

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4081178号
(P4081178)

(45) 発行日 平成20年4月23日(2008.4.23)

(24) 登録日 平成20年2月15日(2008.2.15)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 2 B 17/08 (2006.01)

G O 2 B 17/08

A

請求項の数 17 (全 40 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------|-----------|------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平10-136845 | (73) 特許権者 | 000000376 |
| (22) 出願日 | 平成10年5月19日(1998.5.19) | | オリンパス株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開平11-326765 | | 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 |
| (43) 公開日 | 平成11年11月26日(1999.11.26) | (74) 代理人 | 100097777 |
| 審査請求日 | 平成17年3月30日(2005.3.30) | | 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】 結像光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パワーを有する複数の反射面を有し、反射面の順序を物体からの光線が交わる順として、その反射面の中、最も物体側に負のパワーの反射面を配置し、それよりも像側に正のパワーの反射面を有する光学系において、前記負のパワーの反射面と前記正のパワーの反射面との間に少なくとも1面の反射面を有し、その少なくとも1面の反射面に入射する軸上主光線が以下の条件式(1)を満足することを特徴とする結像光学系。

$$45^\circ < | \quad | \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで、 θ は、物点中心を通り、絞り中心を通過して、像面中心に到達する光線を軸上主光線とすると、軸上主光線が前記の少なくとも1面の反射面と交わる点における該反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

10

【請求項 2】

前記のパワーを有する複数の反射面の中、最も物体側の負のパワーの反射面が以下の条件式(2)を満足することを特徴とする請求項1記載の結像光学系。

$$| \quad n \quad | < 45^\circ \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 n は、軸上主光線が前記の負のパワーの反射面と交わる点における該反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【請求項 3】

前記のパワーを有する複数の反射面の中、最も物体側の負のパワーの反射面よりも像側に配置された正のパワーの反射面が以下の条件式(3)を満足することを特徴とする請求

20

項 1 記載の結像光学系。

$$|p| < 45^\circ \quad \dots (3)$$

ここで、 p は、軸上主光線が前記の正のパワーの反射面と交わる点における該反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【請求項 4】

前記条件式 (1) からさらに以下の条件式 (1-1) を満足することを特徴とする請求項 1 記載の結像光学系。

$$45^\circ < |p| < 90^\circ \quad \dots (1-1)$$

【請求項 5】

前記条件式 (1) からさらに以下の条件式 (1-2) を満足することを特徴とする請求項 1 記載の結像光学系。

$$45^\circ < |p| < 70^\circ \quad \dots (1-2)$$

【請求項 6】

前記条件式 (2) からさらに以下の条件式 (2-1) を満足することを特徴とする請求項 2 記載の結像光学系。

$$5^\circ < |n| < 45^\circ \quad \dots (2-1)$$

【請求項 7】

前記条件式 (2) からさらに以下の条件式 (2-2) を満足することを特徴とする請求項 2 記載の結像光学系。

$$5^\circ < |n| < 30^\circ \quad \dots (2-2)$$

【請求項 8】

前記条件式 (3) からさらに以下の条件式 (3-1) を満足することを特徴とする請求項 3 記載の結像光学系。

$$5^\circ < |p| < 45^\circ \quad \dots (3-1)$$

【請求項 9】

前記条件式 (3) からさらに以下の条件式 (3-2) を満足することを特徴とする請求項 3 記載の結像光学系。

$$5^\circ < |p| < 40^\circ \quad \dots (3-2)$$

【請求項 10】

前記負のパワーの反射面は、反射作用のみを有する反射面であることを特徴とする請求項 1 から 9 の何れか 1 項記載の結像光学系。

【請求項 11】

前記正のパワーの反射面は、反射作用のみを有する反射面であることを特徴とする請求項 1 から 10 の何れか 1 項記載の結像光学系。

【請求項 12】

前記パワーを有する複数の反射面を軸上主光線に対して偏心させ、前記複数の反射面の中、少なくとも 1 つの面は回転非対称な面であることを特徴とする請求項 1 から 11 の何れか 1 項記載の結像光学系。

【請求項 13】

前記回転非対称面は、対称面を 1 面のみ有する面对称自由曲面であることを特徴とする請求項 12 記載の結像光学系。

【請求項 14】

前記結像光学系がプリズムを用い、少なくとも 1 つのプリズムの少なくとも 1 つの面を透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としたことを特徴とする請求項 12 又は 13 記載の結像光学系。

【請求項 15】

前記透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面は、反射作用が全反射によるものであることを特徴とする請求項 14 記載の結像光学系。

【請求項 16】

前記結像光学系は受光面を有し、結像光学系の最も像側の面から射出した軸上主光線の

10

20

30

40

50

方向に前記受光面を移動させることによりフォーカシングを行なうことを特徴とする請求項 1 から 15 の何れか 1 項記載の結像光学系。

【請求項 17】

前記結像光学系は受光面を有し、平行平面板を複数の楔状のプリズムに分割し、光軸と垂直方向に移動させることでフォーカシングするフォーカシング用プリズムを有することを特徴とする請求項 1 から 15 の何れか 1 項記載の結像光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結像光学系に関し、その中でも特に、ビデオカメラやデジタルスチルカメラ、フィルムスキャナー等、小型の撮像素子を用いた装置用の結像光学系であって反射面にパワーを有する薄型光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、ビデオカメラやデジタルスチルカメラ、フィルムスキャナー等の結像光学系では、撮像素子の小型化に伴い薄型で小型軽量、低コストな光学系が求められている。

【0003】

その中でも特に薄型化に関しては、回転対称共軸光学系の場合、光学素子を光軸方向に配列するために、性能確保との両立には限界がある。また、同時に、回転対称な屈折レンズを用いることにより発生する色収差を補正するために、レンズ枚数の増加は避けられず、低コスト化も困難な状況である。そこで、最近では、特に色収差の発生しない反射面にパワーを持たせ、光軸方向の光路を折り畳むことで、薄型化、小型化を図った光学系がいくつか提案されている。

【0004】

特開平 7 - 333505 号のものは、偏心した反射面にパワーを付けて光路を折り畳み、光学系の厚みを小さくすることを提案しているが、その実施例では構成する光学部材が 5 個と多い上、実際の光学性能は不明である。また、その反射面の形状までは言及されていない。

【0005】

また、特開平 8 - 292371 号、特開平 9 - 5650 号、特開平 9 - 90229 号のものは、プリズム 1 個あるいは複数のミラーを 1 つの部材としてブロック化することで光路を折り畳み、その光学系内部で像をリレーしながら最終像を形成する光学系が示されている。しかし、これらの例では、像をリレーするために反射の回数が多く、その面精度誤差、偏心精度誤差が積算されて転送されることから、個々の精度が厳しくなり、コストアップにつながり好ましくない。また、同時に、像をリレーするために、光学系全体の体積も大きくなり好ましくない。また、特開平 9 - 222563 号では、複数のプリズムを用いた例を示しているが、像をリレーするために、同様の理由からコストアップ、光学系の大型化につながり好ましくない。

【0006】

また、特開平 9 - 211331 号のものは、プリズム 1 個を用いて光路を折り畳み、光学系の薄型化、小型化を図った例であるが、収差の補正が十分ではない。

【0007】

また、特開平 8 - 292368 号、特開平 8 - 292372 号、特開平 9 - 222561 号、特開平 9 - 258105 号、特開平 9 - 258106 号のものは何れもズームレンズの例である。しかし、これらの例も、プリズム内部で像をリレーしているために、反射の回数が多く、反射面の面精度誤差、偏心精度誤差が積算されて転送され好ましくない。同時に、光学系の大型化も避けられず好ましくない。

【0008】

また、特開平 10 - 20196 号のものは、正負の 2 群ズームレンズの正の前群を、絞りを挟んで物体側に負のパワーのプリズムで、像側を正のパワーのプリズムで構成した例で

10

20

30

40

50

ある。また、負のプリズムと正のプリズムから構成される正の前群を2つに分割し、負正負の3群ズームレンズに構成した例も開示されている。しかし、これらの例で用いられるプリズムは、2つの透過面、2つの反射面が独立の面であるために、そのスペースを確保する必要上、また同時に、撮像面がライカサイズのフィルムフォーマットと大きいため、プリズム自体の大型化が避けられない。また、何れのズームレンズの例も、プリズムを移動させることで変倍を行っているため、全ての変倍領域で性能を維持するために反射面の偏心精度が厳しくなり、コスト高になるという問題を有している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

一般の屈折光学系で所望の屈折力を得ようとする、その境界面で光学素子の色分散特性のために色収差が発生する。それを補正する目的と、他の光線収差を補正するために、屈折光学系は多くの構成要素を必要としてコスト高になるという問題を有している。また、同時に、光路が光軸に沿って直線になるために、光学系全体が光軸方向に長くなってしまい、撮像装置が大型になってしまうという問題があった。

【0010】

また、従来技術で述べたような偏心光学系では、収差が良好に補正され、なおかつ、特に回転非対称なディストーションが良好に補正されていないと、結像された図形等が歪んで写ってしまい、正しい形状を再現することができないという問題があった。

【0011】

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、パワーを有する反射面を用いて光路を折り畳むことにより、小型化、薄型化された高性能で低コストな結像光学系を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するための本発明の結像光学系は、パワーを有する複数の反射面を有し、反射面の順序を物体からの光線が交わる順として、その反射面の中、最も物体側に負のパワーの反射面を配置し、それよりも像側に正のパワーの反射面を有する光学系において、前記負のパワーの反射面と前記正のパワーの反射面との間に少なくとも1面の反射面を有し、その少なくとも1面の反射面に入射する軸上主光線が以下の条件式(1)を満足することを特徴とするものである。

$$45^\circ < |\theta| \leq 90^\circ \quad \dots (1)$$

ここで、 θ は、物点中心を通り、絞り中心を通過して、像面中心に到達する光線を軸上主光線とすると、軸上主光線が前記の少なくとも1面の反射面と交わる点における該反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【0013】

この場合、そのパワーを有する複数の反射面の中、最も物体側の負のパワーの反射面が以下の条件式(2)を満足することが望ましい。

$$|\theta_n| < 45^\circ \quad \dots (2)$$

ここで、 θ_n は、軸上主光線がその負のパワーの反射面と交わる点におけるその反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【0014】

また、そのパワーを有する複数の反射面の中、最も物体側の負のパワーの反射面よりも像側に配置された正のパワーの反射面が以下の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$|\theta_p| < 45^\circ \quad \dots (2)$$

ここで、 θ_p は、軸上主光線がその正のパワーの反射面と交わる点におけるその反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【0015】

以下、本発明において上記構成をとる理由と作用を説明する。

レンズを用いた屈折光学系では、その境界面を光線が屈折し、次の境界面まで伝播していくということを繰り返し結像が行われる。したがって、物体から出た光線は基本的にはレ

10

20

30

40

50

レンズを透過して像面に到達するため、一般の共軸光学系では光軸方向の厚みを小さくすることは非常に困難である。個々のレンズのパワーを強くしたり、光学系全系のパワー配置を工夫することで多少の薄型化を達成することは可能であるが、抜本的な問題の解決にはなっていない。さらに、屈折光学系では、レンズの境界面で光線が屈折する際に、レンズの色分散特性による色収差の発生が避けられない。その結果、別のレンズを付加して色収差を補正しなければならず、レンズ枚数が増えコストアップにつながってしまう。さらに、光学系も大型化して好ましくない。

