

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7675644号
(P7675644)

(45)発行日 令和7年5月13日(2025.5.13)

(24)登録日 令和7年5月1日(2025.5.1)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N 30/32 (2006.01)

G 0 1 N 30/32 C

F 0 4 B 23/06 (2006.01)

F 0 4 B 23/06

請求項の数 4 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-214281(P2021-214281)	(73)特許権者	501387839
(22)出願日	令和3年12月28日(2021.12.28)		株式会社日立ハイテク
(65)公開番号	特開2023-97906(P2023-97906A)		東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(43)公開日	令和5年7月10日(2023.7.10)	(74)代理人	110000350
審査請求日	令和6年7月23日(2024.7.23)		ポレール弁理士法人
		(72)発明者	塚田 修大
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	金井 大輔
			東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株
			式会社日立ハイテク内
		(72)発明者	岩佐 翔
			東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株
			式会社日立ハイテク内
		(72)発明者	原田 裕至
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送液ポンプ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

液体を吐出する送液ポンプであって、
移動可能な第1プランジャを備える第1プランジャポンプと、
移動可能な第2プランジャを備え、前記第1プランジャポンプと接続された第2プラン
ジャポンプと、
前記第2プランジャポンプの下流側に配置され、前記第2プランジャポンプから吐出さ
れた前記液体の圧力である送液圧力を測定する圧力センサと、
前記圧力センサが測定した前記送液圧力を入力するとともに、前記第1プランジャの駆
動と前記第2プランジャの駆動を制御する制御部と、
を備え、
前記制御部は、前記送液圧力に依存するパラメータと、前記送液圧力と、前記液体の予
め設定された流量である目標流量とを用いて、前記第1プランジャの移動速度と前記第2
プランジャの移動速度を求め、
前記パラメータは、前記送液圧力と前記液体の流量との関係を表す式のパラメータであ
るとともに、基本流量を前記液体の流量から求める式のパラメータであり、
前記基本流量は、漏れがない場合に前記送液ポンプから吐出される、圧縮された状態の前
記液体の流量である、
ことを特徴とする送液ポンプ。

【請求項2】

前記制御部は、前記送液ポンプが前記液体を吐出している間に、前記圧力センサから前記送液圧力を入力して前記パラメータを計算して求め、求めた前記パラメータを用いて前記第1プランジャの移動速度と前記第2プランジャの移動速度を求める、請求項1に記載の送液ポンプ。

【請求項3】

前記パラメータは、前記送液圧力に対して線形に変化するパラメータである、請求項1に記載の送液ポンプ。

【請求項4】

前記液体の流量を測定する流量計を備え、

前記制御部は、前記送液圧力と前記流量計が測定した流量との関係に基づいて、前記パラメータを求める、請求項1に記載の送液ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、液体を送るポンプに関する。

【背景技術】

【0002】

送液ポンプは、定量の液体を送るためのポンプであり、例えば液体クロマトグラフに用いられる。液体クロマトグラフを用いた分析では、分析結果に高い再現性が必要であり、このためには送液ポンプに高い流量精度が求められる。

【0003】

一般に、液体クロマトグラフは、液体である溶媒を送液する送液ポンプ、試料を液体クロマトグラフに導入するためのインジェクタ、分離カラム、検出器、廃液容器、及びこれらの機器を制御するシステム制御部を備える。液体クロマトグラフに用いられる送液ポンプは、直列に接続された2台のプランジャポンプで構成されることが一般的である。上流側のプランジャポンプ（第1プランジャポンプ）は、溶媒を吸引し、圧縮して吐出する。第1プランジャポンプのみでは一定流量を送液することができないため、第1プランジャポンプの下流側にもう一台のプランジャポンプ（第2プランジャポンプ）が接続される。第2プランジャポンプは、第1プランジャポンプの脈流を打ち消す動作をする（すなわち、第1プランジャポンプが溶媒を吸引し圧縮するときに、溶媒を吐出する）。送液ポンプは、第1プランジャポンプと第2プランジャポンプのこのような動作により、一定流量の溶媒を送液することができる。

【0004】

送液ポンプから吐出された溶媒には、インジェクタによって、分析対象である試料が注入される。試料が注入された溶媒は、分離カラムに導入されて成分ごとに分離され、その後、検出器により、試料成分に応じた特性、例えば吸光度、蛍光強度、及び屈折率などが検出される。分離カラムには、微小粒子が充填されている。溶媒が微小粒子の隙間を流れる際の流体抵抗によって、送液ポンプには数十メガパスカルから百メガパスカル超の負荷圧力が発生する。この負荷圧力の大きさは、分離カラムの径（例えば、数ミリメートル程度）、微小粒子の大きさ（例えば、数マイクロメートル程度）、及び通過流量に応じて異なる。

【0005】

溶媒は、負荷圧力まで圧縮されて送液ポンプから吐出される。分離カラムの下流側にある検出器では、溶媒の圧力はほぼ大気圧である。このため、溶媒は、検出器では送液ポンプ内の状態に対して膨張している。また、送液ポンプでは、シール部や構成部品の接続部から微小な量の溶媒が漏れることがある。したがって、送液ポンプで高い流量精度を得るためには、溶媒の膨張と漏れを考慮して、送液ポンプを制御する必要がある。溶媒の漏れには、圧力に依存する漏れと流量に依存する漏れがある。

【0006】

10

20

30

40

50

溶媒の膨張又は漏れを考慮した従来の送液ポンプの例は、例えば特許文献 1 と特許文献 2 に開示されている。

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 には、溶媒の圧縮の影響を補正する技術が開示されている。特許文献 1 に記載された送液装置は、ポンプ部から吐出流路へ吐出される移動相（流体）の流量の大気圧下についての換算値が設定された流量になるようなプランジャポンプの吐出速度を求める吐出速度算出部と、吐出速度算出部が求めた吐出速度で吐出行程中のプランジャポンプを動作させる吐出動作制御部とを備えるので、大気圧下での移動相の体積流量が設定された流量となるようにプランジャの駆動速度を正確に制御することができ、移動相の圧縮性に起因する送液流量のずれを小さくすることができる。

10

【 0 0 0 8 】

特許文献 2 には、漏れを検出して、さらに補正する技術が開示されている。特許文献 2 に記載された装置では、所定のある一定の圧力において流量が 0 になるようにポンプを駆動し、このときのプランジャの変位を分析することで漏れの検出を行い、検出した漏れを補正するようにポンプ流量を調整する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 9 】

【文献】国際公開第 2 0 1 9 / 0 8 2 2 4 3 号

【文献】欧州特許第 2 2 4 4 0 9 1 号明細書

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

特許文献 1 に開示された技術では、溶媒の膨張のみを考慮して送液ポンプを制御し、溶媒の漏れが考慮されていない。このため、送液ポンプに求められた流量精度に対して、漏れの大きさが無視できない場合には、求められた流量精度を達成することが難しい。

【 0 0 1 1 】

特許文献 2 に開示された技術では、溶媒の漏れを考慮してポンプ流量を調整するが、溶媒の圧力に依存する漏れのみを考慮しており、流量に依存する漏れを考慮していない。このため、送液ポンプに求められた流量精度に対して、流量が変化した場合の漏れの変化が無視できない場合には、求められた流量精度を達成することが難しい。

