

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6845737号  
(P6845737)

(45) 発行日 令和3年3月24日(2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月2日(2021.3.2)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G02B</b>	<b>3/14</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B	3/14	
<b>G02B</b>	<b>7/04</b>	<b>(2021.01)</b>	G02B	7/04	Z
<b>G02B</b>	<b>7/08</b>	<b>(2021.01)</b>	G02B	7/08	C

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2017-89576 (P2017-89576)	(73) 特許権者	000137694
(22) 出願日	平成29年4月28日 (2017.4.28)		株式会社ミットヨ
(65) 公開番号	特開2018-189700 (P2018-189700A)		神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(43) 公開日	平成30年11月29日 (2018.11.29)	(74) 代理人	110000637
審査請求日	令和2年3月10日 (2020.3.10)		特許業務法人樹之下知的財産事務所
		(72) 発明者	伊賀崎 史朗
			神奈川県川崎市高津区坂戸1丁目20番1号 株式会社ミットヨ内
		(72) 発明者	大庭 信男
			神奈川県川崎市高津区坂戸1丁目20番1号 株式会社ミットヨ内
		(72) 発明者	倉橋 佑旗
			神奈川県川崎市高津区坂戸1丁目20番1号 株式会社ミットヨ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 焦点距離可変レンズ装置および焦点距離可変レンズ制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、

前記共振ロック制御部は、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク位置に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変動した際に、前記駆動電流を参照して前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ装置。

【請求項2】

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、

前記共振ロック制御部は、前記レンズシステムの有効電力のピーク値よりも低い目標有効電力を設定し、前記目標有効電力を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記有効電力が変化した場合に、前記有効電力の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ装置。

【請求項3】

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、

前記共振ロック制御部は、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク値よりも低い目標電圧電流位相差を設定し、前記目標電圧電流

10

20

位相差を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変化した場合に、前記電圧電流位相差の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ装置。

【請求項4】

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、

前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク位置に前記駆動信号の周波数を設定し、

前記電圧電流位相差が変動した場合に、前記駆動電流を参照して前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ制御方法。

10

【請求項5】

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、

前記レンズシステムの有効電力のピーク値よりも低い目標有効電力を設定し、

前記目標有効電力を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、

前記有効電力が変化した場合に、前記有効電力の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ制御方法。

【請求項6】

20

入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、

前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク値よりも低い目標電圧電流位相差を設定し、

前記目標電圧電流位相差を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、

前記電圧電流位相差が変化した場合に、前記電圧電流位相差の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする焦点距離可変レンズ制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は焦点距離可変レンズ装置および焦点距離可変レンズ制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

焦点距離可変レンズ装置として、例えば特許文献1に記載された原理の液体レンズシステム(以下単にレンズシステムと呼ぶ)を利用した装置が開発されている。

レンズシステムは、圧電材料で形成された円筒状の振動部材を、透明な液体に浸漬して形成される。レンズシステムにおいて、振動部材の内周面と外周面とに交流電圧を印加すると、振動部材が厚み方向に伸縮し、振動部材の内側の液体を振動させる。液体の固有振動数に応じて印加電圧の周波数を調整することで、液体には同心円状の定在波が形成され、振動部材の中心軸線を中心として屈折率が異なる同心円状の領域が形成される。このため、レンズシステムにおいて、振動部材の中心軸線に沿って光を通せば、この光は同心円状の領域ごとの屈折率に従って、発散または収束する経路を辿ることになる。

40

【0003】

焦点距離可変レンズ装置は、前述したレンズシステムと、焦点を結ぶための対物レンズ(例えば通常の凸レンズあるいはレンズ群)とを、同じ光軸上に配置して構成される。

通常の対物レンズに平行光を入射させると、レンズを通過した光は所定の焦点距離にある焦点位置に焦点を結ぶ。これに対し、対物レンズと同軸に配置されたレンズシステムに平行光を入射させると、この光はレンズシステムで発散または収束され、対物レンズを通過した光は元の(レンズシステムがなかった状態の)焦点位置よりも遠くまたは近くにず

50

れた位置に焦点を結ぶ。

従って、焦点距離可変レンズ装置においては、レンズシステムに入力される駆動信号（内部の液体に定在波を発生させる周波数の交流電圧）を印加し、この駆動信号の振幅を増減させることで、焦点距離可変レンズ装置としての焦点位置を一定の範囲内（対物レンズの焦点距離を基準としてレンズシステムにより増減できる所定の変化幅）で任意に制御することができる。

#### 【0004】

焦点距離可変レンズ装置において、レンズシステムに入力される駆動信号としては、例えば正弦波状の交流信号が用いられる。このような駆動信号が入力されると、焦点距離可変レンズ装置の焦点距離（焦点位置）は正弦波状に変化する。この際、駆動信号の振幅が0のとき、レンズシステムを通る光は屈折されず、焦点距離可変レンズ装置の焦点距離は対物レンズの焦点距離となる。駆動信号の振幅が正負のピークにあるとき、レンズシステムを通る光は最も大きく屈折され、焦点距離可変レンズ装置の焦点距離は対物レンズの焦点距離から最も変化した状態となる。

このような焦点距離可変レンズ装置を用いて画像を取得する際には、駆動信号の正弦波の位相に同期して発光信号を出力してパルス照明を行う。これにより、正弦波状に変化する焦点距離のうち、所定の焦点距離にある状態でパルス照明を行うことで、この焦点距離にある対象物の画像が検出される。一周期のうち複数の位相でパルス照明を行い、各位相に対応して画像検出を行えば、同時に複数の焦点距離の画像を得ることもできる。

#### 【0005】

前述した焦点距離可変レンズ装置においては、外気温の影響あるいは稼働に伴う発熱などにより、レンズシステムの内部の液体や振動部材の温度が変化する。そして、温度変化により固有振動数が変化し、定在波が得られる交流信号の周波数（共振周波数）も変動する。レンズシステムに入力される駆動信号が変動前と同じままであると、駆動信号が共振周波数のピークからずれてしまい、定在波を効率的に得ることができない。

このような共振周波数の変動に対し、駆動信号を自動的に追従させる共振ロック機能が採用されている。例えば、所定周波数の駆動信号をレンズシステムに入力し、定在波の強度レベルが最大であったとする。ここで、定在波のレベルが低下した際には、駆動信号の周波数がレンズシステムで定在波が得られる共振のピークから外れたと判定し、駆動信号の周波数を増減させて新たなピーク位置を捕捉する。駆動信号の周波数が新たなピーク位置に到達すれば、定在波のレベルも最大強度に復帰できる。このようなピーク位置に対する追従動作を連続的に行うことで、定在波が得られる共振周波数への自動追尾（共振ロック）を実現することができる。

#### 【0006】

前述した焦点距離可変レンズ装置において、駆動信号に対する共振周波数の自動追尾（共振ロック制御）を行う際には、レンズシステムにおける定在波の強度レベルを検出するために、レンズシステムに投入される有効電力の値を参照していた。

そして、有効電力で共振周波数の変動が検出された際に、有効電力のピーク位置を追従させる向き（周波数の高い側に動かすか低い側に動かすか）を決定するために、レンズシステムの駆動部分（圧電材料で形成された振動部材）に流れる駆動電流の値を参照していた。

レンズシステムの駆動電流は、レンズシステムを駆動する圧電材料の特性として、等価回路の直列共振による正のピークと並列共振による負のピークとを有し、負のピークが正のピークより高い周波数に表れる（図22参照）。前述した有効電力のピークは、駆動電流の正のピークから、正のピークと負のピークとの中間値までの間に生じる。つまり、有効電力のピーク位置の周辺では、駆動電流は右下がりのパターンとして表れる。

従って、レンズシステムの共振周波数である有効電力のピーク位置がずれた際には、共振周波数の周辺での駆動電流の増減を調べることで、ピーク位置がずれた向きを検出することができる。

#### 【0007】

10

20

30

40

50

図20には、従来の焦点距離可変レンズ装置における共振ロック制御の具体的手順が示されている。

焦点距離可変レンズ装置は、共振ロックを開始する際に、初期設定として、先ず、有効電力  $R_p$  のピークスキャンを行う(図20の処理S01)。図21において、ピークスキャンでは、レンズシステムに駆動信号を印加するとともに、駆動信号の周波数を所定の下限値  $f_{min}$  から上限値  $f_{max}$  まで徐々に増加させ、各周波数でのレンズシステムにおける有効電力  $R_p$  を記録する。

次に、得られたスキャン結果から、有効電力  $R_p$  がピーク値  $p_p$  となる位置の周波数  $f_{pp}$  を検出し、この周波数  $f_{pp}$  に駆動信号の周波数を設定する(処理S02)。

【0008】

10

初期設定ができれば、焦点距離可変レンズ装置は、先に設定した周波数  $f_{pp}$  の駆動信号をレンズシステムに送り、レンズシステムに定在波を形成して稼働状態に入る。稼働中、焦点距離可変レンズ装置は、所定周期で有効電力  $R_p$  と駆動電流  $R_i$  を取得し(図20の処理S03)、有効電力  $R_p$  の低下を監視する(処理S04)。

有効電力  $R_p$  が低下していなければ、共振周波数  $f_{pp}$  の変動がないとして、処理S03~S04の監視を継続する。一方、有効電力  $R_p$  が低下していれば、共振周波数  $f_{pp}$  の変動があったとして、駆動電流  $R_i$  の低下があるか否かを判定する(処理S05)。そして、駆動電流  $R_i$  が低下した際には、共振周波数  $f_{pp}$  を下げ(処理S06)、駆動電流  $R_i$  が上昇した際には、共振周波数  $f_{pp}$  を上げる(処理S07)。

