



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 2 つの光学素子群を有し、少なくとも 3 つの光学素子群を動かすことにより変倍を行うことを特徴とする光学系。

## 【請求項 2】

光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 2 つの光学素子群を有し、光学特性可変光学素子を含む群と少なくとも前記 2 つの光学素子群を動かすことにより変倍を行うことを特徴とする光学系。

## 【請求項 3】

光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 3 つの光学素子群を有し、光学特性可変光学素子を含め光学素子群のうち少なくとも 3 つを動かすことにより変倍を行うことを特徴とする光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、可変ミラー、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、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、デジタルカメラ、テレビカメラ、内視鏡、眼鏡、ビデオプロジェクター、望遠鏡、カメラのファインダー、携帯電話の撮像装置（携帯電話のデジタルカメラ、携帯電話のテレビカメラ）、光情報処理装置、光インターコネクション装置等の各種光学装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

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。そのために、例えばカメラのピント合わせあるいは変倍の行なうにはレンズ群を光軸方向に移動させる必要があり、機械的構造が複雑になっている。

そして、モータ、ソレノイド等を用いてレンズ群の一部を移動させていたため、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】

これらの課題を解決するために、例えば、次の特許文献 1 ～ 11 に可変ミラーを用いたレンズが、提案されている。

【特許文献 1】特開 2000 - 298237 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 189173 号公報

【特許文献 3】特開 2002 - 233006 号公報

【特許文献 4】特開 2003 - 98435 号公報

【特許文献 5】特開 2002 - 233007 号公報

【特許文献 6】特開 2003 - 233008 号公報

【特許文献 7】特開 2003 - 29150 号公報

【特許文献 8】特開 2003 - 302578 号公報

【特許文献 9】特開 2003 - 77921 号公報

【特許文献 10】特開 2003 - 102219 号公報

【特許文献 11】特開 2004 - 109694 号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

10

20

30

40

50

しかし、特許文献 1 ~ 11 に記載の可変ミラーを用いたレンズでは、変倍光学系として構成した場合、変倍比が小さい、可変ミラーの変形に伴う収差変動が残る、具体性に欠ける、光線高が高く、レンズが大きい、機械構造が複雑である、製造しにくい等の欠点があった。

#### 【0005】

本発明は例えばこれらの問題点に鑑みてなされたものであり、変倍比が大きく、結像性能が良く、消費電力が小さく、音が静かで、応答時間が短く、小型で、機械的構造が簡単でコストダウンに寄与する可変ミラー、可変焦点レンズ等の光学特性可変光学素子を含む光学系及びそれを備えた光学装置等を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

10

#### 【0006】

上記目的を達成するため、本発明による光学系は、光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 2 つの光学素子群を有し、少なくとも 3 つの光学素子群を動かすことにより変倍を行なうことを特徴としている。

#### 【0007】

また、本発明による光学系は、光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 2 つの光学素子群を有し、光学特性可変光学素子を含む群と少なくとも前記 2 つの光学素子群を動かすことにより変倍を行なうことを特徴としている。

#### 【0008】

また、本発明による光学系は、光学特性可変光学素子を含む光学素子群と少なくとも 3 つの光学素子群を有し、光学特性可変光学素子を含め光学素子群のうち少なくとも 3 つを動かすことにより変倍を行なうことを特徴としている。

20

なお、光学素子群とは少なくとも 1 つ以上の光学素子群を含む群のことである。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、変倍比が大きく、結像性能が良く、消費電力が小さく、音が静かで、応答時間が短く、小型で、機械的構造が簡単でコストダウンに寄与する可変ミラー、可変焦点レンズ等の光学特性可変光学素子を含む光学系及びそれを備えた光学装置が得られる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

30

#### 【0010】

以下、本発明の実施の形態を図面を用いて説明する。

図 1 は本発明の一実施形態にかかる可変ミラー 409 を用いたズーム撮像光学系の概略構成図である。

本実施形態のズーム撮像光学系 809 は、物体側から順に、凹レンズ 801 と、ミラー 802 と、反射型の光学特性可変光学素子としての可変ミラー 409 と、レンズ系 803 と、撮像素子 408 とで構成されている。

凹レンズ 801、レンズ系 803 は、回転対称な光学面を備えて構成されている。

本実施形態のズーム撮像光学系 809 では、物体側から入射した光軸 800 上の光（つまり軸上主光線）は、凹レンズ 801 を経てミラー 802 で だけ偏向されて可変ミラー 409 に入射する。

40

可変ミラー 409 によって光軸 800 は だけ偏向されて後群のレンズ系 803 へ入射する。

レンズ系 803 は、レンズ群 804 と、レンズ群 805 と、レンズ群 806 と、レンズ群 807 と、フィルター群 808 とで構成され、レンズ群 804 と、レンズ群 805 と、レンズ群 806 が、独立して光軸方向（つまり、図の左右方向）に移動可能であり、これにより変倍（ズームング）が行われるようになっている。また、光軸は、可変ミラー 409 とミラー 802 の 2 つの反射面により折り曲げられ交叉している。

なお、ミラー 802 は、可変ミラーで構成してもよい。

810 は明るさ絞りである。

50

このようにレンズ群 804, 805, 806 を動かす構造にすることによって、凹レンズ 801, ミラー 802, 可変ミラー 409 が 1 つのブロックとなる。これにより、後半のレンズ群 804, 805, 806 は可動群となるので機械的な構造が簡単になり、鏡枠の機械設計が容易になる、組立、調整がしやすい、等のメリットがある。

また、光学的には 3 つのレンズ群を動かすことで、変倍を行なうので光学的な自由度が増え、変倍比（ズーム比）を大きくとることができる、収差が良好に補正できる、等のメリットがある。

3 つのレンズ群としては、凹レンズ 801, ミラー 802, 可変ミラー 409 を 1 つの群と考え、これを動かし、かつ他に少なくとも 2 つの群を動かすことで変倍を行っても同様のメリットが得られる。要するに少なくとも 3 つの光学素子群を動かして変倍を行えば、光学系の自由度が増え、変倍比の大きい、結像性能の良い光学系が得られるのである。

なお、本願で光学素子群とは 1 つ以上の光学素子を含むものを言うことにする。従ってレンズ 1 枚でも光学素子群である。

またレンズ群 804 を正レンズ群、レンズ群 805 を負レンズ群とすることによりレンズ系 803 での光線高が下がり、鏡胴全体を小さく、細くするメリットがある。

レンズ群 806 は正レンズ群で変倍に寄与する。レンズ群 806 の最も像側のレンズは凹レンズであり、レンズ群 806 の主点を前方に出すことで、変倍時のレンズの衝突を防ぐ。

レンズ群 807 は正パワーのレンズ群で、それより前方の光学系による像を縮小結像し、収差を小さくする効果がある。

なお、レンズ群は光学素子群の一例である。

凹レンズ 801 は凹パワーのレンズ群で画角を広げる効果がある。広角状態ではズーム撮像光学系 809 全体はレトロフォーカスタイプのレンズ系となっている。

#### 【0011】

また、ズーム撮像光学系 809 は、可変ミラー 409 の変形のみでフォーカシングが可能のように構成されている。

このように構成したので、フォーカシング時にレンズを駆動する必要がないので、消費電力が非常に小さく、動作音が静かで、機械的構造が簡単な、コンパクトかつ低コストの光学系及び光学装置を実現できる。

#### 【0012】

なお、可変ミラー 409 の反射面の形状は、自由曲面にするのがよい。自由曲面にすれば、収差補正が容易にでき有利である。

#### 【0013】

図 1 のズーム撮像光学系 809 において、可変ミラー 409 が平面から曲面に変形すると、ミラー面の反射によって偏心収差が発生し、特に、可変ミラー 409 の変形量が大きい近点合焦時に偏心収差は増大して発生するので、遠点から近点まで良好な光学性能を得るために、レンズあるいは撮像面（撮像素子 408 の表面）に、シフトあるいはティルトの偏心を加えて固定している。これにより、フォーカシング時の偏心収差の発生をバランスさせている。

#### 【0014】

また、図 1 のズーム撮像光学系 809 は、偏心収差を補正するために、少なくとも 1 つの回転対称なレンズ、あるいはレンズ群、あるいは撮像面が、Z 軸に対してシフト又はティルトの偏心をして配置されている。

このように配置すると、形状可変ミラーはそのパワーが強くなるにつれて偏心収差の残存量が増大するが、そのような場合でも、良好な光学性能を得ることが可能となる。なお、本発明の光学装置及び光学装置に適用する光学系における偏心とは、シフト及びティルトのことを指す。

#### 【0015】

可変ミラー 409 は、前記レンズ群あるいは撮像面に加えたシフト及びティルトの偏心と合わせて、フォーカシング時の収差のバランスが良くなるように、回転非対称な形状に

10

20

30

40

50

変形するように制御される。

なお、レンズ群あるいは撮像面にシフト及びティルトを加えるのではなく、可変ミラー 409 が単独で偏心収差を補正するように、可変ミラー 409 の反射面の形状あるいは偏心を変化させるようにしてもよい。

【0016】

また、図 1 のズーム撮像光学系 809 によれば、可変ミラー 409 は、フォーカシングする物体距離が近くなるにつれて正のパワーが大きくなるように構成されている。

このように構成したので、遠点から近点までの広範囲で良好にフォーカスすることができる。なお、本明細書において、パワーの符号は、収束作用を持つ場合をプラス、発散作用を持つ場合をマイナスとして定義する。つまり、形状可変ミラーでは凹面の変形量が大きいほど正のパワーを持つことになる。

【0017】

また、可変ミラー 409 は、正のパワーのみを持つことができるように構成しても良い。

このように構成すれば、機械的構造や電氣的構造が簡単になり、低コストの形状可変ミラーを提供することができる。

【0018】

なお、可変ミラー 409 は、変形により正のパワーと負のパワーの両方を持つことができるように構成してもよい。

このように構成すると、形状可変ミラーの偏心収差の発生を抑制し、且つ、良好な光学性能を得ることができる。即ち、形状可変ミラーは、パワーが増大するにつれて変形量が大きくなり、それにより偏心収差が発生し、光学性能が劣化してしまうが、形状可変ミラーが正のパワーと負のパワーの両方を持つことで変形量が抑えられて、偏心収差の発生を抑制し、且つ、良好な光学性能を得ることができる。

【0019】

また、可変ミラー 409 は、ミラー面の変形の際にミラー面を形成する薄膜の周辺部が輪帯状の部材に固定されるように構成すると良い。

そして、ミラー面の中央付近が変位するように構成するとよい。

【0020】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、少なくとも 1 つ以上の接合レンズを有するように構成されている。即ち、図 1 の実施形態の光学系 809 では、レンズ群 804、805 はそれぞれ接合レンズで構成され、レンズ群 806 は接合レンズを有している。

このように構成すれば、各レンズ群で発生する色収差を良好に補正することができ、さらに光学系のコンパクト化にも寄与することができる。

【0021】

さらに、可変ミラー 409 には、フォーカスだけでなく、手ブレ補正、製造誤差の補正、変倍等の機能を合わせて持たせても良い。

【0022】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、可変ミラーあるいは反射面による軸上主光線の折り曲げ角を  $\theta$  としたときに、光学系のある状態で次の条件式(1)を満足することが望ましい。尚、ここで言う状態とは後述する実施例に示す 12 の状態のいずれか 1 つということではなく、焦点距離やフォーカスが変化する範囲内にあ

$$10^\circ < \theta < 120^\circ \quad \dots (1)$$

条件式(1)の下限値を下回ると、折り曲げられた光束同士が干渉して、光学設計が困難になる。一方、条件式(1)の上限値を上回ると、偏心収差が大きくなり結像性能が低下する。

なお、軸上主光線とは、物体中心を出て絞り中心を通り、像中心に到達する光線のことを指す。通常、軸上主光線を光軸と呼ぶ。

## 【0023】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(1')を満足するのが好ましい。

$$20^\circ < \quad < \quad 110^\circ \quad \dots (1')$$

このように構成すれば、光学設計や結像性能に関しより良い結果が得られる。

## 【0024】

本発明の実施に適用可能であって、より高精度な用途の光学系及びそれを用いた光学装置では、ある状態で次の条件式(1'')を満足するのが好ましい。

$$30^\circ < \quad < \quad 105^\circ \quad \dots (1'')$$

このように構成すれば、光学設計や結像性能に関しさらに良い結果が得られる。

10

## 【0025】

また、図1の光学系のように複数の反射面で光軸折曲部が形成されている場合は、

$$39^\circ \quad \quad 46^\circ \quad \dots (2)$$

又は

$$39^\circ \quad \quad 46^\circ \quad \dots (3)$$

を満足するように、 $\quad$ 、 $\quad$ を選べば、機械設計的に特に有利な光学系となる。

式(2)、(3)の代わりに

$$30^\circ \quad \quad 60^\circ \quad \dots (2')$$

又は

$$30^\circ \quad \quad 60^\circ \quad \dots (3')$$

20

を満足するようにしてもかなりの効果がある。 $\quad$ 、 $\quad$ は反射面による光軸の偏向角である。

## 【0026】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、光学特性可変光学素子よりも像側のレンズ群、すなわち前記光学特性可変光学素子の直後の光学面から最終面までのレンズ群の倍率を1としたときに、ある状態で次の条件式(4)を満足することが望ましい。但し、図1のような変倍光学系の場合には1の絶対値が最も小さい状態における1の値が下記式(4)を満足すればよい。

$$0.05 < \quad | \quad 1 \quad | < 1.3 \quad \dots (4)$$

条件式(4)の下限値を下回ると、光学特性可変光学素子以降のレンズ群の倍率が低すぎるので、光学特性可変光学素子におけるフォーカス感度が低下し、フォーカシングに必要な光学特性可変光学素子の変形量、あるいは焦点距離変化量が増大してしまう。一方、条件式(4)の上限値を上回ると、レンズ群の倍率が高すぎるので光学特性可変光学素子で発生する偏心収差が拡大され、満足な光学性能を得ることが難しくなる。

30

## 【0027】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(4')を満足するのが好ましい。

$$0.1 < \quad | \quad 1 \quad | < 0.9 \quad \dots (4')$$

このように構成すれば、光学性能を確保し、且つ、光学特性可変光学素子の変形量、あるいは焦点距離変化量を適正な範囲で抑えられるので、より良い結果が得られる。

40

## 【0028】

さらに高精度な光学系では、ある状態で次の条件式(4'')を満足するのが好ましい。

$$0.17 < \quad | \quad 1 \quad | < 0.7 \quad \dots (4'')$$

このように構成すれば、さらに光学性能を確保し、且つ、光学特性可変光学素子の変形量、あるいは焦点距離変化量をより適正な範囲で抑えられるので、さらに良い結果が得られる。

さらに、

$$0.2 < \quad | \quad 1 \quad | < 0.35 \quad \dots (4''')$$

とすれば、なお一層よい。なお式(4)、(4')、(4'')、(4''')は可変焦点レンズ等、他の光学特性可変素子を用いた場合でも成り立つ。

50

## 【0029】

なお、凹レンズ801、レンズ群804、805、806の鏡枠を沈胴式（スライド式）にすれば、撮像光学系を利用しない時に全長を小さくすることができ便利である。

図1の例で、反射型の光学特性可変素子の枠または固定部又は非可動部又は非変形部と結像面の位置関係が固定されるようにすると、光学系が製作し易くて良い。

また、図1の例では、結像面と最も物体側の光学素子の位置関係が固定されている。このようにすると、光学装置が強固になるので良い。

なお、いずれかの光学素子の位置関係が結像素子に対して固定されていても同様の効果がある。

## 【0030】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、光学特性可変素子の物体側にレンズ群を有し、該レンズ群の焦点距離を  $f_1$ 、光学系の焦点距離を  $f$  としたときに、ある状態で、次の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$-10.0 < f_1 / f < -0.15 \quad \dots (5)$$

このように構成すれば、形状可変ミラーの小型化、低コスト化、及び良好な光学性能を得ることができる。即ち、条件式(5)の下限値を下回ると、レンズ群の負パワーが非常に弱くなり、広角端における形状可変ミラーの軸外光線高を小さくすることができず、形状可変ミラーの大型化につながり、コスト高を招く。一方、条件式(5)の上限値を上回ると、レンズ群の負パワーが強くなりすぎ、そのレンズ群で発生するコマ収差や倍率の色収差を補正することが困難になる。

## 【0031】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(5')を満足するのが好ましい。

$$-4.5 < f_1 / f < -0.4 \quad \dots (5')$$

このように構成すれば、良好な光学性能を確保し、且つ、さらに形状可変ミラーの小型化を実現できる。

## 【0032】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの最大変形量を  $m_d$ 、光学系の焦点距離を  $f$  としたときに、ある状態で次の条件式(6)を満足することを特徴としている。

$$0 < |m_d / f| < 0.3 \quad \dots (6)$$

但し、本発明では、光学系の焦点距離  $f$  は、形状可変ミラーの反射面が平面形状である場合における光学系の焦点距離として定義する。

このように構成すれば、形状可変ミラーの変形量を適正な範囲に抑えることができる。即ち、上記条件式(6)の上限値を上回ると、形状可変ミラーの変形量が大きくなりすぎて偏心収差の発生量が増大し、所望の光学性能を満足することが難しくなる。さらに、製造上の難易度が高くなる。

## 【0033】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(6')を満足するのが好ましい。

$$0 < |m_d / f| < 0.1 \quad \dots (6')$$

このように構成すれば、さらに偏心収差の発生量を抑えることができる。

## 【0034】

さらに、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(6'')を満足するのが好ましい。

$$0 < |m_d / f| < 0.03 \quad \dots (6'')$$

このように構成すれば、さらに良好に偏心収差の発生量を抑えることができる。

## 【0035】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの最大変形量を  $m_d$ 、形状可変ミラーにおける光学的に有効な反射面の面積を  $S_m$  とした

10

20

30

40

50

ときに、ある状態で次の条件式(7)を満足することを特徴としている。

$$0 < m d^2 / S m < 5.0 \times 10^{-4} \quad \dots (7)$$

このように構成すれば、形状可変ミラーの変形量を適正な範囲に抑えることができる。

【0036】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(7')を満足するのが好ましい。

$$0 < m d^2 / S m < 1.0 \times 10^{-4} \quad \dots (7')$$

このように構成すれば、さらに良好に形状可変ミラーの変形量を適正範囲に抑えることができる。

【0037】

また、本発明の実施に適用可能な可変ミラーを含んだ光学系は、可変ミラーの駆動方式が電圧駆動方式(例えば、静電駆動、圧電効果の利用など)の場合は、可変ミラーの焦点距離を変える時に可変ミラーに印加する電圧を  $V_m$  (V o l t) としたときに、ある状態で次の条件式(8)を満足することが望ましい。

$$0 < |V_m| < 500 \quad \dots (8)$$

このように構成すれば、空気放電の危険性を低減させ、且つ、形状可変ミラーの変形量を大きくすることができる。

【0038】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、可変ミラーによって焦点距離を変える際に、可変ミラーの駆動方式が電圧駆動方式の場合は、可変ミラーに印加する電圧を  $V_m$  (V o l t) としたときに、ある状態で次の条件式(8')を満足するのが好ましい。

$$0 < |V_m| < 300 \quad \dots (8')$$

このように構成すれば、消費電力を低減させることができるので、さらに良い光学系及び光学装置を提供できる。

【0039】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの  $x$ 、 $y$  方向平均のパワーに比例する量を  $DM$ 、光学系の焦点距離を  $f$  としたときに、ある状態で次の条件式(9)を満足することが望ましい。

$$0 < |DM \times f| < 1.00 \quad \dots (9)$$

但し、前記形状可変ミラーのパワーに比例する量  $DM$  は、前記形状可変ミラーの偏心方向( $Y$  方向)面内でのパワーに比例する量  $DM_y$  と、それと直交する方向( $X$  方向)面内でのパワーに比例する量  $DM_x$  との平均値であり、 $DM = (DM_x + DM_y) / 2$  と定義される。なお、本願では、後述するパワー成分である  $C_4$ 、 $C_6$  を用いて、 $DM_x = C_4$ 、 $DM_y = C_6$  で定義される。

このように構成すれば、形状可変ミラーのフォーカシング作用を満足に得ることができ、さらに形状可変ミラーで発生する偏心収差を適正な範囲で抑えることができる。

【0040】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(9')を満足するのが好ましい。

$$0 < |DM \times f| < 0.50 \quad \dots (9')$$

このように構成すれば、さらに形状可変ミラーで発生する偏心収差を抑えることができる。

【0041】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(9'')を満足するのが好ましい。

$$0 < |DM \times f| < 0.10 \quad \dots (9'')$$

このように構成すれば、さらに良好に形状可変ミラーで発生する偏心収差を抑えることができる。

【0042】

10

20

30

40

50



また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、前記可変ミラーによって遠点にフォーカシングした際に、可変ミラーが、フォーカシングした状態のパワーよりもさらに小さいパワーの状態に変形できることが望ましい。

このように構成すれば、コントラスト方式のオートフォーカスを行なうことが可能になる。即ち、可変ミラーが遠点合焦時よりも小さいパワーになることで、合焦位置検出時の遠点における像のボケ具合を調節することができる。

【0043】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、前記可変ミラーによって近点にフォーカシングした際に、可変ミラーが、フォーカシングした状態のパワーよりもさらに大きいパワーの状態に変形できることが望ましい。

10

このように構成すれば、コントラスト方式のオートフォーカスを行なうことが可能になる。即ち、可変ミラーが近点合焦時よりも大きいパワーになることで、合焦位置検出時の近点における像のボケ具合を調節することができる。

【0044】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、前記可変ミラーによって物体距離が無限大の物点にフォーカシングした際に、可変ミラーの形状が平面ではなく、ゼロよりも大きなパワーを持つ凹面形状に変形することが望ましい。

【0045】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群が、1枚の凹レンズで構成されていることが望ましい。

20

このように構成すれば、可変ミラーから物体側のレンズが1枚だけとなるので、コンパクトで薄型の光学系を実現することができる。

またこの負パワーのレンズ群は像側の面の曲率半径の絶対値の方が物体側の曲率半径の絶対値より小さい非球面のレンズとすることが望ましい。

このようにすることで歪曲収差とコマ収差を良好に補正することができる。

【0046】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、光学系の全長を  $C_j$ 、光学系の焦点距離を  $f$  としたときに、ある状態で次の条件式(10)を満足することが望ましい。

30

$$1.0 < C_j / f < 60.0 \quad \dots (10)$$

条件式(10)の上限値を上回ると、光学系の全長が長くなりすぎ、コンパクト化が困難になる。一方、条件式(10)の下限値を下回ると、コンパクト化は達成できるが、レンズ群の配置が制限され、十分な光学性能を得ることができない。

なお、 $C_j$  は折り曲げられた光軸を伸ばして計った最も物体側の光学素子から結像面までの距離である。尚、本発明の光学系はLCD等のディスプレイに現れた像を投影表示するための表示装置にも使用できるが、表示装置の場合は表示素子から最も像寄りの光学素子面までの距離である。

表示装置の場合は表示素子から最も像寄りの光学素子面までの距離である。

【0047】

40

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(10')を満足するのが好ましい。

$$3.0 < C_j / f < 40.0 \quad \dots (10')$$

このように構成すれば、コンパクトな光学系でありながら、より高い光学性能を得ることができる。

【0048】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(10'')を満足するのが好ましい。

$$5.0 < C_j / f < 23.0 \quad \dots (10'')$$

このように構成すれば、コンパクトな光学系でありながら、さらに良い光学性能を得る

50

ことができる。

【0049】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも1つのレンズにシフトを加え、そのシフト量を、光学系の焦点距離を  $f$  としたときに、ある状態で次の条件式(11)を満足することが望ましい。

$$0 \leq | \Delta y / f | < 1.00 \quad \dots (11)$$

このように構成すれば、レンズに加える偏心量を適正な範囲で抑えることができ、可変ミラーのパワーが弱い場合と強い場合の光学性能のバランスを取ることができる。ここでのシフト量  $\Delta y$  とは、シフトを加えたレンズの中心軸と光学系のZ軸との距離として定義される量である。

10

【0050】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(11')を満足するのが好ましい。

$$0 \leq | \Delta y / f | < 0.50 \quad \dots (11')$$

このように構成すれば、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらに良くすることができる。

【0051】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(11'')を満足するのが好ましい。

$$0 \leq | \Delta y / f | < 0.25 \quad \dots (11'')$$

このように構成すれば、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらにより一層良くすることができる。

20

【0052】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも1つのレンズあるいは撮像面にティルトを加え、そのティルト量を  $\theta$  としたときに、ある状態で次の条件式(12)を満足することが望ましい。

$$0^\circ \leq \theta < 20^\circ \quad \dots (12)$$

このように構成すれば、レンズに加える偏心量を適正な範囲で抑えることができ、形状可変ミラーのパワーが弱い場合と強い場合の光学性能のバランスを取ることができる。なお、ティルト量  $\theta$  とは、ティルトを加えたレンズあるいは撮像面の中心軸と光学系のZ軸との傾き角として定義される量である。

