示される。また、この処理手段52は、記録手段61の制御も行う。なお、記録手段61は、CCD49で撮影された物体像を電子情報として記録するためのものである。LCD60に表示された画像は、接眼光学系59を介して観察者眼球Eに導かれる。

【0195】

この接眼光学系59は偏心プリズムからなり、この例では、入射面62と、反射面63と、反射と屈折の兼用面64の3面から構成されている。また、2つの反射作用を持った面63、64のうち、少なくとも一方の面、望ましくは両方の面が、光束にパワーを与え、かつ、偏心収差を補正する唯一の対称面を持つ面对称自由曲面にて構成されている。また、この撮影用対物光学系48は他のレンズ（正レンズ、負レンズ）をプリズム10、20の物体側、プリズム間あるいは像側にその構成要素として含んでいてもよい。

【0196】

このように構成されたカメラ40は、撮影用対物光学系48を少ない光学部材で小型薄型に構成できる。そのため、カメラ自身も小型薄型できると共に、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

【0197】

次に、図52～図54は、情報処理装置の一例であるパソコンに、本発明の光学系を内蔵した構成を示す概念図である。

【0198】

図52はパソコン300のカバーを開いた前方斜視図、図53はパソコン300の撮影光学系303の側面図、図54は図52の状態の側面図である。図52～図54に示されるように、パソコン300は、キーボード301と、情報処理手段や記録手段と、モニタ

10

20

30

40

50

ー 302 と、撮影光学系 303 とを有している。

【0199】

ここで、キーボード 301 は、外部から操作者が情報を入力するためのものである。また、情報処理手段や記録手段は、図示を省略している。モニター 302 は、情報を操作者に表示するためのものである。また、モニター 302 は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRT ディスプレイ等であってよい。また、撮影光学系 303 は、操作者自身や周辺の像を撮影するためのものである。なお、撮影光学系 303 は、図中、モニター 302 の右上に内蔵されているが、その場所に限られない。撮影光学系 303 は、例えば、モニター 302 の周囲や、キーボード 301 の周囲のどこであってよい。

10

【0200】

この撮影光学系 303 は、撮影光路 304 上に、本発明の光学系からなる対物光学系 100 と、像を受光する撮像素子チップ 162 とを有している。これらはパソコン 300 に内蔵されている。撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子を介してパソコン 300 の処理手段に入力され、電子画像としてモニター 302 に表示される、図 52 には、その一例として、操作者の撮影された画像 305 が示されている。また、この画像 305 は、処理手段を経て外部に送信可能となる。よって、インターネットや電話を介して、遠隔地にいる通信相手に送信できる。これにより、通信相手のパソコンに、画像 305 を表示させることも可能である。

【0201】

次に、情報処理装置の他の例として電話、特に、その中でも持ち運びに便利な携帯電話に本発明の光学系を内蔵した例を図 29 に示す。

20

【0202】

図 55 (a) は携帯電話 400 の正面図、図 55 (b) は側面図、図 55 (c) は撮影光学系 405 の断面図である。図 55 (a) ~ (c) に示されるように、携帯電話 400 は、マイク部 401 と、スピーカ部 402 と、入力ダイアル 403 と、モニター 404 と、撮影光学系 405 と、アンテナ 406 と、処理手段 (図示せず) とを有している。

【0203】

ここで、マイク部 401 は、操作者の声を情報として入力するためのものである。スピーカ部 402 は、通話相手の声を出力するためのものである。入力ダイアル 403 は、操作者が情報を入力するためのものである。モニター 404 は、操作者自身や通話相手等の撮映像や、電話番号等の情報を表示するためのものである。また、モニター 404 は液晶表示素子である。アンテナ 406 は、通信電波の送信と受信を行うためのものである。処理手段は、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行うためのものである。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。

30

【0204】

この撮影光学系 405 は、本発明の光学系からなる対物光学系 100 と、像を受光する撮像素子チップ 162 とを有している。ここで、対物光学系 100 は本発明の光学系が用いられており、撮影光路 407 上に配置されている。これらは、携帯電話 400 に内蔵されている。撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子を介して図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター 404 に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合、撮像素子チップ 162 で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

40

【0205】

次に、図 56 は、電子内視鏡の観察系の対物光学系 82 に、本発明による光学系を組み込んだ構成の概念図を示す。

【0206】

この電子内視鏡は、図 56 (a) に示すように、電子内視鏡 71 と、照明光を供給する光源装置 72 と、ビデオプロセッサ 73 と、モニター 74 と、VTR デッキ 75、及び、

50

ビデオディスク７６と、ビデオプリンタ７７と、頭部装着型画像表示装置（ＨＭＤ）７８と共に構成されている。ここで、ビデオプロセッサ７３は、電子内視鏡７１に対応する信号処理を行うためのものである。モニター７４は、ビデオプロセッサ７３から出力される映像信号を表示するためのものである。ＶＴＲデッキ７５及びビデオディスク７６は、ビデオプロセッサ７３と接続され、映像信号等を記録するためのものである。ビデオプリンタ７７は、映像信号を映像としてプリントアウトするためのものである。

【０２０７】

電子内視鏡７１の挿入部７９の先端部８０と、その接眼部８１は、図５６（ｂ）に示すように構成されている。光源装置７２から照明された光束は、ライトガイドファイバー束８８を通して照明用対物光学系８９により、観察部位を照明する。そして、この観察部位からの光が、カバーガラスＣＧ１を介して、本発明の光学系からなる観察用対物光学系８２によって物体像として形成される。この物体像は、図示しないローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルターを介してＣＣＤ８４の撮像面上に形成される。さらに、この物体像は、ＣＣＤ８４によって映像信号に変換され、その映像信号は、図５６（ａ）に示すビデオプロセッサ７３により、モニター７４上に直接表示される。

【０２０８】

また、映像信号は、ＶＴＲデッキ７５、ビデオディスク７６中に記録される。あるいは、映像として、ビデオプリンタ７７からプリントアウトされる。また、映像信号はＨＭＤ７８の画像表示素子に表示され、ＨＭＤ７８の装着者に表示される。また、同時に、ＣＣＤ８４によって変換された映像信号は、接眼部８１の液晶表示素子（ＬＣＤ）８６上に電子像として表示される。そして、その表示像は接眼光学系８７を経て観察者眼球Ｅに導かれる。

【０２０９】

このように構成された内視鏡は、少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できる。

【０２１０】

また、本発明の光学系は投影光学系としても用いることができる。図５７に、パソコン９０と液晶プロジェクタ９１とを組み合わせたプレゼンテーションシステムの概念図を示す。この図５７において、液晶プロジェクタ９１の投影光学系９６に、本発明による光学系を用いられている。この例の場合は、投影光学系９６に、第１プリズム１０、開口絞り２、第２プリズム２０からなる本発明による光学系を用いている。なお、図５７では、本来は、絞り２より液晶パネル（ＬＣＰ）９３側のプリズム１０に対して絞り２より投影側のプリズム２０は、軸上主光線１の周りで略９０°回転して配置されるが、分かりやすくするために、その回転を行っていない状態で図示してある。したがって、本来は、スクリーン９７は図の面の前方あるいは背後に略平行に配置されることになる。

【０２１１】

図５７において、パソコン９０上で作成された画像・原稿データは、モニター出力から分岐して液晶プロジェクタ９１の処理制御部９８に出力される。液晶プロジェクタ９１の処理制御部９８では、この入力されたデータが処理され、液晶パネル（ＬＣＰ）９３に出力される。液晶パネル９３では、この入力画像データに応じた画像が表示される。そして、光源９２からの光は、液晶パネル９３に表示した画像の階調によってその透過量が決定された後、液晶パネル９３直前に配置したフィールドレンズ９５と、本発明の光学系を構成する第１プリズム１０、開口絞り２及び第２プリズム２０と、正レンズのカバーレンズ９４とからなる投影光学系９６を介してスクリーン９７に投影される。

【０２１２】

このように構成されたプロジェクタは、少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、小型化が可能である。

【０２１３】

以上の本発明の光学系及びそれを用いた電子機器は、例えば次のように構成することができる。

【0214】

〔1〕 絞りと、光軸から傾いた少なくとも2面の反射面と、少なくとも1面の回転非対称な非球面屈折面と、撮像素子とを少なくとも有する光学系において、

物体中心から絞り中心を通り像中心に至る光線を軸上主光線とし、光学系内の全ての光軸から傾いた反射面について、各々の反射面への入射側軸上主光線と反射側軸上主光線とによって規定される平面を各々の反射面の基準面としたとき、

少なくとも何れか2面の前記反射面が回転非対称な非球面形状を有し、かつ、前記反射面の一方の反射面の基準面と他方の反射面の基準面とが任意の角度で交差し、

前記反射面の中の最も物体側に配置された物体側反射面が回転非対称な非球面形状を有し、

10

前記物体側反射面とその基準面との交線を物体側反射面交線とするととき、

前記物体側反射面が、下記の条件式を満たすことを特徴とする光学系。

【0215】

$$-0.5 < 1 / (Rr1x \cdot P1y) < 0.5 \quad \dots (1)$$

ただし、 $Rr1x$ ：前記物体側反射面における前記物体側反射面交線方向と垂直方向の曲率半径、

$P1y$ ：前記物体側反射面交線方向の全系のパワー、

である。

【0216】

〔2〕 前記一方の反射面は前記絞りより物体側に配置され、前記他方の反射面は前記絞りより像側に配置されていることを特徴とする上記1記載の光学系。

20

【0217】

〔3〕 前記反射面とその基準面との交線を各々の反射面の交線とするととき、前記反射面の中の回転非対称な非球面形状を有する全ての反射面が、下記の条件式を満たすことを特徴とする上記1又は2記載の光学系。

