

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4943580号
(P4943580)

(45) 発行日 平成24年5月30日(2012.5.30)

(24) 登録日 平成24年3月9日(2012.3.9)

(51) Int.Cl. F I
G O 2 B 17/08 (2006.01) G O 2 B 17/08 A

請求項の数 5 (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2000-392116 (P2000-392116)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成12年12月25日 (2000.12.25)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2002-196243 (P2002-196243A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(43) 公開日	平成14年7月12日 (2002.7.12)	(74) 代理人	100097777
審査請求日	平成19年12月21日 (2007.12.21)		弁理士 葦澤 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】

物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が屈折率 (n) が 1.3 よりも大きい (n > 1.3) 媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成され、

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を3面有し、それらを第1-1面、第1-2面、第1-3面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-3面が前記第1-2面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されており、

前記第2プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面有し、それらを第2-1面、第2-2面、第2-3面、第2-4面とすると、前記第2-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第2-2面が前記第2-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第2-3面が前記第2-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、前記第2-4面が前記第2-3面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、前記第2-1面と前記第2-2面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-3面と前記第2-4面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路が、前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路と交差す

10

20

るように構成されており、

前記第1プリズムの前記第1-2面が光束にパワーを与え、かつ、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムの前記第2-2面と前記第2-3面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成され、

全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、前記第1プリズムを含む前群のX方向のパワーをP1x、Y方向のパワーをP1y、前記第2プリズムを含む後群のX方向のパワーをP2x、Y方向のパワーをP2y、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPyとしたとき、
条件式(1-1)、(2-1)を満足することを特徴とする結像光学系。

$$-0.5 < P1x / Px < 0.4 \quad \dots (1-1)$$

$$-0.5 < P1y / Py < 0.4 \quad \dots (2-1)$$

【請求項2】

物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が屈折率(n)が1.3よりも大きい(n > 1.3)媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成され、

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を3面有し、それらを第1-1面、第1-2面、第1-3面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-3面が前記第1-2面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されており、

前記第2プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面有し、それらを第2-1面、第2-2面、第2-3面、第2-4面とすると、前記第2-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第2-2面が前記第2-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第2-3面が前記第2-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、前記第2-4面が前記第2-3面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、前記第2-1面と前記第2-2面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-3面と前記第2-4面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路が、前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路と交差するように構成されており、

前記第1プリズムの前記第1-2面が光束にパワーを与え、かつ、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムの前記第2-2面と前記第2-3面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成され、

全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、前記第1プリズムを含む前群のX方向のパワーをP1x、Y方向のパワーをP1y、前記第2プリズムを含む後群のX方向のパワーをP2x、Y方向のパワーをP2y、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPyとしたとき、
条件式(3-1)、(4-1)を満足することを特徴とする結像光学系。

$$0.3 < P2x / Px < 2.0 \quad \dots (3-1)$$

$$0.3 < P2y / Py < 2.0 \quad \dots (4-1)$$

【請求項3】

請求項1又は2において、

前記第1-2面に入射する軸上主光線と反射する軸上主光線とのなす角度をとしたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

$$70^\circ < \theta < 110^\circ \quad \dots (5-1)$$

【請求項 4】

請求項 3 において、
以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。
 $79.4^\circ \quad 88.4^\circ$

【請求項 5】

請求項 1 から 4 の何れか 1 項において、
前記第 1 プリズムにおける光学作用面は 3 面のみであり、前記第 2 プリズムにおける光学作用面は 4 面のみであることを特徴とする結像光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【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、内視鏡等、小型の撮像素子を用いた光学装置用の反射面にパワーを有する偏心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、内視鏡等用の結像光学系では、撮像素子の小型化に伴い、光学系自身も小型軽量、低コスト化が求められている。さらに、最近では、携帯電話や PDA、ノートパソコン等に電子撮像光学系を内蔵する製品も出てきており、光学系をより薄型化することが強く望まれている。

20

【0003】

そのような状況で、近年、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光学系の小型化、薄型化を図った光学系が提案されている。

【0004】

特開平 8 - 292371 号、特開平 9 - 90229 号、特開平 10 - 68884 号には、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。

【0005】

しかし、これらの例では、像をリレーするために反射回数が多くなり、その面精度誤差、偏心精度誤差等が積算され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るため好ましくない。

30

【0006】

また、リレー像を形成しないものとして、特開平 9 - 211331 号のものがある。これは、プリズム 1 個を用いて光路を折り畳み、光学系の小型化を図った例であるが、撮影画角が非常に狭く、また、収差補正が十分ではない。

【0007】

また、リレー像を形成せず、プリズムを 2 個使用したものとしては、特開平 10 - 20196 号のズームレンズがある。これは、正負の 2 群構成で、前群は絞りを挟んで物体側に負のパワーのプリズム、像側に正のパワーのプリズムを配置している。また、負のプリズムと正のプリズムから構成された正の前群を 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。これらの例では、像側に略テレセントリックな構成になっていないため、CCD 等の撮像素子を用いた光学系には適用できない。さらに、2 つのプリズムの反射面が全部で 4 面あるため、製造誤差が厳しく、コストアップの要因となり、好ましくない。また、開口絞りより物体側における軸外光束は光線高が高く、反射面を 2 つ有するプリズムを用いると、プリズムが大型化してしまふ。

40

【0008】

また、特開 2000 - 111800 にも、プリズム 2 個を使用したレンズが開示されているが、これらのレンズ系はあまり薄型化、小型化にはなっておらず、撮影方向に対して撮像素子（像面）が垂直方向に配置されておらず、また、撮像素子の基板まで考慮すると、非常に薄い撮像ユニットを形成することは困難である。

50

【 0 0 0 9 】

【 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。

【 0 0 1 0 】

また、従来技術について述べたような偏心光学系では、結像された像の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。

10

【 0 0 1 1 】

さらに、偏心光学系に反射面を用いる場合は、屈折面に比してその偏心誤差感度は2倍になり、反射回数を増やせば増やすだけ偏心誤差が積算され転送される結果となり、反射面の面精度や偏心精度等の製作精度、組み立て精度が厳しくなるという問題もあった。

【 0 0 1 2 】

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、少ない光学素子の構成枚数で高性能、低コストな結像光学系を提供することである。

【 0 0 1 3 】

また、本発明のもう1つの目的は、反射面を3面のみで光路を折り畳み、特に撮像素子の垂直方向に非常に薄型化した、高性能な結像光学系を提供することである。

20

【 0 0 1 4 】

【 課題を解決するための手段 】

上記目的を達成する本発明の結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が屈折率(n)が1.3よりも大きい($n > 1.3$)媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成され、

30

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を3面有し、それらを第1-1面、第1-2面、第1-3面とするとき、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-3面が前記第1-2面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されており、

前記第2プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面有し、それらを第2-1面、第2-2面、第2-3面、第2-4面とするとき、前記第2-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第2-2面が前記第2-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第2-3面が前記第2-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、前記第2-4面が前記第2-3面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、前記第2-1面と前記第2-2面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-3面と前記第2-4面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路が、前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路と交差するように構成されており、

40

前記第1プリズムの前記第1-2面が光束にパワーを与え、かつ、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムの前記第2-2面と前記第2-3面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成され、

全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z

50

面と直交する方向をX方向とすると、前記第1プリズムを含む前群のX方向のパワーをP1x、Y方向のパワーをP1y、前記第2プリズムを含む後群のX方向のパワーをP2x、Y方向のパワーをP2y、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPyとしたとき、条件式(1-1)、(2-1)を満足することを特徴とするものである。

$$-0.5 < P1x / Px < 0.4 \quad \dots (1-1)$$

$$-0.5 < P1y / Py < 0.4 \quad \dots (2-1)$$

本発明のもう一つの結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が屈折率(n)が1.3よりも大きい($n > 1.3$)媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成され、

10

前記第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を3面有し、それらを第1-1面、第1-2面、第1-3面とすると、前記第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第1-2面が前記第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第1-3面が前記第1-2面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されており、

前記第2プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面有し、それらを第2-1面、第2-2面、第2-3面、第2-4面とすると、前記第2-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第2-2面が前記第2-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第2-3面が前記第2-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、前記第2-4面が前記第2-3面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、前記第2-1面と前記第2-2面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-3面と前記第2-4面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第2-1面と前記第2-2面とを結ぶ光路が、前記第2-3面と前記第2-4面とを結ぶ光路と交差するように構成されており、

20

前記第1プリズムの前記第1-2面が光束にパワーを与え、かつ、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第2プリズムの前記第2-2面と前記第2-3面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成され、

30

全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、前記第1プリズムを含む前群のX方向のパワーをP1x、Y方向のパワーをP1y、前記第2プリズムを含む後群のX方向のパワーをP2x、Y方向のパワーをP2y、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPyとしたとき、条件式(3-1)、(4-1)を満足することを特徴とするものである。

$$0.3 < P2x / Px < 2.0 \quad \dots (3-1)$$

$$0.3 < P2y / Py < 2.0 \quad \dots (4-1)$$

【0015】

以下、本発明において上記構成をとる理由と作用について順に説明する。

40

【0016】

上記目的を達成するための本発明の結像光学系は、屈折率(n)が1.3よりも大きい($n > 1.3$)媒質で形成された第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成されていることを特徴とする結像光学系である。

【0017】

レンズのような屈折光学素子は、その境界面に曲率を付けることにより始めてパワーを持たせることができる。そのため、レンズの境界面で光線が屈折する際に、屈折光学素子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、色収差を補正する目的で別の

50

屈折光学素子が付加されるのが一般的である。

【0018】

一方、ミラーやプリズム等のような反射光学素子は、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、反射光学素子を用いた光学系は、屈折光学素子を用いた光学系に比べて、色収差補正の観点から光学素子の構成枚数の削減が可能である。

【0019】

同時に、反射光学素子を用いた反射光学系は、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を小さくすることが可能である。

【0020】

また、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ので、プリズム単体として偏心を制御すればよく、必要以上の組み立て精度、調整工数が不要である。

【0021】

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おり、反射面しかもたないミラーに比べて、収差補正の自由度が大きい。特に、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、ミラーに比べ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。

【0022】

また、結像光学系は、中心性能はもちろんのこと周辺まで良好な結像性能を要求される。一般の共軸光学系の場合、軸外光線の光線高の符号は絞りの前後で反転するため、光学素子の絞りに対する対称性が崩れることにより軸外収差は悪化する。そのため、絞りを挟んで屈折面を配置することで絞りに対する対称性を十分満足させ、軸外収差の補正を行っているのが一般的である。

【0023】

そこで、本発明では、2つのプリズムを配置し、絞りに対する対称性を十分考慮した構成をとることにより、中心ばかりでなく軸外収差も良好に補正することを可能にしている。1つのプリズムのみの配置だと、絞りに対する非対称性が増し、軸外収差の劣化が避けられない。

【0024】

本発明は、以上の理由から、第1プリズムと第2プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第1プリズムを含む前群と、開口絞りと、第2プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成されている基本構成としたものである。

【0025】

なお、後記の実施例からも明らかなように、何れか一方あるいは両方のプリズムをミラーのみで構成しても、同様に結像光学系を薄く構成することが可能である。

【0026】

そして、本発明においては、前群に配置される第1プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を3面有し、それらを第1-1面、第1-2面、第1-3面とするとき、第1-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、第1-2面が第1-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、第1-3面が第1-2面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されている。

