

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-220273

(P2013-220273A)

(43) 公開日 平成25年10月28日(2013.10.28)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 19/00 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 19/00 5 0 2

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 〇 L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-95039 (P2012-95039)
 (22) 出願日 平成24年4月18日 (2012. 4. 18)

(71) 出願人 304021417
 国立大学法人東京工業大学
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
 (74) 代理人 100064414
 弁理士 磯野 道造
 (72) 発明者 只野 耕太郎
 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大
 学法人東京工業大学内
 (72) 発明者 川嶋 健嗣
 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大
 学法人東京工業大学内
 (72) 発明者 岡本 悠
 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大
 学法人東京工業大学内

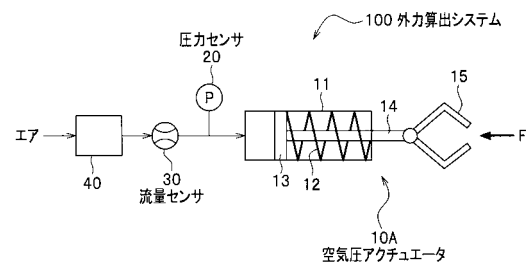
(54) 【発明の名称】 外力算出方法

(57) 【要約】

【課題】変位センサ等の機械的センサを設けないことによる装置の小型化かつ滅菌洗浄の容易さの実現可能な外力算出方法を提供する。

【解決手段】治具15に接続された駆動部13を備える空気圧アクチュエータ10Aにおける、治具15に負荷される外力Fを算出する方法であって、治具15への外力Fの負荷によって駆動部13が移動した時におけるエアの状態量を、状態量測定手段20, 30によって測定する状態量測定ステップと、前記状態量測定ステップにおいて測定された状態量、及び、状態量と治具15に負荷される外力Fとの関係式に基づき、治具15に負荷される外力Fを演算部によって算出する外力算出ステップと、を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

治具に接続された駆動部を備える空気圧アクチュエータにおける、前記治具に負荷される外力を算出する方法であって、

前記治具への外力の負荷によって前記駆動部が移動した時におけるエアの状態量を、状態量測定手段によって測定する状態量測定ステップと、

前記状態量測定ステップにおいて測定された状態量、及び、状態量と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を演算部によって算出する外力算出ステップと、を有する

ことを特徴とする、外力算出方法。

10

【請求項 2】

前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が少なくとも圧力であり、前記状態量測定手段によって測定された圧力、及び、圧力と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する

ことを特徴とする、請求項 1 に記載の外力算出方法。

【請求項 3】

前記駆動部の移動時の速度を前記演算部によって算出する速度算出ステップを有することを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の外力算出方法。

20

【請求項 4】

前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が圧力及び流量であり、前記状態量測定手段によって測定された圧力及び流量、及び、圧力と流量と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する

ことを特徴とする、請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の外力算出方法。

30

【請求項 5】

前記空気圧アクチュエータは、前記駆動部の移動により弾性変形する弾性部材を備え、前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が、前記弾性部材が弾性変形した時に変化する状態量であり、前記状態量測定手段によって測定された状態量、及び、状態量と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する

ことを特徴とする、請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の外力算出方法。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は外力算出方法に関し、例えば低侵襲外科手術におけるマニピュレータの駆動等に適用される外力算出方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

患者への痛みを低減したり、手術後の手術痕を目立ちにくいものとしたりすることを目的として、低侵襲外科手術が広く行われている。低侵襲外科手術においては、例えばマニピュレータ（例えば鉗子）が手術者等によって使用される。具体的には、手術者等が、患

50

者の体表面に設けられた挿入孔からマニピュレータを挿入して駆動させ、手術者が手術を行うようになっている。

【 0 0 0 3 】

このような手術の際、より正確な作業を行う観点から、マニピュレータに負荷される圧力（外力）が、手術者に対して提示されることが望まれている。即ち、マニピュレータに臓器等が接触した時に負荷される圧力が手術者に提示されれば、マニピュレータのより適切な駆動が可能になると考えられる。そこで、このような技術に関連して、例えば非特許文献 1 に記載の技術が知られている。

【 0 0 0 4 】

非特許文献 1 の記載の技術においては、図 9 に示すように、シリンダ 1 1 と、スプリング 1 2 と、ピストン 1 3 と、ロッド 1 4 と、マニピュレータ 1 5 とを備えた空気圧アクチュエータ 1 0 D が用いられている。シリンダ 1 1 には、変位センサ（具体的にはロータリーエンコーダ）1 8 が設けられている。マニピュレータ 1 5 に外力 F が負荷されると、ピストン 1 3 は移動する。そこで、変位センサ 1 8 がピストン 1 3 の移動量を測定し、当該移動量に基づいて、外力 F が算出されている。

10

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 非特許文献 1 】 空気圧サーボを用いた力センシング機能を有する多自由度鉗子システムのバイラテラル制御、日本コンピュータ外科学会誌、p p 2 5 ~ 3 1、(2 0 0 5)、只野耕太郎、川嶋健嗣

20

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

非特許文献 1 に記載の技術においては、ロータリーエンコーダを用いて、外力 F が算出されている。このように、非特許文献 1 に記載の技術においては、ロータリーエンコーダ等の物理的な変位センサ（機械的手段）を用いないと、外力 F の算出を行うことができない。即ち、非特許文献 1 に記載の技術においては、変位センサを設置するための空間（領域）が必要とされるため、空気圧アクチュエータ等の装置の小型化が困難であるという課題がある。

30

【 0 0 0 7 】

本発明は前記課題を解決するべく為されたものであり、その目的は、変位センサ等の機械的センサを設けないことによる装置の小型化かつ滅菌洗浄の容易さを実現可能な外力算出方法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 0 8 】

本発明者らは前記課題を解決するべく鋭意検討を行った。具体的には、装置の小型化及び滅菌洗浄の容易さの実現を図るために、物理的な変位センサに代わる手段が無いが検討を行った。その結果、本発明者らは、物理的な変位センサを設ける代わりに、空気圧アクチュエータに供給されるエアの状態量と外力 F との関係式を用いて外力 F を算出できることを見出した。