【 0 0 1 6 】

一方、ミラーやプリズム等を用いた反射光学系は、その反射面にパワーを持たせても原理的に色収差の発生はなく、色収差を補正する目的だけのために別の光学素子を付加する必要はない。そのため、反射光学系は、屈折光学系に比べて色収差補正の観点から光学素子の構成枚数の削減による小型化と低コスト化が可能である。また、同時に、反射光学系は光路を折り畳むことになるために、屈折光学系に比べて光学系自身の薄型化が可能である。

10

【 0 0 1 7 】

また、撮像素子が小型になればなる程、同じ画角の仕様でも実際の光学系の焦点距離は短くなる。しかし、物理的な光学素子の大きさや焦点距離の制限から、全系の光路長は全系の焦点距離よりも長くなるのが好ましく、そのためには全系を負正のレトロフォーカスタイプで構成することが望ましい。同時に、これは、CCD等の幾何学的な画素配列を有する撮像素子を用いる光学系において、モアレ除去や赤外線の影響を排除するために光学

20

【 0 0 1 8 】

以上より、本発明は、反射面に負と正のパワーを持たせたレトロフォーカスタイプで構成することを特徴とするが、これだけでは光学系の薄型化を十分には達成できない。以下、薄型化について詳述する。

【 0 0 1 9 】

光学系が必要とする光路長は、光路が光軸に沿って直線的でも折り畳まれていても基本的には変わらない。そのため、反射面を用いて薄型化を達成するためには、図13で示すように、多数の反射面M1, M2, M3, ...を用いて光線が光学系に入射する方向とは略垂直方向に光線を導くということが考えられる。しかし、この場合、薄型化は達成されるが、多数の反射面M1, M2, M3, ...を用いるため、屈折面に比べて偏心誤差感度の高い反射面を精度良く加工、組立する必要が生じ、結果的にコストアップにつながってしまう。

30

【 0 0 2 0 】

そこで、本発明は前述の構成と条件式を満足することで、偏心誤差感度の高い反射面の使用を最小限にとどめることができるので、薄型化と同時にコストダウンが図られる。

【 0 0 2 1 】

すなわち、本発明は多数の反射面を用いる代りに、前記条件式(1)を満足する反射面を、負のパワーの反射面と正のパワーの反射面の間に少なくとも1面設けることで、光線が光学系に入射する方向とは鈍角的に軸上主光線を反射させ薄型化を可能にするものである。また、これにより、同じ光路長でも、軸上主光線が鋭角的に反射する反射面を用いて薄型化する構成に比べ、偏心誤差感度の高い反射面数を減らすことができるので、コストダウンが可能となる。条件式(1)の下限45°を越えると、軸上主光線が鋭角的に反射してしまい、少ない反射面数では薄型化が図れなくなってしまう。また、その状態のままで薄型化を図ろうとすると、反射面を増やさなければならず、コストアップにつながってしまう。

40

【 0 0 2 2 】

これにより、本発明の目的は達せられる。なお、本発明の反射面配置の概念図を図14に示す。図14において、負のパワーの反射面をMn、正のパワーの反射面をMp、その間

50

に配置される反射面を $M a$ 、 $M b$ としている。

【0023】

また、さらに条件式 (1) の上限値を条件式 (1-1) のように設定すれば、なお好ましい。

$$45^\circ < |\quad| < 90^\circ \quad \dots (1-1)$$

この条件式 (1-1) の上限 90° を越えると、反射面としての作用がなくなってしまう。

【0024】

また、さらに条件式 (1-2) を満足することが性能確保上好ましい。

$$45^\circ < |\quad| < 70^\circ \quad \dots (1-2)$$

また、本発明で用いる反射面はミラーを用いた表面反射、プリズムを用いた裏面反射等が利用可能である。ミラーを用いた表面反射の場合は、原理的にそこでの色収差の発生はなく、光学系の性能に悪影響を及ぼさない。また、プリズムを用いた裏面反射の場合は、入射面、射出面に曲率を持たせることで収差補正の自由度が増し、さらに良好な性能を達成することが可能である。特に、反射面としてプリズムを用いる場合は、それぞれの面の相対的な位置関係が固定されているので、プリズム単体として偏心を制御すればよく、屈折面に対して偏心誤差感度の高い反射面の必要以上の組立精度、調整工数が不要である。

【0025】

また、本発明で負のパワーと正のパワーを有する反射面をプリズムの裏面反射とすれば、その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で、ミラーに対して収差補正の自由度を大きく保ったまま、レンズ等のような屈折光学素子に比べて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、空気中に配置されるレンズやミラー等よりは、光学系の薄型化、小型化が可能である。

【0026】

また、本発明で用いられるパワーを有する複数の反射面の中、最も物体側の負のパワーの反射面を以下の条件式 (2) を満足させることで、光学系の薄型化と性能確保に加え、十分なバックフォーカスをとることが可能となる。

$$|\quad n |\quad| < 45^\circ \quad \dots (2)$$

ここで、 n は、軸上主光線が前記の負のパワーの反射面と交わる点におけるその反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

【0027】

本発明のように、反射面を用いて光学系の薄型化を図る場合、少なくとも反射面の中1面は軸上主光線に対して偏心していることが望ましい。反射面が全く偏心していない場合、少なくとも軸上主光線が遮られる現象が発生し、軸上に像を結ばないということが起こってしまう。しかし、一方、反射面にパワーを持たせる場合、その反射面が軸上主光線に対して偏心していると、軸上でも回転非対称な偏心収差が発生する。回転非対称な偏心収差は、回転対称な面では完全に補正することは原理上不可能で、ある許容内に抑えることが重要となる。特に、偏心収差の発生量は、パワーの大きさもさることながら、偏心量に大きく依存するため、所望のパワーを得るためには偏心量をある程度小さくしなければならない。条件式 (2) は、反射面に所望のパワーを持たせながら偏心収差を許容内に抑えるために設けた条件式であり、この上限 45° を越えると、その面で発生する偏心収差が大きくなりすぎ、その補正ができなくなる。

【0028】

また、条件式 (2) の下限を以下のように設定すれば、なお好ましい。

$$5^\circ < |\quad n |\quad| < 45^\circ \quad \dots (2-1)$$

この条件式 (2-1) の下限 5° を越えると、軸上主光線が別の反射面で遮られる結果となり、軸上に像を結ばなくなる。

【0029】

また、さらに以下の条件式(2-2)を満足すると、薄型化と同時に偏心収差の発生をなお良好に補正できるので好ましい。

$$5^\circ < |\quad n \quad| < 30^\circ \quad \dots (2-2)$$

また、本発明で用いられる負のパワーの反射面よりも像側の正のパワーを有する反射面を、以下の条件式(3)を満足させることで、光学系の薄型化と性能確保が可能となる。なお、ここで言う正のパワーの反射面とは、前記負のパワーの反射面よりも像側に配置され、本発明の光学系中、最も強い正のパワーを有する反射面を指す。

【0030】

$$|\quad p \quad| < 45^\circ \quad \dots (3)$$

ここで、 p は、軸上主光線が前記の正のパワーの反射面と交わる点におけるその反射面の偏心方向の法線と軸上主光線のなす角である。

10

【0031】

条件式(3)は、反射面に所望のパワーを持たせながら偏心収差を許容内に抑えるために設けた条件式であり、この上限 45° を越えると、その面で発生する偏心収差が大きくなりすぎ、その補正ができなくなる。

【0032】

また、条件式(3)の下限を以下のように設定すれば、なお好ましい。

$$5^\circ < |\quad p \quad| < 45^\circ \quad \dots (3-1)$$

この条件式(3-1)の下限 5° を越えると、軸上主光線が別の反射面で遮られる結果となり、軸上に像を結ばなくなる。

20

【0033】

また、さらに以下の条件式(3-2)を満足すると、薄型化と同時に偏心収差の発生をなお良好に補正できるので好ましい。

$$5^\circ < |\quad p \quad| < 40^\circ \quad \dots (3-2)$$

また、本発明で用いられる前記の負のパワーの反射面は、反射作用のみを有する反射面であることが好ましい。反射作用のみの場合、偏心収差が許容できる範囲内であれば所望のパワーを持たせることができるが、反射作用と透過作用を併せ持つ面であると、その透過作用により発生する色収差が大きくなりすぎ、その補正ができなくなる。

【0034】

また、本発明で用いられる前記の正のパワーの反射面は、反射作用のみを有する反射面であることが好ましい。反射作用のみの場合、偏心収差が許容できる範囲内であれば所望のパワーを持たせることができるが、反射作用と透過作用を併せ持つ面であると、その透過作用により発生する色収差が大きくなりすぎ、その補正ができなくなる。

30

【0035】

また、本発明において、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対して偏心させた場合、本発明で用いられる面の中、少なくとも1つの面は回転非対称な面であることが望ましい。その中でも特に、少なくとも1つの反射面を回転非対称な面にすることが収差補正上は好ましい。

【0036】

その理由を以下に詳述する。

40

まず、用いる座標系、回転非対称な面について説明する。

軸上主光線が、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、そのZ軸と直交し、かつ、撮像光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸とする。光線の追跡方向は、物体から像面に向かう順光線追跡で説明する。

【0037】

一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正しあい、全体として収差を少なくする構成になっている。

【0038】

50

一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、回転対称非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。

しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、歪曲収差、像面湾曲、さらに、軸上でも発生する非点収差、コマ収差がある。

【 0 0 3 9 】

まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射した光線は、凹面鏡に当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡に当たって以降、像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。すると、図 2 1 に示すように、軸上主光線に対して傾いた像面を形成する。このように、回転非対称な像面湾曲を補正するには回転対称な光学系では不可能である。

10

【 0 0 4 0 】

この傾いた像面湾曲をその発生源である凹面鏡 M 自身で補正するには、凹面鏡 M を回転非対称な面で構成し、この例では Y 軸正の方向に対して曲率を強く（屈折力を強く）し、Y 軸負の方向に対して曲率を弱く（屈折力を弱く）すれば、補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を、凹面鏡 M とは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。

また、回転非対称な面は、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面とすることが、自由度が増え収差補正上は好ましい。

【 0 0 4 1 】

20

次に、回転非対称な非点収差について説明する。

上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡 M では、軸上光線に対しても図 2 2 に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、上記説明と同様に、回転非対称面の X 軸方向の曲率と Y 軸方向の曲率を適切に変えることによって可能となる。

【 0 0 4 2 】

さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。

上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡 M では、軸上光線に対しても図 2 3 に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面の X 軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y 軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

30

【 0 0 4 3 】

また、本発明の結像光学系では、前述の反射作用を有する少なくとも 1 つの面が軸上主光線に対し偏心し、回転非対称な面形状でパワーを有する構成も可能である。このような構成をとれば、その反射面にパワーを持たせることで発生する偏心収差をその面自体で補正することが可能となり、プリズムの屈折面のパワーを緩めることで、色収差の発生自体を小さくすることができる。

【 0 0 4 4 】

また、本発明で用いる上記の回転非対称面は、対称面を 1 面のみ有する面对称自由曲面であることが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは、以下の式 (a) で定義されるものである。なお、その定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。

40

【 0 0 4 5 】

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

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。

【 0 0 4 6 】

球面項中、

50

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数 (円錐定数)

$r = (X^2 + Y^2)$

である。

【0047】

自由曲面項は、

66

$$\sum_{j=2} C_j X^m Y^n$$

$$= C_2 X + C_3 Y$$

$$+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2$$

$$+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3$$

$$+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4$$

$$+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4$$

$$+ C_{21} Y^5$$

$$+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4$$

$$+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6$$

$$+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4$$

$$+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7$$

.....

