

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7169092号  
(P7169092)

(45)発行日 令和4年11月10日(2022.11.10)

(24)登録日 令和4年11月1日(2022.11.1)

(51)国際特許分類 F I  
 G 0 2 B 3/14 (2006.01) G 0 2 B 3/14  
 G 0 2 B 21/00 (2006.01) G 0 2 B 21/00  
 G 0 2 B 21/36 (2006.01) G 0 2 B 21/36

請求項の数 4 (全25頁)

(21)出願番号	特願2018-97135(P2018-97135)	(73)特許権者	000137694 株式会社ミットヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(22)出願日	平成30年5月21日(2018.5.21)	(74)代理人	110000637 特許業務法人樹之下知的財産事務所
(65)公開番号	特開2019-203924(P2019-203924 A)	(72)発明者	渡邊 裕 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
(43)公開日	令和1年11月28日(2019.11.28)	(72)発明者	酒井 裕志 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
審査請求日	令和3年4月8日(2021.4.8)	審査官	池田 博一

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】

内部の液体に定在波を発生させる周波数の駆動信号により周期的に焦点距離が変化する焦点距離可変レンズと、前記焦点距離可変レンズを通して測定対象物の画像検出を実行可能な画像検出部と、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離に関する画像検出条件に基づいて前記画像検出部に前記画像検出を実行させるレンズ制御部と、前記レンズ制御部に前記画像検出条件を設定する画像検出条件設定部と、を有する焦点距離可変レンズ装置であって、

前記画像検出条件設定部は、前記画像検出条件として、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作と、を含む画像検出

10

ループを繰り返すコンバインドモードを設定可能であり、  
 前記マルチプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を複数設定可能であり、

前記シングルプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を1つ設定可能であることを特徴とする焦点距離可変レンズ装置。

【請求項2】

請求項1に記載した焦点距離可変レンズ装置において、

前記画像検出条件設定部は、複数の画像検出モードのいずれかを選択して前記レンズ制御部に設定可能であり、

20

前記画像検出モードは、前記コンバインドモードを含むとともに、シングルプレーンモードと、マルチプレーンモードと、フレームバイフレームモードとを含み、

前記シングルプレーンモードでは、前記焦点距離が1つ指定された前記シングルプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させ、

前記マルチプレーンモードでは、前記焦点距離が複数指定された前記マルチプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させ、

前記フレームバイフレームモードでは、前記焦点距離が互いに異なる複数の前記シングルプレーン画像検出動作を含む画像検出ループを繰り返し実行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】

請求項1または請求項2に記載した焦点距離可変レンズ装置において、

前記焦点距離可変レンズが、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化する液体レンズユニットと、前記液体レンズユニットと同じ光軸上に配置された対物レンズと、を有することを特徴とする焦点距離可変レンズ装置。

#### 【請求項4】

内部の液体に定在波を発生させる周波数の駆動信号により周期的に焦点距離が変化する焦点距離可変レンズと、前記焦点距離可変レンズを通して測定対象物の画像検出を実行可能な画像検出部と、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離に関する画像検出条件に基づいて前記画像検出部に前記画像検出を実行させるレンズ制御部と、前記レンズ制御部に前記画像検出条件を設定する画像検出条件設定部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、

前記画像検出条件として、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作と、を含む画像検出ループを繰り返すコンバインドモードを設定し、

前記マルチプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を複数設定し、

前記シングルプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を1つ設定す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】

#### 【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ことがある）を利用した装置が開発されている。

液体レンズシステムは、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。液体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と、液体に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。この状態で、振動部材の中心軸線に沿って光を通すと、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。

#### 【0003】

焦点距離可変レンズ装置は、前述した液体レンズシステムと、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。液体レンズシステムは、液体レンズユニットとしてパッケージ化され、焦点距離可変レンズ装置に組み込まれる。

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

10

20

30

40

50

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。

10

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、所定の焦点距離に合焦した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

20

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【文献】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】

#### 【0006】

前述した焦点距離可変レンズ装置において、一周期のうち単一の位相でパルス照明および画像検出を行うと（シングルプレーン画像検出動作）、その位相に相当する焦点距離にある単一の合焦面（プレーン）に合焦した検出画像（シングルプレーン検出画像）が得られる。

30

シングルプレーン画像検出動作では、対象物の表面のうち合焦面にある部位は合焦した鮮明な状態で撮像される。ただし、合焦面から外れた部位（焦点距離が遠いまたは近い部位）は焦点がずれた（ぼけた）状態で撮像される。

#### 【0007】

一方、一周期のうち複数の位相でパルス照明および画像検出を行うと（マルチプレーン画像検出動作）、各々の位相に相当する複数の焦点距離の各々で画像が順次検出され、順次重畳されて1つの検出画像（マルチプレーン検出画像）とされる。その結果、複数の合焦面に合焦した画像が得られる。

40

ただし、マルチプレーン画像検出動作では、対象物の一部がいずれかの合焦面で鮮明に撮像されても、他の合焦面ではぼけた状態で撮像される。このような各合焦面での画像情報が重畳されることで、例えば鮮明なエッジの周辺が滲んだような画像となるなど、鮮明な画像品質が保てないという問題があった。

#### 【0008】

このような画像品質の低下に対し、前述したシングルプレーン画像検出動作を、複数の焦点距離に対して順次行うことがある（フレームバイフレーム画像検出動作）。

すなわち、指定された複数の焦点距離に対して、先ず第1の焦点距離についてシングルプレーン画像検出動作を行い、続いて第2の焦点距離についてシングルプレーン画像検出動作を行い、これらを指定された焦点距離の数だけ繰り返す。

50

このようなフレームバイフレーム画像検出動作では、各々の焦点距離に対する画像検出がシングルプレーン画像検出動作であるため、それぞれ合焦状態で鮮明な画像が得られる。

しかし、フレームバイフレーム画像検出動作では、指定する焦点距離の数だけのシングルプレーン画像検出動作を行うため、指定する焦点距離の数が増えた場合には、画像検出時間が長大化するという問題があった。

【0009】

本発明の目的は、複数の焦点距離に対して十分な画像品質が得られるとともに画像検出時間を短縮でき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】

【0010】

本発明の焦点距離可変レンズ装置は、周期的に焦点距離が変化する焦点距離可変レンズと、前記焦点距離可変レンズを通して測定対象物の画像検出を実行可能な画像検出部と、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離に関する画像検出条件に基づいて前記画像検出部に前記画像検出を実行させるレンズ制御部と、前記レンズ制御部に前記画像検出条件を設定する画像検出条件設定部と、を有する焦点距離可変レンズ装置であって、前記画像検出条件設定部は、前記画像検出条件として、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作と、を含む画像検出ループを繰り返すコンバインドモードを設定可能であり、前記マルチプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を複数設定可能であり、前記シングルプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を1つ設定可能であることを特徴とする。

【0011】

本発明では、画像検出条件設定部で設定した画像検出条件に基づいて、レンズ制御部が焦点距離可変レンズを制御し、画像検出部により画像検出を行うことができる。

この際、画像検出条件としてコンバインドモードを設定すると、画像検出部は、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作とを含む画像検出ループを繰り返し実行する。

【0012】

例えば、3つの焦点距離の画像検出を行う場合、コンバインドモードでは、一周期に3つの焦点距離が設定されたマルチプレーン画像検出動作と、各々1つの焦点距離が設定された2つのシングルプレーン画像検出動作とを含む画像検出ループを繰り返す。

このようなコンバインドモードで検出される画像は、マルチプレーン画像検出動作により、全ての焦点距離に合焦した画像情報を含むが、他の焦点距離の画像情報も含まれて必ずしも鮮明ではない。一方、シングルプレーン画像検出動作により、2つの焦点距離については鮮明な画像となる。

従って、マルチプレーン画像検出動作により、従来のマルチプレーン画像検出と同様な結果が得られるとともに、シングルプレーン画像検出動作により、従来のマルチプレーン画像検出動作では得られなかった高い画像品質を得ることができる。

【0013】

さらに、従来のフレームバイフレーム画像検出動作では、焦点距離の数だけの画像検出を繰り返す必要があり、焦点距離の数が増加すると画像検出時間が長大化していたが、本発明のコンバインドモードでは、シングルプレーン画像検出動作の数を抑制することができ、画像検出時間を短縮できる。すなわち、5つの焦点距離に対して従来のフレームバイフレーム画像検出を行うと、シングルプレーン画像検出の5フレーム分の時間が必要である。しかし、本発明のコンバインドモードでは、例えば5つの焦点距離に対して画像検出を行うが鮮明な画像は2つの焦点距離だけでよい場合、マルチプレーン画像検出動作で5つの焦点距離の画像情報を確保したうえで、2つのシングルプレーン画像検出動作を行えばよく、合計3フレーム分の時間で済ませることができる。

10

20

30

40

50

以上により、本発明の焦点距離可変レンズ装置によれば、複数の焦点距離に対して十分な画像品質が得られるとともに画像検出時間を短縮することができる。

【0014】

本発明の焦点距離可変レンズ装置において、前記画像検出条件設定部は、複数の画像検出モードのいずれかを選択して前記レンズ制御部に設定可能であり、前記画像検出モードは、前記コンバインドモードを含むとともに、シングルプレーンモードと、マルチプレーンモードと、フレームバイフレームモードとを含み、前記シングルプレーンモードでは、前記焦点距離が1つ指定された前記シングルプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させ、前記マルチプレーンモードでは、前記焦点距離が複数指定された前記マルチプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させ、前記