40

【 0 0 0 9 】

即ち、本発明は、以下に示す手段により実施される。

(1)

治具に接続された駆動部を備える空気圧アクチュエータにおける、前記治具に負荷される外力を算出する方法であって、

前記治具への外力の負荷によって前記駆動部が移動した時におけるエアの状態量を、状態量測定手段によって測定する状態量測定ステップと、

前記状態量測定ステップにおいて測定された状態量、及び、状態量と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を演算部によって算出する外力

50

算出ステップと、を有する。

(2)

前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が少なくとも圧力であり、前記状態量測定手段によって測定された圧力、及び、圧力と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する。

(3)

前記駆動部の移動時の速度を前記演算部によって算出する速度算出ステップを有する。

10

(4)

前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が圧力及び流量であり、前記状態量測定手段によって測定された圧力及び流量、及び、圧力と流量と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する。

(5)

前記空気圧アクチュエータは、前記駆動部の移動により弾性変形する弾性部材を備え、

20

前記状態量測定ステップにおいて測定される状態量が、前記弾性部材が弾性変形した時に生じる状態量であり、前記状態量測定手段によって測定された状態量、及び、状態量と前記駆動部の変位との関係式に基づき、前記駆動部の変位を前記演算部によって算出する変位算出ステップを有し、

前記外力算出ステップにおいて、前記変位算出ステップにおいて算出された変位、及び、変位と前記治具に負荷される外力との関係式に基づき、前記治具に負荷される外力を前記演算部によって算出する。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

前記 (1) によれば、従来用いられていた変位センサ等の機械的センサを設ける必要がない。そのため、装置を小型化することができる。また、変位センサを設ける必要がないため、部品点数が少なくなり、装置構成が簡素化される。そのため、装置のメンテナンス（洗浄や滅菌等）を容易に行うことができる。また、部品点数が少なくなるため、防爆性や耐水性が要求される用途等、空気圧アクチュエータの利用可能な用途を拡げることができる。また、変位センサのような電力により制御される物理的な手段を設けないため、装置の設置場所が限定されることがない。さらには、外力 F が、エアの状態量と外力 F との関係式を用いて算出されるため、どのような種類の状態量を用いても外力 F を簡便に算出することができる。また、関係式を用いて算出することによって状態量の大きさが制限されないため、汎用性が拡大する。

30

【 0 0 1 1 】

40

また、前記 (2) によれば、圧力センサ等の簡便なセンサを用いて外力 F を算出することができる。そのため、外力計算のために特殊な手段を用いる必要がなく、既存の装置を利用して外力 F を算出することができる。

【 0 0 1 2 】

さらに、前記 (3) によれば、速度センサ等を設ける必要がないため、装置全体の構成を簡素化することができる。そのため、外力計算のために装置を過度に複雑化させることなく、設置やメンテナンス（滅菌や洗浄等）が容易になる。

【 0 0 1 3 】

また、前記 (4) によれば、圧力センサ、流量センサ等の簡便なセンサを用いて外力 F を算出することができる。そのため、外力計算のために特殊な手段を用いる必要がなく、

50

既存の装置を利用して外力Fを算出することができる。

【0014】

さらに、前記(5)によれば、より精度よく、外力Fを算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1実施形態の外力算出方法を説明する図である。

【図2】第1実施形態の外力を算出するフローである。

【図3】第2実施形態の外力算出方法を説明する図である。

【図4】外力が負荷された時の管形状の変化を説明する図である。

【図5】第2実施形態の外力を算出するフローである。

10

【図6】第3実施形態の外力算出方法を説明する図である。

【図7】外力が負荷された時のバルーンの変化を説明する図である。

【図8】第3実施形態の外力を算出するフローである。

【図9】従来の外力算出方法を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態(本実施形態)を説明する。なお、本実施形態は以下の内容に何ら限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲内で任意に変更して実施可能である。なお、各図において、図示の便宜上、各手段を適宜拡大縮小して示している。また、各図において、図示の簡略化のために、各手段を適宜簡略化して示している。

20

【0017】

[1. 第1実施形態]

第1実施形態の外力算出方法に適用可能な外力算出システム100を図1に示す。図1に示すように、外力算出システム100は、空気圧アクチュエータ10Aと、圧力センサ20(状態量測定手段)と、流量センサ30(状態量測定手段)と、空気圧サーボ弁40と、を備えている。また、外力算出システム100は、図示しない演算部を備えている。

【0018】

空気圧アクチュエータ10A、圧力センサ20、流量センサ30及び空気圧サーボ弁40は管(図示しない)により接続されている。この管には、空気が通流するようになっている。なお、より精度よく外力を算出する観点から、この管における圧力損失はできるだけ小さくすることが好ましい。また、圧力センサ20、流量センサ30及び空気圧サーボ弁40は、図示しない電気信号線により、演算部に接続されている。

30

【0019】

空気圧アクチュエータ10Aは、シリンダ11と、スプリング12と、ピストン13と、ロッド14と、マニピュレータ15と、を備えている。シリンダ11内には、スプリング12及びピストン13が備えられている。シリンダ11内であってロッド14の外周を取り囲んで、スプリング12が設けられている。ピストン13には、ロッド14を介して、マニピュレータ15が接続されている。

【0020】

ピストン13は、シリンダ11内で、シリンダ11の軸方向に摺動可能になっている。そのため、シリンダ11とピストン13とにより形成される空間にエアが供給されると、ピストン11がスプリング12の弾性力に逆らって紙面右方向に摺動するようになっている。これにより、マニピュレータ15は、シリンダ11の軸方向の位置が制御されるようになっている。

40

【0021】

マニピュレータ15は、本実施形態においては、鉗子である。マニピュレータ15は、図示しない駆動手段及び制御部により、その先端が手術者により制御可能になっている。

【0022】

圧力センサ20及び流量センサ30(状態量測定手段)は、シリンダ11内に供給され

50

るエアの圧力及び流量を測定するものである。各手段を接続する管の圧力損失は小さいと考えることができるため、圧力センサ 20 により測定される圧力は、シリンダ 11 内の圧力と考えることができる。圧力センサ 20 としては、例えば任意の圧力計を用いることができる。また、流量センサ 30 としては、例えば任意の流量計を用いることができる。

