

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A) (11)特許出願公開番号

特開2003 - 107355

(P2003 - 107355A)

(43)公開日 平成15年4月9日(2003.4.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	A 2 H 0 1 1
A 6 1 B 1/00	300	A 6 1 B 1/00	300 Y 2 H 0 4 0
G 0 2 B 1/08		G 0 2 B 1/08	2 H 0 4 2
5/10		5/10	B 2 H 0 4 3
5/18		5/18	2 H 0 4 4

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 35数) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001 - 296879(P2001 - 296879)

(22)出願日 平成13年9月27日(2001.9.27)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(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

パス光学工業株式会社内

(72)発明者 関山 健太郎

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリン

パス光学工業株式会社内

(74)代理人 100065824

弁理士 篠原 泰司 (外 1 名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 撮像光学系

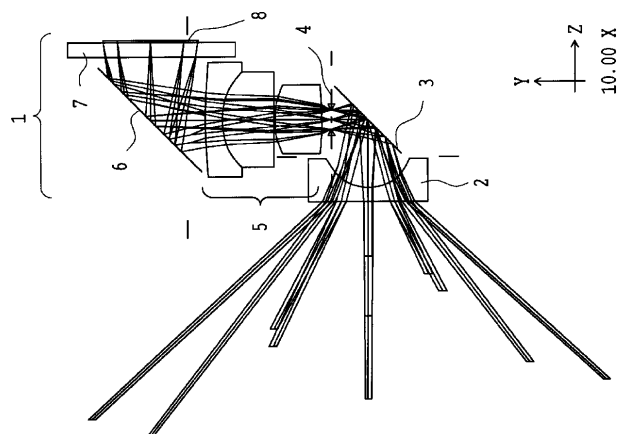
(57)【要約】

【課題】内視鏡、監視用カメラ、小型のデジタルカメラ等、小型の光学系において、外径が細く小型であるにもかかわらず、ピント合わせ可能な撮像光学系を提供する。

【解決手段】物体側から順に、第一レンズである凹レンズ2と、可変形状ミラー3と、明るさ絞り4と、複数のレンズからなる凸レンズ群5と、可変ミラー6を備えている。次の条件式を満たす可変ミラー3, 6を用いて、フォーカスを行うようにしている。

$$60^{\circ} < 2 < 175^{\circ}$$

ただし、は光学系に入射する光線の水平半画角である。可変ミラー3, 6は、ある状態で自由曲面形状になる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可変ミラーを用いて、次の条件式を満たすフォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

$$50^\circ < 2 < 175^\circ$$

ただし、は光学系に入射する光線の水平半画角である。

【請求項 2】 複数枚の可変ミラーを用いて、フォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【請求項 3】 フォーカスを行う際に、少なくとも一つ 10 の可変ミラーが、ある状態で自由曲面形状になるようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、可変焦点レンズ、可変焦点回折光学素子、可変偏角プリズム、可変焦点ミラー等の光学特性可変光学素子、及びこれらの光学特性可変光学素子を含む光学系を備えた、例えば眼鏡、ビデオプロジェクター、デジタルカメラ、テレビカメラ、内視鏡、望遠鏡、カメラのファインダー等の光学装置に用 20 いる撮像光学系に関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】従来のレンズは、ガラスを研磨して製造したレンズを用いており、レンズ自体で焦点距離を変化させることができないため、例えば、カメラのピント合わせあるいはズーム、変倍のためにレンズ群を光軸方向に移動させるために、機械的構造が複雑になっている。そして、レンズ群の一部を移動させるためにモーター等を用いていたため、消費電力が大きい、音がうるさい、応答時間が長く、レン 30ズの移動に時間がかかる等の欠点があった。また、ブレ防止を行なう場合でも、レンズをモータ、ソレノイド等で機械的に移動させるため、消費電力が大きい、機械的構造が複雑でコストアップにつながる、等の欠点があった。

【0003】また、撮像系のひとつに内視鏡があるが、内視鏡は、体内に挿入して使用するため、撮像光学系はより細いことが求められている。このために、ピント合わせを行う機構を内視鏡に含めるのは、非常に困難であり、従来の内視鏡の光学系は、ほとんど固定焦点であっ 40 た。

【0004】本発明は、従来技術のこのような問題点を鑑みてなされたものであり、内視鏡、監視用カメラ、デジタルカメラ等の光学系において、外径が細く小型であるにもかかわらず、ピント合わせ可能な撮像光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、上記光学系*

*以外にも、ロボットの目、撮像機能付き携帯電話、ドラスコープ用カメラ、車載カメラ、などにももちろん利用できる。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明による撮像光学系は、可変ミラーを用いて、次の条件式を満たすフォーカスを行うようにしたことを特徴とする。

$$50^\circ < 2 < 175^\circ$$

ただし、は光学系に入射する光線の水平半画角である。

【0006】また、本発明による撮像光学系は、複数枚の可変ミラーを用いて、フォーカスを行うようにしたことを特徴とする。

【0007】また、本発明による撮像光学系は、フォーカスを行う際に、少なくとも一つの可変ミラーが、ある状態で自由曲面形状になるようにしたことを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の撮像光学系に用いる可変ミラーは、例えば、形状可変ミラーのように、表面形状を凸面、平面、凹面に自由に变化させることで、光学パワー、又は収差等光学特性を自由に变化させることができるミラーである。これによって、撮像系の物体距離が変化した場合でも、可変ミラーの形状を変化させるだけでピントを合わせることができる。このとき、可変ミラーの形状は、回転対称な曲面でもよいが、収差補正をより良く行うためには、回転非対称な自由曲面であることが望ましい。

【0009】本発明で使用する自由曲面とは以下の式(1)で定義されるものである。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

$$Z = cr^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^N C_j X^m Y^n$$

...(1)

ここで、式(1)の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0010】球面項中、

c：頂点の曲率

k：コーニック定数（円錐定数）

$$r = (X^2 + Y^2)$$

N：2以上の自然数

である。

【0011】自由曲面項は、

N

3

$$\sum_{j=2}^N C_j X^m Y^n$$

j=2

$$\begin{aligned} &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 + C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 + C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ &\dots \end{aligned}$$

ただし、 C_j (j は2以上の整数) は係数である。

【0012】上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$ 面、 $Y-Z$ 面共に対称面を持つことはないが、 X の奇数次項を全て0にすることによって、 $Y-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。また、 Y の奇数次項を全て0にすることによって、 $X-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。

【0013】また、上記の回転非対称な曲面形状の面で*

$$\begin{aligned} x &= R \cos(A) \\ y &= R \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) \\ &+ D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ &+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ &+ D_{16} R^4 \sin(4A) \\ &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\ &+ D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\ &+ D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\ &+ D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \end{aligned}$$

ただし、 D_m (m は2以上の整数) は係数である。 D_{23} ($6R^6$ の項を全て0とすることで、 $y-z$ 面と平行な対称面を持つ、 X 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_{30} 個の自由曲面としている。

$D_4, D_5, D_6, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}, D_{16}, D_{17}, D_{18}, D_{19}, D_{20}, D_{21}, D_{22} \dots$ を利用する。 D_{26} ($20R^6 - 30R^4$) の項を全て0とすることで、 $X-Z$ 面と平行な対称面を持つ、 Y 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_{30} 個の自由曲面としている。

【0015】上記定義式は、回転非対称な曲面形状の面 $Z = D_2 + D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) + D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) + D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) + D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) + D_{16} R^4 \sin(4A) + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A)$

に対して同じ効果が得られることは言うまでもない。数学的に同値ならば他の定義で曲面形状を表してもよい。

【0016】本発明においては、(1)式の中の x の奇数時

*ある自由曲面の他の定義式として、Zernike多項式により定義できる。この面の形状は次の式(2)により定義する。その定義式(2)の Z 軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、 $X-Y$ 面に対する Z の軸の高さの極座標で定義され、 A は $X-Y$ 面内の Z 軸からの距離、 R は Z 軸回りの方位角で、 Z 軸から測った回転角で表せられる。

【0014】

【0018】光学系の凹レンズ群の焦点距離を f_n 、レンズ全系の焦点距離を f_{tot} (としたとき、次の条件式(3))

$$0.051 < |f_n| / f_{tot} < 100 \quad \dots(63)$$

を満たすようにするのが望ましい。

【0019】条件式(3)を満たすように、凹レンズ群の焦点距離を選ぶと、撮像光学系の画角を広角にすることができる。 $|f_n| / f_{tot}$ が、下限を下回ると、ベッツパール和がマイナスに行き過ぎ、像面湾曲収差の補正が、著しく困難になる。一方、 $|f_n| / f_{tot}$ *

$$0.1 < |f_n| / f_{tot} < 10 \quad \dots(4)$$

を満たすようにすれば、凸レンズ群と合わせて収差の補正が容易になるので、より好ましい。

$$0.1 < |f_n| / f_{tot} < 3 \quad \dots(5)$$

を満たすようにするのがより一層好ましい。

【0022】また、凸レンズ群の焦点距離を f_p とし *

$$0.01 < |f_p| / f_{tot} < 100 \quad \dots(6)$$

を満たすようにするのが望ましい。

【0023】条件式(6)を満たすように、凸レンズ群の焦点距離を選ぶと、可変ミラーを配置するスペースを保 *

$$0.1 < |f_p| / f_{tot} < 10 \quad \dots(7)$$

を満たすようにすれば、収差の補正が容易になるので、より好ましい。

$$0.1 < |f_p| / f_{tot} < 3 \quad \dots(8)$$

を満たすようにするのが、より一層好ましい。

【0026】また、光学系の最終レンズ面から撮像面ま *

$$0.01 < S_k / f_{tot} < 100 \quad \dots(9)$$

を満たすようにするのが望ましい。ここで、光学系の最終レンズ面とは、赤外カットフィルタやローパスフィルタを除いた、光学系の凸レンズ群の最終レンズ面のことを指す。

【0027】条件式(9)を満たすように、光学系の最終 *

$$0.1 < S_k / f_{tot} < 10 \quad \dots(10)$$

を満たすようにするのが、より好ましい。

$$0.5 < S_k / f_{tot} < 8 \quad \dots(11)$$

を満たすようにするのが、より一層好ましい。

【0030】また、光学系に入射する光線の水平半画角

$$50^\circ < 2\theta < 175^\circ \quad \dots(12)$$

を満たすようにするのが望ましい。

【0031】条件式(12)を満たすように入射光線の画角を取ると、広い画角が必要な光学製品に適した光学系に

$$75^\circ < 2\theta < 170^\circ \quad \dots(13)$$

を満たすようにするのが、収差補正の点でより好ましい。

$$85^\circ < 2\theta < 160^\circ \quad \dots(14)$$

を満たすようにするのが、収差補正の点でより一層好ましい。

【0034】また、可変ミラーの形状を表した上記式(1)の自由曲面の係数 C_4 と C_6 とが異なる符号になる状態を含んでいても良い。そのように係数 C_4 と C_6 をとると、子午方向の収差と球欠方向の収差をそれぞれ適正に抑え、且つ、ミラー面の変形量を小さくすることができる。

* f_{tot} が上限を上回ると、最終レンズ面から固体撮像素子までの距離を大きく取ることができなくなるので、可変ミラーを光学系に配置することが困難になるか、あるいは、撮像光学系の画角を広角にすることが困難になる。

【0020】さらに、次の条件式(4)

*【0021】さらにまた、次の条件式(5)

*たとき、次の条件式(6)

*ち、且つ、レンズ系の全長を短くすることができる。

【0024】さらに、次の条件式(7)

*【0025】さらにまた、次の条件式(8)

*での距離を S_k 、レンズ全系の焦点距離を f_{tot} としたとき、次の条件式(9)

*レンズ面から撮像面までの距離を選ぶと、レンズ系の全長を極端に長くすることなく、収差を適正な範囲で補正することができる。

【0028】さらに、条件式(10)

【0029】さらにまた、条件式(11)

を としたときに、次の条件式(12)

なる。

【0032】さらに、次の条件式(13)

【0033】さらにまた、次の条件式(14)

【0035】また、自由曲面の係数 C_4 が、物体距離が異なる2状態において異なる符号になる状態を含むようにしても良い。そのように係数 C_4 をとれば、異なる2状態において係数 C_4 が同符号の場合よりも、物体距離が変化したときのミラー面の変形量を小さく抑えることができる。

【0036】同様の理由で、自由曲面の係数 C_6 が、物体距離が異なる2状態において異なる符号になる状態を

含むようにしても良い。

【0037】また、光学系の中のいずれかの可変ミラーにおいて、物体距離が近点では可変ミラーの収束作用が強くなり、物体距離が遠点では、可変ミラーの収束作用*

$$0.01 < C_{10} / C_8 < 100 \quad \dots(1)$$

を満たすようにするのが望ましい。条件式(15)を満たすと、ミラーの変形量をあまり大きくすることなく、光学系の像位置による像面の違いを適正な範囲内で抑えるこ*

$$0.1 < C_{10} / C_8 < 10 \quad \dots(1)$$

を満たすようにすれば、他の収差とのバランスを取るこ
とができるので、より好ましい。

【0040】また、可変ミラーの形状を表した上記式 *

$$0.01 < |C_{13} / C_{11}| < 100 \quad \dots(1)$$

を満たすようにするのが望ましい。条件式(17)を満たすようにすれば、ミラーの変形量をあまり大きくすることなく、光学系の子午面外の物体位置に対する結像の収差*

$$0.1 < |C_{13} / C_{11}| < 10 \quad \dots(1)$$

を満たすようにすれば、ミラー面の変形を無理なく行うことができるので、より好ましい。

【0042】また、可変ミラーの形状を表した上記式 20

$$0.01 < |C_{15} / C_{11}| < 100 \quad \dots(1)$$

を満たすようにするのが望ましい。条件式(19)を満たすようにすれば、ミラーの変形量をあまり大きくすることなく、視野周辺の像面湾曲の高次の収差補正を行うこと

$$0.1 < |C_{15} / C_{11}| < 10 \quad \dots(2)$$

を満たすようにすれば、視野中心部との収差のバランスが取れるので、より好ましい。

【0044】また、少なくともいずれかの可変ミラーに

$$0 < md / f_{tot} < 1 \quad \dots(21)$$

ただし、mdは可変ミラーのミラー面の最大変形量、f_{tot}はレンズ全系の焦点距離である。条件式(21)を満たすように、可変ミラーのミラー面の最大変形量を選

$$0.00003 < md / f_{tot} < 0.1 \quad \dots(21B)$$

を満たすようにすれば可変ミラーの制御が容易になり、良い。また、少なくとも一つの状態において、係数C₈、C₁₀又はC₁₇のいずれか1つ以上が0でないようにすれば、可変ミラーの反射面の形状がy方向について非対称になり、yz平面内における物点の位置によって変わる収差を補正することができてよい。

【0045】以下に、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

第1実施例

図1は本発明の第1実施例にかかる撮像光学系の構成を示す光軸に沿う断面図である。第1実施例の撮像光学系1は、物体側から順に、第一レンズである凹レンズ2と、可変形状ミラー3と、明るさ絞り4と、複数のレンズからなる凸レンズ群5と、可変ミラー6と、赤外カットフィルタ(又はローパスフィルタ)7と、固体撮像素子とで、2枚の形状可変ミラーを用いた側視タイプの内視鏡撮像系として構成されている。なお、図1中、8は

*が弱くなることが望ましい。

【0038】また、可変ミラーの形状を表した上記式(1)の自由曲面の係数C₈とC₁₀とが、少なくともある状態で次の条件式(15)

$$\dots(1)$$

*とができる。

【0039】さらに、少なくともある状態で次の条件式(16)

$$\dots(1)$$

*(1)の自由曲面の係数C₁₁とC₁₃とが、少なくともある状態で次の条件式(17)

$$\dots(1)$$

*を適正な範囲内で抑えることができる。

【0041】さらに、少なくともある状態で次の条件式(18)

$$\dots(1)$$

(1)の自由曲面の係数C₁₁とC₁₅とが、少なくともある状態で次の条件式(19)

$$\dots(1)$$

ができる。

【0043】さらに、少なくともある状態で次の条件式(20)

$$\dots(2)$$

ついて、次の条件式(21)を満たすようにするのが好ましい。

$$\dots(21)$$

ぶと、ミラーの変形量をあまり大きくすることなく、光学系の収差を適正な範囲で補正することができるので望ましい。また条件式(21)のかわりに条件式(21B)

$$\dots(21B)$$

固体撮像素子の撮像面である。なお、本願の実施例では、撮像面の形は円形を想定しているが、長方形でもよい。あるいは正方形、8角形等の多角形でもよい。

【0046】第1実施例の撮像光学系1では、内視鏡撮像系対物レンズの第一レンズである凹レンズ2を通った物体からの光線は、可変ミラー3で反射され、明るさ絞り4を通過する。その後、凸レンズ群5を通過し、可変ミラー6で再び反射され、赤外カットフィルタ(又はローパスフィルタ)7を通過して、固体撮像素子の撮像面8に到達する。なお、第1実施例の撮像光学系1では、焦点距離が2.073mm、Fナンバーが8.294、像高が対角2.622mm、水平画角が96.1°となっている。また、第1実施例の撮像光学系1は、可変ミラー3、6を変化させることによって、物点距離を遠点20mm(ポジション1)から、標準的距離16mm(ポジション2)を経て、近点12.5mm(ポジション3)まで焦点合わせをすることが可能な光学系となっている。

【0047】そして、第1実施例の撮像光学系1では、光学系の中に可変ミラーを2枚用いたので、可変ミラー1枚だけでピントを合わせる構成に比べて、ミラーの変形量を少なくすることができるというメリットがある。

【0048】なお、図1に示す撮像光学系1は、物体からの光線の光軸と、固体撮像素子に入射する光線の光軸がほぼ平行（±5度のズレの範囲内）となるように構成されている。ただし、図2に示すように、それぞれの光軸が交差、またはねじれの位置にあるように構成しても、もちろんよい。また、凹レンズ2は、複数のレンズ10からなる凹レンズ群であってもよい。また、撮像レンズ系1は、レトロフォーカス系を成している。このため、可変ミラー6を入れるスペースを確保することができ、また、画角が大きく、内視鏡光学系に適している。

【0049】次に第1実施例の撮像光学系の数値データを示す。数値データ中、“DM”は変形した可変ミラーのことを指す。また、面形状に関して、“WE”、“ST”、“TE”はそれぞれ近点、標準的距離、遠点を示す。また、“So”は物点距離を示す。

【0050】また、偏心面については、光学系の基準面の中心からその面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記(1)式のZ軸）を中心とする傾き角（それぞれ、 α 、 β 、 γ （°））とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを意味する。偏心の順序は、X、Y、Z方向の偏心が行われた後、 α 、 β 、 γ の順で*