10

【0015】

本発明では、画像検出モードとして、本発明に基づくコンバインドモードが選択できるとともに、従来のシングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードを選択することができる。これにより、必要に応じて従来同様な画像検出動作が確保できるとともに、本発明のコンバインドモードの効果を得ることができる。

【0016】

本発明の焦点距離可変レンズ装置において、前記焦点距離可変レンズが、入力される駆動信号に応じて屈折率が変化する液体レンズユニットと、前記液体レンズユニットと同じ光軸上に配置された対物レンズと、を有することが好ましい。

20

【0017】

本発明では、対物レンズで基本的な結像が得られるとともに、液体レンズユニットにより焦点距離を変更可能である。液体レンズユニットを用いることで、焦点距離を可変とするための機械的な手段が必要なく、装置構成を簡素化できる。また、液体レンズユニットは、数十キロヘルツに及ぶ高速で焦点距離を周期的に変化させることができ、複数の焦点距離での画像を重畳したマルチプレーン画像も容易に得ることができ、本発明における焦点距離可変レンズとして最適である。

【0018】

本発明の焦点距離可変レンズ制御方法は、周期的に焦点距離が変化する焦点距離可変レンズと、前記焦点距離可変レンズを通して測定対象物の画像検出を実行可能な画像検出部と、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離に関する画像検出条件に基づいて前記画像検出部に前記画像検出を実行させるレンズ制御部と、前記レンズ制御部に前記画像検出条件を設定する画像検出条件設定部と、を有する焦点距離可変レンズ装置を用い、前記画像検出条件として、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作と、を含む画像検出ループを繰り返すコンバインドモードを設定し、前記マルチプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を複数設定し、前記シングルプレーン画像検出動作では、前記焦点距離可変レンズの前記焦点距離が変化する1周期の間に、前記画像検出を行う前記焦点距離を1つ設定することを特徴とする。

30

40

本発明では、本発明の焦点距離可変レンズ装置で説明した通りの効果を得ることができる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、複数の焦点距離に対して十分な画像品質が得られるとともに画像検出時間を短縮でき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。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の一実施形態を示す模式図。

50

- 【図 2】前記実施形態の液体レンズユニットの構成を示す模式図。  
 【図 3】前記実施形態の液体レンズユニットの振動状態を示す模式図。  
 【図 4】前記実施形態の液体レンズユニットの焦点距離を示す模式図。  
 【図 5】前記実施形態の制御部分を示すブロック図。  
 【図 6】前記実施形態の画像検出動作を示すフローチャート。  
 【図 7】前記実施形態のシングルプレーンモードを示すグラフ。  
 【図 8】前記シングルプレーンモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 9】前記シングルプレーンモードでの検出画像を示す模式図。  
 【図 10】前記実施形態のマルチプレーンモードを示すグラフ。  
 【図 11】前記マルチプレーンモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 12】前記マルチプレーンモードでの検出画像を示す模式図。  
 【図 13】前記実施形態の別のマルチプレーンモードを示すグラフ。  
 【図 14】前記別のマルチプレーンモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 15】前記マルチプレーンモードでの検出画像を示す模式図。  
 【図 16】前記実施形態のフレームバイフレームモードを示すグラフ。  
 【図 17】前記フレームバイフレームモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 18】前記フレームバイフレームモードでの検出画像を示す模式図。  
 【図 19】前記実施形態のコンバインドモードを示すグラフ。  
 【図 20】前記コンバインドモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 21】前記コンバインドモードでの検出画像を示す模式図。  
 【図 22】前記実施形態の別のコンバインドモードを示すグラフ。  
 【図 23】前記別のコンバインドモードでの合焦状態を示す模式図。  
 【図 24】前記別のコンバインドモードでの検出画像を示す模式図。  
 【発明を実施するための形態】

10

【0021】

以下、本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。

〔焦点距離可変レンズ装置 1〕

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ものである。

このために、焦点距離可変レンズ装置 1 は、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 および液体レンズユニット 3 と、対物レンズ 2 および液体レンズユニット 3 を通して得られる測定対象物 9 の画像を検出する画像検出部 4 と、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、を備えている。

30

焦点距離可変レンズ装置 1 においては、対物レンズ 2 および液体レンズユニット 3 により焦点距離可変レンズが構成される。

【0022】

さらに、焦点距離可変レンズ装置 1 は、液体レンズユニット 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、レンズ制御部 6 を操作するための制御用 P C 7 と、を備えている。

制御用 P C 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 P C 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。

40

【0023】

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 L g を所定の信号形式の検出画像 I m として制御用 P C 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 C i が入力された際に、所定時間だけ照明光 L i 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 L

50

i 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 L r が対物レンズ 2 および液体レンズユニット 3 を通して画像 L g を形成する。

【 0 0 2 4 】

液体レンズユニット 3 は、内部に液体レンズシステムが構成され、レンズ制御部 6 から入力される駆動信号 C f に応じて屈折率が変化する。駆動信号 C f は、液体レンズユニット 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 P f までの焦点距離 D f は、対物レンズ 2 の焦点距離を基本としつつ、液体レンズユニット 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。

【 0 0 2 5 】

〔液体レンズユニット 3 〕

図 2 において、液体レンズユニット 3 は、円筒形のケース 3 1 を有し、ケース 3 1 の内部には円筒状の振動部材 3 2 が設置されている。振動部材 3 2 は、その外周面 3 3 とケース 3 1 の内周面との間に介装されたエラストマ製のスペーサ 3 9 で支持されている。

振動部材 3 2 は、圧電材料を円筒状に形成したものであり、外周面 3 3 と内周面 3 4 との間に駆動信号 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（例えば 7 0 K H z ）に調整されている。

【 0 0 2 6 】

図 3 に示すように、液体レンズユニット 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、液体レンズユニット 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。

【 0 0 2 7 】

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、液体レンズユニット 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、液体レンズユニット 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、液体レンズユニット 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（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、液体レンズユニット 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、液体レンズユニット 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 2 8 】

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。

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、任意の照明時点での焦点距離 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 2 9 】

10

20

30

40

50

## 〔レンズ制御部 6〕

図 5 に示すように、焦点距離可変レンズ装置 1 において、液体レンズユニット 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 および発光信号 C i および画像検出信号 C c により制御される。この際、レンズ制御部 6 には、液体レンズユニット 3 の振動状態 V f として、液体レンズユニット 3 に加えられる有効電力あるいは駆動電流などが返される。

レンズ制御部 6 は、液体レンズユニット 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。

レンズ制御部 6 の設定などの画像検出条件を操作するために、制御用 P C 7 が接続されている。

## 【0030】

## 〔制御用 P C 7〕

制御用 P C 7 は、画像検出条件の設定などのレンズ制御部 6 に対する操作を行うレンズ操作部 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、を有する。

レンズ操作部 7 1 は、本発明に基づく画像検出条件設定部 7 1 1 を有する。

## 【0031】

画像検出条件設定部 7 1 1 は、操作インターフェイス 7 3 を介してユーザの操作を受け付け、画像検出条件として複数の画像検出モードのいずれかを選択する。複数の画像検出モードとしては、シングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードおよびコンバインドモードが選択可能である。

## 【0032】

これらの画像検出モードは、後に具体的に詳述するが、レンズ制御部 6 に設定されることで、レンズ制御部 6 が液体レンズユニット 3、画像検出部 4 およびパルス照明部 5 に次のような画像検出動作を実行させる。

シングルプレーンモードでは、レンズ制御部 6 に、焦点距離 D f が 1 つ指定されたシングルプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させる。

マルチプレーンモードでは、レンズ制御部 6 に、焦点距離 D f が複数指定されたマルチプレーン画像検出動作のみを含む画像検出ループを繰り返し実行させる。

フレームバイフレームモードでは、レンズ制御部 6 に、焦点距離 D f が互いに異なる複数のシングルプレーン画像検出動作を含む画像検出ループを繰り返し実行させる。フレームバイフレームモードにおいて、シングルプレーン画像検出動作の数（1 ループで検出される画像の数）および各々における焦点距離 D f は、ユーザが選択することができる。

## 【0033】

コンバインドモードでは、レンズ制御部 6 に、少なくとも 1 つのマルチプレーン画像検出動作と、少なくとも 1 つのシングルプレーン画像検出動作と、を含む画像検出ループを繰り返し実行させる。

コンバインドモードにおけるマルチプレーン画像検出動作では、液体レンズユニット 3 の焦点距離 D f が変化する 1 周期（駆動信号 C f とされる正弦波状の焦点変動波形 M f の 1 周期）の間に、画像検出を行う焦点距離 D f を複数設定可能である。

コンバインドモードにおけるシングルプレーン画像検出動作では、液体レンズユニット 3 の焦点距離 D f が変化する 1 周期の間に、画像検出を行う焦点距離 D f を 1 つ設定可能である。コンバインドモードに複数のシングルプレーン画像検出動作がある場合、それぞれ異なる焦点距離 D f が設定可能である。

