

(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2006-304924
(P2006-304924A)

(43) 公開日 平成18年11月9日(2006.11.9)

(51) Int.CI.	F 1	テーマコード (参考)
A61B 1/00 (2006.01)	A 61 B 1/00	300Y 2H040
A61B 5/07 (2006.01)	A 61 B 5/07	320B 2H087
G02B 13/00 (2006.01)	G 02 B 13/00	4C038
G02B 13/18 (2006.01)	G 02 B 13/18	4C061
G02B 23/24 (2006.01)	G 02 B 23/24	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2005-129191 (P2005-129191)	(71) 出願人	304050923 オリンパスメディカルシステムズ株式会社 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(22) 出願日	平成17年4月27日 (2005.4.27)	(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43番2号 オ リンパスメディカルシステムズ株式会社内
		(72) 発明者	折原 達也 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ リンパスメディカルシステムズ株式会社内 Fターム (参考) 2H040 CA22 DA01 GA02

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】撮像光学系

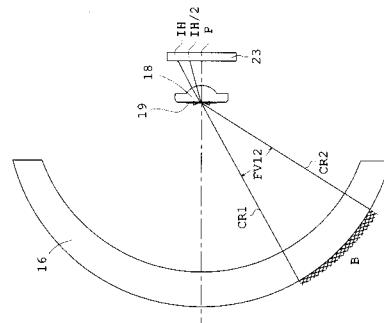
(57) 【要約】

【課題】低コスト化を可能にし、かつ十分に良好な画質を得ることを可能にした、略球形状の観察窓を有した内視鏡に用いられる撮像光学系を提供すること。

【解決手段】撮像光学系は、透明な観察窓16と、像側が非球面の対物レンズ18と、固体撮像素子23とかなるっており、観察窓16の表面の物体Bに対して下記の条件を満たすようになっている。

$S / f_L < 0.4$ 又は $M / f_L < 0.4$
ただし、 f_L は、撮像光学系の焦点距離であり、 S は、固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、 $IH/2$ からIHまでの範囲内でのサジタル像面の光軸方向における幅であり、 M は、前記のIH/2からIHまでの範囲内でのメリディオナル像面の光軸方向における幅である。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための少なくとも1面の非球面を含む対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子によりなる撮像光学系において、

前記対物レンズは、正のパワーをもつ単レンズで構成され、前記観察窓表面の物体に対して下記の条件のうち一方を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$S / f_L < 0 . 4 \quad \text{又は} \quad M / f_L < 0 . 4$$

ただし、

f_L : 撮像光学系の焦点距離

10

S : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲内でのサジタル像面の光軸方向における幅

M : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲内でのメリディオナル像面の光軸方向における幅

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、生体内を検査する内視鏡のうち、特に略球形状の観察窓を有する内視鏡について有効な撮像光学系に関する。 20

【背景技術】

【0002】

現在、内視鏡は、医療用分野及び工業用分野で広く使用されているが、医療用分野においては、挿入部の存在によって生じる患者の苦痛を軽減するため、撮像光学系をカプセルに内蔵して飲み込んでしまうようにしたカプセル内視鏡が使用されだしている。そして、そのカプセル内視鏡の構成の一例が、下記の特許文献1に開示されている。それによれば、カプセル内視鏡は、略半球状をした透明カバーの内部に、対物レンズと、これを挟むようにして対称に設けた発光ダイオードとを内蔵しており、その発光ダイオードによって照明された被写体は、その観察範囲の部分が、対物レンズによってイメージセンサ上に結像されるようになっている。 30

【0003】

また、下記の特許文献2には、上記のようなカプセル内視鏡に用いられる光学系としてはないが、対物レンズとして1枚の非球面レンズを用いることによって、携帯電話などの一般の小型の電子撮像機器に採用される光学系を、小型化、低コスト化したものが開示されている。

【0004】

【特許文献1】特開2003-260024号公報

40

【特許文献2】特開2003-5031号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、先端部が略半球状をした透明カバーの内部に、撮像光学系を内蔵しているように構成した内視鏡の場合にも、低コストで製作できることと、良質の画像の得られることが要求されているが、特許文献1に記載されているようなカプセル内視鏡の場合には、ディスパーザブルである必要があることから、特に低コスト化の要求が強い。そこで、そのような観点から特許文献1に記載のカプセル内視鏡をみてみると、ガラスレンズを用いた2枚のレンズ系で対物光学系を構成しているため、レンズ枚数が多いことと、各々にレンズ枠が必要になることから、必然的に部品点数が多くなって、コスト高の大きな要因になっている。また、それらの部品は、複雑な形状を要求されたり高い組立精度を要求され 50

るため、レンズの組立や品質チェックに時間がかかってしまい、コスト高になってしまふということもある。そのため、対物レンズとして特許文献2に記載されている光学系を採用してはどうかということになるが、特許文献2に記載の光学系は、あくまでも屋外での一般被写体用の光学系として設計されているため、レンズ枚数を減らすことはできても、そのままでは内視鏡としての必要な画質を確保することができないという問題点がある。

【0006】

本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、略球形状の観察窓を有する内視鏡に用いる光学系であって、内視鏡の部品点数を少なくして低コスト化を可能にし、しかも、十分に良好な画質を得ることを可能にした撮像光学系を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するために、本発明の撮像光学系は、略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための少なくとも1面の非球面を含む対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子とよりなる撮像光学系において、前記対物レンズは、正のパワーをもつ単レンズで構成され、前記観察窓表面の物体に対して下記の条件のうち一方を満たすことを特徴としている。

$$S / f_L < 0 . 4 \quad \text{又は} \quad M / f_L < 0 . 4$$

ただし、

f_L : 撮像光学系の焦点距離

S : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲内でのサジタル像面の光軸方向における幅

M : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲内でのメリディオナル像面の光軸方向における幅

【発明の効果】

【0008】

本発明の撮像光学系は、略球体形状の透明な観察窓と、少なくとも1面の非球面を含む対物レンズと、固体撮像素子とで構成されおり、対物レンズは、正のパワーをもつていて、観察窓の表面の物体に対して請求項1に記載の条件のうち一方を満たすようにしたものであるため、低コスト化を図るために対物光学系を単レンズにしたにもかかわらず、内視鏡検査に必要な良質な画像を確保することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

例えば、カプセル内視鏡に代表されるような透明な観察窓を有する医療用の内視鏡では、体腔内への挿入性をよくするために、先端窓が略球形状をしている。このような内視鏡を体腔内へ挿入すると、観察窓が、被写体である体腔内壁に押し付けられるが、特に観察窓の先端中央部よりも周辺部が体腔内壁に密着されやすい。そのため、そのような状態のもとで体腔内壁を安全かつ正確に観察できるようにするために、観察窓の周辺部に密着した体腔内壁に対して常にピントが合っているようにする必要がある。すなわち、この種の内視鏡は、対物レンズの結像面における最大像高IHからIH/2までに対応する視野範囲内の観察窓表面に沿った体腔内壁を、重要な被写体としているということである。

【0010】

ところで、このようなことを必要とするカプセル内視鏡に対して、特許文献2に記載されているような一般的な撮像光学系を適用すると、前述の視野範囲内で観察窓表面に密着する被写体の光学像は、大きく像面湾曲してしまう。そこで、そのことを、図1を用いて説明する。図1において、撮像光学系は、略球形状をした透明観察窓1と、対物レンズ2と、固体撮像素子3とで構成されている。また、光線Aは、固体撮像素子3の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置に結像する光束の主光線を示しており、光

10

20

30

40

50

線Bは、固体撮像素子3の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離IHの半分、すなわちIH/2の位置に結像する光束の主光線を示している。そして、この場合、光線Aおよび光線Bで決まる視野範囲内で、光線Aと観察窓との交点aと光線Bと観察窓との交点bを観察窓に沿って結んだ領域を物体面Bと定義する。また、交点bを通り対物レンズの光軸に垂直な平面物体を物体面Aと定義する。

【0011】

特許文献2で開示されるような一般的な撮像光学系は、無限遠に配置される仮想平面上の物体を、対物レンズ2の光軸に対して垂直に配置されている固体撮像素子3の撮像面に結像させるように構成されている。このため、物体面Aのように、対物レンズ2に対して近接配置された平面状の物体の像面も、対物レンズ2の光軸に対して垂直な面(図中の像面A)に形成されることになる。また、対物レンズ2に近接配置された物体面Bのような湾曲した物体に対応する像面は、対物レンズ2の光軸に垂直な面に対して物体側に大きく湾曲した面(図中の像面B)に形成されることになる。10

【0012】

一方、撮像光学系では、対物レンズ2の光軸上で固体撮像素子3がピントの合った画像を取得できる範囲は、固体撮像素子3の撮像面の前後にわたって決められており、これを焦点深度と呼んでいる。そして、対物レンズ2の光軸上で固体撮像素子3の撮像面からピントの合った画像を取得できる範囲|z|は、固体撮像素子3の画素ピッチや固体撮像素子3が取得した電気信号を処理する回路の特性に依存し、下記の条件式(1)で与えられる。20

$$|z| = n \cdot p / (\tan(\sin^{-1}(1 / (2Fno)))) \dots (1)$$

ただし、n・pは固体撮像素子3の分解能であって、pは固体撮像素子3の画素ピッチであり、nは固体撮像素子3と固体撮像素子3が取得した電気信号を処理する回路による輝度信号の作成プロセスから決まる係数であって、単板式の撮像光学系では4程度である。また、Fnoは撮像光学系の有効開口数を表している。

【0013】

上述したように、カプセル内視鏡のような略球面形状の観察窓を有した内視鏡の撮像光学系においては、物体面Bに対する観察性能が重要であるため、焦点深度2・|z|の範囲内に少なくとも物体面Bに対するサジタル像面もしくはメリディオナル像面のどちらか一方が含まれるように撮像光学系を構成し、周辺部においてピントのあった画像が得られるようとする必要がある。すなわち、透明観察窓1と対物レンズ2からなる光学系が、観察窓表面の物体に対して形成するサジタル像面もしくはメリディオナル像面が、焦点深度2・|z|との間で下記の条件式(2)を満足するよう対物レンズ2を構成する必要がある。30

$$S < 2 \cdot |z| = 8 \cdot p / (\tan(\sin^{-1}(1 / (2Fno))))$$

又は、

$$M < 2 \cdot |z| = 8 \cdot p / (\tan(\sin^{-1}(1 / (2Fno)))) \dots (2)$$

ただし、Sは固体撮像素子3の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲内でのサジタル像面の光軸方向における幅であり、MはIH/2からIHまでの範囲内でのメリディオナル像面の光軸方向における幅である。40

そして、図2は、ガウス像面に対するサジタル像面(実線)とメリディオナル像面(破線)の湾曲状況の一例を示した収差図であるが、この図において、ガウス像面を原点にしたときの光軸方向の座標Mmax、Mmin、Smax、Sminは、S = Smax - Smin、M = Mmax - Mminと定義される。

【0014】

ここで、カプセル内視鏡のような略球面形状の透明観察窓を有する内視鏡の撮像光学系に関する実際上での具体的な仕様を考慮すると、対物レンズは半画角が50°以上の非球面を含む単レンズであって、少なくとも一般的なCIFフォーマットの固体撮像素子と組み合わせて使用できるように構成するのが望ましい。また、一般化するために透明観察窓50

を含めた光学系の焦点距離 f_L で規格化した場合、上記の固体撮像素子の画素ピッチは 7 μm 程度であり、この固体撮像素子と組み合わせたときに撮像光学系としての明るさを確保するためには、撮像光学系の有効開口数 Fno を 3.7 以下とする必要がある。

