

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6579893号
(P6579893)

(45) 発行日 令和1年9月25日(2019.9.25)

(24) 登録日 令和1年9月6日(2019.9.6)

(51) Int.Cl.

H02N 2/06 (2006.01)

F1

H02N 2/06

請求項の数 16 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2015-193427 (P2015-193427)
(22) 出願日 平成27年9月30日(2015.9.30)
(65) 公開番号 特開2017-70098 (P2017-70098A)
(43) 公開日 平成29年4月6日(2017.4.6)
審査請求日 平成30年9月5日(2018.9.5)

(73) 特許権者 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100125254
弁理士 別役 重尚
(72) 発明者 住岡 潤
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
審査官 小林 紀和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動型アクチュエータの制御装置と制御方法、駆動装置、撮像装置及び自動ステージ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気 - 機械エネルギー変換素子と弾性体とを備えた振動体と、
前記振動体と接触する被駆動体とを有し、
前記振動体と前記被駆動体とを相対的に移動させる振動型アクチュエータの制御装置であって、

前記振動体と前記被駆動体とを接触させる加圧方向への突き上げ振動と、前記加圧方向と交差する方向への送り振動とを含む振動を前記振動体に発生させる駆動手段と、

前記送り振動の前記突き上げ振動に対する振幅比を規定する第1の操作パラメータと、
前記送り振動と前記突き上げ振動のそれぞれの振幅を規定する第2の操作パラメータとを用いて、前記振動体と前記被駆動体の相対的な位置または駆動速度をフィードバック制御する制御手段と、を有し、

前記制御手段は、前記第1の操作パラメータまたは前記第2の操作パラメータの制御量を、前記振幅比が小さくなるにしたがって大きくなるように補正する補正手段を有することを特徴とする振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項2】

前記制御手段は、前記電気 - 機械エネルギー変換素子に印加される交流電圧の位相差、電圧または周波数を操作し、

前記位相差を前記第1の操作パラメータとし、前記電圧または前記周波数を前記第2の操作パラメータとすることを特徴とする請求項1に記載の振動型アクチュエータの制御装

10

20

置。

【請求項 3】

前記位相差の補正量 C_p は、前記位相差の制御量 θ と、前記送り振動の前記突き上げ振動に対するアドミッタンス比 k を用いて、式 1 により算出されることを特徴とする請求項 2 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【数 1】

$$C_p = \frac{\theta}{\left[\sqrt{2}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^k \times \sqrt{2}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{式 1}$$

10

【請求項 4】

前記電圧の補正量 C_v は、前記位相差の制御量 θ と、電圧基準値 V_{ref} と、前記送り振動の前記突き上げ振動に対するアドミッタンス比 k を用いて、式 2 により算出されることを特徴とする請求項 2 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【数 2】

$$C_v = \frac{V_{ref}}{\left[\sqrt{2}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^k \times \sqrt{2}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{式 2}$$

20

【請求項 5】

前記周波数の補正量 C_f は、前記位相差の制御量 θ と、周波数の制御量 F 、前記送り振動の前記突き上げ振動に対するアドミッタンス比 k を用いて、式 3 により算出されることを特徴とする請求項 2 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【数 3】

$$C_f = \frac{F}{\left[\sqrt{2}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]^k \times \sqrt{2}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{式 3}$$

30

【請求項 6】

前記制御手段は、前記電気 - 機械エネルギー変換素子に印加される交流電圧の電圧比、周波数または電圧を操作し、

前記電圧比を前記第 1 の操作パラメータ、前記周波数または前記電圧を前記第 2 の操作パラメータとすることを特徴とする請求項 1 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 7】

前記電圧比の補正量 C_{vr} は、前記電圧比の制御量 V_r と、前記送り振動の前記突き上げ振動に対するアドミッタンス比 k を用いて、式 4 により算出されることを特徴とする請求項 6 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

40

【数 4】

$$C_{vr} = \frac{V_r}{\left[\sqrt{2}\sin\left(\frac{V_r}{2}\right)\right]^k \times \sqrt{2}\cos\left(\frac{V_r}{2}\right)} \quad \dots \text{式 4}$$

【請求項 8】

前記周波数の補正量 C_f は、前記電圧比の制御量 V_r と、前記周波数の制御量 F 、前記送り振動の前記突き上げ振動に対するアドミッタンス比 k を用いて、式 5 により算出されることを特徴とする請求項 6 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

50

【数 5】

$$cf = \frac{F}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{Vr}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{Vr}{2}\right)} \quad \dots \text{式 5}$$

【請求項 9】

前記振動体と前記被駆動体との相対位置を検出する位置検出手段を有し、

前記制御手段は、前記位置検出手段が検出した前記相対位置を、前記振動型アクチュエータを駆動するための制御量の算出にフィードバックすることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

10

【請求項 10】

前記第 1 の操作パラメータの値が実質的にゼロの場合にフィードバック制御ゲインの値がピークを有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 11】

電気 - 機械エネルギー変換素子と弾性体とを備えた振動体と、前記振動体と接触する被駆動体とを有する振動型アクチュエータの制御方法であって、

前記振動体に第 1 の振動モードの振動と第 2 の振動モードの振動を発生させ、前記振動体と前記被駆動体とを相対的に移動させる駆動ステップと、

20

前記振動体と前記被駆動体との相対位置を検出する検出ステップと、

前記相対位置に基づき、前記駆動ステップにおける前記振動体と前記被駆動体の相対的な位置または駆動速度をフィードバック制御する制御ステップと、を有し、

前記第 1 の振動モードの振動は、前記振動体と前記被駆動体とを接触させる加圧方向への突き上げ振動であり、前記第 2 の振動モードの振動は、前記加圧方向と交差する方向への送り振動であり、

前記制御ステップでは、前記送り振動の前記突き上げ振動に対する振幅比を規定する第 1 の操作パラメータまたは前記送り振動の前記突き上げ振動のそれぞれの振幅を規定する第 2 の操作パラメータの制御量を、前記振幅比が小さくなるにしたがって大きくなるように補正することを特徴とする振動型アクチュエータの制御方法。

30

【請求項 12】

電気 - 機械エネルギー変換素子と弾性体とを備えた振動体と、前記振動体と接触する被駆動体とを有する振動型アクチュエータと、

前記振動型アクチュエータを制御する制御装置と、を備える駆動装置であって、

前記制御装置は、

前記振動体と前記被駆動体とを接触させる加圧方向への突き上げ振動と、前記加圧方向と交差する方向への送り振動とを含む振動を前記振動体に発生させる駆動手段と、

前記送り振動の前記突き上げ振動に対する振幅比を規定する第 1 の操作パラメータと、前記送り振動と前記突き上げ振動のそれぞれの振幅を規定する第 2 の操作パラメータとを用い、前記第 1 の操作パラメータまたは前記第 2 の操作パラメータの制御量を前記振幅比が小さくなるにしたがって大きくなるように補正して、前記振動体と前記被駆動体の相対的な位置または駆動速度をフィードバック制御する制御手段と、を有することを特徴とする駆動装置。

40

【請求項 13】

レンズを備えるレンズ鏡筒と、

前記レンズ鏡筒を通過した光を受光する撮像素子と、

前記レンズを光軸方向に駆動する振動型アクチュエータと、

前記振動型アクチュエータの駆動を制御する請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、を備えることを特徴とする撮像装置。

50

【請求項 14】

レンズを備えるレンズ鏡筒と、
前記レンズ鏡筒を通過した光を受光する撮像素子と、
前記レンズを前記レンズ鏡筒の光軸と直交する平面内で駆動することにより前記撮像素子に結像する光学像の像ぶれを補正する振動型アクチュエータと、
前記振動型アクチュエータの駆動を制御する請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、を備えることを特徴とする撮像装置。

【請求項 15】

レンズ鏡筒と、
前記レンズ鏡筒を通過した光を受光する撮像素子と、
前記撮像素子を受光面と平行な方向に駆動することにより前記撮像素子に結像する光学像の像ぶれを補正する振動型アクチュエータと、
前記振動型アクチュエータの駆動を制御する請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、を備えることを特徴とする撮像装置。

【請求項 16】

ステージと、
前記ステージをその面内で移動させる振動型アクチュエータと、
前記振動型アクチュエータの駆動を制御する請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、を備えることを特徴とするステージ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動型アクチュエータの制御装置と制御方法、駆動装置、撮像装置及び自動に関する。

【背景技術】

【0002】

振動体と被駆動体とを加圧接触させ、振動体に励起した振動により振動体と被駆動体とを相対的に移動させる振動型アクチュエータが知られており、振動体と被駆動体との相対的な移動を出力として取り出すことによって、駆動対象物を駆動することができる。振動体は、弾性体に圧電素子等の電気 - 機械エネルギー変換素子が接合されてなり、振動体と被駆動体の相対的な移動速度や移動量の制御は、電気 - 機械エネルギー変換素子に印加する交流電圧の制御によって行うことができる。

【0003】

ここで、被駆動体（又は振動体）を微小距離だけ相対的に移動させる（以下「微小駆動」という）ように振動型アクチュエータを駆動する場合に、被駆動体（又は振動体）の動き出しが遅く、目標位置に到達するまでに長い時間を要してしまうことがある。その具体例について、図 18 を参照して説明する。

【0004】

図 18 (a) は、被駆動体（又は振動体）の移動距離が 2 μm となるステップ信号を指令値として、制御装置により位置フィードバック制御を行った場合の駆動プロファイルの一例を模式的に示す図である。実線で示す指令値に対して、破線で示す実位置のように、動き出しまでに時間を要していることがわかる。

【0005】

図 18 (b) は、振動型アクチュエータを駆動する操作量の経時変化を示す図である。操作量は、指令値の立ち上がりから位置偏差の積分によって増加していく。しかし、振動体に励起する振動を規定する操作量が小さい場合、通常のフィードバック制御ゲインでは応答性が低下してしまう。そのため、ある程度の操作量に達しないと、被駆動体（又は振動体）が動き出さないという問題が生じる。

【0006】

この問題に対して、振動体と被駆動体の相対的な移動速度の検出値に基づいてフィード

10

20

30

40

50

バック制御ゲインを変化させるゲイン可変手段を備える制御装置が提案されている（特許文献 1 参照）。また、低速駆動領域では速度指令に基づいて電気 - 機械エネルギー変換素子に印加する交流電圧の可変制御を行う制御装置が提案されている（特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開平 11 - 18453 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 235656 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

しかし、振動型アクチュエータを駆動する際の被駆動体（又は振動体）に対する指令速度や実速度に対して、被駆動体と振動体との摩擦摺動面に生じる振動体の振動の振幅や形状（楕円運動の形状と大きさ）を規定する操作パラメータは非線形な領域を有している。そのため、上記従来技術による振動型アクチュエータの制御装置のように、フィードバック制御ゲインや電気 - 機械エネルギー変換素子に印加する電圧を変えるだけでは、微小駆動に対して十分な応答性を得ることができない。