## 【0034】

画像検出条件設定部 7 1 1 は、選択された画像検出モードに必要なパラメータ（焦点距離 D f の数や値、シングルプレーン画像検出動作の数など）を設定し、画像検出条件としてレンズ制御部 6 に設定する。

10

20

30

40

50

画像検出条件を設定されたレンズ制御部 6 が、液体レンズユニット 3、画像検出部 4 およびパルス照明部 5 を制御することで、指定された画像検出モードの画像検出ループを繰り返して焦点距離可変レンズ装置 1 に所望の画像検出を実行させることができる。

#### 【 0 0 3 5 】

〔画像検出条件設定〕

図 6 には、画像検出条件設定部 7 1 1 による設定操作および同設定に基づくレンズ制御部 6 の制御動作の手順が示されている。

画像検出条件設定部 7 1 1 では、先ず画像検出モードの指定を受け付ける（処理 S 1 1）。画像検出モードの指定は、ユーザが操作インターフェイス 7 3（図 5 参照）を操作することで行われる。

ユーザの操作に基づいて、画像検出条件設定部 7 1 1 は、画像検出モードとして、シングルプレーンモードの設定（処理 S 1 1）、マルチプレーンモードの設定（処理 S 2 1）、フレームバイフレームモードの設定（処理 S 3 1）、コンバインドモードの設定（処理 S 4 1）のいずれかを行う。

#### 【 0 0 3 6 】

画像検出モードが設定されたら、画像検出条件設定部 7 1 1 は、画像検出モードごとにその画像検出モードに必要なパラメータを設定する。これらのパラメータの設定も、ユーザが操作インターフェイス 7 3（図 5 参照）を操作することで行われる。

シングルプレーンモードが設定（処理 S 1 1）されている場合、画像検出動作の間繰り返し実行される画像検出ループがシングルプレーン画像検出動作だけで構成されるため、このシングルプレーン画像検出動作における 1 つの焦点距離  $D_f$ （焦点距離  $D_1$ ）だけを設定する（処理 S 1 2）。

#### 【 0 0 3 7 】

マルチプレーンモードが設定（処理 S 2 1）されている場合、画像検出動作の間繰り返し実行される画像検出ループがマルチプレーン画像検出動作だけで構成されるため、このマルチプレーン画像検出動作における合焦点の数（焦点数  $n_p$ ）と、各合焦点の焦点距離  $D_f$ （焦点距離  $D_1 \sim D_{n_p}$ ）とを設定する（処理 S 2 2）。

フレームバイフレームモードが設定（処理 S 3 1）されている場合、画像検出動作の間繰り返し実行される画像検出ループが複数のシングルプレーン画像検出動作で構成されるため、シングルプレーン画像検出動作で検出する画面（フレーム）の数（画面数  $n_f$ ）と、各画面の焦点距離  $D_f$ （焦点距離  $D_{f1} \sim D_{n_f}$ ）とを設定する（処理 S 3 2）。

#### 【 0 0 3 8 】

コンバインドモードが設定（処理 S 4 1）されている場合、画像検出動作の間繰り返し実行される画像検出ループが、1 つ以上のマルチプレーン画像検出動作と、1 つ以上のシングルプレーン画像検出動作で構成される。このため、マルチプレーン画像検出動作のパラメータとして、合焦点の数（焦点数  $n_p$ ）と、各合焦点の焦点距離  $D_f$ （焦点距離  $D_1 \sim D_{n_p}$ ）とを設定する（処理 S 4 2）。併せて、シングルプレーン画像検出動作のパラメータとして、検出する画面（フレーム）の数（画面数  $n_f$ ）と、各画面の焦点距離  $D_f$ （焦点距離  $D_{f1} \sim D_{n_f}$ ）とを設定する（処理 S 4 3）。

これらの処理 S 4 2 と処理 S 4 3 とは、順番が逆でもよく同時並行でもよい。

#### 【 0 0 3 9 】

コンバインドモードにおいて、マルチプレーン画像検出動作の焦点数  $n_p$  およびシングルプレーン画像検出動作の画面数  $n_f$  は任意に選択できる。マルチプレーン画像検出動作における複数の焦点距離  $D_1 \sim D_{n_p}$  とシングルプレーン画像検出動作で設定する焦点距離  $D_{f1} \sim D_{n_f}$  は、同じ値であってもよいし、異なる値としてもよい。主な用途としては、マルチプレーン画像検出動作において複数の焦点距離  $D_1 \sim D_{n_p}$  について概略検出を行い、そのうちいずれかを焦点距離  $D_{f1} \sim D_{n_f}$  として設定し、シングルプレーン画像検出動作による詳細検出を行うという形態が挙げられる。

#### 【 0 0 4 0 】

画面検出モード毎のパラメータが設定されたら、画像検出条件設定部 7 1 1 は、設定さ

10

20

30

40

50

れた画像検出モードおよびそのパラメータをレンズ制御部 6 に送る。画像検出モードおよびパラメータが送られたレンズ制御部 6 は、その内容に基づいて液体レンズユニット 3、画像検出部 4 およびパルス照明部 5 を制御し、ユーザが指定した画像検出動作を実行させる。

#### 【0041】

シングルプレーンモードが設定（処理 S 1 1）されている場合、レンズ制御部 6 は、焦点距離  $D_1$  のシングルプレーン画像検出動作だけで構成される画像検出ループを繰り返し実行させる（処理 S 1 3）。

マルチプレーンモードが設定（処理 S 2 1）されている場合、レンズ制御部 6 は、焦点距離  $D_1 \sim D_{np}$  のマルチプレーン画像検出動作だけで構成される画像検出ループを繰り返し実行させる（処理 S 2 3）。

フレームバイフレームモードが設定（処理 S 3 1）されている場合、レンズ制御部 6 は、画面数  $n_f$  のシングルプレーン画像検出動作（それぞれ焦点距離  $D_{f1} \sim D_{nf}$ ）が連続する画像検出ループを繰り返し実行させる（処理 S 3 3）。

コンバインドモードが設定（処理 S 4 1）されている場合、レンズ制御部 6 は、焦点距離  $D_1 \sim D_{np}$  のマルチプレーン画像検出動作（処理 S 4 4）と、画面数  $n_f$  のシングルプレーン画像検出動作（それぞれ焦点距離  $D_{f1} \sim D_{nf}$ ，処理 S 4 5）とが連続する画像検出ループを繰り返し実行させる。

#### 【0042】

次に、本実施形態におけるシングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードおよびコンバインドモードの具体的な動作について説明する。

#### 【0043】

##### 〔シングルプレーンモード〕

図 7 から図 9 は本実施形態におけるシングルプレーンモードの動作を示す。

図 7 において、シングルプレーンモードでは、シングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  のみを含む画像検出ループ  $L_{ps}$  を、レンズ制御部 6 に繰り返し実行させる。

ここで、駆動信号  $C_f$  は、液体レンズユニット 3（図 1 参照）を駆動するためにレンズ制御部 6 から与えられる正弦波状の焦点変動波形  $M_f$ （図 4 参照）である。駆動信号  $C_f$  が最大値のとき、液体レンズユニット 3 および対物レンズ 2（図 1 参照）の焦点距離  $D_f$  が最近の焦点距離  $D_t$  となり、駆動信号  $C_f$  が最小値のとき焦点距離  $D_f$  が最遠の焦点距離  $D_b$  となる。

シングルプレーンモードの画像検出ループ  $L_{ps}$  では、駆動信号  $C_f$  の一周期のうち、指定された焦点距離  $D_1$  に対応する位相 1 の位置でレンズ制御部 6 からパルス照明部 5（図 1 参照）への発光信号  $C_i$  が送られることで、画像検出部 4（図 1 参照）により、焦点距離  $D_1$  に合焦したシングルプレーン検出画像  $I_{ms}$ （図 9 参照）が得られる。

#### 【0044】

図 8 において、測定対象物 9 は表面に高さが異なる部位 9 1，9 2，9 3 を有する。各部位 9 1，9 2，9 3 は、前述した最近焦点距離  $D_t$  と最遠焦点距離  $D_b$  との間（各々に対応する合焦面  $P_t$ ， $P_b$  の間）に配置されている。従って、対物レンズ 2 および液体レンズユニット 3 は、各部位 9 1，9 2，9 3 に一致する合焦面  $P_1$ ， $P_2$ ， $P_3$  にそれぞれ合焦させることができる。

シングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  が焦点距離  $D_1$  に設定されており、焦点距離  $D_1$  が合焦面  $P_1$  に対応しているとすると、合焦面  $P_1$  に一致する部位 9 1 は合焦状態で画像検出される。一方、部位 9 2，9 3（合焦面  $P_2$ ， $P_3$  に一致）は合焦面  $P_1$  から外れており、合焦しない状態で画像検出される。

#### 【0045】

図 9 において、シングルプレーン検出画像  $I_{ms}$  のうち、部位 9 1 に対応する領域  $I_{91}$  は、合焦した状態で検出されるため、明るく鮮明な画像として検出される。一方、部位 9 2，9 3 に対応する領域  $I_{92}$ ， $I_{93}$  は、合焦から外れた状態で検出されるため、それぞれ合焦面  $P_1$  からの距離に応じて暗く不鮮明な画像として検出される。

10

20

30

40

50

従って、領域 I 9 1 についての鮮明な画像が得られれば十分であり、領域 I 9 2 , I 9 3 の画像の鮮明さが不要でない場合、このシングルプレーンモードを利用すればよい。