【0027】

開口絞りより物体側にあるプリズムに2つ以上の反射面を用いると、軸外の光線高が高くなりプリズムの大型化を招く。そのため、前群に使用する第1プリズムは、このように反射面を1つのみ有していることで、光学系の小型化、軽量化が達成できる。

10

20

30

40

50

【0028】

また、本発明においては、後群に配置される第2プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を4面有し、それらを第2-1面、第2-2面、第2-3面、第2-4面とするとき、第2-1面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、第2-2面が第2-1面から入射した光束をプリズム内で反射し、第2-3面が第2-2面で反射された光束をプリズム内で反射し、第2-4面が第2-3面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、第2-1面と第2-2面とが媒質を挟んで対向配置され、第2-3面と第2-4面とが媒質を挟んで対向配置され、第2-1面と第2-2面とを結ぶ光路が、第2-3面と第2-4面とを結ぶ光路と交差するように構成されている。

【0029】

第2プリズムとして、上記のように、光路が交差するプリズムを用いることにより、第2プリズムを小型に構成することが可能となる。これは、同じ光路長をとる場合に、同じ2回反射タイプであってプリズム内でZ字型光路をとるプリズムよりスペースの利用効率が良いからである。Z字型光路をとるプリズムでは、プリズム内の光線は必ず別の領域を通過して進んで行くが、プリズム内で光路が交差するプリズムでは、同じ領域を2回通過することになり、プリズムを小型にすることが可能であるからである。

【0030】

そして、本発明においては、この第1プリズムを含む前群と第2プリズムを含む後群の間に開口絞りを配置して、全体で反射面を3面のみを用いている。4面以上の反射面を用いると、光学系の光路が複雑化すると同時に、製造の際の組み立て公差が厳しく、コストアップにつながるが、本発明では全体で3面のみで構成するため、非常に低コストな光学系を達成することができると共に、偏心収差を良好に補正することが可能となる。

【0031】

また、2つのプリズムを組み合わせることで、全体として非常に薄型化した結像光学系にすることが可能となり、さらに、撮像素子を観察方向と垂直に配置することができるため、撮像素子を駆動する回路等の基板を装置全体に組み込みやすくなり、装置の薄型化が可能となる。

【0032】

そして、このように全体で反射面が3面からなる系で結像光学系を構成するために、各反射面に光束にパワーを与える面形状とし、各反射面が偏心配置となることにより発生する偏心収差を補正するために、各反射面を偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成する。

【0033】

また、本発明で用いる上記の回転非対称面は、唯一対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面の面の形状は、例えば米国特許第6,124,989号(特開2000-66105号)の(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。

【0034】

また、本発明において、全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とするとき、第1プリズムを含む前群のX方向のパワーをP1x、Y方向のパワーをP1y、第2プリズムを含む後群のX方向のパワーをP2x、Y方向のパワーをP2y、全系のX方向のパワーをPx、Y方向のパワーをPyとしたとき、前群は以下の条件式を満足することが望ましい。

【0035】

$$-0.5 < P1x / Px < 0.4 \quad \dots (1-1)$$

$$-0.5 < P1y / Py < 0.4 \quad \dots (2-1)$$

ここで、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。

【0036】

上記条件式(1-1)、(2-1)は、前群のパワーを全系のパワーで規格化したもので

10

20

30

40

50

あり、それらの下限の - 0.5 を越えると、前群の負のパワーが非常に強くなるため、収差が悪化する。このパワーをプリズムの反射面で主に構成した場合、特に軸外主光線の光線高が高いために、偏心コマ収差の発生量が大きくなるため好ましくない。また、他のレンズやプリズムの屈折面に強いパワーを持たせた場合、上記屈折面で色収差が非常に大きく発生してしまい、性能劣化の原因となり、レンズ枚数を増やさなければ補正が不可能となる。

【 0 0 3 7 】

上記条件式 (1 - 1)、(2 - 1) の上限の 0.4 を越えると、前群のパワーが強い正パワーとなり、後群に 2 回反射の第 2 プリズムを配置しているため、バックフォーカスの確保が非常に難しくなる。

【 0 0 3 8 】

さらに好ましくは、

$$- 0.5 < P1x / Px < 0 \quad \dots (1 - 2)$$

$$- 0.5 < P1y / Py < 0 \quad \dots (2 - 2)$$

なる条件を満足することがより好ましい。

【 0 0 3 9 】

また、後群は以下の条件式を満足することが望ましい。

【 0 0 4 0 】

$$0.3 < P2x / Px < 2.0 \quad \dots (3 - 1)$$

$$0.3 < P2y / Py < 2.0 \quad \dots (4 - 1)$$

上記条件式 (3 - 1)、(4 - 1) は、後群のパワーを全系のパワーで規格化したものであり、それらの下限の 0.3 を越えると、後群のパワーが非常に弱くなるため、画角の広い光学系を達成できなくなると同時に、光学系の大型化を招く。また、そのパワーを前群に持たせてしまうと、レトロフォーカス型の負正の構成ではなくなるため、バックフォーカスの確保が非常に困難となる。

【 0 0 4 1 】

上記条件式 (3 - 1)、(4 - 1) の上限の 2.0 を越えると、前群のパワーが非常に強くなるため、反射面のパワーが強くなり、特に軸上に発生する非点収差、軸外の偏心コマ収差が大きく発生してしまい、補正が困難となり好ましくない。

【 0 0 4 2 】

さらに好ましくは、

$$0.5 < P2x / Px < 1.5 \quad \dots (3 - 2)$$

$$0.5 < P2y / Py < 1.5 \quad \dots (4 - 2)$$

なる条件を満足することがより好ましい。

【 0 0 4 3 】

また、第 1 - 2 面に入射する軸上主光線と反射する軸上主光線とのなす角度を θ としたとき、以下の条件式を満足することが望ましい。

【 0 0 4 4 】

$$70^\circ < \theta < 110^\circ \quad \dots (5 - 1)$$

条件式 (5 - 1) は、軸上主光線が第 1 プリズムの反射面に入射、反射する際になす角度を規定したものであり、その上限の 110° 及び下限の 70° を越えると、第 2 プリズムに入射する軸上主光線の角度が像面に対し略平行な角度から大きな角度をなす (軸上主光線が傾く) こととなり、光学系の小型化が達成できなくなる。特に下限を越えた場合、第 2 プリズムが物体側に大きく突出してしまい、上限を越えた場合、像面を大きく傾けるか、像面に対する軸外光束を斜入射で構成しなければならなくなり、テレセントリックな光学系を達成できなくなり好ましくない。

【 0 0 4 5 】

さらに好ましくは、

$$75^\circ < \theta < 100^\circ \quad \dots (5 - 2)$$

なる条件を満足することがより好ましい。

10

20

30

40

50

【0046】

また、光学系の全体の厚みを D 、平均焦点距離を f としたときに、以下の条件式を満足することが望ましい。

【0047】

$$0.5 < D / f < 2.5 \quad \dots (6-1)$$

ただし、光学系の厚み D とは、撮像素子から垂直方向に図った光学系の厚みで、図10に後記の実施例1の光路図を示すように、各光線の中で最も先端にある光線位置 A から像面3までの距離、平均焦点距離 f とは、全系の X 方向、 Y 方向の焦点距離 f_x 、 f_y としたときに、 $f = (f_x + f_y) / 2$ と定義する。

【0048】

条件式(6-1)は、光学系の厚みを全系の焦点距離で規格化したものである。偏心光学系の場合、光路を折り畳んだ構成にすることができ、さらに、本発明のようなプリズム構成の第1プリズムと第2プリズムで全系を構成する場合、上記のような範囲内で光学系を非常に薄く構成することが可能となる。この条件式の下限の0.5を越えると、プリズムの有効面及び縁肉を確保することができなくなり好ましくない。特に縁肉を十分に確保しておかなければ、組み立て性が悪くなり、コストアップとなり好ましくない。また、上限の2.5を越えると、光学系の厚みが厚くなり、偏心光学系を用いて構成することのメリットがなくなるため好ましくない。

【0049】

さらに好ましくは、

$$0.8 < D / f < 2.3 \quad \dots (6-2)$$

なる条件を満足することがより好ましい。

【0050】

また、前群の反射面の第1-2面から開口絞りまでの軸上主光線の光路長を $SD1$ とするとき、以下の条件式を満足することが望ましい。

【0051】

$$0.1 < SD1 / f < 3.0 \quad \dots (7-1)$$

条件式(7-1)は、前群の第1反射面から開口絞りまでの軸上主光線の光路長を全系の焦点距離で規格化したものである。この条件式の下限の0.1を越えると、所望のバックフォーカスを確保するためには、反射面のパワーを強くしなければならなくなり、結果として軸外の偏心コマ収差が大きくなり好ましくない。その上限の3.0を越えると、反射面のパワーを強くしなくてもバックフォーカスの確保は可能となるが、装置の大型化を招き好ましくない。

【0052】

さらに好ましくは、

$$0.2 < SD1 / f < 2.0 \quad \dots (7-2)$$

なる条件を満足することがより好ましい。

【0053】

また、前群の最も物体側の第1面から開口絞りまでの軸上主光線の光路長を $SD2$ 、開口絞りから後群の最も像側の面までの光路長を $SD3$ としたときに、以下の条件式の何れかを満足することが望ましい。

【0054】

$$0.5 < SD2 / f < 3.0 \quad \dots (8-1)$$

$$2.0 < SD3 / f < 6.0 \quad \dots (9-1)$$

ただし、上記の第1面と最終面は、光学系の物体側あるいは像側に配置される平行平面板の面は含めない。

【0055】

条件式(8-1)は、前群の第1面から開口絞りまでの軸上主光線の光路長を全系の焦点距離で規格化したものであり、条件式(9-1)は、開口絞りから後群の最終面までの軸上主光線の光路長を全系の焦点距離で規格化したものである。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

条件式 (8 - 1) の下限の 0 . 5 を越えると、軸上主光線の光路長が短くなり、バックフォーカスの確保が困難となってくる。その上限の 3 . 0 を越えると、第 1 プリズムが大きくなり、結果としてレンズ全体が大型化してしまい好ましくない。

【 0 0 5 7 】

条件式 (9 - 1) の下限の 2 . 0 を越えると、バックフォーカスの確保には有利であるが、偏心収差の補正が困難となり、上限の 6 . 0 を越えると、第 2 プリズムが大きくなり、さらにはバックフォーカスの確保ができなくなるため好ましくない。

【 0 0 5 8 】

なお、条件式 (8) は、開口絞りから後群の最終面までに関する条件であるが、後記の実施例 7、8 のように後群をミラーで構成する場合は像面までの距離とする。

10

【 0 0 5 9 】

さらに好ましくは、

$$0 . 8 < S D 2 / f < 2 . 5 \quad \dots (8 - 2)$$

$$2 . 0 < S D 3 / f < 5 . 0 \quad \dots (9 - 2)$$

なる条件の何れかを満足することがより好ましい。

【 0 0 6 0 】

以上のような本発明の何れかの結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、そのファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とからファインダー光学系を構成することができる。

20

【 0 0 6 1 】

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、その撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、その記録媒体又は撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて電子カメラ装置を構成することができる。

【 0 0 6 2 】

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及びその照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて内視鏡装置を構成することができる。

