

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-80413

(P2009-80413A)

(43) 公開日 平成21年4月16日(2009.4.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 13/00 (2006.01)	G02B 13/00	2H040
A61B 1/00 (2006.01)	A61B 1/00 300Y	2H087
A61B 1/04 (2006.01)	A61B 1/04 372	4C061
G02B 23/26 (2006.01)	G02B 23/26 C	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2007-251111 (P2007-251111)
 (22) 出願日 平成19年9月27日 (2007.9.27)

(71) 出願人 000005430
 フジノン株式会社
 埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324番地
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 官野 俊
 埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324番地 フジノン株式会社内
 Fターム(参考) 2H040 CA23

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像光学系、内視鏡の撮像装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 撮像光学系において、フォーカス調整機構を用いることなく、物体位置が変動しても、極端な像の劣化を生じさせず、良好な画像を得る。

【解決手段】 内視鏡の挿入部の先端部に配設される撮像光学系1において、結像する位置を結像位置P_iとする。遠点P_fに物体を配したときの結像位置P_iにおける、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量Z_f、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量S_f、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量T_f、近点P_nに物体を配したときの結像位置P_iにおける、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量Z_n、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量S_n、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量T_nが式(1)を満たす。

$$-1.5 \leq \frac{(T_f+S_f)/2-Z_f}{(T_n+S_n)/2-Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内視鏡の挿入部の先端部に配設される撮像光学系において、
 所定の物体位置からの光が前記撮像光学系により結像する位置を結像位置とし、このときの前記撮像光学系の被写界深度の遠距離側の限界点を遠点、近距離側の限界点を近点としたとき、

前記遠点に物体を配したときの前記結像位置における、瞳径の 7 割の径を通過する光線による球面収差量 Z_f と、最大像高の 8 割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_f と、最大像高の 8 割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_f と、

前記近点に前記物体を配したときの前記結像位置における、瞳径の 7 割の径を通過する光線による球面収差量 Z_n と、最大像高の 8 割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_n と、最大像高の 8 割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_n とが、下記条件式 (1) を満足することを特徴とする撮像光学系。

【数 1】

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f) / 2 - Z_f}{(T_n + S_n) / 2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

【請求項 2】

物体位置の移動に対して合焦を行うフォーカス調整機構を備えていないことを特徴とする請求項 1 記載の撮像光学系。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の撮像光学系と、該撮像光学系による像を表示装置で表示するための電気信号に変換する撮像素子とを備えた内視鏡の撮像装置において、

前記表示装置で像を観察するときの許容錯乱円径 V が、前記表示装置で垂直方向に表示される像の前記結像位置における寸法 V を用いて表される、 $2V / 240 \leq V \leq 2V / 160$ の範囲にあり、

前記撮像光学系の像側の焦点深度 d が、前記許容錯乱円径 V と実効 F 値 F_e とにより、 $d = V \times F_e$ で定義されるとき、

前記遠点が、前記結像位置から前記撮像光学系の方向へ前記焦点深度 d だけ離隔した点の共役点であり、

前記近点が、前記結像位置から前記撮像光学系とは逆の方向へ前記焦点深度 d だけ離隔した点の共役点であることを特徴とする内視鏡の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像光学系と内視鏡の撮像装置に関し、より詳しくは、内視鏡の挿入部の先端部に配設される撮像光学系と、該撮像光学系および該撮像光学系による像を表示装置で表示するための電気信号に変換する撮像素子を備えた内視鏡の撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、医療現場等において患者の体内の観察あるいは治療を行う際などに、内視鏡が用いられている。内視鏡の挿入部の先端部には、体腔内を撮像するための対物レンズ等の撮像光学系が配設されている。近年の内視鏡下外科手術の普及により、この撮像光学系による像は、テレビモニタ等の表示装置に表示され、術者はこの表示装置の画面上で画像を観察するのが一般的である。そのため、術者が観察しやすいように、像面湾曲の小さい映像が好ましいとされており、像面湾曲を良好に補正した内視鏡用対物レンズの提案がなされている。

【0003】

10

20

30

40

50

一方、体腔内の観察対象は、突起状や管空状のものが多く、このような観察対象に対しても良好な像が得られることが好ましいとされている。特許文献1には、3つのレンズ群からなり、少なくとも1つのレンズ群を移動させることにより、倍率を略一定に保持したまま、観察対象の形状に応じて、画面周辺部の画質が良好となるような像面湾曲を発生させることができる内視鏡用対物レンズが記載されている。

【特許文献1】特開2001-194580号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の像面湾曲を良好に補正した一般的な光学系は、所定の物体位置とそれに対応する結像位置を設定したときに、画面中心部の良像位置と、画面周辺部の良像位置とをそろえるように像面湾曲量を補正し設計したものであった。このような設計では、物体位置の変動による像面湾曲量の変動は考慮されていなかった。実際には、物体位置が変動すると、像面湾曲も変動するため、設計時に設定された結像位置において、像面湾曲が良好に補正されていても、この設計条件とは異なる位置に物体がある場合には、画面中心部と画面周辺部とで、最適良像位置が異なるということがあり得る。つまり、従来の像面湾曲を補正した一般的な光学系では、物体位置の変動により、画面周辺部で極端な像の劣化が生じる虞があった。

10

【0005】

なお、カメラ等の撮像装置では、物体位置の変動による結像位置の変動を調整するフォーカス調整（焦点調整）機構を備えているが、多くの内視鏡用の撮像装置はこのようなフォーカス調整機構を備えていない。内視鏡用の撮像装置にフォーカス調整機構を配設する場合は、構成が複雑になるとともにスペースが必要となるため、先端部の大径化を招く虞がある。

20

【0006】

本発明は、上記事情に鑑み、フォーカス調整機構を用いることなく、物体位置が変動しても、極端な像の劣化が生じることがなく、良好な画像を得ることが可能な内視鏡用の撮像光学系、および該撮像光学系を備えた内視鏡の撮像装置を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

本発明の撮像光学系は、内視鏡の挿入部の先端部に配設される撮像光学系において、所定の物体位置からの光が前記撮像光学系により結像する位置を結像位置とし、このときの前記撮像光学系の被写界深度の遠距離側の限界点を遠点、近距離側の限界点を近点としたとき、前記遠点に物体を配したときの前記結像位置における、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量 Z_f と、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_f と、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_f と、前記近点に前記物体を配したときの前記結像位置における、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量 Z_n と、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_n と、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_n とが、下記条件式(1)を満足することを特徴とするものである。

40

【数1】

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f) / 2 - Z_f}{(T_n + S_n) / 2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

【0008】

上記本発明の撮像光学系は、物体位置の移動に対して合焦を行うフォーカス調整機構を備えていないように構成することができる。

【0009】

50

また、本発明の内視鏡の撮像装置は、上記本発明の撮像光学系と、該撮像光学系による像を表示装置で表示するための電気信号に変換する撮像素子とを備えた内視鏡の撮像装置において、前記表示装置で像を観察するときの許容錯乱円径 δ が、前記表示装置で垂直方向に表示される像の前記結像位置における寸法 V を用いて表される、 $2V / 240$ $2V / 160$ の範囲にあり、前記撮像光学系の像側の焦点深度 d が、前記許容錯乱円径と実効 F 値 F_e とにより、 $d = \delta \times F_e$ で定義されるとき、前記遠点が、前記結像位置から前記撮像光学系の方向へ前記焦点深度 d だけ離隔した点の共役点であり、前記近点が、前記結像位置から前記撮像光学系とは逆の方向へ前記焦点深度 d だけ離隔した点の共役点であることを特徴とするものである。

【0010】

10

なお、被写界深度とは、所定の位置の物体に合焦しているとき、視覚的にその物体にピントが合っている範囲、つまり像が鮮鋭と認められるとみなされる範囲であり、本発明では、これを観察距離の範囲として考える。

【0011】

また、上記条件式(1)の $(T_f + S_f) / 2$ 、 $(T_n + S_n) / 2$ は、タンジェンシャル方向とサジタル方向の像面湾曲量の平均値を意味する。そしてここでは、画面中心部と画面周辺部での画像のバランスを良好にするために、8割の像高での像面湾曲量を採用している。

【0012】

また、内視鏡の撮像光学系の球面収差は、口径の増加とともにアンダー側で単調増加、またはオーバー側で単調増加になる傾向があり、その良像位置は、ほぼ瞳径の7割(ゾーナル)付近の径を通過する光線によるものとなるため、代表値としてゾーナルの球面収差量を採用している。

20

【0013】

本発明の撮像光学系は、観察距離の範囲内での像面湾曲の変動を適切に割り振ることにより、フォーカス調整機構を用いることなく、観察距離の範囲の近点側と遠点側において画面周辺部で極端な像の劣化が起きないようにするものである。

【0014】

図1～図3を参照しながら、本発明の思想について説明する。まず、図1を参照しながら、被写界深度の求め方について説明する。図1の撮像光学系1は、概念的に図示されたものである。図1に示すように、光軸 Z 上に所定の物体位置 P_o を設定し、この物体位置 P_o からの光(実線で示す)が、この撮像光学系1により結像する位置を結像位置 P_i としている。