【 0 0 4 6 】

〔マルチプレーンモード . 1 〕

図 1 0 から図 1 2 は本実施形態におけるマルチプレーンモードの動作を示す。

図 1 0 において、マルチプレーンモードでは、マルチプレーン画像検出動作 C m m のみを含む画像検出ループ L P m を、レンズ制御部 6 に繰り返し実行させる。

ここで、図 1 0 および図 1 1 における駆動信号 C f 、焦点距離 D t , D b 、合焦点 P t , P b は、図 7 および図 8 で説明した通りである。

マルチプレーンモードの画像検出ループ L P m では、焦点数  $n_p = 2$  とすると、駆動信号 C f の一周期に 2 つの焦点距離 D 1 , D 2 が指定され、各々に対応する位相 1 , 2 の位置でレンズ制御部 6 から発光信号 C i が送られ、焦点距離 D 1 , D 2 に合焦したマルチプレーン検出画像 I m m ( 図 1 2 参照 ) が得られる。

10

【 0 0 4 7 】

図 1 1 において、マルチプレーン画像検出動作 C m m が焦点距離 D 1 , D 2 ( 合焦点 P 1 , P 2 ) に設定されているとすると、合焦点 P 1 , P 2 に一致する部位 9 1 , 9 2 はそれぞれ合焦状態で画像検出される。ただし、部位 9 1 ( 合焦点 P 1 ) に合焦した状態では、部位 9 2 ( 合焦点 P 2 ) は合焦しない状態で画像検出され、部位 9 2 ( 合焦点 P 2 ) に合焦した状態では、部位 9 1 ( 合焦点 P 1 ) は合焦しない状態で画像検出される。

【 0 0 4 8 】

図 1 2 において、マルチプレーン検出画像 I m m のうち、部位 9 1 に対応する領域 I 9 1 は、焦点距離 D 1 のとき合焦した状態となり、明るく鮮明な画像として検出される。また、部位 9 2 に対応する領域 I 9 2 は、焦点距離 D 2 のとき合焦した状態となり、明るく鮮明な画像として検出される。つまり、領域 I 9 1 , I 9 2 の 2 つとも鮮明な画像として検出することができる。

20

ただし、領域 I 9 1 は、焦点距離 D 2 のとき合焦しない暗く不鮮明な状態で検出され、これが焦点距離 D 1 での鮮明な画像と重畳される結果、やや暗い不鮮明な画像 ( シングルプレーン検出画像 I m s の領域 I 9 1 に比べて ) となる。領域 I 9 2 についても同様である。

一方、部位 9 3 に対応する領域 I 9 3 は、焦点距離 D 1 , D 2 のいずれにおいても合焦から外れるため、領域 I 9 1 , I 9 2 と比べて暗く不鮮明な画像として検出される。

30

【 0 0 4 9 】

従って、マルチプレーンモードにより、複数の焦点距離 D 1 , D 2 にある領域 I 9 1 , I 9 2 について、比較的鮮明な画像を同時に得ることができる。

ただし、前述のように、比較的鮮明な領域 I 9 1 , I 9 2 であっても、シングルプレーンモードに比べて鮮明さが低下するため、鮮明な画像を得るためには別途シングルプレーンモードの画像検出を行う必要がある。

【 0 0 5 0 】

〔マルチプレーンモード . 2 〕

図 1 3 から図 1 5 はマルチプレーンモードの異なる設定における動作を示す。

40

図 1 0 から図 1 2 で説明したマルチプレーンモードでは、焦点数  $n_p = 2$  とされ、マルチプレーン画像検出動作 C m m では焦点距離 D 1 , D 2 ( 合焦点 P 1 , P 2 ) で画像検出が行われ、合焦点 P 1 , P 2 に一致する部位 9 1 , 9 2 が合焦状態で検出されていた。

これに対し、図 1 3 から図 1 5 のマルチプレーンモードでは、焦点数  $n_p = 3$  とされ、マルチプレーン画像検出動作 C m m では焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 ( 合焦点 P 1 , P 2 , P 3 ) で画像検出が行われ、合焦点 P 1 , P 2 , P 3 に一致する部位 9 1 , 9 2 , 9 3 が合焦状態で画像検出される。

【 0 0 5 1 】

図 1 5 において、マルチプレーン検出画像 I m m では、部位 9 1 , 9 2 , 9 3 に対応する領域 I 9 1 , I 9 2 , I 9 3 は、それぞれ焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 のいずれかで合焦

50

し、明るく鮮明な画像として検出される。ただし、領域  $I 9 1$  ,  $I 9 2$  ,  $I 9 3$  は、他の 2 つの焦点距離に合焦している状態では暗く不鮮明な状態で検出され、重畳された結果、相当に暗い不鮮明な画像（図 1 2 の領域  $I 9 1$  ,  $I 9 2$  に比べて）となる。

従って、マルチプレーンモードでは、複数の焦点距離にある領域について、比較的鮮明な画像を同時に得られるものの、焦点数  $n p$  を増加させるにつれて鮮明さが損なわれる点に注意する必要がある。

#### 【 0 0 5 2 】

〔フレームバイフレームモード〕

図 1 6 から図 1 8 は本実施形態におけるフレームバイフレームモードの動作を示す。

フレームバイフレームモードでは、複数（画面数  $n f$ ）のシングルプレーン画像検出動作  $C m s$ （焦点距離  $D f 1 \sim D n f$ ）を含む画像検出ループ  $L P f$  を、レンズ制御部 6 に繰り返し実行させる。

ここで、図 1 6 および図 1 7 における駆動信号  $C f$ 、焦点距離  $D t$  ,  $D b$ 、合焦面  $P t$  ,  $P b$  は、図 7 および図 8 で説明した通りである。

また、フレームバイフレームモードにおけるシングルプレーン画像検出動作  $C m s$  は、前述したシングルプレーンモードにおけるものと同様である。

#### 【 0 0 5 3 】

図 1 6 において、画像検出ループ  $L P f$  は、画面数  $n f = 3$  とされ、3 つのシングルプレーン画像検出動作  $C m s$ （画像検出動作  $C m 1$  ,  $C m 2$  ,  $C m 3$ ）を連結して構成されている。画像検出動作  $C m 1$  ,  $C m 2$  ,  $C m 3$  では、それぞれ焦点距離  $D 1$  ,  $D 2$  ,  $D 3$  に切り替えられる

図 1 6 の（A）部において、画像検出動作  $C m 1$  は焦点距離  $D 1$  とされ、駆動信号  $C f$  の一周期のうち位相 1 で画像検出が行われる。

図 1 7 の（A）部において、画像検出動作  $C m 1$  では、焦点距離  $D 1$  に対応した合焦面  $P 1$  に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 1 が合焦状態で画像検出される。

図 1 8 の（A）部において、画像検出動作  $C m 1$  による検出画像  $I m 1$  は、部位 9 1 に対応する領域  $I 9 1$  が、合焦した状態で検出されるため、明るく鮮明な画像として検出される。一方、部位 9 2 , 9 3 に対応する領域  $I 9 2$  ,  $I 9 3$  は、合焦から外れた状態で検出されるため、それぞれ合焦面  $P 1$  からの距離に応じて暗く不鮮明な画像として検出される。

#### 【 0 0 5 4 】

同様に、図 1 6 の（B）部の画像検出動作  $C m 2$  では、焦点距離  $D 2$  とされ、位相 2 でシングルプレーン画像検出動作  $C m s$  が行われる。

そして、図 1 7 の（B）部のように、画像検出動作  $C m 2$  では、焦点距離  $D 2$  に対応した合焦面  $P 2$  に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 2 が合焦状態で画像検出される。

その結果、図 1 8 の（B）部のように、画像検出動作  $C m 2$  による検出画像  $I m 2$  は、部位 9 2 に対応する領域  $I 9 2$  が明るく鮮明な画像として検出され、部位 9 1 , 9 3 に対応する領域  $I 9 1$  ,  $I 9 3$  は暗く不鮮明な画像として検出される。

#### 【 0 0 5 5 】

さらに、図 1 6 の（C）部の画像検出動作  $C m 3$  では、焦点距離  $D 3$  とされ、位相 3 でシングルプレーン画像検出動作  $C m s$  が行われる。

そして、図 1 7 の（C）部のように、画像検出動作  $C m 3$  では、焦点距離  $D 3$  に対応した合焦面  $P 3$  に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 3 が合焦状態で画像検出される。

その結果、図 1 8 の（C）部のように、画像検出動作  $C m 3$  による検出画像  $I m 3$  は、部位 9 3 に対応する領域  $I 9 3$  が明るく鮮明な画像として検出され、部位 9 1 , 9 2 に対応する領域  $I 9 1$  ,  $I 9 2$  は暗く不鮮明な画像として検出される。

#### 【 0 0 5 6 】

図 1 6 において、画像検出ループ  $L P f$  は、画像検出動作  $C m 1$  から画像検出動作  $C m 3$  までが実行されると、再び画像検出動作  $C m 1$  に戻って繰り返される。