30

【0053】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(12')を満足するのが好ましい。

$$0^\circ \leq \theta < 10^\circ \quad \dots (12')$$

このように構成すれば、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらに良くすることができる。

【0054】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、ある状態で次の条件式(12'')を満足するのが好ましい。

$$0^\circ \leq \theta < 5.5^\circ \quad \dots (12'')$$

このように構成すれば、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらにより一層良くすることができる。

40

【0055】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、それぞれのレンズあるいは撮像面に加えたティルト量の絶対値の中で、撮像面のティルト量の絶対値が最大となるようにすることが望ましい。

【0056】

50

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、撮像面に加えたティルトの方向が、可変ミラーと平行に近づく方向であることが望ましい。

【0057】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの変形によって発生する偏心収差を補正するために少なくとも1つのレンズあるいは撮像面にシフト及びティルトを加えた光学系において、それぞれのシフトがある一つの平面内で行われ、かつ、ティルトの回転軸がその平面に垂直であることが望ましい。

【0058】

また、本発明の実施に適用可能な光学系及びそれを用いた光学装置は、明るさ絞りが可変ミラーよりも像側に配置されていることが望ましい。

10

【0059】

また、本発明の光学系及びそれを用いた光学系は、可変ミラーより後方に凹レンズを1枚以上有するのが望ましい。

このように構成すれば、軸上の色収差、倍率の色収差を良好に補正することができる。

また、可変ミラーより後方の凹レンズの枚数を2枚あるいは3枚以上とすれば、なお良い。

変倍のために移動する凹パワーのレンズ群の焦点距離を  $f_3$  とすると

$$|f_3 / f| > 1.0 \quad \dots (13)$$

をある状態で満たすことが望ましい。

$|f_3 / f|$  の値が式(13)の下限を下回ると変倍のために移動する凹パワーのレンズ群の凹作用が強くなりすぎ、製造誤差で光学系の結像性能が低下しやすくなる。

20

ある状態で

$$|f_3 / f| > 3.0 \quad \dots (13')$$

を満たせばなお良い。

また、可変ミラーより物体側に負のパワーを持つ光学素子群を設け、その物体側面の曲率半径を  $R_1$  とする時、ある状態で

$$|R_1 / f| > 1.0 \quad \dots (14)$$

を満たすことが望ましい。

$R_1$  の値が式(14)の下限を下回ると歪曲収差、あるいはコマ収差が発生し不利である。

ある状態で次式

$$|R_1 / f| > 3.0 \quad \dots (14')$$

を満たすとなお良い。

30

【0060】

ここで、本願における座標系、面形状について定義する。

軸上主光線とは、物体中心を出て絞り中心を通り、像中心に到達する光線のことを指す。通常、軸上主光線を光軸と呼ぶ。

【0061】

次に、本発明の実施に適用可能な光学系の中の形状可変ミラーの反射面の形状、即ち、以下の式(a)で定義される自由曲面(FFS)について述べることにする。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

40

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

【0062】

ここで、上記(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

球面項中、

c : 頂点の曲率

50

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

m : 0 以上の整数

n : 0 以上の整数

である。

【 0 0 6 3 】

自由曲面項は、

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

10

20

30

但し、 $C_j$  ( $j$  は 2 以上の整数) は係数である。

【 0 0 6 4 】

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。

【 0 0 6 5 】

また、上記の回転非対称な曲面形状の面である自由曲面は、他の定義式として、Z e r n i k e 多項式により定義できる。この面の形状は以下の式 (b) により定義する。その定義式 (b) の  $Z$  軸が Z e r n i k e 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  $Z$  の高さの極座標で定義され、 $R$  は  $X - Y$  面内の  $Z$  軸からの距離、 $A$  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。

40

$$\begin{aligned} X &= R \times \cos(A) \\ Y &= R \times \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \end{aligned}$$

50

10

20

## 30

40

50

、Xシフト、Yシフト、Zシフト、ティルト、ティルト、ティルトの順である。なお、その場合と の正は、X軸、Y軸それぞれをマイナス側から見たときの反時計回り方向を、 の正はZ軸をマイナス方向から見たときの時計回り方向で定義する。

#### 【0071】

なお、実施例において、偏心はディセンタアンドリターン（以下DAR）とディセンタオンリー（以下DEO）の2種類がある。DARによる偏心では、 $k$ 面が偏心していたとき、 $k+1$ 面以降の座標系が、偏心前の $k$ 面の座標系と一致する。 $k+1$ 面の面頂位置は、偏心前の $k$ 面の面頂位置からZ軸方向に面間隔の分だけ移動した点として定義する。一方、DEOでは、 $k$ 面が偏心していたとき、 $k+1$ 面以降の座標系は、偏心後の $k$ 面の座標系と一致する。 $k+1$ 面の面頂位置は、偏心後の $k$ 面の面頂位置からZ軸方向に面間隔の分だけ移動した点として定義する。

10

#### 【0072】

また、反射面の座標系のZ軸正方向は、表面から裏面側に向かう方向になる。従って、反射面がXY多項式で表される自由曲面形状に変形している場合、パワー成分に対応する $C_4$ 、 $C_6$ が正のとき、凸面ミラーになる。つまり、負のパワーを持つミラーになる。逆に、パワー成分に対応する $C_4$ 、 $C_6$ が負のとき、凹面ミラーになる。つまり、正のパワーを持つミラーになる。

また、光線が反射面で反射された後の光学系の座標系は、反射前の座標系をX軸中心に $180^\circ$ 回転させたものとして定義する。これによって、常に光学系のZ軸正方向に沿って光線が進行することになる。

20

#### 【0073】

前記形状可変ミラーは、遠点から近点までフォーカシングするためにパワーを変えることができるが、コントラスト方式のオートフォーカスを行なうために遠点合焦時よりも弱いパワーの状態、及び近点合焦時よりも強いパワーの状態を取れるように設計されている。以下の実施例では、遠点合焦時よりも弱いパワーの状態を遠点余裕、近点合焦時よりも強いパワーの状態を近点余裕と定義している。つまり、形状可変ミラーは遠点余裕、遠点、近点、近点余裕の4状態が存在することになる。

#### 【0074】

なお、以下の実施例における形状可変ミラーは、実際の製作時の製造誤差による像面のZ方向のずれ、及び温度変化による像面のZ方向のずれを考慮して、フォーカス範囲の前後に変形量の余裕を持たせた設計になっている。

30

#### 【0075】

上記のように、形状可変ミラーにフォーカシングの機能をもたせることにより、メカ的な駆動を行わずにフォーカシングできるので、鏡枠構造が簡単になり、小型化、低コスト化を実現することができる。さらに、フォーカシング時のモータの駆動音がなくなるメリットがある。

#### 【実施例】

#### 【0076】

図3～図5は本発明の光学装置に適用可能な光学系の一実施例の概略構成を示すY-Z断面図であり、図3は広角端、図4は標準、図5は望遠端の状態を示している。

40

なお、図3～図5では便宜上、普通の平面ミラーによる光路の折り曲げを省略して示してあるが、この光学系では、図1に示した実施形態の光学系のように普通の平面ミラーで45度、可変ミラーで45度光路を折り曲げている。

また、後述するレンズデータにおいても、普通の平面ミラーを省略して示してあるが、実際には、平面ミラーは、可変ミラーの前方9mmの位置に設けられている。

また、形状可変ミラーは、遠点から近点をフォーカシングするためにパワーを変えることができるが、コントラスト方式のオートフォーカスを行なうために遠点合焦時よりも弱いパワーの状態、及び近点合焦時よりも強いパワーの状態を取ることができるよう設計されている。この実施例においては、遠点合焦時よりも弱いパワーの状態を遠点余裕、近点合焦時よりも強いパワーの状態を近点余裕と定義している。

50

つまり、この実施例における形状可変ミラーは、遠点余裕、遠点、近点、近点余裕の4状態それぞれに、変倍の広角端、中間状態、望遠端の3状態が存在するので、全部で12状態が存在することになる。

遠点余裕、遠点、近点、近点余裕の4状態では、物体距離、撮像面位置が異なる。

遠点余裕、近点余裕の状態では撮像面位置が、遠点、近点と異なるが、物理的に撮像面が移動しているのではない。

形状可変ミラーのパワーを変えるために便宜上撮像面位置の数値を変えているのである。

なお、この実施例における形状可変ミラーは、実際の製作時の製造誤差による像面のZ方向のずれ、及び温度変化による像面のZ方向のずれを考慮して、フォーカス範囲の前後に変形量の余裕を持たせた設計になっている。

また、図3～図5における形状可変ミラーは、便宜上、ミラー面のみを図示してある。

#### 【0077】

この実施例の光学系は、物体側から順に、負のパワーを有する固定レンズ群G1と、形状可変ミラーDMと、正のパワーを有する移動レンズ群G2と、絞りSと、負のパワーを有する移動レンズ群G3と、正のパワーを有する移動レンズ群G4と、正のパワーを有する固定レンズ群G5とを有して構成されている。図3～図5中、符号FLはフィルター群、Iは像面である。なお、フィルター、撮像素子のカバーガラス等も光学素子の一種である。

固定レンズ群G1は、平凹レンズL1で構成されている。移動レンズ群G2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と両凸レンズL22との接合レンズで構成されている。移動レンズ群G3は、両凹レンズL31と物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL32との接合レンズで構成されている。移動レンズ群G4は、両凸レンズL41と、両凸レンズL42と両凹レンズL43との接合レンズと、両凹レンズL44とで構成されている。固定レンズ群G5は、両凸レンズL5で構成されている。

#### 【0078】

また、この実施例の光学系は、移動レンズ群G2と移動レンズ群G3と移動レンズ群G4とが移動することで、変倍作用を持たせている。また、形状可変ミラーDMの反射面を形成する薄膜が変形することで、無限遠から近点300mmまでフォーカシングを行なうことができるようになっている。

#### 【0079】

形状可変ミラーの薄膜が平面から曲面に変形すると、ミラー面の反射によって偏心収差が発生し、特に形状可変ミラーDMの変形量が大きい至近合焦時に偏心収差は増大して発生する。このため、この実施例の光学系において遠点から近点まで良好な光学性能を得るために、レンズ群あるいは撮像面にシフト及びティルトの偏心を加えて、フォーカシング時の偏心収差の発生をバランスさせている。図5に偏心の方向を矢印で示した。図5のISは撮像素子である。

#### 【0080】

この光学系によれば、メカ的な駆動を行わずにフォーカシングできるので、鏡枠構造が簡単になり、小型化、低コスト化を実現することができる。さらに、フォーカシング時のモータの駆動音がなくなるメリットがある。

#### 【0081】

次に、この実施例の光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

#### 数値データ

焦点距離：4.4mm（広角）～13.2mm（望遠），7.6mm（標準）

開放Fナンバー：2.7（広角）～3.2（標準）～5.2（望遠）

撮像面のサイズ：4.0mm×3.0mm（X方向×Y方向）

動くレンズ間隔は（広角）-（標準）-（望遠）の順である。

物体距離：物体面間隔

像面距離：34面間隔

10

20

30

40

50

ズーム間隔：13面、16面、20面、27面の面間隔

普通の平面ミラーの（図1のミラー802の反射面に相当）データは省略してあるが、平面ミラーの位置は可変ミラーの前方9mmのところである。普通の平面ミラーによる光軸の折り曲げ角は45度である。下表では状態ごとに変化する量は、第4状態のデータを示している。

なお、非球面係数中、例えば非球面[1]の  $a -1.0641e-004$  は、 $a -1.0641 \times 10^{-4}$  とも表示され得るが、本数値データ中では、全て前者の形式で表示してある。

【0082】

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数	
物体面						10
1		0.0000	偏心(1)			
2		1.0000	偏心(2)	1.6589	49.0	
3	非球面[1]	0.0000				
4		22.3000				
5		0.0000				
6		0.0000				
7		0.0000	偏心(3)			
8	FFS[1]	0.0000	偏心(4)	D M		
9		0.0000	偏心(3)			
10		12.1000				20
11		0.0000	偏心(5)			
12		0.0000	偏心(5)			
13		0.4899				
14	25.4807	0.8500	偏心(6)	1.7015	34.7	
15	8.8359	2.0281	偏心(6)	1.6533	55.1	
絞り面	-33.3222	1.2490	偏心(6)			
17	-25.0249	1.0000	偏心(7)	1.7977	38.7	
18	6.8177	1.6958	偏心(7)	1.8066	25.1	
19	39.9889	0.1288	偏心(7)			
20		16.0595	偏心(5)			30
21	非球面[2]	2.7500	偏心(8)	1.4900	70.0	
22	-24.1491	0.5468	偏心(8)			
23	11.8250	2.4000	偏心(8)	1.5229	65.5	
24	-13.8039	7.2901	偏心(8)	1.7320	33.1	
25	10.5189	2.4880	偏心(8)			
26	-6.0535	0.6782	偏心(8)	1.8471	24.5	
27	非球面[3]	0.1000	偏心(8)			
28		0.0000	偏心(5)			
29	6.4662	2.3000	偏心(9)	1.4900	70.0	
30	-17.3775	0.8507	偏心(9)			40
31		1.4400		1.5477	62.8	
32		0.1000				
33		0.6000		1.5163	64.1	
34		0.5000				
35		0.0000				
像面		0.0000	偏心(10)			

【0083】

[状態1]

非球面[1]

曲率半径 10.0000

50



k 0.0000e+000  
a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008  
d 4.0273e-010

## 非球面 [2]

曲率半径 8.2793  
k 0.0000e+000  
a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008  
d -8.5213e-010

10

## 非球面 [3]

曲率半径 805.0880  
k 0.0000e+000  
a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005  
d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022  
g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

## FFS[1]

曲率半径  
他の係数 C 4 ~ C 2 1 はすべて 0 である。

20

	偏心 [1]		D E O
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	-0.0602	0.0000	0.0000
	偏心 [2]		D E O
X	0.0000	Y 0.0287	Z 0.0000
	-0.1303	0.0000	0.0000
	偏心 [3]		D E O
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	22.5000	0.0000	0.0000
	偏心 [4]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	-0.0363	0.0000	0.0000
	偏心 [5]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000
	偏心 [6]		D A R
X	0.0000	Y -0.0002	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000
	偏心 [7]		D A R
X	0.0000	Y 0.0135	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000
	偏心 [8]		D A R
X	0.0000	Y -0.0404	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000
	偏心 [9]		D A R
X	0.0000	Y 0.0215	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000
	偏心 [10]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000

30

40

50

0.1305      0.0000      0.0000  
 【 0 0 8 4 】  
 [ 状態 2 ]

## 非球面 [1]

曲率半径    10.0000  
 k    0.0000e+000  
 a   -1.0641e-004      b    4.1079e-007      c   -4.3269e-008  
 d    4.0273e-010

## 非球面 [2]

曲率半径    8.2793  
 k    0.0000e+000  
 a   -1.7023e-004      b   -9.4716e-007      c   -1.0243e-008  
 d   -8.5213e-010

10

## 非球面 [3]

曲率半径    805.0880  
 k    0.0000e+000  
 a   1.1980e-003      b    1.4699e-004      c   -2.2725e-005  
 d   1.6892e-006      e   -1.1754e-019      f   -9.2349e-022  
 g   -7.2572e-024      h   -5.7046e-026

20

## FFS[1]

曲率半径  
 他の係数 C 4 ~ C 2 1 はすべて 0 である。

偏心 [1]      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      -0.0543      0.0000      0.0000

偏心 [2]      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0287    Z    0.0000  
      -0.1303      0.0000      0.0000

30

偏心 [3]      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      22.5000      0.0000      0.0000

偏心 [4]      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      -0.0363      0.0000      0.0000

偏心 [5]      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000

40

偏心 [6]      D A R  
 X    0.0000    Y   -0.0002    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000

偏心 [7]      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0135    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000

偏心 [8]      D A R  
 X    0.0000    Y   -0.0404    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000

50

偏心 [9]                      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0215    Z    0.0000  
      0.0000               0.0000               0.0000

偏心 [10]                     D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.1305               0.0000               0.0000

【 0 0 8 5 】

[ 状態 3 ]

#### 非球面 [1]

曲率半径    10.0000  
 k    0.0000e+000  
 a   -1.0641e-004    b    4.1079e-007    c    -4.3269e-008  
 d    4.0273e-010

10

#### 非球面 [2]

曲率半径    8.2793  
 k    0.0000e+000  
 a   -1.7023e-004    b    -9.4716e-007    c    -1.0243e-008  
 d    -8.5213e-010

20

#### 非球面 [3]

曲率半径    805.0880  
 k    0.0000e+000  
 a    1.1980e-003    b    1.4699e-004    c    -2.2725e-005  
 d    1.6892e-006    e    -1.1754e-019    f    -9.2349e-022  
 g    -7.2572e-024    h    -5.7046e-026

#### FFS[1]

曲率半径  
 他の係数 C 4 ~ C 2 1 はすべて 0 である。

30

偏心 [1]                      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      -0.0490               0.0000               0.0000

偏心 [2]                      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0287    Z    0.0000  
      -0.1303               0.0000               0.0000

偏心 [3]                      D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      22.5000               0.0000               0.0000

偏心 [4]                      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      -0.0363               0.0000               0.0000

偏心 [5]                      D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.0000               0.0000               0.0000

偏心 [6]                      D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0002    Z    0.0000  
      0.0000               0.0000               0.0000

偏心 [7]                      D A R

40

50

X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [8] D A R

X 0.0000 Y -0.0404 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [9] D A R

X 0.0000 Y 0.0215 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [10] D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.1305 0.0000 0.0000

10

【 0 0 8 6 】

[ 状态 4 ]

非 球 面 [1]

曲 率 半 径 10.0000

k 0.0000e+000

a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008

d 4.0273e-010

非 球 面 [2]

20

曲 率 半 径 8.2793

k 0.0000e+000

a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008

d -8.5213e-010

非 球 面 [3]

曲 率 半 径 805.0880

k 0.0000e+000

a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005

d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022

g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

30

FFS[1]

曲 率 半 径

C 4 -2.5678e-004 C 6 -2.1871e-004 C 8 -1.9398e-006

C 10 -1.8658e-006 C 11 5.7489e-007 C 13 3.4502e-006

C 15 -2.4641e-007 C 17 3.3480e-008 C 19 1.9553e-007

C 21 6.1678e-008

偏 心 [1] D E O

40

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
-0.0456 0.0000 0.0000

偏 心 [2] D E O

X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000  
-0.1303 0.0000 0.0000

偏 心 [3] D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
22.5000 0.0000 0.0000

偏 心 [4] D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0070

50

```

-0.0363      0.0000      0.0000
      偏 心 [5]      D A R
X   0.0000   Y   0.0000   Z   0.0000
      0.0000      0.0000      0.0000
      偏 心 [6]      D A R
X   0.0000   Y   -0.0002   Z   0.0000
      0.0000      0.0000      0.0000
      偏 心 [7]      D A R
X   0.0000   Y   0.0135   Z   0.0000
      0.0000      0.0000      0.0000
      偏 心 [8]      D A R
X   0.0000   Y   -0.0404   Z   0.0000
      0.0000      0.0000      0.0000
      偏 心 [9]      D A R
X   0.0000   Y   0.0215   Z   0.0000
      0.0000      0.0000      0.0000
      偏 心 [10]     D A R
X   0.0000   Y   0.0000   Z   0.0000
      0.1305      0.0000      0.0000

```

10

【 0 0 8 7 】

20

[ 状态 5 ]

## 非 球 面 [1]

```

曲 率 半 径      10.0000
k   0.0000e+000
a  -1.0641e-004      b   4.1079e-007      c  -4.3269e-008
d   4.0273e-010

```

## 非 球 面 [2]

```

曲 率 半 径      8.2793
k   0.0000e+000
a  -1.7023e-004      b  -9.4716e-007      c  -1.0243e-008
d  -8.5213e-010

```

30

## 非 球 面 [3]

```

曲 率 半 径      805.0880
k   0.0000e+000
a   1.1980e-003      b   1.4699e-004      c  -2.2725e-005
d   1.6892e-006      e  -1.1754e-019      f  -9.2349e-022
g  -7.2572e-024      h  -5.7046e-026

```

40

## FFS[1]

```

曲 率 半 径
C 4   -9.5412e-005      C 6   -8.1036e-005      C 8   -1.0513e-006
C 10  -9.3690e-007      C 11  -9.5520e-008      C 13   3.6913e-009
C 15  -1.3361e-007      C 17   3.8928e-008      C 19   1.1246e-007
C 21   3.0972e-008

```

```

      偏 心 [1]      D E O
X   0.0000   Y   0.0000   Z   0.0000
      -0.0269      0.0000      0.0000

```

50

偏 心 [2]            D E O  
 X    0.0000    Y    0.0287    Z    0.0000  
      -0.1303            0.0000            0.0000  
 偏 心 [3]            D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      22.5000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [4]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0028  
      -0.0363            0.0000            0.0000  
 偏 心 [5]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [6]            D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0002    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [7]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0135    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [8]            D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0404    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [9]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0215    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000  
 偏 心 [10]           D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.1305            0.0000            0.0000

10

20

【 0 0 8 8 】

[ 状态 6 ]

非 球 面 [1]

30

曲 率 半 径    10.0000

k    0.0000e+000

a    -1.0641e-004        b    4.1079e-007        c    -4.3269e-008

d    4.0273e-010

非 球 面 [2]

曲 率 半 径    8.2793

k    0.0000e+000

a    -1.7023e-004        b    -9.4716e-007        c    -1.0243e-008

d    -8.5213e-010

40

非 球 面 [3]

曲 率 半 径    805.0880

k    0.0000e+000

a    1.1980e-003        b    1.4699e-004        c    -2.2725e-005

d    1.6892e-006        e    -1.1754e-019        f    -9.2349e-022

g    -7.2572e-024        h    -5.7046e-026

FFS[1]

曲 率 半 径

50

C 4	-4.7027e-005	C 6	-4.0175e-005	C 8	-4.9570e-007
C 10	-4.7836e-007	C 11	1.1241e-007	C 13	3.7133e-007
C 15	8.9065e-008	C 17	1.9088e-008	C 19	4.1909e-008
C 21	1.9635e-008				

	偏 心 [1]		D E O
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	-0.0552	0.0000	0.0000

	偏 心 [2]		D E O
X	0.0000	Y 0.0287	Z 0.0000
	-0.1303	0.0000	0.0000

10

	偏 心 [3]		D E O
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	22.5000	0.0000	0.0000

	偏 心 [4]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0013
	-0.0363	0.0000	0.0000

	偏 心 [5]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000

20

	偏 心 [6]		D A R
X	0.0000	Y -0.0002	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000

	偏 心 [7]		D A R
X	0.0000	Y 0.0135	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000

	偏 心 [8]		D A R
X	0.0000	Y -0.0404	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000

	偏 心 [9]		D A R
X	0.0000	Y 0.0215	Z 0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000

30

	偏 心 [10]		D A R
X	0.0000	Y 0.0000	Z 0.0000
	0.1305	0.0000	0.0000

【 0 0 8 9 】

[ 状态 7 ]

非 球 面 [1]

曲 率 半 径 10.0000

k 0.0000e+000

a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008

d 4.0273e-010

40

非 球 面 [2]

曲 率 半 径 8.2793

k 0.0000e+000

a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008

d -8.5213e-010

非 球 面 [3]

50

曲率半径 805.0880

k 0.0000e+000

a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005

d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022

g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

### FFS[1]

曲率半径

C 4 -4.1026e-004 C 6 -3.4715e-004 C 8 -2.5854e-006

C 10 -2.2649e-006 C 11 1.2726e-006 C 13 4.3888e-006

C 15 -3.7666e-007 C 17 2.9201e-008 C 19 2.6454e-007

C 21 7.4872e-008

10

### 偏心[1]

### D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
-0.0599 0.0000 0.0000

### 偏心[2]

### D E O

X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000  
-0.1303 0.0000 0.0000

### 偏心[3]

### D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
22.5000 0.0000 0.0000

### 偏心[4]

### D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0110  
-0.0363 0.0000 0.0000

### 偏心[5]

### D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

### 偏心[6]

### D A R

X 0.0000 Y -0.0002 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

### 偏心[7]

### D A R

X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

### 偏心[8]

### D A R

X 0.0000 Y -0.0404 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

### 偏心[9]

### D A R

X 0.0000 Y 0.0215 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

### 偏心[10]

### D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.1305 0.0000 0.0000

20

30

40

【 0 0 9 0 】

[ 状态 8 ]

### 非球面[1]

曲率半径 10.0000

k 0.0000e+000

a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008

d 4.0273e-010

50



## 非球面 [2]

曲率半径 8.2793

k 0.0000e+000

a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008

d -8.5213e-010

## 非球面 [3]

曲率半径 805.0880

k 0.0000e+000

a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005

d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022

g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

## FFS[1]

曲率半径

C 4 -2.4692e-004 C 6 -2.0605e-004 C 8 -2.5695e-006

C 10 -2.8078e-006 C 11 4.6822e-007 C 13 1.1357e-007

C 15 -4.4573e-007 C 17 5.7484e-008 C 19 1.6067e-007

C 21 9.2821e-008

## 偏心 [1]

D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000

-0.0773 0.0000 0.0000

## 偏心 [2]

D E O

X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000

-0.1303 0.0000 0.0000

## 偏心 [3]

D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000

22.5000 0.0000 0.0000

## 偏心 [4]

D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0068

-0.0363 0.0000 0.0000

## 偏心 [5]

D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [6]

