

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5189227号
(P5189227)

(45) 発行日 平成25年4月24日(2013.4.24)

(24) 登録日 平成25年2月1日(2013.2.1)

(51) Int.Cl.		F I			
F O 4 B 43/02	(2006.01)	F O 4 B	43/02		B
F O 4 B 43/04	(2006.01)	F O 4 B	43/04		B
F 1 6 J 3/02	(2006.01)	F 1 6 J	3/02		B

請求項の数 13 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2012-543402 (P2012-543402)	(73) 特許権者	000106760
(86) (22) 出願日	平成24年4月4日(2012.4.4)		C K D株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/059255		愛知県小牧市応時二丁目250番地
(87) 国際公開番号	W02012/147477	(74) 代理人	100121821
(87) 国際公開日	平成24年11月1日(2012.11.1)		弁理士 山田 強
審査請求日	平成24年11月15日(2012.11.15)	(74) 代理人	100125575
(31) 優先権主張番号	特願2011-100012 (P2011-100012)		弁理士 松田 洋
(32) 優先日	平成23年4月27日(2011.4.27)	(72) 発明者	新田 慎一
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		愛知県小牧市応時二丁目250番地 C K D株式会社内
早期審査対象出願		(72) 発明者	板藤 寛
			愛知県小牧市応時二丁目250番地 C K D株式会社内
		審査官	佐藤 秀之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複層ダイアフラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流体機器に装着されるための複層ダイアフラムであって、
複数の金属製の板材と、
前記複数の金属製の板材を相互に張り合わせる接着層と、
を備え、

前記接着層は、前記複数の金属製の板材を面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性層を備える複層ダイアフラム。

【請求項2】

前記複層ダイアフラムは、さらに金属製の装着用板材を備え、前記装着用板材は、前記
複数の金属製の板材よりも外縁方向に突出する位置に、前記流体機器に装着されるための
装着部を有している請求項1記載の複層ダイアフラム。

【請求項3】

前記装着用板材の両面の各々には、前記金属製の板材が貼り付けられている請求項2記載の複層ダイアフラム。

【請求項4】

前記複数の金属製の板材は、前記装着用板材のそれぞれの面に等しい数ずつ設けられている請求項3記載の複層ダイアフラム。

【請求項5】

前記装着部は、前記流体機器と前記複層ダイアフラムとの位置関係を規制する位置決め

10

20

部を有する請求項 2 乃至 4 のいずれか一項に記載の複層ダイアフラム。

【請求項 6】

前記位置決め部は、前記流体機器の一部を反力が打ち消されるように付勢する付勢部を有する請求項 5 記載の複層ダイアフラム。

【請求項 7】

前記流体機器は、位置決め用凸部を有し、

前記位置決め部は、前記位置決め用凸部を貫通させる複数の位置決め孔を有し、

前記付勢部は、前記複数の位置決め孔の少なくとも一つにおいて内縁に設けられている複数の弾性突起として形成されている請求項 6 記載の複層ダイアフラム。

【請求項 8】

前記複数の位置決め孔は、前記複層ダイアフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイアフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている請求項 7 記載の複層ダイアフラム。

【請求項 9】

前記複数の位置決め孔は、前記装着部に不等ピッチで環状に並んで形成されている請求項 8 記載の複層ダイアフラム。

【請求項 10】

前記流体機器は、前記複層ダイアフラムを挟持する第 1 の部材及び第 2 の部材と、前記第 1 の部材と前記第 2 の部材とを締結する締結部材と、を有し、

前記装着部は、前記締結部材を貫通させる複数の貫通孔を有し、

前記複数の貫通孔及び前記複数の位置決め孔の組合せは、前記複層ダイアフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイアフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている請求項 7 乃至 9 のいずれか一項に記載の複層ダイアフラム。

【請求項 11】

前記流体機器は、前記複層ダイアフラムを挟持する第 1 の部材及び第 2 の部材と、前記第 1 の部材と前記第 2 の部材とを締結する締結部材と、を有し、

前記装着部は、前記締結部材を貫通させる複数の貫通孔を有し、

前記複数の貫通孔は、前記複層ダイアフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイアフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている請求項 7 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の複層ダイアフラム。

【請求項 12】

前記複数の貫通孔は、前記装着部に不等ピッチで環状に並んで形成されている請求項 11 に記載の複層ダイアフラム。

【請求項 13】

前記流体機器は、送液ポンプである請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の複層ダイアフラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、流体の制御や送液に使用されるデバイスに関し、特にダイアフラムの変形によって送液を行うダイアフラムポンプや制御弁といった流体機器（流体装置）に使用される複層のダイアフラムに関する。

【背景技術】

【0002】

高速液体クロマトグラフィ(High performance liquid chromatography)用に種々の送液ポンプが提案されている。送液ポンプには、たとえばプランジャ方式（特許文献 1）や圧電素子でダイアフラムを駆動する圧電方式（特許文献 2）等が提案されている。ダイアフラムを駆動する圧電方式は、プランジャ方式のような摺動部分を有さないため、パーティクルの発生がなく、高寿命の送液ポンプを提供することができるという利点を有している。ダイアフラムを駆動する圧電方式では、ダイアフラムの故障探知を目的として、故障探

10

20

30

40

50

知用の層を有する多層ダイアフラムも提案されている（特許文献3、4）。一方、近年では、高速液体クロマトグラフィに対し、分析において高圧での微少な流量の制御が必要とされるようになってきた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-292011号公報

【特許文献2】特開2006-118397号公報

【特許文献3】特表2007-515584号公報

【特許文献4】特表平06-506998号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、本発明者は、高速液体クロマトグラフィにおける高圧化の要請に応じるべく、耐圧性を高めるために金属製のダイアフラムを厚くすると、ダイアフラムの円滑な変形が阻害されて微少動作が困難となるという問題を見出した。ダイアフラムの曲げ剛性は、その厚さの三乗で大きくなるため、ダイアフラムの円滑な変形が阻害されるからである。本課題に対して、本発明者は、微少動作の操作性と耐圧性とを両立するため、薄いダイアフラム板を積層する方法を考案した。しかしながら、本方法では、ダイアフラムの分解と洗浄とが煩雑となり、分解等の度にダイアフラムの特性が変動してしまうことを本発明者は突き止めた。多層のダイアフラムが分解と洗浄の過程で相互に分離し、洗浄後の装着時において積層状態が変化してしまうからである。さらに、このような問題は、送液ポンプに限られず、ダイアフラムを使用する装置にも共通する課題であることが本発明者によって見出された。

20

【0005】

本発明は、上述の従来の課題の少なくとも一部を解決するために創作されたものであり、操作性と耐圧性を両立しつつ整備性の良い流体機器用の複層ダイアフラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

以下、上記課題を解決するのに有効な手段等につき、必要に応じて効果等を示しつつ説明する。

30

【0007】

手段1．流体機器に装着されるための複層ダイアフラムであって、複数の金属製の板材と、前記複数の金属製の板材を相互に張り合わせる接着層と、を備え、前記接着層は、前記複数の金属製の板材を面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性層を備える複層ダイアフラム。

【0008】

本手段では、第1に、複数の金属製の板材が相互に張り合わせられているので、耐圧性を向上させることができる。すなわち、耐圧性は、金属製の板材の面内方向（長手方向）の引っ張り強度に依存するので、本複層ダイアフラムは、単層で2倍の厚さを有する金属製の板材と実質的に同一の耐圧性を有することになるからである。

40

【0009】

第2に、その面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性層で相互に張り合わせられているので、過度な曲げ剛性を回避することができる。複数の金属製の板材は、その面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性層で相互に張り合わせられているので、本複層ダイアフラムは、相互に張り合わせられていない複数の金属製の板材に近い曲げ剛性を有することになるからである。

【0010】

このように、本複層ダイアフラムは、ダイアフラムの分解や洗浄において分解されるこ

50

とがなくなるので、整備性を向上させることができるとともに、洗浄後の装着時において積層状態が変化してしまう問題を解決することができる。さらに、本複層ダイヤフラムは、耐圧性を確保するための厚み増大に起因する過度な曲げ剛性を回避することができるので、微少な動作の精度を向上させることもできる。

【0011】

手段2．前記複層ダイヤフラムは、さらに金属製の装着用板材を備え、前記装着用板材は、前記複数の金属製の板材よりも外縁方向に突出する位置に、前記流体機器に装着されるための装着部を有している手段1記載の複層ダイヤフラム。

【0012】

手段2では、装着用板材は、複数の金属製の板材よりも外縁方向に突出する位置に、流体機器に装着されるための装着部を有するので、装着部を有しない板材は、装着部の装備用の材料消費を不要として無駄な材料の消費を回避することができる。

10

【0013】

手段3．前記装着用板材の両面の各々には、前記金属製の板材が貼り付けられている手段2記載の複層ダイヤフラム。

【0014】

手段3では、複数の金属製の板材は、装着用板材の両面の各々には、金属製の板材が貼り付けられているので、高い弾性や強度、耐蝕性、耐熱性並びに恒弾性に優れた材料で変形する部分を覆うことができる。さらに、装着用板材を挟んで、両側の強度等を均等に近づけることができる。

20

【0015】

手段4．前記複数の金属製の板材は、前記装着用板材のそれぞれの面に等しい数ずつ設けられている手段3記載の複層ダイヤフラム。

【0016】

手段4では、複数の金属製の板材は、装着用板材のそれぞれの面に等しい数ずつ設けられているので、複層ダイヤフラムの積層方向に対称な弾性特性を実現することができる。

【0017】

手段5．前記装着部は、前記流体機器と前記複層ダイヤフラムとの位置関係を規制する位置決め部を有する手段2乃至4のいずれか1つに記載の複層ダイヤフラム。

【0018】

手段5では、装着部は、流体機器と複層ダイヤフラムとの位置関係を規制する位置決め部を有するので、複層ダイヤフラムの再装着する際に、流体機器との位置関係を良好に再現することができる。これにより、複層ダイヤフラムを再装着する際に、校正作業を簡略化することができる。さらに、位置決め部は、装着用板材の装着部にだけ設けられているので、たとえば一部の板材だけ加工性の良い材料を使用し、他の板材に高い弾性や強度、耐蝕性、耐熱性並びに恒弾性に優れた材料を使用するという設計自由度を提供することができる。

30

【0019】

手段6．前記位置決め部は、前記流体機器の一部を反力が打ち消されるように付勢する付勢部を有する手段5に記載の複層ダイヤフラム。

40

【0020】

手段6では、位置決め部は、流体機器の一部を反力が打ち消されるように付勢する付勢部を有するので、流体機器からの複層ダイヤフラムの脱落を防止して組立を容易にすることができる。