その結果、フレームバイフレームモードにおいては、図 1 8 に示す検出画像  $I m 1 \sim I$

10

20

30

40

50

m 3 が順次繰り返し得られることになる。

従って、フレームバイフレームモードでは、それぞれ画像検出動作 C m 1 ~ C m 3 において、シングルプレーン画像検出動作 C m s に相当する鮮明な検出画像 I m s を得ることができる。とくに、マルチプレーンモードでは複数の焦点距離の検出画像の品質低下が避けられないのに対し、フレームバイフレームモードではこのような画像の劣化を避けることができる。

ただし、画像検出ループ L P f が画像検出動作 C m 1 ~ C m 3 を含むため、一連の処理に要する時間が増大する点に注意する必要がある。

【 0 0 5 7 】

〔コンバインドモード . 1 〕

図 1 9 から図 2 1 は本実施形態におけるコンバインドモードの動作を示す。

コンバインドモードでは、少なくとも 1 つのマルチプレーン画像検出動作 C m m と、少なくとも 1 つのシングルプレーン画像検出動作 C m s とを含む画像検出ループ L P c を、レンズ制御部 6 に繰り返し実行させる。

ここで、図 1 9 および図 2 0 における駆動信号 C f 、焦点距離 D t , D b 、合焦面 P t , P b は、図 7 および図 8 で説明した通りである。

図 1 9 から図 2 1 に示すコンバインドモードは、1 つのマルチプレーン画像検出動作 C m m と、2 つのシングルプレーン画像検出動作 C m s とで画像検出ループ L P c が構成される例である。

画像検出ループ L P c を構成するシングルプレーン画像検出動作 C m s およびマルチプレーン画像検出動作 C m m は、前述したシングルプレーンモードおよびマルチプレーンモードにおけるものと同様である。

【 0 0 5 8 】

図 1 9 において、画像検出ループ L P c は、1 つのマルチプレーン画像検出動作 C m m (画像検出動作 C m 1 ) と、2 つのシングルプレーン画像検出動作 C m s (画像検出動作 C m 2 , C m 3 ) とで構成される。

画像検出動作 C m 1 のマルチプレーン画像検出動作 C m m は、焦点数 n p = 3 とされ、焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 が設定されている。

画像検出動作 C m 1 のマルチプレーン画像検出動作 C m m に続くシングルプレーン画像検出動作 C m s は、画面数 n f = 2 と指定され、この指定に基づき 2 つの画像検出動作 C m 2 , C m 3 が設定されている。画像検出動作 C m 2 には焦点距離 D 1 が設定され、画像検出動作 C m 3 には焦点距離 D 2 が設定されている。

【 0 0 5 9 】

図 1 9 の ( A ) 部において、画像検出動作 C m 1 では、焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 のマルチプレーン画像検出動作 C m m が実行され、駆動信号 C f の一周期のうち位相 1 , 2 , 3 で画像検出が行われる。

図 2 0 の ( A ) 部において、画像検出動作 C m 1 のマルチプレーン画像検出動作 C m m では、焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 に対応した合焦面 P 1 , P 2 , P 3 に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 1 , 9 2 , 9 3 が合焦状態で画像検出される。

図 2 1 の ( A ) 部において、画像検出動作 C m 1 による検出画像 I m 1 は、マルチプレーン画像検出動作 C m m によるマルチプレーン検出画像 I m m となり、部位 9 1 , 9 2 , 9 3 に対応する領域 I 9 1 , I 9 2 , I 9 3 は、それぞれ焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 のいずれかで合焦し、明るく鮮明な画像として検出される。

【 0 0 6 0 】

ただし、検出画像 I m 1 における領域 I 9 1 , I 9 2 , I 9 3 は、他の 2 つの焦点距離に合焦している状態では暗く不鮮明な状態で検出され、重畳された結果、相当に暗い不鮮明な画像となる。

このうち、領域 I 9 2 は、合焦している合焦面 P 2 に対して他の合焦面 P 1 , P 3 がそれぞれ近い距離にあるため、重畳される領域 I 9 1 , I 9 3 が比較的暗くならず、結果として領域 I 9 1 , I 9 3 よりも明るい画像として検出される。

10

20

30

40

50

これに対し、領域 I 9 1 , I 9 3 では、それぞれ重畳される領域 I 9 3 , I 9 1 が遠く、重畳される領域 I 9 1 , I 9 3 が領域 I 9 2 よりも暗くなり、結果として領域 I 9 2 よりも暗い画像として検出される。

このため、検出画像 I m 1 において、暗い領域 I 9 1 , I 9 3 どちらの境界線 I 9 4 は不明瞭になり、比較的明るい領域 I 9 2 と暗い領域 I 9 3 との境界線 I 9 5 よりも更に判別しにくくなる可能性がある。

#### 【 0 0 6 1 】

図 1 9 の ( B ) 部において、画像検出動作 C m 2 では、焦点距離 D 1 のシングルプレーン画像検出動作 C m s が実行され、駆動信号 C f の一周期のうち位相 1 で画像検出が行われる。

図 2 0 の ( B ) 部において、画像検出動作 C m 2 のシングルプレーン画像検出動作 C m s では、焦点距離 D 1 に対応した合焦面 P 1 に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 1 が合焦状態で画像検出される。

図 2 1 の ( B ) 部において、画像検出動作 C m 2 による検出画像 I m 2 は、シングルプレーン画像検出動作 C m s によるシングルプレーン検出画像 I m s となり、部位 9 1 に対応する領域 I 9 1 が、合焦した状態で検出されるため、明るく鮮明な画像として検出される。一方、部位 9 2 , 9 3 に対応する領域 I 9 2 , I 9 3 は、合焦から外れた状態で検出されるため、合焦面 P 1 からの距離に応じて暗く不鮮明な画像として検出される。

検出画像 I m 2 においては、暗い領域 I 9 2 , I 9 3 の境界線 I 9 5 は不明瞭になるが、明るい領域 I 9 1 と暗い領域 I 9 3 との境界線 I 9 4 は鮮明な画像として検出できる。

#### 【 0 0 6 2 】

同様に、図 1 9 の ( C ) 部の画像検出動作 C m 3 では、焦点距離 D 2 のシングルプレーン画像検出動作 C m s が実行され、駆動信号 C f の一周期のうち位相 2 でシングルプレーン画像検出動作 C m s が行われる。

そして、図 2 0 の ( C ) 部のように、画像検出動作 C m 3 では、焦点距離 D 2 に対応した合焦面 P 2 に合焦され、測定対象物 9 の部位 9 2 が合焦状態で画像検出される。

その結果、図 2 1 の ( C ) 部のように、画像検出動作 C m 3 による検出画像 I m 3 は、部位 9 2 に対応する領域 I 9 2 が明るく鮮明な画像として検出され、部位 9 1 , 9 3 に対応する領域 I 9 1 , I 9 3 は暗く不鮮明な画像として検出される。

#### 【 0 0 6 3 】

図 1 9 において、画像検出ループ L P f は、画像検出動作 C m 1 (マルチプレーン画像検出動作 C m m ) および画像検出動作 C m 2 , C m 3 ( 2 つのシングルプレーン画像検出動作 C m s ) までが実行されると、再び画像検出動作 C m 1 に戻って繰り返される。

その結果、コンバインドモードにおいては、図 2 1 に示す検出画像 I m 1 ~ I m 3 が順次繰り返し得られることになる。

#### 【 0 0 6 4 】

従って、コンバインドモードでは、画像検出動作 C m 1 により 3 つの焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 に合焦したマルチプレーン検出画像 I m m が得られるとともに、画像検出動作 C m 2 , C m 3 により焦点距離 D 1 , D 2 に合焦するシングルプレーン検出画像 I m s が得られる。

このうち、画像検出動作 C m 1 では、他の合焦面に合焦した画像との重畳により検出画像の品質低下が避けられないものの、3 つの焦点距離 D 1 , D 2 , D 3 に合焦したマルチプレーン検出画像 I m m が得られる。

一方、画像検出動作 C m 2 , C m 3 では、それぞれ 1 つの合焦面に合焦した画像しか得られないが、その合焦面にある領域 I 9 1 または領域 I 9 2 に合焦する画像は明るく鮮明にできる。

#### 【 0 0 6 5 】

コンバインドモードを利用する場合、高精度が要求されない領域や境界線についてはマルチプレーン検出画像 I m m でカバーし、高精度が要求される領域や境界線についてはシングルプレーン検出画像 I m s を利用するように設定を行うことで、高精度を確保しつつ

10

20

30

40

50

効率的な画像検出を行うことができる。

すなわち、図 16 のフレームバイフレームモードでは、3つの焦点距離  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  に対して3つのシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  を行うことで、全ての焦点距離  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  で高精度の画像検出を行っていた。

【0066】

もし、5つの焦点距離に対してフレームバイフレームモードで画像検出を行うとすると、画像検出ループ  $L_{Pf}$  には5つのシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  を設定する必要があり、5フレームの画像検出を行うため、ループ処理時間も長くなる。しかし、5つの焦点距離のうち高精度を要求されるのが2つだけであり、他の3つについてはマルチプレーンモードでの画像検出動作で十分である場合、コンバインドモードを用いることで処理時間を短縮することができる。

10

すなわち、5つの焦点距離を設定した1つのマルチプレーン検出画像  $I_{mm}$  と、高精度が必要な2つの焦点距離に設定されたシングルプレーン検出画像  $I_{ms}$  とを含む画像検出ループ  $L_{Pc}$  を用いることで、合計3フレーム分の画像検出動作  $C_{m1} \sim C_{m3}$  により必要な検出画像を確保することができる。

