

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5921288号
(P5921288)

(45) 発行日 平成28年5月24日(2016.5.24)

(24) 登録日 平成28年4月22日(2016.4.22)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 13/00 (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)G02B 13/00
G02B 13/18

請求項の数 13 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2012-81634 (P2012-81634)
(22) 出願日	平成24年3月30日 (2012.3.30)
(65) 公開番号	特開2013-210549 (P2013-210549A)
(43) 公開日	平成25年10月10日 (2013.10.10)
審査請求日	平成27年3月25日 (2015.3.25)

(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(72) 発明者	石原 圭一郎 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ ヤノン株式会社内
審査官 堀井 康司	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側に向かって凹形状の撮像面と、該撮像面に物体像を形成する撮像光学系と、を備える撮像装置であって、

前記撮像光学系は、互いに接合された複数のレンズと、開口絞りと、を含み、

前記複数のレンズにおける接合面は、球面又は平面であり、

前記複数のレンズにおける最も前記物体側のレンズ面は、物体側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が物体側へ変位した形状の非球面であり、

前記複数のレンズにおける最も像側のレンズ面は、像側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が像側へ変位した形状の非球面であり、

前記撮像光学系の焦点距離を f_{sys} 、前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離を d_{pup} 、前記撮像面の曲率半径を R_{img} 、としたとき、次の式を満足することを特徴とする撮像装置。

$$0.8 \frac{f_{sys}}{d_{pup}} = 1.5$$

$$0.8 |R_{img}| / f_{sys} = 1.5$$

【請求項 2】

物体側に向かって凹形状の撮像面と、該撮像面に物体像を形成する撮像光学系と、を備える撮像装置であって、

前記撮像光学系は、互いに接合された複数のレンズと、開口絞りと、を含み、

前記複数のレンズにおける接合面は、球面又は平面であり、

10

20

前記複数のレンズにおける最も前記物体側のレンズ面は、物体側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が物体側へ変位した形状の非球面であり、

前記複数のレンズにおける最も像側のレンズ面は、像側に向かって凸形状の球面であり

前記撮像光学系の焦点距離を f_{sys} 、前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離を d_{pup} 、前記撮像面の曲率半径を R_{img} 、としたとき、次の式を満足することを特徴とする撮像装置。

$$\frac{0.8}{0.8} \frac{f_{sys}}{|R_{img}| / f_{sys}} = 1.5$$

【請求項 3】

10

物体側に向かって凹形状の撮像面と、該撮像面に物体像を形成する撮像光学系と、を備える撮像装置であって、

前記撮像光学系は、互いに接合された複数のレンズと、開口絞りと、を含み、

前記複数のレンズにおける接合面は、球面又は平面であり、

前記複数のレンズにおける最も前記物体側のレンズ面は、物体側に向かって凸形状の球面であり、

前記複数のレンズにおける最も像側のレンズ面は、像側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が像側へ変位した形状の非球面であり、

前記撮像光学系の焦点距離を f_{sys} 、前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離を d_{pup} 、前記撮像面の曲率半径を R_{img} 、としたとき、次の式を満足することを特徴とする撮像装置。

$$\frac{0.8}{0.8} \frac{f_{sys}}{|R_{img}| / f_{sys}} = 1.5$$

【請求項 4】

前記開口絞りは、前記複数のレンズにおける接合面に設けられていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 5】

次の式を満足することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

$$0.8 \frac{|R_{img}| / d_{pup}}{1.5} = 1.0$$

【請求項 6】

30

前記非球面は、光軸から離れるに従い前記基準面に対する変位量が大きくなる形状であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 7】

前記非球面は、光軸上において正のパワーを有し、光軸から離れるに従い正のパワーが弱くなる形状であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 8】

前記複数のレンズは、最も物体側の第 1 レンズと、最も像側の第 2 レンズと、該第 2 レンズに接合された第 3 レンズと、を含み、前記第 2 レンズと前記第 3 レンズとの接合面は、負のパワーを有することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

。

40

【請求項 9】

前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとは、前記開口絞りを介して互いに接合されていることを特徴とする請求項 8 に記載の撮像装置。

【請求項 10】

前記第 1 レンズと前記第 3 レンズとは、互いに接合されていることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の撮像装置。

【請求項 11】

前記複数のレンズは、前記第 1 レンズに接合された第 4 レンズを含むことを特徴とする請求項 8 から 10 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 12】

50

前記第3レンズと前記第4レンズとは、互いに接合されていることを特徴とする請求項
11に記載の撮像装置。

【請求項13】

前記撮像面を含む光伝送手段と、該光伝送手段からの光を受光する像素子と、を備えることを特徴とする請求項乃至1から12のいずれか1項に記載の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像光学系の像面近傍に湾曲した撮像面を配置した撮像装置に関する。特に、デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ、携帯電話用カメラ、監視カメラ等に好適な撮像装置に関するものである。10

【背景技術】

【0002】

このような湾曲させた撮像面を用いた撮像装置の例がいくつか開示されている。球殻レンズと、該レンズの内側に球状レンズとで同心球を成した球レンズが提案されている（特許文献1）。

この球レンズは、球面収差や色収差を良好に補正することが可能である。また点対称な構成のため広画角化が容易であり、広角かつ高解像度が要求される撮像装置の撮像光学系に適している。

この球レンズにおいて、フレア等の有害光を遮断し良好な結像性能を得るために、球レンズの球中心を通る平面上に開口絞りを有した例が開示されている。20

湾曲した像面を有する安価なカメラでの使用を目的とし、たった2つの単一レンズ部材からなり、それらの間に開口絞りを有し、レンズ部材の一方が両面非球面である光学システムが開示されている（特許文献2）。

この光学システムは少なくとも62.5度の全画角を有し、湾曲したフィルム面上に結像すべく構成された使い捨てカメラ用の撮像装置である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開昭63-081413号公報

30

【特許文献2】特開平8-338944号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1では球レンズを用いて広画角な撮像装置を実現した例が開示されている。主な実施例はF/2.8の撮像光学系であって球面収差や軸上色収差が良好に補正されいる。

一方、F/2.8よりも明るい実施例も開示されている。例えば、F/2.0やF/1.4の撮像光学系が開示されているが、球面収差が大きく発生しており十分な結像性能が得られない。

40

すなわち、特許文献1に示された球レンズでは球面収差が補正しきれず、結像性能が劣化する問題が発生していた。

【0005】

特許文献2の光学システムでは、像面を湾曲させ、2枚の単一レンズ部材を非球面とすることで、広角に渡り結像性能を向上させている。

しかしながら、この光学システムはF/8.0と暗く絞ることによって球面収差の発生量を軽減している。

また、この光学システムでは、最も物体側の面に基準球面から像側へ変位する非球面を付与し、最も像側の面に基準球面から物体側へ変位する非球面を付与していた。

【0006】

50

すなわち、撮像光学系のうち最も外側にあるレンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の内側へ変位した非球面である。

この非球面によって、コマ収差や非点収差を補正するものであった。

そのため、球面収差を良好に補正することができなかった。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑み、球面収差を良好に補正することができ、特に広画角で明るい光学系においても球面収差を良好に補正することができ、高い結像性能を得ることが可能となる撮像装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての撮像装置は、物体側に向かって凹形状の撮像面と、該撮像面に物体像を形成する撮像光学系と、を備える撮像装置であって、前記撮像光学系は、互いに接合された複数のレンズと、開口絞りと、を含み、前記複数のレンズにおける接合面は、球面又は平面であり、前記複数のレンズにおける最も前記物体側のレンズ面は、物体側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が物体側へ変位した形状の非球面であり、前記複数のレンズにおける最も像側のレンズ面は、像側に向かって凸形状の球面を基準面とし、該基準面の周辺部が像側へ変位した形状の非球面であり、前記撮像光学系の焦点距離を f_{sys} 、前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離を d_{pup} 、前記撮像面の曲率半径を R_{img} 、としたとき、次の式を満足することを特徴とする。

$$\begin{aligned} 0.8 & \quad f_{sys} / d_{pup} = 1.5 \\ 0.8 & \quad |R_{img}| / f_{sys} = 1.5 \end{aligned}$$

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、球面収差を良好に補正することができ、特に広画角で明るい光学系においても球面収差を良好に補正することができ、高い結像性能を得ることが可能となる撮像装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施例1における撮像装置の構成例を説明する図。

【図2】(a)は本発明の実施例1における撮像装置の最も物体側のレンズ面の非球面形状を示す図、(b)は最も物体側のレンズ面の非球面量を示す図。

【図3】(a)は本発明の実施例1における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図4】本発明の実施例1における撮像光学系の縦収差図。

【図5】本発明の実施例1における撮像光学系の横収差図。

【図6】本発明の実施例2における撮像装置の構成例を説明する図。

【図7】(a)は本発明の実施例2における撮像装置の最も像側のレンズ面の非球面形状を示す図。(b)は最も像側のレンズ面の非球面量を示す図。

【図8】(a)は本発明の実施例2における撮像装置の最も像側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図。(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図9】本発明の実施例2における撮像光学系の縦収差図。

【図10】本発明の実施例2における撮像光学系の横収差図。

【図11】本発明の実施例3における撮像装置の構成例を説明する図。

【図12】(a)は本発明の実施例3における撮像装置の最も物体側のレンズ面の非球面形状を示す図、(b)は最も物体側のレンズ面の非球面量を示す図。

【図13】(a)は本発明の実施例3における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図14】(a)は本発明の実施例3における撮像装置の最も像側のレンズ面の非球面形状を示す図。(b)は最も像側のレンズ面の非球面量を示す図。

10

20

30

40

50

【図15】(a)は本発明の実施例3における撮像装置の最も像側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図。(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図16】本発明の実施例3における撮像光学系の縦収差図。

【図17】本発明の実施例3における撮像光学系の横収差図。

【図18】本発明の実施例4における撮像装置の構成例を説明する図。

【図19】(a)は本発明の実施例4における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図20】(a)は本発明の実施例4における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図21】(a)は本発明の実施例4における撮像装置の最も像側のレンズ面の非球面形状を示す図。(b)は最も像側のレンズ面の非球面量を示す図。

【図22】(a)は本発明の実施例4における撮像装置の最も像側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図。(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図23】本発明の実施例4における撮像光学系の縦収差図。

【図24】本発明の実施例4における撮像光学系の横収差図。

【図25】本発明の実施例5における撮像装置の構成例を説明する図。

【図26】(a)は本発明の実施例5における撮像装置の最も像側のレンズ面の非球面形状を示す図。(b)は最も像側のレンズ面の非球面量を示す図。

【図27】(a)は本発明の実施例5における撮像装置の最も像側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図。(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図28】本発明の実施例5における撮像光学系の縦収差図。

【図29】本発明の実施例5における撮像光学系の横収差図。

【図30】本発明の実施例6における撮像装置の構成例を説明する図。

【図31】(a)は本発明の実施例6における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図32】(a)は本発明の実施例6における撮像装置の最も物体側のレンズ面における非球面と基準球面の2階微分値を示す図、(b)は非球面成分の2階微分値を示す図。

【図33】本発明の実施例6における撮像光学系の縦収差図。

【図34】本発明の実施例6における撮像光学系の横収差図。

【図35】本発明の実施形態の撮像装置における軸上光束の結像の様子を模式的に示した光路図。

【図36】本発明の実施形態の撮像装置における軸上光束の結像の様子を模式的に示した光路図。

【図37】本発明の実施形態における撮像装置の物体面を有限距離に配置した際の結像関係を示す図。

【図38】本発明の実施形態における撮像装置のピント調整時におけるピント位置と撮像面形状の関係を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の実施形態における撮像装置の構成例について説明する。

まず、その全体構成について説明する。

本実施形態の撮像装置は、複数のレンズを有する撮像光学系を備え、該撮像光学系の像面近傍に、物体側に凹面を向けて湾曲した撮像面を有し、この像面湾曲のうちペッツバール像面分を補正できる構成とされている。

さらに、撮像光学系を点対称な光学系に近づけることによって、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差などの軸外収差の発生を抑え、補正対象収差を球面収差、軸上色収差などの軸上収差のみに限定している。

撮像光学系を点対称な光学系に近づけることは、レンズ形状を制限してしまい光学設計の自由度を狭めることになるが、それ以上に補正すべき収差を軸上収差のみに限定できる利点の方が重要である。

10

20

30

40

50

これにより、広画角に渡って明るく高い結像性能を有する撮像装置を実現することができる。

【0012】

そこで、本発明の撮像装置では、撮像光学系の焦点距離を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定し、撮像面の曲率半径を撮像光学系の焦点距離と略等しく設定することにより、撮像光学系を点対称な光学系に近づけている。

特に、撮像光学系の開口絞りよりも像側の光学系が点対称に近い構成を採ることが重要であり、画角光束に対してコンセントリックな構成としている。

撮像光学系の焦点距離を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定することで、撮像光学系の像側主点と射出瞳とを略同位置に揃えることができる。 10

これは、画角光束の入射高が低くなるので、画角光束を軸上光束と同様に扱うことができ、撮像光学系の開口絞りよりも像側の光学系を点対称に近い構成にすることができる。

具体的には、以下で説明するように(1)式(以下の表で示された丸数字1の条件式)を満足させると良い。

これにより、広画角に渡ってコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差などの軸外収差を良好に補正することできる。

また、撮像面の曲率半径を撮像光学系の焦点距離と略等しく設定することで、像面湾曲を良好に補正することができる。

具体的には、以下で説明するように(2)式(以下の表で示された丸数字2の条件式)を満足させると良い。 20

撮像光学系の構成により非点収差を良好に補正できるので、像面湾曲をペツツバール像面のみに限定でき、撮像面を湾曲させることによってペツツバール像面を補正できるので、軸外収差の全てに対して発生を小さく抑えることができる。すなわち、残りの収差を軸上収差に限定することができる。

【0013】

更に、本発明は、次のように(1)式、(2)式を満足させる構成を採るに当たり、前記撮像光学系における最も物体側のレンズ面または最も像側のレンズ面の少なくとも1面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位する非球面量を付与した非球面とすることで、 30

広画角で明るい光学系においても球面収差を良好に補正することができるよう構成されている。

すなわち、複数のレンズを有する撮像光学系と、該撮像光学系の像面近傍に、物体側に凹面を向けて湾曲した撮像面を有する撮像装置において、

前記撮像光学系は、開口絞りを有し、

前記撮像光学系における最も物体側のレンズ面または最も像側のレンズ面の少なくとも1面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位する非球面量を付与した非球面とし、

