

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-29685
(P2004-29685A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 15/15
G02B 3/14

F I

G02B 15/15
G02B 3/14

テーマコード(参考)

2H087

審査請求 未請求 請求項の数 3 書面 (全 7 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2002-218922 (P2002-218922)</p> <p>(22) 出願日 平成14年6月23日 (2002.6.23)</p>	<p>(71) 出願人 597025862 石井 明 滋賀県草津市西大路町10番10-C60 9号</p> <p>(72) 発明者 石井 明 滋賀県草津市西大路町10番10-C60 9号</p> <p>Fターム(参考) 2H087 KA12 LA01 SA05 SA08 UA09</p>
--	--

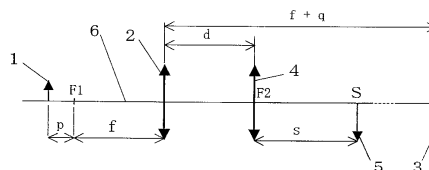
(54) 【発明の名称】 可変焦点レンズを用いた定倍率結像方法及装置

(57) 【要約】

【課題】 焦点合わせを行って定位置に物体の像を結ばせる結像方法および装置において、結像倍率を一定にして焦点合わせを行うことができる可変焦点結像方法および装置を得る。

【解決手段】 収束レンズ2と焦点距離を変えることができる可変焦点レンズ4により結像光学系を構成し、可変焦点レンズ4の物体主点が収束レンズ2の像焦点に一致するように配置して、物体1の像5が一定の位置に生ずるように、可変焦点レンズ4の焦点距離を調整し、焦点合わせを行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

焦点合わせを行って定位置に物体の像を結ばせる結像方法であって、物体あるいは他の光学手段により得られた物体像を収束レンズの物体空間に配置し、可変焦点レンズをその物体主点が前記収束レンズの像焦点に一致するように配置して、この可変焦点レンズの焦点距離を変化させて前記物体あるいは前記物体像に焦点を合わせることににより、一定の倍率で前記物体の結像あるいは前記物体像の再結像を行うことを特徴とする、定倍率可変焦点結像方法。

【請求項 2】

焦点合わせを行って定位置に物体の像を結ばせる結像装置であって、収束レンズと、この収束レンズの像焦点に物体主点を一致させて配置した可変焦点レンズとを備え、この可変焦点レンズの焦点距離を変えることにより一定の倍率で焦点合わせを行うことを特徴とする、定倍率可変焦点結像装置。

10

【請求項 3】

前記可変焦点レンズを大きさの近い焦点距離をもつ凸レンズと凹レンズからなる組合せレンズとして構成し、これらの凸レンズと凹レンズの主点間の距離を調節することにより、可変焦点レンズの焦点距離を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の定倍率可変焦点結像方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

20

【発明の属する技術分野】

本発明は、種々の監視システム、交通計測システム、自動走行車、製品の外観形状を自動検査する装置などの画像応用の分野で利用されるもので、各システムあるいは各装置が対象とする物体に焦点を合わせてその像を得るための方法と装置に関するものである。