ただし、 C_j (j は 2 以上の整数) は係数である。

【0048】

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、本発明では 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。例えば、上記定義式 (a) においては、 C_2 、 C_5 、 C_7 、 C_9 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 、 C_{33} 、 C_{35} ・・・の各項の係数を 0 にすることによって可能である。

【0049】

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。例えば、上記定義式においては、 C_3 、 C_5 、 C_8 、 C_{10} 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{30} 、 C_{32} 、 C_{34} 、 C_{36} ・・・の各項の係数を 0 にすることによって可能である。

【0050】

また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、 $Y-Z$ 面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向は Y 軸方向に、 $X-Z$ 面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向は X 軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性をも向上させることが可能となる。

【0051】

また、上記定義式 (a) は、前述のように 1 つの例として示したものであり、本発明は、対称面を 1 面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、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。

【0052】

10

20

30

40

50

また、本発明の光学系にプリズムを用いる場合、少なくとも1つのプリズムの少なくとも1つの面を透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面とすることが望ましい。偏心誤差感度の高い反射面を用いた反射光学素子は、各面の偏心誤差が次の面へ転送され、最終的にはそれぞれの面の偏心誤差が積算されてしまう。特に、反射光学素子の中でもプリズムを用いた場合は、プリズム成型時に偏心誤差が決まってしまう、組立調整でそれを修正することはできない。そのため、偏心誤差の積算を少なくするためには、反射面数は少ない程よく、さらには、プリズム内の光路長は小さい程偏心誤差は小さいまま転送される。その結果、反射面の製作精度は緩和される。

【0053】

そこで、少なくとも1つのプリズムに、反射作用と透過作用を併せ持つ光学作用面を少なくとも1面用いることで、少ないスペースを有効に使い、プリズム自身の小型化を達成すると同時に、光路長を短縮することができるので、偏心誤差を小さくすることが可能である。これにより、コストダウンが図られる。

【0054】

なお、本発明の透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面において、反射作用は全反射によるものとするのが望ましい。全反射条件を満たさなければ、反射作用と透過作用を併せ持つことができず、プリズム自体の小型化が困難になってしまう。

【0055】

また、本発明で用いられる反射面の中、全反射面以外の反射面は、アルミニウム又は銀等の金属薄膜を表面に形成した反射面、又は、誘電体多層膜の形成された反射面で構成することが好ましい。金属薄膜で反射作用を有する場合は、手軽に高反射率を得ることが可能となる。また、誘電体反射膜の場合は、波長選択性や吸収の少ない反射膜を形成する場合に有利となる。

【0056】

また、発明において、結像光学系のフォーカシングは、全体繰り出しやプリズムを1つだけ移動することにより可能なのは言うまでもないが、最も像側の面から射出した軸上主光線の方に結像面を移動させることによりフォーカシングすることが可能である。これにより、結像光学系が偏心することで物体からの軸上主光線の入射方向と最も像側の面から射出する軸上主光線の方角とが一致していなくても、フォーカシングによる軸上主光線の入射側のずれを防ぐことができる。また、図11に示すように、平行平板を複数の楔状のプリズムP1、P2に分割し、それをZ軸（光軸）と垂直方向に移動させることでフォーカシングするフォーカシング用プリズム6とすることも可能である。この場合も、結像光学系の偏心にはよらずフォーカシングが可能である。

【0057】

また、本発明において、少なくともプリズムの1つをプラスチック等のような樹脂材料を用いれば、コストダウンが図れる。また、アモルファスポリオレフィン等のような低吸湿材料を用いれば、湿度変化に対しても結像性能の変化が少なく望ましい。

【0058】

また、本発明において、図12に示すように、本発明の結像光学系の入射面より物体側に、ミラー等の反射部材7を用いて、本発明の結像光学系の偏心方向とは異なった向きに光路を折り畳むことも可能である。これにより、さらに結像光学系のレイアウトの自由度が増え、結像光学装置全体の小型化が図られる。

【0059】

また、本発明において、結像光学系をプリズムのみから構成することも可能である。これにより部品点数が減り、コストダウンが図られる。さらに、絞りの前後で複数のプリズムを一体化し、1つのプリズムとすることも当然可能である。これにより、さらなるコストダウンが可能である。

【0060】

また、本発明において、結像光学系の屈折面、反射面を球面、あるいは、回転対称非球面で構成することも当然可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

【 発明の実施の形態 】

本発明の結像光学系の実施例 1 ～ 5 について説明する。なお、各実施例の構成パラメータは後に示す。

各実施例において、図 1 に示すように、光学系の特定の面（図 1 の実施例 1 では、面番号 1 の仮想面と面番号 6 の絞り面。実施例 2 ～ 4 も同様。実施例 5 では、面番号 1 の仮想面と面番号 8 の絞り面。）の中心を偏心光学系の原点として、軸上主光線 1 を物体中心を出て、絞り 2 の中心を通る光線で定義する。物体中心から光学系の第 1 面まで軸上主光線 1 に沿って進む方向を Z 軸方向、この Z 軸と像面中心を含む平面を Y - Z 平面とし、光線が光学系の面によって折り曲げられる面内の方向で、かつ、Y - Z 平面内の Z 軸に直交する方向に Y 軸をとる。物点から光学系の第 1 面に向かう方向を Z 軸の正方向とし、Y 軸の正方向を図の上方向にとる。そして、Y 軸、Z 軸と右手直交座標系を構成する軸を X 軸とする。

10

【 0 0 6 2 】

実施例 1 ～ 5 では、この Y - Z 平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面を Y - Z 面としている。

【 0 0 6 3 】

偏心面については、光学系の原点の中心から、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（a）式の Z 軸、非球面については、後記の（b）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。なお、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。

20

【 0 0 6 4 】

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、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。

【 0 0 6 5 】

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記（a）式により定義し、その定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。

30

【 0 0 6 6 】

また、非球面は、以下の定義式で与えられる回転対称非球面である。

$$Z = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + K) y^2 / R^2\}^{1/2}] + Ay^4 + By^6 + Cy^8 + Dy^{10} + \dots \quad \dots (b)$$

ただし、Z を光の進行方向を正とした光軸（軸上主光線）とし、y を光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。

40

【 0 0 6 7 】

なお、データの記載されていない自由曲面、非球面に関する項は 0 である。屈折率については、d 線（波長 587.56 nm）に対するものを表記してある。長さの単位は mm である。

【 0 0 6 8 】

また、自由曲面の他の定義式として、以下の（c）式で与えられる Zernike 多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式の Z 軸が Zernike 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、A は X - Y 面内の Z 軸からの距離、R は Z 軸回りの方位角で、Z 軸から測った回転

50

角で表せられる。

【 0 0 6 9 】

$$x = R \times \cos(A)$$

$$y = R \times \sin(A)$$

$$Z = D_2$$

$$+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A)$$

$$+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A)$$

$$+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A)$$

$$+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A)$$

$$+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{16} R^4 \sin(4A)$$

$$+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A)$$

$$+ D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A)$$

$$+ D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A)$$

$$+ D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A)$$

$$+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A)$$

$$+ D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A)$$

$$+ D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1)$$

$$+ D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A)$$

$$+ D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots$$

$\dots (c)$

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} 、 $D_{22} \dots$ を利用する。

【 0 0 7 0 】

その他の面の例として、次の定義式 (d) があげられる。

$$Z = C_{nm} X^k Y^k$$

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。

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

なお、本発明の実施例では、前記 (a) 式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記 (c) 式、(d) 式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

【0071】

実施例 1～5 は、像の大きさが約 2.5 × 1.8 の 1/3 インチサイズの撮像素子を想定している。もちろん、その他のサイズの場合でも適用できるのは言うまでもない。また、本発明は、本発明の結像光学系を用いた撮像光学系のみならず、その光学系を組み込んだ撮像装置も含むものである。

【0072】

実施例 1 の軸上主光線 1 を含む Y - Z 断面図を図 1 に示す。実施例 1 は、水平半画角 26.1°、垂直半画角 20.2°、入射瞳径は 1.78 mm であり、撮像素子サイズは 2.45 × 1.84 mm、回転対称光学系の焦点距離に換算すると 5 mm に相当する。

【0073】

実施例 1 は、図 1 に示すように、物体側から光の通る順に、正パワーの第 1 透過面 11、負パワーの第 1 反射面 12、第 2 反射面 13、第 2 透過面 14 からなる第 1 プリズム 10 と、絞り 2 と、第 1 透過面 21、正パワーの第 1 反射面 22、第 2 反射面 23、負パワーの第 2 透過面 24 からなる第 2 プリズム 20 と、光学的ローパスフィルター 4 と、イメージャー表面を保護するカバーガラス 5 と、像面 3 (イメージャー受光面) を有し、第 1 プリズム 10 の第 1 透過面 11 と第 2 反射面 13、第 2 プリズム 20 の第 1 透過面 21 と第 2 反射面 23 をそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としている。また、後記する構成パラメータの第 2 面から第 6 面までは偏心基準面 1 を基準とした偏心量を表しており、第 7 面から第 11 面までは偏心基準面 2 を基準とした偏心量を表している。また、像面 3 は Z 軸に対して略垂直である。

【0074】

本実施例では、第 1 プリズム 10 で Z 軸方向からの入射光線を Y 軸方向に屈曲させ、次の第 2 プリズム 20 で再度 Z 軸方向に屈曲させるという構成をとっている。これにより、Z 軸方向と Y 軸方向の小型化を可能にした例である。

【0075】

実施例 2 の軸上主光線 1 を含む Y - Z 断面図を図 2 に示す。実施例 2 は、水平半画角 26.1°、垂直半画角 20.2°、入射瞳径は 1.78 mm であり、撮像素子サイズは 2.45 × 1.84 mm、回転対称光学系の焦点距離に換算すると 5 mm に相当する。

【0076】

実施例 2 は、図 2 に示すように、物体側から光の通る順に、正パワーの第 1 透過面 11、

負パワーの第1反射面12、正パワーの第2反射面13、正パワーの第2透過面14からなる第1プリズム10と、絞り2と、負パワーの第1透過面21、負パワーの第1反射面22、正パワーの第2反射面23、負パワーの第2透過面24からなる第2プリズム20と、光学的ローパスフィルター4と、イメージャー表面を保護するカバーガラス5と、像面3（イメージャー受光面）を有し、第1プリズム10の第1透過面11と第2反射面13、第2プリズム20の第1反射面22と第2透過面24をそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としている。また、後記する構成パラメータの第2面から第6面までは偏心基準面1を基準とした偏心量を表しており、第7面から第11面までは偏心基準面2を基準とした偏心量を表している。また、像面3はY軸に対して略垂直である。

