

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6895660号
(P6895660)

(45) 発行日 令和3年6月30日 (2021.6.30)

(24) 登録日 令和3年6月10日 (2021.6.10)

(51) Int.Cl.

F I

F 1 5 B 15/10 (2006.01)
A 6 1 M 25/082 (2006.01)F 1 5 B 15/10 H
A 6 1 M 25/082

請求項の数 13 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2017-92605 (P2017-92605)
 (22) 出願日 平成29年5月8日 (2017.5.8)
 (65) 公開番号 特開2018-189169 (P2018-189169A)
 (43) 公開日 平成30年11月29日 (2018.11.29)
 審査請求日 令和2年4月13日 (2020.4.13)

(73) 特許権者 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
 (73) 特許権者 599055382
 学校法人東邦大学
 東京都大田区大森西5丁目21番16号
 (74) 代理人 100105924
 弁理士 森下 賢樹
 (74) 代理人 100109047
 弁理士 村田 雄祐
 (74) 代理人 100109081
 弁理士 三木 友由
 (74) 代理人 100133215
 弁理士 真家 大樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータおよび移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アクチュエータであって、加圧によって径方向および軸方向に膨張する伸縮バルーンを備え、前記伸縮バルーンは、螺旋に沿う方向に伸びにくく、径方向に膨張しにくく拘束され、かつ無加圧状態および加圧状態において湾曲した状態を維持するように拘束されており、湾曲した前記伸縮バルーンが加圧によって回動して前記アクチュエータの方向が変化することを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

前記伸縮バルーンは、軸方向の伸びやすさが、周方向に関して不均一であることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

先端が閉じられており、加圧によって径方向および軸方向に膨張するチューブと、
 前記チューブの表面に螺旋状に巻き付けられた糸状の部材と、
 前記チューブの内部に設けられ、前記チューブを湾曲した状態で拘束する湾曲拘束部材と、
 を備えることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 4】

前記チューブは、軸方向の伸びやすさが、周方向に関して不均一であることを特徴とする請求項 3 に記載のアクチュエータ。

【請求項 5】

10

20

請求項 1 から 4 のいずれかに記載のアクチュエータが設けられた先端部分と、
推進部と、
を備えることを特徴とする管路内の移動体。

【請求項 6】

前記推進部は、
後端に外部から制御可能な圧力を受けるインナーチューブと、
加圧によって径方向に膨張し、軸方向に収縮可能であり、前記インナーチューブの外側に軸方向に複数 N 個 ($N \geq 2$) のチャンバー室を形成する伸縮部材と、
を含み、
前記インナーチューブは、前記チャンバー室ごとに少なくともひとつの開口を有し、
 i 番目 ($1 \leq i \leq N$) のチャンバー室の軸方向の長さを L_i 、 i 番目のチャンバー室に対応する少なくともひとつの開口の総面積を S_i としたとき、チャンバー室ごとに S_i / L_i が異なっていることを特徴とする請求項 5 に記載の移動体。

10

【請求項 7】

前記伸縮バルーンには、前記インナーチューブを介して圧力が供給され、
前記インナーチューブには、前記伸縮バルーンに圧力を供給するための少なくともひとつの開口が設けられ、当該少なくともひとつの開口の総面積を S_0 とするとき、 $S_0 < S_1, \dots, S_N$ が成り立つことを特徴とする請求項 6 に記載の移動体。

【請求項 8】

前記推進部は、隣接するチャンバー室の境界に設けられた拘束部材をさらに含むことを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の移動体。

20

【請求項 9】

前記伸縮部材は管状であり、前記インナーチューブは前記伸縮部材に挿入されており、
前記複数のチャンバー室それぞれの境界部分において、前記伸縮部材の内壁と前記インナーチューブの外壁が密着していることを特徴とする請求項 6 から 8 のいずれかに記載の移動体。

【請求項 10】

長さ L は先端ほど短く、面積 S は先端ほど大きいことを特徴とする請求項 6 から 9 のいずれかに記載の移動体。

【請求項 11】

30

前記先端部分のアクチュエータの前記伸縮バルーンは、前記推進部の前記インナーチューブの先端に接続されており、
前記インナーチューブの後端に対する 1 系統の圧力制御により、前記インナーチューブの加圧および減圧を繰り返すことにより前記推進部を制御して前記移動体を推進させることが可能であり、前記管路の分岐の手前において、前記インナーチューブを介して前記アクチュエータの前記伸縮バルーンの圧力を制御して、所望の枝の方向に前記アクチュエータを回動させることにより、当該枝を前記移動体が推進する方向とすることが可能であることを特徴とする請求項 6 に記載の移動体。

【請求項 12】

管路内の移動体であって、
後端に外部から制御可能な圧力を受けるインナーチューブを有し、前記インナーチューブの後端への加圧に応じて推進力を発生する推進部と、
湾曲した形状を有したアクチュエータであって、前記インナーチューブの先端に接続されており、前記インナーチューブを介した加圧により前記アクチュエータが回動して前記アクチュエータの方向が変化するアクチュエータと、
を備え、

40

前記インナーチューブの後端に対する 1 系統の圧力制御により、前記インナーチューブの加圧および減圧を繰り返すことにより前記推進部に前記推進力を発生させて、前記移動体を推進させることが可能であり、前記管路の分岐の手前において、前記インナーチューブを介して前記アクチュエータへの前記加圧を制御して、所望の枝の方向に前記アクチュ

50

エータの方向を変化させることにより、当該枝を前記移動体が推進する方向とすることが可能であることを特徴とする移動体。

【請求項 13】

(i) 前記インナーチューブの前記後端に対する加圧時間が短いときに前記アクチュエータの方向が変化せず、前記移動体を推進させることが可能であり、(ii) 前記管路の分岐の手前で、前記加圧時間を長くすることで、加圧時間に応じて前記アクチュエータの方向が変化することにより、前記移動体が推進する枝の選択が可能であることを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、流体圧を利用したアクチュエータに関する。

【背景技術】

【0002】

体内の観察のための内視鏡や、薬液の投与、体液の排出のためのカテーテルは、重要な医療機器として知られる。これらの器具はいずれも、体内の細い管内に挿入して使用されるため、径方向のサイズには制約があり、複雑な機構を組み込むことが難しい。このためこのような器具は、自分自身の推進力を有さず、したがって従来では、医療行為者が外部から力を与えて、体内に押し込み、あるいは引き抜く必要があった。

【0003】

20

近年、能動カテーテルや能動内視鏡の開発が進められている。たとえば特許文献 1 ~ 3 には、空気圧を用いた管内自走装置、内視鏡推進装置、管内挿入装置が開示されている。

【0004】

体内の複雑な観察対象として気管支が挙げられる。気管支は、枝分かれした複雑な構造を有している。気管支に能動カテーテルを挿入する場合、枝分かれごとに方向を選択する必要がある。したがって簡素な構造で方向を制御可能なアクチュエータの提供が望まれる。

【0005】

また気管支は、先端に進むほど、内径が小さくなる。具体的には枝分かれごとに第 0 世代 ~ 第 5 世代と称され、第 0 世代の 18 mm ~ 第 5 世代の 3.6 mm の範囲で内径は大きく変化する。したがって、幅広い内径の管路を推進する機能が望まれる。

30

【0006】

このような要望は、気管支や大腸管などの生体管のみでなく、排水管やガス管などの工業用管路においても生じうる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開 2009 - 240713 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 81130 号公報

【特許文献 3】特開平 5 - 293077 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来の流体圧を利用したアクチュエータは、軸方向への伸縮動作、あるいは、ある一方方向への湾曲動作を提供するものに限られていた。軸周りに回転可能なアクチュエータが存在すれば、流体圧アクチュエータの利用価値は大きくなるものと考えられる。