【0218】

$$-5 < Rry / Rrx < 5 \quad \dots (2)$$

ただし、 Rry ：各反射面の交線方向の曲率半径、

Rrx ：各反射面の交線方向と垂直方向の曲率半径、

である。

30

【0219】

〔4〕 前記回転非対称な非球面屈折面の中の最も物体側の屈折面を物体側屈折面とし、前記物体側屈折面と前記物体側反射面の基準面との交線を物体側屈折面交線とすると、前記物体側屈折面が、下記の条件式を満たすことを特徴とする上記1から3の何れか1項記載の光学系。

【0220】

$$-3 < 1 / (Rt1y \cdot P2y) < 0 \quad \dots (3)$$

ただし、 $Rt1y$ ：前記物体側屈折面における前記物体側屈折面交線方向の曲率半径、

$P2y$ ：前記物体側屈折面交線方向の全系のパワー、

である。

40

【0221】

〔5〕 全ての反射面及び屈折面が回転非対称な非球面形状を有することを特徴とする上記1から4の何れか1項記載の光学系。

【0222】

〔6〕 前記絞りより物体側に配置された少なくとも1つの光学素子が、少なくとも1面の反射面と少なくとも2面の屈折面とを有するものであることを特徴とする上記1から5の何れか1項記載の光学系。

【0223】

〔7〕 前記絞りより像側に配置された少なくとも1つの光学素子が、少なくとも1面の反射面と少なくとも2面の屈折面とを有するものであることを特徴とする上記1から

50

6の何れか1項記載の光学系。

【0224】

〔8〕 少なくとも1つの前記光学素子が移動することによって合焦を行うことを特徴とする上記6又は7記載の光学系。

【0225】

〔9〕 少なくとも前記撮像素子が移動することによって合焦を行うことを特徴とする上記1から8の何れか1項記載の光学系。

【0226】

〔10〕 前記絞りが前記撮像素子の撮像面と略垂直に配置されることを特徴とする上記1から9の何れか1項記載の光学系。

10

【0227】

〔11〕 前記撮像素子の撮像面の法線ベクトルが、光学系の入射光線ベクトルと略垂直であることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の光学系。

【0228】

〔12〕 前記反射面の中、最も物体側に配置された物体側反射面と、その物体側反射面の基準面との交線上で反射した光線束が、前記撮像素子の略短辺方向に結像し、前記反射面の中、最も像側に配置された像側反射面と、その像側反射面の基準面との交線上で反射した光線束が、前記撮像素子の略長辺方向に結像するように配置されていることを特徴とする上記1から11の何れか1項記載の光学系。

【0229】

〔13〕 全反射回数が以下の条件式を満たすことを特徴とする上記1から12の何れか1項記載の光学系。

20

【0230】

$$2 \leq R_{all} \leq 4 \quad \dots (4)$$

ただし、 R_{all} : 全反射回数、である。

【0231】

〔14〕 前記反射面間に遮光部材を有することを特徴とする上記1から13の何れか1項記載の光学系。

【0232】

〔15〕 前記遮光部材が前記絞りと一体に形成されていることを特徴とする上記14記載の光学系。

30

【0233】

〔16〕 少なくとも1枚のレンズを有することを特徴とする上記1から15の何れか1項記載の光学系。

【0234】

〔17〕 少なくとも1枚の前記レンズが、全ての前記反射面よりも像側に配置されていることを特徴とする上記16記載の光学系。

【0235】

〔18〕 少なくとも1枚の前記レンズを移動することによって合焦を行うことを特徴とする上記16又は17記載の光学系。

40

【0236】

〔19〕 撮影時に、全ての前記反射面よりも物体側に少なくとも1枚の前記レンズが取り付けられることを特徴とする上記16記載の光学系。

【0237】

〔20〕 前記レンズの取り付けにより変倍効果を得ることを特徴とする上記19記載の光学系。

【0238】

〔21〕 光学系を構成する少なくとも1つの光学素子の光学材料として有機無機複合材料を用いることを特徴とする上記1から20の何れか1項記載の光学系。

50

【0239】

〔22〕 前記有機無機複合体は、ジルコニアのナノ粒子を含むことを特徴とする上記21記載の光学系。

【0240】

〔23〕 前記有機無機複合体は、ジルコニアとアルミナのナノ粒子を含むことを特徴とする上記21記載の光学系。

【0241】

〔24〕 前記有機無機複合体は、ニオブ酸化物のナノ粒子を含むことを特徴とする上記21記載の光学系。

【0242】

〔25〕 前記有機無機複合体は、ジルコニウムアルコキシドの加水分解物とアルミナのナノ粒子を含むことを特徴とする上記21記載の光学系。

【0243】

〔26〕 上記1から25の何れか1項記載の光学系と、その像側に配置された撮像素子とを備えていることを特徴とする電子機器。

【0244】

〔27〕 前記光学系で形成された像の形状を電氣的に補正する手段を備えていることを特徴とする上記26記載の電子機器。

【0245】

〔28〕 前記補正は波長領域毎に異なるパラメータを用いることを特徴とする上記27記載の電子機器。 20

【0246】

〔29〕 上記16から20の何れか1項記載の光学系と、その像側に配置された撮像素子とを備えている電子機器において、前記レンズは未使用時は電子機器内に収納されていることを特徴とする電子機器。

【図面の簡単な説明】

【0247】

【図1】 偏心配置の非球面反射面に入射する光束と子午方向及び球欠方向を説明するための図である。

【図2】 本発明の実施例1に係る光学系の配置と光路を示す光軸に沿う断面図であり、(a)は光軸に沿うY-Z断面図、(b)は(a)におけるA-A'断面図である。 30

【図3】 本発明の実施例2に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図4】 本発明の実施例3に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図5】 本発明の実施例4に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図6】 本発明の実施例5に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図7】 本発明の実施例6に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図8】 本発明の実施例7に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図9】 本発明の実施例8に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図10】 本発明の実施例9に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。

【図11】 本発明の実施例10に係る光学系の配置と光路を示す図2と同様の図である。 40

【図12】 実施例1の光学系の横収差図の一部である。

【図13】 実施例1の光学系の横収差図の残部である。

【図14】 実施例2の光学系の横収差図の一部である。

【図15】 実施例2の光学系の横収差図の残部である。

【図16】 実施例3の光学系の横収差図の一部である。

【図17】 実施例3の光学系の横収差図の残部である。

【図18】 実施例4の光学系の横収差図の一部である。

【図19】 実施例4の光学系の横収差図の残部である。

【図20】 実施例5の光学系の横収差図の一部である。

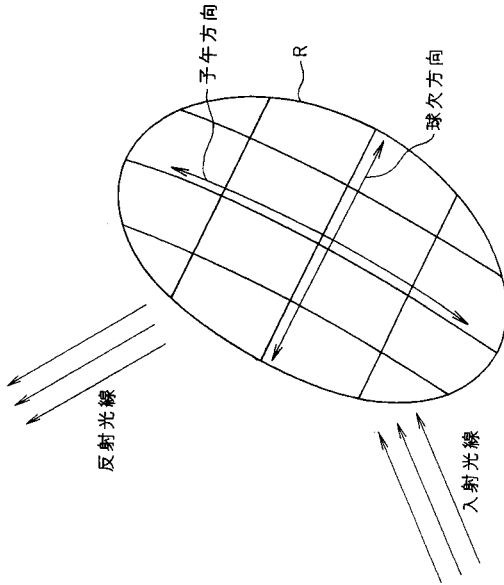
【図21】 実施例5の光学系の横収差図の残部である。 50

- 【図 2 2】 実施例 6 の光学系の横収差図の一部である。
- 【図 2 3】 実施例 6 の光学系の横収差図の残部である。
- 【図 2 4】 実施例 7 の光学系の横収差図の一部である。
- 【図 2 5】 実施例 7 の光学系の横収差図の残部である。
- 【図 2 6】 実施例 8 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 2 7】 実施例 8 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の残部である。
- 【図 2 8】 実施例 8 の光学系の至近合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 2 9】 実施例 8 の光学系の至近合焦時の横収差図の残部である。
- 【図 3 0】 実施例 9 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 3 1】 実施例 9 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の残部である。 10
- 【図 3 2】 実施例 9 の光学系の至近合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 3 3】 実施例 9 の光学系の至近合焦時の横収差図の残部である。
- 【図 3 4】 実施例 10 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 3 5】 実施例 10 の光学系の無限遠合焦時の横収差図の残部である。
- 【図 3 6】 実施例 10 の光学系の至近合焦時の横収差図の一部である。
- 【図 3 7】 実施例 10 の光学系の至近合焦時の横収差図の残部である。
- 【図 3 8】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。
- 【図 3 9】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。
- 【図 4 0】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。
- 【図 4 1】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。 20
- 【図 4 2】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。
- 【図 4 3】 偏心プリズムの別の変形例を示す図である。
- 【図 4 4】 実施例 1 ～ 10 とは異なるプリズムの組み合わせからなる本発明の光学系の別の例を示す図である。
- 【図 4 5】 実施例 1 ～ 10 とは異なるプリズムの組み合わせからなる本発明の光学系の別の例を示す図である。
- 【図 4 6】 実施例 1 ～ 10 とは異なるプリズムの組み合わせからなる本発明の光学系の別の例を示す図である。
- 【図 4 7】 実施例 1 ～ 10 とは異なるプリズムの組み合わせからなる本発明の光学系の別の例を示す図である。 30
- 【図 4 8】 本発明の光学系を適用した電子カメラの外観を示す前方斜視図である。
- 【図 4 9】 図 4 8 の電子カメラの後方斜視図である。
- 【図 5 0】 図 4 8 の電子カメラの構成を示す断面図である。
- 【図 5 1】 本発明の光学系を適用した別の電子カメラの概念図である。
- 【図 5 2】 本発明の光学系が対物光学系として組み込まれたパソコンのカバーを開いた前方斜視図である。
- 【図 5 3】 パソコンの撮影光学系の断面図である。
- 【図 5 4】 図 5 2 の状態の側面図である。
- 【図 5 5】 本発明の光学系が対物光学系として組み込まれた携帯電話の正面図（a）、側面図（b）、その撮影光学系の断面図（c）である。 40
- 【図 5 6】 本発明の光学系を適用した電子内視鏡のシステム構成図（a）と光学系の概念図（b）である。
- 【図 5 7】 本発明の光学系を適用したプレゼンテーションシステムの概念図である。
- 【符号の説明】
- 【0 2 4 8】
- C G 1 …カバーガラス
- C G 1 a …カバーガラスの第 1 面
- C G 1 b …カバーガラスの第 2 面
- C G 2 …カバーガラス
- C G 2 a …カバーガラスの第 1 面 50

