

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14194

研究課題名(和文)血管内を推進する這行式極細柔軟アクチュエータ

研究課題名(英文)Crawling type ultra-thin and flexible actuator capable of propelling inside the blood vessel

研究代表者

塚越 秀行(Tsukagoshi, Hideyuki)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：50313333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：自走式カテーテルの実現を目指して、進行波を生成しながら血管内を推進する這行式極細柔軟アクチュエータの創製に挑戦した。導入したアクチュエータは、インナーチューブとマッキベン人工筋から成る。また、インナーチューブには、大きさの異なる穴を設け、マッキベン人工筋の各加圧室が、異なるタイミングで加圧されるように設定する。インナーチューブ内を流体圧で印加すると、先頭から根元へ進行波を伝播しながら推進動作が生成される。外径4mmで速度10mm/sで推進する当該アクチュエータの設計手法を構築した。また、後退機能、および方向操舵機能も考案した。これらの提案手法の妥当性を実験により確認した。

研究成果の概要(英文)：To realize a self-propelled catheter, we challenged to create a crawl type ultra-thin and flexible actuator that propels the blood vessel while generating a traveling wave. The introduced actuator consists of the inner tube and the Pneumatic artificial muscles(PAMs). Further, in the inner tube, holes having different sizes are provided so that each pressurizing chamber of the PAMs is pressurized at different timing. When fluid pressure is applied inside the inner tube, a propulsive motion is generated while propagating a traveling wave from the head to the root. We have constructed the design method of the proposed actuator, so that it could propel at an outer diameter of 4 mm and a speed of 10 mm / s. We also devised a reverse function and a direction steering function. Experiments confirmed the validity of these proposed methods.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス

1. 研究開始当初の背景

心筋梗塞など血管狭窄を生じた患者に対し、血管内にカテーテルを挿入し低侵襲で血流の回復を促すカテーテル治療は、最も有効な医療処置の1つである。しかし、石灰化して狭窄状態が悪化した血管に対し、現状の押し込み式でカテーテルを挿入させることは困難である。また、透析患者のシャントはT字結合となっているため、先端の形状を能動的に変更できない現行のカテーテルでは、目標方向に選択しづらいという問題も抱えている。これらの課題解決には、血管内で能動的に推進でき、分岐点で方向を選択できる新たなカテーテルの創出が望まれる。

2. 研究の目的

自走式カテーテルの実現を目指して、進行波を生成しながら血管内を推進する「這行式極細柔軟アクチュエータ」の創製に挑戦する。すなわち、中空の単線チューブ内へパルス状に流体圧を印加することにより、ミミズと同様に、軸方向の伸長波を先頭から根元へ逐次伝播しながら進む駆動構造を創出する。

本研究では、血管径が細い血管内治療への適用を前提に、外径4mm以下の細径で速度10mm/sを推進する機能に加え、分岐点で推進方向を選べる方向操舵機能、能動的に後退できる機能なども備えたアクチュエータの設計論を構築し、医療機器のブレークスルーを図ることとした。

3. 研究の方法

ミミズの這行運動を規範とし、進行波を生成するソフトでスリムなアクチュエータを工学的に再現することを目指した。そのため、以下の2点を研究の主要項目とした。

1) 同一ラインに設けた流路面積の異なる複数のチャンバーが、弁を介することなく伸

長・収縮動作を生成する現象に着眼した流体駆動アクチュエータの設計論を構築する。

2) 心臓血管治療への適用を想定し、外径4mm長さ200mmの構造で直径8~10mmの管路内を能動的に前進・後退・方向操舵を行える手法を確立する。

4. 研究成果

(1) 単線入力駆動による蠕動運動の生成

這行式極細柔軟アクチュエータの具現化のため、1本の供給チューブからの加減圧操作により、複数のチャンバーに異なるタイミングで動作を誘発する流体圧駆動方式：単線入力駆動を考案した。従来の駆動方式では、チャンバーと同数の供給チューブを設け、それらと弁とを接続することにより上記動作が実現される。しかし、たとえチャンバーを細径に構成できても、供給チューブが小口径化を阻むことになる。これに対し、本研究で導入した単線入力駆動は、その解決を目指した一手法である。