【0009】

本発明はかかる状況に鑑みてなされたものであり、そのある態様の例示的な目的のひとつは、従来と異なる動作が可能なアクチュエータの提供にある。また別の態様の例示的な目的のひとつは、狭い管路から広い管路において推進可能な移動体の提供にある。

50

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明のある態様は、アクチュエータに関する。アクチュエータは、加圧によって径方向および軸方向に膨張する伸縮バルーンを備える。伸縮バルーンは、螺旋に沿う方向に伸びにくく、かつ径方向に膨張しにくく拘束されている。

【0011】

伸縮バルーンを加圧すると、径方向には膨張できないため、軸方向に伸びようとする力が、螺旋を軸方向にさらに傾ける向きに作用する。その結果、伸縮バルーンは、軸周りに回転する。このアクチュエータによれば回転運動を提供でき、回転角度は圧力に応じて制御できる。

10

【0012】

伸縮バルーンはさらに湾曲した状態で拘束されていてもよい。これにより、加圧によって湾曲した部材を回転させることができる。

【0013】

伸縮バルーンは、軸方向の伸びやすさが、周方向に関して不均一であってもよい。伸縮バルーンを加圧すると、伸縮バルーンは伸展しながら、湾曲していく。これにより伸展、湾曲および回転運動が混在した動作を生成できる。

【0014】

伸縮バルーンの断面の厚みは、周方向に不均一であってもよい。これにより、伸縮バルーンに、軸方向の伸びやすさに周方向の分布を持たせることができる。

20

【0015】

本発明の別の態様も、アクチュエータに関する。アクチュエータは、先端が閉じられており、加圧によって径方向および軸方向に膨張するチューブと、チューブの表面に螺旋状に巻き付けられた糸状の部材と、を備える。

チューブを加圧すると、径方向には膨張できないため、軸方向に伸びようとする力が、螺旋を軸方向にさらに傾ける向きに作用する。その結果、チューブは、軸周りに回転する。このアクチュエータによれば回転運動を提供でき、回転角度は圧力に応じて制御できる。

【0016】

アクチュエータは、チューブの内部に設けられ、チューブを湾曲した状態で拘束する湾曲拘束部材をさらに備えてもよい。

30

【0017】

チューブは、軸方向の伸びやすさが、周方向に関して不均一であってもよい。チューブを加圧すると、チューブは伸展しながら、湾曲していく。これにより伸展、湾曲および回転運動が混在した動作を生成できる。

【0018】

チューブの断面の厚みは、周方向に不均一であってもよい。これにより、伸縮バルーンに、軸方向の伸びやすさに周方向の分布を持たせることができる。

【0019】

本発明の別の態様は、管路内の移動体に関する。移動体は、上述のアクチュエータが設けられた先端部分と、推進部と、を備える。アクチュエータの伸縮バルーンは、湾曲した状態で拘束されてもよい。伸縮バルーンを加圧すると、湾曲した状態で回転する。これにより、移動体の進む方向を選択できる。

40

【0020】

推進部は、後端に外部から制御可能な圧力を受けるインナーチューブと、加圧によって径方向に膨張し、軸方向に収縮可能であり、インナーチューブの外側に軸方向に複数 N 個($N \geq 2$)のチャンパー室を形成する伸縮部材と、を含んでもよい。インナーチューブは、チャンパー室ごとに少なくともひとつの開口を有し、 i 番目($1 \leq i \leq N$)のチャンパー室の軸方向の長さを L_i 、 i 番目のチャンパー室に対応する少なくともひとつの開口の総面積を S_i としたとき、チャンパー室ごとに S_i / L_i が異なってもよい。

50

この推進部によると、インナーチューブの他端に供給する１系統の圧力を制御することにより、複数のチャンパー室を、比 S/L の大きさに応じて異なるタイミングで膨張、収縮させることができ、これにより移動体をミミズのように変形させて、推進力を発生させることができる（蠕動運動）。

【００２１】

伸縮バルーンには、インナーチューブを介して圧力が供給されてもよい。インナーチューブには、伸縮バルーンに圧力を供給するための少なくともひとつの開口が設けられてもよい。伸縮バルーンに対応する少なくともひとつの開口の総面積を S_0 とすると、 $S_0 < S_i$ ($i = 1, \dots, N$) が成り立ってもよい。

これにより一本のインナーチューブによって、言い換えれば圧力系統によって、推進と方向の両方を制御できる。

【００２２】

推進部は、隣接するチャンパー室の境界に設けられた複数の拘束部材をさらに含んでもよい。この構造によれば、太い管路内を、蠕動運動ではなく、屈曲動作によって推進することができる。

【００２３】

本発明のさらに別の態様もまた、移動体である。この移動体は、後端に外部から制御可能な圧力を受けるインナーチューブと、加圧によって径方向に膨張し、軸方向に収縮する伸縮部材であって、インナーチューブの外側に軸方向に複数 N 個のチャンパー室を形成する伸縮部材と、隣接するチャンパー室の境界に設けられた複数の拘束部材と、を備える。インナーチューブは、チャンパー室ごとに少なくともひとつの開口を有する。 i 番目 ($1 \leq i \leq N$) のチャンパー室の軸方向の長さを L_i 、 i 番目のチャンパー室に対応する少なくともひとつの開口の総面積を S_i としたとき、チャンパー室ごとに S_i/L_i が異なっている。

【００２４】

この態様によると、細い管路内では、拘束部材が伸縮部材に作用せず、蠕動運動により推進することができる。管路の内径が太くなると、拘束部材が伸縮部材に作用するため、屈曲動作により推進することができる。

【００２５】

伸縮部材は管状であり、インナーチューブは伸縮部材に挿入されており、複数のチャンパー室それぞれの境界部分において、伸縮部材の内壁とインナーチューブの外壁が密着している。

【００２６】

長さ L は先端ほど短く、面積 S は先端ほど大きくてもよい。これにより、先端方向への大きな推進力を得ることができる。

【００２７】

なお、以上の構成要素を任意に組み合わせたものもまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

【００２８】

本発明のある態様によれば、従来と異なる動作が可能なアクチュエータを提供できる。またまた別の態様によれば、狭い管路から広い管路において推進可能な移動体を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【００２９】

【図１】回転アクチュエータの基本構成を示す図である。

【図２】図２（ａ）、（ｂ）は、図１の回転アクチュエータの動作を説明する図である。

【図３】回転アクチュエータの構成例を示す図である。

【図４】図４（ａ）、（ｂ）は、第１変形例に係る回転アクチュエータを示す図である。

【図５】第１変形例に係る回転アクチュエータの圧力と回転角の関係の測定結果を示す図

10

20

30

40

50

である。

【図 6】図 6 (a)、(b) は、第 2 変形例に係る回転アクチュエータを示す図である。

【図 7】図 7 (a) は、回転アクチュエータを備える移動体を示す図であり、図 7 (b) は、管路内における移動体の方向操舵を説明する図である。

【図 8】図 8 (a) は、実施の形態に係る推進部の断面図であり、図 8 (b) はその外観図である。

【図 9】図 9 (a) ~ (g) は、図 8 の推進部の動作を説明する図である。

【図 10】図 10 (a) ~ (g) は、別の推進部の動作を説明する図である。

【図 11】図 11 (a) ~ (c) は、面積 S_i と長さ L_i の設計例を示す図である。

【図 12】図 12 (a) ~ (c) は、 $S_1 > S_2 > S_3$ の場合の面積 S の設計例を示す図である。

10

【図 13】図 13 (a) ~ (d) は、推進部の製造方法を示す図である。

【図 14】移動体を示す図である。

【図 15】回転アクチュエータの伸縮バルーンの内部の圧力 (i) と、推進部の伸縮部材の内部の空気室の圧力 (ii) の応答性を示す図である。

【図 16】図 16 (a) ~ (g) は、図 14 の移動体の動作を説明する図である。

【図 17】図 17 (a) は、変形例に係る推進部を示す図であり、図 17 (b) には、拘束部材による拘束の様子が示される。

【図 18】図 18 (a) ~ (g) は、図 17 (a) の推進部の動作を示す図である。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 3 0 】