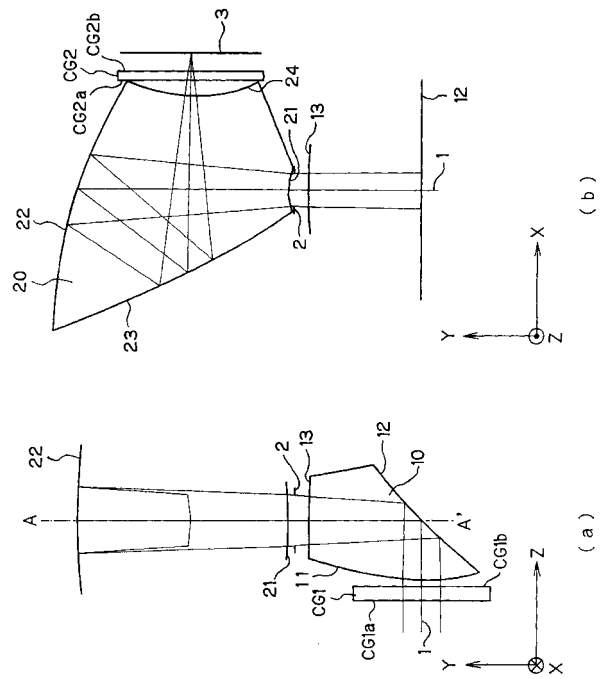
C G 2 b	…カバーガラスの第 2 面	
E	…観察者眼球	
P	…偏心プリズム	
1	…軸上主光線	
2	…開口絞り	
3	…像面	
1 0	…光学素子（偏心プリズム、前群のプリズム）	
1 1	…光学機能面（第 1 面）	
1 2	…光学機能面（第 2 面）	
1 3	…光学機能面（第 3 面）	10
1 4	…光学機能面（第 4 面）	
2 0	…光学素子（偏心プリズム、後群のプリズム）	
2 0 '	…光学素子（偏心プリズム）	
2 1	…光学機能面（第 1 面）	
2 2	…光学機能面（第 2 面）	
2 3	…光学機能面（第 3 面）	
2 4	…光学機能面（第 4 面）	
4 0	…電子カメラ	
4 1	…撮影光学系	
4 2	…撮影用光路	20
4 3	…ファインダー光学系	
4 4	…ファインダー用光路	
4 5	…シャッター	
4 6	…フラッシュ	
4 7	…液晶表示モニター	
4 8	…撮影用対物光学系	
4 9	…C C D	
5 2	…処理手段	
5 3	…ファインダー用対物光学系	
5 4	…カバー部材	30
5 5	…ボロプリズム	
5 6	…第 1 反射面	
5 7	…視野枠	
5 8	…第 2 反射面	
5 9	…接眼光学系	
6 7	…結像面	
6 0	…液晶表示素子（L C D）	
6 1	…記録手段	
6 2	…入射面	
6 3	…反射面	40
6 4	…反射と屈折の兼用面	
7 1	…電子内視鏡	
7 2	…光源装置	
7 3	…ビデオプロセッサ	
7 4	…モニター	
7 5	…V T R デッキ	
7 6	…ビデオディスク	
7 7	…ビデオプリンタ	
7 8	…頭部装着型画像表示装置（H M D）	
7 9	…挿入部	50

8 0 …先端部	
8 1 …接眼部	
8 2 …観察用対物光学系	
8 4 …C C D	
8 6 …液晶表示素子 (L C D)	
8 7 …接眼光学系	
8 8 …ライトガイドファイバー束	
8 9 …照明用対物光学系	
9 0 …パソコン	
9 1 …液晶プロジェクタ	10
9 2 …光源	
9 3 …L C P (液晶パネル)	
9 4 …カバーレンズ	
9 5 …フィールドレンズ	
9 6 …投影光学系	
9 7 …スクリーン	
9 8 …処理制御部	
1 0 0 …対物光学系	
1 3 1 …入射瞳	
1 3 2 …第 1 面	20
1 3 3 …第 2 面	
1 3 4 …第 3 面	
1 3 5 …第 4 面	
1 3 6 …像面	
1 6 2 …撮像素子チップ	
3 0 0 …パソコン	
3 0 1 …キーボード	
3 0 2 …モニター	
3 0 3 …撮影光学系	
3 0 4 …撮影光路	30
3 0 5 …画像	
4 0 0 …携帯電話	
4 0 1 …マイク部	
4 0 2 …スピーカ部	
4 0 3 …入力ダイアル	
4 0 4 …モニター	
4 0 5 …撮影光学系	
4 0 6 …アンテナ	
4 0 7 …撮影光路	