このように、コンバインドモードを利用することで、必要な部分の高精度を確保しつつ、処理時間を短縮することができる。

【0067】

〔コンバインドモード．2〕

図 22 から図 24 はコンバインドモードの異なる設定における動作を示す。

20

図 19 から図 21 で説明したコンバインドモードでは、1つのマルチプレーン画像検出動作  $C_{mm}$  (画像検出動作  $C_{m1}$ 、焦点数  $n_p = 3$ ) と、2つのシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  (画像検出動作  $C_{m2}$ 、 $C_{m3}$ 、画面数  $n_f = 2$ ) とで画像検出ループ  $L_{Pc}$  を構成していた。

これに対し、図 22 から図 24 のコンバインドモードでは、1つのマルチプレーン画像検出動作  $C_{mm}$  (画像検出動作  $C_{m1}$ 、焦点数  $n_p = 3$ ) と、1つのシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  (画像検出動作  $C_{m2}$ 、画面数  $n_f = 1$ ) だけで画像検出ループ  $L_{Pc}$  を構成している。このような画面数  $n_f = 1$  は、コンバインドモードの最小構成に相当する。

【0068】

30

図 22 の (A) 部において、画像検出動作  $C_{m1}$  のマルチプレーン画像検出動作  $C_{mm}$  は、焦点数  $n_p = 3$  とされ、焦点距離  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  が設定されている。これは、前述した図 19 の (A) 部の画像検出動作  $C_{m1}$  と同じであり、図 23 の (A) 部に示す合焦点と焦点距離の関係は図 20 の (A) 部と同じであり、図 24 の (A) 部に示す検出画像  $I_{m1}$  は図 21 の (A) 部と同じである。

すなわち、画像検出動作  $C_{m1}$  による検出画像  $I_{m1}$  は、マルチプレーン画像検出動作  $C_{mm}$  によるマルチプレーン検出画像  $I_{mm}$  となり、部位  $9_1$ 、 $9_2$ 、 $9_3$  に対応する領域  $I_{9_1}$ 、 $I_{9_2}$ 、 $I_{9_3}$  は、それぞれ焦点距離  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  のいずれかで合焦し、明るく鮮明な画像として検出される。

【0069】

40

図 22 の (B) 部において、画像検出動作  $C_{m2}$  では、焦点距離  $D_3$  のシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  が実行され、駆動信号  $C_f$  の一周期のうち位相  $\frac{3}{4}$  で画像検出が行われる。

図 23 の (B) 部において、画像検出動作  $C_{m2}$  のシングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  では、焦点距離  $D_3$  に対応した合焦点  $P_3$  に合焦され、測定対象物 9 の部位  $9_3$  が合焦状態で画像検出される。

図 24 の (B) 部において、画像検出動作  $C_{m2}$  による検出画像  $I_{m2}$  は、シングルプレーン画像検出動作  $C_{ms}$  によるシングルプレーン検出画像  $I_{ms}$  となり、部位  $9_3$  に対応する領域  $I_{9_3}$  が合焦した状態で検出され、明るく鮮明な画像として検出される。一方、部位  $9_1$ 、 $9_2$  に対応する領域  $I_{9_1}$ 、 $I_{9_2}$  は、合焦から外れた状態で検出されるた

50

め、各々合焦面 P 3 からの距離に応じて暗く不鮮明な画像として検出される。

検出画像 I m 2 においては、境界線 I 9 4 も境界線 I 9 5 が、暗い領域 I 9 1 と明るい領域 I 9 3 との境界、および、暗い領域 I 9 2 と明るい領域 I 9 3 との境界となるため、それぞれ鮮明な画像として検出できる。

#### 【 0 0 7 0 】

このように、コンバインドモードを利用するとともに、シングルプレーン画像検出動作 C m s を行う焦点距離の設定を適切に行うことで、必要な部分の高精度を確保しつつ、処理時間を短縮することができる。

#### 【 0 0 7 1 】

##### 〔実施形態の効果〕

以上に述べた実施形態によれば、次のような効果が得られる。

本実施形態では、画像検出条件設定部 7 1 1 で設定した画像検出条件に基づいて、レンズ制御部 6 が焦点距離可変レンズ（液体レンズユニット 3 および対物レンズ 2 ）を制御し、画像検出部 4 により画像検出を行うことができる。

この際、画像検出条件としてコンバインドモードを設定すると、画像検出部 4 は、少なくとも 1 つのマルチプレーン画像検出動作 C m m と、少なくとも 1 つのシングルプレーン画像検出動作 C m s とを含む画像検出ループ L P c を繰り返し実行する。

その結果、コンバインドモードで検出される画像は、マルチプレーン画像検出動作 C m m によるマルチプレーン検出画像 I m m では、設定された全ての焦点距離に合焦した画像情報を含む。ただし、他の焦点距離の画像情報も含まれて必ずしも鮮明ではない。

一方、シングルプレーン画像検出動作 C m s によるシングルプレーン検出画像 I m s では、設定された焦点距離について鮮明な画像を得ることができる。

従って、コンバインドモードにおいては、マルチプレーン画像検出動作 C m m により、従来のマルチプレーンモードと同様な結果が得られるとともに、シングルプレーン画像検出動作 C m s により、従来のマルチプレーン画像検出動作 C m m では得られなかった高い画像品質を得ることができる。

#### 【 0 0 7 2 】

さらに、従来のフレームバイフレームモードでは、焦点距離の数だけのシングルプレーン画像検出動作 C m s を繰り返す必要があり、焦点距離の数が増加すると画像検出時間が長大化していた。これに対し、本実施形態のコンバインドモードでは、シングルプレーン画像検出動作 C m s の数（画面数 n f ）を抑制することができ、画像検出時間を短縮できる。すなわち、5 つの焦点距離に対して従来のフレームバイフレームモードの画像検出を行うと、シングルプレーン画像検出動作 C m s の 5 フレーム分の時間が必要である。しかし、コンバインドモードでは、例えば 5 つの焦点距離に対して画像検出を行うが鮮明な画像は 2 つの焦点距離だけでよい場合、マルチプレーン画像検出動作 C m m で 5 つの焦点距離の画像情報を確保したうえで、2 つの焦点距離についてシングルプレーン画像検出動作 C m s を行えばよく、合計 3 フレーム分の時間で済ませることができる。

このように、本実施形態の焦点距離可変レンズ装置 1 によれば、複数の焦点距離に対して十分な画像品質が得られるとともに画像検出時間を短縮することができる。

#### 【 0 0 7 3 】

本実施形態において、画像検出条件設定部 7 1 1 は、シングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードおよびコンバインドモードとのいずれかの画像検出モードを選択可能であり、各画像検出モードに応じた画像検出ループをレンズ制御部 6 に設定できるようにした。

このため、本発明に基づくコンバインドモードと、従来のシングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードとを任意に選択することができ、必要に応じて従来同様な画像検出動作が確保できるとともに、本発明に基づくコンバインドモードの効果を得ることができる。

#### 【 0 0 7 4 】

本実施形態の焦点距離可変レンズ装置 1 では、焦点距離可変レンズとして、入力される

10

20

30

40

50

駆動信号に応じて屈折率が変化する液体レンズユニット 3 と、液体レンズユニット 3 と同じ光軸 A 上に配置された対物レンズ 2 との組み合わせを用いた。

このため、対物レンズ 2 で基本的な結像が得られるとともに、液体レンズユニット 3 により焦点距離を変更可能である。液体レンズユニット 3 を用いることで、焦点距離を変換するための機械的な手段が必要なく、装置構成を簡素化できる。また、液体レンズユニット 3 は、数十キロヘルツに及び高速で焦点距離を周期的に変化させることができ、複数の焦点距離での画像を重畳したマルチプレーン検出画像 I m m も容易に得ることができ、本発明における焦点距離可変レンズとして最適である。

【 0 0 7 5 】

〔変形例〕

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。

前述した実施形態では、コンバインドモードとして、1つのマルチプレーン画像検出動作 C m m と、2つまたは1つのシングルプレーン画像検出動作 C m s との組み合わせを用いた。ただし、本発明のコンバインドモードとしては、少なくとも1つのマルチプレーン画像検出動作 C m m と、少なくとも1つのシングルプレーン画像検出動作 C m s とが含まれていればよく、各々の数は任意に設定することができる。

【 0 0 7 6 】

例えば、マルチプレーン画像検出動作 C m m における焦点数 n p が多い場合など、1つのマルチプレーン画像検出動作 C m m に設定することが難しい場合など、2以上のマルチプレーン画像検出動作 C m m を設定すればよい。また、シングルプレーン画像検出動作 C m s についても、明るく鮮明な画像が必要な合焦面の数に応じて画面数 n f を設定すればよい。この際、図 2 2 の例のように、2つの部位 9 1 , 9 2 に挟まれた部位 9 3 に対応する合焦面 P 3 を選択することで、1つのシングルプレーン画像検出動作 C m s で2つの境界線 I 9 4 , I 9 5 ( 図 2 4 参照 ) の検出が可能であり、シングルプレーン画像検出動作 C m s を実行する合焦面を選択する際にも適切な設定を行うことで、さらなる効率化を図ることができる。

【 0 0 7 7 】

前述した実施形態では、画像検出条件設定部 7 1 1 において、シングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードおよびコンバインドモードとのいずれかの画像検出モードを選択可能としたが、コンバインドモード以外の画像検出モードは任意であり、シングルプレーンモード、マルチプレーンモード、フレームバイフレームモードのいずれかを適宜省略してもよい。

【 0 0 7 8 】

前述した実施形態では、焦点距離可変レンズ装置 1 の焦点距離可変レンズとして、液体レンズユニット 3 と対物レンズ 2 との組み合わせを用いた。ただし、本発明はこの構成に限定されるものではなく、他の原理による焦点距離可変レンズを用いてもよい。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 9 】

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 8 0 】

1 ... 焦点距離可変レンズ装置、 2 ... 対物レンズ、 3 ... 液体レンズユニット、 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 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 ... 画像検出条件設定部、 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、 9 1 , 9 2 , 9 3 ... 部位、 C c ... 画像検出信号、 C f ... 駆動信号、 C i ... 発光信号、 C m 1 , C m 2 , C m 3 ... 画像検出動作、 C m m ... マルチプレーン画像検出動作、 C m s ... シングルプレーン画像検出動作、 D 1 , D 2 , D 3 , D f ... 焦点距離、 D b ... 最遠焦点距離、 D t ...