数値データ1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面		So			
1		0.3937		1.5163	
3	64.14				
2	1.3153	1.8828			
3	DM[1]	1.0000	偏心[1]		
4（絞り）		0.2920			
5	13.6792	1.2723		1.	
88300	40.76				
6	-2.2509	0.0304			
7		1.4092		1.5163	
3	64.14				
8	-1.8589	0.4670		1.	
84666	23.78				
9	-14.9921	1.5000			
10		1.0000			
【0056】	11	DM[2]	偏心[2]		
	12 So（物点距離）	0.4000		1.522	
87E：52088					
STB：16mm		0.0200			
W像面	12.5mm				

*座標系を回転させる。

【0051】また、偏心には、ローカル座標系の偏心と定義座標系の偏心の2つがある。ローカル座標系とは、入力された面番号の面の座標系を指し、定義座標系とは、入力された面番号を除く、それ以降の面番号の面の座標系を指す。例えば、ミラーの場合、反射面の座標がローカル座標で定義され、それ以降の面の座標が定義座標系で定義される。反射面と次の面との面間隔は、定義座標系のZ軸に沿った方向になる。

【0052】また、反射面の傾きだけを示す場合も、偏心量としてその面の中心軸の傾き角が与えられている。

【0053】また、データの記載されていない自由曲面、非球面等に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。なお、上記数値データに関する説明は、本発明の各実施例の数値データに共通である。

【0054】また、第1実施例の撮像光学系の遠点、標準的距離、近点ごとの各波長域における横収差を表す収差図を図3～5にそれぞれ示す。図3～5中、(a)はX方向画角がゼロ、Y方向画角がゼロを通る主光線のY方向の横収差、(b)はX方向画角がゼロ、Y正方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差、(c)はX方向画角がゼロ、Y負方向最大画角を通る主光線のY方向の横収差を示している。なお、上記収差図の説明は、本発明の各実施例の収差図に共通である。

【0055】

DM[1]

TE : (平面)

$$ST : C_4 = -3.9188 \times 10^{-4} \quad C_6 = -6.4980 \times 10^{-5}$$

$$C_8 = -1.8020 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} = -7.8153 \times 10^{-5} \quad C_{11} = 8.8017 \times 10^{-5}$$

$$C_{13} = 4.8960 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} = 3.6086 \times 10^{-5} \quad C_{17} = -2.7871 \times 10^{-5}$$

$$C_{19} = 1.6046 \times 10^{-4}$$

$$C_{21} = 1.4923 \times 10^{-5}$$

$$WE : C_4 = -1.0670 \times 10^{-3} \quad C_6 = 1.1925 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = -4.7956 \times 10^{-4}$$

$$DM[2] : C_{10} = -6.0019 \times 10^{-5} \quad C_{11} = 7.2051 \times 10^{-5}$$

$$TE : C_{13} = 5.1 \times 10^{-4}$$

$$ST : C_{45} = -7.5997 \times 10^{-5} \quad C_{67} = 4.8904 \times 10^{-4}$$

$$C_{819} = 6.5906 \times 10^{-4}$$

$$C_{20} = 3.0090 \times 10^{-6} \quad C_{11} = -2.8015 \times 10^{-5}$$

$$C_{13} = 8.2000 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} = 7.0791 \times 10^{-5} \quad C_{17} = -7.4937 \times 10^{-5}$$

$$C_{19} = -9.5272 \times 10^{-5}$$

$$C_{21} = -6.0029 \times 10^{-6}$$

$$WE : C_4 = -1.3082 \times 10^{-3} \quad C_6 = -4.8475 \times 10^{-5}$$

$$C_8 = 5.5170 \times 10^{-4}$$

$$偏心 [1] : C_{10} = 4.4972 \times 10^{-4} \quad C_{11} = 1.4950 \times 10^{-5}$$

$$ローカル座標系 : C_{13} = 8.2 \times 10^{-4}$$

$$X = 0.00 \quad Y = 1.8043 \times 10^{-4} \quad Z = 0.00935 \times 10^{-5}$$

$$C_{19} = 45.005086 \times 10^{-5} \quad = 0.00$$

$$定義座標系 : C_{21} = -1.1000 \times 10^{-5}$$

$$X = 0.00 \quad Y = 0.00 \quad Z = 0.00$$

$$= -90.00 \quad = 0.00 \quad = 0.00$$

偏心 [2]

ローカル座標系

$$X = 0.00 \quad Y = 0.00 \quad Z = 0.00$$

$$= -45.00 \quad = 0.00 \quad = 0.00$$

定義座標系

$$X = 0.00 \quad Y = 0.00 \quad Z = 0.00$$

$$= 90.00 \quad = 0.00 \quad = 0.00$$

【 0 0 5 8 】

【 0 0 5 9 】

【 0 0 6 0 】

条件式のパラメータ

$$f_{tot} \text{ (レンズ全系の焦点距離)} = 2.0728 \text{ mm}$$

$$f_n \text{ (凹レンズ群の焦点距離)} = -2.5474 \text{ mm}$$

$$f_p \text{ (凸レンズ群の焦点距離)} = 2.7025 \text{ mm}$$

$$|f_n| / f_{tot} = 1.229$$

$$f_p / f_{tot} = 1.3038$$

$$IH \text{ (像高)} = 1.311 \text{ mm}$$

$$2 \text{ (画角)} = 96.1^\circ$$

$$Sk \text{ (最終レンズ面から撮像面までの距離)} = 3.621 \text{ mm}$$

$$Sk / f_{tot} = 1.74691$$

$$md \text{ (可変ミラーの最大変化量)} \quad DM[1] : 0.18 \mu m \quad DM[2]$$

$$: 0.68 \mu m$$

$$C_{10} / C_8 : \quad DM[1] : 0.722 \quad DM[2] : 0.722$$

$$|C_{13} / C_{11}| : \quad DM[1] : 1.352 \quad DM[2] : 1.353$$

$$\left| \frac{C_{15}}{C_{11}} \right| : 2] : 0.0592$$

$$DM[1] : 0.058 \quad DM[$$

13

【0061】第2実施例 / f_t o t :

DM[1] : 1.68 × 焦点距離が1.643mm、Fナンバーが15.547、

図6は本発明の第2実施例における撮像光学系の構成を示す光軸に沿う断面図である。第2実施例の撮像光学系11は、物体側から順に、第一レンズである凹レンズ12と、複数のレンズからなる凸レンズ群13と、赤外カットフィルタ15と、可変ミラー16と、ローパスフィルタ17と、固体撮像素子とで、1枚の可変ミラーを用いた内視鏡撮像系として構成されている。凸レンズ群13は、複数のレンズの中に明るさ絞り14を備えている。なお、図6中、18は固体撮像素子の撮像面である。

像高が対角2.392mm、水平画角が131.44°となっている。また、第2実施例の撮像光学系11は、可変ミラー16を変化させることによって、物点距離を遠点12mm（ポジション1）から、標準的距離10mm（ポジション2）を経て、近点8mm（ポジション3）まで焦点合わせをすることが可能な光学系となっている。

【0062】第2実施例の撮像光学系11では、内視鏡撮像系対物レンズの第一凹レンズである凹レンズ12を通った物体からの光線は、凸レンズ群13に入射する。その後、光線は凸レンズ群13の中にある明るさ絞り14を経て、凸レンズ群13を通過し、赤外カットフィルタ15を通過して、可変ミラー16で反射される。その後、ローパスフィルタ17を通過して、固体撮像素子の撮像面18に到達する。なお、第2実施例の撮像光学系*

【0063】なお、図6に示す撮像光学系11は、物体からの光線の光軸と、固体撮像素子に入射する光線の光軸がほぼ垂直となるように構成されている。また、撮像光学系11は、レトロフォーカス系を成している。このため、可変ミラー16を入れるスペースを確保することができ、また、画角が大きく、内視鏡光学系に適している。

【0064】次に第2実施例の撮像光学系の数値データを示す。また、第2実施例の撮像光学系の遠点、標準的距離、近点ごとの各波長域における横収差を表す収差図を図7～9にそれぞれ示す。

【0065】

数値データ2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アップ数
物体面		S o			
1		0.4600		1.883	
00	40.78				
2	0.6420	0.7500			
3	-5.6794	1.5000		1.	
77250	49.60				
4	-1.3686	0.1000			
5 (絞り)		0			
6		0.4000		1.522	
87	59.89				
7		0.6100			
8		0.6200		1.514	
00	75.00				
9		0.1600			
10	16.2257	1.3000		1	
.69680	55.53				
11	-1.5000	0.2800		1	
.84666	23.78				
【0066】	12	-4.8481	0.1000		
	13 S o (物点距離)	0.4000		1.522	
87 E : 59200					
S 14 :	10mm	0.8400			
W 15 :	8mm	DM[1]	2.7265	偏心[1]	
【0067】	16	0.5000		1.522	
87 D 59[89					
T 17 :	(平面)	0.3170			
	像面				

$$\begin{aligned}
ST: & C_4 = -1.2381 \times 10^{-3} \quad C_6 = -2.0348 \times 10^{-5} \\
& C_8 = 3.0988 \times 10^{-4} \\
& C_{10} = 1.1004 \times 10^{-4} \quad C_{11} = 1.7972 \times 10^{-3} \\
& C_{13} = 7.8328 \times 10^{-4} \\
& C_{15} = 1.4013 \times 10^{-4} \quad C_{17} = -1.8034 \times 10^{-4} \\
& C_{19} = -1.7992 \times 10^{-4} \\
& C_{21} = -5.9821 \times 10^{-5} \\
WE: & C_4 = 7.7065 \times 10^{-4} \quad C_6 = 3.1842 \times 10^{-3} \\
& C_8 = 9.3999 \times 10^{-4} \\
& \text{偏心} C_{10} = 3.1041 \times 10^{-4} \quad C_{11} = 2.1970 \times 10^{-3} \\
& \text{ローカル座標系} C_{13} = 4.0000 \times 10^{-4} \\
& X = 0.00 \quad Y = 9.7148 \times 10^{-5} \quad Z = -0.6064 \times 10^{-1} \\
& C_{19} = 4.5108013 \times 10^{-4} \quad 0.00 = 0.00 \\
& \text{定義座標系} C_{21} = -4.4861 \times 10^{-5} \\
& X = 0.00 \quad Y = 0.00 \quad Z = 0.00 \\
& = 90.00 \quad = 0.00 \quad = 0.00
\end{aligned}$$

【0068】

【0069】

条件式のパラメータ

$$\begin{aligned}
f_{tot} (\text{レンズ全系の焦点距離}) &= 1.6433\text{mm} \\
f_n (\text{凹レンズ群の焦点距離}) &= -0.7271\text{mm} \\
f_p (\text{凸レンズ群の焦点距離}) &= 2.0308\text{mm} \\
|f_n| / f_{tot} &= 0.4425 \\
f_p / f_{tot} &= 1.2358 \\
IH (\text{像高}) &= 1.196\text{mm} \\
2 (\text{画角}) &= 131.44^\circ \\
Sk (\text{最終レンズ面から撮像面までの距離}) &= 4.8835\text{mm} \\
Sk / f_{tot} &= 2.97176 \\
md (\text{可変ミラーの最大変化量}) &: 10.4 \mu\text{m} \\
C_{10} / C_8 &: 0.33 \\
|C_{13} / C_{11}| &: 0.402 \\
|C_{15} / C_{11}| &: 0.044 \\
md / f_{tot} &: 6.33 \times 10^{-3} \quad 15
\end{aligned}$$

【0070】第3実施例

図10は本発明による撮像光学系の第3実施例を示す光軸に沿う断面図である。第3実施例の撮像光学系21は、第一レンズを含む凹レンズ群22と、可変ミラー23と、明るさ絞り24と、可変ミラー25と、複数のレンズからなる凸レンズ群26と、赤外カットフィルタ27と、ローパスフィルタ28と、固体撮像素子とで、2枚の可変ミラーを用いた内視鏡撮像系として構成されている。なお、図10中、29は固体撮像素子の撮像面である。

【0071】第3実施例の撮像光学系21では、内視鏡撮像系対物レンズの凹レンズ群22を通った物体からの光線は、可変ミラー23で反射され、明るさ絞り24を通過する。その後、2つ目の可変ミラー24で反射され、凸レンズ群26を通過し、さらに、赤外カットフィルタ27、ローパスフィルタ28を通過して、固体撮像素子の撮像面29に到達する。なお、第3実施例の撮像光学系21では、焦点距離が1.888mm、Fナンバーが10、

213、像高が対角2.268mm、水平画角が110.96°となっている。また、第3実施例の撮像光学系21では、可変ミラー23、25を変化させることによって、物点距離を遠点12mm（ポジション1）から、標準的距離8mm（ポジション2）を経て、近点2mm（ポジション3）まで焦点合わせをすることが可能な光学系となっている。

【0072】なお、図10に示す撮像光学系21は、物体からの光線の光軸と、固体撮像素子に入射する光線の光軸がほぼ平行（±5度のズレの範囲内）となるように構成されている。また、2枚の可変ミラー23、25は、明るさ絞り24を挟んで、ほぼ平行（±5度のズレの範囲内）に対向配置されている。

【0073】次に第3実施例の撮像光学系の数値データを示す。また、第3実施例の撮像光学系の遠点、標準的距離、近点ごとの各波長域における横収差を表す収差図を図11～13にそれぞれ示す。

【0074】

数値データ3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面		S o			

1		0.4092		1.5163	
---	--	--------	--	--------	--

3	64.14				
---	-------	--	--	--	--

2	0.7817	0.7444			
---	--------	--------	--	--	--

3	8.6070	0.4677		1.8	
---	--------	--------	--	-----	--

8300	40.76				
------	-------	--	--	--	--

4		0.4264			
---	--	--------	--	--	--

5	D M [1]	0.5000	偏心[1]		
---	---------	--------	-------	--	--

6 (絞リ)		0.5500			
--------	--	--------	--	--	--

7	D M [2]	0.7823	偏心[2]		
---	---------	--------	-------	--	--

8		0.5087		1.8830	
---	--	--------	--	--------	--

0	40.76				
---	-------	--	--	--	--

9	-5.1200	0.1457			
---	---------	--------	--	--	--

1					
---	--	--	--	--	--

10	9.2630	1.3375		1.	
----	--------	--------	--	----	--

88300	140.76				
-------	--------	--	--	--	--

【0075】

11	-9.2841	1.1182			
----	---------	--------	--	--	--

12 S o (物点距離)		0.4766		1.516	
---------------	--	--------	--	-------	--

33 E : 642mm

S 13 : 8mm

87 E : 52mm

		0.5693		1.522	
--	--	--------	--	-------	--

【0076】

14		3.9128			
----	--	--------	--	--	--

像面 M [1]

T E : $C_4 = 6.0003 \times 10^{-4}$ $C_6 = 6.0081 \times 10^{-4}$ $C_8 = 1.2005 \times 10^{-3}$ $C_{10} = 2.0054 \times 10^{-4}$ $C_{11} = -3.2172 \times 10^{-4}$ $C_{13} = -8.0318 \times 10^{-4}$ $C_{15} = 6.9821 \times 10^{-4}$ $C_{17} = 3.0020 \times 10^{-4}$ $C_{19} = 2.0016 \times 10^{-4}$ $C_{21} = -1.9996 \times 10^{-4}$

S T : (平面)

W E : $C_4 = -6.2994 \times 10^{-3}$ $C_6 = -3.0007 \times 10^{-3}$ $C_8 = -1.8006 \times 10^{-3}$ $D M [2]_0 = -1.2997 \times 10^{-3}$ $C_{11} = -1.7007 \times 10^{-3}$ T E $C_{13} = 2.2997 \times 10^{-4}$ $C_6 = 6.0055 \times 10^{-4}$ $C_8 = 1.9969 \times 10^{-5}$ $C_{17} = -1.4973 \times 10^{-5}$ $C_{19} = 3.9821 \times 10^{-4}$ $C_{11} = -3.1969 \times 10^{-4}$ $C_{13} = 7.9969 \times 10^{-5}$ $C_{15} = 7.0035 \times 10^{-4}$ $C_{17} = 3.0006 \times 10^{-4}$ $C_{19} = 2.0000 \times 10^{-4}$ $C_{21} = -1.9999 \times 10^{-4}$

S T : (平面)

W E : $C_4 = -6.3027 \times 10^{-3}$ $C_6 = -3.0008 \times 10^{-3}$ $C_8 = -1.7996 \times 10^{-3}$ 偏心 $C_{10} = -1.3001 \times 10^{-3}$ $C_{11} = -1.7003 \times 10^{-3}$ 口一力座標 $C_{13} = 3.002 \times 10^{-3}$ $X = 0.0001 \times 10^{-4}$ $C_{17} = -0.0093 \times 10^{-4}$ $C_{19} = 45.000151 \times 10^{-4}$ $= 0.00$ $C_{21} = -1.0020 \times 10^{-4}$

【0078】

X = 0.00 Y = 0.00 Z = 0.00
= -90.00 = 0.00 = 0.00

X =	0.00	Y =	0.00	Z =	0.00
=	-45.00	=	0.00	=	0.00

X = 0.00	Y = 0.00	Z = 0.00
= 901.70	= 0.00	= 0.00

【００８３】図１４は本発明の撮像光学系に用いる可変ミラーとして光学特性可変ミラーを用いたデジタルカメラのケプラー式ファインダーの概略構成図である。本実 40

ばよい。以下、これらの面を総称して拡張曲面という。

【0086】また、薄膜409aは、例えば、P.Rai-choudhury編、Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication, Volume 2: Micromachining and Microfabrication, P495, Fig.8.58, SPIE PRESS刊やOptics Communication, 140巻(1997年)P187~190に記載されているメンブレインミラーのように、複数の電極409bとの間に電圧が印加されると、静電気力により薄膜409aが変形してその面形状が変化ようになっており、これにより、観察者の視度に合わせたピント調整ができるだけでなく、さらに、レンズ901, 902及び/又はプリズム404、二等辺直角プリズム405、ミラー406の温度や湿度変化による変形や屈折率の変化、あるいは、レンズ枠の伸縮や変形及び光学素子、枠等の部品の組立誤差による結像性能の低下が抑制され、常に適正にピント調整並びにピント調整で生じた収差の補正が行われ得る。なお、電極409bの形は、例えば図16、17に示すように、薄膜409aの変形のさせ方に応じて選べばよい。

【0087】本実施例によれば、物体からの光は、対物レンズ902及びプリズム404の各入射面と射出面で屈折され、可変形状鏡409で反射され、プリズム404を透過して、二等辺直角プリズム405でさらに反射され(図14中、光路中の+印は、紙面の裏側へ向かって光線が進むことを示している。)、ミラー406で反射され、接眼レンズ901を介して眼に入射するようになっている。このように、レンズ901, 902、プリズム404, 405、及び、可変形状鏡409によって、本実施例の光学装置の観察光学系を構成しており、これらの各光学素子の面形状と肉厚を最適化することにより、物体面の収差を最小にすることができるようになっている。