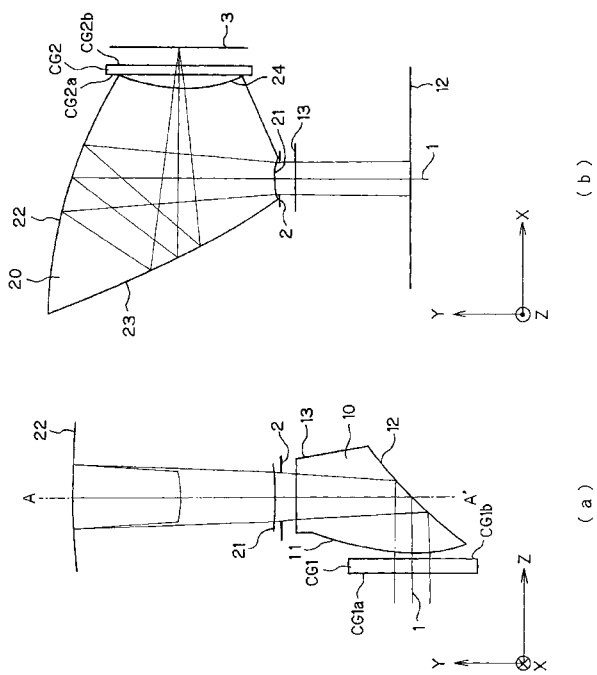
【図 1】



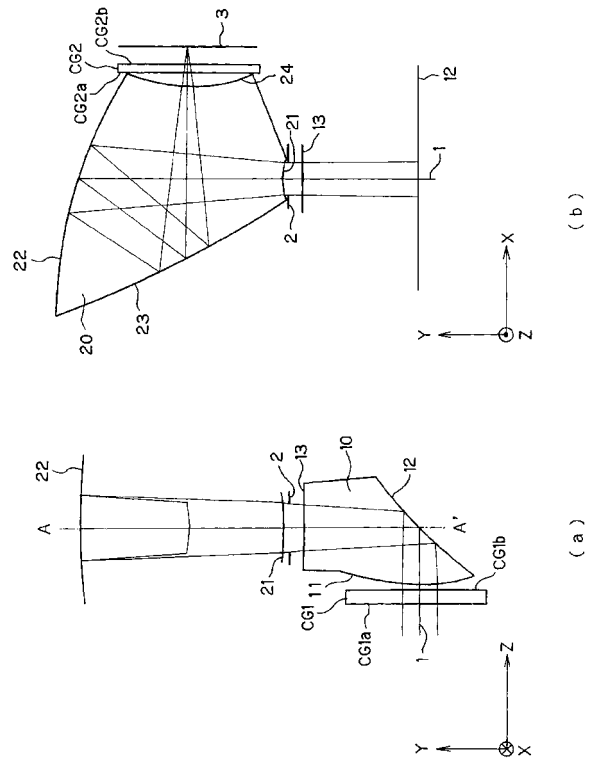
【図 2】



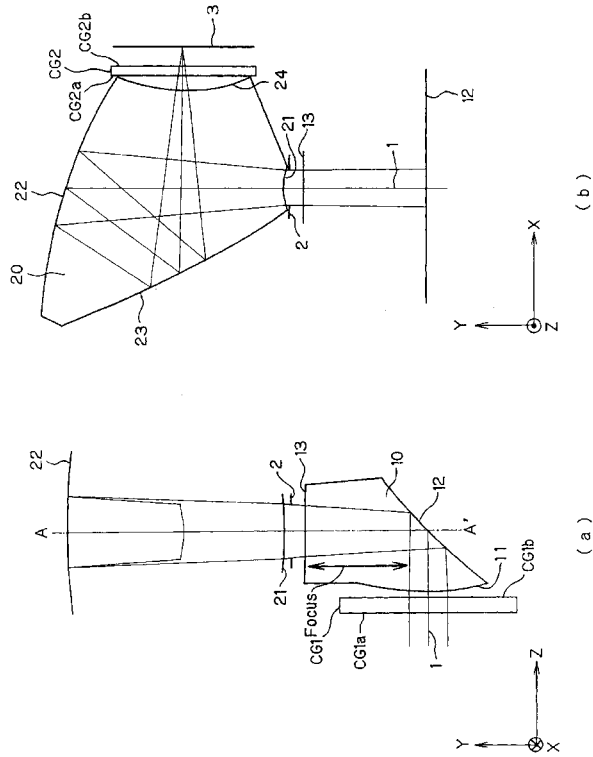
【図 3】



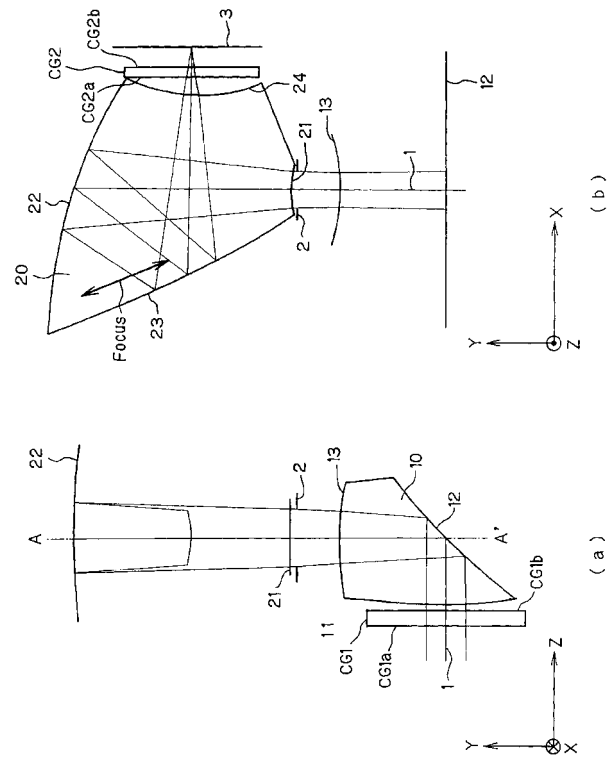
【図 4】



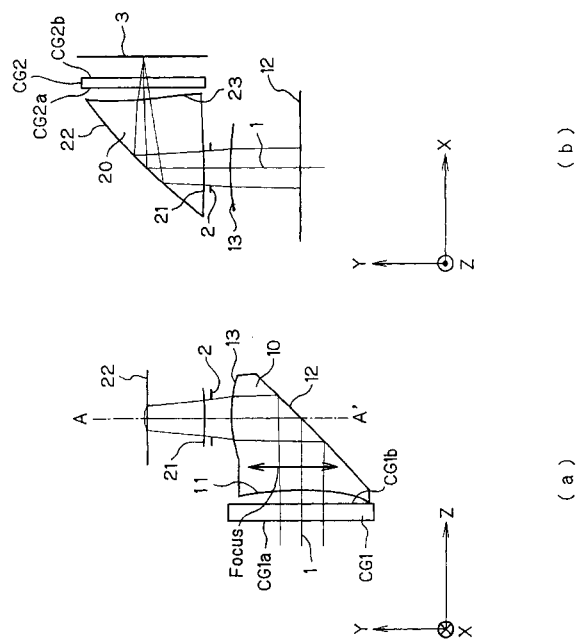
【図 9】



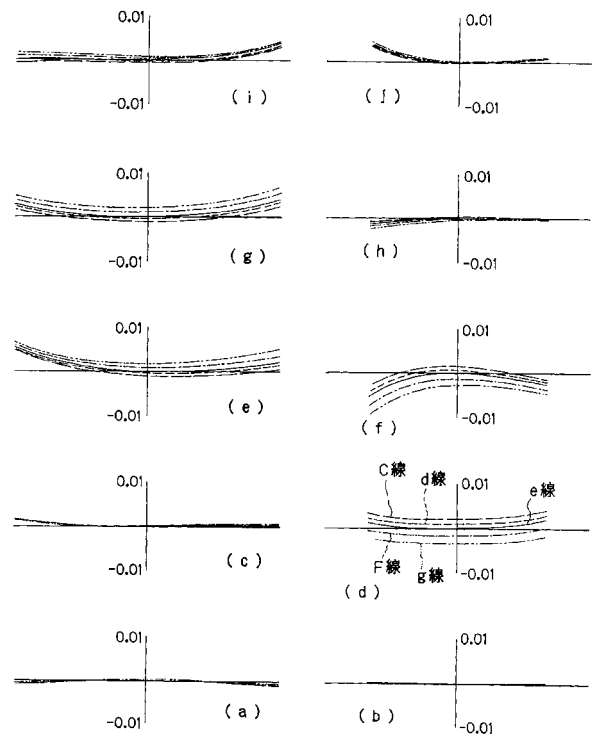
【図 10】



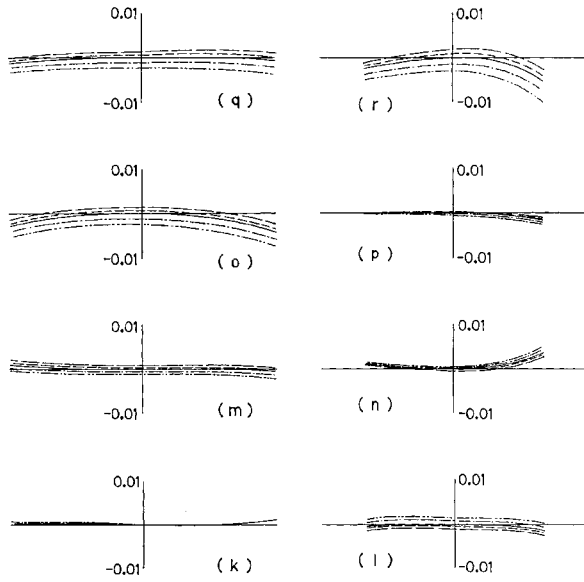
【図 11】



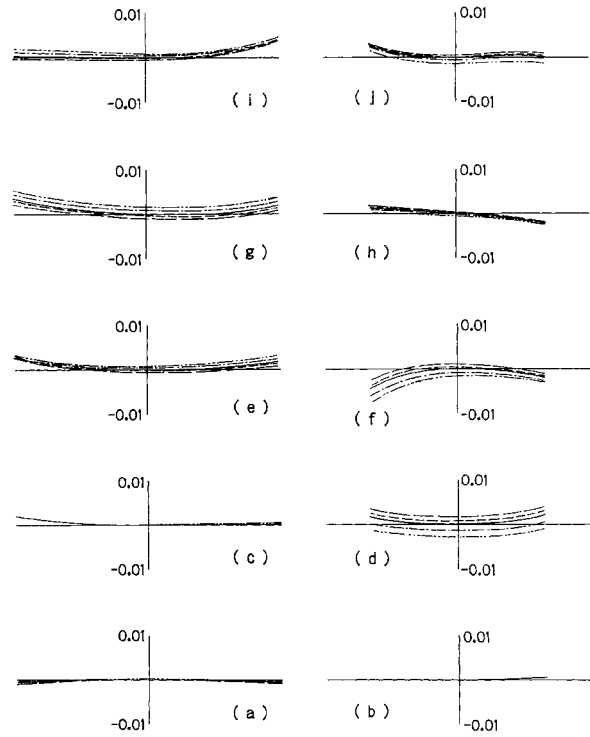
【図 12】



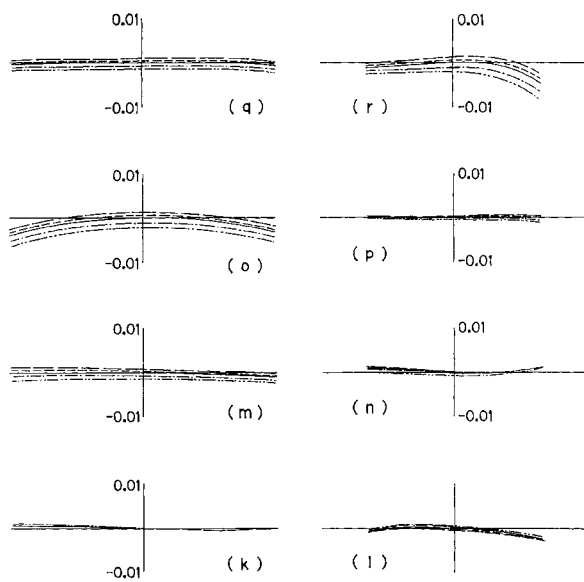
【図 13】



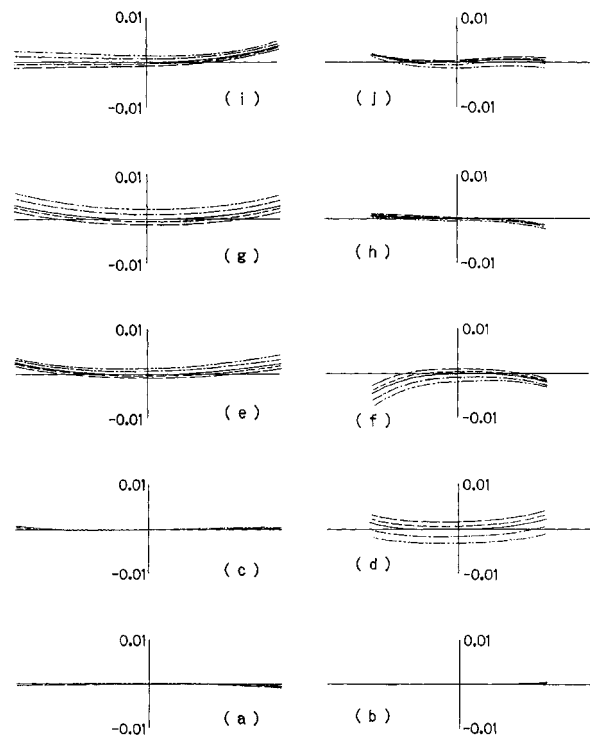
【図 14】



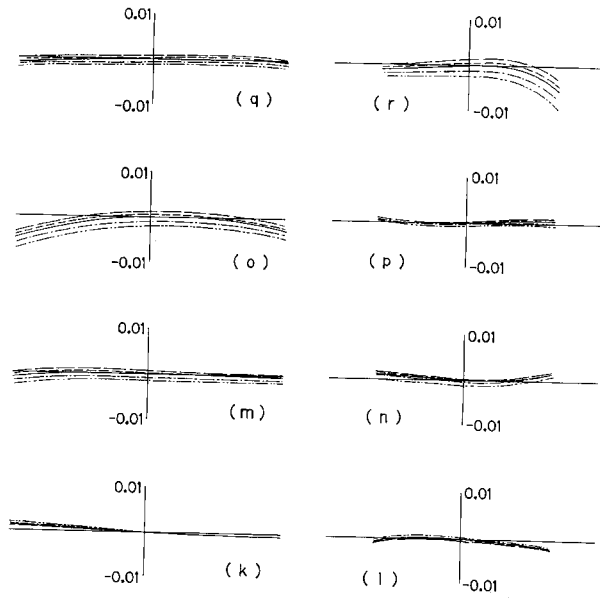
【図 15】