前記撮像光学系の焦点距離と前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離が略等しく設定されていると共に、前記撮像面の曲率半径が前記撮像光学系の射出瞳から前記撮像面までの距離と略等しく設定されている。 40

その際、撮像光学系の焦点距離を f_{sys} 、撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離を d_{pup} 、撮像面の曲率半径を R_{img} としたとき、以下の(1)式及び(2)式を満足せると構成することができる。

$$0.8 \quad f_{sys} / d_{pup} = 1.5 \dots (1)$$

$$0.8 \quad |R_{img}| / f_{sys} = 1.5 \dots (2)$$

なお、本発明の撮像装置における撮像面は、湾曲させた電子撮像素子、もしくは、入射面を湾曲させた光伝送手段のことである。 50

湾曲させた電子撮像素子とは、例えば、形状可変な基板上に電子撮像素子を形成したものや、小さな平面型電子撮像素子をアレイ状に配置して凹面形状としたものが考えられる。光伝送手段とは、例えば、光ファイバーを束ねてプレート状に構成したイメージプレートが考えられ、一端を凹面形状に、他端を平面に加工したものである。

そして、光伝送手段の入射面を物体側に凹面向て湾曲させた面を撮像面とし、平面の射出面を電子撮像素子へと接続して撮像ユニットとする構成を探ることができる。

【0014】

次に、撮像光学系の最も物体側のレンズ面、もしくは最も像側のレンズ面の少なくとも1面を、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とした構成の作用について説明する。

10

レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面は、主に球面収差補正に作用する。

撮像光学系は全体で正のパワーを有しており一般的に球面収差はアンダーとなる。

これは物点から像点までの光路長の観点で言えば、軸上光線に対して入射高の高い位置の光線の光路長が短いことが要因である。

また、波面の観点から言えば、光軸上に対して入射高の高い位置の光束は位相が進んでいることが要因である。

【0015】

そこで、撮像光学系の最も物体側のレンズ面、もしくは最も像側のレンズ面の少なくとも1面を、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面で構成している。

20

撮像光学系の最も物体側のレンズ面、もしくは最も像側のレンズ面は、撮像光学系に含まれるレンズ面のうち最も外側にあるレンズ面であり、レンズ面の内側は光学ガラス、レンズ面の外側は空気で満たされている。

一般的に光学ガラスの屈折率は $N_d = 1.45 \sim 2.15$ であり、空気の屈折率 $N_d = 1.0$ よりも高い屈折率を有する。

このとき、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面によって、レンズ面の周辺部を通過する光線の光路の一部区間が空気から光学ガラスに置き換わり、実質的に光路長を長くすることができる。または波面の位相を遅らせることができる。これにより、球面収差を良好に補正することができる。

30

また、パワーの観点から言うと、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面によって、レンズ面周辺部のパワーを負の方向にシフトさせた非球面を構成することができる。

基準球面が正パワーを有する場合は、光軸上よりも周辺部の正のパワーを弱めた非球面を構成することができる。

これにより、入射高の高い位置の光線が受けるパワーを、主光線が受けるパワーに対して相対的に弱めることができ、アンダーの状態の球面収差を良好に補正することができる。

【0016】

図35は本発明の撮像装置における軸上光束の結像の様子を模式的に示した光路図であり、図36は画角光束の結像の様子を模式的に示した光路図である。

40

図35及び図36では、撮像光学系SYSによって物体面OBJ上の物点PNT_{OBJ}からの画角光束BEMを像面IMG上の像点PNT_{IMG}に結像させた様子を模式的に示している。

図35に示したように物点PNT_{OBJ}が撮像光学系SYSの光軸AXI上にある場合を軸上光束、図36に示したように物点PNT_{OBJ}が撮像光学系SYSの光軸AXI以外にある場合を画角光束と定義する。

軸上光束及び画角光束は開口絞りSTOPによって光束幅を制限されており、開口絞りの開口部中心STO_{CNT}を通過する光線を主光線RAY_{PRI}、開口部上端STO_{UP}を通過する光線を上光線RAY_{UP}、開口部下端STO_{LOW}を通過する光線を下光線RAY_{LOW}と定義する。

50

【0017】

図35において、軸上光束BEM_{ON}は最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}で屈折し、開口絞りSTOで光束幅を制限され、最も像側のレンズ面R_{MSTIMG}で屈折して撮像面IMG上に結像している。

最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}上の各光線の到達位置は、主光線RAY_{PR_I}が光軸AXI上、上光線RAY_{UP}が上側の周辺部に近く、下光線RAY_{LOW}が下側の周辺部に近くであり、最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}は撮像光学系SYSの中で光束幅が最も広い面である。

【0018】

球面収差は、入射高hが高い面（光束幅が広い面）のパワーの影響を受け易い特徴がある。3次収差係数によれば、球面収差は入射高hの4乗に比例して、そのレンズ面のパワーの影響を強く受ける。10

そのため、最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}を非球面で構成すれば、非球面の作用を効果的に発揮することができる。

また、光軸よりも周辺部のパワーを弱めた非球面を用いることにより、入射高が高い上光線RAY_{UP}や下光線RAY_{LOW}におけるパワーを光軸上よりも弱めることができるのと、アンダーとなった球面収差を良好に補正することができる。

また、球面収差への影響力が大きいため付与する球面収差量を小さく抑えることができる。。

【0019】

図36に示したように物点PNT_{OB_J}が撮像光学系SYSの光軸よりも下側にある場合、画角光束BEMでは、上光線RAY_{UP}の光路長（物点PNT_{OB_J}から開口絞りの開口部上端STO_{UP}）が主光線RAY_{PR_I}の光路長（物点PNT_{OB_J}から開口絞りの開口部中心STO_{CNT}）よりも長くなる。

そのため、主光線RAY_{PR_I}よりも上光線RAY_{UP}側の光束では、主光線RAY_{PR_I}に沿った方向における入射高が軸上光束の入射高よりも高くなり、大きな球面収差が発生してしまうことが問題となる。これは画角が広角であればあるほど問題が顕著となる。

【0020】

一方、画角光束BEMの上光線RAY_{UP}が最も像側のレンズ面R_{MSTIMG}上に到達する点は、主光線RAY_{PR_I}の到達点よりも最も像側のレンズ面R_{MSTIMG}の周辺部に近い位置である。30

そこで、最も像側のレンズ面R_{MSTIMG}を、光軸よりも周辺部のパワーを弱めた非球面として構成すると、主光線RAY_{PR_I}よりも上光線RAY_{UP}側の光束に弱いパワーを付与することが可能なレンズ面を構成できる。

これによって、画角光束の主光線RAY_{PR_I}よりも上光線RAY_{UP}側の光束において、大きく発生した球面収差を良好に補正することができる。

また、画角光束の主光線RAY_{PR_I}よりも下光線RAY_{LOW}側の光束においても球面収差は発生する。

【0021】

画角光束BEMの下光線RAY_{LOW}が最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}上に到達する点は、主光線RAY_{PR_I}の到達点よりも最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}の周辺部に近い位置である。40

そこで、最も物体側のレンズ面R_{MSTOB_J}を、光軸よりも周辺部のパワーを弱めた非球面として構成すると、主光線RAY_{PR_I}よりも下光線RAY_{LOW}側の光束に弱いパワーを付与することが可能なレンズ面を構成できる。

これによって、画角光束の主光線RAY_{PR_I}よりも下光線RAY_{LOW}側の光束において、発生した球面収差を良好に補正することができる。

さらに、最も物体側のレンズ面と最も像側のレンズ面を共に光軸よりも周辺部のパワーを弱めた非球面で構成すれば、軸上光束、画角光束の主光線よりも上光線側の光束と画角光束の主光線よりも下光線側の光束に最適な構成にできる。50

【0022】

光学系のF値が明るい撮像光学系においては、球面レンズだけでは球面収差を補正することが難しくなるが、本発明の効果を用いれば球面収差を良好に補正できる。

特にF/1.4以上の格段に明るい撮像光学系を用いた撮像装置においては、本発明の効果によって球面収差を補正することにより、大幅に結像性能を改善することができる。

貼り合せ面を非球面にすると2つの面を同一の非球面形状に加工することが難しいデメリットがあり、撮像光学系の最も物体側のレンズ面、もしくは最も像側のレンズ面を非球面とすれば、製造が容易となるメリットがある。

【0023】

撮像光学系は点対称に近い光学系としているので、軸上光束と各軸外光束とは同様な収差が残存しており、共通の位相差分布形状によって収差を良好に補正することができる。すなわち、点対称に近い撮像光学系の開口絞り面近傍に波面制御素子を配置すれば、F/2.0を超える明るい光学系においても、広域な画角に渡って収差を良好に補正することができる。更には、F/1.4を超える格段に明るい光学系においても、同様な効果を発揮できる。

また、明るいF値の撮像光学系は被写界深度が狭くなるので、コンパクトカメラでありながら、ピント面以外の背景をぼかした撮影が可能となる。

さらに、明るいF値の撮像光学系は、F値の2乗に比例して露光時間を短く設定することができるため、手ブレや被写体ブレ、ショットノイズを格段に軽減でき、高品位な画像を提供することができる撮像装置を提供することができる。

【0024】

次に、周辺光量落ちを改善する作用について説明する。

一般的な撮像光学系では、画角(入射角)に対して \cos^4 乗則に従って周辺光量比が低下することが知られている。

そのため、撮影された画像の周辺部がとても暗くなり均一な照度の画像が得られない。

近年のデジタルカメラやデジタルビデオカメラでは、周辺部の感度を大幅に持ち上げて周辺光量落ちをデジタル的に補正するものもあるが、コントラストは低いままノイズが増加してしまうので、画像の中心部と比べて画質がかなり劣化する。

周辺光量落ちは、このような深刻な問題を引き起こす。この傾向は広画角な撮像光学系ほど顕著となり、広画角な撮像光学系を実現するために必要な要素の1つとなっている。

周辺光量比の \cos^4 乗則の内訳は、

(a) 画角に応じて、見かけの焦点距離が長くなることで \cos^2 の2乗分、

(b) 画角に応じて見かけの開口径が狭まることで \cos^1 の1乗分、

(c) 画角に応じて撮像面への入射角がきつくなることで \cos^1 の1乗分、である。

【0025】

本発明の撮像装置における撮像光学系では、撮像面の曲率半径を撮像光学系の焦点距離と略等しく設定しており、全画角において見かけの焦点距離を略同一にすることができる。

これにより、周辺光量比を \cos^2 の2乗分を改善することができる。

(2)式を満足することにより、相応の効果を得ることができる。

すなわち、周辺光量比が \cos^4 の4乗から \cos^2 の2乗へ向上させることができる。広画角な撮像光学系の周辺光量比を大幅に改善することができるので、広画角に渡ってコントラストが高く、ノイズが少なく高画質な画像を撮影することができる撮像装置を提供することができる。

【0026】

次に、上記した(1)式および(2)式の意義を更に詳しく説明する。

(1)式は、撮像光学系の焦点距離 f_{sys} と撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離 d_{pup} とを略等しく設定する条件であり、撮像光学系の開口絞りよりも像側の光学系を点対称に近い構成にすることができる。

(1)式を満たせば、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差などの軸外収差を良好

10

20

30

40

50

に補正することができる。

(1) 式の上限を超えると、撮像光学系の開口絞りよりも像側の光学系の点対称性が確保できず、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差などの軸外収差が発生して問題となる。

(1) 式の下限を超えると、撮像光学系の開口絞りよりも像側の光学系の点対称性が確保できず、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差などの軸外収差が発生して問題となる。

【0027】

(2) 式は、撮像面の曲率半径を R_{img} 、撮像光学系の焦点距離 f_{sys} と略等しく設定する条件であり、像面湾曲と非点収差を良好に補正するための条件である。 10

(2) 式を満たせば、撮像装置の像面形状をペツツバール像面に近づけることができるので、広画角に渡って非点収差を発生させることなく像面湾曲を補正することができる。

(2) 式の上限を超えると、撮像面の周辺部でペツツバール像面からの乖離が大きくなり、像面湾曲が発生して結像性能が劣化する。

(2) 式の下限を超えると、撮像面の周辺部でペツツバール像面からの乖離が大きくなり、像面湾曲が発生して結像性能が劣化する。

F 値が明るい撮像光学系の場合、焦点深度が狭いので像面湾曲の許容範囲が狭く、像面湾曲は高精度に補正する必要がある。

【0028】

なお、撮像面が、球面ではなく、非球面または階段状になっている場合には、撮像面の曲率半径を以下のように定義する。 20

まず、撮像面の形状が非球面の場合、基準球面の曲率半径を「撮像面の曲率半径」とする。

非球面は 式で表すことができ、 式の光軸上における曲率 c の逆数が曲率半径である。

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + \dots \quad \dots a$$

【0029】

ここで、 z は非球面形状の光軸方向のサゲ量 (mm) 、 c は光軸上における曲率 (1/mm) 、 r は半径方向の光軸からの距離 (mm) であり、 A , B , C , D はそれぞれ 4 次、 6 次、 8 次、 10 次の係数である。 30

撮像面が非球面形状であっても、光軸上の曲率半径を計測することによって基準曲面の曲率半径を求めることができる。

次に、撮像面の形状が階段状の場合について説明する。

小さな電子撮像素子をアレイ化して構成した場合や、光ファイバーを束ねて湾曲した撮像面を構成した場合、厳密に言うと撮像面が階段状になる。

その場合は、電子撮像素子の 1 画素もしくは光ファイバーの 1 本の中心点を結んだ曲面を撮像面とみなすことができる。 40

その曲面を上記 式で最小二乗法によりフィッティングした結果から基準曲面の曲率半径を算出すれば、撮像面の曲率半径求めることができる。

【0030】

また、本発明の撮像装置は、撮像光学系と撮像面の間隔を変更することによってピント位置を調整する。

図 37 (a) および図 37 (b) に物体面を有限距離に配置した際の結像関係を示す。

図 37 (a) において、 O B J は物体面、 S Y S は撮像光学系、 I M G は像面であり、撮像光学系 S Y S は物体面 O B J 上のある物点を像面 I M G 上の像点へ結像させている。

図 37 (a) に示したように、撮像光学系 S Y S は、撮像光学系 S Y S から等距離にある物点をペツツバール像面上へ結像させてるので、このときの物体面 O B J は湾曲した形状と 50

なる。

しかしながら、撮像光学系では物体面O B Jは平面であることが好ましい。

【0031】

図37(b)に示したように、光軸上以外にある物点は破線で示した湾曲状の物体面ではなく、実線で示した平面の物体面とする。すると、図37(b)の矢印Aで示したように、物点は撮像光学系SY Sから離れる方向へ移動する。また、像点も矢印Bで示したように、破線で示したペツツバール像面から実線で示した像面IMGへと撮像光学系SY Sに近づく方向へ移動する。