【0023】

空気圧サーボ弁 40 は、エア（例えば外気）を取り込んでシリンダ 11 内に供給するものである。また、空気圧サーボ弁 40 は、シリンダ 11 に供給するエアの圧力を調整するものである。具体的には、空気圧サーボ弁 40 は、シリンダ 11 内のエア圧力が所定の圧力になるように、圧力及び流量を調整するようになっている。ここで、シリンダ 11 内のエア圧力とは、マニピュレータ 15 をシリンダ 11 の軸方向の所望の位置に移動させるために必要な圧力である。空気圧サーボ弁 40 としては、例えば流量制御タイプのスプール型空気圧サーボ弁を用いることができる。また、空気圧サーボ弁 40 は、手術者の指示に応じて、図示しない制御部により制御されるようになっている。

【0024】

演算部は、圧力センサ 20 及び流量センサ 30 により、エアの圧力及び流量を測定するものである。演算部は、例えば CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、HDD (Hard Disk Drive) 等を備え、ROM に格納されている所定のプログラムが CPU によって実行されることにより具現化される。

【0025】

次に、外力算出システム 100 における外力算出方法を、図 1 及び図 2 を参照しながら説明する。図 2 は、外力 F を算出するフローである。図 2 に示すフローは、マニピュレータ 15（治具）に接続されたピストン 13（駆動部）を備える空気圧アクチュエータ 10 A における、マニピュレータ 15（治具）に負荷される外力を算出する方法である。

【0026】

このフローは、前記した状態変量測定手段により測定された状態量と、状態量と外力 F との関係式とに基づき、前記した演算部によって行われる。具体的には、空気圧アクチュエータ 10 A に供給されるエアの状態量（本実施形態においては、流量及び圧力）に基づいて、マニピュレータ 15（治具）に負荷される外力 F を算出する。このフローは、空気圧サーボ弁 40 により所定流量でエアがシリンダ 11 に供給されて状態（定常状態）で、マニピュレータ 15 に外力 F が負荷された時に行われる。

【0027】

なお、演算部は、定常状態における、シリンダ 11 とピストン 13 とにより形成される空間（エアが供給される空間）の容積（体積） V_0 を予め計算し、HDD 等に記憶している。容積 V_0 は、圧力センサ 20 により測定される圧力を用い、例えば気体の状態方程式等により計算される。また、演算部は、定常状態における、圧力センサ 20 により圧力 P_0 を測定し、HDD 等に記憶している。さらに、演算部は、定常状態における、流量センサ 30 により流量 G_0 を測定し、HDD 等に記憶している。

【0028】

また、以下の算出時には、空気圧サーボ弁 40 の駆動条件は変化しないものとする。

【0029】

マニピュレータ 15 に外力 F が負荷されてピストン 13 が移動すると、シリンダ 11 内の圧力は増加する。即ち、空気圧サーボ弁 40 の駆動条件が変化しなければ、ピストン 11 が移動してシリンダ内の容積が小さくなった分、シリンダ 11 内の圧力が増加することになる。さらには、外力 F が負荷されると、流量に変化が生じる。そこで、演算部は、圧力センサ 20 により、外力負荷後の圧力を測定する（ステップ S101）。また、演算部は、流量センサ 30 により、外力負荷後の流量を測定する（ステップ S102）。

【0030】

即ち、圧力センサ 20（状態量測定手段）は、マニピュレータ 15（治具）への外力 F の負荷によってピストン 13（駆動部）が移動した時におけるエアの圧力（状態量）を測

10

20

30

40

50

定する（状態量測定ステップ）。また、流量センサ 30（状態量測定手段）は、外力 F の負荷によってピストン 13（駆動部）が移動した時におけるエアの流量（状態量）を測定する（状態量測定ステップ）。

【0031】

演算部は、ステップ S 101 及びステップ S 102 において測定した圧力及び流量に基づき、ピストン 13 の移動時の速度 v を算出する（ステップ S 103）。即ち、演算部は、ピストン 13（駆動部）の移動時の速度 v を算出する（速度算出ステップ）。ピストン 13 の速度 v は、以下の式（1）に基づいて算出される。なお、供給されるエアの温度は、通常は変化しない。そこで、本実施形態においては、温度は一定であるものとする。また、計算の簡略化のために、エアは理想気体であるものとする。

10

【0032】

【数 1】

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{GRT - V_0 P'}{P_0 A} \quad \dots (1)$$

ただし、 P_0 、 A 、 v 、 V_0 、 P' 、 G 、 R 及び T は、以下の値である。

P_0 ：定常状態における、シリンダ 11 とピストン 13 とにより形成される空間の圧力

A ：ピストン 13 の受圧面積（ピストン 13 の摺動方向に垂直な方向の断面積；定数）

v ：ピストン 13 の速度

V_0 ：定常状態における、シリンダ 11 とピストン 13 とにより形成される空間の容積

20

P' ：定常状態からの圧力変化量の時間微分値

G ：流量センサ 30 により測定された流量

R ：気体定数

【0033】

次に、演算部は、前記式（1）に基づき算出された速度 v を積分し、変位 x を算出する（ステップ S 104）。ここで、変位 x は、定常状態のピストン 13 の位置を基準とした変位（定常状態からの変位量）である。即ち、演算部は、圧力センサ 20 及び流量センサ 30（状態量測定手段）によって測定された圧力及び流量から速度 v を算出し、算出された速度 v とピストン 13（駆動部）の変位 x との関係式（ $x = \int v dt$ ）に基づき、ピストン 13（駆動部）の変位 x を算出する（変位算出ステップ）。