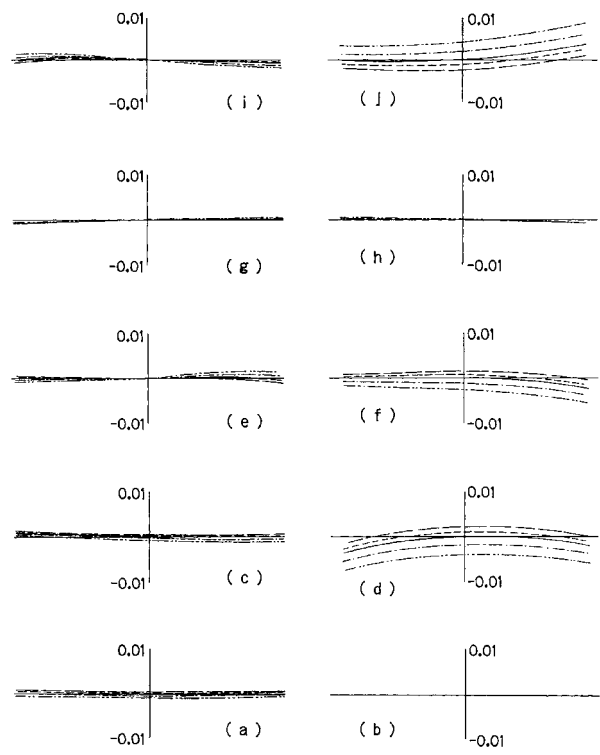
【図 16】



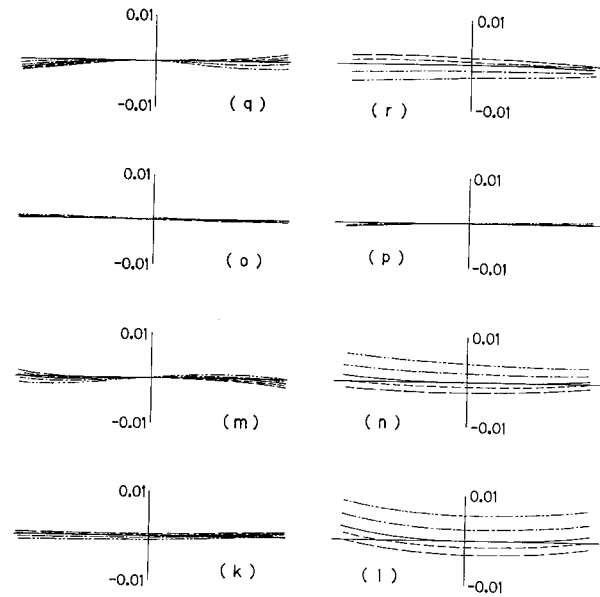
【図 17】



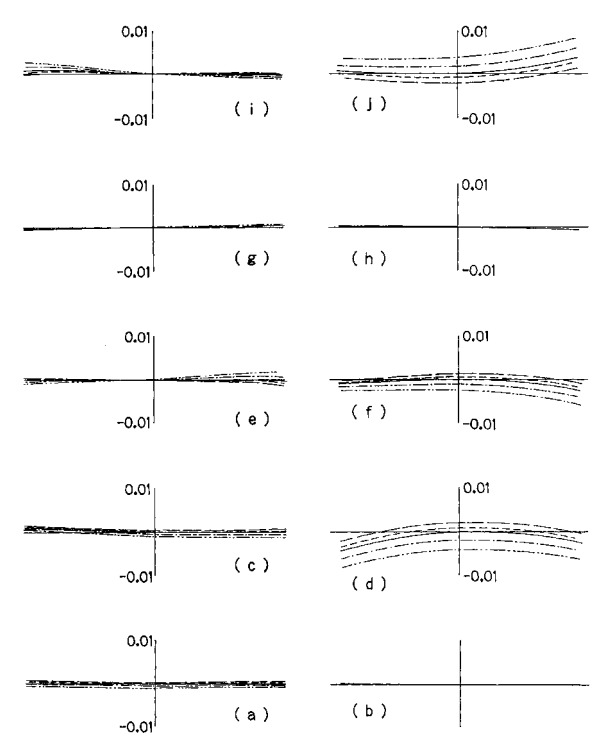
【図 18】



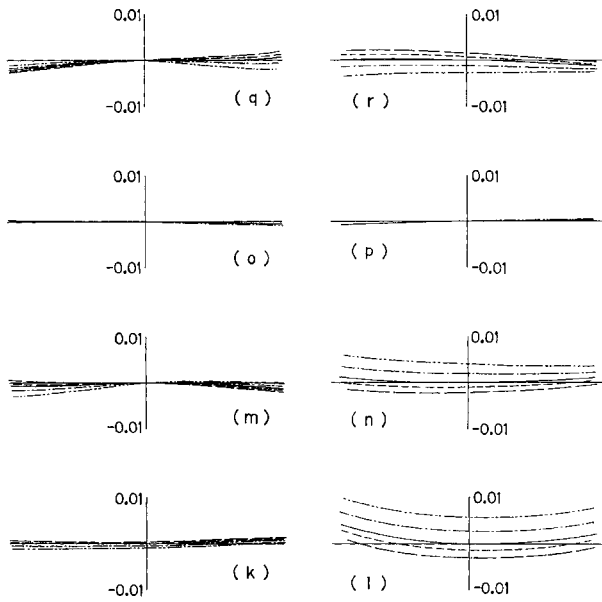
【図 19】



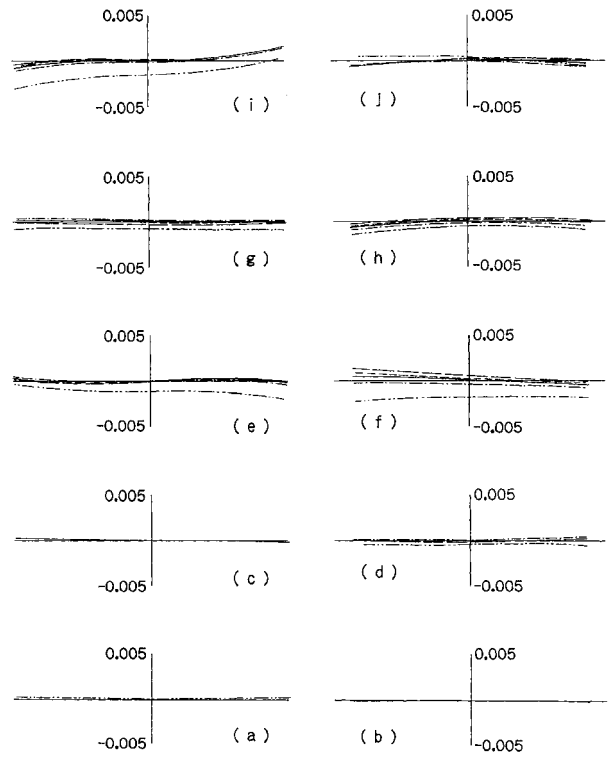
【図 20】



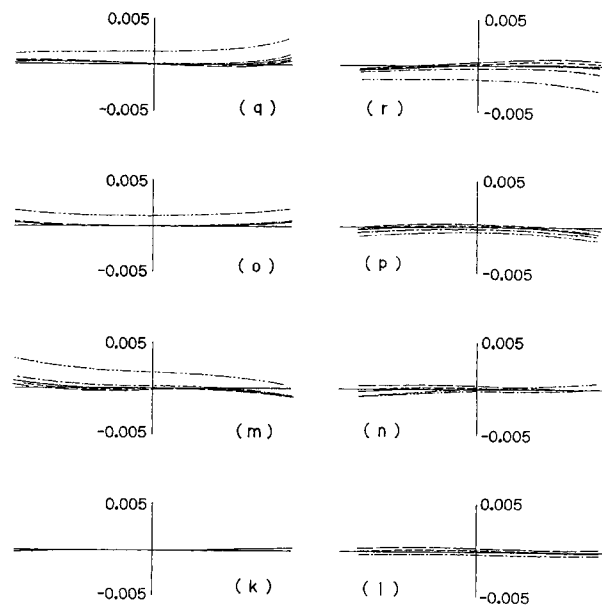
【図 2 1】



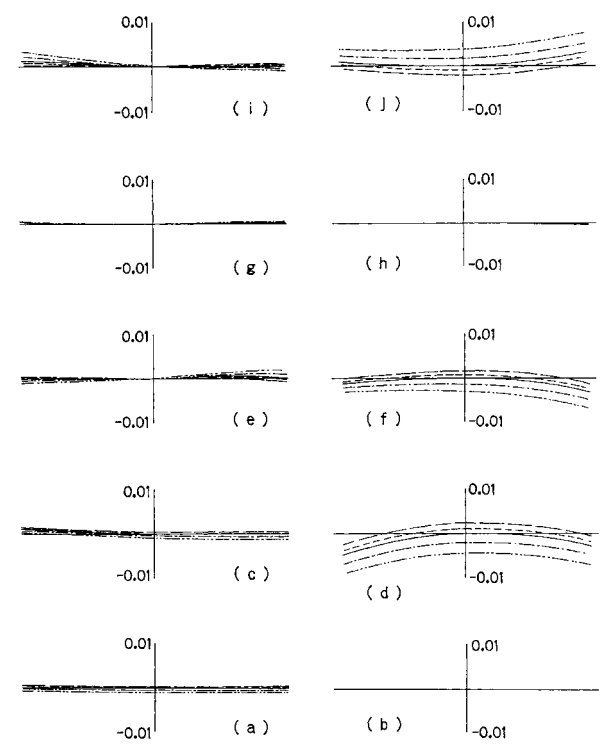
【図 2 2】



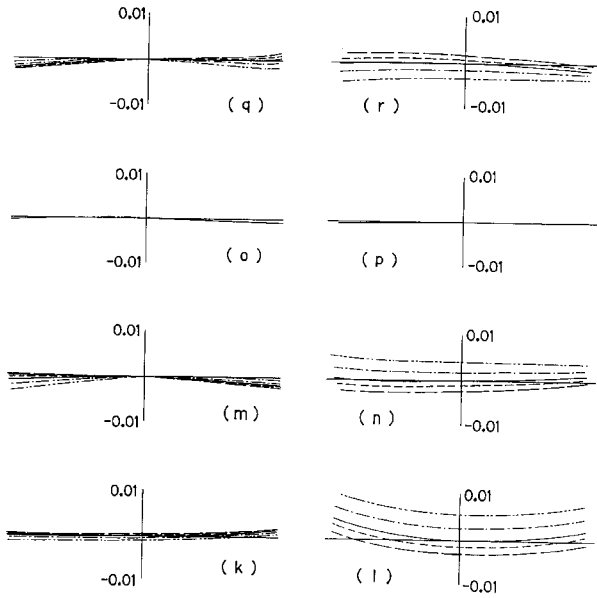
【図 2 3】



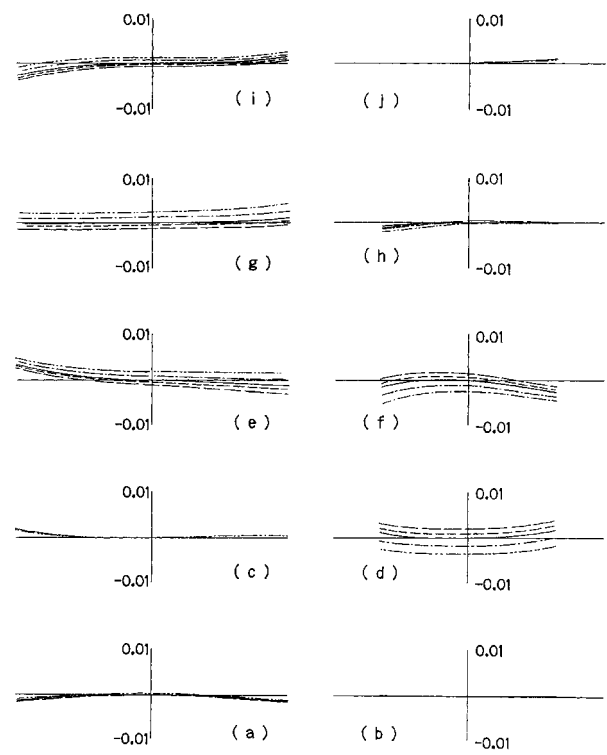
【図 2 4】



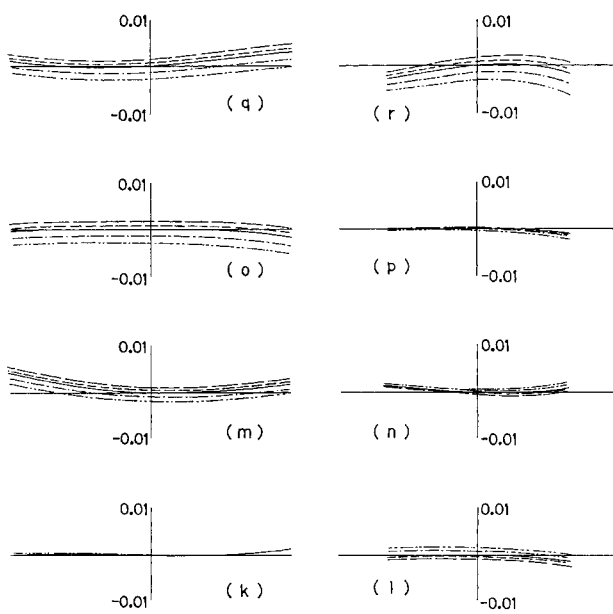
【図 25】



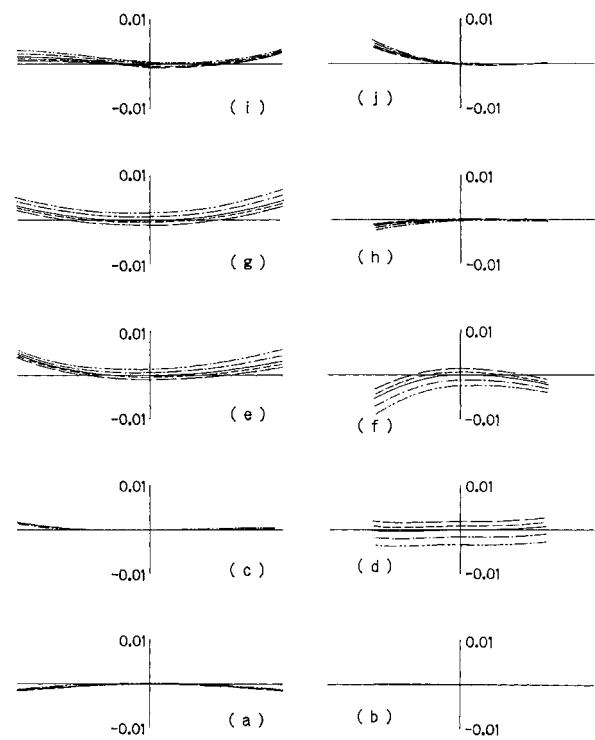
【図 26】