本研究で導入したアクチュエータは、インナーチューブとマッキベン人工筋から成る構成を基本とする。インナーチューブには径の異なる穴を複数設けた。また、インナーチューブの外側からマッキベン人工筋を取り付け、マッキベン人工筋の加圧室を複数に分割した。

インナーチューブを空気圧で加圧すると、インナーチューブの穴からマッキベン人工筋の各加圧室に空気が供給される。供給流量は穴の面積に依存するため、マッキベン人工筋の圧力変化は穴径の大きい加圧室ほど速い。そのため、図1に示すようにマッキベン人工筋は流量の大きい先端から順番に収縮すると同時に、径方向に膨張しながら血管内壁を支持する動作を生成する。また、インナーチューブ内の圧力を排気すると、先端部が

ら軸方向に伸長する動作が生じる。以上により、加圧と排気を1サイクル行うことで図1のように蠕動運動を生成しながら管路内を推進する。

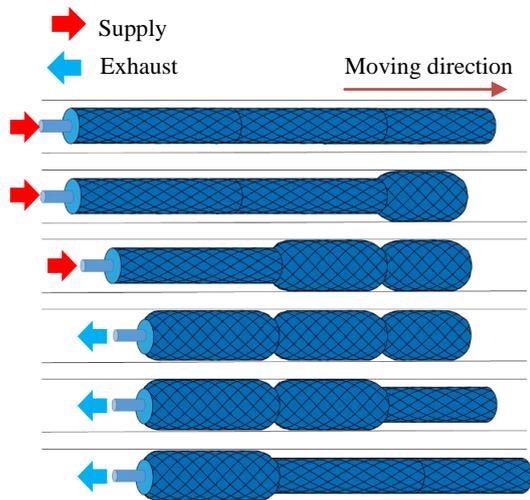


図1 単線入力駆動による蠕動運動の生成

(2) 設計論の構築

上述手法で移動する際、推進速度を最大化するためのインナーチューブの穴径およびマッキベン人工筋の軸長の設計方法を考察した。アクチュエータの節数を設定したとき、任意の供給圧力条件の下で、各節の軸長の変化速度を最大化する穴径に関する設計パラメータの存在が明らかとなり、その導出方法を構築した。

(3) 方向操舵手法

分岐点での方向操舵として、先端に湾曲構造を有するスプールチューブを導入した(図2)。すなわち、インナーチューブ内からスプールチューブの先端を押し出す操作により湾曲した先端部を露出させ、湾曲方向に誘導しやすい状態を作り出す。また、スプールチューブの根元を捻る操作により、目標とする湾曲方向を選択することが可能となる。スプールチューブとして、外径1mmのポリウレタン製の円筒体を用い、先端を中心軸に対して

約70度だけ湾曲したものを用いた。その結果、直線状態からY字型に分岐した管路へ方向は選択可能となることを確認できた。

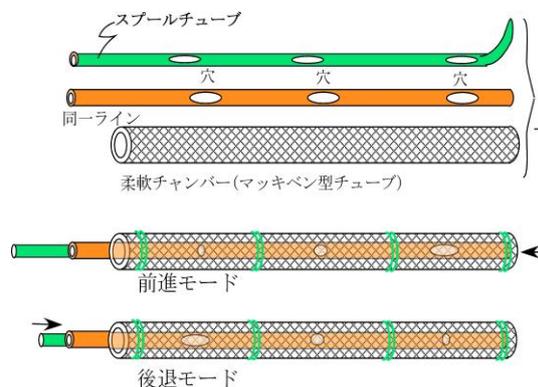


図2 方向操舵のための基本構成

(4) 後退手法

前進と後退動作を切り替える手法を検討した。後退動作を行うためには前進時と逆の順番でマッキベン人工筋を収縮させる必要がある。すなわち、前進時はアクチュエータの先端から人工筋を収縮させ、後退時は末端から収縮させることになる。

