

(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2009-163256

(P2009-163256A)

(43) 公開日 平成21年7月23日(2009.7.23)

|                             |                |             |
|-----------------------------|----------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                | F I            | テーマコード (参考) |
| <b>G02B 13/04 (2006.01)</b> | G02B 13/04 D   | 2H087       |
| <b>A61B 1/00 (2006.01)</b>  | A61B 1/00 300Y | 4C061       |

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2009-49731 (P2009-49731)  
 (22) 出願日 平成21年3月3日 (2009.3.3)  
 (62) 分割の表示 特願平11-68018の分割  
 原出願日 平成11年3月15日 (1999.3.15)

(71) 出願人 000000376  
 オリンパス株式会社  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号  
 (74) 代理人 100065824  
 弁理士 篠原 泰司  
 (74) 代理人 100104983  
 弁理士 藤中 雅之  
 (72) 発明者 金野 光次郎  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパスメディカルシステムズ株式会社内

最終頁に続く

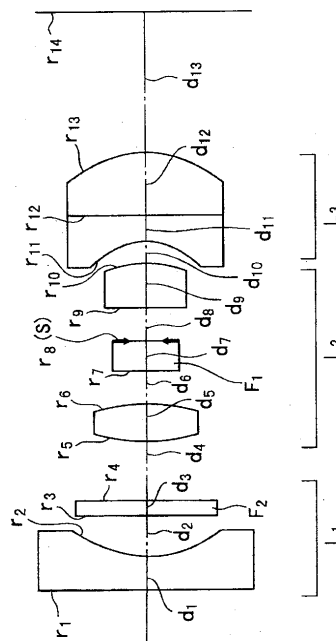
(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】スクリーニング用の単焦点内視鏡並の全長短縮と広視野角を図りつつ、拡大倍率が高い拡大内視鏡用の光学系を提供する。

【解決手段】物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、以下の条件(1)、(2)を満足する。 $2p / (1.22 \lambda) < F_T < 4p / (1.22 \lambda) \dots (1)$   $F_W < F_T \dots (2)$ ただし、 $F_T$ は近接観察時の有効Fナンバー、 $F_W$ は遠方観察時の有効Fナンバー、 $p$ はCCDの画素ピッチ、 $\lambda$ はd線の波長(587nm)である。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、以下の条件(7)、(8)を満足することを特徴とする光学系。

$$2p / (1.22 \lambda) < F_T < 4p / (1.22 \lambda) \cdots (7)$$

$$F_W < F_T \cdots (8)$$

ただし、 $F_T$ は近接観察時の有効Fナンバー、 $F_W$ は遠方観察時の有効Fナンバー、 $p$ はCCDの画素ピッチ、 $\lambda$ はd線の波長(587nm)である。

## 【請求項 2】

物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、バリエータよりも像側に干渉フィルタを配置したことを特徴とする光学系。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、固体撮像素子を用いた撮像光学系において、とくに物体距離を変動しながら拡大をおこなう光学系に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、小型のCCD(固体撮像素子)を用いた電子式内視鏡が流行っている。これによれば、体腔内の病変をTVモニター上で多人数で観察することができるので、複数の医師で観察および診断が可能であり、また、患者も自分の病変を見ながら診断してもらえるとという大なる効果がある。

20

## 【0003】

このような内視鏡の中でも、病変部を近接観察してその微細構造を観察することで、微小病変の浸潤の度合いや切除範囲の診断を目的とした、いわゆる拡大内視鏡が注目されている。拡大内視鏡用の光学系には、例えば特許文献1や特許文献2に開示されたものなどがある。これらの光学系は、それぞれ3群式、4群式の拡大光学系であり、大きな観察倍率を得ることができるが、光学系の全長が大きく患者の負担が大きいという問題点がある。

30

## 【0004】

これに対し、特許文献3や特許文献4に開示されたものでは、2群式の光学系によって光学系全長を短くしている。しかしながら、拡大時の作動距離(以下WDという)が長く拡大率が小さいという欠点がある。また、遠方観察時の視野角 $2w$ が100度以下と狭く、病変を発見するのに時間がかかるという欠点もある。現在、近接観察機能をもたないスクリーニング用の単焦点内視鏡は視野角 $2w$ が130度程度であるので、これと同程度の広い画角が望ましい。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

40

【特許文献1】特公昭61-44283号公報

【特許文献2】特開平4-218012号公報

【特許文献3】特公昭55-15004号公報

【特許文献4】特開平1-279219号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

2群式の光学系は全長を短縮することが容易であるが、収斂レンズ群を光軸方向に移動した場合に、遠方観察時と近接観察時における光線高が大きく変動するために、非点収差の変動を抑えることが困難となる。このため、収斂レンズの移動にともない、メリジオナ

50

ル方向の像面が大きく変動することになる。

【0007】

図1(A)に概念図を示す。図中、光線1は遠方観察時の光線であり、光線2は近接観察時の光線である。これから分かるように、光線1は第1発散レンズ群 $L_1$ と第2収斂レンズ群 $L_2$ の高い位置を通過する。光線1の状態では第1発散レンズ群 $L_1$ と第2収斂レンズ群 $L_2$ のパワーをバランスさせ、非点収差の発生を0とすると、光線2で光線高が低くなるときに第1発散レンズ群 $L_1$ の作用が弱まり、非点収差が補正不足になってしまう。つまり従来の2群式の光学系では収差補正上、収斂レンズ群の移動ストロークを大きくできない。このため、近接観察時のWDを短くして光学系倍率を大きくすることが困難となる。

10

【0008】

さらに収斂レンズ群の移動ストロークが小さいことは、遠方観察時の画角を大きくできないことにもつながる。なぜなら、遠方観察時と近接観察時の画角の大きさは相関関係があり、遠方観察時の画角を大きくすると近接観察時の倍率が小さくなってしまいが、ストローク量が小さいと、この拡大倍率の低下を解消することができないからである。

【0009】

本発明は上記の従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、スクリーニング用の単焦点内視鏡並の全長短縮と広視野角を図りつつ、拡大倍率が大きい拡大内視鏡用の光学系を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成する本発明の光学系は、物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、以下の条件(7)、(8)を満足することを特徴とする。

$$2p / (1.22 \lambda) < F_T < 4p / (1.22 \lambda) \cdots (7)$$

$$F_W < F_T \cdots (8)$$

ただし、 $F_T$ は近接観察時の有効Fナンバー、 $F_W$ は遠方観察時の有効Fナンバー、 $p$ はCCDの画素ピッチ、 $\lambda$ はd線の波長(587nm)である。

【0011】

また、上記目的を達成する本発明の光学系は、物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、パリエータよりも像側に干渉フィルタを配置したことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、スクリーニング用の単焦点内視鏡並の全長短縮と広視野角を図りつつ、拡大倍率が大きい拡大内視鏡用の光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明と従来例の概念図である。

【図2】物体距離を説明する図である。

【図3】(d)式の関係を表すグラフである。

40

【図4】明るさ絞り以降にパリエータが存在する場合の構成図である。

【図5】本発明の実施例1のレンズ断面図である。

【図6】本発明の実施例2のレンズ断面図である。

【図7】本発明の実施例3のレンズ断面図である。

【図8】本発明の実施例4のレンズ断面図である。

【図9】本発明の実施例5のレンズ断面図である。

【図10】本発明の実施例6のレンズ断面図である。

【図11】本発明の実施例7のレンズ断面図である。

【図12】本発明の実施例8のレンズ断面図である。

【図13】本発明の実施例9のレンズ断面図である。

50

【図 1 4】本発明の実施例 10 のレンズ断面図である。

【図 1 5】間隔管の内面反射対策を説明する図である。

【図 1 6】被写界深度を説明する図である。

【図 1 7】 $1/x$  のグラフである。

【図 1 8】本発明の実施例 1 の収差曲線図である。

【図 1 9】本発明の実施例 2 の収差曲線図である。

【図 2 0】本発明の実施例 3 の収差曲線図である。

【図 2 1】本発明の実施例 4 の収差曲線図である。

【図 2 2】本発明の実施例 5 の収差曲線図である。

【図 2 3】本発明の実施例 6 の収差曲線図である。

【図 2 4】本発明の実施例 7 の収差曲線図である。

【図 2 5】本発明の実施例 8 の収差曲線図である。

【図 2 6】本発明の実施例 9 の収差曲線図である。

【図 2 7】本発明の実施例 10 の収差曲線図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明の光学系の実施例の説明に先立ち、本発明の光学系の構成による作用効果を説明する。

【0015】

図 1 (B) に本発明の概念図を示す。図中、光線 3 は遠方観察時の光線であり、光線 4 は近接観察時の光線である。本発明では、2 群式を改良し、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  のさらに像側に第 3 発散レンズ群  $L_3$  を配置している。

【0016】

遠方観察時の光線 3 は、第 1 発散レンズ群  $L_1$  と、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  および第 3 発散レンズ群  $L_3$  のパワーがバランスしているため、非点収差の発生は 0 である。近接観察時の光線 4 は第 1 発散レンズ群  $L_1$  における光線高が低くなり凹作用が弱まるが、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の移動にともない第 3 発散レンズ群  $L_3$  における凹作用が強まるため、近接観察時でも非点収差は 0 に近い。ゆえに第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の移動にともなう収差変動を気にすることがなくなり、大きなストローク量をもつことができるのである。この結果、従来の 2 群式光学系に比べ、近接観察時の作動距離を短くすること、すなわち光学系倍率を大きくすることができる。また、拡大するのに十分なストローク量があるため遠方観察時の画角を大きくすることができる。

【0017】

物体側から順に負、正、負の 3 群よりなる光学系において、第 1 発散レンズ群および第 3 発散レンズ群を固定し、第 2 収斂レンズ群を移動させて倍率  $\beta_2$  を変化させたときの物点位置と焦点位置との関係を以下に説明する。

【0018】

なお、第 2 収斂レンズ群の移動により像面が変動しないとすると、第 3 発散レンズ群にとっての物点の変動も生じないことになる。すなわち、この光学系の物体距離を説明するにあたり、第 3 発散レンズ群は無視して説明する。

【0019】

図 2 において、全系の焦点距離を  $f$ 、第 1 発散レンズ群  $L_1$ 、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の焦点距離を各々  $f_1$ 、 $f_2$ 、無限遠観察時の第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の倍率を  $\beta_2'$ 、第 1 発散レンズ群  $L_1$  から第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の後ろ側焦点位置までの距離を  $L$  とすると、 $f$  および  $L$  は、次の式で表される。

$$f = f_1 \beta_2' \cdots (a)$$

$$L = f_1 + f_2 (2 - \beta_2' - 1 / \beta_2') \cdots (b)$$

【0020】

周知のように第 2 収斂レンズ群を移動させて  $\beta_2'$  を変化させると、(a) 式にしたがって焦点距離  $f$  が変化し、また (b) 式にしたがって焦点位置が変動し  $\beta_2' = -1$  のと

