

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22656042

研究課題名（和文） 形状適応機能を有する次世代内視鏡のためのヒモ形アクチュエータの開発

研究課題名（英文） Development of Cord Type Actuator with Shape Adaptation Capability for Advanced Endoscopes

研究代表者

吉田 和弘（YOSHIDA KAZUHIRO）

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：00220632

研究成果の概要（和文）：内視鏡検査において被験者の苦痛および負担を軽減するためには、検査する管状器官の形状に適応して屈曲する機能を内視鏡に付加することが有効である。そこで本研究課題では、電界印加で粘度が増大するERF（電気粘性流体）を応用し、接触力をセンシングしそれを低減するように屈曲する基本ユニットを直列接続することで形状適応機能を実現するヒモ形アクチュエータを提案、ラージモデルを試作し、基本特性を実験的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to alleviate pain of subjects in endoscopy, it is effective for the endoscope to adapt its shape to the ones of the organs. In this study, by using electro-rheological fluid (ERF), a novel cord type actuator with shape adaptation capability was proposed and developed. The proposed actuator is a series of basic units each of which consists of a movable electrode type ER valve and three bending chambers. The large models were fabricated and experimentally evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,600,000 | 0 | 1,600,000 |
| 2011年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2012年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | 0 |
| 年度 | | | 0 |
| 総計 | 3,100,000 | 450,000 | 3,550,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：先端機能デバイス，マイクロマシン，智能ロボティクス，流体，医療・福祉，アクチュエータ，ERF（電気粘性流体），センサ

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の内視鏡の課題

内視鏡の課題の一つは，挿入時における被験者の苦痛および負担の軽減である．極細内視鏡はこの点で優れており器官の観察に適しているが，患部に操作を与える機能には限界がある．内視鏡の細径化を図ることなく被験者の苦痛および負担を軽減するためには，検査する管状器官の形状に適応して屈曲する機能を内視鏡に付加することが有効であり，形状適応機能を有するヒモ形アクチュエータの開発が必要である．

(2) 従来のヒモ形構造体の研究

これまで，ヘビ形ロボットとして，多くのヒモ形構造体が研究・開発されている．形状適応機能を付加した研究もあるが，多数のセンサおよびコントローラを必要とし，ヒモのような細径化は困難と考えられる．

(3) 研究代表者らの可動電極形 ER バルブ

研究代表者らは，固定電極の電圧でその間を流れる ERF の粘度を変え圧力，流量を制御する ER バルブにおいて一方の電極を可動とした可動電極形 ER バルブを提案し，電圧で可動電極の変位（出力変位）を制御するとともに，外乱による変位を内部圧力の変化により補償する機能を実現している．

2. 研究の目的

可動電極形 ER バルブを応用し，リンク機構として表現されるヒモ形アクチュエータの関節の角度を，その関節に対応する可動電極の外力による変位にともなう圧力変化により制御し，外力が 0 となる形状となって安定する形状適応機能を有するアクチュエータを提案，開発する．接触力をセンシングしそれを低減するように屈曲する基本ユニッ

トを直列に接続することで形状適応機能を実現した，外径 9 mm のヒモ形アクチュエータを開発することを目標とした．

3. 研究の方法

本研究課題で開発する形状適応機能を有するヒモ形アクチュエータは，図 1 の基本ユニットを直列に接続した構造である．本基本ユニットは，可動電極形 ER バルブとその制御圧力を内圧とした 3 個の軸方向に伸縮するゴム製チャンバから成る．接触力による可動電極の変位により制御圧力が変化し，接触力を下げるように屈曲するものである．