【0009】

20

図22において、温度上昇などにより、レンズシステムの共振周波数が周波数  $f_{pp}$  (実線)から周波数  $f_{pu}$  (破線)まで上昇したとする。

駆動信号が元の周波数  $f_{pp}$  のままであれば、共振周波数  $f_{pd}$  に変化したレンズシステム(破線)における有効電力は、ピーク値である  $p_p$  から  $p_u$  に低下する。このように、ピーク周波数の変化は、有効電力の低下として表れるから、処理S05により検出することができる。

レンズシステムの共振周波数が  $f_{pp}$  から  $f_{pu}$  に上昇した際に、駆動信号が元の周波数  $f_{pp}$  のままであると、共振周波数  $f_{pu}$  に変化したレンズシステムにおける駆動電流  $R_i$  (破線)は  $i_{pp}$  から  $i_{pu}$  に上昇する。従って、処理S05で駆動電流  $R_i$  が上昇と判定され、処理S07により駆動信号の共振周波数が  $f_{pp}$  から  $f_{pu}$  へと上昇される。

30

【0010】

一方、レンズシステムの共振周波数が低下した場合、有効電力  $R_p$  のピーク位置は、図22の破線とは逆方向にずれ、駆動信号が元の周波数のままであると、共振周波数が変化したレンズシステムにおける駆動電流  $R_i$  は図22とは逆に減少する。従って、処理S05で駆動電流  $R_i$  が減少と判定され、処理S06により駆動信号の共振周波数が低下される。

このように、レンズシステムの共振周波数が上昇した場合には駆動信号の周波数も上昇され、レンズシステムの共振周波数が低下した場合には駆動信号の周波数も低下され、結果としてレンズシステムの共振周波数に対して駆動信号の追従が行われる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/0177376号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

前述した焦点距離可変レンズ装置の共振ロック制御では、レンズシステムの有効電力  $R_p$  のピーク位置の周辺で、駆動電流  $R_i$  が右下がりの特性となることを利用していた。

ところが、レンズシステムによっては、駆動用の圧電素子の特性上、有効電力  $R_p$  のピ

50

ーク位置の周波数と、駆動電流  $R_i$  の正のピーク位置の周波数とが近い値となる。

図 23 に示すように、有効電力  $R_p$  のピーク位置の周波数  $f_{pp}$  が、駆動電流  $R_i$  の正のピーク位置の周波数に近い値であるとする。有効電力  $R_p$  のピーク位置が上昇して周波数  $f_{pu}$  になった場合には、駆動電流  $R_i$  が  $i_{pp}$  から  $i_{pu}$  に低下する。一方、有効電力  $R_p$  のピーク位置が上昇して周波数  $f_{pd}$  になった場合にも、駆動電流  $R_i$  が  $i_{pp}$  から  $i_{pd}$  へと低下する。

つまり、有効電力  $R_p$  のピーク位置が上昇しても低下しても、駆動電流  $R_i$  の値はともてに低下してしまい、ピーク位置の追従による共振ロック制御が不能となる虞がある。

【0013】

本発明の目的は、共振ロック制御が安定して行える焦点距離可変レンズ装置および焦点距離可変レンズ制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の焦点距離可変レンズ装置は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、前記共振ロック制御部は、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク位置に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変動した際に、前記駆動電流を参照して前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

【0015】

本発明の焦点距離可変レンズ制御方法は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク位置に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変動した際に、前記駆動電流を参照して前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

【0016】

本発明では、レンズシステムに流れる駆動電流と、その元になる駆動信号の電圧との間の電圧電流位相差に基づいて、駆動信号の共振ロック制御を行う。電圧電流位相差は、そのピーク位置が、レンズシステムの動作時の有効電力のピーク位置よりも高い周波数に表れる。つまり、駆動電流において、正のピーク位置から負のピーク位置に至る右下がりの区間における、より高い周波数の位置とすることができる。従って、レンズシステムの共振周波数が変化して電圧電流位相差のピーク位置が周波数の低い側に変化した場合でも、駆動電流の正のピーク位置に近づく可能性を低減できる。その結果、有効電力を参照する従来方式のように、変化の向きが判定できずにピーク位置の追従による共振ロック制御が不能となる可能性を低減でき、焦点距離可変レンズ装置における共振ロック制御を安定して行うことができる。

【0017】

本発明の焦点距離可変レンズ装置は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、前記共振ロック制御部は、前記レンズシステムの有効電力のピーク値よりも低い目標有効電力を設定し、前記目標有効電力を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記有効電力が変化した際に、前記有効電力の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

【0018】

本発明の焦点距離可変レンズ制御方法は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、前記レンズシステムの有効電力のピーク値よりも低い目標有効電力を設定し、前記目標有効電力を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記有効電力が変化した際に、前記有効電力の増減に基づい

10

20

30

40

50

て前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

【0019】

本発明ではレンズシステムの有効電力だけを参照して、駆動信号の共振ロック制御を行う。そのために、レンズシステムの有効電力において、そのピーク値よりも低い位置に目標有効電力を設定する。目標有効電力の値の前後では、有効電力の値がピーク値から右下がりまたは左下がりに連続的に低下する。このため、目標有効電力に設定した駆動信号の周波数に対してレンズシステムの共振周波数が変化した場合に、目標有効電力の前後の有効電力の値を調べることで、駆動信号の周波数を増減させる向きを決定することができる。そして、この向きに基づいて駆動信号の周波数を増減させることで、レンズシステムの共振周波数に対する追従を安定して行うことができる。

10

【0020】

本発明の焦点距離可変レンズ装置は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有し、前記共振ロック制御部は、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク値よりも低い目標電圧電流位相差を設定し、前記目標電圧電流位相差を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変化した場合に、前記電圧電流位相差の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

【0021】

本発明の焦点距離可変レンズ制御方法は、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化するレンズシステムと、前記駆動信号を前記レンズシステムの共振周波数に追従させる共振ロック制御部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、前記駆動信号の電圧と前記レンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差のピーク値よりも低い目標電圧電流位相差を設定し、前記目標電圧電流位相差を与える周波数に前記駆動信号の周波数を設定し、前記電圧電流位相差が変化した場合に、前記電圧電流位相差の増減に基づいて前記駆動信号の周波数を増減させることを特徴とする。

20

【0022】

本発明では、駆動信号の電圧とレンズシステムの駆動電流との間の電圧電流位相差だけを参照して、駆動信号の共振ロック制御を行う。そのために、電圧電流位相差において、そのピーク値よりも低い位置に目標電圧電流位相差を設定する。目標電圧電流位相差の値の前後では、電圧電流位相差の値がピーク値から右下がりまたは左下がりに連続的に低下する。このため、目標電圧電流位相差に設定した駆動信号の周波数に対してレンズシステムの共振周波数が変化した場合に、目標電圧電流位相差の前後の電圧電流位相差の値を調べることで、駆動信号の周波数を増減させる向きを決定することができる。そして、この向きに基づいて駆動信号の周波数を増減させることで、レンズシステムの共振周波数に対する追従を安定して行うことができる。

30

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、共振ロック制御が安定して行える焦点距離可変レンズ装置および焦点距離可変レンズ制御方法を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の第1実施形態を示す模式図。

【図2】第1実施形態のレンズシステムの構成を示す模式図。

【図3】第1実施形態のレンズシステムの振動状態を示す模式図。

【図4】第1実施形態のレンズシステムの焦点距離を示す模式図。

【図5】第1実施形態の要部を示すブロック図。

【図6】第1実施形態の共振周波数の変動を示すグラフ。

【図7】第1実施形態の共振ロックの概要を示すグラフ。

【図8】第1実施形態の共振ロックの処理手順を示すフローチャート。

50

- 【図 9】第 1 実施形態の共振ロックの動作を示すグラフ。  
 【図 10】第 1 実施形態の共振ロックの効果を示すグラフ。  
 【図 11】本発明の第 2 実施形態の共振ロックの処理手順を示すフローチャート。  
 【図 12】第 2 実施形態の共振ロックの設定を示すグラフ。  
 【図 13】第 2 実施形態の共振ロックの動作を示すグラフ。  
 【図 14】本発明の第 3 実施形態の共振ロックの処理手順を示すフローチャート。  
 【図 15】第 3 実施形態の共振ロックの設定を示すグラフ。  
 【図 16】第 3 実施形態の共振ロックの動作を示すグラフ。  
 【図 17】本発明の第 4 実施形態の共振ロックの処理手順を示すフローチャート。  
 【図 18】第 4 実施形態の共振ロックの設定を示すグラフ。  
 【図 19】第 4 実施形態の共振ロックの動作を示すグラフ。  
 【図 20】従来 of 共振ロックの処理手順を示すフローチャート。  
 【図 21】従来 of 共振ロックの動作概要を示すグラフ。  
 【図 22】従来 of 共振ロックの作用を示すグラフ。  
 【図 23】従来 of 共振ロックの問題点を示すグラフ。  
 【発明を実施するための形態】

【0025】

〔第 1 実施形態〕

図 1 において、焦点距離可変レンズ装置 1 は、焦点距離を可変しつつ測定対象物 9 の表面の画像を検出するために、当該表面に交差する同じ光軸 A 上に配置された対物レンズ 2、