【0088】すなわち、反射面としての薄膜409aの形状は、結像性能が最適になるように演算装置414からの信号により各可変抵抗器411の抵抗値を変化させることにより制御される。すなわち、演算装置414へ、温度センサー415、湿度センサー416及び距離センサー417から周囲温度及び湿度並びに物体までの距離に応じた大きさの信号が入力され、演算装置414は、これらの入力信号に基づき周囲の温度及び湿度条件と物体までの距離による結像性能の低下を補償すべく、薄膜409aの形状が決定されるような電圧を電極409bに印加するように、可変抵抗器411の抵抗値を決定するための信号を出力する。このように、薄膜409aは電極409bに印加される電圧すなわち静電気力で変形させられるため、その形状は状況により非球面を含む様々な形状をとり、印加される電圧の極性を変えれば凸面とすることもできる。なお、距離センサー417はなくてもよく、その場合、固体撮像素子408からの像の信号の高周波成分が略最大になるように、デジタルカ

メラの撮像レンズ403を動かし、その位置から逆に物体距離を算出し、可変形状鏡を変形させて観察者の眼にピントが合うようにすればよい。

【0089】また、薄膜409aをポリイミド等の合成樹脂で製作すれば、低電圧でも大きな変形が可能であるので好都合である。なお、プリズム404と可変形状鏡409を一体的に形成してユニット化することができる。

【0090】また、図示を省略したが、可変形状鏡409の基板上に固体撮像素子408をリソグラフィプロセスにより一体的に形成してもよい。

【0091】また、レンズ901, 902、プリズム404, 405、ミラー406は、プラスチックモールド等で形成することにより任意の所望形状の曲面を容易に形成することができ、製作も簡単である。なお、本実施例の撮像装置では、レンズ901, 902がプリズム404から離れて形成されているが、レンズ901, 902を設けることなく収差を除去することができるようにプリズム404, 405、ミラー406、可変形状鏡409を設計すれば、プリズム404, 405、可変形状鏡409は1つの光学ブロックとなり、組立が容易となる。また、レンズ901, 902、プリズム404, 405、ミラー406の一部あるいは全部をガラスで作製してもよく、このように構成すれば、さらに精度の良い撮像装置が得られる。

【0092】なお、図14の例では、演算装置414、温度センサー415、湿度センサー416、距離センサー417を設け、温湿度変化、物体距離の変化等も可変形状鏡409で補償するようにしたが、そうではなくてもよい。つまり、演算装置414、温度センサー415、湿度センサー416、距離センサー417を省き、観察者の視度変化のみを可変形状鏡409で補正するようにしてもよい。

【0093】図15は本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡409の他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変形状鏡は、薄膜409aと電極409bとの間に圧電素子409cが介装されていて、これらが支持台423上に設けられている。そして、圧電素子409cに加わる電圧を各電極409b毎に変えることにより、圧電素子409cに部分的に異なる伸縮を生じさせて、薄膜409aの形状を変えることができるようになっている。電極409bの形は、図16に示すように、同心分割であってもよいし、図17に示すように、矩形分割であってもよく、その他、適宜の形のものを選択することができる。図15中、424は演算装置414に接続された振れ(ブレ)センサーであって、例えばデジタルカメラの振れを検知し、振れによる像の乱れを補償するように薄膜409aを変形させるべく、演算装置414及び可変抵抗器411を介して電極409bに印加される電圧を変化させる。このとき、温度セ

ンサー415、湿度センサー416及び距離センサー417からの信号も同時に考慮され、ピント合わせ、温湿度補償等が行われる。この場合、薄膜409aには圧電素子409cの変形に伴う応力が加わるので、薄膜409aの厚さはある程度厚めに作られて相応の強度を持たせるようにするのがよい。

【0094】図18は本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡409のさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変形状鏡は、薄膜409aと電極409bの間に介置される圧電素子が逆方向の圧電特性を持つ材料で作られた2枚の圧電素子409c及び409c'で構成されている点で、図15に示された実施例の可変形状鏡とは異なる。すなわち、圧電素子409cと409c'が強誘電性結晶で作られているとすれば、結晶軸の向きが互いに逆になるように配置される。この場合、圧電素子409cと409c'は電圧が印加されると逆方向に伸縮するので、薄膜409aを変形させる力が図15に示した実施例の場合よりも強くなり、結果的にミラー表面の形を大きく変えることができるという利点がある。

【0095】圧電素子409c、409c'に用いる材料としては、例えばチタン酸バリウム、ロッシェル塩、水晶、電気石、リン酸二水素カリウム(KDP)、リン酸二水素アンモニウム(ADP)、ニオブ酸リチウム等の圧電物質、同物質の多結晶体、同物質の結晶、 $PbZrO_3$ と $PbTiO_3$ の固溶体の圧電セラミックス、ニフ化ポリビニール(PVDF)等の有機圧電物質、上記以外の強誘電体等があり、特に有機圧電物質はヤング率が小さく、低電圧でも大きな変形が可能であるので、好ましい。なお、これらの圧電素子を利用する場合、厚さを不均一にすれば、上記実施例において薄膜409aの形状を適切に変形させることも可能である。

【0096】また、圧電素子409c、409c'の材質としては、ポリウレタン、シリコンゴム、アクリルエラストマー、PZT、PLZT、ポリフッ化ビニリデン(PVDF)等の高分子圧電体、シアン化ビニリデン共重合体、ビニリデンフルオライドとトリフルオロエチレンの共重合体等が用いられる。圧電性を有する有機材料や、圧電性を有する合成樹脂、圧電性を有するエラストマー等を用いると可変形状鏡面の大きな変形が実現でき

てよい。【0097】なお、図15、19の圧電素子409cに電歪材料、例えば、アクリルエラストマー、シリコンゴム等を用いる場合には、圧電素子409cを別の基板409c-1と電歪材料409c-2を貼り合わせた構造にしてもよい。

【0098】図19は本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡409のさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変形状鏡は、圧電素子409cが薄膜409aと電極409dとにより挟持され、

薄膜409aと電極409d間に演算装置414により制御される駆動回路425を介して電圧が印加されるようになっており、さらにこれとは別に、支持台423上に設けられた電極409bにも演算装置414により制御される駆動回路425を介して電圧が印加されるように構成されている。したがって、本実施例では、薄膜409aは電極409dとの間に印加される電圧と電極409bに印加される電圧による静電気力とにより二重に変形され得、上記実施例に示した何れのものよりもより多くの変形パターンが可能であり、かつ、応答性も速いという利点がある。

【0099】そして、薄膜409a、電極409d間の電圧の符号を変えれば、可変形状鏡を凸面にも凹面にも変形させることができる。その場合、大きな変形を圧電効果で行ない、微細な形状変化を静電気力で行なってもよい。また、凸面の変形には圧電効果を主に用い、凹面の変形には静電気力を主に用いてもよい。なお、電極409dは電極409bのように複数の電極から構成されてもよい。この様子を図19に示した。なお、本願では、圧電効果と電歪効果、電歪をすべてまとめて圧電効果と述べている。従って、電歪材料も圧電材料に含むものとする。

【0100】図20は本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡409のさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変形状鏡は、電磁気力を利用して反射面の形状を変化させ得るようにしたもので、支持台423の内部底面上には永久磁石426が、頂面上には窒化シリコン又はポリイミド等からなる基板409eの周縁部が載置固定されており、基板409eの表面にはアルミニウム等の金属コートで作られた薄膜409aが付設されていて、可変形状鏡409を構成している。基板409eの下面には複数のコイル427が配設されており、これらのコイル427はそれぞれ駆動回路428を介して演算装置414に接続されている。したがって、各センサー415、416、417、424からの信号によって演算装置414において求められる光学系の変化に対応した演算装置414からの出力信号により、各駆動回路428から各コイル427にそれぞれ適当な電流が供給されると、永久磁石426との間に働く電磁気力で各コイル427は反発又は吸着され、基板409e及び薄膜409aを変形させる。

【0101】この場合、各コイル427はそれぞれ異なる量の電流を流すようにすることもできる。また、コイル427は1個でもよいし、永久磁石426を基板409eに付設しコイル427を支持台423の内部底面側に設けるようにしてもよい。また、コイル427はリソグラフィー等の手法で作るとよく、さらに、コイル427には強磁性体よりなる鉄心を入れるようにしてもよい。

【0102】この場合、薄膜コイル427の巻密度を、

図21に示すように、場所によって変化させることにより、基板409e及び薄膜409aに所望の変形を与えるようにすることもできる。また、コイル427は1個でもよいし、また、これらのコイル427には強磁性体よりなる鉄心を挿入してもよい。

【0103】図22は本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡409のさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変形状鏡では、基板409eは鉄等の強磁性体で作られており、反射膜としての薄膜409aはアルミニウム等からなっている。この場合、薄膜コイルを設けなくてもすむから、構造が簡単で、製造コストを低減することができる。また、電源スイッチ413を切換え兼電源開閉用スイッチに置換すれば、コイル427に流れる電流の方向を変えることができ、基板409e及び薄膜409aの形状を自由に変えることができる。図23は本実施例におけるコイル427の配置を示し、図24はコイル427の他の配置例を示しているが、これらの配置は、図20に示した実施例にも適用することができる。なお、図25は、図20に示した実施例において、コイル427の配置を図24に示したようにした場合に適する永久磁石426の配置を示している。すなわち、図25に示すように、永久磁石426を放射状に配置すれば、図20に示した実施例に比べて、微妙な変形を基板409e及び薄膜409aに与えることができる。また、このように電磁気力を用いて基板409e及び薄膜409aを変形させる場合(図20及び図22の実施例)は、静電気力を用いた場合よりも低電圧で駆動できるという利点がある。

【0104】以上いくつかの可変形状鏡の実施例を述べたが、ミラーの形を変形させるのに、図19の例に示すように、2種類以上の力を用いてもよい。つまり静電気力、電磁力、圧電効果、磁歪、流体の圧力、電場、磁場、温度変化、電磁波等のうちから2つ以上を同時に用いて可変形状鏡を変形させてもよい。つまり2つ以上の異なる駆動方法を用いて光学特性可変光学素子を作れば、大きな変形と微細な変形とを同時に実現でき、精度の良い鏡面が実現できる。

【0105】図26は本発明のさらに他の実施例に係る、光学装置に適用可能な可変ミラーとして可変形状鏡409を用いた撮像系、例えば携帯電話のデジタルカメラ、カプセル内視鏡、電子内視鏡、パソコン用デジタルカメラ、PDA用デジタルカメラ等に用いられる撮像系の概略構成図である。本実施例の撮像系は、可変形状鏡409と、レンズ902と、固体撮像素子408と、制御系103とで一つの撮像ユニット104を構成している。本実施例の撮像ユニット104では、レンズ102を通った物体からの光は可変形状鏡409で集光され、固体撮像素子408の上に結像する。可変形状鏡409は、光学特性可変光学素子の一種であり、可変焦点ミラーとも呼ばれている。

【0106】本実施例によれば、物体距離が変わっても可変形状鏡409を変形させることでピント合わせをすることができ、レンズをモータ等で駆動する必要がなく、小型化、軽量化、低消費電力化の点で優れている。また、撮像ユニット104は本発明の撮像系としてすべての実施例で用いることができる。また、可変形状鏡409を複数用いることでズーム、変倍の撮像系、光学系を作ることができる。なお、図26では、制御系103にコイルを用いたトランスの昇圧回路を含む制御系の構成例を示している。特に積層型圧電トランスを用いると、小型化できてよい。昇圧回路は本発明のすべての電気を用いる可変形状鏡、可変焦点レンズに用いることができるが、特に静電気力、圧電効果を用いる場合の可変形状鏡、可変焦点レンズに有用である。

【0107】図27は本発明の可変形状鏡のさらに他の実施例に係る、マイクロポンプ180で流体161を出し入れし、ミラー面を変形させる可変ミラーとして用いる可変形状鏡188の概略構成図である。本実施例によれば、ミラー面を大きく変形させることが可能になるというメリットがある。マイクロポンプ180は、例えば、マイクロマシンの技術で作られた小型のポンプで、電力で動くように構成されている。マイクロマシンの技術で作られたポンプの例としては、熱変形を利用したもの、圧電材料を用いたもの、静電気力を用いたものなどがある。

【0108】図28は本発明の撮像光学系に用いる可変ミラーに適用可能なマイクロポンプの一実施例を示す概略構成図である。本実施例のマイクロポンプ180では、振動板181は静電気力、圧電効果等の電気力により振動する。図28では静電気力により振動する例を示しており、図28中、182、183は電極である。また、点線は変形した時の振動板181を示している。振動板181の振動に伴い、2つの弁184、185が開閉し、流体161を右から左へ送るようになっている。

【0109】本実施例の可変形状鏡188では、反射膜189が流体161の量に応じて凹凸に変形することで、可変形状鏡として機能する。可変形状鏡188は流体161で駆動されている。流体としては、シリコンオイル、空気、水、ゼリー、等の有機物、無機物を用いることができる。

【0110】なお、静電気力、圧電効果を用いた可変形状鏡、可変焦点レンズなどにおいては、駆動用に高電圧が必要になる場合がある。その場合には、例えば図26に示すように、昇圧用のトランス、あるいは圧電トランス等を用いて制御系を構成するとよい。また、反射用の薄膜409aは、変形しない部分にも設けておくと、可変形状鏡の形状を干渉計等で測定する場合に、基準面として使うことができ便利である。

【0111】図29は本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズの原理的構成を示す図である。この可

変焦点レンズ511は、第1,第2の面としてのレンズ面508a,508bを有する第1のレンズ512aと、第3,第4の面としてのレンズ面509a,509bを有する第2のレンズ512bと、これらレンズ間に透明電極513a,513bを介して設けた高分子分散液晶層514とを有し、入射光を第1,第2のレンズ512a,512bを経て収束させるものである。透明電極513a,513bは、スイッチ515を介して交流電源516に接続して、高分子分散液晶層514に交流

$$2nm \quad D \quad / 5$$

とする。すなわち、液晶分子517の大きさは、2nm程度以上であるので、平均の直径Dの下限値は、2nm以上とする。また、Dの上限値は、可変焦点レンズ511の光軸方向における高分子分散液晶層514の厚さtにも依存するが、に比べて大きいと、高分子の屈折率と液晶分子517の屈折率との差により、高分子セル518の境界面で光が散乱して高分子分散液晶層514が不透明になってしまうため、後述するように、好ましく*

$$n_{ox} = n_{oy} = n_o$$

である。ただし、 n_o は常光線の屈折率を示し、 n_{ox} および n_{oy} は、常光線を含む面内での互いに直交する方向の屈折率を示す。

【0114】ここで、図29に示すように、スイッチ515をオフ、すなわち高分子分散液晶層514に電界を印加しない状態では、液晶分子517が様々な方向を向いているので、入射光に対する高分子分散液晶層514の屈折率は高く、屈折力の強いレンズとなる。これに対し、図31に示すように、スイッチ515をオンとして高分子分散液晶層514に交流電界を印加すると、液晶分子517は、屈折率楕円体の長軸方向が可変焦点レン

20 * 【0115】なお、高分子分散液晶層514に印加する電圧は、例えば、図32に示すように、可変抵抗器519により段階的あるいは連続的に変化させることもできる。このようにすれば、印加電圧が高くなるにつれて、液晶分子517は、その楕円長軸が徐々に可変焦点レンズ511の光軸と平行となるように配向するので、屈折力を段階的あるいは連続的に変えることができる。

【0116】ここで、図29に示す状態、すなわち高分子分散液晶層514に電界を印加しない状態での、液晶分子517の平均屈折率 n_{LC}' は、図30に示すように屈折率楕円体の長軸方向の屈折率を n_z とすると、およそ

$$\dots ($$

n_{LC} は、 n_z を異常光線の屈折率 n_e と表して、

$$\dots (25$$

液晶分子517の体積の割合を f とすると、マックスウェル・ガーネットの法則により、

$$\dots (26$$

40 散液晶層514側の面の曲率半径を、それぞれ R_1 および R_2 とすると、可変焦点レンズ511の焦点距離 f_1 は、

$$\dots (27$$

高分子分散液晶層514のみによるレンズの焦点距離が、(27)式で与えられる。

【0118】また、常光線の平均屈折率を、

$$\dots (28$$

514の屈折率 n_B は、

$$\dots (29)$$

$$(n_{ox} + n_{oy}) / 2 = n_o'$$

とすれば、図31に示す状態、すなわち高分子分散液晶層514に電界を印加した状態での、高分子分散液晶層

$$n_B = f f \cdot n_o' + (1 - f f) n_p$$

で与えられる。)

【0117】したがって、図32に示すように、レンズ512aおよび512bの内側の面、すなわち高分子分

$$1/f_1 = (n_A - 1) (1/R_1 - 1/R_2)$$

で与えられる。なお、 R_1 および R_2 は、曲率中心が像点側にあり、正とする。また、レンズ512aおよび512bの外側の面による屈折は除いている。つまり、

で与えられるので、この場合の高分子分散液晶層514*

$$1/f_2 = (n_B - 1)(1/R_1 - 1/R_2) \quad \dots(30)$$

で与えられる。なお、高分子分散液晶層514に、図3

1におけるよりも低い電圧を印加する場合の焦点距離

は、(27)式で与えられる焦点距離 f_1 と、(30)式で与え*

$$|(f_2 - f_1)/f_2| = |(n_B - n_A)/(n_B - 1)| \quad \dots(31)$$

で与えられる。したがって、この変化率を大きくするに*

$$n_B - n_A = f f' (n_o' - n_{LC}') \quad \dots(32)$$

であるから、 $|n_o' - n_{LC}'|$ を大きくすれば、変化

率を大きくすることができる。実用的には、 n_B が、

$$0.01 \quad |n_o' - n_{LC}'| \quad 1.0 \quad \dots(33)$$

とすれば、 $f f' = 0.5$ のとき、高分子分散液晶層51

4による焦点距離を、0.5%以上変えることができる

ので、効果的な可変焦点レンズを得ることができる。な

お、 $|n_o' - n_{LC}'|$ は、液晶物質の制限から、10

を越えることはできない。

【0120】次に、上記(22)式の上限値の根拠について

説明する。「Solar Energy Materials and Solar Cell

s」31巻、Wilson and Eck,1993, Elsevier Science Publ

ishers B.v.発行の第197～214頁、「Transmission va

riation using scattering/transparent switching fil

ms」には、高分子分散液晶の大きさを変化させたとき

の透過率の変化が示されている。そして、かかる文献

の第206頁、図6には、高分子分散液晶の半径を r と

し、 $t = 300 \mu\text{m}$ 、 $f f' = 0.5$ 、 $n_p = 1.45$ 、*

$$D \cdot t \quad \cdot 15 \mu\text{m}$$

であれば、 t は70%～80%以上となり、レンズとし

て十分実用になる。したがって、例えば、 $t = 75 \mu\text{m}$

の場合は、 $D \quad / 5$ で、十分な透過率が得られること

になる。

【0123】また、高分子分散液晶層514の透過率*

$$n_p = (n_o' + n_{LC}') / 2$$

を満足するときである。

【0124】ここで、可変焦点レンズ511は、レンズ

として使用するものであるから、図29の状態でも、図

31の状態でも、透過率はほぼ同じで、かつ高い方が良*

$$n_o' \quad n_p \quad n_{LC}'$$

とすればよい。

【0125】上記(35)式を満足すれば、上記(34)式は、

$$D \cdot t \quad \cdot 60 \mu\text{m}$$

であれば良いことになる。なぜなら、フレネルの反射則

によれば、反射率は屈折率差の2乗に比例するので、高

分子セル518を構成する高分子と液晶分子517との

境界での光の反射、すなわち高分子分散液晶層514の

$$D \cdot t \quad \cdot 15 \mu\text{m} \cdot (1.585 - 1.45)^2 / (n_u - n_p)^2 \quad \dots$$