10

20

30

40

50

き  $L$  は最小になる。

【 0 0 2 1 】

上の説明は物体側を基準にして考察した場合であるが、実際の観察においては像位置は固定である。そのため像位置を基準にして考えると、特定の像位置に対する第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の倍率  $\beta_2'$  が  $-1$  のときに、この像位置と結像関係にある物体距離が最小になる。

【 0 0 2 2 】

任意の  $\beta_2'$  に対する第 1 発散レンズ群  $L_1$  の前側焦点位置から物体までの距離を  $x$ 、 $\beta_2' = -1$  のときの距離を  $x_0$  とすると、 $x$  は次の式にて表せる。

$$x = \{ 1 / x_0 - f_2 \cdot ( 2 + \beta_2' + 1 / \beta_2' ) / f_1^2 \}^{-1} \cdots (c) \quad 10$$

ただし、 $x$  は第 2 図に示す配置において左方向を負とする。なお物点距離に関しては、以後上記の符号にしたがうものとする。

【 0 0 2 3 】

また  $x$ 、 $\beta_2'$  を特定の状態に設定して像位置を固定すると、その状態で第 2 収斂レンズ群を動かして  $\beta_2'$  を変化させたときの  $x$  を求めることができる。 $\beta_2' = \beta_{2W}'$  のときの  $x$  を  $x_W$  とすると、(c) 式は次の (d) 式のように変形できる。

$$x = \{ f_2 \cdot ( \beta_{2W}' + 1 / \beta_{2W}' - \beta_2' - 1 / \beta_2' ) / f_1^2 + 1 / x_W \}^{-1} \cdots (d)$$

【 0 0 2 4 】

このときの  $x_0$  を  $x_{0W}$  とすると、 $x_{0W}$  は次の (e) 式にて求めることができる。

$$x_{0W} = \{ 1 / x_W + f_2 \cdot ( 2 + \beta_{2W}' + 1 / \beta_{2W}' ) / f_1^2 \}^{-1} \cdots (e) \quad 20$$

【 0 0 2 5 】

図 3 は (d) 式の関係を表すグラフである。なお、このグラフで縦軸は  $-x$ 、横軸は  $-\beta_2'$  をとっている。このグラフから、 $x = x_W$  のとき  $\beta_2' = \beta_{2W}'$  となる状態を設定した場合、 $x = x_{0W}$  の任意の物点に対してフォーカシングが可能になる。また  $x = x_{0W}$  の任意の物点に対し  $\beta_2'$  は  $\beta_2' = -1$  をはさんで両側に各々一つの解が存在する。

【 0 0 2 6 】

次に焦点距離の比について述べる。 $\beta_2$  と  $\beta_2'$  とは通常異なり、両者の関係を示すと次の (f) 式のとおりである。

$$\beta_2' = \beta_2 / \{ 1 - f_1 / f_2 \} \cdots (f) \quad 30$$

ただし、 $\beta_2$  は像位置に対応した物点における第 1 発散レンズ群と第 2 収斂レンズ群の倍率である。

【 0 0 2 7 】

全系の倍率が十分小さければ、(f) 式は  $\beta_2' = \beta_2$  と近似でき、(a) 式は  $f_2 = f_1$ 、 $\beta_2' = \beta_2$  となる。したがって、 $\beta_2' = \beta_{2W}'$  における焦点距離  $f_W$  に対する、任意の  $\beta_2'$  における焦点距離の比  $\beta_2' / \beta_{2W}'$  は、全系の倍率があまり大きくならない範囲ではおよそ次の (g) 式で表されると考えてよい。

$$\beta_2' / \beta_{2W}' = f / f_W \cdots (g)$$

【 0 0 2 8 】

$f_1$ 、 $f_2$  を固定させ、第 2 収斂レンズ群を動かして  $\beta_2'$  を二つの状態に変化させて焦点距離を変える場合、短焦点の状態における物点距離と第 2 収斂レンズ群の倍率とを各々  $x_W$ 、 $\beta_{2W}'$ 、長焦点の状態における物点距離と第 2 収斂レンズ群の倍率を各々  $x_T$ 、 $\beta_{2T}'$  とすると、本発明は

$$-1.3 < \beta_{2T}' < \beta_{2W}' \cdots (1) \quad 40$$

の条件を満足するため、物体までの距離  $x$  の変動が少ない。このとき  $x_W < x_T$  とすると、長焦点時の物体までの距離が、短焦点時のそれよりも大きくなってしまふ。通常、短焦点時は、観察対象の物体を検査するので物体は遠くにあり、長焦点時は近くに寄って近接観察するため、 $\beta_{2T}' < \beta_{2W}'$  の条件を満足する必要がある。

【 0 0 2 9 】

また、短焦点から長焦点へ拡大をおこなっていったときに、 $\beta_{2T}' = -1$  の状態で、最も

物体までの距離が短くなるが、さらに第2収斂レンズ群を移動させると、逆に作動距離が遠ざかっていくことになってしまう。遠ざかる量がある程度小さければ気にならないが、 $-1.3 < \gamma_{2T} < -1$ 程度の範囲では使い勝手が悪くなってくる。そこで本発明では、 $-1.3 < \gamma_{2T}$ なる条件を付加している。

【0030】

ただし、このままでは、 $\gamma_{2T} = \gamma_{2T}' / \gamma_{2W}'$ の比を大きくとることができず倍率が小さいので、第3発散レンズ群によって拡大し、全系倍率を大きくする必要がある。このため、本発明では、

$$1 < \gamma_{3T} \cdots (2)$$

なる条件を付加した。第3発散レンズ群は拡大系であることが発明の主旨であるので、等倍より大きい必要がある。

【0031】

さらに条件(2)に代えて以下の条件(2')を満足することが好ましい。

$$1.5 < \gamma_{3T} \cdots (2')$$

【0032】

本発明はさらに、第3収斂レンズ群が、少なくとも物体側に向けた凹面を有することで、より効果的に目的を達成することが可能である。内視鏡には先端に付着した粘液等を水流で洗い流す機能が必要であるが、第1発散レンズ群の外表面が凹面であると水がたまって観察不能状態となる。ゆえに外表面は平面か凸面であることが望ましい。一方、第1発散レンズ群は、広角化をおこなうために、凹のパワーが必要であるので、結局第1発散レンズ群は、像側に向けた凹面を有することになる。この第1発散レンズ群と、絞りに対して対称形になるように第3発散レンズ群の形状を工夫すると、非点収差およびコマ収差の発生を抑えるのに都合がよい。この結果、少ない枚数で光学系を実現することができ、コストと短い光路長の面で望ましい。

【0033】

このときの、第1発散レンズ群の凹面と第3発散レンズ群の凹面との望ましい関係について以下に述べる。

$$1 < |R_1 / R_3| < 3 \cdots (3)$$

ただし、 $R_1$ は第1発散レンズ群における像側に向けた凹面のうち曲率半径がもっとも小さい凹面の曲率半径、 $R_3$ は第3発散レンズ群における物体側に向けた凹面のうち曲率半径がもっとも小さい凹面の曲率半径である。

【0034】

$R_1$ と $R_3$ とは、非点収差を補正し合うために適切な関係でなければならないが、このバランスが条件(3)の下限を下回ると、 $R_1$ の曲率半径が不必要に小さくなりバックフォーカスが長くなるので、全長の増加をまねく。逆に条件(3)の上限を上回ると、 $R_1$ の曲率が大きくなりすぎ、当初の狙いである非点収差を補正することが困難になる。

【0035】

さらに、第3発散レンズ群の焦点距離 $f_3$ に関する望ましい条件を説明する。

$$-5 < f_3 / f_W < -1 \cdots (4)$$

ただし、 $f_3$ は第3発散レンズ群の焦点距離、 $f_W$ は第1発散レンズ群から第3発散レンズ群までの遠方観察時における焦点距離である。

【0036】

第3発散レンズ群は収差を補正するために、物体側に向けた凹面をもつ。この曲率半径をなるべく小さくする方が非点収差の補正上有利であるが、条件(4)の上限を上回ってパワーを強くすると、全長が延びてしまい、本来の目的である全長の短縮が図れなくなってくる。また逆に条件(4)の下限を下回ってパワーが弱くなると、第2収斂レンズ群の移動時に収差が補正されている範囲が小さくなり、第2収斂レンズ群のストローク量を大きくとれなくなってくる。条件(4)は、以上の性質を加味して、実用上許せる範囲で規定した条件である。

【0037】

10

20

30

40

50

本発明はさらに、第3発散レンズ群中に、少なくとも凸の作用をもつ面を含むことで、より効果的に目的を達成することが可能である。第3発散レンズ群は、物体側に向けた強い凹面を少なくとももち、第1発散レンズ群および第2収斂レンズ群による像を拡大する作用をもつが、凹のパワーが小さい方が、バックフォーカスが延びないため、全長のコンパクト化という意味で望ましい。すなわち、第3発散レンズ群中に凸のパワーを配して凹のパワーを打ち消すようにする必要がある。また、凸の面が存在すると、非点収差の補正をおこなうにあたり微調整をおこないやすく好ましい。特に凸の面が像側を向いていると収差補正上好ましい。

【0038】

さらに、第3発散レンズ群の凹作用をもつ面の形状と、凸作用をもつ面の形状との望ましい関係について以下に述べる。

$$-0.1 < 0.5 \cdot h_3 \cdot (1 / (|r_{31}| + d_3) - 1 / |r_{32}|) < 0.3 \dots (5)$$

ただし、 $h_3$ は第3発散レンズ群を通る最も高い光線高、 $r_{31}$ は第3発散レンズ群中の物体側を向いたの凹の面の曲率半径、 $r_{32}$ は第3発散レンズ群中の像面を向いた凸の面の曲率半径、 $d_3$ は第3発散レンズ群の中肉厚である。

【0039】

前述のごとく、第3発散レンズ群中の凸作用と凹作用をバランスさせていくと、曲率差の小さいレンズ形状となっていく。条件(5)は、そのレンズ形状をレンズ加工の面から条件化したものである。条件(5)の下限を下回ると、実際のレンズ加工をおこなう場合に、レンズの芯取りが困難になり歩留まりが劣化し、コストが高くなる。逆に、条件(5)の上限を上回ると、加工性は楽になるが、第3発散レンズ群中の凸作用と凹作用とのバランスが悪くなり、非点収差の補正が困難になってくる。

【0040】

本発明はまた、第2収斂レンズ群が、明るさ絞りを収斂レンズにより挟む構成とすることで、より効果的に目的を達成することが可能である。第2収斂レンズ群は、結像作用をもつために強い凸のパワーが必要である。そこで、第2収斂レンズ群の構成を、凸、明るさ絞り、凸とすることで、全体として強い凸パワーをもたせつつ、絞りに対して対称形の配置にし、非点収差およびコマ収差の発生を抑えることができる。この結果、やはり少ない枚数で光学系を実現することができ、コストと短い光路長の面で望ましい。