【0002】**【従来技術】**

焦点合わせを行う方法は、一般のカメラに見られるように、物体の位置に応じてレンズを前後させる方法がこれまで一般的であった。しかし、近年、透明液体をガラス製の円形薄板で挟んでレンズ作用をもつ構造体を形成し、 piezoelectric アクチュエータによりこのレンズ構造体に圧力を加えてガラス面の曲率を変え、レンズ構造体の焦点距離を高速度に変化させることができる可変焦点レンズが実現された。そして、このような電氣的制御可能な可変焦点レンズを観察顕微鏡の対物レンズと組み合わせて用い、眼の残像時間の間に焦点距離を高速度で変化させ、奥行きのある物体の各部に高速に順次焦点を合わせることによって、焦点深度の深い、立体製品外観検査装置を実現しようとする研究が報告されている（金子卓、大矢信之、川原伸章、可変焦点レンズを用いた長焦点深度視覚機構、デンソーテクニカルレビュー、Vol. 3、No. 1、52 頁乃至 58 頁、1998）。また積層型 piezoelectric アクチュエータによる高速制御に適したレンズ構造体の設計を行い、1 kHz の周期で焦点距離を変えることができる高速可変焦点レンズの製作例が報告されている（奥寛雅、石川正俊、kHz オーダで応答可能な可変焦点レンズの試作、日本機械学会 No. 02 - 6 口ボティクス・メカトロニクス講演会論文集、2P2 - J09(1) - (2)、2002 年 6 月）。一方、レンズの代わりに、ミラー面の曲率を流体圧や静電気力などの外力によって制御することにより焦点距離を変えることができる可変焦点ミラーを焦点調節要素とする焦点合わせ方法が考案されている（公開特許公報：特開 2002 - 122779）。可変焦点ミラーを結像用収束レンズの像焦点に設置することにより結像倍率を一定に保ったままで異なる物体位置に焦点を合わせることができる。

30

40

【0003】**【発明が解決しようとする課題】**

上記の従来技術には以下のような問題点がある。まずレンズを移動して焦点を合わせる方法では、レンズの質量が大きいため TV カメラ画像の更新周期あるいは眼の残像時間に匹敵する 30 ~ 60 Hz 程度の高速の繰り返し焦点合わせ動作が困難である。

50

【0004】

可変焦点レンズを用いる焦点合わせ方法では、レンズの焦点距離が変わるため焦点を合わせることはできても結像倍率も変化し、像の大きさが変わる。このため、寸法や形状の測定を行う分野では、得られた画像データの寸法補正を行う必要があり、画像データの計算機処理に多大の時間を要し、高速化に不利である。

【0005】

可変焦点ミラーを用いた焦点合わせ方法では、焦点調節光学系への入射光とミラーにより反射されて得られる焦点合わせを行った出射光とを分離するための半透鏡や偏光ビームスプリッタなどの光学的分離手段が必要になるため、光学系全体が複雑になるという欠点がある。

10

【0006】

本発明は、このような事情のもとでなされたものであって、奥行きをもつ立体に対して、テレビジョン方式における画像取得速度と同様な高速度で、しかも結像倍率を一定に保った状態で立体の各部に焦点合わせを行うことができる簡素な焦点合わせ方法を実現することを発明の課題としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明においては、収束レンズの物体焦点（前側焦点とも言う）を基準とし、この焦点から任意の距離に配置された物体に対して物体の各点から生じる光を前記収束レンズに入射させ、この収束レンズの出射光を収束レンズの像焦点（後側焦点とも言う）に設置された可変焦点レンズに入射させる。そして焦点を合わせる物体位置の距離に応じて前記可変焦点レンズの焦点距離を設定することによって、焦点を合わせる物体の位置に関わらず、物体の像を一定倍率で一定した位置に結像するようにしたものである。

20

【0008】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好ましい実施の形態を、図面を参照して具体的に説明する。

【0009】

図1は、本発明にかかる、定倍率で焦点合わせを行い物体の像を得る方法と装置の構成を示すために、結像光学系の断面図を模式的に表現したものである。1は焦点合わせの対象となる物体、2は収束レンズ、3は収束レンズ2により生ずる物体1の像、4は可変焦点レンズ、5は収束レンズ2と可変焦点レンズ4により得られる物体の像である。6は光学系の中心軸となる光軸である。F1とF2は、それぞれ収束レンズ2の物体焦点（前側焦点ということもある）と像焦点（後側焦点ということもある）である。Sは物体像5の光軸上の位置を示す。可変焦点レンズ4の焦点距離は符号つきとし、凸レンズのとき正の値、凹レンズのとき負の値をとるものとする、同じレンズの結像公式を凸レンズと凹レンズの両方に適用できる。