であればよい。ただ(28) $(n_u - n_p)^2$ は、 $(n_{LC}' -$

$n_p)^2$ と $(n_o' - n_p)^2$ とのうち、大きい方である。

【0127】また、可変焦点レンズ511の焦点距離変

$$0.1 \quad f f' \quad 0.999$$

とする。一方、 $f f'$ は、小さいほど t は向上するので、

*のみによるレンズの焦点距離 f_2 は、

*られる焦点距離 f_2 との間の値となる。

【0119】上記(27)および(30)式から、高分子分散液

晶層514による焦点距離の変化率は、

*は、 $|n_B - n_A|$ を大きくすればよい。ここで、

*1.3～2程度であるから、

* $n_{LC} = 1.585$ 、 $t = 500 \text{ nm}$ とすると、透過率

は、理論値で、 $r = 5 \text{ nm}$ ($D = \quad / 50$ 、 $D \cdot t =$

$\cdot 6 \mu\text{m}$ (ただし、 D および t の単位は nm 、以下も

同じ)のとき 90% となり、 $r = 25 \text{ nm}$ ($D =$

$/ 10$)のとき 50% になることが示されてい

る。

【0121】ここで、例えば、 $t = 150 \mu\text{m}$ の場合を

推定してみると、透過率 t の指数関数で変化すると

仮定して、 $t = 150 \mu\text{m}$ の場合の透過率 t を推定して

みると、 $r = 25 \text{ nm}$ ($D = \quad / 10$ 、 $D \cdot t = \quad \cdot 1$

$5 \mu\text{m}$)のとき 71% となる。また、 $t = 75 \mu\text{m}$

の場合は、同様に、 $r = 25 \text{ nm}$ ($D = \quad / 10$ 、 $D \cdot$

$t = \quad \cdot 7.5 \mu\text{m}$)のとき 80% となる。

【0122】これらの結果から、

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

$$4 \times 10^{-6} [20 \mu\text{m}]^2 \quad D \cdot t \quad \cdot 45 \mu\text{m} \cdot (1.585 - 1.45) \quad 30$$

とする。なお、 t の下限値は、図2.9(加)から明かなように、 $t = D$ で、 D は、上述したように2 nm以上であるので、 $D \cdot t$ の下限値は、 $(2 \times 10^{-3} \mu\text{m})^2$ 、すなわち $4 \times 10^{-6} [\mu\text{m}]^2$ となる。

【0128】なお、物質の光学特性を屈折率で表す近似が成り立つのは、「岩波科学ライブラリー8 小惑星が*
7 nm D 500
とする。)

【0129】図33は図32に示す可変焦点レンズ511を用いたデジタルカメラ用の撮像光学系の構成を示すものである。この撮像光学系においては、物体(図示せず)の像を、絞り521、可変焦点レンズ511およびレンズ522を介して、例えばCCDよりなる固体撮像素子523上に結像させる。なお、図33では、液晶分子の図示を省略してある。

【0130】かかる撮像光学系によれば、可変抵抗器519により可変焦点レンズ511の高分子分散液晶層514に印加する交流電圧を調整して、可変焦点レンズ511の焦点距離を変えることにより、可変焦点レンズ511およびレンズ522を光軸方向に移動させることな
20 く、例えば、無限遠から600 mmまでの物体距離に対して、連続的に合焦させることが可能となる。

【0131】図34は本発明にかかる撮像光学系に適用*
$$p \sin \theta = m$$

を満たす角度 θ だけ偏向されて出射される。また、溝深さを h 、透明基板33の屈折率を n_{33} とし、 k を整数と*
$$h(n_A - n_{33}) = m$$

を満たせば、波長 λ の回折効率が100%となり、フレアの発生を防止することができる。
30

$$h(n_A - n_B) = (m - k)$$

が得られる。したがって、例えば、 $\lambda = 500 \text{ nm}$ 、 $n_A = 1.55$ 、 $n_B = 1.5$ とすると、

$$0.05h = (m - k) \cdot 500 \text{ nm}$$

となり、 $m = 1$ 、 $k = 0$ とすると、

$$h = 10000 \text{ nm} = 10 \mu\text{m}$$

となる。この場合、透明基板533の屈折率 n_{33} は、上記(43)式から、 $n_{33} = 1.5$ であればよい。また、可変焦点回折光学素子531の周辺部における格子ピッチ p を10 μm とすると、 $\theta = 2.87^\circ$ となり、Fナンバ
40

$$0.7m \quad h(n_A - n_{33}) \quad 1.4m$$

)

$$0.7k \quad h(n_B - n_{33}) \quad 1.4k$$

を満たせば良い。)

【0136】また、ツイストネマティック液晶を用いる可変焦点レンズもある。図35および図36は、この場合の可変焦点眼鏡550の構成を示すものであり、可変焦点レンズ551は、レンズ552および553と、これらレンズの内面上にそれぞれ透明電極513a、51

*やってくる」向井正著、1994、岩波書店発行の第58頁に記載されているように、 D が10 nm~5 nmより大きい場合である。また、 D が500 を越えると、光の散乱は幾何学的となり、高分子セル518を構成する高分子と液晶分子517との界面での光の散乱がフレネルの反射式に従って増大するので、 D は、実用的には、

...(41)

*可能な可変焦点回折光学素子の一例の構成を示す図である。この可変焦点回折光学素子531は、平行な第1、第2の面532a、532bを有する第1の透明基板532と、光の波長オーダーの溝深さを有する断面鋸歯波状のリング状回折格子を形成した第3の面533aおよび平坦な第4の面533bを有する第2の透明基板533とを有し、入射光を第1、第2の透明基板532、533を経て出射させるものである。第1、第2の透明基板532、533間には、図29で説明したと同様に、透明電極513a、513bを介して高分子分散液晶層514を設け、透明電極513a、513bをスイッチ515を経て交流電源516に接続して、高分子分散液晶層514に交流電界を印加するようにする。

【0132】かかる構成において、可変焦点回折光学素子531に入射する光線は、第3の面533aの格子ピッチを p とし、 m を整数とすると、

...(42)

*すると、

...(43)

【0133】ここで、上記(43)および(44)式の両辺の差を求めると、

...(45)

が10のレンズを得ることができる。

【0134】かかる可変焦点回折光学素子531は、高分子分散液晶層514への印加電圧のオン・オフで光路長が変わるので、例えば、レンズ系の光束が平行でない部分に配置して、ピント調整を行うのに用いたり、レンズ系全体の焦点距離等を変えるのに用いることができる。

【0135】なお、この実施形態において、上記(43)~(45)式は、実用上、

...(46)

...(47)

3bを介して設けた配向膜539a、539bと、これら配向膜間に設けたツイストネマティック液晶層554とを有して構成し、その透明電極513a、513bを可変抵抗器519を経て交流電源516に接続して、ツイストネマティック液晶層554に交流電界を印加するようにする。

【0137】かかる構成において、ツイストネマティック液晶層554に印加する電圧を高くすると、液晶分子555は、図36に示すようにホメオトロピック配向となり、図35に示す印加電圧が低いツイストネマティック状態の場合に比べて、ツイストネマティック液晶層5

$$2nm/P^2/3$$

とする。なお、この条件の下限値は、液晶分子の大きさで決まり、上限値は、入射光が自然光の場合に、図35の状態ツイストネマティック液晶層554が等方媒質として振る舞うために必要な値であり、この上限値の条件を満たさないと、可変焦点レンズ551は偏光方向によって焦点距離の異なるレンズとなり、これがため二重像が形成されてぼけた像しか得られなくなる。

【0139】図37(a)は、本発明にかかる撮像光学系に適用可能な可変偏角プリズムの構成を示すものである。この可変偏角プリズム561は、第1、第2の面562a、562bを有する入射側の第1の透明基板562と、第3、第4の面563a、563bを有する出射側の平行平板状の第2の透明基板563とを有する。入射側の透明基板562の内面(第2の面)562bは、フレネル状に形成し、この透明基板562と出射側の透明基板563との間に、図29で説明したと同様に、透明電極513a、513bを介して高分子分散液晶層514を設ける。透明電極513a、513bは、可変抵抗器519を経て交流電源516に接続し、これにより高分子分散液晶層514に交流電界を印加して、可変偏角プリズム561を透過する光の偏角を制御するようにする。なお、図37(a)では、透明基板562の内面562bをフレネル状に形成したが、例えば、図37(b)に示すように、透明基板562および563の内面を相対的に傾斜させた傾斜面を有する通常のプリズム状に形成することもできるし、あるいは図34に示した回折格子状に形成することもできる。回折格子状に形成する場合には、上記の(42)~(48)式が同様にあてはまる。

【0140】かかる構成の可変偏角プリズム561は、例えば、TVカメラ、デジタルカメラ、フィルムカメラ、双眼鏡等のブレ防止用として有効に用いることができる。この場合、可変偏角プリズム561の屈折方向(偏向方向)は、上下方向とするのが望ましいが、さらに性能を向上させるためには、2個の可変偏角プリズム561を偏向方向を異ならせて、例えば図38に示すように、上下および左右の直交する方向で屈折角を変えるように配置するのが望ましい。なお、図37および図38では、液晶分子の図示を省略してある。

【0141】図39は本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズを応用した可変焦点ミラーを示すものである。この可変焦点ミラー565は、第1、第2の面566a、566bを有する第1の透明基板566と、第3、第4の面567a、567bを有する第2の透明基板567とを有する。第1の透明基板566は、平板

54の屈折率は小さくなり、焦点距離が長くなる。

【0138】ここで、図35に示すツイストネマティック状態における液晶分子555の螺旋ピッチPは、光の波長に比べて同じ程度が十分小さくする必要があるので、例えば、

$$\dots(49)$$

状またはレンズ状に形成して、内面(第2の面)566bに透明電極513aを設け、第2の透明基板567は、内面(第3の面)567aを凹面状に形成して、該凹面上に反射膜568を施し、さらにこの反射膜568上に透明電極513bを設ける。透明電極513a、513b間には、図29で説明したと同様に、高分子分散液晶層514を設け、これら透明電極513a、513bをスイッチ515および可変抵抗器519を経て交流電源516に接続して、高分子分散液晶層514に交流電界を印加するようにする。なお、図39では、液晶分子の図示を省略してある。

【0142】かかる構成によれば、透明基板566側から入射する光線は、反射膜568により高分子分散液晶層514を折り返す光路となるので、高分子分散液晶層514の作用を2回もたせることができると共に、高分子分散液晶層514への印加電圧を変えることにより、反射光の焦点位置を変えることができる。この場合、可変焦点ミラー565に入射した光線は、高分子分散液晶層514を2回透過するので、高分子分散液晶層514の厚さの2倍を t とすれば、上記の各式を同様に用いることができる。なお、透明基板566または567の内面を、図34に示したように回折格子状にして、高分子分散液晶層514の厚さを薄くすることもできる。このようにすれば、散乱光をより少なくできる利点がある。

【0143】なお、以上の説明では、液晶の劣化を防止するため、電源として交流電源516を用いて、液晶に交流電界を印加するようにしたが、直流電源を用いて液晶に直流電界を印加するようにすることもできる。また、液晶分子の方向を変える方法としては、電圧を変化させること以外に、液晶にかかる電場の周波数、液晶にかかる磁場の強さ・周波数、あるいは液晶の温度等を変化させることによってもよい。以上に示した実施形態において、高分子分散液晶は液状ではなく固体に近いものもあるので、その場合はレンズ512a、512bの一方、透明基板532、レンズ538、レンズ552、553の一方、図37(a)における透明基板563、図37(b)における透明基板562、563の一方、透明基板566、567の一方はなくてもよい。なお、本願では図39のような、形状の変化しない可変焦点ミラーも、可変形状鏡の中にも含めるものとする。

【0144】図40は本発明の撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例に係る、可変焦点レンズ140を用いた撮像ユニット141の概略構成図である。撮像ユニット141は本発明の撮像系として用いる

ことができる。本実施例では、レンズ 102 と可変焦点レンズ 140 とで、撮像レンズを構成している。そして、この撮像レンズと固体撮像素子 408 とで撮像ユニット 141 を構成している。可変焦点レンズ 140 は、透明部材 142 と圧電性のある合成樹脂等の柔らかい透明物質 143 とで、光を透過する流体あるいはゼリー状物質 144 を挟んで構成されている。

【0145】流体あるいはゼリー状物質 144 としては、シリコンオイル、弾性ゴム、ゼリー、水等を用いることができる。透明物質 143 の両面には透明電極 145 が設けられており、回路 103' を介して電圧を加えることで、透明物質 143 の圧電効果により透明物質 143 が変形し、可変焦点レンズ 140 の焦点距離が変わるようになっている。従って、本実施例によれば、物体距離が変わった場合でも光学系をモーター等で動かすことなくフォーカスができ、小型、軽量、消費電力が少ない点で優れている。

【0146】なお、図 40 中、145 は透明電極、146 は流体をためるシリンダーである。また、透明物質 143 の材質としては、ポリウレタン、シリコンゴム、アクリルエラストマー、PZT、PLZT、ポリフッ化ビニリデン (PVDF) 等の高分子圧電体、シアン化ビニリデン共重合体、ビニリデンフルオライドとトリフルオロエチレンの共重合体等が用いられる。圧電性を有する有機材料や、圧電性を有する合成樹脂、圧電性を有するエラストマー等を用いると可変焦点レンズ面の大きな変形が実現できてよい。可変焦点レンズには透明な圧電材料を用いるとよい。

【0147】なお、図 40 の例で、可変焦点レンズ 140 は、シリンダー 146 を設けるかわりに、図 41 に示すように、支援部材 147 を設けてシリンダー 146 を省略した構造にしてもよい。支援部材 147 は、間に透明電極 145 を挟んで、透明物質 143 の一部の周辺部分を固定している。本実施例によれば、透明物質 143 に電圧をかけることによって、透明物質 143 が変形しても、図 42 に示すように、可変焦点レンズ 140 全体の体積が変わらないように変形するため、シリンダー 146 が不要になる。なお、図 41、42 中、148 は変形可能な部材で、弾性体、アコーディオン状の合成樹脂または金属等でできている。

【0148】図 40、41 に示す実施例では、電圧を逆に印加すると透明物質 143 は逆向きに変形するので凹レンズにすることも可能である。なお、透明物質 143 に電歪材料、例えば、アクリルエラストマー、シリコンゴム等を用いる場合は、透明物質 143 を透明基板と電歪材料を貼り合わせた構造にするとよい。

【0149】図 43 は本発明の撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例に係る、マイクロポンプ 160 で流体 161 を出し入れし、レンズ面を変形させる可変焦点レンズ 167 の概略構成図である。マイクロ

ポンプ 160 は、例えば、マイクロマシンの技術で作られた小型のポンプで、電力で動くように構成されている。流体 161 は、透明基板 163 と、弾性体 164 との間に挟まれている。図 43 中、165 は弾性体 164 を保護するための透明基板で、設けなくてもよい。マイクロマシンの技術で作られたポンプの例としては、熱変形を利用したもの、圧電材料を用いたもの、静電気力を用いたものなどがある。

【0150】そして、図 28 で示したようなマイクロポンプ 180 を、例えば、図 43 に示す可変焦点レンズに用いるマイクロポンプ 160 のように、2 つ用いればよい。

【0151】なお、静電気力、圧電効果を用いた可変焦点レンズなどにおいては、駆動用に高電圧が必要になる場合がある。その場合には、昇圧用のトランス、あるいは圧電トランス等を用いて制御系を構成するとよい。特に積層型圧電トランスを用いると小型にできてよい。

【0152】図 44 は本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子の他の実施例であって圧電材料 200 を用いた可変焦点レンズ 201 の概略構成図である。圧電材料 200 には透明物質 143 と同様の材料が用いられており、圧電材料 200 は、透明で柔らかい基板 202 の上に設けられている。なお、基板 202 には、合成樹脂、有機材料を用いるのが望ましい。本実施例においては、2 つの透明電極 59 を介して電圧を圧電材料 200 に加えることで圧電材料 200 は変形し、図 44 において凸レンズとしての作用を持っている。

【0153】なお、基板 202 の形をあらかじめ凸状に形成しておき、かつ、2 つの透明電極 59 のうち、少なくとも一方の電極の大きさを基板 202 と異ならせておく、例えば、一方の透明電極 59 を基板 202 よりも小さくしておくと、電圧を切ったときに、図 45 に示すように、2 つの透明電極 59 が対向する所定部分だけが凹状に変形して凹レンズの作用を持つようになり、可変焦点レンズとして動作する。このとき基板 202 は、流体 161 の体積が変化しないように変形するので、液溜 168 が不要になるというメリットがある。

【0154】本実施例では、流体 161 を保持する基板の一部分を圧電材料で変形させて、液溜 168 を不要としたところに大きなメリットがある。なお、図 43 の実施例にも言えることであるが、透明基板 163、165 はレンズとして構成しても、或いは平面で構成してもよい。

【0155】図 46 は本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子のさらに他の実施例であって圧電材料からなる 2 枚の薄板 200A、200B を用いた可変焦点レンズの概略構成図である。本実施例の可変焦点レンズは、薄板 200A と 200B の材料の方向性を反転させることで、変形量を大きくし、大きな可変焦点範囲が得られるというメリットがある。なお、図 4