【0009】

本発明は、振動型アクチュエータの微小駆動における応答性を向上させることができる制御装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明に係る振動型アクチュエータの制御装置は、電気 - 機械エネルギー変換素子と弾性体とを備えた振動体と、前記振動体と接触する被駆動体とを有し、前記振動体と前記被駆動体とを相対的に移動させる振動型アクチュエータの制御装置であって、前記振動体と前記被駆動体とを接触させる加圧方向への突き上げ振動と、前記加圧方向と交差する方向への送り振動とを含む振動を前記振動体に発生させる駆動手段と、前記送り振動の前記突き上げ振動に対する振幅比を規定する第 1 の操作パラメータと、前記送り振動と前記突き上げ振動のそれぞれの振幅を規定する第 2 の操作パラメータとを用いて、前記振動体と前記被駆動体の相対的な位置または駆動速度をフィードバック制御する制御手段と、を有し、前記制御手段は、前記第 1 の操作パラメータまたは前記第 2 の操作パラメータの制御量を、前記振幅比が小さくなるにしたがって大きくなるように補正する補正手段を有することを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、振動型アクチュエータの微小駆動における応答性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】本発明に係る制御装置による駆動制御の対象となる振動型アクチュエータの概略構成、圧電素子の電極パターンと分極領域及び振動体に励起される振動モードを説明する図である。

40

【図 2】本発明の第 1 実施形態に係る振動型アクチュエータの駆動装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 3】位相差の制御量に対する突き上げ振動と送り振動の振幅比と、応答速度の開ループゲインを説明する図である。

【図 4】図 2 の駆動装置を構成する制御量補正部で用いる補正係数及び位相差の補正量と位相差の制御量との関係を示す図である。

【図 5】図 2 の駆動装置を構成する位相差 - 周波数判定部からの出力を説明する図と、被駆動体の駆動速度と制御量との関係を説明する図である。

50

【図 6】図 2 の駆動装置を構成する駆動部の概略構成を示すブロック図と、駆動部の交流信号生成部から出力される交流信号を説明する図である。

【図 7】図 2 の駆動装置での振動型アクチュエータの第 1 の制御結果を従来例と比較して示す図である。

【図 8】図 2 の駆動装置での振動型アクチュエータの第 2 の制御結果を従来例と比較して示す図である。

【図 9】図 2 の駆動装置を構成する制御量補正部で用いられる補正係数の例を示す図である。

【図 10】本発明の第 2 実施形態に係る振動型アクチュエータの駆動装置の概略構成を示すブロック図である。

10

【図 11】図 10 の駆動装置での振動型アクチュエータの制御の条件及び結果を示す図である。

【図 12】本発明の第 3 実施形態に係る振動型アクチュエータの駆動装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 13】図 12 の駆動装置を構成する周波数補正部で用いる周波数の補正量と周波数補正部からの出力を説明する図である。

【図 14】振動型アクチュエータに用いられる別の圧電素子の電極パターンと分極領域及び各電極に印加する交流電圧を説明する図である。

【図 15】図 1 の振動型アクチュエータを応用したレンズ駆動機構の概略構成を示す斜視図である。

20

【図 16】図 1 の振動型アクチュエータを応用した像ぶれ補正装置を備える撮像装置の外観を示す平面図及び内部の概略構造を示す図である。

【図 17】図 2 の駆動装置を用いた顕微鏡の外観斜視図である。

【図 18】従来の駆動装置により振動型アクチュエータの微小駆動を位置フィードバック制御によって行った場合の駆動プロファイルの一例を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

【0014】

図 1 (a) は、本発明に係る制御装置による駆動制御の対象となる振動型アクチュエータの一例であるリニア駆動型の振動型アクチュエータ 10 の概略構成を示す斜視図である。図 1 (b) は、振動型アクチュエータ 10 を構成する圧電素子 14 に形成された電極パターンと分極領域を説明する図である。図 1 (c) は、振動型アクチュエータ 10 を構成する振動体 15 に励起される第 1 の振動モードを模式的に説明する図である。図 1 (d) は、振動型アクチュエータ 10 を構成する振動体 15 に励起される第 2 の振動モードを模式的に説明する図である。

30

【0015】

振動型アクチュエータ 10 は、振動体 15 と、被駆動体 11 とを有する。振動体 15 は、弾性体 13 と、2 つの突起部 12 と、圧電素子 14 とを有する。説明の便宜上、ここでは、振動体 15 は不図示の固定手段に固定されており、被駆動体 11 が振動体 15 に対して相対的に移動されるものとする。

40

【0016】

弾性体 13 は、例えば、ステンレス材からなる薄板状の部材である。突起部 12 は、ステンレス材等からなり、弾性体 13 の一方の面に弾性体 13 と一体的に形成され、又は、溶接等により接合されている。電気 - 機械エネルギー変換素子である圧電素子 14 は、弾性体 13 において突起部 12 が設けられている面の反対側の面に、接着剤等により接合されている。振動体 15 と被駆動体 11 とは、突起部 12 の上面において、不図示の加圧手段によって突起部 12 の突出方向 (図 1 (c) に示す Z 方向) を加圧方向として、加圧接触している。

【0017】

50

圧電素子 1 4 に、2 相の交流電圧を印加することにより、振動体 1 5 に第 1 の振動モード及び第 2 の振動モードの振動を発生させる。これにより、突起部 1 2 と加圧接触する被駆動体 1 1 を、2 つの突起部 1 2 を結ぶ方向（矢印で示す駆動方向である X 方向）に移動させる。

【0018】

圧電素子 1 4 には、2 つの突起部 1 2 を結ぶ方向 X 方向に 2 等分された電極領域が形成されており、各電極領域における分極方向は、同一方向（+）となっている。圧電素子 1 4 の 2 つの電極領域のうち、図 1（b）の右側の電極領域には交流電圧 V B が印加され、左側の電極領域には交流電圧 V A が印加される。

【0019】

交流電圧 V B , V A を、第 1 の振動モードの共振周波数付近の周波数で、且つ、同位相とすると、圧電素子 1 4 全体がある瞬間には伸び、また別の瞬間には縮む。この結果、振動体 1 5 に第 1 の振動モードの振動が発生する。第 1 の振動モードは、2 つの突起部 1 2 を結ぶ方向（X 方向）と略平行に 2 本の節線が生じる振動モードである。突起部 1 2 は、この振動の腹となる位置の近傍に設けられており、突起部 1 2 の突出方向である Z 方向に振動（変位）する。以下、第 1 の振動モードの振動を「突き上げ振動」と称呼する。

【0020】

交流電圧 V B , V A を第 2 の振動モードの共振周波数付近の周波数で、且つ、位相が 180°ずれた交流電圧とすると、ある瞬間には圧電素子 1 4 の右側の電極領域が縮むと同時に左側の電極領域が伸び、別の瞬間には逆の関係となる。この結果、振動体 1 5 には第 2 の振動モードの振動が発生する。第 2 の振動モードは、X 方向及び Z 方向と直交する Y 方向と略平行に 3 本の節線が生じる振動モードである。突起部 1 2 は、この振動の節となる位置の近傍に設けられており、X 方向に変位する。以下、第 2 の振動モードの振動を「送り振動」と称呼する。

【0021】

したがって、第 1 振動モードと第 2 の振動モードの各共振周波数に近い周波数の交流電圧を圧電素子 1 4 の電極に印加することにより、突き上げ振動と送り振動とが合成された振動を励起することができる。突き上げ振動と送り振動とが合成されることにより、突起部 1 2 は、Z - X 面で楕円運動を行い、この楕円運動によって、被駆動体 1 1 が振動体 1 5 に対して X 方向に相対移動する。交流電圧 V B , V A の位相差を変えることによって、突き上げ振動と送り振動の振幅比を変えることができ、これにより、被駆動体 1 1 の駆動速度を調整することができる。

【0022】

< 第 1 実施形態 >

図 2 は、本発明の第 1 実施形態に係る駆動装置 1 5 0 の概略構成を示すブロック図である。駆動装置 1 5 0 は、振動型アクチュエータ 1 0、制御装置 1 2 0 及び位置検出部 1 4 0 を有する。制御装置 1 2 0 は、制御部 1 0 0 及び駆動部 1 1 0 を有する。

【0023】

なお、以下の説明でも、便宜上、振動型アクチュエータ 1 0 は、振動体 1 5 が不図示の固定手段に固定され、被駆動体 1 1 が振動体 1 5 に対して移動する構成となっているものとする。また、本実施形態において、振動型アクチュエータ 1 0 を駆動するとは、被駆動体 1 1 と振動体 1 5 との相対的な位置を変化させることを指す。

【0024】

位置検出部 1 4 0 は、振動型アクチュエータ 1 0 に設けられたリニアエンコーダ等の位置センサからの出力信号に基づき、振動体 1 5 と被駆動体 1 1 との相対位置を検出する。位置検出部 1 4 0 から出力される位置信号である相対位置 1 4 1 は、制御部 1 0 0 が備える減算器 1 0 8 へ入力される。これにより、相対位置 1 4 1 は、制御量演算部 1 0 2 にフィードバックされ、振動型アクチュエータ 1 0 は、指令値生成部 1 0 1 から出力される振動体 1 5 と被駆動体 1 1 との相対位置の時間毎の指令値に追従するようにフィードバック制御される。なお、相対位置 1 4 1 は、被駆動体 1 1 の駆動速度を検出し、検出した駆動

10

20

30

40

50

速度から求めることもできる。

【0025】

振動型アクチュエータ10の駆動を制御する制御装置120は、振動体15の駆動を制御するための情報を有する信号を生成することができるよう構成されている。制御部100は、指令値生成部101、制御量演算部102、減算器108、位相差-周波数制御部130及び電圧調整部107を有する。位相差-周波数制御部130は、位相差変換部103、周波数変換部104、制御量補正部105及び位相差-周波数判定部106を有し、突き上げ振動と送り振動の振幅又は振幅比を操作する。駆動部110は、交流信号生成部111及び昇圧回路112を有する。

【0026】

指令値生成部101は、振動体15と被駆動体11との相対位置の制御サンプリング毎（時間毎）に、例えば、1つの指令値を生成し、出力する。制御サンプリングとは、後述する偏差142の取得から振動体15への交流電圧の印加、被駆動体11の駆動速度や振動体15に対する位置の検出を経て、偏差142の取得が始まる直前までの1サイクルを指す。そして、この1サイクルで、振動体15と被駆動体11の相対位置（又は被駆動体11の駆動速度）がフィードバック制御される。

【0027】

減算器108は、位置検出部140で検出された振動体15と被駆動体11との相対位置141と指令値との差分を偏差142として演算し、算出した偏差142を制御量演算部102へ出力する。制御量演算部102は、偏差142を用いて制御量143を演算し、算出した制御量143を位相差変換部103と周波数変換部104へ出力する。なお、制御量演算部102は、例えば、PID補償器等を用いて制御量143を演算する。PID補償器とは、比例（P）、積分（I）、微分（D）の各機能を有する補償器の出力を加算したものであり、制御対象の位相遅れやゲインを補償して、安定した、且つ、高精度な制御系を構築するために一般的に用いられる。