30

【 0 0 1 2 】

このように、従来の技術では、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れを考慮していないので、これらを考慮して高い流量精度で送液できる送液ポンプが望まれている。

【 0 0 1 3 】

本発明は、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れを考慮できて、流量精度の高い送液が可能な送液ポンプ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】

【 0 0 1 4 】

本発明による送液ポンプは、液体を吐出する送液ポンプであって、移動可能な第 1 プランジャを備える第 1 プランジャポンプと、移動可能な第 2 プランジャを備え、前記第 1 プランジャポンプと接続された第 2 プランジャポンプと、前記第 2 プランジャポンプの下流側に配置され、前記第 2 プランジャポンプから吐出された前記液体の圧力である送液圧力を測定する圧力センサと、前記圧力センサが測定した前記送液圧力を入力するとともに、前記第 1 プランジャの駆動と前記第 2 プランジャの駆動を制御する制御部とを備える。前記制御部は、前記送液圧力に依存するパラメータと、前記送液圧力と、前記液体の予め設定された流量である目標流量とを用いて、前記第 1 プランジャの移動速度と前記第 2 プランジャの移動速度を求める。前記パラメータは、前記送液圧力と前記液体の流量との関係を表す式のパラメータである。

40

50

【発明の効果】**【 0 0 1 5 】**

本発明によると、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れを考慮できて、流量精度の高い送液が可能な送液ポンプを提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【 0 0 1 6 】**

【図 1】本発明の実施例 1 による送液ポンプを備える液体クロマトグラフの構成を示す模式図である。

【図 2】溶媒を通常送液する際の、第 1 プランジャと第 2 プランジャの変位、及び溶媒の吐出流量と吐出圧力を示すグラフである。

10

【図 3】2 つの送液ポンプを備える液体クロマトグラフの構成を示す模式図である。

【図 4】送液ポンプの流量精度に影響を与える因子の関係を模式的に説明する図である。

【図 5】送液圧力に対する検出器での溶媒の流量を模式的に示す図である。

【図 6 A】基本流量が Q_{b1} の場合に、送液圧力に対する検出器での溶媒の流量の測定値の例を模式的に示す図である。

【図 6 B】基本流量が Q_{b2} の場合に、送液圧力に対する検出器での溶媒の流量の測定値の例を模式的に示す図である。

【図 7 A】送液圧力に対し、式 (5) から得られたパラメータ C_1 をプロットした例を模式的に示す図である。

【図 7 B】送液圧力に対し、式 (6) から得られたパラメータ C_0 をプロットした例を模式的に示す図である。

20

【発明を実施するための形態】**【 0 0 1 7 】**

本発明による送液ポンプは、液体である溶媒を吐出して送るポンプであり、例えば、液体クロマトグラフに適用することができる。本発明による送液ポンプは、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れを考慮してポンプ動作（より具体的には、プランジャの移動速度）を決定し、流量精度の高い送液が可能である。本発明による送液ポンプでは、ポンプ制御部が、送液圧力と検出器での溶媒の流量との関係を表す式のパラメータの値を求め、このパラメータを用いて求めた速度でプランジャを駆動する。さらに、本発明による送液ポンプは、送液中の圧力をフィードバックして、送液中にパラメータを調整することもできる。

30

【 0 0 1 8 】

以下では、本発明の実施例による送液ポンプを説明する。なお、以下で述べる流量とは、特に説明をしない限り、体積流量のことである。

【実施例 1】**【 0 0 1 9 】**

< 送液ポンプ及び液体クロマトグラフの構成例 >

図 1 は、本発明の実施例 1 による送液ポンプ 1 を備える液体クロマトグラフ 100 の構成を示す模式図である。液体クロマトグラフ 100 は、送液ポンプ 1、試料を液体クロマトグラフ 100 に導入するためのインジェクタ 2、分離カラム 3、検出器 4、廃液容器 5、及びこれらの機器を制御するシステム制御部 7 を備える。

40

【 0 0 2 0 】

インジェクタ 2、分離カラム 3、検出器 4、及び廃液容器 5 には、液体クロマトグラフに一般に用いられるものを使用することができるので、本実施例では、これらの機器の詳細な構成についての説明を省略する。

【 0 0 2 1 】

送液ポンプ 1 は、ポンプ制御部であるコントローラ 10、圧力センサ 110、第 1 プランジャポンプ 101、第 2 プランジャポンプ 102、連結流路 103、第 1 電磁弁 81、第 2 電磁弁 82、モータドライバ 210、パージバルブドライバ 310、パージバルブ 311、廃液タンク 312、及び電磁弁ドライバ 410 を備える。送液ポンプ 1 は、液体（

50

例えば、溶媒)を吐出する。送液ポンプ1は、その下流側に、インジェクタ2、分離カラム3、検出器4、及び廃液容器5を接続可能である。本実施例では、送液ポンプ1の下流に、インジェクタ2、分離カラム3、検出器4、及び廃液容器5が接続されている。検出器4は、送液ポンプ1が吐出した液体(溶媒)に含まれる試料の特性を検出する。

【0022】

第1プランジャポンプ101と第2プランジャポンプ102は、互いに直列に接続されている。第1プランジャポンプ101が上流側に配置され、第2プランジャポンプ102が下流側に配置されている。なお、第1プランジャポンプ101と第2プランジャポンプ102は、互いに並列に接続されてもよい。本実施例では、第1プランジャポンプ101と第2プランジャポンプ102が直列に接続されている例を説明する。

10

【0023】

圧力センサ110は、第2プランジャポンプ102の下流側に設置されている。圧力センサ110は、第2プランジャポンプ102から吐出された溶媒(液体)の圧力(吐出圧力)を測定し、測定した圧力値をコントローラ10へ出力する。

【0024】

詳細は後述するが、コントローラ10は、圧力センサ110が測定した吐出圧力と予め定められた動作シーケンスに基づき、モータドライバ210及び電磁弁ドライバ410に指令値を与えてこれらのドライバを動作させる。また、コントローラ10は、予め定められた動作シーケンスに基づき、パージバルブドライバ310に指令値を与えてこれを動作させる。

20

【0025】

第1プランジャポンプ101は、第1加圧室11、第1プランジャ21、第1吸引通路31、第1吐出通路41、第1逆止弁51、第2逆止弁52、第1シール61、及び軸受71を有する第1ポンプヘッド111を備える。第1逆止弁51は、第1吸引通路31の流路上に配置されている。第2逆止弁52は、第1吐出通路41の流路上に配置されている。第1逆止弁51と第2逆止弁52は、溶媒の流通方向を制限する。第1プランジャ21は、加圧部材であり、軸受71により第1プランジャポンプ101内を摺動して移動可能に保持されている。第1シール61は、第1加圧室11からの液漏れを防止している。

【0026】

第2プランジャポンプ102は、第2加圧室12、第2プランジャ22、第2吸引通路32、第2吐出通路42、第2シール62、及び軸受72を有する第2ポンプヘッド112を備える。第2逆止弁52と第2吸引通路32は、連結流路103により互いに連結されている。すなわち、第1プランジャポンプ101と第2プランジャポンプ102は、直列に接続され、第1プランジャポンプ101が上流側に設置されている。第2プランジャ22は、加圧部材であり、軸受72により第2プランジャポンプ102内を摺動して移動可能に保持されている。第2シール62は、第2加圧室12からの液漏れを防止している。

