

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6176498号  
(P6176498)

(45) 発行日 平成29年8月9日 (2017.8.9)

(24) 登録日 平成29年7月21日 (2017.7.21)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 F 1/34 (2006.01)	GO 1 F 1/34
FO 4 B 45/047 (2006.01)	FO 4 B 45/047 C
GO 1 F 1/00 (2006.01)	GO 1 F 1/00 Y
GO 1 F 15/06 (2006.01)	GO 1 F 1/00 T
GO 1 M 3/26 (2006.01)	GO 1 F 15/06

請求項の数 12 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2014-559908 (P2014-559908)	(73) 特許権者	508268713
(86) (22) 出願日	平成25年2月11日 (2013.2.11)		ケーシーアイ ライセンシング インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2015-511703 (P2015-511703A)		アメリカ合衆国 テキサス州 78265-9508, サンアントニオ, ビー. オー. ボックス 659508, リーガルデパートメントーインテレクチュアルプロパティ
(43) 公表日	平成27年4月20日 (2015.4.20)		イー
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/025613	(74) 代理人	110001302
(87) 国際公開番号	W02013/130255		特許業務法人北青山インターナショナル
(87) 国際公開日	平成25年9月6日 (2013.9.6)	(72) 発明者	ロック, クリストファー, ブライアン
審査請求日	平成28年1月14日 (2016.1.14)		イギリス ドーセット州 ビーエイチ9 3エスディー, ボーンマス, ポスワースミューズ 6
(31) 優先権主張番号	61/604, 927		
(32) 優先日	平成24年2月29日 (2012.2.29)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ディスクポンプシステムを用いて減圧して流量を測定するためのシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ディスクポンプシステムにおいて、  
第1のアクチュエータを有する第1のディスクポンプと、  
第2のアクチュエータを有する第2のディスクポンプと、  
既知の制限部を有する基板であって、前記第1のディスクポンプと前記第2のディスクポンプが前記既知の制限部によって流体連通している、基板と、  
前記第1のアクチュエータの変位を示す第1の反射光信号を受信して第1の変位信号をプロセッサに送信するように動作可能な第1の光受信機と、  
前記第2のアクチュエータの変位を示す第2の反射光信号を受信して第2の変位信号を前記プロセッサに送信するように動作可能な第2の光受信機と、を備え、  
前記プロセッサが、前記第1のディスクポンプ、前記第2のディスクポンプ、前記第1の光受信機、および前記第2の光受信機に接続され、かつ  
前記第1の変位信号の受信に応答して前記第1のディスクポンプの前後の第1の圧力差を決定し、  
前記第2の変位信号の受信に応答して前記第2のディスクポンプの前後の第2の圧力差を決定し、かつ  
前記第1の圧力差および前記第2の圧力差に基づいて前記ディスクポンプシステムの流体の流量を決定するように構成されていることを特徴とするディスクポンプシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のディスクポンプシステムにおいて、前記プロセッサが、前記ディスクポンプシステムの前記流体の流量に基づいて漏れが存在するか否かを決定するように動作可能であることを特徴とするディスクポンプシステム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のディスクポンプシステムにおいて、R F トランシーバをさらに備えることを特徴とするディスクポンプシステム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のディスクポンプシステムにおいて、第 1 の光送信機および第 2 の光送信機をさらに備え、

前記第 1 の光送信機が、第 1 の光信号を送信するように動作可能であり、かつ

前記第 2 の光送信機が、第 2 の光信号を送信するように動作可能であることを特徴とするディスクポンプシステム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のディスクポンプシステムにおいて、ドライバをさらに備え、

前記プロセッサが、第 1 の制御信号および第 2 の制御信号を前記ドライバに送信するように動作可能であり、

前記ドライバが、第 1 の駆動信号を前記第 1 のディスクポンプに送信し、かつ第 2 の駆動信号を前記第 2 のディスクポンプに送信するように動作可能であり、

前記第 1 の駆動信号により、前記第 1 のディスクポンプが、前記第 1 のディスクポンプを通る流体の流れを防止し、かつ前記第 1 の光受信機が、前記第 1 の変位信号を前記プロセッサに送信し、かつ

前記第 2 の駆動信号により、前記第 2 のディスクポンプが、前記第 2 のディスクポンプを通る流体の流れを供給し、かつ前記第 2 の光受信機が、前記第 2 の変位信号を前記プロセッサに送信することを特徴とするディスクポンプシステム。

【請求項 6】

ディスクポンプシステムを運転する方法において、

第 1 の駆動信号を第 1 のディスクポンプに送信するステップであって、前記第 1 のディスクポンプが第 1 のアクチュエータを有する、ステップと、

第 2 の駆動信号を第 2 のディスクポンプに送信するステップであって、前記第 2 のディスクポンプが第 2 のアクチュエータを有し、前記第 1 のディスクポンプと前記第 2 のディスクポンプが、開口を介して負荷部に流体連通し、かつ前記第 2 のディスクポンプが、既知の制限部を介して前記開口に流体連通している、ステップと、

前記第 2 のディスクポンプを使用して前記負荷部を減圧するステップと、

前記第 1 のアクチュエータの変位を示す第 1 の変位信号を受信するステップと、

前記第 2 のアクチュエータの変位を示す第 2 の変位信号を受信するステップと、

前記第 1 の変位信号の受信に応答して前記第 1 のディスクポンプの前後の第 1 の圧力差を決定するステップと、

前記第 2 の変位信号の受信に応答して前記第 2 のディスクポンプの前後の第 2 の圧力差を決定するステップと、

前記第 1 の圧力差および前記第 2 の圧力差に基づいて前記ディスクポンプシステムの流体の流量を決定するステップと、を含むことを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の方法において、前記ディスクポンプシステムの前記流体の流量、前記第 1 のディスクポンプの前後の前記圧力差、および前記第 2 のディスクポンプの前後の前記圧力差に基づいて漏れを検出するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法において、漏れの検出に応答して前記第 1 の駆動信号および前記第 2 の駆動信号を停止するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の方法において、漏れの検出に応答してアラーム信号を送信するステッ

10

20

30

40

50

プをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 0】

請求項 7 に記載の方法において、漏れの検出に応答して前記第 1 の駆動信号および前記第 2 の駆動信号を停止すると共にアラーム信号を送信するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 1】

請求項 7 に記載の方法において、漏れの検出に応答して診断プロセスを実行するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 2】

請求項 7 に記載の方法において、漏れの検出に応答して無線警告信号を送信するステップをさらに含むことを特徴とする方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、米国特許法第 1 1 9 条 ( e ) 項の下、参照により本明細書に組み入れられる、Locke らによって 2 0 1 2 年 2 月 2 9 日に出願された米国仮特許出願第 6 1 / 6 0 4 , 9 2 7 号 ( 名称 : 「ディスクポンプシステムを用いて減圧して流量を測定するためのシステムおよび方法 ( Systems and Methods for Supplying Reduced Pressure and Measuring Flow using a Disc Pump System ) 」 ) の利益を請求するものである。

20

【0002】

1 . 発明の分野

本発明の例示的な実施形態は、全体として、流体をポンピングするためのディスクポンプシステムに関し、より詳細には、既知の制限部によって流体連通した 2 つ以上のディスクポンプを有するディスクポンプシステムに関する。例示的な実施形態は、既知の制限部の各端部の圧力を測定して、ディスクポンプシステムによってポンピングされた流体の流量を決定するディスクポンプシステムに関連する。

【背景技術】

【0003】

30

2 . 関連技術の説明

閉じたキャビティ内での高振幅圧力振動の発生は、熱音響式圧縮機およびディスクポンプ型圧縮機の分野でかなり注目されてきた。非線形音響学の近年の進展により、これまで可能であると思われていた振幅よりも高い振幅の圧力波を発生させることができるようになった。

【0004】

音響共振を使用して、画定された入口および出口から流体をポンピングすることが知られている。これは、音響定常波を発生させる音響ドライバを一端に備えた円柱状キャビティを用いて達成することができる。このような円柱状キャビティでは、音響圧力波の振幅が制限される。断面が変化しているキャビティ、例えば、円錐型、角状円錐型、およびバルブ型のキャビティを使用して高振幅圧力信号が達成され、これにより、ポンピング効果が著しく高められる。このような高振幅波では、エネルギーが散逸する非線形機構が抑制されている。しかしながら、高振幅音響共振は、径方向圧力振動が励振されるディスク型キャビティでは、近年まで使用されていなかった。国際公開第 2 0 0 6 / 1 1 1 7 7 5 号として公開された国際出願 P C T / G B 2 0 0 6 / 0 0 1 4 8 7 に、アスペクト比、即ち、キャビティの半径と高さの比が高い実質的にディスク型のキャビティを備えたディスクポンプが開示されている。

40

【0005】

このようなディスクポンプは、端壁によって各端部が閉じられた側壁を備えた実質的に円柱状のキャビティを有する。ディスクポンプはまた、端壁の何れか 1 つを、この被駆動

50

端壁の表面に対して実質的に垂直な方向に振動させるアクチュエータも備えている。被駆動端壁の運動の空間プロファイルは、キャビティ内の流体の圧力振動の空間プロファイルに一致しているとして説明され、本明細書ではモードが一致しているとして記載される状態である。ディスクポンプが、モードが一致している場合、キャビティ内の流体に対してアクチュエータによって行われる仕事が、被駆動端壁表面全体に構造的に強まり、これにより、キャビティ内の圧力振動の振幅が増強され、ディスクポンプの効率が向上する。モードが一致したディスクポンプの効率は、被駆動端壁とディスク壁との間の境界面によって決まる。被駆動端壁の運動が減少も減衰もしないように境界面を構築し、これにより、キャビティ内の流体の圧力振動の振幅のいかなる減少も軽減することによって、このようなディスクポンプの効率を維持することが望ましい。

10

#### 【0006】

上記のディスクポンプのアクチュエータは、端壁に対して実質的に垂直な方向または円柱状キャビティの長手方向軸に対して実質的に平行な方向に被駆動端壁の振動運動（「変位振動」）を引き起こし、この振動運動は、本明細書では以降、キャビティ内の被駆動端壁の「軸方向振動」と呼ばれる。被駆動端壁の軸方向振動は、キャビティ内の流体の実質的に比例する「圧力振動」を発生させ、これにより、参照により本明細書に組み入れられる国際出願PCT/GB2006/001487に記載されているように第1種ベッセル関数の径方向圧力分布に近い径方向圧力分布が生じる。このような振動は、本明細書では以降、キャビティ内の流体圧力の「径方向振動」と呼ばれる。アクチュエータと側壁との間の被駆動端壁の部分が、ディスクポンプの側壁との境界面となり、この境界面が、変位振動の減衰を減少させて、キャビティ内の圧力振動のあらゆる減少を軽減する。このような境界面となる被駆動端壁の部分は、本明細書では以降、「アイソレータ」と呼ばれ、このアイソレータは、参照により本明細書に組み入れられる米国特許出願第12/477,594号により詳細に記載されている。アイソレータの例示的な実施形態は、変位振動の減衰を軽減するために被駆動端壁の周辺部分に機能的に結合されている。

20

#### 【0007】

このようなディスクポンプはまた、このディスクポンプを通る流体の流れを制御するための1つ以上の弁、より具体的には、高周波数で動作可能な弁を有する。従来の弁は、典型的には、様々な適用例において500Hz未満の低周波数で動作する。例えば、多くの従来の圧縮機は、典型的には、50または60Hzで動作する。当分野で公知の線形共振圧縮機は、150～350Hzで動作する。しかしながら、医療機器を含む多くの携帯型電子機器は、正圧にする、または真空にするためのディスクポンプを必要とする。ディスクポンプは、比較的小型であり、運転中に無音であるため不連続な運転が可能であるという利点を有する。これらの目的を達成するために、このようなディスクポンプは、非常に高い周波数で動作する必要がある、このため、約20kHz以上で動作可能な弁が必要となる。このような高周波数で動作するために、弁は、ディスクポンプを通る流体の正味の流量を得るために整流することができる高周波数の振動圧力に応答しなければならない。このような弁は、参照により本明細書に組み入れられる国際出願PCT/GB2009/050614に詳細に記載されている。