30

【0034】

そして、演算部は、算出された変位 x に基づき、外力 F を算出する（ステップ S 105）。即ち、演算部は、前記状態量測定ステップにおいて測定された圧力及び流量（状態量）、及び、これらと外力 F との関係式に基づき外力 F を算出する（外力算出ステップ）。より具体的には、演算部は、算出された変位 x 、及び、変位 x と外力 F との関係式（以下の式（2））に基づき外力 F を算出する。外力 F は、以下の式（2）に基づいて算出される。

【0035】

【数 2】

$$F = PA - Bv - Kx \quad \dots (2)$$

40

ただし、 P 、 A 、 B 、 v 、 K 及び x は、以下の値である。

P ：圧力センサ 20 により測定されたシリンダ 11 内の圧力

A ：前記式（1）と同様の値（ピストン 13 の受圧面積；定数）

B ：ピストン 13 摺動時における、ピストン 13 の粘性係数（予め実験等により決定される；定数）

v ：ステップ S 103 において算出した速度 v

K ：スプリング 12 のばね定数（予め実験等により決定される；定数）

x ：ステップ S 104 において算出した変位 x

【0036】

50

このようにして、外力 F が算出される。算出された外力 F は、演算部により、手術者に提示される。提示の形態は、例えば、外力 F の大きさに応じて、手術者に反動を与えること等が挙げられる。

【 0 0 3 7 】

外力 F の算出に際して、前記のように、変位 x の測定（実測）を行っていない。そのため、従来用いられていた変位センサを設ける必要がない。これにより、空気圧アクチュエータを用いた装置全体を小型化することができる。しかも、外力 F の算出に用いられる各パラメータは、既存の手段により測定される値が用いられる。そのため、外力 F を算出するために、新たな手段を導入する必要がない。

【 0 0 3 8 】

特に、外力 F が、エアの状態量と外力 F との関係式を用いて算出されるため、どのような種類の状態量を用いても外力 F を簡便に算出することができる。また、関係式を用いて算出することによって、状態量の大きさが制限されないため、汎用性が拡大する。また、例えば外力 F と変位 x 又は流量 G と等の関係を予め実験等によって決定しなくてもよい。例えばスプリング 12、ピストン 13 の仕様変更等が生じたとしても、式（1）及び式（2）で用いる値のみを変更すれば新たな条件で外力 F を算出することができる。従って、様々な条件や仕様の変更が生じたとしても、新たな条件の下で、簡便に外力 F を算出することができる。

【 0 0 3 9 】

また、変位センサを設ける必要がないため、部品点数が少なくなり、装置構成が簡素化される。そのため、装置のメンテナンス（洗浄や滅菌等）を容易に行うことができる。また、部品点数が少なくなるため、防爆性や耐水性が要求される用途等、空気圧アクチュエータの利用可能な用途を拡げることができる。

【 0 0 4 0 】

さらには、従来用いられていた変位センサは、通常は電力を利用して駆動する。そのため、電力の通電による磁力等が変位センサから発生することがある。そのため、装置の設置場所が限定されたり、磁力等への対策を要したりすることがあった。しかしながら、本実施形態の外力算出方法においては、物理的な測定手段である変位センサを設けずに既存の手段によって外力 F が測定可能である。従って、変位センサにより発生しうる外部への磁力等の発生を考慮する必要がない。そのため、装置の設置場所が限定されることなく、外力算出方法は様々な用途に適用可能となる。

【 0 0 4 1 】

また、本実施形態においては、圧力センサ、流量センサ等の簡便なセンサを用いて外力が算出される。そのため、外力計算のために特殊な手段を用いる必要がなく、前記のように、既存の装置を利用して外力を算出することができる。また、速度センサ等を設ける必要がないため、装置全体の構成を簡素化することができる。そのため、外力計算のために装置を過度に複雑化させることがなく、設置やメンテナンス（滅菌や洗浄等）が容易になる。

【 0 0 4 2 】

第 1 実施形態の外力算出方法は、空気圧アクチュエータを用いた装置に適用される。そのため、空気圧アクチュエータ 10 A のマニピュレータ 15 に外力が負荷されると、シリンダ 11 内の空気は圧縮可能であるため、ピストン 11 が移動する。そして、この現象を利用し、外力 F が算出される。これにより、負荷された外力 F の提示が行われる。そのため、手術等において、精度よく作業を行うことができる。

【 0 0 4 3 】

[2 . 第 2 実施形態]

第 2 実施形態の外力算出方法に適用可能な外力算出システム 200 を図 3 に示す。図 3 において、図 1 に示す外力算出システム 100 と同じものについては同じ符号を付すものとし、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 4 】

図 3 に示す外力算出システム 200 は、空気圧アクチュエータ 10B と、圧力センサ 20 と、空気圧サーボ弁 40（第 1 サーボ弁）40 と、流量センサ 50 と、空気圧サーボ弁 60（第 2 サーボ弁）と、を備えている。また、外力算出システム 200 は、図示しない演算部を備えている。

【0045】

外力算出システム 200 における空気圧アクチュエータ 10B においては、前記した第 1 実施形態の空気圧アクチュエータ 10A の構成に加えて、弾性体により構成される管（例えばゴム管）16 が備えられている。管 16 は、シリンダ 11 の壁面及びピストン 13 を貫通して設けられている。また、管 16 は、スプリング 12 に挟持されている。

【0046】

管 16 には、空気圧サーボ弁 60 からのエアが通流している。そして、管 16 を通流するエアの流量は、流量センサ 50 により測定されるようになっている。流量センサ 50 及び空気圧サーボ弁 60 は、図示しない電気信号線により、演算部に接続されている。

【0047】

ここで、外力 F が負荷されていない時の管 16 の様子と、外力 F が負荷されている時の管 16 の様子を、図 4 を参照しながら説明する。なお、図 4 において、管 16 が配置される様子が現実とは異なることがあるが、図 4 においては、管 16 の挙動をより明確に表すために、管 16 の配置の様子を簡略化して示している。

【0048】

空気圧サーボ弁 40 は、第 1 実施形態において説明したように、シリンダ 11 内のエア圧力が所定の圧力になるように、供給するエアの圧力及び流量を調整するようになっている（定常状態）。そして、この状態において、管 16 内には、空気圧サーボ弁 60 により供給されるエアが、一定の割合で通流している（図 4（a）に示す状態）。