【0015】

そのため、このような仕様を上記の条件式(1)に適用すると、撮像光学系の焦点深度の大きさは、下記の式(3)で表されることになる。

$$2 \cdot |z| = 0.39 (\text{mm}) \quad \dots (3)$$

また、上記の仕様を満足する撮像光学系においては、単レンズの対物レンズは、サジタル像面とメリディオナル像面のどちらか一方が、焦点深度 $2 \cdot |z|$ の範囲内において、下記の条件式(4)を満足するように構成されているのが望ましいということになる。

$$S/f_L < 0.4 \quad \text{又は} \quad M/f_L < 0.4 \quad \dots (4)$$

【0016】

次に、実施例の説明に入る前に、略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための少なくとも 1 面の非球面を含む対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子とよりなる撮像光学系を備えた内視鏡の一例を、図 3 に示したカプセル内視鏡の場合で説明しておく。このカプセル内視鏡 4 は、前カバーの役目をしており筒状でその先端側を略半球形状にした透明な観察窓 16 の後端と、筒形状でその後端を略半球形状にした非透明な後カバー 17 の前端とを相互に嵌合させて、水密的な密閉構造のカプセル容器を形成し、その内部に対物レンズ 18 や LED 25 等を収納している。先ず、観察窓 16 の先端に対向する中央位置には、レンズ枠 20 に取り付けられた対物レンズ 18 が配置されており、その対物レンズ 18 の物体側の面には、レンズ枠 20 と一緒に構成された明るさ絞り 19 が配置されている。そして、そのレンズ枠 20 は、固体撮像素子 23 の基板 22 に取り付けられた枠 21 に嵌合され、接着固定されている。また、枠 21 に嵌合するようにして接着固定されている基板 24 には、複数の LED (発光ダイオード) 25 が取り付けられている。

【0017】

固体撮像素子 23 の基板 22 は、その背面側に配置されている駆動処理回路 27 に対し、接続部 26 を介して電気的に接続されている。そして、この駆動処理回路 27 は、その背面側に配置されていて画像データの記憶処理を行うメモリ回路 28 に対し、接続部 29 を介して電気的に接続されている。また、メモリ回路 28 は、その背面側に配置されていて無線通信を行う無線通信回路 30 に対し、接続部 31 を介して電気的に接続されている。さらに、無線通信回路 30 の背面側には、ボタン型の 2 つの電池 32 が配置されている。また、図 3 においては、カプセル容器の下方位置に、無線通信回路 30 に接続されたアンテナ 33 が配置されている。そして、この内視鏡の撮像光学系によって取得された画像信号は、図示しない外部のコンピュータユニットへ無線で送信され、そこで画像処理が施された後、表示装置上で観察が可能となる。なお、上記の固体撮像素子 23 には、CCD、CMOS 等のイメージセンサーが使用される。

【0018】

以下、図面と表を参照しつつ本発明の撮像光学系の実施例 1 ~ 10 を説明するが、レンズデータを示す各表においては、第 1 面 (S1) を上記のような観察窓の物体側の面、第 2 面 (S2) を観察窓の像側の面に設定している。そこで、予め、本発明の実施例 1 ~ 10 に関するパラメータを下記の表 1 に示しておく。なお、対物レンズの非球面は、対物レンズの光軸を X 軸とし、基準曲率半径を r としたときに下記の条件式(5)で表される。

$$X = C S^2 / \{ 1 + (1 - (k + 1) C^2 S^2)^{1/2} \} + A_4 S^4 + A_6 S^6 + \dots + A_n S^n \quad \dots (5)$$

ただし、C は $1/r$ であり、 S^2 は $y^2 + z^2$ であり、k, A4, A6, ..., An は非球面係数である。

【0019】

表 1

	実施例1 INF	実施例2 INF	実施例3 INF	実施例4 INF	実施例5 INF	実施例6 INF	実施例7 INF	実施例8 INF	実施例9 INF	実施例10 INF
対物レンズ平面側曲率半径	-0.68117	-0.68147	-0.68115	-0.69682	-0.69418	-0.68917	-0.72818	-0.58869	-0.80769	-0.80835
対物レンズ凸面側曲率半径	0.75829	0.88368	0.69033	0.56748	0.94003	0.63406	0.63567	1.50526	1.33135	1.32601
対物レンズ光軸上の厚さ	0	0	0	0	0	0	0	-0.838	-0.669	-0.632
非球面係数K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4次の非球面係数	0.20276	-0.6981	0.12136	0.38565	-1.09502	0.10794	0.42107	0	0	0
6次の非球面係数	0.70237	2.31451	1.03779	-0.39034	2.66146	0.8249	-0.4124	0	0	0
8次の非球面係数	0	-0.02542	0	0	0	0	0	0	0	0
全系焦点距離	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
半画角	-55.527	-65.127	-59.661	-52.472	-58.954	-59.648	-52.472	-55.581	-54.994	-55.070
撮像面への入射角	-26.702	-23.223	-29.562	-32.178	-16.398	-29.935	-31.447	-16.280	-14.375	-15.723
ΔS	0.095	0.127	0.048	0.133	0.141	0.168	0.136	0.042	0.099	0.099
ΔM	0.059	0.258	0.191	0.196	0.308	0.081	0.220	0.430	0.058	0.058

【実施例1】
【0 0 2 0】

図4～図6及び表2を用いて実施例1を説明する。このうち、図4は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図5は本実施例の撮像光学系の収差図であり、図6は本実施例の対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図である。また、下記の表2は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。なお、本実施例の撮像光学系の構成説明に用いられる図4及び図6においては、上記の図3の場合に準じた符号を付けているが、このことは、以下における各実施例の撮像光学系の構成を説明する図面の場合も同じである。また、図5における湾曲像面を示した図においては、サジタル像面を実線で示し、メリディオナル像面を破線で示しているが、このことは、以下における各実施例の収差図の場合も同じである。更に、表2において、Sは面番、RDYは曲率半径、THIは厚さ、Ndは屈折率、Vdはアッペ数、INFは無限大、k, A2, A4, . . . , A10は非球面係数を表しているが、このことは、以下における各実施例のレンズデータを示す表の場合も同じである。

10

20

30

40

【0021】

表2

S	RDY	THI	Nd	Vd
	8.4974 (物体面)	0.0000		
1	8.4974	1.5450	1.51825	64.14
2	7.4159	7.4798		
3	INF (絞り)	0.0000		
4	INF	0.0400		
5	INF	0.7583	1.70235	70.00
6	-0.6812 (非球面)	1.0882		
7	INF (撮像面)	0.0000		

非球面係数

第6面

 $k = 0.0000$ $A_2 = 0.0000 \quad A_4 = 2.0276 \times 10^{-1} \quad A_6 = 7.0237 \times 10^{-1} \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$

【0022】

図4に示されているように、本実施例の撮像光学系は、物体側から順に、球面で構成される透明な観察窓16と、平凸の単レンズである対物レンズ18と、固体撮像素子23で構成され、視野角は110°に設定されている。対物レンズ18の凸面側は非球面であり、平面側には明るさ絞り19が配置されている。観察窓16の表面に沿って分布する物体面B（以下、各実施例の説明では、単に物体Bという）の像面は、対物レンズ18の結像作用により固体撮像素子23の撮像面近傍に形成される。固体撮像素子23の撮像面における有効撮像エリア内の中心Pから最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、撮像面上でPからIH/2の距離位置（図4では便宜的に符号IH/2を付けているが、このことは以下の実施例を説明する図の場合も同じである）に結像する光束の主光線CR1と、撮像面上でPからIHの距離位置（図4では便宜的に符号IHを付けているが、このことは以下の実施例を説明する図の場合も同じである）に結像する光束の主光線CR2によってつくられる視野範囲FV12では、対物レンズ18の非球面は、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなる形状をしている。

【0023】

視野範囲FV12で観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅 $S = 0.095\text{mm}$ 、メリディオナル像面の光軸方向における幅 $M = 0.059\text{mm}$ というように、略フラットな像面に形成され、画像周辺部において良好な観察性能を実現している。また、メリディオナル像面に着目した場合、固体撮像素子23を、現在配置されている位置から対物レンズ18の光軸に沿って、物体に近づく方向に0.45mm、または物体から離れる方向に0.33mm移動させても画像周辺部において良好な観察性能を確保することができる。このことから、製作時においては、固体撮像素子23を移動可能にしておくと、ピント調整作業が容易になる。

【0024】

50

なお、本実施例の対物レンズ18は、ガラスモールド成型によって製作することが可能であるため、レンズ有効部と枠部を一体的に成型することが可能であり、そのようにすることによって、撮像ユニットの組立作業時間を短縮することができると共に組立精度を向上させることができになる。そこで、図6を用い、そのようにして製作した場合における対物レンズとその近傍における具体的な構成例を説明する。対物レンズ18は、レンズ有効部18aの周辺に、枠部18bを、光軸に対して回転対称に形成している。また、枠部18bの物体側の面には、突起部18cが少なくとも2箇所に形成されている。そして、それらの突起部18cを、明るさ絞り19に設けられた位置合わせ孔19aに嵌合させることによって、明るさ絞り19の中心軸と対物レンズ18の光軸を、容易に一致させることができるようになっている。

10

【実施例2】

【0025】

図7、図8、及び表3を用いて実施例2を説明する。そのうち、図7は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図8は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表3は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0026】

表3

S	RDY	THI	Nd	Vd	
	8.8624 (物体面)	0.0000			
1	8.8624	1.6113	1.51825	64.14	20
2	7.7345	7.8011			
3	INF (絞り)	0.0000			
4	INF	0.0400			
5	INF	0.8837	1.70235	70.00	
6	-0.6815 (非球面)	1.0826			
7	INF (撮像面)	0.0000			

非球面係数

第6面

$$k = 0.0000$$

$$A_2 = 0.0000 \quad A_4 = -6.9810 \times 10^{-1} \quad A_6 = 2.3145 \quad A_8 = -2.5420 \times 10^{-2} \quad A_{10} = 0.0000$$

30

【0027】

本実施例の撮像光学系の基本構成は実施例1と同じであるが、視野角は130°に設定されている。また、対物レンズ18の非球面の基準曲率は、実施例1の場合と同じ値に設定されている。視野範囲FV12では、対物レンズ18の非球面は、基準曲率よりも曲率が大きく、かつ視野範囲FV12内で変曲点をもつ形状をしている。そして、視野範囲FV12で透明な観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.127mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.258mmとなるように形成されている。この場合、より幅の狭いサジタル像面の光軸方向における幅Sに着目して、固体撮像素子23の撮像面位置を光軸方向に調整可能に構成しておくと、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができると共にピント調整作業が容易に行えるようになる。

40

【0028】

医療用内視鏡の撮像光学系では、視野角を100°以上(より望ましくは130°以上)の広角にすることによって、生体表面に発生した病変を見落とすことなく画像観察ができるように構成する必要がある。その一方で、本発明の撮像光学系のように、単レンズにより、略球面状の観察窓16の表面に沿って分布する物体Bを良好に画像観察できるようにするためには、サジタル像面とメリディオナル像面のどちらか一方に着目して、結像作用に寄与する非球面の形状を決定し、さらに、その着目した像面に対して、固体撮像素子23の撮像面の光軸方向での位置を規定するのが好ましい。これにより、加工し易く無理のない形状の非球面を有する単レンズとすることができる、また簡単な構成で容易にピント