【0021】

手段7．前記流体機器は、位置決め用凸部を有し、前記位置決め部は、前記位置決め用凸部を貫通させる複数の位置決め孔を有し、前記付勢部は、前記複数の位置決め孔の少なくとも一つにおいて内縁に設けられている複数の弾性突起として形成されている手段6記載の複層ダイヤフラム。

【0022】

50

手段7では、付勢部は、複数の位置決め孔の少なくとも一つに設けられている輪郭形状として形成されているので、穴あけ加工のみで簡易に製造することができる。

【0023】

手段8．前記複数の位置決め孔は、前記複層ダイヤフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイヤフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている手段7記載の複層ダイヤフラム。

【0024】

手段8では、複数の位置決め孔は、複層ダイヤフラムの面内のいずれの方向に二分しても非対称となる位置に形成されているので、反転（裏返し）あるいは逆向きの状態に誤装着する事態を防止することができる。

【0025】

手段9．前記複数の位置決め孔は、前記装着部に不等ピッチで環状に並んで形成されている請求項8記載の複層ダイヤフラム。

【0026】

手段9では、複数の位置決め孔を不等ピッチで環状に並んで形成したから、複層ダイヤフラムの誤装着を防止することができる。

【0027】

手段10．前記流体機器は、前記複層ダイヤフラムを挟持する第1の部材及び第2の部材と、前記第1の部材と前記第2の部材とを締結する締結部材と、を有し、前記装着部は、前記締結部材を貫通させる複数の貫通孔を有し、前記複数の貫通孔及び前記複数の位置決め孔の組合せは、前記複層ダイヤフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイヤフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている手段7乃至9のいずれか一項に記載の複層ダイヤフラム。

【0028】

手段10では、複数の貫通孔及び複数の位置決め孔の組合せは、複層ダイヤフラムの面内のいずれの方向に二分しても非対称となる位置に形成されているので、反転（裏返し）あるいは逆向きの状態に誤装着する事態を防止することができる。

【0029】

手段11．前記流体機器は、前記複層ダイヤフラムを挟持する第1の部材及び第2の部材と、前記第1の部材と前記第2の部材とを締結する締結部材と、を有し、前記装着部は、前記締結部材を貫通させる複数の貫通孔を有し、前記複数の貫通孔は、前記複層ダイヤフラムの面内のいずれの方向で前記複層ダイヤフラムを二分しても非対称となる位置に形成されている手段7乃至10のいずれか一項に記載の複層ダイヤフラム。

【0030】

手段11のように、反転（裏返し）あるいは逆向きの状態に誤装着する事態の防止は、締結部材が貫通する複数の貫通孔だけで実現することもできる。

【0031】

手段12．前記複数の貫通孔は、前記装着部に不等ピッチで環状に並んで形成されている手段11記載の複層ダイヤフラム。

【0032】

手段12では、複数の貫通孔を不等ピッチで環状に並んで形成したから、複層ダイヤフラムの誤装着を防止し得る。

【0033】

手段13．前記流体機器は、送液ポンプである手段1乃至12のいずれか一つに記載の複層ダイヤフラム。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】第1実施形態における送液ポンプ100の断面図。

【図2】送液ポンプ100のダイヤフラム180を示す拡大断面図。

【図3】送液ポンプ100のポンプ室123の内面を示す図。

10

20

30

40

50

- 【図4】ピストン144と開口部136との間の位置関係を示す拡大断面図。
- 【図5】第1実施形態の送液ポンプ100の作動の状態を示す断面図。
- 【図6】第1比較例の送液ポンプ100aの作動の状態を示す断面図。
- 【図7】第2比較例の送液ポンプ100bの作動の状態を示す断面図。
- 【図8】第1実施形態の送液ポンプ100のダイヤフラム180の変位(変形)の状態を示す断面図。
- 【図9】送液ポンプ100のピストン144の許容変位量と吐出圧力の関係を示すグラフ。
- 【図10】送液ポンプ100のピストン144の許容駆動周波数と設定流量の関係を示すグラフ。 10
- 【図11】送液ポンプ100におけるダイヤフラムの駆動周波数の切り替えの内容を示すグラフ。
- 【図12】送液ポンプ100の駆動電圧W1と吐出流量C3とピストン移動量C4とを示すグラフ。
- 【図13】送液ポンプ100の駆動に利用可能な三種類の駆動電圧W1, W2, W3のパルス形状を表すグラフ。
- 【図14】第1実施形態の高速クロマトグラフィ装置90の構成を示すブロック図。
- 【図15】第1実施形態の高速クロマトグラフィ装置90における流量センサ50の計測とそのフィードバックの内容を示す説明図。
- 【図16】第2実施形態の送液ポンプ100cに使用されているダイヤフラム180aを示す断面図。 20
- 【図17】第2実施形態のダイヤフラム180aと比較例のダイヤフラム180bの作動状態を対比して示す断面図。
- 【図18】第2実施形態の送液ポンプ100cを分解した状態を示す分解斜視図。
- 【図19】第2実施形態の他の例のダイヤフラム180cの外観を示す平面図。
- 【図20】第2実施形態の他の例のダイヤフラム180cの積層状態を示す断面図。
- 【図21】第2実施形態の他の例のダイヤフラム180cの装着状態を示す断面図。
- 【図22】第1変形例のダイヤフラム180dの構成とポンプボディ110aを示す外観図。
- 【図23】第2変形例のダイヤフラム180eの構成を示す外観図。 30
- 【発明を実施するための形態】
- 【0035】
- 以下、本発明を具体化した各実施形態を図面に従って説明する。各実施形態は、高压ガスクロマトグラフィに使用される送液ポンプについて具体化している。
- 【0036】
- (第1実施形態)
- 図1は、第1実施形態における送液ポンプ100の断面図を示している。図2は、送液ポンプ100のダイヤフラム180を示す拡大断面図である。図3は、送液ポンプ100のポンプ室123の内壁面を示す図である。送液ポンプ100は、高速液体クロマトグラフィにおいて溶離液の圧送に使用されるポンプである。高速液体クロマトグラフィでは、溶離液(たとえばメタノールが使用される)が加圧されてカラム(後述)に通される。これにより、自然落下で溶離液をカラムに流すカラムクロマトグラフィ(中低圧クロマトグラフィとも呼ばれる。)に比較して、高速液体クロマトグラフィは、分析物である試料が固定相に留まる時間を短くすることができるとともに分離能や検出感度も高くすることができる。 40
- 【0037】
- 送液ポンプ100は、ポンプボディ110と、チェック弁126, 127と、金属製のダイヤフラム180と、ダイヤフラム180を駆動するアクチュエータ150とを備えるダイヤフラムポンプである。ポンプボディ110には、溶離液が流れる流路として、入口側内部流路122と、出口側内部流路124と、チェック弁126, 127とを有してい 50

る。ポンプボディ 110 は、たとえば金属や PEEK 材で製造することができる。

【0038】

チェック弁 126 は、流入ポート 121 (INポート) から入口側内部流路 122 の方向への溶離液の流通のみを許容し、その反対方向への流通を許容しない逆止弁である。一方、チェック弁 127 は、出口側内部流路 124 から吐出ポート 125 (OUTポート) の方向への溶離液の流通のみを許容し、その反対方向への流通を許容しない逆止弁である。

【0039】

なお、図 1 では、ポンプボディ 110 とポンプベース 130 とを締結する締結具の図示が省略されている。

【0040】

ポンプボディ 110 は、円柱状の形状を有し、その一方の底面の中心位置に円錐台状の凹部面を有している。ポンプ室 123 は、図 2 及び図 3 に示されるように、その円錐台状の凹部面とダイアフラム 180 とによって囲まれている空間として形成されている。円錐台状の凹部面は、その中心位置に形成されている円形の平面である平面底部 115 と、平面底部 115 の周囲に形成されている円錐状の傾斜面 112 と、平面底部 115 と傾斜面 112 との間に形成されているドーナツ状の曲面 112r とを有している。円錐台状の凹部面は、本実施形態では、吐出方向に駆動されたダイアフラムに嵌合する向きの凹状の曲面である凹状曲面として形成されている。

【0041】

凹部の傾斜面 112 の外縁部には、入口側内部流路 122 と出口側内部流路 124 の開口部が形成されている。これらの開口部は、平面底部 115 を挟んで相互に対向する位置に配置されている。具体的には、入口側内部流路 122 および出口側内部流路 124 は、前記平面底部 115 の中心を挟んでそれぞれ上下の関係で配置されている。入口側内部流路 122 の開口部には、円錐台状の凹部面の中心位置に向かって図 3 の上方に延びている吸入側溝部 113 が連なって形成されている。出口側内部流路 124 の開口部には、円錐台状の凹部面の中心位置に向かって図 3 の下方に延びている吐出側溝部 114 が連なって形成されている。

【0042】

このような構成により、ポンプ室 123 は、ダイアフラム 180 が変位して傾斜面 112 に近接した状態においても入口側内部流路 122 と出口側内部流路 124 との連通状態を十分に確保することができる。なお、入口側内部流路 122 と出口側内部流路 124 とは、それぞれ吸入通路と吐出通路とも呼ばれる。

【0043】

ポンプベース 130 は、円柱状の孔であるシリンダ孔 134 が中心軸線の位置に配置されているドーナツ状の形状を有している。ポンプベース 130 には、その一方の底面に円錐台状の凸部面 132, 133, 135 と、シリンダ孔 134 の開口部 136 とが形成され、他方の面に円錐台状の凹部面 131 が形成されている。図 1 に示すように、凹部面 131 の底部には、前記シリンダ孔 134 を形成する環状凸部 131p が設けられている。シリンダ孔 134 には、環状凸部 131p 側から挿入された滑り軸受け 137b が装着されている。円錐台状の凸部面 132, 133, 135 は、傾斜面 135 によって周囲が囲まれている一体をなす環状の平面 132, 133 を有している。シリンダ孔 134 の開口部 136 は、前記環状の平面 132, 133 (後述するダイアフラム受け面 133) に対し同心状に設けられている。すなわち、開口部 136 は、環状の平面 132, 133 の中心位置に配置されている。また、シリンダ孔 134 の開口部 136 の中心は、前記凹部面の中心に対し、シリンダ孔 134 の軸線方向(図 2 では左側)に整列するよう構成されている。

【0044】

ダイアフラム 180 は、ポンプボディ 110 とポンプベース 130 との間に挟持されている。ポンプボディ 110 が有する傾斜面 112 の周囲には、環状の平面であるシール加