【0041】

このときの、第2収斂レンズ群の望ましい関係について以下に述べる。

$$0.9 < f_2 / f_w < 2 \dots (6)$$

ただし、 $f_2$ は第2発散レンズ群の焦点距離、 $f_w$ は第1発散レンズ群から第3発散レンズ群までの遠方観察時における焦点距離である。

【0042】

第2収斂レンズ群は、本光学系中で唯一の結像系である。このため、全焦点距離に対する第2収斂レンズ群のパワーも、光学系全長すなわち光学系第1面から結像面までの長さへの寄与が大きい。全長の観点では $f_2$ は短いほど良いが、条件(6)の下限を下回る程度に短いと球面収差の発生を抑えることが困難となる。逆に、条件(6)の上限を上回ると全長の増加をまねいてしまう。本条件は、以上の性質を加味して、実用上許せる範囲で規定した条件である。

【0043】

また最近では、CCDの多画素化、小型化が進み、内視鏡への適用が考え始められている。このような画素数の多いCCDを前述の拡大式の内視鏡へ適用すると、より細かな生体観察が可能であるため診断能的に有利である。しかし拡大内視鏡光学系をそのまま適用すると、近接観察時のFナンバーが大きいため、回折現象による画像の劣化が生ずるといった問題がある。この問題を回避するために、近接観察時のFナンバーが小さくなるように設計的に絞り径を大きくすると、遠方観察(ワイド)時のFナンバーも小さくなってしま

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 4 】

内視鏡としての使い勝手として、遠方観察時は微細病変を探しているときなので、近い物体から遠くの物体までにピントがあっていること、すなわちFナンバーが大きく、広い被写界深度を有していることが望ましい。本発明は上記の相反する二つの課題を解決する拡大内視鏡光学系も提供するものである。

## 【 0 0 4 5 】

上記課題は、物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、以下の条件(7)、(8)を同時に満足することで解決できる。

$$2p / (1.22 \lambda) < F_T < 4p / (1.22 \lambda) \quad \dots (7)$$

$$F_W < F_T \quad \dots (8)$$

10

ただし、 $F_T$ は近接観察時の有効Fナンバー、 $F_W$ は遠方観察時の有効Fナンバー、 $p$ はCCDの画素ピッチ、 $\lambda$ はd線の波長(587nm)である。

## 【 0 0 4 6 】

図4は、明るさ絞りS以降にバリエータが存在する場合に、像側より逆追跡した構成を単純化して示した図である。図4(A)は遠方物体を観察する場合であり、図4(B)は拡大観察時に明るさ絞りも同時に移動した場合を示す。この図から瞳の結像倍率を $m$ とすると、 $m$ は以下の式で表される。

$$m = O'H' / OH = e / o = f / |x| \quad \dots (h)$$

ただし、 $OH$ は明るさ絞り径 $o$ の半径、 $O'H'$ は入射瞳径 $e$ の半径、 $f$ は図における光学系の焦点距離、 $x$ は明るさ絞り位置から前側焦点位置 $f_F$ までの距離である。

20

## 【 0 0 4 7 】

次に、遠方観察時の有効Fナンバーを $F_{W(F)}$ 、拡大観察時の有効Fナンバーを、明るさ絞りが固定の場合を $F_{T(F)}$ 、バリエータと同時に動く場合を $F_{T(M)}$ とすると、以下の式が成り立つ。

$$F_W = f_W / e,$$

$$F_{T(F)} = f_T / e,$$

$$F_{T(M)} = f_T / e',$$

$$\dots (i)$$

## 【 0 0 4 8 】

明るさ絞りSが、図4(B)のように移動した場合の瞳の結像倍率 $m'$ は次のとおりである。

30

$$m' = O''H'' / OH = e' / o = f / |x_1| \quad \dots (j)$$

したがって、 $|x_1| < |x|$ より、 $m < m'$ 、 $e < e'$ ゆえに $F_{T(M)} < F_{T(F)}$ 。

## 【 0 0 4 9 】

また $F_{T(M)}$ は、 $|x_{3T} / x_{3W}| = n$ とおくと、次のように表される。

$$F_{T(M)} = m \cdot n \cdot F_W / m' \quad \dots (k)$$

## 【 0 0 5 0 】

今、入射瞳係数の変動比を上回る十分な変倍比 $n$ があることから、上式から以下の関係が成り立つ。

$$F_W < F_{T(M)} < F_{T(F)} \quad \dots (m)$$

40

## 【 0 0 5 1 】

このことから、明るさ絞りが固定されているよりも、バリエータと同時に動いた方が、拡大観察時のFナンバーを小さくしつつ遠方観察時のFナンバーを大きくすることが可能である。

## 【 0 0 5 2 】

一方、光学系の解像限界周波数 $f_r$ は例えば、レーリーによる回折限界として以下の式にて与えられる。

$$f_r = 1 / (1.22 \cdot \lambda \cdot Fno) \quad [\text{本/mm}] \quad \dots (n)$$

ただし、 $\lambda$ は波長で、通常587nm、 $Fno$ は光学系の有効Fナンバーである。

## 【 0 0 5 3 】

50

一方、CCDが物体情報として再現できる限界周波数  $f_n$  は、サンプリング理論のナイキストレートとして表され、以下の式のようになる。

$$f_n = 1 / (2 \cdot k \cdot p) \dots (o)$$

ただし、 $p$  は CCD の画素ピッチ、 $k$  は電気系の係数である。 $k$  は理想的には  $k = 1$  であるが、電気処理の都合上 CCD の能力を生かせない場合に、

$$1 < k < 2 \dots (p)$$

の値となりうる。ナイキスト定理から、 $k < 1$  とはなり得ないし、 $2 < k$  だと電気系の性能が悪すぎ、画素数を多くする意味がない。式 (o)、(p) から、

$$1 / (4 \cdot p) < f_n < 1 / (2 \cdot p) \dots (q)$$

【0054】

ところで、なるべく高画質を生かしながら、回折限界による画像のボケが画素数の多い CCD でも検知できずボケとして認識されないためには、以下の式を満足する必要がある。

$$f_n = f_r \dots (r)$$

変形して、

$$f_n = 1 / (1.22 \cdot \dots \cdot Fno) \dots (s)$$

【0055】

式 (q)、(s) から、

$$2p / (1.22 \dots) < Fno < 4p / (1.22 \dots) \dots (10)$$

したがって、高画質用 CCD に対応した内視鏡用の光学系として、条件 (8) を満足するような拡大観察時の F ナンバーを満足すればよい。

【0056】

以上まとめると、高画質用 CCD に対応した拡大内視鏡用の光学系が、条件 (7) (式 (m))、(8) を満足すればよい。

【実施例】

【0057】

以下に、本発明の光学系の実施形態について説明する。本発明の実施例 1 ~ 9 のレンズ断面図を図 5 ~ 図 13 に、収差図を図 18 ~ 図 27 に示す。レンズ断面図においては曲率半径を  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $\dots$ 、面間隔を  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $\dots$  で表している。またレンズデータは以下のとおりである。物体距離によって変化する面間隔は「(遠方観察時の面間隔) ~ (近接観察時の面間隔)」と記載している。

【0058】

(実施例 1)

| 面番 | 曲率半径    | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |
|----|---------|-----------------|---------|-------|
| 1  |         | 0.3021          | 1.88300 | 40.78 |
| 2  | 0.9265  | 0.3879          |         |       |
| 3  |         | 0.1492          | 1.52287 | 59.89 |
| 4  |         | 0.5856 ~ 0.2611 |         |       |
| 5  | 2.4685  | 0.3357          | 1.80100 | 34.97 |
| 6  | -2.4685 | 0.2914          |         |       |
| 7  |         | 0.2984          | 1.51400 | 75.00 |
| 8  | (絞り)    | 0.3170          |         |       |
| 9  |         | 0.3916          | 1.74400 | 44.78 |
| 10 | -0.8146 | 0.2163 ~ 0.5409 |         |       |
| 11 | -0.5602 | 0.2238          | 1.75520 | 27.51 |
| 12 |         | 0.5595          | 1.75500 | 52.32 |
| 13 | -1.1197 | 1.2876          |         |       |
| 14 | (像面)    |                 |         |       |

【0059】

(実施例 2)

10

20

30

40

50

| 面番 | 曲率半径    | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |    |
|----|---------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |         | 0.3214          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 0.8888  | 0.5016          |         |       |    |
| 3  |         | 0.1592          | 1.52287 | 59.89 |    |
| 4  |         | 0.3878 ~ 0.1892 |         |       |    |
| 5  |         | 0.4776          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 6  | -1.6329 | 0.6010          |         |       |    |
| 7  |         | 0.2468          | 1.51400 | 75.00 |    |
| 8  | (絞リ)    | 0.2399          |         |       |    |
| 9  | 6.9360  | 0.5174          | 1.75500 | 52.32 | 10 |
| 10 | -0.8236 | 0.2388 ~ 0.4321 |         |       |    |
| 11 | -0.5590 | 0.1990          | 1.78470 | 26.29 |    |
| 12 |         | 0.5970          | 1.76200 | 40.10 |    |
| 13 | -1.2736 | 1.3435          |         |       |    |
| 14 | (像面)    |                 |         |       |    |

## 【0060】

(実施例3)

| 面番 | 曲率半径      | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |    |
|----|-----------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |           | 0.3232          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 1.0879    | 1.7560 ~ 1.1615 |         |       | 20 |
| 3  | 1.8643    | 0.3887          | 1.76200 | 40.10 |    |
| 4  | -3.6291   | 0.4390          |         |       |    |
| 5  | (絞リ)      | 0.3810          |         |       |    |
| 6  | 2.4647    | 0.2014          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 7  | 0.9172    | 0.6585          | 1.51633 | 64.14 |    |
| 8  | -0.8866   | 0.1945 ~ 0.8315 |         |       |    |
| 9  | -0.8937   | 0.2593          | 1.51633 | 64.14 |    |
| 10 | -498.8448 | 0.4802          |         |       |    |
| 11 | 3.2015    | 1.1000          | 1.75700 | 47.82 |    |
| 12 | (像面)      |                 |         |       | 30 |

## 【0061】

(実施例4)

| 面番 | 曲率半径    | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |    |
|----|---------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |         | 0.3197          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 1.1746  | 1.5903 ~ 0.9025 |         |       |    |
| 3  | 1.9624  | 0.4370          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 4  | -4.3711 | 0.4342          |         |       |    |
| 5  | (絞リ)    | 0.4958          |         |       |    |
| 6  | 5.0497  | 0.2163          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 7  | 0.8713  | 0.7502          | 1.76200 | 40.10 | 40 |
| 8  | -1.2267 | 0.1978 ~ 0.9297 |         |       |    |
| 9  | -1.0509 | 0.3185          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 10 | -2.0576 | 0.9115          |         |       |    |
| 11 | (像面)    |                 |         |       |    |