【0028】

位相差変換部103と周波数変換部104はそれぞれ、制御量143を、振動型アクチュエータ10を駆動するための交流信号の操作パラメータである位相差（第1の操作パラメータ）と周波数（第2の操作パラメータ）の各制御量に変換する。位相差変換部103は、生成した位相差の制御量を制御量補正部105へ出力する。また、周波数変換部104は、生成した周波数の制御量を位相差-周波数判定部106へ出力する。

【0029】

制御量補正部105は、位相差変換部103からの入力である位相差の制御量に基づいて位相差の補正量 C_p を求め、位相差の補正量 C_p を位相差-周波数判定部106へ出力する。なお、位相差の補正量 C_p の具体的な求め方については、図4を参照して後述する。

【0030】

位相差-周波数判定部106は、入力された周波数の制御量と位相差の補正量 C_p とに基づき、被駆動体11の駆動速度と駆動方向を制御するための周波数と位相差の各制御量を生成し、駆動部110の交流信号生成部111へ出力する。なお、位相差-周波数判定部106からの出力については、図5等を参照して後述する。

【0031】

交流信号生成部111は、位相差-周波数判定部106から入力された位相差及び周波数の各制御量と、電圧調整部107から入力されたパルス幅情報とに基づいて、2相の交流信号を生成し、昇圧回路112へ出力する。昇圧回路112は、入力された交流信号を所望の電圧値に昇圧して交流電圧（駆動信号）を生成し、生成した交流電圧を振動体15の圧電素子14に印加する。これにより、振動体15と被駆動体11とが相対移動する。なお、本実施形態において、「交流信号」とは、昇圧回路112による昇圧前の信号を指すものとする。

【0032】

10

20

30

40

50

上述した制御部 100 は、例えば CPU や PLD (ASIC を含む) 等のデジタルデバイスと、A/D 変換器等の素子から構成される。また、駆動部 110 の交流信号生成部 111 は、例えば、CPU や関数発生器とスイッチング回路を有し、昇圧回路 112 は、例えばコイルやトランスから構成される。制御部 100 と駆動部 110 は、1 つの素子や回路から構成されるだけでなく、複数の素子や回路から構成されていてもよい。また、各処理をいずれの素子や回路が実行してもよい。

【0033】

次に、制御部 100 での各種の演算処理について説明する。図 3 (a) は、突き上げ振動の振幅、送り振動の振幅、及び、突き上げ振動と送り振動の振幅比と、位相差の制御量との関係を示す図である。位相差の制御量 θ を変えることにより、突起部 12 に生じる楕円運動の楕円比が変化し、符号が反転することで楕円運動の方向が変化する。また、楕円比がゼロとなる縦長形状では、被駆動体 11 と振動体 15 との相対位置は変化せず、実質的に停止状態となる。位相差の制御量 θ に基づく突き上げ振動の振動振幅 A_z と、送り振動の振動振幅 A_x の変化は、下記 [式 1] 及び下記 [式 2] によって計算される。

【0034】

計算によれば、位相差の制御量 θ が ± 90 度のときに 2 つの振動振幅 A_z , A_x は同じとなり、位相差の制御量 θ が 0 度のときに突き上げ振動のみとなる。位相差の制御量 θ の制御範囲は、例えば、 -90 度から $+90$ 度の範囲とされるが、これに限らず、 -60 度から $+60$ 度の範囲、或いは、 -120 度から $+120$ 度の範囲としてもよい。

【0035】

突起部 12 に生じる楕円運動の楕円比は、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比によって変化し、この振幅比は、下記 [式 3] によって計算され、図 3 (a) に示されるような非線形特性を示す。なお、下記 [式 3] で用いられている “k” は、送り振動の突き上げ振動に対するアドミッタンス比 (図 3 (c) に示すアドミッタンスピークの比) であり、応答速度の変化に対する敏感度に相当する。例えば、アドミッタンス比が小さくなると敏感度は低下し、位相差の制御量 θ に対する開ループゲインの変化は小さくなる。

【0036】

【数 1】

$$\text{突き上げ振動振幅 : } A_z = \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdots \text{[式 1]}$$

$$\text{送り振動振幅 : } A_x = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdots \text{[式 2]}$$

$$\text{振幅比} = \left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdots \text{[式 3]}$$

【0037】

図 3 (b) は、位相差の制御量 θ に基づく応答速度の開ループゲインを実際に測定した結果を、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比の計算値と比較して示している。また、図 3 (c) は、振動体 15 のアドミッタンス特性を測定した結果を示している。開ループゲインの測定値は、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比の計算値とほぼ一致していることがわかる。ここで、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比の計算値は、アドミッタンス比 k を、図 3 (c) のピーク比に基づき、0.5 として計算している。

【0038】

位相差の制御量 θ が小さくなるにしたがって送り振動の突き上げ振動に対する振幅比は非線形に低下していき、これに伴って応答速度の開ループゲインも低下していく。その結果、微小駆動 (振動体 15 と被駆動体 11 とを微小距離だけ相対移動させる駆動) を行った際の振動型アクチュエータ 10 の応答性は低下してしまう。したがって、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比を規定する位相差の制御量 θ の絶対値が小さくなるにしたがっ

10

20

30

40

50

て、位相差の操作量が大きくなるように補正する必要がある。

【 0 0 3 9 】

図 4 (a) は、制御量補正部 1 0 5 で用いる補正係数と位相差の制御量 との関係を示す図である。破線で示す従来例では、位相差の制御量 に対する補正係数は常に “ 1 ” であり、位相差の制御量 は補正されることはない。これに対して、制御量補正部 1 0 5 による実線で示す実施例 (本発明例) では、位相差の制御量 の小さい領域において位相差の制御量 が大きくなるように、下記 [式 4] で示される補正係数が乗算される。この補正係数は、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比の逆数に相当する。

【 0 0 4 0 】

図 4 (b) は、位相差の制御量 と位相差の補正量 C_p との関係を示す図である。位相差の補正量 C_p は、下記 [式 5] で示されるように、位相差の制御量 に補正係数を乗算することにより得られる。制御量補正部 1 0 5 では、位相差の補正量 C_p は、下記 [式 5] を用いて計算により求めてもよいし、事前に準備されたルックアップテーブル等を用いて求めるようにしてもよい。

【 0 0 4 1 】

【 数 2 】

$$\text{補正係数} = \frac{1}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{[式 4]}$$

$$\text{補正量 : } C_p = \frac{\theta}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{[式 5]}$$

【 0 0 4 2 】

図 5 は、位相差 - 周波数判定部 1 0 6 からの出力を説明する図である。具体的には、図 5 (a) は、制御量 1 4 3 に基づく位相差と周波数のそれぞれの出力を示している。位相差 - 周波数判定部 1 0 6 は、制御量 1 4 3 の絶対値が小さい領域を位相差制御領域として、位相差を変化させる。また、位相差 - 周波数判定部 1 0 6 は、制御量 1 4 3 の絶対値が大きい領域を周波数制御領域として、周波数を変化させる。このように、位相差 - 周波数判定部 1 0 6 は、制御量 1 4 3 に応じて、位相差による制御と周波数による制御とを切り換える。

【 0 0 4 3 】

位相差制御領域では、周波数は周波数上限値に固定され、位相差を位相差上限値から位相差下限値の間 (例えば、+ 9 0 度 ~ - 9 0 度の間) で変化させることにより、被駆動体 1 1 の駆動方向の反転や停止、低速領域での駆動速度が制御される。その際、制御量補正部 1 0 5 からは、位相差の補正量 C_p が、破線で示すように、制御量 1 4 3 の絶対値が小さい領域で大きくなるように出力される。一方、周波数制御領域では、位相差は位相差下限値又は位相差上限値に固定され、周波数上限値から周波数下限値の間 (例えば、9 2 k H z ~ 8 9 k H z の間) で周波数を変化させることにより、被駆動体 1 1 の高速領域での駆動速度が制御される。

【 0 0 4 4 】

図 5 (b) は、被駆動体 1 1 の駆動速度 (振動体 1 5 と被駆動体 1 1 の相対速度) と制御量 1 4 3 との関係を説明する図である。例えば、- 5 0 ~ + 5 0 m m / s (s : 秒) の低速領域では位相差制御が行われ、それ以外の高速領域では周波数制御が行われる。位相差制御では、位相差が制御されることによって突起部 1 2 に生じる楕円運動の楕円比が変化し、位相差の符号が反転することで楕円運動の方向が反転する。そして、制御量 1 4 3 がゼロ (0) のときに、楕円比はゼロとなる縦長形状となり、被駆動体 1 1 の駆動速度はゼロとなる。一方、周波数制御では、周波数が制御されることによって楕円運動の楕円比は一定のまま振幅 (楕円振動の大きさ) が変化する。位相差 - 周波数判定部 1 0 6 は、制

10

20

30

40

50

御量 1 4 3 に対して被駆動体 1 1 の駆動速度ができる限り線形で変化するように、位相差と周波数を設定する。

【 0 0 4 5 】

図 6 (a) は、駆動部 1 1 0 の概略構成を示すブロック図である。図 6 (b) は、駆動部 1 1 0 の交流信号生成部 1 1 1 から出力される交流信号を説明する図である。交流信号生成部 1 1 1 は、パルス信号生成部 6 0 4、スイッチング回路 6 0 5 を有し、A 相と B 相の 2 相の交流パルス信号を生成する。A 相の交流パルス信号は、圧電素子 1 4 に印加する交流電圧 V A の昇圧前の交流信号に相当し、B 相の交流パルス信号は、圧電素子 1 4 に印加する交流電圧 V B の昇圧前の交流信号に相当する。A 相の交流パルス信号を生成する部分の構成と、B 相の交流パルス信号を生成する部分の構成は同じであるため、ここでは、A 相の交流パルス信号を生成する部分の構成について説明し、B 相側の説明を省略する。

10

【 0 0 4 6 】

パルス信号生成部 6 0 4 は、位相差 - 周波数判定部 1 0 6 から出力された位相差と周波数の制御量に基づき、位相差情報と周波数情報とを有する A 相パルス信号と A 相反転パルス信号を生成する。A 相パルス信号と A 相反転パルス信号は共に、スイッチング回路 6 0 5 に入力される。スイッチング回路 6 0 5 は、電源 6 0 1 を有し、電源 6 0 1 から供給される直流電圧を入力パルス信号のタイミングでスイッチング動作させ、矩形波の交流信号を生成する。

【 0 0 4 7 】

昇圧回路 1 1 2 は、コイル 6 0 2 と、トランス 6 0 3 とを有する。昇圧回路 1 1 2 は、スイッチング回路 6 0 5 から入力された矩形波の交流信号を所定の電圧値に昇圧された正弦波の交流電圧 V A へ変換し、圧電素子 1 4 に印加する。同様に、所定の電圧値に昇圧された正弦波の交流電圧 V B が圧電素子 1 4 に印加される。