30

#### 【0008】

弁は、ディスクポンプを通る流体の流れを制御するために、第1の開口または第2の開口の何れか一方または両方の開口に配設することができる。各弁は、概ね垂直に貫通した開口を有する第1のプレートおよび同様に概ね垂直に貫通した開口を有する第2のプレートを備え、第2のプレートの開口は、第1のプレートの開口から実質的にずれている。弁は、第1のプレートと第2のプレートとの間に配設された側壁をさらに備え、この側壁は、第1および第2のプレートの周囲で閉じられて、第1および第2のプレートの開口に流体連通したキャビティを第1のプレートと第2のプレートとの間に形成している。弁は、第1のプレートと第2のプレートとの間に配置された移動可能なフラップをさらに備え、このフラップは、第1のプレートの開口からは実質的にずれているが、第2のプレートの開口とは実質的に整合している開口を有する。このフラップは、弁の前後の流体の差圧の

40

50

方向の変化に応答して、第 1 のプレートと第 2 のプレートとの間で移動する。

【発明の概要】

【0009】

例示的な実施形態によると、ディスクポンプシステムは、第 1 のアクチュエータを有する第 1 のディスクポンプ、および第 2 のアクチュエータを有する第 2 のディスクポンプを備えている。このディスクポンプシステムは、第 1 のディスクポンプと第 2 のディスクポンプを流体連通させる既知の制限部を有する基板、第 1 の光受信機、および第 2 の光受信機を備えている。第 1 の光受信機は、第 1 のアクチュエータの変位を示す第 1 の反射光信号を受信し、かつ第 1 の変位信号をプロセッサに送信するように動作可能である。第 2 の光受信機は、第 2 のアクチュエータの変位を示す第 2 の反射光信号を受信し、かつ第 2 の変位信号をプロセッサに送信するように動作可能である。プロセッサは、第 1 のディスクポンプ、第 2 のディスクポンプ、第 1 の光受信機、および第 2 の光受信機に接続されている。プロセッサは、第 1 の変位信号の受信に応答して第 1 のディスクポンプの前後の第 1 の圧力差を決定し、かつ第 2 の変位信号の受信に応答して第 2 のディスクポンプの前後の第 2 の圧力差を決定するように構成されている。プロセッサはまた、第 1 の圧力差および第 2 の圧力差に基づいてディスクポンプシステムの流体の流量を決定するように構成されている。

10

【0010】

別の例示的な実施形態によると、ディスクポンプシステムは、第 1 のアクチュエータを有する第 1 のディスクポンプ、第 2 のアクチュエータを有する第 2 のディスクポンプ、および既知の制限部を有する基板を備えている。第 1 のディスクポンプと第 2 のディスクポンプは、既知の制限部によって流体連通している。

20

【0011】

ディスクポンプシステムを運転する方法は、第 1 の駆動信号を第 1 のディスクポンプに送信するステップであって、この第 1 のディスクポンプが第 1 のアクチュエータを有する、ステップ、および第 2 の駆動信号を第 2 のディスクポンプに送信するステップであって、この第 2 のディスクポンプが第 2 のアクチュエータを有する、ステップを含む。第 1 のディスクポンプは、開口を介して負荷部に流体連通し、第 2 のディスクポンプは、既知の制限部を介して開口に流体連通している。この方法は、第 2 のディスクポンプを使用して負荷部を減圧するステップ、第 1 のアクチュエータの変位を示す第 1 の変位信号を受信するステップ、および第 2 のアクチュエータの変位を示す第 2 の変位信号を受信するステップを含む。この方法は、第 1 の変位信号の受信に応答して第 1 のディスクポンプの前後の第 1 の圧力差を決定するステップ、および第 2 の変位信号の受信に応答して第 2 のディスクポンプの前後の第 2 の圧力差を決定するステップをさらに含む。加えて、この方法は、第 1 の圧力差および第 2 の圧力差に基づいてディスクポンプシステムの流体の流量を決定するステップを含む。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1 A】図 1 A は、制限通路に流体連通した 2 つのディスクポンプを有するディスクポンプシステムの断面図である。

40

【図 1 B】図 1 B は、図 1 A のディスクポンプシステムの略上面図である。

【図 2 A】図 2 A は、例示的な一実施形態による、静止位置で示されているアクチュエータを有する第 1 のディスクポンプの断面図である。

【図 2 B】図 2 B は、例示的な一実施形態による、付勢位置にあるアクチュエータを示している図 2 A の第 1 のディスクポンプの断面図である。

【図 3 A】図 3 A は、図 2 A の第 1 のディスクポンプのアクチュエータの基本曲げモードの軸方向変位振動のグラフを示している。

【図 3 B】図 3 B は、図 3 A に示されている曲げモードに応じた図 2 A の第 1 のディスクポンプのキャビティ内の流体の圧力振動のグラフを示している。

【図 4】図 4 は、例示的な一実施形態による、第 1 のディスクポンプのアクチュエータの

50

変位を測定するための第 1 のセンサの詳細図である。

【図 4 A】図 4 A は、静止位置および付勢位置にあるときのアクチュエータの位置を示す第 1 のセンサの例示的な受信機の略図である。

【図 5 A】図 5 A は、2 つの弁が図 7 A ~ 図 7 D に例示されている単一弁で表されている図 2 A の第 1 のディスクポンプの断面図である。

【図 5 B】図 5 B は、図 7 A ~ 図 7 D の弁の中心部分の断面図である。

【図 6】図 6 は、破線で示されている図 5 B の弁の前後に生じる圧力差を例示する、図 5 A に示されている第 1 のディスクポンプのキャビティ内の流体の圧力振動のグラフを示している。

【図 7 A】図 7 A は、閉位置にある弁の例示的な一実施形態の断面図である。

【図 7 B】図 7 B は、図 7 D の線 7 B - 7 B に沿った図 7 A の弁の詳細な断面図である。

【図 7 C】図 7 C は、図 7 A の弁の斜視図である。

【図 7 D】図 7 D は、図 7 B の弁の上面図である。

【図 8 A】図 8 A は、流体が弁を通るときの開位置にある図 7 A の弁の断面図を示している。

【図 8 B】図 8 B は、開位置と閉位置との間の移行中の図 7 A の弁の断面図を示している。

【図 8 C】図 8 C は、流体の流れが弁フラップによって遮断されているときの閉位置にある図 7 B の弁の断面図を示している。

【図 9 A】図 9 A は、例示的な一実施形態による、図 7 A の弁の前後に生じる振動差圧の圧力グラフを示している。

【図 9 B】図 9 B は、開位置と閉位置との間の図 7 A の弁の動作周期の流量のグラフを示している。

【図 10 A】図 10 A は、弁の中心部分の図、およびキャビティ内で生じる振動圧力波の正の部分のグラフを含む、図 2 A のディスクポンプの断面図を示している。

【図 10 B】図 10 B は、弁の中心部分の図、およびキャビティ内で生じる振動圧力波の負の部分のグラフを含む、図 2 A のディスクポンプの断面図を示している。

【図 11】図 11 は、ディスクポンプの弁の開閉状態を示している。

【図 11 A】図 11 A は、ディスクポンプが自由流動モードにあるときに生じる流れを示している。

【図 11 B】図 11 B は、ディスクポンプが自由流動モードにあるときに生じる圧力特性を示している。

【図 12】図 12 は、ディスクポンプシステムが機能停止状態 (stall condition) に達したときにディスクポンプによって生じる最大差圧のグラフを示している。

【図 13】図 13 は、ディスクポンプシステムによって生じる減圧を測定および制御するためのディスクポンプシステムの例示的な回路のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

いくつかの例示的な実施形態の以下の詳細な説明では、この詳細な説明の一部を構成する添付の図面を参照する。例示として、添付の図面は、本発明を実施することができる特定の好ましい実施形態を示している。これらの実施形態は、当業者が本発明を実施できるように十分に詳細に説明されており、他の実施形態を利用できること、ならびに本発明の概念または範囲から逸脱することなく論理構造の変更、機械的な変更、電気的な変更、および化学的な変更を行うことができることを理解されたい。本明細書に記載される実施形態を当業者が実施する上で必要ではない詳細を回避するために、本説明は、当業者に公知の特定の情報を除外することがある。従って、以下の詳細な説明は、限定の意味に解釈されるべきではなく、例示的な実施形態の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

【0014】

図 1 A は、複数のディスクポンプを有するディスクポンプシステム 100 を示している。複数のディスクポンプは、少なくとも第 1 のディスクポンプ 10 および第 2 のディスクポンプ 80 を備え、これらのディスクポンプはそれぞれ、負荷部 38 に正圧または負圧を加えて負荷部 38 を加圧または減圧するように動作可能である。図 1 A の例示的な実施形態では、ディスクポンプは、共通の基板 28、例えば、プリント回路基板に取り付けられている。基板 28 は、開口 17 を介して負荷部 38 にディスクポンプ 10、80 を流体連通させるマニホールド 52 に取り付けられている。ディスクポンプ 10 は、開口 17 に流体連通し、一方、ディスクポンプ 80 は、マニホールド 52 と基板 28 との間の通路、例えば、制限部 50 を介して開口 17 に流体連通している。制限部 50 は、導管、流体通路、または既知の寸法を有する同様の構造とすることができ、ディスクポンプ 80 と開口 17 との間の流体の流れを保持する。従って、制限部 50 は、既知の制限部である。一実施形態では、制限部 50 は、既知の寸法の円柱チャンバである。円柱チャンバは、制限部 50 の通路を長くし、かつディスクポンプシステム 100 に課せられ得るサイズの制限を満たすよう、図 1 B に示されているような遠回り経路に従うように構成することができる。

#### 【0015】

ディスクポンプ 10、80 はそれぞれ、制限部 50 の各端部における各ディスクポンプ 10、80 に関連した圧力を測定するためにセンサ 238 を備えている。ディスクポンプ 10 で測定された圧力とディスクポンプ 80 で測定された圧力との間の差は、制限部の前後の圧力差または圧力降下を示す。制限部 50 の前後の圧力差を測定して、開口 17 を介して負荷部 38 に対して流入または流出する空気流を測定することができる。開口 17 を通る空気流を決定することができることにより、圧力の大きさが負荷部 38 で上昇または低下するときに負荷部 38 を加圧または減圧するための流体力学特性の制御が容易になる。この流量測定データを使用して、負荷部 38 における漏れを検出する、または漏れの位置を求めて、使用データを修正することができる。

#### 【0016】

ディスクポンプ 10、80 はそれぞれ、負荷部 38 を加圧または減圧するために所定の性能特性を有するように設計することができる。例えば、第 2 のディスクポンプ 80 は、負荷部 38 が周囲圧力であるときに制限部 50 を介して開口 17 により多くの空気流を送達するように設計することができ、一方、第 1 のディスクポンプ 10 は、より大きい圧力差であるが、比較的少ない空気流を負荷部 38 に送達するように設計することができる。従って、2 つのディスクポンプ 10、80 は、システムとして機能して負荷部 38 を加圧または減圧するための流体力学特性を最適化することができる。ディスクポンプ 10、80 の機能は、所望の性能特性によっては逆にすることもできる。つまり、ディスクポンプ 10、80 の動作をさらに説明する必要があり、これらのディスクポンプ 10、80 は、それらの動作特性を制御する弁の特定の特徴を除いて実質的に類似している。従って、ディスクポンプ 10 は、弁の特徴を示すために詳細に説明され、ディスクポンプ 10、80 の何れか一方の様々な流量特性および圧力特性を達成するためにこの特徴を変更することができる。

#### 【0017】

図 2 A ~ 図 12 に例示されているディスクポンプ 10 の特徴の機能を説明することを目的として、負荷部 38 に対する空気流の流入または流出がディスクポンプ 10 のみによって行われるように、第 2 のディスクポンプ 80 がオフ状態であると見なす。図 2 A では、ディスクポンプ 10 は、端部プレート 12、13 によって各端部で閉じられた円筒壁 11 を含む実質的に楕円形を有するディスクポンプ本体を備えている。円筒壁 11 を基板 28 に取り付け、端部プレート 13 を形成することができる。基板 28 は、プリント回路基板または別の適切な材料とすることができる。ディスクポンプ 10 は、円筒壁 11 に固定された環状型のアイソレータ 30 によってディスクポンプ 10 内に支持された一対のディスク型内部プレート 14、15 をさらに備えている。円筒壁 11、端部プレート 12、内部プレート 14、およびアイソレータ 30 の内面は、ディスクポンプ 10 内にキャビティ 16 を形成している。キャビティ 16 の内面は、端壁 20、22 によって両端部で閉じら

10

20

30

40

50

れた円筒壁 11 の内面の第 1 の部分である側壁 18 を備え、端壁 20 は、端部プレート 12 の内面であり、端壁 22 は、内部プレート 14 の内面およびアイソレータ 30 の第 1 の面を含む。従って、端壁 22 は、内部プレート 14 の内面に対応する中心部分、およびアイソレータ 30 の内面に対応する周辺部を含む。ディスクポンプ 10 およびその構成要素は、実質的に楕円形の形状であるが、本明細書に開示される特定の実施形態は、環状の楕円形である。