この像面側の移動量を、光束の進行方向におけるデフォーカス量として図37(b)の撮像光学系のモデルにおいて一例を図38のグラフに示した。

10

【0032】

図38には、ある例におけるピント調整時のピント位置と撮像面形状の関係を示している。

この例では、各パラメーターを、撮像光学系の焦点距離を $f_{sys} = 12.0$ (mm)、撮像面の曲率半径を $R_{img} = 12.0$ (mm)、撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離を $d_{pup} = 12.0$ (mm)、物体距離を $S = -300$ (mm)、画角を $= 60$ (deg)としている。

前述の通り、物体面を平面とした場合、各画角光束のピント位置がペツツバール像面から撮像光学系側にデフォーカスする。

光束の進行方向におけるデフォーカス量を丸数字1のピント位置のグラフに表示している。

20

また、撮像面の曲率半径は撮像光学系の焦点距離と等しく設定しており、物体距離が無限遠におけるペツツバール像面形状に相当する。

物体距離が無限遠で丸数字1のピント位置と丸数字2の撮像面形状が一致するのは当然だが、図38は物体距離を $S = -300$ (mm)まで近づけた場合でも丸数字1のピント位置と丸数字2の撮像面形状がぴったり一致することを示している。

これは物体距離が無限遠から $S = -300$ (mm)までのどの距離においても、平面の物体面を像面湾曲を発生させることなく、ピント調整できることを意味している。

また、画角 $-60 \sim +60$ (deg)の広範囲において上記が実現できる。

撮像光学系の焦点距離を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定し、撮像面の曲率半径を撮像光学系の焦点距離と略等しく設定すれば、撮像面の形状を変化させることなく、撮像光学系と撮像面の距離を変更するだけでピント調整が可能となる。

30

そのために、(1)式および(2)式を満足させることが重要である。

本発明の撮像装置のように格段に明るいF値の撮像光学系は焦点深度が非常に狭いので、高精度なピント調整を簡単に実現できることは撮像装置にとって極めて重要である。

【実施例】

【0033】

以下に、本発明の実施例について説明する。

[実施例1]

実施例1として、本発明を適用した撮像装置の構成例について説明する。

40

本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図1に示すように、3枚のレンズG1, G2, G3と開口絞りSTOとで構成されている。

物体側から順に、物体側に凸面を向けた平凸レンズである第1レンズG1、像側に凸面を向けた平凸レンズである第2レンズG2、そして像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第3レンズG3が配置されている。

第1レンズG1の射出面は第2レンズG2の入射面と貼り合せており、その貼り合せ面の非有効部に遮光部材を配置して開口絞りSTOを構成している。

【0034】

図1中のIMGは撮像面である。

図1に示したように、本実施例における撮像装置では、球状に形成した光伝送手段OTM

50

の入射面を撮像面 I M G としており、撮像面の湾曲形状を撮像光学系の像面湾曲に沿わせており、撮像面 I M G の全域に渡って良好な結像性能を実現している。

本実施例における撮像装置の光伝送手段 O T M は数ミクロンピッチの光ファイバーを束ねて構成したイメージファイバーであり、撮像面に形成された像を電子撮像素子 I C D へ伝送する役割を担う。

光伝送手段 O T M の射出面は平面に形成しており、電子撮像素子 I C D に密着させて接続することで電子撮像素子 I C D に像を伝送している。

このように、本実施例の撮像装置では、光伝送手段 O T M と電子撮像素子 I C D とで撮像ユニット I C U を構成している。

【 0 0 3 5 】

表 1 に本実施例の撮像装置の構成を示す。

面番号 1 は第 1 レンズ G 1 の入射面、面番号 2 は第 1 レンズ G 1 の射出面と第 2 レンズ G 2 との貼り合せ面、面番号 3 は第 2 レンズ G 2 の射出面と第 3 レンズ G 3 の入射面との貼り合せ面、面番号 4 は第 3 レンズ G 3 の射出面である。

面番号 2 の第 1 レンズ G 1 の射出面と第 2 レンズ G 2 との貼り合せ面の非有効部に遮光部材を配置して開口絞り S T O を構成している。

面番号 5 は撮像面 I M G であり、光伝送手段 O T M の入射面である。そして、表記しない光伝送手段 O T M の射出面が電子撮像素子 I C D と接続し撮像ユニット I C U を構成している。

表中の R は曲率半径 (m m) 、 d は面間隔 (m m) 、 N d は d 線の屈折率、 νd はアッペ数を示す。尚、「 * 印」がある面は非球面である。

10

20

30

表 1 : 構成表

面番号	R	d	Nd	νd
1	3.1146 *	3.0661	1.87801	38.5
2 (STO)	平面	1.1017	1.87801	38.5
3	-1.0868	2.0614	2.00520	21.0
4	-3.2821	0.4524		
5 (IMG)	-3.6698			

【 0 0 3 6 】

本実施例の撮像装置における非球面は光軸を中心とした回転対称非球面としており、(3) 式の多項式で表現される。

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + \dots \quad \dots (3)$$

40

【 0 0 3 7 】

ここで、 z は非球面形状の光軸方向のサゲ量 (m m) 、 c は光軸上における曲率 (1 / m m) 、 r は半径方向の光軸からの距離 (m m) であり、 A , B , C , D はそれぞれ 4 次、 6 次、 8 次、 10 次の係数である。

本実施例の撮像装置における第 1 面の非球面係数を表 2 に示す。

表2：非球面係数（面番号1）		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-3.58921E-03
4次の係数	A	-5.87301E-05
6次の係数	B	5.16920E-06
8次の係数	C	0.00000E+00
10次の係数	D	0.00000E+00

10

【0038】

(3)式の非球面多項式を半径方向の光軸からの距離 r で1階微分したときの1階部分値は(4)式で求められる。

$$\frac{\partial}{\partial r} z = \frac{cr}{\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + 4Ar^3 + 6Br^5 + 8Cr^7 + 10Dr^9 + \dots \quad \dots (4)$$

【0039】

20

この1階微分値はレンズ面の傾斜を表現している。

また、(3)式の非球面多項式を半径方向の光軸からの距離 r で2階微分したときの2階部分値は(5)式で求められる。

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} z = \frac{c}{[1-(1+k)c^2r^2]^{\frac{3}{2}}} + 12Ar^2 + 30Br^4 + 56Cr^6 + 90Dr^8 + \dots \quad \dots (5)$$

【0040】

30

この2階微分値はレンズ面の傾斜の微分値、すなわち半径方向における曲率を表しており、パワー ϕ_r と(6)式の関係がある。

$$\phi_r = (N' - N) \cdot \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} z \right) \quad \dots (6)$$

【0041】

ここで、 N はレンズ面の物体側にある媒質の屈折率、 N' はレンズ面の像側にある媒質の屈折率である。

本実施例の撮像装置では撮像光学系のレンズ面のうち最も物体側のレンズ面のみを非球面としている。

40

図2(a)には最も物体側のレンズ面の非球面形状を示し、図2(b)には最も物体側のレンズ面の非球面量を示す。また、図3(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図3(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

図2(a)に示したように、本実施例の最も物体側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が正の方向に大きくなるレンズ面であり、物体側に凸面を向けたレンズ面である。

尚、サグ量とは光軸方向への変位量のことであり、図2(a)では光軸上に対してレンズ面の他の位置がどれほど光軸方向へ変位したかを示してある。また、基準球面は曲率半径 $R = 3.1146$ (mm) の物体側に凸面を向けた球面である。

50

【0042】

図2(b)には非球面量を示している。非球面量とは非球面が基準曲面から光軸方向に変位したサグ量 Z_{ASP} のことであり、(3)式で示される非球面多項式のサグ量から球面のサグ量を引いたものである。

具体的には(7)式で表現される。

$$\Delta Z_{ASP} = \left(\frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} \right) - \left(\frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - c^2 r^2}} \right) \quad \dots (7)$$

10

【0043】

図2(b)に示したように、本実施例では、非球面量は負の方向に変位させており、基準球面から物体側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えている。

図3(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示している。

非球面の2階微分値、基準球面の2階微分値は共に光軸から離れるに従って徐々に正の方向に大きくしている。

20

また、図3(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。これは非球面の2階微分値から基準球面の2階微分値を引いたものである。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に負の方向に大きくしている。

このように、2階微分値が正の基準球面に、2階微分値が負の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。

【0044】

(6)式には2階微分値とパワーの関係が示されている。

撮像光学系の最も物体側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は空気なので $N = 1.0000$ 、レンズ面の像側にある媒質は光学ガラスで $N' = 1.87801$ であり、 $(N' - N)$ が正の値を持つ。

30

ゆえに、最も物体側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

【0045】

図4に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図5に横収差図を示す。

図4に示したように、球面収差、軸上色収差、非点収差、像面湾曲、及び色の球面収差を良好に補正している。ここでは、色の球面収差を基準波長(例えばd線)の球面収差量に対する各波長(例えば、C線、F線、g線など)の球面収差量の差と定義する。

特に、球面収差は、入射高の低い光線から高い光線に掛けての全域で像面上に集光させることができてあり、非常に良好に補正ができている。

40

また、軸上色収差、ならびに色の球面収差も非常に良好に補正できており、高い結像性能が得られている。

図5に示したように、各画角光束においても良好な性能が得られており、コマ収差、像面湾曲、倍率色収差が良好に補正されている。

【0046】

表3に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

表3			
撮像光学系の焦点距離	f_{sys}	3.600	(mm)
F 値	F/#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L_{sys}	6.229	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d_{pup}	3.503	(mm)

10

【0047】

本実施例の撮像装置は、F 値が F / 1 . 2 と明るく、画角が 120 . 0 (deg) と超広画角ながら、全長が 6 . 229 (mm) とコンパクトに抑えしており、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。

表 4 に、本実施例の撮像装置における、(1) 式および(2) 式の値を示す。

表4		
条件式①	f_{sys} / d_{pup}	1.03
条件式②	$ R_{img} / f_{sys}$	1.02
条件式⑧	$ R_{img} / d_{pup}$	1.05

20

【0048】

(1) 式の値は 1 . 03 であり、(1) 式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

(2) 式の値は 1 . 02 であり、(2) 式の範囲を満足している。これにより、120 . 0 (deg) の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

30

(1) 式と(2) 式を満足させることで、撮像面の形状を変化させることなく、撮像光学系と撮像面の距離を変更するだけで、無限遠から至近距離までのピント調整が可能となる。

また、本発明の撮像装置では、撮像面の曲率半径を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定している。

【0049】

次に示した(8) 式は、撮像面の曲率半径を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定する条件である。

$$0 . 8 \quad |R_{img}| / d_{pup} \quad 1 . 5 \quad \dots (8)$$

40

(8) 式を満足すれば、撮像光学系をより点対称に近い構成にできる。

本実施例の撮像装置では撮像光学系と撮像面との距離を変更することにより、ピント調整を行う。その際、(8) 式を満たすことにより、無限遠から至近距離までの広範囲な被物体距離において、ピント調整による像面湾曲を非常に小さく抑えることができ、高解像度な撮影を可能とする。

本実施例の撮像装置は、(8) 式の値が 1 . 05 であり、(8) 式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正している。さらに、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲

50

において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

【0050】

次に、周辺光量落ちを改善する作用について説明する。

本実施例の撮像装置における撮像光学系では、撮像面の曲率半径を撮像光学系の焦点距離と略等しく設定しており、全画角において焦点距離を略同一にすることができる。

これにより、周辺光量比を \cos の 2乗分を改善することができる。

本実施例の最大半画角 = 60.0 (deg) であり、 $\cos^4 = 0.0625$ のところ $\cos^2 = 0.25$ にでき、周辺光量を 4 倍に改善できる。

(2) 式を満足することにより、相応の効果を得ることができる。

さらに、本実施例の撮像装置における撮像光学系では、撮像面の曲率半径を撮像光学系の射出瞳から撮像面までの距離と略等しく設定しており、撮像面への入射角を略垂直に設定することができる。 10

これにより、周辺光量比を \cos の 1乗分を改善することができる。

【0051】

本実施例の最大半画角 = 60.0 (deg) であり、 $\cos^4 = 0.0625$ のところ $\cos^3 = 0.125$ にでき、周辺光量を 2 倍に改善できる。

(6) 式を満足することにより、相応の効果を得ることができます。

(2) 式と(6)式を同時に満たすことにより、周辺光量比を \cos の 3乗分を改善することができ、周辺光量を従来の 8 倍に増加させることができます。

これにより、広画角な撮像光学系の周辺光量比を大幅に改善することができるので、広画角に渡ってコントラストが高く、ノイズが少なく高画質な画像を撮影することができる撮像装置を提供することができる。 20

【0052】

以上のように、本発明の効果を用いれば、F / 2.0 よりも明るい F 値でも広画角に渡って良好なる結像性能を有した撮像装置をコンパクトな構成で実現できる。

また、周辺光量落ちを大幅に改善することができ、広画角に渡って非常に明るい撮像光学系を実現することができる。

これにより、露光時間を大幅に短縮できるので、手ブレ、被写体ブレ、ノイズを良好に低減した高品位な画像を撮影することが可能な撮像装置を提供することができる。

また、コンパクトな構成ながら、デフォーカスした被写体に大きなボケを付与することができる撮像光学系を提供することができる。 30

さらに、上記の高性能な撮像光学系を、簡便な構成ながら無限遠から至近距離に至る広範囲において、結像性能を殆ど劣化させることなくピント調整を可能とする。

【0053】

[実施例 2]

実施例 2 として、実施例 1 と異なる形態の撮像装置の構成例について説明する。

本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図 6 に示すように、3 枚のレンズ G1, G2, G3 と開口絞り STO で構成している。

物体側から順に、物体側に凸面を向けた平凸レンズである第 1 レンズ G1、像側に凸面を向けた平凸レンズである第 2 レンズ G2、そして像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第 3 レンズ G3 を配置している。 40

図 6 中の IMG は撮像面である。

図 6 に示したように、本実施例における撮像装置の撮像面 IMG は、球状に形成した光伝送手段 OTM の入射面であり、撮像光学系の像面湾曲に沿わせているため撮像面 IMG の全域に渡って良好な結像を実現している。

本実施例における撮像装置の光伝送手段 OTM は数ミクロンピッチの光ファイバーを束ねて構成したイメージファイバーであり、撮像光学系の像面に形成された像を電子撮像素子 ICD へ伝送する役割を担う。