6 中、204 はレンズ形状の透明基板である。本実施例においても、紙面の右側の透明電極 59 は基板 202 よりも小さく形成されている。

【0156】なお、図 44 ~ 図 46 の実施例において、基板 202、薄板 200、200A、200B の厚さを不均一にして、電圧を掛けたと時の変形のさせかたをコントロールしてもよい。そのようにすれば、レンズの収差補正等もすることができ、便利である。

【0157】図 47 は本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例の可変焦点レンズ 207 は、例えばシリコンゴムやアクリルエラストマー等の電歪材料 206 を用いて構成されている。本実施例の構成によれば、電圧が低いときには、図 47 に示すように、凸レンズとして作用し、電圧を上げると、図 48 に示すように、電歪材料 206 が上下方向に伸びて左右方向に縮むので、焦点距離が伸びる。従って、可変焦点レンズとして動作する。本実施例の可変焦点レンズによれば、大電源を必要としないので消費電力が小さくて済むというメリットがある。

【0158】図 49 は本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子のさらに他の実施例であってフォトメカニカル効果を用いた可変焦点レンズの概略構成図である。本実施例の可変焦点レンズ 214 は、透明弾性体 208、209 でアゾベンゼン 210 が挟まれており、アゾベンゼン 210 には、透明なスパーサー 211 を経由して光が照射されるようになっている。図 49 中、212、213 はそれぞれ中心波長が λ_1 、 λ_2 の例えば LED、半導体レーザー等の光源である。

【0159】本実施例において、中心波長が λ_1 の光が図 50 (a) に示すトランス型のアゾベンゼンに照射されると、アゾベンゼン 210 は、図 50 (b) に示すシス型に変化して体積が減少する。このため、可変焦点レンズ 214 の形状はうすくなり、凸レンズ作用が減少する。一方、中心波長が λ_2 の光がシス型のアゾベンゼン 210 に照射されると、アゾベンゼン 210 はシス型からトランス型に変化して、体積が増加する。このため、可変焦点レンズ 214 の形状は厚くなり、凸レンズ作用が増加する。このようにして、本実施例の光学素子 214 は可変焦点レンズとして作用する。また、可変焦点レンズ 214 では、透明弾性体 208、209 の空気との境界面で光が全反射するので外部に光がもれず、効率がよい。なお、レンズとして利用する光の波長は可視光に限らず赤外光等でもよい。また、アゾベンゼン 210 としては、アゾベンゼンと他の液体の混合物を用いてもよい。

【0160】図 51 は本発明にかかる撮像光学系に可変ミラーとして用いる可変形状鏡のさらに他の実施例を示す概略構成図である。本実施例では、デジタルカメラに用いられるものとして説明する。なお、図 51 中、41

1 は可変抵抗器、414 は演算装置、415 は温度センサー、416 は湿度センサー、417 は距離センサー、424 は振れセンサーである。本実施例の可変形状鏡 45 は、アクリルエラストマー等の有機材料からなる電歪材料 453 と間を隔てて分割電極 409b を設け、電歪材料 453 の上に順に電極 452、変形可能な基板 451 を設け、さらにその上に入射光を反射するアルミニウム等の金属からなる反射膜 450 を設けて構成されている。このように構成すると、分割電極 409b を電歪材料 453 と一体化した場合に比べて、反射膜 450 の面形状が滑らかになり、光学的に収差を発生させるにくくなるというメリットがある。なお、変形可能な基板 451 と電極 452 の配置は逆でも良い。また、図 51 中、449 は光学系の変倍、あるいはズームを行なう釦であり、可変形状鏡 45 は、釦 449 を使用者が押すことで反射膜 450 の形を変形させて、変倍あるいは、ズームをすることができるように演算装置 414 を介して制御されている。なお、アクリルエラストマー等の有機材料からなる電歪材料のかわりに既に述べたチタン酸バリウム等の圧電材料を用いてもよい。

【0161】最後に、本発明で用いる用語の定義を述べておく。

【0162】光学装置とは、光学系あるいは光学素子を含む装置のことである。光学装置単体で機能しなくてもよい。つまり、装置の一部でもよい。

【0163】光学装置には、撮像装置、観察装置、表示装置、照明装置、信号処理装置等が含まれる。

【0164】撮像装置の例としては、フィルムカメラ、デジタルカメラ、ロボットの眼、レンズ交換式デジタル一眼レフカメラ、テレビカメラ、動画記録装置、電子動画記録装置、カムコーダ、VTR カメラ、電子内視鏡等がある。デジカメ、カード型デジカメ、テレビカメラ、VTR カメラ、動画記録カメラなどはいずれも電子撮像装置の一例である。

【0165】観察装置の例としては、顕微鏡、望遠鏡、眼鏡、双眼鏡、ルーペ、ファイバースコープ、ファイナダー、ビューファインダー等がある。

【0166】表示装置の例としては、液晶ディスプレイ、ビューファインダー、ゲームマシン（ソニー社製プレイステーション）、ビデオプロジェクター、液晶プロジェクター、頭部装着型画像表示装置（head mounted display: HMD）、PDA（携帯情報端末）、携帯電話等がある。

【0167】照明装置の例としては、カメラのストロボ、自動車のヘッドライト、内視鏡光源、顕微鏡光源等がある。

【0168】信号処理装置の例としては、携帯電話、パソコン、ゲームマシン、光ディスクの読取・書込装置、光計算機の演算装置等がある。

【0169】撮像素子は、例えば CCD、撮像管、固体

撮像素子、写真フィルム等を指す。また、平行平板はプリズムの1つに含まれるものとする。観察者の変化には、視度の変化を含むものとする。被写体の変化には、被写体となる物体距離の変化、物体の移動、物体の動き、振動、物体のぶれ等を含むものとする。

【0170】拡張曲面の定義は以下の通りである。球面、平面、回転対称非球面のほか、光軸に対して偏心した球面、平面、回転対称非球面、あるいは対称面を有する非球面、対称面を1つだけ有する非球面、対称面のない非球面、自由曲面、微分不可能な点、線を有する面等、いかなる形をしていても良い。反射面でも、屈折面でも、光になんらかの影響を与えうる面ならば良い。本発明では、これらを総称して拡張曲面と呼ぶことにする。

【0171】光学特性可変光学素子とは、可変焦点レンズ、可変形状鏡、面形状の変わる偏光プリズム、頂角可変プリズム、光偏向作用の変わる可変回折光学素子、つまり可変HOE、可変DOE等を含む。

【0172】可変焦点レンズには、焦点距離が変化せず、収差量が変化するような可変レンズも含むものとする。可変形状鏡についても同様である。要するに、光学素子で、光の反射、屈折、回折等の光偏向作用が変化するものを光学特性可変光学素子と呼ぶ。

【0173】情報発信装置とは、携帯電話、固定式の電話、ゲームマシン、テレビ、ラジカセ、ステレオ等のリモコンや、パソコン、パソコンのキーボード、マウス、タッチパネル等の何らかの情報を入力し、送信することができる装置を指す。撮像装置のついたテレビモニター、パソコンのモニター、ディスプレイも含むものとする。情報発信装置は、信号処理装置の中に含まれる。

【0174】以上説明したように、本発明の撮像光学系は、特許請求の範囲に記載された発明の他に、次に示すような特徴も備えている。

【0175】(1) 光学系がレトロフォーカスタイプであることを特徴とする請求項1に記載の撮像光学系。

【0176】(2) 次の条件式の少なくともいずれか一つを満たすことを特徴とする請求項1に記載の撮像光学系。

$$0.01 < |f_n| / f_{tot} < 100$$

$$0.01 < |f_p| / f_{tot} < 100$$

$$0.01 < S_k / f_{tot} < 100$$

ただし、 f_n は光学系の凹レンズ群の焦点距離、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離、 f_p は凸レンズ群の焦点距離、 S_k は光学系の最終レンズ面から撮像面までの距離である。

【0177】(3) 次の条件式の少なくともいずれか一つを満たすことを特徴とする請求項2に記載の撮像光学系。

$$0.01 < |f_n| / f_{tot} < 100$$

$$0.01 < |f_p| / f_{tot} < 100$$

$$0.01 < S_k / f_{tot} < 100$$

ただし、 f_n は光学系の凹レンズ群の焦点距離、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離、 f_p は凸レンズ群の焦点距離、 S_k は光学系の最終レンズ面から撮像面までの距離である。

【0178】(4) 可変ミラーを有し、光学系の構成が、物体側から順に、凹レンズ群、明るさ絞り、凸レンズ群とを備えてなり、明るさ絞りが凹レンズ群、又は凸レンズ群の中に設けられていることを特徴とする撮像光学系。

【0179】(5) 可変ミラーを有し、前記可変ミラーへの軸上光線の入射角が40度以上50度以内となるようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0180】(6) 回転対称な光学素子を複数有し、絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度のズレの範囲内)に配置したことを特徴とする撮像光学系。

【0181】(7) 凹レンズと凸レンズとを有し、絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度のズレの範囲内)に対向配置したことを特徴とする撮像光学系。

【0182】(8) 可変ミラーを有すると共に、凹レンズと凸レンズとを有し、物体から撮像光学系への軸上入射光線と撮像面への軸上入射光線が、ほぼ平行(±5度のズレの範囲内)になるようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0183】(9) 可変ミラーを有すると共に、凹レンズと凸レンズとを有し、物体から撮像光学系への軸上入射光線と撮像面への軸上入射光線のなす角が、ほぼ90度(±5度のズレの範囲内)になるようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0184】(10) 凹レンズと凸レンズとを有するレトロフォーカス型レンズ系の後方に可変ミラーを配置して、フォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0185】(11) 凹レンズと凸レンズとを有する、絞りを含むレトロフォーカス型レンズ系の後方で撮像素子の前方に可変ミラーを配置して、フォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0186】(12) 凹レンズと凸レンズとを有する絞りを含むレトロフォーカス型レンズ系の後方で、撮像素子の直前に可変ミラーを配置して、フォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

【0187】(13) 接合レンズを有する上記(5)～(12)のいずれかに記載の撮像光学系。

【0188】(14) 絞りの後方に接合レンズを有する上記(5)～(12)のいずれかに記載の撮像光学系。

【0189】(15) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の変形状が、自由曲面を定義する式の係数 C_4 と C_6 とが異符号になる状態を含む自由曲面となることを特徴とする撮

像光学系。

【0190】(16) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、自由曲面を定義する式の係数 C_4 が異なる符号になる2状態を含む自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

【0191】(17) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、自由曲面を定義する式の係数 C_6 が異なる符号になる2状態を含む自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

【0192】(18) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーについて、物体距離が近点では可変ミラーの収束作用が強くなり、物体距離が遠点では可変ミラーの収束作用が弱くなることを特徴とする撮像光学系。

【0193】(19) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_8 及び C_{10} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0.01 < C_{10} / C_8 < 100$$

【0194】(20) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_8 及び C_{10} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0.1 < C_{10} / C_8 < 10$$

【0195】(21) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_8 と C_{10} が同符号である自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

【0196】(22) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{13} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0.01 < |C_{13} / C_{11}| < 100$$

【0197】(23) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{13} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0.1 < |C_{13} / C_{11}| < 10$$

【0198】(24) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{15} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0.01 < |C_{15} / C_{11}| < 100$$

【0199】(25) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の变形形状が、少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{15} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする撮像光学系。

$$0 < |C_{15} / C_{11}| < 1$$

【0200】(26) 少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーについて、次の条件式を満たすことを特徴とする撮像光学系。

$$0 < md / f_{tot} < 1$$

ただし、 md は可変ミラーのミラー面の最大変形量、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離である。

【0201】(27) 次の条件式の少なくともいずれか1つを満たすことを特徴とする上記(5)～(26)のいずれかに記載の撮像光学系。

$$0.01 < |f_n| / f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_n| / f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_n| / f_{tot} < 3$$

$$0.01 < |f_p| / f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_p| / f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_p| / f_{tot} < 3$$

$$0.01 < Sk / f_{tot} < 100$$

$$0.1 < Sk / f_{tot} < 10$$

$$0.5 < Sk / f_{tot} < 8$$

ただし、 f_n は光学系の凹レンズ群の焦点距離、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離、 f_p は凸レンズ群の焦点距離、 Sk は光学系の最終レンズ面から撮像面までの距離である。

【0202】(28) 可変ミラーを用いて、次の条件式を満たすフォーカスを行うようにしたことを特徴とする上記(1)又は(2)に記載の撮像光学系。

$$75^\circ < 2 < 170^\circ$$

ただし、 2 は光学系に入射する光線の水平半画角である。

【0203】(29) 可変ミラーを用いて、次の条件式を満たすフォーカスを行うようにしたことを特徴とする上記(1)又は(2)に記載の撮像光学系。

$$85^\circ < 2 < 160^\circ$$

ただし、 2 は光学系に入射する光線の水平半画角である。

【0204】(30) 回転対称なレンズを有し、可変ミラーを用いてフォーカスを行う撮像光学系。

【0205】(31) 可変ミラーを用いて、次の条件式を満たすフォーカスを行うようにしたことを特徴とする撮像光学系。

$$50^\circ < 2 < 175^\circ$$

ただし、 2 は光学系に入射する光線の水平半画角である。

【0206】(32) 少なくとも一つの可変ミラーを有

し、少なくともいずれかの可変ミラーが、ある状態で次の条件式を満たすことを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

$$0.00003 < md / f_{tot} < 0.1$$

ただし、 md は可変ミラーのミラー面の最大変形量、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離である。

【0207】(33)少なくとも一つの状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_8 、 C_{10} 、 C_{17} のいずれか1つ以上が0でないことを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0208】(34)複数枚の可変ミラーを用いて、フォーカスを行う上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0209】(35)フォーカスを行う際に、少なくとも一つの可変ミラーが、少なくともある状態で自由曲面形状になることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0210】(36)可変ミラーを有し、光学系の構成が、光線の入射する側から順に、凹レンズ群、明るさ絞り、凸レンズ群からなり、明るさ絞りが凹レンズ群、又は凸レンズ群の中に設けられていることを特徴とする、可変ミラーを用いてフォーカスを行う上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0211】(37)可変ミラーへの軸上光線の入射角がある状態で40度以上50度以内であることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の可変ミラーを有する撮像光学系。

【0212】(38)絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度以内)に配置したことを特徴とする可変ミラーを有する撮像光学系。

【0213】(39)回転対称な光学素子を複数有し、絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度以内)に配置したことを特徴とする可変ミラーを有する撮像光学系。

【0214】(40)絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度以内)に配置したことを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の可変ミラーを有する撮像光学系。

【0215】(41)凹レンズと凸レンズとを有し、絞りをはさんで2つの可変ミラーをほぼ平行(±5度以内)に対向配置したことを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の可変ミラーを有する撮像光学系。

【0216】(42)凹レンズと凸レンズとを有し、物体から撮像光学系への軸上入射光線と撮像面への軸上入射光線が、ある状態でほぼ平行(±5度以内)であることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の可変ミラーを有する撮像光学系。

【0217】(43)凹レンズと凸レンズとを有し、物体から撮像光学系への軸上入射光線と撮像面への軸上入射光線のなす角が、ある状態でほぼ90度(±5度以

内)であることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の可変ミラーを有する撮像光学系。

【0218】(44)凹レンズと凸レンズとを有するレトロフォーカス型レンズ系の後方に可変ミラーを配置し、フォーカスを行う可変ミラーを有する上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0219】(45)凹レンズと凸レンズとを有する絞りを含むレトロフォーカス型レンズ系の後方で、撮像素子の前方に可変ミラーを配置し、フォーカスを行う可変ミラーを有する撮像光学系。

【0220】(46)凹レンズと凸レンズとを有する絞りを含むレトロフォーカス型レンズ系の後方で、撮像素子の直前に可変ミラーを配置し、フォーカスを行う可変ミラーを有する上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0221】(47)接合レンズを有する上記(30)～(46)のいずれかに記載の撮像光学系。

【0222】(48)絞りの後方に接合レンズを有する上記(30)～(46)のいずれかに記載の撮像光学系。

【0223】(49)少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の変形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_4 と C_6 とが異符号になる状態を含む自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0224】(50)少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の変形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_4 が異なる符号になる2状態を含む自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0225】(51)少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の変形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_6 が異なる符号になる2状態を含む自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0226】(52)少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーについて、物体距離が近点では可変ミラーの収束作用が強くなり、物体距離が遠点では可変ミラーの収束作用が弱くなることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0227】(53)少なくとも一つの可変ミラーを有し、少なくともいずれかの可変ミラーのミラー面の変形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_6 及び C_{10} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

$$0.01 < C_{10}/C_8 < 100$$

【0228】(54)少なくとも一つの変ミラーを有し、少なくともいずれかの変ミラーのミラー面の变形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_8 と C_{10} とが同符号である自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0229】(55)少なくとも一つの変ミラーを有し、少なくともいずれかの変ミラーのミラー面の变形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{15} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

$$0.01 < |C_{15}/C_{11}| < 100$$

【0230】(56)少なくとも一つの変ミラーを有し、少なくともいずれかの変ミラーのミラー面の变形形状が、ある状態で、自由曲面を定義する式の係数 C_{11} 及び C_{13} が次の条件式を満たす自由曲面となることを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

$$0.01 < |C_{13}/C_{11}| < 100$$

【0231】(57)少なくとも一つの変ミラーを有し、少なくともいずれかの変ミラーがある状態で次の条件式を満たすことを特徴とする上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

$$0 < md/f_{tot} < 1$$

ただし、mdは可変ミラーのミラー面の最大変形量、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離である。

【0232】(58)用いられている可変ミラーの駆動方式が静電駆動方式、電磁駆動方式、圧電効果、流体駆動のいずれかである可変ミラーを有する上記(30)又は(31)に記載の撮像光学系。

【0233】(59)ある状態で、次の条件式の少なくともいずれか1つを満たすことを特徴とする請求項1～3、上記(1)～(58)のいずれかに記載の撮像光学系。

$$0.01 < |f_n|/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_n|/f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_n|/f_{tot} < 3$$

$$0.01 < |f_p|/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_p|/f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_p|/f_{tot} < 3$$

$$0.01 < Sk/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < Sk/f_{tot} < 10$$

$$0.5 < Sk/f_{tot} < 8$$

$$50^\circ < 2 < 175^\circ$$

$$75^\circ < 2 < 170^\circ$$

$$85^\circ < 2 < 160^\circ$$

$$0.01 < C_{10}/C_8 < 100$$

$$0.1 < C_{10}/C_8 < 10$$

$$0.01 < |C_{13}/C_{11}| < 100$$

$$*0.1 < |C_{13}/C_{11}| < 10$$

$$0.01 < |C_{15}/C_{11}| < 100$$

$$0.1 < |C_{15}/C_{11}| < 10$$

$$0 < md/f_{tot} < 1$$

$$0.00003 < md/f_{tot} < 0.1$$

ただし、 f_n は光学系の凹レンズ群の焦点距離、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離、 f_p は凸レンズ群の焦点距離、 Sk は光学系の最終レンズ面から撮像面までの距離、 θ は光学系に入射する光線の水平半画角、 C_8 、 C_{10} 、 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{15} は可変ミラーの面形状を表わす自由曲面を定義する式の係数、mdは可変ミラーのミラー面の最大変形量である。