10

20

30

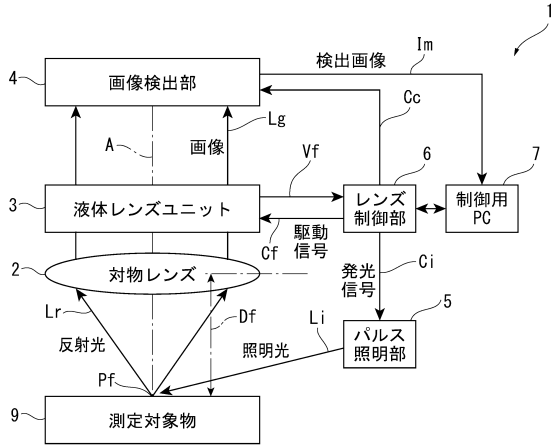
40

50

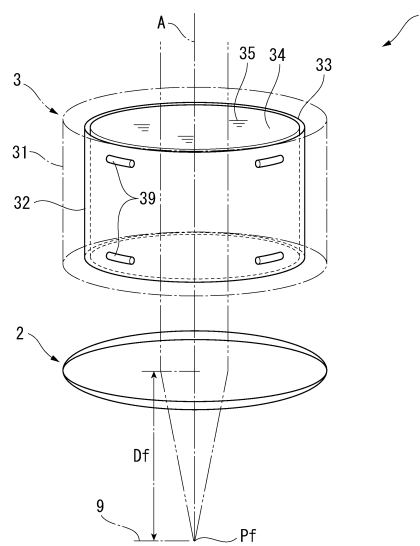
最近焦点距離、 $I_{91}$ ,  $I_{92}$ ,  $I_{93}$ ...領域、 $I_{94}$ ,  $I_{95}$ ...境界線、 $I_m$ ,  $I_{m1}$ ,  $I_{m2}$ ,  $I_{m3}$ ...検出画像、 $I_{mm}$ ...マルチプレーン検出画像、 $I_{ms}$ ...シングルプレーン検出画像、 $L_g$ ...画像、 $L_i$ ...照明光、 $L_{pc}$ ...コンバインドモードの画像検出ループ、 $L_{pf}$ ...フレームバイフレームモードの画像検出ループ、 $L_{pm}$ ...マルチプレーンモードの画像検出ループ、 $L_{ps}$ ...シングルプレーンモードの画像検出ループ、 $L_r$ ...反射光、 $M_f$ ...焦点変動波形、 $n_f$ ...画面数、 $n_p$ ...焦点数、 $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_t$ ,  $P_b$ ...合焦点、 $P_f$ ...焦点位置、 $V_f$ ...振動状態、 $W$ ...屈折率分布、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ...位相。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

20

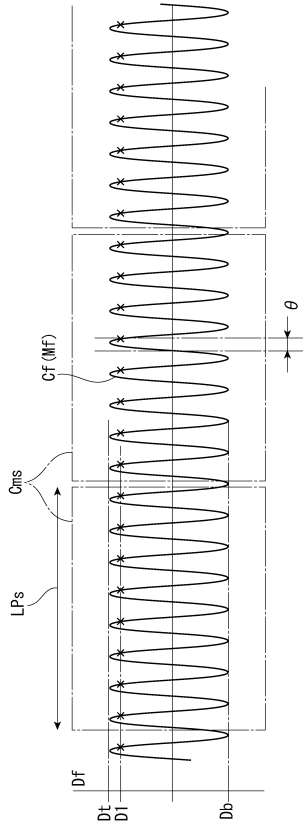
30

40

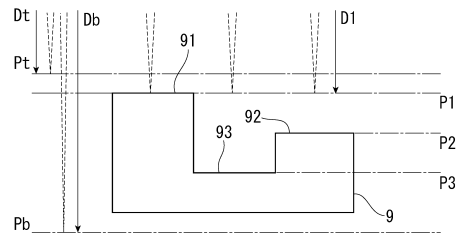
50



【 図 7 】



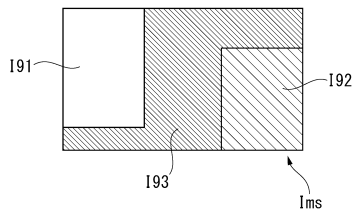
【 図 8 】



10

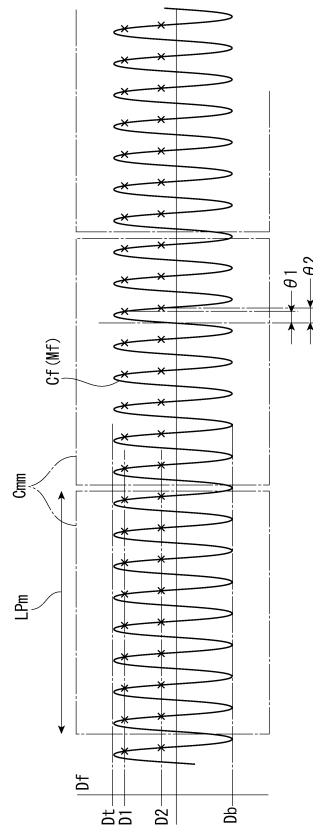
20

【 図 9 】



30

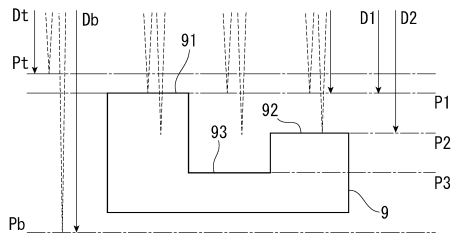
【 図 10 】



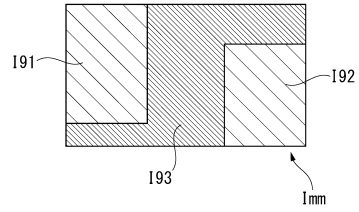
40

50

【図 1 1】



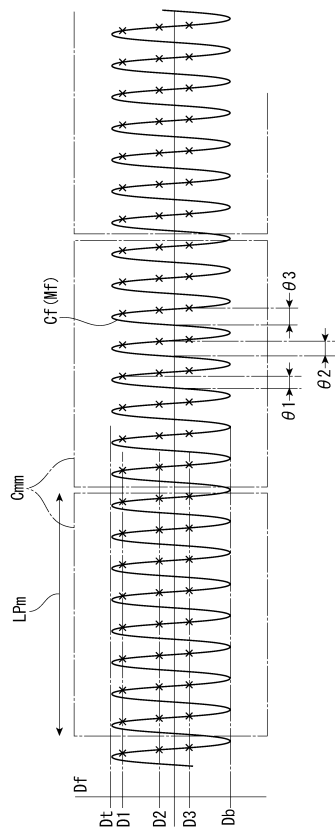
【図 1 2】



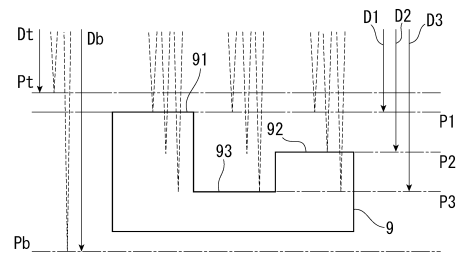
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