光伝送手段 OTM の射出面は平面に形成しており、電子撮像素子 ICD に密着させて接続することで撮像ユニット ICU を構成している。 50

【0054】

表5に本実施例の撮像装置の構成を示す。

面番号1は第1レンズG1の入射面である。面番号2はG1の射出面と第2レンズG2の入射面との貼り合せ面であり、その非有効部に遮光部材を配置して開口絞りSTOを構成している。

面番号3は第2レンズG2の射出面と第3レンズG3の入射面との貼り合せ面である。面番号4は第3レンズG3の射出面であり、(3)式で示した多項式で表現される回転対称非球面形状を有している。

面番号5は撮像面IMGであり、光伝送手段OTMの入射面である。そして、表記しない光伝送手段OTMの射出面が電子撮像素子ICDと接続している。

表中のRは曲率半径(mm)、dは面間隔(mm)、Ndはd線の屈折率、nはアッペ数を示す。尚、「*印」がある面は非球面である。

10

20

表5：構成表

面番号	R	d	Nd	n d
1	3.1614	3.1553	1.89070	39.0
2(STO)	平面	1.0594	1.89070	39.0
3	-1.0655	2.2219	2.00170	21.8
4	-2.9424 *	0.3520		
5(IMG)	-3.6656			

【0055】

本実施例の撮像装置における面番号4の非球面係数を表6に示す。

表6：非球面係数(面番号4)

パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-1.66411E+00
4次の係数	A	5.83546E-03
6次の係数	B	-3.55248E-03
8次の係数	C	4.46561E-04
10次の係数	D	-2.33467E-05

30

【0056】

本実施例の撮像装置では、最も像側のレンズ面を非球面で構成している。

図7(a)には最も像側のレンズ面の非球面形状を示し、図7(b)には最も像側のレンズ面の非球面量を示す。また、図8(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図8(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

40

図7(a)に示したように、本実施例の最も像側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサゲ量が負の方向に大きくなるレンズ面であり、像側に凸面を向けたレンズ面である。

このレンズ面の基準球面は曲率半径R = -2.9424 (mm)の像側に凸面を向けた球面である。

図7(b)には非球面量を示している。

図7(b)に示したように、本実施例では、非球面量は正の方向に変位させており、基準球面から像側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きく

50

し、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えていた。

図8(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示している。

非球面の2階微分値、基準球面の2階微分値は共に負の値を有している。

図8(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に正の方向に大きくしている。

このように、2階微分値が負の基準球面に、2階微分値が正の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。

(6)式には2階微分値とパワーの関係が示されている。

撮像光学系の最も像側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は光学ガラスでN = 2.00170、レンズ面の像側にある媒質は空気なのでN' = 1.0000であり、(N' - N)が負の値を持つ。10

ゆえに、最も像側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

特に、最も像側のレンズ面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とした場合は、広画角域の画角光束の球面収差を良好に補正することができる。

【0057】

図9に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図10に横収差図を示す。図9に示したように、球面収差、軸上色収差、非点収差、像面湾曲、及び色の球面収差を良好に補正している。特に、球面収差は、入射高の低い光線から高い光線に掛けての全域で像面上に集光させることができてあり、非常に良好に補正ができている。20

また、軸上色収差、ならびに色の球面収差も非常に良好に補正できており、高い結像性能が得られている。

図10に示したように、各画角光束においても良好な性能が得られており、コマ収差、像面湾曲、倍率色収差が良好に補正されている。

表7に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

20

表7			
撮像光学系の焦点距離	f _{sys}	3.600	(mm)
F値	F#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L _{sys}	6.437	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d _{pup}	4.062	(mm)

30

【0058】

本実施例の撮像装置は、F値がF / 1.2と明るく、画角が120.0(deg)と超広画角ながら、全長が6.437(mm)とコンパクトに抑えており、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。40

40

表8		
条件式①	f _{sys} / d _{pup}	0.89
条件式②	R _{img} / f _{sys}	1.02
条件式③	R _{img} / d _{pup}	0.90

【0059】

表8に、本実施例の撮像装置における、(1)式と(2)式の値を示す。

50

(1)式の値は0.89であり、(1)式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

(2)式の値は1.02であり、(2)式の範囲を満足している。これにより、120.0(ddeg)の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

(1)式と(2)式を満足させることで、撮像面の形状を変化させることなく、撮像光学系と撮像面の距離を変更するだけで、無限遠から至近距離までのピント調整が可能となる。

(8)式の値が0.90であり、(8)式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正している。10

さらに、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

【0060】

[実施例3]

実施例3として、上記各実施例と異なる形態の撮像装置の構成例について説明する。

本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図11に示すように、3枚のレンズG1, G2, G3と開口絞りSTOPで構成している。

物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズである第1レンズG1、像側に凸面を向けた平凸レンズである第2レンズG2、そして像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第3レンズG3が配置されている。20

図11中のIMGは撮像面である。

図11に示したように、本実施例における撮像装置の撮像面IMGは、球状に形成した光伝送手段OTMの入射面であり、撮像光学系の像面湾曲に沿わせているため撮像面IMGの全域に渡って良好な結像を実現している。

本実施例における撮像装置の光伝送手段OTMは数ミクロンピッチの光ファイバーを束ねて構成したイメージファイバーであり、撮像光学系の像面に形成された像を電子撮像素子ICDへ伝送する役割を担う。

光伝送手段OTMの射出面は平面に形成しており、電子撮像素子ICDに密着させて接続することで撮像ユニットICUを構成している。30

【0061】

表9に本実施例の撮像装置の構成を示す。

面番号1は第1レンズG1の入射面であり、(3)式で示した多項式で表現される回転対称非球面形状を有している。

面番号2はG1の射出面と第2レンズG2の入射面との貼り合せ面であり、その非有効部に遮光部材を配置して開口絞りSTOPを構成している。面番号3は第2レンズG2の射出面と第3レンズG3の入射面との貼り合せ面、面番号4は第3レンズG3の射出面であり、(3)式で示した多項式で表現される回転対称非球面形状を有している。

面番号5は撮像面IMGであり、光伝送手段OTMの入射面である。そして、表記しない光伝送手段OTMの射出面が電子撮像素子ICDと接続している。40

表中のRは曲率半径(mm)、dは面間隔(mm)、Ndはd線の屈折率、dはアッペ数を示す。尚、「*印」がある面は非球面である。

表9：構成表				
面番号	R	d	Nd	v d
1	3.2643 *	3.2974	1.88202	37.2
2 (STO)	平面	1.0627	1.88202	37.2
3	-1.0664	2.0109	2.00270	19.3
4	-2.9174 *	0.5118		
5 (IMG)	-3.5746			

10

【0062】

本実施例の撮像装置における面番号1の非球面係数を表10Aに、面番号4の非球面係数を表10Bに示す。

表10A：非球面係数（面番号1）		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-2.67630E-03
4次の係数	A	-1.66783E-04
6次の係数	B	5.41266E-05
8次の係数	C	-7.27371E-06
10次の係数	D	3.44022E-07

20

表10B：非球面係数（面番号4）		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-9.09146E-01
4次の係数	A	-1.21019E-04
6次の係数	B	-1.78470E-03
8次の係数	C	2.94879E-04
10次の係数	D	-2.53496E-05

30

【0063】

本実施例の撮像装置では、最も物体側のレンズ面と、最も像側のレンズ面を非球面で構成している。

40

図12(a)には最も物体側のレンズ面の非球面形状を示し、図12(b)には最も物体側のレンズ面の非球面量を示し、図13(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図13(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

図12(a)に示したように、本実施例の最も物体側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が正の方向に大きくなるレンズ面であり、物体側に凸面を向けたレンズ面である。

このレンズ面の基準球面は曲率半径R=3.2643(mm)の物体側に凸面を向けた球面である。

図12(b)には非球面量を示している。

50

図12(b)に示したように、本実施例では、非球面量は負の方向に変位させており、基準球面から物体側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えている。

図13(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示している。

非球面の2階微分値、基準球面の2階微分値は共に正の値を有している。

図13(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に負の方向に大きくしている。

このように、2階微分値が正の基準球面に、2階微分値が負の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。 10

(6)式には2階微分値とパワーの関係が示されている。

撮像光学系の最も物体側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は空気なので $N = 1.0000$ 、レンズ面の像側にある媒質は光学ガラスで $N' = 1.88202$ であり、 $(N' - N)$ が正の値を持つ。

ゆえに、最も物体側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

特に、最も物体側のレンズ面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とした場合は、軸上光束ならびに軸上近傍の画角光束の球面収差を良好に補正することができる。 20

【0064】

図14(a)には最も像側のレンズ面の非球面形状を示し、図14(b)には最も像側のレンズ面の非球面量を示す。図15(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図15(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

図14(a)に示したように、本実施例の最も像側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が負の方向に大きくなるレンズ面であり、像側に凸面を向けたレンズ面である。

このレンズ面の基準球面は曲率半径 $R = -2.9174$ (mm)の像側に凸面を向けた球面である。 30

図14(b)には非球面量を示している。

図14(b)に示したように、本実施例では、非球面量は正の方向に変位させており、基準球面から像側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えている。

図15(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示している。

非球面の2階微分値、基準球面の2階微分値は共に負の値を有している。

図15(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に正の方向に大きくしている。

このように、2階微分値が負の基準球面に、2階微分値が正の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。 40

【0065】

撮像光学系の最も像側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は光学ガラスで $N = 2.00270$ 、レンズ面の像側にある媒質は空気なので $N = 1.0000$ であり、 $(N' - N)$ が負の値を持つ。

ゆえに、最も像側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

特に、最も像側のレンズ面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外 50

側へ変位した非球面量を付与した非球面とした場合は、広画角域の画角光束の球面収差を良好に補正することができる。

【0066】

図16に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図17に横収差図を示す。

図16に示したように、球面収差、軸上色収差、非点収差、像面湾曲、及び色の球面収差を良好に補正している。特に、入射高の低い光線から高い光線に掛けての全域で像面上に集光させることができてあり、球面収差を非常に良く補正できている。

また、軸上色収差、ならびに色の球面収差も非常に良好に補正できており、高い結像性能が得られている。

【0067】

10

図17に示したように、各画角光束においても良好な性能が得られており、コマ収差、像面湾曲、倍率色収差が良好に補正されている。

本実施例のように、最も物体側のレンズ面と最も像側のレンズ面の両方を、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とすることにより、広画角に渡って高精度に球面収差を補正することが可能となる。

表11に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

表11

撮像光学系の焦点距離	f_{sys}	3.600	(mm)
F値	F#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L_{sys}	6.371	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d_{pup}	3.760	(mm)

20

【0068】

本実施例の撮像装置は、F値がF / 1.2と明るく、画角が120.0 (deg)と超広画角ながら、全長が6.371 (mm)とコンパクトに抑えおり、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。表12に、本実施例の撮像装置における、(1)式および(2)式の値を示す。

30

表12

条件式①	f_{sys} / d_{pup}	0.96
条件式②	$ R_{img} / f_{sys}$	0.99
条件式⑧	$ R_{img} / d_{pup}$	0.95

40

【0069】

(1)式の値は0.96であり、(1)式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

【0070】

(2)式の値は0.99であり、(2)式の範囲を満足している。これにより、120.0 (deg)の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

(8)式の値が0.95であり、(8)式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正している。

さらに、本実施例の撮像装置では撮像光学系と撮像面との距離を変更することにより、ビ

50

ント調整を行う。

(8)式を満足しているため、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

【0071】

[実施例4]

実施例4として、上記各実施例と異なる形態の撮像装置の構成例について説明する。

本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図18に示すように、4枚のレンズG1, G2, G3, G4と開口絞りSTOで構成されている。

物体側から順に、

物体側に凸面を向けたメニスカスレンズである第1レンズG1、

10

物体側に凸面を向けた平凸レンズである第2レンズG2、

像側に凸面を向けた平凸レンズである第3レンズG3、

像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第4レンズG4、が配置されている。

図18中のIMGは撮像面である。

図18に示したように、本実施例における撮像装置の撮像面IMGは、形状可変な基板上に作製した電子撮像素子ICDを球状にしたものである。

【0072】

表13に本実施例の撮像装置の構成を示す。

面番号1は第1レンズG1の入射面であり、(3)式で示した多項式で表現される回転対称非球面形状を有している。

20

面番号2はG1の射出面と第2レンズG2の入射面との貼り合せ面である。面番号3は第2レンズG2の射出面と第3レンズG3の入射面との貼り合せ面であり、その非有効部に遮光部材を配置して開口絞りSTOを構成している。

面番号4は第3レンズG3の射出面と第4レンズG4の入射面との貼り合せ面である。面番号5は第3レンズG3の射出面であり、(3)式で示した多項式で表現される回転対称非球面形状を有している。

面番号6は撮像面IMGであり、湾曲させた電子撮像素子の入射面である。

【0073】

表中のRは曲率半径(mm)、dは面間隔(mm)、Ndはd線の屈折率、nはアッペ数を示す。尚、「*印」がある面は非球面である。

30

表13：構成表

面番号	R	d	Nd	n d
1	3.0198 *	1.8417	2.00060	25.5
2	1.1768	1.1768	1.87801	38.5
3(STO)	平面	1.1759	1.87801	38.5
4	-1.1759	1.8491	2.00060	25.5
5	-2.9057 *	0.5912		
6(IMG)	-3.6217			

40

【0074】

本実施例の撮像装置における面番号1の非球面係数を表14Aに、面番号5の非球面係数を表14Bに示す。

表 1 4 A : 非球面係数 (面番号 1)		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-1.53715E-03
4次の係数	A	-1.50377E-04
6次の係数	B	6.34809E-05
8次の係数	C	-1.00126E-05
10次の係数	D	5.64238E-07

10

表 1 4 B : 非球面係数 (面番号 5)		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-1.07977E-01
4次の係数	A	2.66867E-03
6次の係数	B	-6.82422E-04
8次の係数	C	1.11698E-04
10次の係数	D	-7.68079E-06

20

【 0 0 7 5 】

本実施例の撮像装置では、最も物体側のレンズ面と、最も像側のレンズ面を非球面で構成している。

図 19 (a) には最も物体側のレンズ面の非球面形状を示し、図 19 (b) には最も物体側のレンズ面の非球面量を示す。図 20 (a) には非球面と基準球面の 2 階微分値を示し、図 20 (b) には非球面成分の 2 階微分値を示す。

図 19 (a) に示したように、本実施例の最も物体側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が正の方向に大きくなるレンズ面であり、物体側に凸面を向けたレンズ面である。