レンズシステム 3 および画像検出部 4 を備えている。  
 さらに、焦点距離可変レンズ装置 1 は、測定対象物 9 の表面をパルス照明するパルス照明部 5 と、レンズシステム 3 およびパルス照明部 5 の動作を制御するレンズ制御部 6 と、

【0026】

レンズ制御部 6 を操作するための制御用 PC 7 とを備えている。  
 制御用 PC 7 は、既存のパーソナルコンピュータにより構成され、所定の制御用ソフトウェアを実行することで所期の機能が実現される。制御用 PC 7 には、画像検出部 4 から画像を取り込んで処理する機能も含まれている。

【0027】

対物レンズ 2 は、既存の凸レンズで構成される。

画像検出部 4 は、既存の CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサあるいは他の形式のカメラ等で構成され、入射される画像 Lg を所定の信号形式の検出画像 Im として制御用 PC 7 へ出力することができる。

パルス照明部 5 は、LED (Light Emitting Diode) などの発光素子で構成され、レンズ制御部 6 から発光信号 Ci が入力された際に、所定時間だけ照明光 Li を発光させ、測定対象物 9 の表面に対するパルス照明を行うことができる。照明光 Li は測定対象物 9 の表面で反射され、測定対象物 9 の表面からの反射光 Lr が対物レンズ 2 およびレンズシステム 3 を通して画像 Lg を形成する。

【0028】

レンズシステム 3 は、レンズ制御部 6 から入力される駆動信号 Cf に応じて屈折率が変化する。駆動信号 Cf は、レンズシステム 3 に定在波を発生させる周波数の交流であって、正弦波状の交流信号である。

焦点距離可変レンズ装置 1 において、焦点位置 Pf までの焦点距離 Df は、対物レンズ 2 の焦点距離を基本としつつ、レンズシステム 3 の屈折率を変化させることで、任意に変化させることができる。

【0029】

図 2 において、レンズシステム 3 は、円筒形のケース 31 を有し、ケース 31 の内部には円筒状の振動部材 32 が設置されている。振動部材 32 は、その外周面 33 とケース 31 の内周面との間に介装されたエラストマ製のスペーサ 39 で支持されている。

振動部材 32 は、圧電材料を円筒状に形成したものであり、外周面 33 と内周面 34 と

10

20

30

40

50

の間に駆動信号  $C f$  の交流電圧が印加されることで、厚み方向に振動する。

ケース 3 1 の内部には、透過性の高い液体 3 5 が充填されており、振動部材 3 2 は全体を液体 3 5 に浸漬され、円筒状の振動部材 3 2 の内側は液体 3 5 で満たされている。駆動信号  $C f$  の交流電圧は、振動部材 3 2 の内側にある液体 3 5 に定在波を発生させる周波数に調整されている。

【 0 0 3 0 】

図 3 に示すように、レンズシステム 3 においては、振動部材 3 2 を振動させると、内部の液体 3 5 に定在波が生じ、屈折率が交替する同心円状の領域が生じる（図 3 ( A ) 部および図 3 ( B ) 部参照）。

このとき、レンズシステム 3 の中心軸線からの距離（半径）と液体 3 5 の屈折率との関係は、図 3 ( C ) 部に示す屈折率分布  $W$  のようになる。

10

【 0 0 3 1 】

図 4 において、駆動信号  $C f$  は正弦波状の交流信号であるため、レンズシステム 3 における液体 3 5 の屈折率分布  $W$  の変動幅もこれに従って変化する。そして、液体 3 5 に生じる同心円状の領域の屈折率が正弦波状に変化し、これにより焦点位置  $P f$  までの焦点距離  $D f$  が正弦波状に変動する。

図 4 ( A ) の状態では、屈折率分布  $W$  の振れ幅が最大となり、レンズシステム 3 は通過する光を収束させ、焦点位置  $P f$  は近く、焦点距離  $D f$  は最短となっている。

図 4 ( B ) の状態では、屈折率分布  $W$  が平坦となり、レンズシステム 3 は通過する光をそのまま通過させ、焦点位置  $P f$  および焦点距離  $D f$  は標準的な値となっている。

20

図 4 ( C ) の状態では、屈折率分布  $W$  が図 4 ( A ) と逆極性で振れ幅が最大となり、レンズシステム 3 は通過する光を拡散させ、焦点位置  $P f$  は遠く、焦点距離  $D f$  は最大となっている。

図 4 ( D ) の状態では、再び屈折率分布  $W$  が平坦となり、レンズシステム 3 は通過する光をそのまま通過させ、焦点位置  $P f$  および焦点距離  $D f$  は標準的な値となっている。

図 4 ( E ) の状態では、再び図 4 ( A ) の状態に戻っており、以下同様の変動を繰り返すことになる。

【 0 0 3 2 】

このように、焦点距離可変レンズ装置 1 においては、駆動信号  $C f$  は正弦波状の交流信号であり、焦点位置  $P f$  および焦点距離  $D f$  も図 4 の焦点変動波形  $M f$  のように正弦波状に変動する。

30

この際、焦点変動波形  $M f$  の任意の時点で焦点位置  $P f$  にある測定対象物 9 をパルス照明し、その時点で照明された画像を検出すれば、任意の焦点距離  $D f$  にある焦点位置  $P f$  の画像が得られることになる。

【 0 0 3 3 】

図 1 に戻って、焦点距離可変レンズ装置 1 においては、レンズシステム 3 の振動、パルス照明部 5 の発光および画像検出部 4 の画像検出は、レンズ制御部 6 からの駆動信号  $C f$ 、発光信号  $C i$  および画像検出信号  $C c$  により制御される。これらを制御するレンズ制御部 6 の設定などを操作するために、制御用  $P C 7$  が接続されている。

【 0 0 3 4 】

40

図 5 において、レンズ制御部 6 は、レンズシステム 3 に駆動信号  $C f$  を出力する駆動制御部 6 1 と、パルス照明部 5 に発光信号  $C i$  を出力する発光制御部 6 2 と、画像検出部 4 に画像検出信号  $C c$  を出力する画像検出制御部 6 3 とを有する。

駆動制御部 6 1 は、共振ロック制御部 6 1 1 を有する。

共振ロック制御部 6 1 1 は、入力される駆動信号  $C f$  に基づいてレンズシステム 3 が振動した際に、レンズシステム 3 に加えられる有効電力  $R p$  あるいは駆動電流  $R i$  から、レンズシステム 3 の振動状態  $V f$  を検出する。そして、レンズシステム 3 の振動状態  $V f$  を参照して駆動信号  $C f$  の周波数を調整することで、レンズシステム 3 の現在の共振周波数にロックすることができる。なお、振動状態  $V f$  は、レンズシステム 3 に設置した振動センサで検出してもよい。

50

## 【 0 0 3 5 】

図 6 において、レンズシステム 3 の振動特性が S 1 であったとすると、駆動信号 C f は振動特性 S 1 のピークに設定されている。レンズシステム 3 に温度変化などがなければ、共振ロック制御部 6 1 1 で検出されるレンズシステム 3 の振動特性は、駆動信号 C f と同じ振動特性 S 1 のピーク位置周波数を示す。

ここで、温度変化などにより、レンズシステム 3 の振動特性が S 2 に変化したとする。共振ロック制御部 6 1 1 で検出されるレンズシステム 3 の振動特性は振動特性 S 2 のピークへ変動し、駆動信号 C f に対してずれることになる。振動特性 S 2 であるレンズシステム 3 に駆動信号 C f を入力した場合、駆動信号 C f の周波数は振動特性 S 2 においてピーク位置でなく、十分な有効電力をレンズシステム 3 に与えることができず、効率が低下することになる。

10

## 【 0 0 3 6 】

図 7 において、共振ロック制御部 6 1 1 は、レンズシステム 3 から検出される振動状態 V f と、駆動制御部 6 1 からレンズシステム 3 に入力されている駆動信号 C f とのずれを検出し、レンズシステム 3 の現在のピーク位置を検索して捕捉したうえ、駆動制御部 6 1 から出力される駆動信号 C f の周波数を現在のピーク位置に変更する。

その結果、駆動制御部 6 1 からレンズシステム 3 に入力される駆動信号 C f の周波数は、現在のレンズシステム 3 の振動特性 S 2 における共振周波数のピークに合わせられ、これにより周波数の自動追従が行われる。

## 【 0 0 3 7 】

20

図 5 に戻って、制御用 P C 7 は、レンズ制御部 6 に設定などの操作を行うためのレンズ操作部 7 1 と、画像検出部 4 から検出画像 I m を取り込んで処理する画像処理部 7 2 と、焦点距離可変レンズ装置 1 に対するユーザの操作を受け付ける操作インターフェイス 7 3 と、を備えている。

レンズ操作部 7 1 は、共振ロック操作部 7 1 1 を有する。

共振ロック操作部 7 1 1 は、駆動制御部 6 1 における共振ロック制御部 6 1 1 の有効・無効を切り換えることができる。

## 【 0 0 3 8 】

図 8 から図 1 0 には、本実施形態における共振ロック制御が示されている。

本実施形態において、共振ロック制御部 6 1 1 は、動作に際して、駆動信号 C f の電圧波形とレンズシステム 3 から検出される駆動電流 R i の波形とから電圧電流位相差 R h を検出し、この電圧電流位相差 R h のピーク位置に駆動信号 C f の周波数を設定する。そして、動作の間、電圧電流位相差 R h を監視し、電圧電流位相差 R h が変動した際には、駆動電流 R i を参照し、駆動信号 C f の周波数を増減させる。