30

【0027】

本明細書において、プランジャ(第1プランジャ21と第2プランジャ22)の「上昇」とは、加圧室(第1加圧室11と第2加圧室12)の内部の溶媒が圧縮又は吐出される方向のプランジャの移動(図1における右向きの動き)を表す。一方、プランジャの「下降」とは、加圧室の内部に溶媒が吸引される方向のプランジャの移動(図1における左向きの動き)を表す。また、「上限点」とは、プランジャが加圧室の内部を移動できる範囲において、最も上昇した位置を示す。「下限点」とは、プランジャが加圧室の内部を移動できる範囲において、最も下降した位置を示す。

40

【0028】

第1プランジャ21の往復運動は、第1電動モータ211、減速装置221、及び直動装置231により制御される。より具体的には、第1プランジャ21は、コントローラ10により、以下のようにして制御される。モータドライバ210は、コントローラ10の指令値に基づいて第1電動モータ211に駆動電力を与えて、第1電動モータ211を回転させる。第1電動モータ211の回転は、減速装置221により減速され、直動装置2

50

３１により直線運動に変換される。第１プランジャ２１は、直動装置２３１のこの直線運動にしたがって往復運動をする。

【００２９】

同様に、第２プランジャ２２の往復運動は、第２電動モータ２１２、減速装置２２２、及び直動装置２３２により制御される。より具体的には、第２プランジャ２２は、コントローラ１０により、以下のようにして制御される。モータドライバ２１０は、コントローラ１０の指令値に基づいて第２電動モータ２１２に駆動電力を与えて、第２電動モータ２１２を回転させる。第２電動モータ２１２の回転は、減速装置２２２により減速され、直動装置２３２により直線運動に変換される。第２プランジャ２２は、直動装置２３２のこの直線運動にしたがって往復運動をする。

10

【００３０】

減速装置２２１と直動装置２３１は、これらを組み合わせることによって第１電動モータ２１１の回転動力を増幅して直線運動力に変換することから、広義に動力伝達機構装置と呼ぶことができる。このことは、減速装置２２２及び直動装置２３２についても同様である。

【００３１】

減速装置２２１、２２２の具体例としては、平歯車、プーリー、遊星歯車、及びウォームギヤなどを挙げることができる。減速装置２２１、２２２を設ける主な理由は、第１及び第２電動モータ２１１、２１２のトルクを増大させるためである。もし第１及び第２電動モータ２１１、２１２に十分なトルクを発生させる能力があるならば、必ずしも減速装置２２１、２２２を設置する必要はない。

20

【００３２】

直動装置２３１、２３２の具体例としては、ボールねじ、カム、及びラックピニオンなどを挙げることができる。

【００３３】

パージバルブドライバ３１０は、コントローラ１０の指令値に基づいてパージバルブ３１１に駆動電力を与える。パージバルブ３１１は、第２プランジャポンプ１０２の下流側に接続されている。パージバルブ３１１は、第２プランジャポンプ１０２から吐出された溶媒が流れる方向を、インジェクタ２側又は廃液タンク３１２側のどちらかに切り替える。

【００３４】

30

電磁弁ドライバ４１０は、コントローラ１０の指令値に基づいて第１電磁弁８１と第２電磁弁８２に駆動電力を与える。送液ポンプ１の外部には、第１溶媒５１１を収容する溶媒容器と、第２溶媒５１２を収容する溶媒容器が設置されている。第１電磁弁８１と第２電磁弁８２の開閉と、第１プランジャポンプ１０１と第２プランジャポンプ１０２（第１プランジャ２１と第２プランジャ２２）の駆動により、第１溶媒５１１と第２溶媒５１２は、送液ポンプ１へ送液される。

【００３５】

第１プランジャポンプ１０１が溶媒を吸引するときには、第１電磁弁８１と第２電磁弁８２のうち一方が開いて他方が閉じた状態となり、第１溶媒５１１と第２溶媒５１２のうち一方が吸引される。吸引された溶媒は、合流部９０、第１逆止弁５１、及び第１吸引通路３１を通過して第１加圧室１１に流入する。吸引されて第１加圧室１１の内部に流入した溶媒は、第１プランジャ２１の上昇に伴って圧縮される。

40

【００３６】

溶媒が圧縮されることで第１加圧室１１の内部の圧力が第２加圧室１２の内部の圧力より大きくなると、溶媒は、第１吐出通路４１、第２逆止弁５２、連結流路１０３、及び第２吸引通路３２を通過して第２加圧室１２に流入し、第２吐出通路４２から吐出される。

【００３７】

送液ポンプ１から吐出された溶媒には、インジェクタ２によって、分析対象である試料が注入される。試料が注入された溶媒は、分離カラム３に導入されて成分ごとに分離され、その後、検出器４により、試料成分に応じた吸光度、蛍光強度、及び屈折率などが検出

50

される。分離カラム 3 には微小粒子が充填されており、溶媒が微小粒子の隙間を流れる際の流体抵抗によって、送液ポンプ 1 には数十メガパスカルから百メガパスカル超の負荷圧力が発生する。この負荷圧力の大きさは、分離カラム 3 の径や長さ、微小粒子の種類や大きさ、及び通過流量などに応じて異なる。

【 0 0 3 8 】

送液ポンプ 1 は、検出器 4 の上流側又は下流側に流量計 8 を備えることができる。図 1 では、一例として、流量計 8 が検出器 4 の上流側に設置されている。流量計 8 は、送液ポンプ 1 が吐出した溶媒の、検出器 4 での流量を測定する。流量計 8 が測定した値は、コントローラ 10 に入力される。なお、送液ポンプ 1 は、流量計 8 を備えなくてもよい。

【 0 0 3 9 】

< 送液方法 >

本実施例による送液ポンプ 1 を用いて溶媒を通常送液する際の送液方法の概略を説明する。「通常送液」とは、送液ポンプ 1 が吐出した溶媒をインジェクタ 2、分離カラム 3、及び検出器 4 へ流し、試料を分析する場合の送液方法である。なお、試料を分析しない場合（溶媒を廃液タンク 3 1 2 に送液する場合）の送液方法は、試料を分析する場合と同様の動作となるため、説明を省略する。

【 0 0 4 0 】

図 2 は、送液ポンプ 1 により溶媒を通常送液する際の、第 1 プランジャ 2 1 と第 2 プランジャ 2 2 の変位、及び溶媒の吐出流量と吐出圧力を示すグラフである。図 2 に示す 4 つのグラフにおいて、横軸は、時間を示し、縦軸は、上から順に、第 1 プランジャ 2 1 の変位、第 2 プランジャ 2 2 の変位、溶媒の吐出流量、及び溶媒の吐出圧力を示す。ここで、吐出流量は、送液ポンプ 1 が吐出した溶媒の流量（送液ポンプ 1 が吐出した直後の溶媒の流量）であり、吐出圧力は、圧力センサ 1 1 0 が検出する圧力、すなわち送液ポンプ 1 から吐出された溶媒の圧力である。第 1 プランジャ 2 1 の変位と第 2 プランジャ 2 2 の変位は、上昇方向（図 1 の右方向）を正方向とし、下降方向（図 1 の左方向）を負方向とする。吐出流量は、吐出を正とし、吸引を負とする。