30

【 0 0 6 3 】

【 発明の実施の形態 】

以下、本発明の結像光学系の実施例 1 ~ 8 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。

【 0 0 6 4 】

各実施例の構成パラメータにおいては、図 1 に示すように、順光線追跡で、軸上主光線 1 を、物体中心から光学系の絞り 2 の中心を垂直に通じ、像面 3 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 1 の場合は、第 1 1 面 1 1) の軸上主光線 1 と交差する位置を偏心光学系の偏心光学面の原点として、軸上主光線 1 に沿う方向を Z 軸方向とし、物体から第 1 面に向かう方向を Z 軸正方向とし、光軸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 軸方向とし、図 1 の紙面の表から裏へ向かう方向を X 軸正方向とし、X 軸、Z 軸と右手直交座標系を構成する軸を Y 軸とする。

40

【 0 0 6 5 】

後記の実施例 1 ~ 8 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 6 】

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、後記の引用文献の (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

50

れ、 θ 、 ϕ （°）とが与えられている。その場合、 θ と ϕ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 ϕ 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 θ 、 ϕ 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軸の回りで反時計回りに θ 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軸の回りで反時計回りに ϕ 回転させると共に1度回転した座標系もY軸の回りで反時計回りに θ 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軸の回りで時計回りに ϕ 回転させるものである。

【0067】

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。

10

【0068】

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は、例えば米国特許第6,124,989号（特開2000-66105号）の（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。

【0069】

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

実施例1

20

実施例1の軸上主光線を含むY-Z断面図を図1に示す。この実施例は、物体側から光の通る順に、前群を構成する第1プリズム10、絞り2、後群を構成する第2プリズム20、ローパスフィルター、赤外線カットフィルター等の平行平板5、像面（結像面）3からなり、第1プリズム10は第11面11から第13面13で構成され、その第11面11は第1透過面、第12面12は第1反射面、第13面13は第2透過面であり、物体からの光線は、第1透過面11を透過し、第1反射面12で内面反射され、第2透過面13を透過し、また、第2プリズム20は第21面21から第24面24で構成され、その第21面21は第1透過面、第22面22は第1反射面、第23面23は第2反射面、第24面24は第2透過面であり、物体からの光線は、第1透過面21を透過し、第1反射面22で内面反射され、第2反射面23で内面反射され、第2透過面24を透過する。この結像光学系においては、中間像を形成しない。また、第2プリズム20の第21面21と第22面22とがプリズム媒質を挟んで対向配置され、第23面23と第24面24とがプリズム媒質を挟んで対向配置され、第21面21と第22面22とを結ぶ光路が、第23面23と第24面24とを結ぶ光路とプリズム内で交差している。また、第1プリズム10の第11面11～第13面13、第2プリズム20の第21面21から第24面24は全て自由曲面からなる。

30

実施例2

実施例2の軸上主光線を含むY-Z断面図を図2に示す。この実施例も実施例1と同様の構成である。ただし、第1プリズム10の第22透過面13と第2プリズム20の第1透過面21を平面で構成している。第1プリズム10、第2プリズム20の他の面は自由曲面からなる。プリズムを2つ使用した場合、お互いの光軸中心ずれが発生すると性能劣化が大きい。そのため、互いの向き合う面13、21を平面とすることで、位置合わせを容易にすることができ、製造、組み立てコストを削減することが可能となる。

40

実施例3

実施例3の軸上主光線を含むY-Z断面図を図3に示す。この実施例は、物体側から光の通る順に、前群を構成する負レンズ6と第1プリズム10と正レンズ7、絞り2、後群を構成する第2プリズム20、像面（結像面）3からなり、第1プリズム10、第2プリズム20は実施例1と同様の構成である。負レンズ6の両面、正レンズ7の両面、第1プリズム10の第11面11～第13面13、第2プリズム20の第21面21から第24面24は全て自由曲面からなる。前群に回転非対称なレンズ6、7を挿入することで、より

50

偏心収差の補正された高性能の結像光学系を達成できる。

実施例 4

実施例 4 の軸上主光線を含む Y - Z 断面図を図 4 に示す。この実施例は、物体側から光の通る順に、前群を構成する負レンズ 6 と第 1 プリズム 10、絞り 2、後群を構成する 2 枚接合レンズ 8 と第 2 プリズム 20、像面（結像面）3 からなり、第 1 プリズム 10、第 2 プリズム 20 は実施例 1 と同様の構成である。負レンズ 6 の両面、第 1 プリズム 10 の第 1 1 面 1 1 ~ 第 1 3 面 1 3、第 2 プリズム 20 の第 2 1 面 2 1 から第 2 4 面 2 4 は全て自由曲面からなる。また、2 枚接合レンズ 8 の 3 面は球面からなる。プリズム 10、20 を使用しても、その入射面 1 1、2 1 と射出面 1 3、2 4 に関しては少なからず色収差が発生する。そこで、後群に 2 枚接合レンズ 8 を挿入して、より色収差が補正された高性能の結像光学系を達成できる。

10

実施例 5

実施例 5 の軸上主光線を含む Y - Z 断面図を図 5 に示す。この実施例も実施例 1 と同様の構成である。この実施例は、像面（結像面）3 に配置する撮像素子のサイズを小さくした実施例である。

実施例 6

実施例 6 の軸上主光線を含む Y - Z 断面図を図 6 に示す。この実施例は、物体側から光の通る順に、前群を構成する負レンズ 6 と第 1 プリズム 10、絞り 2、後群を構成する第 2 プリズム 20、像面（結像面）3 からなり、第 1 プリズム 10、第 2 プリズム 20 は実施例 1 と同様の構成である。負レンズ 6 の両面は球面からなり、第 1 プリズム 10 の第 1 1 面 1 1 ~ 第 1 3 面 1 3、第 2 プリズム 20 の第 2 1 面 2 1 から第 2 4 面 2 4 は全て自由曲面からなる。この実施例は、実施例 5 の構成の第 1 プリズム 10 の物体側に負レンズ 6 を挿入して、広画角化した結像光学系である。

20

実施例 7

実施例 7 の軸上主光線を含む Y - Z 断面図を図 7 に示す。この実施例は、第 1 プリズム、第 2 プリズムをミラーのみで構成した場合の例で、物体側から光の通る順に、前群を構成するレンズ 9 と第 1 プリズムに相当する第 1 反射系 10'、絞り 2、後群を構成する第 2 プリズムに相当する第 2 反射系 20'、像面（結像面）3 からなり、第 1 反射系 10' は第 1 プリズムの第 1 2 面に対応する第 1 反射面 1 2' のみで構成され、また、第 2 反射系 20' は第 2 プリズムの第 2 2 面に対応する第 1 反射面 2 2' と第 2 3 面に対応する第 2 反射面 2 3' で構成され、物体からの光線は、第 1 反射面 2 2' で反射され、第 2 反射面 2 3' で反射される。この結像光学系においては、中間像を形成しない。また、第 2 反射系 20' の第 1 反射面 2 2' に入射する光路と、第 2 反射面 2 3' で反射された光路とが交差している。また、レンズ 9 の両面と、第 1 反射系 10' の第 1 反射面 1 2'、第 2 反射系 20' の第 1 反射面 2 2' と第 2 反射面 2 3' は全て自由曲面からなる。この結像光学系は広角レンズとして構成されている。

30

実施例 8

実施例 8 の軸上主光線を含む Y - Z 断面図を図 8 に示す。この実施例も実施例 7 と同様の構成である。この実施例の結像光学系は望遠レンズとして構成されている点が実施例 7 と異なる。

40

【 0 0 7 0 】

上記実施例 1 ~ 4 は何れも、撮像面のサイズが 4 . 8 mm × 3 . 6 mm であり、撮影画角は水平画角 5 1 . 3 °、垂直画角 3 9 . 6 °、入射瞳径 1 . 7 7 mm であり、F ナンバーは 2 . 8 相当である。実施例 5 ~ 8 は何れも、撮像面のサイズが 3 . 6 mm × 2 . 7 mm であり、実施例 5、7 の撮影画角は水平画角 5 0 . 3 °、垂直画角 3 9 . 1 °、入射瞳径 1 . 4 1 mm であり、F ナンバーは 2 . 8 相当であり、実施例 6 の撮影画角は水平画角 6 4 . 1 °、垂直画角 5 0 . 7 °、入射瞳径 1 . 0 6 mm であり、F ナンバーは 2 . 8 相当であり、実施例 8 の撮影画角は水平画角 2 6 . 4 °、垂直画角 2 0 . 1 °、入射瞳径 1 . 4 1 mm であり、F ナンバーは 5 . 6 相当である。

【 0 0 7 1 】

50

以上の実施例は、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のない。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等も含むものである。

【0072】

以下に、実施例1～8の数値データを示す。これら表中の“FFS”は自由曲面、“RE”は反射面を示す。

【0073】

(実施例1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
物体面	∞	∞				10
1	FFS [1]			1.5254	55.8	
2	FFS [2] (RE)		偏心(1)	1.5254	55.8	
3	FFS [3]		偏心(2)			
4	∞ (絞り)		偏心(3)			
5	FFS [4]		偏心(4)	1.5254	55.8	
6	FFS [5] (RE)		偏心(5)	1.5254	55.8	20
7	FFS [6] (RE)		偏心(6)	1.5254	55.8	
8	FFS [7]		偏心(7)			
9	∞		偏心(8)	1.5230	55.0	
10	∞		偏心(9)			
像面	∞		偏心(10)			
	FFS [1]					
C ₄	-1.0876×10^{-2}	C ₆	1.8722×10^{-2}	C ₈	3.8132×10^{-3}	30
C ₁₀	-2.3015×10^{-3}	C ₁₁	-9.4351×10^{-4}	C ₁₃	7.1890×10^{-4}	
C ₁₅	-2.0238×10^{-4}	C ₁₇	7.5766×10^{-7}	C ₁₉	6.5506×10^{-6}	
C ₂₁	-2.2659×10^{-6}					
	FFS [2]					
C ₄	-3.4639×10^{-3}	C ₆	8.1383×10^{-3}	C ₈	-1.9758×10^{-4}	
C ₁₀	2.9221×10^{-4}	C ₁₁	-5.5124×10^{-5}	C ₁₃	1.5479×10^{-4}	
C ₁₅	6.6936×10^{-5}	C ₁₇	-8.5001×10^{-5}	C ₁₉	2.5214×10^{-5}	40
C ₂₁	5.5366×10^{-6}					
	FFS [3]					
C ₄	8.2999×10^{-3}	C ₆	-1.3417×10^{-2}	C ₈	-1.1302×10^{-2}	
C ₁₀	3.6790×10^{-3}	C ₁₁	-6.3232×10^{-3}	C ₁₃	1.0246×10^{-3}	
C ₁₅	-2.8677×10^{-3}	C ₁₇	-2.5809×10^{-5}	C ₁₉	7.5650×10^{-5}	
C ₂₁	2.5953×10^{-5}					

F F S [4]

C_4	-1.1382×10^{-2}	C_6	8.5352×10^{-3}	C_8	-3.7586×10^{-4}
C_{10}	-2.4037×10^{-3}	C_{11}	-6.7309×10^{-3}	C_{13}	1.8517×10^{-4}
C_{15}	-2.4090×10^{-3}	C_{17}	3.3122×10^{-6}	C_{19}	-3.6259×10^{-5}
C_{21}	6.6768×10^{-6}				

F F S [5]