10

20

30

40

50

圧面 1 1 1 が形成されている。シール加圧面 1 1 1 の外縁の外周には、傾斜面 1 1 6 が形成され、シール加圧面 1 1 1 を環状の凸部として形成している。一方、ポンプベース 1 3 0 が有する環状の平面 1 3 2 , 1 3 3 は、シール加圧面 1 1 1 に対向して平行な面であるシール受け面 1 3 2 と、傾斜面 1 1 2 に向き合うダイアフラム受け面 1 3 3 の 2 つの領域を有する一体の平面である。ダイアフラム 1 8 0 は、シール加圧面 1 1 1 とシール受け面 1 3 2 との間に挟持されることによってポンプ室 1 2 3 を外部から封止している。

【 0 0 4 5 】

なお、シール加圧面 1 1 1 及びシール受け面 1 3 2 は、シール部とも呼ばれる。また、ダイアフラム受け面 1 3 3 の役割については後述する。

【 0 0 4 6 】

これにより、ポンプ室 1 2 3 は、ダイアフラム 1 8 0 の変形によって容積を変化させることができる封止空間として構成されていることになる。このような構成により、送液ポンプ 1 0 0 は、ポンプ室 1 2 3 に周期的に容積変化を生じさせて、チェック弁 1 2 6 からの吸入およびチェック弁 1 2 7 からの吐出を行うポンプとして機能することができる。なお、ポンプベース 1 3 0 及びポンプボディ 1 1 0 は、ポンプハウジングとも呼ばれる。

【 0 0 4 7 】

ダイアフラム 1 8 0 は、アクチュエータ 1 5 0 の駆動によって変形してポンプ室 1 2 3 の容積を変化させることができる。アクチュエータ 1 5 0 は、ダイアフラム 1 8 0 を駆動するピストン 1 4 4 を有する駆動部 1 4 0 と、ポンプベース 1 3 0 と、を備えている。なお、ピストン 1 4 4 は、往復動部材とも呼ばれる。

【 0 0 4 8 】

駆動部 1 4 0 は、ピストン 1 4 4 と、滑り軸受け 1 3 7 b と、付勢バネ 1 4 5 と、積層圧電アクチュエータ 1 4 1 と、アクチュエータハウジング 1 4 7 と、アジャスタ 1 4 3 と、鋼球 1 4 2 と、圧電アクチュエータ装着部 1 4 6 と、ダブルナット N 1 , N 2 とを備えている。ピストン 1 4 4 は、一方の底部(図 1 の左側の底部)において径方向に広がるフランジ 1 4 4 f を有し、他方の底部(図 1 の右側の底部)に凸状の先端面 1 4 8 (図 2 参照)と、を有する円柱状の部材である。ピストン 1 4 4 は、円柱状の形状を有するシリンダ孔 1 3 4 の内部において滑り軸受け 1 3 7 b によって支持され、シリンダ孔 1 3 4 の軸線方向に往復動することができる。

【 0 0 4 9 】

ピストン 1 4 4 には、鋼球 1 4 2 とアジャスタ 1 4 3 とを介して積層圧電アクチュエータ 1 4 1 から駆動力が与えられる。鋼球 1 4 2 は、フランジ 1 4 4 f の中央部に装着されているアジャスタ 1 4 3 の中心位置に形成されている凹部と、積層圧電アクチュエータ 1 4 1 の中心位置に形成されている凹部との間に摺動可能に挟持されている。これにより、積層圧電アクチュエータ 1 4 1 とピストン 1 4 4 との間の偏心誤差や傾斜を吸収することができる。付勢バネ 1 4 5 は、フランジ 1 4 4 f において、ダイアフラム 1 8 0 への駆動力を減殺する方向にピストン 1 4 4 を付勢している。

【 0 0 5 0 】

積層圧電アクチュエータ 1 4 1 は、アクチュエータハウジング 1 4 7 の内部に形成されている円柱状の内孔 1 4 9 に格納され、圧電アクチュエータ装着部 1 4 6 を介して位置調整用ナット N 1 及び固定ナット N 2 でアクチュエータハウジング 1 4 7 に装着されている。そして、アクチュエータハウジング 1 4 7 の外周に形成されている雄ネジ S と位置調整用ナット N 1 の内周に形成されている雌ネジの螺合の量(長さ)を操作することで、ピストン 1 4 4 の駆動方向における積層圧電アクチュエータ 1 4 1 とポンプベース 1 3 0 との相対的な位置関係を調整することができる。

【 0 0 5 1 】

この調整量は、アクチュエータハウジング 1 4 7 と圧電アクチュエータ装着部 1 4 6 との間のクリアランス C L で吸収することができる。固定ナット N 2 は、位置調整用ナット N 1 とともにダブルナットとして機能し、位置関係の調整後の圧電アクチュエータ装着部 1 4 6 の位置を固定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

図 4 は、ピストン 1 4 4 と開口部 1 3 6 との間の位置関係を示す拡大断面図である。図 4 では、非駆動時のピストン 1 4 4 の位置が仮想線で示され、高圧モードにおける駆動時のピストン 1 4 4 の位置が実線で示されている。非駆動時には、ピストン 1 4 4 の変位方向においてピストン 1 4 4 の先端面 1 4 8 の頂部が開口部 1 3 6 と略同一位置となるよう積層圧電アクチュエータ 1 4 1 の位置が調整されている。一方、駆動時には、変位量だけ変位して同変位方向において、ピストン 1 4 4 の先端面 1 4 8 の周縁部 1 4 8 e が開口部 1 3 6 と同一位置となるように積層圧電アクチュエータ 1 4 1 の駆動電圧が調整されている。

【 0 0 5 3 】

図 5 は、第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 の作動の状態を示す断面図である。図 5 (a) は、高圧時動作における駆動の状態を示している。図 5 (b) は、低圧時動作における駆動の状態を示している。高圧時動作は、計測時における溶離液の送液における作動状態である。低圧時動作は、非計測時における配管洗浄用の送液における作動状態である。

【 0 0 5 4 】

高圧時動作では、ダイアフラム 1 8 0 は、ダイアフラム受け面 1 3 3 とピストン 1 4 4 とによって支持されている。すなわち、ダイアフラム 1 8 0 は、ポンプ室 1 2 3 内の高圧の溶離液から受ける荷重をダイアフラム受け面 1 3 3 とピストン 1 4 4 とに流すことができる。具体的には、ダイアフラム 1 8 0 の中心位置における直径 B の円形範囲は、ピストン 1 4 4 によって支持され、直径 A の円形範囲から直径 B の円形範囲を除いた環状の範囲は、ダイアフラム受け面 1 3 3 によって支持されている。

【 0 0 5 5 】

これにより、高圧時動作においては、ダイアフラム 1 8 0 の変形範囲（作動範囲）を直径 B の円形範囲に限定することができるので、ダイアフラム 1 8 0 は、実質的に直径 B の円形範囲を有する小型のダイアフラムとして機能することになる。ダイアフラムが小型であれば、溶離液が高圧であってもダイアフラム 1 8 0 に印加される荷重に対抗して積層圧電アクチュエータ 1 4 1 によって適切に駆動することができる。

【 0 0 5 6 】

さらに、高圧時でのダイアフラム 1 8 0 の変形は、ピストン 1 4 4 が挿入されている開口部 1 3 6 の近傍に限定されるので、ピストン 1 4 4 の変位に伴うポンプ室 1 2 3 の容積変化も低減することになる。これにより、ポンプ室 1 2 3 の容積変化当たりのピストン 1 4 4 の変位量を大きくすることができるので、ダイアフラム 1 8 0 の作動形態は、高圧での微小流量の制御に適した変形状態となっていることが分る。

【 0 0 5 7 】

一方、低圧時動作においては、ダイアフラム 1 8 0 は、ピストン 1 4 4 のみによって支持されている。低圧時動作では、ダイアフラム 1 8 0 は、ダイアフラム受け面 1 3 3 から分離してポンプ室 1 2 3 の内部で大きく変形することができるので、ダイアフラム 1 8 0 は、実質的に直径 A の円形範囲を有する大型のダイアフラムとして機能することになる。ダイアフラムが大型であれば、積層圧電アクチュエータ 1 4 1 によって大きな吐出量で溶離液を供給することができ、配管等を円滑に洗浄することができる。

【 0 0 5 8 】

図 6 は、第 1 比較例の送液ポンプ 1 0 0 a の作動の状態を示す断面図である。図 6 (a) は、第 1 比較例の送液ポンプ 1 0 0 a の非駆動時の状態を示している。図 6 (b) は、第 1 比較例の送液ポンプ 1 0 0 a の高圧時の動作状態を示している。図 6 (c) は、第 1 比較例の送液ポンプ 1 0 0 a の低圧時の動作状態を示している。第 1 比較例は、ダイアフラム受け面 1 3 3 の効果を分かり易く説明するための比較例である。

【 0 0 5 9 】

第 1 比較例の送液ポンプ 1 0 0 a は、ダイアフラム受け面 1 3 3 を備えておらず、また、シリンダ孔 1 3 4 の径をダイアフラム受け面 1 3 3 の領域に拡大し、これによりシリンダ孔 1 3 4 a としている点で第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 と相違する。第 1 比較例の

10

20

30

40

50

送液ポンプ 100 a は、第 1 実施形態のダイヤフラム受け面 133 を備えていないので、低圧時動作における大型のダイヤフラムとして機能することになる。

【0060】

すなわち、図 6 (c) に示されるように、第 1 比較例の送液ポンプ 100 a は、第 1 実施例と同様に、低圧で比較的大きな吐出量を有するダイヤフラムポンプとして機能することができる。しかしながら、高圧時には、図 6 (b) に示されるように、ダイヤフラム 180 がピストン 144 a に押し付けられて、ポンプ室 123 の容量縮小を減殺させる方向の変形である曲げ 180 k (ポンプ室 123 の容量を拡大する部分的変形) が生じるので、効率よく吐出できないことが本発明者によって見出された。さらに、曲げ 180 k は、過度の曲げとして損傷の原因となる。さらに、高圧時には、ダイヤフラム 180 からピストン 144 a に掛かる荷重が第 1 の実施形態に比較して大きくなり、積層圧電アクチュエータ 141 に過度の荷重が印加されることになる。

10

【0061】

このように、ダイヤフラム受け面 133 は、高圧時の作動において、ダイヤフラム 180 における不意の曲げ 180 k の発生を抑制するとともに、積層圧電アクチュエータ 141 に過度の荷重の印加を防止するという役割を果たしている。

【0062】

図 7 は、第 2 比較例の送液ポンプ 100 b の作動の状態を示す断面図である。図 7 (a) は、第 2 比較例の送液ポンプ 100 b の非駆動時の状態を示している。図 7 (b) は、第 2 比較例の送液ポンプ 100 b の高圧時の動作状態を示している。図 7 (c) は、第 2 比較例の送液ポンプ 100 b の低圧時の動作状態を示している。第 2 比較例は、第 1 の実施形態のダイヤフラム受け面 133 がシール受け面 132 と同一平面内 (あるいは近接する平面内) に設けた意義を分かり易く説明するための比較例である。