【0234】(60)ある状態で、次の条件式の少なくともいずれか2つを満たすことを特徴とする請求項1～3、上記(1)～(58)のいずれかに記載の撮像光学系。

$$0.01 < |f_n|/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_n|/f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_n|/f_{tot} < 3$$

$$0.01 < |f_p|/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < |f_p|/f_{tot} < 10$$

$$0.1 < |f_p|/f_{tot} < 3$$

$$0.01 < Sk/f_{tot} < 100$$

$$0.1 < Sk/f_{tot} < 10$$

$$0.5 < Sk/f_{tot} < 8$$

$$50^\circ < 2 < 175^\circ$$

$$75^\circ < 2 < 170^\circ$$

$$85^\circ < 2 < 160^\circ$$

$$0.01 < C_{10}/C_8 < 100$$

$$0.1 < C_{10}/C_8 < 10$$

$$0.01 < |C_{13}/C_{11}| < 100$$

$$0.1 < |C_{13}/C_{11}| < 10$$

$$0.01 < |C_{15}/C_{11}| < 100$$

$$0.1 < |C_{15}/C_{11}| < 10$$

$$0 < md/f_{tot} < 1$$

$$0.00003 < md/f_{tot} < 0.1$$

ただし、 f_n は光学系の凹レンズ群の焦点距離、 f_{tot} はレンズ全系の焦点距離、 f_p は凸レンズ群の焦点距離、 Sk は光学系の最終レンズ面から撮像面までの距離、 θ は光学系に入射する光線の水平半画角、 C_8 、 C_{10} 、 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{15} は可変ミラーの面形状を表わす自由曲面を定義する式の係数、mdは可変ミラーのミラー面の最大変形量である。

【0235】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、外径が細く小型でありながらにして、ピント合わせを行うことが可能な撮像光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる撮像光学系の構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図 2】本発明の第 1 実施例にかかる撮像光学系の変形例の構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図 3】第 1 実施例の撮像光学系の遠点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 4】第 1 実施例の撮像光学系の標準的距離の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 5】第 1 実施例の撮像光学系の近点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 6】本発明の第 2 実施例にかかる撮像光学系の構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図 7】第 2 実施例の撮像光学系の遠点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 8】第 2 実施例の撮像光学系の標準的距離の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 9】第 2 実施例の撮像光学系の近点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 10】本発明の第 3 実施例にかかる撮像光学系の構成を示す光軸に沿う断面図である。

【図 11】第 3 実施例の撮像光学系の遠点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角が

ゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 12】第 3 実施例の撮像光学系の標準的距離の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 13】第 3 実施例の撮像光学系の近点の各波長域における横収差を表す収差図であり、(a)は X 方向画角がゼロ、Y 方向画角がゼロを通る主光線の Y 方向の横収差、(b)は X 方向画角がゼロ、Y 正方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差、(c)は X 方向画角がゼロ、Y 負方向最大画角を通る主光線の Y 方向の横収差を示している。

【図 14】本発明の撮像光学系に用いる可変ミラーとして光学特性可変ミラーを用いたデジタルカメラのケプラー式ファインダーの概略構成図である。

【図 15】本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 409 の他の実施例を示す概略構成図である。

【図 16】図 15 の実施例の可変形状鏡に用いる電極の一形態を示す説明図である。

【図 17】図 15 の実施例の可変形状鏡に用いる電極の他の形態を示す説明図である。

【図 18】本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 409 のさらに他の実施例を示す概略構成図である。

【図 19】本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 409 のさらに他の実施例を示す概略構成図である。

【図 20】本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 409 のさらに他の実施例を示す概略構成図である。

【図 21】図 20 の実施例における薄膜コイル 427 の巻密度の状態を示す説明図である。

【図 22】本発明にかかる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 409 のさらに他の実施例を示す概略構成図である。

【図 23】図 22 の実施例におけるコイル 427 の一配置例を示す説明図である。

【図 24】図 22 の実施例におけるコイル 427 の他の配置例を示す説明図である。

【図 25】図 20 に示した実施例において、コイル 427 の配置を図 24 に示したようにした場合に適する永久磁石 426 の配置を示す説明図である。

【図 26】本発明のさらに他の実施例に係る、光学装置

に適用可能な可変ミラーとして可変形状鏡 409 を用いた撮像系、例えば携帯電話のデジタルカメラ、カプセル内視鏡、電子内視鏡、パソコン用デジタルカメラ、PDA 用デジタルカメラ等に用いられる撮像系の概略構成図である。

【図 27】本発明の可変形状鏡のさらに他の実施例に係る、マイクロポンプ 180 で流体 161 を出し入れし、ミラー面を変形させる可変ミラーとして用いる可変形状鏡 188 の概略構成図である。

【図 28】本発明の撮像光学系に用いる可変ミラーに適用可能なマイクロポンプの一実施例を示す概略構成図である。

【図 29】本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズの原理的構成を示す図である。

【図 30】一軸性のネマティック液晶分子の屈折率楕円体を示す図である。

【図 31】図 27 に示す高分子分散液晶層に電界を印加状態を示す図である。

【図 32】図 29 に示す高分子分散液晶層への印加電圧を可変にする場合の一例の構成を示す図である。

【図 33】図 32 に示す可変焦点レンズ 511 を用いたデジタルカメラ用の撮像光学系の構成を示す図である。

【図 34】本発明にかかる撮像光学系に適用可能な可変焦点回折光学素子の一例の構成を示す図である。

【図 35】ツイストネマティック液晶を用いる可変焦点レンズを有する可変焦点眼鏡の構成を示す図である。

【図 36】図 35 に示すツイストネマティック液晶層への印加電圧を高くしたときの液晶分子の配向状態を示す図である。

【図 37】本発明にかかる撮像光学系に適用可能な可変偏角プリズムの二つの例の構成を示す図である。

【図 38】図 37 に示す可変偏角プリズムの使用態様を説明するための図である。

【図 39】本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズを応用した可変焦点ミラーを示す図である。

【図 40】本発明の撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例に係る、可変焦点レンズ 140 を用いた撮像ユニット 141 の概略構成図である。

【図 41】図 40 の実施例における可変焦点レンズの変形例を示す説明図である。

【図 42】図 41 の可変焦点レンズが変形した状態を示す説明図である。

【図 43】本発明の撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例に係る、マイクロポンプ 160 で流体 161 を出し入れし、レンズ面を変形させる可変焦点レンズ 162 の概略構成図である。

【図 44】本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子の他の実施例であって圧電材料 200 を用いた可変焦点レンズ 201 の概略構成図である。

【図 45】図 44 の変形例に係る可変焦点レンズの状態

説明図である。

【図 46】本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子のさらに他の実施例であって圧電材料からなる 2 枚の薄板 200A, 200B を用いた可変焦点レンズの概略構成図である。

【図 47】本発明にかかる撮像光学系に用いる可変焦点レンズのさらに他の実施例を示す概略構成図である。

【図 48】図 47 の実施例に係る可変焦点レンズの状態説明図である。

【図 49】本発明にかかる撮像光学系に適用可能な光学特性可変光学素子のさらに他の実施例であってフォトメカニカル効果を用いた可変焦点レンズの概略構成図である。

【図 50】図 49 の実施例に係る可変焦点レンズに用いるアゾベンゼンの構造を示す説明図であり、(a)はトランス型、(b)はシス型を示している。

【図 51】本発明にかかる撮像光学系に可変ミラーとして用いる可変形状鏡のさらに他の実施例を示す概略構成図である。

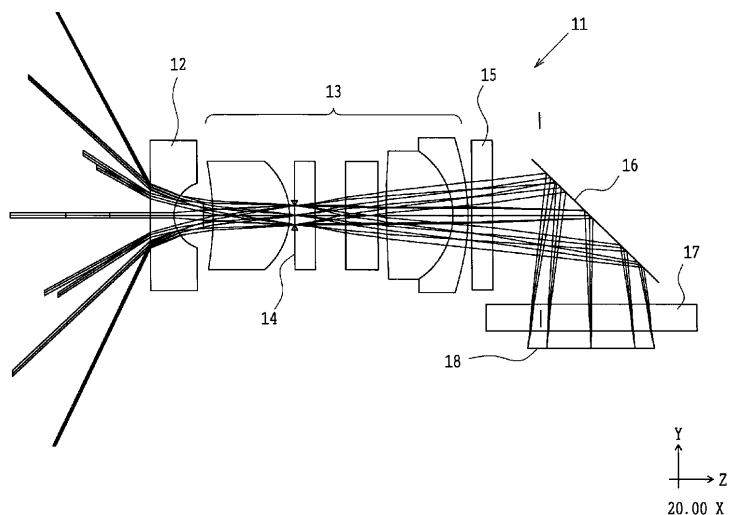
【符号の説明】

1, 11, 21	撮像光学系
2, 12	凹レンズ
3, 6, 16, 23, 25	可変ミラー
4, 14, 24	明るさ絞り
5, 13, 26	凸レンズ群
7	赤外カットフィルタ (又はローパスフィルタ)
8, 18, 29	固体撮像素子の撮像面
15, 27	赤外カットフィルタ
17, 28	ローパスフィルタ
45, 188	可変形状鏡
140, 167, 201, 207, 214, 511, 551	可変焦点レンズ
161	流体
163, 165, 204, 532, 533, 562, 563, 566, 567	透明基板
59, 145, 513a, 513b	透明電極
102, 512a, 512b, 522, 552, 553	レンズ
103	制御系
103'	回路
104, 141	撮像ユニット
142	透明部材
143	圧電性のある透明物質
144	流体あるいはゼリー状物質
146	シリンダー
147	支援部材
148	変形可能な部材
160, 180	マイクロポンプ
164	弾性体

49

168 液溜
 181 振動板
 182, 183, 409b, 409d, 452
 電極
 184, 185 弁
 189, 450 反射膜
 200 圧電材料
 200A, 200B 薄板
 202 透明で柔らかい基板
 206, 409c-2 電歪材料
 208, 209 透明弾性体
 210 アゾベンゼン
 211 スペース
 212, 213 光源
 403 撮像レンズ
 404 プリズム
 405 二等辺直角プリズム
 406 ミラー
 408, 523 固体撮像素子
 409 光学特性可変形状鏡
 409a 薄膜
 409c, 409c' 圧電素子
 409c-1, 409e 基板
 411 可変抵抗器
 412 電源
 413 電源スイッチ
 414 演算装置
 415 温度センサー
 416 湿度センサー
 417 距離センサー
 423 支持台
 424 振れセンサー

【図6】



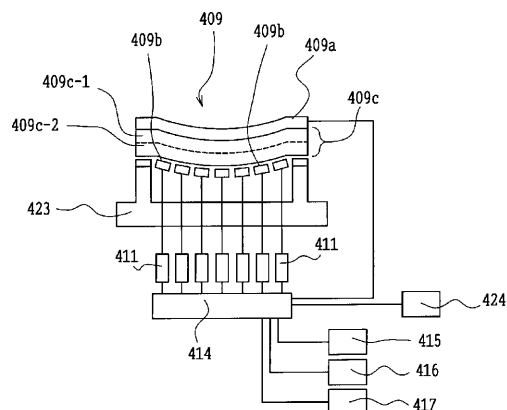
50

駆動回路

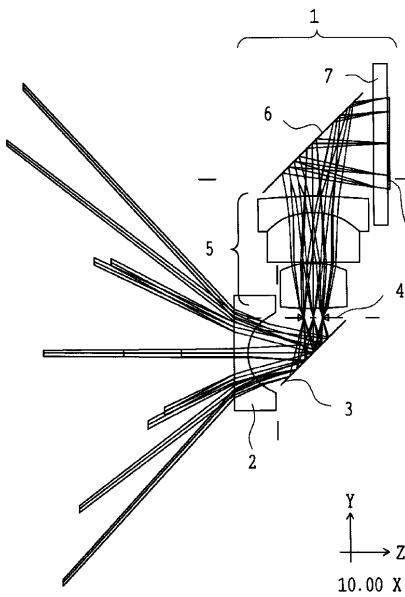
*425, 428
 426 永久磁石
 427 コイル
 449 釦
 451 変形可能な基板
 453 電歪材料
 508a, 532a, 562a, 566a 第
 1の面
 508b, 532b, 562b, 566b 第
 10 2の面
 509a, 533a, 563a, 567a 第
 3の面
 509b, 533b, 563b, 567b 第
 4の面
 514 高分子分散液晶層
 515 スイッチ
 516 交流電源
 517 液晶分子
 518 高分子セル
 20 519 可変抵抗器
 521 絞り
 531 可変焦点回折光学素子
 539a, 539b 配向膜
 550 可変焦点眼鏡
 554 ツイストネマティック液晶層
 555 液晶分子
 561 可変偏角プリズム
 565 可変焦点ミラー
 568 反射膜
 30 901 接眼レンズ
 902 対物レンズ