30

【0015】

物体位置 P_o からの光は、結像位置 P_i ではほぼ一点に集光するが、結像位置 P_i から離隔するにつれて大きくなり、ぼけたものとなる。このとき、像が鮮鋭と認められる限界での光の広がりを許容錯乱円径 δ としており、結像位置 P_i から、光の広がりが許容錯乱円径 δ になる点(図1の P_- 、 P_+)までの範囲を像側の焦点深度 d としている。ここで、点 P_- は結像位置 P_i から撮像光学系1の方向へ焦点深度 d だけ離隔した点、点 P_+ は結像位置 P_i から撮像光学系1とは逆の方向へ焦点深度 d だけ離隔した点としている。また、焦点深度 d は、物体位置 P_o からの光が結像位置 P_i に結像するときの実効 F 値 F_e と、上記の許容錯乱円径 δ とにより、 $d = \delta \times F_e$ で定義される。

40

【0016】

焦点深度内は、像空間において像が鮮鋭と認められる範囲であるから、点 P_- から点 P_+ までの範囲と共役な関係にある物体側空間の範囲が、被写界深度となる。今、図1に示すように、点 P_- と光学的に共役な関係にある共役点を点 P_f とし、点 P_+ と光学的に共役な関係にある共役点を点 P_n としている。したがって、点 P_f から点 P_n までの範囲が被写界深度となり、点 P_f が遠距離側の限界点である遠点、点 P_n が近距離側の限界点である近点となる。

【0017】

50

次に、遠点および近点に物体を配したときの、結像位置 P_i における像面湾曲を考える。図 2 は、内視鏡の撮像光学系の一例の収差図である。図 2 の上段には、上記の設定された物体位置 P_o に物体を配したときの結像位置 P_i における球面収差図、非点収差（サジタル方向の像面湾曲とタンジェンシャル方向の像面湾曲）図、および縦軸最大値により正規化して両者（球面収差図と非点収差図）を重ねた図を左から順に示す。

【0018】

同様に、図 2 の中段には、近点に物体を配したときの結像位置 P_i における球面収差図、非点収差図、および縦軸最大値により正規化して両者を重ねた図を左から順に示す。また、図 2 の下段には、遠点に物体を配したときの結像位置 P_i における球面収差図、非点収差図、および縦軸最大値により正規化して両者を重ねた図を左から順に示す。図 2 の両者を重ねた図において、縦軸の最大値の 7 割および 8 割に相当する位置にそれぞれ 0.7 および 0.8 を付している。

10

【0019】

一般に、内視鏡用対物レンズでは、設計時に設定された物体距離については像面湾曲、非点収差が良好に補正されていても、観察距離の範囲内での物体距離の変動によって、図 2 に示すように、球面収差の変動は少ないが、近点側では像面がアンダーに、遠点側ではオーバーになる傾向がある。

【0020】

そこで、本発明では、近点および遠点での球面収差量と像面湾曲量とからなる上述した項が条件式 (1) を満たすように構成することにより、観察距離の範囲内での像面の変動を好適に割り振り、近点側観察と遠点側観察における像面の変動量をほぼ同程度にして、物体位置が変動しても、極端な像の劣化を生じないようにしている。なお、像面の変動量を近点側、遠点側で同じになるよう割り振った場合、条件式 (1) の項の値は -1 となるが、-1.5 程度までは許容可能である。

20

【0021】

さらに、内視鏡の使用状況を加味すると、近点側での観察においては、図 3 に示すように内視鏡の挿入部 104 の先端は体内の内壁 3 に斜めに対向することが想定されることから、近点側に物体が配されるときに像面がアンダーになることに対しては許容範囲が広がるため、遠点側までもオーバーにならない 0.0 を上限としている。

【0022】

なお、上記で用いている許容錯乱円径 δ は、画像が鮮鋭と認め許されるぼけの限度の大きさを表すものであるが、本発明においては以下の考え方に沿ってその範囲を決めている。人間の目の分解能は視角にすると約 1' と言われていることから、ぼけていないと判断する限界の解像力をその 4 倍の約 4' とする。また、近年の内視鏡の像の観察は、直視ではなくテレビモニタ等の表示装置に表示された画像を観察するのが一般的であるから、このような表示装置で観察することを前提にする。

30

【0023】

使用者が表示装置から 1.5 m 離れて画像を観察とした場合、ぼけていないと判断される表示画面上での限界の許容ぼけ量 δ_d は

$$\delta_d = 1500 \text{ mm} \times \tan(4/60) = 1.75 \text{ mm}$$

40

となる。

【0024】

現在、汎用されている表示装置から、その表示領域の垂直方向の寸法を約 210 mm とすると、上記の表示画面上での許容ぼけ量 δ_d の値は、表示領域の垂直方向の寸法の約 0.0083 (1.75 / 210) にあたる。

【0025】

次に、この表示画面上での許容ぼけ量 δ_d から、撮像光学系 1 の結像位置 P_i における像面上での許容ぼけ量、すなわち、許容錯乱円径 δ を決める。表示装置で垂直方向に表示される像の結像位置 P_i における寸法を V とすると、許容錯乱円径 δ は、

$$\delta = V \times (1.75 / 210) = V \times 0.0083$$

50

となる。また、 $210 \div 1.75 = 120$ であるから、許容錯乱円径 は下記のように表される。

$$= V / 120$$

つまり、このときの撮像光学系の解像力は60本/mmであり、テレビモニタ等の表示装置の解像度で言えば120TV本となる。ここで、映像信号の周波数1MHzが80TV本に相当することから、以下、1MHz単位で考えると、上記の許容錯乱円径 は、

$$= (2 \times V) / 240$$

となり、2Vを3MHz(240TV本)で割った値に相当する。

【0026】

実際の使用では、表示装置からさらに離れた距離から観察することが想定される。この場合には、表示画面上での許容ぼけ量 δ の値が上記より大きくなる。よって、さらに離れた距離から観察する場合については、上記の3MHzからさらに低く2MHzとし、2Vを2MHz(160TV本)で割ったものとして、許容錯乱円径 は下記のようになる。

$$= (2 \times V) / 160$$

$$= V \times 0.0125$$

【0027】

このように、内視鏡の実際の使用状況を考えると、許容錯乱円径 が、 $2V / 240$ $2V / 160$ の範囲にあるときについて像面の変動量を考慮すればよいことになる。

【0028】

なお、上記説明では、一般的な内視鏡の使用状況から、テレビモニタ等の表示装置を想定し、約1.5mおよびそれより離れて観察する場合を例にとり説明した。表示装置の種類や観察状況により被写界深度は異なるが、上述したような本発明の思想を用いれば、各場合に依じて、近点、遠点を算出することは可能であり、観察距離の範囲内で物体位置が変動しても、極端な像の劣化を生じさせずに良好な画像を得ることが可能となる。

【発明の効果】

【0029】

本発明の撮像光学系によれば、被写界深度の遠点および近点に物体を配したときについて、条件式(1)を満足するように構成しているため、観察距離の範囲内での像面の変動を好適に割り振ることができ、近点側観察と遠点側観察における像面の変動量をほぼ同程度にすることができる。よって、観察距離の範囲内で物体位置が変動しても、物体位置の移動に対して合焦を行うフォーカス調整機構を用いることなく、極端な像の劣化を生じさせずに良好な画像を得ることができる。

【0030】

また、本発明の内視鏡の撮像装置は、本発明の撮像光学系を備え、一般的なモニタ装置等で像を観察する場合を想定して許容錯乱円径の範囲を決めているため、物体位置が変動しても像の極端な劣化が生じることなく、良好な画像を観察することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。図4は、本発明の実施形態にかかる撮像光学系および撮像装置が適用される内視鏡システムの一例を示す概略的な全体構成図である。

【0032】

図4に示す内視鏡システムは大別して、内視鏡100と、内視鏡100に接続されて光源の制御や画像処理等の各種処理を行うプロセッサ120と、内視鏡100の撮像光学系2により撮像された像を表示する表示装置122とからなる。

【0033】

内視鏡100は、主として、操作部102と、操作部102の先端側に連結された挿入部104と、操作部102の基端側から引き出されてプロセッサ120と接続されたユニバーサルコード106とを備える。

10

20

30

40

50

【0034】

挿入部104は、患者の体内に挿入されるものであり、その大半は挿入経路に沿って任意の方向に曲がる軟性部107であり、この軟性部107の先端には、湾曲部108が連結され、この湾曲部108の先端には、先端部110が順次連結されている。先端部110の内部には後述のように、撮像光学系2が配設されている。湾曲部108は、先端部110を所望の方向に向けるために設けられるものであり、操作部102に設けられた湾曲走査ノブ109を回動させることにより湾曲操作が可能となっている。

【0035】

次に、図5を参照して、本実施形態にかかる撮像光学系2が配置される先端部110の概略構成について説明する。図5は本撮像光学系2の光軸を含む先端部110の要部断面図である。

10

【0036】

図5に示すように、先端部110の内部には挿入部104の長軸方向と平行にその光軸が配置された撮像光学系2と、撮像光学系2の像側の光路を90度折り曲げるための光路変換プリズム7と、その受光面が挿入部104の長軸方向と平行になるように光路変換プリズム7に接合された撮像素子8とが配置されている。本実施形態においては、撮像光学系2と、光路変換プリズム7と、撮像素子8は撮像装置10を構成するものであるが、本発明においては光路変換プリズム7は必須の構成要素ではない。