20

【0063】

第 2 比較例の送液ポンプ 100 b は、ダイヤフラム受け面 133 がポンプ室 123 から離れる方向 (図面では左側方向) に位置するよう設けられたダイヤフラム受け面 133 a とされている点で第 1 実施形態の送液ポンプ 100 と相違する。一方、ピストン 144 の径は、第 1 実施形態の送液ポンプ 100 と同一である。

【0064】

低圧時には、図 7 (c) に示されるように、第 1 実施例や第 1 比較例と同様に低圧で比較的大きな吐出量で作動するダイヤフラムポンプとして作動することができる。しかしながら、高圧時には、図 7 (b) に示されるように、第 1 比較例と同様にダイヤフラム 180 の全面で高圧の溶離液からの荷重を受けることになるので、ダイヤフラム 180 がピストン 144 の周囲に押し込まれて不意の曲げ 180 k が発生して吐出が阻害され、損耗の原因となる。さらに、高圧時には、積層圧電アクチュエータ 141 に過度の荷重が印加されることになる点も第 1 比較例と同様である。

30

【0065】

このように、第 1 の実施形態のダイヤフラム受け面 133 は、シール受け面 132 と一体として連続する環状の平面を形成することで顕著な効果を奏している。ただし、必ずしもダイヤフラム受け面 133 は、シール受け面 132 と一体として連続する環状の平面を形成する必要はなく、ピストン 144 の変位方向においてシール受け面 132 の近傍に配置されていれば良い。例えば、ダイヤフラム受け面 133 が、シール受け面 132 側から開口部 136 側に向けて凹部面に近接する側 (図 2 の右側) に傾斜する構成としてもよい。反対に、ダイヤフラム受け面 133 が、シール受け面 132 側から開口部 136 側に向けて凹部面から離間する側 (図 2 の左側) に傾斜する構成としてもよい。さらに、ダイヤフラム受け面 133 とシール受け面 132 とが滑らかに連続していれば、たとえば一体の曲面を形成するなどのように、平面でなくてもダイヤフラム 180 の変形を滑らかなものとするることができる。

40

【0066】

図 8 は、第 1 実施形態の送液ポンプ 100 のダイヤフラム 180 の変位 (変形) の状態

50

を示す断面図である。図 8 (a) は、高圧時の動作状態を示している。図 8 (b) は、中間的な圧力時の動作状態を示している。図 8 (c) は、低圧時の動作状態を示している。図 8 (a) 及び図 8 (c) の作動状態は、それぞれ図 5 (a) 及び図 5 (b) の作動状態に対応している。

【 0 0 6 7 】

高圧時には、ピストン 1 4 4 の変位量 (ストローク) が制限されることによって、ダイアフラム 1 8 0 が変位する範囲 (変形範囲あるいは作動範囲とも呼ばれる。) は、直径 B の円形範囲に限定されている。ピストン 1 4 4 の変位量は、ポンプ室 1 2 3 の内部圧力の上昇に伴って自動的に制限されることになるが、たとえば積層圧電アクチュエータ 1 4 1 の仕様によっては、制御則を高圧時用に切り替えて過大な荷重がダイアフラム 1 8 0 に印加されないようにしてもよい。

10

【 0 0 6 8 】

中間的な圧力時においては、ピストン 1 4 4 の変位量 (ストローク) が拡大し、ダイアフラム 1 8 0 の作動範囲が直径 C の円形範囲に拡大されている。ダイアフラム 1 8 0 の作動範囲は、溶離液の圧力の低下に伴って拡大し、低圧時には、ピストン 1 4 4 の変位量 (ストローク) がさらに拡大し、全域すなわち直径 A の円形範囲に拡大される。

【 0 0 6 9 】

このように、第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 は、溶離液の吐出圧力に応じて自動的にダイアフラム 1 8 0 の作動範囲を変化させることができる。具体的には、ダイアフラム 1 8 0 の作動範囲は、ポンプ室 1 2 3 の内部圧力の上昇に伴って狭くなり、ポンプ室 1 2 3 の内部圧力の降下に伴って広がる。

20

【 0 0 7 0 】

送液ポンプ 1 0 0 の制御は、たとえば吐出流量の計測値をフィードバック量として使用し、操作量を積層圧電アクチュエータ 1 4 1 への印加電圧とする制御系を構成することができる。本制御系では、目標値に対して吐出流量の計測値が小さいときには、ピストン 1 4 4 の変位量が拡大する方向に操作され、目標値に対して吐出流量の計測値が大きいときには、ピストン 1 4 4 の変位量が縮小する方向に操作されることになる。なお、実施形態の制御系の具体的な構成については後述する。

【 0 0 7 1 】

このように、第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 は、ダイアフラム 1 8 0 を実質的に溶離液の吐出圧力に応じた適切な作動範囲を有するダイアフラムとして駆動することができる。この結果、送液ポンプ 1 0 0 は、高圧の少量吐出から低圧の大量吐出までの広いダイナミックレンジを有するダイアフラムポンプとして機能させることが可能である。

30

【 0 0 7 2 】

図 9 は、第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 のピストン 1 4 4 の許容変位量と吐出圧力の関係を示すグラフである。図 1 0 は、第 1 実施形態の送液ポンプ 1 0 0 のピストン 1 4 4 の許容駆動周波数と吐出流量 (設定流量) の関係を示すグラフである。図 9 及び図 1 0 では、曲線 C 1 , C 2 は、それぞれピストン 1 4 4 の変位と周波数に対する運用制限を表している。具体的には、たとえば吐出圧力が圧力 P 1 のときには、ピストン 1 4 4 の変位量が変位 1 までに制限されることになる。一方、吐出流量が流量 Q 1 のときには、ピストン 1 4 4 の駆動周波数が周波数 f 1 までに制限されることになる。すなわち、ピストン 1 4 4 の運用変位は、2 本の曲線 C 1 , C 2 によって囲まれる範囲に制限されることになる。

40

【 0 0 7 3 】

吐出圧力に関する運用制限は、本発明者らによる以下の知見と解析とに基づいて設定されたものである。送液ポンプ 1 0 0 は、上述のように、溶離液の吐出圧力に応じて自動的に作動範囲を変化させるといった好ましい特性を有している。

【 0 0 7 4 】

しかしながら、本発明者は、積層圧電アクチュエータ 1 4 1 の仕様の設定 (たとえば過大な駆動力) によっては、ダイアフラム 1 8 0 の過度の変位 (実質的にピストン 1 4 4 の

50

変位)によりダイアフラム180に損耗を与える可能性を見出した。具体的には、高圧時において、積層圧電アクチュエータ141の過大な駆動力によって図8(c)の作動状態を繰り返すと、ピストン144の周囲においてダイアフラム180に損傷を与えることが本発明者によって見出された。

【0075】

吐出流量に関する運用制限は、本発明者らによる以下の実験と解析とに基づいて設定されたものである。送液ポンプ100は、上述のように、溶離液の吐出圧力に応じて自動的にダイアフラム180の変位量が変化するという好ましい特性を有している。すなわち、ダイアフラム180の変位量(ストローク)は、溶離液の吐出圧力の上昇に応じて自動的に小さくなる。

10

【0076】

しかしながら、本発明者は、吐出流量の低下に伴って脈動の影響が大きくなることを見出した。吐出流量の低下によって、脈動の比率が大きくなって脈動が顕在化してしまうからである。さらに、高速液体クロマトグラフィでは、吐出流量の少ない高圧動作時に計測が行われるので、脈動を小さくすることが望まれる。一方、本発明者は、吐出流量の低下によってポンプ動作(積層圧電アクチュエータ141の動作やチェック弁の動作)が小さくなると、駆動周波数を大きくできることを見出した。

【0077】

図11は、第1実施形態の送液ポンプ100におけるダイアフラムの駆動周波数の切り替えの内容を示すグラフである。図11(a)及び図11(b)は、それぞれ低圧作動モードと高圧作動モードとにおける吐出流量(流量)とパルス電圧を示している。低圧作動モードでは、図10に示されるように、比較的到低い駆動周波数 f_1 でのダイアフラム180の駆動で比較的に大きな吐出流量 Q_1 の吐出がなされている。

20

【0078】

一方、高圧作動モードでは、図10に示されるように、高い駆動周波数 f_2 のダイアフラム180の駆動で小さな吐出流量 Q_2 の吐出がなされている。これにより、高圧作動モードは、比較例との比較からも分るように流量の脈動が顕著に低減されていることが分る。

【0079】

このように、第1実施形態の送液ポンプ100は、吐出流量に応じてダイアフラム180の駆動周波数を切り替えることができる。これにより、大きな吐出流量 Q_1 においてはダイアフラムの駆動周波数の運用範囲内に維持しつつ、小さな吐出流量 Q_2 においては駆動周波数を高くして脈動を抑制することができる。高圧動作時における吐出流量 Q_2 は、計測時に利用される流量なので、脈動の低減は大きな意義を有することになる。

30

【0080】

なお、ダイアフラムの駆動周波数は、必ずしも低圧作動モードと高圧作動モードとの間の切り替えに応じて操作されるだけでなく、たとえば高圧動作時における設定流量の変更にに応じて操作するようにしてもよい。設定流量とは、計測対象や計測の目的等に応じてユーザが設定する吐出流量であり、後述する制御系において目標値となる値である。

【0081】

ダイアフラム180の駆動周波数を増大させれば、脈動を低減させるだけでなくダイアフラム180のストロークを維持しつつ吐出流量を増大させることができるので、高圧動作時の送液ポンプ100の設定流量の範囲を拡大することができる。換言すれば、計測時の脈動をさらに低減して計測精度を向上させることができただけでなく、高圧動作時における送液ポンプ100の吐出流量のダイナミックレンジの拡大にも寄与することができる。

40

【0082】

図12は、第1実施形態の送液ポンプ100の駆動電圧 W_1 と吐出流量 C_3 とピストン移動量 C_4 とを示すグラフである。駆動電圧 W_1 は、積層圧電アクチュエータ141に印加される電圧であり、矩形波である。

50

【 0 0 8 3 】

時刻 t_1 では、送液ポンプ 100 は、駆動電圧 W_1 が立ち上がりに応じて積層圧電アクチュエータ 141 によるピストン 144 の駆動を開始する。これにより、ピストン 144 は、ダイヤフラム 180 の変位を開始させてポンプ室 123 の容積の縮小が始まるので、ポンプ室 123 の内部圧力が上昇することになる。チェック弁 127 は、ポンプ室 123 の内部圧力が吐出ポート 125 の圧力を超えたときに開いて薬液の吐出を開始する。

【 0 0 8 4 】

時刻 t_2 では、駆動電圧 W_1 が立ち上がりに応じたピストン 144 の移動が完了してピストン 144 が停止する。これにより、ポンプ室 123 の容積変化が停止するので、ポンプ室 123 からの薬液の吐出がなくなってチェック弁 127 が閉じることになる。