【0077】

10

本実施例では、第1プリズム10でZ軸方向からの入射光線をY軸方向に屈曲させ、次の第2プリズム20で再度Z軸方向からY軸方向に屈曲させるという構成をとっている。これにより、Z軸方向とY軸方向の小型化を可能にした例である。

【0078】

実施例3の軸上主光線1を含むY-Z断面図を図3に示す。実施例3は、水平半画角26.1°、垂直半画角20.2°、入射瞳径は1.78mmであり、撮像素子サイズは2.45×1.84mm、回転対称光学系の焦点距離に換算すると5mmに相当する。

【0079】

実施例3は、図3に示すように、物体側から光の通る順に、正パワーの第1透過面11、負パワーの第1反射面12、正パワーの第2反射面13、正パワーの第2透過面14からなる第1プリズム10と、絞り2と、第1透過面21、正パワーの第1反射面22、第2反射面23、第2透過面24からなる第2プリズム20と、光学的ローパスフィルター4と、イメージャー表面を保護するカバーガラス5と、像面3（イメージャー受光面）を有し、第1プリズム10の第1透過面11と第2反射面13、第2プリズム20の第1透過面21と第2反射面23をそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としている。また、第2面から第6面までは偏心基準面1を基準とした偏心量を表しており、第7面から第11面までは偏心基準面2を基準とした偏心量を表している。

20

【0080】

本実施例は、プリズムをY軸方向に2つ重ねることで、特にZ軸方向の厚みを小さくしたものである。また、結像光学系の最終面から射出する軸上主光線もY軸方向に射出している。

30

【0081】

実施例4の軸上主光線1を含むY-Z断面図を図4に示す。実施例4は、水平半画角26.1°、垂直半画角20.2°、入射瞳径は1.78mmであり、撮像素子サイズは2.45×1.84mm、回転対称光学系の焦点距離に換算すると5mmに相当する。

【0082】

実施例4は、図4に示すように、物体側から光の通る順に、正パワーの第1透過面11、負パワーの第1反射面12、正パワーの第2反射面13、正パワーの第2透過面14からなる第1プリズム10と、絞り2と、負パワーの第1透過面21、負パワーの第1反射面22、正パワーの第2反射面23、負パワーの第2透過面24からなる第2プリズム20と、光学的ローパスフィルター4と、イメージャー表面を保護するカバーガラス5と、像面3（イメージャー受光面）を有し、第1プリズム10の第1透過面11と第2反射面13、第2プリズム20の第1反射面22と第2透過面24をそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としている。また、第2面から第6面までは偏心基準面1を基準とした偏心量を表しており、第7面から第11面までは偏心基準面2を基準とした偏心量を表している。また、像面はZ軸に対して垂直である。

40

本実施例は、プリズムをY軸方向に2つ重ねることで、特にZ軸方向の厚みを小さくしたものである。

【0083】

実施例5の軸上主光線1を含むY-Z断面図を図5に示す。実施例5は、水平半画角26

50

、 1° 、垂直半画角 20.2° 、入射瞳径は 1.78 mm であり、撮像素子サイズは $2.45 \times 1.84\text{ mm}$ 、回転対称光学系の焦点距離に換算すると 5 mm に相当する。

【0084】

実施例5は、図5に示すように、物体側から光の通る順に、正パワーの第1透過面11、負パワーの第1反射面12、正パワーの第2反射面13、正パワーの第2透過面14からなる第1プリズム10と、光学的ローパスフィルター4と、絞り2と、正パワーの第1透過面21、負パワーの第1反射面22、正パワーの第2反射面23、負パワーの第2透過面24からなる第2プリズム20と、イメージャー表面を保護するカバーガラス5と、像面3（イメージャー受光面）を有し、第1プリズム10の第1透過面11と第2反射面13、第2プリズム20の第1反射面22と第2透過面24をそれぞれ透過作用と反射作用を併せ持つ光学作用面としている。また、第2面から第6面までは偏心基準面1を基準とした偏心量を表しており、第9面から第13面までは偏心基準面2を基準とした偏心量を表している。また、像面はZ軸に対して垂直である。

10

本実施例は、実施例4と同様に、プリズムをY軸方向に2つ重ねることで、特にZ軸方向の厚みを小さくしたものである。ただし、実施例4で光学系と像面の間に配置されていた光学的ローパスフィルターを2つのプリズム10、20の間に配置し、さらに薄型化を図った例である。

【0085】

以下、上記実施例1～5の構成パラメータを示す。ここで、自由曲面は“FFS”で、回転対称非球面は“AAS”で示してある。

20

実施例 1

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッペ数 |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| 物体面 | ∞ | ∞ | | | |
| 1 | ∞ (仮想面) | | | | (偏心基準面 1) |
| 2 | F F S ① | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 3 | F F S ② (反射面) | | 偏心(2) | 1.4924 | 57.6 |
| 4 | F F S ① (反射面) | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 5 | -45.38 | | 偏心(3) | | |
| 6 | ∞ (絞り面) | | 偏心(4) | | (偏心基準面 2) |
| 7 | F F S ③ | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 8 | F F S ④ (反射面) | | 偏心(6) | 1.4924 | 57.6 |
| 9 | F F S ③ (反射面) | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 10 | 6.58 | | 偏心(7) | | |
| 11 | ∞ | 3.92 | 偏心(8) | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | ∞ | 1.60 | | | |
| (光学的ローパスフィルター) | | | | | |
| 13 | ∞ | 0.75 | | 1.4875 | 70.2 |
| 14 | ∞ | 1.21 | | | |
| (カバーガラス) | | | | | |
| 像 面 | ∞ | | | | |
| | F F S ① | | | | |
| C ₄ | 1.4613×10^{-2} | C ₆ | 6.2245×10^{-3} | C ₈ | -3.0532×10^{-5} |
| C ₁₀ | -2.9826×10^{-4} | C ₁₁ | -1.0813×10^{-5} | C ₁₃ | -1.0577×10^{-4} |
| C ₁₅ | 8.0954×10^{-6} | C ₁₇ | 5.2380×10^{-6} | C ₁₉ | -1.6076×10^{-6} |
| C ₂₁ | -7.2703×10^{-7} | | | | |
| | F F S ② | | | | |
| C ₄ | 3.6928×10^{-2} | C ₆ | 3.1729×10^{-2} | C ₈ | 8.7607×10^{-4} |
| C ₁₀ | -1.2800×10^{-3} | C ₁₁ | 1.1565×10^{-4} | C ₁₃ | -3.8845×10^{-4} |
| C ₁₅ | 2.0133×10^{-4} | C ₁₇ | 3.0894×10^{-5} | C ₁₉ | -5.5457×10^{-6} |

10

20

30

40

$$C_{21} -1.8279 \times 10^{-5}$$

F F S ③

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.0642 \times 10^{-2} & C_6 & -7.9427 \times 10^{-4} & C_8 & 1.5773 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -3.7214 \times 10^{-6} & C_{11} & 2.3078 \times 10^{-5} & C_{13} & -4.1962 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -1.9714 \times 10^{-5} & C_{17} & 3.8075 \times 10^{-6} & C_{19} & 2.0493 \times 10^{-5} \\ C_{21} & 9.9012 \times 10^{-7} & & & & \end{array}$$

F F S ④

$$\begin{array}{lll} C_4 & -2.7459 \times 10^{-2} & C_6 & -2.0524 \times 10^{-2} & C_8 & 5.4460 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 1.0168 \times 10^{-4} & C_{11} & -1.1196 \times 10^{-5} & C_{13} & -1.7929 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -3.5280 \times 10^{-5} & C_{17} & 3.8398 \times 10^{-6} & C_{19} & -1.7291 \times 10^{-5} \\ C_{21} & -2.5752 \times 10^{-6} & & & & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 5.17 & Z & 2.09 \\ \alpha & 14.73 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.57 & Z & 8.35 \\ \alpha & -14.68 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 11.28 & Z & 4.84 \\ \alpha & 57.42 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 15.97 & Z & 6.55 \\ \alpha & 69.93 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -2.33 & Z & 1.00 \\ \alpha & -19.55 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.29 & Z & 4.41 \\ \alpha & 12.18 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

10

20

30

40

偏心(7)

| | | | | | |
|----------|--------|---------|-------|----------|------|
| X | 0.00 | Y | -5.02 | Z | 1.98 |
| α | -70.01 | β | 0.00 | γ | 0.00 |

偏心(8)

| | | | | | |
|----------|--------|---------|-------|----------|------|
| X | 0.00 | Y | -6.25 | Z | 2.43 |
| α | -69.93 | β | 0.00 | γ | 0.00 |

 $|\theta| = 51.04^\circ$ (第4面)

 $|\odot n| = 21.62^\circ$ (第3面)

 $|\odot p| = 18.67^\circ$ (第8面)

【 0 0 8 6 】

実施例 2

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッペ数 |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 物体面 | ∞ | ∞ | | | |
| 1 | ∞ (仮想面) | | | | (偏心基準面 1) |
| 2 | F F S ① | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 3 | F F S ② (反射面) | | 偏心(2) | 1.4924 | 57.6 |
| 4 | F F S ① (反射面) | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 5 | -16.16 | | 偏心(3) | | |
| 6 | ∞ (絞り面) | | 偏心(4) | | (偏心基準面 2) |
| 7 | -7.81 | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 8 | F F S ③ (反射面) | | 偏心(6) | 1.4924 | 57.6 |
| 9 | F F S ④ (反射面) | | 偏心(7) | 1.4924 | 57.6 |
| 10 | F F S ③ | | 偏心(6) | | |
| 11 | ∞ | 3.92 | 偏心(8) | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | ∞ | 1.60 | | | |
| (光学的ローパスフィルター) | | | | | |
| 13 | ∞ | 0.75 | | 1.4875 | 70.2 |
| 14 | ∞ | 1.21 | | | |
| (カバーガラス) | | | | | |
| 像 面 | ∞ | | | | |
| | F F S ① | | | | |
| C ₄ | 1.9244×10^{-2} | C ₆ | 1.1849×10^{-2} | C ₈ | -1.5511×10^{-4} |
| C ₁₀ | -3.8177×10^{-4} | C ₁₁ | 7.3237×10^{-6} | C ₁₃ | -7.9131×10^{-5} |
| C ₁₅ | 2.4542×10^{-5} | C ₁₇ | 4.9270×10^{-6} | C ₁₉ | -9.1234×10^{-6} |
| C ₂₁ | -1.5933×10^{-6} | | | | |
| | F F S ② | | | | |
| C ₄ | 2.7507×10^{-2} | C ₆ | 3.0053×10^{-2} | C ₈ | -3.3919×10^{-4} |
| C ₁₀ | -1.4673×10^{-3} | C ₁₁ | 5.6942×10^{-5} | C ₁₃ | -1.4033×10^{-4} |
| C ₁₅ | 2.3630×10^{-4} | C ₁₇ | 1.8529×10^{-5} | C ₁₉ | -3.2402×10^{-5} |