以下、本発明を好適な実施の形態をもとに図面を参照しながら説明する。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。また、実施の形態は、発明を限定するものではなく例示であって、実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

【 0 0 3 1 】

1. 回転アクチュエータ

流体圧を利用したアクチュエータであって、伸縮動作やある特定方向への湾曲動作とは異なる新たな動作を提供可能なアクチュエータ (回転アクチュエータ) について説明する。

30

【 0 0 3 2 】

1. 1 基本構成

図 1 は、回転アクチュエータ 1 0 0 の基本構成を示す図である。本明細書において参照する図面に示される各部材の寸法は、理解の容易化、説明の簡潔化のため適宜拡大縮小されている。回転アクチュエータ 1 0 0 は、伸縮バルーン 1 0 2 を備える。伸縮バルーン 1 0 2 は、内部に空気室 1 0 4 を有し、空気圧チューブ 1 0 6 を介して図示しない圧力コントローラ 1 1 0 と接続される。を加圧することにより、径方向および軸方向に膨張する。伸縮バルーン 1 0 2 は、螺旋 1 0 8 に沿う方向に伸びにくく、かつ径方向に膨張しにくく拘束されている。なおこの螺旋 1 0 8 は、数学的に厳密な螺旋である必要はない。

40

【 0 0 3 3 】

以上が回転アクチュエータの基本構成である。続いてその動作を説明する。図 2 (a)、(b) は、図 1 の回転アクチュエータの動作を説明する図である。図 2 (a) は、無加圧状態を、図 2 (b) は加圧状態を示す。図 2 (a)、(b) には、Z 方向から見た断面図が併せて示される。伸縮バルーン 1 0 2 を加圧すると、径方向および軸方向に伸びようとする。拘束により径方向 (R 方向) には膨張できず、軸方向 (Z 方向) に伸びる。このとき伸縮バルーン 1 0 2 の螺旋 1 0 8 は、軸方向にさらに傾き、角度 θ_1 が増大する ($\theta_1 > \theta_0$)。

【 0 0 3 4 】

螺旋 1 0 8 上の 2 点 P_0 および P_1 に着目する。2 点の相対的な位置関係を考えて、点

50

P_0 の位置が固定されているものと仮定する。点 P_0 と P_1 の間の螺旋 108 に沿う長さ 1 は一定に拘束されるから、角度 θ が大きくなると、点 P_2 は Z 方向から見たときに、方向に回転する。この 2 点 P_0 と P_1 を 1 つの変形要素として考えると、その関係は、別の 2 点 P_1 と P_2 の間の変形要素、2 点 P_2 と P_3 の間の変形要素、 \dots と、任意の 2 点間の変形要素においても同様に成立する。回転アクチュエータ 100 の先端の点 P_z に着目すると、この点 P_z の変位は、複数の変形要素の変形の積分とみなすことができ、軸周りに回転する。

【0035】

この回転アクチュエータ 100 によれば、軸方向 (Z) 方向に伸展しながら回転 (捩れる) する運動を提供でき、さらに回転角 θ を圧力 (あるいは空気の供給量) に応じて制御できる。

【0036】

1.2 具体的な構成例

図 3 は、回転アクチュエータ 100 の構成例を示す図である。回転アクチュエータ 100 は、伸縮性を有するチューブ 120 と、伸縮性を有しない糸状部材 122 を備える。チューブ 120 はたとえばシリコンチューブであり、その先端は閉じられており、伸縮バルーン 102 を形成する。シリコンチューブに代えてゴムチューブを用いてもよい。糸状部材 122 はたとえば繊維であり、チューブ 120 の表面に螺旋状に巻き付けられる。以上が回転アクチュエータ 100 の構成例である。

【0037】

1.3 第 1 変形例

図 4 (a)、(b) は、第 1 変形例に係る回転アクチュエータ 100 A を示す図である。図 4 (a) に示すように回転アクチュエータ 100 A は、伸縮バルーン 102 が湾曲した状態で拘束されている。たとえば図 3 の回転アクチュエータ 100 を基本構成とする場合、チューブ 120 の内部に湾曲拘束部材 124 を設ければよい。図 4 (b) には、図 4 (a) の回転アクチュエータ 100 A を加圧したときの動作が示される。加圧することにより、チューブ 120 の湾曲を維持しつつ、その方向を回転することができる。

【0038】

図 5 は、圧力と回転角の関係の測定結果を示す図である。測定に用いたサンプルには、内径 1.6 mm、外径 2.6 mm、長さ 50 mm のシリコンチューブ 120 を用いた。また糸状部材 122 としては、水系を用いた。湾曲拘束部材 124 は、ビニールタイである。図 5 から明らかなように、回転アクチュエータ 100 A によれば、可動範囲として 360° 以上の回転運動を実現できる。なお可動範囲は、糸状部材 122 のピッチ、傾きに応じて設計することができる。

【0039】

1.4 第 2 変形例

図 6 (a)、(b) は、第 2 変形例に係る回転アクチュエータ 100 B を示す図である。図 6 (a) には、断面図および斜視図が示される。伸縮バルーン 102 は、軸方向 (Z 方向) の伸びやすさが、周方向に関して不均一となるように構成される。たとえば断面図に示すように、伸縮バルーン 102 の断面の厚みは、周方向に不均一であってもよい。これにより、伸縮バルーンに、軸方向の伸びやすさに周方向の分布を持たせることができる。図 3 と同様に、回転アクチュエータ 100 B は、チューブ 120 と糸状部材 122 で形成してもよい。この場合、チューブ 120 の肉厚に不均一性を持たせればよい。たとえばチューブ 120 の中空部 121 を中心軸 Z に対して偏心させてもよい。

【0040】

図 6 (b) には、加圧状態の回転アクチュエータ 100 B が示される。伸縮バルーン 102 (チューブ 120) の内部を加圧すると、肉厚が薄い側が厚い側より軸方向に伸長しやすいため、伸縮バルーン 102 が伸展しながら湾曲し (図中、矢印 A)、それと同時に、上述した捩れの運動 (図中、矢印 B) が発生する。結果として、伸展・湾曲・回転 (捩れ) が混在した動作が生成され、圧力に応じて、湾曲方向を制御することが可能となりま

10

20

30

40

50

す。

【0041】

なお、第2変形例に係る回転アクチュエータ100Bにおいて、伸縮バルーン102に軸方向の伸びやすさの不均一性を導入する手段は限定されない。たとえば均一な伸びやすさを有するチューブ120に、糸状部材122とは別の拘束部材を貼り合わせて、不均一性を導入してもよい。具体的には、伸縮バルーン102の周囲に、軸方向に伸びやすさの異なる2つのシート状あるいはストリップ状の拘束部材を貼り付けてもよい。

【0042】

あるいは、伸縮バルーン102を周方向に2つの領域に分割し、チューブ120を2つの領域に対応する2つの半チューブの貼り合わせで構成してもよい。そして2つの半チューブの材料や特性を異ならしめてもよい。

10

【0043】

2. 移動体

2.1 操舵アクチュエータ

続いて、回転アクチュエータ100Aあるいは100Bの用途を説明する。回転アクチュエータ100A、100Bの用途は限定されないが、一例として、管路内を推進する移動体の先端部に取り付けて、方向を選択する操舵アクチュエータとして利用できる。図7(a)は、回転アクチュエータ100Aを備える移動体30を示す図である。なお、以降の説明において、回転アクチュエータ100Aを100Bに置き換えてもよい。移動体130は、回転アクチュエータ100Aおよび推進部1を備える。回転アクチュエータ100Aは、移動体130の先端部分134に設けられ、操舵アクチュエータとして機能する。