30

## 【 0 0 3 9 】

図 8 において、共振ロック制御部 6 1 1 は、共振ロックを開始する際に、初期設定として、先ず、電圧電流位相差 R h のピークスキャンを行う（処理 S 1 1 ）。

図 9 において、ピークスキャンでは、レンズシステム 3 に駆動信号 C f を印加するとともに、駆動信号 C f の周波数を所定の下限值 f m i n から上限値 f m a x まで徐々に増加させ、各周波数でのレンズシステム 3 における電圧電流位相差 R h を記録する。

40

次に、得られたスキャン結果から、電圧電流位相差 R h がピーク値となる位置の周波数 f h p を検出し、この周波数 f h p を駆動信号 C f の周波数として設定する（図 8 の処理 S 1 2 ）。

## 【 0 0 4 0 】

初期設定ができたら、焦点距離可変レンズ装置 1 を稼働させる。すなわち、共振ロック制御部 6 1 1 は、先に設定した周波数 f h p の駆動信号 C f をレンズシステム 3 に送る。これにより、レンズシステム 3 に定在波が形成され、稼働状態となる。

稼働中、共振ロック制御部 6 1 1 は、所定周期で電圧電流位相差 R h を取得し（処理 S 1 3 ）、電圧電流位相差 R h の低下を監視する（処理 S 1 4 ）。

## 【 0 0 4 1 】

50

電圧電流位相差  $R_h$  が低下していなければ、共振周波数  $f_{hp}$  の変動がないとして、処理 S 13 ~ S 14 の監視を継続する。

一方、電圧電流位相差  $R_h$  が低下していれば、共振周波数  $f_{hp}$  の変動があったとして、駆動電流  $R_i$  の低下があるか否かを判定する（処理 S 15）。そして、駆動電流  $R_i$  が低下した際には、共振周波数  $f_{hp}$  を下げ（処理 S 16）、駆動電流  $R_i$  が上昇した際には、共振周波数  $f_{hp}$  を上げる（処理 S 17）。

【 0 0 4 2 】

図 9 において、温度上昇などにより、レンズシステム 3 の共振周波数が周波数  $f_{hp}$ （実線）から周波数  $f_{hu}$ （破線）へと上昇したとする。

駆動信号  $C_f$  が元の周波数  $f_{hp}$  のままであれば、共振周波数  $f_{hu}$  に変化したレンズシステム 3 における電圧電流位相差  $R_h$ （破線）は、ピーク値である  $h_p$  から  $h_u$  へと低下する。このように、ピーク周波数の変化は、電圧電流位相差  $R_h$  の低下として表れるから、処理 S 15 により検出することができる。

【 0 0 4 3 】

レンズシステム 3 の共振周波数が  $f_{hp}$  から  $f_{hu}$  に上昇した際に、駆動信号  $C_f$  が元の周波数  $f_{hp}$  のままであると、共振周波数  $f_{hu}$  に変化したレンズシステム 3 における駆動電流  $R_i$ （破線）は、 $i_{hp}$  から  $i_{hu}$  へと上昇する。従って、処理 S 15 で駆動電流  $R_i$  が上昇と判定され、処理 S 17 により駆動信号  $C_f$  の周波数が  $f_{hp}$  から  $f_{hu}$  へと上昇される。

【 0 0 4 4 】

一方、図 9 とは逆に、レンズシステム 3 の共振周波数が周波数  $f_{hp}$  より低下した場合、駆動電流  $R_i$  は周波数  $f_{hp}$  の周辺で右下がりの区間であるため、駆動電流  $R_i$  の値が上昇する。つまり、処理 S 15 で周波数  $f_{hp}$  より低い周波数での駆動電流  $R_i$  は、元の  $i_{hp}$  から上昇したと判定され、処理 S 16 により駆動信号  $C_f$  の周波数が  $f_{hp}$  よりも低下される。

このように、レンズシステム 3 の共振周波数が上昇した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が上昇され、レンズシステム 3 の共振周波数が低下した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が低下され、結果としてレンズシステム 3 の共振周波数に対して、駆動信号  $C_f$  の追従が行われる。

【 0 0 4 5 】

本実施形態では、電圧電流位相差  $R_h$  を参照して駆動信号  $C_f$  の周波数のずれを検出し、駆動電流  $R_i$  における変化を参照して駆動信号  $C_f$  の周波数の補正方向を決定している。

図 10 に示すように、通常、電圧電流位相差  $R_h$  のピーク位置の周波数  $f_{hp}$  は、レンズシステム 3 の動作時の有効電力  $R_p$  のピーク位置の周波数  $f_{pp}$  よりも高い周波数に表れる。

つまり、電圧電流位相差  $R_h$  では、そのピーク位置の周波数  $f_{hp}$  を、駆動電流  $R_i$  における正のピーク位置から負のピーク位置に至る右下がりの区間の、より高い周波数領域とすることができる。

【 0 0 4 6 】

図 10 において、電圧電流位相差  $R_h$  のピーク位置の周波数  $f_{hp}$  として、この周波数  $f_{hp}$  が周波数  $f_{hd}$  まで変動（低下）または周波数  $f_{hu}$  まで変動（増加）したとしても、この区間での駆動電流  $R_i$  の値（ $i_{pp}$ ,  $i_{pd}$ ,  $i_{pu}$ ）は右下がりで一貫しており、共振周波数の変化方向の検出（図 8 の処理 S 15）は確実に行うことができる。

一方、有効電力  $R_p$  のピーク位置の周波数  $f_{pp}$  については、この周波数  $f_{pp}$  が周波数  $f_{pd}$  まで変動（低下）または周波数  $f_{pu}$  まで変動（増加）したとき、その区間には駆動電流  $R_i$  のピーク位置（周波数  $f_{ip}$ ）があり、その両側で駆動電流  $R_i$  の値（ $i_{pd}$ ,  $i_{pu}$ ）はともにピーク位置での値  $i_{pp}$  よりも低下してしまうため、共振周波数の変化方向の検出（図 8 の処理 S 15）は確実に行うことができない可能性がある。

【 0 0 4 7 】

10

20

30

40

50

従って、レンズシステム 3 の共振周波数が変化して電圧電流位相差  $R_h$  のピーク位置の周波数  $f_{hp}$  が周波数の低い側に変化した場合でも、駆動電流  $R_i$  の正のピーク位置に近づく可能性を低減できる。その結果、有効電力  $R_p$  を参照する従来方式のように、共振周波数のピーク位置の周波数  $f_{pp}$  が駆動電流  $R_i$  に近く、その前後で駆動電流  $R_i$  がともに低下してしまい、変化の向きが判定できずにピーク位置の追従による共振ロック制御が不能となる、といった可能性を低減でき、焦点距離可変レンズ装置 1 における共振ロック制御を安定して行うことができる。

【0048】

〔第 2 実施形態〕

図 11 から図 13 には、本発明の第 2 実施形態が示されている。

10

本実施形態は、前述した第 1 実施形態の焦点距離可変レンズ装置 1 と同じ構成において、共振ロック制御部 611 で異なる内容の共振ロック制御を実行するものである。従って、共通の構成については説明を省略し、以下には本実施形態における共振ロック制御の内容について説明する。

【0049】

図 12 に示すように、本実施形態の共振ロック制御部 611 は、動作に際して、レンズシステム 3 から検出される有効電力  $R_p$  に対して、そのピーク値  $p_p$  よりも低い所定の値に目標有効電力  $p_t$  を設定し、この目標有効電力  $p_t$  を与える周波数  $f_{pt}$  に駆動信号  $C_f$  の周波数を設定しておく。そして、周波数  $f_{pt}$  の駆動信号  $C_f$  によりレンズシステム 3 を動作させるとともに、動作の間、有効電力  $R_p$  を監視し、有効電力  $R_p$  が変動した際

20

に、有効電力  $R_p$  の変化の方向を判定し、駆動信号  $C_f$  の周波数を増減させる。

すなわち、共振ロック制御部 611 は、次のような処理を行う。

【0050】

図 11 において、共振ロック制御部 611 は、共振ロックを開始する際に、初期設定として、まず、有効電力  $R_p$  のピークスキャンを行う（処理 S21）。

図 12 において、ピークスキャンでは、レンズシステム 3 に駆動信号  $C_f$  を印加するとともに、駆動信号  $C_f$  の周波数を所定の下限値  $f_{min}$  から上限値  $f_{max}$  まで徐々に増加させ、各周波数でのレンズシステム 3 における有効電力  $R_p$  を記録する。

【0051】

次に、スキャンした有効電力  $R_p$  に対して、そのピーク値  $p_p$  を調べ、これよりも低い所定の値に目標有効電力  $p_t$  を設定する。そして、スキャンした有効電力  $R_p$  に対して、目標有効電力  $p_t$  を与える周波数  $f_{pt}$  を選択し、この周波数  $f_{pt}$  を駆動信号  $C_f$  の周波数として設定する（図 11 の処理 S22）。

30

目標有効電力  $p_t$  としては、所定の比率、例えば有効電力  $R_p$  のピーク値  $p_p$  の 70% などとすることができる。あるいは、所定の値だけ小さい値としてもよい。

有効電力  $R_p$  には目標有効電力  $p_t$  を与える周波数が 2 箇所にあるが、本実施形態では 2 つのうち高い方の周波数  $f_{pt}$  を選択する。

【0052】

初期設定ができれば、焦点距離可変レンズ装置 1 を稼働させる。すなわち、共振ロック制御部 611 は、先に設定した周波数  $f_{pt}$  の駆動信号  $C_f$  をレンズシステム 3 に送る。これにより、レンズシステム 3 に定在波が形成され、稼働状態となる。