C_4	1.5705×10^{-2}	C_6	1.0829×10^{-2}	C_8	1.2441×10^{-3}	10
C_{10}	-1.2790×10^{-4}	C_{11}	2.8097×10^{-5}	C_{13}	1.7091×10^{-4}	
C_{15}	-5.2403×10^{-5}	C_{17}	7.5880×10^{-6}	C_{19}	-6.5573×10^{-6}	
C_{21}	-8.0334×10^{-6}					

F F S [6]

C_4	1.6748×10^{-2}	C_6	1.7942×10^{-2}	C_8	3.9750×10^{-4}	
C_{10}	-2.5862×10^{-4}	C_{11}	5.0733×10^{-5}	C_{13}	-1.4261×10^{-4}	
C_{15}	4.9657×10^{-5}	C_{17}	1.0228×10^{-6}	C_{19}	1.2043×10^{-6}	20
C_{21}	-4.9047×10^{-6}					

F F S [7]

C_4	3.0031×10^{-2}	C_6	4.1450×10^{-2}	C_8	-9.0781×10^{-3}	
C_{10}	5.6794×10^{-3}	C_{11}	-1.8767×10^{-3}	C_{13}	-2.8469×10^{-3}	
C_{15}	2.0722×10^{-4}	C_{17}	5.7808×10^{-6}	C_{19}	-3.5047×10^{-6}	
C_{21}	-3.9132×10^{-7}					

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	3.28	30
α	-44.20	β	0.00	γ	0.00	

偏心(2)

X	0.00	Y	3.28	Z	3.19	
α	103.12	β	0.00	γ	0.00	

偏心(3)

X	0.00	Y	3.80	Z	3.23	40
α	90.00	β	0.00	γ	0.00	

偏心(4)

X	0.00	Y	4.10	Z	3.25
α	97.44	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	11.38	Z	3.31
α	-112.23	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	8.21	Z	0.25
α	20.54	β	0.00	γ	0.00

10

偏心(7)

X	0.00	Y	7.75	Z	5.64
α	-14.05	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	7.75	Z	6.61
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

20

偏心(9)

X	0.00	Y	7.75	Z	7.16
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(10)

X	0.00	Y	7.75	Z	7.86
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

30

【 0 0 7 4 】

(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	FFS [1]			1.5254	55.8
2	FFS [2] (RE)		偏心(1)	1.5254	55.8
3	∞		偏心(2)		
4	∞ (絞り)		偏心(3)		10
5	∞		偏心(4)	1.5254	55.8
6	FFS [3] (RE)		偏心(5)	1.5254	55.8
7	FFS [4] (RE)		偏心(6)	1.5254	55.8
8	FFS [5]		偏心(7)		
9	∞		偏心(8)	1.5230	55.0
10	∞		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		20

FFS [1]

C_4	-8.3188×10^{-3}	C_6	3.4101×10^{-2}	C_8	-1.4706×10^{-3}
C_{10}	-1.1420×10^{-3}	C_{11}	-6.5609×10^{-5}	C_{13}	-1.7003×10^{-4}
C_{15}	2.9132×10^{-4}	C_{17}	9.7267×10^{-5}	C_{19}	1.5357×10^{-5}
C_{21}	-7.7116×10^{-6}				

FFS [2]

C_4	-6.7737×10^{-4}	C_6	9.5729×10^{-3}	C_8	-4.6635×10^{-5}
C_{10}	3.2706×10^{-4}	C_{11}	4.7807×10^{-5}	C_{13}	-1.7131×10^{-6}
C_{15}	5.7208×10^{-5}	C_{17}	1.8852×10^{-5}	C_{19}	-1.0239×10^{-5}
C_{21}	5.2505×10^{-6}				

FFS [3]

C_4	1.8027×10^{-2}	C_6	1.9843×10^{-2}	C_8	2.7422×10^{-4}
C_{10}	6.5409×10^{-4}	C_{11}	-5.5779×10^{-5}	C_{13}	7.9255×10^{-6}
C_{15}	-1.3926×10^{-5}	C_{17}	-1.0429×10^{-5}	C_{19}	-2.8931×10^{-5}
C_{21}	3.4435×10^{-7}				

30

40

F F S [4]

C_4	1.5424×10^{-2}	C_6	1.1204×10^{-2}	C_8	-1.0357×10^{-4}
C_{10}	3.0996×10^{-4}	C_{11}	5.5084×10^{-5}	C_{13}	4.6769×10^{-5}
C_{15}	2.6581×10^{-5}	C_{17}	1.3231×10^{-5}	C_{19}	-3.7769×10^{-5}
C_{21}	-2.3725×10^{-7}				

F F S [5]

C_4	3.0719×10^{-2}	C_6	-1.8684×10^{-3}	C_8	-2.1354×10^{-2}	10
C_{10}	1.9201×10^{-3}	C_{11}	-2.9223×10^{-3}	C_{13}	4.3539×10^{-3}	
C_{15}	2.0659×10^{-3}	C_{17}	2.8765×10^{-3}	C_{19}	-4.0186×10^{-4}	
C_{21}	2.7366×10^{-4}					

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	3.81
α	-41.81	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	3.26	Z	3.44
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	3.55	Z	3.39
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	3.85	Z	3.34
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	10.20	Z	2.63
α	-103.66	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	6.85	Z	0.39
α	28.25	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

20

30

40

X 0.00 Y 6.87 Z 5.55

α 0.59 β 0.00 γ 0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 6.87 Z 5.87

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(9)

X 0.00 Y 6.87 Z 6.42

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(10)

X 0.00 Y 6.87 Z 7.12

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

[0 0 7 5]

(実施例3)

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 ∞	偏心	屈折率	アッベ数	
1	FFS [1]			1.5254	55.8	
2	FFS [2]		偏心(1)			
3	FFS [3]		偏心(2)	1.5254	55.8	
4	FFS [4] (RE)		偏心(3)	1.5254	55.8	10
5	FFS [5]		偏心(4)			
6	FFS [6]		偏心(5)	1.5254	55.8	
7	FFS [7]		偏心(6)			
8	∞ (絞り)		偏心(7)			
9	FFS [8]		偏心(8)	1.5254	55.8	
10	FFS [9] (RE)		偏心(9)	1.5254	55.8	
11	FFS [10] (RE)		偏心(10)	1.5254	55.8	20
12	FFS [11]		偏心(11)			
像面	∞		偏心(12)			
	FFS [1]					
C ₄	2.0000×10^{-2}	C ₆	2.0000×10^{-2}	C ₈	1.1946×10^{-2}	
C ₁₀	-5.8807×10^{-4}	C ₁₁	-7.9166×10^{-4}	C ₁₃	-7.1566×10^{-4}	
C ₁₅	-1.0835×10^{-4}					
	FFS [2]					30
C ₄	1.0000×10^{-1}	C ₆	1.0000×10^{-1}	C ₈	6.8147×10^{-3}	
C ₁₀	4.9188×10^{-3}	C ₁₁	4.4453×10^{-4}	C ₁₃	1.4154×10^{-3}	
C ₁₅	3.3510×10^{-4}					
	FFS [3]					
C ₄	1.7171×10^{-2}	C ₆	7.6775×10^{-2}	C ₈	3.1854×10^{-3}	
C ₁₀	3.3543×10^{-3}					
	FFS [4]					40
C ₄	-3.9048×10^{-3}	C ₆	1.0860×10^{-2}	C ₈	-1.3280×10^{-4}	

C_{10}	5.5067×10^{-4}	C_{11}	-1.0727×10^{-4}	C_{13}	-1.5579×10^{-4}
C_{15}	1.2262×10^{-6}	C_{17}	-2.4134×10^{-6}	C_{19}	1.8572×10^{-6}
C_{21}	1.4336×10^{-7}				

F F S [5]

C_4	5.6286×10^{-3}	C_6	-6.0994×10^{-3}	C_8	-1.8177×10^{-2}
C_{10}	6.0163×10^{-3}				

F F S [6]

C_4	3.8725×10^{-2}	C_6	5.1304×10^{-2}	C_8	3.2587×10^{-3}
C_{10}	-1.1068×10^{-3}				

10

F F S [7]

C_4	-4.2787×10^{-2}	C_6	-3.9264×10^{-2}	C_8	3.3327×10^{-3}
C_{10}	2.4253×10^{-3}				

F F S [8]

C_4	-7.0676×10^{-2}	C_6	-3.3592×10^{-2}	C_8	-2.3000×10^{-2}
C_{10}	6.7004×10^{-3}				

20

F F S [9]

C_4	1.7988×10^{-2}	C_6	1.1739×10^{-2}	C_8	-5.7338×10^{-4}
C_{10}	2.9607×10^{-4}	C_{11}	-1.5221×10^{-5}	C_{13}	-2.0307×10^{-4}
C_{15}	-1.2239×10^{-4}	C_{17}	3.6665×10^{-5}	C_{19}	2.0626×10^{-5}
C_{21}	7.9480×10^{-7}				

30

F F S [10]

C_4	1.8873×10^{-2}	C_6	1.6314×10^{-2}	C_8	1.5726×10^{-5}
C_{10}	-2.8459×10^{-4}	C_{11}	-5.1367×10^{-6}	C_{13}	1.1099×10^{-4}
C_{15}	1.2208×10^{-4}	C_{17}	4.4417×10^{-5}	C_{19}	2.5091×10^{-5}
C_{21}	5.1441×10^{-8}				

F F S [11]

C_4	9.2757×10^{-2}	C_6	2.3495×10^{-2}	C_8	-1.3938×10^{-3}
C_{10}	2.7004×10^{-4}				

40

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.98
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	1.98
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	0.00	Z	5.59
α	-44.06	β	0.00	γ	0.00

10

偏心(4)

X	0.00	Y	3.49	Z	5.47
α	93.16	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	3.79	Z	5.46
α	91.13	β	0.00	γ	0.00

20

偏心(6)

X	0.00	Y	5.48	Z	5.43
α	100.57	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

X	0.00	Y	7.48	Z	5.56
α	90.00	β	0.00	γ	0.00

30

偏心(8)

X	0.00	Y	8.44	Z	5.63
α	101.09	β	0.00	γ	0.00

偏心(9)

X	0.00	Y	14.72	Z	5.48
α	-111.38	β	0.00	γ	0.00

偏心(10)

X	0.00	Y	11.74	Z	2.58
α	20.62	β	0.00	γ	0.00

40

偏心(11)

X	0.00	Y	11.32	Z	7.77
α	-13.27	β	0.00	γ	0.00

偏心(12)

X	0.00	Y	11.32	Z	9.26
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

【 0 0 7 6 】

(実施例4)