【 0 0 4 1 】

通常送液において、第 1 プランジャ 2 1 と第 2 プランジャ 2 2 は、ともに下限点を基準として動作する。

【 0 0 4 2 】

通常送液において、第 1 プランジャポンプ 1 0 1 と第 2 プランジャポンプ 1 0 2 は、ともに周期的な動作をする。図 2 では、4 周期分の動作が示されている。1 つの送液周期の中には、時間順に区間 a、区間 b、区間 c、及び区間 d という 4 つの区間がある。

【 0 0 4 3 】

区間 a は、第 1 プランジャ 2 1 が下降して溶媒を吸引する区間である。区間 b は、第 1 プランジャ 2 1 が上昇して溶媒を圧縮する区間である。区間 a と区間 b では、第 1 加圧室 1 1 から溶媒が吐出されないの、第 2 プランジャ 2 2 が上昇して溶媒を吐出する。詳細は後述するが、区間 b には、第 1 プランジャ 2 1 が上昇する区間 b 1 と、その後第 1 プランジャ 2 1 が停止する区間 b 2 がある。区間 c は、第 2 プランジャ 2 2 が下降して溶媒を吸引する区間である。区間 c では、第 1 プランジャ 2 1 は、上昇して、第 2 プランジャ 2 2 の吸引分と送液ポンプ 1 が吐出する分の溶媒を吐出する。区間 d では、第 1 プランジャ 2 1 は、上昇して溶媒を吐出し、第 2 プランジャ 2 2 は、停止する。

【 0 0 4 4 】

第 1 プランジャポンプ 1 0 1 と第 2 プランジャポンプ 1 0 2 は、このような動作を行うことで、送液ポンプ 1 からの吐出流量をほぼ一定に保つことができ、吐出圧力もほぼ一定にすることができる。

【 0 0 4 5 】

第 1 プランジャ 2 1 は、区間 b 1 と区間 b 2 とで動作が異なる。第 1 プランジャ 2 1 がこれらの動作を切り替えるタイミングは、例えば、圧力センサ 1 1 0 が吐出圧力の脈動を検出したタイミングとすることができる。具体的には、区間 b 1 で、第 1 プランジャ 2 1

10

20

30

40

50

が上昇して圧縮動作を続けると、第 1 加圧室 11 の内部の溶媒の圧力が吐出圧力を超えることによって、吐出流量が瞬間的に大きくなり、これに伴って吐出圧力も瞬間的に大きくなる。図 2 には、このようにして生じる吐出流量と吐出圧力の脈動を示している。

【 0 0 4 6 】

コントローラ 10 は、圧力センサ 110 が吐出圧力の脈動を検出したタイミングで、第 1 プランジャ 21 の動作を、区間 b1 での動作から区間 b2 での動作に切り替える。

【 0 0 4 7 】

以下では、漏れがない場合に送液ポンプ 1 から吐出される、圧縮された状態（高圧の状態）の溶媒の体積流量を「基本流量 Q_b 」と呼ぶ。基本流量 Q_b は、区間 a、b と区間 c、d に分けて、以下の式（1）と式（2）で表される。

$$Q_b = v_2 \times A \quad (\text{区間 a、b}) \quad (1)$$

$$Q_b = (v_1 + v_2) \times A \quad (\text{区間 c、d}) \quad (2)$$

v_1 は、第 1 プランジャ 21 の移動速度である。 v_2 は、第 2 プランジャ 22 の移動速度である。 A は、第 1 プランジャ 21 と第 2 プランジャ 22 の断面積であり、既知の値である。ただし、第 1 プランジャ 21 と第 2 プランジャ 22 の断面積が同一であると仮定している。

【 0 0 4 8 】

基本流量 Q_b は、区間 a、b では、第 2 プランジャ 22 が上昇して押しのけた溶媒の体積をその区間の時間で割った値にほぼ一致し、区間 c、d では、第 1 プランジャ 21 が上昇して押しのけた溶媒の体積と第 2 プランジャ 22 が下降して引き込んだ溶媒の体積との差分をその区間の時間で割った値にほぼ一致する。すなわち、基本流量 Q_b は、漏れがない場合に送液ポンプ 1 から吐出される、圧縮された状態の溶媒の体積流量である（ただし、脈動は考慮しない）。図 2 に示した吐出流量は、漏れがない場合の体積流量、すなわち基本流量 Q_b であり、脈動も示されている。

【 0 0 4 9 】

基本流量 Q_b がわかると、断面積 A が既知であるため、式（1）と式（2）から区間 a、b と区間 c、d での v_1 と v_2 、すなわち第 1 プランジャ 21 と第 2 プランジャ 22 を移動させる速度が求められる。ただし、 v_1 と v_2 の比を予め定めておく必要がある。具体的には、区間 a、b では、式（1）から v_2 が求められる。このとき、第 1 プランジャ 21 の動作は吐出流量に影響しないので、区間 a で溶媒を吸引する速度と、区間 b で溶媒を圧縮する速度は、区間 a、b の時間の範囲内で任意の値をとることができる。区間 d では、図 2 の第 2 プランジャ 22 の変位から $v_2 = 0$ なので、式（2）から v_1 が求められる。区間 c では、区間 c の時間で第 2 プランジャ 22 が下限点に戻るよう v_2 が求められ、そして式（2）から v_1 が求められる。

【 0 0 5 0 】

< 液体クロマトグラフの他の構成例 >

図 3 は、2 つの送液ポンプ 1001、1002 を備える液体クロマトグラフ 200 の構成を示す模式図である。図 3 に示す液体クロマトグラフ 200 は、送液ポンプ 1001、送液ポンプ 1002、インジェクタ 2、分離カラム 3、検出器 4、廃液容器 5、及びシステム制御部 7 を備える。送液ポンプ 1001 と送液ポンプ 1002 は、本実施例による送液ポンプ 1（図 1）と同じ構成を備える。

【 0 0 5 1 】

図 3 に示した液体クロマトグラフ 200 は、並列に接続された 2 つの送液ポンプ 1001、1002 を有し、いわゆる高圧グラジエント分析が可能な構成を備える。送液ポンプ 1001、1002 は、互いに異なる溶媒を送液する。すなわち、送液ポンプ 1001 は、第 1 溶媒 511 と第 2 溶媒 512 を送液し、送液ポンプ 1002 は、第 3 溶媒 513 と第 4 溶媒 514 を送液する。送液ポンプ 1001 からの流路と送液ポンプ 1002 からの流路は、インジェクタ 2 の上流側にある合流点 6 で合流する。

【 0 0 5 2 】

送液ポンプ 1001 から送液された溶媒と送液ポンプ 1002 から送液された溶媒は、

10

20

30

40

50

合流点 6 より下流側で混合されて分離カラム 3 に送液される。送液ポンプ 1 0 0 1、1 0 0 2 の流量は、分析項目に応じてシステム制御部 7 によりそれぞれ適切に設定される。

【 0 0 5 3 】

高圧グラジエント分析の際には、一般に、送液ポンプ 1 0 0 1 と送液ポンプ 1 0 0 2 の合計の流量を一定とし、それぞれの送液ポンプ 1 0 0 1、1 0 0 2 の流量を変化させて、分離カラム 3 に流れる溶媒の濃度を変化させる。したがって、1 回の分析で、それぞれの送液ポンプ 1 0 0 1、1 0 0 2 の流量が逐次変化していく。このため、目標流量（検出器 4 での目標とする流量）に応じたポンプ動作（プランジャの駆動速度）の補正が必要である。

