

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630088

研究課題名(和文)先端成長型アクチュエータ

研究課題名(英文)Tip growing actuator

研究代表者

塚越 秀行 (Tsukagoshi, Hideyuki)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50313333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：植物が「根」を成長させるプロセスを参考に、外部と無摺動で伸長する柔軟移動体「先端成長型アクチュエータ」を創製し、大腸内視鏡への適用を試みた。具体的には、直径4mmの円筒チューブを潰して製作した扁平チューブを2本対向させて配置し、当該扁平チューブ末端から流体圧で加圧すると、内側のチューブが繰り出せることを確認した。また、チューブ外周に拘束付の布を設けることにより、能動的に湾曲可能なことも確認した。提案手法をもとに外径20mm、長さ1500mmの試作機を製作し、コロンモデルの腸内壁と摺動せず先端成長動作を生成できた。以上より、本研究の提案手法の有用性が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we challenged in developing a flexible fluid powered actuator to inspect in the colon as the endoscope. The tip alone moves forward and the rest remains stationary, enabling the actuator to move smoothly without interfering with the outer environment -- a concept based on the plant growth process. The actuator consists of multiple flexible flat tubes bent in the skin, whose bending point is involved in preventing fluid from passing through. The developed actuator could also steer the direction in which the tip lengthens, while the shape of the rest remains unchanged. Our developing prototype is 20mm in diameter and grows at a maximum speed of 50mm/s while producing a 7N drive. The way of carrying a head unit equipped with a camera was also considered and feasibility of the actuator's inspection in the colon model was verified.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボティクス アクチュエータ

1 . 研究開始当初の背景

大腸内視鏡検査は大腸がんやポリープの早期発見のために不可欠である . しかし , 熟練した医師がこの検診を施行しても , 一定の確率で挿入不能例や穿孔例が存在する . これは , 大腸が部分的に固定されておらず支点を定めにくいこと , 大腸の腸壁が胃などの管腔臓器の肉厚と比べて薄いこと , などの特徴に対し , 現行では内視鏡全体が腸壁を摺動しながら押し込まれていることに起因する .

2 . 研究の目的

植物が「根」を成長させるプロセスを参考に , 外部と無摺動で伸長する線形柔軟構造の移動体「先端成長型アクチュエータ」の創製を目的とする . すなわち , 根は全体が成長するのでなく , 先端付近の分裂組織 (成長点) のみが成長して地中深奥部まで達する . 同様の動作をアクチュエータとして実用的な速度と力で実現できれば , 大腸内壁と無摺動で移動可能な体に優しい医療機器の創製につながる . 以上の観点から , 本研究では大腸内視鏡への応用を視野に入れ , 小口径の構造で方向操舵機能を有し , 外壁と無摺動で内視鏡を搬送可能なアクチュエータを構築し , 医療機器のブレークスルーを図ることとした (Fig.1) .

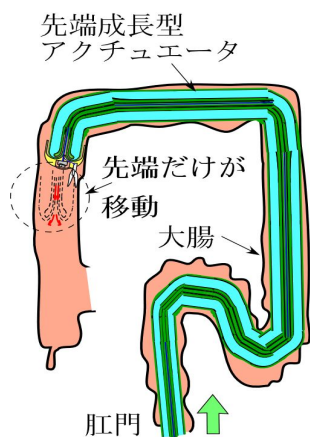


Fig.1 Concept of Tip growing actuator

3 . 研究の方法

植物根の成長プロセスを規範とし , その成長速度を速めた動作を生成するアクチュエ

ータとして工学的に再現するため , 以下 2 項目を研究方針の柱とする .

(1) 流体エネルギーによるチューブの手繰り出し現象に着眼し , 独創的なチューブアクチュエータを設計・製作しながら , 目的の動作を達成する設計論を構築する .

(2) 大腸内視鏡への適用を前提とし , 外径 20 mm 長さ 1500 mm 程度の大腸を模した湾曲経路に順応しながら内視鏡を搬送する方向操舵手法および操作方法を確立する .

4 . 研究成果

(1) 設計論の構築

先端成長動作を生成するアクチュエータとして , 柔軟な偏平チューブをチャンバーとする流体圧駆動に着目した . 偏平チューブとは , 無加圧状態で断面が偏平状態を保ち , 内部を流体で加圧すると , 周長をほぼ一定に保ちながら円形に近づくように変形するものである . チューブを折り曲げて流路を遮断した状態から内部を加圧すると , 下流側チューブがスムーズに繰り出される現象が生じる . この繰り出し現象は偏平チューブ特有の性質であり , 一般の円筒チューブにはみられない . なぜなら , 円筒チューブの場合 , 折り曲げ部を境に下流側の円形断面が繰り出しを阻害する抵抗として作用してしまうからである .