20

【 0 0 4 8 】

図 7 は、駆動装置 1 5 0 での振動型アクチュエータ 1 0 の第 1 の制御結果を従来例と比較して示す図であり、図 7 (a) は従来例を、図 7 (b) は実施例 (本発明例) をそれぞれ示している。ここでは、被駆動体 1 1 の位置を振動体 1 5 に対して $2 \mu\text{m}$ 移動させるステップ信号 (指令値) に追従するように、位置フィードバック制御を行っている。なお、従来例は、制御量補正部 1 0 5 を有さない制御装置による制御結果である。

【 0 0 4 9 】

実位置が指令値に達するまでの時間は、図 7 (a) に示されるように、従来例では 36 ms (ミリ秒) を要している。これに対して、図 7 (b) に示されるように、実施例では 8 ms に短縮されている。このことから、駆動装置 1 5 0 による振動型アクチュエータ 1 0 の駆動制御では、従来と比較して、微小駆動に対する応答性を大幅に改善することができる。

30

【 0 0 5 0 】

図 8 は、駆動装置 1 5 0 での振動型アクチュエータ 1 0 の第 2 の制御結果を従来例と比較して示す図であり、図 8 (a) は従来例を、図 8 (b) は実施例 (本発明例) をそれぞれ示している。ここでは、被駆動体 1 1 の位置を振動体 1 5 に対して $4 \mu\text{m}$ で往復移動させるウォブリング動作の位置フィードバック制御を、ウォブリング信号 (指令値) に追従するように行っている。なお、従来例は、制御量補正部 1 0 5 を有さない制御装置による制御結果である。

40

【 0 0 5 1 】

図 8 (a) に示すように、従来例では、被駆動体 1 1 の位置は、指令値に追従することができていないことがわかる。また、従来例では、単純にフィードバック制御ゲインを上げるだけでは、発振してしまって指令値に追従することはできず、同様に、単純に圧電素子 1 4 に印加する交流電圧の電圧値を上げただけでも、指令値に追従することはできない。これに対して、実施例では、図 8 (b) に示すように、指令値に対する追従性が大幅に向上していることがわかる。

【 0 0 5 2 】

50

図 8 (c) は、振動型アクチュエータ 1 0 を駆動するための操作パラメータである位相差を時間に対してプロットした図である。駆動装置 1 5 0 では、制御量補正部 1 0 5 によって、位相差の小さい領域で操作量が補正されることにより、動き出しのタイミングに応じて操作量の変化が急峻となっているのがわかる。このように、駆動装置 1 5 0 による振動型アクチュエータ 1 0 の駆動制御では、従来と比較して、微小距離のウォブリング動作に対する応答性も大幅に改善することができることがわかる。

【 0 0 5 3 】

図 9 (a) は、制御量補正部 1 0 5 で用いられる補正係数の一例であって、位相差の制御量 に応じて補正係数の最大値を変化させる例を示している。補正係数と位相差の制御量 との関係には、ルックアップテーブル又は数式を用いてもよい。

10

【 0 0 5 4 】

補正係数は、フィードバック制御ゲインに相当するものと考えてよい。また、位相差の制御量 が ± 90 度において、補正係数は “ 1 ” であり、本実施形態では “ 1 ” を標準的なフィードバック制御ゲインであると規定する。補正係数の最大値が大きくなるにしたがって、微小駆動を行う際の応答性は改善される。但し、補正係数の最大値は、制御的な発振が生じない値に制限される。

【 0 0 5 5 】

図 9 (b) は、制御量補正部 1 0 5 で用いられる補正係数の一例であって、補正係数の最大値を一定値とし、位相差の制御量 に基づく補正係数の曲率を変えた例を示している。補正係数と位相差の制御量 との関係には、ルックアップテーブル又は数式を用いてもよい。

20

【 0 0 5 6 】

実線で示すパターンに対して、破線で示すパターン及び一点鎖線で示すパターンでは、位相差の制御量 が小さいときに補正係数を大きくする（補正係数を大きくする位相差の制御量 の範囲を狭める）。振動体 1 5 の構成を変えると、送り振動の突き上げ振動に対するアドミッタンス比が変化するため、突き上げ振動と送り振動の振幅比と位相差の制御量 との関係も変化する。そこで、例えば、送り振動のピークが小さい振動体 1 5 の場合には、より小さい位相差の制御量 で応答性が低下するため、一点鎖線で示すパターンのような補正係数 C_c を用いることが望ましい。

【 0 0 5 7 】

30

図 9 (c) は、制御量補正部 1 0 5 で用いられる補正係数の一例であって、位相差の制御量 を複数の領域に区切り、各領域で補正係数を線形に変化させる場合の例を示している。図 9 (c) の例は、図 9 (b) に示した例の変形例に相当する。位相差の制御量 の所定の領域に対して補正係数を線形に変化させることによって、補正係数と位相差の制御量 との関係にルックアップテーブルや数式を用いた場合に、ルックアップテーブルのメモリの削減や数式演算の簡略化が可能となる。

【 0 0 5 8 】

以上の説明の通り、本実施形態に係る駆動装置 1 5 0 は、振動型アクチュエータ 1 0 の駆動に用いる振動振幅と振動形状、操作パラメータの操作量の非線形性を考慮して、位相差の制御量 の絶対値が小さい位相差制御領域における位相差の操作量を補正する。これにより、振動型アクチュエータ 1 0 を微小駆動させる際の応答性を高めることが可能となる。

40

【 0 0 5 9 】

< 第 2 実施形態 >

第 2 実施形態に係る駆動装置は、振動体 1 5 に励起する送り振動の突き上げ振動に対する振幅比を規定する位相差の制御量 に基づいて、送り振動と突き上げ振動の振動振幅を規定する操作パラメータの制御量を補正する。なお、振動振幅を規定する操作パラメータとは、交流信号の電圧又は周波数である。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 は、本発明の第 2 実施形態に係る駆動装置 2 5 0 の概略構成を示すブロック図で

50

ある。なお、駆動装置 250 の構成要素のうち、第 1 実施形態で説明した駆動装置 150 の構成要素と同じものについては、同じ符号を付して説明を省略する。

【0061】

駆動装置 250 は、振動型アクチュエータ 10、制御装置 220 及び位置検出部 140 を有する。制御装置 220 は、制御部 200 及び駆動部 110 を有する。制御部 200 は、指令値生成部 101、制御量演算部 102、減算器 108、位相差 - 周波数制御部 230 及び電圧制御部 210 を有する。

【0062】

位相差 - 周波数制御部 230 は、制御量補正部 105 を有さない点と、位相差変換部 103 から出力される位相差の制御量 が電圧制御部 210 へ供給される点で、図 2 に示した位相差 - 周波数制御部 130 と異なる。また、制御部 200 は、電圧調整部 107 に代えて電圧制御部 210 を有する点で、図 2 に示した制御部 100 と異なる。

【0063】

電圧制御部 210 は、基準電圧設定部 211 及び電圧補正部 212 を有し、駆動部 110 で生成される交流信号の電圧を調整するためのパルス幅情報を出力する。ここで、パルス幅とは、駆動部 110 に入力される矩形パルス信号のデューティ比を指し、パルス幅を広くすると、駆動部 110 で生成される交流信号の電圧は大きくなる。

【0064】

基準電圧設定部 211 では、基準となるパルス幅が、電圧基準値 V_{ref} として 0 ~ 50 % の範囲で設定される。電圧補正部 212 は、位相差の制御量 に基づいて電圧基準値 V_{ref} を補正し、パルス幅の補正量 C_v を駆動部 110 へ出力する。パルス幅の補正量 C_v は、アドミッタンス比 k を用いて、下記 [式 6] によって計算することができる。これにより、駆動部 110 の交流信号生成部 111 において、パルス幅の補正量 C_v に応じて交流信号の電圧が補正される。

【0065】

【数 3】

$$\text{補正量} : C_v = \frac{V_{ref}}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{[式 6]}$$

【0066】

制御装置 220 は、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比に基づいて交流信号の電圧を補正することによって、送り振動と突き上げ振動の振動振幅を操作する。このとき、電圧を大きくすると振動振幅が大きくなって応答性が向上することを利用し、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比が小さいときの応答性の低下を電圧の補正によって改善する。

【0067】

図 11 は、駆動装置 250 での振動型アクチュエータ 10 の制御の条件と結果を示す図である。ここでは、被駆動体 11 の位置を振動体 15 に対して $4 \mu\text{m}$ で往復移動させるウォブリング動作の位置フィードバック制御を、ウォブリング信号（指令値）に追従するように行っている。

【0068】

図 11 (a) は、電圧補正部 212 で用いたパルス幅の補正量 C_v を示す図である。パルス幅の補正量 C_v は、電圧基準値 V_{ref} を 10 %、アドミッタンス比 k を 0.5 とし、上記 [式 6] により計算した値を、複数の領域に区切った位相差の制御量 の領域毎に線形に変化させるように調整したものである。なお、図 11 (c) に示す結果が得られた際の実際の振動型アクチュエータ 10 の制御では、図 11 (a) のパルス幅の補正量 C_v に対応するルックアップテーブルを用いている。本実施形態では、位相差の制御量 が小さい領域で、パルス幅の補正量 C_v が大きくなるように、交流信号の電圧を補正する。

【 0 0 6 9 】

図 1 1 (b) は、電圧制御部 2 1 0 からの出力を説明する図である。電圧制御部 2 1 0 は、制御量 1 4 3 の絶対値が小さい領域を位相差制御領域とし、位相差制御領域内では、位相差を変化させると共に、位相差に応じてパルス幅の補正量 C_v を上記 [式 6] に従うように制御する。パルス幅の補正量 C_v が大きくなると、交流信号の電圧値は大きくなる。一方、電圧制御部 2 1 0 は、制御量 1 4 3 の絶対値が大きい領域を周波数制御領域とする。周波数制御領域では、図 1 1 (b) に示すように、パルス幅を電圧基準値 V_{ref} に固定し、周波数を変化させてもよいし、不図示であるが、周波数を固定してパルス幅を変化させてもよい。

【 0 0 7 0 】

10

図 1 1 (c) は、ウォブリング動作に対する制御結果を示す図である。制御装置 2 2 0 を有する駆動装置 2 5 0 では、指令値に追従した動作が可能となっていることがわかる。図 1 1 (d) は、ウォブリング動作中の位相差とパルス幅の補正量 C_v をプロットした図である。電圧補正部 2 1 2 により、位相差の小さい領域でパルス幅が大きくなるように補正されていることがわかる。このように、第 2 実施形態に係る駆動装置 2 5 0 を用いることによって、振動型アクチュエータ 1 0 の微小駆動における応答性を大幅に改善することができる。

【 0 0 7 1 】

< 第 3 実施形態 >

第 3 実施形態に係る駆動装置では、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比に基づいて交流信号の周波数を補正することにより、振動型アクチュエータ 1 0 を微小駆動する際の応答性を向上させる。