このレンズ面の基準球面は曲率半径 $R = 3 . 0 1 9 8$ (mm) の物体側に凸面を向けた球面である。

図 19 (b) には非球面量を示している。

図 19 (b) に示したように、本実施例では、非球面量は負の方向に変位させており、基準球面から物体側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えている。

30

【 0 0 7 6 】

図 20 (a) には、非球面の 2 階微分値を実線で、基準球面の 2 階微分値を破線で示している。

非球面の 2 階微分値、基準球面の 2 階微分値は共に正の値を有している。

図 20 (b) には、非球面成分の 2 階微分値を示している。

非球面成分の 2 階微分値は光軸から離れるに従って徐々に負の方向に大きくなっている。

このように、2 階微分値が正の基準球面に、2 階微分値が負の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における 2 階微分値を、基準球面よりも弱めている。

(6) 式に 2 階微分値とパワーの関係が示されている。

撮像光学系の最も物体側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は空気なので $N =$

40

50

1.0000、レンズ面の像側にある媒質は光学ガラスで $N' = 2.00060$ であり、 $(N' - N)$ が正の値を持つ。

ゆえに、最も物体側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

特に、最も物体側のレンズ面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とした場合は、軸上光束ならびに軸上近傍の画角光束の球面収差を良好に補正することができる。

【0077】

図21(a)に最も像側のレンズ面の非球面形状を示し、図21(b)には最も像側のレンズ面の非球面量を示す。10

また、図22(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図22(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

【0078】

図21(a)に示したように、本実施例の最も像側のレンズ面は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が負の方向に大きくなるレンズ面であり、像側に凸面を向けたレンズ面である。

このレンズ面の基準球面は曲率半径 $R = -2.9057$ (mm)の像側に凸面を向けた球面である。

、図21(b)には非球面量を示している。

、図21(b)に示したように、本実施例では、非球面量は正の方向に変位させており、基準球面から像側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面としている。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えていた。

図22(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示している。

非球面の2階微分値、基準球面の2階微分値は共に負の値を有している。

図22(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に正の方向に大きくしている。

このように、2階微分値が負の基準球面に、2階微分値が正の非球面成分を与えることにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。30

【0079】

撮像光学系の最も像側のレンズ面では、レンズ面の物体側にある媒質は光学ガラスで $N = 2.00060$ 、レンズ面の像側にある媒質は空気なので $N = 1.0000$ であり、 $(N' - N)$ が負の値を持つ。

ゆえに、最も像側のレンズ面は、光軸上は正のパワーを有し、光軸から離れるに従って徐々に正のパワーが弱くなるレンズ面形状としている。

これにより、球面収差を良好に補正することができる。

特に、最も像側のレンズ面を、該レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面とした場合は、広画角域の画角光束の球面収差を良好に補正することができる。40

【0080】

図23に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図24に横収差図を示す。

図23に示したように、球面収差、軸上色収差、非点収差、像面湾曲、及び色の球面収差をかなり良好に補正している。特に、入射高の低い光線から高い光線に掛けての全域で像面上に集光させることができており、球面収差を非常に良く補正できている。

また、軸上色収差、ならびに色の球面収差も非常に良好に補正できており、高い結像性能が得られている。

図24に示したように、各画角光束においても良好な性能が得られており、コマ収差、像面湾曲、倍率色収差をかなり良好に補正している。50

本実施例のように、最も物体側のレンズ面と最も像側のレンズ面の両方を、レンズ面の周辺部において基準球面から撮像光学系の外側へ変位した非球面量を付与した非球面することにより、広画角に渡って高精度に球面収差を補正することが可能となる。

表15に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

表15			
撮像光学系の焦点距離	f_{sys}	3.600	(mm)
F値	F#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L_{sys}	6.044	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d_{pup}	3.616	(mm)

10

【0081】

本実施例の撮像装置は、F値がF / 1.2と明るく、画角が120.0 (deg)と超広画角ながら、全長が6.044 (mm)とコンパクトに抑えており、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。

表16に、本実施例の撮像装置における、(1)式と(2)式の値を示す。

20

表16		
条件式①	f_{sys} / d_{pup}	0.96
条件式②	$ R_{img} / f_{sys}$	1.01
条件式⑧	$ R_{img} / d_{pup}$	0.97

【0082】

(1)式の値は0.96であり、(1)式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

30

(2)式の値は1.01であり、(2)式の範囲を満足している。これにより、120.0 (deg)の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

(8)式の値が0.97であり、(8)式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、倍率色収差を良好に補正している。

さらに、本実施例の撮像装置では撮像光学系と撮像面との距離を変更することにより、ピント調整を行う。(8)式を満足しているため、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

40

【0083】

[実施例5]

実施例5として、上記各実施例と異なる形態の撮像装置の構成例について説明する。

本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図25に示すように、4枚のレンズG1、G2、G3、G4と開口絞りSTOで構成している。

物体側から順に、

物体側に凸面を向けたメニスカスレンズである第1レンズG1、

物体側に凸面を向けた平凸レンズである第2レンズG2、

像側に凸面を向けた平凸レンズである第3レンズG3、

像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第4レンズG4、が配置されている。

50

また、実施例 1 と同様に光伝送手段 O T M と平面の電子撮像素子 I C D から構成した撮像ユニット I C U を用いている。

本実施例では、撮像光学系のうち最も像側のレンズ面のみを非球面としている。

【 0 0 8 4 】

表 1 7 に本実施例の撮像装置の構成を示す。

表中の R は曲率半径 (mm) 、 d は面間隔 (mm) 、 N d は d 線の屈折率、 νd はアッベ数を示す。尚、「*印」がある面は非球面である。

10

表 1 7 : 構成表				
面番号	R	d	Nd	νd
1	3.1612	2.0028	1.92286	21.3
2	1.1490	1.1490	1.89800	34.0
3 (STO)	平面	1.0577	1.89800	34.0
4	-1.0843	2.1748	2.00060	25.5
5	-3.0745 *	0.3873		
6 (IMG)	-3.6937			

20

【 0 0 8 5 】

本実施例の撮像装置における面番号 5 の非球面係数を表 1 8 に示す。

表 1 8 : 非球面係数 (面番号 5)		
パラメータ	記号	値
コーニック定数	K	-2.76669E-01
4次の係数	A	7.28040E-03
6次の係数	B	-1.87130E-03
8次の係数	C	2.18939E-04
10次の係数	D	-1.07514E-05

30

【 0 0 8 6 】

図 2 6 (a) には最も像側のレンズ面の非球面形状を示し、図 2 6 (b) には非球面量を示す。図 2 7 (a) には非球面と基準球面の 2 階微分値を示し、図 2 7 (b) には非球面成分の 2 階微分値を示す。

図 2 6 (a) に示したように、本実施例の最も像側のレンズ面 (面番号 5) は光軸から周辺部へ向かうにつれてサゲ量が負の方向に大きくなるレンズ面であり、像側に凸面を向けたレンズ面である。このレンズ面は曲率半径 $R = -3.0745$ (mm) の球面を基準球面としている。

また、図 2 6 (b) に示したように、非球面量は正の方向に変位させており、基準球面から像側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面で構成している。そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えていた。

図 2 7 (a) には、非球面の 2 階微分値を実線で、基準球面の 2 階微分値を破線で示しており、非球面の 2 階微分値、ならびに基準球面の 2 階微分値は共に負の値を有している。

図 2 7 (b) には、非球面成分の 2 階微分値を示している。

40

50

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に正の方向に大きくしている。このように、基準球面の2階部分値が負で、非球面成分の2階微分値が正となる非球面を付与することにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。

すなわち、基準球面の正のパワーとし、非球面成分を負のパワーとしてレンズ面の光軸から周辺部へ向かうに連れてレンズ面のパワーを徐々に弱めている。

これにより、画角光束における球面収差を良好に補正することができる、広画角に渡って良好な結像性能を有する撮像装置を提供することができる。

特に、撮像光学系のうち最も物体側のレンズ面において、最大画角の画角光束の周辺光線（上光線）が光軸よりも下側を通過するような広画角な撮像光学系においては、本発明の効果が十分に發揮される。

【0087】

表19に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

表19			
撮像光学系の焦点距離	f_{sys}	3.600	(mm)
F値	F#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L_{sys}	6.384	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d_{pup}	3.620	(mm)

10

20

【0088】

本実施例の撮像装置は、F値がF / 1.2と明るく、画角が120.0 (deg)と超広画角ながら、全長が6.384 (mm)とコンパクトに抑えており、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。

表20に、本実施例の撮像装置における、(1)式と(2)式の値を示す。

30

表20		
条件式①	f_{sys} / d_{pup}	0.95
条件式②	$ R_{img} / f_{sys}$	1.03
条件式⑧	$ R_{img} / d_{pup}$	0.97

【0089】

(1)式の値は0.95であり、(1)式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

(2)式の値は1.03であり、(2)式の範囲を満足している。これにより、120.0 (deg)の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

(8)式の値が0.97であり、(8)式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正している。

図28に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図29に横収差図を示す。

さらに、本実施例の撮像装置では撮像光学系と撮像面との距離を変更することにより、ピント調整を行う。

40

50

(8) 式を満足しているため、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

【0090】

[実施例6]

実施例6として、上記各実施例と異なる形態の撮像装置の構成例について説明する。本実施例の撮像装置に用いる撮像光学系は、図30に示すように、4枚のレンズG1、G2、G3、G4と開口絞りSTOで構成している。

物体側から順に、

物体側に凸面を向けたメニスカスレンズである第1レンズG1、

物体側に凸面を向けた平凸レンズである第2レンズG2、

像側に凸面を向けた平凸レンズである第3レンズG3、

像側に凸面を向けたメニスカスレンズである第4レンズG4、が配置されている。

また、実施例1と同様に光伝送手段OTMと平面の電子撮像素子ICDから構成した撮像ユニットICUを用いている。

本実施例では、撮像光学系のうち最も物体側のレンズ面のみを非球面としている。

【0091】

表21に本実施例の撮像装置の構成を示す。

表中のRは曲率半径(mm)、dは面間隔(mm)、Ndはd線の屈折率、vdはアッペ数を示す。尚、「*印」がある面は非球面である。

10

20

表21：構成表

面番号	R	d	Nd	vd
1	3.1360 *	1.9841	1.92286	21.3
2	1.1395	1.1395	1.89800	34.0
3(STO)	平面	1.0379	1.89800	34.0
4	-1.0959	2.1193	2.00060	25.5
5	-3.4770	0.4145		
6(IMG)	-3.7474			

30

【0092】

本実施例の撮像装置における面番号5の非球面係数を表22に示す。

表22：非球面係数(面番号1)

パラメータ	記号	値
コニック定数	K	-6.25796E-03
4次の係数	A	-1.74593E-04
6次の係数	B	5.66974E-05
8次の係数	C	-8.24266E-06
10次の係数	D	4.34369E-07

40

【0093】

図31(a)には最も物体側のレンズ面の非球面形状を示し、図31(b)には非球面量を示す。図32(a)には非球面と基準球面の2階微分値を示し、図32(b)には非球面成分の2階微分値を示す。

図31(a)に示したように、本実施例の最も物体側のレンズ面(面番号1)は光軸から周辺部へ向かうにつれてサグ量が正の方向に大きくなるレンズ面であり、物体側に凸面を向けたレンズ面である。このレンズ面は曲率半径R=3.1360(mm)の球面を基準

50

球面としている。

図31(b)に示したように、非球面量は負の方向に変位させており、基準球面から物体側、つまり撮像光学系の外側へ変位させた非球面で構成している。

そして、光軸から離れるに従って撮像光学系の外側へ変位させた非球面量を徐々に大きくし、レンズ面の周辺部で最大の非球面量を与えていた。

【0094】

図32(a)には、非球面の2階微分値を実線で、基準球面の2階微分値を破線で示しており、非球面の2階微分値、ならびに基準球面の2階微分値は共に正の値を有している。

【0095】

図32(b)には、非球面成分の2階微分値を示している。

非球面成分の2階微分値は光軸から離れるに従って徐々に負の方向に大きくしている。

このように、基準球面の2階部分値が正で、非球面成分の2階微分値が負となる非球面を付与することにより、レンズ面の周辺部における2階微分値を、基準球面よりも弱めている。

すなわち、基準球面の正のパワーとし、非球面成分を負のパワーとしてレンズ面の光軸から周辺部へ向かうに連れてレンズ面のパワーを徐々に弱めている。

これにより、軸上光束における球面収差を良好に補正することができる、良好な結像性能を有する撮像装置を提供することができる。

【0096】

表23に本実施例の撮像装置の仕様を示す。

10

表23			
撮像光学系の焦点距離	f_sys	3.600	(mm)
F値	F#	1.20	
画角	2ω	120.0	(deg)
全長	L_sys	6.281	(mm)
射出瞳から像面までの距離	d_pup	3.572	(mm)

20

30

【0097】

本実施例の撮像装置は、F値がF / 1.2と明るく、画角が120.0(deg)と超広画角ながら、全長が6.281(mm)とコンパクトに抑えており、明るさ、高解像度、超広画角、コンパクトを同時に実現した撮像装置の例である。

表24に、本実施例の撮像装置における、(1)式と(2)式の値を示す。

表24		
条件式①	f_sys / d_pup	1.09
条件式②	R_img / f_sys	1.04
条件式③	R_img / d_pup	1.13

40

【0098】

(1)式の値は1.09であり、(1)式の範囲を満足している。これにより、撮像光学系の開口絞りから像側の光学系を点対称に近い構成にでき、コマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正することができる。

(2)式の値は1.04であり、(2)式の範囲を満足している。これにより、120.