50

調整が行えるようにすることができる。

【実施例3】

【0029】

図9～図11及び表4を用いて実施例3を説明する。このうち、図9は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図10は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、図11は本実施例の対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図であって、図11(a)は断面図であり、図11(b)は対物レンズを像面側から見た図である。また、下記の表4は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0030】

表4

S	RDY	THI	Nd	Vd
	9.0446 (物体面)	0.0000		
1	9.0446	1.6445	1.51825	64.14
2	7.8934	7.9614		
3	INF (絞り)	0.0000		
4	INF	0.0400		
5	INF	0.6903	1.70235	70.00
6	-0.6812 (非球面)	1.0811		
7	INF (撮像面)	0,0000		
非球面係数				
第6面				
$k = 0.0000$				
$A_2 = 0.0000 \quad A_4 = 1.2136 \times 10^{-1} \quad A_6 = 1.0378 \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$				

【0031】

本実施例の撮像光学系の基本構成は実施例1と同じであるが、視野角は120°に設定されている。また、平凸の単レンズである対物レンズ18の非球面の基準曲率は、実施例1の場合と同じ値に設定されている。視野範囲FV12では、対物レンズ18の非球面は、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなる形状をしている。視野範囲FV12で透明な観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.048mmであり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.191mmというように、略フラットな像面に形成され、画像周辺部において良好な観察性能を実現している。また、サジタル像面に着目した場合、固体撮像素子23を、現在配置されている位置から対物レンズ18の光軸に沿って、物体に近づく方向に0.44mm、または物体から離れる方向に0.34mm移動させても画像周辺部において良好な観察性能を確保することができる。このように、固体撮像素子23の移動可能な範囲に余裕を持たせると、撮像光学系を製造するときのピント調整作業が容易になるので好ましい。

【0032】

ここで、図11を用いて、対物レンズ18のレンズ有効部と枠部とを一体成型で製作した場合における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明する。成型によって単レンズとして製作された対物レンズ18は、レンズ有効部18aの周辺に1対の枠部18bを光軸に対して対称に形成していて、その枠部18bの物体側の面には各々突起部18cを形成している。また、明るさ絞り19とレンズ枠20は、一体成型されていて、位置合わせ溝20aを形成している。そして、対物レンズ18は、突起部18cを位置合わせ溝20aに嵌合させ、レンズ有効部18aを明るさ絞り19に接触させた状態にしておき、レンズ枠20の内側に接着固定されている。レンズ枠20の内側に対物レンズ18を組み付ける作業は、枠部18bをピンセット等の把持具で保持して容易に行える。また、レンズ枠20の位置合わせ溝20aと対物レンズ18の突起部18cを嵌合させることによって、明るさ絞り19の中心軸と対物レンズ18の光軸とを容易に一致させることができるものである。

10

20

30

40

50

【実施例4】

【0033】

図12～図14及び表5を用いて実施例4を説明する。このうち、図12は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図13は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、図14は本実施例における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図であって、図14(a)は断面図であり、図14(b)は対物レンズを物体側から見た図であり、図14(c)は対物レンズを像面側から見た図である。また、下記の表5は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0034】

表5

S	RDY	THI	Nd	Vd
	6.5676 (物体面)	0.0000		
1	6.5676	1.2162	1.52765	56.25
2	5.3514	5.3514		
3	INF (絞り)	0.0000		
4	INF	0.0400		
5	INF	0.5675	1.70235	70.00
6	-0.6968 (非球面)	1.1734		
7	INF (撮像面)	0.0000		

非球面係数

第6面

 $k = 0.0000$ $A_2 = 0.0000 \quad A_4 = 3.8565 \times 10^{-1} \quad A_6 = -3.9034 \times 10^{-1} \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$

【0035】

本実施例は、より小径のカプセル内視鏡を想定した場合の撮像光学系である。本実施例の撮像光学系は、物体側から順に、球面で構成される透明な観察窓16と、平凸の単レンズである対物レンズ18と、固体撮像素子23とで構成されており、視野角は104°に設定されている。対物レンズ18の凸面側は非球面であり、平面側には明るさ絞り19が配置されている。カプセルの小径化に伴い、実施例1の撮像光学系等と比較して観察窓16の曲率が相対的に大きくなっている。本実施例では、視野範囲FV12における対物レンズ18の非球面の形状を、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるようにして、視野範囲FV12で観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.133mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.196mmとなるようにしている。この場合、幅の狭い方のサジタル像面の光軸方向における幅Sに着目して、固体撮像素子23の撮像面の位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。

【0036】

ここで、図14を用いて、対物レンズ18のレンズ有効部と枠部とを一体成型で製作した場合における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明する。成型によって単レンズとして製作された対物レンズ18は、レンズ有効部18aの周辺に1対の枠部18bを光軸に対して対称に形成している。また、それらの枠部18bの物体側の面には突起部18cが形成され、像面側の面には突起部18dが形成されている。そして、対物レンズ19は、突起部18cを明るさ絞り19の位置合わせ穴19aに嵌合させ、レンズ有効部18aを明るさ絞り19に接触した状態にしておいて、明るさ絞り19の内側に固定されている。更に、明るさ絞り19は、レンズ枠20に嵌合されており、突起部18dの先端をレンズ枠20に接触させた状態で、レンズ枠20の内側に接着固定されている。

【実施例5】

10

20

30

40

50

【0037】

図15、図16、及び表6を用いて実施例5を説明する。そのうち、図15は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図16は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表5は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0038】

表6

S	RDY	THI	Nd	Vd	
	5.9222 (物体面)	0.0000			
1	5.9222	1.1750	1.52765	56.25	10
2	4.8255	4.8255			
3	INF (絞り)	0.0705			
4	INF	0.0000			
5	INF	0.9400	1.70235	70.00	
6	-0.6942 (非球面)	1.1773			
7	INF (撮像面)	0.0000			

非球面係数

第6面

$k = 0.0000$

$A_2 = 0.0000 \quad A_4 = -1.0950 \times 10^{-1} \quad A_6 = 2.6615 \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$

【0039】

本実施例の撮像光学系の基本構成は実施例4と同じであり、視野角は118°に設定されている。また、平凸の対物レンズ18は、その凸面側が非球面となっていて、基準曲率は実施例4の場合と同じ値に設定されている。視野範囲FV12では、対物レンズ18の非球面が、基準曲率よりも曲率が大きく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるようにすることで、視野範囲FV12で透明な観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.141mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.308mmとなるようにしている。この場合、幅の狭い方のサジタル像面の光軸方向における幅Sに着目し、固体像素子23の撮像面の位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。

【実施例6】

【0040】

図17、図18、及び表7を用いて実施例6を説明する。そのうち、図17は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図18は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表7は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0041】

表7

S	RDY	THI	Nd	Vd	
	17.1966 (物体面)	0.0000			
1	17.1966	1.7197	1.51825	64.14	40
2	14.6171	4.2992			
3	INF (絞り)	0.0000			
4	INF	0.0500			
5	INF	0.6341	1.70235	70.00	
6	-0.6892 (非球面)	1.1806			
7	INF (撮像面)	0.0000			

非球面係数

第6面

$k = 0.0000$

50

$$A_2 = 0.0000 \quad A_4 = 1.0794 \times 10^{-1} \quad A_6 = 8.2490 \times 10^{-1} \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$$

【0042】

本実施例は、透明な観察窓16として、大きな曲率半径を有している球体状のドームを用いた撮像光学系の構成例である。ドームの曲率中心は平凸の対物レンズ18の光軸上に配置されていて、視野角は120°に設定されている。また、対物レンズ18の凸面側は非球面であって、その基準曲率は実施例4の場合と同じ値に設定されている。本実施例では、視野範囲FV12における対物レンズ18の非球面の形状を、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるように形成することで、視野範囲FV12で観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.168mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.081mmとなるようにしている。この場合、幅の狭い方のサジタル像面の光軸方向における幅Sに着目し、固体撮像素子23の撮像面の位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。

10

【実施例7】

【0043】

図19～図21及び表8を用いて実施例7を説明する。このうち、図19は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図20は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、図21は本実施例における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための断面図である。そして、下記の表8は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

20

【0044】

表8

S	RDY	THI	Nd	Vd
	5.5649 (物体面)	0.0000		
1	5.5649	1.2157	1.52765	56.25
2	5.3492	5.3492		
3	INF (絞り)	0.0000		
4	INF	0.0000		
5	10.4205	0.6357	1.70235	70.00
6	-0.7282 (非球面)	1.1481		
7	INF (撮像面)	0.0000		

30

非球面係数

第6面

$$k = 0.0000$$

$$A_2 = 0.0000 \quad A_4 = 4.2107 \times 10^{-1} \quad A_6 = -4.1240 \times 10^{-1} \quad A_8 = 0.0000 \quad A_{10} = 0.0000$$

【0045】

本実施例の撮像光学系においては、対物レンズ18が、両面に曲率を有した正の単レンズとして構成されており、像側の面が非球面となっている。そして、視野角は104°に設定されている。また、視野範囲FV12における非球面の形状を、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるようにすることで、視野範囲FV12で透明な観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.136mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.22mmとなるようにしている。この場合、幅の狭い方のサジタル像面の光軸方向における幅Sに着目して、固体撮像素子23の撮像面の位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。また、対物レンズ18の物体側の面を正のパワーを持つように構成したので、非球面上での視野範囲FV12における光線高を低くして有効径を小さくすることができ、それによって、非球面の周辺部での基準曲率からの乖離量を少なくして、レンズの加工性を向上させることができる。

40

【0046】

50

ここで、図21を用いて、対物レンズ18のレンズ有効部と枠部とを一体成型で製作した場合における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明する。成型によって単レンズとして製作された対物レンズ18は、レンズ有効部18aの外周部に1対の枠部18bを光軸に対して対称に形成しており、レンズ有効部18aの物体側の面には、光軸に対して回転対称に突起部18cを形成している。また、枠部18bには、像側に細長く延出した腕部18dが形成され、その先端には爪部18eが設けられているが、この腕部18dは、内側に撓み得るようになっている。明るさ絞り19とレンズ枠20は一体成型されており、位置合わせ溝20aには対物レンズ18の突起部18cが嵌合している。また、レンズ枠20には、像側の縁に爪部20bが設けられていて、対物レンズ18は、爪部18eが爪部20bに係止されることによって、接着されることなく、レンズ枠20の内側に固定されている。レンズ枠20の内側に対物レンズ18を組み付ける作業は、枠部18bをピンセット等の把持具で保持しながら、突起部18cが位置合わせ溝20aに嵌合するまで、対物レンズ18をレンズ枠20の内側に押し込むだけよいため、煩雑な作業手順を必要としないで済むようになっている。

10

【実施例8】

【0047】

図22、図23、及び表9を用いて実施例8を説明する。そのうち、図22は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図23は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表9は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

20

【0048】

表9

S	RDY	THI	Nd	Vd
	8.1970 (物体面)	0.0000		
1	8.1970	1.6394	1.58874	30.49
2	6.5576	6.5576		
3	INF (絞り)	0.0447		
4	INF	0.0000		
5	INF	1.5053	1.58874	30.49
6	-0.5887 (非球面)	0.0000		
7	INF	1.1333		
8	INF (撮像面)	0.0000		

非球面係数

30

第6面

 $K = -0.8380$

【0049】

本実施例の撮像光学系は、物体側から順に、球面で構成される透明な観察窓16と、平凸の対物レンズ18と、固体撮像素子23とで構成され、視野角は111°に設定されている。対物レンズ18の凸面側は光軸方向に回転対称な楕円面であり、平面側には明るさ絞り19が配置されている。