【0049】

定常状態において、外力 F がマニピュレータ 15 に負荷されると、ピストン 13 が紙面左方向にシリンダ 11 内を摺動する。この時、スプリング 12 の間隔は、定常状態よりも狭くなる。従って、スプリング 11 に挟持された管 16 の形状が、スプリング 12 によって歪められる。このため、管 16 内の流路は狭くなる（負荷状態；図 4（b）に示す状態）。

【0050】

そこで、第 2 実施形態では、このような流路の変化を利用し、外力 F が算出される。即ち、空気圧アクチュエータ 10B は、ピストン 13（駆動部）の移動により弾性変形する管 16（弾性部材）を備えている。そして、ピストン 13（駆動部）が移動すると、管 16（弾性部材）が弾性変形する。これにより管 16 内の流路が狭くなり、通過するエアの流量に変化が生じる。この際の流量を流量センサ 50 で測定することで、ピストン 13（駆動部）の変位 x を算出する。

【0051】

このことを換言すれば、測定される流量（状態量）G が、管 16（弾性部材）が弾性変形した時に変化するものであり、演算部は、測定された流量（状態量）G、及び、流量（状態量）と外力 F との関係式（式（2）及び以下の式（3））に基づき外力 F を算出する。より具体的には、演算部は、流量 G と以下の式（3）に基づき変位 x を算出し、算出された変位 x と前記の式（2）に基づき外力 F を算出する。

【0052】

以下、具体的に、第 2 実施形態の外力算出方法を、図 5 を参照しながら説明する。第 1 実施形態と同様、定常状態において外力 F がマニピュレータ 15 に負荷された時に、図 5 に示すフローが行われる。

【0053】

外力 F がマニピュレータ 15 に負荷されると、前記のように、管 16 内の流路が狭くなる。そのため、管 16 を通流するエアの流量が減少する。そこで、演算部は、外力 F の負荷後に管 16 を通流するエアの流量（状態量）を測定する（ステップ S201）。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

次に、測定された流量 G に基づいて、変位 x を算出する（ステップ $S 2 0 2$ ）。なお、ピストン 1 3 の移動に伴う流量 G と変位 x との関係は、予め予備実験等により決定される。具体的には、変位 x は、予め予備実験等により、流量 G の関数 f として決定される。即ち、この関数は、以下の式（3）で表される。

【 数 3 】

$$x = f(G) \quad \cdots (3)$$

【 0 0 5 5 】

ここで、ピストン 1 3 の移動量が多くなれば（変位 x が大きくなれば）、管 1 6 の弾性変形は大きくなる。これにより、管 1 6 の流路断面は小さくなる。そのため、管 1 6 内を通流するエアの流量 G は減少する。このように、流量 G と変位 x との間に成立する関係（式（3））を用い、変位 x が流量 G に基づき算出される。なお、式（3）は、例えば、反比例の式（ $x = 1 / G$ ）等になる。

【 0 0 5 6 】

演算部は、算出された変位 x を微分することにより、ピストン 1 3 の速度 v を算出する（ステップ $S 2 0 3$ ；速度算出ステップ）。さらに、演算部は、圧力センサ 2 0 により、シリンダ 1 1 内の圧力 P を測定する（ステップ $S 2 0 4$ ）。そして、演算部は、ステップ $S 2 0 2$ において算出された変位 x 、ステップ $S 2 0 3$ において算出された速度 v 、及び、ステップ $S 2 0 4$ において測定された圧力 P を前記式（2）に代入することにより、外力 F を算出する（ステップ $S 2 0 5$ ）。即ち、演算部は、少なくとも、式（3）に基づき算出された変位 x 、及び、変位 x と外力 F との関係式（式（2））に基づき外力 F を算出する。

【 0 0 5 7 】

このようにして、外力 F が算出される。算出された外力 F は、演算部により、手術者に提示される。提示の形態は、例えば、外力 F の大きさに応じて、手術者に反動を与えること等が挙げられる。

【 0 0 5 8 】

第 2 実施形態においては、外力 F の算出に際して、積分計算が行われない。そのため、誤差の蓄積が小さいという利点がある。具体的には、第 2 実施形態においては、空気圧アクチュエータ 1 0 B へのエアの供給路を 2 系統としている。そして、これらのうちの 1 系統の供給路において、スプリング 1 2 の間隔が狭くなることを利用して外力 F が算出される。そのため、1 系統の場合と比べて、より精度よく、外力 F が算出される。これにより、負荷された外力 F の提示が精度よく行われる。そのため、手術等において、より精度よく作業を行うことができる。

【 0 0 5 9 】

また、第 1 実施形態と同様に、外力 F の算出に際して、変位 x の測定を行う必要がない。これにより、空気圧アクチュエータを用いた装置全体を小型化することができる。さらには、装置の設置やメンテナンスの容易さ、構成の簡素化、適用用途の拡大化、汎用性の拡大等の利点がある。

【 0 0 6 0 】

[3 . 第 3 実施形態]

第 3 実施形態の外力算出方法に適用可能な外力算出システム 3 0 0 を図 6 に示す。図 6 において、図 1 に示す外力算出システム 1 0 0、及び、図 3 に示す外力算出システム 2 0 0 と同じものについては同じ符号を付すものとし、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 6 1 】

図 6 に示す外力算出システム 3 0 0 においては、空気圧アクチュエータ 1 0 C と、圧力センサ（第 1 圧力センサ）2 0 と、空気圧サーボ弁 4 0 と、チャンバ 7 0 と、圧力センサ（第 2 圧力センサ）8 0 と、を備えている。また、外力 F 算出システム 3 0 0 は、図示しない演算部を備えている。

【 0 0 6 2 】

外力算出システム 3 0 0 における空気圧アクチュエータ 1 0 C においては、前記した第 1 実施形態の空気圧アクチュエータ 1 0 A の構成に加えて、弾性体により構成される、中空状のバルーン 1 7 (例えばゴム製)が備えられている。バルーン 1 7 は、シリンダ 1 1 の壁面及びロッド 1 4 を貫通して設けられている。また、バルーン 1 7 は、スプリング 1 2 に挟持されている。