#### 【0018】

円筒壁 11 および端部プレート 12、13 は、ディスクポンプ本体または別個の構成要素を含む単一構成要素としても良い。図 2A に示されているように、端部プレート 13 は、上面にディスクポンプ 10 が取り付けられたプリント回路基板、組立基板、またはプリントワイヤアセンブリ (printed wire assembly) (PWA) とすることができる基板 28 によって形成することができる。キャビティ 16 は、実質的に円形であるが、より一般的には楕円形である。図 2A に示されている実施形態では、キャビティ 16 を画定している端壁 20 は、概ね切頭円錐として示されている。別の実施形態では、キャビティ 16 の内面を画定している端壁 20 は、以下に説明されるアクチュエータ 40 に平行な概ね平面の表面を有し得る。切頭円錐表面を有するディスクポンプは、参照により本明細書に組み入れられる国際公開第 2006/111775 号により詳細に記載されている。ディスクポンプ本体の端部プレート 12、13 および円筒壁 11 は、限定されるものではないが、金属、セラミック、ガラス、または射出成型プラスチックに限定されないプラスチックを含む任意の適切な硬質材料から形成することができる。

#### 【0019】

ディスクポンプ 10 の内部プレート 14 と 15 は共に、端壁 22 の中心部分に動作可能に結合されたアクチュエータ 40 を形成し、このアクチュエータは、キャビティ 16 の内面を形成している。内部プレート 14、15 の一方は、送られる電気信号に応答して歪を生じる任意の電氣的に活性な材料、例えば、電歪材料または磁歪材料などを含み得る圧電材料から形成しなければならない。好ましい一実施形態では、例えば、内部プレート 15 は、送られる電気信号に応答して歪を生じる圧電材料から形成される、即ち、活性内部プレートである。内部プレート 14、15 の他方は、好ましくは、活性内部プレートと同様の曲げ剛性を有し、圧電材料または電氣的に不活性な材料、例えば、金属またはセラミックから形成することができる。この実施形態では、内部プレート 14 は、活性内部プレート 15 と同様の曲げ剛性を有し、電氣的に不活性な材料、例えば、金属またはセラミックから形成される、即ち、不活性内部プレートである。活性内部プレート 15 が電流によって励起されると、この活性内部プレート 15 は、キャビティ 16 の長手方向軸に対して径方向に拡張および収縮し、内部プレート 14、15 を曲げ、これにより、端壁 22 に対して実質的に垂直な方向において端壁 22 が軸方向に撓む (図 3A を参照)。

#### 【0020】

図示されていない他の実施形態では、アイソレータ 30 は、ディスクポンプ 10 の特定の設計および向きによって上面または底面から、活性内部プレート 15 または不活性内部プレート 14 にかかわらず、内部プレート 14、15 の何れか一方を支持することができる。別の実施形態では、アクチュエータ 40 は、内部プレート 14、15 の一方のみに力を伝達する関係にある装置、例えば、機械装置、磁気装置、または静電装置で置き換えても良く、選択される内部プレート 14、15 は、上記の方式で振動させられる電氣的に不活性な材料または不動態層の材料として形成することができる。

#### 【0021】

ディスクポンプ 10 は、キャビティ 16 からディスクポンプ 10 の外部まで延びた少なくとも 1 つの開口をさらに備え、この少なくとも 1 つの開口は、この開口を通る流体の流れを制御する弁を備えている。この開口は、アクチュエータ 40 が圧力差を生じさせるキャビティ 16 の任意の位置に配設することができる。図 2A ~ 図 2B に示されているディスクポンプ 10 の実施形態は、端部プレート 12 のほぼ中心に位置し、この端部プレートを貫通している開口 27 を備えている。開口 27 は、少なくとも 1 つの端部弁 29 を備え



、この端部弁 29 は、ディスクポンプ 10 の出口弁として機能するように、矢印で示されている一方向において流体の流れを制御する。

【0022】

ディスクポンプ 10 は、アクチュエータ 40 を貫通する少なくとも 1 つの開口をさらに備え、この少なくとも 1 つの開口は、この開口を通る流体の流れを制御する弁を備えている。この開口は、アクチュエータ 40 が圧力差を生じさせるアクチュエータ 40 の任意の位置に配設することができる。しかしながら、図 2 A ~ 図 2 B に示されているディスクポンプ 10 の例示的な実施形態は、内部プレート 14、15 のほぼ中心に位置し、この内部プレートを貫通しているアクチュエータ開口 31 を備えている。アクチュエータ開口 31 は、アクチュエータ弁 32 を備え、このアクチュエータ弁 32 は、キャビティ 16 の入口弁として機能するように、矢印で示されているキャビティ 16 への一方向において流体の流れを制御する。アクチュエータ弁 32 は、以下により詳細に説明されるように、キャビティ 16 への流体の流れを増加させて端部弁 29 の動作を補うことによってディスクポンプ 10 の出力を高める。

【0023】

本明細書で説明されるキャビティ 16 の寸法は、好ましくは、キャビティ 16 および側壁 18 の高さ (h) と、キャビティ 16 の長手方向軸から側壁 18 までの距離であるキャビティ 16 の半径 (r) との関係についての特定の不等式を満たす必要がある。これらの式は以下の通りである：

$r/h > 1.2$  ; および  
 $h^2/r > 4 \times 10^{-10}$  メートル。

【0024】

一実施形態では、キャビティの半径とキャビティの高さの比 (r/h) は、キャビティ 16 内の流体が気体である場合は約 10 ~ 約 50 である。この例では、キャビティ 16 の容積は、約 10 ml 未満とすることができる。加えて、 $h^2/r$  の比は、作動流体が液体ではなく気体である場合は、好ましくは、約  $10^{-6}$  ~ 約  $10^{-7}$  メートルの範囲内である。

【0025】

加えて、本明細書に開示されるキャビティ 16 は、好ましくは、キャビティの半径 (r) および動作周波数 (f) に関する以下の不等式を満たす必要があり、この動作周波数 (f) は、アクチュエータ 40 が振動して端壁 22 に軸方向変位を生じさせる周波数である。不等式は以下の通りである：

$$\frac{k_0(c_s)}{2\pi f} \leq r \leq \frac{k_0(c_f)}{2\pi f}$$

[式1]

式中、キャビティ 16 内の作動流体中の音速 (c) は、上記の式で表されるように約 115 m/秒の低速 ( $c_s$ ) ~ 約 1,970 m/秒に等しい高速 ( $c_f$ ) の範囲とすることができ、 $k_0$  は定数である ( $k_0 = 3.83$ )。アクチュエータ 40 の振動運動の周波数は、好ましくは、キャビティ 16 の径方向圧力振動の最低共振周波数にほぼ等しいが、その値の 20% 以内であっても良い。キャビティ 16 内の径方向圧力振動の最低共振周波数は、好ましくは、約 500 Hz よりも高い。

【0026】

明細書に開示されるキャビティ 16 は、好ましくは、上記の不等式を個々に満たすべきであるが、キャビティ 16 の相対寸法は、同じ高さおよび半径を有するキャビティに限定されるべきものではない。例えば、キャビティ 16 は、所望の様式で共振してディスクポンプ 10 から最適な出力が得られるように、異なる周波数応答を生じさせる、異なる半径または高さを必要とする僅かに異なる形状を有しても良い。

【0027】

運転中、ディスクポンプ 10 は、負荷部 38 を加圧するために負荷部 38 が端部弁 29 に隣接して配置される場合は正圧源として機能することができる、または、矢印によって例示されているように、負荷部 38 を減圧するために負荷部 38 がアクチュエータ入口弁 32 に隣接して配置される場合は負圧源もしくは減圧源としてすることができる。例えば、負荷部は、治療のために負圧を利用する組織治療システムとすることができる。本明細書で使用される「減圧」という語は、一般に、ディスクポンプ 10 が配置されている周囲圧力よりも低い圧力を指す。「真空」および「負圧」という語は、減圧を表すために使用することもできるが、実際の減圧は、完全な真空に通常関連する減圧よりも大幅に弱い。圧力は、ゲージ圧という意味では「負」である、即ち、圧力は、周囲大気圧よりも低く減圧される。特段の記載がない限り、本明細書で述べられる圧力の値は、ゲージ圧である。減圧の増大とは、典型的には絶対圧の低下を指し、一方、減圧の低下は、典型的には絶対圧の上昇を指す。

10

#### 【0028】

上述のように、ディスクポンプ 10 は、少なくとも 1 つのアクチュエータ弁 32 および少なくとも 1 つの端部弁 29 を備えている。別の実施形態では、ディスクポンプ 10 は、アクチュエータ 40 の各側に端部弁 29 を有する 2 つのキャピティディスクポンプを備えることができる。

#### 【0029】

図 3 A は、キャピティ 16 の被駆動端壁 22 の軸方向振動を例示する、1 つの起こり得る変位プロファイルを示している。実線の曲線および矢印は、一時点での被駆動端壁 22 の変位を示し、破線の曲線は、半周期遅い被駆動端壁 22 の変位を示している。この図および他の図に示されている変位は誇張されている。アクチュエータ 40 は、アイソレータ 30 によって懸架され、固着されていないため、アクチュエータ 40 は、その基本モードではその質量中心を中心に自由に振動する。この基本モードでは、アクチュエータ 40 の変位振動の振幅は、被駆動端壁 22 の中心と側壁 18 との間に位置する環状の変位節 42 で実質的にゼロである。端壁 22 の他の点での変位振動の振幅は、垂直の矢印で示されているようにゼロよりも大きい。中心変位波腹 43 がアクチュエータ 40 のほぼ中心に存在し、周辺の変位波腹 43' がアクチュエータ 40 の周辺部に存在する。半周期後の中心変位波腹 43 が、破線曲線によって示されている。

20

#### 【0030】

図 3 B は、図 3 A に示されている軸方向変位振動から生じるキャピティ 16 内の圧力振動を例示する、1 つの起こり得る圧力振動プロファイルを示している。実線の曲線および矢印は、一時点での圧力を示している。このモードおよびより高次のモードでは、圧力振動の振幅は、キャピティ 16 の側壁 18 の近傍に周辺波腹 45' を有する。圧力振動の振幅は、中心波腹 45 と周辺波腹 45' との間の環状波節 44 で実質的にゼロである。同時に、破線で示されている圧力振動の振幅は、周辺波腹 47' および同じ環状波節 44 と共に、キャピティ 16 のほぼ中心に負の中心波腹 47 を有する。楕円形キャピティでは、キャピティ 16 内の圧力振動の振幅の径方向依存性は、第 1 種ベッセル関数によって近似することができる。上記の圧力振動は、キャピティ 16 における流体の径方向の運動によって生じるため、アクチュエータ 40 の軸方向変位振動と区別されるように、キャピティ 16 内の流体の「径方向圧力振動」と呼ぶことにする。

30

40

#### 【0031】

図 3 A および図 3 B をさらに参照すると、アクチュエータ 40 の軸方向変位振動の振幅の径方向依存性（アクチュエータ 40 の「モード形」）は、第 1 種ベッセル関数を近似して、キャピティ 16 における所望の圧力振動の振幅の径方向依存性（圧力振動の「モード形」）により厳密に一致させるべきであることが分かる。アクチュエータ 40 をその周囲で固着しないで、このアクチュエータ 40 がその質量中心を中心に自由振動できるようにすることにより、変位振動のモード形は、キャピティ 16 内の圧力振動のモード形に実質的に一致し、従って、モード形の一致またはより単純にモードの一致が達成される。モードの一致は、これに関して常に完全でなくても良いが、アクチュエータ 40 の軸方

50

向変位振動およびキャビティ 16 における対応する圧力振動は、アクチュエータ 40 の全表面に亘って実質的に同じ相対位相を有する。この実施形態では、キャビティ 16 内の圧力振動の環状波節 44 の径方向位置、およびアクチュエータ 40 の軸方向変位振動の環状変位節 42 の径方向位置は、実質的に一致する。

#### 【0032】

アクチュエータ 40 がその質量中心を中心に振動するため、環状変位節 42 の径方向位置は、図 3 A に例示されているようにアクチュエータ 40 がその基本の曲げモードで振動するときは、アクチュエータ 40 の半径の内側に必ず位置する。従って、環状変位節 42 が環状波節 44 と一致するようにするために、アクチュエータの半径 ( $r_{act}$ ) は、好ましくは、環状波節 44 の半径よりも大きくしてモードの一致を最適にするべきである。再び、キャビティ 16 内の圧力振動が第 1 種ベッセル関数を近似すると仮定すると、環状波節 44 の半径は、図 2 A に示されているように、端壁 22 の中心から側壁 18 までの半径、すなわち、キャビティ 16 の半径 ( $r$ ) の約 0.63 となる。従って、アクチュエータ 40 の半径 ( $r_{act}$ ) は、好ましくは、不等式:  $r_{act} > 0.63 r$  を満たすべきである。