D A R

X 0.0000 Y -0.0002 Z 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [7]

D A R

X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [8]

D A R

X 0.0000 Y -0.0404 Z 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [9]

D A R

X 0.0000 Y 0.0215 Z 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [10]

D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000

10

20

30

40

50

0.1305 0.0000 0.0000  
 【 0 0 9 1 】  
 [ 状态 9 ]

## 非球面 [1]

曲率半径 10.0000  
 k 0.0000e+000  
 a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008  
 d 4.0273e-010

## 非球面 [2]

曲率半径 8.2793  
 k 0.0000e+000  
 a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008  
 d -8.5213e-010

10

## 非球面 [3]

曲率半径 805.0880  
 k 0.0000e+000  
 a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005  
 d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022  
 g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

20

## FFS[1]

曲率半径  
 C 4 -1.9874e-004 C 6 -1.6635e-004 C 8 -2.3552e-006  
 C 10 -2.7779e-006 C 11 6.3614e-007 C 13 5.4796e-007  
 C 15 2.4565e-009 C 17 4.9993e-008 C 19 8.3921e-008  
 C 21 9.1830e-008

## 偏心 [1]

## D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
 -0.0862 0.0000 0.0000

30

## 偏心 [2]

## D E O

X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000  
 -0.1303 0.0000 0.0000

## 偏心 [3]

## D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
 22.5000 0.0000 0.0000

## 偏心 [4]

## D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0052  
 -0.0363 0.0000 0.0000

40

## 偏心 [5]

## D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
 0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [6]

## D A R

X 0.0000 Y -0.0002 Z 0.0000  
 0.0000 0.0000 0.0000

## 偏心 [7]

## D A R

X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000  
 0.0000 0.0000 0.0000

50

偏心 [8]            D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0404    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000

偏心 [9]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0215    Z    0.0000  
      0.0000            0.0000            0.0000

偏心 [10]           D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.1305            0.0000            0.0000

【 0 0 9 2 】

10

[ 状态 1 0 ]

#### 非球面 [1]

曲率半径    10.0000  
 k    0.0000e+000  
 a    -1.0641e-004    b    4.1079e-007    c    -4.3269e-008  
 d    4.0273e-010

#### 非球面 [2]

曲率半径    8.2793  
 k    0.0000e+000  
 a    -1.7023e-004    b    -9.4716e-007    c    -1.0243e-008  
 d    -8.5213e-010

20

#### 非球面 [3]

曲率半径    805.0880  
 k    0.0000e+000  
 a    1.1980e-003    b    1.4699e-004    c    -2.2725e-005  
 d    1.6892e-006    e    -1.1754e-019    f    -9.2349e-022  
 g    -7.2572e-024    h    -5.7046e-026

30

#### FFS[1]

曲率半径  
 C 4    -6.6104e-004    C 6    -5.5774e-004    C 8    -5.0196e-006  
 C 10   -4.4272e-006    C 11    1.8910e-006    C 13    5.8910e-006  
 C 15   -1.0867e-006    C 17    8.6615e-008    C 19    5.7741e-007  
 C 21    1.4635e-007

偏心 [1]            D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      -0.0807            0.0000            0.0000

40

偏心 [2]            D E O  
 X    0.0000    Y    0.0287    Z    0.0000  
      -0.1303            0.0000            0.0000

偏心 [3]            D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      22.5000            0.0000            0.0000

偏心 [4]            D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0181  
      -0.0363            0.0000            0.0000

偏心 [5]            D A R

50

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [6] D A R

X 0.0000 Y -0.0002 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [7] D A R

X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [8] D A R

X 0.0000 Y -0.0404 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [9] D A R

X 0.0000 Y 0.0215 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [10] D A R

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.1305 0.0000 0.0000

【 0 0 9 3 】

[ 状态 1 1 ]

非 球 面 [1]

曲 率 半 径 10.0000

k 0.0000e+000

a -1.0641e-004 b 4.1079e-007 c -4.3269e-008

d 4.0273e-010

非 球 面 [2]

曲 率 半 径 8.2793

k 0.0000e+000

a -1.7023e-004 b -9.4716e-007 c -1.0243e-008

d -8.5213e-010

非 球 面 [3]

曲 率 半 径 805.0880

k 0.0000e+000

a 1.1980e-003 b 1.4699e-004 c -2.2725e-005

d 1.6892e-006 e -1.1754e-019 f -9.2349e-022

g -7.2572e-024 h -5.7046e-026

FFS[1]

曲 率 半 径

C 4 -3.4397e-004 C 6 -2.8613e-004 C 8 -3.7082e-006

C 10 -4.1393e-006 C 11 8.1732e-007 C 13 1.5055e-007

C 15 -6.5743e-007 C 17 7.7129e-008 C 19 2.1546e-007

C 21 1.3684e-007

偏 心 [1] D E O

X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
-0.0835 0.0000 0.0000

偏 心 [2] D E O

X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000

10

20

30

40

50

-0.1303      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [3]                  D E O  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      22.5000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [4]                  D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0095  
      -0.0363      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [5]                  D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [6]                  D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0002    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [7]                  D A R  
 X    0.0000    Y    0.0135    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [8]                  D A R  
 X    0.0000    Y    -0.0404    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [9]                  D A R  
 X    0.0000    Y    0.0215    Z    0.0000  
      0.0000      0.0000      0.0000  
                 偏 心 [10]                  D A R  
 X    0.0000    Y    0.0000    Z    0.0000  
      0.1305      0.0000      0.0000

10

20

【 0 0 9 4 】

[ 状态 1 2 ]

## 非 球 面 [1]

曲 率 半 径    10.0000

k    0.0000e+000

a    -1.0641e-004      b    4.1079e-007      c    -4.3269e-008

d    4.0273e-010

30

## 非 球 面 [2]

曲 率 半 径    8.2793

k    0.0000e+000

a    -1.7023e-004      b    -9.4716e-007      c    -1.0243e-008

d    -8.5213e-010

## 非 球 面 [3]

曲 率 半 径    805.0880

k    0.0000e+000

a    1.1980e-003      b    1.4699e-004      c    -2.2725e-005

d    1.6892e-006      e    -1.1754e-019      f    -9.2349e-022

g    -7.2572e-024      h    -5.7046e-026

40

## FFS[1]

曲 率 半 径

C 4    -2.4699e-004      C 6    -2.0590e-004      C 8    -2.8803e-006

C 10    -3.4975e-006      C 11    8.5301e-007      C 13    5.7313e-007

50

C 15 -6.8244e-008 C 17 5.8524e-008 C 19 8.9189e-008  
C 21 1.1562e-007

偏 心 [1] D E O  
X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
-0.0873 0.0000 0.0000

偏 心 [2] D E O  
X 0.0000 Y 0.0287 Z 0.0000  
-0.1303 0.0000 0.0000

偏 心 [3] D E O  
X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
22.5000 0.0000 0.0000

偏 心 [4] D A R  
X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0065  
-0.0363 0.0000 0.0000

偏 心 [5] D A R  
X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [6] D A R  
X 0.0000 Y -0.0002 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [7] D A R  
X 0.0000 Y 0.0135 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [8] D A R  
X 0.0000 Y -0.0404 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [9] D A R  
X 0.0000 Y 0.0215 Z 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000

偏 心 [10] D A R  
X 0.0000 Y 0.0000 Z 0.0000  
0.1305 0.0000 0.0000

【 0 0 9 5 】

但し、第 4 面の座標系は第 1 面の座標系と同じである。また、第 5 面以後の座標系は第 4 面から順に定義していくものとする。

【 0 0 9 6 】

物体距離 D 0

	遠点余裕	遠点	近点	近点余裕
広角	状態 1	状態 4	状態 7	状態 1 0
標準	状態 2	状態 5	状態 8	状態 1 1
望遠	状態 3	状態 6	状態 9	状態 1 2

物体距離 D 3 4

	状態 1	状態 4	状態 7	状態 1 0
広角	0.605	0.500	0.500	0.395
標準	0.620	0.500	0.500	0.380
望遠	0.675	0.500	0.500	0.320

ズーム間隔

	広角	標準	望遠
D 1 3	0.4899	0.0000	0.0000
D 1 6	1.2490	7.7097	10.7217

10

20

30

40

50

D 2 0      16.0595      7.7838      0.1000  
 D 2 7      0.1000      2.4050      7.0768

D I は I 面と I + 1 面の間隔を表わす。I は 0 ~ 3 6 の整数である。

#### 【0097】

なお、以下の条件式は本実施例の光学系にあてはまる。これらの条件式は、少なくとも一つの状態において満たされていればよい。

条件式(1), (1'), (1''), (2), (2'), (3), (4), (3'), (4), (4'), (4''), (4'''), (5), (5'), (6), (6'), (6''), (7), (7'), (8), (8'), (9), (9'), (9''), (10), (10'), (10''), (11), (11'), (11''), (12), (12'), (12''), (13), (13'), (14), (14')

#### 【0098】

本実施例において、焦点距離  $f$  の値は、数値データに記載の通り、4.4 mm (広角) ~ 13.2 mm (望遠)、7.6 mm (標準) である。

可変ミラーの最大変形量  $m d$  の値 (mm) は、第 8 面の偏心率  $Z$  の値に等しい。

条件式(7), (7')の形状可変ミラーにおける光学的に有効な反射面の面積  $S m$  の値は、 $72 \text{ mm}^2$  (半径 4.8 mm のほぼ円形) である。

条件式(8), (8')の形状可変ミラーに印加する電圧  $V m$  の値は、状態によって変化するが、0 ~ 200 V である。

条件式(9), (9'), (9'')の形状可変ミラー  $D M$  の値は、 $D M = (1/2)(C 4 + C 6)$  である。また、 $D M x = C 4$ ,  $D M y = C 6$  である。

条件式(5), (5')の可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群の焦点距離  $f_1$  の値は、-15.184 である。

可変ミラーにおける軸上主光線の折り曲げ角 の値は、 $45^\circ$  である。

条件式(4)~(4'')の可変ミラーの直後の光学面から最終面までのレンズ群の倍率 1 は、広角 - 0.29、標準 - 0.51、望遠 - 0.87 である。

条件式(10)~(10'')の光学系の全長  $C j$  (折り曲げた光路を伸ばした長さ) は、80.05 mm である。

なお、上述のように、本発明の各条件式は、光学系の少なくとも一つの状態で満たされていればよい。

#### 【0099】

次に、本実施例における条件式のパラメータ値を示す。

$f w = 4.40$   
 $= 45^\circ$   
 $= 45^\circ$

$f_1 / f = -3.45$  (広角)  
 $= -2.0$  (標準)  
 $= -1.15$  (望遠)

$m d = 18.1$  ミクロン (広角近点余裕)  
 $9.5$  ミクロン (標準近点余裕)  
 $6.5$  ミクロン (望遠近点余裕)

$m d / f = 0.0041$  (広角近点余裕)  
 $m d^2 / S m = 0.00000454$  (広角近点余裕)

$C j / f = 18.19$  (広角)

$f_3 = -19.361$

$|f_3 / f| = 4.40$  (広角)

$R_1 =$

$|R_1 / f| =$  (望遠)

以上の実施例に示したように、撮像素子を除けば光学素子のシフト量、ティルト量の値は小さいので、これらを 0 として製作しても実用上は問題にならない場合もある。

#### 【0100】

以上の実施例では、形状可変ミラーを用いた光学系について述べた。しかしながら、形

形状可変ミラーの代わりに形状が変わらない平面ミラーあるいは曲面ミラー、平面を有するプリズムあるいは曲面を有するプリズム等を用いた光学系の場合でも、特に支障をきたさない限り前述の条件式及び制限等を適用してよい。なぜならば反射面を用いた屈曲光学系における小型化のメリットはそのまま保たれるからである。

#### 【0101】

また、実施例における光学系では、レンズ群中に反射面を有する構成の光学系について説明したが、反射型光学特性可変光学素子のかわりに屈折型の光学特性可変光学素子、例えば、可変焦点レンズ等を用いて構成しても、小型化、低コスト化、省電力化、作動音の静音化等の効果を得ることが可能である。各種条件式も近軸理論が多いのでほぼ可変焦点レンズの場合でも成り立つ。さらに、可変形状面を有しない可変焦点ミラーを以上の実施例に用いても良い。なお、可変焦点ミラーは可変ミラーの一種である。可変焦点ミラーについては、その一例を図31を用いて後述する。

10

#### 【0102】

上記光学系は、フィルムカメラ、デジタルカメラ、テレビカメラ、携帯端末用のカメラ、携帯電話の撮像装置、監視カメラ、ロボットの眼、電子内視鏡等に適用可能である。

なお、以上の説明では、光学系として撮像光学系を想定しているが、物体面と像面を入れ替えた構成とすることにより、プロジェクター等の投影光学系として使用することができる。この投影光学系を用いた光学装置を作製することができる。

#### 【0103】

次に、上記本発明の光学装置に用いる光学系に適用可能な可変ミラー、可変焦点レンズ等、光学特性可変光学素子の構成例について説明する。

20

図6は上記本発明の光学装置に用いる光学系に適用可能な光学特性可変光学素子として形状可変ミラーの一構成例を示す概略図である。

図6の構成例では、形状可変ミラー409は、変形する基板409jの上に形成されたアルミコーティング等で作られた薄膜（反射面）409aと、基板409jの下側に設けられた電極409kとの3層構造の周辺部が輪帯状の支持台423に支持されるとともに、電極409kとは間隔を設けて支持台423に取付けられた複数の電極409bと、各電極409bにそれぞれ接続されて駆動回路として機能する複数の可変抵抗器411aと、可変抵抗器411bと電源スイッチ413を介して電極409kと電極409b間に接続された電源412と、複数の可変抵抗器411aの抵抗値を制御するための演算装置414とで構成されており、演算装置414には、さらに温度センサー415、湿度センサー416及び距離センサー417が接続されて、これらは図示のように1つの光学装置の一部を構成している。なお、変形する基板409jは、薄膜でもよいし、板状でもよい。

30

#### 【0104】

可変ミラーの反射面は、演算装置414による制御により、平面でなくてもよく、球面、回転対称非球面の他、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、微分不可能な点又は線を有する面等、いかなる形状にも制御される。以下、これらの面を総称して拡張曲面という。薄膜409aで形成される反射面により光線は矢印のように反射される。

40

#### 【0105】

前記薄膜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と電極409k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している。

なお、電極409bの形は、例えば図8、図9に示すように、薄膜409aの変形のさせ方に応じて、同心分割、矩形分割にして、選べばよい。

#### 【0106】

50



上記のように、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 411a 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、あるいは電子ズームのための画像処理装置 303 からの指令に基づき、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、各変抵抗器 411a 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、その形状は状況により非球面を含む様々な拡張曲面の形状をとる。なお、距離センサー 417 はなくてもよく、その場合、例えば不図示の固体撮像素子 408 からの像の信号の高周波成分が略最大になるように物体距離を算出し、可変ミラーを変形させるようにすればよい。可変ミラー 409 はリソグラフィーを用いて作ると加工精度がよく、良い品質のものが得られやすく、良い。

10

#### 【0107】

また、変形する基板 409j をポリイミドあるいは商品名サイトップ（旭硝子（株）製）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。

図 6 の構成例では変形する基板 409j をはさんで反射面としての薄膜 409a と変形する電極 409k を別に設けて一体化しているので、製造法がいくつか選べるメリットがある。また反射面としての薄膜 409a を導電性の薄膜としてもよい。このようにすると、変形する電極 409k を兼ねることができ、両者が 1 つになるので、構造が簡単になる

20

可変ミラーの反射面の形状は自由曲面にするのが良い。なぜなら収差補正が容易にでき、有利だからである。

#### 【0108】

また、図 6 の構成例では、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ミラー 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、温度センサー 415、湿度センサー 416、距離センサー 417 を省いても良い。

#### 【0109】

図 7 は可変ミラー 409 の他の構成例を示す概略図である。

30

本構成例の可変ミラーは、反射面としての薄膜 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 8 に示すように、同心分割であってもよいし、図 9 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 7 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、例えばこの構成例の光学装置をデジタルカメラに用いる場合には、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 及び可変抵抗器を内蔵した駆動回路 411 を介して電極 409b に印加される電圧を変化

40

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。

#### 【0110】

図 10 は可変ミラー 409 のさらに他の構成例を示す概略構成図である。

本構成例の可変ミラーは、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

50

ている。すなわち、圧電素子 409c と圧電素子 409c' が強誘電性結晶で作られ、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 と圧電素子 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 7 に示した 1 層構造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。

#### 【0111】

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<sub>3</sub> と PbTiO<sub>3</sub> の固溶体の圧電セラミックス、ニフッ化ポリビニール (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、上記構成例において薄膜 409a の形状を適切に変形させることも可能である。

#### 【0112】

また、圧電素子 409c, 409c' の材料としては、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ミラー面の大きな変形が実現できてよい。

#### 【0113】

なお、図 7、図 11 に示す圧電素子 409c に、例えば、アクリルエラストマー、シリコンゴム等の電歪材料を用いる場合には、1 層構造の圧電素子 409c を別の基板 409c-1 と電歪材料 409c-2 とを貼り合わせた 2 層構造にしてもよい。

#### 【0114】

図 11 は可変ミラー 409 のさらに他の構成例を示す概略図である。

本構成例の可変ミラーは、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 との間に演算装置 414 により制御される駆動回路 425a 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 425b 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、本構成例では、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。

#### 【0115】

そして、薄膜 409a、電極 409d 間の電圧の符号を変えれば、可変ミラー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 11 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。

#### 【0116】

図 12 は可変ミラー 409 のさらに他の構成例を示す概略図である。

本構成例の可変ミラーは、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、可変ミラー 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、

10

20

30

40

50

これらのコイル 4 2 7 はそれぞれ駆動回路 4 2 8 を介して演算装置 4 1 4 に接続されている。したがって、各センサー 4 1 5 , 4 1 6 , 4 1 7 , 4 2 4 およびその他からの信号によって演算装置 4 1 4 において求められる光学系の変化に対応した演算装置 4 1 4 からの出力信号により、各駆動回路 4 2 8 から各コイル 4 2 7 にそれぞれ適当な電流が供給されると、永久磁石 4 2 6 との間に働く電磁気力で各コイル 4 2 7 は反発又は吸引または吸着され、基板 4 0 9 e 及び反射面として機能する薄膜 4 0 9 a を変形させる。

【 0 1 1 7 】

この場合、各コイル 4 2 7 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 4 2 7 は 1 個でもよいし、永久磁石 4 2 6 を基板 4 0 9 e に付設しコイル 4 2 7 を支持台 4 2 3 の内部底面側に設けるようにしてもよい。また、コイル 4 2 7 はリソ  
10  
グラフィ等  
の手法で作るとよく、さらに、コイル 4 2 7 には強磁性体よりなる鉄心を入れるようにしてもよい。

【 0 1 1 8 】

この場合、薄膜コイル 4 2 7 の巻密度を、図 1 3 に示すように、場所によって変化させたコイル 4 2 8 ' とすることにより、基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a 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 4 2 7 は 1 個でもよいし、また、これらのコイル 4 2 7 には強磁性体よりなる鉄心を挿入してもよい。

【 0 1 1 9 】

図 1 4 は可変ミラー 4 0 9 のさらに他の構成例を示す概略図である。

本構成例の可変ミラーでは、基板 4 0 9 e は鉄等の強磁性体で作られており、反射膜としての薄膜 4 0 9 a はアルミニウム等からなっている。この場合、薄膜 4 0 9 a 側にコイルを設けなくても、磁力によって薄膜 4 0 9 a を変形させることができるから、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 4 1 3 を、各コイル 4 2 7 の電流の流れる方向を切換え可能にする切換え兼用の電源開閉用スイッチで置換すれば、コイル 4 2 7 に流れる電流の方向を変えることができ、基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a の形状を自由に変えることができる。  
20

【 0 1 2 0 】

図 1 5 は本構成例におけるコイル 4 2 7 の一配置例を示し、図 1 6 はコイル 4 2 7 の他の配置例を示しているが、これらの配置は、図 1 2 に示した構成例にも適用することができる。なお、図 2 0 はコイル 4 2 7 の配置を図 1 6 に示したように放射状とした場合に適  
30  
する永久磁石 4 2 6 の一配置例を示している。図 1 7 に示すように、棒状の永久磁石 4 2 6 を放射状に配置すれば、図 1 2 に示した構成例に比べて、微妙な変形を基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a 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 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a を変形させる場合（図 1 2 及び図 1 4 の構成例）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。

【 0 1 2 1 】

以上いくつかの可変ミラーの構成例を述べたが、薄膜 4 0 9 a で変形されるミラーの形を変形させるのに、図 1 1 の構成例に示すように、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反射面を形成する薄膜を変形させてもよい。つまり 2 つ  
40  
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。

【 0 1 2 2 】

図 1 8 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 4 0 9 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、可変ミラー 4 0 9 と、レンズ 9 0 2 と、固体撮像素子 4 0 8 と、制御系 1 0 3 とで一つの撮像ユニット 1 0 4 を構成している。本実施例の撮像ユニット 1 0 4 では、レンズ 1 0 2 を通った物体からの光は可変ミラー 4 0 9 で集光され、固体撮像  
50

素子 408 の上に結像する。可変ミラー 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。

#### 【0123】

本実施例によれば、物体距離が変わっても可変ミラー 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、可変ミラー 409 を複数用いることで変倍の撮像系、光学系を作ることができる。

なお、図 18 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。昇圧回路は電気を用いる可変ミラー、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ミラー、可変焦点レンズに有用である。なお可変ミラー 409 でピント合わせを行なうためには、たとえば固体撮像素子 408 に物体像を結像させ可変ミラー 409 の焦点距離を変化させつつ物体像の高周波成分が最大になる状態を見つければよい。高周波成分を検出するには、たとえば固体撮像素子 408 にマイクロコンピュータ等を含む処理装置を接続し、その中で高周波成分を検出すればよい。

なお、レンズ 902 を後述の可変焦点レンズで置き換えても良い。同様に上記の効果を得られる。この場合、可変ミラー 409 は通常のミラーでも良い。

またレンズ 902 と可変焦点レンズを併用しても良い。

#### 【0124】

図 19 は可変ミラーのさらに他の構成例を示し、マイクロポンプ 180 で流体 161 を出し入れし、支持台 189a の上部に張った膜で形成されるミラー面を変形させる可変ミラー 188 の概略図である。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。図中、168 は支持台 189a 内の流体 161 の量を、マイクロポンプ 180 とともに制御する制御装置であり、この制御装置 168 とマイクロポンプ 180 は、膜 189 の変形を制御するので、実施の形態の駆動回路 304 に相当する構成となる。

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。

#### 【0125】

図 20 は図 19 に示したマイクロポンプ 180 の構成例を示す概略図である。

本構成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 20 では静電気力により振動する例を示しており、図 20 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。

#### 【0126】

図 19 で示した可変ミラー 188 では、反射面を構成する膜 189 が流体 161 の量に応じて凹凸に変形することで、可変ミラーとして機能する。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。

#### 【0127】

なお、静電気力、圧電効果を用いた可変ミラー、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 18 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、反射面を形成する薄膜 409a 又は膜 189 は、支持台 423 あるいは支持台 189a などの輪帯状部分の上部などの変形しない部分に設けておくと、可変ミラーの反射面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。

#### 【0128】

10

20

30

40

50

図 2 1 は各実施の形態で述べた本発明の光学装置に適用可能な光学系を構成するレンズ、あるいはレンズ群の一部を、可変焦点レンズに置き換えて構成することにより、前記レンズあるいはレンズ群を光軸方向にズーミングしなくて済む構成とす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 5 1 1 は、第 1, 第 2 の面としてのレンズ面 5 0 8 a, 5 0 8 b を有する第 1 のレンズ 5 1 2 a と、第 3, 第 4 の面としてのレンズ面 5 0 9 a, 5 0 9 b を有する第 2 のレンズ 5 1 2 b と、これらレンズ間に透明電極 5 1 3 a, 5 1 3 b を介して設けた高分子分散液晶層 5 1 4 とで構成される第 3 のレンズ 5 1 2 c とを有し、入射光を第 1, 第 3, 第 2 のレンズ 5 1 2 a, 5 1 2 c, 5 1 2 b を経て収束させるものである。透明電極 5 1 3 a, 5 1 3 b は、スイッチ 5 1 5 を介して交流電源 5 1 6 に接続して、高分子分散液晶層 5 1 4 に交流電圧を選択的に印加するようにする。なお、高分子分散液晶層 5 1 4 は、それぞれ液晶分子 5 1 7 を含む球状、多面体等の任意の形状の多数の微小な高分子セル 5 1 8 を有して構成し、その体積は、高分子セル 5 1 8 を構成する高分子および液晶分子 5 1 7 がそれぞれ占める体積の和に一致させる。