面番号 物体面	曲率半径 ∞	面間隔 ∞	偏心	屈折率	アッベ数	
1	FFS [1]			1.5254	55.8	
2	FFS [2]		偏心(1)			
3	FFS [3]		偏心(2)	1.5254	55.8	
4	FFS [4] (RE)		偏心(3)	1.5254	55.8	10
5	FFS [5]		偏心(4)			
6	∞ (絞り)		偏心(5)			
7	26.42		偏心(6)	1.4875	70.2	
8	-25.56		偏心(7)	1.8467	23.8	
9	91.83		偏心(8)			
10	FFS [6]		偏心(9)	1.5254	55.8	
11	FFS [7] (RE)		偏心(10)	1.5254	55.8	20
12	FFS [8] (RE)		偏心(11)	1.5254	55.8	
13	FFS [9]		偏心(12)			
像面	∞		偏心(13)			
	FFS [1]					
C ₄	2.0000×10^{-2}	C ₆	2.0000×10^{-2}			
	FFS [2]					
C ₄	5.0000×10^{-2}	C ₆	5.0000×10^{-2}		30	
	FFS [3]					
C ₄	1.2590×10^{-2}	C ₆	2.2298×10^{-2}	C ₈	-1.4601×10^{-3}	
C ₁₀	-2.2701×10^{-3}					
	FFS [4]					
C ₄	1.2623×10^{-3}	C ₆	7.4927×10^{-3}	C ₈	-3.5490×10^{-4}	
C ₁₀	6.6809×10^{-5}					
	FFS [5]				40	
C ₄	-1.2986×10^{-3}	C ₆	-2.1570×10^{-2}	C ₈	-7.7391×10^{-4}	

$$C_{10} \quad 1.8483 \times 10^{-3}$$

FFS [6]

$$C_4 \quad -5.7722 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 1.4384 \times 10^{-2}$$

FFS [7]

$$C_4 \quad 1.2923 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.0533 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 2.2071 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} \quad 2.7636 \times 10^{-4}$$

FFS [8]

$$C_4 \quad 2.0834 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.6339 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -2.1295 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} \quad -5.5350 \times 10^{-5}$$

FFS [9]

$$C_4 \quad 9.0843 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 3.1887 \times 10^{-2}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.98$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 2.79$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 6.30$$

$$\alpha \quad -39.68 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 3.43 \quad Z \quad 5.66$$

$$\alpha \quad 108.31 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.24 \quad Z \quad 5.56$$

$$\alpha \quad 90.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(6)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.59 \quad Z \quad 5.52$$

$$\alpha \quad 85.88 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

10

20

30

40

偏心(7)

X	0.00	Y	6.19	Z	5.44
α	89.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	6.79	Z	5.42
α	84.87	β	0.00	γ	0.00

偏心(9)

X	0.00	Y	7.11	Z	5.37
α	87.92	β	0.00	γ	0.00

10

偏心(10)

X	0.00	Y	14.23	Z	4.76
α	-109.61	β	0.00	γ	0.00

偏心(11)

X	0.00	Y	10.91	Z	1.54
α	21.91	β	0.00	γ	0.00

20

偏心(12)

X	0.00	Y	10.65	Z	8.65
α	-5.96	β	0.00	γ	0.00

偏心(13)

X	0.00	Y	10.65	Z	9.93
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

30

【 0 0 7 7 】

(実施例5)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	FFS [1]			1.5254	55.8
2	FFS [2] (RE)		偏心(1)	1.5254	55.8
3	FFS [3]		偏心(2)		
4	∞ (絞り)		偏心(3)		10
5	FFS [4]		偏心(4)	1.5254	55.8
6	FFS [5] (RE)		偏心(5)	1.5254	55.8
7	FFS [6] (RE)		偏心(6)	1.5254	55.8
8	FFS [7]		偏心(7)		
9	∞		偏心(8)	1.5230	55.0
10	∞		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		20
FFS [1]					
C ₄	6.3181×10^{-2}	C ₆	5.5570×10^{-2}	C ₈	-3.3844×10^{-3}
C ₁₀	-5.7782×10^{-3}	C ₁₁	1.7725×10^{-4}	C ₁₃	1.8532×10^{-3}
C ₁₅	-6.6338×10^{-4}				
FFS [2]					
C ₄	-3.3697×10^{-3}	C ₆	2.5129×10^{-2}	C ₈	-2.9824×10^{-3}
C ₁₀	8.9613×10^{-4}	C ₁₁	-4.8268×10^{-5}	C ₁₃	-4.5960×10^{-4}
C ₁₅	-1.0989×10^{-4}				30
FFS [3]					
C ₄	1.7210×10^{-1}	C ₆	-5.8597×10^{-2}	C ₈	-3.1486×10^{-2}
C ₁₀	8.7575×10^{-3}	C ₁₁	7.2450×10^{-3}	C ₁₃	1.2987×10^{-2}
C ₁₅	3.3349×10^{-4}				
FFS [4]					
C ₄	-1.2528×10^{-1}	C ₆	7.4983×10^{-4}	C ₈	1.8953×10^{-2}
C ₁₀	-4.1145×10^{-3}				40

F F S [5]

C_4	3.1742×10^{-2}	C_6	1.3764×10^{-2}	C_8	4.0065×10^{-3}
C_{10}	7.9962×10^{-5}	C_{11}	-1.1218×10^{-5}	C_{13}	4.4854×10^{-4}
C_{15}	-5.4494×10^{-5}				

F F S [6]

C_4	2.8074×10^{-2}	C_6	2.2930×10^{-2}	C_8	8.0791×10^{-4}
C_{10}	-7.3036×10^{-5}	C_{11}	9.2368×10^{-5}	C_{13}	-1.5571×10^{-4}
C_{15}	4.2179×10^{-5}				

10

F F S [7]

C_4	6.9062×10^{-2}	C_6	6.1563×10^{-2}	C_8	-2.7267×10^{-2}
C_{10}	5.4367×10^{-3}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	2.95
α	-41.53	β	0.00	γ	0.00

20

偏心(2)

X	0.00	Y	3.25	Z	2.55
α	106.12	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	3.77	Z	2.54
α	89.24	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	4.07	Z	2.52
α	103.24	β	0.00	γ	0.00

30

偏心(5)

X	0.00	Y	9.29	Z	1.98
α	-106.73	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	6.80	Z	-0.06
α	23.77	β	0.00	γ	0.00

40

偏心(7)

X	0.00	Y	6.57	Z	4.12
α	-8.88	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	6.57	Z	5.09
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(9)

X	0.00	Y	6.57	Z	5.64
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(10)

X	0.00	Y	6.57	Z	6.34
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

[0 0 7 8]

(実施例6)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	24.10			1.5254	55.8
2	8.92		偏心(1)		
3	FFS [1]		偏心(2)	1.5254	55.8
4	FFS [2] (RE)		偏心(3)	1.5254	55.8
5	FFS [3]		偏心(4)		
6	∞ (絞り)		偏心(5)		
7	FFS [4]		偏心(6)	1.5254	55.8
8	FFS [5] (RE)		偏心(7)	1.5254	55.8
9	FFS [6] (RE)		偏心(8)	1.5254	55.8
10	FFS [7]		偏心(9)		
像面	∞		偏心(10)		20
	FFS [1]				
C ₄	-4.8714×10^{-2}	C ₆	8.4040×10^{-2}	C ₈	-1.7945×10^{-3}
C ₁₀	-2.5019×10^{-3}	C ₁₁	2.0601×10^{-5}	C ₁₃	-7.1856×10^{-4}
C ₁₅	1.8130×10^{-4}				
	FFS [2]				
C ₄	-4.2753×10^{-3}	C ₆	1.9133×10^{-2}	C ₈	-2.4842×10^{-3}
C ₁₀	1.1740×10^{-3}	C ₁₁	2.7754×10^{-4}	C ₁₃	-1.9087×10^{-4}
C ₁₅	-9.4700×10^{-6}				
	FFS [3]				
C ₄	6.9069×10^{-4}	C ₆	8.4968×10^{-3}	C ₈	-3.4825×10^{-2}
C ₁₀	3.0785×10^{-3}	C ₁₁	6.0410×10^{-4}	C ₁₃	4.0374×10^{-3}
C ₁₅	4.4752×10^{-4}				
	FFS [4]				
C ₄	-1.3766×10^{-2}	C ₆	1.7379×10^{-2}	C ₈	-2.2103×10^{-2}
C ₁₀	-8.8392×10^{-3}	C ₁₁	8.8139×10^{-4}	C ₁₃	1.8399×10^{-4}

10

20

30

40

$$C_{15} -7.1512 \times 10^{-4}$$

FFS [5]

$$C_4 \quad 2.1590 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.3277 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 3.9835 \times 10^{-5}$$

$$C_{10} -2.2243 \times 10^{-4} \quad C_{11} -8.5016 \times 10^{-5} \quad C_{13} \quad 9.8488 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} -7.2585 \times 10^{-5}$$

FFS [6]

$$C_4 \quad 2.0467 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 2.3538 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -4.9160 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -6.5792 \times 10^{-4} \quad C_{11} \quad 1.2545 \times 10^{-4} \quad C_{13} -4.8500 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} \quad 8.1542 \times 10^{-5}$$

FFS [7]

$$C_4 \quad 1.2807 \times 10^{-1} \quad C_6 \quad 1.8328 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad 8.2578 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -8.0129 \times 10^{-3} \quad C_{11} -1.4845 \times 10^{-3} \quad C_{13} \quad 2.2055 \times 10^{-3}$$

$$C_{15} \quad 2.3496 \times 10^{-3}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.50$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 1.00$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 3.95$$

$$\alpha \quad -43.39 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 3.60 \quad Z \quad 3.75$$

$$\alpha \quad 100.93 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.39 \quad Z \quad 3.76$$

$$\alpha \quad 90.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(6)

10

20

30

40

X	0.00	Y	4.69	Z	3.76
α	97.97	β	0.00	γ	0.00

偏心(7)

X	0.00	Y	11.81	Z	3.49
α	-110.44	β	0.00	γ	0.00

偏心(8)

X	0.00	Y	8.61	Z	0.51
α	22.80	β	0.00	γ	0.00

10

偏心(9)

X	0.00	Y	8.48	Z	6.28
α	-3.87	β	0.00	γ	0.00

偏心(10)

X	0.00	Y	8.48	Z	7.53
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

20

[0 0 7 9]

(実施例7)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	FFS [1]			1.5163	64.1
2	FFS [2]		偏心(1)		
3	FFS [3] (RE)		偏心(2)		
4	∞ (絞り)		偏心(3)		10
5	FFS [4] (RE)		偏心(4)		
6	FFS [5] (RE)		偏心(5)		
像面	∞		偏心(6)		
	FFS [1]				
C ₄	-2.7232×10^{-2}	C ₆	-9.0100×10^{-3}	C ₁₁	-7.5054×10^{-4}
C ₁₃	2.1618×10^{-3}	C ₁₅	1.4549×10^{-5}		
	FFS [2]				20
C ₄	9.4468×10^{-3}	C ₆	-2.8157×10^{-3}	C ₁₁	-8.9741×10^{-4}
C ₁₃	1.9448×10^{-3}	C ₁₅	-3.3780×10^{-4}		
	FFS [3]				
C ₄	1.9919×10^{-3}	C ₆	1.2928×10^{-2}	C ₈	1.5372×10^{-3}
C ₁₀	1.0348×10^{-3}	C ₁₁	1.0484×10^{-4}	C ₁₃	1.4866×10^{-4}
C ₁₅	1.9176×10^{-4}	C ₁₇	-1.7543×10^{-4}	C ₁₉	-3.2877×10^{-5}
C ₂₁	2.0962×10^{-5}				30
	FFS [4]				
C ₄	2.1674×10^{-2}	C ₆	2.0348×10^{-2}	C ₈	1.1708×10^{-3}
C ₁₀	1.0584×10^{-3}	C ₁₁	-9.7033×10^{-5}	C ₁₃	1.7073×10^{-5}
C ₁₅	-8.8757×10^{-5}	C ₁₇	-8.4597×10^{-5}	C ₁₉	-1.0497×10^{-4}
C ₂₁	1.0517×10^{-5}				
	FFS [5]				
C ₄	2.4519×10^{-2}	C ₆	2.0736×10^{-2}	C ₈	1.1245×10^{-3}
C ₁₀	5.6883×10^{-4}	C ₁₁	1.9501×10^{-4}	C ₁₃	-6.5199×10^{-5}

$$C_{15} \ 6.9428 \times 10^{-5} \quad C_{17} \ -1.0562 \times 10^{-4} \quad C_{19} \ -1.1938 \times 10^{-4}$$

$$C_{21} \ 8.1141 \times 10^{-6}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 1.53 \\ \alpha \quad -0.90 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.02 \quad Z \quad 4.40 \\ \alpha \quad -39.83 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