20

【 0 0 7 2 】

図 1 2 は、本発明の第 3 実施形態に係る駆動装置 3 5 0 の概略構成を示すブロック図である。なお、駆動装置 3 5 0 の構成要素のうち、図 2 を参照して説明した駆動装置 1 5 0 の構成要素と同じものについては、同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

駆動装置 3 5 0 は、振動型アクチュエータ 1 0、制御装置 3 2 0 及び位置検出部 1 4 0 を有する。制御装置 3 2 0 は、制御部 3 0 0 及び駆動部 1 1 0 を有する。制御部 3 0 0 は、指令値生成部 1 0 1、制御量演算部 1 0 2、減算器 1 0 8、位相差 - 周波数制御部 3 3 0 及び電圧調整部 1 0 7 を有する。位相差 - 周波数制御部 3 3 0 は、制御量補正部 1 0 5 を有さず、周波数補正部 3 1 0 を有し、位相差変換部 1 0 3 から周波数補正部 3 1 0 と位相差 - 周波数判定部 1 0 6 に位相差の制御量 が供給される点で、図 2 に示した位相差 - 周波数制御部 1 3 0 と異なる。

30

【 0 0 7 4 】

周波数補正部 3 1 0 は、位相差の制御量 に基づいて、周波数変換部 1 0 4 から出力される周波数の制御量 F を補正する補正量 C_f を決定し、位相差 - 周波数判定部 1 0 6 に出力する。これにより、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比に基づいて、交流信号生成部 1 1 1 で生成される交流信号の周波数が補正され、送り振動と突き上げ振動の振動振幅が操作される。このとき、周波数の操作量を大きくすると振動振幅が大きくなって応答性が向上することを利用し、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比が小さいときの応答性の低下を、交流信号の周波数の補正によって改善する。なお、周波数の操作量とは、起動周波数等の基準となる高周波数域側から振動体 1 5 の共振周波数がある低周波数域側に向かってスweepする変化量を指す。

40

【 0 0 7 5 】

図 1 3 (a) は、周波数補正部 3 1 0 で用いる周波数の補正量 C_f を説明する図である。周波数の補正量 C_f は、位相差の制御量 が小さい領域で大きくなるように設定され、アドミタンス比 k を用いて、下記 [式 7] によって計算することができる。周波数の制御量 F は、固定値として与えてもよいし、偏差の PID 演算による可変制御量であってもよい。補正量 C_f は、例えば、周波数の制御量 F を 200 Hz 、アドミタンス比 k を 0

50

． 5 として計算することができる。

【 0 0 7 6 】

【 数 4 】

$$\text{補正量} : Cf = \frac{F}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \dots \text{[式 7]}$$

10

【 0 0 7 7 】

図 1 3 (b) は、周波数補正部 3 1 0 からの出力を説明する図である。図 1 3 (b) に示す周波数は、駆動部 1 1 0 に出力される設定値を示しており、基準となる周波数から補正量 Cf が減算されたものである。

【 0 0 7 8 】

周波数補正部 3 1 0 は、制御量 1 4 3 の絶対値の小さい領域を位相差制御領域とし、位相差制御領域内では位相差に応じて補正量 Cf を上記 [式 7] に従うように制御する。制御量 1 4 3 の絶対値が小さくなるにしたがって補正量 Cf が大きくなることにより、周波数が共振周波数に近付いて、振動振幅は大きくなる。周波数補正部 3 1 0 は、制御量 1 4 3 の絶対値が大きい領域を周波数制御領域とする。周波数制御領域では、図 1 3 (b) に示すように、周波数を変化させてもよいし、不図示であるが、周波数を固定してパルス幅を変化させてもよい。

20

【 0 0 7 9 】

第 3 実施形態に係る駆動装置 3 5 0 を用いることによって、第 1 実施形態と同様に、振動型アクチュエータ 1 0 の微小駆動における応答性を大幅に改善することができる。

【 0 0 8 0 】

< 第 4 実施形態 >

第 4 実施形態では、図 1 に示した分極領域と異なる分極領域を有する圧電素子を備えた振動型アクチュエータとその駆動方法について説明する。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 (a) は、振動型アクチュエータに用いられる圧電素子 1 7 に形成された電極パターンと分極領域を説明する図である。圧電素子 1 7 は、電極 A 1 , A 2 を有し、電極 A 1 は、+ (プラス) に分極処理された圧電領域 (+ A 1) と、- (マイナス) に分極処理された圧電領域 (- A 1) を有する。電極 A 2 に交流電圧 $V 2$ を印加すると、図 1 (c) に示した 1 次の屈曲振動 (第 1 の振動モード (突き上げ振動)) が生じる。また、電極 A 1 に交流電圧 $V 1$ を印加すると、図 1 (d) に示した 2 次の屈曲振動 (第 2 の振動モード (送り振動)) が生じる。

30

【 0 0 8 2 】

交流電圧 $V 1$, $V 2$ の周波数と同一とし、且つ、位相を 9 0 度ずらすことにより、突起部 1 2 に楕円運動を発生させて、被駆動体 1 1 と振動体 1 5 とを直線的に相対移動させることができる。その際、電極 A 2 に印加する交流電圧 $V 2$ の電圧値を調整することにより、突き上げ振動の振幅の大きさを調整することができ、電極 A 1 に印加する交流電圧 $V 1$ の電圧値を調整することにより、送り振動の振幅の大きさを調整することができる。

40

【 0 0 8 3 】

したがって、交流電圧 $V 1$, $V 2$ の電圧比を可変とすることにより、突き上げ振動と送り振動の振幅比を変えて、被駆動体 1 1 の駆動速度を制御することができる。なお、デジタル回路又はロジック回路を用いて、電極 A 1 , A 2 に印加する交流電圧 $V 1$, $V 2$ のパルス幅を調整することによって、突き上げ振動と送り振動の各振幅の大きさを調整することもできる。

【 0 0 8 4 】

50

図 1 4 (b) は、圧電素子 1 7 に印加する交流電圧 V_1 , V_2 の波形を示す図である。電極 A 1 に、パルス幅を可変とする交流電圧 V_1 を入力することにより、突き上げ振動と送り振動の振幅比を調整することができる。例えば、振幅比上限のパルス幅を 5 0 % とし、交流電圧 V_1 のパルス幅を 0 ~ 5 0 % の範囲で可変とすることにより、交流電圧 V_1 , V_2 の電圧比を変えることができる。被駆動体 1 1 の駆動速度は、交流電圧 V_2 に対する交流電圧 V_1 の電圧比が、小さくなるにしたがって低速となり、大きくなるにしたがって高速になる。このとき、交流電圧 V_2 の駆動方向決定値は、+ 9 0 度又は - 9 0 度に設定され、駆動方向決定値を切り替えることにより、被駆動体 1 1 の駆動方向を切り替えることができる。

【 0 0 8 5 】

10

圧電素子 1 7 を備える振動型アクチュエータに対して、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比が小さいときに、振幅比又は振動振幅を規定する操作パラメータの制御量を大きくする補正を行うことにより、微小駆動に対する応答時間を改善することができる。ここで、振幅比を規定する操作パラメータは、交流電圧 V_1 , V_2 の電圧比 (第 1 の操作パラメータ) であり、振動振幅を規定する操作パラメータは、交流信号の電圧又は周波数 (第 2 の操作パラメータ) である。

【 0 0 8 6 】

交流電圧 V_1 , V_2 の電圧比の制御量を補正する場合、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比を規定する電圧比の制御量 V_r が小さくなるにしたがって、操作量が大きくなるように補正を行う。電圧比の補正量 C_{vr} は、電圧比の制御量 V_r が小さい領域で制御量が大きくなるように、アドミッタンス比 k を用いて、下記 [式 8] で示される補正係数を電圧比の制御量 V_r に乗算する下記 [式 9] により計算される。

20

【 0 0 8 7 】

また、交流信号の周波数の制御量を補正する場合、周波数の補正量 C_f は、電圧比の制御量 V_r が小さい領域で制御量が大きくなるように、アドミッタンス比 k を用いて、周波数の制御量 F に下記 [式 8] の補正係数を乗算する下記 [式 1 0] によって計算される。なお、振交流信号の電圧を補正する場合も、同様の補正を行えばよい。

【 0 0 8 8 】

このように、圧電素子の構成が変わっても、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比に基づいて、交流信号の電圧比、周波数又は電圧を補正することによって、送り振動の突き上げ振動に対する振幅比が小さいときの応答性を改善することができる。

30

【 0 0 8 9 】

【 数 5 】

$$\text{補正係数} = \frac{1}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{V_r}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{V_r}{2}\right)} \quad \dots \text{ [式 8]}$$

$$\text{補正量 : } C_{vr} = \frac{V_r}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{V_r}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{V_r}{2}\right)} \quad \dots \text{ [式 9]}$$

40

$$\text{補正量 : } C_f = \frac{F}{\left[\sqrt{2} \sin\left(\frac{V_r}{2}\right) \right]^k \times \sqrt{2} \cos\left(\frac{V_r}{2}\right)} \quad \dots \text{ [式 1 0]}$$

【 0 0 9 0 】

< 第 5 実施形態 >

第 5 実施形態では、上述した駆動装置 1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 を、一眼レフカメラ等の撮像装置におけるオートフォーカス機構 (以下「 A F 機構」という) に適用した例につい

50

て説明する。A F 機構には、フォーカスレンズを光軸方向に、高速度で、且つ、高精度に位置決めする制御が必要であり、そのために、例えば、位置センサを用いた位置フィードバック制御が行われる。

【 0 0 9 1 】

A F 機構では、フォーカスレンズは一般的に、停止状態から所定の速度へ加速され、一定速度で駆動された後に、目標位置に近付くにつれて減速され、目標位置で停止するように制御される。このとき、フォーカスレンズが目標位置へ近付くまでの時間は、できる限り短い方が望ましい。ここで、振動型アクチュエータ 1 0 を用いた A F 機構では、圧電素子 1 4 に印加する交流電圧の周波数や位相差、パルス幅等を調整することによって、フォーカスレンズの駆動速度に対応する、被駆動体 1 1 の駆動速度を制御することができる。そこで、例えば、駆動周波数を圧電素子 1 4 の共振周波数に近付けて、振動体 1 5 に発生させる振動の振幅を大きくすることにより、フォーカスレンズを高速駆動することができる。

10

【 0 0 9 2 】

一方、フォーカスレンズに対しては、光学ズームやコンピュータズームを行う際に、微小距離を素早く動作させる制御が行われる。また、撮像装置では、フォーカスレンズを微小な距離で往復駆動するウォブリング動作による焦点検出も行われる。フォーカスレンズのこのような微小駆動では、動き出しの遅れによる整定時間の長時間化や追従性の悪化が問題となり、この問題は、重いレンズや敏感度の高いレンズでより顕著となる。