## 【0062】

(実施例5)

| 面番 | 曲率半径   | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |    |
|----|--------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |        | 0.3293          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 1.1762 | 1.3374 ~ 0.7305 |         |       |    |
| 3  | 1.9023 | 0.3961          | 1.76200 | 40.10 | 50 |

|             |          |                 |         |       |    |
|-------------|----------|-----------------|---------|-------|----|
| 4           | -3.6520  | 0.4473          |         |       |    |
| 5           | ( 絞リ )   | 0.3359          |         |       |    |
| 6           | 6.2917   | 0.7524          | 1.75500 | 52.32 |    |
| 7           | -1.1695  | 0.1917 ~ 0.7986 |         |       |    |
| 8           | -0.7799  | 0.2447          | 1.75500 | 52.32 |    |
| 9           | -6.3073  | 0.4078          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 10          | -1.8595  | 0.4078          |         |       |    |
| 11          | 4.0782   | 1.0800          | 1.75700 | 47.82 |    |
| 12          | ( 像面 )   |                 |         |       |    |
| 【 0 0 6 3 】 |          |                 |         |       |    |
| ( 実施例 6 )   |          |                 |         |       |    |
| 面番          | 曲率半径     | 面間隔             | 屈折率     | アッペ数  |    |
| 1           |          | 0.3290          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2           | 1.1507   | 1.4330 ~ 0.8490 |         |       |    |
| 3           | 1.2008   | 0.3669          | 1.76200 | 40.10 |    |
| 4           | -11.1408 | 0.4469          |         |       |    |
| 5           | ( 絞リ )   | 0.2247          |         |       |    |
| 6           | -3.2111  | 0.4263          | 1.75500 | 52.32 |    |
| 7           | -0.8600  | 0.2291 ~ 0.8131 |         |       |    |
| 8           | -0.8890  | 0.2445          | 1.84666 | 23.78 | 10 |
| 9           |          | 0.5297          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 10          | -2.1909  | 0.4074          |         |       |    |
| 11          | 4.0745   | 0.9700          | 1.75700 | 47.82 |    |
| 12          | ( 像面 )   |                 |         |       |    |
| 【 0 0 6 4 】 |          |                 |         |       |    |
| ( 実施例 7 )   |          |                 |         |       |    |
| 面番          | 曲率半径     | 面間隔             | 屈折率     | アッペ数  |    |
| 1           |          | 0.3237          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2           | 1.1931   | 1.3577 ~ 0.7942 |         |       |    |
| 3           | 1.5498   | 0.3610          | 1.76200 | 40.10 | 30 |
| 4           | -5.0764  | 0.4397          |         |       |    |
| 5           | ( 絞リ )   | 0.4295          |         |       |    |
| 6           | 7.2409   | 0.4194          | 1.75500 | 52.32 |    |
| 7           | -1.1665  | 0.1945 ~ 0.7580 |         |       |    |
| 8           | -0.7403  | 0.2405          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 9           |          | 0.5212          | 1.88300 | 40.76 |    |
| 10          | -1.4576  | 0.4009          |         |       |    |
| 11          | 4.0091   | 1.0700          | 1.75500 | 52.32 |    |
| 12          | ( 像面 )   |                 |         |       |    |
| 【 0 0 6 5 】 |          |                 |         |       |    |
| ( 実施例 8 )   |          |                 |         |       |    |
| 面番          | 曲率半径     | 面間隔             | 屈折率     | アッペ数  |    |
| 1           |          | 0.3348          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2           | 1.0268   | 0.4299          |         |       |    |
| 3           |          | 0.1653          | 1.52287 | 59.89 |    |
| 4           |          | 0.6490 ~ 0.2893 |         |       |    |
| 5           | 2.7355   | 0.3720          | 1.80100 | 34.97 |    |
| 6           | -2.7355  | 0.3229          |         |       |    |
| 7           |          | 0.3307          | 1.51400 | 75.00 |    |
| 8           | ( 絞リ )   | 0.3513          |         |       | 50 |

|    |         |                 |         |       |
|----|---------|-----------------|---------|-------|
| 9  |         | 0.4340          | 1.74400 | 44.78 |
| 10 | -0.9027 | 0.2397 ~ 0.5994 |         |       |
| 11 | -0.6649 | 0.6649          | 1.75520 | 27.51 |
| 12 | -1.2312 | 1.2596          |         |       |
| 13 | ( 像面 )  |                 |         |       |

## 【 0 0 6 6 】

( 実施例 9 )

| 面番 | 曲率半径     | 面間隔             | 屈折率     | アッペ数  |    |
|----|----------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |          | 0.3043          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 0.9931   | 0.4974          |         |       | 10 |
| 3  |          | 0.3628          | 1.51400 | 75.00 |    |
| 4  |          | 0.6987          |         |       |    |
| 5  | -3.9890  | 0.2926          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 6  | 3.9890   | 0.5969          | 1.51633 | 64.14 |    |
| 7  | -1.4818  | 0.2048          |         |       |    |
| 8  | 3.7958   | 0.4974          | 1.69680 | 55.53 |    |
| 9  | -3.7958  | 0.1463 ~ 2.3000 |         |       |    |
| 10 | ( 絞り )   | 0.1364          |         |       |    |
| 11 | -2.8799  | 0.1756          | 1.69680 | 55.53 |    |
| 12 | 1.3343   | 0.4214          | 1.80518 | 25.42 | 20 |
| 13 | 2.6441   | 2.5200 ~ 0.3664 |         |       |    |
| 14 |          | 0.8018          | 1.72916 | 54.68 |    |
| 15 | -3.1328  | 0.1170          |         |       |    |
| 16 | 3.1328   | 0.8018          | 1.72916 | 54.68 |    |
| 17 |          | 0.1908          |         |       |    |
| 18 | -8.6872  | 0.2926          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 19 | 2.0893   | 1.2290          | 1.62280 | 57.05 |    |
| 20 | -13.0794 | 0.1112          |         |       |    |
| 21 |          | 0.2341          | 1.51633 | 64.14 |    |
| 22 |          | 2.8900          |         |       | 30 |
| 23 | ( 像面 )   |                 |         |       |    |

## 【 0 0 6 7 】

各条件式の値などを表 1 に示す。

【表 1】

|   | 実施例 1   | 実施例 2    | 実施例 3   | 実施例 4   | 実施例 5   | 実施例 6   | 実施例 7   | 実施例 8   | 実施例 9    |
|---|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 遠方観察時の全系焦点距離                                    | 1.000mm | 1.000mm  | 1.000mm | 1.000mm | 1.000mm | 1.000mm | 1.000mm | 1.000mm | 1.000mm  |
| 近接観察時の全系焦点距離                                    | 1.045mm | 0.953mm  | 1.096mm | 1.043mm | 1.232mm | 1.219mm | 1.302mm | 1.049mm | 2.044mm  |
| 遠方観察時の画角  | 130.9度  | 132.8度   | 136.7度  | 130.5度  | 142.5度  | 142.9度  | 142.4度  | 154.7度  | 131.1度   |
| 近接観察時の画角  | 92.2度   | 108.6度   | 82.6度   | 81.5度   | 82.9度   | 78.3度   | 84.0度   | 102.2度  | 35.3度    |
| 遠方観察時の物体距離                                      | 9.000mm | 11.940mm | 8.004mm | 7.918mm | 8.156mm | 8.149mm | 8.018mm | 9.973mm | 10.000mm |
| 近接観察時の物体距離                                      | 0.800mm | 0.796mm  | 0.800mm | 0.792mm | 0.816mm | 0.815mm | 0.802mm | 0.887mm | 1.500mm  |
| CCDピッチp   | 2.5μm   | 2.5μm    | 2.5μm   | 2.5μm   | 2.5μm   | 2.5μm   | 2.5μm   | 2.5μm   | 2.5μm    |
| 第3発散レンズ群を通る最も高い光線高h3                            | 0.702mm | 0.683mm  | 0.689mm | 0.732mm | 0.830mm | 0.745mm | 0.838mm | 0.726mm | -        |
| $\beta 2I$                                      | -0.812  | -0.632   | -0.993  | -1.020  | -0.998  | -1.009  | -0.975  | -0.811  | -        |
| $\beta 2W$                                      | -0.522  | -0.472   | -0.572  | -0.564  | -0.527  | -0.516  | -0.515  | -0.522  | -        |
| $\beta 3T$                                      | 1.946   | 2.198    | 1.804   | 1.461   | 1.752   | 1.813   | 1.759   | 1.755   | -        |
| $ R1/R3 $                                       | -1.654  | -1.590   | -1.217  | -1.118  | -1.508  | -1.284  | -1.612  | -1.137  | -        |
| $f3/fw$   | -3.730  | -2.340   | -1.523  | -2.856  | -2.590  | -2.349  | -3.541  | -3.869  | -        |
| $0.5 \cdot h3 \cdot (1/ r32  + d3) - (1/ r32 )$ | -0.210  | -0.172   | 0.182   | 0.016   | -0.075  | -0.066  | -0.146  | -0.158  | -        |
| $f2/fw$   | 1.117   | 1.176    | 1.328   | 1.606   | 1.202   | 1.113   | 1.146   | 1.238   | -        |
| $2p/1.22\lambda$                                | 6.982   | 6.982    | 6.982   | 6.982   | 6.982   | 6.982   | 6.982   | 6.982   | 6.982    |
| $4p/1.22\lambda$                                | 13.964  | 13.964   | 13.964  | 13.964  | 13.964  | 13.964  | 13.964  | 13.964  | 13.964   |
| FW  | 10.014  | 8.947    | 9.007   | 10.810  | 7.479   | 10.804  | 10.718  | 9.032   | 8.148    |
| FT  | 11.653  | 9.774    | 10.933  | 12.929  | 9.380   | 14.125  | 13.699  | 10.510  | 12.460   |

【0068】

実施例 1 は図 5 に示すように、最も簡素な構成とし、第 1 発散レンズ群  $L_1$  を凹レンズ 1 枚、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  を 2 枚の凸レンズで明るさ絞り S を挟み込むように設定している。また、画素数の多い CCD 用の光学系として、第 3 発散レンズ群  $L_3$  を接合玉とし

、色収差を除去している。

【0069】

ここで第2収斂レンズ群 $L_2$ 中の平行平板 $F_1$ は色補正フィルタである。一般的にCCDは赤外の光の感度が高いので、通常観察光中の赤外波長の光に過剰に反応し、色再現性が崩れるという不具合がある。これを補正する目的で色補正フィルタを使用する。第1発散レンズ群 $L_1$ 中の平行平板 $F_2$ はYAGレーザカットフィルタと呼ばれる干渉型のフィルタである。内視鏡では治療用のYAGレーザを使用するが、YAGレーザ波長(1064nm)は強度の強い赤外光であり、この光がCCDに入射すると、この光に反応して画面全体が白飛びしてしまうという不具合が生じる。この現象を防止する目的で、YAGレーザカットフィルタを配置することが望ましい。絞りSは色補正フィルタの像側に配置されている。

10

【0070】

本実施例の収差曲線図を図18に示す。(a)は遠方観察時、(b)は近接観察時の各収差曲線である。また、各群の非点収差とペッツバルエラーに関する3次の収差係数を以下に示す。