50

0 (deg) の広画角に渡って像面湾曲と非点収差を良好に補正することができる。

(8) 式の値が 1.13 であり、(8)式の範囲を満足している。

これにより、撮像光学系を点対称に近い構成としコマ収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を良好に補正している。

図 3 3 に本実施例の撮像光学系における縦収差図を、図 3 4 に横収差図を示す。

さらに、本実施例の撮像装置では撮像光学系と撮像面との距離を変更することにより、ピント調整を行う。(8)式を満足しているため、無限遠から至近距離までの広範囲のピント調整範囲において高解像度を維持したまま、ピント調整を可能としている。

以上で説明した各実施例を含む本発明の構成は、デジタルカメラやデジタルビデオカメラ、携帯電話用カメラ、監視カメラなど、撮像装置を用いる製品に利用することが可能である。
10

【符号の説明】

【0099】

G1、G2、G3：レンズ

S T O : 開口絞り

A s p h : 非球面

I M G : 撮像面

O T M : 光伝送手段

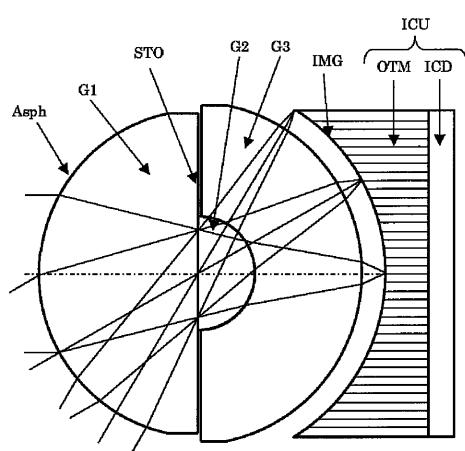
I C D : 電子撮像素子

I C U : 撮像ユニット

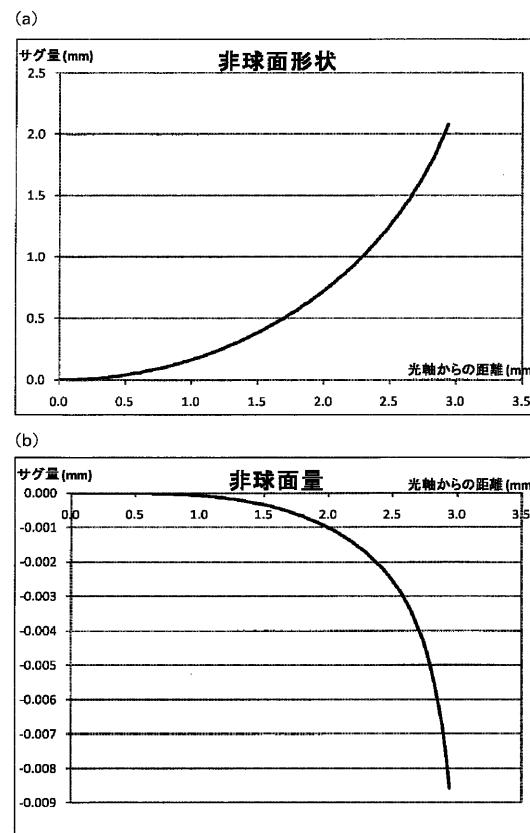
10

20

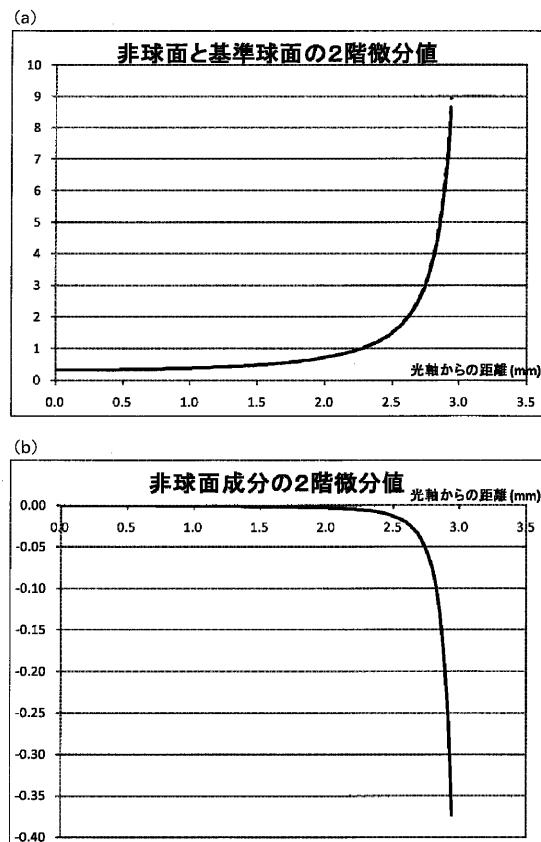
【図 1】



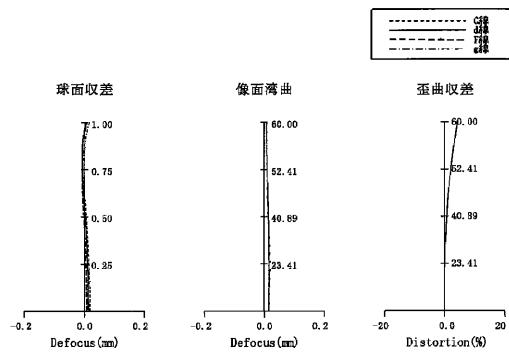
【図 2】



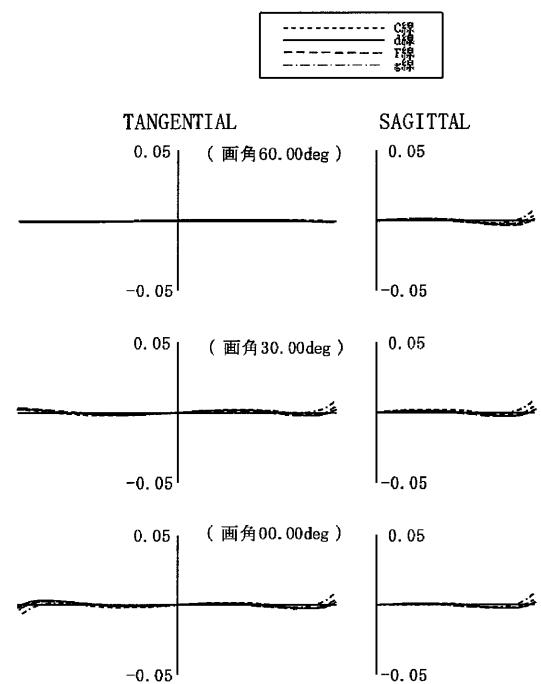
【図3】



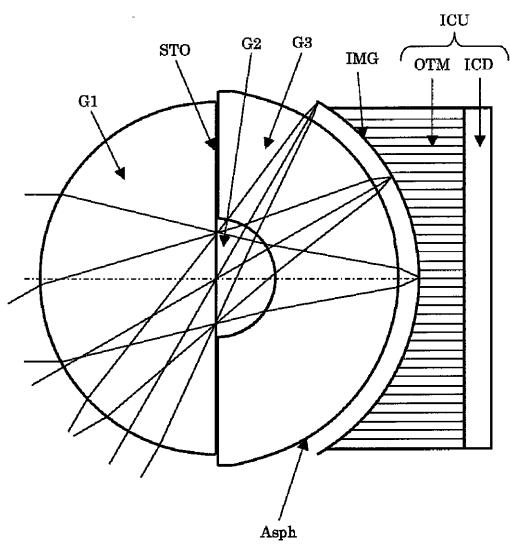
【図4】



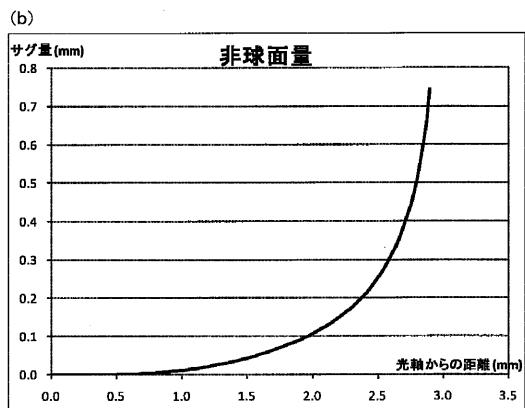
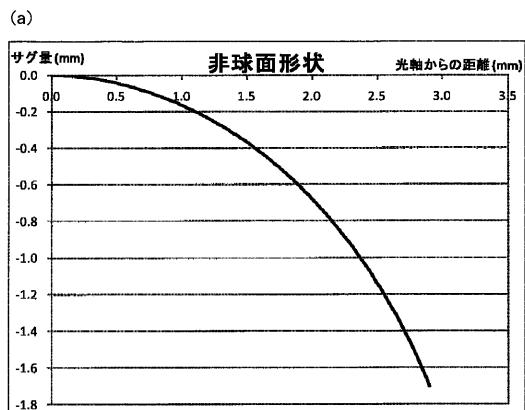
【図5】



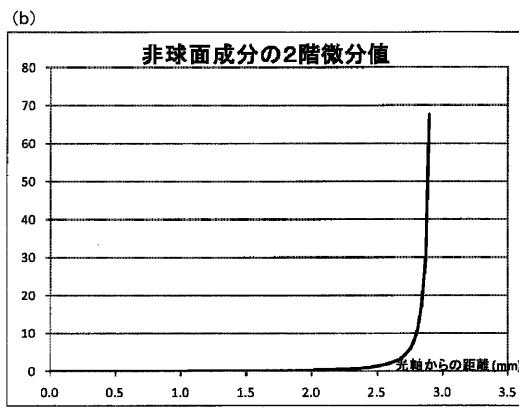
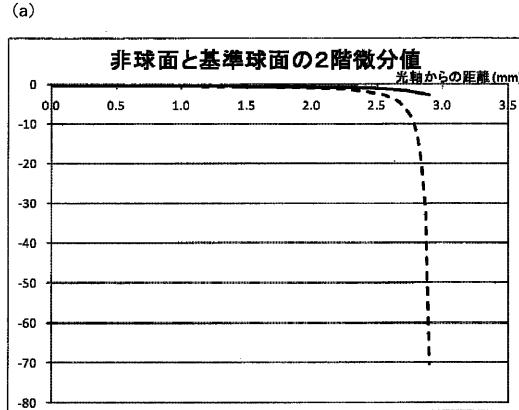
【図6】