【 0 0 9 3 】

このような問題に対して、上述した駆動装置 1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 は極めて有用である。即ち、駆動装置 1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 では、振動型アクチュエータ 1 0 の微小駆動における応答性を向上させることができる。したがって、撮像装置の A F 機構に駆動装置 1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 を用いることにより、フォーカスレンズの微小駆動を高精度に制御することができる。

20

【 0 0 9 4 】

図 1 5 は、振動型アクチュエータ 1 0 を応用したレンズ駆動機構 7 0 0 の概略構成を示す斜視図である。レンズ駆動機構 7 0 0 は、振動体 7 0 1、レンズ保持部材 7 0 2、第 1 のガイドバー 7 0 3、第 2 のガイドバー 7 0 4、加圧磁石 7 0 5 及びレンズ 7 0 6 を備える。振動体 7 0 1 は、図 1 で説明した振動体 1 5 に対応し、第 2 のガイドバー 7 0 4 は、図 1 で説明した被駆動体 1 1 に対応する。

30

【 0 0 9 5 】

第 1 のガイドバー 7 0 3 及び第 2 のガイドバー 7 0 4 は、互いに平行となるように、不図示の基体に保持されている。レンズ保持部材 7 0 2 は、レンズ 7 0 6 を保持する円筒状のホルダ部 7 0 2 a、振動体 7 0 1 と加圧磁石 7 0 5 を保持する保持部 7 0 2 b、第 1 のガイドバー 7 0 3 が挿通されるガイド部 7 0 2 c を有する。第 1 のガイドバー 7 0 3 に対してガイド部 7 0 2 c が移動自在に挿通されることにより第 1 のガイド部が形成される。

【 0 0 9 6 】

永久磁石である加圧磁石 7 0 5 と第 2 のガイドバー 7 0 4 との間には磁気回路が形成され、これら部材間に吸引力が発生することにより、加圧磁石 7 0 5 と第 2 のガイドバー 7 0 4 との間に配置された振動体 7 0 1 が、第 2 のガイドバー 7 0 4 へ押し当てられる。これにより、振動体が有する 2 つの突起部（図 1 の振動体 1 5 の突起部 1 2 に対応する）が第 2 のガイドバー 7 0 4 と加圧接触して、第 2 のガイド部が形成される。

40

【 0 0 9 7 】

なお、第 2 のガイド部は、磁気による吸引力を利用してガイド機構を形成しているため、外力を受ける等した場合に振動体 7 0 1 と第 2 のガイドバー 7 0 4 とが引き離される状態が生じることが予想される。その対策として、レンズ駆動機構 7 0 0 では、レンズ保持部材 7 0 2 に設けられた脱落防止部 7 0 2 d が第 2 のガイドバー 7 0 4 に当接することで、レンズ保持部材 7 0 2（振動体 7 0 1）が所定位置に戻るよう構成されている。

【 0 0 9 8 】

50

振動体 701 に所定の交流電圧を供給することにより、図 1 を参照した説明の通り、振動体 701 と第 2 のガイドバー 704 との間に摩擦駆動力が発生し、この摩擦駆動力によりレンズ保持部材 702 が駆動される。なお、ここでは、振動体 701 がレンズ保持部材 702 と共に光軸方向に移動するレンズ駆動機構 700 を取り上げたが、レンズ駆動機構は、固定された振動体に対してレンズを保持した保持部材が被駆動体として光軸方向に移動する構成であってもよい。

【0099】

< 第 6 実施形態 >

第 6 実施形態では、上述した駆動装置 150, 250, 350 を、一眼レフカメラ等の撮像装置における像ぶれ補正機構に適用した例について説明する。図 16 (a) は、撮像装置 800 の外観を示す平面図 (上面図) である。図 16 (b) は、撮像装置 800 の内部の概略構造を示す図である。

10

【0100】

撮像装置 800 は、大略的に、本体 810 と、本体 810 に対して着脱自在なレンズ鏡筒 820 とで構成されている。本体 810 は、レンズ鏡筒 820 を通過した光が結像した光学像を画像信号に変換する CCD センサや CMOS センサ等の撮像素子 830 と、撮像装置 800 の全体的な動作を制御するカメラ制御マイコン 840 を備える。また、本体 810 には、カメラ制御マイコン 840 の制御下で動作する制御装置 120 が設けられている。

【0101】

20

レンズ鏡筒 820 には、フォーカスレンズやズームレンズ等の複数のレンズ L が所定位置に配置されている。また、レンズ鏡筒 820 には、像ぶれ補正装置 850 が内蔵されており、像ぶれ補正装置 850 は、円板部材 851、円板部材 851 に設けられた被駆動体 11 を有し、円板部材 851 の中央に形成されている穴部に、像ぶれ補正レンズ 852 が配置されている。像ぶれ補正装置 850 は、レンズ鏡筒 820 の光軸と直交する面内で像ぶれ補正レンズ 852 を移動させることができるように配置される。

【0102】

制御装置 120 により振動体 15 を駆動することで、レンズ鏡筒 820 に固定されている振動体 15 に対し、被駆動体 11 と円板部材 851 が光軸と直交する平面内で相対移動し、補正レンズ 852 が駆動される。なお、ここでは、補正レンズ 852 を駆動する像ぶれ補正装置について説明したが、像ぶれ補正装置は、これに限らず、撮像素子 830 を結像面と平行な方向に駆動するものであってもよい。また、円板部材 851 に振動体 15 を固定し、被駆動体 11 をレンズ鏡筒 820 に固定することにより、振動体 15 と円板部材 851 が光軸と直交する平面内で相対移動し、補正レンズ 852 が駆動される構成としてもよい。

30

【0103】

< 第 7 実施形態 >

第 7 実施形態では、駆動装置 150 を備える装置の一例としての X - Y ステージを有する顕微鏡の構成について説明する。図 17 は、駆動装置 150 を備える顕微鏡 900 の外観斜視図である。顕微鏡 900 は、撮像素子と光学系を内蔵する撮像部 930 と、基台上に設けられ、振動型アクチュエータにより X - Y 面内で移動されるステージ 920 を有するステージ装置の一例である自動ステージ 910 とを有する。

40

【0104】

駆動装置 150 を構成する制御装置 120 は、ここでは基台に配置されているが、これに限定されるものではない。振動型アクチュエータ 10 として、振動体 15 が基材に保持されたものが、少なくとも 2 つ用いられる。少なくとも 1 つの振動型アクチュエータは、ステージ 920 の X 方向駆動に用いられ、振動体 15 の X 方向がステージ 920 の X 方向と一致するように配置される。少なくとも 1 つの別の振動型アクチュエータは、ステージ 920 の Y 方向駆動に用いられ、振動体 15 の X 方向がステージ 920 の Y 方向と一致するように配置される。

50

【 0 1 0 5 】

例えば、被観察物をステージ 9 2 0 の上面に置いて、拡大画像を撮像部 9 3 0 で撮影する。観察範囲が広範囲にある場合には、自動ステージ 9 1 0 を駆動してステージ 9 2 0 を面内で X 方向や Y 方向に移動させて被観察物を移動させることにより、多数の撮影画像を取得する。撮影された画像を不図示のコンピュータで画像処理により結合させることで、観察範囲が広範囲で、高精細な 1 枚の画像を取得することができる。

【 0 1 0 6 】

< その他の実施形態 >

以上、本発明をその好適な実施形態に基づいて詳述してきたが、本発明はこれら特定の実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の様々な形態も本発明に含まれる。更に、上述した各実施形態は本発明の一実施形態を示すものにすぎず、各実施形態を適宜組み合わせることも可能である。

10

【 0 1 0 7 】

例えば、上記実施形態では、振動型アクチュエータ 1 0 は、振動体 1 5 が不図示の固定手段に固定され、被駆動体 1 1 が振動体 1 5 に対して移動する構成とした。しかし、これに限らず、被駆動体 1 1 が不図示の固定手段に固定され、振動体 1 5 が被駆動体 1 1 に対して移動する構成であってもよい。また、例えば、上記実施形態では、制御装置 1 2 0 を振動型アクチュエータ 1 0 を構成する圧電素子 1 4 を 2 相に分けて駆動する構成とした。しかし、本発明は、このような 2 相駆動に限定されるものではなく、2 相以上の交流電圧により駆動される振動型アクチュエータにも適用できる。また、駆動装置 1 5 0 では、電圧調整部 1 0 7 が、制御量補正部 1 0 5 を備える構成としてもよい。

20

【 符号の説明 】

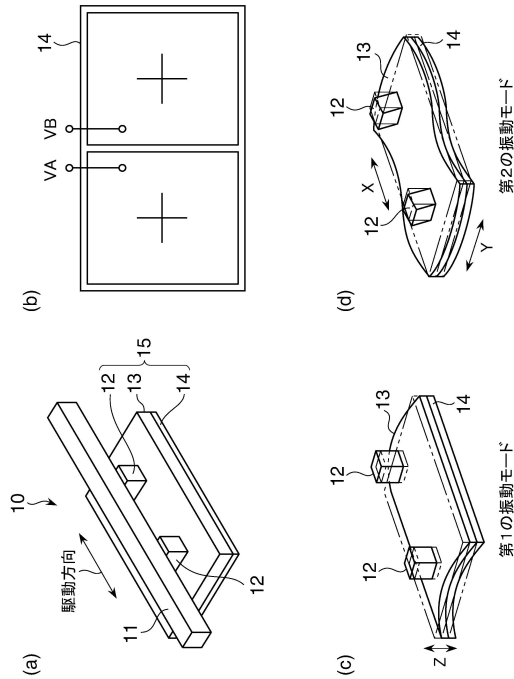
【 0 1 0 8 】

1 0 振動型アクチュエータ
1 1 被駆動体
1 4 , 1 7 圧電素子
1 5 振動体
1 0 1 指令値生成部
1 0 2 制御量演算部
1 0 3 位相差変換部
1 0 4 周波数変換部
1 0 5 制御量補正部
1 0 6 位相差 - 周波数判定部
1 0 7 電圧調整部
1 1 0 駆動部
1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 制御部
1 2 0 , 2 2 0 , 3 2 0 制御装置
1 3 0 位相差 - 周波数制御部
1 4 0 位置検出部
1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 駆動装置
2 1 0 電圧制御部