#### 【0129】

ここで、高分子セル 5 1 8 の大きさは、例えば球状とする場合、その平均の直径  $D$  を、使用する光の波長を  $\lambda$  とするとき、例えば、

$$2 \text{ nm} < D < \lambda / 5 \quad \dots (15)$$

とする。すなわち、液晶分子 5 1 7 の大きさは、 $2 \text{ nm}$  程度以上であるので、平均の直径  $D$  の下限値は、 $2 \text{ nm}$  以上とする。また、 $D$  の上限値は、可変焦点レンズ 5 1 1 の光軸方向における高分子分散液晶層 5 1 4 の厚さ  $t$  にも依存するが、 $\lambda$  に比べて大きいと、高分子の屈折率と液晶分子 5 1 7 の屈折率との差により、高分子セル 5 1 8 の境界面で光が散乱して高分子分散液晶層 5 1 4 が不透明になってしまうため、後述するように、好ましくは  $\lambda / 5$  以下とする。可変焦点レンズが用いられる光学製品によっては高精度を要求しない場合もあり、そのとき  $D$  は  $\lambda / 5$  以下でよい。なお、高分子分散液晶層 5 1 4 の透明度は、厚さ  $t$  が厚いほど悪くなる。

#### 【0130】

また、液晶分子 5 1 7 は、例えば、一軸性のネマティック液晶分子を用いる。この液晶分子 5 1 7 の屈折率楕円体は、図 2 2 に示すような形状となり、

$$n_{ox} = n_{oy} = n_o \quad \dots (16)$$

である。但し、 $n_o$  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。

#### 【0131】

ここで、図 2 1 に示すように、スイッチ 5 1 5 をオフ、すなわち高分子分散液晶層 5 1 4 に電界を印加しない状態では、液晶分子 5 1 7 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 5 1 4 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 2 3 に示すように、スイッチ 5 1 5 をオンとして高分子分散液晶層 5 1 4 に交流電圧を印加すると、液晶分子 5 1 7 は、屈折率楕円体の長軸方向が可変焦点レンズ 5 1 1 の光軸と平行となるように配向するので、屈折率が低くなり、屈折力の弱いレンズとなる。

#### 【0132】

なお、高分子分散液晶層 5 1 4 に印加する電圧は、例えば、図 2 4 に示すように、可変抵抗器 5 1 9 を用いること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 5 1 7 は、その楕円長軸が徐々に可変焦点レンズ 5 1 1 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。

#### 【0133】

ここで、図 2 1 に示す状態、すなわち高分子分散液晶層 5 1 4 に電圧を印加しない状態での、液晶分子 5 1 7 の平均屈折率  $n_{LC}'$  は、図 2 2 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

$$(n_{ox} + n_{oy} + n_z) / 3 \approx n_{LC}' \quad \dots (17)$$

となる。また、上記 (16) 式が成り立つときの平均屈折率  $n_{LC}$  は、 $n_z$  を異常光線の屈折率

$n_o$ と表して、

$$(2n_o + n_e) / 3 = n_{LC} \quad \dots (18)$$

で与えられる。このとき、高分子分散液晶層 5 1 4 の屈折率  $n_A$  は、高分子セル 5 1 8 を構成する高分子の屈折率を  $n_p$  とし、高分子分散液晶層 5 1 4 の体積に占める液晶分子 5 1 7 の体積の割合を  $f_f$  とすると、マックスウェル・ガーネットの法則により、

$$n_A = f_f \cdot n_{LC}' + (1 - f_f) n_p \quad \dots (19)$$

で与えられる。

#### 【0134】

したがって、図 2 4 に示すように、レンズ 5 1 2 a および 5 1 2 b の内側の面、すなわち高分子分散液晶層 5 1 4 側の面の曲率半径を、それぞれ  $R_1$  および  $R_2$  とすると、高分子分散液晶層で構成される第 3 のレンズ 5 1 2 c の焦点距離  $f_1$  は、

$$1 / f_1 = (n_A - 1) (1 / R_1 - 1 / R_2) \quad \dots (20)$$

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るとき、正とする。また、レンズ 5 1 2 a および 5 1 2 b の外側の面による屈折は除いている。つまり、高分子分散液晶層 5 1 4 のみによるレンズ 5 1 2 c の焦点距離が、(20) 式で与えられる。

#### 【0135】

また、常光線の平均屈折率を、

$$(n_{ox} + n_{oy}) / 2 = n_o' \quad \dots (21)$$

とすれば、図 2 3 に示す状態、すなわち高分子分散液晶層 5 1 4 に電圧を印加した状態での、高分子分散液晶層 5 1 4 の屈折率  $n_B$  は、

$$n_B = f_f \cdot n_o' + (1 - f_f) n_p \quad \dots (22)$$

で与えられるので、この場合の高分子分散液晶層 5 1 4 のみによるレンズ 5 1 2 c の焦点距離  $f_2$  は、

$$1 / f_2 = (n_B - 1) (1 / R_1 - 1 / R_2) \quad \dots (23)$$

で与えられる。なお、高分子分散液晶層 5 1 4 に、図 2 3 に示す状態における電圧よりも低い電圧を印加する場合の焦点距離は、(20) 式で与えられる焦点距離  $f_1$  と、(23) 式で与えられる焦点距離  $f_2$  との間の値となる。

#### 【0136】

上記 (20) および (23) 式から、高分子分散液晶層 5 1 4 による焦点距離の変化率は、

$$|(f_2 - f_1) / f_2| = |(n_B - n_A) / (n_A - 1)| \quad \dots (24)$$

で与えられる。したがって、この変化率を大きくするには、 $|n_B - n_A|$  を大きくすればよい。ここで、

$$n_B - n_A = f_f (n_o' - n_{LC}') \quad \dots (25)$$

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、1.3 ~ 2 程度であるから、

$$0.01 \leq |n_o' - n_{LC}'| \leq 1.0 \quad \dots (26)$$

とすれば、 $f_f = 0.5$  のとき、高分子分散液晶層 5 1 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、1.0 を超えることはできない。

#### 【0137】

次に、上記 (16) 式の上限値の根拠について説明する。「Solar Energy Materials and Solar Cells」31 巻, Wilson and Eck, 1993, Elsevier Science Publishers B.V. 発行の第 197 ~ 214 頁、「Transmission variation using scattering/transparent switching films」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、 $t = 300 \mu m$ 、 $f_f = 0.5$ 、 $n_p = 1.45$ 、 $n_{LC} = 1.585$ 、 $\lambda = 500 nm$  とするとき、透過率は、理論値で、 $r = 5 nm$  ( $D = \lambda / 50$ 、 $D \cdot t = 6 \mu m$  (但し、 $D$  および  $\lambda$  の単位は  $nm$ 、以下も同じ)) のとき 90 % となり、 $r = 25 nm$  ( $D = \lambda / 10$ ) のとき 50 % になることが示されている。

#### 【0138】

10

20

30

40

50

ここで、例えば、 $t = 150 \mu\text{m}$ の場合を推定してみると、透過率が  $t$  の指数関数で変化すると仮定して、 $t = 150 \mu\text{m}$ の場合の透過率を推定してみると、 $r = 25 \text{ nm}$  ( $D = \quad / 10$ 、 $D \cdot t = \quad \cdot 15 \mu\text{m}$ ) 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。

【0139】

これらの結果から、

$$D \cdot t \quad \cdot 15 \mu\text{m} \quad \dots (27)$$

であれば、 $\quad$  は  $70\% \sim 80\%$  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。

10

【0140】

また、高分子分散液晶層 514 の透過率は、 $n_p$  の値が  $n_{LC}'$  の値に近いほど良くなる。一方、 $n_o'$  と  $n_p$  とが異なる値になると、高分子分散液晶層 514 の透過率は悪くなる。図 21 に示した状態と図 23 に示した状態とで、平均して高分子分散液晶層 514 の透過率が良くなるのは、

$$n_p = (n_o' + n_{LC}') / 2 \quad \dots (28)$$

を満足するときである。

【0141】

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 21 の状態でも、図 23 の状態でも、透過率はほぼ同じで、かつ高い方がよい。そのためには、高分子セル 518 を構成する高分子の材料および液晶分子 517 の材料に制限があるが、実用的には、

20

$$n_o' \quad n_p \quad n_{LC}' \quad \dots (29)$$

とすればよい。

【0142】

上記 (28) 式を満足すれば、上記 (27) 式は、さらに緩和され、

$$D \cdot t \quad \cdot 60 \mu\text{m} \quad \dots (30)$$

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 の透過率の減少は、およそ上記の高分子と液晶分子 517 との屈折率の差の 2 乗に比例するからである。

30

【0143】

以上は、 $n_o' = 1.45$ 、 $n_{LC}' = 1.585$  の場合であつたが、より一般的に定式化すると、

$$D \cdot t \quad \cdot 15 \mu\text{m} \cdot (1.585 - 1.45)^2 / (n_u - n_p)^2 \quad \dots (31)$$

であればよい。但し、 $(n_u - n_p)^2$  は、 $(n_{LC}' - n_p)^2$  と、 $(n_o' - n_p)^2$  のうち、大きい方である。

【0144】

また、可変焦点レンズ 511 の焦点距離変化を大きくするには、 $f f$  の値が大きい方がよいが、 $f f = 1$  では、高分子の体積がゼロとなり、高分子セル 518 を形成できなくなるので、

40

$$0.1 \quad f f \quad 0.999 \quad \dots (32)$$

とする。一方、 $f f$  は、小さいほど透過率は向上するので、上記 (31) 式は、好ましくは、

$$4 \times 10^{-6} [\mu\text{m}]^2 \quad D \cdot t \quad \cdot 45 \mu\text{m} \cdot (1.585 - 1.45)^2 / (n_u - n_p)^2 \quad \dots (33)$$

とする。なお、 $t$  の下限値は、図 21 から明らかなように、 $t = D$  で、 $D$  は、上述したように  $2 \text{ nm}$  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。

【0145】

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

50

小惑星がやってくる」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10nm～5nm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、

$$7 \text{ nm} \leq D \leq 500 \quad \dots (34)$$

とする。

#### 【0146】

図25は、図24に示す可変焦点レンズ511を、本発明の実施の形態にかかる光学装置の中で、明るさ絞り521と撮像素子との間に用いた撮像光学系、例えば一例として、デジタルカメラ用の撮像光学系に用いた例を示す図である。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25では、液晶分子の図示を省略してある。

10

#### 【0147】

このように構成された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く、例えば、無限遠から600mm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。

#### 【0148】

20

図26は図24に示した可変焦点レンズと同様に、本発明の実施の形態にかかる光学装置の中で、撮像光学系の焦点距離を可変にするように用いられる可変焦点回折光学素子の一構成例を示す図である。

本構成例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21に示した構成例において説明したのと同様に、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に交流電圧を印加するようにする。

30

#### 【0149】

このような構成において、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、

$$p \sin \theta = m \quad \dots (35)$$

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を整数とすると、

$$h (n_A - n_{33}) = m \quad \dots (36)$$

$$h (n_B - n_{33}) = k \quad \dots (37)$$

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

40

#### 【0150】

ここで、上記(36)式および(37)式の両辺の差を求めると、

$$h (n_A - n_B) = (m - k) \quad \dots (38)$$

が得られる。したがって、例えば、λ = 500nm、 $n_A = 1.55$ 、 $n_B = 1.5$ 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(36)式から、 $n_{33} = 1.5$ であ

50



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  $10\ \mu\text{m}$  とすると、 $2.87^\circ$  となり、F ナンバーが 10 のレンズを得ることができる。

#### 【0151】

このように構成された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、ピント調整を行なうのに用いたり、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。

#### 【0152】

なお、この実施形態において、上記 (36) ~ (38) 式は、実用上、

$$0.7\text{ m} \quad h(n_A - n_{33}) \quad 1.4\text{ m} \quad \dots (39)$$

$$0.7\text{ k} \quad h(n_B - n_{33}) \quad 1.4\text{ k} \quad \dots (40)$$

$$0.7(m - k) \quad h(n_A - n_B) \quad 1.4(m - k) \quad \dots (41)$$

を満たせば良い。

#### 【0153】

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 27 および図 28 はこの場合の可変焦点眼鏡 550 の構成を示す図である。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, 513b 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 とを有して構成されており、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 に交流電圧を印加するようにして構成されている。

#### 【0154】

このような構成において、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 28 に示すように、ホメオトロピック配向となり、図 27 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 554 の屈折率は小さくなり、焦点距離が長くなる。

#### 【0155】

ここで、図 27 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  $\lambda$  に比べて同じ程度か十分小さくする必要があるので、例えば、

$$2nm \leq P \leq 2\lambda / 3 \quad \dots (42)$$

とする。なお、この条件式の下限値は、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 27 の状態で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る。また、この条件式の上限値を満たさないと、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、そのために二重像が形成されてぼけた像しか得られなくなる。但し、それほど高精度を要求しない場合には式 (42) の上限値は  $3\lambda$  として良い。

さらに精度を要求しない用途では上限値を  $5\lambda$  として良い。

#### 【0156】

図 29 (a) は本発明の実施の形態にかかる光学装置に用いる光学系に配置可能な可変偏角プリズムの一構成例を示す図である。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 21 に示した構成例において説明したのと同様に、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 に交流電圧を印加して、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 29 (a) に示す構成例では、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 29 (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、あるいは図 26 に示した構成例のような回折格子状に形成することもできる。回折格

10

20

30

40

50

子状に形成する場合には、上記の(35)式～(41)式が同様にあてはまる。

【0157】

このように構成された可変偏角プリズム561は、例えば、TVカメラ、デジタルカメラ、フィルムカメラ、双眼鏡等の光学系の中に用いることにより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30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29および図30に示す構成例では、液晶分子の図示を省略してある。

【0158】

図31は本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系の中で、可変ミラー409の代わりに用いる可変焦点ミラー、すなわち、可変焦点レンズの一方のレンズ面に反射膜を設けて形成した可変焦点ミラーの構成例を示す図である。

本構成例の可変焦点ミラー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21に示した構成例において説明したのと同様に、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に交流電圧を印加するようにする。なお、図31では、液晶分子の図示を省略してある。

【0159】

このような構成によれば、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26に示した構成例のような回折格子状にして、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。

【0160】

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、液晶に交流電圧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圧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。以上に説明した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29(a)の構成例における透明基板563、図29(b)の構成例における透明基板562,563の一方、透明基板566,567の一方はなくてもよい。

以上、図21から図31の構成例で述べたような、媒質の屈折率が変化することで光学素子の焦点距離等が変化するタイプの光学素子は、形状が変化しないため機械設計が容易である、機械的構造が簡単になる等のメリットがある。

【0161】

図32は可変焦点レンズ140を、本発明の実施の形態にかかる光学装置の中で、撮像素子408の前方に用いた撮像光学系の一構成例を示す図である。撮像光学系は撮像ユニット141として用いることができる。

10

20

30

40

50

本構成例では、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と一对の透明電極１４５との間に密閉された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。

#### 【０１６２】

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。

10

従って、本構成例によれば、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。

#### 【０１６３】

なお、図３２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。

20

可変焦点レンズには透明な圧電材料を用いるとよい。

#### 【０１６４】

なお、図３２の構成例において、可変焦点レンズ１４０は、シリンダー１４６を設けるかわりに、図３３に示すように、透明部材１４２に対して平行な位置にリング状の支援部材１４７を設け、透明部材１４２と支援部材１４７との距離を維持した状態としてシリンダー１４６を省略した構造にしてもよい。

図３３の構成例では、支援部材１４７と透明部材１４２との間には、一对の透明電極１４５間に密閉された透明物質１４３と、外周側が変形可能な部材１４８で覆われた流体あるいはゼリー状物質１４４とが介挿されており、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３４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３３、図３４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。

30

#### 【０１６５】

図３２、図３３に示す構成例では、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。

#### 【０１６６】

図３５は本発明の実施の形態にかかる光学装置の撮像光学系の中に挿入可能な可変焦点レンズのさらに他の構成例に係る、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の概略図である。

40

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３５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。

#### 【０１６７】

そして、図２０で示したようなマイクロポンプ１８０を、例えば、図３５に示す可変焦

50

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。

【0168】

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化できてよい。

【0169】

図 36 は本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系に適用可能な光学特性可変光学素子の他の構成例であって、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、柔らかい透明基板 202 の上に設けられている。なお、透明基板 202 には、合成樹脂、有機材料を用いるのが望ましい。

本構成例においては、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 36 に示す状態においては凸レンズとしての作用を持っている。

【0170】

なお、透明基板 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透明基板 202 と異ならせておく、例えば、一方の透明電極 59 を透明基板 202 よりも小さくしておく、と、電圧を切ったときに、図 37 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。

このとき透明基板 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。

【0171】

本構成例では、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 35 に示した構成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。

【0172】

図 38 は本発明の実施の形態にかかる光学装置の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構成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。

本構成例の可変焦点レンズによれば、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 38 中、204 はレンズ形状の透明基板である。

本構成例においても、紙面の右側の透明電極 59 は透明基板 202 よりも小さく形成されている。

【0173】

なお、図 36 ~ 図 38 の構成例において、透明基板 202、圧電材料 200、薄板 200A, 200B の厚さを不均一にして、電圧を掛けたとき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。

【0174】

図 39 は本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系に適用可能な可変焦点レンズのさらに他の構成例を示す概略構成図である。

本構成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。

このように構成された可変焦点レンズ 207 は、電圧が低いときには、図 39 に示すように、凸レンズとして作用し、電圧を上げると、図 40 に示すように、電歪材料 206 が

10

20

30

40

50

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。

従って、本構成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。

以上述べた図 3 2 ~ 図 4 0 に示した可変焦点レンズに共通して言えるのは、レンズとして作用する媒質の形状が変化することで、可変焦点を実現していることである。屈折率が変化する可変焦点レンズに比べて、焦点距離変化の範囲が自由に選べる、大きさが自由に選べる、等のメリットがある。

#### 【 0 1 7 5 】

図 4 1 は本発明の実施の形態にかかる光学装置の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構成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。

本構成例の可変焦点レンズ 2 1 4 は、透明弾性体 2 0 8 , 2 0 9 でアゾベンゼン 2 1 0 が挟まれており、アゾベンゼン 2 1 0 には、透明なスペーサー 2 1 1 を経由して紫外光が照射されるようになっている。

図 4 1 中、2 1 2 , 2 1 3 はそれぞれ中心波長が 1 , 2 の例えば L E D、半導体レーザ等の光源である。

#### 【 0 1 7 6 】

本構成例において、中心波長が 1 の紫外光が図 4 2 (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 2 1 0 は、図 4 2 (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 2 1 4 の形状は薄くなり、凸レンズ作用が減少する。

一方、中心波長が 2 の可視光がシス型のアゾベンゼン 2 1 0 に照射されると、アゾベンゼン 2 1 0 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 2 1 4 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、本構成例の光学素子 2 1 4 は可変焦点レンズとして作用する。

また、可変焦点レンズ 2 1 4 では、透明弾性体 2 0 8 , 2 0 9 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。

#### 【 0 1 7 7 】

図 4 3 は本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系に適用可能な可変ミラーのさらに他の構成例を示す概略構成図である。本構成例では、デジタルカメラの撮像光学系に用いられるものとして説明する。なお、図 4 3 中、4 1 1 は可変抵抗器を内蔵した駆動回路、4 1 4 は演算装置、4 1 5 は温度センサー、4 1 6 は湿度センサー、4 1 7 は距離センサー、4 2 4 は振れセンサーである。

本構成例の可変ミラー 4 5 は、支持台 4 2 3 で外周側が支持されたアクリルエラストマー等の有機材料からなる電歪材料 4 5 3 と間を隔てて分割電極 4 0 9 b を設け、電歪材料 4 5 3 の上に順に電極 4 5 2、変形可能な基板 4 5 1 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の薄膜からなる反射膜 4 5 0 を設けた 4 層構造として構成されている。

このように構成すると、分割電極 4 0 9 b を電歪材料 4 5 3 と一体化した場合に比べて、反射膜 4 5 0 の面形状が滑らかになり、光学的に収差を発生させにくくなるというメリットがある。

なお、変形可能な基板 4 5 1 と電極 4 5 2 の配置は逆でも良い。

また、図 4 3 中、4 4 9 は光学系の変倍を行なう釦であり、可変ミラー 4 5 は、釦 4 4 9 を使用者が押すことで反射膜 4 5 0 の形を変形させて、変倍をすることができるよう演算装置 4 1 4 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。

#### 【 0 1 7 8 】

なお、本発明の光学装置に適用可能な可変ミラーに共通して言えることであるが、反射面の変形する部分を反射面に垂直な方向から見た時の形は、軸上光線の入射面の方向に長

10

20

30

40

50

い形状、たとえば楕円、卵形、多角形、等 にするのが良い。なぜなら、図 18 に示した構成例のように、可変ミラーは斜入射で用いる場合が多いが、このとき発生する収差を抑えるためには、反射面の形状は回転楕円面、回転放物面、回転双曲面に近い形が良く、そのように可変ミラーを変形させる為には、反射面の変形する部分を反射面に垂直な方向から見た時の形を、軸上光線の入射面の方向に長い形状にしておくのが良いからである。

【0179】

図 44 (a), (b) は本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系に適用可能な電磁駆動型の可変ミラーの構造を示した図である。

図 44 (b) は反射膜の反対側から見た図であり、変形部材にコイル（電極）が設けられて駆動回路から電流を流すことで永久磁石の磁場とで電磁力を生じ、ミラー形状が変化するようにになっている。 10

コイルは薄膜コイル等を用いると製作が容易で、かつ、剛性を下げられるのでミラーが変形し易くて良い。

【0180】

最後に、本発明で用いる用語の定義を述べておく。

【0181】

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。

【0182】

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、光情報処理装置等が含まれる。 20

【0183】

撮像装置の例としては、フィルムカメラ、デジタルカメラ、PDA用デジタルカメラ、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、携帯電話のデジタルカメラ、携帯電話のテレビカメラ、電子内視鏡、カプセル内視鏡、車載カメラ、人工衛星のカメラ、惑星探査機のカメラ、宇宙探査機のカメラ、監視装置のカメラ、各種センサーの眼、録音装置のデジタルカメラ、人工視覚、レーザ走査型顕微鏡等がある。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、携帯電話のデジタルカメラ、携帯電話のテレビカメラ、車載カメラ、人工衛星のカメラ、惑星探査機のカメラ、宇宙探査機のカメラ、録音装置のデジタルカメラなどはいずれも電子撮像装置の一例である。 30

【0184】

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、ファインダー、ビューファインダー、コンタクトレンズ、眼内レンズ、人工視覚等がある。

【0185】

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、人工視覚等がある。 40

【0186】

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。

【0187】

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、光インターコネクション装置、光情報処理装置、PDA等がある。

【0188】

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 50

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。

【0189】

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。

【0190】

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。

【0191】

光学特性可変光学素子とは、可変焦点レンズ、可変ミラー、面形状の変わる偏向プリズム、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。

【0192】

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。可変ミラーには、焦点距離が変化せず、収差量が変化するようなミラー、可変焦点レンズに反射面を設けたミラー、形状の変わらない可変焦点ミラー、形状の変わる形状可変ミラー等を含むものとする。

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しうるものを光学特性可変光学素子と呼ぶ。

【0193】

以上説明したように、本発明の光学系及びそれを用いた光学装置は、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。

【0194】

(1) 光学素子群をさらに一つ以上有する請求項1乃至3のいずれかに記載の光学系。

【0195】

(2) 可動な3つの光学素子群の後方に光学素子群がある請求項1乃至3のいずれかに記載の光学系。

【0196】

(3) 光学特性可変光学素子を含む光学素子群を有し、その後方に少なくとも3つの光学素子群を有し、前記3つの光学素子群を動かすことにより変倍を行なうことを特徴とする光学系。

【0197】

(4) 前記光学素子群のうち1つの群が正のパワーを持つことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、上記(1)、(2)又は(3)のいずれかに記載の光学系。

【0198】

(5) 前記光学素子群のうち1つの群が負のパワーを持つことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、上記(1)、(2)又は(3)のいずれかに記載の光学系。

【0199】

(6) 前記光学素子群のうち1つの群が正のパワーを持ち、もう1つの群が負のパワーを持つことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、上記(1)、(2)又は(3)のいずれかの光学系。

【0200】

10

20

30

40

50

( 7 ) 光学特性可変光学素子の前方に光学素子群が有り、光学特性可変光学素子の後方に少なくとも 3 つの光学素子群を有し、少なくとも 3 つの光学素子群を動かすことにより変倍を行なうことを特徴とする光学系。

【 0 2 0 1 】

( 8 ) 前記 4 つの光学素子群のうち 1 つの群が正のパワーを持つことを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 2 】

( 9 ) 前記 4 つの光学素子群のうち 1 つの群が負のパワーを持つことを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 3 】

( 1 0 ) 前記 4 つの光学素子群のうち 1 つの群が正のパワーを持ち、もう一つの群が負のパワーを持つことを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 4 】