【 0 0 5 4 】

< 流量精度に影響を与える因子 >

図 4 は、送液ポンプ 1 の流量精度に影響を与える因子の関係を模式的に説明する図である。図 4 では、紙面の左右方向に長い長方形で流量を示している。各長方形の左右方向の長さが、流量（体積流量）の大きさを示す。なお、溶媒の送液圧力（吐出圧力）を P_2 で表し、検出器 4 での溶媒の圧力を P_0 で表す。送液圧力 P_2 は、送液ポンプ 1 の内部での溶媒の圧力であり、圧力センサ 1 1 0 で測定される圧力である。検出器 4 での溶媒の圧力 P_0 は、大気圧にほぼ等しく、送液圧力 P_2 よりも低い。

【 0 0 5 5 】

溶媒の流量は、溶媒の漏れと膨張により変化する。以下では、溶媒の漏れによる流量の変化と、溶媒の膨張による流量の変化について説明する。

【 0 0 5 6 】

溶媒は、圧力が送液圧力（吐出圧力） P_2 のときには圧縮されている。第 1 プランジャ 2 1 と第 2 プランジャ 2 2 は、この状態の溶媒を基本流量 Q_b で押しのける。溶媒の漏れがなければ、この基本流量 Q_b の溶媒が送液ポンプ 1 から吐出される。実際には、プランジャ 2 1、2 2 とシール 6 1、6 2 の隙間や、逆止弁 5 1、5 2 の接続部分などから溶媒の漏れが発生するため、この漏れの分だけ送液ポンプ 1 から吐出される流量は、基本流量 Q_b よりも小さくなる。

【 0 0 5 7 】

溶媒の漏れには、圧力に依存する漏れと、流量に依存する漏れがある。圧力に依存する漏れの量を Q_{leakP} で表し、流量に依存する漏れの量を Q_{leakQ} で表す。

【 0 0 5 8 】

図 4 に示すように、圧力が送液圧力 P_2 の溶媒は、漏れない場合には、流量が基本流量 Q_b である。圧力に依存する漏れと流量に依存する漏れがある場合には、流量は、 Q_{leakP} と Q_{leakQ} の和だけ小さくなる。すなわち、漏れがある場合には、送液ポンプ 1 から吐出される溶媒（圧力は P_2 ）の流量 Q_2 は、溶媒の膨張を考慮しないと、基本流量 Q_b より（ $Q_{leakP} + Q_{leakQ}$ ）だけ小さい。

【 0 0 5 9 】

圧力に依存する漏れは、送液ポンプ 1 の内部の溶媒の圧力と、送液ポンプ 1 の外部の圧力（大気圧）との圧力差によって、上述の漏れの発生個所から溶媒が漏れ出す現象である。圧力に依存する漏れは、圧力差が大きいほど大きい。

【 0 0 6 0 】

流量に依存する漏れは、例えば、プランジャ 2 1、2 2 が下降するときにプランジャ 2 1、2 2 に溶媒が付着して、シール 6 1、6 1 とプランジャ 2 1、2 2 の隙間から溶媒が漏れ出す現象である。流量に依存する漏れは、例えば、図 2 に示した区間 c において第 2 プランジャ 2 2 が下降する際に発生する。流量が大きいと、区間 c での第 2 プランジャ 2 2 の下降距離が大きく、このために多くの溶媒が漏れる。

【 0 0 6 1 】

圧力に依存する漏れのメカニズムと流量に依存する漏れのメカニズムは、この他にもいくつか存在すると考えられる。

【 0 0 6 2 】

10

20

30

40

50

また、図 4 に示すように、検出器 4 では、溶媒が膨張することにより、流量が変化する。検出器 4 での溶媒の圧力は、大気圧にほぼ等しい P_0 であり、送液圧力 P_2 よりも低い。このため、検出器 4 での溶媒は、送液ポンプ 1 の内部での溶媒よりも膨張している。この膨張により、検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 は、 Q_2 （送液ポンプ 1 から送液圧力 P_2 で吐出される溶媒の流量）よりも大きい。

【0063】

本実施例による送液ポンプ 1 は、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れと、溶媒の膨張を考慮し、これらの影響による溶媒の流量の変化を補正することで、流量精度の高い送液が可能である。

【0064】

図 5 は、送液圧力 P_2 に対する検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 を模式的に示す図であり、溶媒の流量の補正によって、検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 がどのように変化するかを模式的に示している。図 5 のグラフにおいて、線 1 ~ 4 は溶媒の流量が大きい場合（高流量の場合）を示し、線 5 ~ 8 は溶媒の流量が高流量の場合よりも小さい場合（低流量の場合）を示している。なお、既に述べたように、送液圧力 P_2 は、送液ポンプ 1 の内部での溶媒の圧力であり、圧力センサ 110 で測定される圧力である。

【0065】

破線 1 は、送液ポンプ 1 から吐出された溶媒の流量が基本流量 Q_b の場合の検出器 4 での流量 Q_0 、すなわち溶媒の漏れがなく、流量の補正（溶媒の膨張による流量の変化の補正）が行われる前の検出器 4 での流量 Q_0 を示す。溶媒は、圧力が大きいほど、大きく圧縮されていて検出器 4 での膨張が大きい（検出器 4 での圧力は、大気圧にほぼ等しい P_0 である）。したがって、溶媒は、送液圧力 P_2 が大きいほど、検出器 4 での流量 Q_0 が大きい。なお、送液圧力 P_2 が大気圧に等しいときは、溶媒の圧縮と膨張がないために、検出器 4 での流量 Q_0 は基本流量 Q_b である。

【0066】

点線 2 は、溶媒に圧力に依存する漏れがあり、流量に依存する漏れがない場合の、流量の補正が行われる前の検出器 4 での流量 Q_0 を示す。点線 2 で示す流量は、圧力に依存する漏れの分だけ、破線 1 で示した流量よりも小さい。ただし、圧力に依存する漏れは、送液圧力 P_2 が大気圧に等しいときには生じないので、送液圧力 P_2 が大気圧に等しいときは、検出器 4 での流量 Q_0 は基本流量 Q_b である。

【0067】

一点鎖線 3 は、溶媒に圧力に依存する漏れと流量に依存する漏れの両方がある場合の、流量の補正が行われる前の検出器 4 での流量 Q_0 を示す。一点鎖線 3 で示す流量は、流量に依存する漏れの分だけ、点線 2 で示した流量よりも小さい。流量に依存する漏れは、圧力に依存せず、送液圧力 P_2 が大気圧に等しいときでも生じる。このため、送液圧力 P_2 が大気圧に等しいときの検出器 4 での流量 Q_0 は、基本流量 Q_b に一致しない。

【0068】

実線 4 は、検出器 4 での目標とする流量 Q_0 である目標流量を示す。実線 4 で示す目標流量は、一点鎖線 3 で示す流量に対して、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れとによる流量の変化を補正した場合の流量である。目標流量の値は、予め設定しておくことができる。

【0069】

破線 5、点線 6、一点鎖線 7、及び実線 8 で示される流量は、線 1 ~ 4 で示された流量よりも小さいが、それぞれ破線 1、点線 2、一点鎖線 3、及び実線 4 と同様の流量特性を示す。