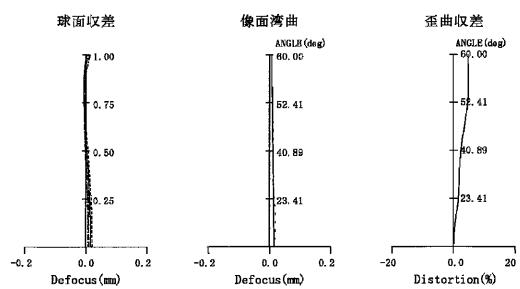
【図7】



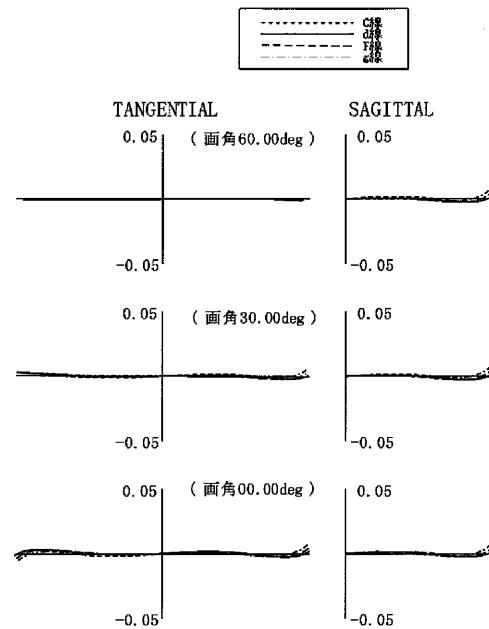
【図8】



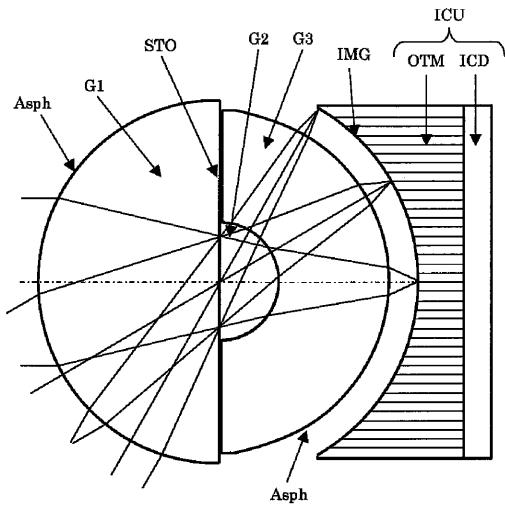
【図9】



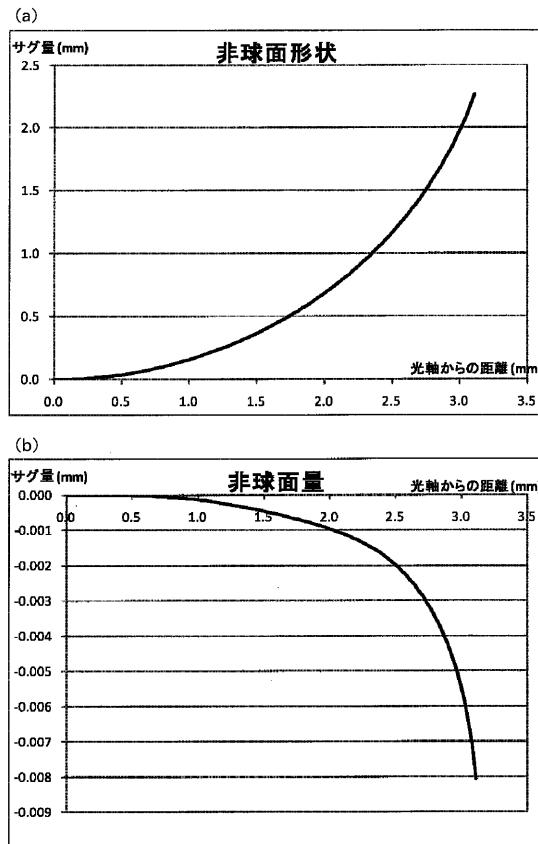
【図10】



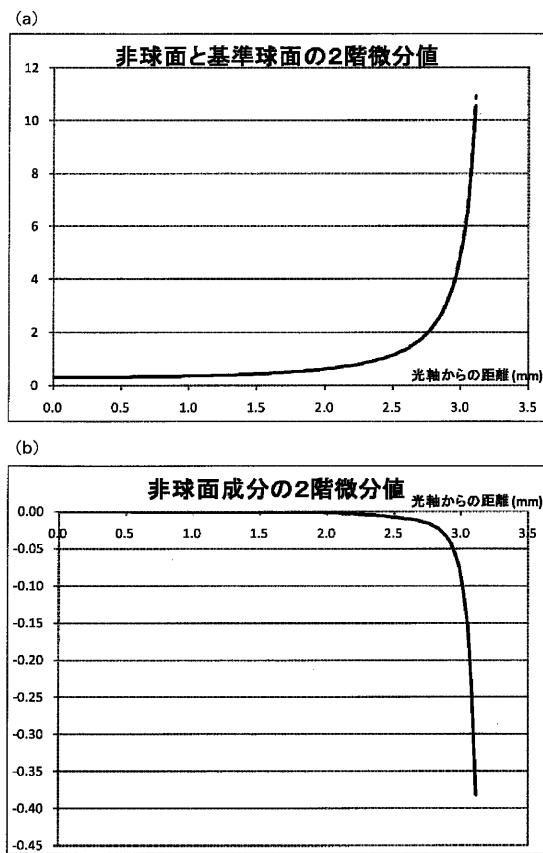
【図11】



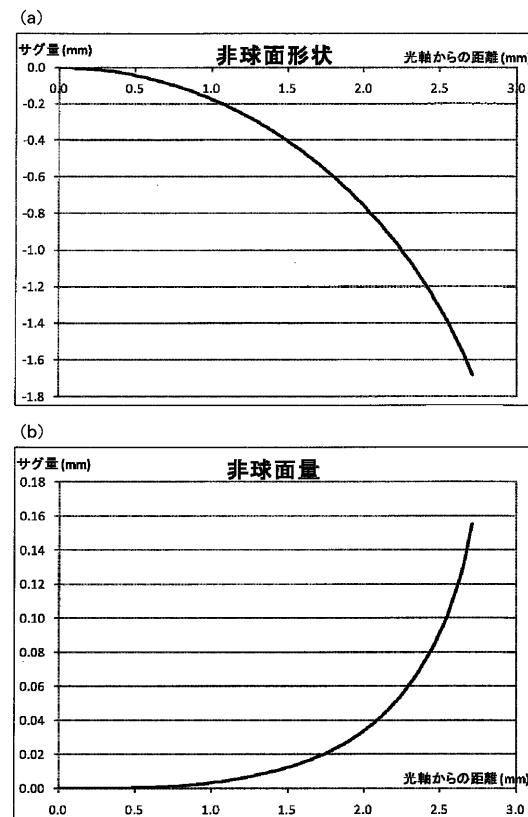
【図12】



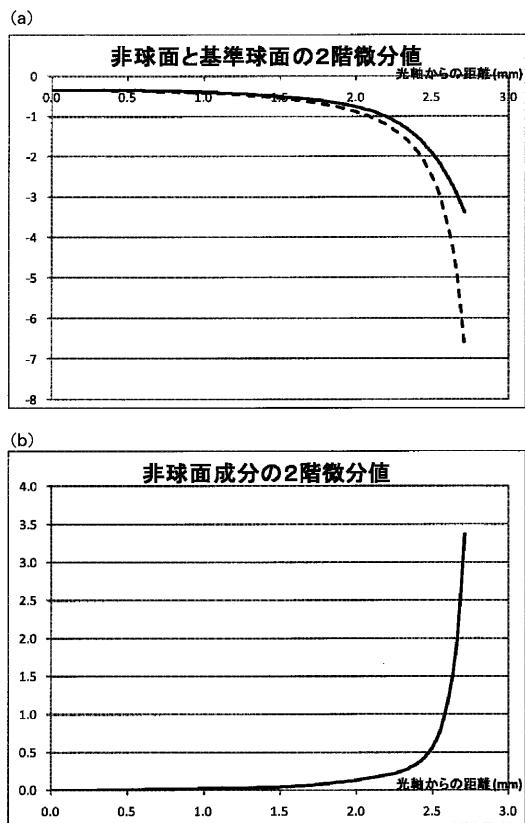
【図13】



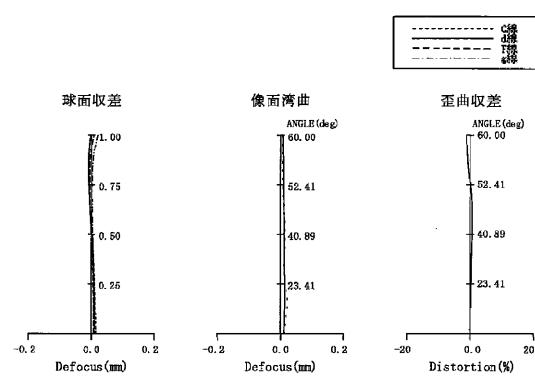
【図14】



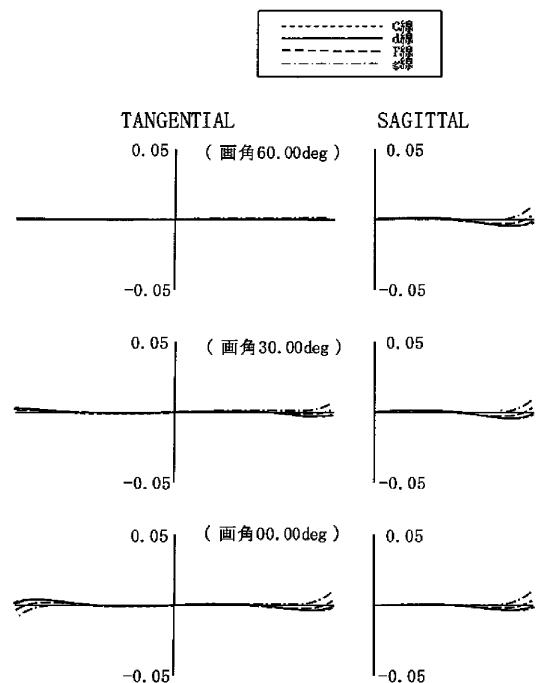
【図15】



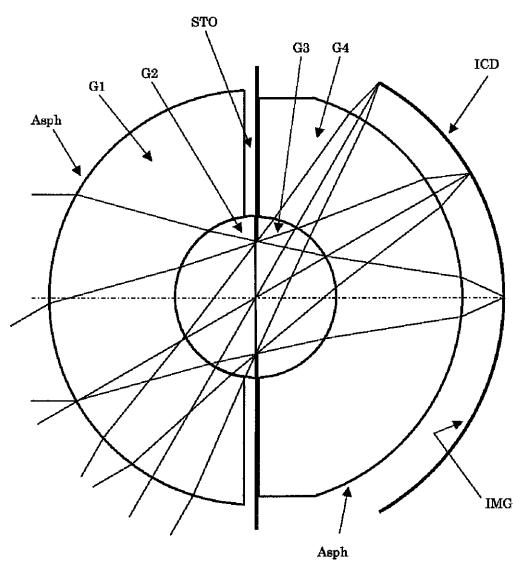
【図16】



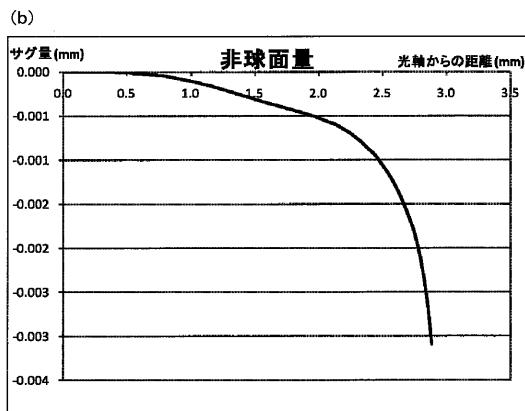
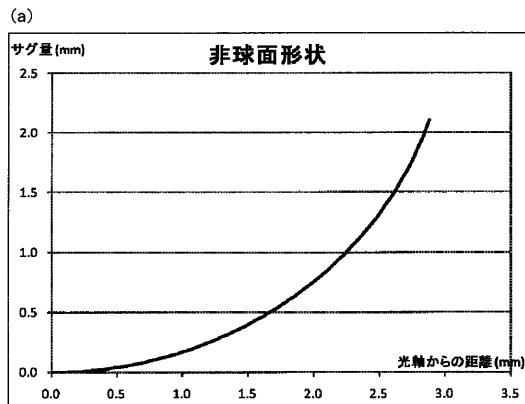
【図17】



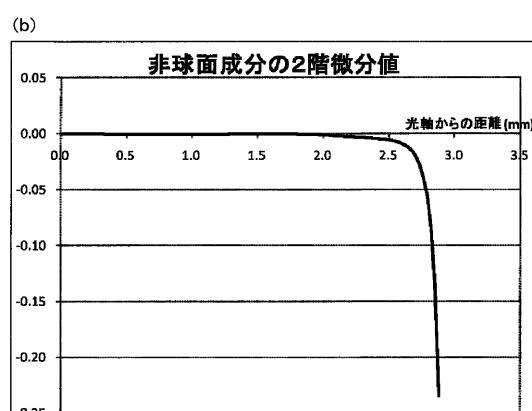
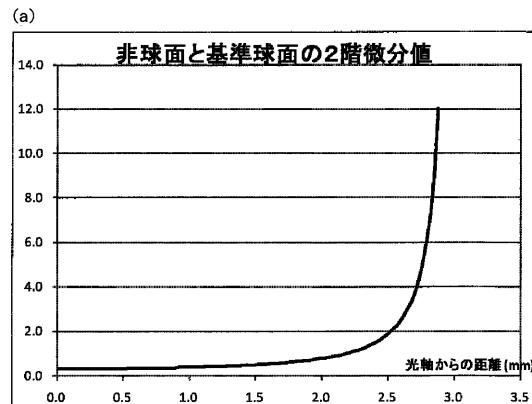
【図18】



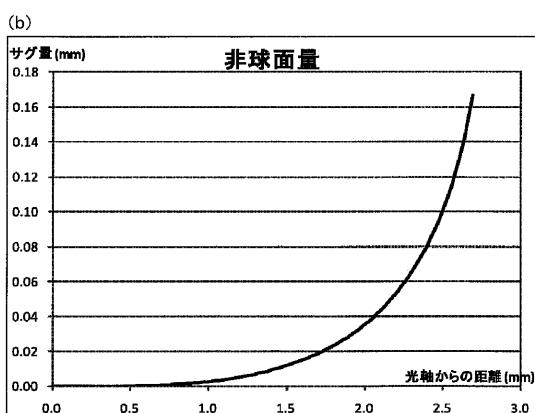
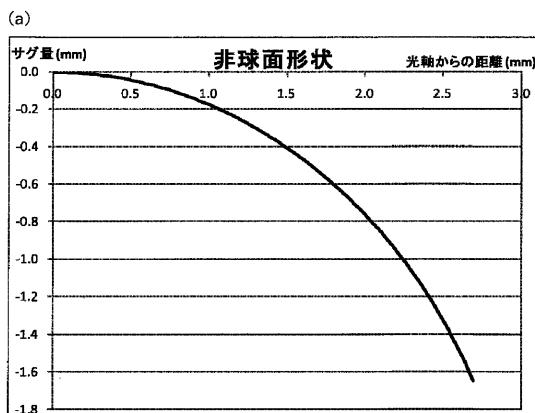
【図19】



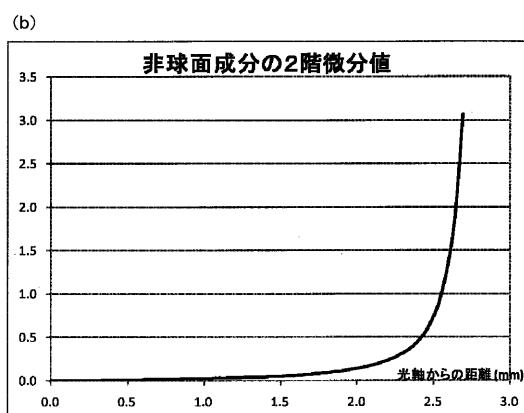
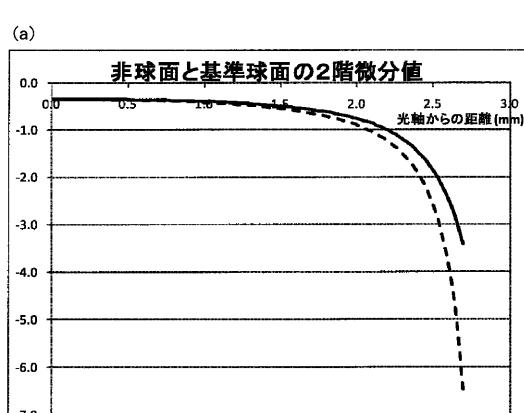
【図20】