( 1 1 ) 前記光学特性可変光学素子の後方の光学素子群のうち 1 つの群が正のパワーを持つ移動群であることを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 5 】

( 1 2 ) 前記光学特性可変光学素子の後方の光学素子群のうち 1 つの群が負のパワーを持つ移動群であることを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 6 】

( 1 3 ) 前記光学特性可変光学素子の後方の光学素子群のうち 1 つの群が正のパワーを持つ移動群であり、もう一つの群が負のパワーを持つ移動群であることを特徴とする上記 ( 7 ) の光学系。

【 0 2 0 7 】

( 1 4 ) ある状態で式 301 を満たす上記 ( 5 ) , ( 6 ) , ( 9 ) 又は ( 1 0 ) のいずれかに記載の光学系。

【 0 2 0 8 】

( 1 5 ) 可動な 3 つの光学素子群の後方に光学素子群がある上記 ( 7 ) に記載の光学系。

【 0 2 0 9 】

( 1 6 ) 光学特性可変光学素子の前方の光学素子群が負のパワーを有する上記 ( 7 ) に記載の光学系。

【 0 2 1 0 】

( 1 7 ) 次の式 (5) を満たす上記 ( 7 ) 乃至 ( 1 6 ) のいずれかに記載の光学系。

$$-1.0 < f_1 / f < -0.15 \quad \dots (5)$$

【 0 2 1 1 】

( 1 8 ) ある状態で次の式 (14) を満たす上記 ( 7 ) 乃至 ( 1 6 ) のいずれかに記載の光学系。

$$|R_1 / f| > 1.0 \quad \dots (14)$$

【 0 2 1 2 】

( 1 9 ) 回転対称な光学面を有する請求項 1 乃至 3 のいずれか、又は上記 ( 1 ) 乃至 ( 1 8 ) のいずれかに記載の光学系。

【 0 2 1 3 】

( 2 0 ) 光学特性可変光学素子よりも後方に凹レンズを 2 つ以上有する請求項 1 乃至 3 のいずれか、又は上記 ( 1 ) 乃至 ( 1 9 ) のいずれかに記載の光学系。

【 0 2 1 4 】

( 2 1 ) 光学特性可変光学素子よりも後方に接合レンズを有する請求項 1 乃至 3 のいずれか、又は上記 ( 1 ) 乃至 ( 2 0 ) のいずれかに記載の光学系。

【 0 2 1 5 】

( 2 2 ) ある状態で次の式 (4) , (11) , (12) のいずれかを満たす請求項 1 乃至 3 のいずれか、又は上記 ( 1 ) 乃至 ( 2 1 ) のいずれかに記載の光学系。

$$0.05 < |1| < 1.3 \quad \dots (4)$$

10

20

30

40

50



$$0.0 \quad | \quad / f | \quad < \quad 1.00 \quad \dots (11)$$

$$0.0^\circ \quad | \quad | \quad < \quad 20^\circ \quad \dots (12)$$

## 【0216】

(23) ある状態で次の式(10)を満たす請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(22)のいずれかに記載の光学系。

$$1.0 < C_j / f < 60.0 \quad \dots (10)$$

## 【0217】

(24) 反射面を有する請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(23)のいずれかに記載の光学系。

## 【0218】

(25) 反射面を2つ有する請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(23)のいずれかに記載の光学系。

## 【0219】

(26) 反射面を2つ以上有する請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(23)のいずれかに記載の光学系。

## 【0220】

(27) 撮像素子と光学特性可変光学素子の位置関係が固定されている請求項1乃至3、又は上記(1)乃至(26)のいずれかに記載の光学系を備えた光学装置。

## 【0221】

(28) 撮像素子と光学特性可変光学素子の枠又は固定部又は非可動部又は非変形部の位置関係が固定されている請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(26)のいずれかに記載の光学系を備えた光学装置。

## 【0222】

(29) 最も物体側の光学素子と、光学特性可変光学素子の位置関係が固定されている請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(26)のいずれかに記載の光学系を備えた光学装置。

## 【0223】

(30) 最も物体側の撮像素子と、光学特性可変光学素子の枠又は固定部又は非可動部、又は非変形部の位置関係が固定されている請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(26)のいずれかに記載の光学系を備えた光学装置。

## 【0224】

(31) 撮像素子を備え撮像素子の撮像面と光軸とが直交しないことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(30)のいずれかに記載の光学系を備えた光学装置。

## 【0225】

(32) 光学特性可変光学素子によりピント合わせを行なう請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(31)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

## 【0226】

(33) 光学特性可変光学素子が反射型の光学特性可変光学素子であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(32)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

## 【0227】

(34) 光学特性可変光学素子が可変ミラーであることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(32)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

## 【0228】

(35) 光学特性可変光学素子が形状可変ミラーであることを特徴とする請求項1乃至3、又は上記(1)乃至(32)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

## 【0229】

(36) 形状可変ミラーの面形状が回転非対称であることを特徴とする上記(35)に記載の光学系または光学装置。

10

20

30

40

50

## 【0230】

(37) 形状可変ミラーの反射面の周辺部が固定されていることを特徴とする上記(35)に記載の光学系または光学装置。

## 【0231】

(38) ある状態で式(6)、(7)、(8)、(9)のいずれかを満たす上記(33)乃至(37)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

$$0 < |m d / f| < 0.3 \quad \dots (6)$$

$$0 < m d^2 / S m < 5.0 \times 10^{-4} \quad \dots (7)$$

$$0 < |V m| < 500 \quad \dots (8)$$

$$0 < |D M \times f| < 1.00 \quad \dots (9)$$

10

## 【0232】

(39) ある状態で次の式(1)を満たす上記(24)、(25)、(26)、(33)、(34)、(35)、(36)又は(37)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

$$10^\circ < \quad < 120^\circ \quad \dots (1)$$

## 【0233】

(40) ある状態で次の式(2')、(3')のいずれかを満たす上記(24)、(25)、(26)、(33)、(34)、(35)、(36)又は(37)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

$$30^\circ \quad 60^\circ \quad \dots (2')$$

$$30^\circ \quad 60^\circ \quad \dots (3')$$

20

## 【0234】

(41) 光学特性可変光学素子が可変焦点レンズであることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(32)のいずれかに記載の光学系。

## 【0235】

(42) 光学特性可変光学素子のかわりに、パワーの変化しない反射面を用いたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(32)のいずれかに記載の光学系。

## 【0236】

(43) 請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(42)のいずれかで、撮像素子と表示素子を備えた撮像装置。

30

## 【0237】

(44) 物体と像の関係を入れ替えた請求項1乃至3のいずれか、又は上記(1)乃至(43)のいずれかに記載の光学系または光学装置。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0238】

【図1】本発明の一実施形態にかかる可変ミラー409を用いたズーム撮像光学系の概略構成図である。

【図2】本発明の光学装置に適用可能な光学系の実施例の座標系と各軸の正方向を示す図である。

【図3】本発明の光学装置に適用可能な光学系の一実施例の概略構成を示すY-Z断面図であり、広角端の状態を示している。 40

【図4】本発明の光学装置に適用可能な光学系の一実施例の概略構成を示すY-Z断面図であり、標準の状態を示している。

【図5】本発明の光学装置に適用可能な光学系の一実施例の概略構成を示すY-Z断面図であり、望遠端の状態を示している。

【図6】本発明の光学装置に用いる光学系に適用可能な光学特性可変光学素子として形状可変ミラーの一構成例を示す概略図である。

【図7】可変ミラー409の他の構成例を示す概略図である。

【図8】図6及び図7の可変ミラーに用いる電極の一形態を示す説明図である。

【図9】図6及び図7の可変ミラーに用いる電極の他の形態を示す説明図である。

50

- 【図 1 0】可変ミラー 4 0 9 のさらに他の構成例を示す概略図である。
- 【図 1 1】可変ミラー 4 0 9 のさらに他の構成例を示す概略図である。
- 【図 1 2】可変ミラー 4 0 9 のさらに他の構成例を示す概略図である。
- 【図 1 3】図 1 2 の構成例における薄膜コイル 4 2 7 の巻密度の状態を示す説明図である。
- 【図 1 4】可変ミラー 4 0 9 のさらに他の構成例を示す概略図である。
- 【図 1 5】図 1 4 の構成例におけるコイル 4 2 7 の一配置例を示す説明図である。
- 【図 1 6】図 1 4 の構成例におけるコイル 4 2 7 の他の配置例を示す説明図である。
- 【図 1 7】図 1 2 に示した構成例において、コイル 4 2 7 の配置を図 1 6 に示した構成例のようにした場合に好適な永久磁石 4 2 6 の配置を示す説明図である。 10
- 【図 1 8】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変ミラー 4 0 9 の概略構成図である。
- 【図 1 9】可変ミラーのさらに他の構成例に係る、マイクロポンプ 1 8 0 で流体 1 6 1 を出し入れし、レンズ面を変形させる可変形状鏡 1 8 8 の概略構成図である。
- 【図 2 0】マイクロポンプの一構成例を示す概略構成図である。
- 【図 2 1】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変焦点レンズの原理的構成を示す図である。
- 【図 2 2】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 2 3】図 2 1 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 2 4】図 2 1 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構成例を示す図である。 20
- 【図 2 5】本発明の光学装置に可変焦点レンズを用いたデジタルカメラ用の撮像光学系の一構成例を示す図である。
- 【図 2 6】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変焦点回折光学素子の一構成例を示す図である。
- 【図 2 7】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例を示す図である。
- 【図 2 8】図 2 7 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 2 9】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変偏角プリズムの二つの構成例を示す図である。 30
- 【図 3 0】図 2 9 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 3 1】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変焦点レンズとして機能できる可変焦点ミラーの一構成例を示す図である。
- 【図 3 2】本発明の光学装置の光学系に他の構成例の可変焦点レンズ 1 4 0 を用いた撮像光学系の概略構成図である。
- 【図 3 3】図 3 2 の構成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 3 4】図 3 3 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 3 5】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変焦点レンズのさらに他の構成例に係る、マイクロポンプ 1 6 0 で流体 1 6 1 を出し入れし、レンズ面を変形させる可変焦点レンズ 1 6 2 の概略図である。 40
- 【図 3 6】本発明の光学装置の光学系に適用可能な光学特性可変光学素子の他の構成例であって圧電材料 2 0 0 を用いた可変焦点レンズ 2 0 1 の概略図である。
- 【図 3 7】図 3 6 の変形例に係る可変焦点レンズの状態説明図である。
- 【図 3 8】本発明の光学装置の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構成例であって圧電材料からなる 2 枚の薄板 2 0 0 A , 2 0 0 B を用いた可変焦点レンズの概略図である。
- 【図 3 9】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変焦点レンズのさらに他の構成例を示す概略図である。
- 【図 4 0】図 3 9 の構成例に係る可変焦点レンズの状態説明図である。 50

【図 4 1】本発明の光学装置の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構成例であってフォトニカル効果を用いた可変焦点レンズの概略図である。

【図 4 2】図 4 1 の構成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 4 3】本発明の光学装置の光学系に適用可能な可変ミラーのさらに他の構成例を示す概略図である。

【図 4 4】本発明の実施の形態にかかる光学装置の光学系に適用可能な電磁駆動型の可変ミラーの構造を示した図であり、(a)は側面図、(b)は反射膜の反対側から見た図である。

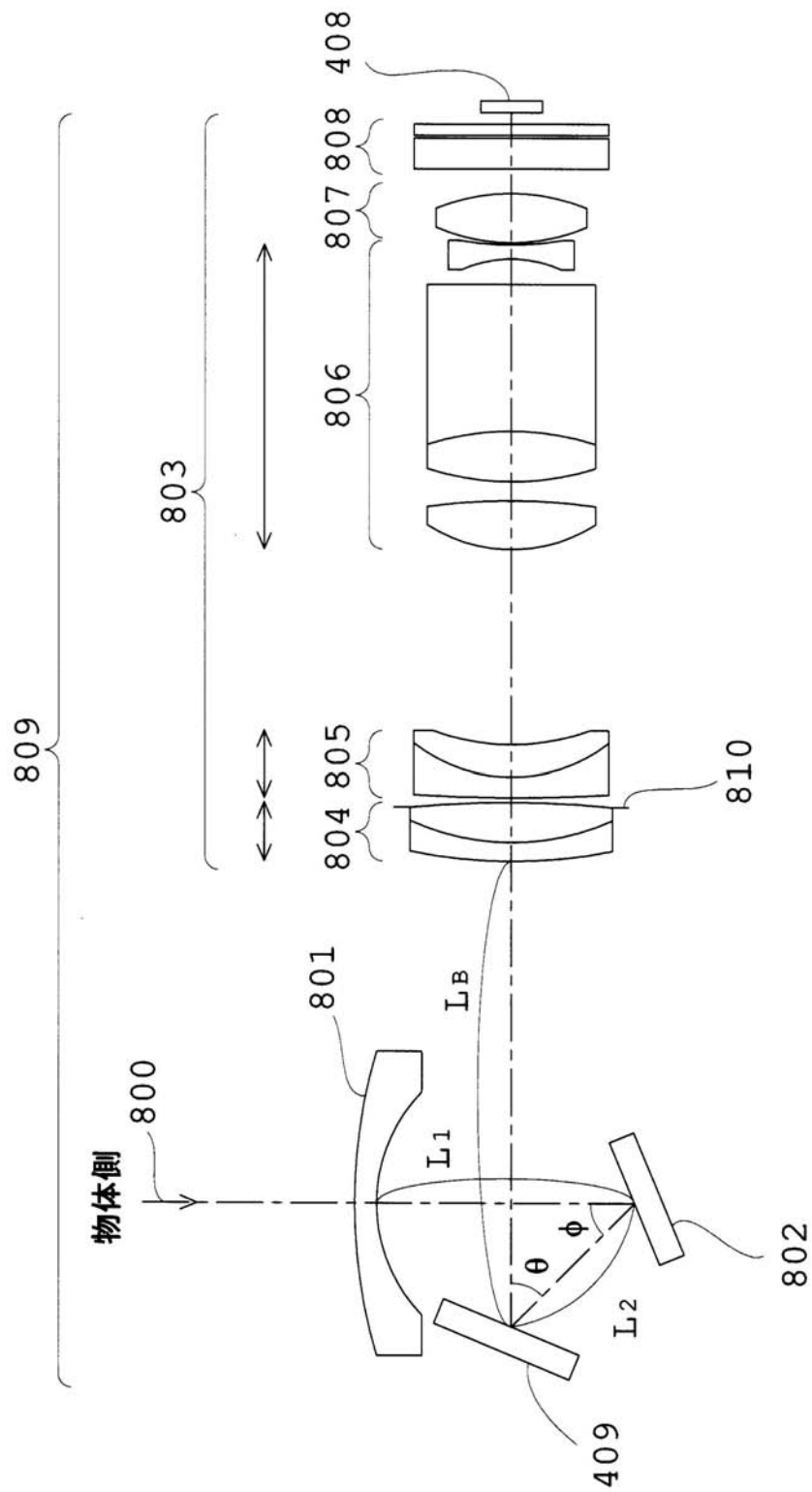
【符号の説明】

【0239】

45、188、409	可変ミラー	10
59、145、513a、513b	透明電極	
102、512a、512b、512c、522、552、538、553、871、902	レンズ	
103	制御系	
103'	回路	
104、141	撮像ユニット	
140、162、201、207、214、511、551	可変焦点レンズ	
142	透明部材	
143	透明物質	20
144	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	
161	流体	
163、165、202、204、532、533、562、563、566、567	透明基板	
164	弾性体	
168	制御装置	30
181	振動板	
182、183、409b、409d、409k、452	電極	
184、185	弁	
189	膜	
189a、423	支持台	
200	圧電材料	
200A、200B	薄板	
206、409c-2、453	電歪材料	
208、209	透明弾性体	
210	アゾベンゼン	40
211	スペーサー	
212、213	光源	
303	画像処理装置	
304、411、425、425a、425b、428	駆動回路	
408、523、IS	撮像素子	
409a	薄膜	
409c、409c'	圧電素子	
409c-1、409e、409j、451	基板	
411a、411b、519	可変抵抗器	
412、516	電源	50

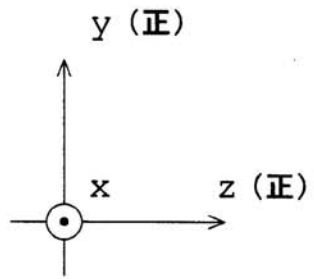
4 1 3	電源スイッチ	
4 1 4	演算装置	
4 1 5	温度センサー	
4 1 6	湿度センサー	
4 1 7	距離センサー	
4 2 4	振れセンサー	
4 2 6	永久磁石	
4 2 7、4 2 8、	コイル	
4 4 9	釐	
4 5 0、5 6 8	反射膜	10
5 0 8 a、5 0 8 b、5 0 9 a、5 0 9 b	レンズ面	
5 1 4	高分子分散液晶層	
5 1 5	スイッチ	
5 1 7、5 5 5	液晶分子	
5 1 8	高分子セル	
5 2 1、8 1 0	明るさ絞り	
5 3 1	可変焦点回折光学素子	
5 3 3 a、5 3 3 b、5 6 2 a、5 6 3 a、5 6 3 b、5 6 6 a、5 6 7 b	面	
5 3 9 a、5 3 9 b	配向膜	
5 5 0	可変焦点眼鏡	20
5 5 4	ツイストネマティック液晶層	
5 6 1	可変偏角プリズム	
5 6 2 b	透明基板 5 6 2 の内面	
5 6 5	可変焦点ミラー	
5 6 6 b	透明基板 5 6 6 の内面	
5 6 7 a	透明基板 5 6 7 の内面	
8 0 0	光軸	
8 0 1	凹レンズ	
8 0 2	ミラー	
8 0 3	レンズ系	30
8 0 4、8 0 5、8 0 6、8 0 7	レンズ群	
8 0 8、F L	フィルター群	
8 0 9	ズーム撮像光学系	
D M	形状可変ミラー	
G 1、G 3	負のパワーを有する固定レンズ群	
G 2、G 4	正のパワーを有する移動レンズ群	
G 5	正のパワーを有する固定レンズ群	
I	像面	
L 1	平凹レンズ	
L 2 1	物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ	40
L 2 2、L 4 1、L 4 2、L 5	両凸レンズ	
L 3 1、L 4 3、L 4 4	両凹レンズ	
L 3 2	物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ	
S	絞り	

【図 1】



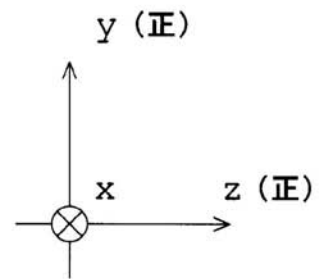
【 図 2 】

(a)



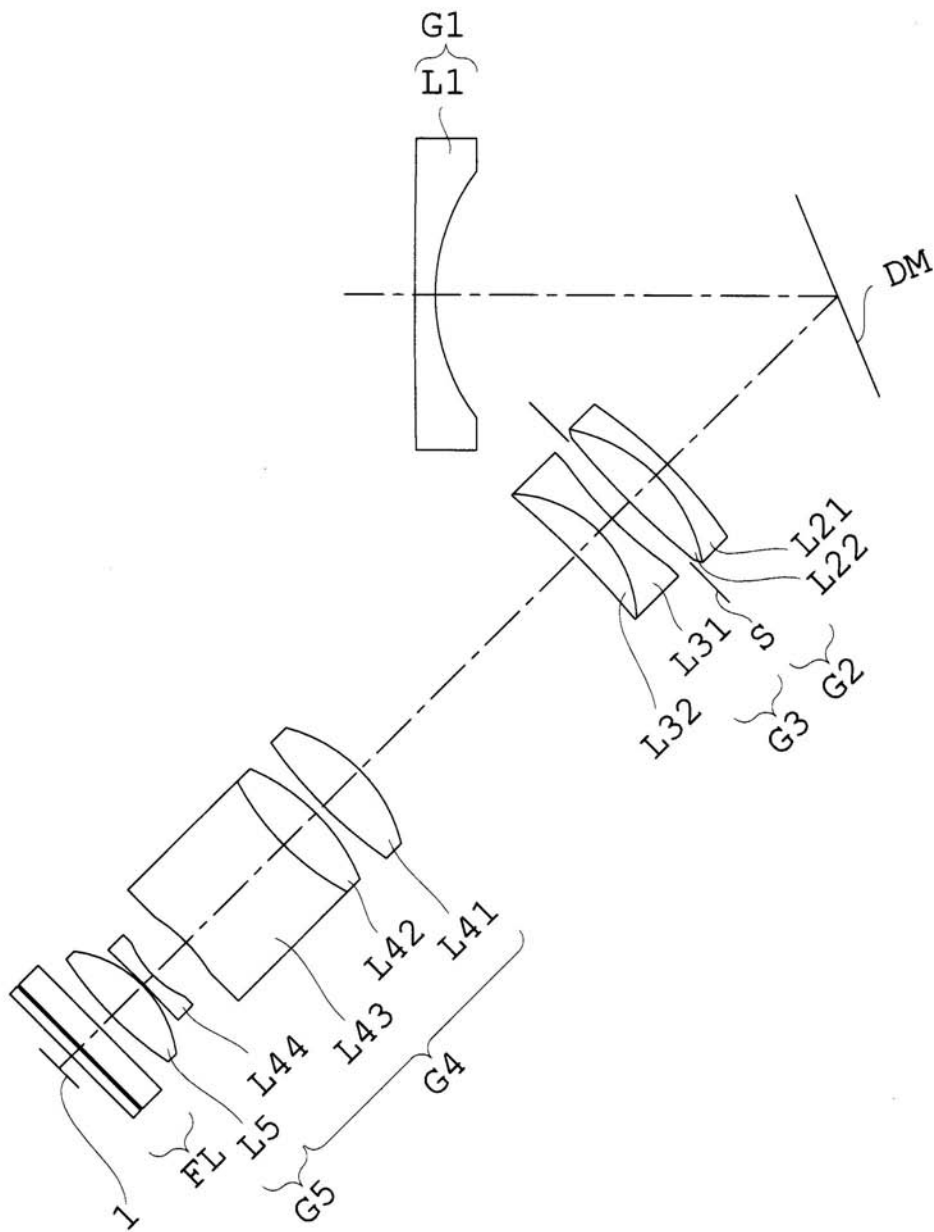
$x$ 軸の正方向は  
紙面の表面方向

(b)