#### 【0033】

アイソレータ 30 は、可撓性膜とすることができ、これにより、図 3 A の周辺変位波腹 43' における変位によって示されるアクチュエータ 40 の振動に応答した曲げおよび伸張によって、上記のように、アクチュエータ 40 の縁がより自由に動くことができる。アイソレータ 30 は、アクチュエータ 40 とディスクポンプ 10 の円筒壁 11 との間に低機械インピーダンス支持部を形成することによって、アクチュエータ 40 に対する側壁 18 の潜在的な減衰の影響を軽減し、これにより、アクチュエータ 40 の周辺変位波腹 43' における軸方向振動の減衰が低減する。本質的に、アイソレータ 30 は、このアイソレータ 30 の外周縁が実質的に静止したままで、アクチュエータ 40 から側壁 18 に伝達されるエネルギーを最小限にする。結果として、環状変位節 42 は、環状波節 44 と実質的に整合した状態を維持し、これにより、ディスクポンプ 10 のモードの一致の条件が維持される。従って、被駆動端壁 22 の軸方向変位振動は、図 3 B に示されているように、中心波腹 45、47 から側壁 18 における周辺波腹 45'、47' へのキャビティ 16 内での圧力振動を効率的に発生させ続ける。

#### 【0034】

図 4 は、アクチュエータ 40 に面して、ディスクポンプ 10 のアクチュエータ 40 の変位を測定するように、回路基板とすることができる基板 28 に取り付けられたセンサ 238 を示している。センサ 238 は、光センサと呼ばれることもあり、アクチュエータ 40 の変位 ( $y$ ) の測定に使用される光送信機 240 および光受信機 242 を備えている。変位を測定するために、光送信機 240 は、可視スペクトルまたは非可視スペクトルの光波とすることができる光信号 244 を送信する。光信号 244 は、アクチュエータ 40 の内部プレート 15 の表面で反射されて、図 4 A に示されているように、アクチュエータ 40 の変位 ( $y$ ) にかかわらず、反射信号が光受信機 242 によって受信される。アクチュエータ 40 が休止位置 34 にあると、第 1 の反射信号 246 が、図 4 および図 4 A の両方に示されている位置で光受信機 242 に衝突する。アクチュエータ 40 が休止位置 34 から付勢位置 36 に変位すると、第 1 の反射信号 246 が、アクチュエータ 40 の変位 ( $y$ ) によって、第 2 の反射信号 248 として対応する反射変位 ( $x$ ) 分、変位する。本質的に、光受信機 242 に衝突する反射信号の像は、図 4 A に示されているように、休止位置 34 から十分に付勢された位置 36 までの経路に従う。

#### 【0035】

反射変位 ( $x$ ) は、ディスクポンプ 10 によって加えられる圧力に依存するアクチュエータ 40 の変位 ( $y$ ) に比例する。より詳細には、環状波節 44 におけるアクチュエータ 40 の変位 ( $y$ ) は、アクチュエータ 40 の両側の圧力差に依存する。アクチュエータ 40 のこの圧力関連変位 ( $y$ ) は、ディスクポンプ 10 が負荷部 38 を加圧する (または減圧する) ときに徐々に変化する準静的変位と見なすことができる。従って、変位

( $y$ )または( $x$ )を測定し、その値を使用して、アクチュエータ40の圧力関連変位( $y$ )とアクチュエータ40の前後の圧力差(およびディスクポンプ10によって加えられる対応する圧力)との間の相関性を確立することによってアクチュエータ40の前後の圧力差を計算することができる。

#### 【0036】

一実施形態では、光送信機240は、レーザー、発光ダイオード(LED)、垂直キャビティ表面発光レーザー(VCSL)、または他の発光素子とすることができる。光送信機240は、第1の反射信号246および第2の反射信号248が光受信機242によって受信されて測定される限り、アクチュエータ40の内部プレート15のどの点でも光信号244を反射するように、基板28に配置して向きを合わせることができる。すでに説明され、図2Aに示されているように、アクチュエータ40が基本モードで振動して空気流が発生すると、アクチュエータ40の変位振動の振幅が、どの環状変位節42でも実質的にゼロとなり得る。これに応じて、アクチュエータ40に沿った他の点での変位振動の振幅は、同様に上記のようにゼロよりも大きい。従って、光信号244が環状変位節42の近傍で反射されるように光送信機240を配置して向きを合わせる必要があり、これにより、アクチュエータ40の高周波数振動の影響が最小限になり、アクチュエータ40が休止位置34から付勢位置36までより緩慢に移動するため、アクチュエータ40の変位( $y$ )をより正確に測定することができる。

#### 【0037】

一実施形態では、光受信機242は、センサアレイを形成する多数の画素を備えることができる。光受信機242は、1つ以上の波長の1つ以上の反射ビームの位置を検出するように構成することができる。結果として、光受信機242は、第1の反射信号246と第2の反射信号248との間の反射変位( $x$ )を検出するように構成することができる。光受信機242は、光受信機242によって検出された反射信号246および248を、光受信機242の各画素によって電気信号に変換するように構成することができる。反射変位( $x$ )は、リアルタイムで測定または計算しても良いし、または指定サンプリング周波数を利用して、基板28に対するアクチュエータ40の位置を決定しても良い。一実施形態では、アクチュエータ40の位置は、所与の期間に対する平均または中間位置として計算される。光受信機242の画素は、アクチュエータ40の比較的小さい変位( $y$ )を検出するためにさらに感度が上がるサイズにして、ディスクポンプ10によって加えられる圧力の監視を強めて、ディスクポンプ10をリアルタイムで制御することができる。

#### 【0038】

アクチュエータ40の変位を計算する代替の方法を、上記の原理に従って利用することができる。アクチュエータ40の変位の決定は、ディスクポンプ10内の任意の他の固定要素に対して行うことができることを理解されたい。反射変位( $x$ )は、概ね比例するが、アクチュエータ40の変位( $y$ )にスケール係数を乗じた値に等しくても良く、このスケール係数は、ディスクポンプ10の構成または他のアライメント因子に基づいて予め決定することができる。結果として、ディスクポンプ10のキャビティ16内の減圧を、負荷部に加えられる圧力を直接測定するセンサがなくても、アクチュエータ40の変位( $y$ )を検出することによって決定することができる。これは、圧力を直接測定する圧力センサが、例えば、減圧システム内のディスクポンプ10によって加えられる圧力を測定する適用例では大きすぎる、または高価すぎることもあるため、望ましいであろう。例示的な実施形態は、ディスクポンプ10のキャビティ16内で生じる圧力振動を妨げずに、ディスクポンプ10内の空間の利用を最適化する。

#### 【0039】

図5Aでは、図1Aのディスクポンプ10は、弁29、32を備えて示されており、これらの弁は共に、構造が実質的に同様であり、例えば、図7A~図7Dに示されている弁110によって表され、図5Bに示されている中心部分111を有する。図5A~図9Bに関連した以下の説明は全て、ディスクポンプ10の開口27、31の何れか一方に配置

することができる単一弁１１０の機能に基づいている。図６は、ディスクポンプ１０内の流体の圧力振動のグラフを示し、かつ弁１１０が、図３Ｂに示されている中心波腹４５の近傍に位置することを示している。弁１１０は、図５Ｂに示されているように一方向のみへの流体の流れを可能にする。弁１１０は、逆止め弁、または一方向のみへの流体の流れを可能にする任意の他の弁とすることができる。一部の種類の弁は、開位置と閉位置との間で切り替えることによって流体の流れを制御することができる。このような弁が、アクチュエータ４０によって生じる高周波数で動作するために、弁２９、３２は、圧力変動の時間スケールよりも大幅に短い時間スケールで開閉することができるように、極端に速い応答時間を有する必要がある。弁２９、３２の一実施形態は、例示的な軽量フラップ弁を利用することによってこれを達成し、このような計量フラップ弁は、慣性が小さく、結果として、弁の構造の前後の相対圧力の変動にตอบสนองして迅速に移動することができる。

10

#### 【００４０】

図５Ｂおよび図７Ａ～図７Ｄを参照すると、弁１１０はフラップ弁である。弁１１０は、実質的に円筒の壁１１２を備え、この壁１１２は、輪状であり、一端が保持プレート１１４によって閉じられ、他端が密封プレート１１６によって閉じられている。壁１１２、保持プレート１１４、および密封プレート１１６の内面は、弁１１０の中にキャビティ１１５を形成している。弁１１０は、保持プレート１１４と密封プレート１１６との間に配設されているが密封プレート１１６に隣接した実質的に円形の弁フラップ１１７をさらに備えている。円形弁フラップ１１７は、別の実施形態では、保持プレート１１４に隣接して配設しても良く、この意味で、弁フラップ１１７は、密封プレート１１６または保持プレート１１４の何れか一方に対して「付勢されている」と見なされる。弁フラップ１１７の周辺部分は、密封プレート１１６と壁１１２との間に挟まれているため、弁フラップ１１７の移動は、この弁フラップ１１７の表面に対して実質的に垂直な平面に制限される。このような平面での弁フラップ１１７の移動は、密封プレート１１６もしくは壁１１２の何れかに直接取り付けられる弁フラップ１１７の周辺部分によって、または壁１１２内で密着している弁フラップ１１７によっても制限され得る。弁フラップ１１７の残りの部分は、十分に可撓性であり、かつ弁フラップ１１７の表面に対して実質的に垂直な方向に移動可能であり、これにより、弁フラップ１１７の何れかの表面に加えられる力が、密封プレート１１６と保持プレート１１４との間で弁フラップ１１７を移動させる。

20

#### 【００４１】

保持プレート１１４および密封プレート１１６はそれぞれ、各プレートを貫通する孔１１８および１２０を有する。弁フラップ１１７も、孔１２２を備え、この孔は、保持プレート１１４の孔１１８に概ね整合し、これにより、図５Ｂおよび図８Ａの破線の矢印１２４によって示されているように流体が流れ得る通路が画定される。弁フラップ１１７の孔１２２も、保持プレート１１４の孔１１８に部分的に整合し得る、即ち、単に部分的な重複を有し得る。孔１１８、１２０、１２２は、実質的に均一のサイズおよび形状で示されているが、これらの孔は、本発明の範囲から逸脱することなく、異なる直径であっても良く、さらには異なる形状であっても良い。本発明の一実施形態では、孔１１８および１２０は、図７Ｄにそれぞれ実線の円および破線の円によって示されているプレートの表面全体に交互パターンを形成している。他の実施形態では、孔１１８、１２０、１２２は、破線の矢印１２４の個々の組によって例示されている孔１１８、１２０、１２２の個々の対の機能に対する弁１１０の動作に影響を与えずに、様々なパターンで配置することができる。孔１１８、１２０、１２２のパターンは、必要に応じて、弁１１０を通る流体の総流量を制御するために孔の数を増加または減少させるように設計することができる。例えば、孔１１８、１２０、１２２の数を増加して弁１１０の流れ抵抗を減少させて、弁１１０の総流量を増加させることができる。

30

40

#### 【００４２】

図８Ａ～図８Ｃも参照すると、弁１１０の中心部分１１１は、弁フラップ１１７の何れかの表面に圧力が加えられたときに、弁フラップ１１７が、密封プレート１１６と保持プレート１１４との間でどのように移動するかを例示している。弁フラップ１１７の付勢を