【 0 0 6 3 】

ここで、外力 F が負荷されていない時のバルーン 1 7 の様子と、外力 F が負荷されている時のバルーン 1 7 の様子を、図 7 を参照しながら説明する。なお、図 7 において、バルーン 1 7 が配置される様子が現実とは異なることがあるが、図 7 においては、バルーン 1 7 の挙動をより明確に表すために、バルーン 1 7 の配置の様子を簡略化して示している。

10

【 0 0 6 4 】

空気圧サーボ弁 4 0 は、第 1 実施形態において説明したように、シリンダ 1 1 内のエア圧力が所定の圧力になるように、供給するエアの流量を調整するようになっている(定常状態)。この時、スプリング 1 2 に挟持されているバルーン 1 7 は、図 7 (a) に示すように、変形していない。従って、定常状態においては、バルーン 1 7 内の圧力は一定である。

【 0 0 6 5 】

定常状態において、外力 F がマニピュレータ 1 5 に負荷されると、ピストン 1 3 が紙面左方向にシリンダ 1 1 内を摺動する(負荷状態)。すると、スプリング 1 2 の間隔は、定常状態よりも狭くなる。これにより、図 7 (b) に示すように、スプリング 1 2 に挟持されたバルーン 1 7 は変形する(潰される)。その結果、バルーン 1 7 の内容積が減少する。内容積が減少すると、バルーン 1 7 及びチャンバ 7 0 並びにそれらを接続する管内のエアが圧縮され、チャンバ 7 0 内の圧力は上昇する。なお、チャンバ 7 0 内の圧力は、チャンバ 7 0 に設けられている圧力センサ 8 0 により測定される。

20

【 0 0 6 6 】

そこで、第 3 実施形態では、バルーン 1 7 の変形による圧力の変化を利用し、外力 F が算出される。即ち、原理としては第 2 実施形態と同様であるが、第 3 実施形態においては、弾性変形によりバルーン 1 7 の内容積変化に伴う圧力変化に基づいて、外力 F の算出が行われる。

30

【 0 0 6 7 】

以下、具体的に、第 3 実施形態の外力算出方法を、図 8 を参照しながら説明する。第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様、定常状態において外力 F がマニピュレータ 1 5 に負荷された時に、図 8 に示すフローが行われる。なお、演算部は、定常状態における、圧力センサ 8 0 によりチャンバ 7 0 内の圧力を測定し、H D D 等に記憶している。

【 0 0 6 8 】

はじめに、演算部は、圧力センサ 8 0 により、圧力上昇後のチャンバ 7 0 の圧力(状態量)を測定する(ステップ S 3 0 1)。そして、演算部は、測定されたチャンバ 7 0 の圧力に基づき、容積変化量 d V を算出する(ステップ S 3 0 2)。ここで、チャンバ 7 0 の圧力と容積変化量 d V との関係について説明する。

40

【 0 0 6 9 】

外力 F がマニピュレータ 1 5 に負荷されると、前記のように、バルーン 1 7 の内容積が減少し、チャンバ 7 0 内の圧力が上昇する。これらの状態変化は、エアの温度が変化しない場合、式(4)で表される。

【数 4】

$$P_0 V_0 = (P_0 + dP)(V_0 - dV) \quad \cdots (4)$$

ただし、 P_0 、 V_0 、 dP 、 V 及び dV は、以下の値である。

P_0 : 初期圧力(圧力センサ 8 0 により測定される、定常状態の圧力)

V_0 : 定常状態における、バルーン 1 7 の内容積とチャンバ 7 0 の内容積との合計初期容

50

積

dP : 定常状態から負荷状態に変化したときの、初期圧力 P_0 からの圧力変化量

dV : 定常状態から負荷状態に変化したときの、合計初期容積 V_0 からの容積変化量

【0070】

なお、 V_0 は、厳密には、バルーン 17 の内容積とチャンバ 70 の内容積とこれらを接続する管の内容積との合計容積である。しかしながら、管の内容積は、通常、バルーン 17 の内容積とチャンバ 70 の内容積との合計容積と比べて、極めて小さい。そのため、これらの合計容積を測定して用いることも可能ではあるが、前記式 (4) において、管の内容積を考慮せずとも精度は十分良好である。

【0071】

圧力変化量 dP は、圧力センサ 80 により測定されたチャンバ 70 の圧力 P から初期圧力 P_0 を減ずることにより算出される。そして、 P_0 、 V_0 及び算出された dP を前記式 (4) に代入することにより、容積変化量 dV が算出される。即ち、チャンバ 70 の圧力 $P (= P_0 + dP)$ に基づき、容積変化量 dV が算出される。

【0072】

次に、算出された容積変化量 dV に基づき、変位 x が算出される (ステップ S303)。容積変化量 dV と変位 x との関係は、予め予備実験等により決定される。具体的には、変位 x は、予め予備実験等により、容積変化量 dV の関数 g として決定される。即ち、この関数は、以下の式 (5) で表される。なお、式 (5) は、例えば、比例の式 ($x = a \times dP$ (ただし a は定数)) 等になる。

【数 5】

$$x = g(dV) \quad \cdots (5)$$

【0073】

このように、前記式 (5) に容積変化量 dV を代入することにより、変位 x が算出される。

【0074】

その後は、第 2 実施形態と同様に、外力 F を算出する (ステップ S303 ~ S306)。算出された外力 F は、演算部により、手術者に提示される。提示の形態は、例えば、外力 F の大きさに応じて、手術者に反動を与えること等が挙げられる。

【0075】

第 3 実施形態においては、エアを供給する空気圧サーボ弁が 1 つのみ設けられている。もう 1 系統は流量を制御することなく、バルーン 17 内の圧力を一定に保つための系統である。そのため、制御を簡素化することができる。また、バルーン 17 へのエア供給路を設ける必要が無い場合、装置構成を簡素化することができる。