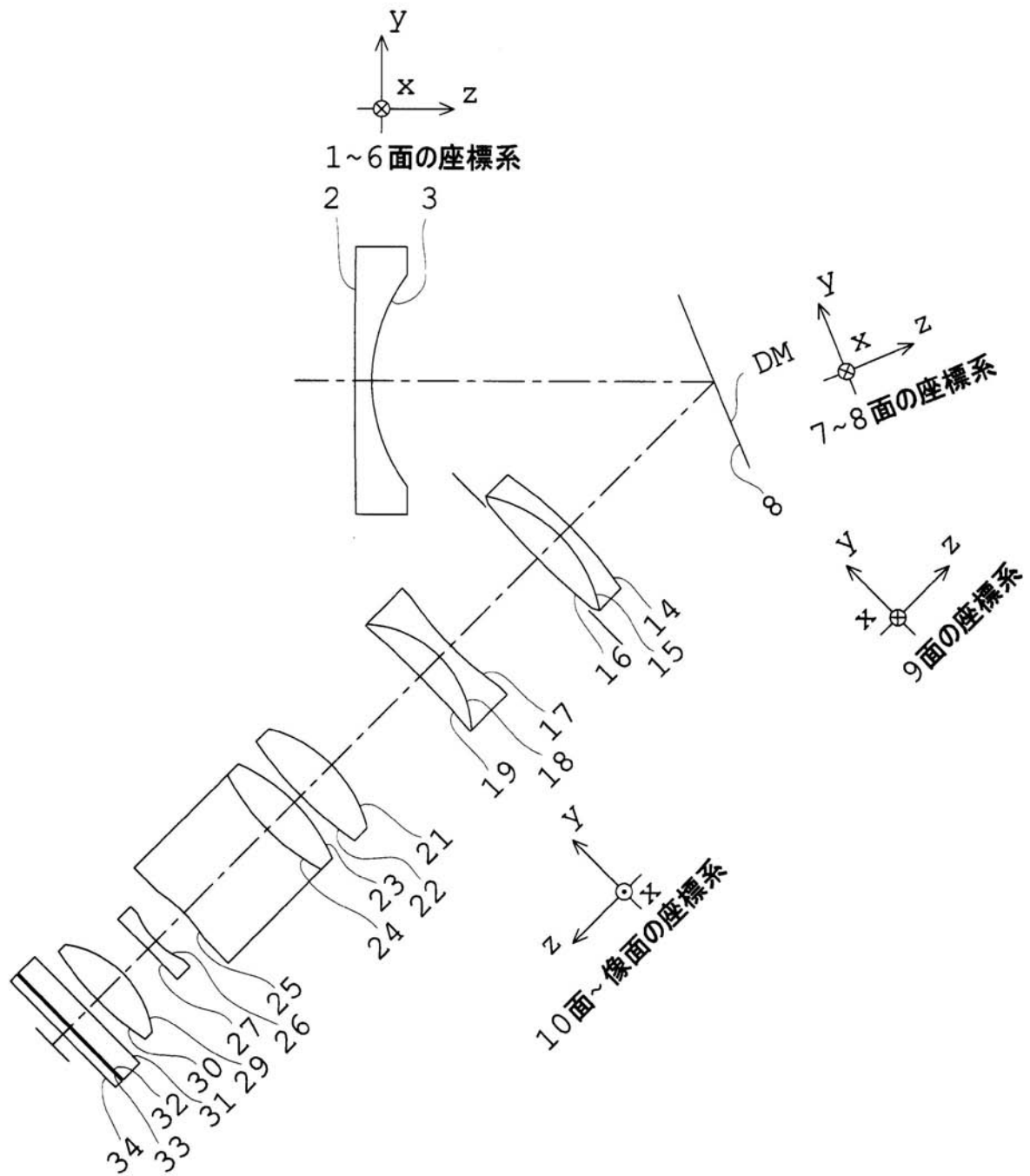
$x$ 軸の正方向は  
紙面の裏面方向

【図 3】

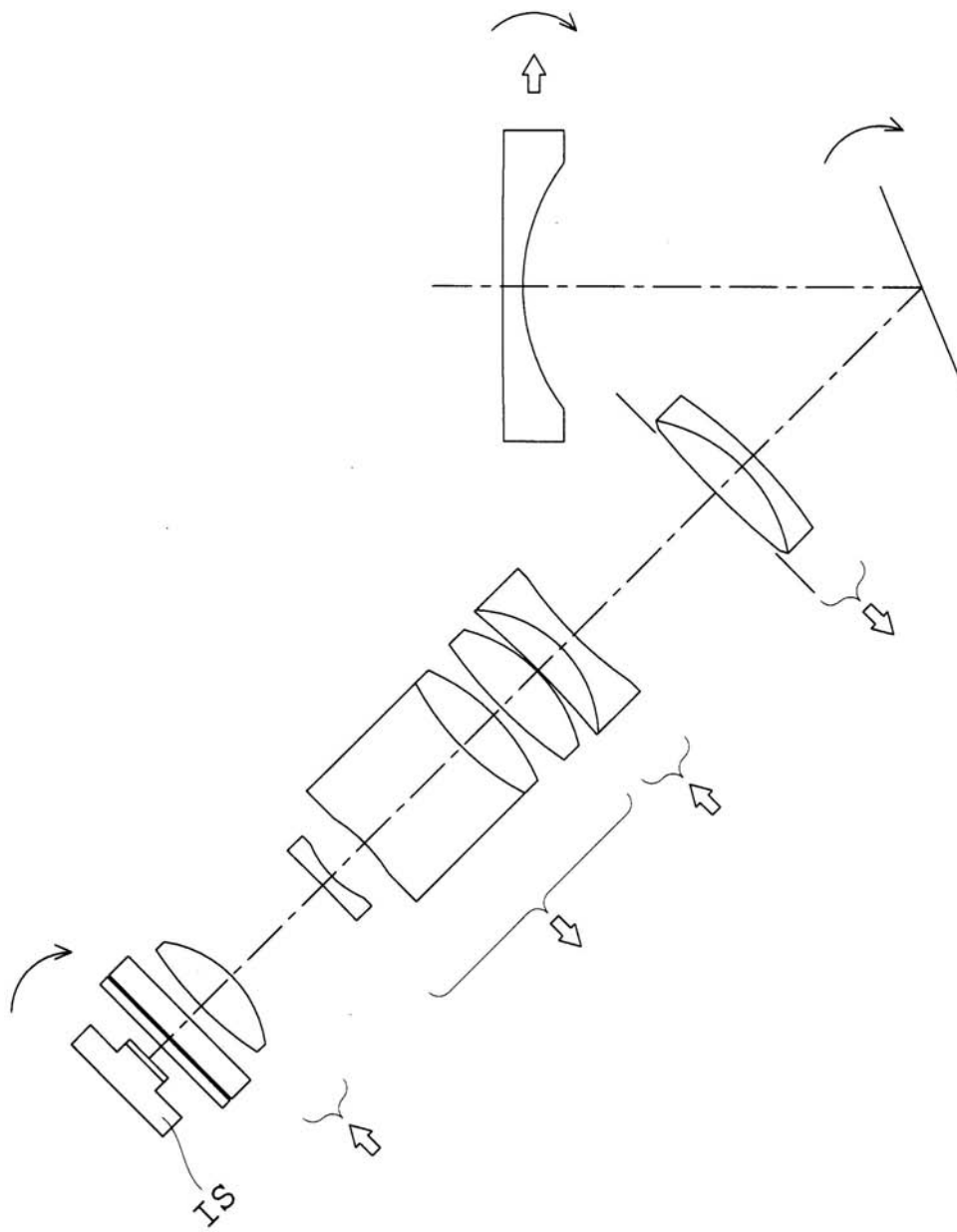




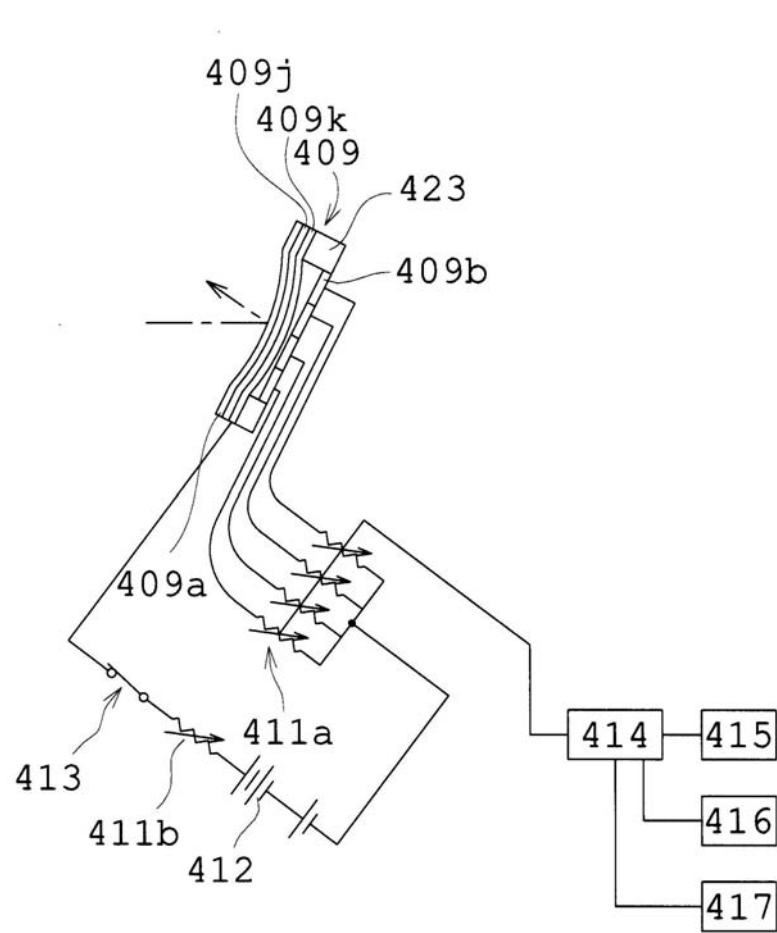
【 図 4 】



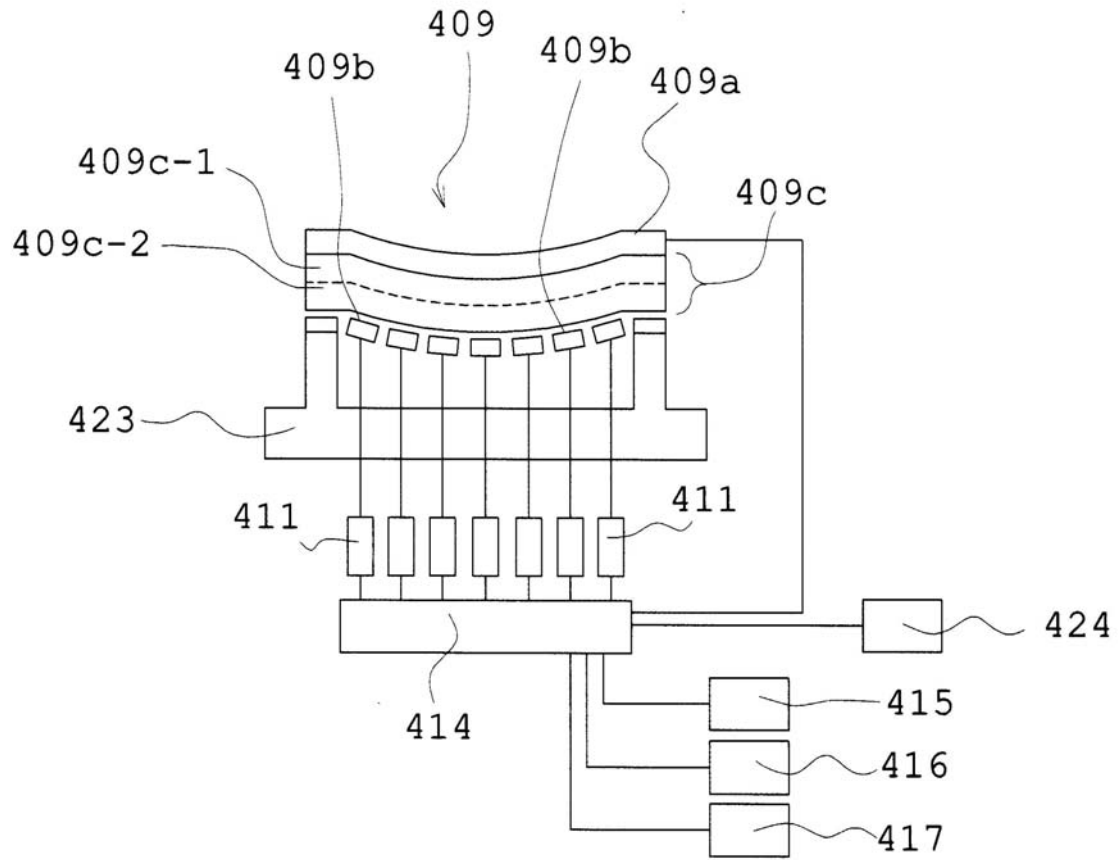
【図 5】



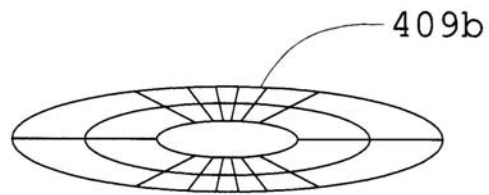
【 図 6 】



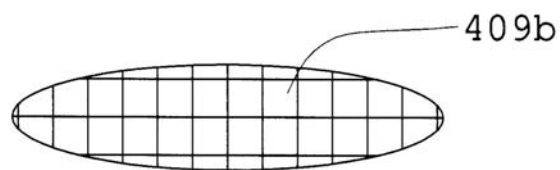
【図 7】



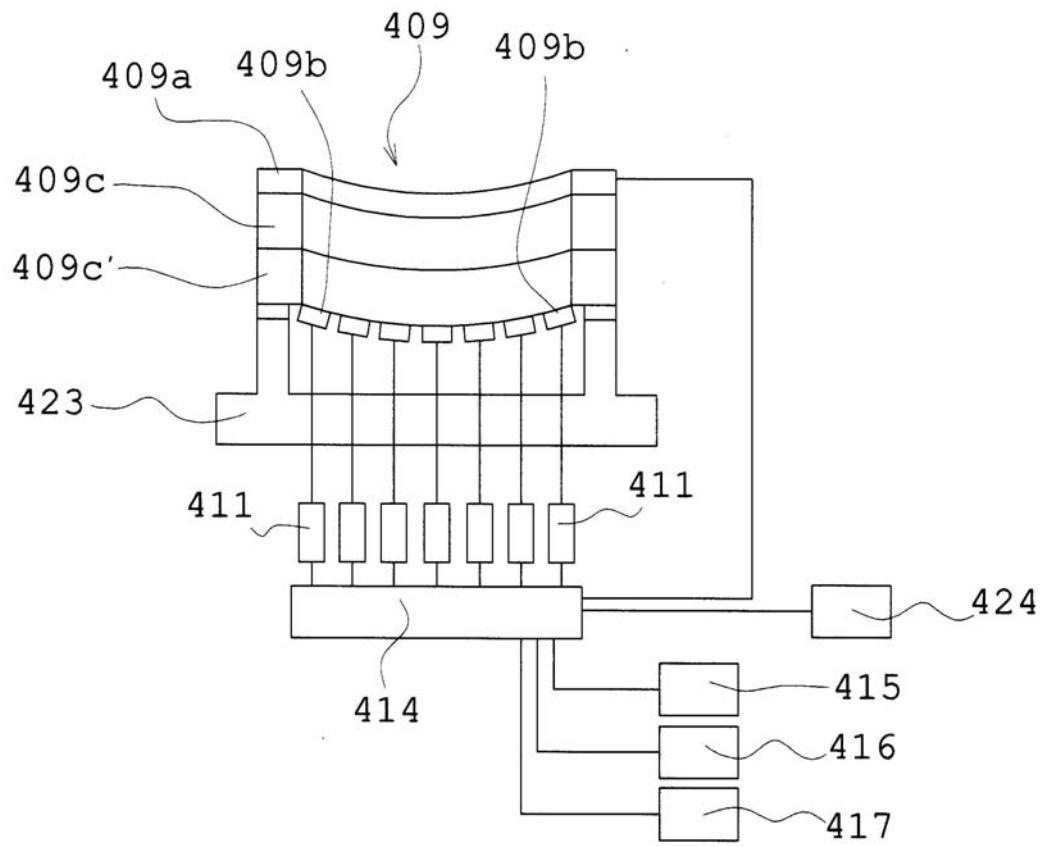
【図 8】



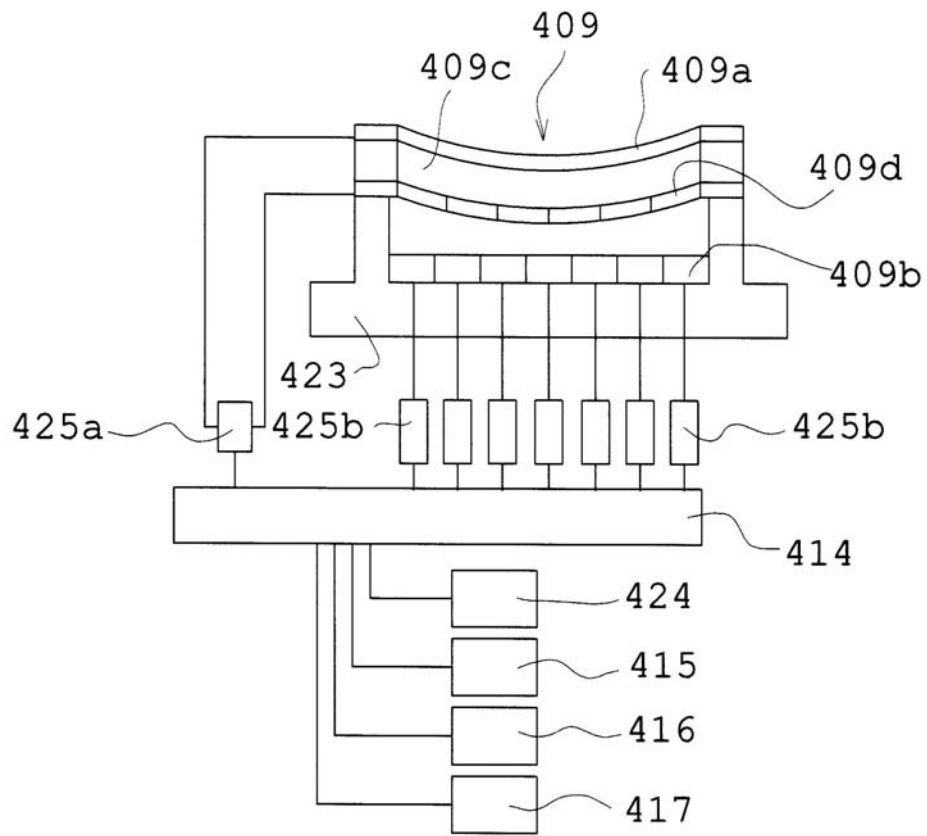
【図 9】



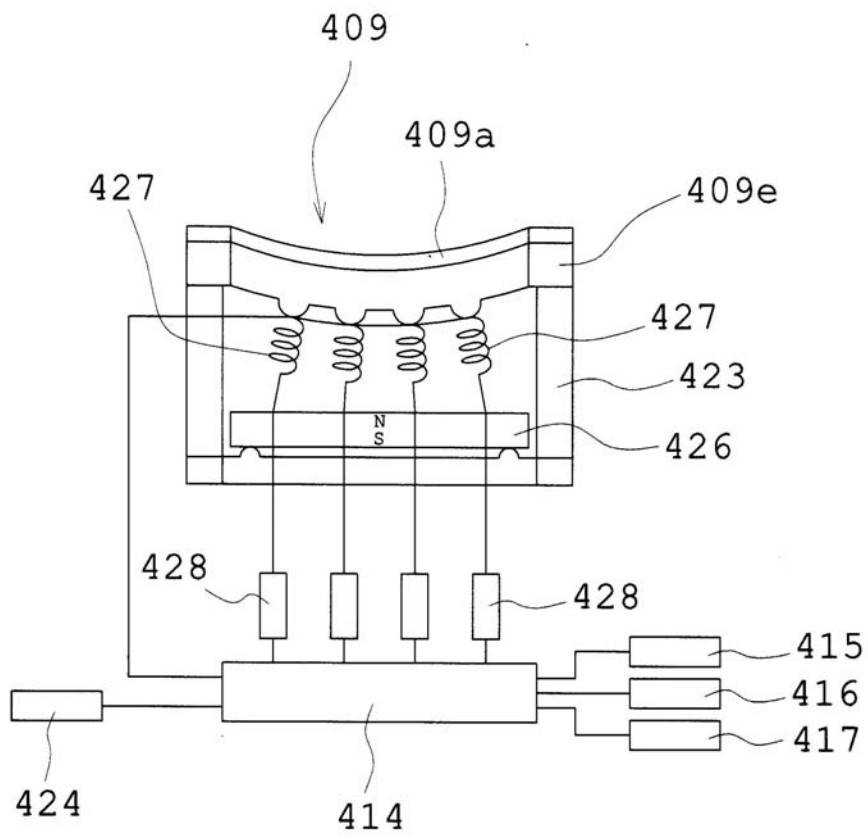
【図 10】



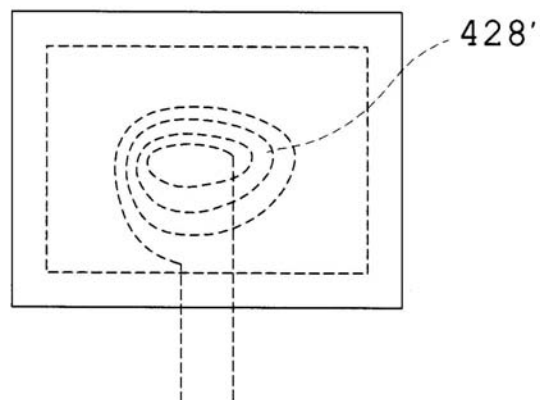
【図 11】



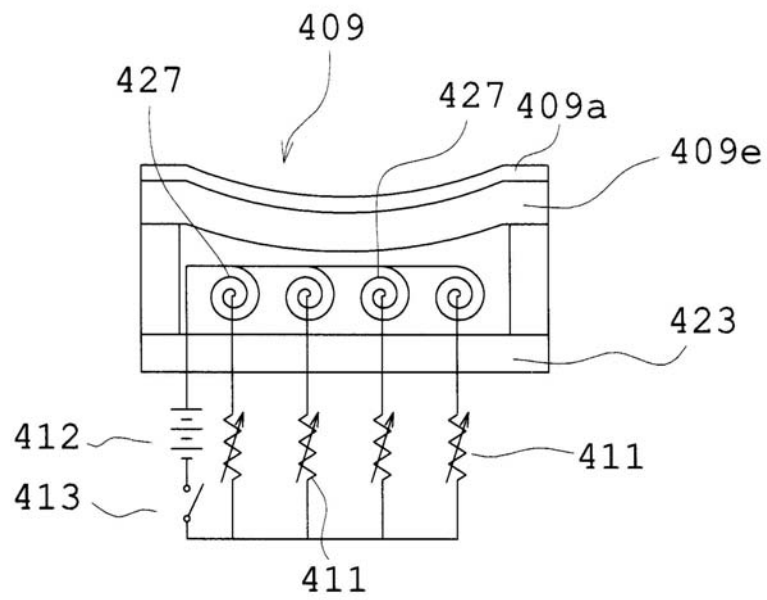
【図 1 2】



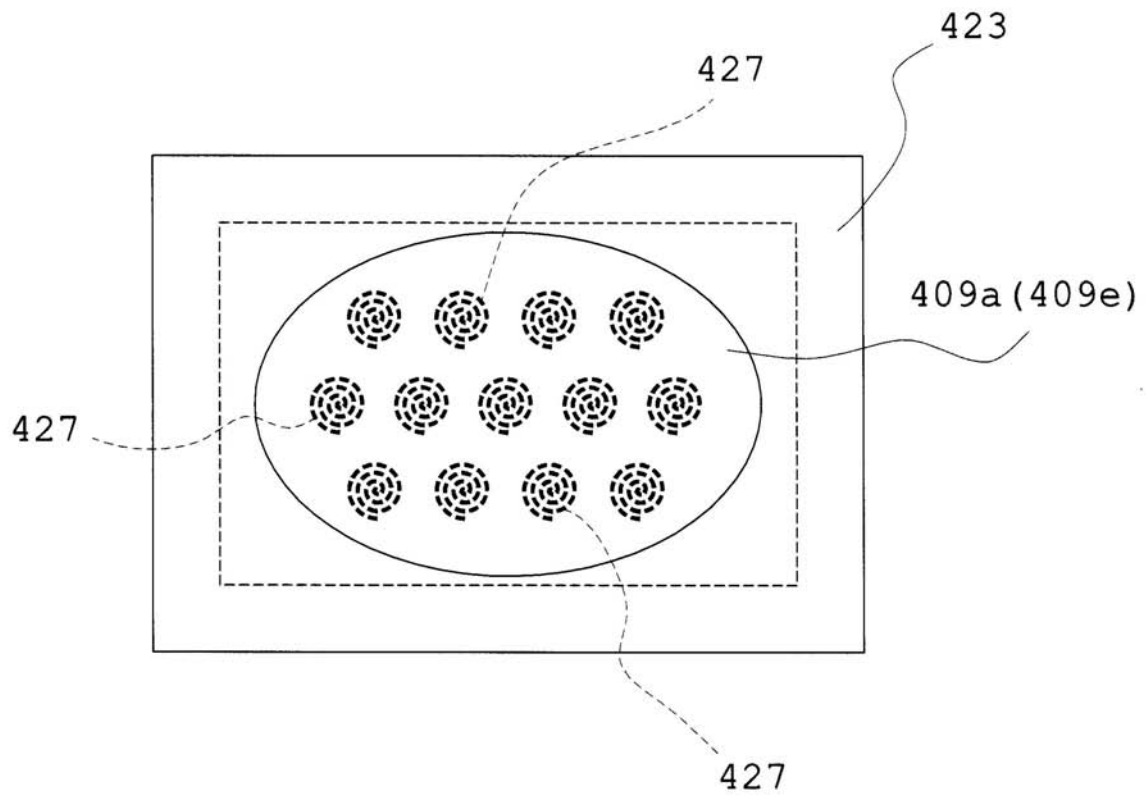
【図 1 3】



【図 14】