30

【0010】

物体1が、収束レンズ2の物体空間（物空間とも言う）において、物体焦点F1から距離pの位置にあるとき、その像3は収束レンズ2の像焦点F2から距離qの位置に生じ、その距離関係は、収束レンズ2の焦点距離をfとすると、レンズの結像公式により $f/p = q/f$ として与えられる。ここで、記号/は除算を表している。また $p > 0$ は焦点合わせ位置が物体焦点F1から前方（収束レンズ2から離れる方向）に、 $p < 0$ は物体焦点F1から後方にあることを表す。物体像3を形成する光は可変焦点レンズ4により再結像され、最終的に物体像5を形成する。ここで可変焦点レンズ4の焦点距離を f_c 、可変焦点レンズ4の図には示されていない物体主点（前側主点ともいう）と収束レンズ2の図には示されていない像主点との間の距離をd、可変焦点レンズ4の図には示されていない像主点（後側主点ともいう）から物体像5の位置Sに至る光路長をsとすると、物体像5の位置Sを決定する光路長sは、レンズの結像公式から、方程式 $1/(d - f - q) + 1/s = 1/f_c$ を満たす値として与えられる。そこで光路長sが一定になるように、物体の焦点

40

50

合わせ面の位置 p ($= f \times f / q$) に応じて上式を満たすように可変焦点レンズ 4 の焦点距離 f_c を設定することにより、定位置 S に物体像を結像させることができる。このとき結像倍率 m は、収束レンズ 2 の結像倍率 $(-f) / p$ と可変焦点レンズ 4 の結像倍率 $(-s) / (d - f - q)$ の積から、 $m = (-s / f) / \{1 - (d - f) / q\}$ として与えられる。ここで $d = f$ のとき、すなわち可変焦点レンズ 4 の物体主点を収束レンズ 2 の像焦点 F_2 に一致させることにより、結像倍率 m は、物体位置 p ($= f \times f / q$) に関わらず、一定値 $(-s) / f$ とすることができる。負号は倒立像を示す。実際には、可変焦点レンズ 4 の物体主点と収束レンズ 2 の像焦点を一致させるときの許容設定誤差は、結像倍率 m の許容される変動量の限界値で定められる。本発明では、一致させるとは、許容誤差の範囲で一致させることを意味する。可変焦点レンズ 4 が焦点距離 f_c を変えるときは、一般的には主点位置も変わるが、主点位置の変動が収束レンズ 2 の焦点距離 f に比べて十分小さければ、倍率の変動は実用上無視できる。一定倍率の条件において、可変焦点レンズ 4 の物体主点と収束レンズ 2 の像焦点が一致し、 $d = f$ であるとき、焦点合わせのために、可変焦点レンズ 4 の焦点距離 f_c は $q \times s / (q - s)$ または $f / \{(f / s) - (p / f)\}$ で表される値に設定する。ここで、 $p \times s < f \times f$ の関係が成立しているときは、焦点距離 f_c は正の値となるので可変焦点レンズ 4 は凸レンズ（一般に収束レンズ）とし、 $p \times s > f \times f$ の関係が成立しているときは、焦点距離 f_c は負の値となるので可変焦点レンズ 4 は凹レンズ（一般に発散レンズ）とし、 $p \times s = f \times f$ であれば焦点距離 f_c は無限大になるので、可変焦点レンズ 4 は屈折力のない平行平板と等価な光学媒体とする。