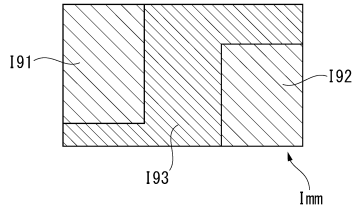


30

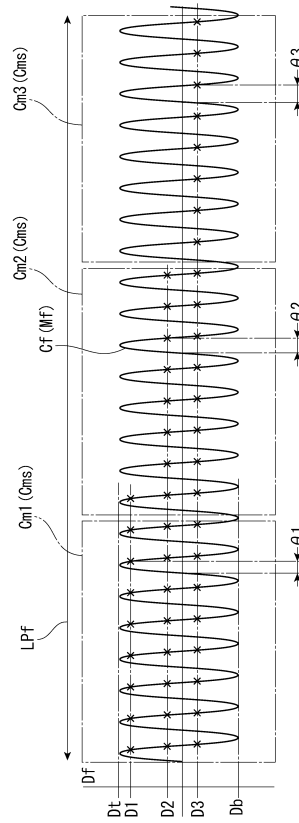
40

50

【図 15】



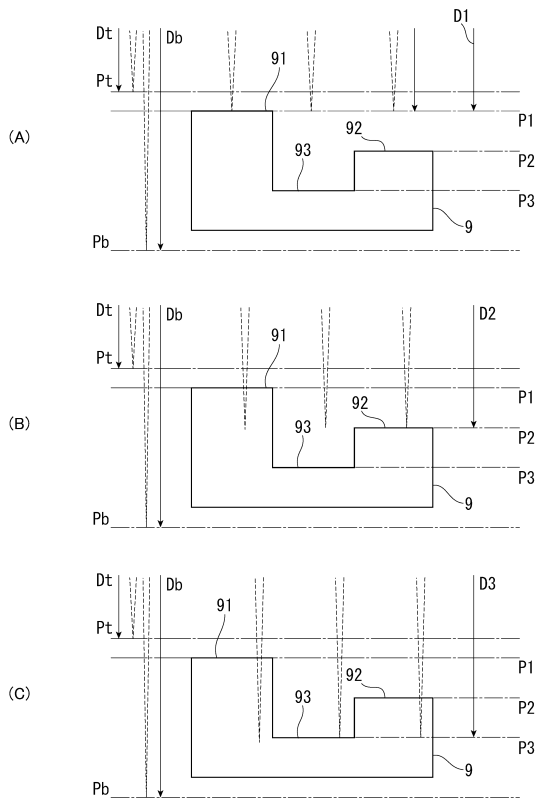
【図 16】



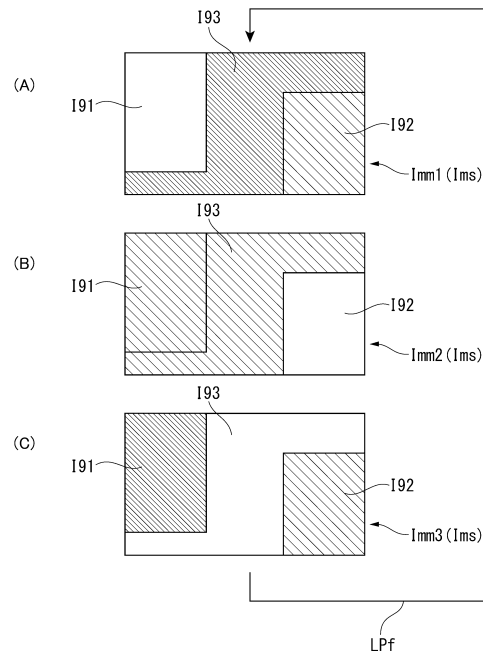
10

20

【図 17】



【図 18】

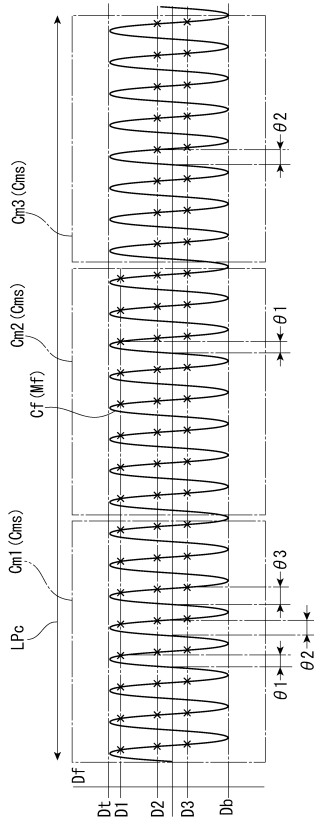


30

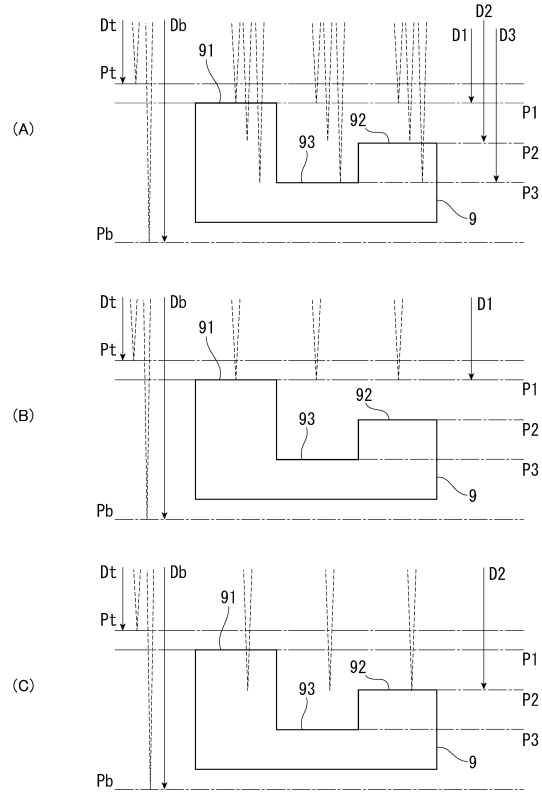
40

50

【図 19】



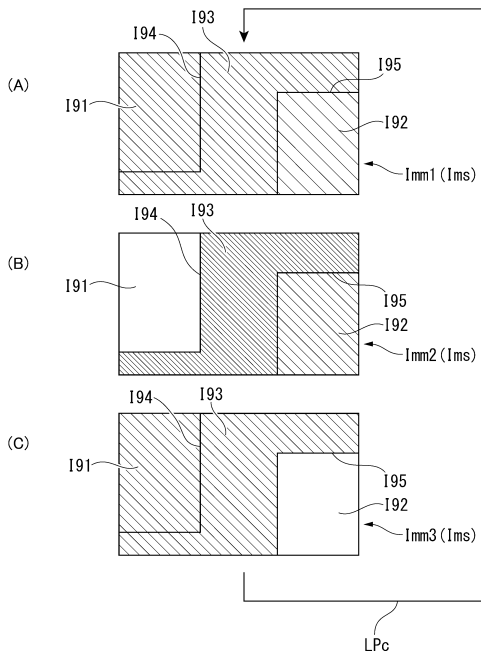
【図 20】



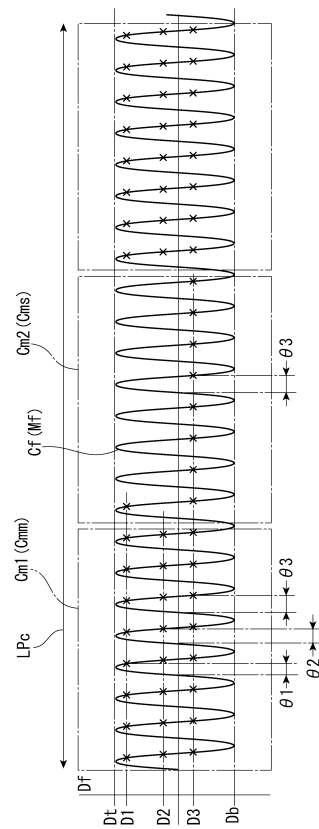
10

20

【図 21】



【図 22】

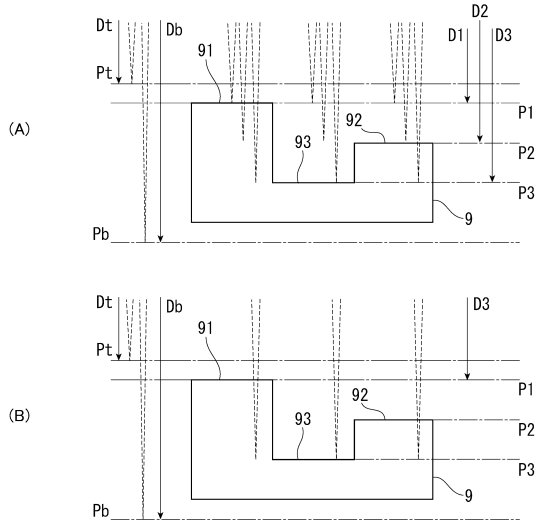


30

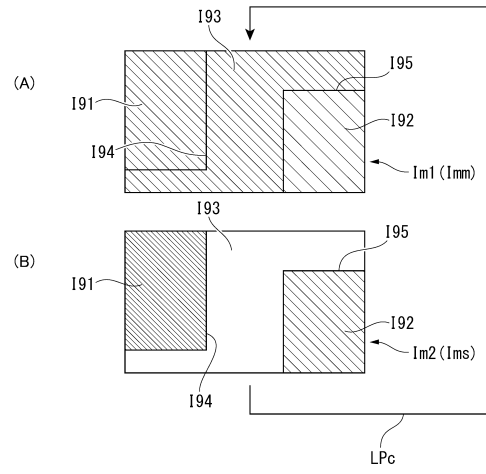
40

50

【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-298755(JP,A)  
米国特許出願公開第2017/0285319(US,A1)  
米国特許出願公開第2013/0035673(US,A1)  
独国特許出願公開第102004034956(DE,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G02B 3/14  
G02B 21/00  
G02B 21/36