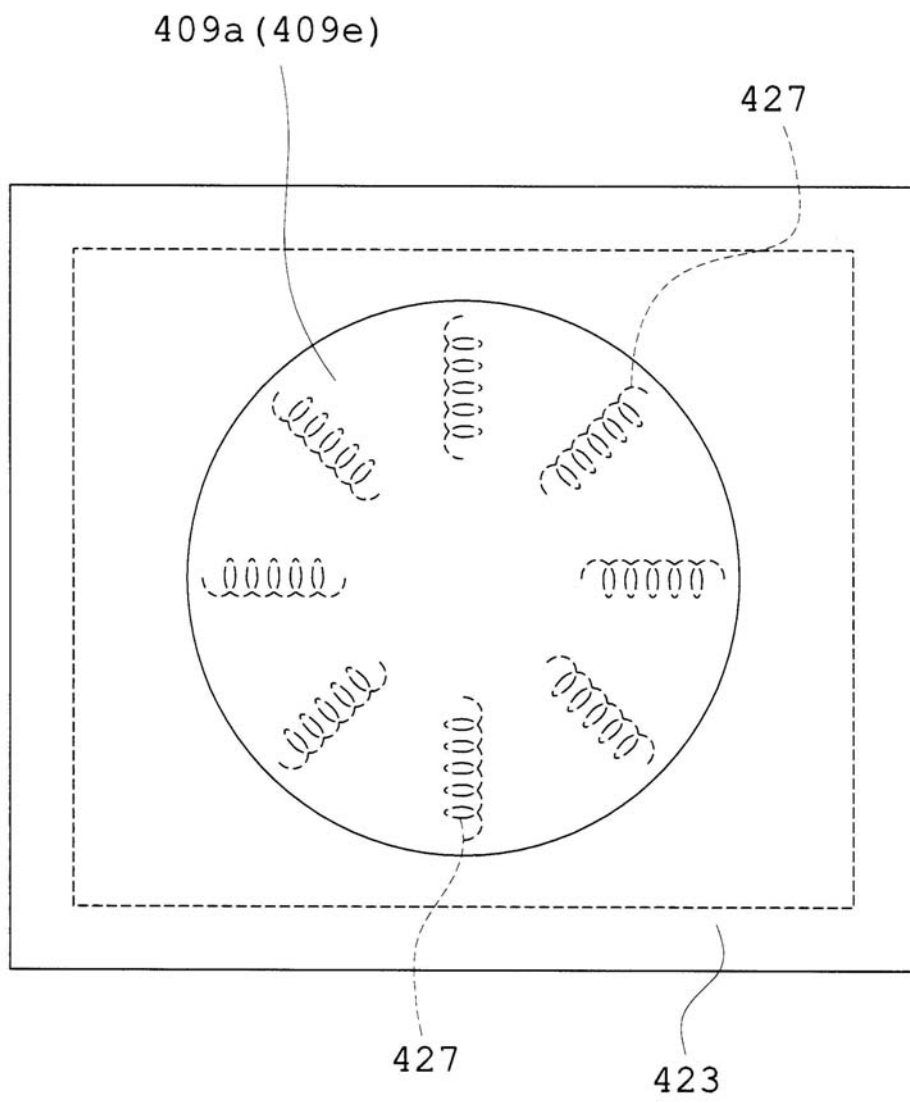


【図 15】

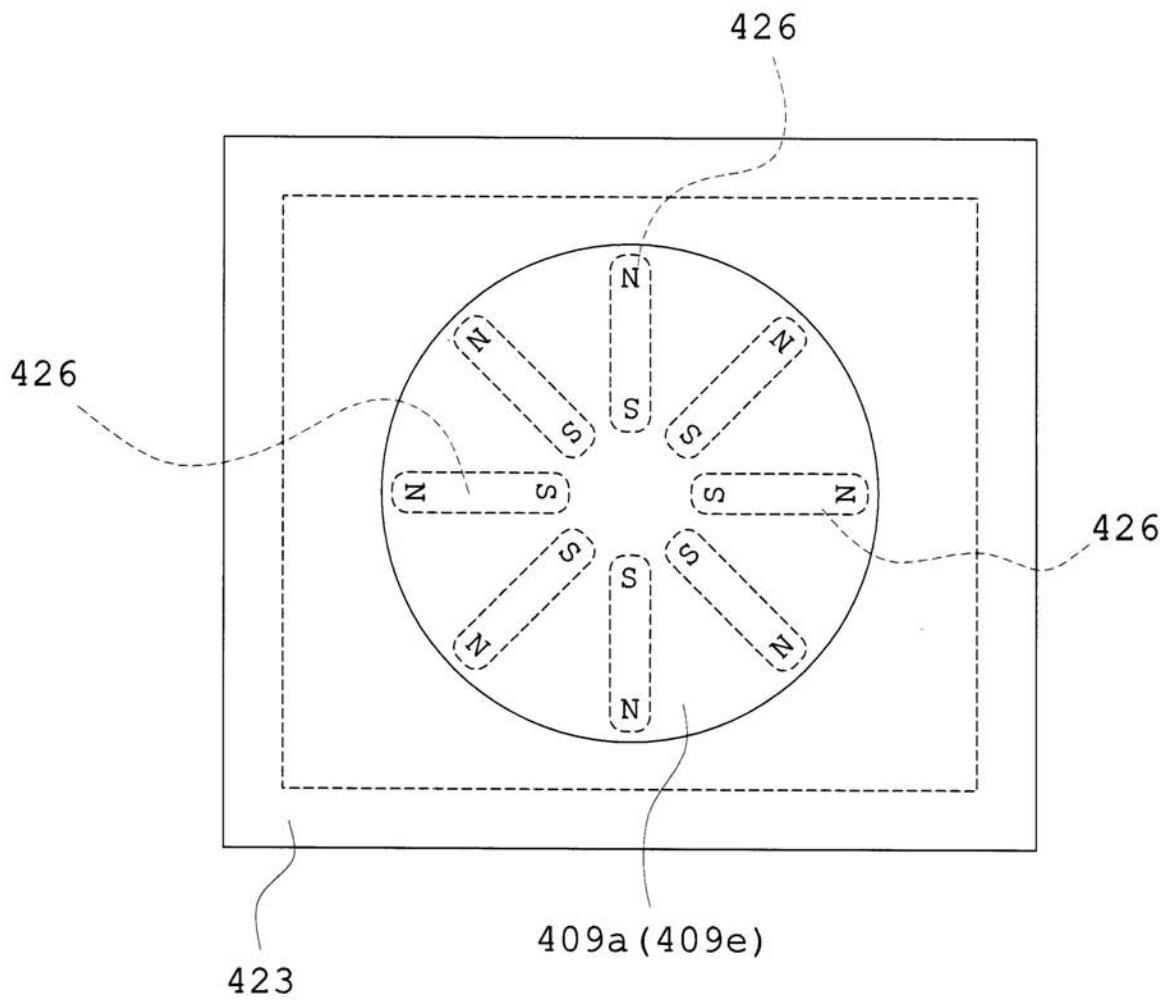




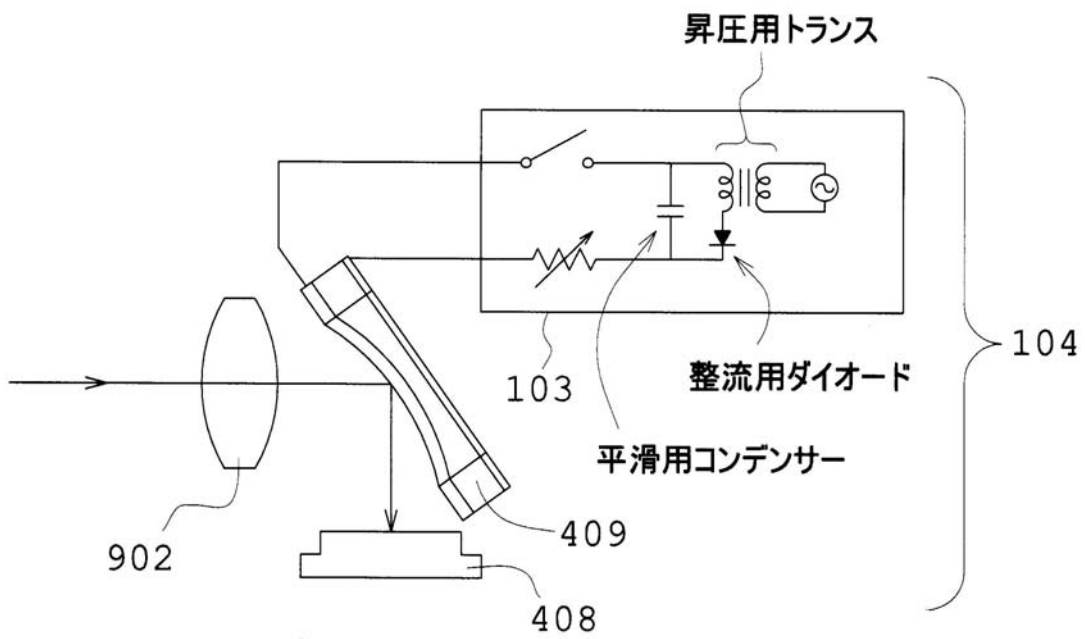
【図 16】



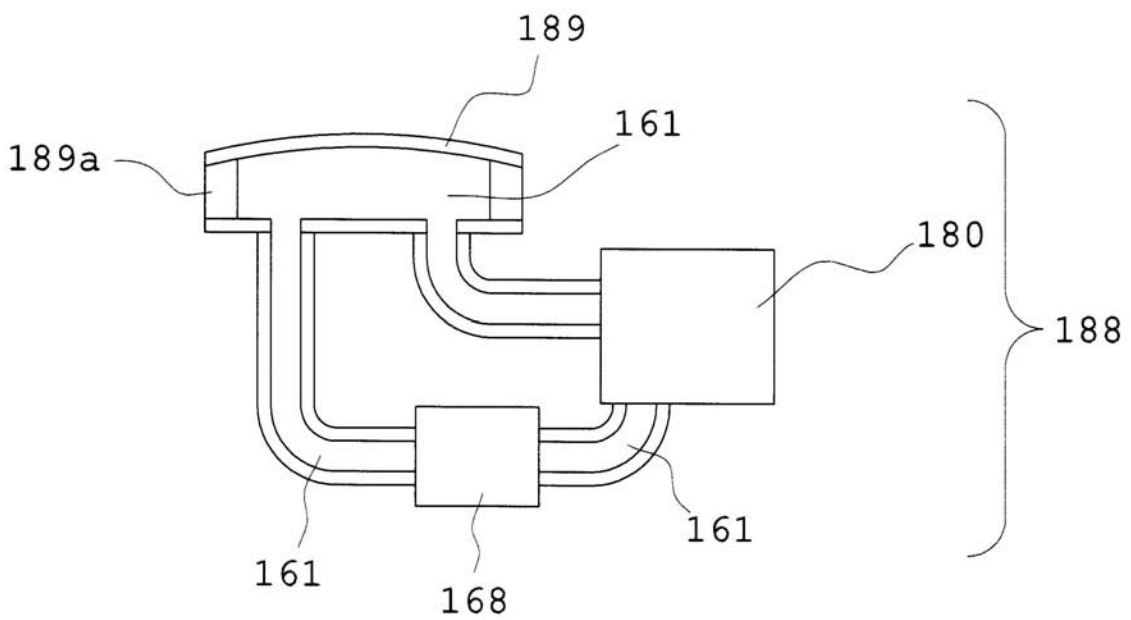
【図 17】



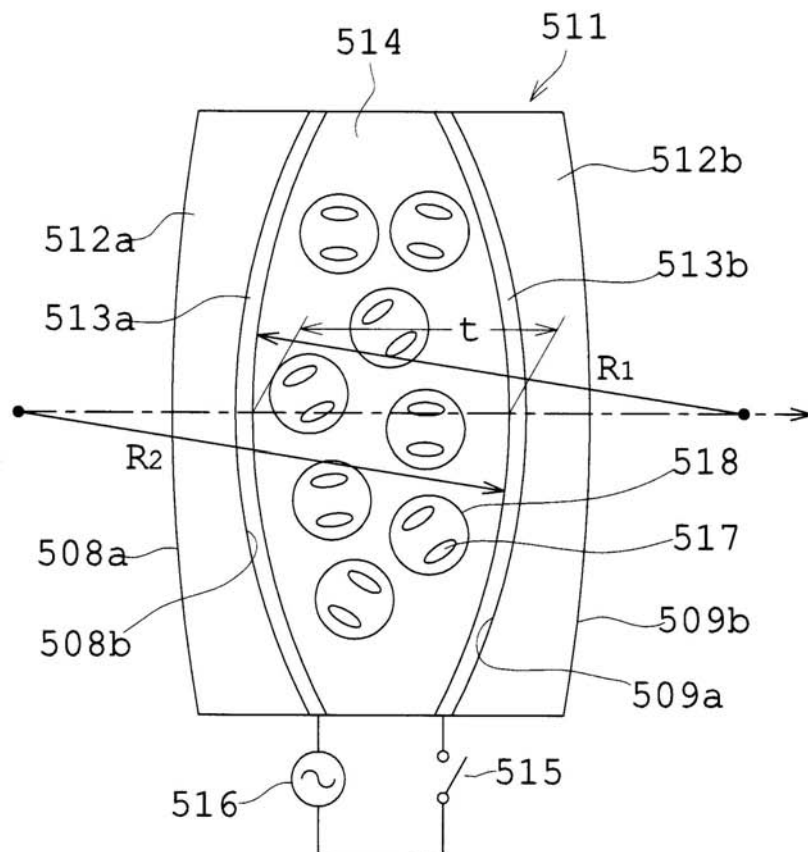
【図 18】



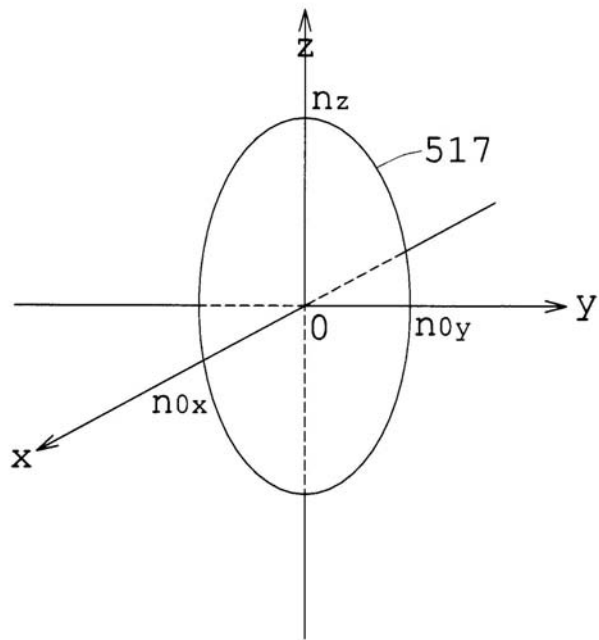
【図 19】



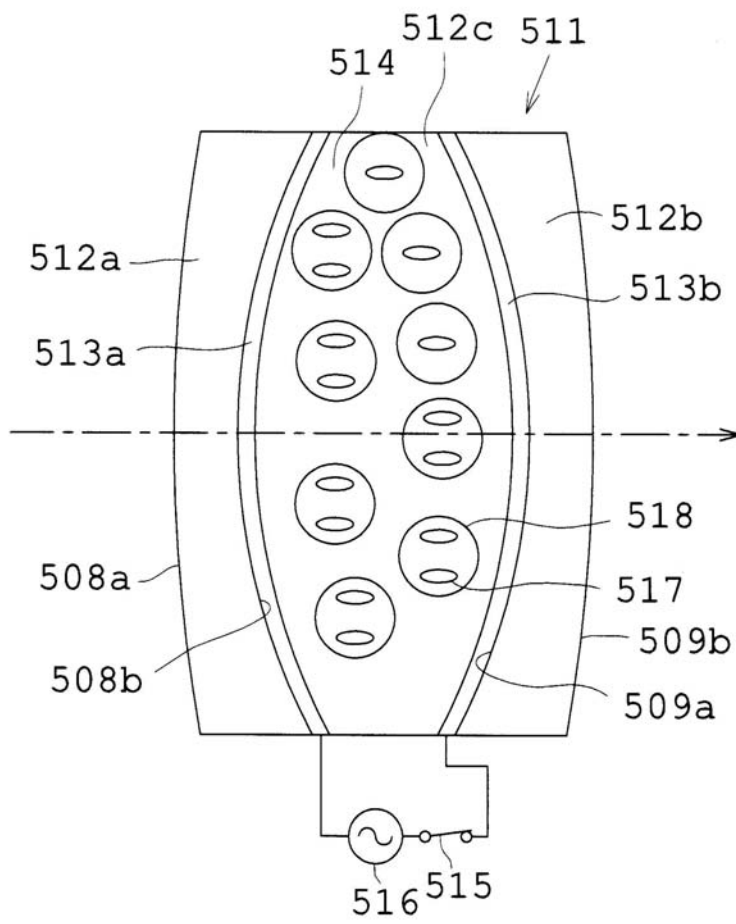
【 図 2 1 】



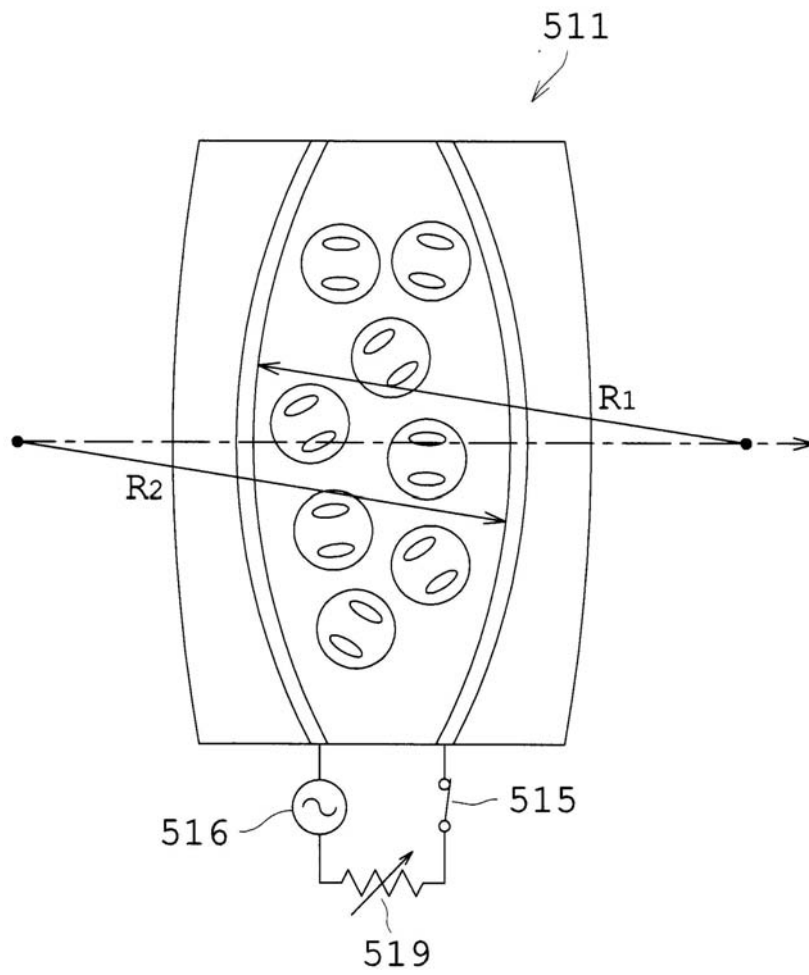
【図 2 2】



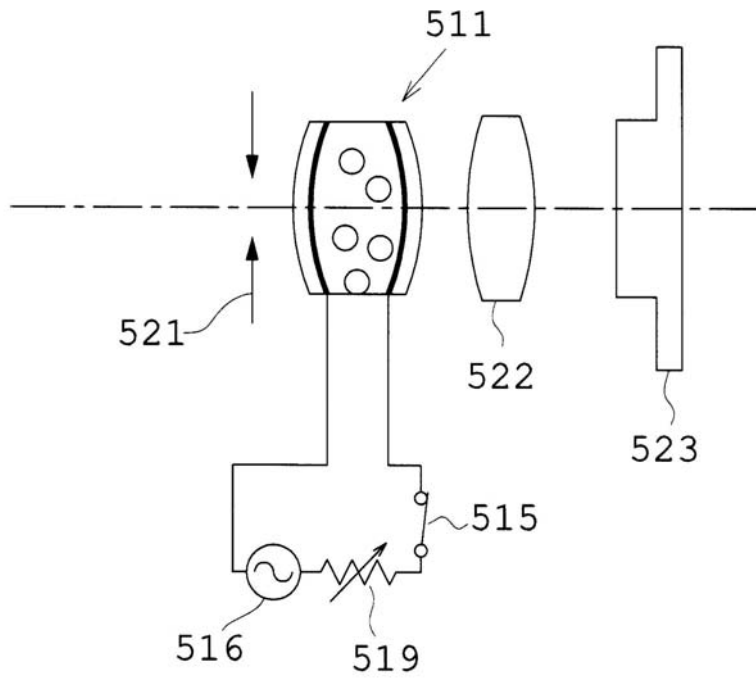
【図 2 3】



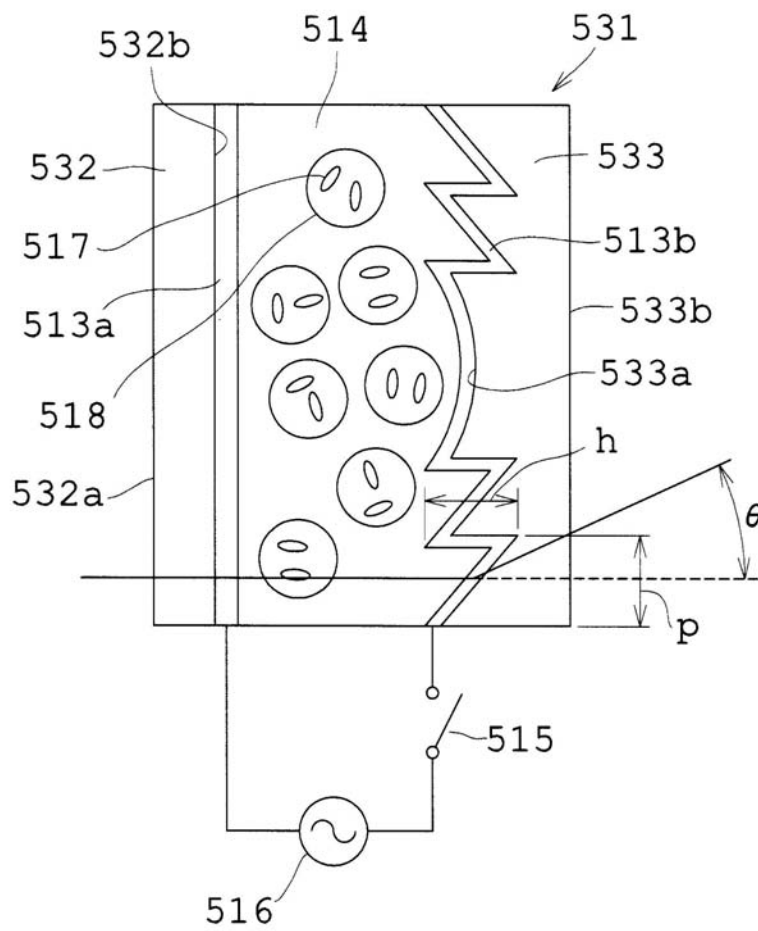
【 図 2 4 】



【図 25】



【図 26】

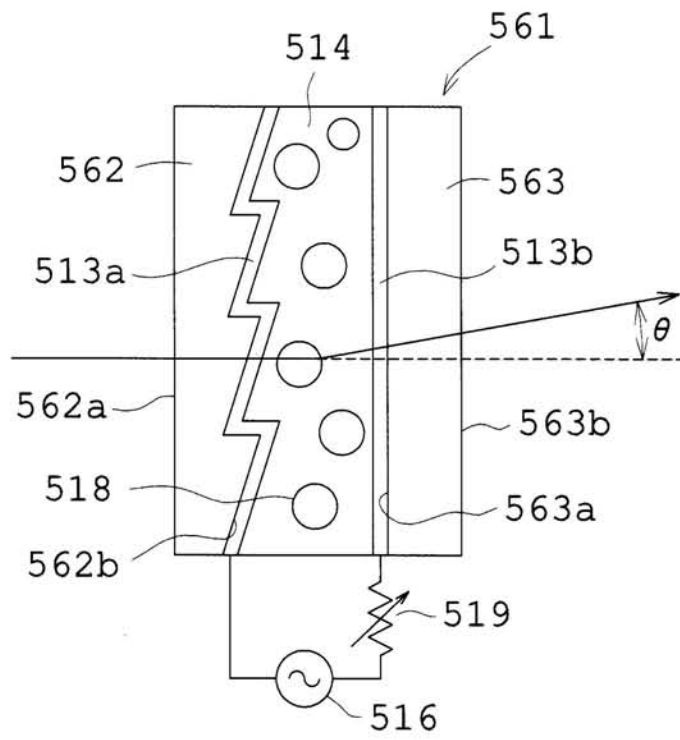




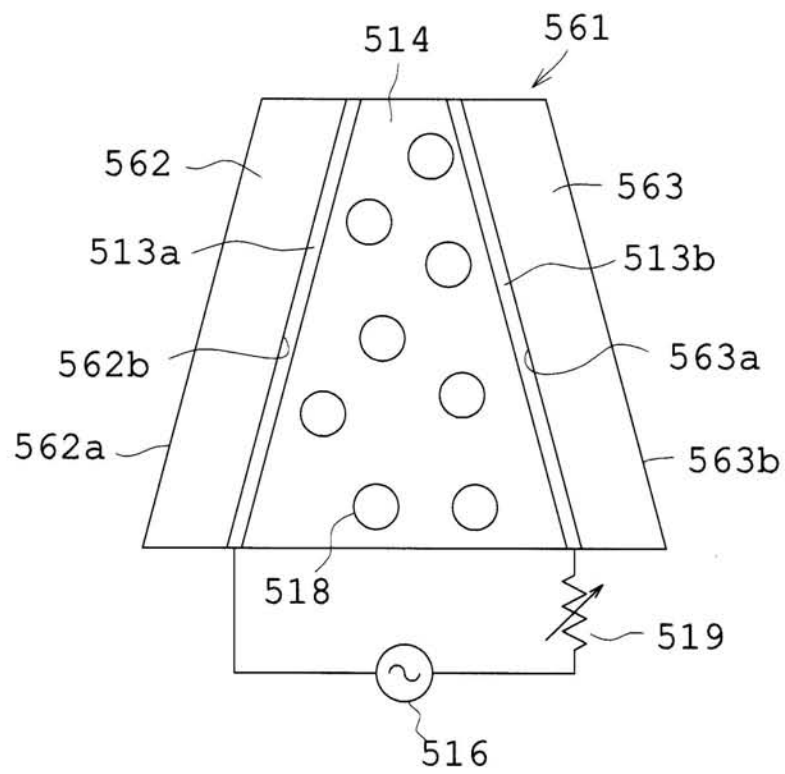


【図 29】

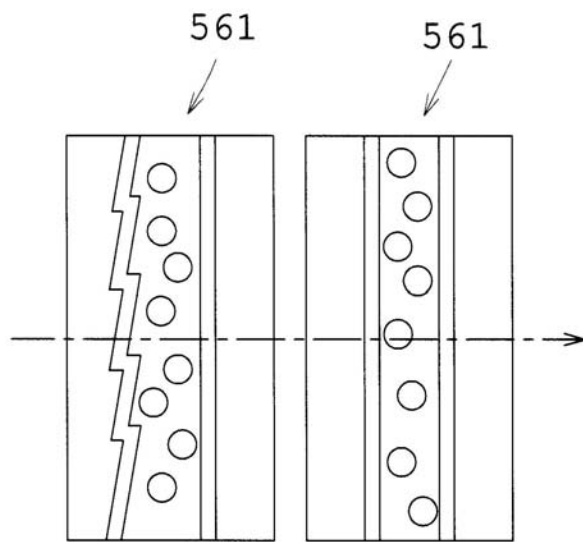
(a)