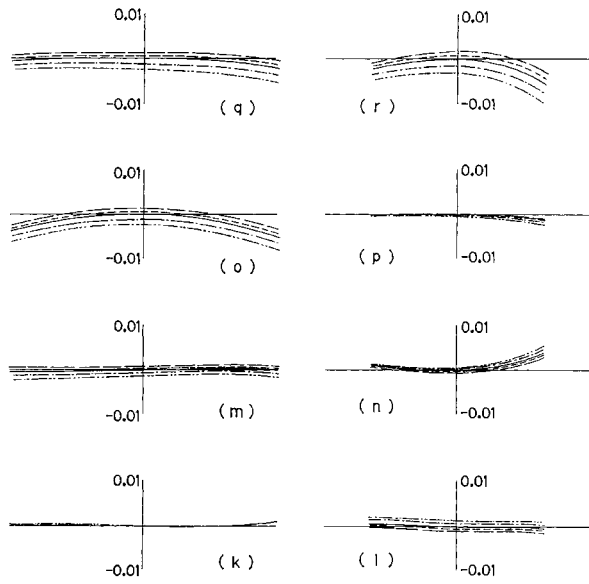
【図 27】



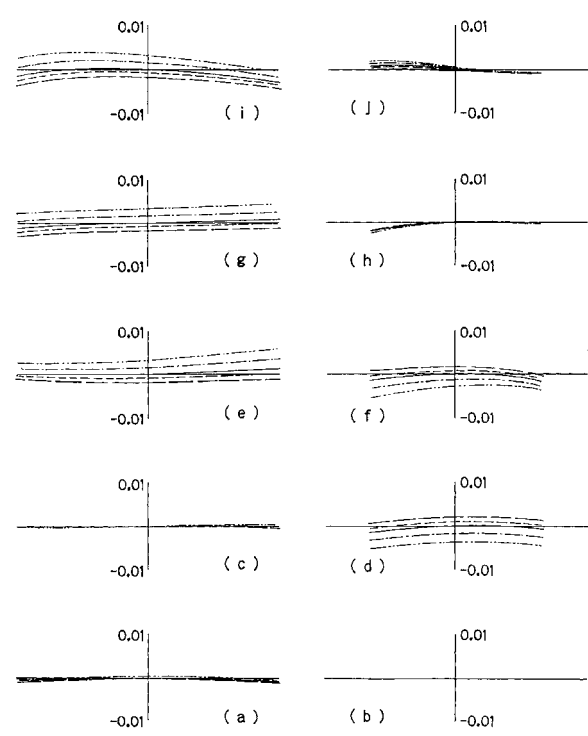
【図 28】



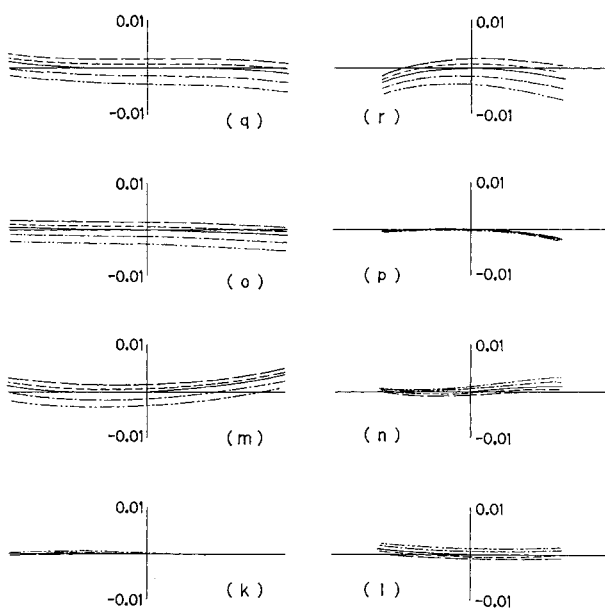
【図 29】



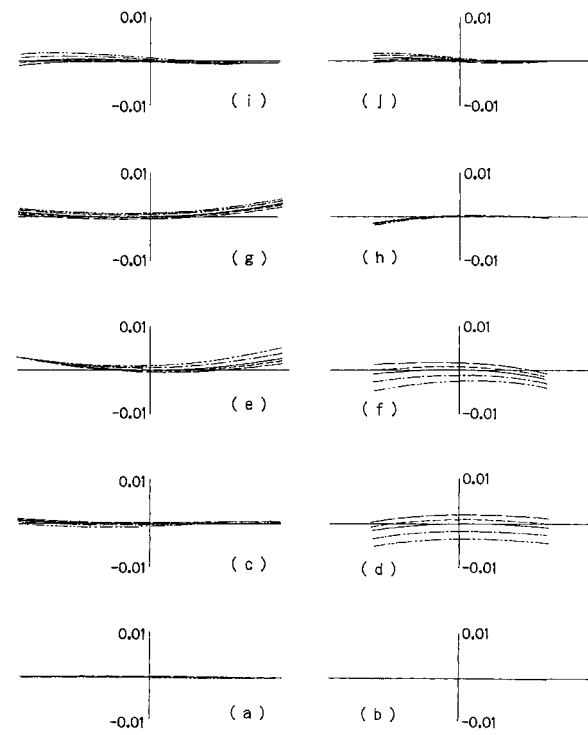
【図 30】



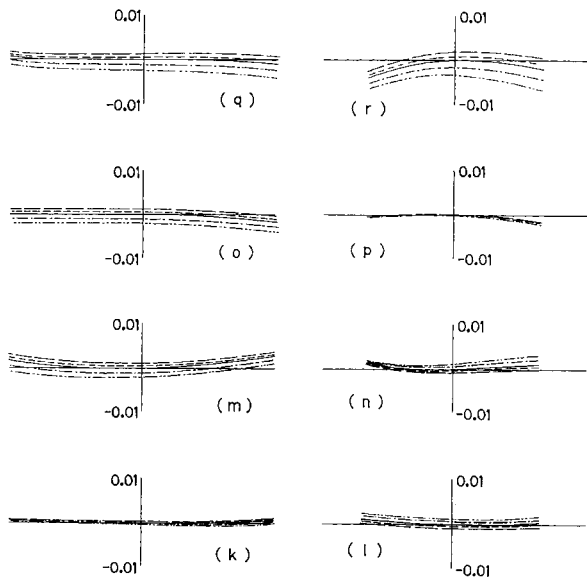
【図 31】



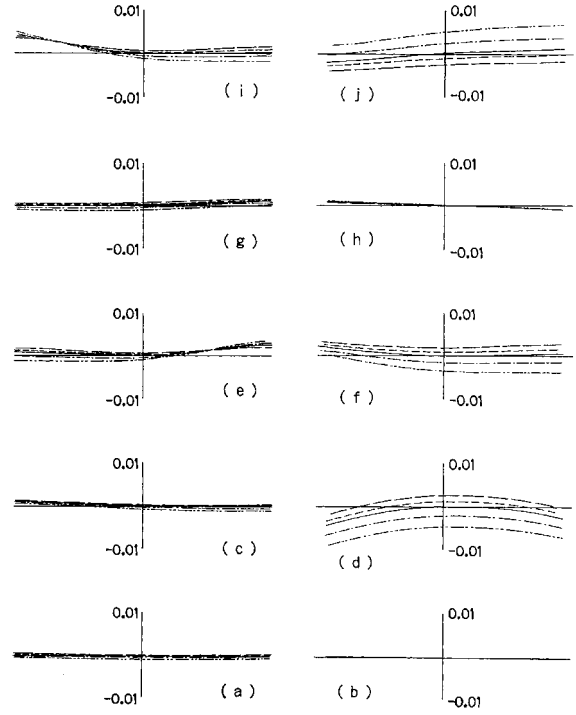
【図 32】



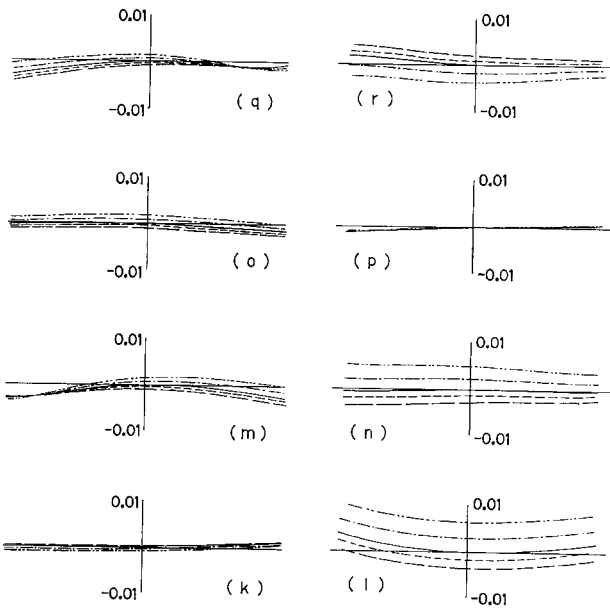
【図 3 3】



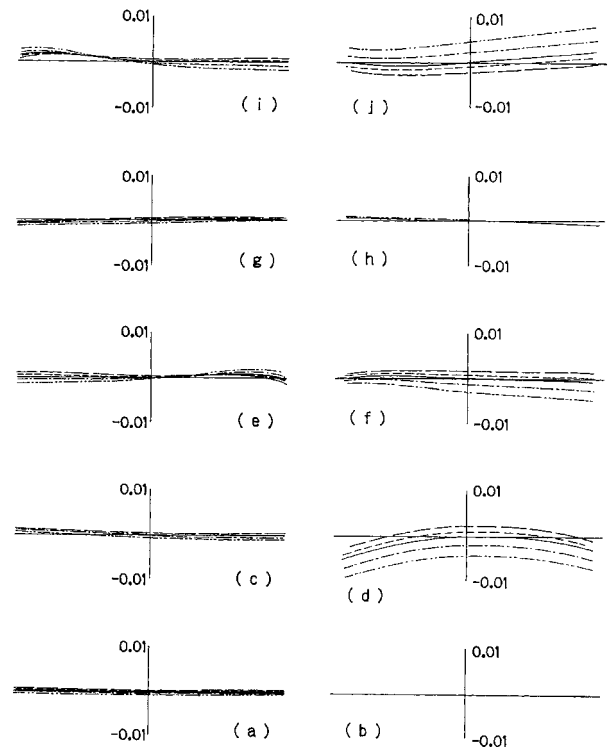
【図 3 4】



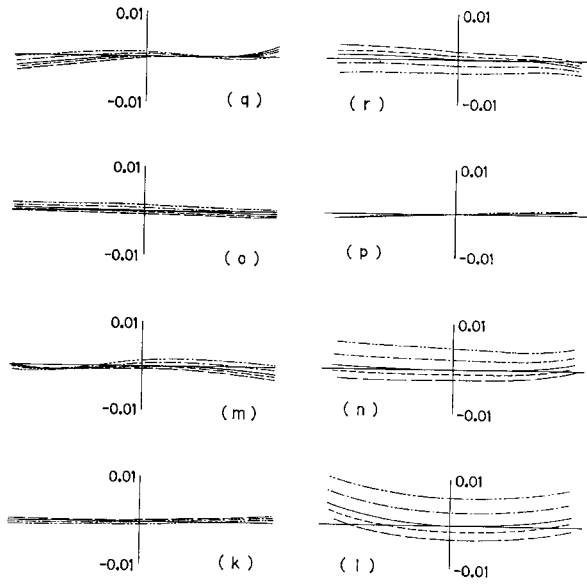
【図 3 5】



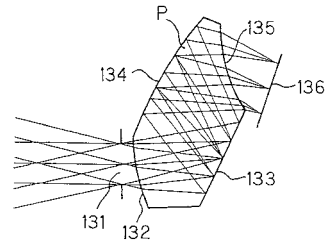
【図 3 6】



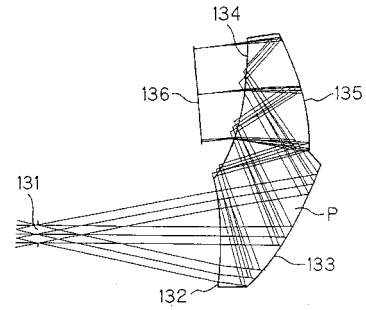
【図 37】