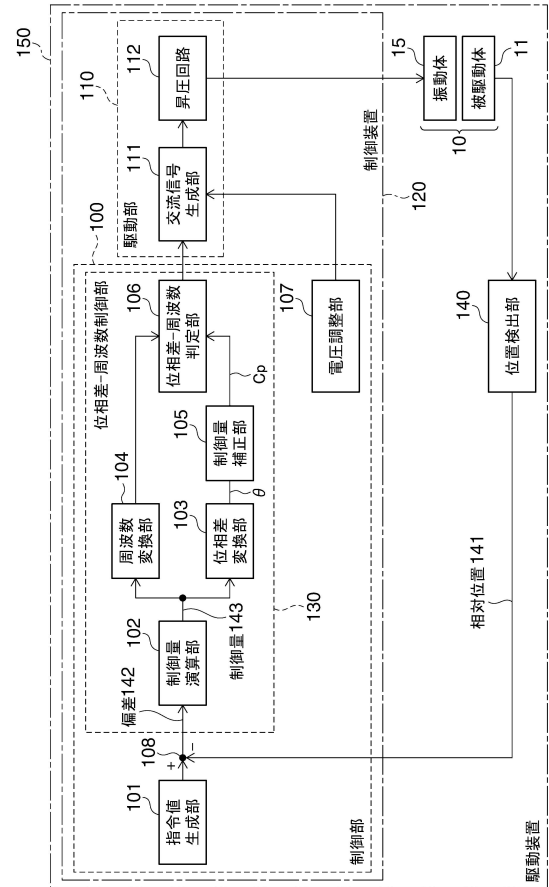
30

40

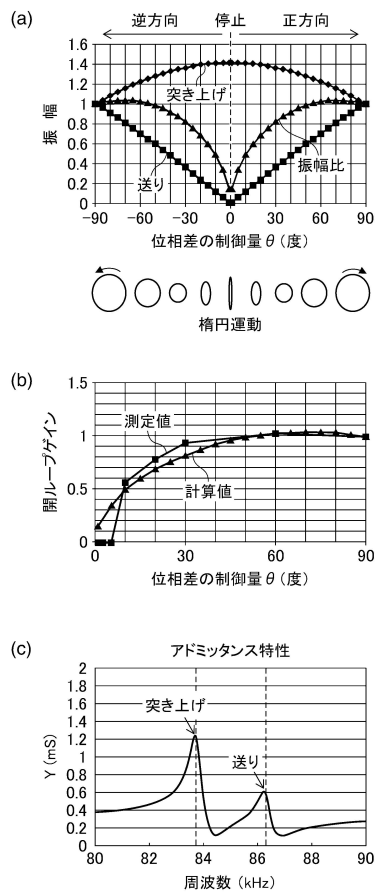
【図 1】



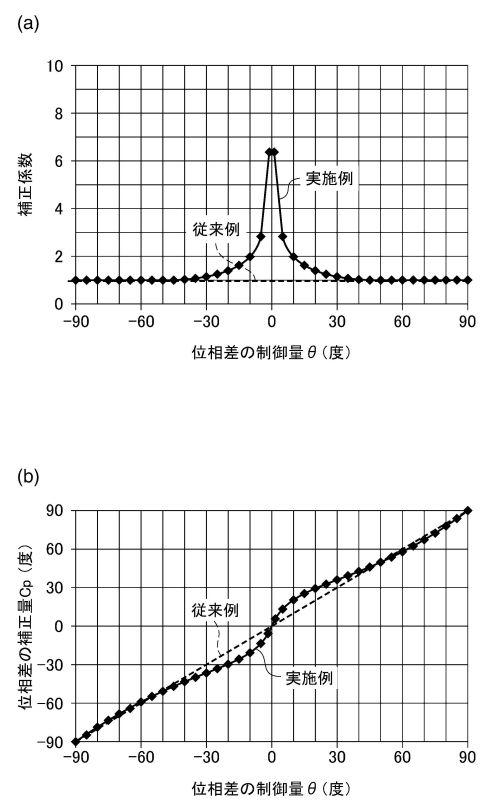
【図 2】



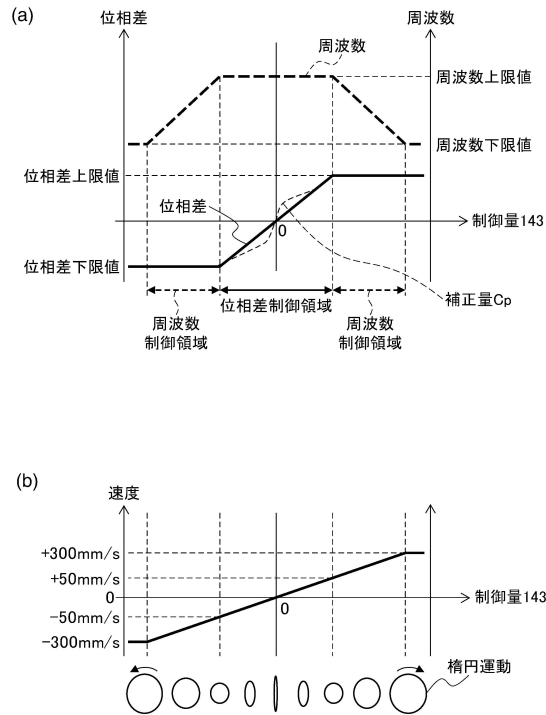
【図 3】



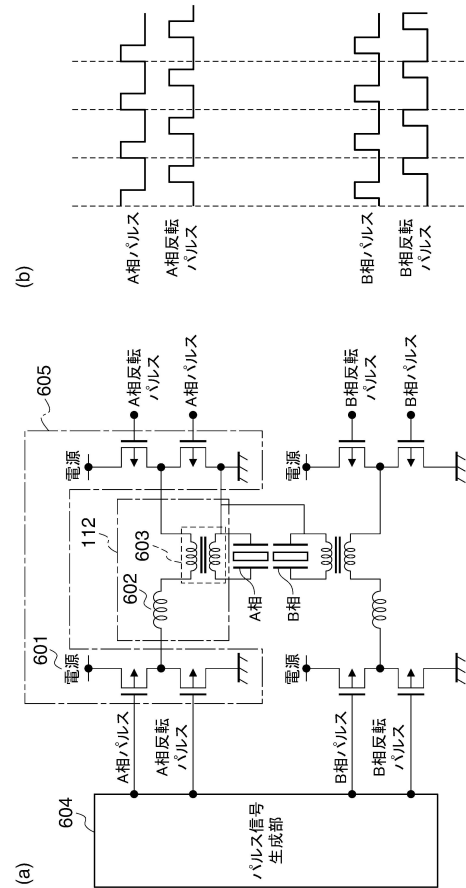
【図 4】



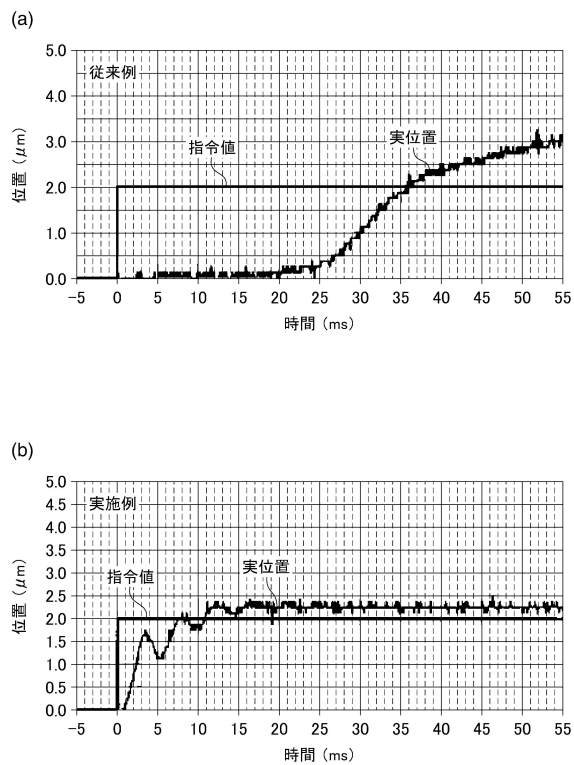
【図 5】



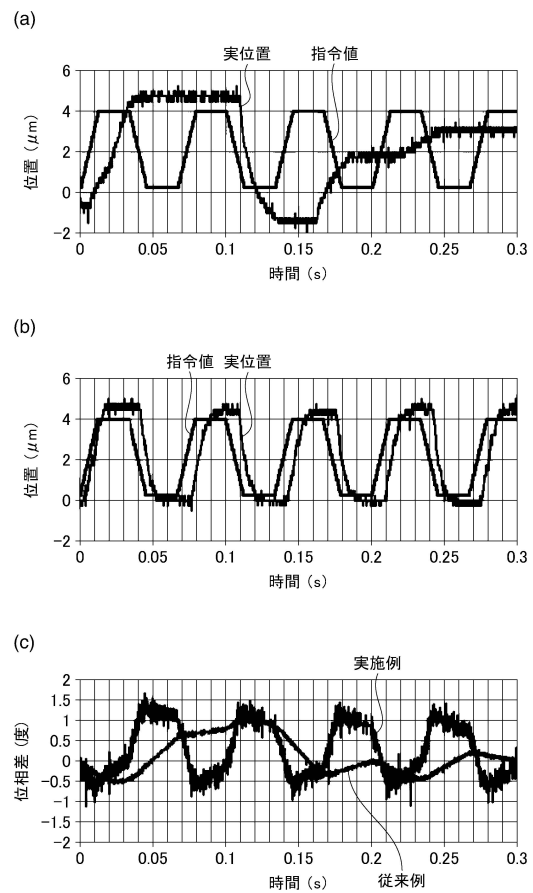
【図 6】



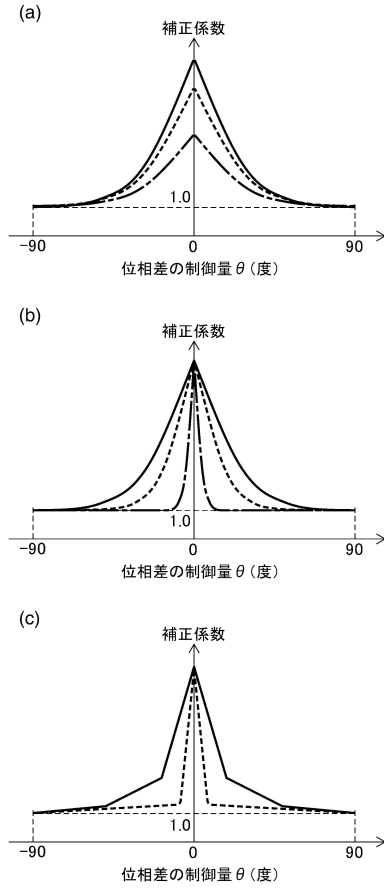
【図 7】



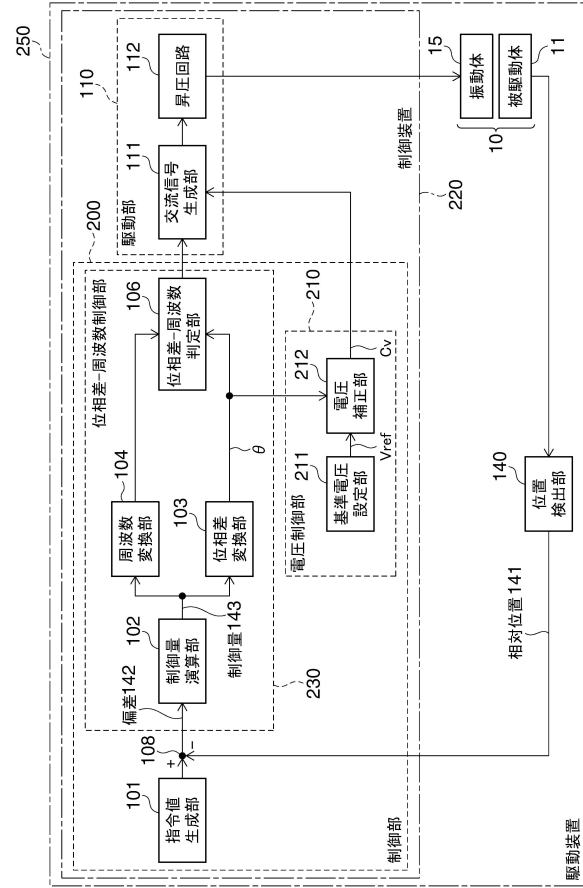
【図 8】



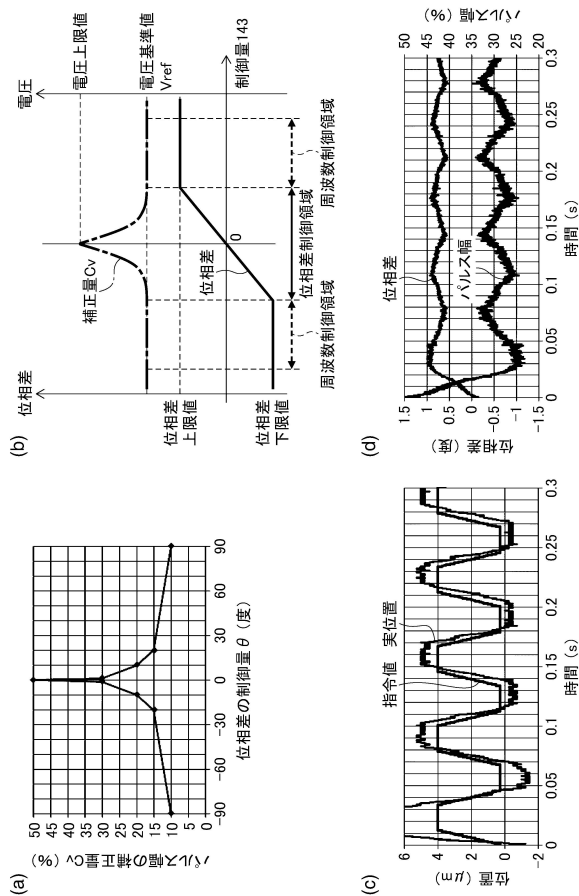
【図 9】



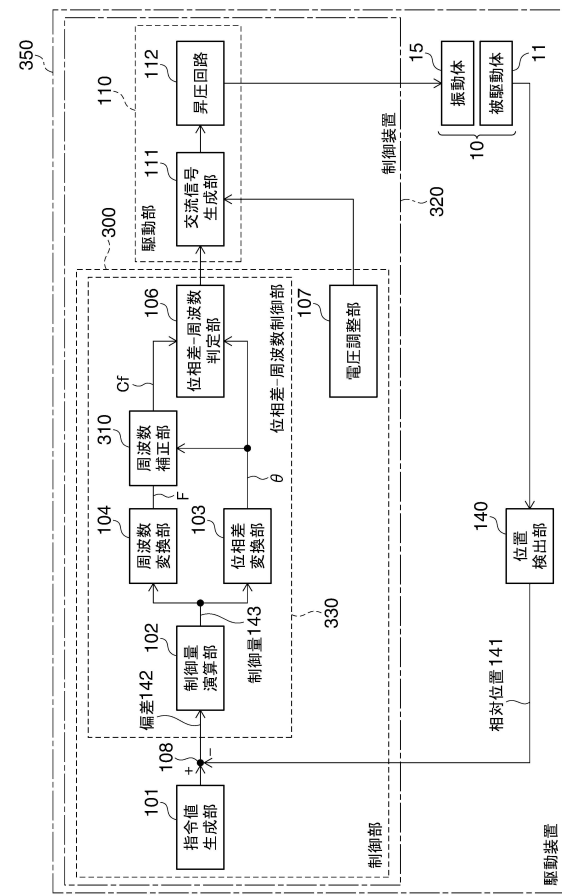
【図 10】