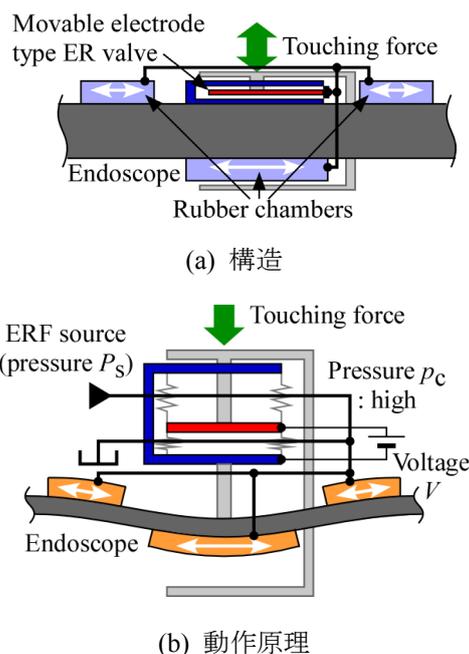


図 1 ヒモ形アクチュエータの基本ユニット

本研究課題を達成するために，(1) 形状適応機能を有するヒモ形アクチュエータの提案と基本ユニットの構造の検討，(2) ゴム製チャンバの FEM 解析，試作および特性実験，(3) 可動電極形 3 ポート ER バルブの試作および特性実験，(4) 基本ユニットラージモデルの試作および特性実験，の手順で実施した．

4. 研究成果

(1) 形状適応機能を有するヒモ形アクチュエータの提案と基本ユニットの構造の検討：形状適応機能を有する基本ユニットを直列に接続したヒモ形アクチュエータを提案し、その液圧系について考察を加えた。その結果、可動電極形 ER バルブの圧力変化を積分し関節角を定めればよいことを見出し、液圧回路の構成を明らかにした。

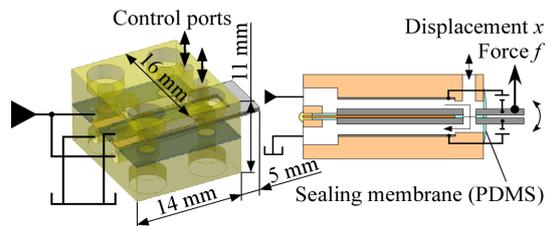
(2) ゴム製チャンバの FEM 解析，試作および特性実験：直径 5 mm の極細内視鏡を屈曲させることを想定したゴム製チャンバの構造を考案し、FEM ソフトウェアを用いて印加圧力に対する屈曲角を求めるとともに、各部の寸法の影響を明らかにした。さらに、シリコーンゴムを用いて幅 5 mm、高さ 2.5 mm、長さ 10 mm のアクチュエータを試作し、圧力 100 kPa を印加したとき、屈曲角 100° が得られることを実験的に確認した。

(3) 可動電極形 3 ポート ER バルブの試作および特性実験：本デバイスで重要な構成要素は可動電極形 ER バルブであり、小さな接触力を大きな圧力変化に変換する高い感度が必要である。そこで構造はやや複雑ではあるが、圧力変化範囲を大きくとることができる 3 ポート形の可動電極形 ER バルブのラージモデルを設計、試作し、特性実験を行った。

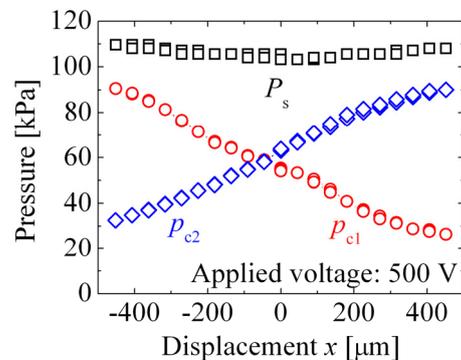
まず可動電極を直動すべり軸受で支持した大きさ $16 \times 11 \times 12 \text{ mm}^3$ の可動電極形 3 ポート ER バルブを試作した。可動電極の変位と制御圧力の関係の静特性を測定した結果、0.4 mm の変位に対し 70 kPa の圧力変化を繰り返し発生することができることを確認した。次に、可動電極の駆動力を測定し、圧力の偏りにより可動電極を支持する摺動部に作用する摩擦力により約 1 N の大きな駆動力が必要であるという問題点を見出した。