*

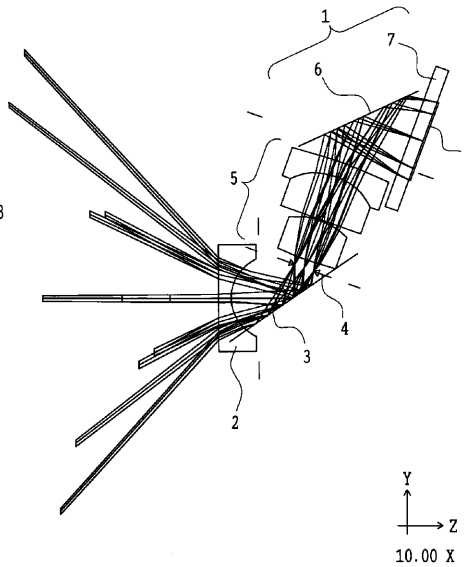
【図15】



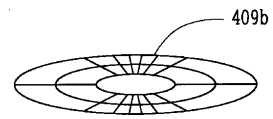
【図1】



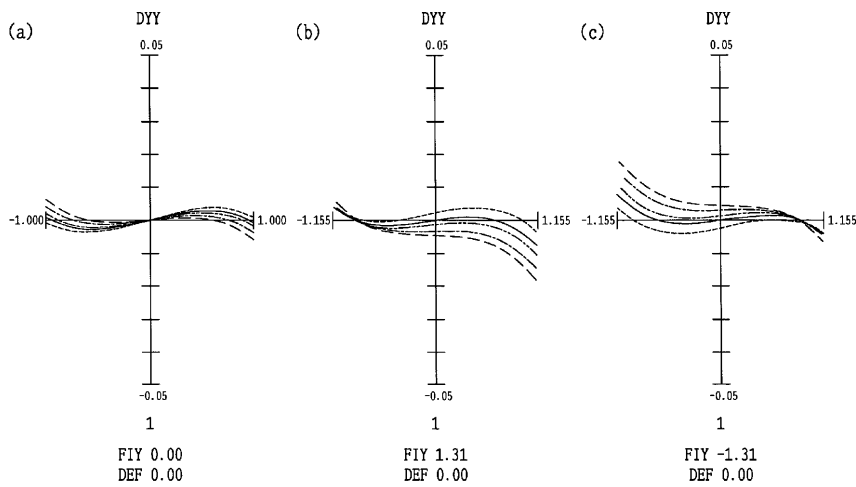
【図2】



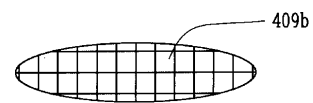
【図16】



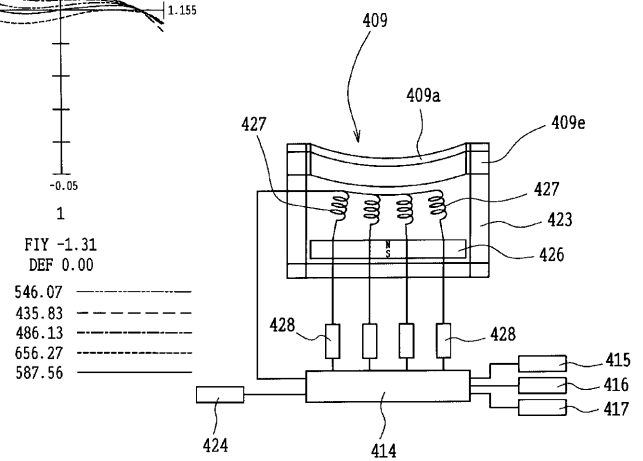
【図3】



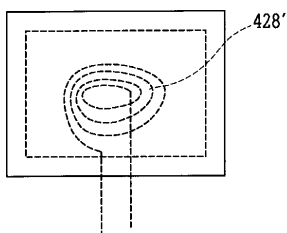
【図17】



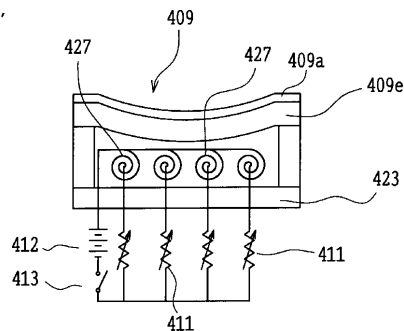
【図20】



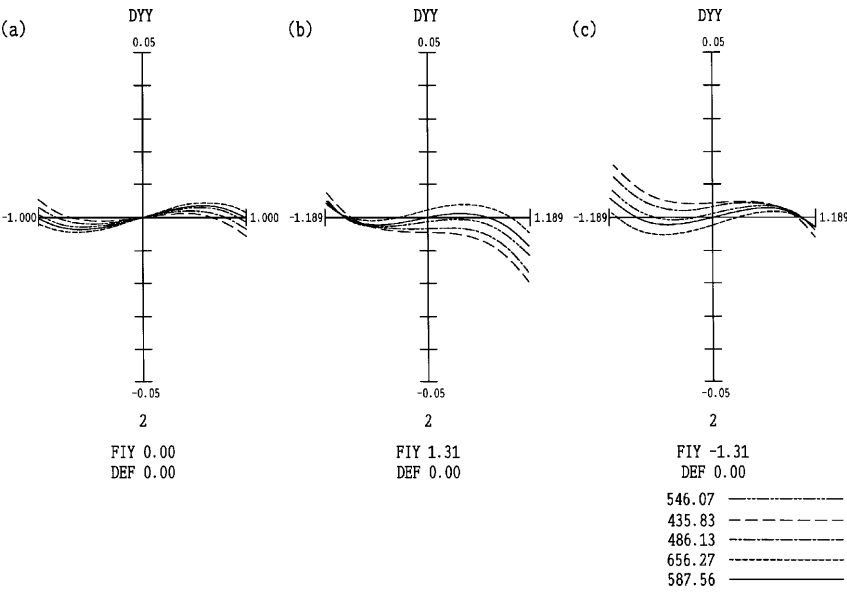
【図21】



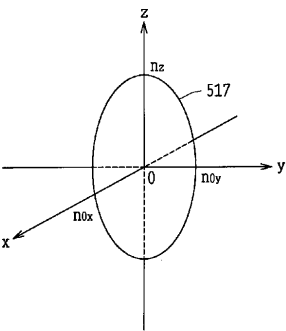
【図22】



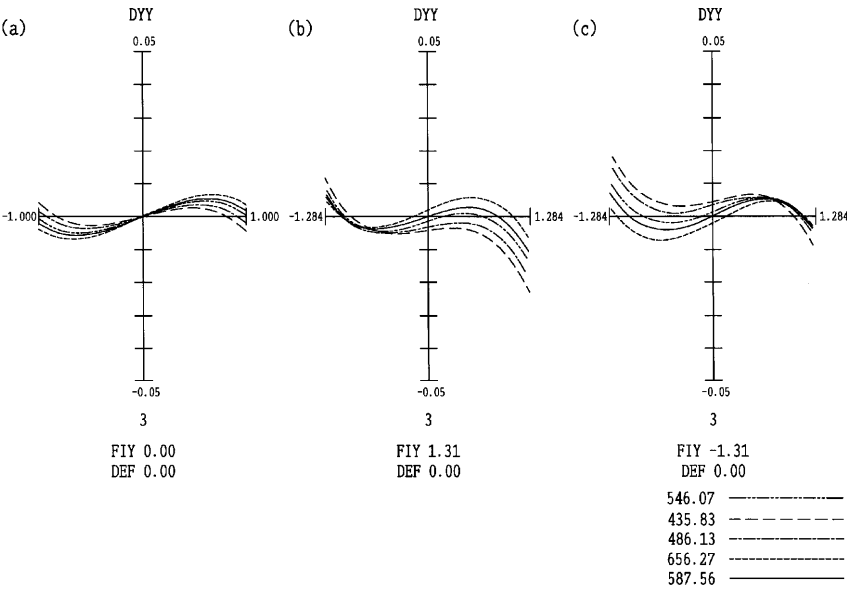
【図4】



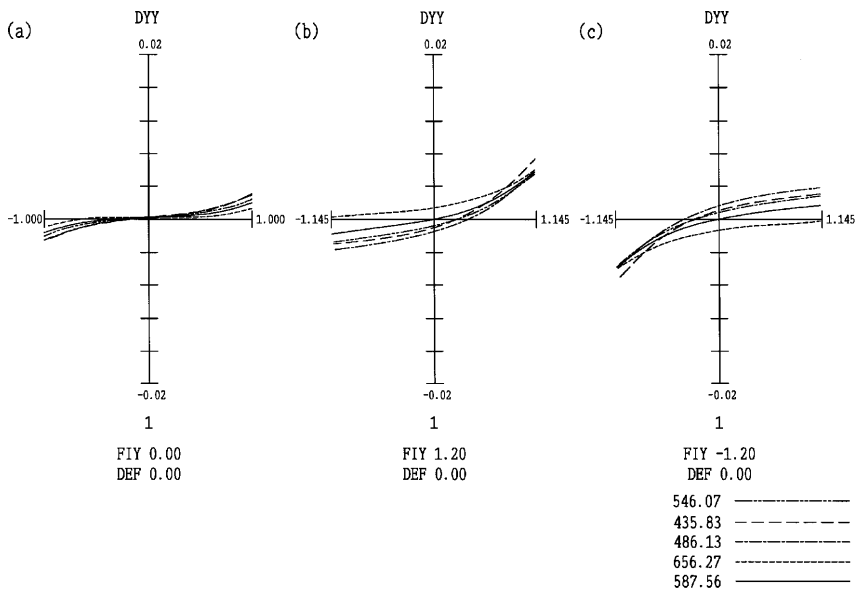
【図30】



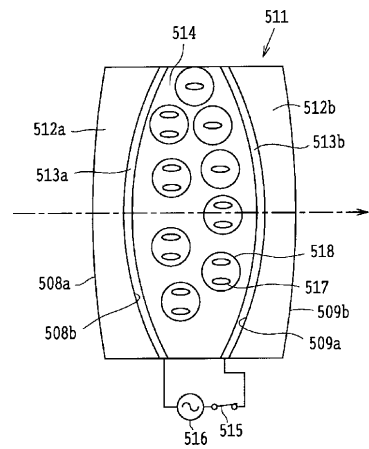
【図5】



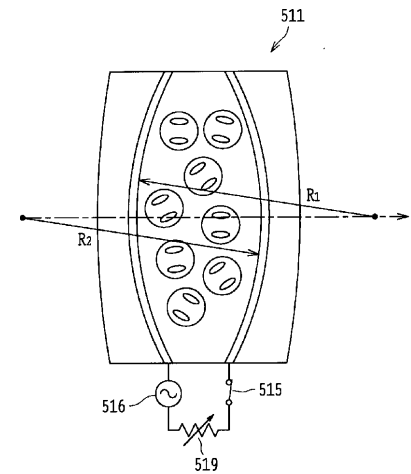
【図 7】



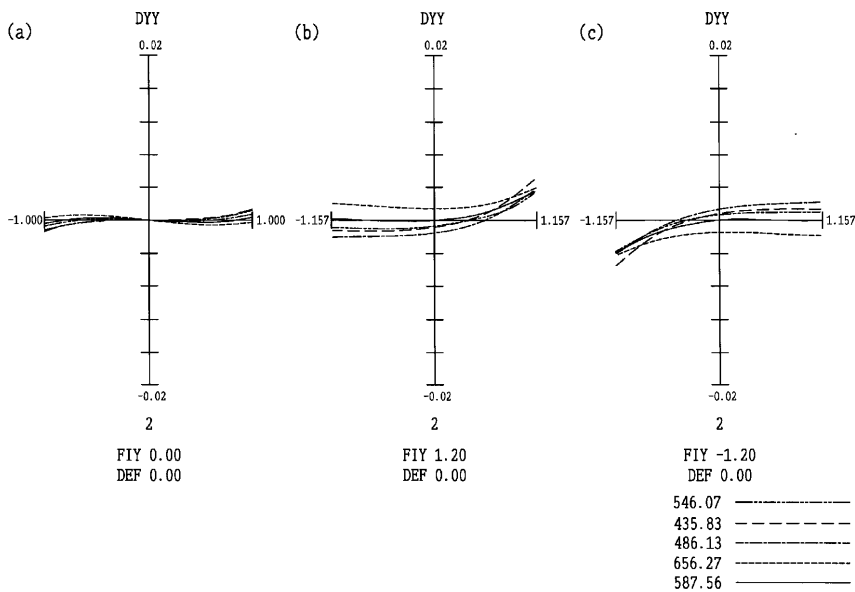
【図 3 1】



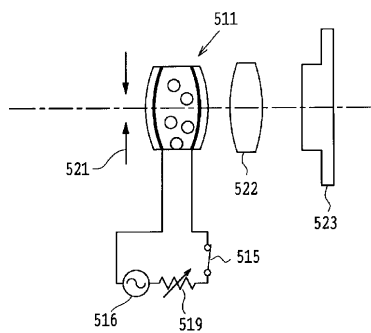
【図 3 2】



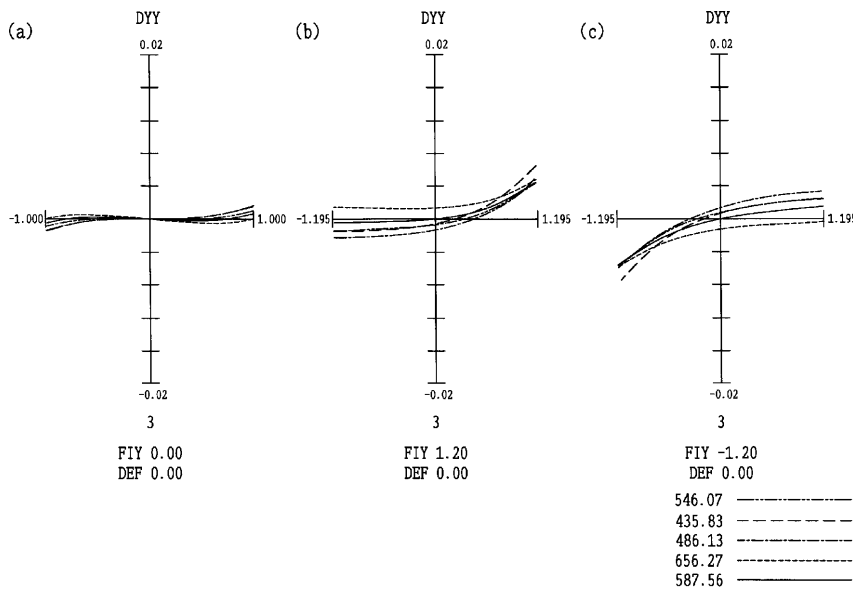
【図 8】



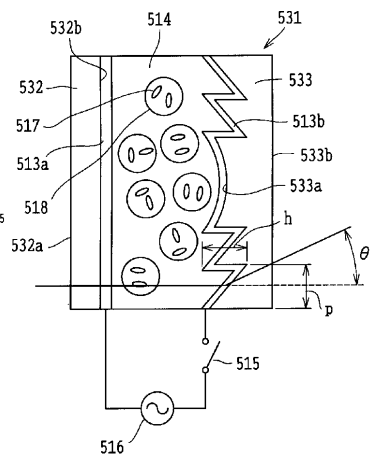
【図 3 3】



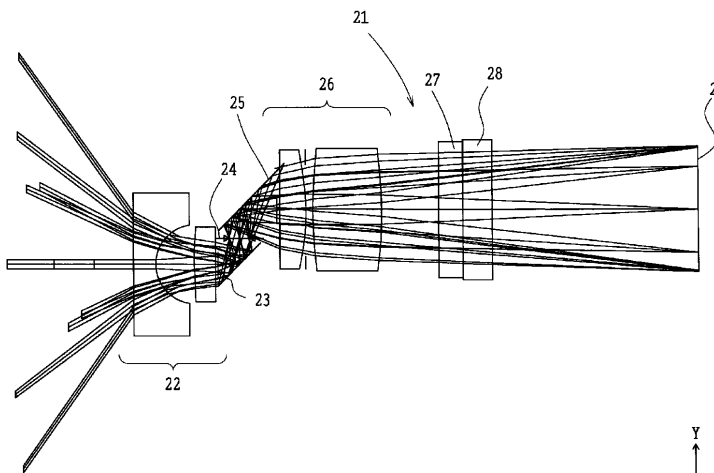
【図9】



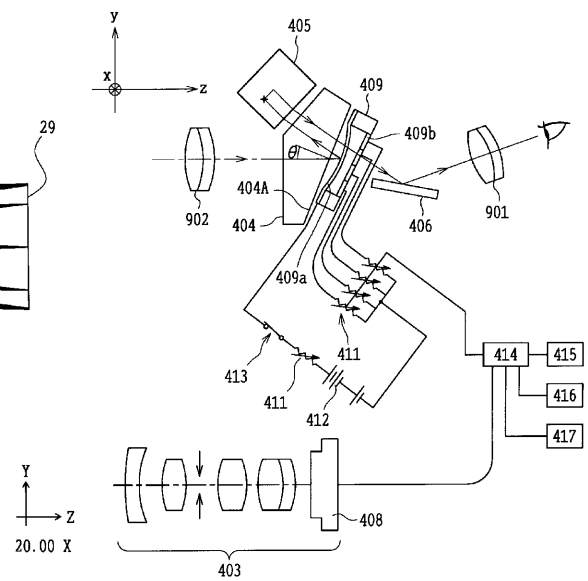
【図34】



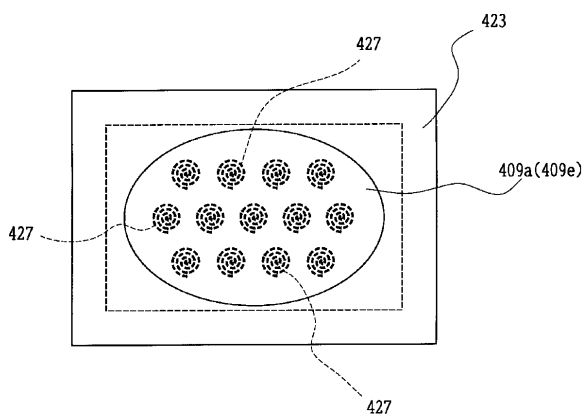
【図10】



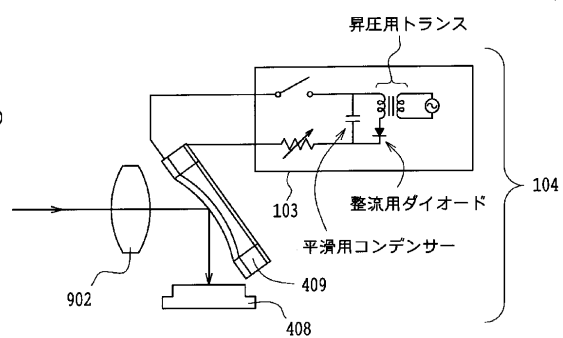
【図14】



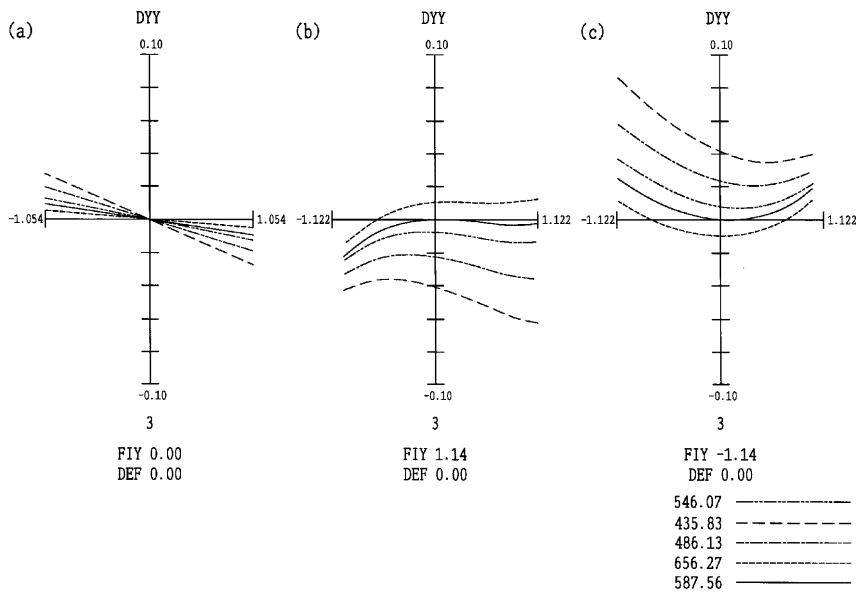
【図23】



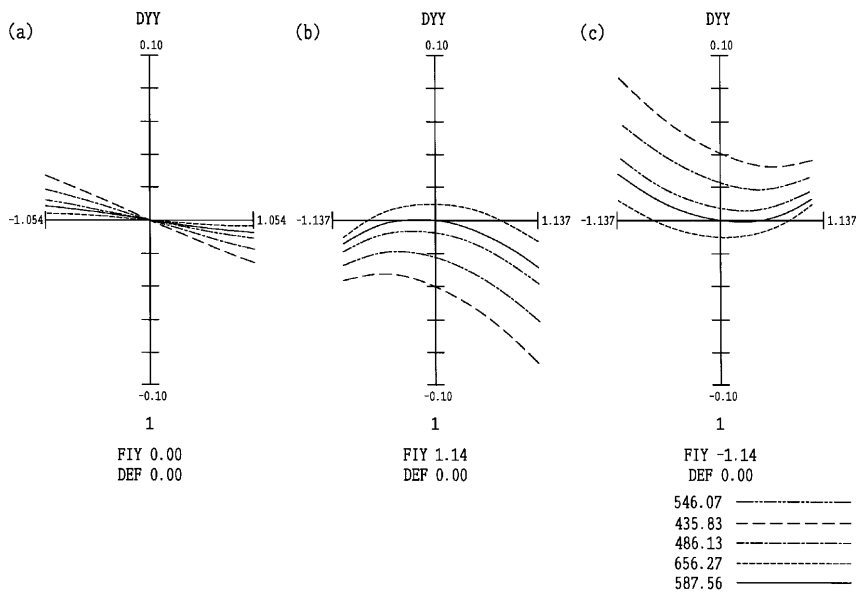
【図26】



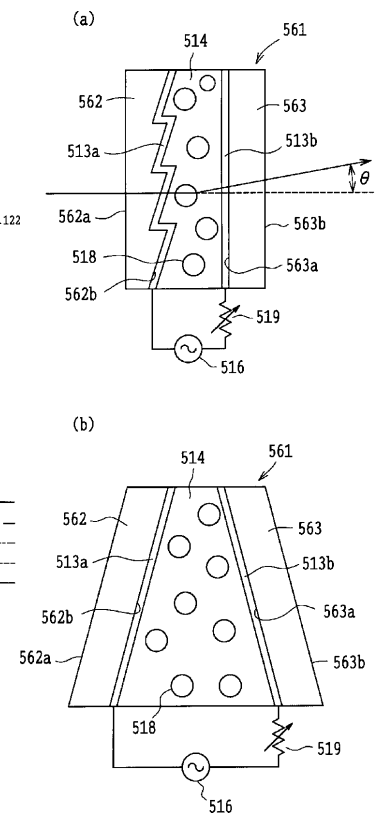
【図 11】



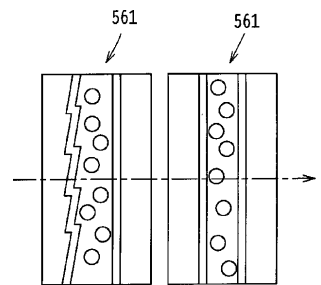
【図 12】



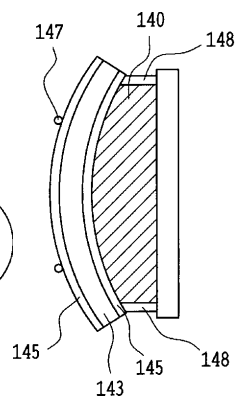
【図 37】



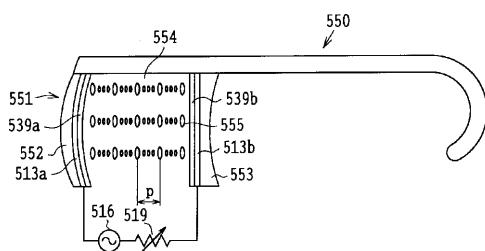
【図 38】



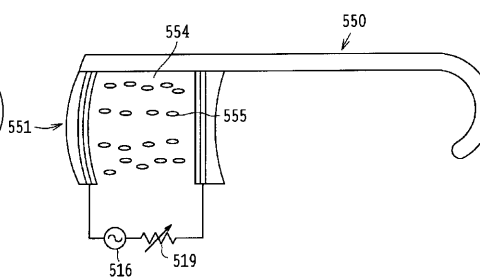
【図 41】



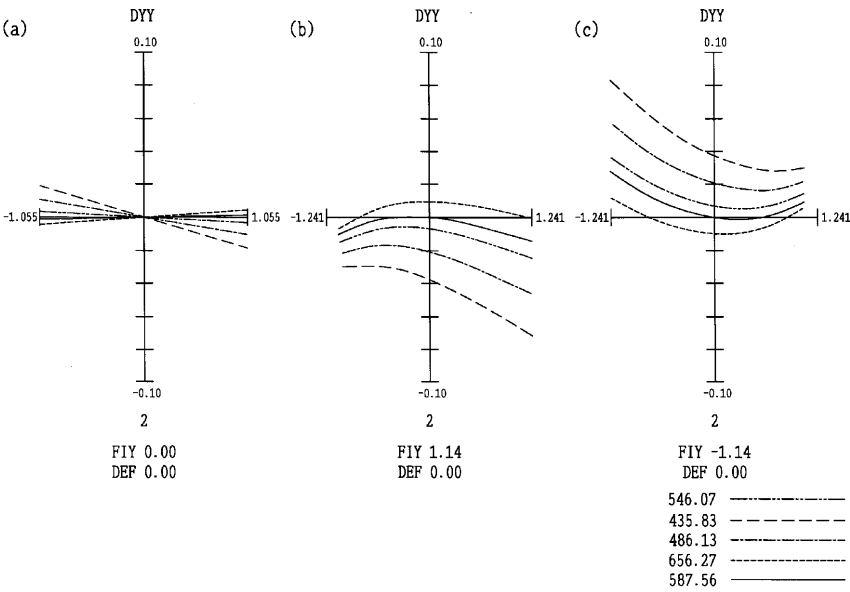
【図 35】



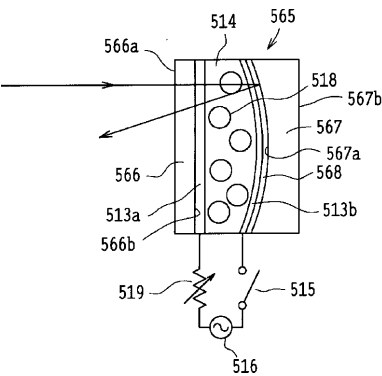
【図 36】



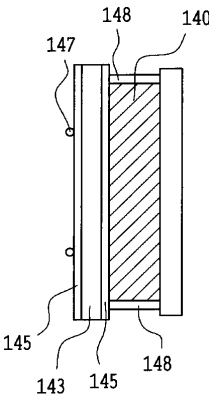
【図 13】



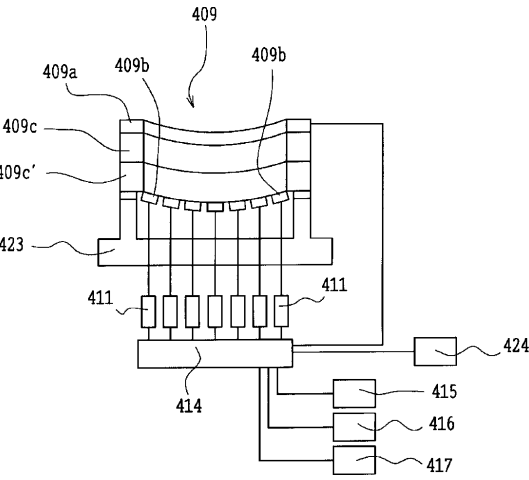
【図 39】



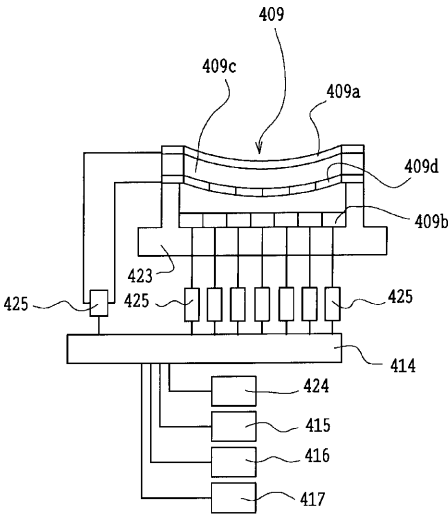
【図 42】



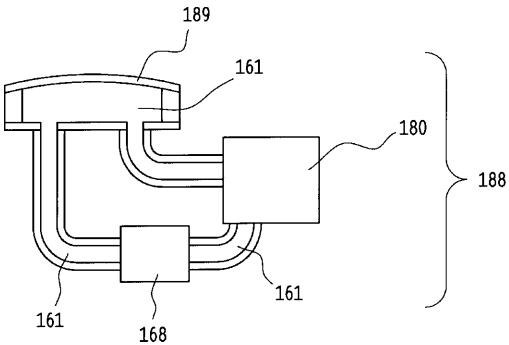
【図 18】



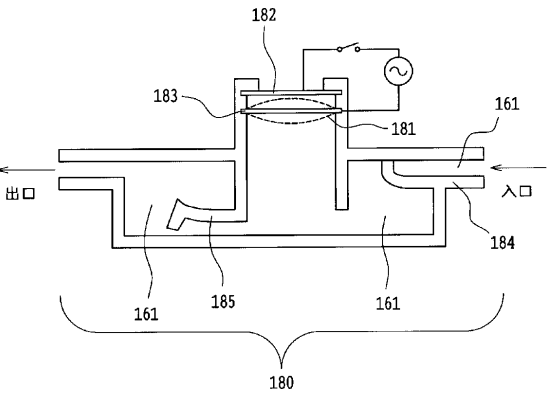
【図 19】



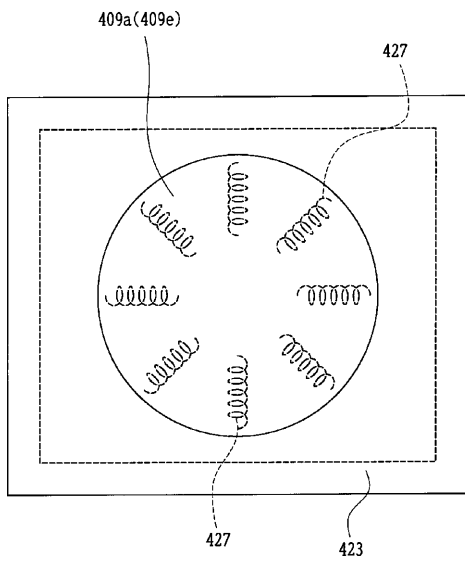
【図 27】



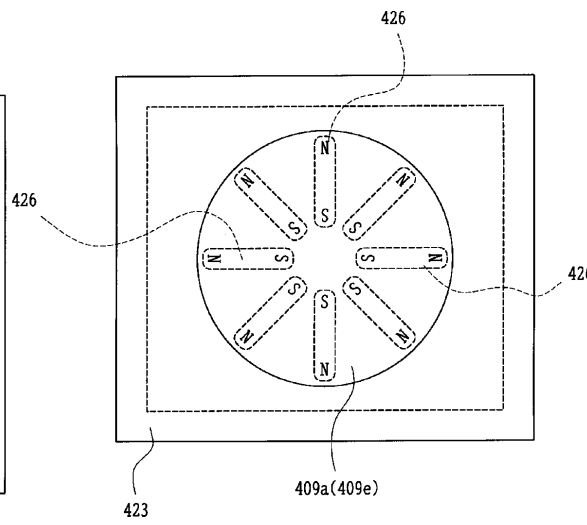
【図 28】



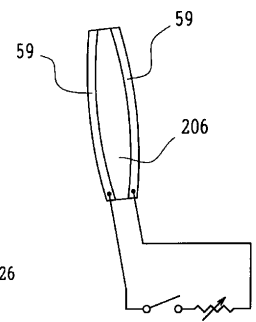
【図24】



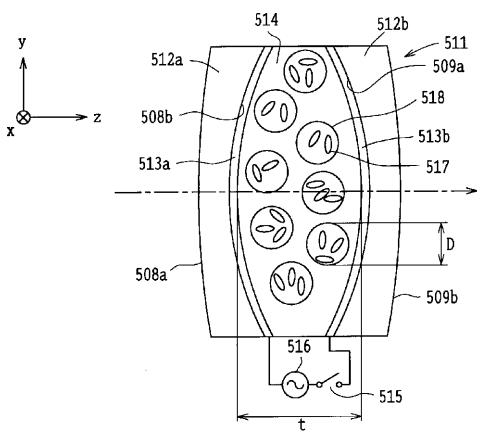
【図25】



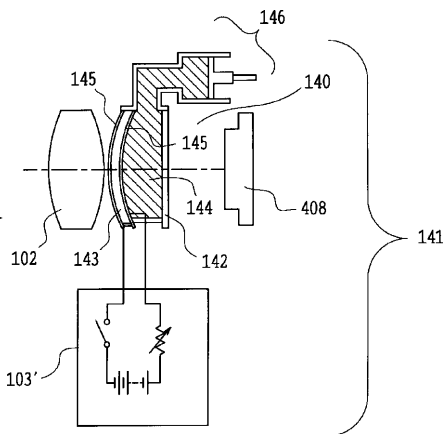
【図48】



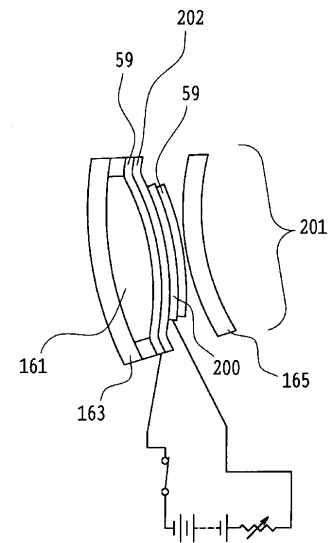
【図29】



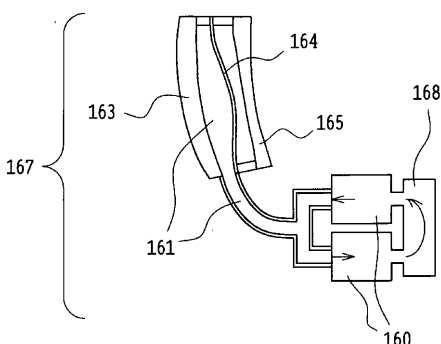
【図40】



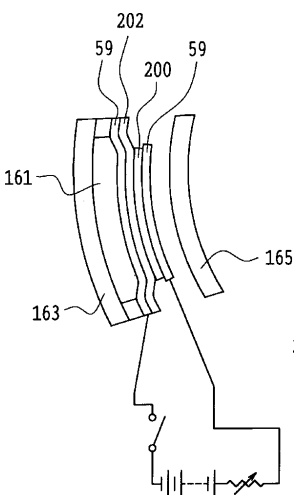
【図44】



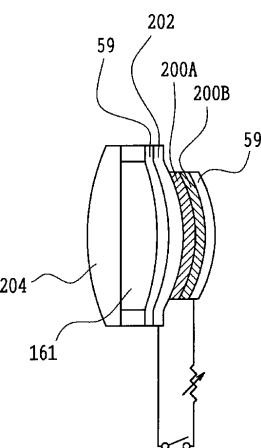
【図43】



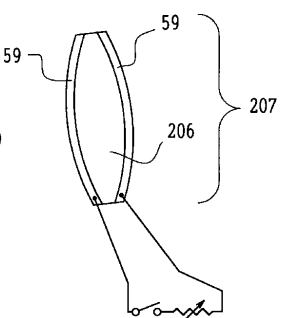
【図45】



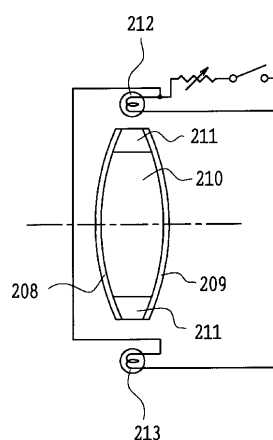
【図46】



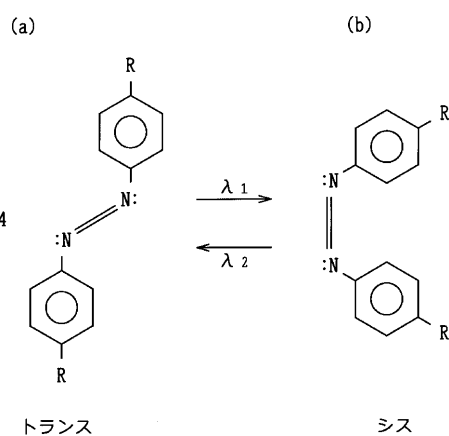
【図47】



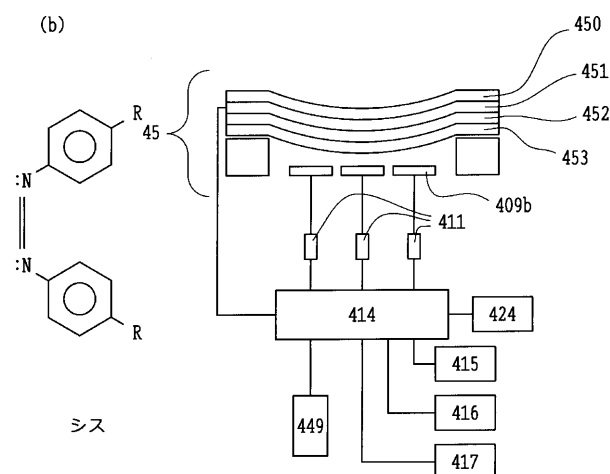
【図49】



【図50】



【図51】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

G 0 2 B 7/08

識別記号

F I