50

上回る力が弁フラップ 117 のいずれの表面にも加えられていないときは、弁フラップ 117 が密封プレート 116 に隣接して位置して、フラップの孔 122 が密封プレート 116 の孔 118 とオフセットまたは整合していないため、弁 110 は、「通常の閉」位置にある。この「通常の閉」位置では、密封プレート 116 を通る流体の流れは、図 7 A および図 7 B に示されている弁フラップ 117 の非穿孔部分によって実質的に遮断または閉塞される。図 5 B および図 8 A に示されているように、弁フラップ 117 の付勢を上回る圧力が弁フラップ 117 の両側に加えられて、弁フラップ 117 が密封プレート 116 から保持プレート 114 に向かって移動すると、弁 110 は、所定の時間経過後に、即ち開時間遅延 ( $T_o$ ) で通常の閉位置から「開」位置に移動し、流体が、破線の矢印 124 によって示されている方向に流れる。圧力が、図 8 B に示されている方向に替わると、弁フラップ 117 が、密封プレート 116 に向かって逆戻りして、通常の閉位置にくる。これが起こると、図 8 C に示されているように、弁フラップ 117 が密封プレート 116 の孔 120 を密封して密封プレート 116 を通る流体の流れを実質的に遮断するまでの短期間、即ち、閉時間遅延 ( $T_c$ ) の間、流体が、破線の矢印 132 によって示されている反対方向に流れる。本発明の他の実施形態では、弁フラップ 117 は、保持プレート 114 に対して付勢され、孔 118、122 が「通常の開」位置に整合し得る。この実施形態では、弁フラップ 117 を「閉」位置に移動させるためには、正圧を弁フラップ 117 に加える必要がある。弁の動作に関連して本明細書で使用される「密封された」または「遮断された」という語は、実質的な（しかし不完全な）密封または遮断が起こり、弁の流れ抵抗が「開」位置よりも「閉」位置で大きくなる場合も含まれることに留意されたい。

#### 【0043】

弁 110 の動作は、弁 110 の前後の流体の差圧 ( $P$ ) の方向の変化に依存する。図 8 B では、差圧は、下向きの矢印によって示されている負の値 ( $-P$ ) となっている。差圧が負の値 ( $-P$ ) を有する場合、保持プレート 114 の外面における流体圧力は、密封プレート 116 の外面における流体圧力よりも大きい。この負の差圧 ( $-P$ ) により、弁フラップ 117 が上記の完全に閉じた位置に移動し、弁フラップ 117 が密封プレート 116 に対して押圧されて密封プレート 116 の孔 120 が塞がれ、これにより、弁 110 を通る流体の流れが実質的に防止される。弁 110 の前後の差圧が、図 8 A の上向きの矢印によって示されている正の差圧 ( $+P$ ) に逆転すると、弁フラップ 117 が、密封プレート 116 から保持プレート 114 に向かって開位置に移動する。差圧が正の値 ( $+P$ ) を有すると、密封プレート 116 の外面の流体圧力は、保持プレート 114 の外面の流体圧力よりも大きい。開位置では、弁フラップ 117 の移動により、密封プレート 116 の孔 120 が塞がれていないため、破線の矢印 124 によって示されているように、流体が孔 120 を通ることができ、弁フラップ 117 の孔 122 と保持プレート 114 の孔 118 とが整合している。

#### 【0044】

弁 110 の前後の差圧 ( $+P$ ) が、正の差圧 ( $-P$ ) から、図 8 B の下向きの矢印によって示されている負の差圧に戻ると、流体は、破線の矢印 132 によって示されているように弁 110 を通って反対方向に流れ始め、これにより、弁フラップ 117 が、図 8 C に示されている閉位置に向かって戻される。図 8 B では、弁フラップ 117 と密封プレート 116 との間の流体圧力は、弁フラップ 117 と保持プレート 114 との間の流体圧力よりも低い。従って、弁フラップ 117 は、矢印 138 によって示されている正味の力を受け、これにより、密封プレート 116 に向かう弁フラップ 117 が加速されて弁 110 が閉じる。このようにして、差圧の変化により、弁 110 が、この弁 110 の前後の差圧の方向（即ち、正または負）に基づいて閉位置と開位置との間で循環する。弁 110 の前後に差圧が生じていないときに、弁フラップ 117 を保持プレート 114 に対して付勢して開位置にすることができる、即ち、弁 110 を「通常の開」位置にすることができることを理解されたい。

#### 【0045】

図 5 B および図 8 A に示されているように、弁 110 の前後の差圧が逆転して正の差圧

(+ P)になると、付勢された弁フラップ117が、密封プレート116から保持プレート114に向かって開位置に移動する。この位置では、弁フラップ117の移動により、密封プレート116の孔120が塞がれなくなり、これにより、流体が、これらの孔を通して流れることができ、破線の矢印124によって示されているように保持プレート114の孔118と弁フラップ117の孔122が整合する。差圧が、正の差圧(+ P)から負の差圧(- P)に戻ると、流体は、弁110を反対方向に流れ始め(図8Bを参照)、これにより、弁フラップ117が閉位置に戻される(図8Cを参照)。従って、キャビティ16内の圧力振動により、弁110が開位置と閉位置との間で循環するため、ディスクポンプ10は、弁110が開位置にある半周期ごとに減圧する。

#### 【0046】

10

上述のように、弁110の動作は、弁110の前後の流体の差圧(P)の方向の変化に依存する。差圧(P)は、(1)保持プレート114の直径が、キャビティ115内の圧力振動の波長に対して小さく、かつ(2)弁110が、キャビティ16のほぼ中心に位置し、正の中心波腹45の振幅が、図6に示されている正の中心波腹45の正の方形部分55および負の中心波腹47の負の方形部分65によって示されているように比較的一定であるため、保持プレート114の全表面に亘って実質的に均一であると仮定する。従って、弁110の中心部分111の前後の圧力の空間的なばらつきは、実質的に存在しない。

#### 【0047】

図9は、弁110に差圧がかかったときの弁110の動的な動作をさらに例示し、この差圧は、正の値(+ P)と負の値(- P)との間で時間と共に変化する。実際には、弁110の前後の差圧の時間依存性は、ほぼ正弦波であり得るが、弁110の前後の差圧の時間依存性は、弁の動作の説明を容易にするために、図9Aに示されている方形波形での変動として近似される。正の差圧55は、正圧期間( $t_{p+}$ )に亘って弁110の前後にかかり、負の差圧65は、方形波の負圧期間( $t_{p-}$ )に亘って弁110の前後にかかる。図9Bは、この時変圧力に応じた弁フラップ117の移動を例示している。差圧(P)が、負65から正55に切り替わると、上記にも記載され、図9Bのグラフに示されているように、弁110が開き始め、弁フラップ117が保持プレート114に接触するまで開時間遅延( $T_o$ )の間、開き続ける。続いて、差圧(P)が、正の差圧55から負の差圧65に戻ると、上記にも記載され、図9Bのグラフに示されているように、弁110が閉じ始め、閉時間遅延( $T_c$ )の間、閉じ続ける。

20

30

#### 【0048】

保持プレート114および密封プレート116は、著しく機械変形することなく、加えられる流体の圧力振動に耐えるように十分な強度を有するべきである。保持プレート114および密封プレート116は、任意の適切な硬質材料、例えば、ガラス、シリコン、セラミック、または金属から形成することができる。保持プレート114の孔118および密封プレート116の孔120は、化学エッチング、レーザー加工、機械穿孔、パウダーブラスト、およびスタンピングによって形成することができる。一実施形態では、保持プレート114および密封プレート116は、100ミクロン~200ミクロンの厚さの鋼板から形成され、これらのプレートの孔118、120は、化学エッチングによって形成される。弁フラップ117は、任意の軽量材料、例えば、金属薄膜またはポリマー薄膜から形成することができる。一実施形態では、20kHz以上の流体の圧力振動が、弁110の保持プレート側または密封プレート側の何れかに存在する場合は、弁フラップ117は、1ミクロン~20ミクロンの厚さの薄いポリマーシートから形成することができる。例えば、弁フラップ117は、厚さが約3ミクロンのポリエチレンテレフタレート(PE T)または液晶ポリマー薄膜から形成することができる。

40

#### 【0049】

ここで、図10Aおよび図10Bを参照すると、弁29および32として弁110を利用する二弁ディスクポンプ10の分解図が示されている。この実施形態では、アクチュエータ弁32は、ディスクポンプ10のアクチュエータ開口31とキャビティ16との間の

50

空気流 2 3 2 を制御し ( 図 1 0 A )、一方、端部弁 2 9 は、ディスクポンプ 1 0 のキャビティ 1 6 と開口 2 7 との間の空気流を制御する ( 図 1 0 B )。ここで、開口 2 7 は、ポンプ出口として機能する。それぞれの図面は、アクチュエータ 4 0 が振動するときにキャビティ 1 6 で生じる圧力も示している。弁 2 9 および 3 2 の両方は、キャビティ 1 6 のほぼ中心に位置し、正の中心波腹 4 5 の振幅および負の中心波腹 4 7 の振幅がそれぞれ、上記の通り、正の方形部分 5 5 および負の方形部分 6 5 によって示されているように比較的一定である。この実施形態では、弁 2 9 および 3 2 は共に、弁フラップ 1 1 7 によって示されているように閉位置に付勢され、弁フラップ 1 1 7 が、弁フラップ 1 1 7' によって示されているように開位置に移動すると上記のように動作する。図面は、中心波腹 4 5 正の方形部分 5 5 および中心波腹 4 7 の負の方形部分 6 5、両方の弁 2 9、3 2 の動作に対する同時影響、ならびに各弁によって生成される対応する空気流 2 2 9、2 3 2 の分解図も示している。

10

#### 【 0 0 5 0 】

図 1 1、図 1 1 A、および図 1 1 B の関連する部分も参照すると、弁 2 9 および 3 2 の開閉状態 ( 図 1 1 ) ならびに各弁の得られる流れ特性 ( 図 1 1 A ) が、キャビティ 1 6 内の圧力 ( 図 1 1 B ) に関連して示されている。ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 および開口 2 7 の両方が周囲圧力であり、アクチュエータ 4 0 が振動し始めて、上記のようにキャビティ 1 6 内に圧力振動が生じると、空気が弁 2 9、3 2 を交互に流れ始め、これにより、空気が、ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 から開口 2 7 に流れる、即ち、ディスクポンプ 1 0 が、「自由流動」モードで動作し始める。一実施形態では、ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 には、周囲圧力の空気が供給され得るが、ディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 は、ディスクポンプ 1 0 の動作によって加圧されることになる負荷部 ( 不図示 ) に空気連通している。別の実施形態では、ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 は、負荷部 ( 不図示 ) に空気連通させて、ディスクポンプ 1 0 の動作によって負荷部を減圧して負荷部、例えば、創傷包帯に負圧を生じさせることができる。

20

#### 【 0 0 5 1 】

正の中心波腹 4 5 の方形部分 5 5 は、上記のようにディスクポンプ周期の前半の間にアクチュエータ 4 0 の振動によってキャビティ 1 6 内で発生する。ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 および開口 2 7 が共に周囲圧力である場合、正の中心波腹 4 5 の方形部分 5 5 が、端部弁 2 9 の前後に正の差圧を生じさせ、かつアクチュエータ弁 3 2 の前後に負の差圧を生じさせる。結果として、アクチュエータ弁 3 2 が閉じ始め、端部弁 2 9 が開き始め、これにより、アクチュエータ弁 3 2 が、アクチュエータ開口 3 1 を通る空気流 2 3 2 x を遮断する一方、端部弁 2 9 が開いてキャビティ 1 6 内の空気流を解放し、これにより、空気流 2 2 9 が開口 2 7 を介してキャビティ 1 6 から流出することができる。アクチュエータ弁 3 2 が閉じて、端部弁 2 9 が開くと ( 図 1 1 )、ディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 における空気流 2 2 9 が、端部弁 2 9 の設計特性に応じて最大値まで増加する ( 図 1 1 A )。開いた端部弁 2 9 により、アクチュエータ弁 3 2 が閉じたまま、空気流 2 2 9 がディスクポンプキャビティ 1 6 から流出することができる ( 図 1 1 B )。端部弁 2 9 の前後の正の差圧が低下し始めると、空気流 2 2 9 が減少し始め、端部弁 2 9 の前後の差圧がゼロになるまで続く。端部弁 2 9 の前後の差圧がゼロよりも下がると、端部弁 2 9 が閉じ始め、図 1 0 B に示されているように、端部弁 2 9 が完全に閉じて空気流 2 2 9 x が遮断されるまで、端部弁 2 9 を通る空気のある程度の逆流 3 2 9 が起こり得る。

30

40

#### 【 0 0 5 2 】

図 1 0 B ならびに図 1 1、図 1 1 A、および図 1 1 B の関連する部分をより詳細に参照すると、負の中心波腹 4 7 の方形部分 6 5 は、上記のようにディスクポンプ周期の後半の間にアクチュエータ 4 0 の振動によってキャビティ 1 6 内で発生する。ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 および開口 2 7 が共に周囲圧力である場合、負の中心波腹 4 7 の方形部分 6 5 が、端部弁 2 9 の前後に負の差圧を生じさせ、かつアクチュエータ弁 3 2 の前後に正の差圧を生じさせる。結果として、アクチュエータ弁 3 2 が開き始め、端部弁 2