【0076】

ただし、第 2 実施形態とは異なりエアの流量制御の供給路は 1 系統のみであるが、スプリング 12 に予め挟持された弾性部材 (バルーン 17) の内容積変化 dV に伴う圧力変化 dP を利用する。そのため、第 2 実施形態と同様に、外力 F の算出に際して、積分計算が行われない。そのため、より精度よく、外力 F が算出される。また、第 1 実施形態と同様に、外力 F の算出に際して、変位 x の測定を行う必要がない。これにより、空気圧アクチュエータを用いた装置全体を小型化することができる。さらには、装置の設置やメンテナンスの容易さ、構成の簡素化、適用用途の拡大化等の利点がある。

【0077】

[4 . 変更例]

以上、3 つの実施形態を挙げて本実施形態を説明したが、本実施形態は前記の内容に何ら限定されるものではない。即ち、本発明は、その要旨を逸脱しない範囲内で任意に変更して実施可能である。

【0078】

例えば、治具としてのマニピュレータとして鉗子を挙げて本実施形態を説明したが、本

10

20

30

40

50

実施形態の外力算出方法が適用可能なマニピュレータは鉗子に何ら限定されない。また、本実施形態の外力算出方法が適用可能な治具はマニピュレータに何ら限定されない。本実施形態の外力算出方法が適用可能な治具としては、例えば内視鏡、把持部材、手術用ロボットへの適用等が挙げられる。また、本実施形態の外力算出方法が適用可能な治具は、手術用治具以外の治具であってもよく、例えば半導体製造用途、防爆性が要求される用途、水中での作業用途等、任意の用途への適用が可能である。

【0079】

また、例えば、本実施形態の外力算出方法が適用可能な構成は図示の例に何ら限定されず、外力が負荷される治具に応じて、部材や手段を適宜選択して使用すればよい。例えば、空気圧アクチュエータを駆動させるために、空気圧サーボ弁や空気圧電磁弁が接続されることが出来る。また、必要に応じて、図示の例から一部の手段や部材を省略してもよい。

10

【0080】

さらに、例えば、前記した各実施形態においては空気圧サーボ弁が用いられているが、空気圧サーボ弁に代えて、空圧電空比例弁等が用いられてもよい。

【0081】

また、例えば、前記した各実施形態においては、シリンダとピストンとを組み合わせる空気圧アクチュエータとしているが、空気圧アクチュエータの構成は図示の例に何ら限定されるものではない。例えば、シリンダとプランジャとを組み合わせた空気圧アクチュエータとしてもよい。また、空気圧アクチュエータに供給されるエアは必ずしも空気でもなく、任意の気体を供給すればよい。

20

【0082】

さらに、各空気圧アクチュエータに備えられるスプリング12は、必ずしも図示の位置に設けられる必要はない。即ち、図示の例では、スプリング12は、シリンダ11内であってピストン13とマニピュレータ15との間に設けられているが、シリンダ11内であって空気圧サーボ弁40とピストン13との間に設けられるようにしてもよい。より具体的には、空気圧サーボ弁40からのエアが供給される空間に、スプリング12が設けられるようにしてもよい。また、スプリング12は、ロッド14を取り囲んで設けられているが、例えばロッド14の外周面に平行にロッド14を取り囲むことなく、単数或いは複数のスプリングが設けられるようにしてもよい。

30

【0083】

また、例えば、図3における管16の設置形態、図6におけるバルーン17の設置形態も、図示の例に何ら限定されない。即ち、図示の例では、スプリング12により管16及びバルーン17が変形されるようにしているが、例えばピストン13と管16又はバルーン17が接触することより、これらが変形するようにしてもよい。また、これらの手段の設置位置も特に限定されず、管16及びバルーン17が変形して前記した作用を生じる位置であれば、どのような位置に設けてもよい。また、図3の例では管16を用いているが、外力Fが負荷されることにより変形し、流量変化が生じるものであれば、どのようなものを用いてもよい。さらに、図4の例ではバルーン17を用いているが、外力Fが負荷されることにより変形し、圧力変化が生じるものであれば、どのようなものを用いてもよい。

40

【0084】

さらに、例えば、前記した各実施形態において用いた式や方法は本発明を実施するための一例である。従って、前記した式や方法は、本発明を実施することができる式や方法であれば、任意に変更して実施可能である。

【0085】

例えば、外力算出システム300において、ステップ303～ステップS306は、外力算出システム200におけるステップS202～ステップS205と同様にしているが、例えばステップS304において速度vを算出する際、式(1)を用いて算出してもよい。ただし、外力算出システム300においては、バルーン17にエアは新たに供給され

50

ない。従って、ステップ S 3 0 4 において用いる式 (1) は、 G (流量) = 0 として計算される。

【 0 0 8 6 】

また、例えば、図 2、図 5 及び図 8 を参照しながら説明したフローは、本実施形態を説明するためのフローの一例であり、任意に変更して実施可能である。

【 0 0 8 7 】

例えば、図 3 の例では流量変化量に基づいて圧縮量を算出しているが、圧力センサを設け、圧力変化量に基づいて圧縮量を算出してもよい。また、図 6 の例では圧力変化量に基づいて圧縮量を算出しているが、流量センサを設け、流量変化量に基づいて圧縮量を算出してもよい。さらに、図 3 及び図 6 のいずれの例においても、圧力変化量及び流量変化量の両方を用いて圧縮量を算出してもよい。

10

【 0 0 8 8 】

また、例えば、前記した各実施形態における状態量は適宜変更して実施可能である。即ち、ピストン 1 3 (駆動部) が移動することにより生じる状態量の変化に基づき外力 F が算出されれば、どのような状態量を用いてもよい。状態量としては、前記した圧力及び流量のほか、例えば、容積、温度等が挙げられる。そして、これに対応して、各種センサ (状態量測定手段) を設ければよい。