40

【0050】

そして、対物レンズ18の楕円面は、上記の条件式(5)で表される非球面式において、4次の項よりも高次の項を使用せず、非球面係数kのみで形状が決定される面として形成されている。その場合、非球面係数kは、下記の条件式(6)を満足しているようになるのが望ましいが、本実施例の場合には、-0.84である。

$$-0.6 < k < -0.85 \dots (6)$$

このように、本実施例の対物レンズ18は、その凸面を複雑な形状の非球面にせず、形状をトレースし易い楕円面としたため、レンズの加工性を向上させることが可能となっており、視野範囲FV12では、その楕円面は、基準曲率よりも曲率が小さく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなる形状をしている。

50

【0051】

また、一般的にプラスティック素材にてレンズを成型する場合、プラスティック樹脂を型に流し込むためのゲートの確保が必須であるが、そのゲート設計を容易にするためには、対物レンズ18の光軸上での厚さDが、下記の条件式(7)を満足するように形成するのが好ましい。そこで、本実施例の場合には、その厚さを1.5mmとしている。

$$1.51 > D / f_L > 0.94 \quad \dots (7)$$

ただし、 f_L は、撮像光学系の焦点距離である。

【0052】

また、凸面を橜円面に形成し、かつ、光軸上での厚さDを比較的大きくしたことによって、視野範囲FV12において撮像素子23の撮像面に結像する光束の主光線の撮像面に対する入射角|Tw|を、下記の条件式(8)を満足させるようになることが可能になる。もし、その入射角Twが、条件式(8)を満足させることができない場合には、入射光束が撮像素子の周りの枠に遮られ、画像周辺の光量が低下したり、光束が撮像面上で2つ以上の画素にまたがって入射してしまうことになり、画像の色付きなどのシェーディング現象を発生させてしまうことになる。そこで、本実施例の場合には、撮像素子23の撮像面での最大像高IHにおける主光線の入射角|Tw|を、16.3°にしてある。

$$|Tw| < 16.5. \quad \dots (8)$$

なお、枠等により光束が遮られてしまい、絞り中心を通る主光線が定義できない場合には、光束の重心位置における光線を仮に主光線と設定して、入射角を定義してもよい。

【0053】

本実施例の場合、視野範囲FV12で観察窓16の表面に沿って分布する物体Bの像面は、サジタル像面の光軸方向における幅Sが0.042mmとなり、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mが0.43mmとなるように形成されている。この場合、メリディオナル像面の光軸方向における幅Mは上記の条件式(1)を満たさないが、サジタル像面の光軸方向における幅Sに着目して、固体撮像素子23の撮像面の位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。

【実施例9】

【0054】

図24、図25、及び表10を用いて実施例9を説明する。そのうち、図24は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図25は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表10は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0055】

表10

S	RDY	THI	Nd	Vd
	7.2115 (物体面)	0.0000		
1	7.2115	1.9970	1.58874	30.49
2	5.2145	5.2145		
3	INF (絞り)	0.0666		
4	INF	0.0000		
5	INF	1.3314	1.81078	40.88
6	-0.8077 (非球面)	0.0000		
7	INF	1.1583		
8	INF (撮像面)	0.0000		

非球面係数

第6面

$k = -0.6690$

【0056】

本実施例の撮像光学系の基本構成は実施例8と同じであるが、視野角は110°に設定されている。平凸の対物レンズ18は、その凸面側が光軸方向に回転対称な橜円面となっており、非球面係数kは-0.67である。視野範囲FV12では、対物レンズ18の橜

10

20

30

40

50

円面が、基準曲率よりも曲率が大きく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるようにすることで、視野範囲 F V 1 2 で観察窓 1 6 の表面に沿って分布する物体 B の像面は、サジタル像面の光軸方向における幅 S が 0 . 0 9 9 m m となり、メリディオナル像面の光軸方向における幅 M が 0 . 0 5 8 m m となるようにしている。この場合、幅の狭い方のメリディオナル像面の光軸方向における幅 M に着目して、固体撮像素子 2 3 の撮像面位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。なお、本実施例においては、レンズの光軸上での厚さは 1 . 3 3 m m であり、固体撮像素子 2 3 の撮像面での最大像高 I H における主光線の入射角 | T w | は 1 4 . 4 ° である。

10

【実施例 1 0】

【0 0 5 7】

図 2 6 , 図 2 7 、及び表 1 1 を用いて実施例 1 0 を説明する。そのうち、図 2 6 は本実施例の撮像光学系の構成図であり、図 2 7 は本実施例の撮像光学系の収差図である。また、下記の表 1 1 は本実施例の撮像光学系のレンズデータを示したものである。

【0 0 5 8】

表 1 1

S	RDY	THI	Nd	Vd	
	7.0125 (物体面)	0.0000			
1	7.0125	1.4025	1.58874	30.49	20
2	5.6100	5.6100			
3	INF (絞り)	0.0383			
4	INF	0.0000			
5	INF	1.3260	1.81078	40.88	
6	-0.8084 (非球面)	0.0000			
7	INF	1.1576			
8	INF (撮像面)	0.0000			

非球面係数

第 6 面

k = -0.6320

30

【0 0 5 9】

本実施例の撮像光学系の基本構成も実施例 8 と同じであるが、視野角は実施例 9 と同様に 1 1 0 ° に設定されている。平凸の対物レンズ 1 8 は、その凸面側が光軸方向に回転対称な楕円面となっており、非球面係数 k は - 0 . 6 3 である。視野範囲 F V 1 2 では、対物レンズ 1 8 の楕円面が、基準曲率よりも曲率が大きく、かつ視野周辺に行くほど基準曲率との乖離量が大きくなるようにすることで、視野範囲 F V 1 2 で観察窓 1 6 の表面に沿って分布する物体 B の像面は、サジタル像面の光軸方向における幅 S が 0 . 0 9 9 m m となり、メリディオナル像面の光軸方向における幅 M が 0 . 0 5 8 m m となるようにしている。

40

【0 0 6 0】

この場合、幅の狭い方のメリディオナル像面の光軸方向における幅 M に着目して、固体撮像素子 2 3 の撮像面位置を光軸方向に調整可能に構成すると、画像周辺部における良好な観察性能を確保することができるとともにピント調整作業を容易に行えるようにすることができる。また、実施例 8 に比べて楕円面の基準曲率を大きくするかわりに、非球面係数 k を上記の条件式 (6) の下限値近くに設定したことにより、視野範囲 F V 1 2 における基準曲率との乖離量を小さくして、レンズの加工性を向上させている。なお、本実施例においては、レンズの光軸上での厚さ D は 1 . 3 2 m m であり、固体撮像素子 2 3 の撮像面での最大像高 I H における主光線の入射角 | T w | は 1 5 . 7 ° である。

【0 0 6 1】

以上のように、これまでの実施例 1 ~ 1 0 の説明においては、各々の撮像光学系が、い

50

ずれも、対物レンズ18の光軸に対して回転対称な構成をしていることを前提にして説明してきた。しかしながら、観察窓16の中心と、対物レンズ18の光軸が一致していなくても、上記の条件式(2)又は(4)が成立する構成をしていれば、上記の各実施例の場合と同様の効果を発揮することができるることは明らかである。そのため、そのように構成したものも、本発明の実施態様である。

【0062】

ところで、上記の各実施例1～10の説明においては、対物レンズ18の非球面が達成すべき目標値を説明してきた。そこで、以下においては、このような目標値にすると、非球面の形状がどのようになるかを詳細に説明する。なお、図28～図37は、各々実施例1～実施例10における非球面変位量と、その値を2次微分した値を示したグラフである。各図中、非球面変位量は、非球面の面頂を座標軸の原点として、非球面の座標値Sag_a(h)と、基準Rの座標値Sag_s(h)の差を、最大像高IHに対応した光線高まで表記している。ここで、正方向を、非球面座標がより平面に近い状態をあらわすようにした。すなわち、各実施例に記載の方向に対して、以下の式にて表している。

$$(\text{非球面変位量}) = -1 \cdot (\text{Sag}_a(h) - \text{Sag}_s(h)) \quad \dots (9)$$

ただし、hの範囲は $0 < h < IH$ であり、Sag_a(h)は非球面の座標値であり、Sag_s(h)は基準Rの座標値である。

【0063】

これらの図によると、実施例2と実施例5を除く各実施例においては、非球面座標が正の値を示している。すなわち、実施例2, 5以外の実施例における非球面形状は、基準曲率半径Rと平面との間に位置する特性を有し、像面湾曲を負から正方向に立てるよう作用した曲面形状をしている。レンズ面が基準曲率半径Rの曲面形状をしている場合には、本発明の目的であるIH/2からIHまでの像面湾曲をフラットにすることが難しく、上記の条件式(4)の条件を確保することができない。他方、平面物体に対する像面湾曲を完全に補正してしまうと、図1に示した像面Bになってしまい、本発明の目的を達成することができない。つまり、望ましい非球面形状は、基準曲率半径Rの曲面形状から、完全に像面湾曲の補正作用を有する形状までの間に、最適な形状として存在している必要があるということである。

【0064】

ここで、図28～図37の2次微分の数値に注目すると、像面湾曲を負から正に立てる作用とは、基準曲率半径Rと比較して凹の作用を有すること、すなわち、2次微分したグラフが正となる作用のことである。実施例2, 5の場合には、途中まで負の値を含んでいるが、IH/2からIHまでの光線高の領域で、負から正へ変化している。この変化は凹作用であり、この効果によって、IH/2からIHまでの光線高の領域で、像面湾曲をフラットに立てるという作用を発生させている。つまり、望ましい非球面形状の条件とは、 $IH/2 < h < IH$ において、下記の条件を満たす領域が少なくとも存在していれば、本発明で狙うべき効果を発揮することができるということである。

$$- d^2 \text{Sag}_a(h) / d h^2 + d^2 \text{Sag}_s(h) / d h^2 > 0 \quad \dots (10)$$

ただし、Sag_a(h)は非球面の座標値、Sag_s(h)は基準曲率半径Rの座標値である。

【0065】

また、望ましい非球面量を規定する別の記述方法として、非球面上での光線高ごとの局所的近軸量にて規定する方法もある。像高IHにおけるX方向の局所的焦点距離をf_x(IH)、Y方向の局所的焦点距離をf_y(IH)、とした場合に、下記の条件式(11)を満たすことで、サジタル方向と、メリディオナル方向の像面湾曲を独立させて補正することが可能である。

$$0.63 < f_x(IH) / f_y(IH) < 1 \quad \dots (11)$$

この条件式(11)において、f_x(IH) / f_y(IH)が0.63以下になると、実施例1の基準曲率半径Rの曲面形状に近くなってしまい、本発明の目的であるIH/2からIHまでの像面湾曲をフラットにして撮像光学系の焦点深度内におさめるということが難しくなり、条件式(4)を満足させることができなくなる。また、f_x(IH) / f_y

10

20

30

40

50

(IH) が 1 になると、平面物体に対する像面湾曲を完全に補正してしまい、前述した図 1 における像面 B のようになってしまう。

【0066】

また、光学系には一般的に歪曲収差が存在し、特に内視鏡のような広い視野角を有する光学系では顕著になる。ところが、通常の内視鏡の場合には、光学系をなるべく小さくする必要があるため、補正に伴ってレンズが大径化するのを嫌い、歪曲収差を補正しないのが一般的である。それに対して、本発明で対象としている透明観察窓を有する内視鏡の場合は、対物レンズと観察窓の形状で歪曲収差をより観察しやすくすることが可能である。そこで、本発明の撮像光学系の構成においては、観察窓の表面を物体とした場合における撮像光学系の歪曲収差の値が、下記の条件式(12)を満たすようにすることによって、特に視野範囲 FV12 で歪のない良好な画像を得るようにすることができる。

$$-20\% < D < 26\% \dots (12)$$

ただし、D は、固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離を IH としたとき、IH/2 から IH までの範囲に結像する光束の主光線の視野範囲内における撮像光学系の歪曲収差量である。