そこで、前進と後退を切り替える手法としてインナーチューブに加圧室を設け、流路を遮断するためのストッパーを導入した。ワイヤーを緩めて流路を開放する場合、インナーチューブに設けられた穴の有効断面積の大きい先端の人工筋から収縮する。それに対し、ワイヤーを牽引して流路を遮断すると、人工筋は末端のものから収縮することが可能となる。そのため、流路の遮断状態、開放状態をワイヤーの牽引操作で切替えることにより、前進と後退を選択することが可能となる。

(5) 試作機による実験

外径4mm、長さ200mmのシリコン製のチューブアクチュエータを試作し(図3)、血管を模した内径8mmの円筒状チューブ内で推進実験を行った。圧力50kPaの空気圧を印加しな

がら推進させた結果、目標値 10mm/s の 80% 程度の推進速度 8mm/s で移動することができた (図 4)。またワイヤの牽引動作により、前進動作から後退動作への切換も可能なことを確認した。このとき、後退時の推進速度は 4mm/s となった。これは、牽引によりインナーチューブの穴の有効断面積が小さくなったことが原因と考えられる。

また、推進速度を最大化するための最適な穴径を設計するために、チャンバーの内圧の時間変化をシミュレーションにより求めた (図 5)。算出した結果をもとに、インナーチューブの穴径を定め、試作機の設計の際に活用した。本手法は、アクチュエータの節数、長さ、供給圧力などのパラメータが変化しても、適切な設計パラメータを導出できることを確認した。



図 3 試作した極細カテーテルアクチュエータ

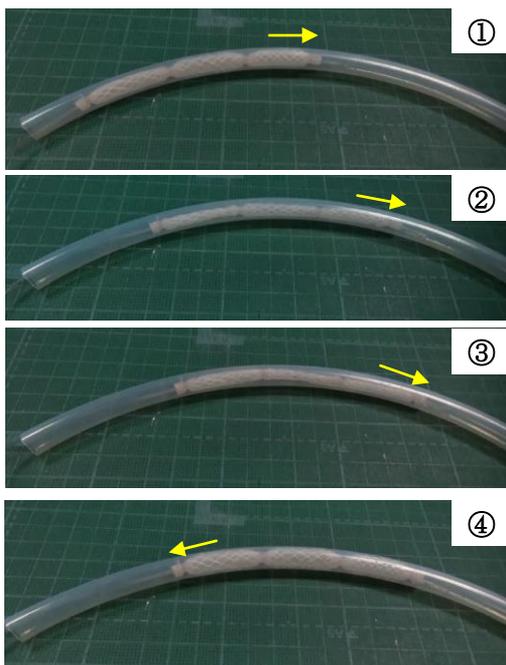


図 4 内径 8mm の円筒管内の移動

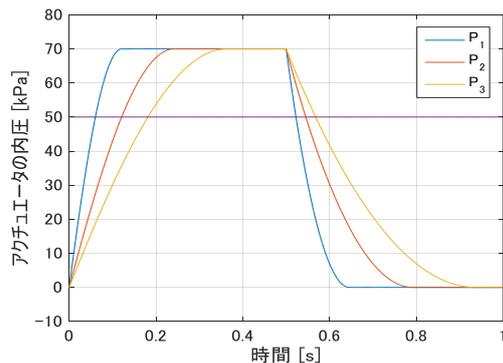


図 5 各節内の圧力の時間応答のシミュレーションの結果

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

(1) 寺島光一, 塚越秀行 “単線入力で蠕動運動を生成する柔軟線状アクチュエータの提案” ROBOMECH2016 in Yokohama (ロボティクス・メカトロニクス講演会), 2P1-04b7

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 移動体

発明者: 塚越秀行, 寺島光一

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2016-024614

出願年月日: 2016 年 2 月 12 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塚越 秀行 (TSUKAGOSHI, Hideyuki)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号: 50313333