10

20

【0011】

図 1 に示した発明の実施の形態では、物体像 5 は可変焦点レンズ 4 の像主点から有限の光路長 s だけ隔たったところに生じるとした。第二の実施の形態として、収束レンズ 2 と可変焦点レンズ 4 による物体像が無限遠に生じるようにした実施の形態を図 2 について説明する。前記の結像距離 s と可変焦点レンズ 4 の焦点距離 f_c の関係を与える関係式で、結像距離 s を無限大とし、可変焦点レンズ 4 の像主点が収束レンズ 2 の像焦点位置にあって $d = f$ とすると、収束レンズ 2 と可変焦点レンズ 4 による物体像を無限遠に生ずるようになるために必要な焦点距離 f_c の値は、前記結像式から $-q$ または $-f \times f / p$ となる。このとき焦点合わせを行う物体の位置が収束レンズ 2 の物体焦点の前方にあれば $p > 0$ であるのでは焦点距離 f_c は負の値をとり、可変焦点レンズ 4 は凹レンズ（発散レンズ）とする。逆に焦点を合わせる物体の位置が収束レンズ 2 の物体焦点の後方にあれば $p < 0$ であるので焦点距離 f_c は正の値をとり、可変焦点レンズ 4 は凸レンズ（収束レンズ）とする。また $p = 0$ のとき、すなわち焦点合わせ位置が収束レンズ 2 の物体焦点面にあれば、焦点距離 f_c は無限大に設定され、可変焦点レンズ 4 は屈折力がない平行平板と等価な光学媒体に設定する。図 2 で示した実施の形態は、 $p > 0$ の場合を示している。図 1 で示した実施の形態との違いは、無限遠にできた物体の像を利用するために有限の距離内に再結像させる必要があり、収束レンズ 7 を加えて、その焦点面に物体像 51 を得ている。物体の位置 p に関わらず、収束レンズ 2 と可変焦点レンズ 4 により無限遠にできた像は収束レンズ 7 の焦点面の位置に再結像し、しかも収束レンズ 7 の焦点距離を f_r とすると、結像倍率 m は焦点距離の比 $(-f_r) / f$ として一定の値となる。

30

40

【0012】

第一の実施形態では基準距離を $p = f \times f / s$ とし、第二の実施形態では基準距離を $p = 0$ とすれば、焦点合わせに必要な可変焦点レンズの焦点距離を無限大から、すなわち屈折力を零から増減することで焦点合わせを行えば良いので、可変焦点レンズの構成が容易となる。ことにレンズ面の曲率変化により焦点距離を変える可変焦点レンズでは、レンズ面を平面から僅か球面に変形するだけで良いので、好ましい動作条件となる。

【0013】

これまで前記の実施の形態において、焦点距離の調節が可能な可変焦点レンズ 4 の具体的な構成については述べていないが種々の構成で実現できる。実施形態の一つの例としては、図 3 に断面図を、図 4 に正面図を示すような、前記において従来技術について言及し

50

た際に引用したものと類似の構成が考えられる。シリコンオイルのような透明な液体 8 を充填して密閉したレンズ容器 9 の対向する二つの円形開口部 10 をそれぞれガラス薄板 11 で覆い、それらガラス薄板 11 を円形開口部 10 の周辺で固定しレンズ構造体を構成する。12 は円形開口部 10 の中心を通るレンズの光軸である。13 は金属あるいはガラス製の弾性板で、積層型ピエゾアクチュエータ 14 により加圧され、封入された透明液体 8 の内圧を制御する。この内圧と大気圧との差圧によりガラス薄板 11 は球面状に弾性変形を起し、陽圧であれば凸レンズを、負圧であれば凹レンズを形成し、変形の程度により種々の焦点距離の値を実現する。差圧が零であれば焦点距離無限大の透明な平行平板となる。15 は積層型ピエゾアクチュエータ 14 にガラス薄板 11 の変形に必要な電圧を加えるための電圧増幅器で、16 は電圧信号を電圧増幅器 15 に送り、ガラス薄板 11 の変形により可変焦点レンズの焦点距離を制御するためのコントローラである。 10