遠方観察時

|          | 非点収差     | ペッツバルエラー |
|----------|----------|----------|
| 第1発散レンズ群 | 0.00252  | 0.01406  |
| 第2収斂レンズ群 | -0.00898 | -0.02456 |
| 第3発散レンズ群 | 0.00479  | 0.01066  |
| 合計       | -0.00167 | 0.00016  |

20

近接観察時

|          | 非点収差     | ペッツバルエラー |
|----------|----------|----------|
| 第1発散レンズ群 | -0.00360 | 0.01208  |
| 第2収斂レンズ群 | -0.00436 | -0.02110 |
| 第3発散レンズ群 | 0.00711  | 0.00916  |
| 合計       | -0.00085 | 0.00014  |

これによれば、第3発散レンズ群 $L_3$ の働きにより、非点収差とペッツバルエラーがうまく補正されていることが分かる。

30

【0071】

実施例2は図6に示すように、レンズ第1面( $r_1$ )での光線高を小さくすることで、レンズ外径を小さくしたものである。レンズ外径を小さくするために、第1発散レンズ群 $L_1$ と第2収斂レンズ群 $L_2$ との間の光線を平行に近くなるように設定している。これは、第2収斂レンズ群の物体側の凸レンズの後側焦点位置 $f_B$ が明るさ絞りSに近くなるように設定することで実現できる。例えばYAGレーザカットフィルタなどの干渉型光学フィルタは光線角度が大きくなると、分光特性が変化し色再現性が崩れるといった問題があるが、第1発散レンズ群 $L_1$ と第2収斂レンズ群 $L_2$ との間の光線角度が緩ければ、そこに本実施例のように干渉フィルタFを配置することができ、設計的な自由度も上がるので好ましい。

40

【0072】

本実施例の収差曲線図を図19に示す。(a)は遠方観察時、(b)は近接観察時の各収差曲線である。

【0073】

実施例3は図7に示すように、第2収斂レンズ群 $L_2$ に接合レンズを用いて、色収差の発生を抑えたものである。この実施例では、CCDへの入射角が大きくなり画面周辺での色付きが生じる現象、いわゆるシェーディング現象の対策をするために、瞳位置を大きく変えるためのフィールドレンズCを配置している。この場合でも、収差除去はフィールドレンズCに入射する前の第1発散レンズ群 $L_1$ 、第2収斂レンズ群 $L_2$ 、第3発散レンズ群 $L_3$ でほぼ決まっている。

50

【0074】

本実施例の収差曲線図を図 20 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0075】

実施例 4 は図 8 に示すように、シェーディング現象を対策しなくてよい CCD に対し、実施例 3 と同じタイプの光学系を適用したものである。

【0076】

本実施例の収差曲線図を図 21 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0077】

実施例 5 は図 9 に示すように、実施例 1 の光学系の第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の各面に曲率を付加することで、球面収差の発生を少なくしたものである。

【0078】

本実施例の収差曲線図を図 22 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0079】

実施例 6 は図 10 に示すように、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の長さをなるべくコンパクトにするために、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の像側のレンズをメニスカス形状にしたものである。両凸レンズまたは平凸レンズの主点位置はレンズのほぼ真ん中に形成されるが、物体側に凹面が向くようなメニスカスレンズでは、両凸レンズまたは平凸レンズに比べ主点位置が像側に若干ずれる。したがって、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  の像側のレンズをメニスカス形状とすると、第 2 収斂レンズ群  $L_2$  としての主点間隔を変えずにレンズ位置だけ物体側に移動することができ、すなわち第 2 収斂レンズ群の長さを短くすることができるのである。

【0080】

本実施例の収差曲線図を図 23 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0081】

実施例 7 は図 11 に示すように、実施例 1 と同じタイプの光学系に、瞳位置を大きく変えるためのフィールドレンズ C を配置したものである。

【0082】

本実施例の収差曲線図を図 24 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0083】

実施例 8 は図 12 に示すように、実施例 1 の光学系の第 3 発散レンズ群  $L_3$  内の接合玉を 1 枚にし低コストとしつつ、遠方観察時の画角をより広げて、オリエンテーション性を重視したものである。

【0084】

本実施例の収差曲線図を図 25 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0085】

実施例 9 は図 13 に示すとおり構成である。

【0086】

本実施例の収差曲線図を図 26 に示す。(a) は遠方観察時、(b) は近接観察時の各収差曲線である。

【0087】

ところで、今まで述べてきたような拡大内視鏡は、被写体へ近接するため、従来考えられなかったようなフレアが問題になってくる。

【0088】

図 14 に 3 群式の拡大内視鏡のレンズ断面図を、以下にそのレンズデータを示す。物体距離によって変化する面間隔は「(遠方観察時の面間隔) ~ (近接観察時の面間隔)」と記載している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 9 】

( 実施例 1 0 )

| 面番 | 曲率半径     | 面間隔             | 屈折率     | アッベ数  |    |
|----|----------|-----------------|---------|-------|----|
| 1  |          | 0.3027          | 1.88300 | 40.78 |    |
| 2  | 0.9703   | 0.5098          |         |       |    |
| 3  |          | 0.3609          | 1.51400 | 75.00 |    |
| 4  |          | 0.0175          |         |       |    |
| 5  |          | 0.2328          | 1.51633 | 64.15 |    |
| 6  |          | 0.5254          |         |       |    |
| 7  | -3.7253  | 0.5239          | 1.84666 | 23.78 | 10 |
| 8  | 3.7253   | 0.4482          | 1.51742 | 52.43 |    |
| 9  | -1.5512  | 0.0882          |         |       |    |
| 10 | 2.5908   | 0.5239          | 1.51633 | 64.14 |    |
| 11 | -2.5908  | 0.0255          |         |       |    |
| 12 | ( 絞リ )   | 0.1983 ~ 2.4116 |         |       |    |
| 13 | -2.8644  | 0.1746          | 1.69680 | 55.53 |    |
| 14 | 1.3271   | 0.4191          | 1.80518 | 25.42 |    |
| 15 | 2.6298   | 2.5899 ~ 0.3767 |         |       |    |
| 16 |          | 0.7975          | 1.72916 | 54.68 |    |
| 17 | -3.1159  | 1.3849          |         |       | 20 |
| 18 | 3.1159   | 0.7975          | 1.72916 | 54.68 |    |
| 19 |          | 0.1946          |         |       |    |
| 20 | -8.6404  | 0.2910          | 1.84666 | 23.78 |    |
| 21 | 2.0780   | 1.2224          | 1.62280 | 57.05 |    |
| 22 | -13.0090 | 0.1106          |         |       |    |
| 23 |          | 0.2328          | 1.51633 | 64.1  |    |
| 24 |          | 2.5704          |         |       |    |
| 25 | ( 像面 )   |                 |         |       |    |

## 【 0 0 9 0 】

各条件式の値などを表 2 に示す。

【表 2】

|   | 実施例 10  |
|---|---------|
| 遠方観察時の全系焦点距離                                    | 1.000mm |
| 近接観察時の全系焦点距離                                    | 2.188mm |
| 遠方観察時の画角  | 130.7度  |
| 近接観察時の画角  | 40.5度   |
| 遠方観察時の物体距離                                      | 8.440mm |
| 近接観察時の物体距離                                      | 1.409mm |
| CGDピッチ p  | —       |
| 第3発散レンズ群を通る最も高い光線高 h3                           | —       |
| $\beta_{2T}$                                    | —       |
| $\beta_{2W}$                                    | —       |
| $\beta_{3T}$                                    | —       |
| $ R1/R3 $                                       | —       |
| $f3/fw$   | —       |
| $0.5 \cdot h3 \cdot (1/ r32  + d3) - (1/ r32 )$ | —       |
| $f2/fw$   | —       |
| $2p/1.22\lambda$                                | —       |
| $4p/1.22\lambda$                                | —       |
| FW  | 7.084   |
| FT  | 18.863  |

10

20

## 【0091】

従来、内視鏡には YAG レーザカットフィルタと呼ばれる干渉型のフィルタを図 14 の (ア) の位置に配置していた。これは、干渉型光学フィルタは光線角度が大きくなると分光特性が変化し、色再現性が崩れるといった問題があるため、なるべく光線の角度が緩い位置に配置する必要があったためである。一方、干渉型のフィルタは高い反射率をもっているため、ゴーストなどの問題を生じやすい。また内視鏡の第 1 レンズの表面は胃酸などの影響によりマルチコートなどの表面処理がはがれる恐れがあるのでコーティングしないことになっている。つまり第 1 レンズ表面もやはり高い反射率をもつ。

30

## 【0092】

拡大内視鏡では物体に近接するが、図 14 の (ア) の位置に干渉フィルタが存在すると、干渉フィルタで反射した光  $i$  が第 1 レンズ表面 ( $r_1$ ) でさらに反射し、CCD に結像してしまう。このゴースト光は物体とほぼ共役な位置であり、ゴーストとしてよく目立つのである。

## 【0093】

これを解決するために、物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、バリエータよりも像側に干渉フィルタを配置する。例えば、図 14 の (イ) の位置に干渉フィルタをおけばよい。バリエータより物体側の位置では、光線高の変動が大きく、干渉フィルタに入射する角度が安定的でない。バリエータよりも像側の位置に YAG カットフィルタを置くと、入射角の制限を設計的におこない易く、拡大内視鏡に特有なゴーストの対策ができる。

40

## 【0094】

また、3群式の拡大内視鏡では、光学系が長くなるため、間隔管の内面反射が原因となるフレアが発生しやすい。図 15 (A) に示すごとく、間隔管 T の内面に光が当たると、そこを 2 次光源としてフレアが発生する。これを解決するには、拡大内視鏡光学系の間隔管に遮光線加工をおこなうことが望ましい。遮光線加工とは図 15 (B) に示すごとく、複数の溝を間隔管内面に施すことである。これにより遮光管内面の反射率を下げ、フレアの対策をすることが可能となる。

50

## 【0095】

もちろんこの発明は、前記の実施例1～9に対しても有効であることはいうまでもない。また、今まで述べてきたような拡大内視鏡では、製品組立時のピント調整に工夫が必要となる。通常の拡大機能をもたない内視鏡は、広い被写界深度をもつパンフォーカスな光学系であることが知られている。

## 【0096】

被写界深度を以下に簡単に説明する。図16は、内視鏡光学系の図である。図において、ある物体Oに対する像Iが形成されたとして、像位置にCCDを配置することで、ピントが合った像を得ることができる。物体Oを近接しO'の位置とすると、像位置はIの位置よりずれることになり、I'の位置に形成される。逆に物体Oを遠方にしO"の位置とすると、像位置はIの位置よりずれることになり、I"の位置に形成される。

10

## 【0097】

ここで、CCDの位置は固定されているとすると、CCD位置における像I'およびI"は錯乱円径となり、ピントボケした画像になる。しかしながら、CCDによる分解能が錯乱円径より大きい場合、画像はCCDの分解能で決定し、物体O'からO"の範囲はピントが合っているように感じられる。この範囲を被写界深度とよぶ。