40

稼働中、共振ロック制御部 611 は、所定周期で有効電力  $R_p$  を取得し（処理 S23）、有効電力  $R_p$  の変化（低下または上昇）を監視する（処理 S24）。

【0053】

有効電力  $R_p$  の変化がなければ、共振周波数  $f_{pt}$  の変動がないとして、処理 S23 ~ S24 の監視を継続する。

一方、有効電力  $R_p$  が変化した際には、その変化の方向（低下か上昇か）を判定する（処理 S25）。そして、駆動電流  $R_i$  が低下した際には、共振周波数  $f_{pt}$  を下げ（処理 S26）、駆動電流  $R_i$  が上昇した際には、共振周波数  $f_{pt}$  を上げる（処理 S27）。

【0054】

50

図13において、温度上昇などにより、レンズシステム3の共振周波数が周波数 $f_{pp}$ （実線）から周波数 $f_{pu}$ （破線）へと上昇したとする。元の有効電力 $R_p$ （実線）においては、駆動信号 $C_f$ に設定されている共振周波数 $f_{pt}$ では目標有効電力 $p_t$ であったが、共振周波数が上昇した有効電力 $R_p$ （破線）においては、共振周波数 $f_{pt}$ での有効電力 $p_u$ まで上昇する。

このような変化に対して、図11の処理S25においては有効電力 $R_p$ が上昇していると判定され、処理S27により共振周波数 $f_{pt}$ が共振周波数 $f_{ptu}$ へと上昇される。

【0055】

一方、図13とは逆に、レンズシステム3の共振周波数が周波数 $f_{pp}$ より低下した場合、有効電力 $R_p$ は図13の実線から図中左方へ移動し、駆動信号 $C_f$ の周波数 $f_{pt}$ での有効電力 $R_p$ の値は低下する。その結果、図11の処理S25においては有効電力 $R_p$ が低下していると判定され、処理S26により共振周波数 $f_{pt}$ が低下される。

10

このように、レンズシステム3の共振周波数が上昇した場合には、駆動信号 $C_f$ の周波数が上昇され、レンズシステム3の共振周波数が低下した場合には、駆動信号 $C_f$ の周波数が低下され、結果としてレンズシステム3の共振周波数に対して、駆動信号 $C_f$ の追従が行われる。

【0056】

本実施形態では、レンズシステム3の有効電力 $R_p$ だけを参照して、駆動信号 $C_f$ の共振ロック制御を行うことができる。

すなわち、レンズシステム3の有効電力 $R_p$ において、そのピーク値 $p_p$ よりも低い位置に目標有効電力 $p_t$ を設定する。目標有効電力 $p_t$ の値の前後では、有効電力 $R_p$ の値がピーク値 $p_p$ から右下がりまたは左下がりに連続的に低下する。このため、目標有効電力 $p_t$ に設定した駆動信号 $C_f$ の周波数 $f_{pt}$ に対して、レンズシステム3の共振周波数が変化した際に、目標有効電力 $p_t$ を与える周波数 $f_{pt}$ の前後の有効電力 $R_p$ の値を調べることで、駆動信号 $C_f$ の周波数を変化させる向きを決定することができる。

20

そして、この向きに基づいて駆動信号 $C_f$ の周波数を増減させることで、レンズシステム3の共振周波数に対する追従を安定して行うことができる。

【0057】

さらに、本実施形態では、共振ロック制御にあたって、レンズシステム3の有効電力 $R_p$ だけを参照すればよいため、構成および処理を簡略化することができる。

30

また、レンズシステム3の駆動電流を参照することもないので、従来方式のように、駆動電流の変化の向きが判定できずにピーク位置の追従による共振ロック制御が不能となる、といった可能性を低減でき、焦点距離可変レンズ装置1における共振ロック制御を安定して行うことができる。

【0058】

〔第3実施形態〕

図14から図16には、本発明の第3実施形態が示されている。

本実施形態は、前述した第2実施形態の目標有効電力 $p_t$ を与える周波数 $f_{pt}$ を、ピーク値 $p_p$ を与える周波数 $f_{pp}$ より低い周波数に設定したものである（図15参照）。

本実施形態における手順は、処理S31～S35までが前述した第2実施形態の処理S21～S25までと同様である。処理S36および処理S37については、周波数 $f_{pt}$ を周波数 $f_{pp}$ より低い周波数に設定したため、第2実施形態の処理S26、S27とは追従する方向が逆になっている。

40

【0059】

図16において、温度上昇などにより、レンズシステム3の共振周波数が周波数 $f_{pp}$ （実線）から周波数 $f_{pu}$ （破線）へと上昇したとする。元の有効電力 $R_p$ （実線）においては、駆動信号 $C_f$ に設定されている共振周波数 $f_{pt}$ では目標有効電力 $p_t$ であったが、共振周波数が上昇した有効電力 $R_p$ （破線）においては、共振周波数 $f_{pt}$ での有効電力 $p_u$ まで低下する。

このような変化に対して、図14の処理S35においては有効電力 $R_p$ が低下している

50

と判定され、処理 S 3 6 により共振周波数  $f_{p t}$  が共振周波数  $f_{p t u}$  へと上昇される。

【 0 0 6 0 】

一方、図 1 6 とは逆に、レンズシステム 3 の共振周波数が周波数  $f_{p p}$  より低下した場合、有効電力  $R_p$  は図 1 6 の実線から図中左方へ移動し、共振周波数  $f_{p t}$  での有効電力は上昇する。その結果、図 1 4 の処理 S 3 5 においては有効電力  $R_p$  が上昇していると判定され、処理 S 3 7 により共振周波数  $f_{p t}$  が低下される。

このように、レンズシステム 3 の共振周波数が上昇した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が上昇され、レンズシステム 3 の共振周波数が低下した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が低下され、結果としてレンズシステム 3 の共振周波数に対して、駆動信号  $C_f$  の追従が行われる。

10

従って、本実施形態によっても、前述した第 2 実施形態と同様な効果を得ることができる。

【 0 0 6 1 】

〔 第 4 実施形態 〕

図 1 7 から図 1 9 には、本発明の第 4 実施形態が示されている。

本実施形態は、前述した第 1 実施形態の焦点距離可変レンズ装置 1 と同じ構成において、共振ロック制御部 6 1 1 で異なる内容の共振ロック制御を実行するものである。従って、共通の構成については説明を省略し、以下には本実施形態における共振ロック制御の内容について説明する。

【 0 0 6 2 】

20

図 1 8 に示すように、本実施形態の共振ロック制御部 6 1 1 は、動作に際して、レンズシステム 3 から検出される電圧電流位相差  $R_h$  に対して、そのピーク値  $h_p$  よりも低い所定の値に目標電圧電流位相差  $h_t$  を設定し、この目標電圧電流位相差  $h_t$  を与える周波数  $f_{h t}$  に駆動信号  $C_f$  の周波数を設定しておく。そして、周波数  $f_{h t}$  の駆動信号  $C_f$  によりレンズシステム 3 を動作させるとともに、動作の間、電圧電流位相差  $R_h$  を監視し、電圧電流位相差  $R_h$  が変動した際に、電圧電流位相差  $R_h$  の変化の方向を判定し、駆動信号  $C_f$  の周波数を増減させる。

すなわち、共振ロック制御部 6 1 1 は、次のような処理を行う。

【 0 0 6 3 】

図 1 7 において、共振ロック制御部 6 1 1 は、共振ロックを開始する際に、初期設定として、先ず、電圧電流位相差  $R_h$  のピークスキャンを行う（処理 S 4 1）。

30

図 1 8 において、ピークスキャンでは、レンズシステム 3 に駆動信号  $C_f$  を印加するとともに、駆動信号  $C_f$  の周波数を所定の下限値  $f_{min}$  から上限値  $f_{max}$  まで徐々に増加させ、各周波数でのレンズシステム 3 における電圧電流位相差  $R_h$  を記録する。

電圧電流位相差  $R_h$  は、駆動信号  $C_f$  の電圧波形と、レンズシステム 3 から検出される駆動電流  $R_i$  の波形と、から得ることができる。

【 0 0 6 4 】

次に、スキャンした電圧電流位相差  $R_h$  に対して、そのピーク値  $h_p$  を調べ、これよりも低い所定の値に目標電圧電流位相差  $h_t$  を設定する。そして、スキャンした電圧電流位相差  $R_h$  に対して、目標電圧電流位相差  $h_t$  を与える周波数  $f_{h t}$  を選択し、この周波数  $f_{h t}$  を駆動信号  $C_f$  の周波数として設定する（図 1 7 の処理 S 4 2）。

40

目標電圧電流位相差  $h_t$  としては、所定の比率、例えば電圧電流位相差  $R_h$  のピーク値  $h_p$  の 70% などとすることができる。あるいは、所定の値だけ小さい値としてもよい。

電圧電流位相差  $R_h$  には目標電圧電流位相差  $h_t$  を与える周波数が 2 箇所にあるが、本実施形態では 2 つのうち高い方の周波数  $f_{h t}$  を選択する。

【 0 0 6 5 】

初期設定ができたなら、焦点距離可変レンズ装置 1 を稼働させる。すなわち、共振ロック制御部 6 1 1 は、先に設定した周波数  $f_{h t}$  の駆動信号  $C_f$  をレンズシステム 3 に送る。これにより、レンズシステム 3 に定在波が形成され、稼働状態となる。