【0014】

可変焦点レンズ 4 の他の実施形態を図 5 に示す。17 と 18 は、互いに大きさが等しく、符号が逆の焦点距離を有する凸レンズと凹レンズで、光軸 19 を一致させ間隔 g だけ隔てて設置され、1つの組合せレンズとして可変焦点レンズを構成している。この可変焦点レンズの焦点距離 f_c は、両レンズの焦点距離の大きさを f_o とすると $f_o \times f_o / g$ となる。ただし、間隔 g は、凸レンズ 17 の後側主点と凹レンズ 18 の前側主点の間の距離で、凸レンズの後側主点が凹レンズの前側主点の前側にあるときに正の符号をとり、逆の場合は負の符号をとる。 $g = 0$ のとき焦点距離は無限大を示し、軽量の凹凸レンズの僅かな間隔の増減により大きく焦点距離を増減することができるので、従来のレンズ移動による可変焦点レンズに比し、高速の焦点調節が可能となる。図示していないが、間隔 g の調節は、片方または両方のレンズをピエゾアクチュエータやボイスコイルアクチュエータを用いて直線軌道に沿って移動させることにより行うことができ、従来技術により容易に実現できる。上記実施形態の説明では、凸レンズと凹レンズの焦点距離の大きさを同じであるとしたが、わずかに異なっても、ほとんど大きさの差相当の量だけ間隔 g の値を増減して調節すれば上記と同じ効果を上げることができる。また凸レンズ、凹レンズとも、それぞれ複数のレンズを組合わせて構成したものであっても、機能上同じ効果を上げることができる。しかし、レンズの収差補正の点から問題がなければ、単レンズを用いた方が質量を最小化できるので、レンズの高速移動による間隔 g の制御には有利である。なお凸レンズと凹レンズの材質を選択して組み合わせることにより、色収差の低減を図ることができる。 20 30

【0015】

図 3 と図 4 について説明した、透明液体を充填してレンズ構造体となし使用時にレンズを変形制御する前記可変焦点レンズと比較すると、図 5 で説明した凹凸レンズ間の間隔を制御する可変焦点レンズは、レンズ表面形状を予め精密加工技術により精巧に作製しておくことができるので、収差の少ない高品質の可変焦点レンズを実現する上で有利である。

【0016】

液晶は電圧をかけることによって屈折率を変化させることができるので、この性質を利用して、電圧分布を液晶パネルに加えて屈折率分布を作り出し、レンズ機能を発揮させることができる。現在のところ、応答速度が遅く、透過波長域に限られるという欠点があるが、低電圧による電氣的制御が可能で小型に作れるという特長を有するので、本発明の可変焦点レンズの将来の有力候補の一つである。 40

【0017】

前記の実施の形態の説明においては対象を物体としたが、他の光学装置により形成された光学像に対しても本発明が適用できることは光学的に明らかである。

この場合、収束レンズ 2 の物体空間に生じる光学像が、収束レンズ 2 と可変焦点レンズ 4 により再結像され、再結像倍率は光学像の焦点合わせ位置によらず一定となる。

【0018】

また前記の実施の形態の説明で、収束レンズ 2 は、一般的には、複数のレンズの組合せからなる複合レンズであり、また全体として単一の収束レンズと同様な正の焦点距離をもつ、複数のレンズや鏡からなる、より複雑な複合的な収束レンズ系であってもよい。このと 50

き、可変焦点レンズ 4 の物体主点は、前記の実施の形態において述べたのと同様に、複合レンズ系の像焦点に設置され、複合レンズ系の合成焦点距離が前記の収束レンズ 2 の焦点距離 f として扱われる。

【0019】

【発明の効果】

本発明は、以上説明したような形態で実施されるとき、以下に記載されるような効果を奏する。

【0020】

収束レンズの像焦点に可変焦点レンズの物体主点を一致させるようにして焦点合わせを行うので、可変焦点レンズの焦点距離を制御することにより、像を得ようとする物体の任意の位置に焦点を合わせることができると同時に、物体の像を一定の倍率で得ることができる。

10

【0021】

したがって、本発明の応用システムとして、焦点合わせされた物体の像を CCD カメラで受像し、画像情報を計算機処理して物体の形状計測や形状欠陥検査を行う画像計測システムにおいて、物体の位置による像の大きさの変化を補正する必要がなく、物体の形状計測を高速に効率良く行うことができる。また倍率補正に伴う補正誤差の発生を避けることができるから、高精度の形状計測を行うことができる。