20

【0044】

図7(b)は、管路140内における移動体130の方向操舵を説明する図である。管路140の内部には分岐142が存在する。分岐142の手前に移動体130が位置した状態で、回転アクチュエータ100Aを加圧し、進行したい枝144Aの方向に回転アクチュエータ100Aを回転させる。その状態で、推進部1を駆動して推進力を発生すると、移動体130を枝144Aの方向に推進させることができる。反対側の枝144B側に推進させたい場合、圧力を調節して、回転アクチュエータ100Aを破線で示すように分岐142Bの方向に回転させればよい。

30

【0045】

このように、回転アクチュエータ100Aによれば、分岐の存在する管路において、所望の枝を選択して移動体130を推進させることができる。

【0046】

なお、回転アクチュエータ100Aに代えて回転アクチュエータ100Bを用いた場合、通常の進行動作中は、回転アクチュエータ100Bは直線形状を保つことができる。したがって管路の壁面との抵抗の観点からは回転アクチュエータ100Bの方が有利であり、また湾曲の角度を制御できる点でも回転アクチュエータ100Bの方が有利であると言える。

40

【0047】

2.2 推進部

続いて、推進部1の構成例を説明する。操舵アクチュエータとして回転アクチュエータ100Aを利用する場合、推進部1も空気圧で駆動可能であることが望ましい。以下では、推進部1の好適な構成について説明する。

【0048】

図8(a)は、実施の形態に係る推進部1の断面図であり、図8(b)はその外観図である。推進部1は、柔軟な線状のアクチュエータであり、ミミズのように変形しながら推進する(蠕動運動)。推進部1は、伸縮部材10およびインナーチューブ20を備える。

【0049】

伸縮部材10は、内側からの加圧によって径方向に膨張し、軸方向に収縮する。このよ

50

うな性質を有する伸縮部材 10 としては、マッキベン (McKibben) 型の空気圧ゴム人工筋あるいはそれに類似する構造のチューブを用いることができる。またチューブの材料は特に限定されないが、たとえばシリコンゴム製のものを用いることができる。

【0050】

インナーチューブ 20 は、その一端 (先端ともいう) 22 が閉じられている。インナーチューブ 20 の他端 (後端ともいう) 24 には、圧力コントローラ 2 が接続され、後端 24 の圧力 (空気の流量および向き) が外部から制御可能となっている。たとえば圧力コントローラ 2 は、空気圧ポンプやコンプレッサと、圧力制御弁とを備えてもよい。

【0051】

伸縮部材 10 は、インナーチューブ 20 の外側に軸方向に複数のチャンバー室 40__1 ~ 40__N を形成する。チャンバー室 40__1 は最先端に、チャンバー室 40__N は最後端に位置する。図 8 には $N = 3$ が例示されるが、 N は任意である。

【0052】

たとえば伸縮部材 10 は管状であり、インナーチューブ 20 は伸縮部材 10 に挿入される。複数のチャンバー室 40__1 ~ 40__3 それぞれの境界部分において、伸縮部材 10 の内壁とインナーチューブ 20 の外壁が密着している。たとえば推進部 1 は、伸縮部材 10 を外部から径方向に押さえつける環状の拘束部材 50 を備えてもよい。拘束部材 50 は、糸、紐やゴム、金属線などを用いることができ、その材料は特に限定されない。あるいは、伸縮部材 10 の内壁とインナーチューブ 20 の外壁は、隣接するチャンバー室 40 の境界において接着あるいは溶着されてもよい。

【0053】

インナーチューブ 20 は、チャンバー室 40__i ($i = 1, 2, \dots, N$) ごとに少なくともひとつの開口 26__i を有する。ここでは理解の容易化の説明の簡潔化のため、チャンバー室 40 ごとに 1 個の開口 26 が設けられている。インナーチューブ 20 の内部の流路 21 は、開口 26__i を介して対応するチャンバー室 40__i と連通している。

【0054】

i 番目のチャンバー室 40__i の軸方向の長さを L_i 、そのチャンバー室 40__i に対応する少なくともひとつの開口 26__i の総面積を S_i したとき、複数のチャンバー室 40__i それぞれにおける比 S_i / L_i が異なっている。好ましくは比 S_i / L_i は、軸方向に単調に変化する。

【0055】

以上が推進部 1 の構成である。続いてその動作を説明する。

【0056】

(i) $S_i / L_i > S_j / L_j$ ($i < j$)

図 9 (a) ~ (g) は、図 8 の推進部 1 の動作を説明する図である。2 つのチャンバー室 40__i, 40__j ($i < j$) に関して、 $S_i / L_i > S_j / L_j$ が成り立つものとする。推進部 1 は、管路 140 の内部を右方向に推進する。図 9 (a) は初期状態を示す。圧力コントローラ 2 によってインナーチューブ 20 を加圧すると、インナーチューブ 20 の開口 26 を介してチャンバー室 40 内に空気が流れ込む。インナーチューブ 20 の内部の空気圧が一定であると仮定すると、各チャンバー室 40 に流れ込む空気の流量は、そのチャンバー室 40 に対応する開口 26 の面積 S に比例する。チャンバー室 40 の膨張速度は、その単位体積当たりの流量に比例する。伸縮部材 10 の内径が均一であると仮定すれば、各チャンバー室の体積は、軸方向の長さ L に比例する。したがってチャンバー室 40__i はそれぞれ、比 S_i / L_i に応じた膨張速度で膨張する。

【0057】

つまり、図 9 (b) に示すように比 S_i / L_i の大きな先端 22 側のチャンバー室 40__1 が先に膨張する。膨張したチャンバー室 40__1 は管路 140 の内壁 141 と接触することにより、推進方向 (軸方向) の位置が固定される。チャンバー室 40__1 が膨張すると、伸縮部材 10 の性質により、チャンバー室 40__1 の長さが短くなり、後続のチャンバー室 40__2、40__3 が前方に引き寄せられる。さらに加圧を続けると、図 9 (c)

）に示すように２番目のチャンパー室４０＿２が膨張し、その長さが短くなり、後続のチャンパー室４０＿３が前方に引き寄せられる。そして図９（ｄ）に示すようにすべてのチャンパー室４０＿１～４０＿３が膨張した状態となる。

【００５８】

続いて圧力コントローラ２によって、インナーチューブ２０を減圧状態に切り換えられる。そうすると、図９（ｅ）に示すように比 S_i / L_i の大きな先端２２側のチャンパー室４０＿１が先に収縮する。チャンパー室４０＿１が収縮すると、伸縮部材１０の性質により、チャンパー室４０＿１の長さが長くなり、チャンパー室４０＿１が軸方向に繰り出される。さらに減圧を続けると、図９（ｆ）に示すように２番目のチャンパー室４０＿２が収縮し、その長さが長くなり、チャンパー室４０＿１、４０＿２が軸方向に繰り出される。さらに減圧を続けると、図９（ｇ）に示すように３番目のチャンパー室４０＿３が収縮し、その長さが長くなり、チャンパー室４０＿１～４０＿３が軸方向に繰り出される。圧力コントローラ２によって加圧、減圧を繰り返すことで、図９（ａ）～（ｇ）の動作が繰り返され、推進部１は右方向つまり先端２２側に推進する。

【００５９】

なお、ここでは明確化のために、チャンパー室４０＿１～４０＿３が順に膨張、収縮する様子を示しているが、実際には、チャンパー室４０＿１が膨張している間、チャンパー室４０＿２、４０＿３も膨張してもよく、反対にチャンパー室４０＿１が収縮している間、チャンパー室４０＿２、４０＿３も収縮してもよい。

【００６０】

(ii) $S_i / L_i > S_j / L_j$ ($i < j$)