10

偏心(3)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.95 \quad Z \quad 3.54 \\ \alpha \quad 90.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 11.79 \quad Z \quad 2.35 \\ \alpha \quad -104.17 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

20

偏心(5)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 8.47 \quad Z \quad -0.26 \\ \alpha \quad 25.90 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 8.47 \quad Z \quad 6.22 \\ \alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

[0 0 8 0]

30

(実施例8)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	FFS [1]			1.5163	64.1
2	FFS [2]		偏心(1)		
3	FFS [3] (RE)		偏心(2)		
4	∞ (絞り)		偏心(3)		10
5	FFS [4] (RE)		偏心(4)		
6	FFS [5] (RE)		偏心(5)		
像面	∞		偏心(6)		
	FFS [1]				
C ₄	-2.7232×10^{-2}	C ₆	-9.0100×10^{-3}	C ₁₁	-7.5054×10^{-4}
C ₁₃	2.1618×10^{-3}	C ₁₅	1.4549×10^{-5}		
	FFS [2]				20
C ₄	9.4468×10^{-3}	C ₆	-2.8157×10^{-3}	C ₁₁	-8.9741×10^{-4}
C ₁₃	1.9448×10^{-3}	C ₁₅	-3.3780×10^{-4}		
	FFS [3]				
C ₄	-1.0483×10^{-2}	C ₆	-5.4008×10^{-4}	C ₈	-6.4000×10^{-4}
C ₁₀	-9.2325×10^{-5}	C ₁₁	-6.8142×10^{-5}	C ₁₃	3.1459×10^{-4}
C ₁₅	9.0778×10^{-5}	C ₁₇	1.4915×10^{-4}	C ₁₉	1.4624×10^{-4}
C ₂₁	9.0719×10^{-6}				30
	FFS [4]				
C ₄	2.1691×10^{-2}	C ₆	1.3825×10^{-2}	C ₈	-2.0053×10^{-3}
C ₁₀	-5.6071×10^{-4}	C ₁₁	1.2464×10^{-4}	C ₁₃	6.5649×10^{-5}
C ₁₅	1.2384×10^{-4}	C ₁₇	1.9740×10^{-4}	C ₁₉	3.4085×10^{-4}
C ₂₁	-2.0413×10^{-5}				
	FFS [5]				
C ₄	1.1252×10^{-2}	C ₆	1.7687×10^{-2}	C ₈	-4.0478×10^{-3}
C ₁₀	-1.4871×10^{-3}	C ₁₁	-1.9722×10^{-4}	C ₁₃	1.2636×10^{-5}

$$C_{15} -9.7565 \times 10^{-5} \quad C_{17} 3.0055 \times 10^{-4} \quad C_{19} 3.9212 \times 10^{-4}$$

$$C_{21} -3.3346 \times 10^{-5}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 1.53 \\ \alpha \quad -0.90 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.02 \quad Z \quad 4.40 \\ \alpha \quad -39.83 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

10

偏心(3)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 4.95 \quad Z \quad 3.54 \\ \alpha \quad 90.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 11.79 \quad Z \quad 2.35 \\ \alpha \quad -104.17 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

20

偏心(5)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 8.47 \quad Z \quad -0.26 \\ \alpha \quad 25.90 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{l} X \quad 0.00 \quad Y \quad 8.47 \quad Z \quad 6.22 \\ \alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00 \end{array}$$

【 0 0 8 1 】

30

次に、上記実施例 1 の横収差図を図 9 に示す。こ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。

【 0 0 8 2 】

次に、上記各実施例の条件式（1 - 1）～（9 - 1）の値を以下に示す。

【 0 0 8 3 】

条件式

実施例

	1	2	3	4	5	6	7	8
(1-1)	-0.03	-0.03	0.37	-0.11	-0.23	-0.26	-0.22	-0.01
(2-1)	-0.19	-0.20	0.22	-0.21	-0.22	-0.37	-0.33	-0.03
(3-1)	0.99	0.94	0.70	0.83	1.35	0.79	0.68	0.87
(4-1)	0.97	0.88	0.82	0.78	0.89	0.70	0.61	0.94
(5-1)	88.4	83.6	88.1	79.4	83.1	86.8	80.1	80.1
(6-1)	1.38	1.39	1.70	1.93	1.62	2.20	1.72	0.92
(7-1)	0.61	0.61	1.37	0.83	0.84	1.19	0.63	0.35
(8-1)	1.13	1.26	2.39	2.06	1.49	2.26	2.06	1.16
(9-1)	2.78	2.71	3.04	4.23	2.87	4.76	3.86	2.18

10

【 0 0 8 4 】

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。また、内視鏡等の小型の撮像素子を用いた光学装置用の撮像光学系としても用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

20

【 0 0 8 5 】

図11～図13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み込んだ構成の概念図を示す。図11は電子カメラ40の外観を示す前方斜視図、図12は同後方斜視図、図13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CCD49の撮像面50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。

30

40

【 0 0 8 6 】

さらに、ファインダー用光路44上には、ファインダー用対物光学系53が配置されており、このファインダー用対物光学系53は、カバーレンズ54、第1プリズム10、開口絞り2、第2プリズム20、フォーカス用レンズ66からなり、カバーレンズ54あるいは第1プリズム10から第2プリズム20までの結像光学系として、本発明による結像光学系を用いている。また、カバー部材として用いられているカバーレンズ54は、負のパワーを有するレンズであり、画角を拡大している。また、第2プリズム20の後方に配置されているフォーカス用レンズ66は光軸の前後方向へ位置調節可能になっており、ファインダー用対物光学系53のピント調節に用いられる。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

50

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。

【0087】

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。

【0088】

なお、図 13 の構成において、撮影用対物光学系 48 の構成については言及しなかったが、撮影用対物光学系 48 としては屈折型同軸光学系の他に、本発明による 2 つのプリズム 10、20 からなる何れかのタイプの結像光学系を用いることも当然可能である。

10

【0089】

次に、図 14 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、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結像光学系を用いている。この撮影用対物光学系 48 により形成された物体像は、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、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。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。

20

【0090】

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。

30

【0091】

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

【0092】

ここで、カバー部材を設けずに、本発明の結像光学系中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。本例ではその最も物体側の面は第 1 プリズム 10 の入射面となる。しかし、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 (又は、カバーレンズ 54) 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。

40

【0093】

次に、図 15 は、本発明による結像光学系を電子内視鏡の観察系の対物光学系 82 に、本発明による結像光学系を電子内視鏡の観察系の接眼光学系 87 に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合、観察系の対物光学系 82 は、第 1 プリズム 10、開口絞り 2、

50

第2プリズム20からなる本発明による結像光学系を用いており、接眼光学系87も、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結像光学系を接眼光学系として用いている。この電子内視鏡は、図15(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、頭部装着型画像表示装置(HMD)78と共に構成されており、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15(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を通過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、カバー部材85を介して、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、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83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15(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。また、HMD78の画像表示素子に表示されHMD78の装着者に表示される。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、その表示像は本発明の結像光学系を用いた接眼光学系87を経て観察者眼球Eに導かれる。

【0094】

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、対物光学系80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。

【0095】

ところで、結像光学系は光路を逆にすることにより投影光学系としても用いることができる。図16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投影光学系96に本発明によるプリズム光学系を用いた構成の概念図を示す。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結像光学系を用いている。同図において、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、本発明の結像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。

【0096】

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。

【0097】

次に、図17～図19は本発明の結像光学系を情報処理装置の一例であるパソコンに内蔵した構成を示す概念図である。

【0098】

図17はパソコン300のカバーを開いた前方斜視図、図18はパソコン300の撮影光学系303の断面図、図19は図17の状態の側面図である。図17～図19に示されるように、パソコン300は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード301と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター302と

10

20

30

40

50

、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系303とを有している。ここで、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、図中、撮影光学系303は、モニター302の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、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もよい。

【0099】

この撮影光学系303は、撮影光路304上に、本発明の結像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。

10

【0100】

ここで、撮像素子チップ162上には付加的にIRカットフィルター180が貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物光学系100の鏡枠101の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物光学系100と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠101の先端には、対物光学系100を保護するためのカバーガラス102が配置されている。

【0101】

撮像素子チップ162で受光された物体像は、端子166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18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、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

20

【0102】

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結像光学系を内蔵した例を図20に示す。

【0103】

図20(a)は携帯電話400の正面図、図20(b)は側面図、図20(c)は撮影光学系405の断面図である。図20(a)~(c)に示されるように、携帯電話400は、操作者の声を情報として入力するマイク部401と、通話相手の声を出力するスピーカ部402と、操作者が情報を入力する入力ダイヤル403と、操作者自身や通話相手等の撮像と電話番号等の情報を表示するモニター404と、撮影光学系405と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ406と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段(図示せず)とを有している。ここで、モニター404は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系405は、撮影光路407上に配置された本発明の結像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、携帯電話400に内蔵されている。

30

【0104】

ここで、撮像素子チップ162上には付加的にIRカットフィルター180が貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物レンズ12の鏡枠13の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ12と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠101の先端には、対物光学系100を保護するためのカバーガラス102が配置されている。

40

【0105】

撮像素子チップ162で受光された物体像は、端子166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

50

れている。

【 0 1 0 6 】

以上の本発明の結像光学系及は、例えば次のように構成することができる。

【 0 1 0 7 】

〔 1 〕 物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、前記結像光学系が屈折率 (n) が 1 . 3 よりも大きい (n > 1 . 3) 媒質で形成された第 1 プリズムと第 2 プリズムを有し、物体側から順に、少なくとも第 1 プリズムを含む前群と、開口絞りと、第 2 プリズムを含む後群で構成され、かつ、中間像を形成しない結像光学系にて形成され、

前記第 1 プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を 3 面有し、それらを第 1 - 1 面、第 1 - 2 面、第 1 - 3 面とすると、前記第 1 - 1 面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第 1 - 2 面が前記第 1 - 1 面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第 1 - 3 面が前記第 1 - 2 面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成されており、

10

前記第 2 プリズムが、光束を透過又は反射させる光学作用面を 4 面有し、それらを第 2 - 1 面、第 2 - 2 面、第 2 - 3 面、第 2 - 4 面とすると、前記第 2 - 1 面が物体側からの光束をプリズム内に入射させ、前記第 2 - 2 面が前記第 2 - 1 面から入射した光束をプリズム内で反射し、前記第 2 - 3 面が前記第 2 - 2 面で反射された光束をプリズム内で反射し、前記第 2 - 4 面が前記第 2 - 3 面で反射された光束をプリズム外に射出するように構成され、かつ、前記第 2 - 1 面と前記第 2 - 2 面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第 2 - 3 面と前記第 2 - 4 面とが前記媒質を挟んで対向配置され、前記第 2 - 1 面と前記第 2 - 2 面とを結ぶ光路が、前記第 2 - 3 面と前記第 2 - 4 面とを結ぶ光路と交差するように構成されており、