この条件式(12)において、D が -20% 以下になると、たる型の歪曲収差の影響で物体像が小さくつぶれてしまい、観察しずらくなってしまう。また、D が 26% 以上になると、糸巻き型の歪曲収差が大きくなりすぎるため、被写体に対する内視鏡の動きに対して、画像として捕らえた被写体の動きが相対的に大きくなり、ブレた画像となって観察に支障をきたしてしまう。

【0067】

ここで、撮像光学系が上記の条件式(2)又は(4)を満足しているかどうかを、簡易的に検査して品質チェックを行える方法を提示しておく。例えば、固体撮像素子の撮像面の IH・4/5 の位置と結像関係にある透明観察窓表面の物点位置に置いた白と黒のラインペアを、固体撮像素子の撮像面の水平方向に白と黒のラインが並ぶようにして撮像し、表示装置の表示面に表示する。このとき、白のラインと黒のラインのコントラストが 10% になるラインペアの幅(単位: mm)を Ra とする。そして、CIF フォーマットの固体撮像素子においては、白と黒のラインペアの幅 Ra は、像高 IH の 4/5 の位置におけるローカル倍率を local とすると、

$$Ra = 7 \mu m * 4 / local \dots (13)$$

となる。ここで、上記の各実施例における local は、

$$local = 0.24 \dots (14)$$

であるので、

$$Ra = 0.12 \text{ mm} \dots (15)$$

となる。つまり、撮像光学系が下記の条件式(16)を満たしていれば、上記の条件式(2)又は(4)を満足しているということになる。

$$Ra > 0.12 \text{ mm} \dots (16)$$

【0068】

以上の説明からも分かるように、本発明は、特許請求の範囲に記載した特徴のほかに下記の特徴を有している。

(1) 略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための少なくとも 1 面の非球面を含む対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子とよりなる撮像光学系において、

前記対物レンズは、正のパワーをもつ単レンズで構成され、前記観察窓表面の物体に対して以下の条件の少なくとも一方を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$S / f_L < 8 \cdot p / (\tan(\sin^{-1}(1 / (2 Fno))))$$

又は

$$M / f_L < 8 \cdot p / (\tan(\sin^{-1}(1 / (2 Fno))))$$

ただし、

P : 固体撮像素子の画素ピッチ

10

20

30

40

50

F no : 撮像光学系の有効 F no

f_L : 撮像光学系の焦点距離

S : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離を IH としたとき、IH / 2 から IH までの範囲内でのサジタル像面の光軸方向における幅

M : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離を IH としたとき、IH / 2 から IH までの範囲内でのメリディオナル像面の光軸方向における幅

【0069】

(2) 請求項1又は上記(1)に記載の撮像光学系において、

固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置に対応する撮像光学系の半画角 w が、以下の条件を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$w > 50^\circ$$

【0070】

(3) 請求項1又は上記(1)に記載の撮像光学系と、撮像光学系が撮像した画像を表示面に表示する表示装置とを備えた内視鏡装置において、

以下の条件を満たすことを特徴とする内視鏡装置。

$$R_a > 0.12$$

ただし、

R_a : 固体撮像素子の撮像面で IH · 4 / 5 の位置に結像する透明観察窓表面の物点位置に置いた白と黒のラインペアを、前記固体撮像素子の撮像面の水平方向に白と黒のラインが並ぶように撮像して表示装置の表示面に表示したとき、白のラインと黒のラインのコントラストが 10 % となる白と黒のラインペアの幅 (単位: mm)

【0071】

(4) 略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子とよりなる撮像光学系を備えた内視鏡において、

前記対物レンズは、光軸方向に回転対称な橜円面を有する単レンズであることを特徴とする内視鏡。

【0072】

(5) 略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する固体撮像素子とよりなる撮像光学系を備えた内視鏡において、

前記対物レンズは、少なくとも 1 面に非球面を含み、以下の条件を満たす単レンズであることを特徴とする内視鏡。

$$-0.6 < k < -0.85$$

ただし、

k : 撮像光学系の光軸を X 軸とし、基準曲率半径を r としたときの下記の非球面式における非球面係数

$$X = C S^2 / \{ 1 + (1 - (k + 1) C^2 S^2)^{1/2} \}$$

$$C = 1 / r$$

$$S^2 = y^2 + z^2$$

【0073】

(6) 上記(4)又は(5)に記載の撮像光学系において、

以下の条件を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$1.51 > D / f_L > 0.94$$

$$0 < T_w < -16.5^\circ$$

ただし、

D : 対物レンズの中肉厚

f_L : 撮像光学系の焦点距離

T_w : 固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置に結像する光束の主光線の撮像面に対する入射角

10

20

30

40

50

【0074】

(7) 略球体形状の透明な観察窓と、光学像を形成するための少なくとも1面の非球面を含む対物レンズと、前記光学像を電気信号に変換する撮像素子によりなる撮像光学系において、

以下の条件を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$-20\% < D < 26\%$$

ただし、

D：固体撮像素子の撮像面における有効撮像エリア内の中心から最も遠い位置までの距離をIHとしたとき、IH/2からIHまでの範囲に結像する光束の主光線で表される視野範囲内における撮像光学系の歪曲収差量

10

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本発明を説明するために示した撮像光学系の構成図である。

【図2】本発明を説明するために示した収差図であって、ガウス像面に対するサジタル像面とメリディオナル像面の湾曲状況を示したものである。

【図3】本発明の撮像光学系を採用したカプセル内視鏡の構成例を示した断面図である。

【図4】実施例1の撮像光学系の構成図である。

【図5】実施例1の撮像光学系の収差図である。

【図6】実施例1における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図である。

【図7】実施例2の撮像光学系の構成図である。

20

【図8】実施例2の撮像光学系の収差図である。

【図9】実施例3の撮像光学系の構成図である。

【図10】実施例3の撮像光学系の収差図である。

【図11】実施例3における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図であつて、図11(a)は断面図であり、図11(b)は対物レンズを像面側から見た図である。

【図12】実施例4の撮像光学系の構成図である。

【図13】実施例4の撮像光学系の収差図である。

【図14】実施例4における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための図であつて、図14(a)は断面図であり、図14(b)は対物レンズを物体側から見た図であり、図14(c)は対物レンズを像面側から見た図である。

30

【図15】実施例5の撮像光学系の構成図である。

【図16】実施例5の撮像光学系の収差図である。

【図17】実施例6の撮像光学系の構成図である。

【図18】実施例6の撮像光学系の収差図である。

【図19】実施例7の撮像光学系の構成図である。

【図20】実施例7の撮像光学系の収差図である。

【図21】実施例7における対物レンズ近傍の具体的な構成例を説明するための断面図である。

【図22】実施例8の撮像光学系の構成図である。

40

【図23】実施例8の撮像光学系の収差図である。

【図24】実施例9の撮像光学系の構成図である。

【図25】実施例9の撮像光学系の収差図である。

【図26】実施例10の撮像光学系の構成図である。

【図27】実施例10の撮像光学系の収差図である。

【図28】実施例1における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図29】実施例2における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図30】実施例3における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフで

50

ある。

【図31】実施例4における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図32】実施例5における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図33】実施例6における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図34】実施例7における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【図35】実施例8における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。 10

【図36】実施例9における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

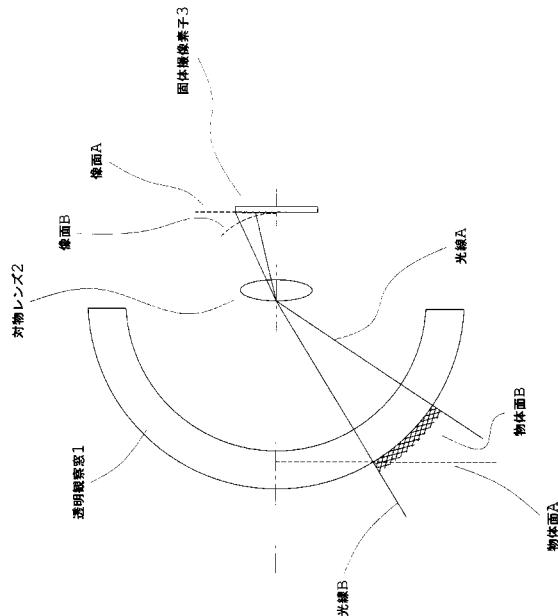
【図37】実施例10における非球面変位量と、その値を2次微分した値とを示すグラフである。

【符号の説明】

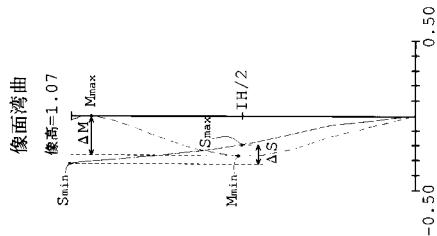
【0076】

1 6	観察窓	20
1 8	対物レンズ	
1 9	明るさ絞り	
2 3	固体撮像素子	
B	物体(面)	
P	有効撮像エリアの中心	
I H	有効エリア内においてPから最も遠い位置までの距離	