図１０（ａ）～（ｇ）は、別の推進部１の動作を説明する図である。ここでは $i < j$ を満たす２つのチャンパー室４０＿ i 、４０＿ j に関して、 $S_i / L_i > S_j / L_j$ が成り立っている。この場合、複数のチャンパー室４０が膨張、伸縮する順序が、図９（ａ）～（ｇ）とは逆となる。これにより推進部１は、左方向つまり後端２４側に推進する。

【００６１】

以上が推進部１の動作である。この推進部１によれば、比 S_i / L_i に勾配を持たせることにより、インナーチューブ２０への１系統の圧力を制御するのみで、複数のチャンパー室４０＿１～４０＿３を、順に膨張、収縮させることができ、これにより推進部１をミミズのように変形させて、推進力を発生させることができる。

【００６２】

また、図９、図１０で説明したように、勾配の方向に応じて、推進力の向きを設計することができる。さらに、開口２６の面積 S 、空間の長さ L にもとづいて、推進力や推進速度を設計することができる。さらに、推進部１では、複数のチャンパー室４０を１系統の空気圧源によって制御可能であり、従来の移動体に比べてコスト、サイズを大幅に削減できる。

【００６３】

図１１（ａ）～（ｃ）は、面積 S_i と長さ L_i の設計例を示す図である。図１１（ａ）では、長さ $L_1 \sim L_3$ は等しく、 $S_1 > S_2 > S_3$ が成り立っている。

【００６４】

図１１（ｂ）では、面積 $S_1 \sim S_3$ が等しく、 $L_1 < L_2 < L_3$ が成り立っている。図１１（ｃ）では、 $S_1 > S_2 > S_3$ かつ $L_1 < L_2 < L_3$ が成り立っている。進行方向を反対とする場合、不等号の向きを反対とすればよい。

【００６５】

図１２（ａ）～（ｃ）は、 $S_1 > S_2 > S_3$ の場合の面積 S の設計例を示す図である。図１２（ａ）では、各チャンパー室４０に異なる面積の開口がひとつずつ設けられる。図１２（ｂ）では、同じサイズの開口が、異なる個数設けられている。図１２（ｃ）では、異なるサイズの開口が、異なる個数設けられている。あるいは後出の図１３（ａ）に示すように、異なるサイズの開口を、複数の同数個ずつ設けてもよい。

【００６６】

続いて、推進部 1 の具体的な製造方法の一例を説明する。図 1 3 (a) ~ (d) は、推進部 1 の製造方法を示す図である。図 1 3 (a) に示すように、インナーチューブ 2 0 に、複数の開口 2 6 _ 1 ~ 2 6 _ 3 が形成される。たとえば開口 2 6 は、針状の器具を用いて形成してもよい。

【 0 0 6 7 】

図 1 3 (b) を参照して、伸縮部材 1 0 の製造方法の一例を説明する。カーボンチューブ 1 2 を回転させながらシリコン（たとえば Ecoflex00-50：登録商標）1 4 を表面に塗布し、シリコンチューブを作製する。そしてシリコンチューブの表面に、糸 1 6 をマッキペンのような網目構造となるように巻き付ける。そして糸 1 6 にシリコン 1 4 を染みこませて、減圧状態（負圧）とし、糸 1 6 の上からシリコン 1 4 をコーティングし、硬化させる。なお伸縮部材 1 0 としては市販のマッキペン型人工筋ゴムを利用してもよい。

10

【 0 0 6 8 】

図 1 3 (c) に示すように、伸縮部材 1 0 にインナーチューブ 2 0 を挿入する。そして図 1 3 (d) に示すように、複数のチャンバー室 4 0 それぞれの境界において、伸縮部材 1 0 がインナーチューブ 2 0 と密着するように拘束部材 5 0 を装着する。たとえば拘束部材 5 0 は、ナイロン繊維やポリアミド系合成繊維、あるいは針金やピアノ線などの金属線であってもよい。

【 0 0 6 9 】

以上が推進部 1 の製造方法である。本発明者がこの製造方法によって製造した推進部 1 の試作品は、重量 2 . 5 g、長さ 1 8 . 5 c m、伸縮部材 1 0 の内径 2 m m、外径 4 m m であった。この試作品により、内径 6 m m ~ 8 m m の管路での推進を確認しており、移動速度として 8 m m / s e c (5 0 c m / 分) が得られており、能動力テールをはじめとする医療用途としても実用性が高いことを確認している。

20

【 0 0 7 0 】

なおこの試作品では、内径 6 m m より狭い管路 1 4 0 では、伸縮部材 1 0 が十分に膨張することができず、推進力の低下が見られた。言い換えれば、伸縮部材 1 0 の径は、管路 1 4 0 の内径を考慮して最適化すればよい。

【 0 0 7 1 】

回転アクチュエータ 1 0 0 A と推進部 1 を組み合わせることにより、空気圧制御のみで、推進と、方向操舵を制御することができる。

30

【 0 0 7 2 】

2 . 3 空気圧系統の統合

回転アクチュエータ 1 0 0 A と推進部 1 を単純に組み合わせただけでは、回転アクチュエータ 1 0 0 の圧力制御系統と、推進部 1 の圧力制御系統の 2 系統が必要となる。これは、圧力コントローラ 1 1 0 から推進部 1 の間に、2 本の空気圧チューブが設けられることになるため、推進部 1 3 0 の細径化の障害となる。以下では、1 本の圧力系統により、回転アクチュエータ 1 0 0 A と推進部 1 を制御可能な移動体 1 3 0 B を説明する。

【 0 0 7 3 】

図 1 4 は、移動体 1 3 0 B を示す図である。この移動体 1 3 0 B において、回転アクチュエータ 1 0 0 A の伸縮バルーン 1 0 2 には、推進部 1 のインナーチューブ 2 0 を介して圧力が供給されるようになっている。すなわちインナーチューブ 2 0 が、空気圧チューブ 1 0 6 を兼ねている。

40

【 0 0 7 4 】

インナーチューブ 2 0 には、伸縮バルーン 1 0 2 に圧力を供給するための少なくともひとつの開口 2 8 が設けられ、当該少なくともひとつの開口 2 8 の総面積を S_0 とするとき、 $S_0 < S_1, \dots, S_N$ が成り立っている。N = 3 の場合、 $L_1 = L_2 = L_3$ であるとき、 $S_0 < S_3 < S_2 < S_1$ が成り立っている。

【 0 0 7 5 】

以上が移動体 1 3 0 B の構成である。続いてその動作を説明する。図 1 5 は、回転アクチュエータ 1 0 0 A の伸縮バルーン 1 0 2 の内部の圧力 (i) と、推進部 1 の伸縮部材 1

50

0の内部の空気室の圧力(ii)の応答性を示す図である。図15から分かるように、回転アクチュエータ100Aの流路面積 S_0 は最も小さいため、加圧した際の応答速度は最も遅くなる。具体的には伸縮バルーン102の応答速度は1秒程度、伸縮部材10の応答速度の0.1秒程度であり、前者の方が10倍程度大きい。

【0076】

図9(b)~(g)に示したように、インナーチューブ20に供給される圧力はパルス状となる。通常の推進運動における、インナーチューブ20の加圧時間は、伸縮バルーン102の応答時間より短く設定されており、したがって通常の推進運動に際しては、伸縮バルーン102には圧力変化が実質的に発生せず、回転アクチュエータ100Aは回転しない。

10

【0077】

回転アクチュエータ100Aを回転させたい場合、インナーチューブ20の加圧時間を長くする。これにより、伸縮バルーン102が加圧され、回転アクチュエータ100Aを回転させることができる。

【0078】

図16(a)~(g)は、図14の移動体130Bの動作を説明する図である。図16(a)~(c)は、図9(b)~(d)に対応する。これらの状態では、回転アクチュエータ100Aにおいて圧力変化は発生していない。