前述のアクチュエータを以下のように組み合わせることにより , 内部から繰り出す推進動作の生成が可能となることを確認した . すなわち , 摩擦が小さく滑りやすい布で円筒状の外皮を構成する . その内側に複数の偏平チューブを円筒の軸方向に沿って挿入したのち , その一端を内部に折り込む . この状態から外側の偏平チューブの一端を加圧すると , 環境に対して外側は不動のまま , 内側からチューブと外皮が繰り出されながら推進する (Fig.2) . これにより , 確かに直進動作が生成されることを確認した .

ここで , 外皮は単にチューブを束ねるための役割だけでなく , チューブの間隔を適切に保つ機能も具備している . Fig.3 の装置により

チューブ間距離 d と推力 F との関係を比べた実験結果を Fig.4 に示す。これより、折り曲げ部での内部漏れによる損失と、外皮同士の擦れに起因した摩擦による損失との具合により、推力を最大化できる最適なチューブ間距離が存在するものと予測される。

本研究では、圧力・チューブの断面積・2本のチューブ間の距離・推力の関断面積などの関係を明らかにし、要求仕様を満たすための設計方法や動作条件を示した。また、推力の理論式と実験値の関係を提示し、理論式の妥当性も確認できた。

(2) 方向操舵方法・搬送方法・操作方法の確立

方向操舵の実現には、複数の偏平チューブの推進量に差異を設けることが要求される。そこで、偏平チューブ内を加圧する圧力段階として、Fig.5 に示す大小関係を有する4段階の異なる圧力レベルを設けた。これらは各々、アクチュエータ全体の形状保持に要する圧力の最小値、直進に要する圧力の最小値、およびは各々湾曲外側と内側に位置するチューブ内を加圧する際の圧力値である。

直進時は双方のチューブを直進用圧力レベルで加圧する。湾曲時はブレーキ力を作用させるために、湾曲内側のチューブの下流側を不動状態としつつ、各チューブの内圧が上述の関係を満たすように加圧すると、曲率半径の小さい湾曲の生成が可能となることを確認した。

次に、アクチュエータ全体の形状を保持しながら先端のみを直進・湾曲させるための構造を以下のように設けた。形状の保持には、湾曲の内側に生じる外皮の”しわ”を固定することが有効に機能する。そこで、以下に述べる原理により、推進しつつ自動的にしわが固定されていくような構成を試みた。

すなわち、薄い弾性体で構成されたホルダーを外皮の外側に一定間隔ごとに配置する。チューブ内が無加圧状態のとき、外皮に対してチューブが自在に可動できるアンロック状態となる。

ヘッドユニットの搬送は、以下のように検討を進めた。先端成長動作では、先端の構造が常に変化しながら移動するため、先端に部材を固定することはできない。そこで、カメラを搭載したヘッドユニットの搬送方法として、推進にともなって外皮に対してスライドできる拘束方法を導入することとした。すなわち、ヘッドユニットには受動的に回転する複数のローラーを設け、外皮には推進方向に対して平行に柔軟レールを設ける(Fig.6)。チューブが推進すると、対向する2つのローラーが柔軟レールを挟みながら移動するため、ヘッドユニットが外皮に対してスライドしながら搬送される動作が生じる。

当該原理をもとに、外径 20 mm、長さ 1500 mmの試作機を作製し、Fig.7, Fig.8, Fig.9 に示すような内径 40mmの湾曲環境において、推進および搬送動作が可能であることを確認した。そして、コロンモデルを用いて安全性・耐久性の評価実験を行い、入口部のS字結腸を除く2次元平面内の湾曲した経路において、外部と摺動することなく先端成長動作を行えることを確認することができた。