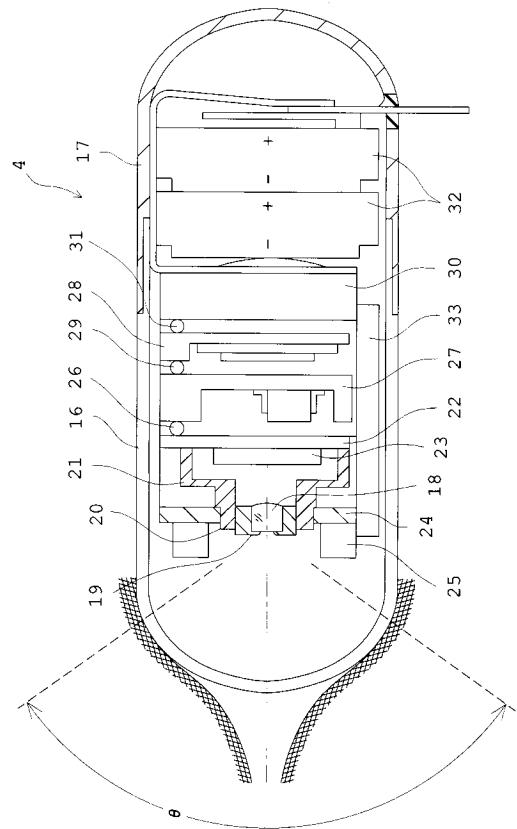
【図1】



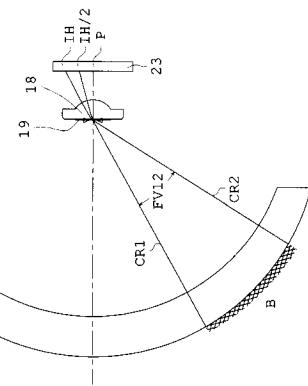
【図2】



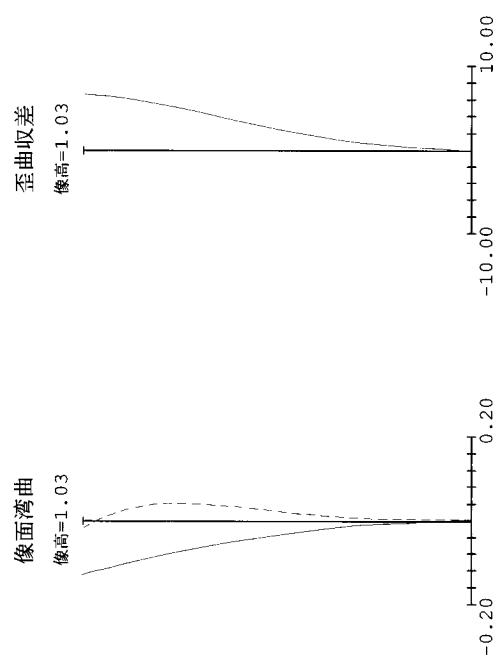
【図3】



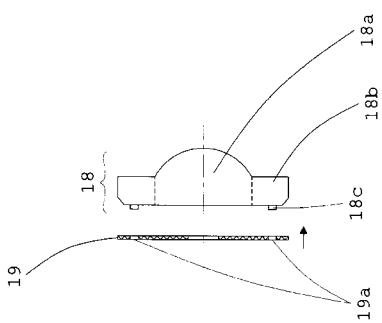
【図4】



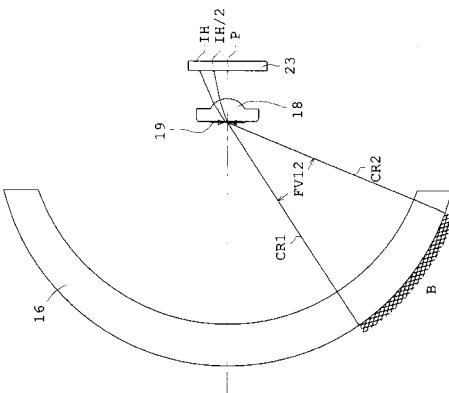
【図5】



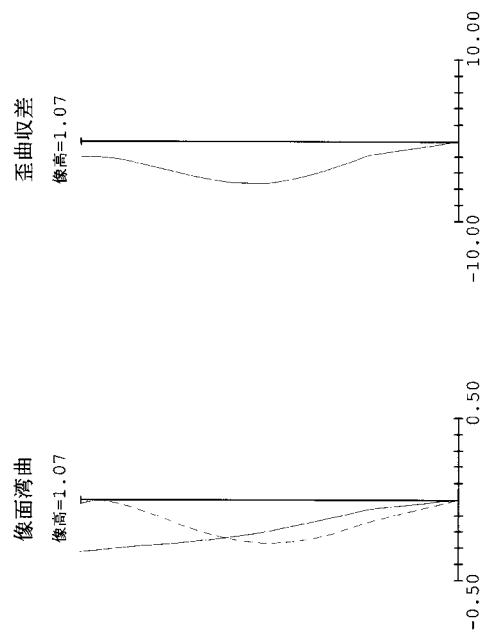
【図6】



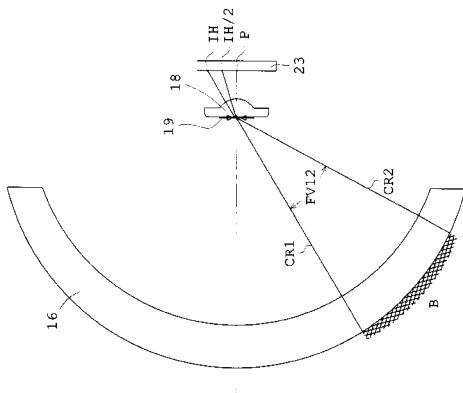
【図7】



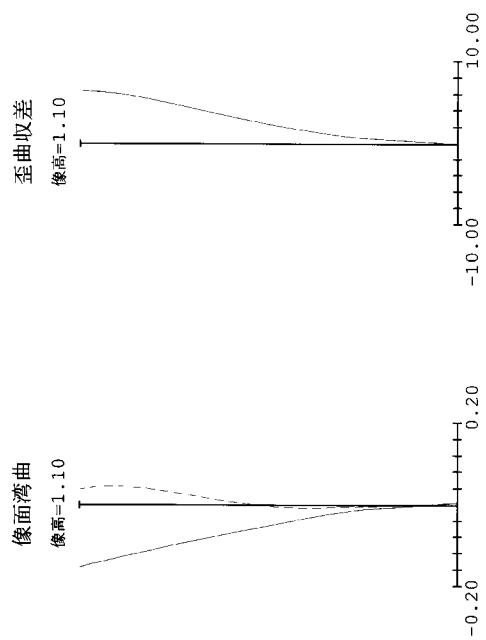
【図 8】



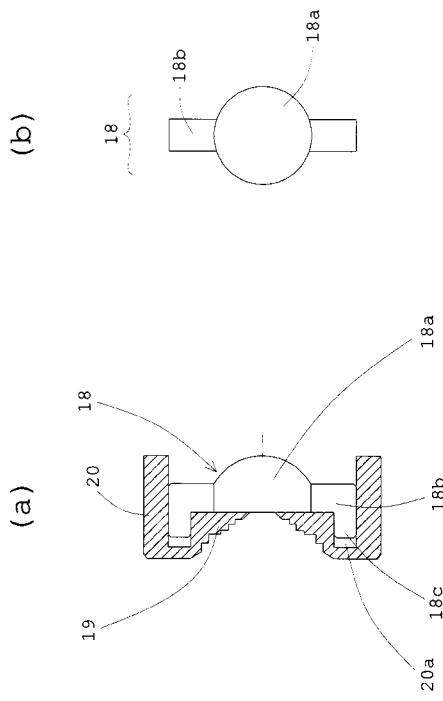
【図 9】



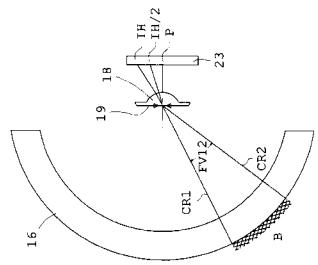
【図 10】



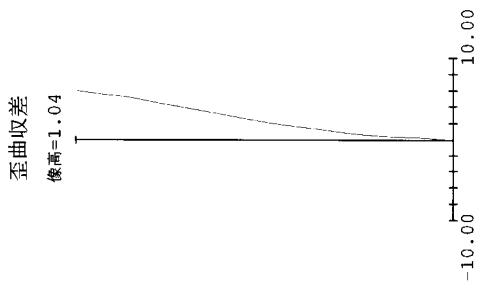
【図 11】



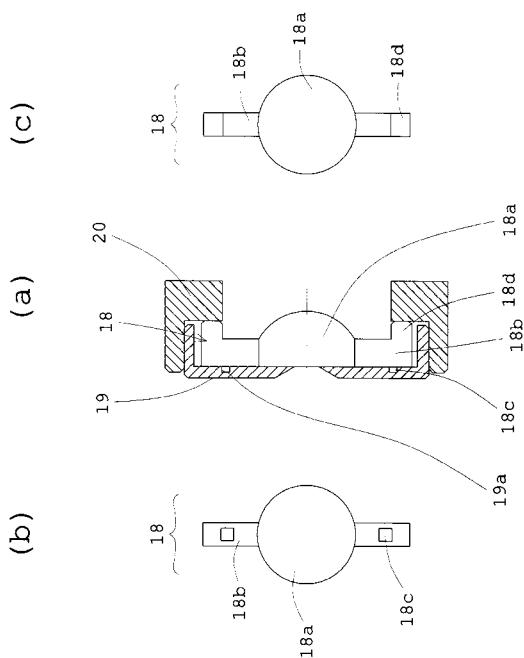
【図12】



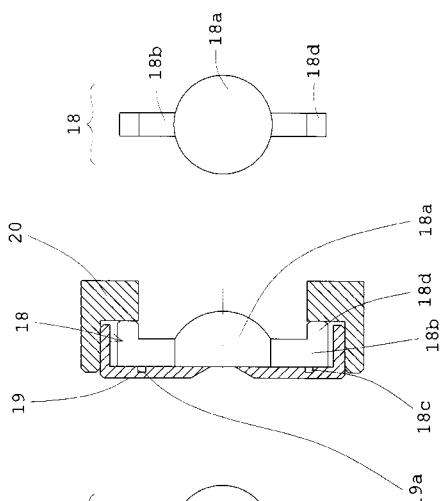
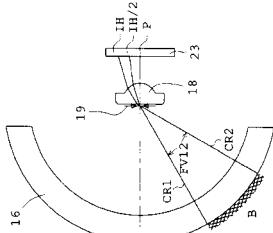
【図13】



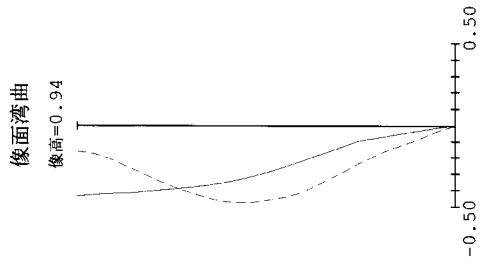
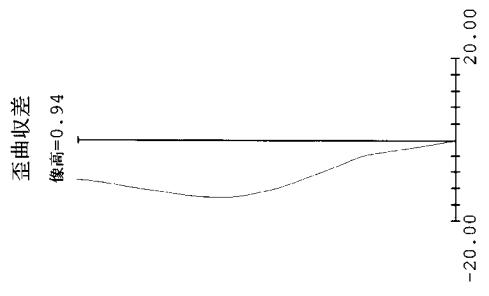
【図14】



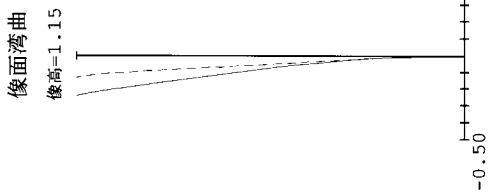
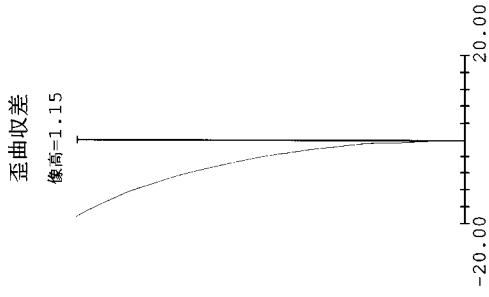
【図15】