【0037】

撮像素子8は、撮像光学系2による像を表示装置122で表示するための電気信号に変換するものである。撮像素子8としては、例えばCCD(Charge Coupled Device)やCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)等の固体撮像素子を用いることができる。

20

【0038】

図5に示すように撮像素子8を配置することにより、図5に示す先端部110の下半分において、直視型の観察光学系を構成し、図5に示す先端部110の上半分において、処置具挿通チャンネル9を構成し、細径の挿入部内に多数の要素を配設可能としている。

【0039】

なお、撮像素子8は受光面保護用のカバーガラスを有するが、図5ではカバーガラスも含めて撮像素子8として図示している。また、図5の撮像光学系2は、レンズ形状を示すものではなく、概念的に図示されたものである。図5では撮像光学系2から撮像素子8にまでの光路の光軸を一点鎖線で示している。

30

【0040】

本実施形態の撮像光学系2は、物体位置の移動に対して合焦を行うフォーカス調整機構を備えておらず、レンズ群は固定されている。

【0041】

また、撮像光学系2は、所定の物体位置からの光が撮像光学系2により結像する位置を結像位置とし、このときの撮像光学系2の被写界深度の遠距離側の限界点を遠点、近距離側の限界点を近点としたとき、遠点に物体を配したときの結像位置における、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量 Z_f と、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_f と、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_f と、近点に物体を配したときの結像位置における、瞳径の7割の径を通過する光線による球面収差量 Z_n と、最大像高の8割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 S_n と、最大像高の8割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 T_n とが、下記条件式(1)を満足するように構成されている。

40

【数2】

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f) / 2 - Z_f}{(T_n + S_n) / 2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

50

【0042】

ここで、被写界深度の遠点とは、結像位置から撮像光学系2の方向へ焦点深度dだけ離隔した点の共役点であり、被写界深度の近点とは、結像位置から撮像光学系2とは逆の方向へ焦点深度dだけ離隔した点の共役点である。焦点深度dは、表示装置122で像を観察するときの許容錯乱円径と、上記の所定の物体位置と結像位置を定めたときの実効F値 F_e とにより、 $d = \quad \times F_e$ で定義されるものである。

【0043】

許容錯乱円径は、表示装置122で垂直方向(図4の矢印方向)に表示される像の結像位置における寸法Vを用いて表される、 $2V/240$ $2V/160$ の範囲にあるとしている。このように範囲を規定する理由は手段の項で述べたとおりである。

10

【0044】

なお、一般的な表示装置は横長の表示領域を有することから、例えば、撮像領域の形状が矩形であり、水平方向と垂直方向で寸法が異なる場合は、短い方に対応する寸法をVとする。あるいは、撮像領域の形状が円径の場合は、その直径をVとする。

【0045】

前述したように、以上のように構成することにより、本実施形態の撮像光学系および内視鏡の撮像装置では、物体位置の移動に対して合焦を行うフォーカス調整機構を用いなくても、近点側と遠点側における像面の変動量をほぼ同程度にすることができ、観察距離の範囲内で物体位置が変動しても、像の極端な劣化が生じることがなく、良好な画像を得ることができる。

20

【実施例】

【0046】

次に、本発明にかかる撮像光学系の具体的な数値実施例について説明する。

【0047】

<実施例1>

実施例1にかかる撮像光学系のレンズデータを表1に、レンズ構成図を図6に示す。図6における符号 R_i 、 D_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)は表1の R_i 、 D_i と対応している。実施例1にかかる撮像光学系は、レンズ $L_1 \sim L_5$ の4群5枚構成からなる。なお、表1のレンズデータおよび図6の構成図には、開口絞り S_t と、レンズ系と結像点Pとの間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材PP、CGも含めて示している。図6における開口絞り S_t は形状や大きさを表すものではなく光軸Z上の位置を示すものである。また、開口絞り S_t と平行平板状の光学部材の図示については、後述の実施例についても同様である。

30

【0048】

表1のレンズデータにおいて、面番号は最も物体側の構成要素の面を1番目として像側に向かうに従い順次増加するi番目($i = 1, 2, 3, \dots$)の面番号を示す。表1の R_i はi番目($i = 1, 2, 3, \dots$)の面の曲率半径を示し、 D_i はi($i = 1, 2, 3, \dots$)番目の面と $i + 1$ 番目の面との光軸Z上の面間隔を示す。また、 N_{dj} は最も物体側の光学要素を1番目として像側に向かうに従い順次増加するj番目($j = 1, 2, 3, \dots$)の光学要素のd線(波長 587.6 nm)に対する屈折率を示し、 d_j はj番目の光学要素のd線に対するアッペ数を示す。表1において、曲率半径および面間隔の単位はmmであり、曲率半径は物体側に凸の場合を正、像側に凸の場合を負としている。なお、表1中の記号の意味は後述の実施例についても同様である。

40

【0049】

【表 1】

実施例1

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.400	1.88300	40.8
2	0.832	0.370		
3	7.468	1.460	1.84666	23.8
4	∞	0.000		
5(開口絞り)	∞	0.035		
6	8.414	1.150	1.62041	60.3
7	-1.538	0.100		
8	4.003	1.030	1.62041	60.3
9	-1.212	0.400	1.84666	23.8
10	-3.581	0.530		
11	∞	2.800	1.55920	53.9
12	∞	0.300	1.51633	64.1
13(像面)	∞			

10

【0050】

< 実施例 2 >

実施例 2 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 2 に、レンズ構成図を図 7 に示す。図 7 において、符号 R_i 、 D_i は表 2 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 2 にかかる撮像光学系は、レンズ L 1 ~ L 5 の 4 群 5 枚構成からなる。なお、表 2 のレンズデータおよび図 7 の構成図には、開口絞り S t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P P、C G も含めて示している。

20

【0051】

【表 2】

実施例2

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.400	1.88300	40.8
2	0.832	0.420		
3	10.216	1.490	1.84666	23.8
4	∞	0.000		
5(開口絞り)	∞	0.035		
6	10.589	1.050	1.62041	60.3
7	-1.818	0.100		
8	5.437	1.050	1.62041	60.3
9	-0.953	0.400	1.84666	23.8
10	-1.901	0.570		
11	∞	2.800	1.55920	53.9
12	∞	0.300	1.51633	64.1
13(像面)	∞			

30

【0052】

< 実施例 3 >

実施例 3 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 3 に、レンズ構成図を図 8 に示す。図 8 において、符号 R_i 、 D_i は表 3 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 3 にかかる撮像光学系は、レンズ L 1 ~ L 5 の 4 群 5 枚構成からなる。なお、表 3 のレンズデータおよび図 8 の構成図には、開口絞り S t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P P、C G も含めて示している。

40

【0053】

【表 3】

実施例3

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.350	1.88300	40.8
2	0.703	0.331		
3	4.165	0.980	1.92286	18.9
4	∞	0.000		
5(開口絞り)	∞	0.085		
6	-3.647	0.890	1.71300	53.9
7	-1.175	0.100		
8	3.191	0.910	1.62041	60.3
9	-1.125	0.350	1.92286	18.9
10	-2.277	0.372		
11	∞	2.200	1.55920	53.9
12	∞	0.300	1.51633	64.1
13(像面)	∞			

10

【0054】

< 実施例 4 >

実施例 4 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 4 に、レンズ構成図を図 9 に示す。図 9 において、符号 R_i 、 D_i は表 4 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 4 にかかる撮像光学系は、レンズ L 1 ~ L 5 の 4 群 5 枚構成からなる。なお、表 4 のレンズデータおよび図 9 の構成図には、開口絞り S t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P P、C G も含めて示している。

20

【0055】

【表 4】

実施例4

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.350	1.88300	40.8
2	0.703	0.441		
3	7.135	1.070	1.92286	18.9
4	∞	0.000		
5(開口絞り)	絞り	0.085		
6	-3.647	0.730	1.71300	53.9
7	-1.212	0.100		
8	5.048	0.910	1.62041	60.3
9	-0.778	0.350	1.92286	18.9
10	-1.382	0.396		
11	∞	2.200	1.55920	53.9
12	∞	0.300	1.51633	64.1
13(像面)	∞			

30

【0056】

< 実施例 5 >

実施例 5 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 5 に、レンズ構成図を図 10 に示す。図 10 において、符号 R_i 、 D_i は表 5 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 5 にかかる撮像光学系は、レンズ L 1 ~ L 6 の 4 群 6 枚構成からなる。なお、表 5 のレンズデータおよび図 10 の構成図には、開口絞り S t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P F、P P、C G も含めて示している。

40

【0057】

【表 5】

実施例5

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.350	1.88300	40.8
2	0.703	0.404		
3	8.985	0.300	1.80400	46.6
4	1.471	0.850	1.84666	23.8
5	∞	0.000		
6(開口絞り)	∞	0.035		
7	∞	0.790	1.62041	60.3
8	-1.25	0.100		
9	6.723	0.900	1.62041	60.3
10	-0.892	0.360	1.92286	18.9
11	-1.661	0.361		
12	∞	0.380	1.51633	64.1
13	∞	0.035		
14	∞	2.200	1.55920	53.9
15	∞	0.300	1.51633	64.1
16(像面)	∞			