【 符号の説明 】

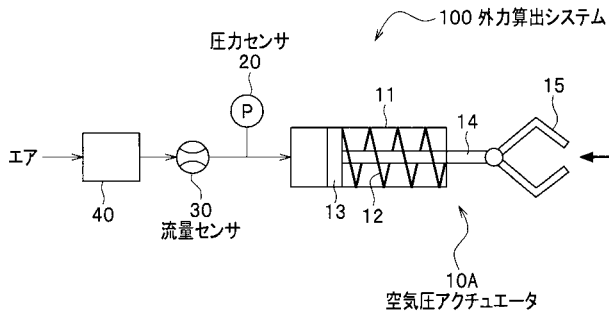
【 0 0 8 9 】

- 1 0 A 空気圧アクチュエータ
- 1 0 B 空気圧アクチュエータ
- 1 0 C 空気圧アクチュエータ
- 1 1 シリンダ
- 1 2 スプリング
- 1 3 ピストン (駆動部)
- 1 5 マニピュレータ (治具)
- 1 6 管 (弾性部材)
- 1 7 パルーン (弾性部材)
- 2 0 圧力センサ (状態量測定手段)
- 3 0 流量センサ (状態量測定手段)
- 5 0 流量センサ (状態量測定手段)
- 8 0 圧力センサ (状態量測定手段)
- 1 0 0 外力算出システム
- 2 0 0 外力算出システム
- 3 0 0 外力算出システム

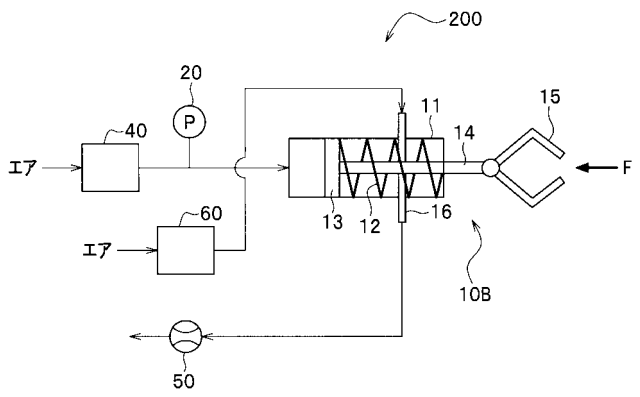
20

30

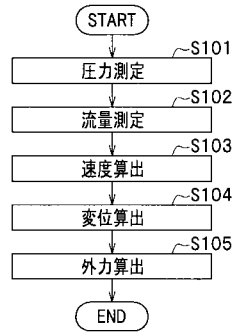
【図 1】



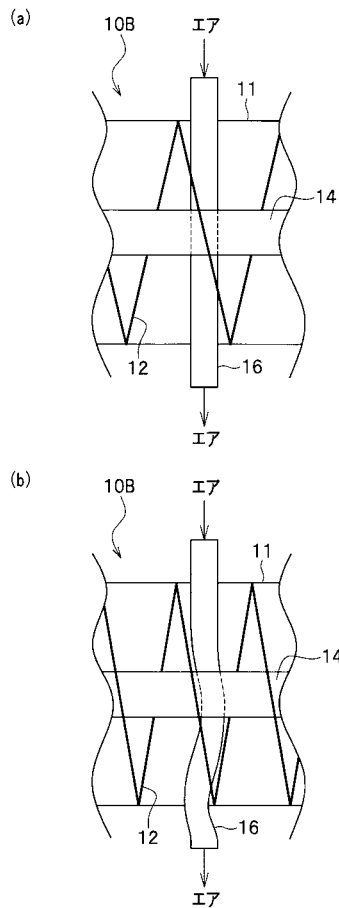
【図 3】



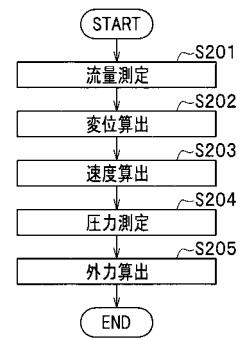
【図 2】



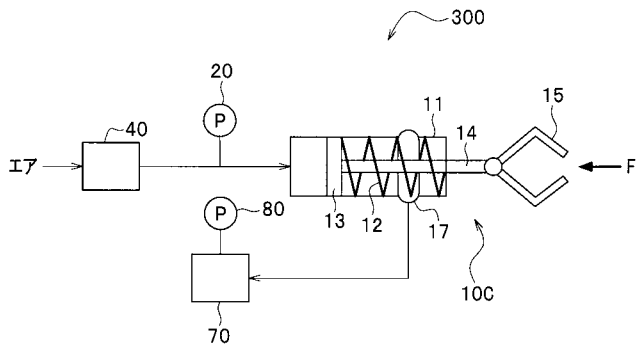
【図 4】



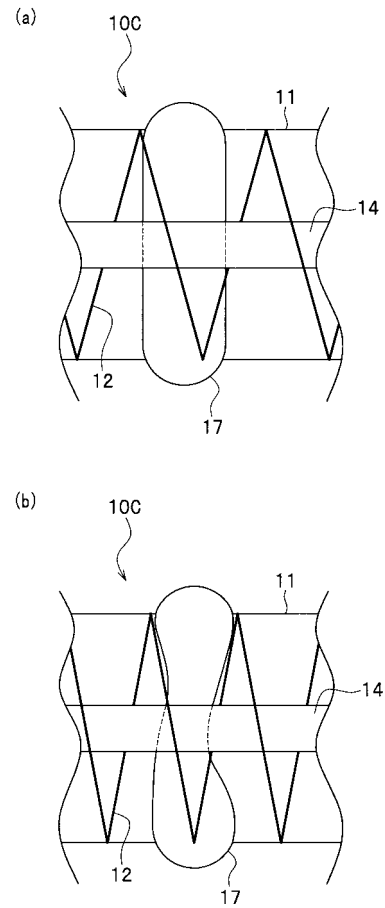
【図 5】



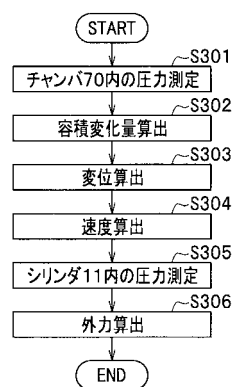
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