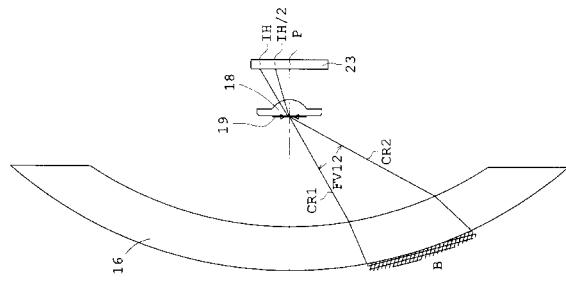
【図16】



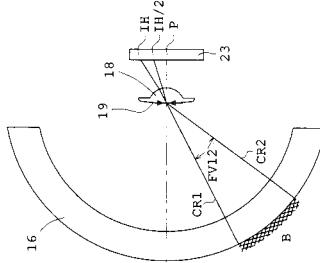
【図18】



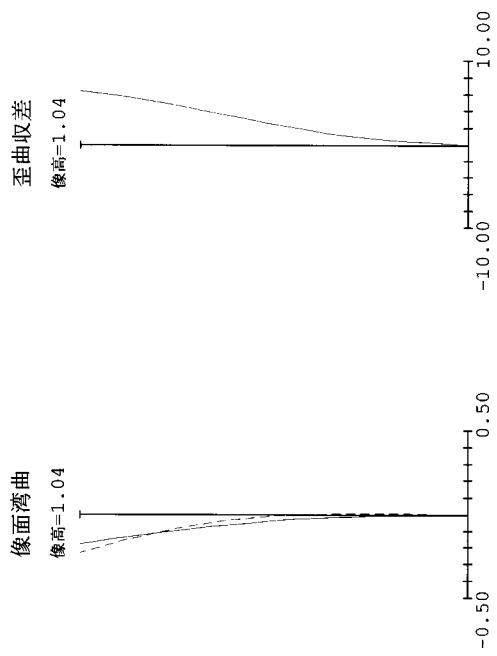
【図17】



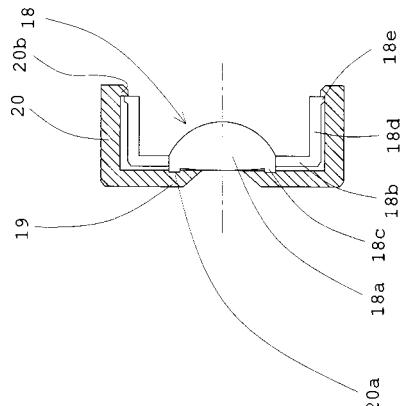
【図19】



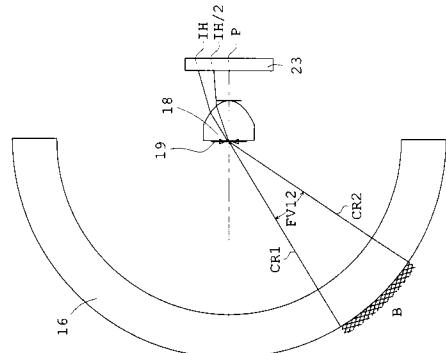
【図20】



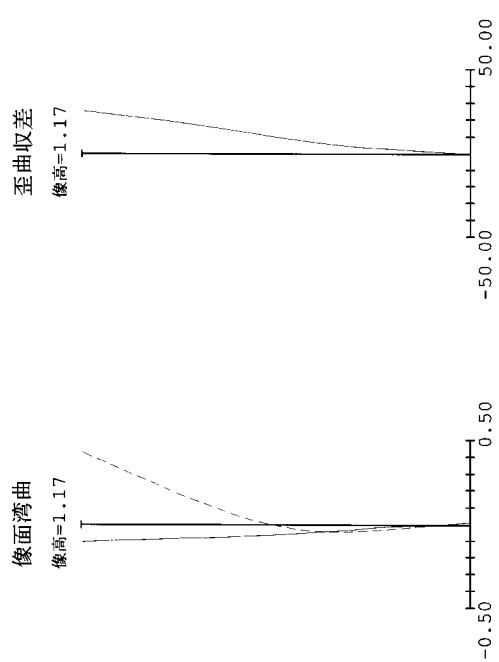
【図21】



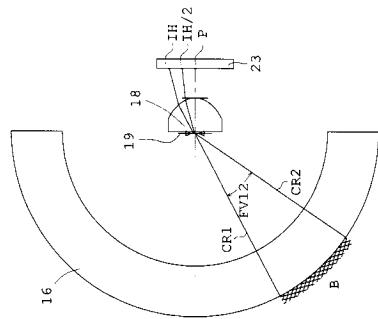
【図22】



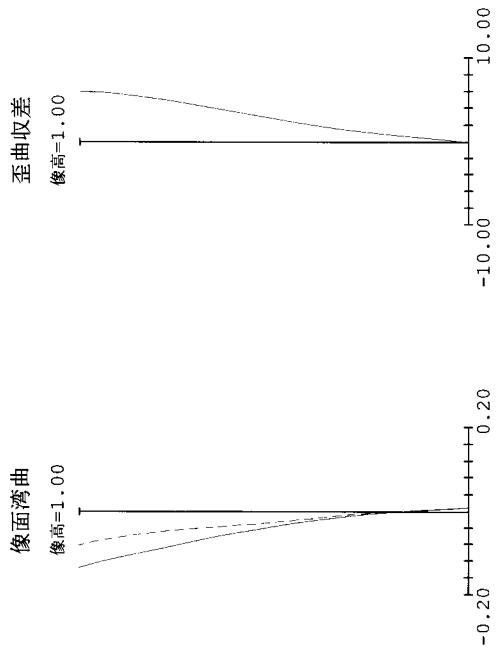
【図23】



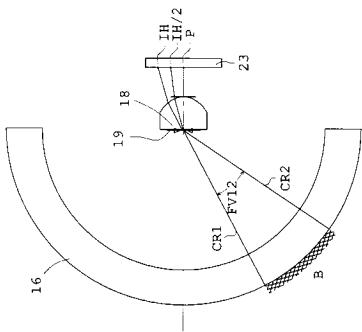
【図24】



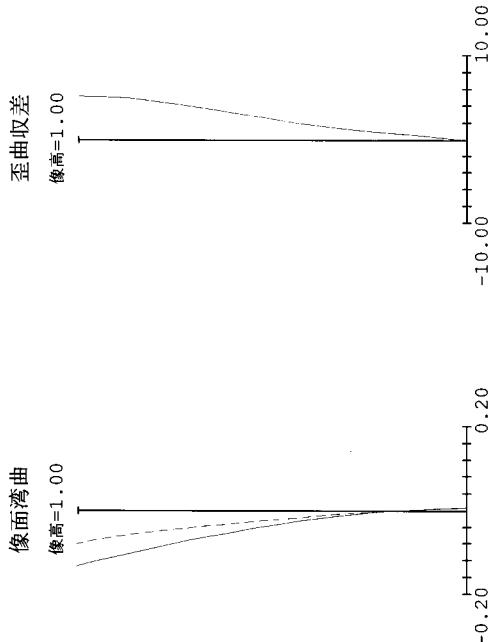
【図25】



【図26】

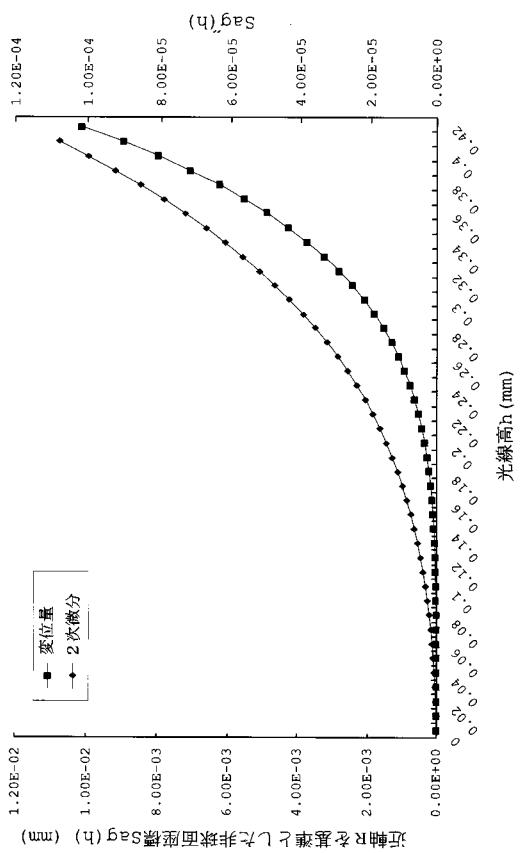


【図27】

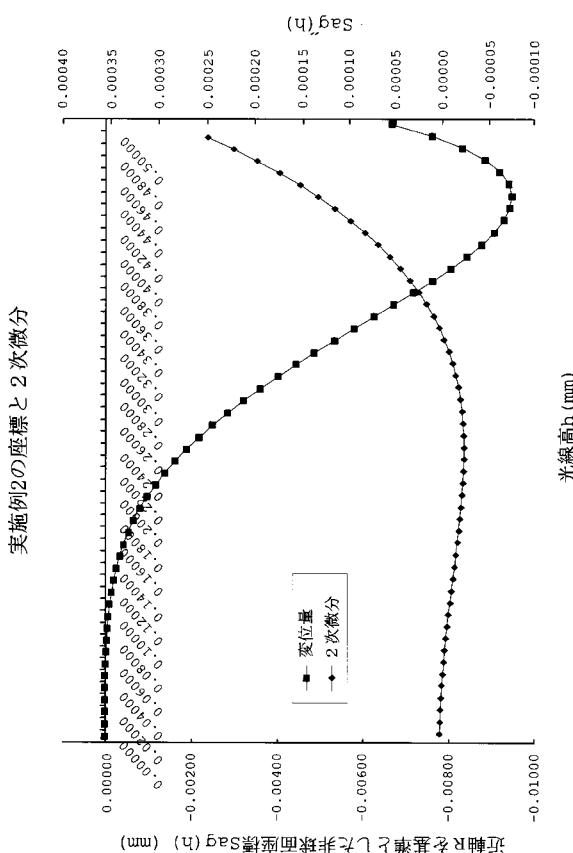


【図28】

実施例1の座標と2次微分

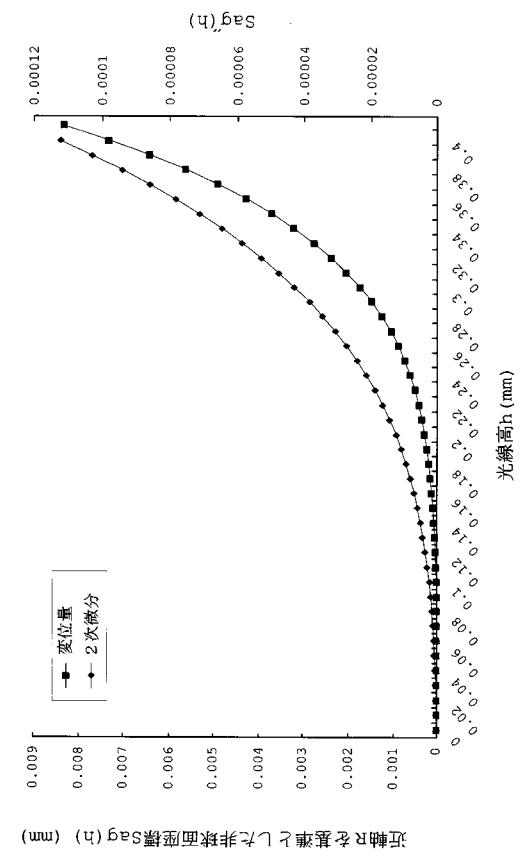


【図29】

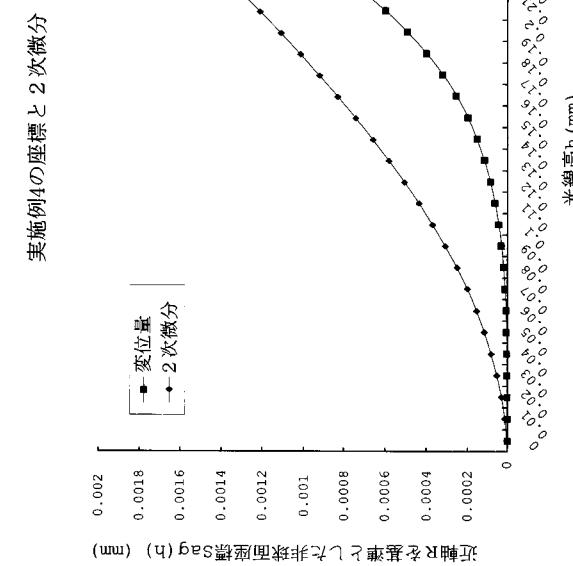


【図30】

実施例3の座標と2次微分

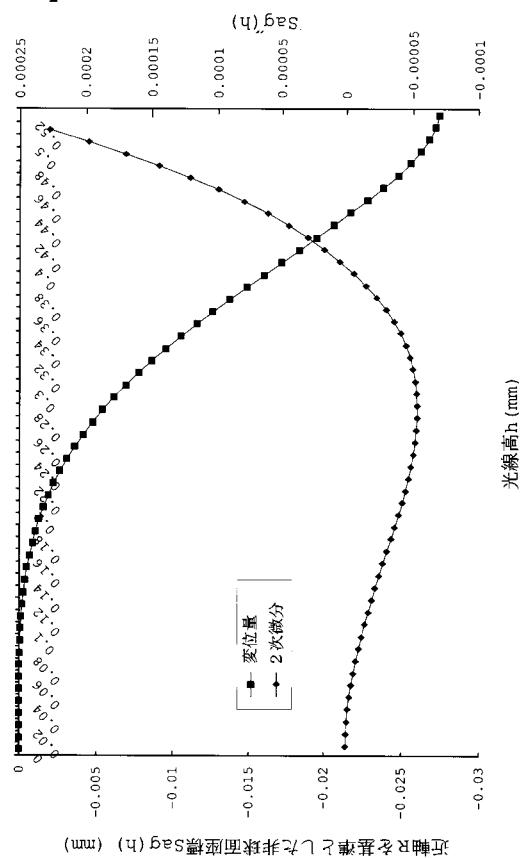


【図31】



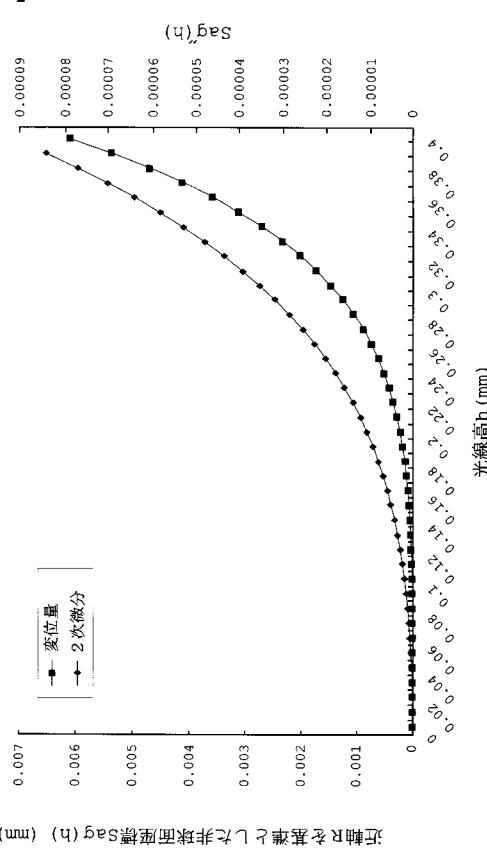
【図3-2】

実施例5の座標と2次微分



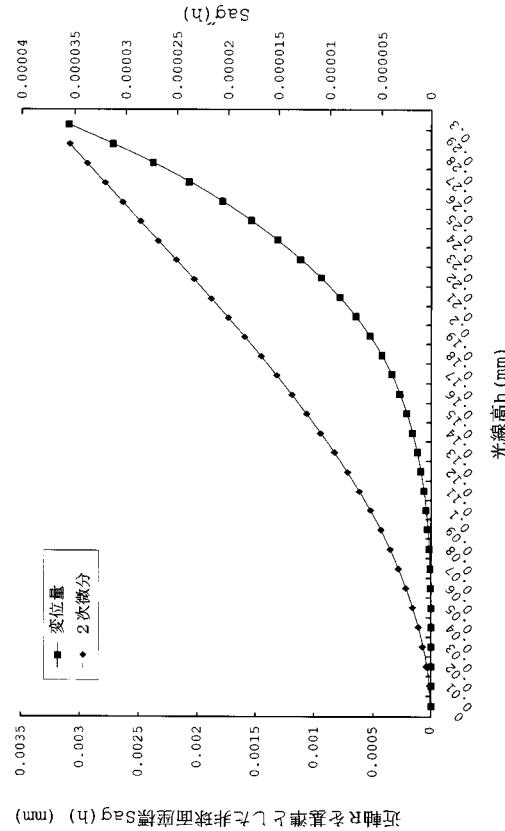
【図3-3】

実施例6の座標と2次微分



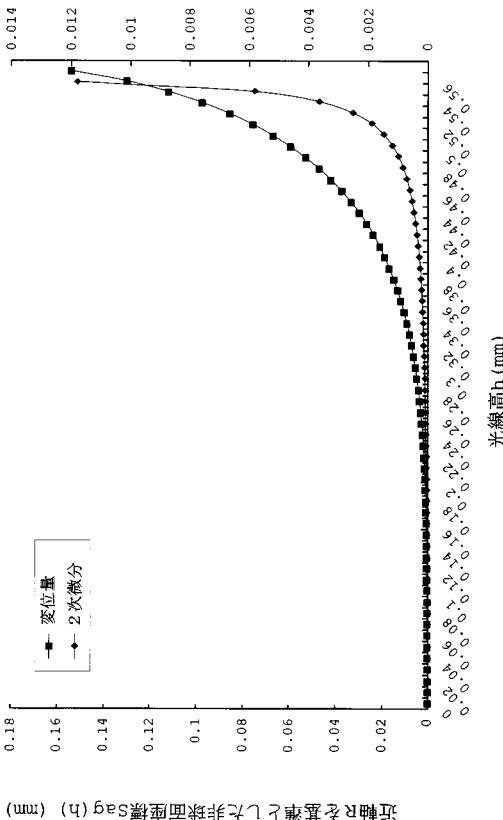
【図3-4】

実施例7の座標と2次微分

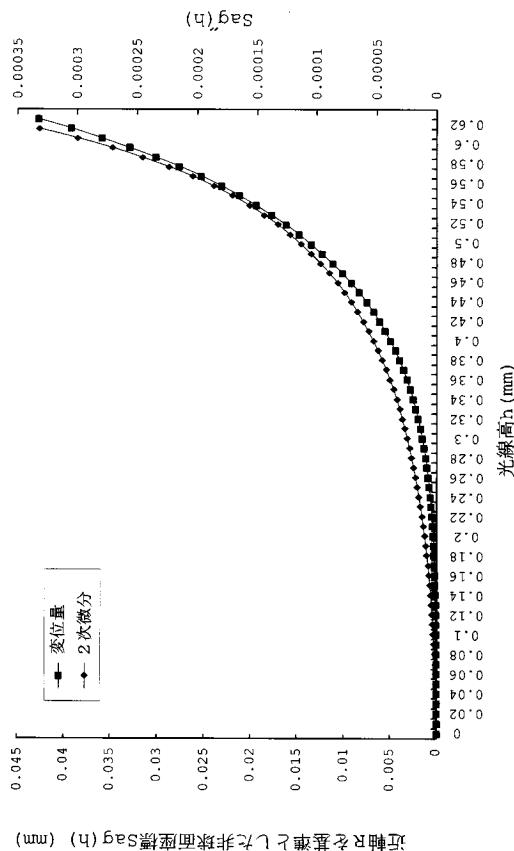


【図3-5】

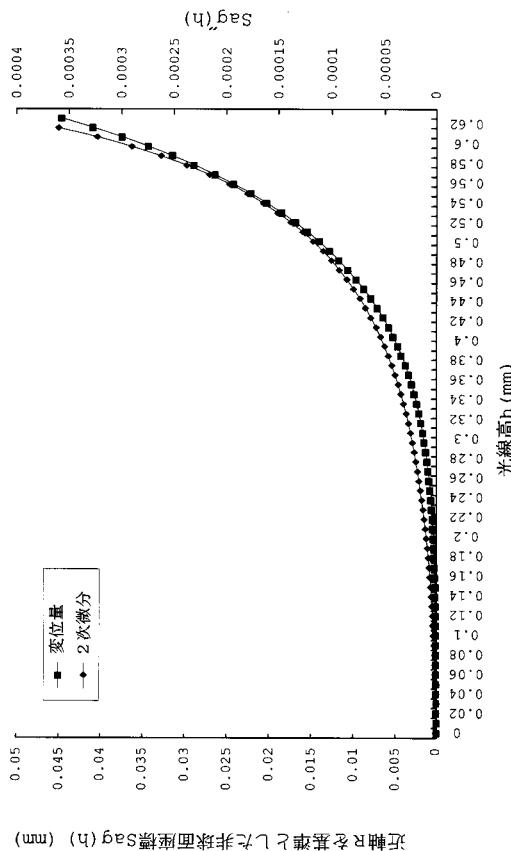
実施例8の座標と2次微分



【図36】



【図37】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 23/26	(2006.01)	
	G 0 2 B 23/24	A
	G 0 2 B 23/26	C

F ターム(参考) 2H087 KA10 LA07 PA01 PA17 PB01 QA01 QA02 QA07 QA13 QA14
RA04 RA05 RA13 RA32
4C038 CC03 CC05
4C061 AA00 AA29 BB01 CC06 DD10 FF40 FF50 JJ06 LL02 NN01