## 【0098】

このときの光学系の実効口径比をFno、光学系の焦点距離を $f_L$ とすると

$$|1/X_n - 1/X_f| = 2 Fno / f_L^2 \cdots (t)$$

が成り立つ。ここで、被写界深度Dは、

$$D = X_f - X_n \cdots (u)$$

である。

20

## 【0099】

内視鏡は前述のごとくパンフォーカスな光学系であり、望ましい被写界深度とする必要があるが、レンズ加工などで発生したバラツキを吸収するために、最終組立時にCCD位置を調整することで望ましい被写界深度になるように調整することが必要とされる。特に拡大内視鏡では、遠方観察時と近接観察時の二つの状態でピントが合っているように調整をおこなう必要があるので、従来の方法に対し工夫が必要になる。

## 【0100】

その工夫とは、遠方観察時の調整をおこなう段階の後に近接観察時の調整をおこなうことである。図17に $1/x$ の図を示す。式(t)における $|1/X_n - 1/X_f|$ とは、図17におけるY方向の大きさを示す。この大きさ $2 Fno / f_L^2$ が固定であると仮定すると、 $X_n$ が小さいとき、すなわち近接よりのときの被写界深度 $D_1$ は小さくなる。逆に $X_n$ が大きいとき、すなわち遠点よりのときの被写界深度 $D_2$ は大きくなる。

30

## 【0101】

ここで、ピント調整時には、多少の誤差が残るものであるので、近接観察時の調整をおこなった後で遠方観察時の調整をおこなう方法をとると、近接観察時に多少の誤差が残った場合、遠方観察時にこの誤差が拡大されて設計状態から大きくずれてしまうことになる。

## 【0102】

そこで、最初に遠方観察状態でピント調整をおこなうと、ピント調整時に多少誤差が乗ったとしても、近接観察状態になるとその誤差が縮小する方向なので、精度良くピント調整をおこなうことができる。なおこのときの遠方観察状態でのピント調整は、CCDの位置決めによりおこない、近接観察時のピント調整は移動するレンズのストップ位置を決めることに相当する。

40

## 【0103】

なお、以上に述べた各実施例において、画素情報の一部領域をTVモニター上に拡大表示するいわゆる電子ズーム方式と併用すると、観察したい部位を選択的に大きく表示し見やすくなるので、さらに使い勝手が向上した拡大内視鏡が得られることは言うまでもない。以上に説明した光学系は、たとえば次のように構成することができる。

50

## 【0104】

(1) 物体側から順に第1レンズ群と第2レンズ群と第3レンズ群の3つのレンズ群よりなり前記第2レンズ群が可動な光学系において、前記第2レンズ群の移動によって、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群による非点収差が補正されている状態と、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群による非点収差が補正されている状態とを含むことを特徴とする光学系。

## 【0105】

(2) 物体側から順に負の作用を有する第1発散レンズ群と、正の作用を有する第2収斂レンズ群と、負の作用を有する第3発散レンズ群とよりなる結像系を少なくとも含み、前記第2収斂レンズ群を光軸に沿って移動させることを特徴とする撮像光学系。

10

## 【0106】

(3) 以下の条件(1)、(2)を満足することを特徴とする前記(2)項に記載の撮像光学系。

$$-1.3 < \frac{2T}{1} < \frac{2W}{3T} \cdots (1)$$

$$1 < \frac{2T}{3T} \cdots (2)$$

ただし、 $2T$ は近接観察時の前記第2収斂レンズ群の倍率、 $2W$ は遠方観察時の前記第2収斂レンズ群の倍率、 $3T$ は近接観察時の前記第3発散レンズ群の倍率である。

## 【0107】

(4) 以下の条件(1)、(2')を満足することを特徴とする前記(2)項に記載の撮像光学系。

20

$$-1.3 < \frac{2T}{1} < \frac{2W}{3T} \cdots (1)$$

$$1.5 < \frac{2T}{3T} \cdots (2')$$

ただし、 $2T$ は近接観察時の前記第2収斂レンズ群の倍率、 $2W$ は遠方観察時の前記第2収斂レンズ群の倍率、 $3T$ は近接観察時の前記第3発散レンズ群の倍率である。

## 【0108】

(5) 前記第3収斂レンズ群が少なくとも物体側に向けた凹面を有することを特徴とする前記(2)～(4)項に記載の撮像光学系。

## 【0109】

(6) 以下の条件(3)を満足することを特徴とする前記(5)項に記載の撮像光学系。

30

$$1 < |R_1 / R_3| < 3 \cdots (3)$$

ただし、 $R_1$ は前記第1発散レンズ群における像側に向いた凹面のうち曲率半径がもっとも小さい凹面の曲率半径、 $R_3$ は前記第3発散レンズ群における物体側に向いた凹面のうち曲率半径がもっとも小さい凹面の曲率半径である。

## 【0110】

(7) 以下の条件(4)を満足することを特徴とする前記(2)～(4)項に記載の撮像光学系。

$$-5 < f_3 / f_W < -1 \cdots (4)$$

ただし、 $f_3$ は前記第3発散レンズ群の焦点距離、 $f_W$ は前記第1発散レンズ群から前記第3発散レンズ群までの遠方観察時における焦点距離である。

40

## 【0111】

8) 前記第3発散レンズ群中に少なくとも凸の作用をもつ面を有することを特徴とする前記(2)～(4)項に記載の撮像光学系。

## 【0112】

(9) 以下の条件(5)を満足することを特徴とする前記(2)～(4)項に記載の撮像光学系。

$$-0.1 < 0.5 \cdot h_3 \cdot (1 / (|r_{31}| + d_3) - 1 / |r_{32}|) < 0.3 \cdots (5)$$

ただし、 $h_3$ は前記第3発散レンズ群を通る最も高い光線高、 $r_{31}$ は前記第3発散レンズ群中の物体側に向いたの凹の面の曲率半径、 $r_{32}$ は前記第3発散レンズ群中の像面を向

50

いた凸の面の曲率半径、 $d_3$ は前記第3発散レンズ群の中肉厚である。

【0113】

(10) 前記第2収斂レンズ群が明るさ絞りを収斂レンズにより挟む構成であることを特徴とする前記(2)～(4)項に記載の撮像光学系。

【0114】

(11) 以下の条件(6)を満足することを特徴とする前記(10)項に記載の撮像光学系。

$$0.9 < f_2 / f_w < 2 \quad \dots (6)$$

ただし、 $f_2$ は前記第2発散レンズ群の焦点距離、 $f_w$ は前記第1発散レンズ群から前記第3発散レンズ群までの遠方観察時における焦点距離である。

10

【0115】

(12) 物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、以下の条件(7)、(8)を満足することを特徴とする光学系。

$$2p / (1.22 \lambda) < F_T < 4p / (1.22 \lambda) \quad \dots (7)$$

$$F_w < F_T \quad \dots (8)$$

ただし、 $F_T$ は近接観察時の有効Fナンバー、 $F_w$ は遠方観察時の有効Fナンバー、 $p$ はCCDの画素ピッチ、 $\lambda$ はd線の波長(587nm)である。

【0116】

(13) 物体までのベストフォーカス距離が変動する光学系において、バリエータよりも像側に干渉フィルタを配置したことを特徴とする光学系。

20

【0117】

(14) 間隔管に遮光線加工を施したことを特徴とする拡大内視鏡。

【0118】

(15) 遠方観察時の調整をおこなう段階の後に近接観察時の調整をおこなうことを特徴とする拡大内視鏡。

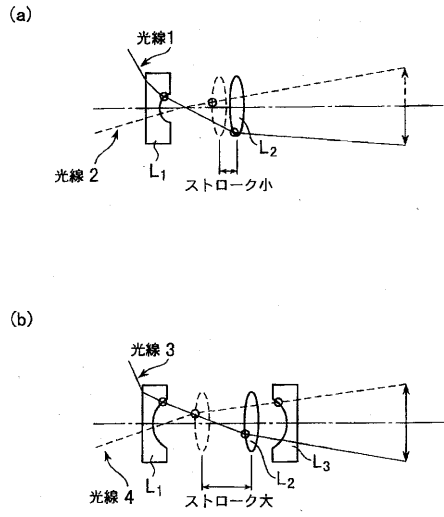
【符号の説明】

【0119】

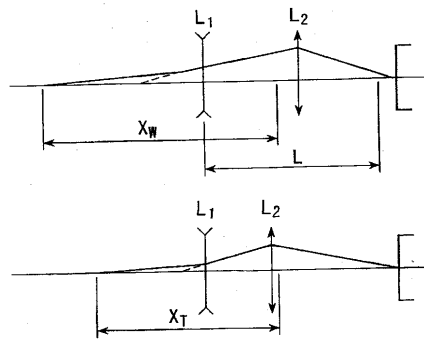
|       |               |
|-------|---------------|
| $L_1$ | 第1発散レンズ群      |
| $L_2$ | 第2収斂レンズ群      |
| $L_3$ | 第3発散レンズ群      |
| S     | 絞り            |
| C     | フィールドレンズ      |
| F     | 干渉フィルタ        |
| $F_1$ | 色補正フィルタ       |
| $F_2$ | YAGレーザカットフィルタ |
| i     | 光             |
| T     | 間隔管           |