20

前記第 1 プリズムの前記第 1 - 2 面が光束にパワーを与え、かつ、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有し、

前記第 2 プリズムの前記第 2 - 2 面と前記第 2 - 3 面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

【 0 1 0 8 】

〔 2 〕 請求項 1 において、前記第 1 プリズムと前記第 2 プリズムの有する 3 つの反射面の面形状が、唯一対称面を 1 面のみ有した面対称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

30

【 0 1 0 9 】

〔 3 〕 請求項 1 又は 2 において、全光学系の偏心方向が Y 軸方向で、軸上主光線と平行な面を Y - Z 面とし、その Y - Z 面と直交する方向を X 方向とすると、前記第 1 プリズムを含む前群の X 方向のパワーを P 1x、Y 方向のパワーを P 1y、前記第 2 プリズムを含む後群の X 方向のパワーを P 2x、Y 方向のパワーを P 2y、全系の X 方向のパワーを P x、Y 方向のパワーを P y としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

【 0 1 1 0 】

- 0 . 5 < P 1x / P x < 0 . 4 . . . (1 - 1)
- 0 . 5 < P 1y / P y < 0 . 4 . . . (2 - 1)

40

〔 4 〕 請求項 1 から 3 の何れか 1 項において、全光学系の偏心方向が Y 軸方向で、軸上主光線と平行な面を Y - Z 面とし、その Y - Z 面と直交する方向を X 方向とすると、前記第 1 プリズムを含む前群の X 方向のパワーを P 1x、Y 方向のパワーを P 1y、前記第 2 プリズムを含む後群の X 方向のパワーを P 2x、Y 方向のパワーを P 2y、全系の X 方向のパワーを P x、Y 方向のパワーを P y としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

【 0 1 1 1 】

0 . 3 < P 2x / P x < 2 . 0 . . . (3 - 1)

50

$0.3 < P_{2y} / P_y < 2.0$. . . (4 - 1)

〔5〕 請求項1から4の何れか1項において、
前記第1 - 2面に入射する軸上主光線と反射する軸上主光線とのなす角度を θ としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

【0112】

$70^\circ < \theta < 110^\circ$. . . (5 - 1)

〔6〕 請求項1から5の何れか1項において、
光学系の全体の厚みをD、平均焦点距離をfとしたときに、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

【0113】

$0.5 < D / f < 2.5$. . . (6 - 1)

ただし、光学系の厚みDとは、撮像素子から垂直方向に図った光学系の厚みで、各光線の中で最も先端にある光線位置から像面までの距離、平均焦点距離fとは、全系のX方向、Y方向の焦点距離 f_x 、 f_y としたときに、 $f = (f_x + f_y) / 2$ と定義する。

【0114】

〔7〕 請求項1から6の何れか1項において、
前記前群の反射面の前記第1 - 2面から前記開口絞りまでの軸上主光線の光路長をSD1とし、全系の平均焦点距離をfとしたときに、以下の条件式を満足することを特徴とする結像光学系。

【0115】

$0.1 < SD1 / f < 3.0$. . . (7 - 1)

ただし、平均焦点距離fとは、全系のX方向、Y方向の焦点距離 f_x 、 f_y としたときに、 $f = (f_x + f_y) / 2$ と定義する。

【0116】

〔8〕 請求項1から7の何れか1項において、
前記前群の最も物体側の第1面から前記開口絞りまでの軸上主光線の光路長をSD2、前記開口絞りから前記後群の最も像側の最終面までの光路長をSD3とし、全系の平均焦点距離をfとしたときに、以下の条件式の何れかを満足することを特徴とする結像光学系。

【0117】

$0.5 < SD2 / f < 3.0$. . . (8 - 1)

$2.0 < SD3 / f < 6.0$. . . (9 - 1)

ただし、平均焦点距離fとは、全系のX方向、Y方向の焦点距離 f_x 、 f_y としたときに、 $f = (f_x + f_y) / 2$ と定義する。

【0118】

〔9〕 請求項1から8の何れか1項において、
前記第1プリズムより物体側に、少なくとも1つ以上の光学素子を配置したことを特徴とする結像光学系。

【0119】

〔10〕 請求項1から9の何れか1項において、
前記第1プリズムと前記第2プリズムの間に少なくとも1つ以上の光学素子を配置したことを特徴とする結像光学系。

【0120】

〔11〕 請求項9又は10において、
前記光学素子の少なくとも1面が、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有することを特徴とする結像光学系。

【0121】

〔12〕 請求項1から11の何れか1項において、
前記後群は、前記第2プリズムのみで構成されていることを特徴とする結像光学系。

【0122】

〔13〕 請求項1から12の何れか1項において、

10

20

30

40

50

前記前群の第1プリズムを1枚のミラーにて構成したことを特徴とする結像光学系。

【0123】

〔14〕 請求項1から13の何れか1項において、

前記後群の第2プリズムを2枚のミラーにて構成したことを特徴とする結像光学系。

【0124】

〔15〕 請求項1から14の何れか1項において、

前記前群の第1プリズムを1枚のミラーにて構成し、前記後群の第2プリズムを2枚のミラーにて構成したことを特徴とする結像光学系。

【0125】

〔16〕 前記請求項1から15の何れか1項記載の結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、前記ファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とから構成されていることを特徴とするファインダー光学系。

10

【0126】

〔17〕 前記請求項1から15の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、前記撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、前記記録媒体又は前記撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて構成されていることを特徴とする電子カメラ装置。

【0127】

〔18〕 前記請求項1から15の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及び前記照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて構成されていることを特徴とする内視鏡装置。

20

【0128】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によると、少ない光学素子の構成枚数で高性能、低コストな結像光学系を提供することができる。また、反射面を3面のみで光路を折り畳み、特に撮像素子の垂直方向に非常に薄型化した、高性能な結像光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【図1】本発明の実施例1の結像光学系の断面図である。

【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】本発明の実施例6の結像光学系の断面図である。

【図7】本発明の実施例7の結像光学系の断面図である。

【図8】本発明の実施例8の結像光学系の断面図である。

【図9】実施例1の結像光学系の横収差図である。

【図10】光学系の厚みDの定義を説明するための図である。

40

【図11】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12】図11の電子カメラの後方斜視図である。

【図13】図11の電子カメラの構成を示す断面図である。

【図14】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15】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16】プレゼンテーションシステムの投影光学系に本発明による結像光学系を用いた構成の概念図である。

【図17】本発明の結像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18】パソコンの撮影光学系の断面図である。

50

【図 19】図 17 の状態の側面図である。

【図 20】本発明の結像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、側面図、その撮影光学系の断面図である。

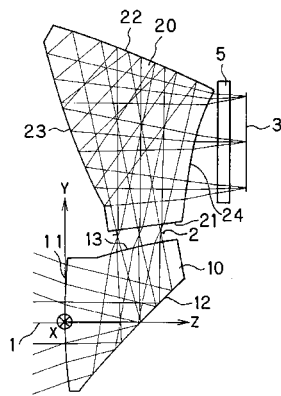
【符号の説明】

1 ... 軸上主光線 (光軸)	
2 ... 開口絞り	
3 ... 像面 (結像面)	
5 ... 平行平板	
6 ... 負レンズ	
7 ... 正レンズ	10
8 ... 2 枚接合レンズ	
9 ... レンズ	
10 ... 第 1 プリズム	
10' ... 第 1 反射系	
11 ... 第 1 1 面	
12 ... 第 1 2 面	
12' ... 第 1 反射面	
13 ... 第 1 3 面	
20 ... 第 2 プリズム	
20' ... 第 2 反射系	20
21 ... 第 2 1 面	
22 ... 第 2 2 面	
22' ... 第 1 反射面	
23 ... 第 2 3 面	
23' ... 第 2 反射面	
24 ... 第 2 4 面	
40 ... 電子カメラ	
41 ... 撮影光学系	
42 ... 撮影用光路	
43 ... ファインダー光学系	30
44 ... ファインダー用光路	
45 ... シャッター	
46 ... フラッシュ	
47 ... 液晶表示モニター	
48 ... 撮影用対物光学系	
49 ... CCD	
50 ... 撮像面	
51 ... フィルター	
52 ... 処理手段	
53 ... ファインダー用対物光学系	40
54 ... カバーレンズ	
55 ... ポロプリズム	
56 ... 第 1 反射面	
57 ... 視野枠	
58 ... 第 2 反射面	
59 ... 接眼光学系	
60 ... 液晶表示素子 (LCD)	
61 ... 記録手段	
62 ... 入射面	
63 ... 反射面	50

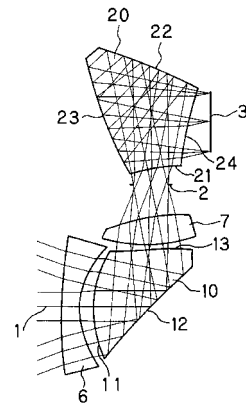
6 4 ... 反射と屈折の兼用面	
6 5 ... カバー部材	
6 6 ... フォーカス用レンズ	
6 7 ... 結像面	
7 1 ... 電子内視鏡	
7 2 ... 光源装置	
7 3 ... ビデオプロセッサ	
7 4 ... モニター	
7 5 ... V T R デッキ	
7 6 ... ビデオディスク	10
7 7 ... ビデオプリンタ	
7 8 ... 頭部装着型画像表示装置 (H M D)	
7 9 ... 挿入部	
8 0 ... 先端部	
8 1 ... 接眼部	
8 2 ... 観察用対物光学系	
8 3 ... フィルター	
8 4 ... C C D	
8 5 ... カバー部材	
8 6 ... 液晶表示素子 (L C D)	20
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	
9 2 ... 光源	
9 3 ... 液晶パネル (L C P)	
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	30
9 7 ... スクリーン	
9 8 ... 処理制御部	
1 0 0 ... 対物光学系	
1 0 1 ... 鏡枠	
1 0 2 ... カバーガラス	
1 6 0 ... 撮像ユニット	
1 6 2 ... 撮像素子チップ	
1 6 6 ... 端子	
1 8 0 ... I R カットフィルター	
3 0 0 ... パソコン	40
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	
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	50