10

【0058】

< 実施例 6 >

実施例 6 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 6 に、レンズ構成図を図 1 1 に示す。図 1 1 において、符号 R_i 、 D_i は表 6 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 6 にかかる撮像光学系は、レンズ $L_1 \sim L_6$ の 4 群 6 枚構成からなる。なお、表 6 のレンズデータおよび図 1 1 の構成図には、開口絞り S_t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P_F 、 P_P 、 C_G も含めて示している。

20

【0059】

【表 6】

実施例6

面番号	Ri	Di	Ndj	ν dj
1	∞	0.350	1.88300	40.8
2	0.778	0.545		
3	∞	0.350	1.83481	42.7
4	0.953	0.890	1.84666	23.8
5	9.553	0.016		
6(開口絞り)	∞	0.035		
7	∞	0.980	1.62041	60.3
8	-1.304	0.100		
9	5.675	0.890	1.62041	60.3
10	-0.892	0.360	1.92286	18.9
11	-1.594	0.379		
12	∞	0.380	1.51633	64.1
13	∞	0.035		
14	∞	2.200	1.55920	53.6
15	∞	0.300	1.51633	64.1
16(像面)	∞			

30

40

【0060】

< 実施例 7 >

実施例 7 にかかる撮像光学系のレンズデータを表 7 に、レンズ構成図を図 1 2 に示す。図 1 2 において、符号 R_i 、 D_i は表 7 の R_i 、 D_i と対応している。実施例 7 にかかる撮像光学系は、レンズ $L_1 \sim L_5$ の 4 群 5 枚構成からなる。なお、表 7 のレンズデータおよび図 1 2 の構成図には、開口絞り S_t と、レンズ系と結像点 P との間に配置されるフィルタ、プリズム、カバーガラス等を想定した平行平板状の光学部材 P_P 、 C_G も含めて示

50

している。

【 0 0 6 1 】

【 表 7 】

実施例7

面番号	Ri	Di	Ndj	ν_{dj}
1	∞	0.250	1.88300	40.8
2	0.5	0.500		
3	∞	0.920	1.92286	18.9
4	∞	0.000		
5(開口絞り)	∞	0.035		
6	∞	0.650	1.71300	53.9
7	-1.426	0.260		
8	1.901	0.810	1.62041	60.3
9	-0.644	0.350	1.92286	18.9
10	-1.304	0.371		
11	∞	1.700	1.55920	53.9
12	∞	0.250	1.51633	64.1
13(像面)	∞			

10

【 0 0 6 2 】

上記実施例 1 ~ 実施例 7 における、各種データおよび条件式 (1) に対応する値を表 8 ~ 表 1 1 に示す。表 8 ~ 表 1 1 に記載された記号の一部は図 1 で示すものに対応している。なお、図 1 には、前述で説明した符号以外に、焦点距離 f 、フロントフォーカス $F f$ 、バックフォーカス $B f$ 、前側焦点位置から物体位置 $P o$ までの距離 $X o$ 、後側焦点位置から結像位置 $P i$ までの距離 $X i$ が図示されている。

20

【 0 0 6 3 】

表 8 ~ 表 1 1 において、「設定物体距離」はレンズ $L 1$ の物体側の面から最初に設定した所定の物体位置 $P o$ までの距離であり、「 V 寸法」は前述の寸法 V のことであり、「 $T V$ 本数」は許容錯乱円径 $= 2 V / (T V \text{ 本数})$ として許容錯乱円径を決める際に用いた値である。

【 0 0 6 4 】

また、各表の最も左欄の縦書きの「設定物体位置」、「近点」、「遠点」は、それぞれ設定物体位置に物体を配した場合、近点に物体を配した場合、遠点に物体を配した場合を意味する。例えば、「近点」の欄の「物体距離」は、近点側観察時の物体距離であり、これはすなわち、レンズ $L 1$ の物体側の面から近点までの距離である。同様に、「遠点」の欄の「物体距離」は、遠点側観察時の物体距離であり、これはすなわち、レンズ $L 1$ の物体側の面から遠点までの距離である。

30

【 0 0 6 5 】

近点の欄を例にとり説明すると、「球面収差」は瞳径の 7 割の径を通過する光線による球面収差量 $Z n$ であり、「 S 方向像面湾曲」は最大像高の 8 割の像高でのサジタル方向の像面湾曲量 $S n$ であり、「 T 方向像面湾曲」は最大像高の 8 割の像高でのタンジェンシャル方向の像面湾曲量 $T n$ であり、「 S, T 平均値」は $(T n + S n) / 2$ により計算される上記 2 方向の像面湾曲量の平均値 $M n$ であり、「差」は $M n - Z n$ により計算されるものである。設定物体位置、遠点の欄についても同様である。

40

【 0 0 6 6 】

表 8 ~ 表 1 1 には、実施例 1、3、4、5、6 については $T V$ 本数と設定物体距離を変えたもの、実施例 2 については設定物体距離を変えたものを例として示す。

【 0 0 6 7 】

【表 8】

			実施例1			実施例2		
			例1-1	例1-2	例1-3	例2-1	例2-2	
像高	(mm)	Y	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	
焦点距離	(mm)	f	1.2057	1.2057	1.2057	1.0293	1.0293	
フロントフォーカス	(mm)	Ff	0.4770	0.4770	0.4770	0.5988	0.5988	
全画角	(度)	2ω	134.8	134.8	133.3	131.1	129.9	
絞り径	(mm)	ϕ	0.40	0.40	0.40	0.35	0.35	
設定物体距離	(mm)		10.0	10.0	8.0	8.0	6.0	
実効F値		Fe	6.641	6.641	6.682	6.617	6.653	
V寸法	(mm)	V	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	
TV本数	本数		240	160	160	160	160	
許容錯乱円径	(mm)	δ	0.0150	0.0225	0.0225	0.0225	0.0225	
焦点深度	(mm)	d	0.0996	0.1494	0.1503	0.1489	0.1497	
設定物体位置	物体距離	(mm)	10.0	10.0	8.0	8.0	6.0	
	像距離	(mm)	Xi	0.1388	0.1388	0.1715	0.1232	0.1605
	球面収差	(μm)	Z	-4.4	-4.4	-4.5	-2.3	-2.5
	S方向像面湾曲	(μm)	S	-8.3	-8.3	-17.1	-26.2	-35.4
	T方向像面湾曲	(μm)	T	-37.9	-37.9	-58.3	-74.9	-96.7
	S,T平均値	(μm)	M	-23.1	-23.1	-37.7	-50.6	-66.0
	差	(μm)	M-Z	-18.7	-18.7	-33.2	-48.3	-63.5
近点	物体距離	(mm)	Dnear	5.62	4.57	4.04	3.29	2.82
	球面収差	(μm)	Zn	-4.8	-5.0	-5.2	-3.1	-3.4
	S方向像面湾曲	(μm)	Sn	-33.9	-45.3	-52.5	-59.5	-66.5
	T方向像面湾曲	(μm)	Tn	-98.1	-125.9	-144.1	-158.8	-175.2
	S,T平均値	(μm)	Mn	-66.0	-85.6	-98.3	-109.2	-120.8
	差	(μm)	Mn-Zn	-61.1	-80.6	-93.2	-106.0	-117.5
遠点	物体距離	(mm)	Dfar	36.7	∞	68.3	∞	97.1
	球面収差	(μm)	Zf	-4.0	-3.8	-3.9	-1.6	-1.7
	S方向像面湾曲	(μm)	Sf	21.1	33.8	26.9	8.2	4.9
	T方向像面湾曲	(μm)	Tf	27.9	55.3	40.4	2.8	-4.4
	S,T平均値	(μm)	Mf	24.5	44.6	33.6	5.5	0.3
	差	(μm)	Mf-Zf	28.5	48.4	37.5	7.1	2.0
$\frac{(Tf+Sf)}{2}-Zf$								
式(1)			-0.47	-0.60	-0.40	-0.07	-0.02	
$\frac{(Tn-Sn)}{2}-Zn$								