稼働中、共振ロック制御部 6 1 1 は、所定周期で電圧電流位相差  $R_h$  を取得し（処理 S

50

43)、電圧電流位相差  $R_h$  の変化（低下または上昇）を監視する（処理 S44）。

【0066】

電圧電流位相差  $R_h$  の変化がなければ、共振周波数  $f_{ht}$  の変動がないとして、処理 S43～S44の監視を継続する。

一方、電圧電流位相差  $R_h$  が変化した際には、その変化の方向（低下か上昇か）を判定する（処理 S45）。そして、電圧電流位相差  $R_h$  が低下した際には、共振周波数  $f_{ht}$  を下げ（処理 S46）、電圧電流位相差  $R_h$  が上昇した際には、共振周波数  $f_{ht}$  を上げる（処理 S47）。

【0067】

図19において、温度上昇などにより、レンズシステム3の共振周波数が周波数  $f_{hp}$ （実線）から周波数  $f_{hu}$ （破線）へと上昇したとする。元の有効電力  $R_p$ （実線）においては、駆動信号  $C_f$  に設定されている共振周波数  $f_{ht}$  では目標電圧電流位相差  $h_t$  であったが、共振周波数が上昇した電圧電流位相差  $R_h$ （破線）においては、共振周波数  $f_{ht}$  での電圧電流位相差  $h_u$  まで上昇する。

このような変化に対して、図17の処理 S45においては電圧電流位相差  $R_h$  が上昇していると判定され、処理 S47により駆動信号  $C_f$  の周波数  $f_{ht}$  が周波数  $f_{htu}$  へと上昇される。

【0068】

一方、図19とは逆に、レンズシステム3の共振周波数が周波数  $f_{hp}$  より低下した場合、電圧電流位相差  $R_h$  は図19の実線から図中左方へ移動し、駆動信号  $C_f$  の周波数  $f_{ht}$  での電圧電流位相差  $R_h$  は低下する。その結果、図17の処理 S45においては電圧電流位相差  $R_h$  の値が低下していると判定され、処理 S46により駆動信号  $C_f$  の周波数  $f_{ht}$  が低下される。

このように、レンズシステム3の共振周波数が上昇した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が上昇され、レンズシステム3の共振周波数が低下した場合には、駆動信号  $C_f$  の周波数が低下され、結果としてレンズシステム3の共振周波数に対して、駆動信号  $C_f$  の追従が行われる。

【0069】

本実施形態では、レンズシステム3の電圧電流位相差  $R_h$  だけを参照して、駆動信号  $C_f$  の共振ロック制御を行うことができる。

すなわち、レンズシステム3の電圧電流位相差  $R_h$  において、そのピーク値  $p_p$  よりも低い位置に目標電圧電流位相差  $h_t$  を設定する。目標電圧電流位相差  $h_t$  の値の前後では、電圧電流位相差  $R_h$  の値がピーク値  $h_p$  から右下がりまたは左下がりに連続的に低下する。このため、目標電圧電流位相差  $h_t$  に設定した駆動信号  $C_f$  の周波数  $f_{ht}$  に対して、レンズシステム3の共振周波数が変化した際に、目標電圧電流位相差  $h_t$  を与える周波数  $f_{ht}$  の前後の電圧電流位相差  $R_h$  の値を調べることで、駆動信号  $C_f$  の周波数を変化させる向きを決定することができる。

そして、この向きに基づいて駆動信号  $C_f$  の周波数を増減させることで、レンズシステム3の共振周波数に対する追従を安定して行うことができる。

【0070】

さらに、本実施形態では、共振ロック制御にあたって、レンズシステム3の電圧電流位相差  $R_h$  だけを参照すればよいため、構成および処理を簡略化することができる。

また、レンズシステム3の駆動電流を参照することもないので、従来方式のように、駆動電流の変化の向きが判定できずにピーク位置の追従による共振ロック制御が不能となる、といった可能性を低減でき、焦点距離可変レンズ装置1における共振ロック制御を安定して行うことができる。

【0071】

なお、前述した第4実施形態では、目標電圧電流位相差  $h_t$  を与える周波数  $f_{ht}$  を、電圧電流位相差  $R_h$  のピーク値  $h_p$  を与える周波数  $f_{hp}$  より高い周波数としたが、前述した第2実施形態に対する第3実施形態のように、周波数  $f_{hp}$  より低い周波数としても

10

20

30

40

50

よい。

【 0 0 7 2 】

〔他の実施形態〕

なお、本発明は前述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形などは本発明に含まれる。

前記各実施形態では、レンズシステム 3 の駆動および制御を行うために、レンズ制御部 6 と制御用 P C 7 との組み合わせを用いたが、これらはレンズシステム 3 の駆動、制御ないし操作までを一括して行う一体の装置としてもよい。しかし、前記各実施形態のように、レンズ制御部 6 と制御用 P C 7 との組み合わせとすることで、レンズシステム 3 の駆動および制御に必要なハードウェアを専用のレンズ制御装置として独立させることができる。また、レンズ制御部 6 操作や設定調整、さらには画像の取り込みまでを汎用性の高いパーソナルコンピュータを用いて実現することができる。

10

【 0 0 7 3 】

前記各実施形態では、駆動信号 C f および焦点変動波形 M f を正弦波としたが、これは三角波、鋸歯状波、矩形波その他の波形であってもよい。

レンズシステム 3 の具体的構成は適宜変更してよく、ケース 3 1 および振動部材 3 2 は円筒状のほか六角筒状などであってもよく、これらの寸法や液体 3 5 の属性も適宜選択することができる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 4 】

本発明は、焦点距離可変レンズ装置および焦点距離可変レンズ制御方法に利用できる。

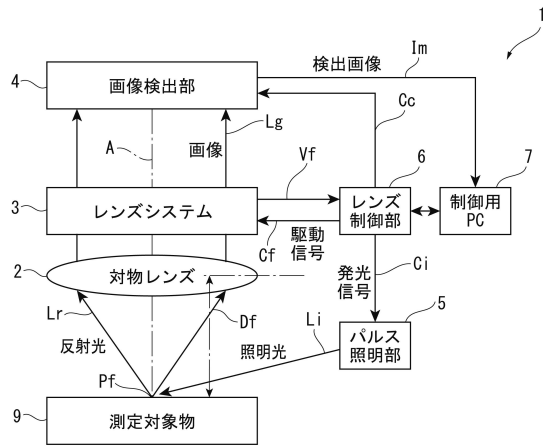
【符号の説明】

【 0 0 7 5 】

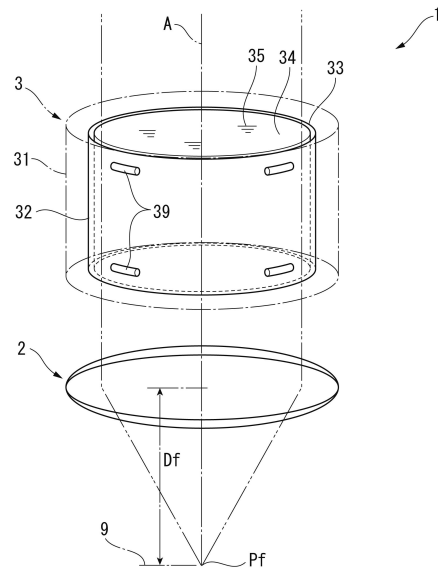
1 ... 焦点距離可変レンズ装置、 2 ... 対物レンズ、 3 ... レンズシステム、 3 1 ... ケース、 3 2 ... 振動部材、 3 3 ... 外周面、 3 4 ... 内周面、 3 5 ... 液体、 3 9 ... スペース、 4 ... 画像検出部、 5 ... パルス照明部、 6 ... レンズ制御部、 6 1 ... 駆動制御部、 6 1 1 ... 共振ロック制御部、 6 2 ... 発光制御部、 6 3 ... 画像検出制御部、 7 ... 制御用 P C、 7 1 ... レンズ操作部、 7 1 1 ... 共振ロック操作部、 7 2 ... 画像処理部、 7 3 ... 操作インターフェイス、 9 ... 測定対象物、 C c ... 画像検出信号、 C f ... 駆動信号、 C i ... 発光信号、 D f ... 焦点距離、 f h d , f h p , f h t , f h t u , f h u , f i p ... 周波数、 f m a x ... 上限値、 f m i n ... 下限値、 f p d , f p p , f p t , f p t u , f p u ... 周波数、 h p ... 電圧電流位相差のピーク値、 h t ... 目標電圧電流位相差、 h u ... 電圧電流位相差、 I m ... 検出画像、 i h d , i h p , i h u , i p d , i p p , i p u ... 駆動電流の値、 L g ... 画像、 L i ... 照明光、 L r ... 反射光、 M f ... 焦点変動波形、 P f ... 焦点位置、 p p ... 有効電力のピーク値、 p t ... 目標有効電力、 p u ... 有効電力、 R h ... 電圧電流位相差、 R i ... 駆動電流、 R p ... 有効電力、 S 1 , S 2 ... 振動特性、 V f ... 振動状態、 W ... 屈折率分布。