【0070】

本実施例による送液ポンプ 1 では、検出器 4 での流量 Q_0 が、送液圧力 P_2 に対して目標流量で一定になるように、すなわち図 5 に実線 4 と実線 8 で示した流量特性となるように、コントローラ 10 が第 1 ブランジャ 21 と第 2 ブランジャ 22 を駆動する。実線 4 と実線 8 で示した流量特性は、送液圧力 P_2 ごとに基本流量 Q_b を変えること（すなわち、

10

20

30

40

50

溶媒の膨張と漏れによる流量の変化を補正すること)で得られる。

【0071】

<漏れの補正式>

図5に一点鎖線3で示した流量特性を、式(3)で近似して表す。

$$Q_0 = \exp(f(P_2)) \times (Q_b - C_{leakp} \times P_2 - C_{leakq} \times Q_b) + Q_{offset} \quad (3)$$

式(3)において、 Q_0 は検出器4での流量、 P_2 は送液圧力、 $f(P_2)$ は送液圧力 P_2 に対する膨張率の関数(送液圧力 P_2 での溶媒の体積に対する大気圧での溶媒の体積の比率)、 Q_b は基本流量、 C_{leakp} は圧力に依存する漏れに関する比例係数、 C_{leakq} は流量に依存する漏れに関する比例係数、 Q_{offset} は近似式の調整係数である。

10

【0072】

送液圧力 P_2 は、圧力センサ110で測定される。関数 $f(P_2)$ で与えられる値には、文献に記載された値などの公知の値を用いてもよいし、実測して得られた値を用いてもよい。 Q_{offset} は、図4と図5を用いて説明した考え方に含まれない脈動などの影響や、流量の測定誤差などを調整して、流量の測定値を式(3)にフィッティングさせるためのパラメータである。

【0073】

式(3)を変形して、

$$Q_b = C_1 \times Q_0 + C_0 \quad (4)$$

20

とする。ただし、パラメータ C_1 、 C_0 は、

$$C_1 = 1 / ((1 - C_{leakq}) \times \exp(f(P_2))) \quad (5)$$

$$C_0 = (1 / (1 - C_{leakq}))$$

$$\times (C_{leakp} \times P_2 - Q_{offset} / \exp(f(P_2))) \quad (6)$$

である。また、 C_1 、 C_0 が送液圧力 P_2 に対して線形に変化するパラメータ(送液圧力 P_2 の1次関数で表されるパラメータ)であるとすると、

$$C_1 = C_{1a} \times P_2 + C_{1b} \quad (7)$$

$$C_0 = C_{0a} \times P_2 + C_{0b} \quad (8)$$

と表される。

【0074】

30

本実施例による送液ポンプ1では、コントローラ10は、パラメータ C_1 、 C_0 と、目標とする検出器4での流量 Q_0 (すなわち目標流量)を用いて、式(4)から検出器4での目標流量(Q_0)に対する基本流量 Q_b を求め、この基本流量 Q_b を用いて式(1)、(2)から第1プランジャ21の移動速度 v_1 と第2プランジャ22の移動速度 v_2 を求め、求めた移動速度 v_1 と移動速度 v_2 でそれぞれ第1プランジャ21と第2プランジャ22を駆動する。パラメータ C_1 、 C_0 は、送液圧力 P_2 に依存し、送液圧力 P_2 を用いて求めることができる。

【0075】

本実施例による送液ポンプ1では、送液圧力 P_2 ごとにパラメータ C_1 、 C_0 、すなわち式(4)から得られる基本流量 Q_b を変えることで、図5に実線4と実線8で示した流量特性(検出器4での流量 Q_0 が、送液圧力 P_2 に対して目標流量で一定である流量特性)が得られる。本実施例による送液ポンプ1は、このようにして第1プランジャ21と第2プランジャ22を駆動して流量を補正することで、流量精度の高い送液が可能である。

40

【0076】

パラメータ C_1 と C_0 は、流量の補正に用いられるパラメータ(補正パラメータ)であり、送液圧力 P_2 と検出器4での溶媒の流量 Q_0 との関係を表す式(式(3)を変形させた式(4))のパラメータである。補正パラメータ C_1 、 C_0 は、式(5)と式(6)にしたがって、又は式(7)と式(8)にしたがって設定される。すなわち、補正パラメータ C_1 、 C_0 は、求め方が2つある。コントローラ10は、補正パラメータ C_1 、 C_0 を式(5)と式(6)で求める場合には、係数 C_{leakp} 、 C_{leakq} 、 Q_{offset}

50

t、及び関数 $f(P_2)$ を記憶し、補正パラメータ C_1 、 C_0 を式 (7) と式 (8) で求める場合には、係数 C_{1a} 、 C_{1b} 、 C_{0a} 、及び C_{0b} を記憶する。

【0077】

式 (5) ~ 式 (8) の各パラメータの値は、溶媒の物性 (例えば、粘度や圧縮率など) によって変化する。コントローラ 10 は、式 (5) ~ 式 (8) の各パラメータの値を溶媒ごとに (例えばテーブルとして) 記憶しておき、溶媒に応じてパラメータ C_1 、 C_0 の値を変更することができる。又は、コントローラ 10 は、パラメータ C_1 、 C_0 を表す係数の値を溶媒の物性に対して関数化して記憶しておき、溶媒ごとにパラメータ C_1 、 C_0 の値を求め、溶媒に応じてパラメータ C_1 、 C_0 の値を変更することができる。

【0078】

なお、式 (3) の C_{leakp} と C_{leakq} と Q_{offset} の求め方については、後述する。

【0079】

< 圧力フィードバック >

式 (5) と式 (6) (又は式 (7) と式 (8)) に示すように、補正パラメータ C_1 、 C_0 は、送液圧力 P_2 に依存する。送液圧力 P_2 は、分離カラム 3 や配管の状態と、温度による溶媒の粘度の変化などによって変化する。このため、送液圧力 P_2 に応じてパラメータ C_1 、 C_0 を調整し、調整したパラメータ C_1 、 C_0 に基づいて送液ポンプ 1 を駆動させることが望ましい。そこで、圧力センサ 110 の測定値をコントローラ 10 にフィードバックさせて、コントローラ 10 がパラメータ C_1 、 C_0 を再計算 (調整) することが

【0080】

コントローラ 10 は、送液圧力 P_2 のフィードバックとして、送液ポンプ 1 が溶媒を吐出している間に、リアルタイム (実際はコントローラ 10 の制御周期) で圧力センサ 110 から測定値 (送液圧力 P_2) を入力する。コントローラ 10 は、送液ポンプ 1 が溶媒を吐出している間に、このフィードバックで得られた送液圧力 P_2 を用い、式 (5) と式 (6) (又は式 (7) と式 (8)) に基づいてパラメータ C_1 、 C_0 を計算して求め、求めた C_1 、 C_0 を用いて式 (4) から目標流量 (Q_0) に対する基本流量 Q_b を算出し、この基本流量 Q_b を用いて第 1 ブランジャ 21 と第 2 ブランジャ 22 の移動速度 v_1 、 v_2 を求めて第 1 ブランジャ 21 と第 2 ブランジャ 22 を駆動する。本実施例による送液ポンプ 1 は、このようにして、送液圧力 P_2 が変化しても、検出器 4 での流量 Q_0 が目標流量で一定になるように調整することができる。