10

20

30

【 0 0 6 8 】

【表 9】

			実施例3			実施例4			
			例3-1	例3-2	例3-3	例4-1	例4-2	例4-3	
像高	(mm)	Y	0.90	0.90	0.90	0.75	0.75	0.75	
焦点距離	(mm)	f	0.9223	0.9223	0.9223	0.7650	0.7650	0.7650	
フロントフォーカス	(mm)	Ff	0.4517	0.4517	0.4517	0.5467	0.5467	0.5467	
全画角	(度)	2ω	134.9	134.9	134	137.1	137.1	136.6	
絞り径	(mm)	ϕ	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.45	
設定物体距離	(mm)		10.0	10.0	8.0	10.0	10.0	8.0	
実効F値		Fe	5.177	5.177	5.177	4.807	4.807	3.75	
V寸法	(mm)	V	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	
TV本数	本数		240	160	160	240	160	160	
許容錯乱円径	(mm)	δ	0.0113	0.0169	0.0169	0.0113	0.0169	0.0169	
焦点深度	(mm)	d	0.0582	0.0874	0.0874	0.0541	0.0811	0.0633	
設定物体位置	物体距離	(mm)	10.0	10.0	8.0	10.0	10.0	8.0	
	像距離	(mm)	Xi	0.0814	0.0814	0.1007	0.0555	0.0555	0.0685
	球面収差	(μm)	Z	-10.6	-10.6	-10.7	-12.4	-12.4	-20.4
	S方向像面湾曲	(μm)	S	-0.9	-0.9	-5.4	-6.5	-6.5	-10.2
	T方向像面湾曲	(μm)	T	-22.5	-22.5	-34.8	-32.4	-32.4	-40.7
	S,T平均値 差	(μm)	M M-Z	-11.7 -1.1	-11.7 -1.1	-20.1 -9.4	-19.4 -7.0	-19.4 -7.0	-25.4 -5.1
近点	物体距離	(mm)	Dnear	5.64	4.59	4.07	4.79	3.74	3.90
	球面収差	(μm)	Zn	-11.0	-11.2	-11.4	-13.0	-13.3	-13.7
	S方向像面湾曲	(μm)	Sn	-15.8	-23.1	-27.8	-21.1	-27.8	-26.6
	T方向像面湾曲	(μm)	Tn	-58.8	-76.2	-87.4	-66.1	-82.0	-79.2
	S,T平均値	(μm)	Mn	-37.3	-49.6	-57.6	-43.6	-54.9	-52.9
	差	(μm)	Mn-Zn	-26.3	-38.4	-46.2	-30.7	-41.6	-39.2
遠点	物体距離	(mm)	Dfar	36.3	∞	63.5	413.0	∞	112.0
	球面収差	(μm)	Zf	-10.2	-10.0	-10.1	-11.9	-11.9	-12.3
	S方向像面湾曲	(μm)	Sf	17.4	24.7	20.4	9.9	10.4	8.7
	T方向像面湾曲	(μm)	Tf	16.0	31.8	22.7	3.6	4.6	1.0
	S,T平均値	(μm)	Mf	16.7	28.3	21.6	6.8	7.5	4.9
	差	(μm)	Mf-Zf	26.8	38.3	31.7	18.7	19.4	17.2
$\frac{(Tf+Sf)}{2}-Zf$			-1.02	-1.00	-0.68	-0.61	-0.47	-0.44	
式(1) $\frac{(Tn-Sn)}{2}-Zn$									

10

20

30

【 0 0 6 9 】

【表 1 0】

			実施例5			実施例6			
			例5-1	例5-2	例5-3	例6-1	例6-2	例6-3	
像高	(mm)	Y	0.90	0.90	0.90	0.75	0.75	0.75	
焦点距離	(mm)	f	0.9137	0.9137	0.9137	0.7626	0.7626	0.7626	
フロントフォーカス	(mm)	Ff	0.4894	0.4894	0.4894	0.6172	0.6172	0.6172	
全画角	(度)	2ω	134.8	134.8	134.8	137.8	137.8	137.5	
絞リ径	(mm)	φ	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	
設定物体距離	(mm)		10.0	10.0	8.0	8.0	8.0	7.0	
実効F値		Fe	5.17	5.17	5.188	4.695	4.695	4.179	
V寸法	(mm)	V	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	
TV本数	本数		240	160	160	240	160	160	
許容錯乱円径	(mm)	δ	0.0113	0.0169	0.0169	0.0113	0.0169	0.0169	
焦点深度	(mm)	d	0.0582	0.0872	0.0875	0.0528	0.0792	0.0705	
設定物体位置	物体距離	(mm)	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0	7.0	
	像距離	(mm)	Xi	0.0796	0.0796	0.0983	0.0675	0.0675	0.0764
	球面収差	(μm)	Z	-12.3	-12.3	-12.4	-16.8	-16.8	-21.2
	S方向像面湾曲	(μm)	S	-0.7	-0.7	-5.8	-2.1	-2.1	-4.5
	T方向像面湾曲	(μm)	T	-20.6	-20.6	-32.3	-26.9	-26.9	-32.5
	S,T平均值	(μm)	M	-10.7	-10.7	-19.1	-14.5	-14.5	-18.5
	差	(μm)	M-Z	1.6	1.6	-6.7	-10.1	-10.1	-11.3
近点	物体距離	(mm)	Dnear	5.57	4.51	4.00	4.22	3.35	3.34
	球面収差	(μm)	Zn	-12.8	-13.1	-13.3	-17.3	-17.6	-18.3
	S方向像面湾曲	(μm)	Sn	-16.0	-23.1	-27.5	-15.9	-22.2	-22.2
	T方向像面湾曲	(μm)	Tn	-56.2	-73.1	-83.8	-59.3	-74.6	-74.8
	S,T平均值	(μm)	Mn	-36.1	-48.1	-55.6	-37.6	-48.4	-48.5
	差	(μm)	Mn-Zn	-23.3	-35.0	-42.4	-20.3	-30.8	-30.2
遠点	物体距離	(mm)	Dfar	38.5	∞	76.9	39.0	∞	99.0
	球面収差	(μm)	Zf	-11.7	-11.5	-11.6	-16.3	-16.2	-16.9
	S方向像面湾曲	(μm)	Sf	16.2	22.9	19.5	13.6	18.3	16.4
	T方向像面湾曲	(μm)	Tf	17.2	31.8	24.4	7.8	17.9	13.9
	S,T平均值	(μm)	Mf	16.7	27.3	22.0	10.7	18.1	15.1
	差	(μm)	Mf-Zf	28.4	38.8	33.6	27.0	34.2	32.0
$(Tf+Sf)/2-Zf$			-1.22	-1.11	-0.79	-1.33	-1.11	-1.06	
式(1) $(Tn-Sn)/2-Zn$			-1.22	-1.11	-0.79	-1.33	-1.11	-1.06	

10

20

30

【 0 0 7 0】

【表 1 1】

			実施例7			
			例7-1	例7-2	例7-3	
像高	(mm)	Y	0.50	0.50	0.50	
焦点距離	(mm)	f	0.5473	0.5473	0.5473	
フロントフォーカス	(mm)	Ff	0.4431	0.4431	0.4431	
全画角	(度)	2ω	124.5	124.5	124	
絞り径	(mm)	φ	0.35	0.35	0.40	
設定物体距離	(mm)		7.0	7.0	5.0	
実効F値		Fe	4.432	4.432	3.901	
V寸法	(mm)	V	1.00	1.00	1.00	
TV本数	本数		240	160	160	
許容錯乱円径	(mm)	δ	0.0083	0.0125	0.0125	
焦点深度	(mm)	d	0.0369	0.0554	0.0488	
設定物体位置	物体距離	(mm)	7.0	7.0	5.0	
	像距離	(mm)	Xi	0.0402	0.0402	0.0550
	球面収差	(μm)	Z	5.3	5.3	7.0
	S方向像面湾曲	(μm)	S	2.4	2.4	-1.3
	T方向像面湾曲	(μm)	T	-21.1	-21.1	-29.8
	S,T平均値	(μm)	M	-9.3	-9.3	-15.5
	差	(μm)	M-Z	-26.4	-26.4	-36.8
近点	物体距離	(mm)	Dnear	3.44	2.69	2.44
	球面収差	(μm)	Zn	3.7	3.6	3.5
	S方向像面湾曲	(μm)	Sn	-6.5	-10.6	-12.4
	T方向像面湾曲	(μm)	Tn	-42.4	-52.4	-56.8
	S,T平均値	(μm)	Mn	-24.4	-31.5	-34.6
	差	(μm)	Mn-Zn	-28.1	-35.1	-38.1
遠点	物体距離	(mm)	Dfar	90.1	∞	47.4
	球面収差	(μm)	Zf	4.2	4.2	4.1
	S方向像面湾曲	(μm)	Sf	12.4	13.4	11.6
	T方向像面湾曲	(μm)	Tf	1.5	3.6	0.0
	S,T平均値	(μm)	Mf	7.0	8.5	5.8
	差	(μm)	Mf-Zf	2.8	4.3	1.7
$(Tf+Sf)/2-Zf$			-0.10	-0.12	-0.04	
$(Tn-Sn)/2-Zn$ 式(1)			-0.10	-0.12	-0.04	

10

20

30

【0071】

表8～表11の式(1)に対応する値を見てわかるように、各例は全て条件式(1)を満足するものであり、これらの実施例では観察距離の範囲内で物体位置が変動しても、像の極端な劣化が生じることがなく、良好な画像を得ることができる。

【0072】

上記実施例1～7にかかる撮像光学系の球面収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)をそれぞれ図13～図19に示す。各収差図には、d線を基準波長とした収差を示す。非点収差図において、実線はサジタル方向、破線はタンジェンシャル方向の収差を示す。球面収差図のFNo.はF値であり、その他の収差図のωは半画角を示す。図13～図19からわかるように、上記実施例1～実施例7は、各収差が良好に補正されている。

40

ここで、図13～図19の収差図は、表8～表11に示す例に対応したものである。例えば「例1-1」と記載された図13の上段の収差図、中段の収差図、下段の収差図はそれぞれ、表8の「例1-1」と記載された欄の設定物体位置に物体を配した場合、近点に物体を配した場合、遠点に物体を配した場合に対応する。他の収差図についても同様である。