50



9 が閉じ始め、これにより、端部弁 2 9 が、開口 2 7 を通る空気流 2 2 9 x を遮断する一方、アクチュエータ弁 3 2 が開いて、アクチュエータ開口 3 1 を通る空気流 2 3 2 によって示されているように空気がキャビティ 1 6 内に流入することができる。アクチュエータ弁 3 2 が開いて、端部弁 2 9 が閉じると（図 1 1）、ディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 における空気流が、上記のように少量の逆流 3 2 9 を除いて実質的にゼロになる（図 1 1 A）。開いたアクチュエータ弁 3 2 により、端部弁 2 9 が閉じたまま、空気流 2 3 2 がディスクポンプキャビティ 1 6 内に流入することができる（図 1 1 B）。アクチュエータ弁 3 2 の前後の正の圧力差が低下し始めると、空気流 2 3 2 が減少し始め、アクチュエータ弁 3 2 の前後の差圧がゼロになるまで続く。アクチュエータ弁 3 2 の前後の差圧がゼロよりも高くなると、アクチュエータ弁 3 2 が再び閉じ始め、図 1 0 A に示されているようにアクチュエータ弁 3 2 が完全に閉じて空気流 2 3 2 x が遮断されるまで、アクチュエータ弁 3 2 を通る空気のある程度の逆流 3 3 2 が起こり得る。次いで、図 1 0 A を参照して上記されたように周期が繰り返される。従って、ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ 4 0 が、図 1 0 A および図 1 0 B を参照して上記された 2 つの半周期中に振動するため、弁 2 9 および 3 2 の前後の差圧により、空気が、空気流 2 3 2、2 2 9 のそれぞれによって示されているようにアクチュエータ開口 3 1 からディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 に流れる。

#### 【 0 0 5 3 】

ディスクポンプ 1 0 のアクチュエータ開口 3 1 が周囲圧力に維持され、かつディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 が、ディスクポンプ 1 0 の動作によって加圧される負荷部に空気連通している場合は、ディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 の圧力が上昇し始め、ディスクポンプ 1 0 の開口 2 7 が最大圧力に達するまで続き、この最大圧力では、アクチュエータ開口 3 1 から開口 2 7 への空気流はごく少量である、即ち、「機能停止」状態である。図 1 2 は、ディスクポンプ 1 0 が機能停止状態であるときのアクチュエータ開口 3 1 および開口 2 7 におけるキャビティ 1 6 内の圧力およびキャビティ 1 6 の外部の圧力を例示している。より具体的には、キャビティ 1 6 内の平均圧力は、入口圧力よりも約 1 P 高く（即ち、周囲圧力よりも 1 P 高く）、キャビティ 1 6 の中心の圧力は、ほぼ周囲圧力とほぼ周囲圧力に 2 P を加えた値との間で変動する。機能停止状態では、キャビティ 1 6 内の圧力振動により、アクチュエータ弁 3 2 または端部弁 2 9 の何れかの前後の十分な正の差圧が生じて、この何れかの弁が大きく開いて全ての空気流がディスクポンプ 1 0 を通過できる時点が存在しない。ディスクポンプ 1 0 が 2 つの弁を利用するため、上記の 2 つの弁 2 9、3 2 の相乗作用により、開口 2 7 とアクチュエータ開口 3 1 との間の差圧を、単一弁ディスクポンプの 2 倍である 2 P の最大差圧まで高めることができる。従って、前の段落に記載された条件下では、二弁ディスクポンプ 1 0 の出口圧力は、自由流動モードの周囲圧力から、ディスクポンプ 1 0 が機能停止状態に達したときのほぼ周囲圧力に 2 P を加えた値まで上昇する。

#### 【 0 0 5 4 】

再び図 1 A および図 1 B を参照すると、ディスクポンプシステム 1 0 0 は、空気流を負荷部 3 8 に供給して、負荷部 3 8 に生じる圧力の上昇または低下を測定する、図 2 A ~ 図 1 2 を参照して上記説明された特徴を利用するディスクポンプ 1 0、8 0 を備えている。例示されている一実施形態では、ディスクポンプ 1 0、8 0 の弁は、開口 1 7 から空気流を供給して負荷部 3 8 を排出し、これにより、周囲圧力よりも圧力を下げる、即ち、負荷部 3 8 内を負圧にするように構成されている。負荷部 3 8 は、例えば、創傷部に負圧を加えて治癒を促進する負圧創傷治療装置のマニホールドとすることができる。従来の実施では、負荷部 3 8 に供給される空気流を決定するために、1 つ以上のディスクポンプが、別個の圧力センサ装置と並列に取り付けられて、両方のディスクポンプによって供給される圧力を測定する。このような圧力センサ装置は、典型的には、創傷治療システムには大きすぎ、組み入れが困難であり、しかも創傷治療システムに含めるには非常に高価な構成要素である。図 1 A のディスクポンプ 1 0 0 の構成は、ディスクポンプ 1 0、8 0 がそれぞれ、アクチュエータ 4 0 の変位を測定することによって各ディスクポンプ 1 0、8 0 に関連した圧力を間接的に測定する上記の一体型圧力センサ 2 3 8 を備えているため、別個の

圧力センサ装置が必要ない。２つのディスクポンプ１０と８０との間の所定の寸法を有する制限部５０は、圧力を低下させ、この圧力低下から空気流を計算することができるため、圧力を直接測定する別個の圧力センサ装置が必要ない。

#### 【００５５】

一実施形態では、第２のディスクポンプ８０は、そのアクチュエータ４０の変位を測定して、アクチュエータ開口３１に関連した圧力差を決定することができる。図１Ａの例示的な実施形態では、ディスクポンプ１０、８０は、マニホールド５２に取り付けられた共通の基板２８に取り付けられている。従って、所定の寸法を有する制限部５０は、マニホールド５２の上面に形成することができる。上記のように、図１Ａの制限部５０は、基板２８の下面と、基板２８が配置されているマニホールド５２とによって形成された密封チャンバとすることができる。制限部５０は、非常に小さくすることができ、狭い空間に容易に適合し得る。

10

#### 【００５６】

図１Ａのシステムを用いる場合、ディスクポンプ１０、８０を使用して、制限部５０の前後の圧力降下を測定することによってディスクポンプシステム１００を通る流量を測定することができる。一実施形態では、制限部５０は、円形の断面を有する管として近似される。制限部５０を通る流体が完全に乱流であると仮定すると、圧力降下は、次の式に基づいて計算することができる：

$$p_1^2 - p_2^2 = \left[ \lambda \frac{L}{D} * \rho_1 * \frac{\omega^2}{2} * \frac{\bar{T}}{T_1} \right] 2 * f_1$$

20

管摩擦係数は

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \ln \left[ \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{\kappa}{D} * 0.269 \right]$$

である。

#### 【００５７】

上記の式中、 $\omega$  は流速であり； $p_1$  は流入圧力であり； $p_2$  は流出圧力であり； $T_1$  は流体の流入温度であり； $T_2$  は流体の流出温度であり； $f_1$  は制限部の摩擦係数であり； $Re$  はレイノルズ数であり； $\kappa$  は制限部の絶対粗さであり； $D$  は制限部の直径であり； $\rho_1$  は流体（または流入ガス）の密度である。管摩擦係数は、経路の表面によって決まるが、経路の表面が同じであれば一定である。第１のディスクポンプ１０および第２のディスクポンプ８０の両方における圧力が既知である場合は、上記の式を解いて流速または流量を決定することができる。測定される流量が、ディスクポンプシステム１００によって生じる流れを表すようにするために、ディスクポンプ１０、８０の一方は、一時的に停止して、圧力を測定するためだけに使用される（流れを生じさせない）ことに留意されたい。

30

#### 【００５８】

一般に、ディスクポンプシステム１００によって生じる、予想される流れおよび関連する圧力の範囲は、既知の設計パラメータである。従って、制限部５０は、上記の方法で測定される測定値が所望の精度を有するように調整することができる。例えば、制限部の長さ、直径、および表面粗さを調整することができる。例示的な実施形態では、制限部５０は、約１０ｍｍ以下の長さ、および約０．５ｍｍ以上の直径を有することができる。続いて、狭い空間には、短くて細く、粗い制限部が最も適しているが、このような制限部は、結露または外部デブリによる閉塞の問題が起こりやすい。さらに、細めの制限部の製造交差は、範囲が狭く、より重要な意味を持つ。長くて太く、より平滑な制限部は、より確実に製造することができ、閉塞しにくい。長めの既知の制限部は、図１Ｂに示されているように、この既知の制限部を蛇行経路に配置することによって狭い空間内に形成することが

40

50

できる。

#### 【 0 0 5 9 】

図 1 B に示されているように、蛇行経路を有する制限部 5 0 が、2 つのディスクポンプ 1 0 と 8 0 との間に形成される場合、2 つのディスクポンプ 1 0 と 8 0 との間の流れの測定、即ち、制限部 5 0 を通る流れの測定を正確に行うためには、ディスクポンプ 1 0、8 0 の一方を通る流れを停止させる必要がある。一方のポンプ 1 0 または 8 0 を通る流れがディスクポンプシステム 1 0 0 を通る流れを表す場合、ディスクポンプ 1 0、8 0 を付勢することが望ましい。例えば、第 1 のディスクポンプ 1 0 を付勢して、高い圧力差に関連する低流量にすることができ、第 2 のディスクポンプ 8 0 を付勢して、低い圧力差に関連する高流量にすることができる。一実施形態では、第 2 のポンプ 8 0 は、制限部の遠位端部に位置する高流量ポンプである。この実施形態では、第 2 のディスクポンプ 8 0 は、流量が測定されるときに動作し続ける。上記のようにディスクポンプ 1 0、8 0 が付勢される場合、第 1 のディスクポンプ 1 0 の動作は、ディスクポンプシステム 1 0 0 が流量を増加させるときには（例えば、起動時または漏れが存在するとき）、このディスクポンプシステム 1 0 0 の動作にとってそれほど重要ではない。付勢されたディスクポンプの構成は、第 1 のディスクポンプ 1 0 の動作を一時的に停止する影響を最小限にし、第 2 のディスクポンプ 8 0 が大部分の流れを生じさせるため、第 1 のディスクポンプ 1 0 が、流量センサの役割を果たすことができる。逆に、負荷部 3 8 の排出が行われ、高い圧力差が望ましい場合は、付勢された高流量の第 2 のディスクポンプ 8 0 のスイッチを切り、流量が測定されている間、高圧の第 1 のディスクポンプ 1 0 を機能させることができる。

#### 【 0 0 6 0 】

図 1 3 は、図 1 A のディスクポンプシステムの機能を例示するブロック図である。ディスクポンプシステム 1 0 0 は、第 1 のディスクポンプ 1 0 および第 2 のディスクポンプ 8 0 を備えている。ディスクポンプ 1 0、8 0 はそれぞれ、図 4 を参照して上記説明されたように、アクチュエータ 4 0 の変位を測定するように動作可能なセンサ 2 3 8 を備えている。センサ 2 3 8 の代わりに他のセンサをディスクポンプシステム 1 0 0 の一部として利用することもできることを理解されたい。ディスクポンプシステム 1 0 0 は、このディスクポンプシステム 1 0 0 を作動させるバッテリ 6 0 を備えている。ディスクポンプシステム 1 0 0 の要素は、電線、経路、配線、リード線、および他の導電要素によって互いに接続され、互いに通信する。ディスクポンプシステム 1 0 0 は、制御装置またはプロセッサ 5 6、および 2 つの異なるドライバ 5 8 a、5 8 b を含み得るドライバ 5 8 も備えている。プロセッサ 5 6 は、ドライバ 5 8 と通信するように構成されている。ドライバ 5 8 は、プロセッサ 5 6 から制御信号 6 2 を受信するように機能する。制御信号 6 2 は、2 つの異なる制御振動 6 2 a、6 2 b を含み得る。ドライバ 5 8 は、第 1 のディスクポンプ 1 0 内のアクチュエータ 4 0 を作動させる第 1 の駆動信号 6 4 a、および第 2 のディスクポンプ 8 0 内のアクチュエータ 4 0 を作動させる第 2 の駆動信号 6 4 b を生成する。代替の実施形態では、プロセッサは、第 1 の制御信号 6 2 a を第 1 のドライバ 5 8 a に送信し、第 2 の制御信号 6 2 b を第 2 のドライバ 5 8 b に送信する。次いで、第 1 および第 2 のドライバ 5 8 a、5 8 b が第 1 および第 2 の駆動信号 6 4 a、6 4 b を生成して、ディスクポンプ 1 0、8 0 のアクチュエータ 4 0 を作動させる。第 1 および第 2 の制御信号 6 2 a、6 2 b と対応する駆動信号 6 4 a、6 4 b とは、同じであっても良いし、または異なっても良い。