10

20

30

40

$$C_{21} -2.1470 \times 10^{-5}$$

F F S ③

$$\begin{array}{lll} C_4 & 1.7705 \times 10^{-2} & C_6 & 3.0784 \times 10^{-3} & C_8 & 6.4270 \times 10^{-4} \\ C_{10} & -1.8205 \times 10^{-4} & C_{11} & -2.4000 \times 10^{-6} & C_{13} & -2.4798 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -1.4198 \times 10^{-6} & C_{17} & -2.6225 \times 10^{-5} & C_{19} & -2.0413 \times 10^{-5} \\ C_{21} & 5.4931 \times 10^{-7} & & & & \end{array}$$

F F S ④

$$\begin{array}{lll} C_4 & 3.5229 \times 10^{-2} & C_6 & 2.4376 \times 10^{-2} & C_8 & -4.9444 \times 10^{-5} \\ C_{10} & -4.1929 \times 10^{-4} & C_{11} & 6.2415 \times 10^{-5} & C_{13} & -7.9026 \times 10^{-5} \\ C_{15} & 2.5936 \times 10^{-5} & C_{17} & -1.0573 \times 10^{-5} & C_{19} & 1.1498 \times 10^{-6} \\ C_{21} & -4.1773 \times 10^{-6} & & & & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 4.81 & Z & 3.69 \\ \alpha & -22.99 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.24 & Z & 5.06 \\ \alpha & -39.64 & \beta & 0.00 & \gamma & 3.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 7.40 & Z & 8.38 \\ \alpha & 34.68 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 8.27 & Z & 10.18 \\ \alpha & 25.91 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 1.53 \\ \alpha & 12.79 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.18 & Z & 3.97 \\ \alpha & 56.47 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

10

20

30

40

偏心(7)

| | | | | | |
|----------|-------|---------|-------|----------|------|
| X | 0.00 | Y | -3.80 | Z | 5.31 |
| α | 85.35 | β | 0.00 | γ | 0.00 |

偏心(8)

| | | | | | |
|----------|-------|---------|------|----------|------|
| X | 0.00 | Y | 0.31 | Z | 7.42 |
| α | 64.09 | β | 0.00 | γ | 0.00 |

 $|\theta| = 51.80^\circ$ (第4面)

 $|\theta| = 52.21^\circ$ (第8面)

 $|\Theta_n| = 35.15^\circ$ (第3面)

 $|\Theta_p| = 23.33^\circ$ (第9面)

[0 0 8 7]

実施例 3

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|--------|-----------|
| 物体面 | ∞ | ∞ | | | |
| 1 | ∞ (仮想面) | | | | (偏心基準面 1) |
| 2 | F F S ① | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 3 | F F S ② (反射面) | | 偏心(2) | 1.4924 | 57.6 |
| 4 | F F S ① (反射面) | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 5 | -11.37 | | 偏心(3) | | 10 |
| 6 | ∞ (絞り面) | | 偏心(4) | | (偏心基準面 2) |
| 7 | F F S ③ | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 8 | F F S ④ (反射面) | | 偏心(6) | 1.4924 | 57.6 |
| 9 | F F S ③ (反射面) | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 10 | -7.57 | | 偏心(7) | | |
| 11 | ∞ | 3.92 | 偏心(8) | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | ∞ | 1.60 | | | 20 |
| (光学的ローパスフィルター) | | | | | |
| 13 | ∞ | 0.75 | | 1.4875 | 70.2 |
| 14 | ∞ | 1.21 | | | |
| (カバーガラス) | | | | | |
| 像 面 | ∞ | | | | |
| | F F S ① | | | | 30 |
| C ₄ | 9.3678×10^{-3} | C ₆ | 6.9426×10^{-3} | | |
| | F F S ② | | | | |
| C ₄ | 3.1895×10^{-2} | C ₆ | 3.4349×10^{-2} | | |
| | F F S ③ | | | | |
| C ₄ | -2.5219×10^{-2} | C ₆ | -8.9719×10^{-3} | | |
| | F F S ④ | | | | |
| C ₄ | -2.8006×10^{-2} | C ₆ | -1.7555×10^{-2} | | 40 |
| | 偏心(1) | | | | |

X 0.00 Y 2.28 Z 1.09
 α 12.21 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.17 Z 3.66
 α -17.35 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 8.29 Z 4.05
 α 56.52 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 12.91 Z 5.97
 α 67.47 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y 3.66 Z 2.11
 α -14.84 β 0.00 γ 0.00

偏心(6)

X 0.00 Y -0.30 Z 3.66
 α -37.42 β 0.00 γ 0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 5.94 Z 4.94
 α 30.44 β 0.00 γ 0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 6.73 Z 5.78
 α 43.06 β 0.00 γ 0.00

$|\theta| = 50.68^\circ$ (第4面)

$|\theta| = 54.14^\circ$ (第9面)

$|\odot n| = 21.69^\circ$ (第3面)

$|\odot p| = 30.22^\circ$ (第8面)

[0 0 8 8]

10

20

30

40

実施例 4

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|----------------|--------------------------|----------|-------|--------|-----------|
| 物体面 | ∞ | ∞ | | | |
| 1 | ∞ (仮想面) | | | | (偏心基準面 1) |
| 2 | F F S ① | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 3 | F F S ② (反射面) | | 偏心(2) | 1.4924 | 57.6 |
| 4 | F F S ① (反射面) | | 偏心(1) | 1.4924 | 57.6 |
| 5 | A A S ① | | 偏心(3) | | |
| 6 | ∞ (絞り面) | | 偏心(4) | | (偏心基準面 2) |
| 7 | A A S ② | | 偏心(5) | 1.4924 | 57.6 |
| 8 | F F S ③ (反射面) | | 偏心(6) | 1.4924 | 57.6 |
| 9 | F F S ④ (反射面) | | 偏心(7) | 1.4924 | 57.6 |
| 10 | F F S ③ | | 偏心(6) | | |
| 11 | ∞ | 3.92 | 偏心(8) | 1.5163 | 64.1 |
| 12 | ∞ | 1.60 | | | |
| (光学的ローパスフィルター) | | | | | |
| 13 | ∞ | 0.75 | | 1.4875 | 70.2 |
| 14 | ∞ | 1.21 | | | |
| (カバーガラス) | | | | | |
| 像 面 | ∞ | | | | |
| | A S S ① | | | | 30 |
| R | -14.42 | | | | |
| K | 0.0000 | | | | |
| A | -1.0257×10^{-4} | | | | |
| B | 2.8655×10^{-4} | | | | |
| C | -7.4787×10^{-5} | | | | |
| D | 8.9294×10^{-6} | | | | |
| | A S S ② | | | | 40 |
| R | -11.69 | | | | |

| | |
|---|--------------------------|
| K | 0.0000 |
| A | 4.5111×10^{-4} |
| B | 1.5733×10^{-4} |
| C | -6.1892×10^{-5} |
| D | 9.9766×10^{-6} |

F F S ①

| | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| C ₄ | 1.0388×10^{-2} | C ₆ | 8.2612×10^{-3} | C ₈ | -4.1018×10^{-5} |
| C ₁₀ | -7.1714×10^{-5} | C ₁₁ | 1.0838×10^{-5} | C ₁₃ | -8.5294×10^{-5} |
| C ₁₅ | -1.0955×10^{-7} | C ₁₇ | 1.5078×10^{-6} | C ₁₉ | -9.3071×10^{-6} |
| C ₂₁ | -1.1611×10^{-6} | | | | |

10

F F S ②

| | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| C ₄ | 1.3562×10^{-2} | C ₆ | 2.1363×10^{-2} | C ₈ | -3.8587×10^{-4} |
| C ₁₀ | -5.7765×10^{-4} | C ₁₁ | 2.8930×10^{-5} | C ₁₃ | 1.6406×10^{-7} |
| C ₁₅ | 8.8155×10^{-5} | C ₁₇ | 2.7577×10^{-6} | C ₁₉ | 1.6458×10^{-5} |
| C ₂₁ | -2.2498×10^{-6} | | | | |

20

F F S ③

| | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| C ₄ | 2.0687×10^{-2} | C ₆ | 1.1335×10^{-2} | C ₈ | 2.8094×10^{-4} |
| C ₁₀ | 4.2599×10^{-4} | C ₁₁ | 5.3094×10^{-5} | C ₁₃ | -4.2716×10^{-4} |
| C ₁₅ | 2.1389×10^{-5} | C ₁₇ | 7.7876×10^{-6} | C ₁₉ | 4.8908×10^{-5} |
| C ₂₁ | -1.0969×10^{-6} | | | | |

30

F F S ④

| | | | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| C ₄ | 3.4980×10^{-2} | C ₆ | 2.9056×10^{-2} | C ₈ | 5.6509×10^{-4} |
| C ₁₀ | 7.6247×10^{-4} | C ₁₁ | 5.7910×10^{-5} | C ₁₃ | -1.7117×10^{-4} |
| C ₁₅ | 9.7384×10^{-5} | C ₁₇ | 1.3996×10^{-5} | C ₁₉ | 6.6985×10^{-6} |
| C ₂₁ | 1.5475×10^{-5} | | | | |

偏心(1)

| | | | | | |
|----------|-------|---------|------|----------|------|
| X | 0.00 | Y | 8.47 | Z | 3.00 |
| α | 19.18 | β | 0.00 | γ | 0.00 |

40

偏心(2)

X 0.00 Y 1.23 Z 13.24

α -12.18 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 11.95 Z 3.60

α 78.34 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 12.81 Z 4.30

α 72.09 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y 0.63 Z 1.23

α -1.57 β 0.00 γ 0.00

偏心(6)

X 0.00 Y -0.07 Z 3.67

α -54.02 β 0.00 γ 0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 3.15 Z 4.62

α -86.82 β 0.00 γ 0.00

偏心(8)

X 0.00 Y -0.41 Z 5.96

α -72.09 β 0.00 γ 0.00

$|\theta| = 54.45^\circ$ (第4面)

$|\theta| = 52.50^\circ$ (第8面)

$|\odot n| = 23.09^\circ$ (第3面)

$|\odot p| = 19.70^\circ$ (第9面)

[0 0 8 9]

10

20

30

。

実施例 5

| 面番号 | 曲率半径 | 面間隔 | 偏心 | 屈折率 | アッベ数 |
|----------------|---------------------------|----------|--------|--------|-----------|
| 物体面 | ∞ | ∞ | | | |
| 1 | ∞ (仮想面) | | | | (偏心基準面 1) |
| 2 | F F S ① | | 偏心 (1) | 1.4924 | 57.6 |
| 3 | F F S ② (反射面) | | 偏心 (2) | 1.4924 | 57.6 |
| 4 | F F S ① (反射面) | | 偏心 (1) | 1.4924 | 57.6 |
| 5 | A A S ① | | 偏心 (3) | | |
| 6 | ∞ | 1.00 | 偏心 (4) | 1.4924 | 57.6 |
| 7 | ∞ | 0.50 | | | |
| (光学的ローパスフィルター) | | | | | |
| 8 | ∞ (絞り面) | | | | (偏心基準面 2) |
| 9 | A A S ② | | 偏心 (5) | 1.4924 | 57.6 |
| 10 | F F S ③ (反射面) | | 偏心 (6) | 1.4924 | 57.6 |
| 11 | F F S ④ (反射面) | | 偏心 (7) | 1.4924 | 57.6 |
| 12 | F F S ③ | | 偏心 (6) | | |
| 13 | ∞ | 0.75 | 偏心 (8) | 1.4875 | 70.2 |
| 14 | ∞ | 1.21 | | | |
| (カバーガラス) | | | | | |
| 像 面 | ∞ | | | | |
| | A S S ① | | | | 30 |
| R | -10.49 | | | | |
| K | 0.0000 | | | | |
| A | 5.2214×10^{-4} | | | | |
| B | -6.7502×10^{-6} | | | | |
| C | 1.0772×10^{-7} | | | | |
| D | -7.4802×10^{-10} | | | | |
| | A S S ② | | | | 40 |
| R | 57.47 | | | | |

| | |
|---|--------------------------|
| K | 0.0000 |
| A | -6.1371×10^{-4} |
| B | 1.2295×10^{-4} |
| C | -7.7742×10^{-6} |
| D | 1.9392×10^{-7} |