【0081】

送液圧力 P_2 のフィードバックは、任意のタイミングですることができ、例えば、上記のリアルタイムや、送液ポンプ 1 の駆動周期ごとにすることもできる。送液ポンプ 1 の駆動周期ごとにフィードバックを行うと、パラメータ C_1 、 C_0 を算出する時間間隔が大きくなるため、コントローラ 10 の演算能力が低くても流量を容易に補正することができる。したがって、高価なコントローラ 10 を使う必要がなくなり、装置コストを低くすることができる。

【0082】

< 補正パラメータの決め方 >

式 (5) と式 (6) で表される補正パラメータ C_1 、 C_0 は、溶媒ごとに、複数の基本流量 Q_b について、送液圧力 P_2 に対する検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 を測定することで決定することができる。検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 は、流量計 8 で測定することができる。なお、測定する基本流量 Q_b の数が多いほど、補正パラメータ C_1 、 C_0 をより精度良く求めることができる。

【0083】

図 6 A と図 6 B は、送液圧力 P_2 に対する検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 の測定値の例を模式的に示す図である。本実施例では、一例として、基本流量 Q_b が 2 通りの場合について説明する。図 6 A には、基本流量が Q_{b1} の例を、図 6 B には、基本流量が Q_{b2} (<

10

20

30

40

50

Q b 1) の例を、それぞれ示している。

【 0 0 8 4 】

図 6 A と図 6 B に示すように、複数（本実施例では 2 通り）の基本流量 Q_b （ Q_{b1} 、 Q_{b2} ）に対して、横軸を送液圧力 P_2 とし、縦軸を検出器 4 での流量 Q_0 として測定値をプロットし、流量特性線図を得る。そして、流量特性線図（図 6 A と図 6 B）を、膨張率の関数 $f(P_2)$ の値に文献などから求めた公知の値を用いて、式（3）にフィッティングさせることで、 C_{leakq} 、 C_{leakp} 、及び Q_{offset} の値を求めることができる。 C_{leakq} 、 C_{leakp} 、及び Q_{offset} の値は、例えば、流量特性線図の基本流量 Q_b と送液圧力 P_2 に対する流量 Q_0 の測定値を、数値最適化の手法を用いて式（3）にフィッティングさせることで求められる。そして、求めたこれらの値を、式（5）と式（6）に代入することで、パラメータ C_1 、 C_0 を求めることができる。

10

【 0 0 8 5 】

コントローラ 10 は、以上に説明したように、圧力センサ 110 が測定した送液圧力 P_2 と、流量計 8 が測定した検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 との関係に基づいて、パラメータ C_1 、 C_0 を求めることができる。

【 0 0 8 6 】

コントローラ 10 は、補正パラメータ C_1 、 C_0 を、次のようにして式（7）と式（8）から求めることもできる。

【 0 0 8 7 】

図 7 A は、送液圧力 P_2 に対し、式（5）から得られたパラメータ C_1 をプロットした例を模式的に示す図である。図 7 B は、送液圧力 P_2 に対し、式（6）から得られたパラメータ C_0 をプロットした例を模式的に示す図である。なお、 C_{leakq} 、 C_{leakp} 、及び Q_{offset} の値は、上記の方法で求めた。

20

【 0 0 8 8 】

図 7 A に示すプロット線を線形近似した直線を求めることで、式（7）のパラメータ C_1 を表すパラメータ C_{1a} と C_{1b} を求めることができる。また、図 7 B に示すプロット線を線形近似した直線を求めることで、式（8）のパラメータ C_0 を表すパラメータ C_{0a} と C_{0b} を求めることができる。

【 0 0 8 9 】

検出器 4 での溶媒の流量 Q_0 を流量計 8 で測定して補正パラメータ C_1 、 C_0 を定める又は更新するタイミングは、任意に定めることができ、例えば、送液ポンプ 1 の組み立て直後（初期状態）、送液ポンプ 1 を使用箇所に設置した直後、及び使用箇所での送液ポンプ 1 の定期メンテナンスのときなどを挙げることができる。なお、送液ポンプ 1 が流量計 8 を備えない場合には、ユーザーが流量計 8 を設置して溶媒の流量 Q_0 を測定する。

30

【 0 0 9 0 】

コントローラ 10 は、送液ポンプ 1 が流量計 8 を備える場合には、送液ポンプ 1 の稼働中に随時、補正パラメータ C_1 、 C_0 を更新することができる。

【 0 0 9 1 】

システム制御部 7 は、流量計 8 が測定した値を、自動又はユーザーによる入力で記録することができる。システム制御部 7 は、上述した演算によって各パラメータを算出し、コントローラ 10 に入力することもできる。

40

【 0 0 9 2 】

また、ユーザーは、各パラメータの値をシステム制御部 7 に入力することもできる。

【 0 0 9 3 】

また、液体クロマトグラフ 100 のシステムがインターネットなどのネットワーク環境に接続されている場合には、ユーザー又は装置メーカーが、流量計 8 の測定値又は各パラメータの値をネットワーク経由でシステム制御部 7 に入力することもできる。

【 0 0 9 4 】

以上説明したように、本実施例による送液ポンプ 1 は、溶媒の膨張と、溶媒の圧力に依存する漏れと、溶媒の流量に依存する漏れを考慮できて、目標流量に応じて基本流量 Q_b

50

を補正することができ、流量精度の高い送液が可能である。

【 0 0 9 5 】

なお、本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、上記の実施例は、本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、本発明は、必ずしも説明した全ての構成を備える態様に限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能である。また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、削除したり、他の構成を追加・置換したりすることが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 6 】

1 ...送液ポンプ、2 ...インジェクタ、3 ...分離カラム、4 ...検出器、5 ...廃液容器、6 ...合流点、7 ...システム制御部、8 ...流量計、10 ...コントローラ、11 ...第1加圧室、12 ...第2加圧室、21 ...第1プランジャ、22 ...第2プランジャ、31 ...第1吸引通路、32 ...第2吸引通路、41 ...第1吐出通路、42 ...第2吐出通路、51 ...第1逆止弁、52 ...第2逆止弁、61 ...第1シール、62 ...第2シール、71、72 ...軸受、81 ...第1電磁弁、82 ...第2電磁弁、90 ...合流部、100 ...液体クロマトグラフ、101 ...第1プランジャポンプ、102 ...第2プランジャポンプ、103 ...連結流路、110 ...圧力センサ、111 ...第1ポンプヘッド、112 ...第2ポンプヘッド、200 ...液体クロマトグラフ、210 ...モータドライバ、211 ...第1電動モータ、212 ...第2電動モータ、221 ...減速装置、222 ...減速装置、231 ...直動装置、232 ...直動装置、310 ...パージバルブドライバ、311 ...パージバルブ、312 ...廃液タンク、410 ...電磁弁ドライバ、511 ...第1溶媒、512 ...第2溶媒、513 ...第3溶媒、514 ...第4溶媒、1001、1002 ...送液ポンプ。