30

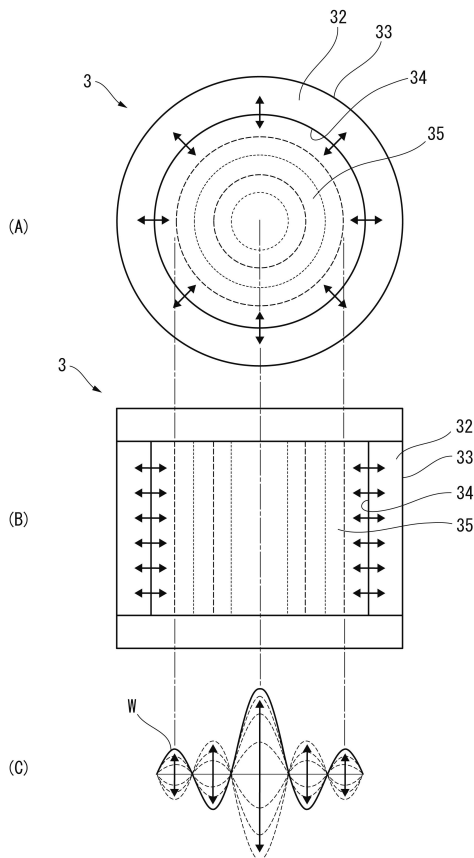
【図1】



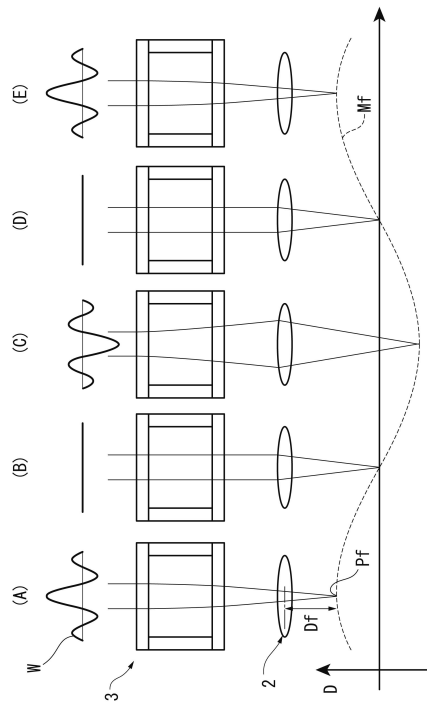
【図2】



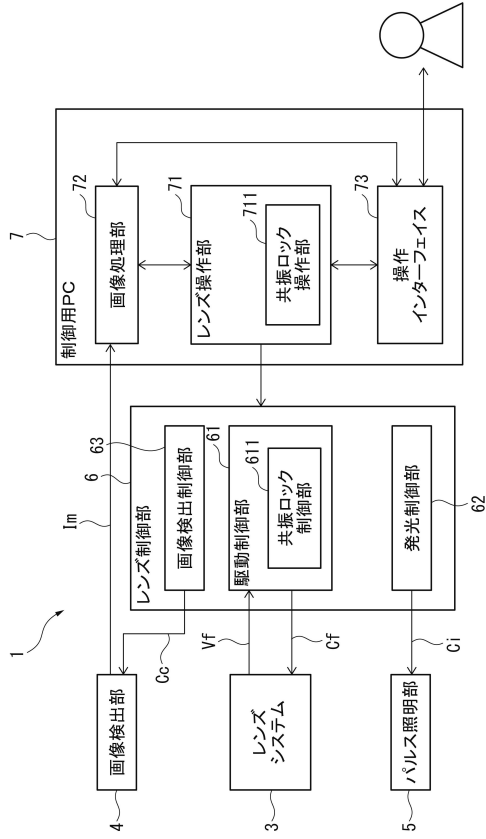
【図3】



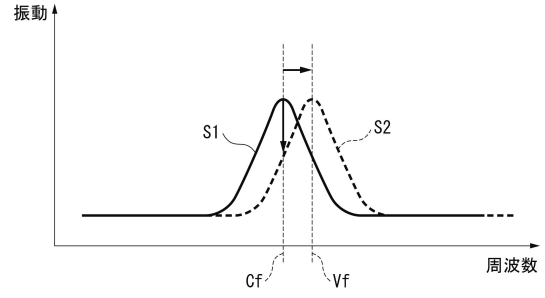
【図4】



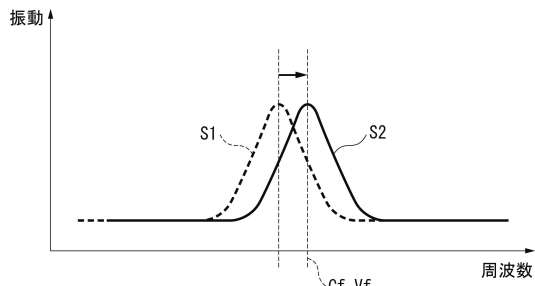
【図5】



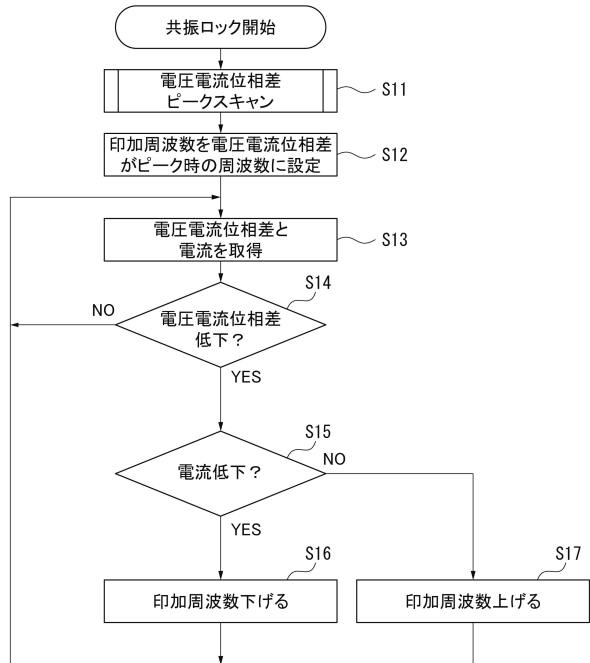
【図6】



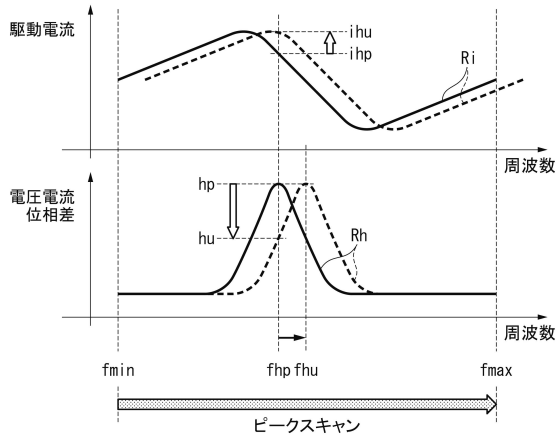
【図7】



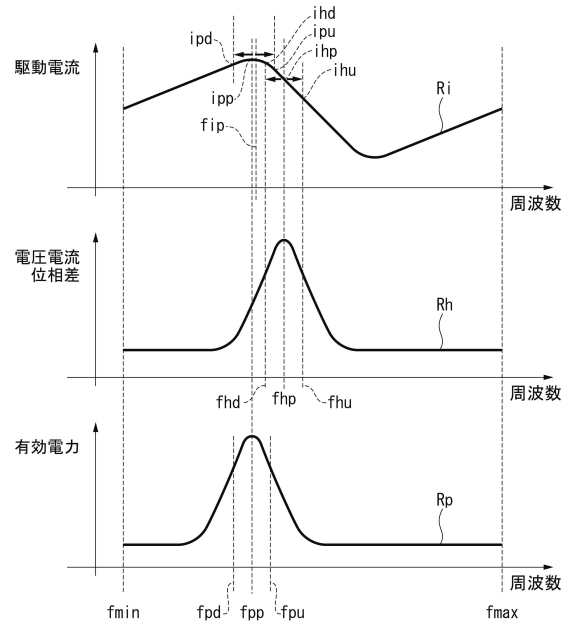
【図8】



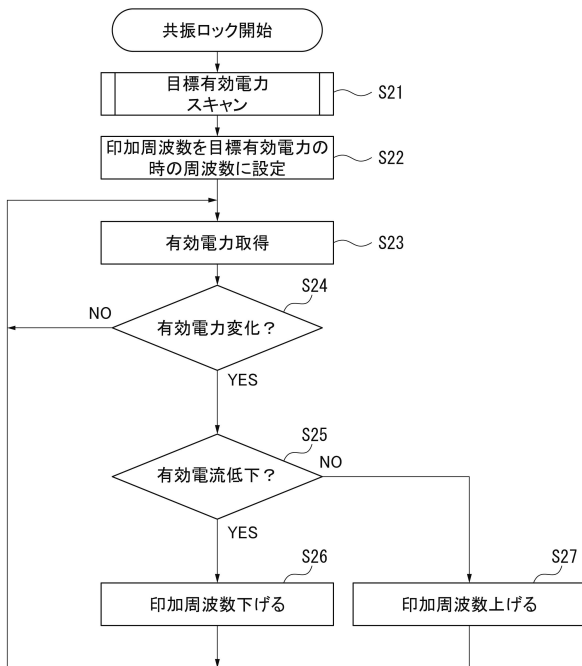
【図9】



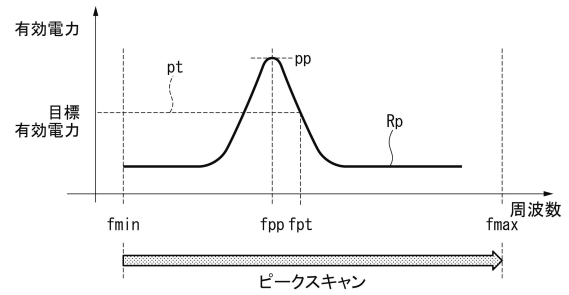
【図10】



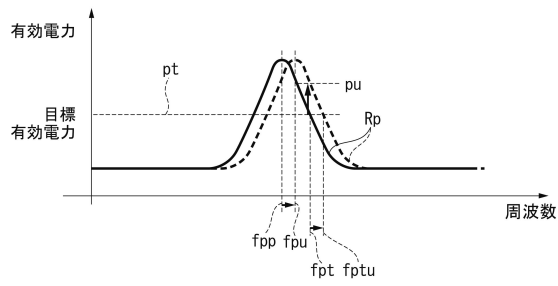
【図11】



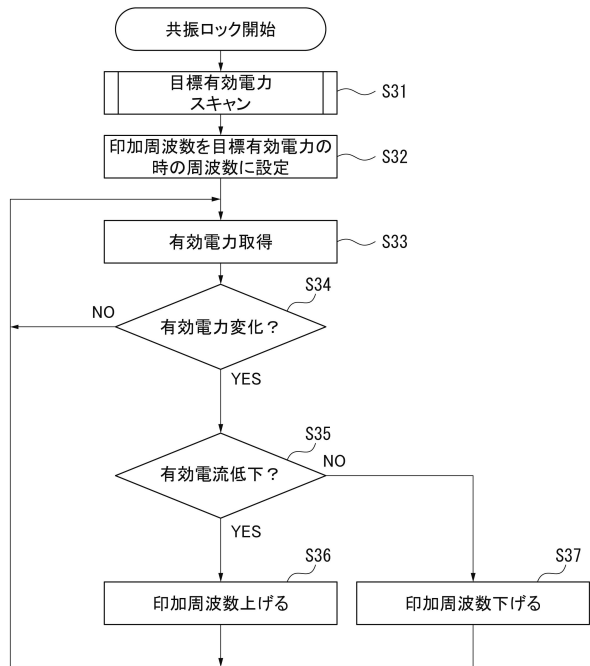
【図12】



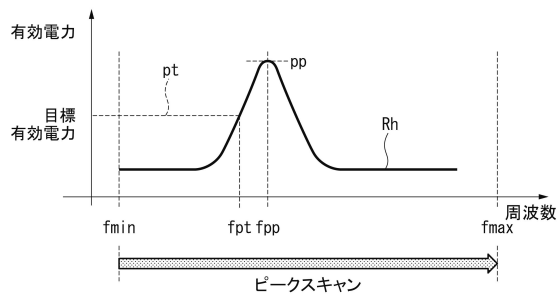
【図13】



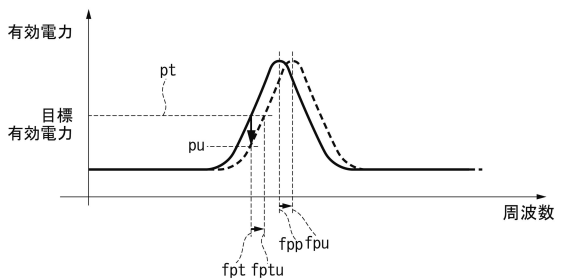
【図14】