F F S ①

| | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|----|
| C ₄ | 7.5659×10^{-3} | C ₆ | 5.3214×10^{-3} | C ₈ | 2.7154×10^{-6} | 10 |
| C ₁₀ | -1.5688×10^{-4} | C ₁₁ | -5.9866×10^{-6} | C ₁₃ | -1.7885×10^{-5} | |
| C ₁₅ | 9.9915×10^{-6} | C ₁₇ | 3.8000×10^{-6} | C ₁₉ | -6.7284×10^{-7} | |
| C ₂₁ | -7.8944×10^{-7} | | | | | |

F F S ②

| | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|----|
| C ₄ | 1.1526×10^{-2} | C ₆ | 1.4919×10^{-2} | C ₈ | -5.5383×10^{-5} | |
| C ₁₀ | -7.2358×10^{-4} | C ₁₁ | -7.1249×10^{-6} | C ₁₃ | -2.3850×10^{-5} | 20 |
| C ₁₅ | 1.2330×10^{-4} | C ₁₇ | 5.4705×10^{-6} | C ₁₉ | 1.5897×10^{-7} | |
| C ₂₁ | -1.0464×10^{-5} | | | | | |

F F S ③

| | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--|
| C ₄ | 1.3738×10^{-2} | C ₆ | 6.5702×10^{-3} | C ₈ | -5.7296×10^{-5} | |
| C ₁₀ | 2.7755×10^{-4} | C ₁₁ | -7.9287×10^{-7} | C ₁₃ | 7.7747×10^{-5} | |
| C ₁₅ | 1.0930×10^{-4} | C ₁₇ | 2.2154×10^{-5} | C ₁₉ | -2.3262×10^{-5} | |
| C ₂₁ | -7.0973×10^{-6} | | | | | |

F F S ④

| | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|----|
| C ₄ | 3.3952×10^{-2} | C ₆ | 2.9239×10^{-2} | C ₈ | 3.3825×10^{-4} | 30 |
| C ₁₀ | 5.5450×10^{-4} | C ₁₁ | 2.8519×10^{-5} | C ₁₃ | 3.7704×10^{-5} | |
| C ₁₅ | 2.4129×10^{-4} | C ₁₇ | 5.3023×10^{-6} | C ₁₉ | 4.6990×10^{-7} | |
| C ₂₁ | 2.0372×10^{-5} | | | | | |

偏心(1)

| | | | | | | |
|----------|-------|---------|------|----------|------|----|
| X | 0.00 | Y | 4.19 | Z | 0.00 | |
| α | 23.45 | β | 0.00 | γ | 0.00 | 40 |

偏心(2)

X 0.00 Y 0.61 Z 5.67
 α -11.46 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 11.22 Z 3.56
 α 78.95 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 14.79 Z 2.36
 α 73.81 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y -1.91 Z 1.35
 α 8.36 β 0.00 γ 0.00

偏心(6)

X 0.00 Y 0.11 Z 4.06
 α -53.12 β 0.00 γ 0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 4.11 Z 5.39
 α -88.14 β 0.00 γ 0.00

偏心(8)

X 0.00 Y -0.34 Z 6.96
 α -73.81 β 0.00 γ 0.00

$|\theta| = 55.73^\circ$ (第4面)

$|\theta| = 55.32^\circ$ (第10面)

$|\Theta_n| = 20.81^\circ$ (第3面)

$|\Theta_p| = 20.30^\circ$ (第11面)

【0090】

次に、上記実施例1～5の横収差図をそれぞれ図6～図10に示す。これらの横収差図において、括弧内に示された数字は（水平（X方向）画角、垂直（Y方向）画角）を表し、その画角における横収差を示す。各収差図において、下から上へ順に、画面中心、Y軸上像高の約70%の位置、X方向像高の約70%でY方向像高の約70%の位置、X軸上像高の約70%の位置、X方向像高の約70%でY方向像高の約70%の位置、Y軸上像高の約70%の位置の横収差である。

【0091】

さて、以上のような本発明の結像光学系は、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を行う撮影装置、とりわけカメラや内視鏡に用いることができる。また、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置、とりわけカメラのファインダー部の対物光学系としても用いることが可能である。以下に、その実施形態を例示する。

【0092】

図15～図17は、本発明の結像光学系を電子カメラのファインダー部の対物光学系に組

10

20

30

40

50

み込んだ構成の概念図を示す。図 15 は電子カメラ 40 の外観を示す前方斜視図、図 16 は同後方斜視図、図 17 は電子カメラ 40 の構成を示す断面図である。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 等を含み、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。撮影用対物光学系 48 によって形成された物体像が、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 51' を介して CCD 49 の撮像面 50 上に形成される。この CCD 49 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、CCD 49 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。

10

【0093】

さらに、ファインダー用光路 44 上には、本発明の結像光学系をファインダー用対物光学系 53 として配置してある。ファインダー用対物光学系 53 にはカバー部材 54 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。

20

【0094】

このように構成されたカメラ 40 は、ファインダー用対物光学系 53 を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、対物光学系 53 の光路自体を折り曲げて構成できるため、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

なお、本例では、ファインダー用対物光学系 53 のカバー部材 54 として平行平板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

【0095】

次に、図 18 は、本発明の結像光学系を電子カメラ 40 の撮影部の対物光学系 48 に組み込んだ構成の概念図を示す。この撮影用対物光学系 48 により形成された物体像は、赤外カットフィルター等のフィルター 51 を介して CCD 49 の撮像面 50 上に形成される。この CCD 49 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、CCD 49 で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段 61 の制御も行う。LCD 60 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。この接眼光学系 59 は、本発明の結像光学系に用いられているものと同様の形態を持つ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 の中、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対称自由曲面にて構成されている。そして、この唯一の対称面は、撮影用対物光学系 48 のプリズム 10、20 が有する対称自由曲面の唯一の対称面と略同一平面上に形成されている。

30

40

【0096】

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構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの簿型化が実現できる。

なお、本例では、撮影用対物光学系 48 のカバー部材 65 として平行平板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

【0097】

ここで、カバー部材を設けずに、本発明の結像光学系の第 1 プリズム 10 の最も物体側に配置された面をカバー部材と兼用することもできる。しかし、その場合、第 1 プリズム 1

50

0の最も物体側の面は、第1プリズム10の入射面となる。そして、この入射面が光軸に対して偏心配置されているため、この面がカメラ前面に配置されてしまうと、被写体側から見た場合、カメラ40の撮影中心が自分からずれているように錯覚してしまい(一般的なカメラ同様、入射面の垂直方向を撮影していると感じるのが通常である。)、違和感を与えてしまう。そこで、本例のように、結像光学系の最も物体側の面が偏心面である場合には、カバー部材65を設けることが、被写体側から見た場合に違和感を感じずに、既存のカメラと同じ感覚で撮影を受けることができ望ましい。

【0098】

次に、図19は、本発明の結像光学系を電子内視鏡の観察系の対物光学系80に組み込んだ構成の概念図を示す。この電子内視鏡は、図19(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、その電子内視鏡71に対応する信号処理を行うビデオプロセッサ73と、このビデオプロセッサ73から出力される映像信号を表示するモニター74と、このビデオプロセッサ73と接続され映像信号等に記録するVTRデッキ75、及び、ビデオディスク76と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ77と共に構成されており、電子内視鏡71の挿入部78の先端部79は、図19(b)に示すように構成されている。光源装置72から照明した光束は、ライトガイドファイバー束86を通して照明用対物光学系85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、カバー部材84を介して、観察用対物光学系80によって物体像として形成される。この物体像は、赤外カットフィルター等のフィルター81を介してCCD82の撮像面83上に形成される。さらに、この物体像は、CCD82によって映像信号に変換され、その映像信号は、図19(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と共に、VTRデッキ75、ビデオディスク76中に記録され、また、ビデオプリンタ77から映像としてプリントアウトされる。

【0099】

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と共に、結像光学系80の第1プリズム10と第2プリズム20とが内視鏡の長軸方向に並ぶため、細径化を阻害することなく上記効果を得ることができる。なお、この例でも、カバー部材84として平行平板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

【0100】

また、実施例1等の結像光学系をCCDやフィルター等の撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を図20に示す。図中、偏心プリズムPは、本発明の結像光学系の絞りの物体側あるいは像側に配置される偏心プリズムである。いま、撮像素子の撮像面Cが、図のように四角形を形成するとき、偏心プリズムPに配置された面对称自由曲面の対称面Dが、この撮像面Cの四角形を形成する辺の少なくとも1つと平行になるように配置することが、美しい像形成の上で望ましい。

【0101】

さらに、この撮像面Cが正方形や長方形といった4つの内角がそれぞれ略90°にて形成されている場合には、面对称自由曲面の対称面Dは、撮像面Cの互いに平行関係にある2辺に対して平行に配置され、より望ましくは、この2辺の中間に配置され、この対称面Dが撮像面Cを左右又は上下に対称となる位置に一致させている構成であることが好ましい。このように構成すれば、装置に組み込むときの組み込み精度が出しやすく、量産性に効果的である。

【0102】

さらに、偏心プリズムPを構成する光学面である第1面、第2面、第3面等の中、複数の面又は全ての面が面对称自由曲面の場合には、複数の面又は全ての面の対称面が同一面D上に配置されるように構成することが、設計上も、収差性能上も望ましい。そして、この対称面Dと撮像面Cとの関係は、上述と同様の関係にあることが望ましい。

【0103】

また、以上の実施例の結像光学系の絞りの物体側及び像側に配置される偏心プリズムとし

ては、何れも光学面 3 面からなり、その中の 1 面が全反射作用と透過作用とを兼用する面で構成された内部反射回数 2 回のタイプのプリズムを用いたが、本発明に用いる偏心プリズムはこれに限られるものではない。

【 0 1 0 4 】

【発明の効果】

以上説明したように、また、各実施例から明らかなように、少ない反射回数の反射面を用いて光路を折り畳むことにより、小型化、薄型化された低コストで高性能な結像光学系を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 の結像光学系の断面図である。