10

20

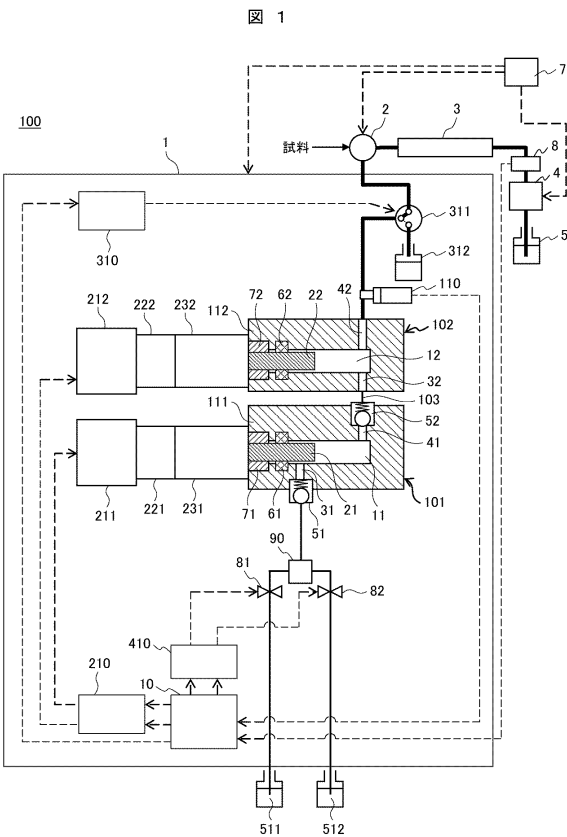
30

40

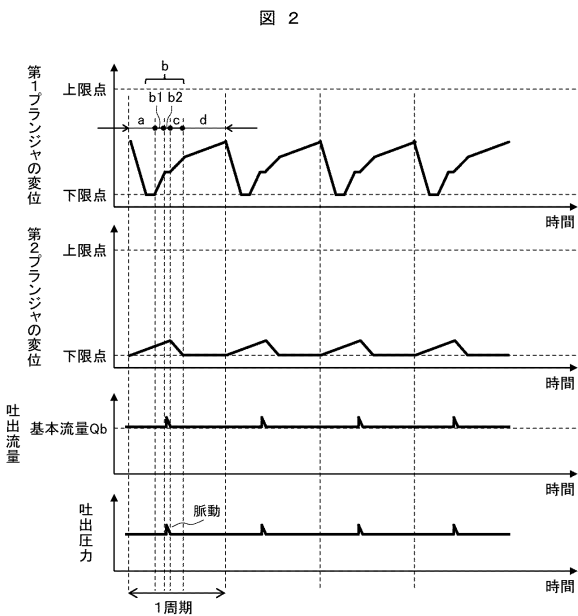
50

【図面】

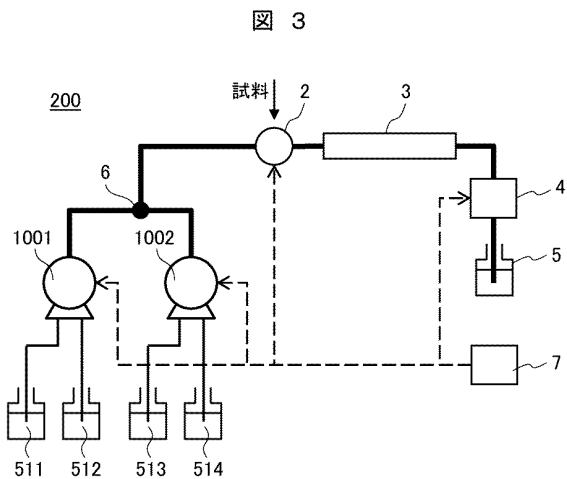
【図 1】



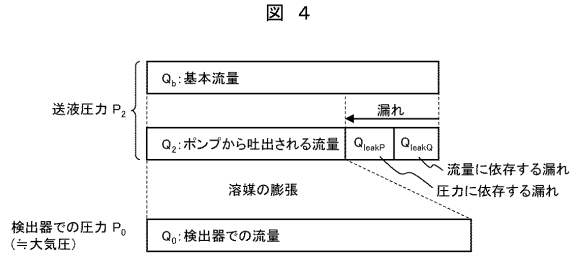
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

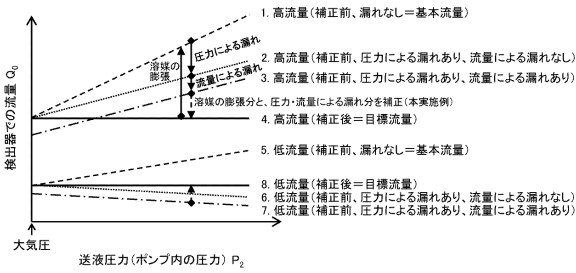
30

40

50

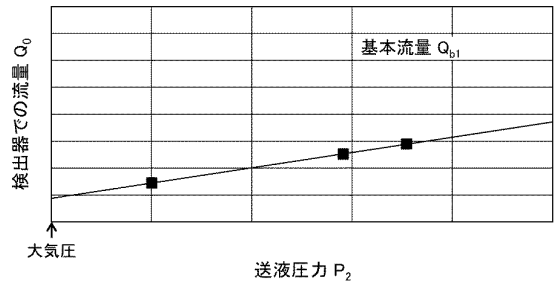
【図 5】

図 5



【図 6 A】

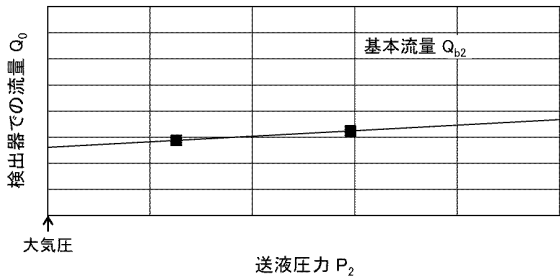
図 6A



10

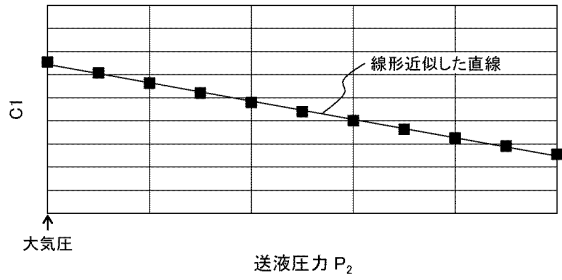
【図 6 B】

図 6B



【図 7 A】

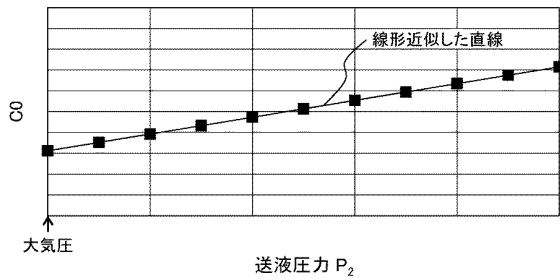
図 7A



20

【図 7 B】

図 7B



30

40

50

フロントページの続き

東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 株式会社日立ハイテク内
(72)発明者 用田 祐介
東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 株式会社日立ハイテク内
審査官 高田 亜希
(56)参考文献 国際公開第２０１９／０８２２４３（ＷＯ，Ａ１）
特開２００９－１３９５７（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１９／２２０５６３（ＷＯ，Ａ１）
国際公開第２０２１／００５７２８（ＷＯ，Ａ１）
国際公開第２０２１／１９２９２９（ＷＯ，Ａ１）
欧州特許第２２４４０９１（ＥＰ，Ｂ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ ３０／００ - ３０／９６
Ｆ０４Ｂ ２３／０６