#### 【 0 0 6 1 】

プロセッサ 5 6 は、アクチュエータ 4 0 に光信号 2 4 4 を照射するために照射信号 6 6 a、6 6 b を光送信機 2 4 0 に送信することもできる。光信号 2 4 4 は、反射信号 2 4 8 によって例示されているように、アクチュエータ 4 0 によって光受信機 2 4 2 に反射され、この反射信号 2 4 8 も、図 4 および図 4 A を参照して上記説明されている。反射信号 2 4 8 が光受信機 2 4 2 に衝突すると、光受信機 2 4 2 は、アクチュエータ 4 0 の変位に（ $y$ ）に一致する変位信号 6 8 a、6 8 b をプロセッサ 5 6 に送信する。プロセッサ 5 6 は、変位信号 6 8 a、6 8 b によって表されているアクチュエータ 4 0 の変位（ $y$ ）に

応じて、各ディスクポンプ 10、80 によって負荷部 38 に生じる圧力を計算するように構成されている。一実施形態では、プロセッサ 56 は、複数の反射信号 248 を平均して、一定期間のアクチュエータ 40 の平均変位を決定するように構成することができる。別の実施形態では、プロセッサ 56 は、変位信号 68a、68b をフィードバックとして利用して、負荷部 38 での圧力を制御するための制御信号 62 および対応する駆動信号 64a、64b を調整することができる。一実施形態では、プロセッサ 56 は、上記のように、各ディスクポンプ 10、80 で生じる測定された圧力に応じてディスクポンプシステム 100 によって供給される流量を計算する。

#### 【0062】

プロセッサ 56、ドライバ 58、およびディスクポンプシステム 100 の他の制御回路は、電子回路と呼ぶこともある。プロセッサ 56 は、ディスクポンプ 10、80 を制御可能な回路または論理としても良い。プロセッサ 56 は、マイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ、特定用途向け集積回路 (ASIC)、中央処理装置、デジタル論理、または他のデバイスとして機能する、またはこれらを備えることができ、この他のデバイスは、1つ以上のハードウェア要素またはソフトウェア要素を含む電子デバイスの制御、ソフトウェア、命令、プログラム、およびアプリケーションの実行、信号や情報の変換および処理、ならびに他の関連タスクの実行に適している。プロセッサ 56 は、単一チップとしても良いし、または他の計算要素もしくは通信要素と一体としても良い。一実施形態では、プロセッサ 56 は、メモリを備えても良いし、またはメモリと通信しても良い。メモリは、後の取り出しもしくは後のアクセスのためにデータを保存するように構成されたハードウェア要素、デバイス、または記録媒体とすることができる。メモリは、ランダムアクセスメモリ、キャッシュ、またはデータの保存、命令、および情報に適した他の小型記憶媒体の形態の静的または動的メモリとすることができる。代替の実施形態では、電子回路は、上記のように、ディスクポンプ 10、80 のキャビティ内の圧力を測定し、キャビティ内のアクチュエータ 40 の変位を制御するための同じまたは類似の機能を果たすように構成されたアナログ回路とすることができる。

#### 【0063】

ディスクポンプシステム 100 は、RF トランシーバ 70 によって送受信される無線信号 72 および 74 によって、例えば、流量、現在の圧力測定値、アクチュエータ 40 の実際の変位 ( $y$ )、バッテリー 60 の現在の残量を含むディスクポンプシステム 100 の性能に関連した情報およびデータを通信するための RF トランシーバ 70 も備えることができる。ディスクポンプシステム 100 は、RF トランシーバ 70 を含む通信インターフェイス、赤外線、または他の有線もしくは無線信号を利用して、1つ以上の外部装置と通信することができる。RF トランシーバ 70 は、ブルートゥース、Wi-Fi、WiMAX、もしくは他の通信規格、または独自の通信システムを利用することができる。より具体的な使用に関しては、RF トランシーバ 70 は、医療専門家による参照のために圧力測定値のデータベースを保存する計算装置に信号 72 を送ることができる。この計算装置は、処理を局所的に実行する、もしくは情報およびデータの処理のために中央または遠隔コンピュータと情報をさらに通信することができるコンピュータ、携帯機器、または医用機器とすることができる。同様に、RF トランシーバ 70 は、アクチュエータ 40 の運動に基づいてディスクポンプシステム 100 によって負荷部 38 に生じる圧力を外部で制御するための信号 72 を受信することができる。

#### 【0064】

ドライバ 58 は、アクチュエータ 40 を作動させて制御する電気回路である。例えば、ドライバ 58 は、駆動信号 64a、64b の一部として特定の波形を発生させるための高出力トランジスタ、増幅器、ブリッジ、および/またはフィルタとすることができる。このような波形は、詳細に上記説明されているように、アクチュエータ 40 を周波数 ( $f$ ) の振動運動で振動させる駆動信号 64a、64b を供給するためにプロセッサ 56 およびドライバ 58 によって設定することができる。アクチュエータ 40 の振動変位運動は、駆動信号 64a、64b に応答してディスクポンプ 10、80 のキャビティ内の流体の径方

向圧力振動を発生させて空気流を供給し、負荷部 38 に圧力を生じさせる。

【0065】

別の実施形態では、ディスクポンプシステム 100 は、使用者に情報を表示するためのユーザーインターフェイスを備えることができる。ユーザーインターフェイスは、情報、データ、もしくは信号を使用者に提供するためのディスプレイ、音声インターフェイス、または触覚インターフェイスを含み得る。例えば、小型 LED スクリーンは、ディスクポンプシステム 100 によって生じている圧力を表示することができる。ユーザーインターフェイスは、ディスクポンプの性能、特に生じる低い圧力を調整するためのボタン、ダイヤル、ノブ、または他の電気的もしくは機械的インターフェイスも含み得る。例えば、圧力は、ユーザーインターフェイスの一部であるノブもしくは他の制御要素を調整することによって上昇または低下させることができる。

10

【0066】

ディスクポンプシステム 100 の流量の測定を可能にすることにより、多数の利点を得られる。ディスクポンプシステム 100 の流量は、追加の部品または費用を必要とせず測定することができ、しかも狭い設置面積しか必要とない。加えて、流量データを使用して負荷部 38 の状態を測定することができる。例えば、測定された流量を使用して、負荷部 38 に漏れが存在するか否かを決定し、かつディスクポンプシステム 100 の性能についてのデータを収集することができる。

【0067】

一実施形態では、ディスクポンプシステム 100 は、測定された流量および圧力に基づいて負荷部 38 に漏れが存在するか否かを決定する。例えば、ディスクポンプシステム 100 は、ポンプ 10、80 の流量が一定期間に亘って比較的一定に維持される場合は負荷部 38 に漏れが存在すると決定することができる。漏れが存在するという決定にตอบสนองして、ディスクポンプシステム 100 は、運転を停止しても良いし、または音声インターフェイスによってアラームまたは警告信号を発しても良い。一実施形態では、漏れの状態が存在するという決定にตอบสนองして、ディスクポンプシステム 100 は、診断プロセスを行って漏れの原因を決定することができる。このようなプロセスは、各ポンプ 10、80 が適切に機能しているか否か、および圧力が負荷部 38 で維持されているか否かを決定することを含み得る。

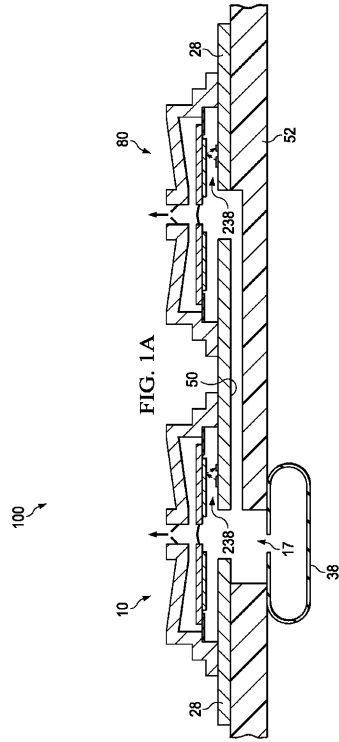
20

【0068】

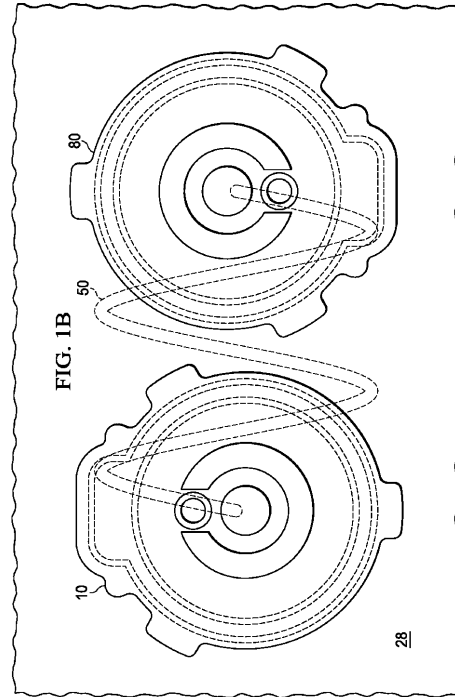
上記説明から、大きな利点を有する発明が提供されることが明らかであろう。本発明は、ごく少数の形態で示されているが、これらの形態に限定されるものではなく、むしろ、本発明の概念から逸脱することなく様々な変更および改良を行うことができる。