【0079】

図16(c)の状態からさらに加圧を持続すると、図16(d)に示すように、回転アクチュエータ100Aの伸縮バルーン102が加圧され、回転アクチュエータ100Aが回転する。回転アクチュエータ100Aが所望の角度まで回転すると、図16(e)に示すように、減圧状態に切り替えられる。図16(e)~(g)は、図9(e)~(g)に対応する。減圧状態では、圧力変化は、チャンバー室40_1, 40_2, 40_3の順に発生し、回転アクチュエータ100Aの伸縮バルーン102の圧力変化はほとんど発生しない。したがって、回転アクチュエータ100Aの角度を保ったまま、推進部1を推進させることができる。

20

【0080】

回転アクチュエータ100Aの向きを変えずに推進させたい場合、図16(d)の状態を経ずに、すなわち加圧状態の時間を短くして、図16(a)~(c)、(e)~(g)の状態を繰り返せばよい。

30

【0081】

以上が移動体130の動作である。この移動体130によれば、回転アクチュエータ100Aと推進部1とを1系統の圧力制御によって制御することができる。

【0082】

2.4 推進部1の変形例

上述の推進部1は、膨張したチャンバー室40が管路140の内壁141に接触する必要があるため、内径が大きな管路140を推進することができない。以下、内径の大きな管路を推進可能な推進部1Aについて説明する。

【0083】

図17(a)は、変形例に係る推進部1Aを示す図である。推進部1Aは、図8の推進部1に加えて複数の拘束部材52を備える。複数の拘束部材52は、隣接するチャンバー室40の境界に設けられる。具体的には拘束部材52_1と52_2は、周方向に実質的に180°ずれて配置されている。図17(b)には、拘束部材52による拘束の様子が示される。加圧してチャンバー室40_2, 40_3が膨張すると、それらの境界(関節)は、拘束部材52と反対側に屈曲する。

40

【0084】

続いて推進部1Aの動作を説明する。図18(a)~(g)は、図17(a)の推進部1Aの動作を示す図である。太い管路内において推進部1Aを加圧し続けると、図18(b)~(d)に示すように第1関節、第2関節、第3関節が順に屈曲する。続いて減圧す

50

ると、図 18 (e) ~ (g) に示すように、第 1 関節、第 2 関節、第 3 関節の順に伸張する。この動作を繰り返すことにより、推進部 1 A を太い管路内で推進させることができる。

【 0 0 8 5 】

推進部 1 A は、細い管路の中では図 9 (a) ~ (g) に示したように蠕動運動で推進する。つまり推進部 1 A は、管路の径に応じて、蠕動運動と屈曲運動が受動的に切り替わるという利点を有する。

【 0 0 8 6 】

推進部 1 A と回転アクチュエータ 1 0 0 A を組み合わせることにより、内径が一定でなく、かつ分岐が存在する管路内を、自在に推進可能な移動体を提供できる。

10

【 0 0 8 7 】

以上、本発明について、実施の形態をもとに説明した。この実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。以下、こうした変形例について説明する。

【 0 0 8 8 】

実施の形態では、空気圧を利用する場合を説明したが、用途によっては、水圧や油圧などの流体圧を利用しうる。

【 0 0 8 9 】

実施の形態にもとづき、具体的な用語を用いて本発明を説明したが、実施の形態は、本発明の原理、応用を示しているにすぎず、実施の形態には、請求の範囲に規定された本発明の思想を逸脱しない範囲において、多くの変形例や配置の変更が認められる。

20

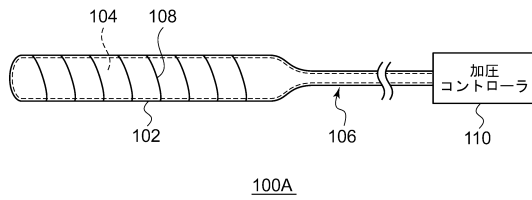
【 符号の説明 】

【 0 0 9 0 】

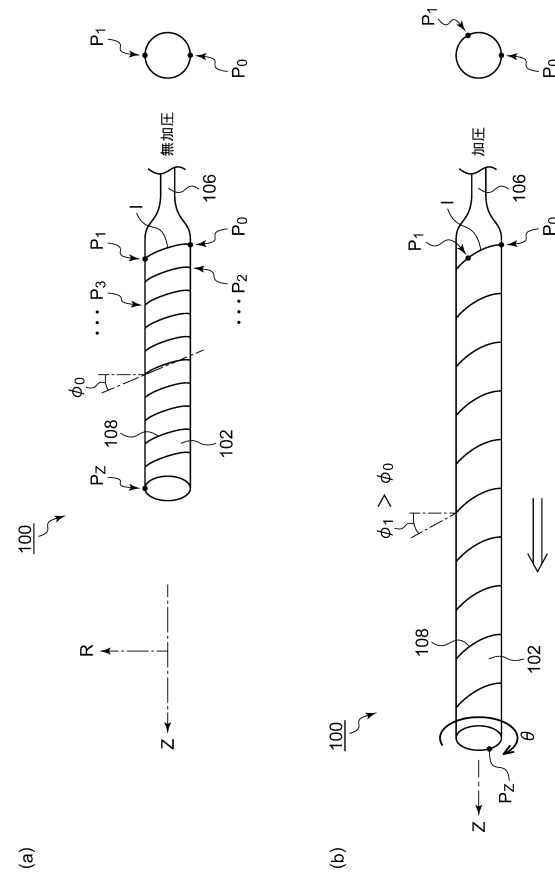
1 ... 推進部、2 ... 圧力コントローラ、1 0 ... 伸縮部材、1 2 ... カーボンチューブ、1 4 ... シリコン、2 0 ... インナーチューブ、2 1 ... 流路、2 2 ... 先端、2 4 ... 後端、2 6 ... 開口、4 0 ... チャンバー室、5 0 , 5 2 ... 拘束部材、1 4 0 ... 管路、1 4 2 ... 分岐、1 4 4 ... 枝、1 0 0 ... 回転アクチュエータ、1 0 2 ... 伸縮バルーン、1 0 4 ... 空気室、1 0 6 ... 空気圧チューブ、1 0 8 ... 螺旋、1 1 0 ... 圧力コントローラ、1 2 0 ... チューブ、1 2 2 ... 系状部材、1 2 4 ... 湾曲拘束部材、1 3 0 ... 移動体。