30

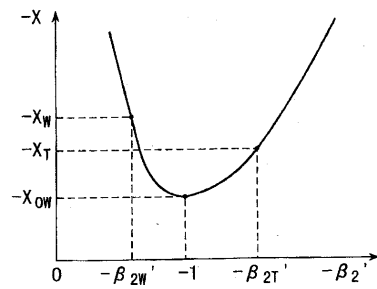
【 図 1 】



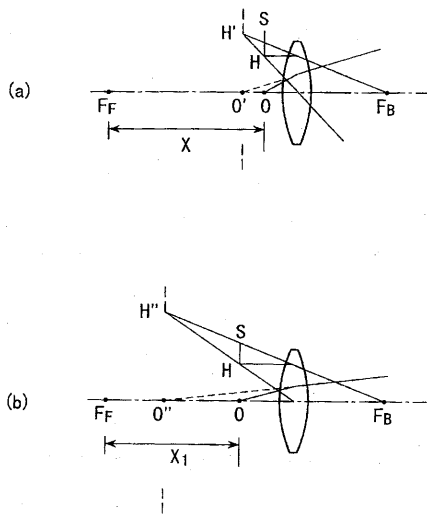
【 図 2 】



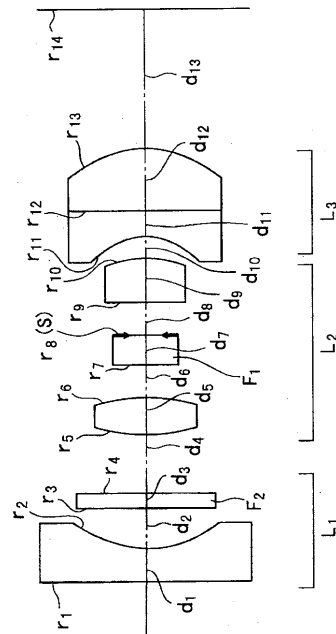
【 図 3 】



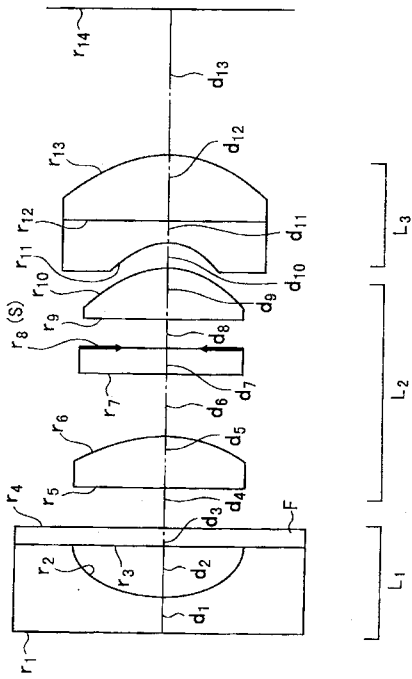
【 図 4 】



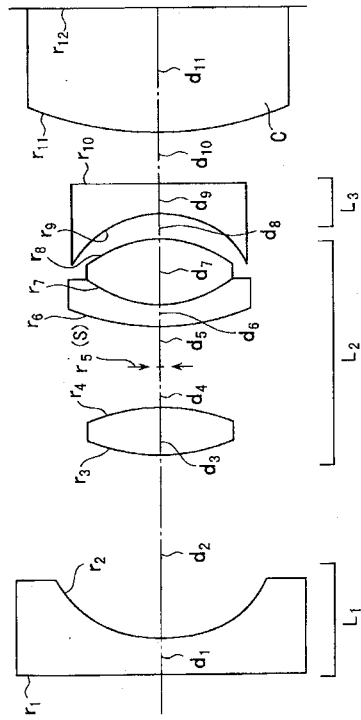
【 図 5 】



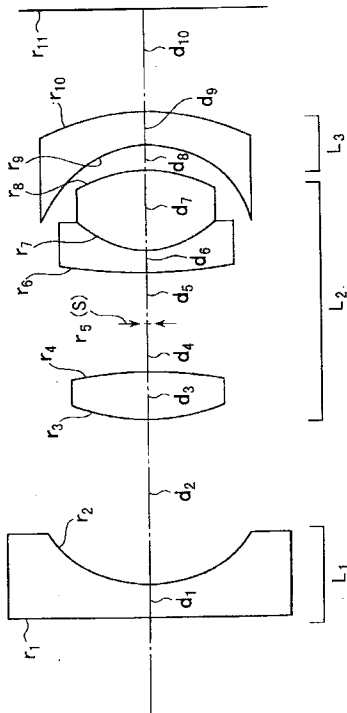
【 図 6 】



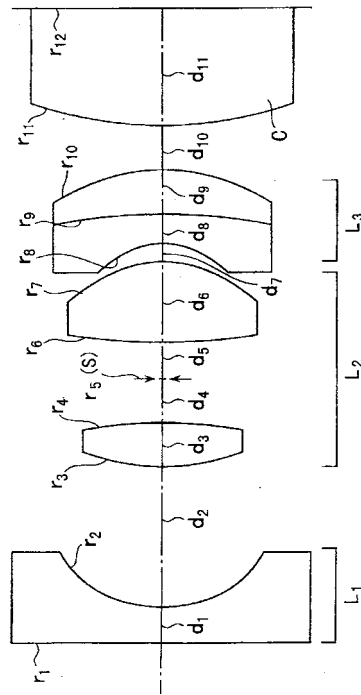
【 図 7 】



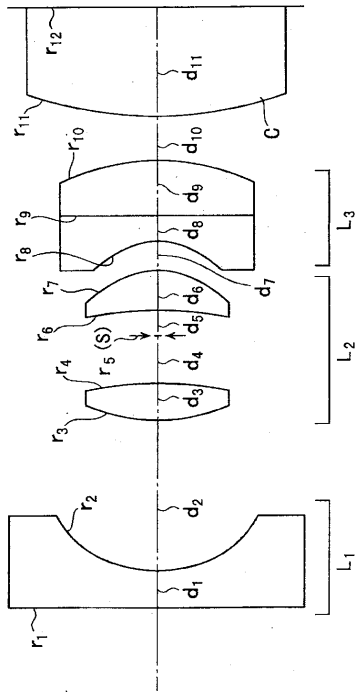
【 図 8 】



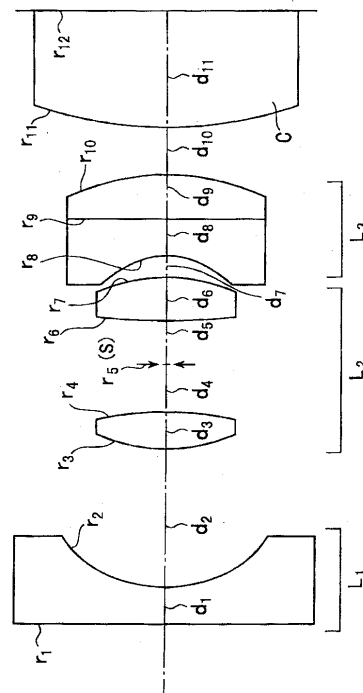
【 図 9 】



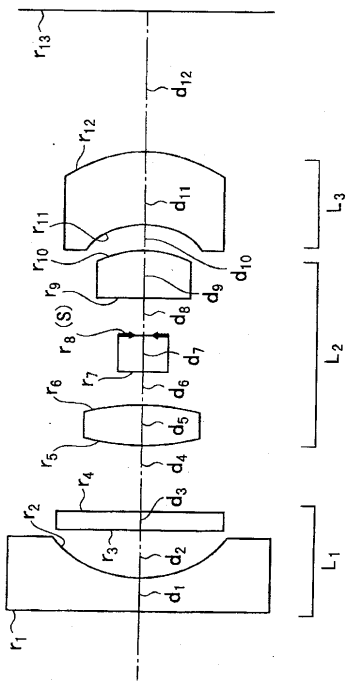
【 図 1 0 】



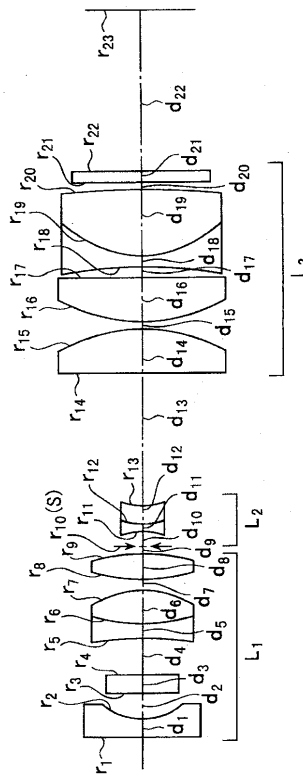
【 図 1 1 】



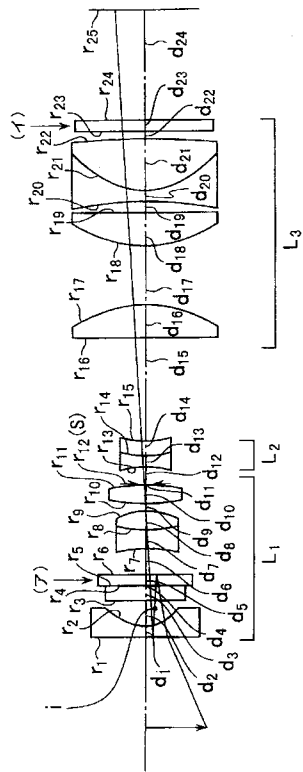
【 図 1 2 】



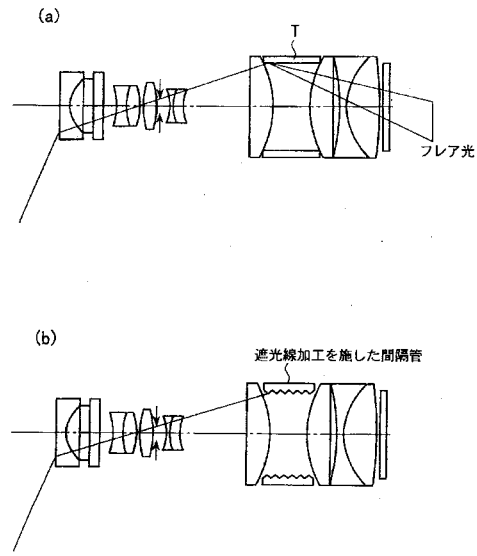
【 図 1 3 】



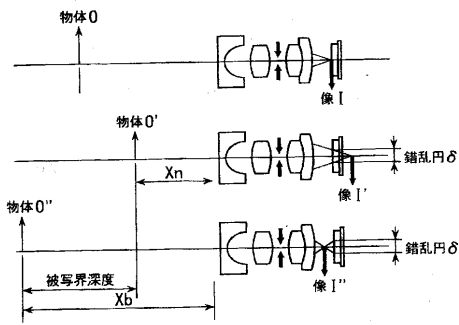
【 図 1 4 】



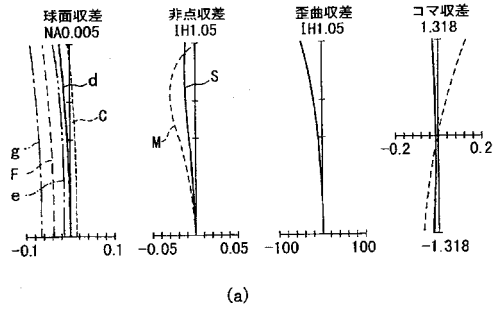
【 図 1 5 】



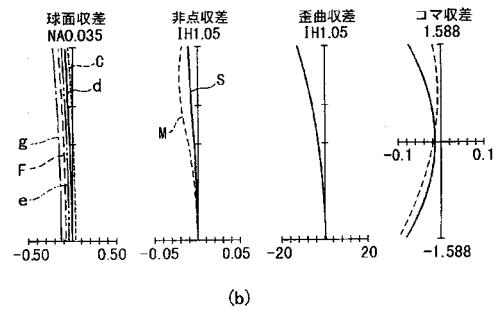
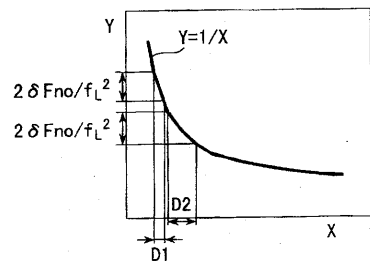
【 図 1 6 】