次に、上下に並べた 3 枚の電極の二つの電

極間を上流側および下流側の流路とした 3 ポート ER バルブにおいて、中央の電極を弾性ヒンジで支持し可動とした構造で、接触力による電極間隔の変化により制御圧力が変化する可動電極形 3 ポート ER バルブを提案し、図 2(a)に示す大きさ $19 \times 16 \times 11 \text{ mm}^3$ のラージモデルを試作した。可動電極変位に対する制御圧力の静特性を測定した結果、図 2(b)に示すように、ヒステリシスはほとんどなく、供給圧力の約 60 % の制御圧力変化が得られることを確認した。次に、可動電極に加える力に対する静特性を測定した結果、ヒステリシスがあり、圧力値が飽和するために 0.7 N 程度を必要であることを示した。



(a) 構造



(b) 可動電極変位と制御圧力の関係

図 2 弾性ヒンジ支持の可動電極形 3 ポート ER バルブとその静特性

(4) 基本ユニットラージモデルの試作および特性実験：可動電極形 ER バルブラージモデル、3 個のゴム製チャンバ、および内視鏡に相当する板ばね ($10 \times 51 \times 0.2 \text{ mm}^3$) から成る図 3(a)に示す基本ユニットラージモデルを試作し、特性実験を行った。ゴム製チャンバは、

内側に複数の内壁を設け、圧力印加で径方向の膨張を抑えつつ軸方向に伸長するもので、FEM 解析に基づき設計し、成型加工した。実験の結果、図 3(b)に示すように、形状適応機能を付加したとき、接触力の増加に伴い制御圧力が増加し、屈曲変位が 1.4 倍に増大することを確認した。

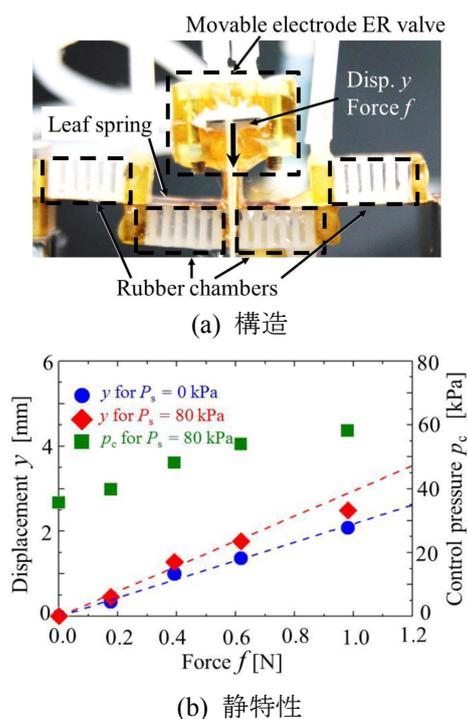


図3 基本ユニットラージモデルとその特性

以上により、形状適応機能を有するヒモ形アクチュエータを実現するために重要な技術の一部を確立した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 巖 祥仁, 形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータに関する研究 (基本ユニットラージモデルの試作および基礎実験), 平成 25 年春季フルードパワーシステム講演会, 2013 年 5 月 30~31 日, 機械振興会館 (東京都).

- ② Kazuhiro Yoshida, A Study on Multi-DOF Electro-Rheological Actuator with Shape Adaptation Capability, 8th Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control (ICFP2013), April 9-11, 2013, Sheraton Hangzhou Wetland Park Resort (China).

- ③ 吉田和弘, 形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータの開発 (提案と基礎実験), 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2013 年 3 月 13~15 日, 東京工業大学 (東京都).

- ④ 箱田智史, 形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータに関する研究, 平成 24 年秋季フルードパワーシステム講演会, 2012 年 11 月 29~30 日, 福岡工業大学 (福岡県).

- ⑤ 箱田智史, 形状適応機能を有する多自由度 ER アクチュエータに関する研究 (可動電極形 ER バルブの開発), 日本機械学会山梨講演会, 2012 年 10 月 27 日, 山梨大学 (山梨県).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 和弘 (YOSHIDA KAZUHIRO)
東京工業大学・精密工学研究所・准教授
研究者番号: 00220632

(2) 研究分担者

横田 眞一 (YOKOTA SHINICHI)
東京工業大学・精密工学研究所・教授
研究者番号: 10092579

金 俊完 (KIM JOON-WAN)
東京工業大学・精密工学研究所・助教
研究者番号: 40401517

巖 祥仁 (EOM SANG IN)
東京工業大学・精密工学研究所・助教
研究者番号: 20551576