30

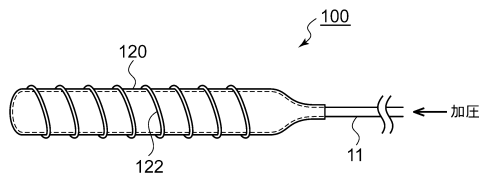
【図 1】



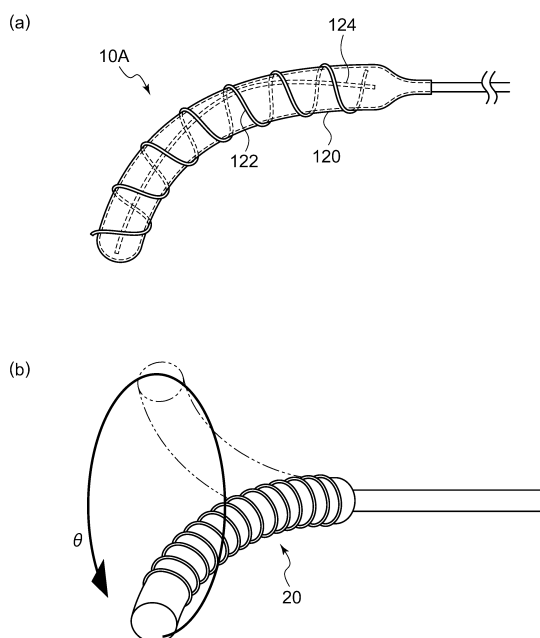
【図 2】



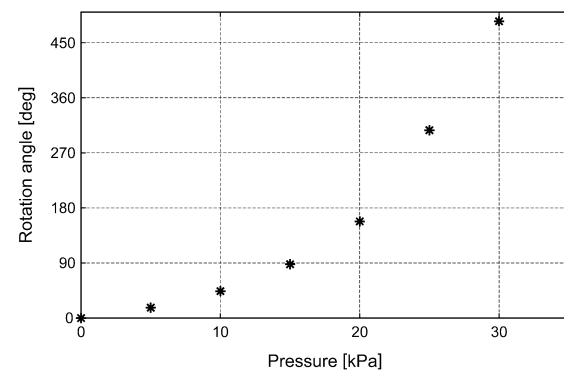
【図 3】



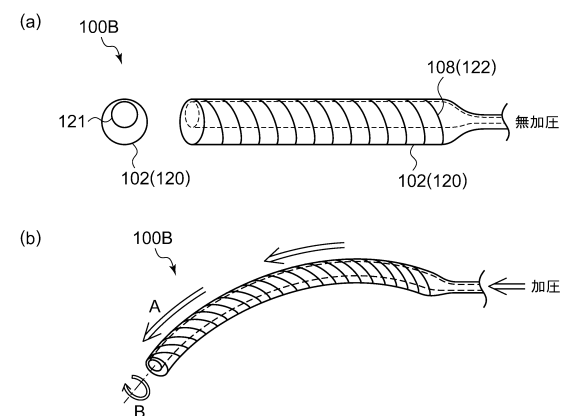
【図 4】



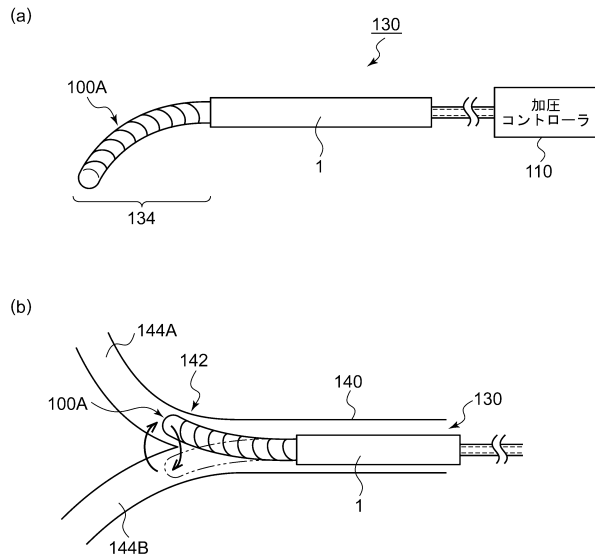
【図 5】



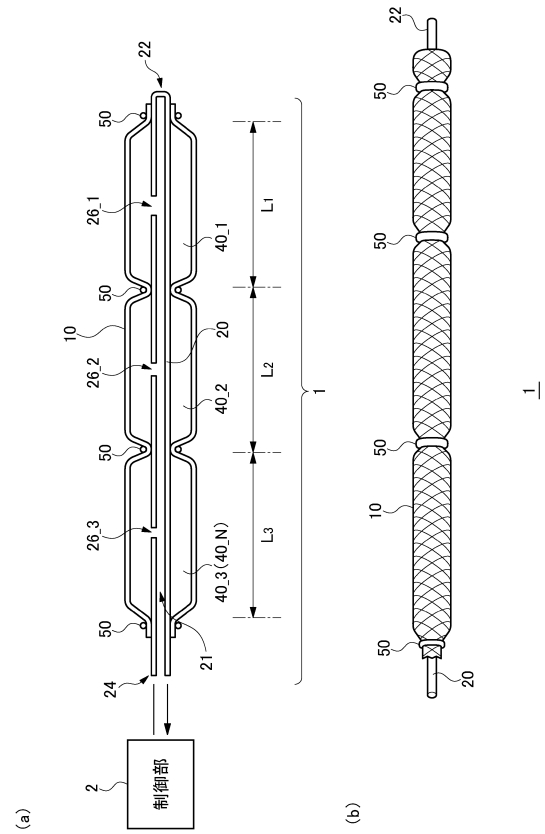
【図 6】



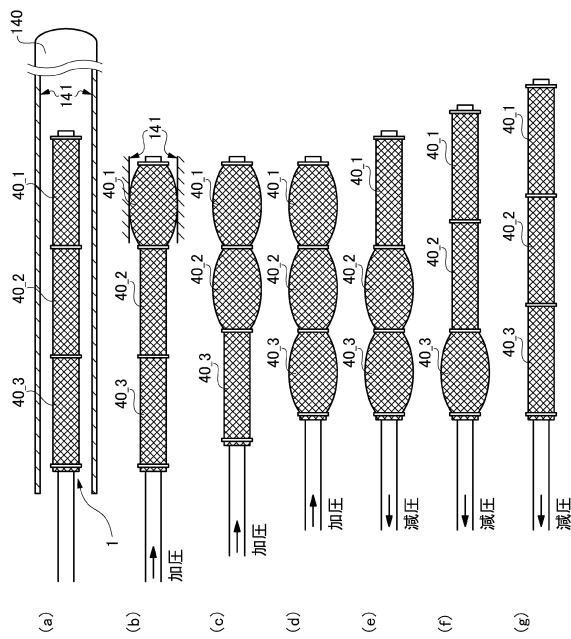
【図 7】



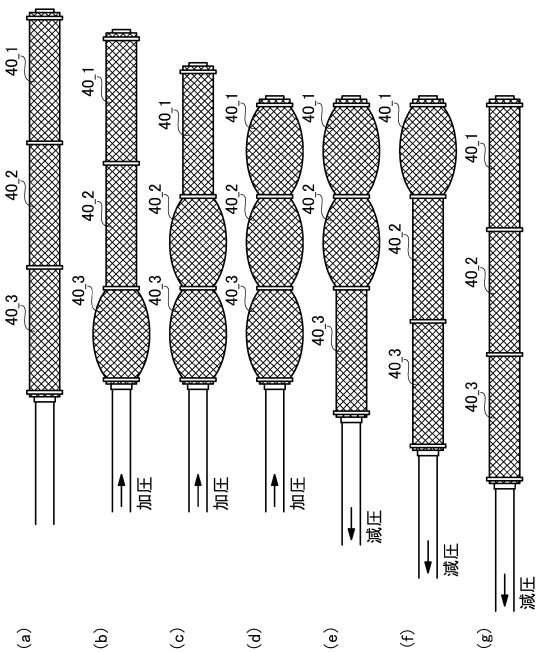
【図 8】



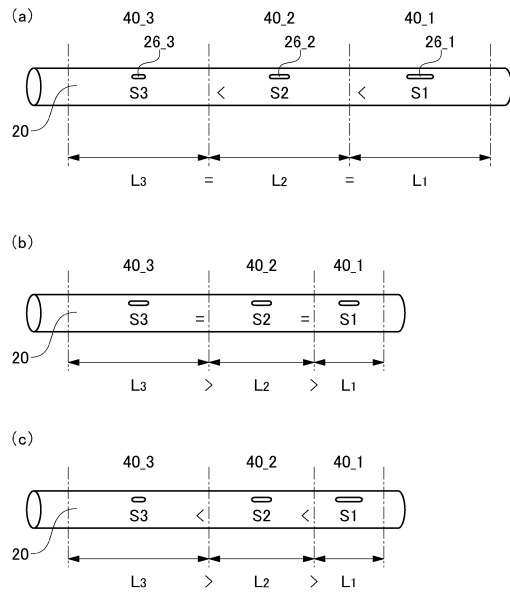
【図 9】



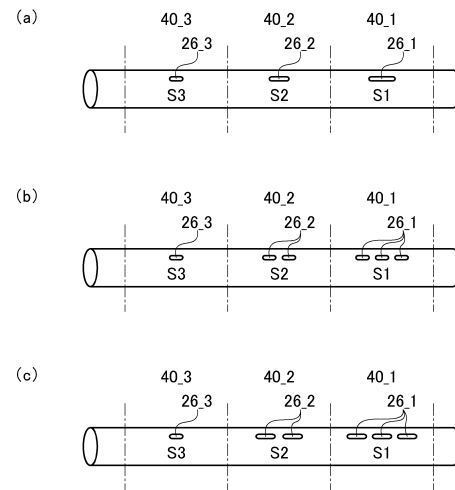
【図 10】



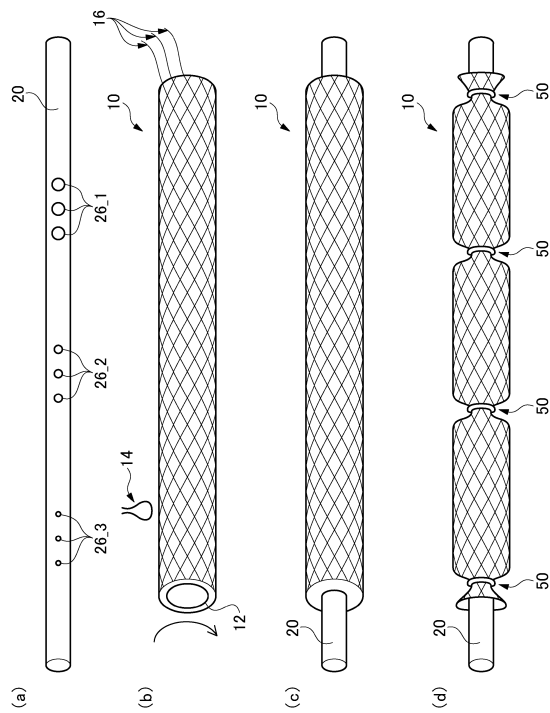
【図 1 1】



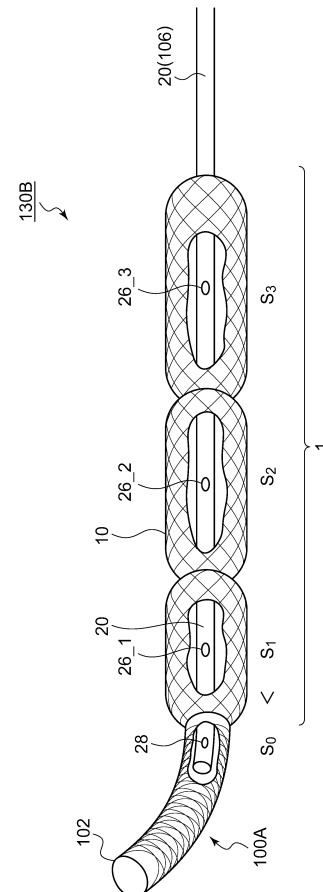
【図 1 2】



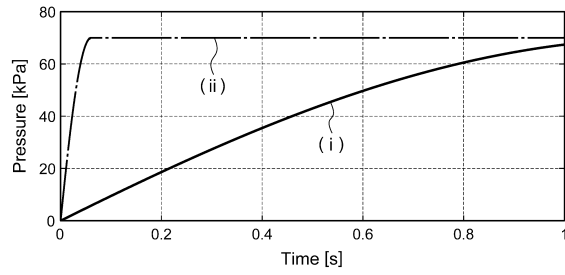