G 0 2 B 7/08

テ-マ-コ-ト' (参考)

A 2 H 0 4 9

B 2 H 0 5 1

C 2 H 0 8 7

4 C 0 6 1

A 5 C 0 2 2

D

B

Z

N

A

7/182

13/18

7/198

23/26

7/28

H 0 4 N 5/225

13/18

G 0 2 B 7/18

23/26

7/11

G 0 3 B 13/36

G 0 3 B 3/00

H 0 4 N 5/225

F タ-ム(参考) 2H011 AA03 CA11 CA21

2H040 BA05 CA22

2H042 DA02 DA20 DD11 DD13 DE00

2H043 BB05 BC01 CA10 CB01 CD04

CE00

2H044 DA01 DB00 DC02 DD00

2H049 AA04 AA18 AA43 AA55 AA61

2H051 AA00 DB01 FA01 GB01

2H087 KA02 KA03 KA14 MA00 RA06

RA46 TA01 TA03 TA04 TA06

TA08 UA09

4C061 CC06 FF40 FF47 LL02 NN01

PP13

5C022 AB21 AC54 AC69

专利名称(译)	摄像光学系		
公开(公告)号	JP2003107355A	公开(公告)日	2003-04-09
申请号	JP2001296879	申请日	2001-09-27
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパス光学工業株式会社		
[标]发明人	金野光次郎 関山健太郎		
发明人	金野 光次郎 関山 健太郎		
IPC分类号	G03B13/36 A61B1/00 G02B1/08 G02B3/14 G02B5/10 G02B5/18 G02B7/08 G02B7/182 G02B7/198 G02B7/28 G02B13/00 G02B13/04 G02B13/18 G02B17/08 G02B23/14 G02B23/26 G02B26/08 G02B27/64 H04N5/225		
CPC分类号	G02B3/14 G02B13/0065 G02B13/0075 G02B13/04 G02B23/14 G02B26/0825 G02B27/646		
FI分类号	G02B17/08.A A61B1/00.300.Y G02B1/08 G02B5/10.B G02B5/18 G02B7/08.A G02B7/08.B G02B7/08.C G02B13/18 G02B23/26.A H04N5/225.D G02B7/18.B G02B7/18.Z G02B7/11.N G03B3/00.A A61B1/00.731 A61B1/00.735 G02B7/182 G02B7/198 G02B7/28.N G03B13/36 H04N5/225 H04N5/225.400		
F-TERM分类号	2H011/AA03 2H011/CA11 2H011/CA21 2H040/BA05 2H040/CA22 2H042/DA02 2H042/DA20 2H042/DD11 2H042/DD13 2H042/DE00 2H043/BB05 2H043/BC01 2H043/CA10 2H043/CB01 2H043/CD04 2H043/CE00 2H044/DA01 2H044/DB00 2H044/DC02 2H044/DD00 2H049/AA04 2H049/AA18 2H049/AA43 2H049/AA55 2H049/AA61 2H051/AA00 2H051/DB01 2H051/FA01 2H051/GB01 2H087/KA02 2H087/KA03 2H087/KA14 2H087/MA00 2H087/RA06 2H087/RA46 2H087/TA01 2H087/TA03 2H087/TA04 2H087/TA06 2H087/TA08 2H087/UA09 4C061/CC06 4C061/FF40 4C061/FF47 4C061/LL02 4C061/NN01 4C061/PP13 5C022/AB21 5C022/AC54 5C022/AC69 2H151/AA00 2H151/DB01 2H151/FA01 2H151/GB01 2H249/AA04 2H249/AA18 2H249/AA43 2H249/AA55 2H249/AA61 4C161/CC06 4C161/DD07 4C161/FF14 4C161/FF40 4C161/FF47 4C161/LL02 4C161/NN01 4C161/PP13 5C122/DA09 5C122/DA11 5C122/DA14 5C122/DA18 5C122/DA26 5C122/DA27 5C122/EA54 5C122/FB02 5C122/FB14 5C122/FD06 5C122/FK07 5C122/HA80 5C122/HA81 5C122/HA82 5C122/HB09 5C122/HB10		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种图像拾取光学系统，尽管其外径小且尺寸小，但其能够聚焦在诸如内窥镜，监视摄像机，小型数字照相机等小型光学系统中。 解决方案：从物方开始，依次提供了一个凹透镜2作为一个第一透镜，一个可变形镜3，一个孔径光阑4，一个由多个透镜组成的凸透镜组5和一个可变形镜6。通过使用满足以下条件表达式的可变形镜3和6进行聚焦。 $60^\circ < 2\omega < 175^\circ$ 但是， ω 是入射在光学系统上的光束的水平半视角。可变形镜3和6在特定状态下具有自由表面形状。