10

【 0 0 8 5 】

時刻 t_3 では、送液ポンプ 100 は、駆動電圧 W_1 が立ち下がりに応じて積層圧電アクチュエータ 141 によるピストン 144 の逆方向の駆動を開始する。これにより、ポンプ室 123 の内部圧力が降下することになる。チェック弁 126 は、ポンプ室 123 の内部圧力が流入ポート 121 の圧力未満となったときに開いて薬液の流入を開始させる。

【 0 0 8 6 】

吐出流量 C_3 は、インジェクタやカラムといったユーザ側で用意する計測用の機器に供給される流量である。吐出流量 C_3 は、後述する容積ダンパー 80 とオリフィス 51 の下流において流量センサ 50 によって計測される値である。吐出流量 C_3 は、容積ダンパー 80 とオリフィス 51 とによって脈動が低減されている。

20

【 0 0 8 7 】

送液ポンプ 100 は、駆動電圧 W_1 のパルス周波数を早くすることによって、吐出流量の脈動を小さくすることができる。積層圧電アクチュエータ 141 は、たとえば数 kHz での駆動が可能である。ただし、チェック弁 126, 127 の応答性の限界が積層圧電アクチュエータ 141 の駆動周波数よりも低い場合には、チェック弁 126, 127 の応答性に基づいて積層圧電アクチュエータ 141 の駆動周波数を設定するようにしてもよい。

【 0 0 8 8 】

図 13 は、送液ポンプ 100 の駆動に利用可能な三種類の駆動電圧 W_1 , W_2 , W_3 のパルス形状を表すグラフである。駆動電圧 W_1 は、前述のように矩形波であり、比較的高い周波数での駆動に適している。駆動電圧 W_2 は、吐出流量の脈動を抑制する効果をもつランプ波であり、比較的低い周波数での駆動に適している。駆動電圧 W_3 は、立ち上がりエッジにおいて電圧 h 以上の電圧で波形が丸められているので、比較的高い周波数において吐出流量の急上昇を抑制して脈動を低減させることができる。なお、駆動電圧 W_1 , W_2 , W_3 は、パルス電圧とも呼ばれる。また、電圧 h は、たとえば積層圧電アクチュエータ 141 の駆動によってダイヤフラム 180 が変形を開始する電圧として設定することができる。

30

【 0 0 8 9 】

図 14 は、第 1 実施形態の高速クロマトグラフィ装置 90 の構成を示すブロック図である。高速クロマトグラフィ装置 90 は、溶離液を貯蔵する溶媒貯蔵瓶 60 と、送液ポンプ 100 と、容積ダンパー 80 と、圧力センサ 40 と、流量センサ 50 と、オリフィス 51 と、廃液瓶 70 と、廃液用バルブ 71 と、負荷 30 と、送液ポンプ 100 に駆動電圧を印加するドライバ回路 20 と、制御回路 10 とを備えている。負荷 30 は、インジェクタやカラム、検出器、記録計といったユーザ側で用意する計測用の機器が含まれている。

40

【 0 0 9 0 】

送液ポンプ 100 は、溶媒貯蔵瓶 60 から溶離液を吸引し、容積ダンパー 80 とオリフィス 51 と流量センサ 50 とを順に介して負荷 30 に供給している。容積ダンパー 80 とオリフィス 51 は、脈動を低減させる役割を果たしている。負荷 30 に供給される溶離液の流量は、流量センサ 50 によって計測され、その計測値が制御回路 10 に送信されている。圧力センサ 40 は、容積ダンパー 80 とオリフィス 51 との間における溶離液の圧力を計測している。なお、制御回路 10 及びドライバ回路 20 は、制御部とも呼ばれる。制

50

御部、圧力センサ 40 及び流量センサ 50 は、制御装置とも呼ばれる。

【0091】

制御回路 10 は、流量指令信号との流量センサ 50 の計測値に応じてドライバ回路 20 を操作して駆動電圧の電圧値を調整し、流量センサ 50 の計測値を流量指令信号に近づけるためのフィードバック制御を行なう。本フィードバック制御は、運用制限（図 9 及び図 10 参照）に基づいて予め設定されている許容変位量（許容駆動電圧）と許容駆動周波数（電圧パルス周波数）との範囲内で行なわれる。

【0092】

図 15 は、第 1 実施形態の高速クロマトグラフィ装置 90 における流量センサ 50 の計測とそのフィードバックの内容を示す説明図である。制御回路 10 は、積層圧電アクチュエータ 141 の往復駆動の駆動周期毎に複数の計測タイミングで流量センサ 50 により計測（サンプリング）された吐出流量を、周期毎に平均化してフィードバックすることで流量を制御する。これにより、ポンプ動作によって周期的に変動する流量（脈動）に起因する計測誤差を抑制し、正確なフィードバック制御を実現することができる。脈動に起因する計測誤差は、各駆動周期における計測タイミングのずれ（位相差）によって発生する。

10

【0093】

高速クロマトグラフィ装置 90 は、溶離液を導入する際や溶離液を置換する際に、廃液用バルブ 71 を開いて廃液瓶 70 に液を排出する。この際、送液ポンプ 100 は、低圧での大きな流量の吐出が要求されることになる。

【0094】

20

（第 2 実施形態）

図 16 は、第 2 実施形態の送液ポンプ 100 c に使用されているダイアフラム 180 a を示す断面図である。ダイアフラム 180 a は、ニッケルコバルト合金の第 1 金属板 181 及び第 2 金属板 182 と、第 1 金属板 181 と第 2 金属板 182 とを相互に張り合わせる接着層をなす弾性接着層 183 とを含む三層構造を有している。弾性接着層 183 は、第 1 金属板 181 と第 2 金属板 182 とを、それらの面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する樹脂層である。

【0095】

弾性接着層 183 の形成には、たとえば変成シリコーン樹脂やエポキシ変成シリコーン樹脂を主成分とする一液形弾性接着剤、あるいはたとえば主剤（エポキシ樹脂）および硬化剤（変成シリコーン樹脂）からなる二液形弾性接着剤が利用可能である。

30

【0096】

図 17 は、第 2 実施形態のダイアフラム 180 a と比較例のダイアフラム 180 b の作動状態を対比して示す断面図である。図 17 (a) は、第 2 実施形態のダイアフラム 180 a が変形している状態を示している。図 17 (b) は、比較例のダイアフラム 180 b が変形している状態を示している。比較例のダイアフラム 180 b は、第 1 金属板 181 と第 2 金属板 182 とが相互に重ね合わせられているが、第 2 の実施形態のような接着層を有していないダイアフラムである。

【0097】

比較例のダイアフラム 180 b は、厚さ t の第 1 金属板 181 と第 2 金属板 182 とが相互に重ね合わせられているので、耐圧性が 2 倍に向上している。耐圧性は、第 1 金属板 181 等の面内方向（広がり方向）の引っ張り強度に依存するので、ダイアフラム 180 a は、単層で 2 倍の厚さを有する金属製の板材と実質的に同一の耐圧性を有することになるからである。

40

【0098】

一方、比較例のダイアフラム 180 b の曲げ剛性は、第 1 金属板 181 と第 2 金属板 182 とを相互に重ね合わせただけなので、それぞれの曲げ剛性の加算となる。すなわち、比較例のダイアフラム 180 b の曲げ剛性は、第 1 金属板 181 の曲げ剛性の 2 倍となる。

【0099】

50

ただし、比較例のダイヤフラム180bは、相互に張り合わされていないので、ダイヤフラムの洗浄において分解されるので、洗浄後の装着時において積層状態が変化してしまう問題を生じさせることを本発明者は見出した。さらに、ダイヤフラムの組立時において、第1金属板181と第2金属板182との間に異物が入り込み、耐久性を劣化させるという問題も本発明者によって見出された。

【0100】

第2実施形態のダイヤフラム180aは、第1金属板181と第2金属板182とが相互に張り合わせられている点で相違する。耐圧性は、第1金属板181等の面内方向（長手方向）の引っ張り強度に依存するので、張り合わせの有無に拘わらず耐圧性を2倍に向上させることができる。

10

【0101】

一方、実施形態のダイヤフラム180aの曲げ剛性は、第1金属板181と第2金属板182とが相互に張り合わせられているので、相互にズレや変形が生じないと仮定すると、曲げ剛性が8倍となる。第1金属板181および第2金属板182は、2倍の厚さを有する一枚の板材として挙動することになるからである。

【0102】

しかしながら、ダイヤフラム180aは、その面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性接着層183で相互に張り合わせられているので、このような過度な曲げ剛性を回避することができる。第1金属板181および第2金属板182は、その面内方向において相互にずらす方向の弾性を有する弾性接着層183で相互に張り合わせられているので、ダイヤフラム180aは、比較例のダイヤフラム180bに近い曲げ剛性を有するからである。

20

【0103】

このように、ダイヤフラム180aは、第1金属板181および第2金属板182が相互に張り合わされた構成とされているので、洗浄等のメンテナンス時にダイヤフラムが分解されるのを抑制し得る。この結果、ダイヤフラム180aは、整備性を向上させることができるとともに、メンテナンス後の装着時にダイヤフラム180aの積層状態が変化してしまう問題を解決することができる。これにより、分解・洗浄等、メンテナンス後のダイヤフラム180aの校正を不要あるいは簡略にすることもできる。

【0104】

また、ダイヤフラムの組立時において、第1金属板181と第2金属板182との間に異物が入り込み、耐久性を劣化させるという問題を抑制することもできる。さらに、ダイヤフラム180aは、第1金属板181と第2金属板182との各々の最大歪を小さくすることができるので、耐久性を高めることもできる。

30

【0105】

ただし、弾性接着層183の厚さは、10 μ m以下とすることが望ましい。弾性接着層183は、ポンプ室123の圧力によりダイヤフラム180aの面外方向（厚さ方向）に変形してポンプ室123の容積を変化させてしまい、吐出量を不安定とする可能性があるからである。

【0106】

図18は、第2実施形態の送液ポンプ100cを分解した状態を示す分解斜視図である。送液ポンプ100cは、ポンプボディ110とアクチュエータ150との間にダイヤフラム180cを挟持する構成を有している。ポンプボディ110とアクチュエータ150とは、6本のボルトB1～B6の各々をポンプボディ110の貫通孔h1～h6を貫通させてアクチュエータ150に螺合させることで締結されている。

40

【0107】

図19は、第2実施形態の他の例のダイヤフラム180cの外観を示す平面図である。ダイヤフラム180cは、装着用板材189を備えている。装着用板材189は、他の金属性の板材185等よりも外縁方向に突出する部位が、ポンプボディ110に装着されるための装着部189aとされている。装着部189aには、一对のキー孔K1h、K2h