【0073】

なお、上記実施形態では、許容錯乱円径を、目の分解能と観察距離とから決めるようにしたが、多数の画素が配列されてなる撮像素子を用いて画像を形成する内視鏡の撮像装置

50

では、撮像素子の画素の配列のピッチから許容錯乱円径を決めることも考えられる。

【0074】

例えば、表8～表11に示す実施例におけるV寸法は1.0～1.8mmであり、これと許容錯乱円径の範囲、 $2V/240$ ～ $2V/160$ から、許容錯乱円径の値は0.0083mm～0.0225mmとなる。ここで、撮像素子の画素のピッチを約 $2\mu\text{m}$ とすると、許容錯乱円径は画素4個分～10個分の長さに相当することになる。

【0075】

具体的に、表12に表8～表11に示す例において、画素のピッチPを $2\mu\text{m}$ または $1.8\mu\text{m}$ としたときの許容錯乱円径とピッチPの比 δ/P を示す。表12に示す δ/P は、4.2～11.3の値をとっていることから、許容錯乱円径の範囲を、撮像素子の画素のピッチPを用いて、 $4P$ ～ $10P$ として、これに基づいて被写界深度を決めるようにしてもよい。

10

【0076】

【表12】

		実施例1			実施例2		実施例3		
		例1-1	例1-2	例1-3	例2-1	例2-2	例3-1	例3-2	例3-3
ピッチ (μm)	P	2	2	2	2	2	1.8	1.8	1.8
比	δ/P	7.5	11.3	11.3	11.3	11.3	6.3	9.4	9.4
		実施例4			実施例5				
		例4-1	例4-2	例4-3	例5-1	例5-2	例5-3		
ピッチ (μm)	P	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8		
比	δ/P	6.3	9.4	9.4	6.3	9.4	9.4		
		実施例6			実施例7				
		例6-1	例6-2	例6-3	例7-1	例7-2	例7-3		
ピッチ (μm)	P	1.8	1.8	1.8	2	2	2		
比	δ/P	6.3	9.4	9.4	4.2	6.3	6.3		

20

【0077】

以上、実施の形態および実施例を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態および実施例に限定されず、種々の変形が可能である。例えば、各レンズ成分の曲率半径、面間隔および屈折率の値は、上記各数値実施例で示した値に限定されず、他の値をとり得るものである。

30

【0078】

例えば、上記実施形態では、像高の8割におけるサジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量との平均値を用いているが、画面最周縁部まで重視する場合は、像高の10割（最大像高）におけるサジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量との平均値を用いるようにしてもよい。逆に、像高の約5割まで良好な像が得られればよいという場合は、像高の5割におけるサジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量との平均値を用いるようにしてもよい。

【0079】

このように、像高の何割における像面湾曲量を用いるかは、要求される光学系の仕様に応じて任意に設定することが可能である。同様に、球面収差についても、瞳径の何割の径を通過する光線によるものを用いるかは、必要に応じて適宜設定することができる。

40

【0080】

また、上記実施形態では、サジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量とを同等に扱い、これらの平均値を用いているが、サジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量とで異なる比率の重み付けを行ったものを採用してもよい。さらに極端な例としては、サジタル方向の像面湾曲量とタンジェンシャル方向の像面湾曲量とで、どちらか一方のみを用いるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

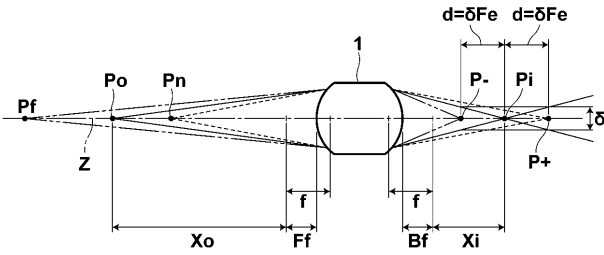
【0081】

【図1】本発明の概念を説明するための図

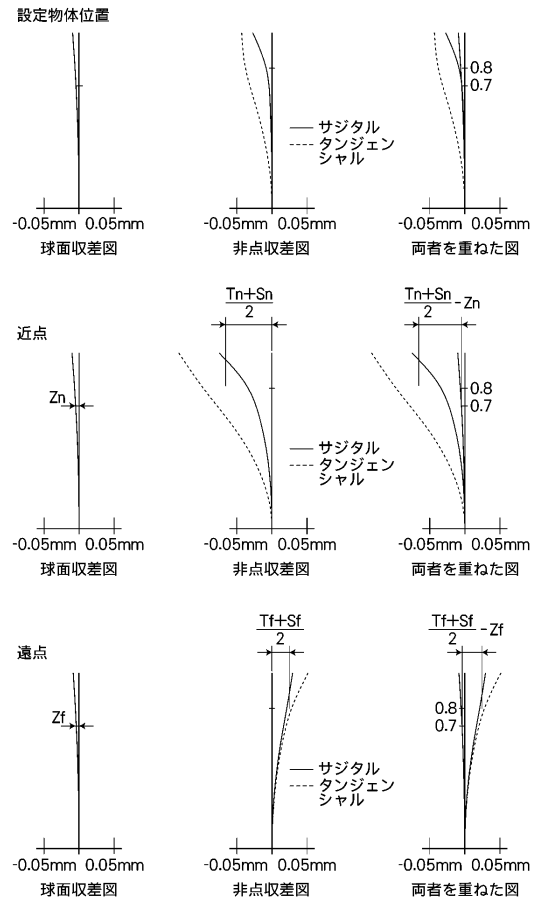
50

【図 2】	内視鏡の撮像光学系の一例の収差図	
【図 3】	近点における観察を説明するための図	
【図 4】	本発明の一実施形態にかかる内視鏡システムの概略的な全体構成図	
【図 5】	本発明の一実施形態にかかる内視鏡の挿入部の先端部の概略断面図	
【図 6】	本発明の実施例 1 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 7】	本発明の実施例 2 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 8】	本発明の実施例 3 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 9】	本発明の実施例 4 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 10】	本発明の実施例 5 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 11】	本発明の実施例 6 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	10
【図 12】	本発明の実施例 7 にかかる撮像光学系のレンズ構成を示す図	
【図 13】	本発明の実施例 1 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 14】	本発明の実施例 2 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 15】	本発明の実施例 3 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 16】	本発明の実施例 4 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 17】	本発明の実施例 5 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 18】	本発明の実施例 6 にかかる撮像光学系の各収差図	
【図 19】	本発明の実施例 7 にかかる撮像光学系の各収差図	
【符号の説明】		
【0082】		20
1	撮像光学系	
2	撮像光学系	
3	内壁	
7	光路変換プリズム	
8	固体撮像素子	
9	処置具挿通チャンネル	
10	撮像装置	
100	内視鏡	
102	操作部	
104	挿入部	30
110	先端部	
120	プロセッサ	
122	表示装置	
d	焦点深度	
D_i	i 番目の面と $i + 1$ 番目の面との光軸上の面間隔	
L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 、 L_6	レンズ	
P_f	遠点	
P_i	結像位置	
P_n	近点	
P_o	物体位置	40
R_i	i 番目の面の曲率半径	
S_t	絞り	
Z	光軸	