30

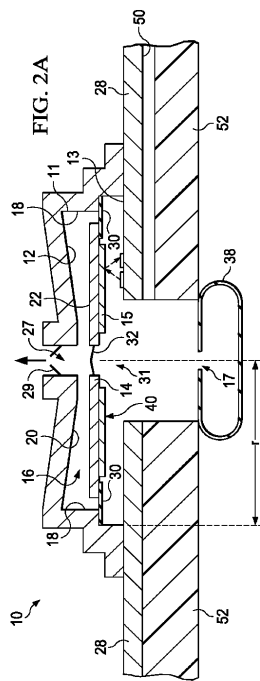
【図 1 A】



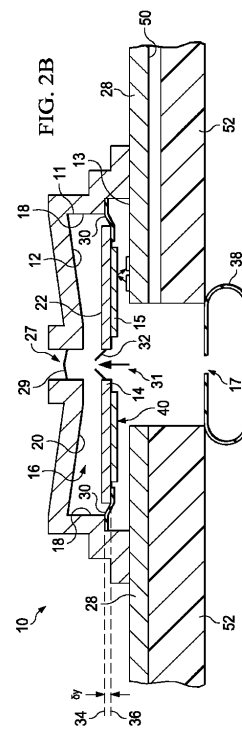
【図 1 B】



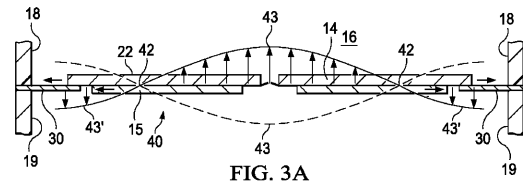
【図 2 A】



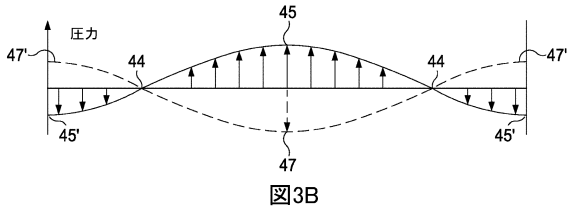
【図 2 B】



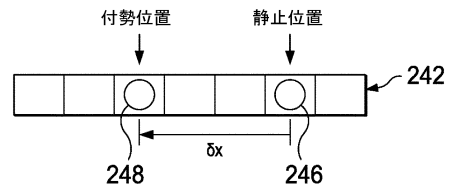
【図 3 A】



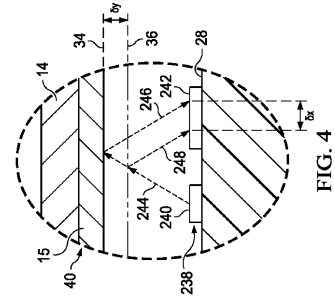
【図 3 B】



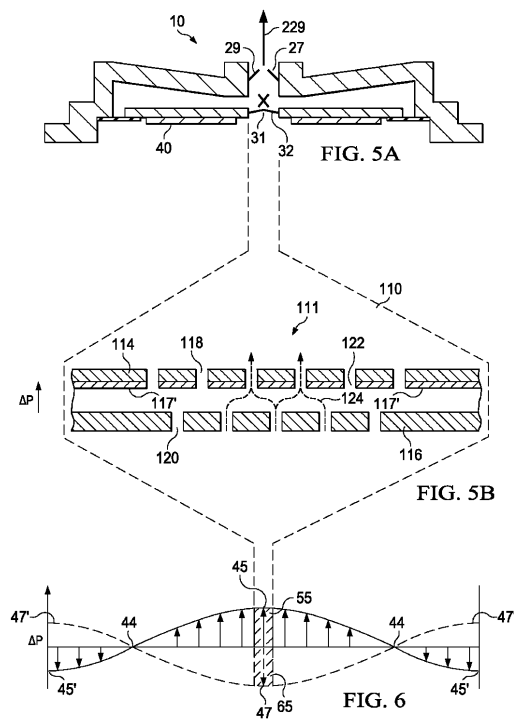
【図 4 A】



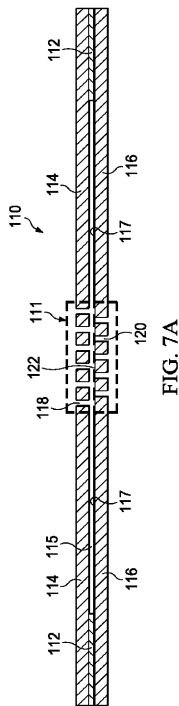
【図 4】



【図 5 A - 6】



【図 7 A】



【図 7 B】

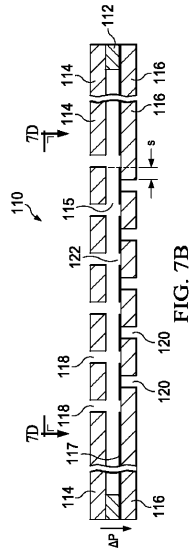


FIG. 7B

【図 7 C】

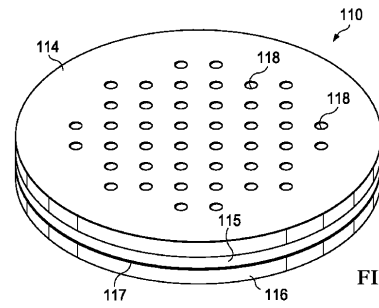


FIG. 7C

【図 7 D】

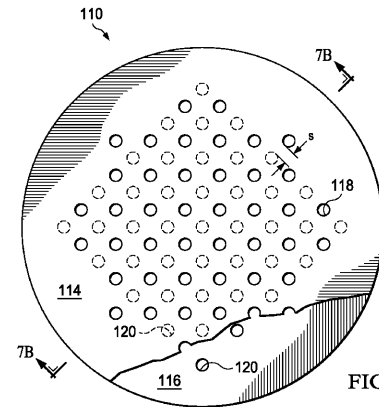


FIG. 7D

【図 8 A】

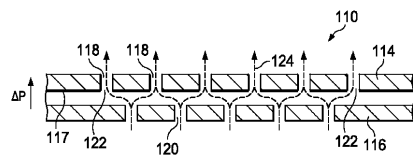


FIG. 8A

【図 8 B】

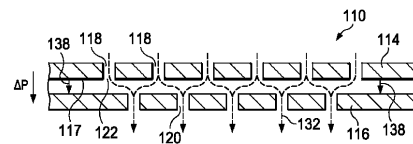


FIG. 8B

【図 8 C】

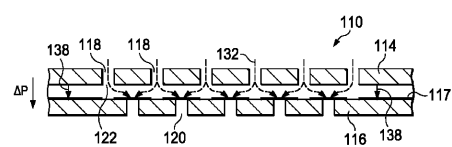
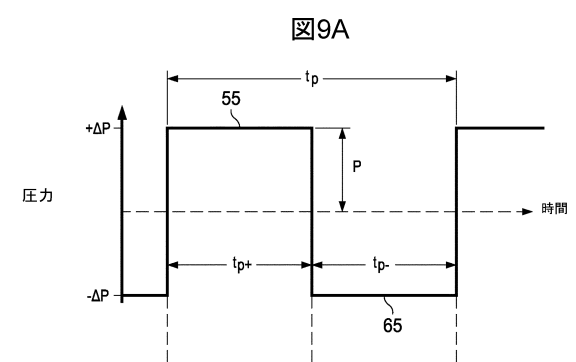


FIG. 8C

【図 9 A】



【図 9 B】

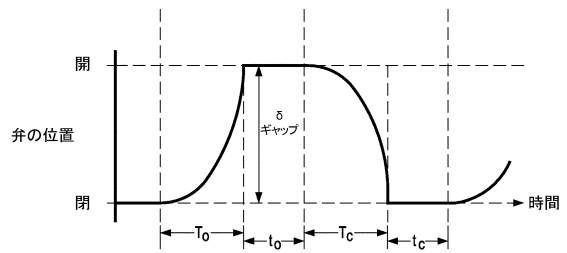
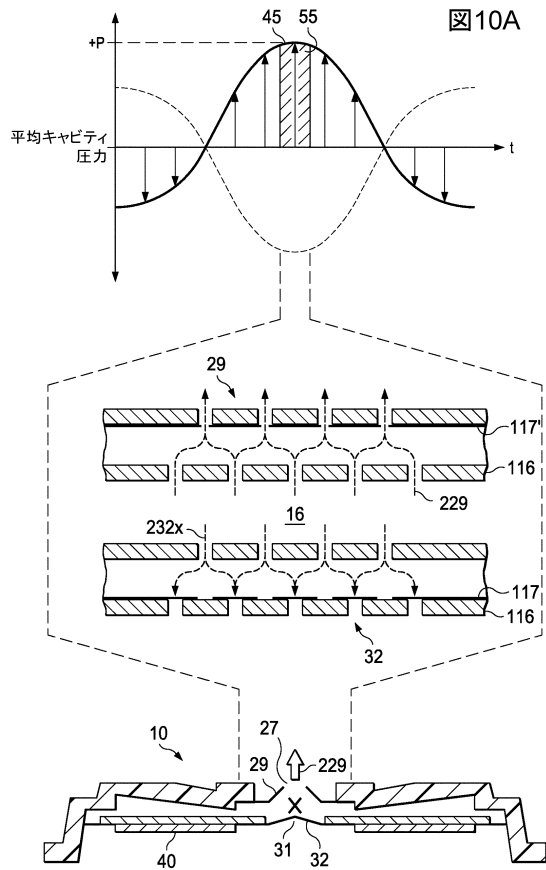


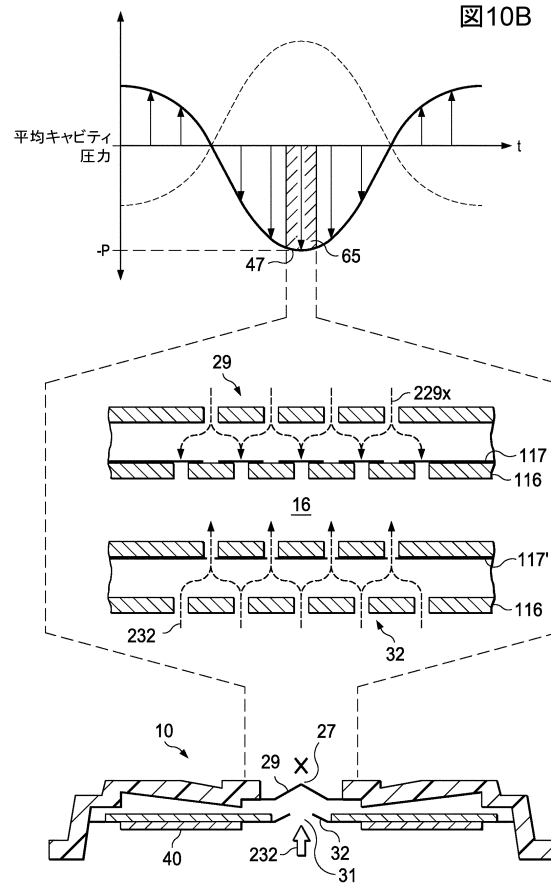
図9B



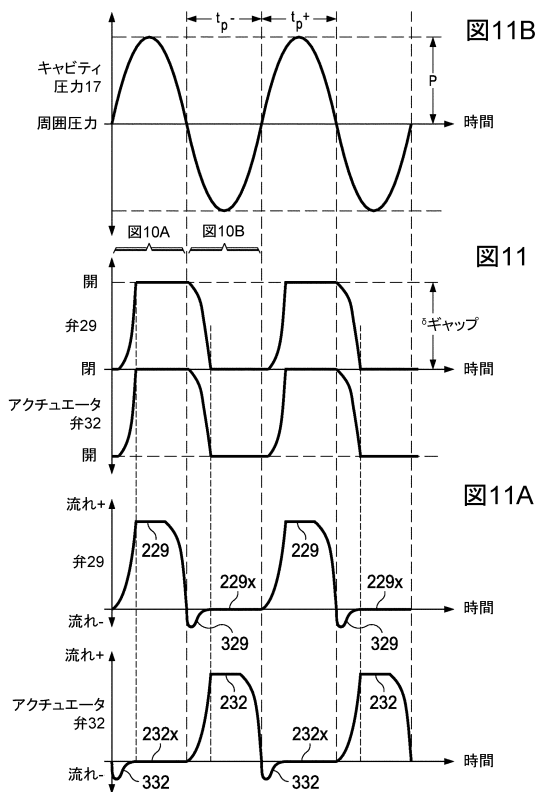
【図10A】



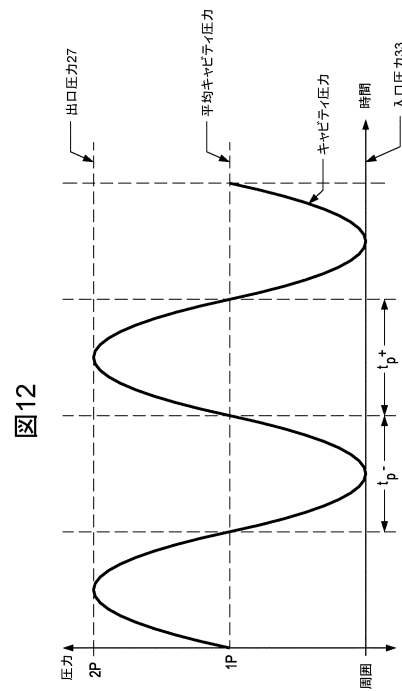
【図10B】



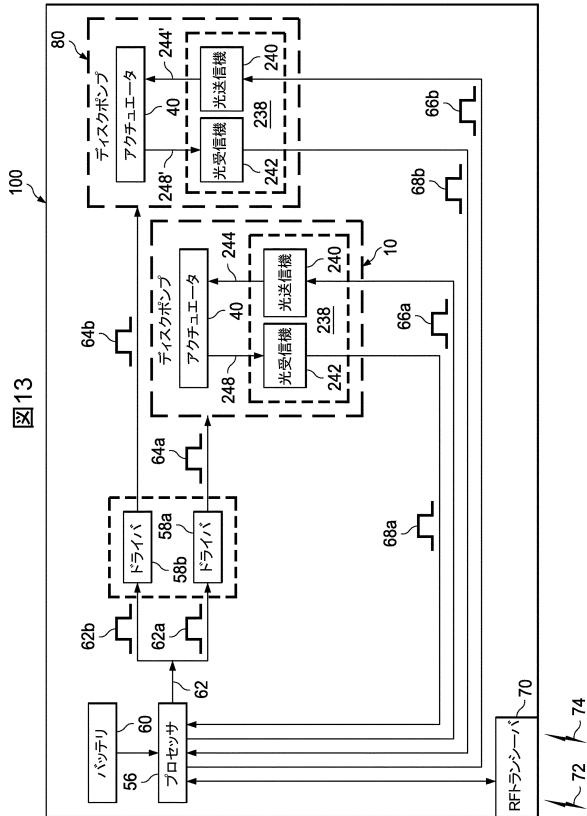
【図11】



【図12】



【 図 1 3 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 1 M 3/26 A

(72)発明者 タウト, エイダン, マーカス  
イギリス ウィルトシャー州 エスピー 5 3エフイー, アルダーベリー, コリングウッドクロ  
ス 9

審査官 岡田 卓弥

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 2 / 0 2 1 4 1 2 ( W O , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 1 4 3 1 2 2 ( U S , A 1 )  
特開平 4 - 1 2 2 3 0 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)  
G 0 1 F 1 / 0 0 - 9 / 0 2  
G 0 1 F 1 5 / 0 0 - 1 5 / 1 8  
G 0 1 M 3 / 0 0 - 3 / 4 0  
F 0 4 B 4 3 / 0 0 - 4 7 / 1 4