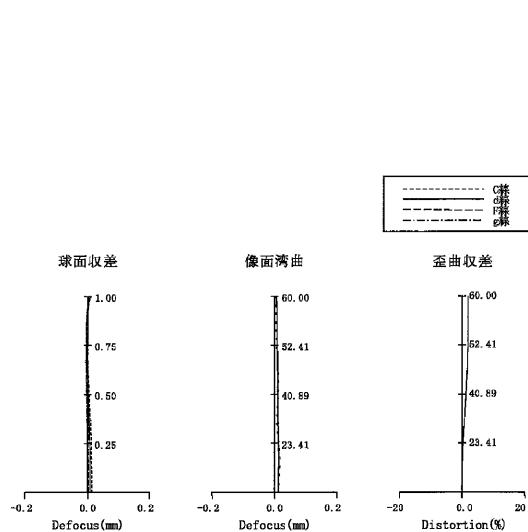
【図21】



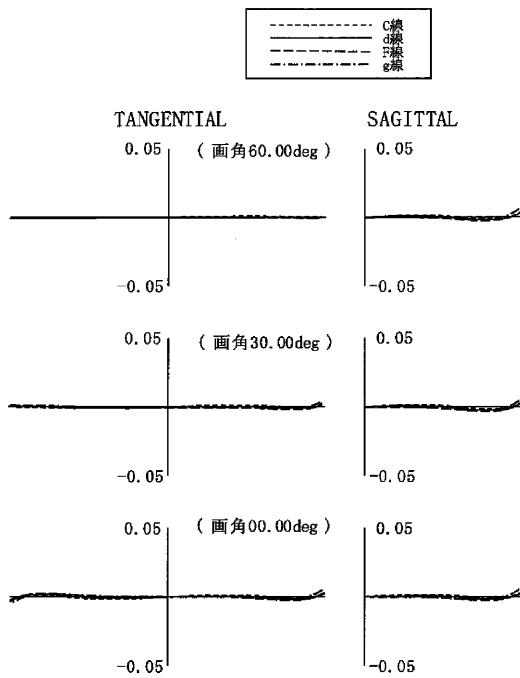
【図22】



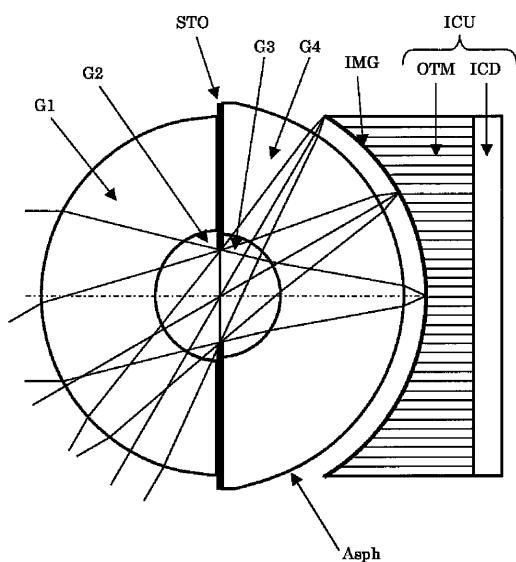
【図23】



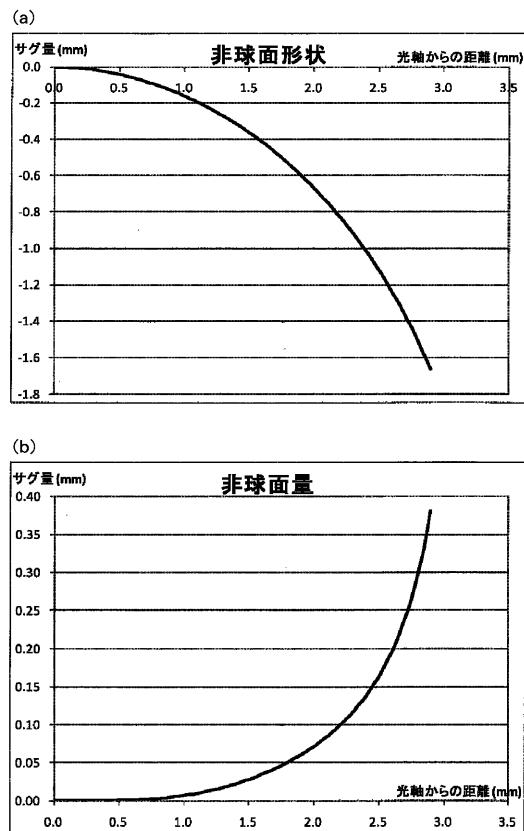
【図24】



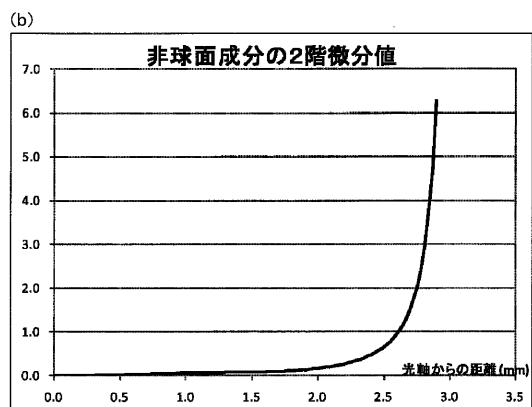
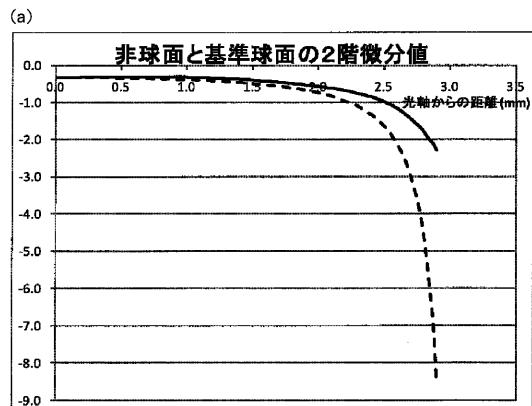
【図25】



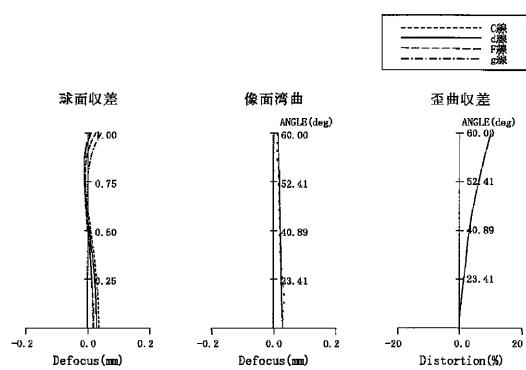
【図26】



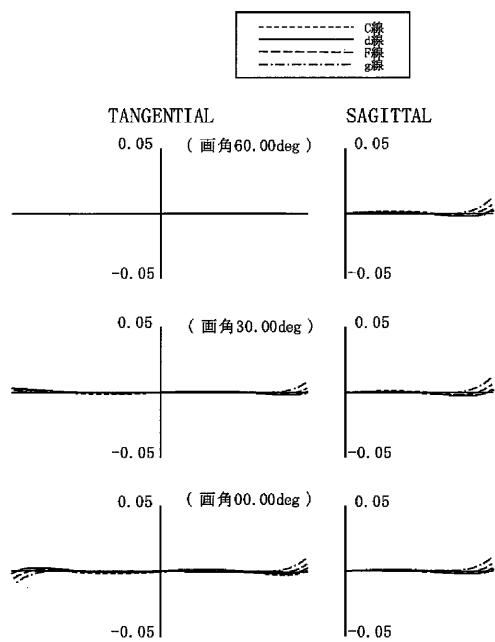
【図27】



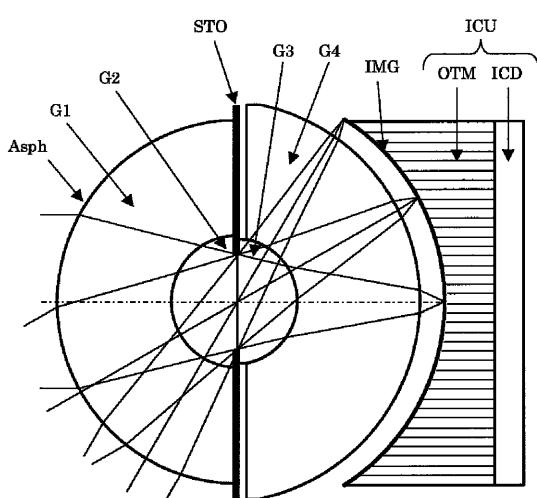
【図28】



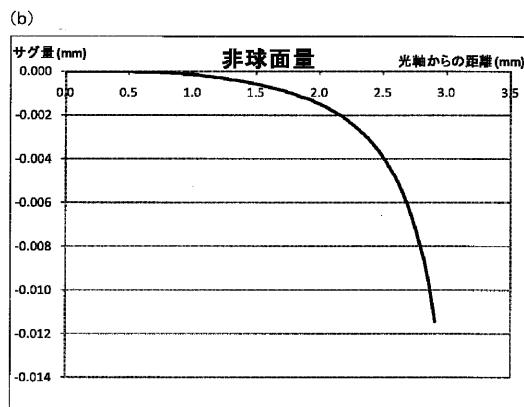
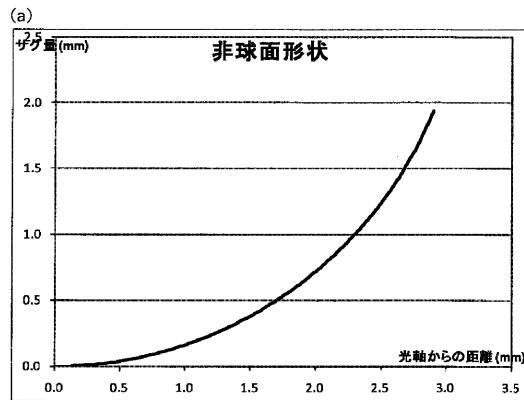
【図29】



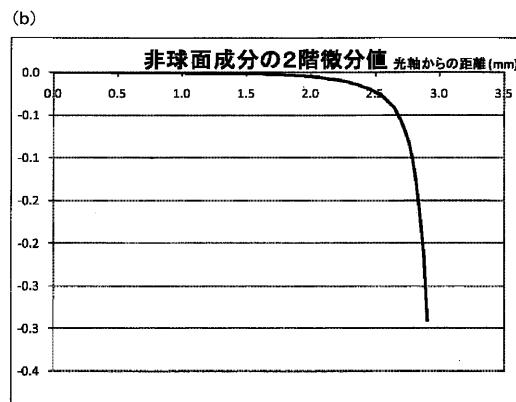
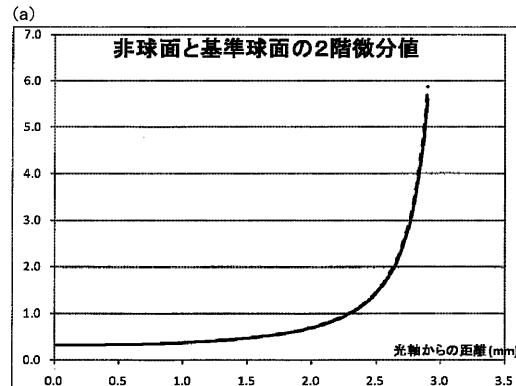
【図30】



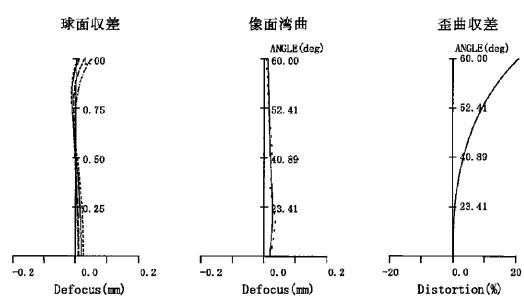
【図31】



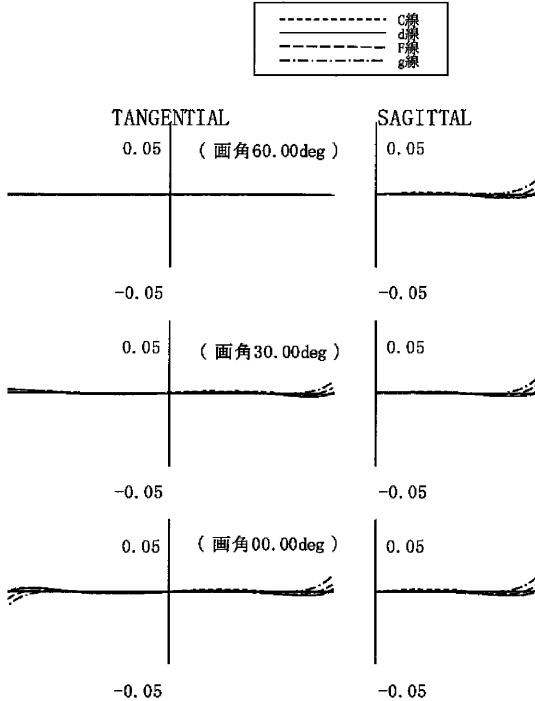
【図32】



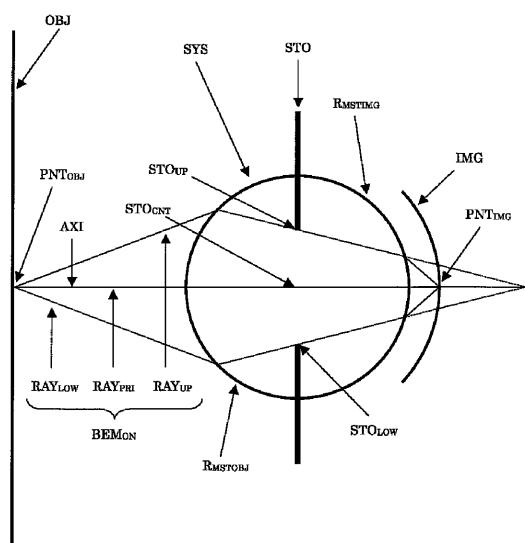
【図33】



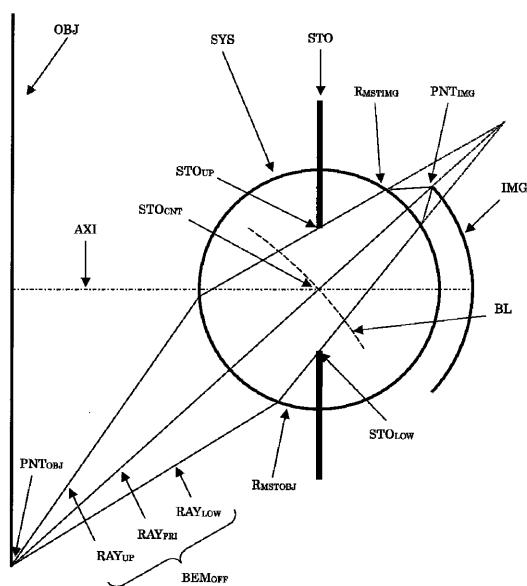
【図34】



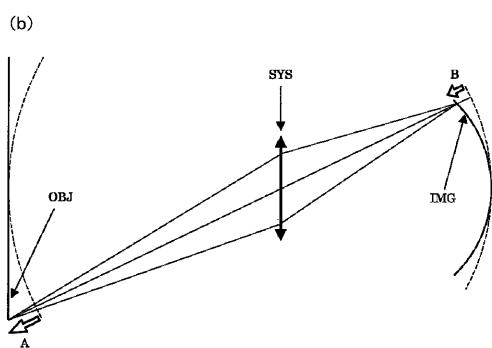
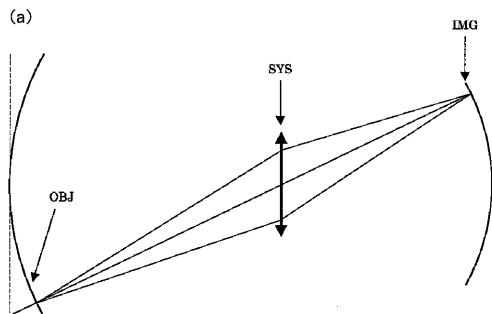
【図35】



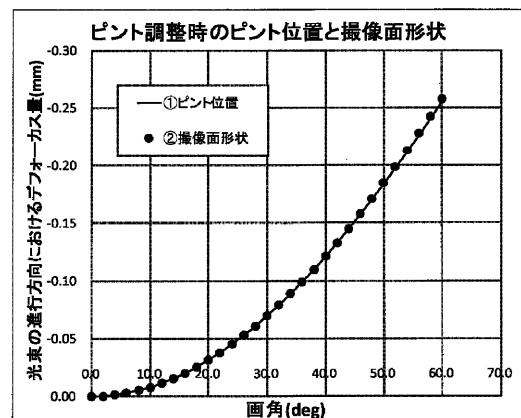
【図36】



【図37】



【図38】



【計算条件】
 焦点距離 : $f_{sys} = 12.0$ (mm)
 撮像面の曲率半径 : $R_{img} = 12.0$ (mm)
 射出瞳から撮像面までの距離 : $d_{pup} = 12.0$ (mm)
 物体距離 : $s = -300$ (mm)
 最大画角 : $\omega = 60.0$ (deg)

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-096616(JP,A)
特開2008-249909(JP,A)
米国特許第06097545(US,A)
国際公開第2013/027641(WO,A1)

(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