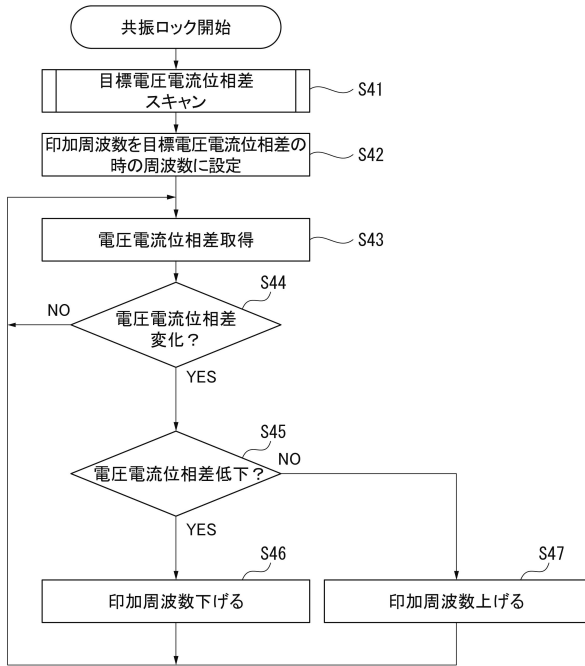
【図15】



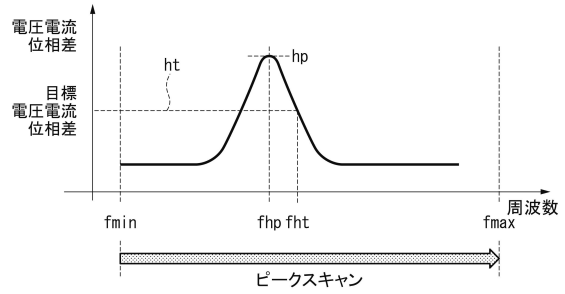
【図16】



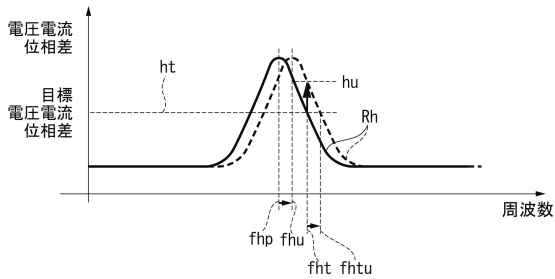
【図17】



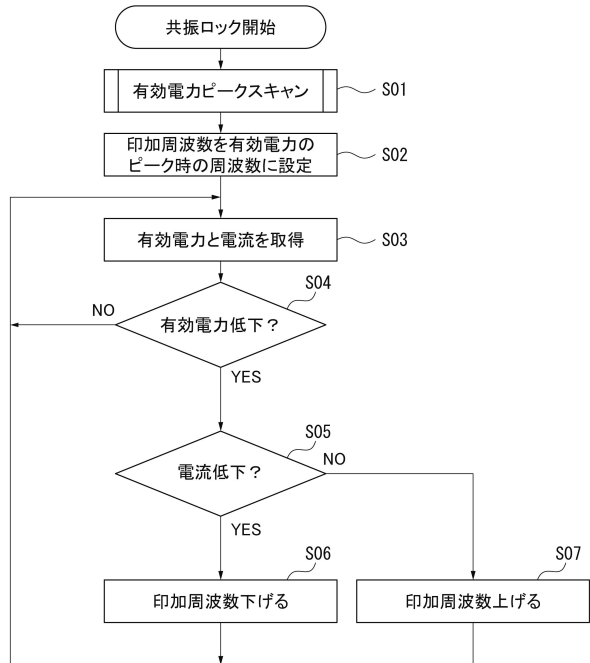
【図18】



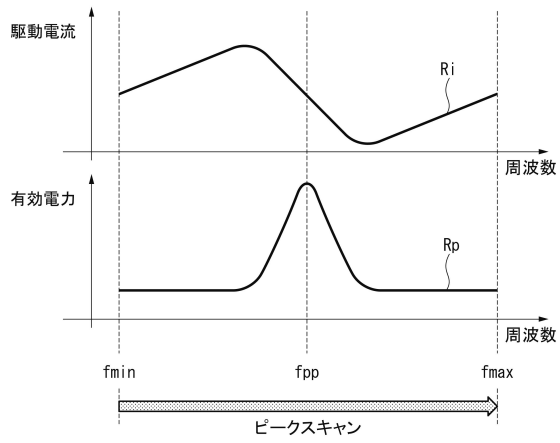
【図19】



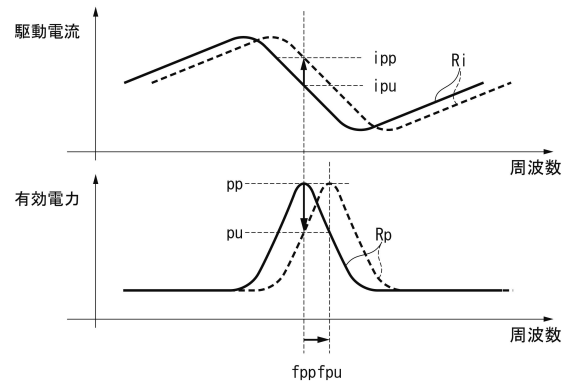
【図20】



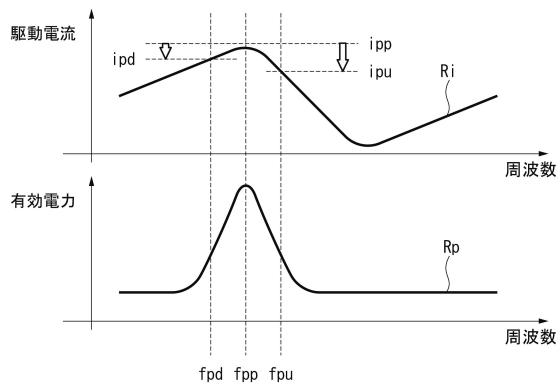
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



---

フロントページの続き

審査官 森内 正明

- (56)参考文献 特開2017-21025(JP,A)  
米国特許出願公開第2017/0013185(US,A1)  
国際公開第2007/105804(WO,A1)  
米国特許出願公開第2010/0194970(US,A1)  
特開平5-53089(JP,A)  
特開平2-294281(JP,A)  
特開平2-170776(JP,A)  
米国特許出願公開第2009/0237575(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	3/00	-	3/14
G02B	7/02	-	7/16