10

【図 2】本発明の実施例 2 の結像光学系の断面図である。

【図 3】本発明の実施例 3 の結像光学系の断面図である。

【図 4】本発明の実施例 4 の結像光学系の断面図である。

【図 5】本発明の実施例 5 の結像光学系の断面図である。

【図 6】実施例 1 の結像光学系の横収差図である。

【図 7】実施例 2 の結像光学系の横収差図である。

【図 8】実施例 3 の結像光学系の横収差図である。

【図 9】実施例 4 の結像光学系の横収差図である。

【図 10】実施例 5 の結像光学系の横収差図である。

【図 11】本発明の結像光学系のフォーカシング機構の 1 例を示す図である。

20

【図 12】光路を折り畳む反射部材を用いた本発明の結像光学系の変形例を示す断面図である。

【図 13】本発明の前提となる多数の反射面からなる光学系の光路図である。

【図 14】本発明の結像光学系の反射面配置の概念図である。

【図 15】本発明の結像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 16】図 15 の電子カメラの後方斜視図である。

【図 17】図 15 の電子カメラの構成を示す断面図である。

【図 18】本発明の結像光学系を適用した別の電子カメラの概念図である。

【図 19】本発明の結像光学系を適用した電子内視鏡の概念図である。

【図 20】本発明による結像光学系を撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を示す図である。

30

【図 21】偏心した反射面により発生する像面湾曲を説明するための概念図である。

【図 22】偏心した反射面により発生する非点収差を説明するための概念図である。

【図 23】偏心した反射面により発生するコマ収差を説明するための概念図である。

【符号の説明】

1 ... 軸上主光線（光軸）

2 ... 絞り

3 ... 像面

4 ... 光学的ローパスフィルター

5 ... カバーガラス

40

6 ... フォーカシング用プリズム

7 ... 反射部材

1 0 ... 第 1 プリズム

1 1 ... 第 1 透過面

1 2 ... 第 1 反射面

1 3 ... 第 2 反射面

1 4 ... 第 2 透過面

2 0 ... 第 2 プリズム

2 1 ... 第 1 透過面

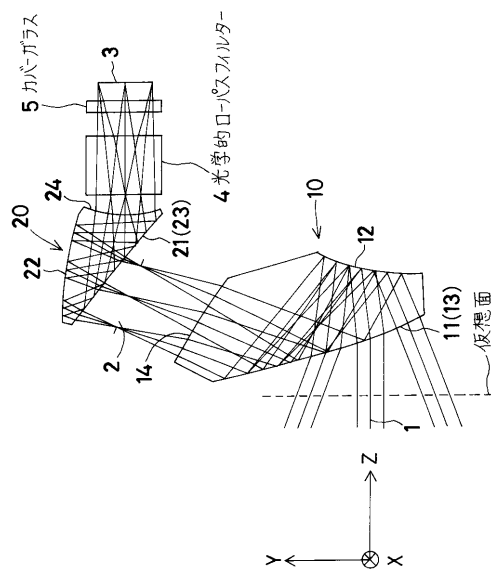
2 2 ... 第 1 反射面

50

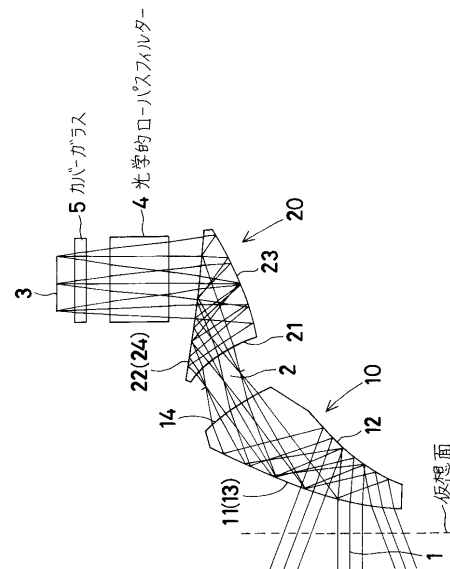
| | |
|---|----|
| 2 3 ... 第 2 反射面 | |
| 2 4 ... 第 2 透過面 | |
| 4 0 ... 電子カメラ | |
| 4 1 ... 撮影光学系 | |
| 4 2 ... 撮影用光路 | |
| 4 3 ... ファインダー光学系 | |
| 4 4 ... ファインダー用光路 | |
| 4 5 ... シャッター | |
| 4 6 ... フラッシュ | |
| 4 7 ... 液晶表示モニター | 10 |
| 4 8 ... 撮影用対物光学系 | |
| 4 9 ... C C D | |
| 5 0 ... 撮像面 | |
| 5 1、5 1' ... フィルター | |
| 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 | |
| 5 5 ... ポロプリズム | |
| 5 6 ... 第 1 反射面 | |
| 5 7 ... 視野枠 | 20 |
| 5 8 ... 第 2 反射面 | |
| 5 9 ... 接眼光学系 | |
| 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 | |
| 6 4 ... 反射と屈折の兼用面 | |
| 6 5 ... カバー部材 | |
| 7 1 ... 電子内視鏡 | |
| 7 2 ... 光源装置 | 30 |
| 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 ... 挿入部 | |
| 7 9 ... 先端部 | |
| 8 0 ... 観察用対物光学系 | |
| 8 1 ... 赤外カットフィルター | |
| 8 2 ... C C D | 40 |
| 8 3 ... 撮像面 | |
| 8 4 ... カバー部材 | |
| 8 5 ... 照明用対物光学系 | |
| 8 6 ... ライトガイドファイバー束 | |
| M ... 凹面鏡 | |
| E ... 観察者眼球 | |
| M 1 , M 2 , M 3 , M 4 , M 5 , M 6 ... 反射面 | |
| M p ... 正のパワーの反射面 | |
| M n ... 負のパワーの反射面 | |
| M a、M b ... 反射面 | 50 |