50

と、6本のボルトB1～B6の各々が貫通される貫通孔dh1～dh6とが形成されている。6本のボルトB1～B6は、締結部材とも呼ばれる。なお、ポンプボディ110とアクチュエータ150とは、それぞれ第1の部材と第2の部材とも呼ばれる。

【0108】

一对のキー孔K1h, K2hは、ダイアフラム180cの中心位置に対して対向する位置(一直線上の位置)に配置されている。本配置は、一对のキー孔K1h, K2hの間の距離を長く取って、キー孔K1h, K2hによる位置決め精度を高くするためである。キー孔K1h, K2hには、それぞれ付勢部K1s, K2sが設けられている。この付勢部K1s, K2sは、キー孔K1h, K2hの内縁に設けた複数の弾性突起として形成されている。そして、キー孔K1h, K2hにポンプボディ110に突設したキー(流体機器の一部)K1, K2を挿入した際に、付勢部K1s, K2sがキーK1, K2にそれぞれ係合するようになっている。これにより、ポンプボディ110からのダイアフラム180cの抜け落ちを防止して組立を容易にしている。付勢部K1s, K2sがキーK1, K2に係合した状態では、各付勢部K1s, K2sは、それぞれ係合による反力が打ち消されるようにキーK1, K2を付勢する。

10

【0109】

一方、貫通孔dh1～dh6は、不均等なピッチで環状に配置されている。具体的には、貫通孔dh1と貫通孔dh6との間の角度は、貫通孔dh1と貫通孔dh2との間の角度と相違する角度に設定されている。これにより、キーK1, K2は、それぞれキー孔K1h, K2hに装着され、逆に装着される事態を防止することができる。但し、貫通孔dh1～dh6は、必ずしも環状に並んで形成する必要はない。すなわち、貫通孔dh1～dh6の中心位置を結んで形成される形状(この場合、六角形)が、ダイアフラム180cの面内のいずれの方向の線分に対しても非対称な形状とされていればよい。これにより、ダイアフラム180cの誤装着を抑制することができる。

20

【0110】

ポンプボディ110には、さらに取外用孔R1, R2が形成されている。取外用孔R1, R2は、分解時においてポンプボディ110からダイアフラム180cを取り外すために棒(図示省略)を挿入するための孔である。ユーザは、分解時において、ダイアフラム180cの反対側からポンプボディ110の取外用孔R1, R2に棒(図示省略)を挿入して容易にダイアフラム180cを取り外すことができる。

30

【0111】

図20は、第2実施形態の他の例のダイアフラム180cの積層状態を示す断面図である。図21は、第2実施形態の他の例のダイアフラム180cの装着状態を示す断面図である。ダイアフラム180cは、たとえばニッケルコバルト合金の4枚の金属板185～188と、ステンレス(たとえばSUS304やSUS316)の1枚の装着用板材189とを積層することによって構成されている。

【0112】

具体的には、ステンレスの金属板である装着用板材189の両側にそれぞれ弾性接着層186a, 187aを介して金属板186, 187が貼り付けられ、さらに、金属板186, 187には、それぞれ弾性接着層185a, 188aを介して金属板185, 188が貼り付けられている。このように、本実施形態では、ステンレスの装着用板材189の両面の各々に等しい数のニッケルコバルト合金の4枚の金属板185～188が装着されている。なお、弾性接着層185a, 186a, 187a, 188aには、たとえば数 μ mのシリコン膜等が利用可能である。また、金属板188は、ポンプ室123に対向する面なので、研磨されていることが好ましい。

40

【0113】

ニッケルコバルト合金は、高い弾性や強度、耐蝕性、耐熱性並びに恒弾性に優れた性質を有し、非磁性で耐久性に優れるという点で金属ダイアフラムに適した素材である。一方、ステンレスは、加工性に富み耐食性や靱性、延性といった特性を有している。特に、装着用板材189の材料であるステンレスの加工性の良さは、キー孔K1h, K2hや貫通

50

孔 d h 1 ~ d h 6 を形成する加工を容易とし得る。

【 0 1 1 4 】

装着用板材 1 8 9 は、送液ポンプ 1 0 0 a の分解洗浄の際のダイアフラム 1 8 0 c の組みつけに使用されるものである。一方、ニッケルコバルト合金の 4 枚の金属板 1 8 5 ~ 1 8 8 は、ダイアフラムとして機能するための部材である。シール加圧面 1 1 1 とシール受け面 1 3 2 との間には、ニッケルコバルト合金の 4 枚の金属板 1 8 5 ~ 1 8 8 とステンレスの装着用板材 1 8 9 とが挟まれている。

【 0 1 1 5 】

このように、本実施形態の複層ダイアフラムは、ダイアフラムの耐圧性や操作性の観点から自由に積層枚数を設定することもできる。

【 0 1 1 6 】

以上詳述した各実施形態は以下の利点を有する。

(1) 本実施形態の送液ポンプは、パーティクルの発生がなく高寿命を実現することができる。

(2) 本実施形態の送液ポンプは、高圧の微少流と低圧の大流量の送液 (広いダイナミックレンジ) を実現することができる。

(3) 本実施形態の送液ポンプでは、ダイアフラム受け面がシール受け面と同一平面を形成しているので、高圧時から低圧時までダイアフラムの作動範囲 (変形範囲) を円滑に変化させることができる。

(4) 本実施形態の送液ポンプでは、シリンダ孔の開口部をダイアフラム受け面と同心状に形成したので、ダイアフラムにおけるシール加圧面およびシール受け面で囲われた領域の略中央部をピストンが押圧するようになっている。従って、ピストンからの負荷がダイアフラムに略均一に掛かるようになり、ダイアフラムに局所的な大きな負荷が掛かるのを抑制することができる。

(5) 本実施形態の送液ポンプでは、シリンダ孔の開口部の中心が、凹部面の中心に対し、シリンダ孔の軸線方向に整列するよう構成されている。従って、ダイアフラムが変形した際にポンプ室の中央部が容積変化するから、ポンプ室内の圧力がバランスよく変化して、溶離液をスムーズに送ることができる。

(6) 本実施形態の制御装置では、吐出圧力に応じて圧電アクチュエータの変位量が制限されるので、高圧時の圧電アクチュエータの過大な変位によるダイアフラムの損傷を防止することができる。

(7) 本実施形態の複層ダイアフラムは、高い耐圧性と柔軟性とを両立させることができる。

(8) 本実施形態の複層ダイアフラムは、誤った装着の抑制を実現して整備性が向上されている。

(9) 本実施形態の複層ダイアフラムは、分解・洗浄後の校正を不要あるいは簡略にすることができる。

【 0 1 1 7 】

(他の実施形態)

本発明は上記実施形態に限らず、例えば次のように実施されてもよい。

【 0 1 1 8 】

(1) 上記実施形態では、2 個のキー孔 K 1 h , K 2 h が位置決めで使用されているが、たとえば第 1 変形例のダイアフラム 1 8 0 d のように 3 個以上であっても良い。図 2 2 は、第 1 変形例のダイアフラム 1 8 0 d の構成とポンプボディ 1 1 0 a を示す外観図である。

【 0 1 1 9 】

第 1 変形例のダイアフラム 1 8 0 d には、キー孔 K 1 h , K 2 h に加えて第 3 のキー孔 K 3 h が形成されている。これにより、ダイアフラム 1 8 0 d がその中心軸線の周りに 1 8 0 度回転してキー K 1 とキー K 2 とが誤ったキー孔 K 1 h , K 2 h (逆のキー孔) に装着される事態を防止することができる。すなわち、キー K 1 とキー K 2 とが、それぞれキ

10

20

30

40

50

一孔 K 2 h とキー孔 K 1 h とに装着される事態を防止することができる。

【 0 1 2 0 】

さらに、第 3 のキー孔 K 3 h は、キー孔 K 1 h , K 2 h の中心位置を結ぶ線の垂直二等分線から外れた位置に形成されている。すなわち、キー孔 K 1 h , K 2 h , K 3 h は、ダイアフラム 1 8 0 d に不等ピッチで環状に並んで形成されている。これにより、ダイアフラム 1 8 0 d が裏返されて 1 8 0 度回転された状態で、逆のキー孔 K 2 h , K 1 h に装着される事態を防止することができる。

【 0 1 2 1 】

このように、第 1 変形例のダイアフラム 1 8 0 d は、1 8 0 度回転した状態での誤装着並びに裏返した状態において 1 8 0 度回転した状態での誤装着といった想定される種々の誤装着をキーおよびキー孔を設けることで防止することができる。キー K 1 , K 2 , K 3 とキー孔 K 1 h , K 2 h , K 3 h は、位置決め部とも呼ばれる。キー K 1 , K 2 , K 3 は、位置決め用凸部とも呼ばれる。キー孔 K 1 h , K 2 h , K 3 h は、位置決め孔とも呼ばれる。なお、キー孔 K 1 h , K 2 h , K 3 h は、必ずしも環状に並んで形成する必要はない。すなわち、キー孔 K 1 h , K 2 h , K 3 h の中心位置を結んで形成される形状(この場合、三角形)が、ダイアフラム 1 8 0 d の面内のいずれの方向の線分に対しても非対称な形状とされていけばよい。これにより、ダイアフラム 1 8 0 d の誤装着を抑制することができる。

【 0 1 2 2 】

(2) 上記実施形態では、キー孔 K 1 h , K 2 h に装備されている付勢部 K 1 s , K 2 s によってポンプボディ 1 1 0 からのダイアフラム 1 8 0 c の抜け落ちを抑制する構成とした。しかしながら、たとえば第 2 変形例のダイアフラム 1 8 0 e のように、キー孔 K 1 h , K 2 h 以外に抜け落ち防止用の付勢部を設けてもよい。

【 0 1 2 3 】

図 2 3 は、第 2 変形例のダイアフラム 1 8 0 e の構成を示す平面図並びに断面図である。ダイアフラム 1 8 0 e は、一对の仮止め用つば 1 8 0 s 1 , 1 8 0 s 2 を備えている。仮止め用つば 1 8 0 s 1 , 1 8 0 s 2 は、ポンプボディ 1 1 0 a を挟む方向(相互の間隔が小さくなる方向)に付勢力を発生させることができる。これにより、ポンプボディ 1 1 0 a からのダイアフラム 1 8 0 e の抜け落ちを防止し、組立を容易にしている。このように、ポンプボディ 1 1 0 の一部を反力が打ち消されるように付勢することで、ダイアフラム 1 8 0 e の抜け落ちを防止するようにしてもよい。