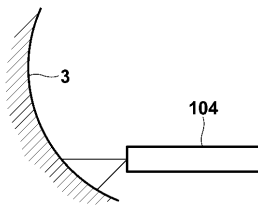
【 図 1 】



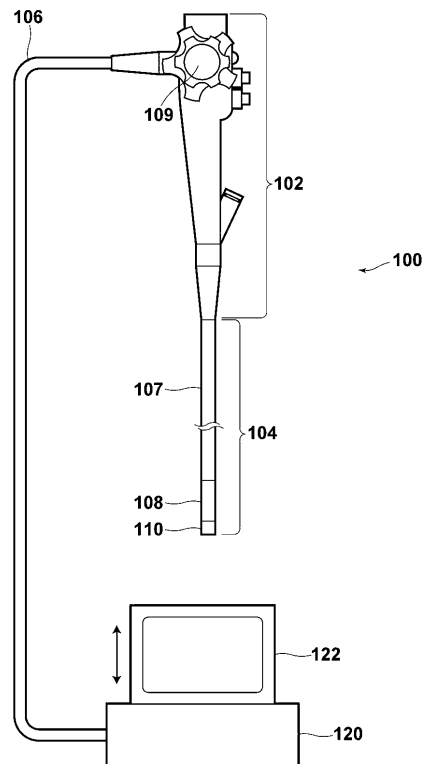
【 図 2 】



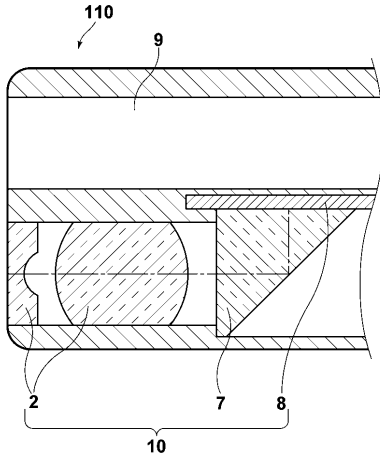
【 図 3 】



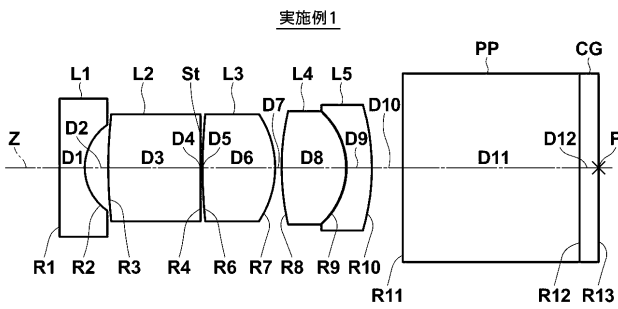
【 図 4 】



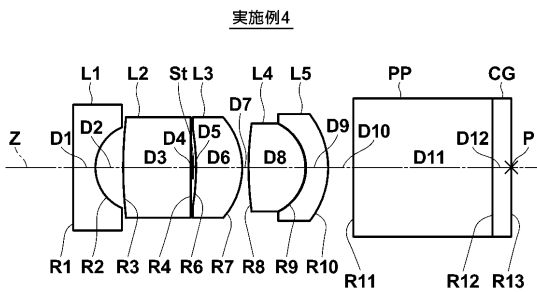
【 図 5 】



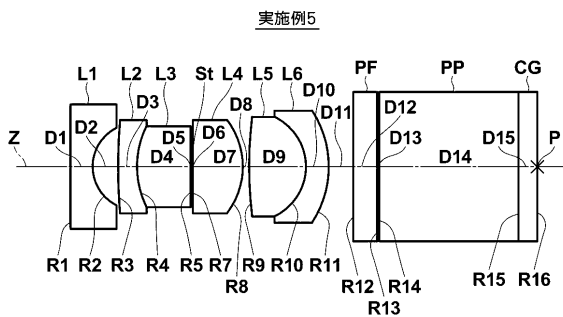
【 図 6 】



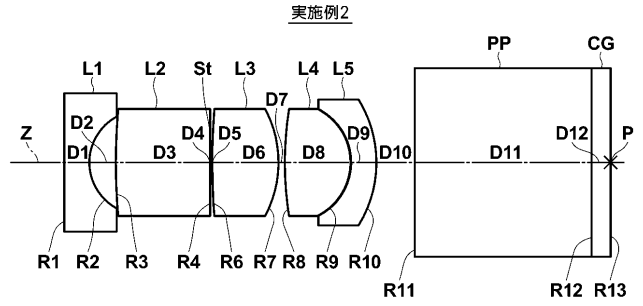
【 図 9 】



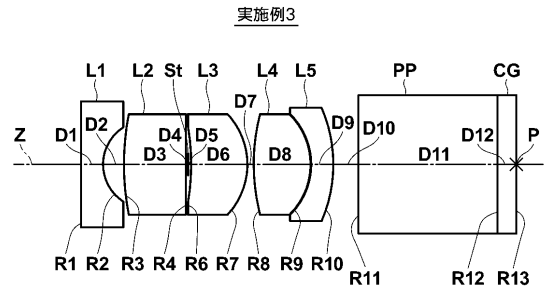
【 図 1 0 】



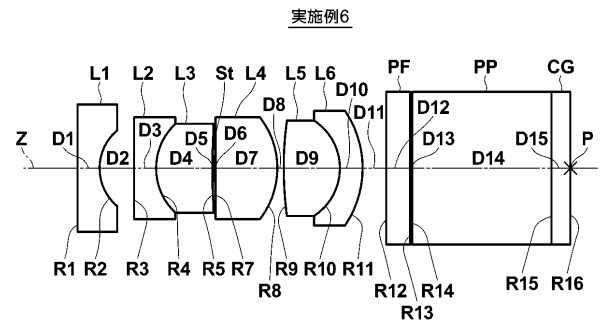
【 図 7 】



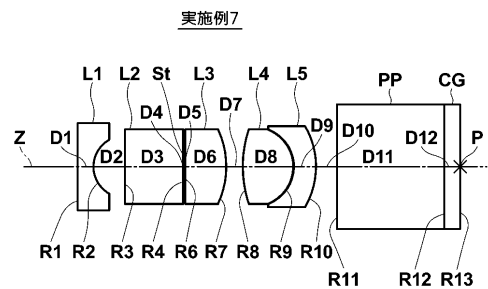
【 図 8 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