【図 1 3】



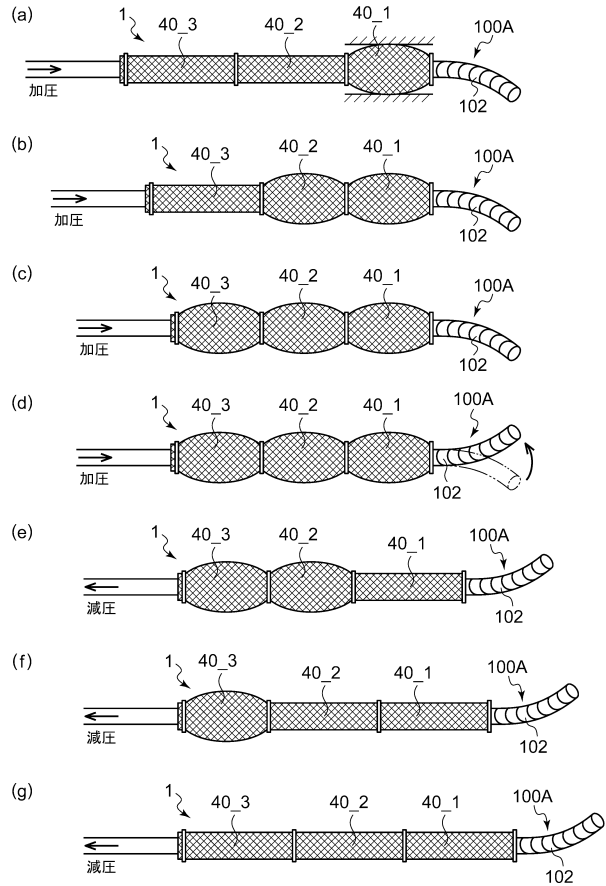
【図 1 4】



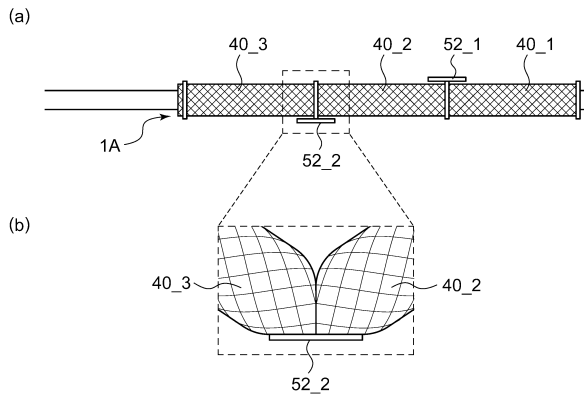
【図 15】



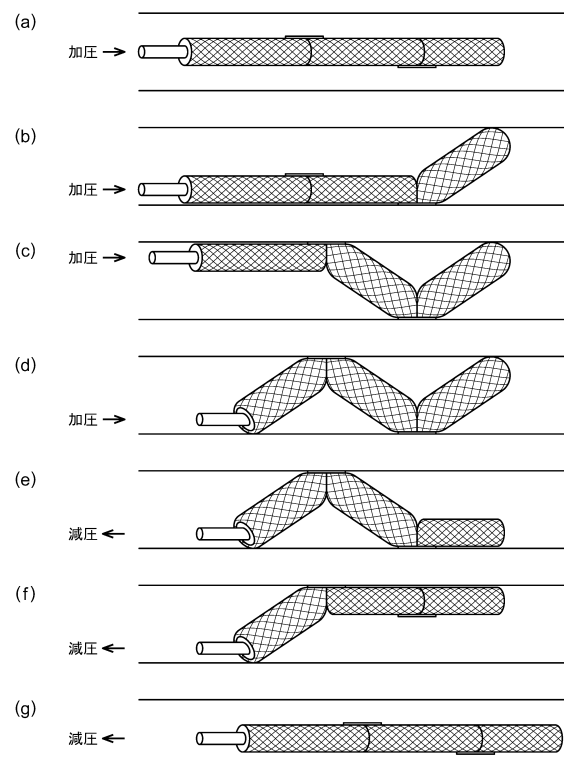
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (72)発明者 塚越 秀行
東京都目黒区大岡山 2 - 1 2 - 1 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 寺島 光一
東京都目黒区大岡山 2 - 1 2 - 1 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 高井 雄二郎
東京都大田区大森西 5 - 2 1 - 1 6

審査官 谿花 正由輝

- (56)参考文献 特開平 1 - 2 4 7 8 0 9 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 4 8 9 1 7 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-------------|
| F 1 5 B | 1 5 / 1 0 |
| A 6 1 M | 2 5 / 0 8 2 |