P 1、P 2 ... 楔状プリズム
 P ... プリズム
 C ... 撮像面
 D ... 対称面

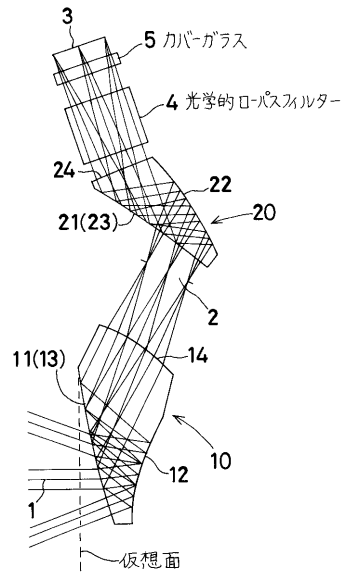
【図 1】



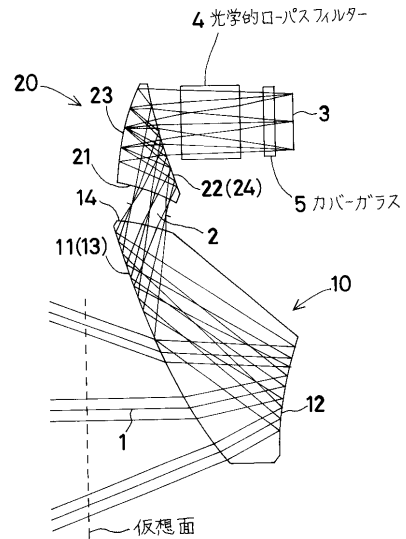
【図 2】



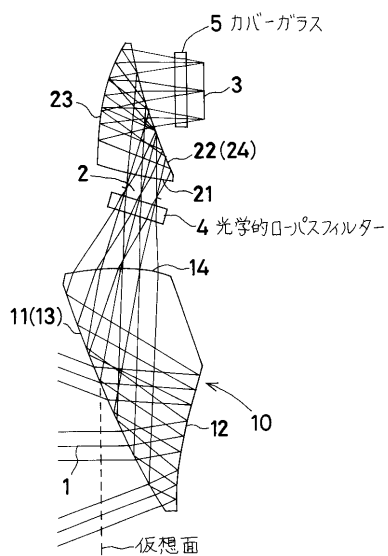
【図 3】



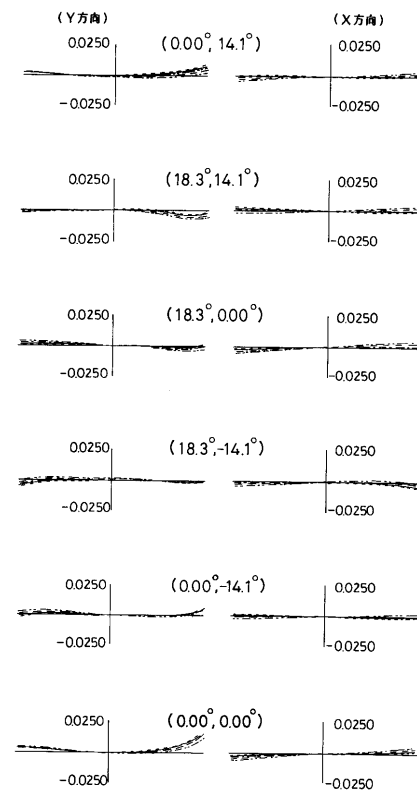
【図 4】



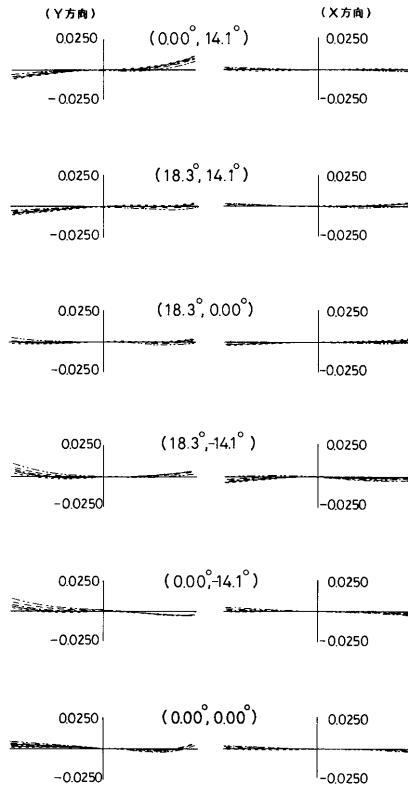
【図 5】



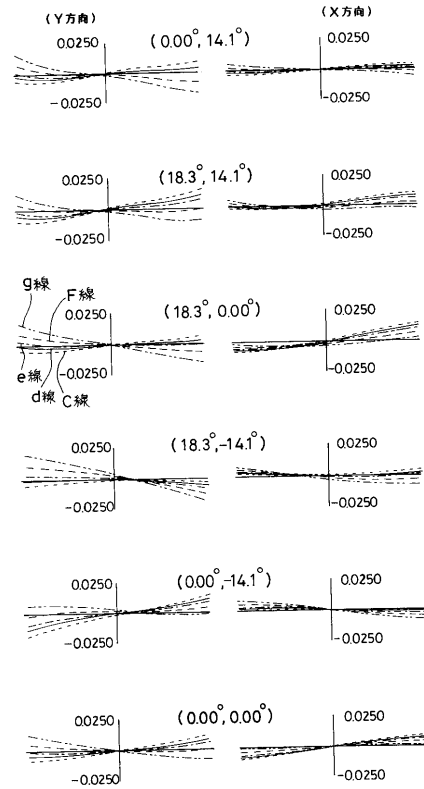
【図 6】



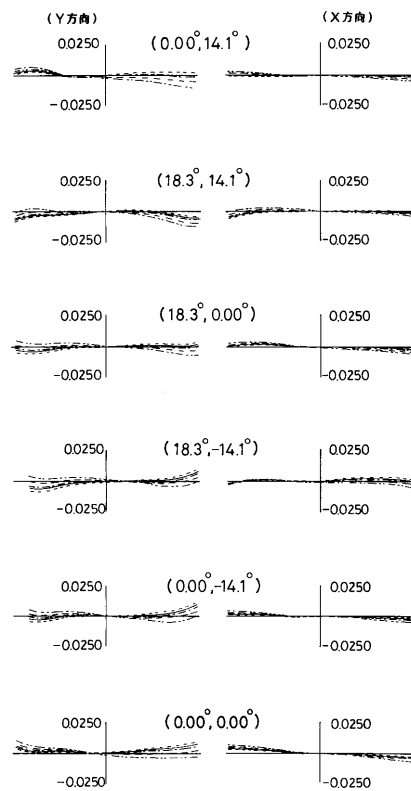
【図 7】



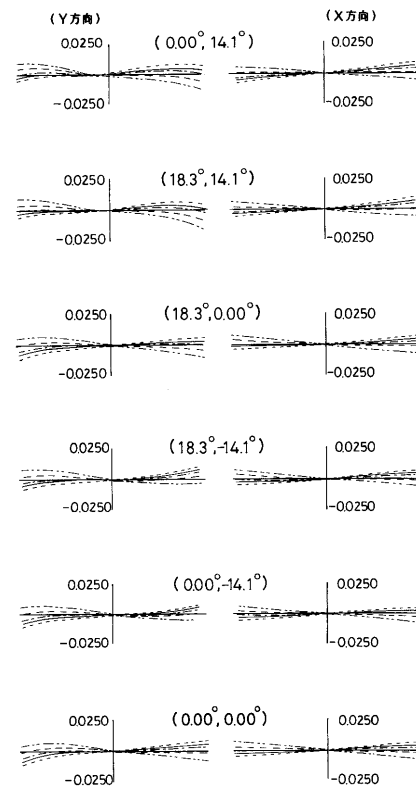
【図 8】



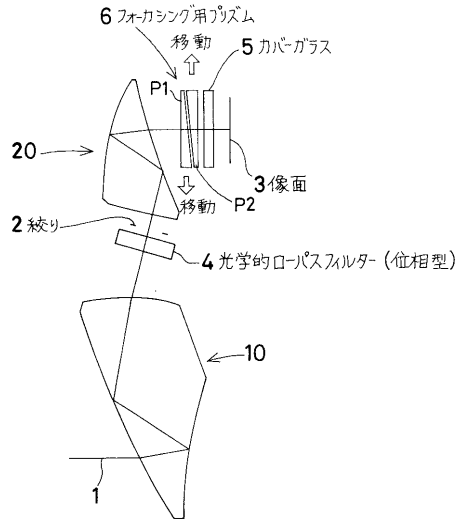
【図 9】



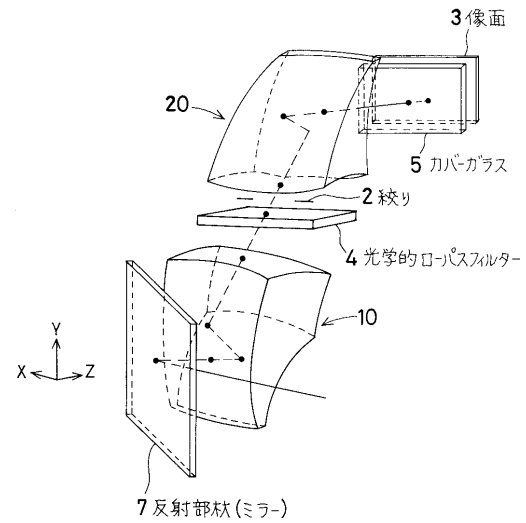
【図 10】



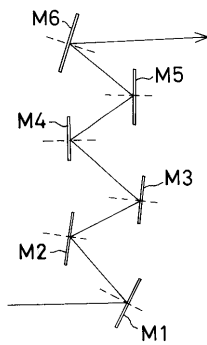
【図 1 1】



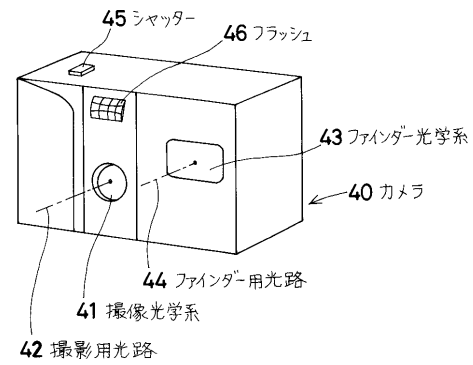
【図 1 2】



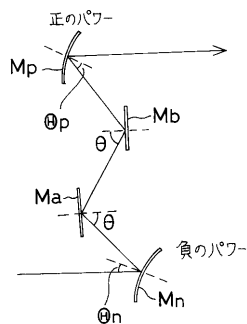
【図 1 3】



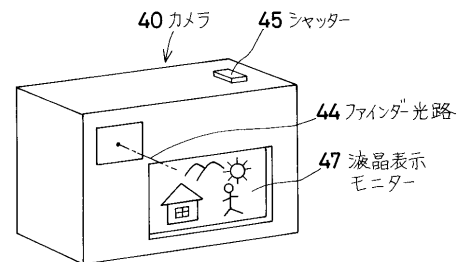
【図 1 5】



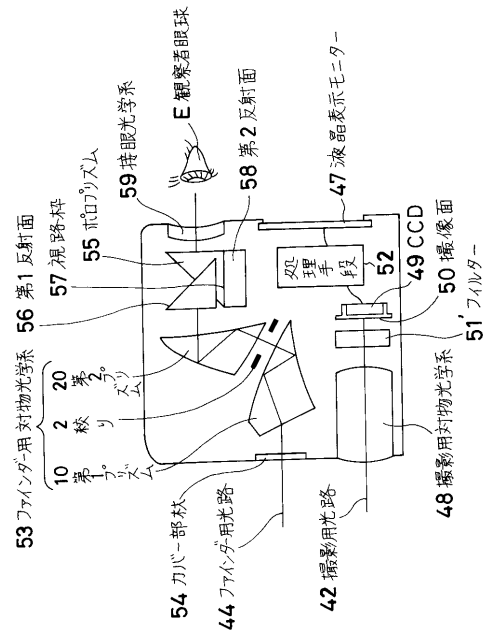
【図 1 4】



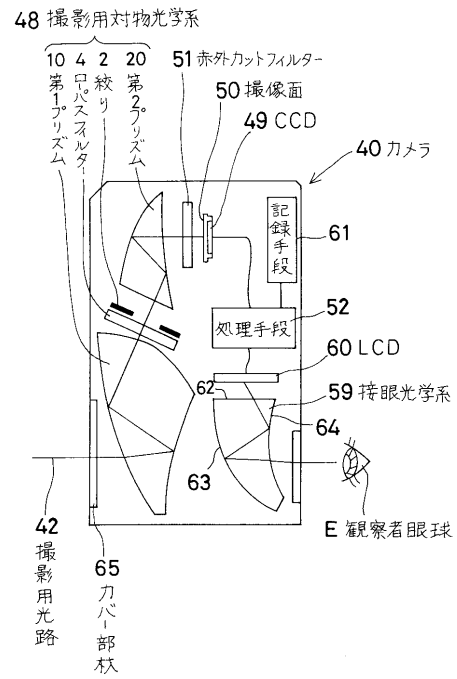
【図 1 6】



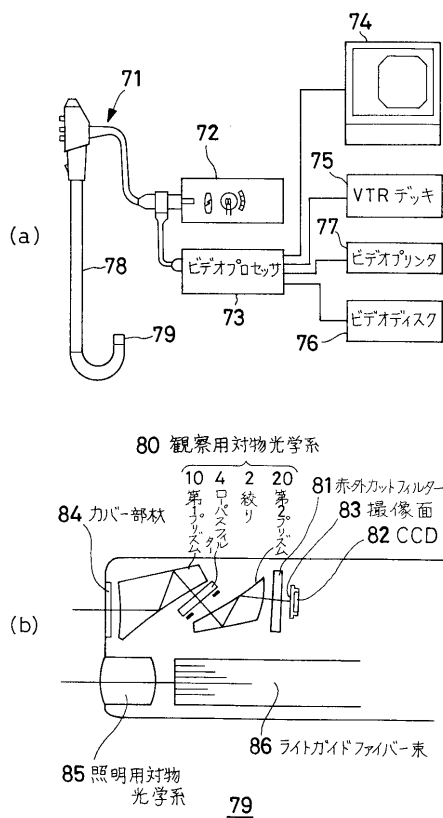
【図 17】



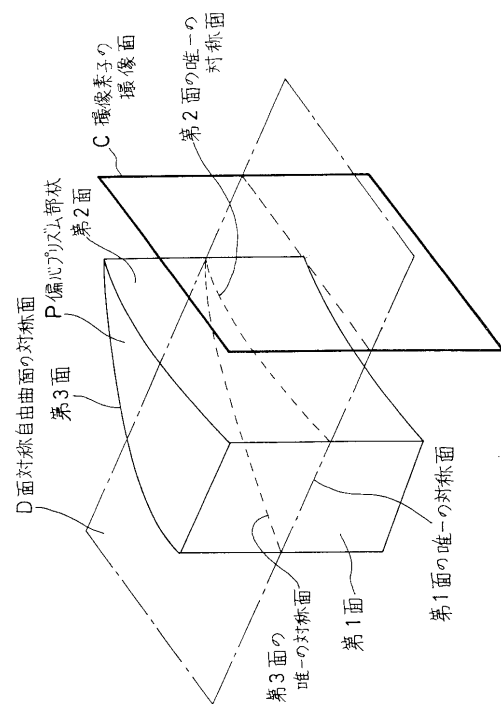
【図 18】



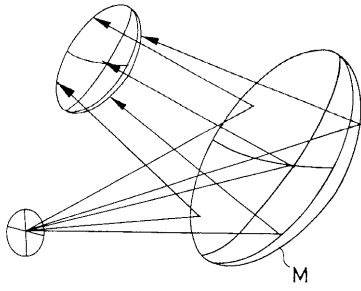
【図 19】



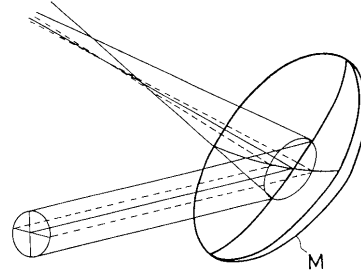
【図 20】



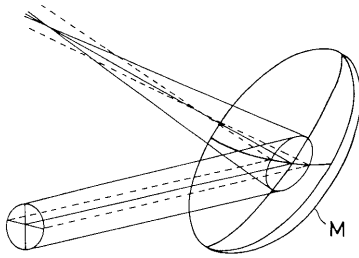
【図 2 1】



【図 2 3】



【図 2 2】



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 青木法彦

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリンパス光学工業株式会社内

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 特開平10-020196(JP,A)

特開平05-258321(JP,A)

特開昭62-146444(JP,A)

特開平09-113801(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00-17/08