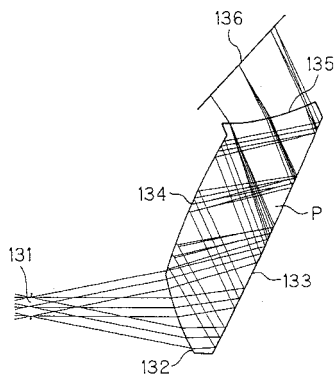
【図 38】



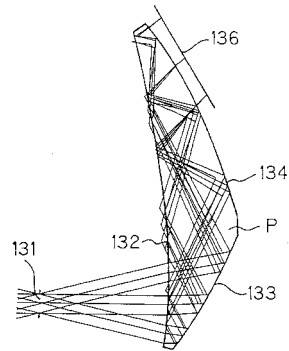
【図 39】



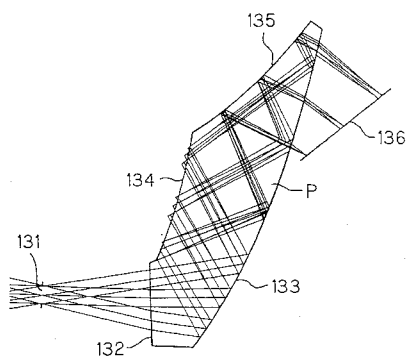
【図 40】



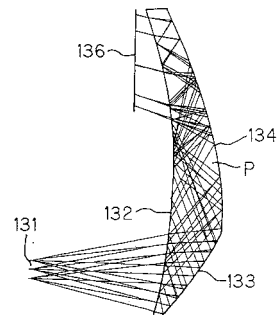
【図 42】



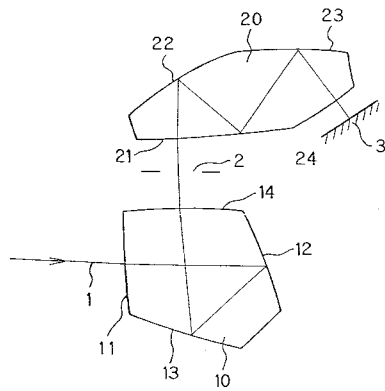
【図 41】



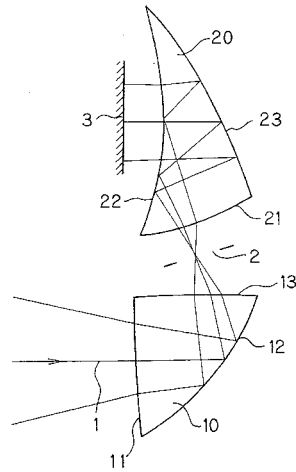
【図 43】



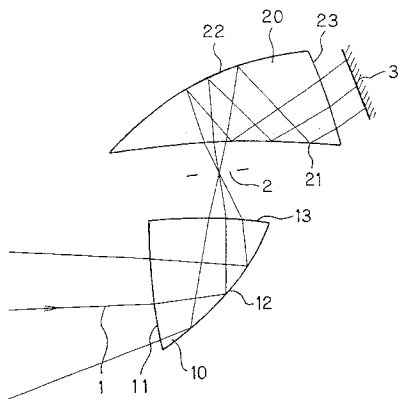
【図 4 4】



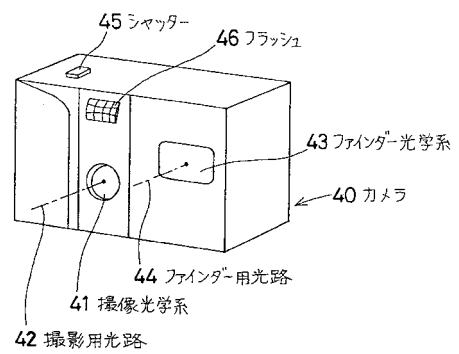
【図 4 5】



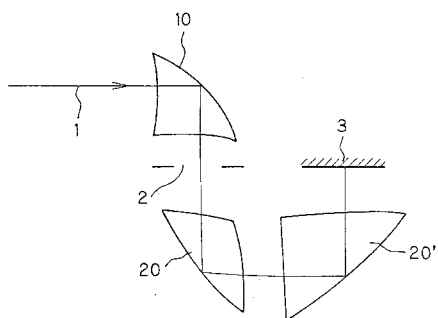
【図 4 6】



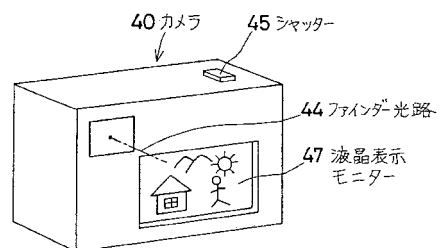
【図 4 8】



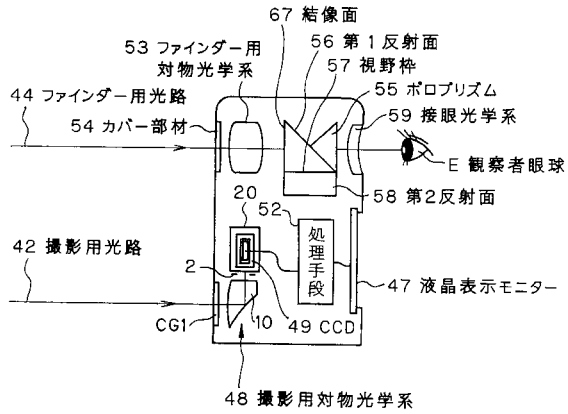
【図 4 7】



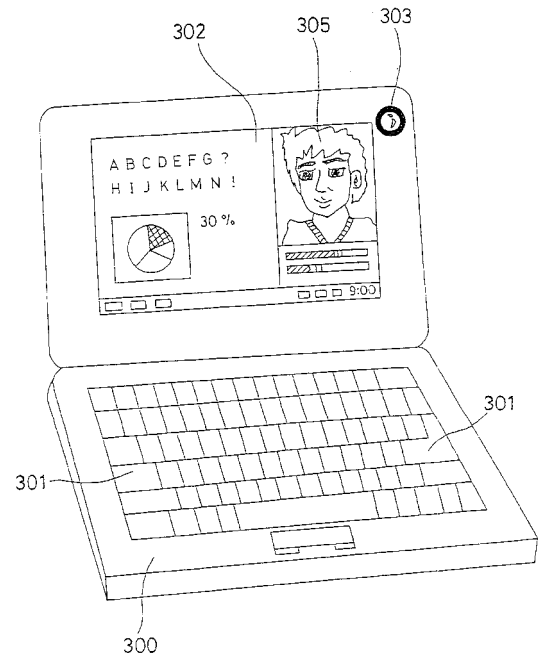