【 0 1 2 4 】

(3) 上記実施形態では、ダイアフラム受け面は、シール受け面と同一平面を形成しているが、必ずしも同一平面を形成する必要はない。ただし、同一平面を形成すれば、高圧時から低圧時までダイアフラムの作動範囲(変形範囲)を円滑に変化させることができる。ダイアフラム受け面 1 3 3 は、ポンプ室 1 2 3 の内圧に応じてダイアフラム 1 8 0 と当接する面の面積である当接面積が変化するように構成されていけば良い。

【 0 1 2 5 】

(4) 上記実施形態では、シール受け面は平面であるが、曲面であっても良い。ただし、シール受け面を平面とすれば、ポンプ室の封止のためにダイアフラムに印加される荷重(封止荷重)によってダイアフラムが過度に損傷する事態を回避することができる。これにより、封止荷重の管理を緩めることができるので、ダイアフラムの再装着時に、ユーザー側によるボルト B 1 ~ B 6 のトルク管理を容易とすることができる。

【 0 1 2 6 】

(5) 上記実施形態では、ピストンは、ダイアフラムとの当接面が凸状の曲面を有しているが、平面であっても良い。ただし、ダイアフラムとの当接面を凸状の曲面とすれば、シリンダ孔 1 3 4 の開口部 1 3 6 の周囲においてダイアフラムをダイアフラム受け面で支持しつつ、凸状の曲面でピストンに当接する領域を変形させることができる。さらに、ピストンの変位量に応じて、ダイアフラムは、変形範囲を広げながら変形するので、高圧時における精密な吐出量の操作を実現することができる。凸状の曲面は、たとえば加工容易

10

20

30

40

50

な球面形状としても良い。

【0127】

(6) 上記実施形態では、吸入口と吐出口とが対向する位置に配置されているが、他の配置であってもよい。ただし、吸入口と吐出口とを対向する位置に配置すれば、たとえば鉛直方向において吸入口を下側とし、吐出口を上側とするように送液ポンプを設置し、これにより液溜まりをなくして液の置換性や気泡抜けを向上させることができる。

【0128】

(7) 上記実施形態では、ダイアフラムは、圧電アクチュエータで駆動されているが、他の駆動方法であってもよい。ただし、圧電アクチュエータで駆動すれば、高い周波数でダイアフラムを駆動することによってダイアフラムの小さな変位でも吐出量を確保することができるとともに、脈動を小さくすることもできる。

10

【0129】

(8) 上記実施形態では、非駆動時には、ダイアフラム受け面の全体がダイアフラムに当接する構成とした。しかしながら、たとえば吐出圧力が低圧の際には、ダイアフラム受け面の少なくとも一部がダイアフラムから分離する構成としたり、運用時の永久変形でそのような状態となる構成であっても良い。ダイアフラム受け面は、ポンプ室の内圧の上昇時にダイアフラムを支持して、ピストンに印加される荷重を軽減するように構成されていれば良い。

【0130】

ダイアフラム受け面は、ポンプ室の内圧の上昇時において、ダイアフラムとダイアフラム受け面とが当接する面の面積にポンプ室の内圧を乗じた荷重を分担し、これにより、ピストンに印加される荷重を軽減することができる。なお、ダイアフラムとダイアフラム受け面とが当接する面の面積は、当接面積とも呼ばれる。

20

【0131】

(9) 上記実施形態では、ダイアフラムは、ピストンと接続されておらず、ピストンでダイアフラムを押すことによってダイアフラムを変形させているが、ダイアフラムとピストンとを接続する構成としても良い。ただし、ダイアフラムとピストンとを接続する構成では、ダイアフラムとピストンの頂部とを1点(あるいは十分に狭い領域)で接続するようにすることが好ましい。

【0132】

(10) 上記実施形態では、複層ダイアフラムは、送液ポンプに使用されているが、たとえば流量制御弁に利用することもできる。複層ダイアフラムは、広く一般にダイアフラムを使用する流体機器に使用することができる。

30

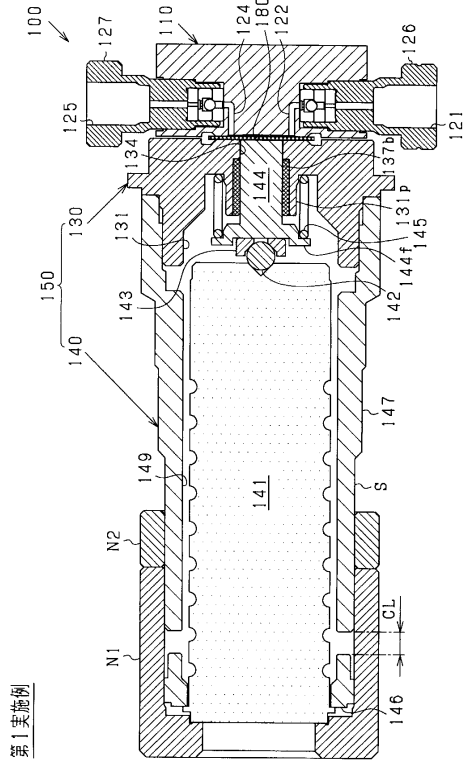
【符号の説明】

【0133】

10...制御回路、20...ドライバ回路、30...負荷、40...圧力センサ、50...流量センサ、90...高速クロマトグラフィ装置、100, 100a, 100b...送液ポンプ、100c...送液ポンプ、110, 110a...ポンプボディ、111...シール加圧面、123...ポンプ室、130...ポンプベース、132...シール受け面、133, 133a...ダイアフラム受け面、134, 134a...シリンダ孔、140...駆動部、141...積層圧電アクチュエータ、144...ピストン、144a...ピストン、145...付勢バネ、146...圧電アクチュエータ装着部、150...アクチュエータ、180, 180a, 180b, 180c, 180d, 180e...ダイアフラム。

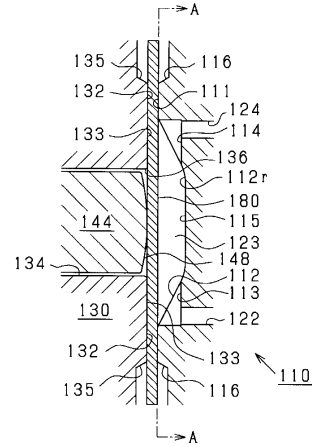
40

【 図 1 】

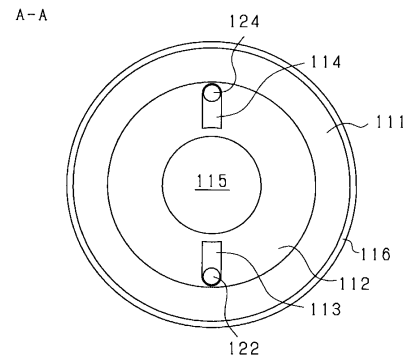


第 1 実施例

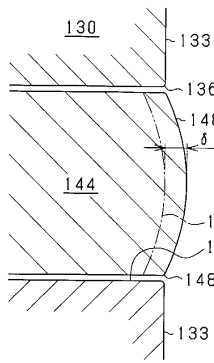
【 図 2 】



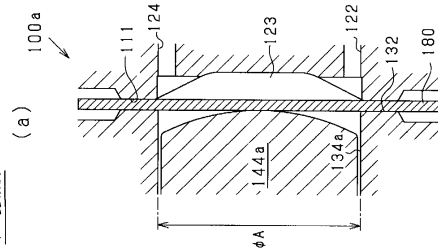
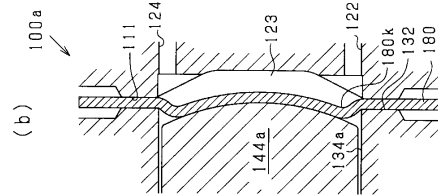
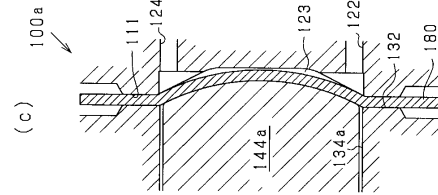
【 図 3 】