- 4 0 5 ... 撮影光学系
- 4 0 6 ... アンテナ
- 4 0 7 ... 撮影光路
- E ... 観察者眼球

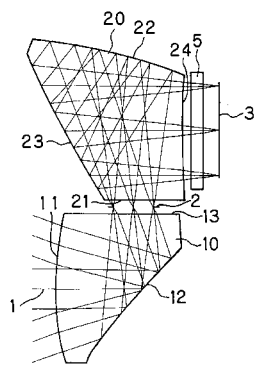
【図 1】



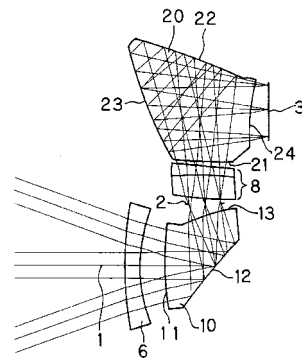
【図 3】



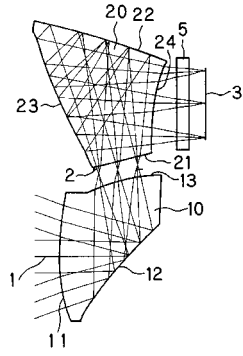
【図 2】



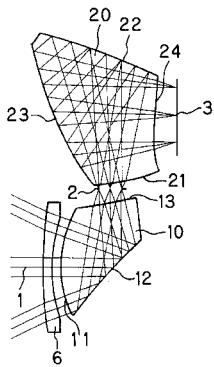
【図 4】



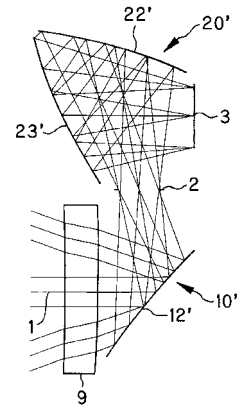
【 図 5 】



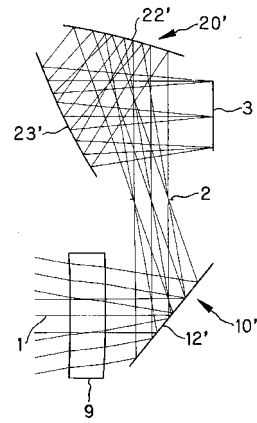
【 図 6 】



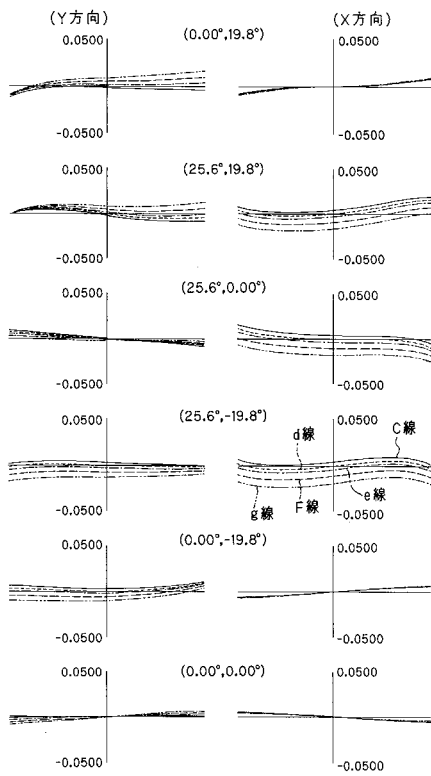
【 図 7 】



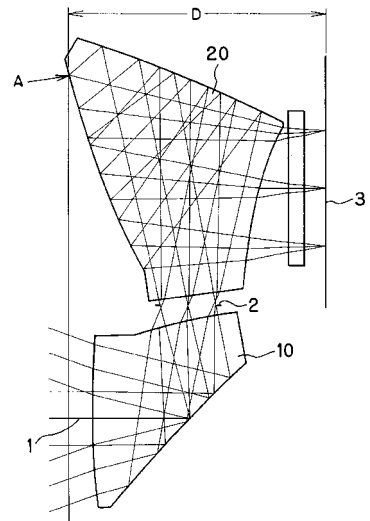
【 図 8 】



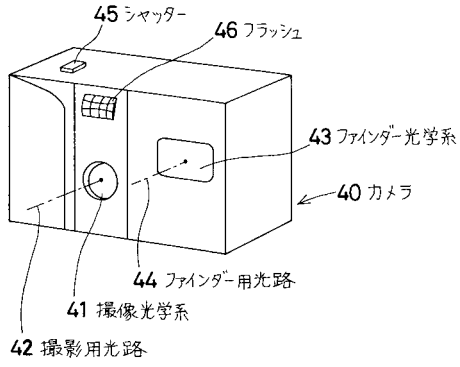
【 図 9 】



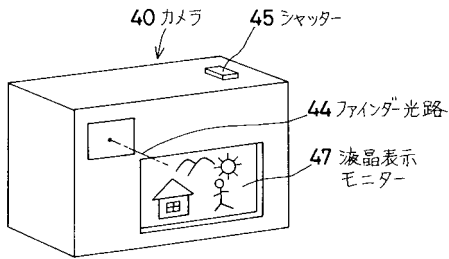
【 図 10 】



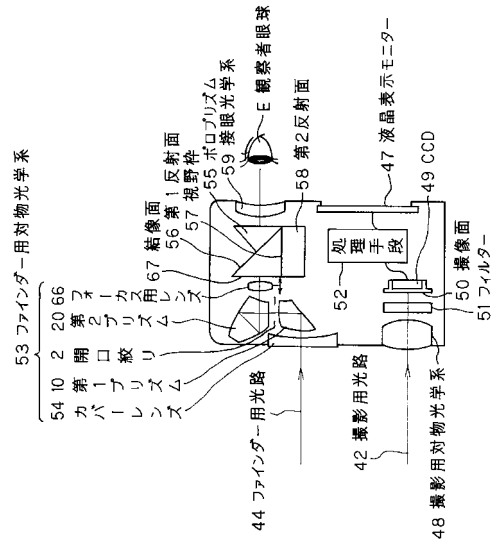
【図11】



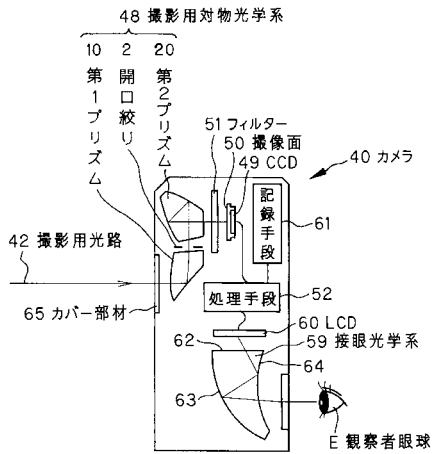
【図12】



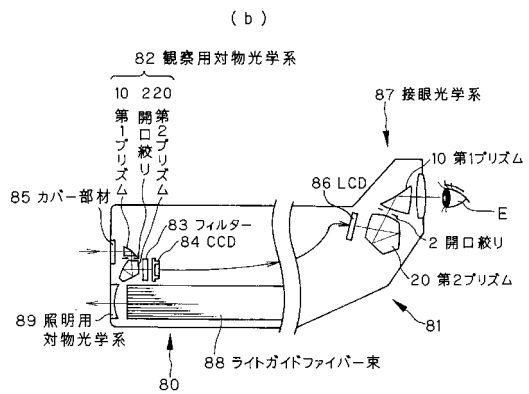
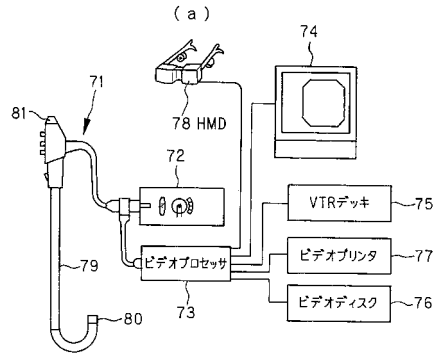
【図13】



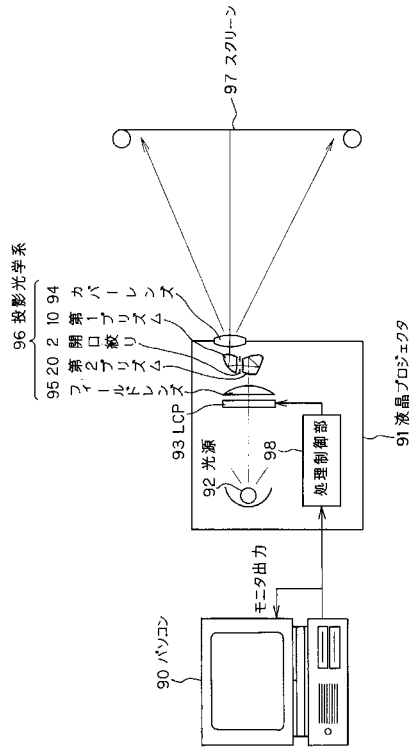
【図14】



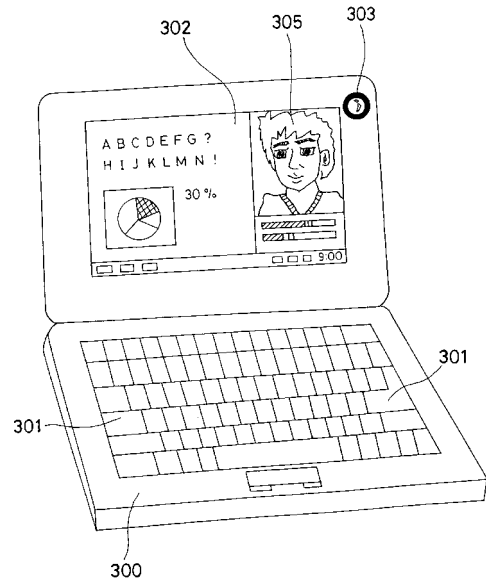
【図15】



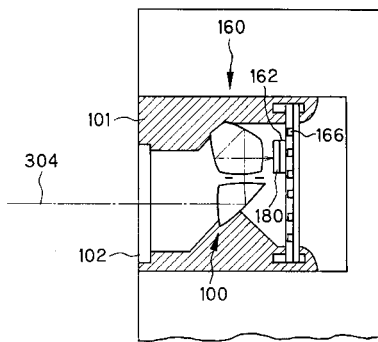
【図16】



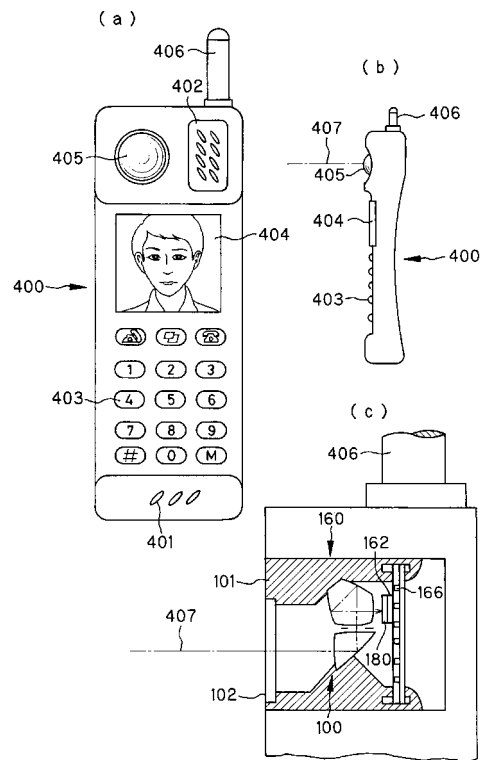
【図17】



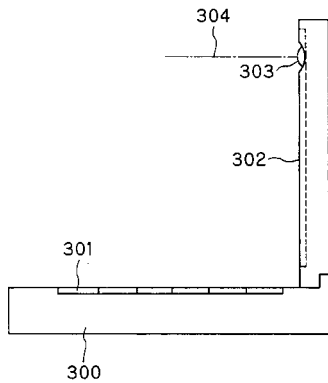
【図18】



【図20】



【図19】



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 永田 哲生

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 森内 正明

(56)参考文献 特開平10-170828(JP,A)

特開平10-197796(JP,A)

特開2000-227555(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00 - 17/08

G02B 21/02 - 21/04

G02B 25/00 - 25/04