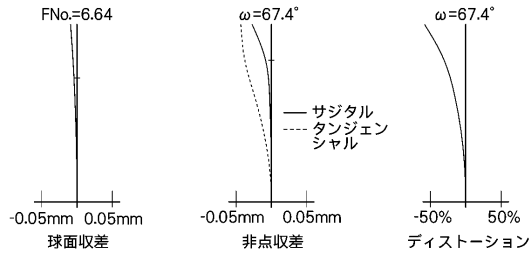


【 図 1 3 】

例 1-1

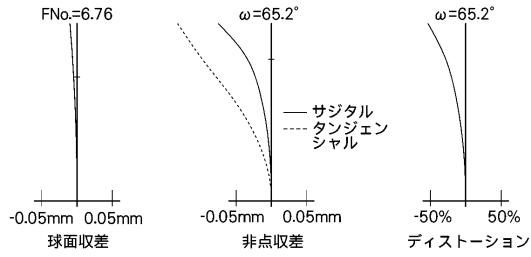
物体距離10mm

FNo.=6.64



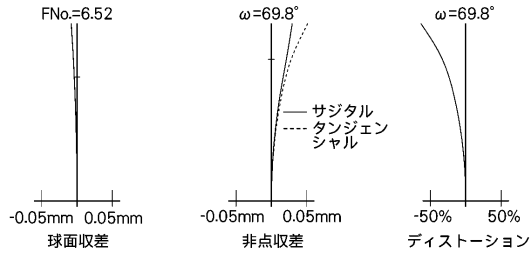
物体距離5.62mm

FNo.=6.76



物体距離36.7mm

FNo.=6.52

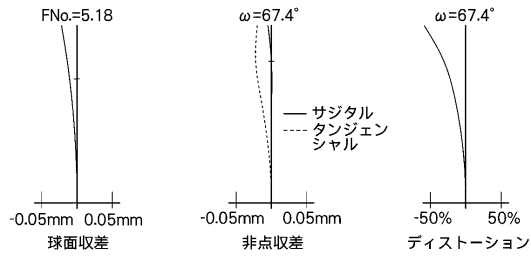


【 図 1 5 】

例 3-1

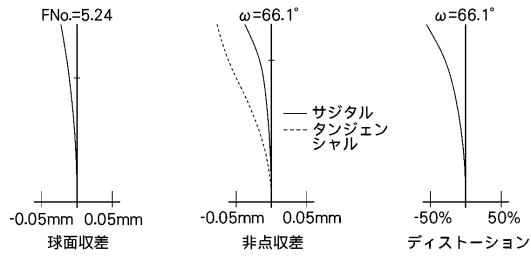
物体距離10mm

FNo.=5.18



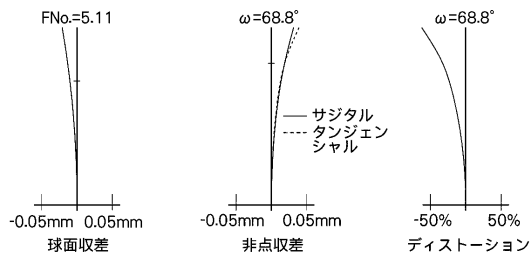
物体距離5.64mm

FNo.=5.24



物体距離36.3mm

FNo.=5.11

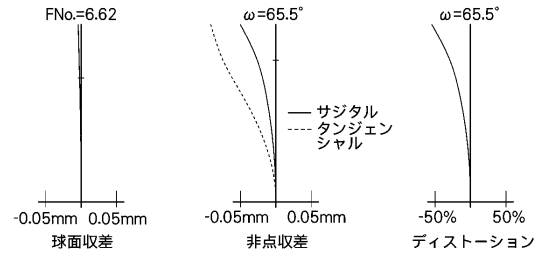


【 図 1 4 】

例 2-1

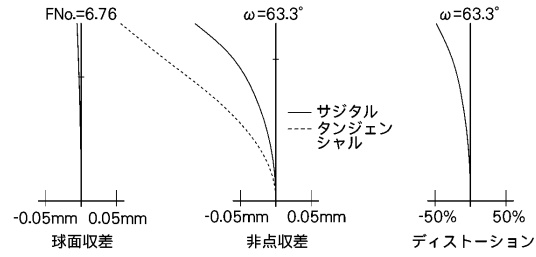
物体距離8.0mm

FNo.=6.62



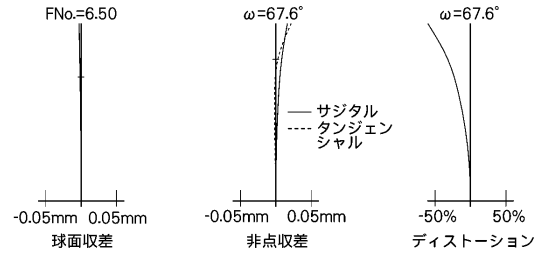
物体距離3.29mm

FNo.=6.76



物体距離∞

FNo.=6.50

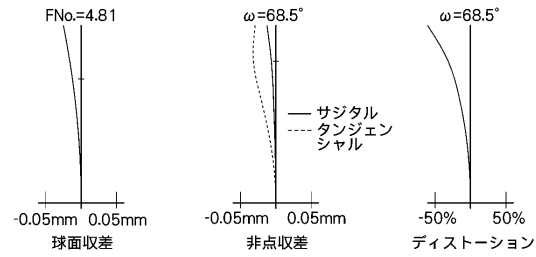


【 図 1 6 】

例 4-1

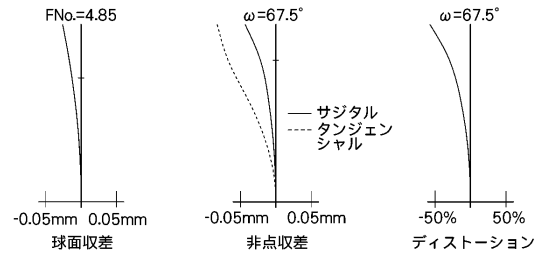
物体距離10mm

FNo.=4.81



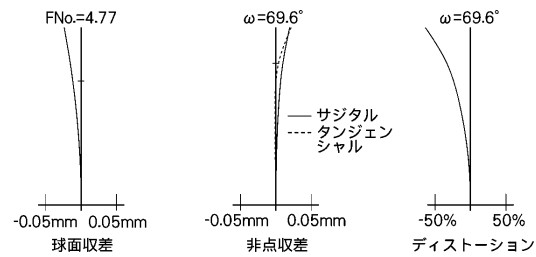
物体距離4.79mm

FNo.=4.85



物体距離413mm

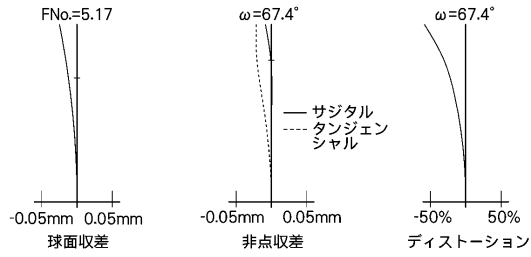
FNo.=4.77



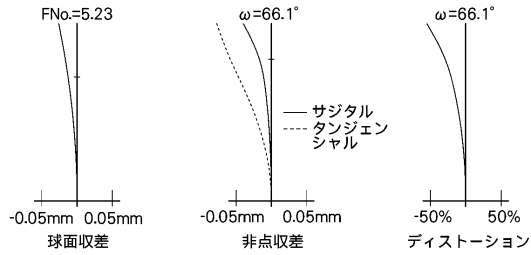
【 図 1 7 】

例 5-1

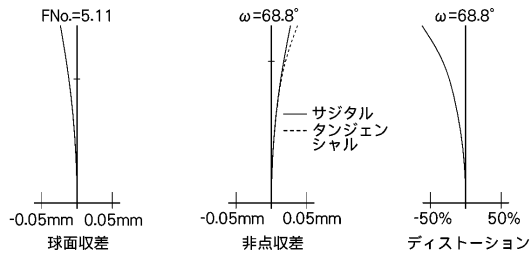
物体距離10mm



物体距離5.57mm



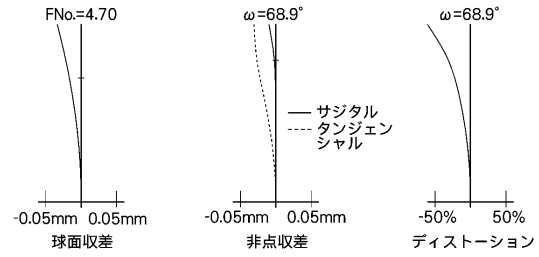
物体距離38.5mm



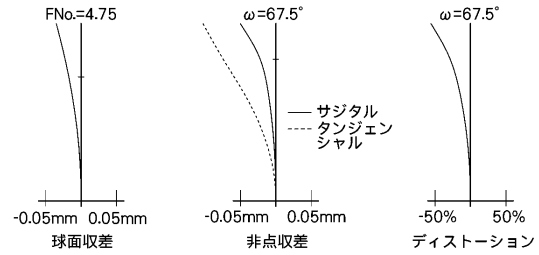
【 図 1 8 】

例 6-1

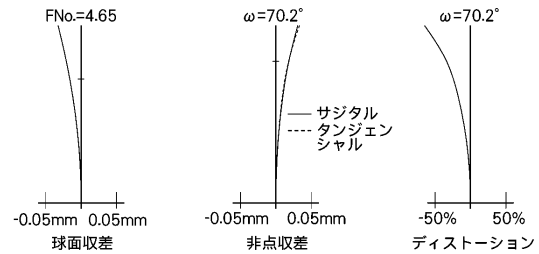
物体距離8mm



物体距離3.35mm



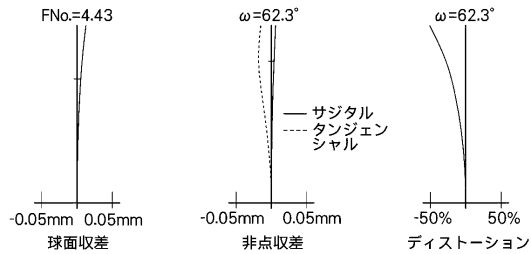
物体距離∞



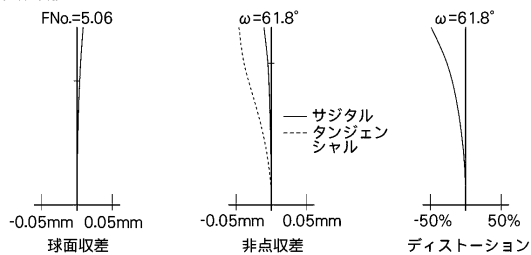
【 図 1 9 】

例 7-1

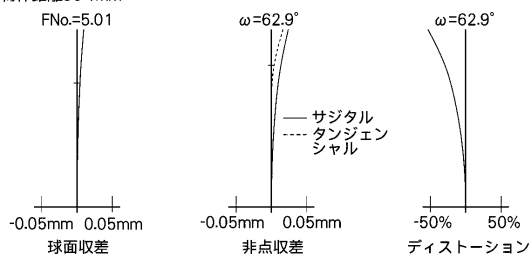
物体距離7mm



物体距離3.44mm



物体距離90.1mm



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA10 LA01 PA03 PA04 PA18 PA19 PB04 PB05 PB06 QA01
QA07 QA18 QA21 QA25 QA26 QA37 QA41 QA45 RA32 RA41
RA42
4C061 AA00 BB00 CC06 FF40 LL02

专利名称(译)	成像光学系统，内窥镜的成像装置		
公开(公告)号	JP2009080413A	公开(公告)日	2009-04-16
申请号	JP2007251111	申请日	2007-09-27
[标]申请(专利权)人(译)	富士写真光机株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士公司		
[标]发明人	宫野俊		
发明人	宫野 俊		
IPC分类号	G02B13/00 A61B1/00 A61B1/04 G02B23/26		
CPC分类号	G02B23/243		
FI分类号	G02B13/00 A61B1/00.300.Y A61B1/04.372 G02B23/26.C A61B1/00.731 A61B1/05		
F-TERM分类号	2H040/CA23 2H087/KA10 2H087/LA01 2H087/PA03 2H087/PA04 2H087/PA18 2H087/PA19 2H087/PB04 2H087/PB05 2H087/PB06 2H087/QA01 2H087/QA07 2H087/QA18 2H087/QA21 2H087/QA25 2H087/QA26 2H087/QA37 2H087/QA41 2H087/QA45 2H087/RA32 2H087/RA41 2H087/RA42 4C061/AA00 4C061/BB00 4C061/CC06 4C061/FF40 4C061/LL02 4C161/AA00 4C161/BB00 4C161/CC06 4C161/FF40 4C161/LL02		
代理人(译)	佐久间刚		
其他公开文献	JP2009080413A5		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：在图像拾取光学系统中获得良好的图像而无需使用焦点调节机制，即使物体位置发生变化也不会导致图像的极端劣化。解决方案：在布置在内窥镜插入部分远端的成像光学系统1中，将形成图像的位置定义为图像形成位置Pi。在将物体放置在远点Pf处的成像位置Pi处，由于光线穿过瞳孔直径的70%而引起的球面像差量Zf，在像高处为最大像高的80%的矢状场曲率。当将物体放置在近点Pn处时，量Sf，在像高处的像高为最大像高的80%时的切线方向上的像场弯曲量Tf，以及在成像位置Pi处的光瞳直径的70%的直径。由光线Zn引起的球差，在矢高方向上像高为最大像高的80%时在弧矢方向上的像场弯曲量Sn，在切线方向上像方最大像高为80%的像高处的曲率Tn由公式(1)感到满意。[选择图]无

$$-1.5 \leq \frac{(Tf+Sf)/2-Zf}{(Tn+Sn)/2-Zn} \leq 0.0$$

(1)