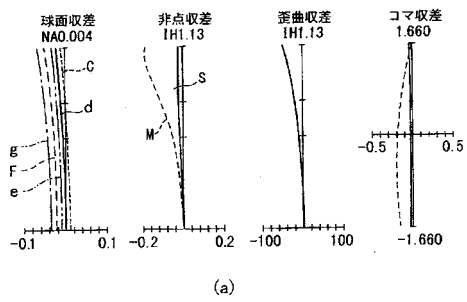
【 図 1 8 】



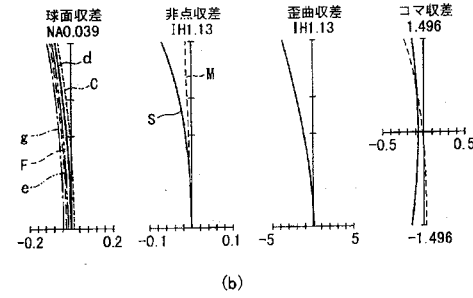
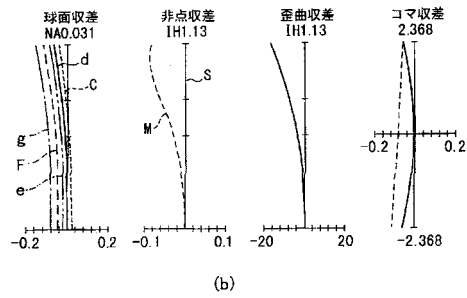
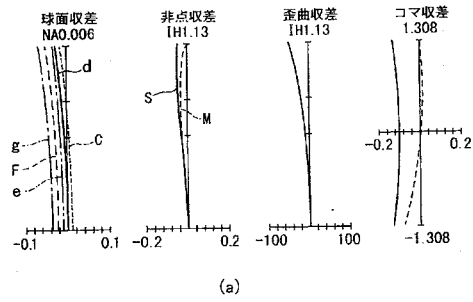
【 図 1 7 】



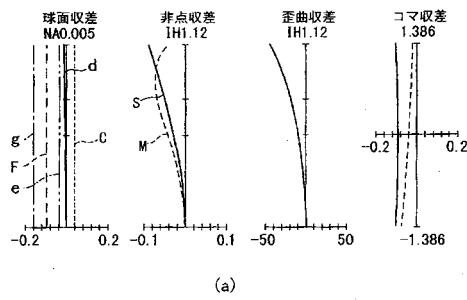
【図 19】



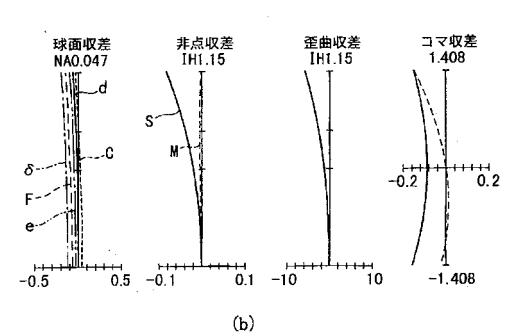
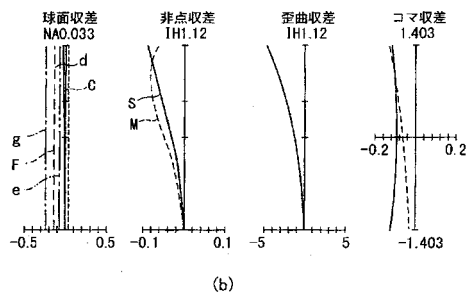
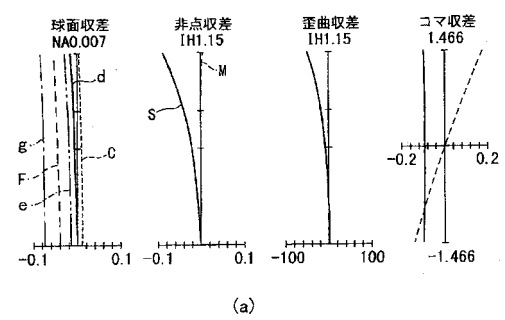
【図 20】



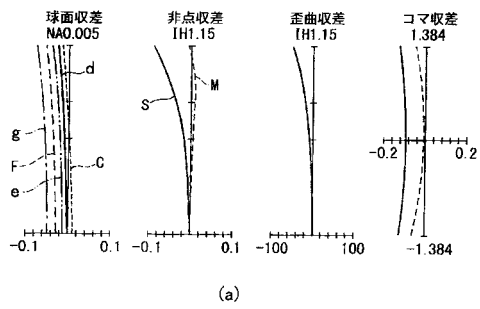
【図 21】



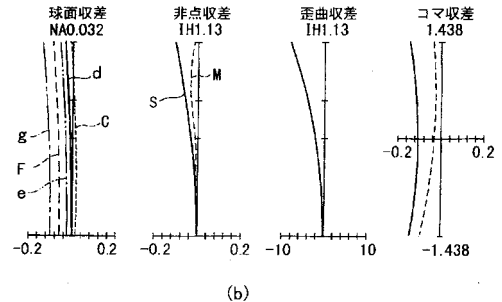
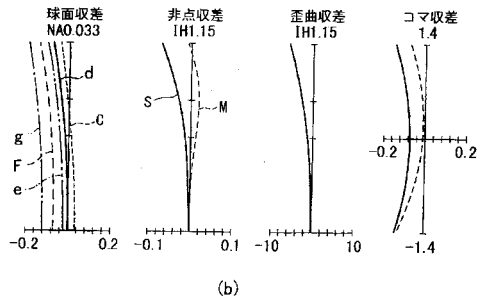
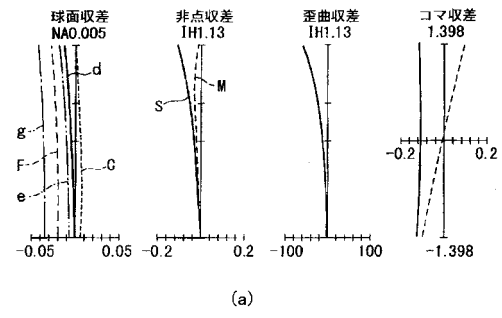
【図 22】



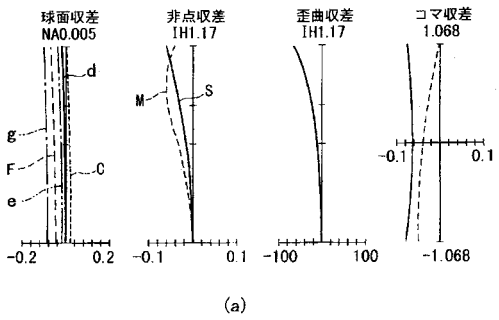
【 図 2 3 】



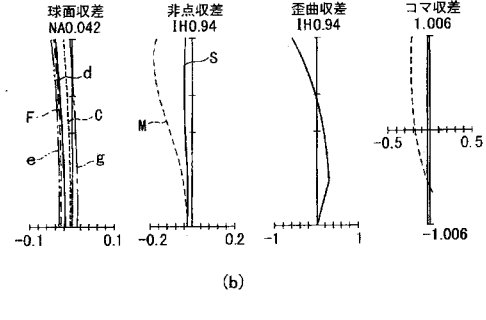
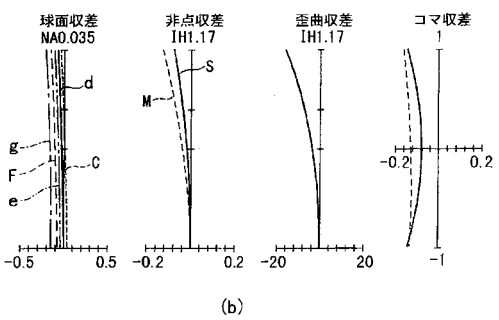
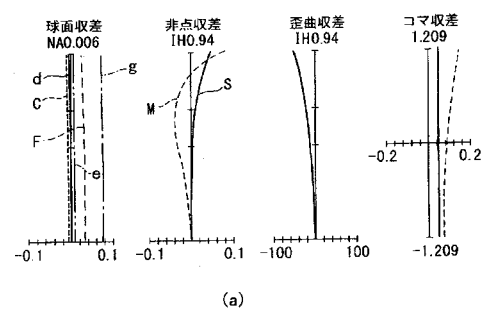
【 図 2 4 】



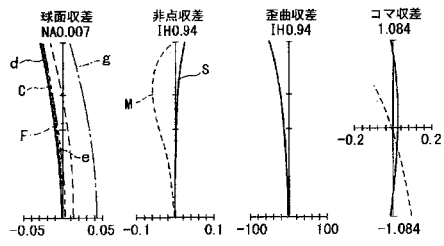
【 図 2 5 】



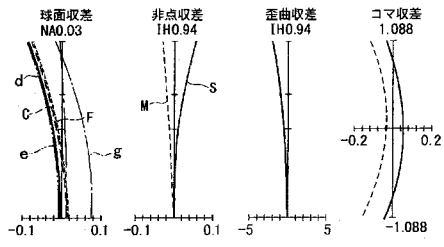
【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



(a)



(b)

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA10 MA07 PA04 PA05 PA07 PA17 PA18 PA20 PB04 PB05  
PB06 PB10 QA01 QA05 QA07 QA18 QA21 QA22 QA25 QA26  
QA33 QA34 QA37 QA41 QA42 QA45 QA46 RA36 RA43  
4C061 FF40 FF47

|                |  |         |            |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译)        | 光学系  |         |            |
| 公开(公告)号        | <a href="#">JP2009163256A</a>  | 公开(公告)日 | 2009-07-23 |
| 申请号            | JP2009049731   | 申请日     | 2009-03-03 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 奥林巴斯株式会社   |         |            |
| 申请(专利权)人(译)    | 奥林巴斯公司   |         |            |
| [标]发明人         | 金野光次郎  |         |            |
| 发明人            | 金野 光次郎   |         |            |
| IPC分类号         | G02B13/04 A61B1/00   |         |            |
| FI分类号          | G02B13/04.D A61B1/00.300.Y A61B1/00.731 A61B1/00.735   |         |            |
| F-TERM分类号      | 2H087/KA10 2H087/MA07 2H087/PA04 2H087/PA05 2H087/PA07 2H087/PA17 2H087/PA18 2H087/PA20 2H087/PB04 2H087/PB05 2H087/PB06 2H087/PB10 2H087/QA01 2H087/QA05 2H087/QA07 2H087/QA18 2H087/QA21 2H087/QA22 2H087/QA25 2H087/QA26 2H087/QA33 2H087/QA34 2H087/QA37 2H087/QA41 2H087/QA42 2H087/QA45 2H087/QA46 2H087/RA36 2H087/RA43 4C061/FF40 4C061/FF47 4C161/FF40 4C161/FF47 |         |            |

摘要(译)

解决的问题：提供一种用于放大内窥镜的光学系统，其具有大的放大倍率，同时实现了缩短的总长度和宽的视角，这与用于筛选的单焦点内窥镜的光学系统相当。到物体的最佳聚焦距离波动的光学系统满足以下条件(1)和(2)。 $2p / (1.22\lambda) \leq T \leq T(2)$ ，其中 $F_1$ 是近距离观察的有效F数， $F_2$ 是远距离观察的有效F数， $p$ 是CCD的像素间距，而 $\lambda$ 是d线的波长(587 nm)。)。 [选择图]图5