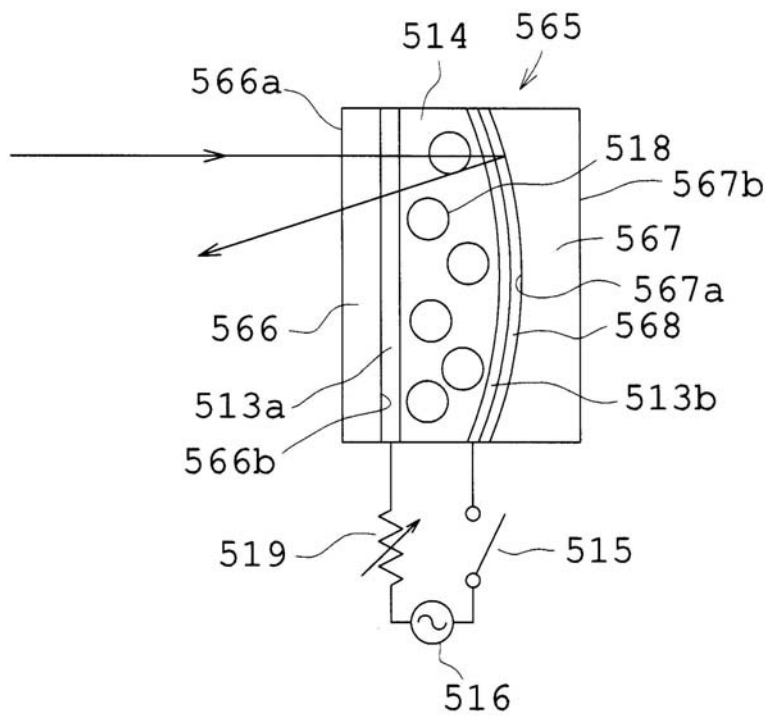
(b)



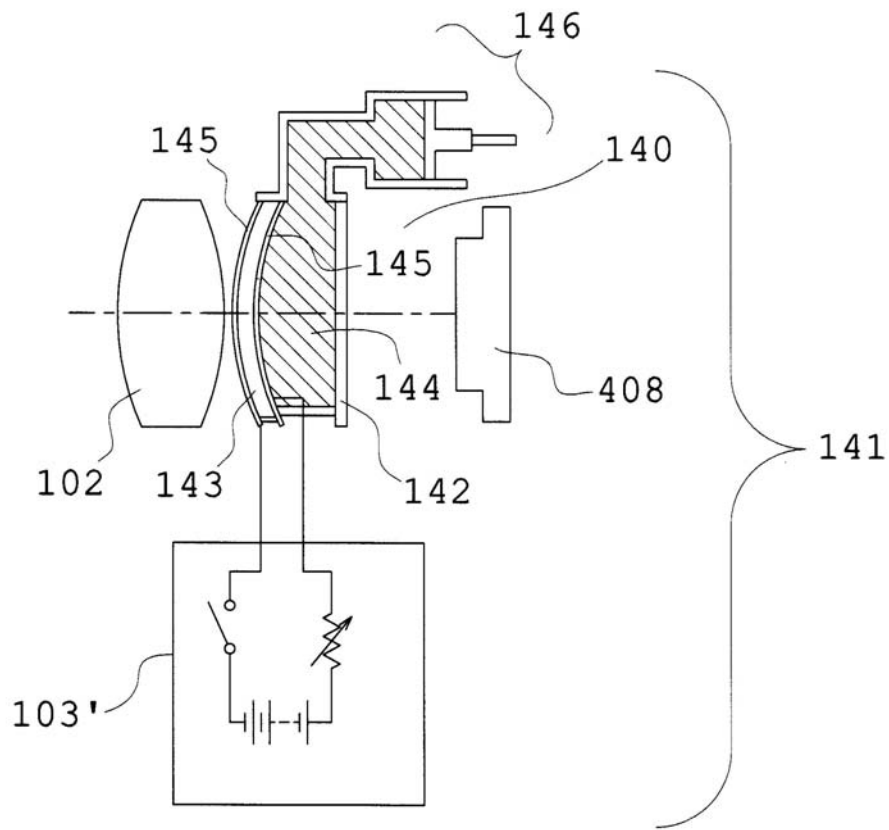
【図 30】



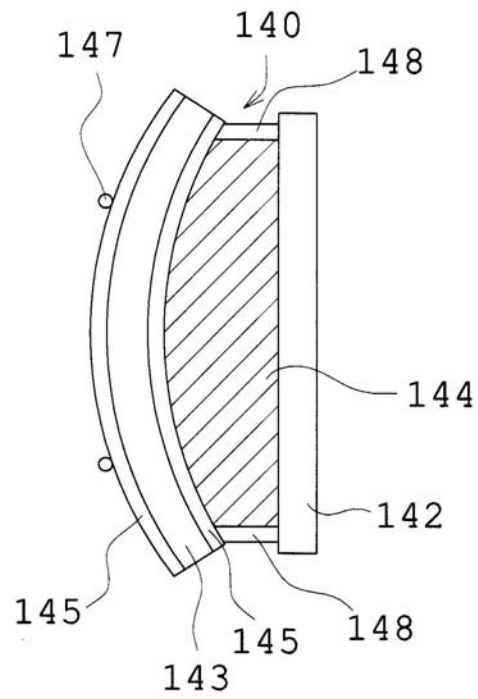
【図 31】



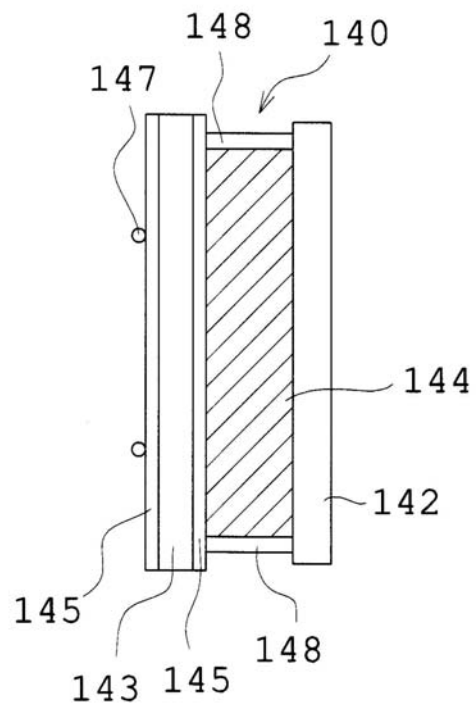
【図 3 2】



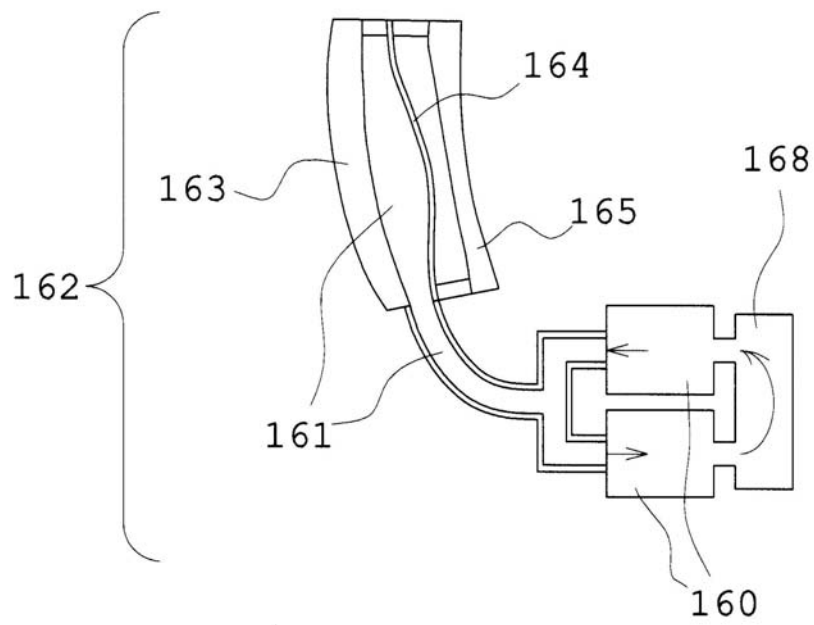
【図 3 3】



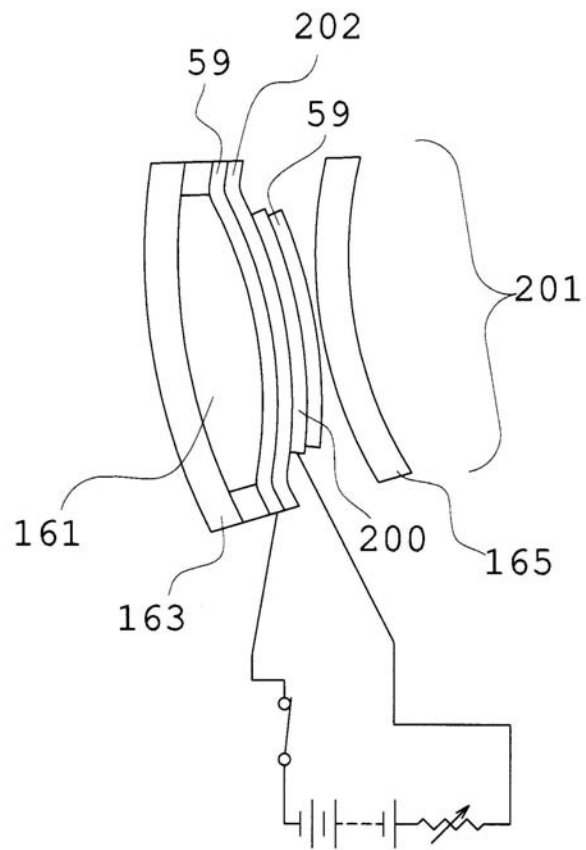
【図 3 4】



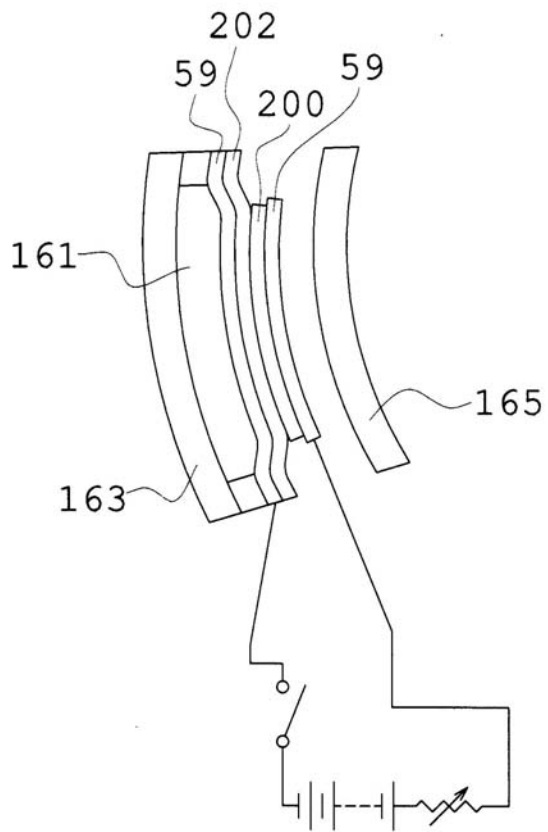
【図 3 5】



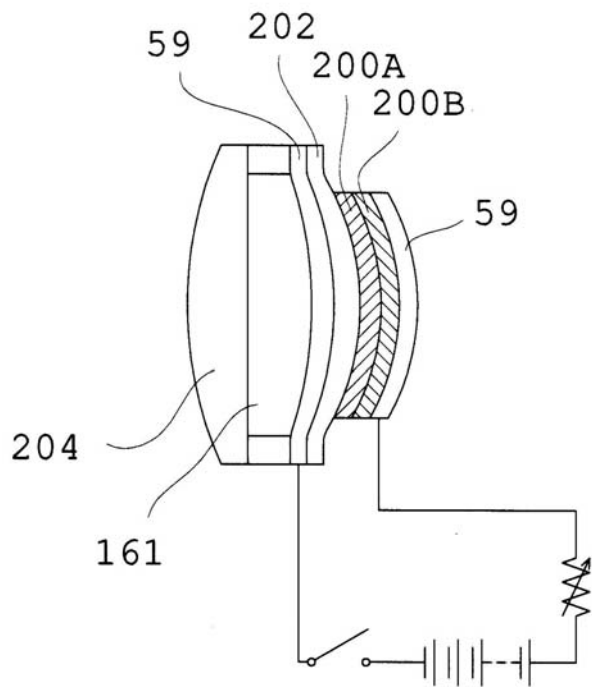
【図 36】



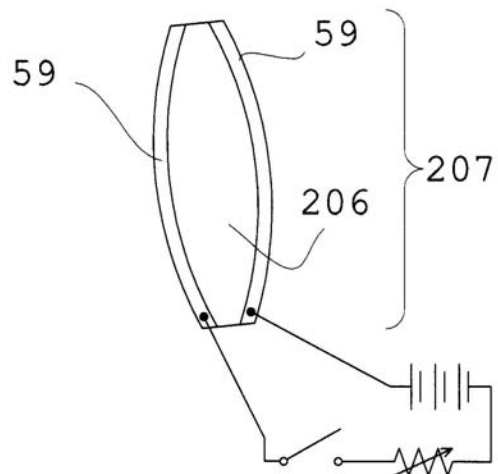
【図 37】



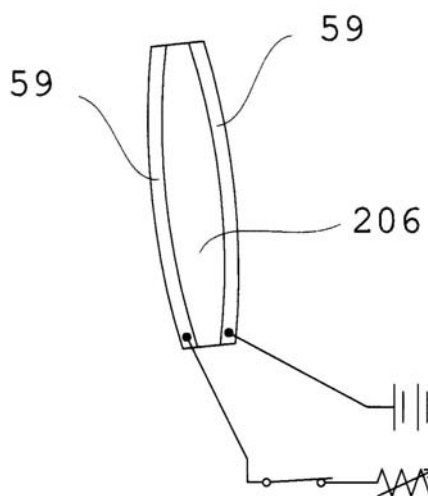
【図 38】



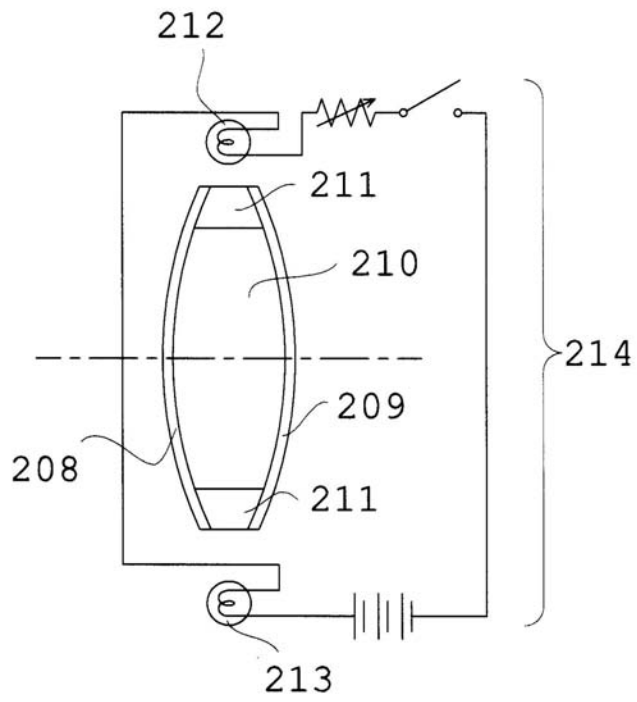
【図 39】



【図 40】



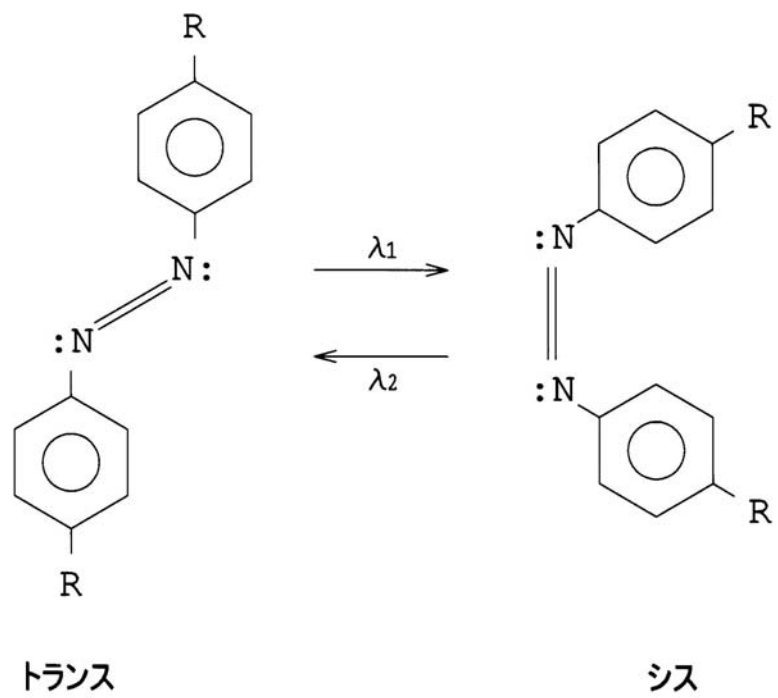
【図 4 1】



【図 4 2】

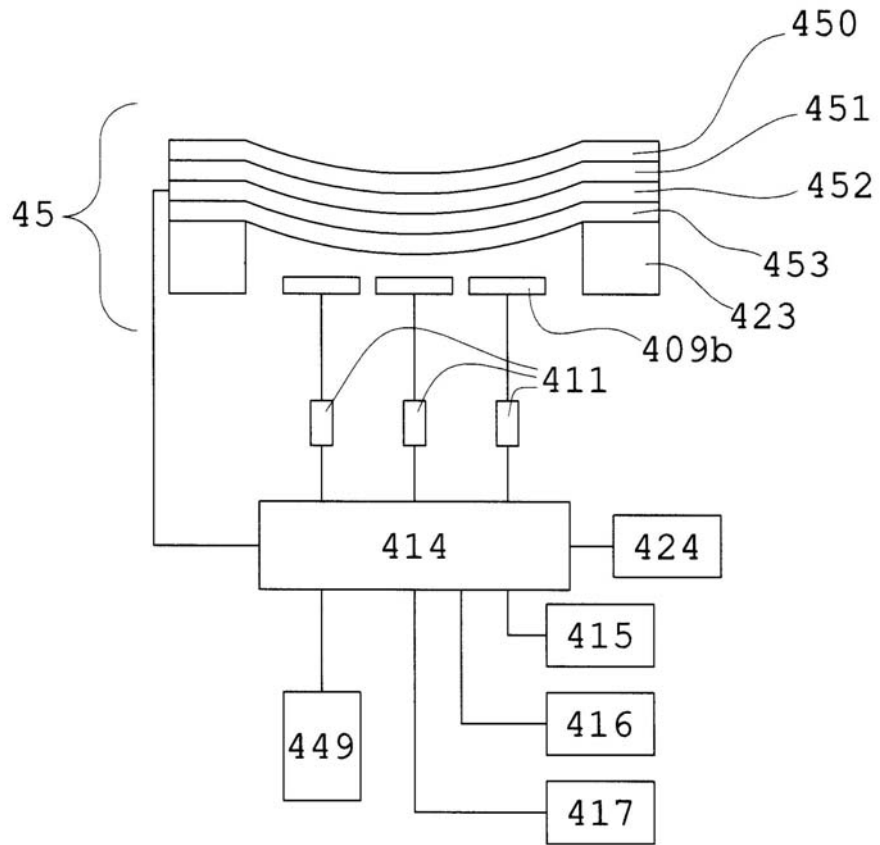
(a)

(b)

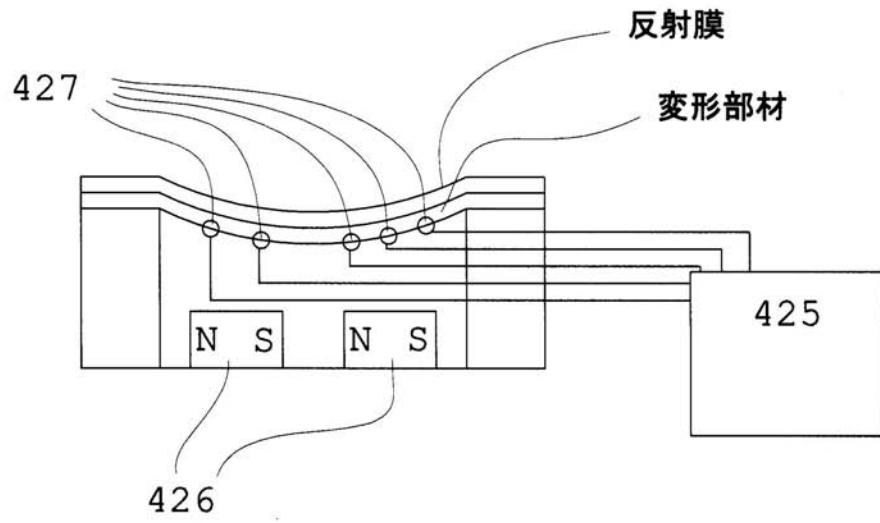




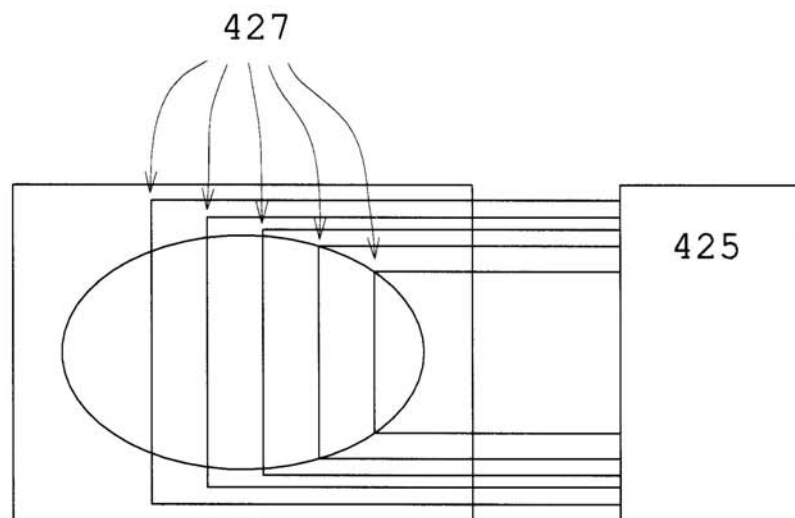
【図 4 3】



【図 4 4】  
(a)



(b)



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA01 PA07 PA20 PB10 QA01 QA07 QA18 QA22 QA25 QA34  
QA42 QA46 RA32 SA44 SA46 SA50 SA52 SA55 SA63 SA64  
SA65 SA72 SA76 SB02 SB13 SB23 SB35 SB42 TA01 TA04  
TA06  
5C122 DA01 EA52 EA68 FB03 FB14 FB15