【図 4 9】



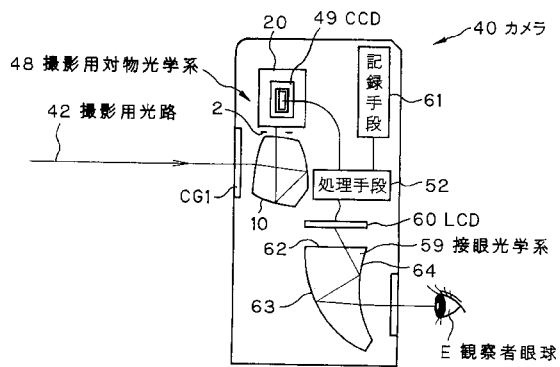
【図 5 0】



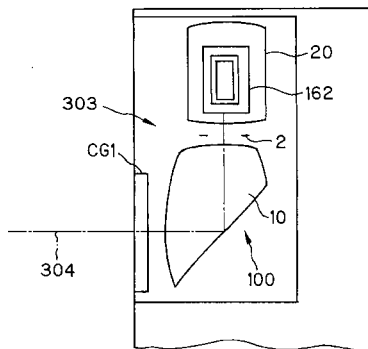
【図 5 2】



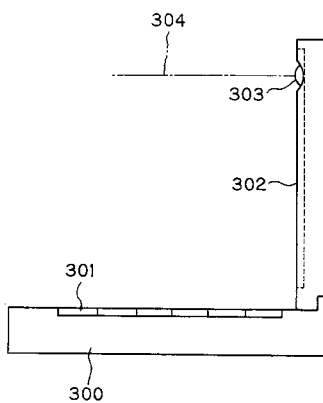
【図 5 1】



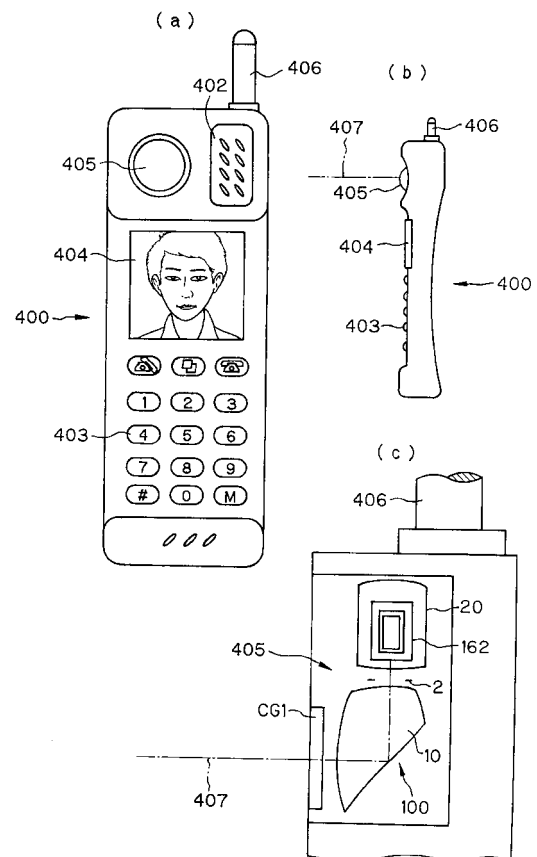
【図 5 3】



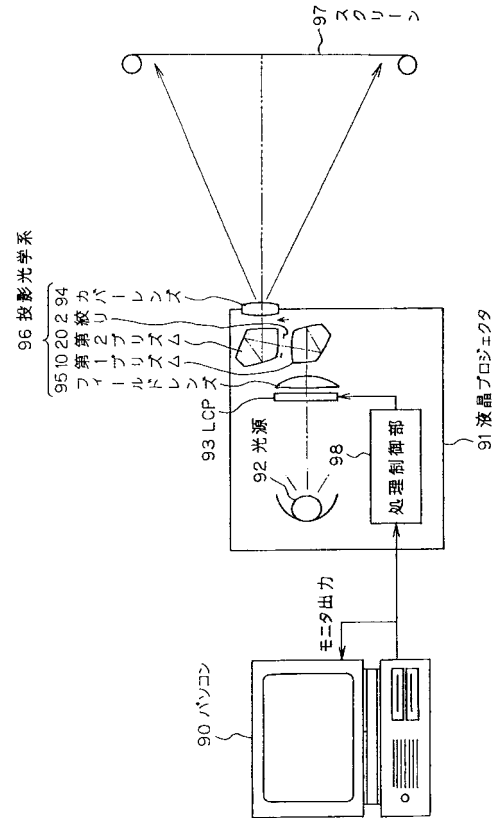
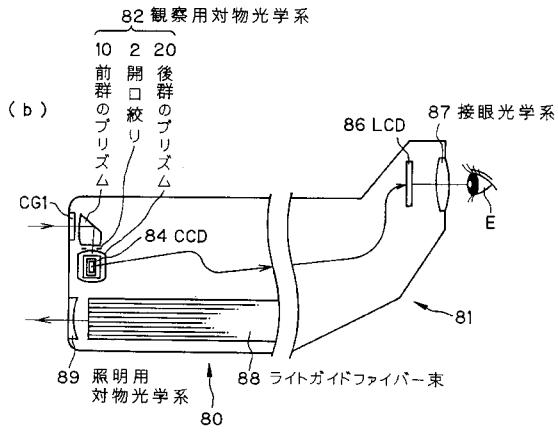
【図 5 4】



【図 5 5】



【図 5 7】



フロントページの続き

(74)代理人 100091971

弁理士 米澤 明

(72)発明者 南方 寛之

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリnpas株式会社内

Fターム(参考) 2H087 KA03 LA01 RA06 RA11 RA32 RA41 RA42 TA01 TA04 TA06

5C122 DA04 DA09 EA54 FB03 FB15