PP11

专利名称(译)	摄像光学系		
公开(公告)号	JP2006304924A	公开(公告)日	2006-11-09
申请号	JP2005129191	申请日	2005-04-27
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパスメディカルシステムズ株式会社		
[标]发明人	金野光次郎 折原達也		
发明人	金野光次郎 折原達也		
IPC分类号	A61B1/00 A61B5/07 G02B13/00 G02B13/18 G02B23/24 G02B23/26		
CPC分类号	H04N5/2251 A61B1/00096 A61B1/00188 A61B1/041 G02B13/06 G02B23/243 H04N5/2253 H04N5/2254 H04N2005/2255		
F1分类号	A61B1/00.300.Y A61B1/00.320.B A61B5/07 G02B13/00 G02B13/18 G02B23/24.A G02B23/26.C A61B1/00.610 A61B1/00.731		
F-TERM分类号	2H040/CA22 2H040/DA01 2H040/GA02 2H087/KA10 2H087/LA07 2H087/PA01 2H087/PA17 2H087/PB01 2H087/QA01 2H087/QA02 2H087/QA07 2H087/QA13 2H087/QA14 2H087/RA04 2H087/RA05 2H087/RA13 2H087/RA32 4C038/CC03 4C038/CC05 4C061/AA00 4C061/AA29 4C061/BB01 4C061/CC06 4C061/DD10 4C061/FF40 4C061/FF50 4C061/JJ06 4C061/LL02 4C061/NN01 4C061/PP11 4C161/AA00 4C161/AA29 4C161/BB01 4C161/CC06 4C161/DD07 4C161/DD10 4C161/FF14 4C161/FF17 4C161/FF40 4C161/FF50 4C161/JJ06 4C161/LL02 4C161/NN01 4C161/PP11		
其他公开文献	JP4516475B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种用于具有基本上球形的观察窗的内窥镜的成像光学系统，其能够降低成本并获得足够好的图像质量。 摄像光学系统具有透明的观察窗，在像侧具有非球面的物镜，以及固体摄像装置，在该观察窗的表面对被摄体B设定以下条件。 见面。 $\Delta S / f$ 大号 大号 大号 是成像光学系统的焦距，并且当IH是从固态成像设备的成像表面上有效成像区域的中心到最远位置的距离时， ΔS 是IH / 2。 矢状像面在光轴方向上的宽度在直到IH的范围内，并且 ΔM 是子午像面在光轴方向上的宽度在从IH / 2到IH的范围内。 [选择图]图4