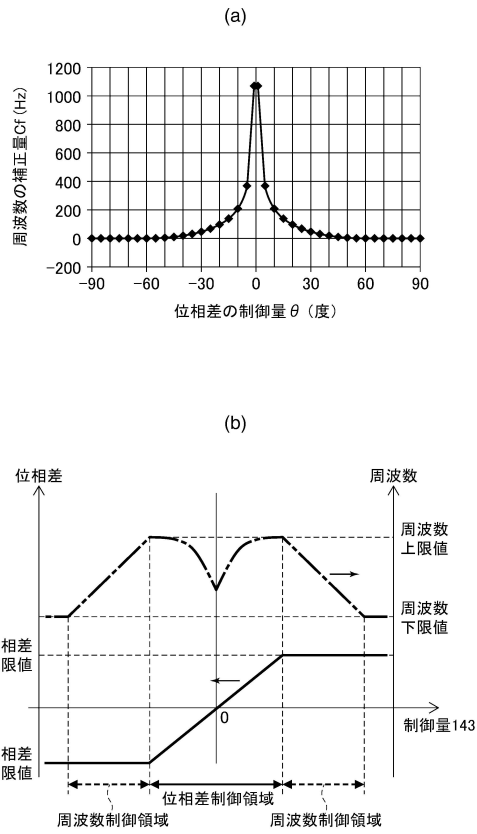
【図 11】



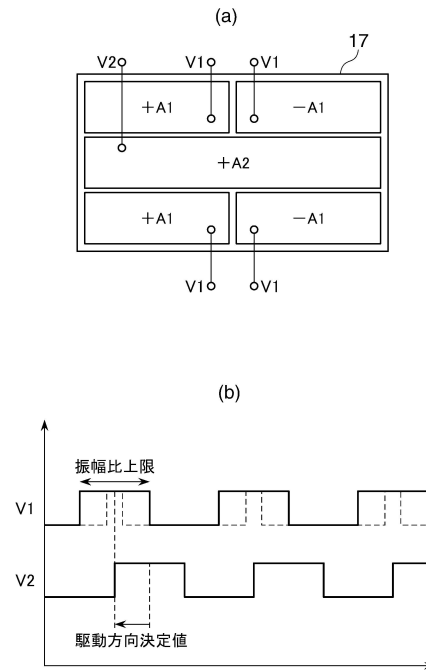
【図 12】



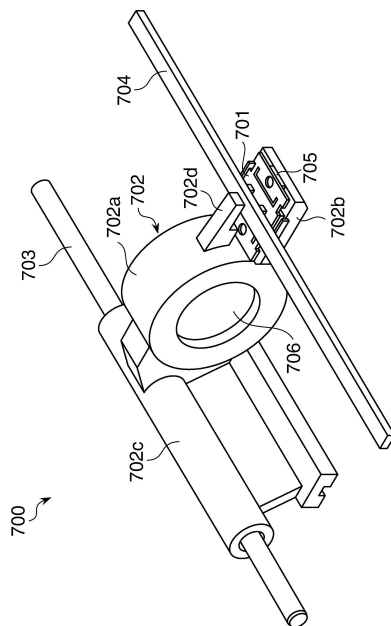
【図 13】



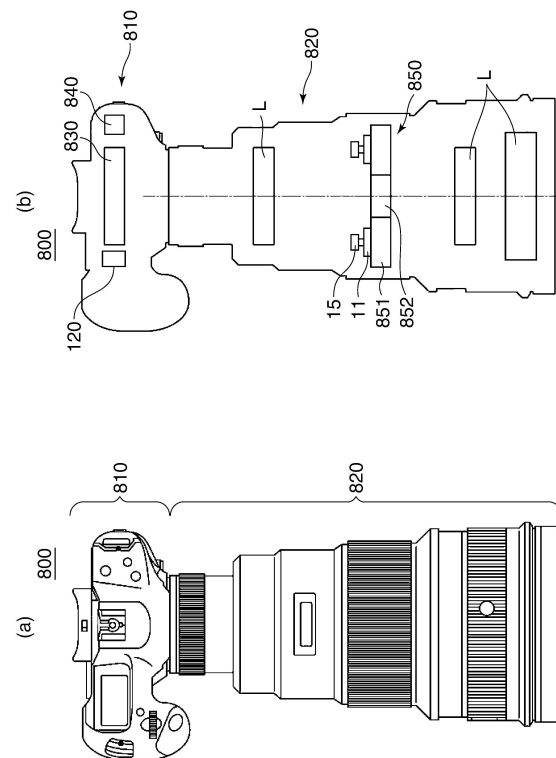
【図 14】



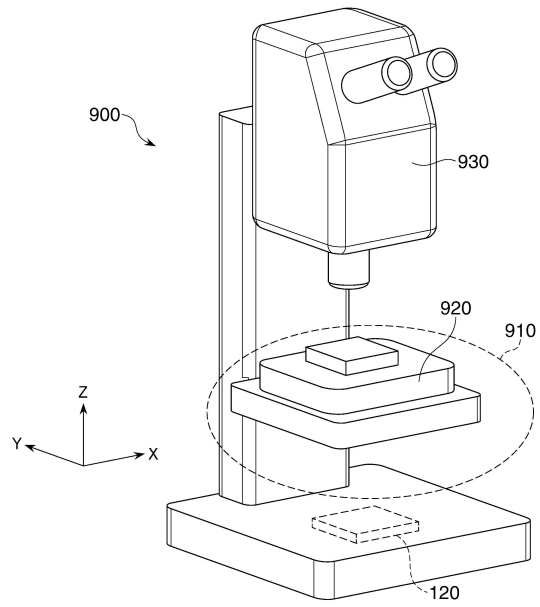
【図 15】



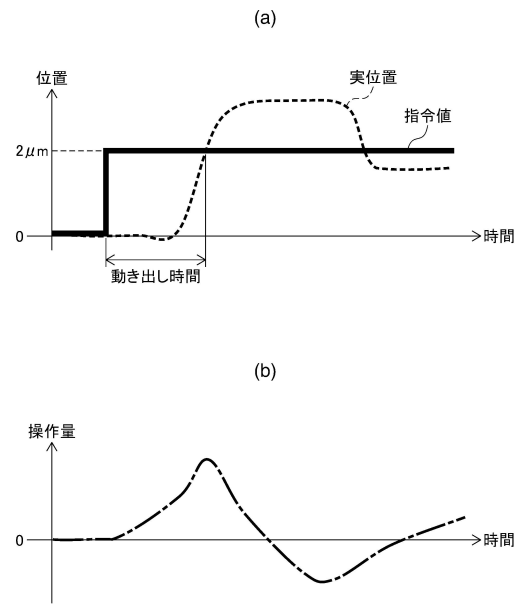
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 2 5 9 5 5 9 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 9 1 6 6 1 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 0 6 8 5 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 N 2 / 0 6