残された課題として、S字結腸におけるスムーズな移動を実現するための先端湾曲構造の設計、およびスムーズな回収動作の実現などが挙げられる。

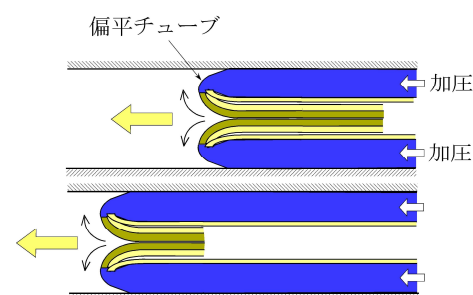


Fig.2 Basic principle of the straight motion

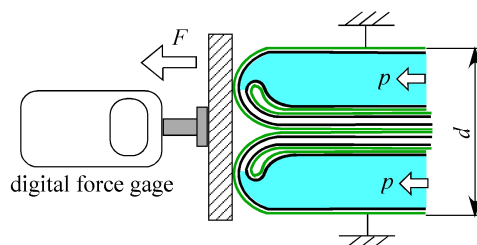


Fig.3 Experimental setup of measuring the driving force

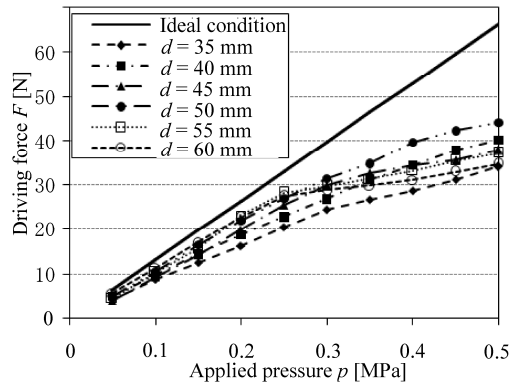


Fig.4 Relationship of pressure, driving force, and the gap of two tubes

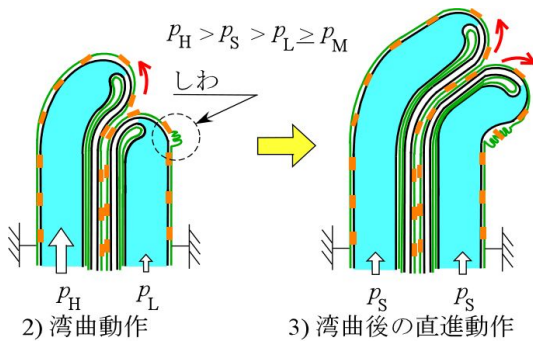
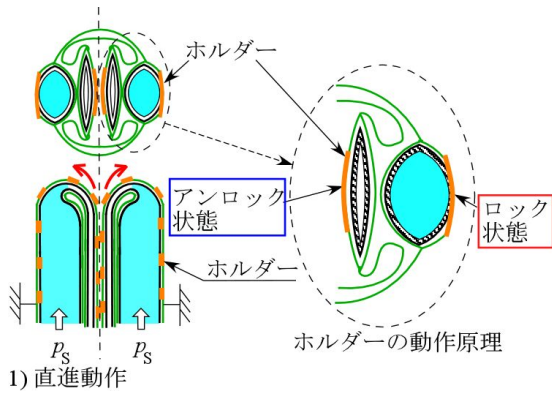


Fig.5 Structure of steering the direction

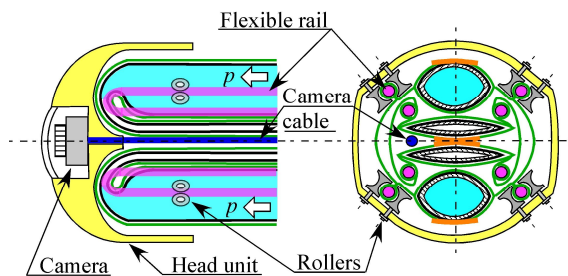


Fig.6 Structure of carrying the head unit



Fig.7 Developed actuator equipped with the head unit

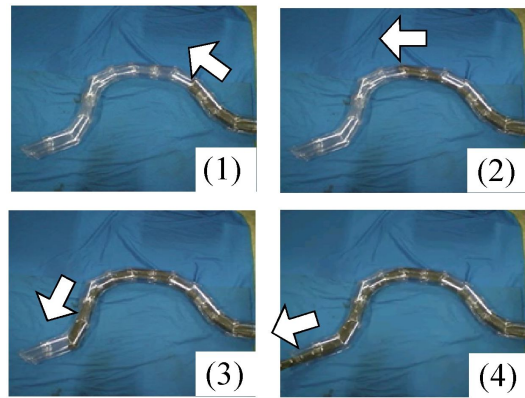


Fig.8 Performance of traveling inside the curved pipe

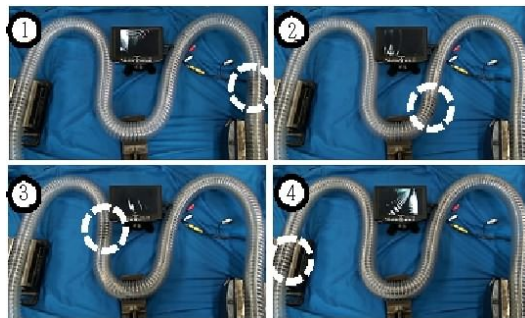


Fig.9 Demonstration of traveling inside the sharp curved pipe

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1)塚越秀行, 先端成長動作による狭隘地形内の無摺動移動探索ロボット, 日本フルードパワーシステム学会, Vol.45, No.1, 2014, p.28-31(査読無)

〔学会発表〕(計2件)

(1)塚越秀行, スライド式柔軟流体アクチュエ

ータとその応用, JST 新技術説明会, 2014 年
12 月 12 日, JST 東京別館(東京都市ヶ谷)
(2)穂坂 憲一, 劉 海博, 塚越 秀行, 北川 能,
“繰り出し式柔軟流体アクチュエータによる
狹隘地形内の移動探査ロボット —第 3 報:
受動蛇行を利用した鉛直管路内の移動 - ”,
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス
講演会, 2A1-P02, 2013 年 5 月 24 日, つくば国
際会議場(茨城県つくば市)

〔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・大学院理工学研究科・准教
授

研究者番号：50313333