【0022】

可変焦点レンズに要求されることは、焦点距離が無限大から有限の値まで変化することであるから、構造上のわずかな変化でよく、曲率の大きな変形を必要とされないので、光学的に高品質な可変焦点レンズを実現し易い。特にレンズの移動に基づく焦点合わせにおいて動作の高速化が図れる。

20

【0023】

透過光を利用するので、入出力光の分離手段が必要な反射光を利用する可変焦点ミラーを用いた焦点合わせ方法に比べ、光学システム全体が簡素になる。

【0024】

また望遠レンズなど他の光学装置の像を対象にして本発明を適用するとき、再結像倍率が一定で、その像の形を歪ませることがないので、遠方にある物体の計測や監視にも応用することができ、本発明によれば、製造分野のみならず、交通計測、施設監視など産業の多くの分野の画像応用システムにおいて、有用な定倍率可変焦点結像方法および装置を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明における定倍率可変焦点結像方法および装置の光学系の実施形態を示す模式的な断面図である。

【図 2】本発明における定倍率可変焦点結像方法および装置の光学系において、収束レンズと可変焦点レンズによる像が無限遠に生じるように構成した他の実施形態を示す模式的な断面図である。

【図 3】透明な液体をレンズ媒質とする可変焦点レンズの実施形態を示す断面図である。

【図 4】透明な液体をレンズ媒質とする可変焦点レンズの実施形態を示すレンズ開口部の正面図である。

40

【図 5】凸レンズと凹レンズからなり、両レンズの間隙を制御する可変焦点レンズの実施形態を示す断面図である。

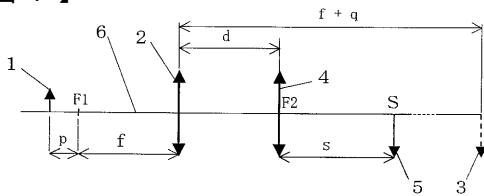
【符号の説明】

- 1 焦点合わせの対象となる物体
- 2 収束レンズ
- 3 収束レンズ 2 により生ずる物体 1 の像
- 4 焦点距離を変えることができる可変焦点レンズ
- 5 収束レンズ 2 と可変焦点レンズ 4 により得られる物体の像
- 6 光学系の中心軸となる光軸

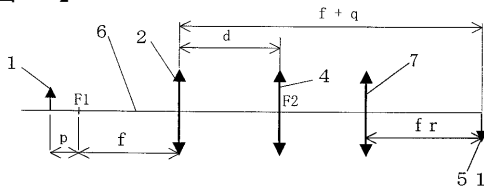
50

- 7 収束レンズ
- 8 透明な液体
- 9 レンズ容器
- 10 円形開口部
- 11 ガラス薄板
- 12 レンズの光軸
- 13 弾性板
- 14 積層型ピエゾアクチュエータ
- 15 電圧増幅器
- 16 コントローラ
- 17 凸レンズ
- 18 凹レンズ
- 19 光軸

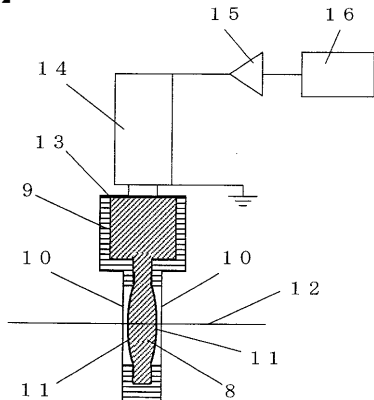
【図1】



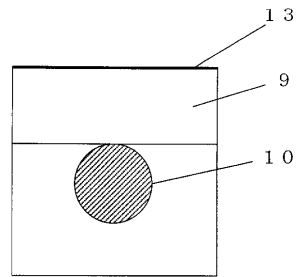
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