【 図 4 】



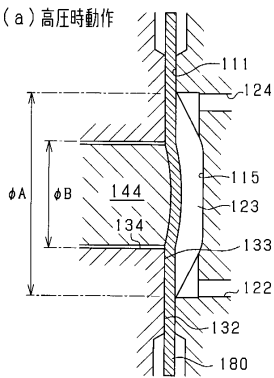
【 図 6 】



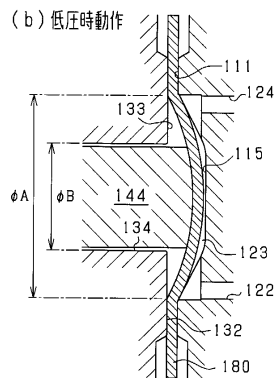
第 1 実施例

【 図 5 】

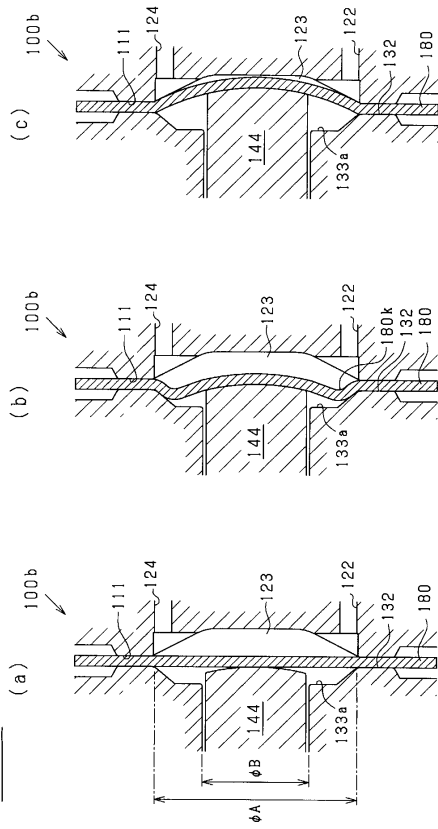
(a) 高压時動作



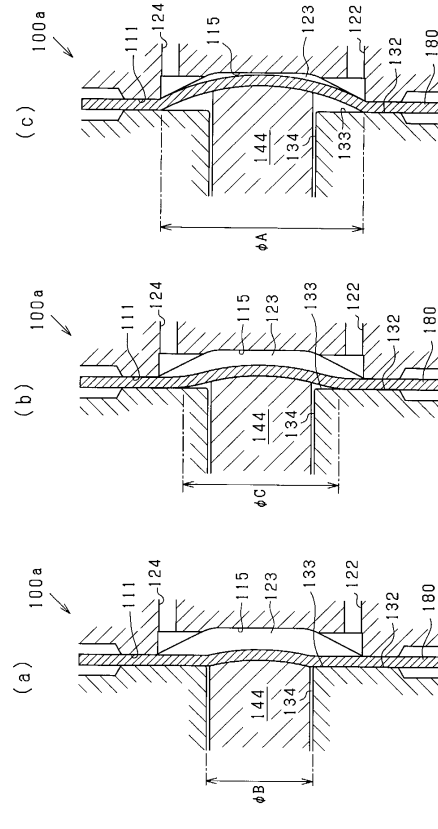
(b) 低压時動作



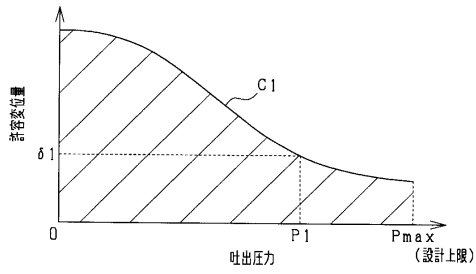
【 図 7 】



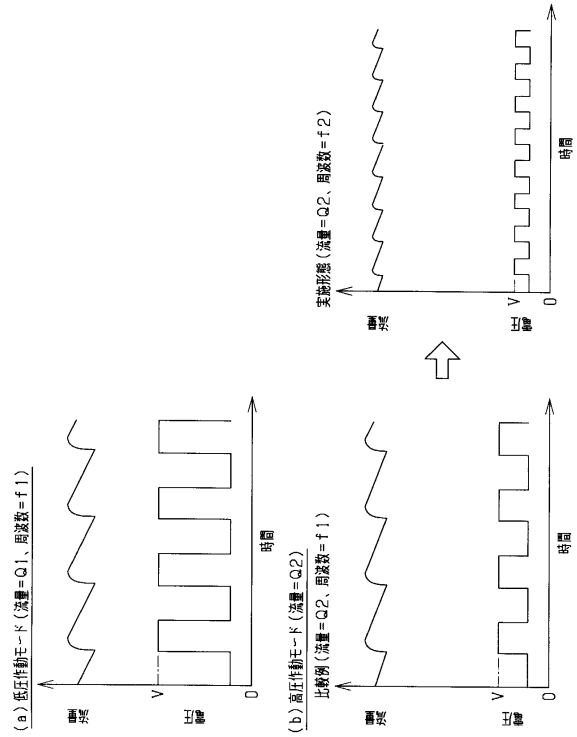
【 図 8 】



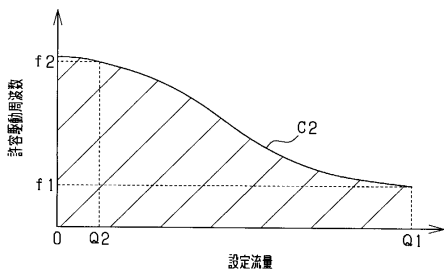
【 図 9 】



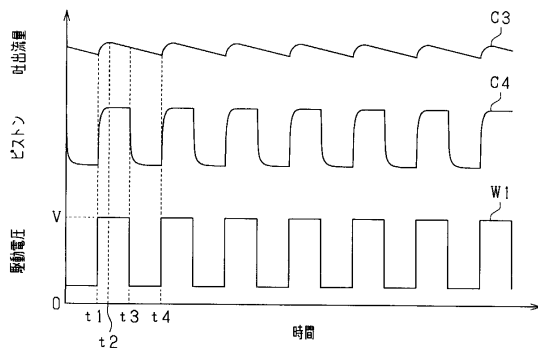
【 図 1 1 】



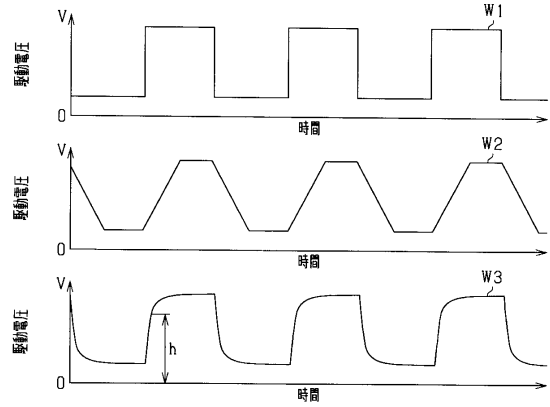
【 図 1 0 】



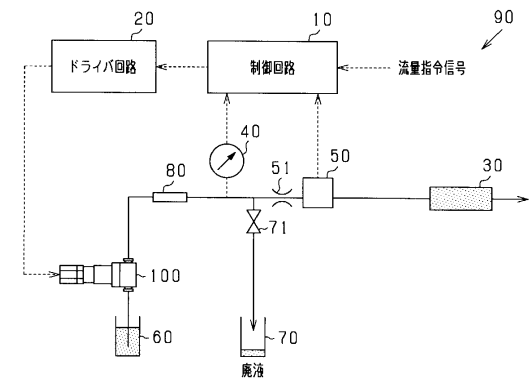
【図12】



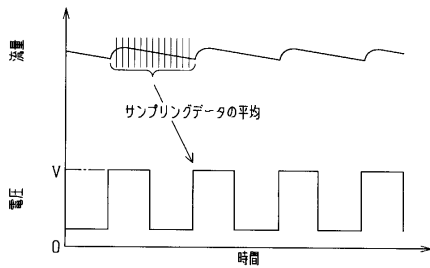
【図13】



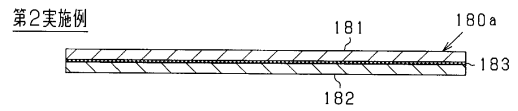
【図14】



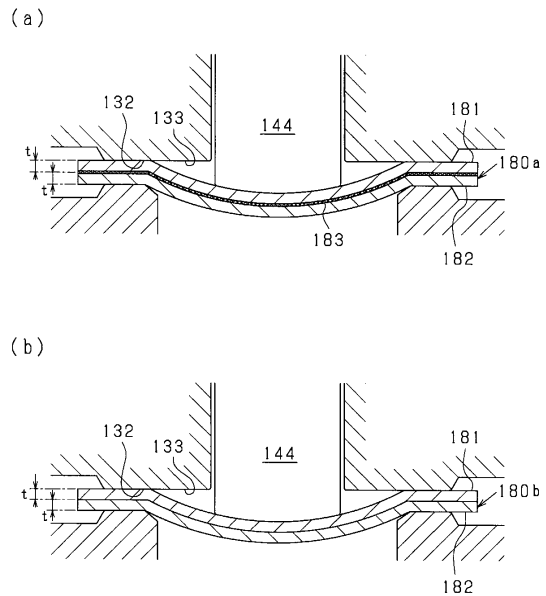
【図15】



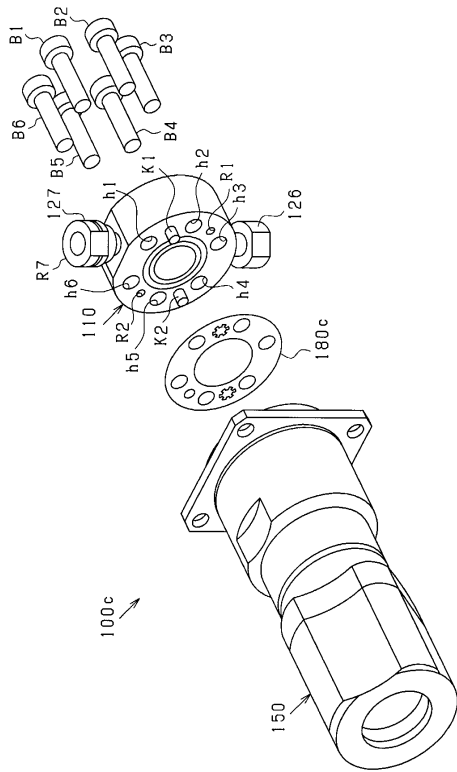
【図16】



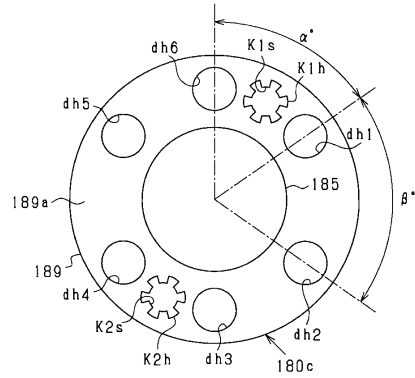
【図17】



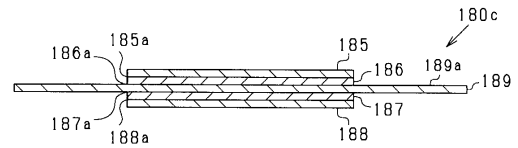
【 図 18 】



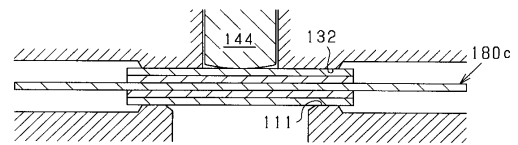
【 図 19 】



【 図 20 】

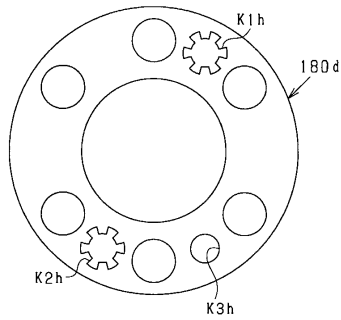


【 図 21 】

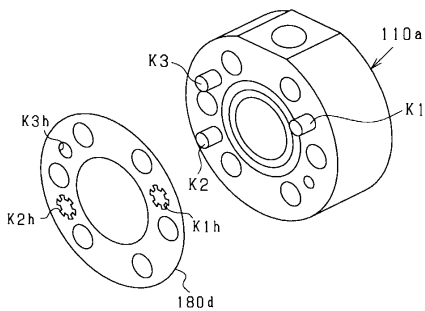


【 図 22 】

(a) 第1变形例

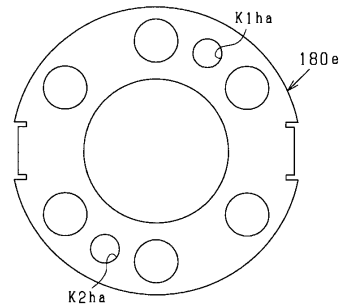


(b) 第1变形例

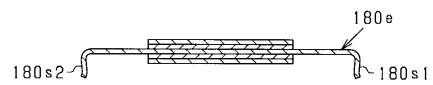


【 図 23 】

(a) 第2变形例



(b) 第2变形例



フロントページの続き

- (56)参考文献 特公昭49-23230(JP, B1)
実開昭53-10058(JP, U)
特開平4-191576(JP, A)
特開昭62-292965(JP, A)
特開昭63-173865(JP, A)
特開昭61-98980(JP, A)
特開2009-57861(JP, A)
国際公開第2009/051166(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- F04B 43/02
F04B 43/04
F16J 3/02