

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760099

研究課題名（和文） 電界共役流体を利用した柔軟生物型ロボットの研究

研究課題名（英文） Soft Creature Robot using Electro-conjugate Fluid

研究代表者

竹村 研治郎 (TAKEMURA KENJIRO)

慶應義塾大学・理工学部・専任講師

研究者番号：90348821

研究成果の概要：本研究では、直流高電圧の印加によって活発なジェット流を発生する機能性流体である電界共役流体を圧力源として用いた新たな柔軟生物型ロボットを開発した。はじめに、電界共役流体により内圧を制御できる柔軟な収縮セルを開発し、これを4個直列に配置したミミズ型ロボットを開発した。つぎに、ミミズのぜん動運動において、収縮する体節がミミズの前方向から後方に順次伝播することに注目し、3つの収縮／膨張する体節を1ユニットとして、内部の液体を共用する新たなミミズ型ロボットを開発した。この結果、直径5mmのロボットにおいて内径6mmの管内を0.2mm/sで移動できることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 2,000,000 | 0 | 2,000,000 |
| 2008年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 390,000 | 3,690,000 |

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：機能要素

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボットの利用範囲は産業分野にとどまらず、医療、福祉、レスキュー、家庭内作業など、多岐にわたっている。これに伴い、従来の産業用ロボットや広義のロボットである自動車などのような単一目的システムだけでなく、多様な環境の下で多目的な作業を行うシステムの開発が進んでいる。たとえば、ヒューマノイドロボット

はヒトと同様な自由度を持つことにより我々の生活空間での多様な作業（介護、レスキュー、協調作業など）を行える多目的ロボットである。ヒューマノイドロボットの例に見るように、多目的ロボットを実現するためには、多様な環境下で様々な移動や作業、判断を実行している生物を手本とすることは非常に重要である。このため、生物の構造や移動様式、信号処理系を模倣

したBiomimeticsに関する研究が盛んに行われており、多くの学会で活発な議論が展開されている（たとえば2006 IEEE Int. Conf Robotics and Automation）。

一方、我々のグループでは、機能性流体を用いたニューアクチュエータの研究（科研費特定領域研究#16078205）に取り組んでおり、特に本研究の代表者は電界共役流体（ECF, Electro-conjugate fluid）を用いたアクチュエータの研究を行ってきた。電界共役流体はある種の誘電性液体であり、直流高電圧の印加によって活発な流動（ECFジェット）を発生する機能性流体である。この機能性流体に関する研究は、我々の研究グループにおいて世界に先駆けて取り組んでいる研究課題であり、これまでにECFジェットの基本特性の把握やECFモータ、ECFハンド、ECF人工筋などを具現化してきた。この結果、電界共役流体は微小化特性に優れ、マイクロアクチュエーションのためのパワーソースとして非常に有望であることを明らかにしている。たとえば、内径20 mmと2 mmのECFモータの単位体積あたりの出力パワーを比較すると約1000倍に向上することが実験により確認されている。これは、パワーソースとなるECFジェットの発生には数100 μ mオーダーの微小な電極対のみしか必要ないことに起因している。

以上のような背景に鑑み、本研究の代表者は電界共役流体を用いて柔軟生物の形態と移動様式を模倣した柔軟生物型ロボットに関する研究を着想した。ミミズやシャクトリムシなどに代表される柔軟生物は、比較的単純な構造でありながら、多様な環境変化に対応した移動を実現しており、これを人工的に実現する柔軟生物型ロボットには、原子炉や化学プラントなどの配管検査、修復作業や、レスキュー現場での要救助者探索など多くのニーズが期待できる。

2. 研究の目的

これまでも国内外において柔軟生物型ロボットの研究が行われている。たとえば、前野らは柔軟生物の体節のやわらかさと移動様式の関係を明らかにした（機論 C, 68-667, 920-926, 2002）。中村らはサーボモータによりミミズの体節の変形を実現した蠕動運動型ロボットを開発した（第23回日本ロボット学会学術講演会 3G25）。また、Kimらは形状記憶合金により伸縮するユニットで構成したミミズ型ロボットを実現した（Sensors and Actuators A, 125, 429-437, 2006）。しかし、これらの研究は移動様式のみを探求であったり、柔軟生物のように収縮するユニットを直列に配置しているもののユニット自体の柔軟性に乏しく、多様な環境の下での移動には必ずしも適していないロボットであった。このため、本研究では、電界共役流体を用いることによって、構造的に柔軟でありながら、

たとえばミミズの移動様式を実現できる柔軟生物型ロボットを実現することを目指す。

3. 研究の方法

本研究は（1）柔軟生物の構造および移動様式の理解と基本概念の提案（2）電界共役流体を用いた収縮ユニットの開発（3）ユニットを直列配置した柔軟生物型ロボットの開発（4）ロボットの改良、により遂行した。

（1）柔軟生物の構造および移動様式の理解と基本概念の提案

文献等からこれまでの研究例を整理した。ただし、柔軟生物型ロボットに関する研究だけではなく、柔軟生物自体についての文献調査から、構造や移動様式（運動パターンおよび内部信号処理）に関する知見をまとめた。この結果、Biomimeticsとして適当な柔軟生物型ロボットの構造および運動パターンを明らかにし、本研究課題が目指す柔軟生物型ロボットの基本概念を構築した。

（2）電界共役流体を用いた収縮ユニットの開発

（1）で提案した柔軟生物型ロボットの基本概念に基づき、柔軟生物の一体節に相当する柔軟な収縮ユニットを開発した。すなわち、軸方向に繊維強化された柔軟なゴムチューブを電界共役流体で満たし、内部の電極対に電圧を印加することによって内圧を制御すれば、軸方向の収縮と径方向の膨張を実現したユニットを構成した。また、1つのユニットの駆動特性として、軸方向の収縮および径方向の膨張に関する特性を実験により明らかにした。

（3）上記ユニットを直列配置した柔軟生物型ロボットの開発

（1）で検討した移動パターンと（2）で開発した収縮ユニットを基に、柔軟生物型ロボットを開発した。（1）で検討した移動パターンを実現するための印可電圧パターンによって走行試験を行った。

（4）ロボットの改良

（3）で開発したロボットを用いた走行試験の結果を基に、ロボットの構造を改良した。すなわち、（1）で検討した移動パターンをより簡便な構造で実現する新たなロボットを開発し、走行試験を行った。

4. 研究成果

（1）柔軟生物型ロボットの移動パターン

構造および移動パターンが比較的単純なミミズを参考に、柔軟生物型ロボットの移動パターンを検討した。図1にミミズの移動パターンを示す。この結果、ミミズは縦波の後退波を利用して移動していることがわかった。すなわち、開発する柔軟生物型ロボット

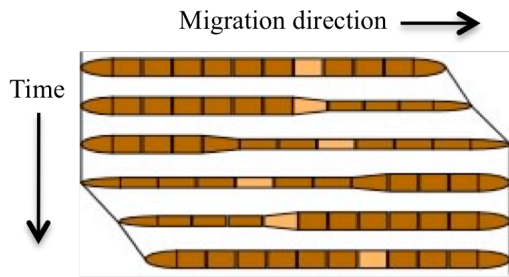


図1 ミミズの移動パターン

も図1のような移動パターンの実現が必要である。

(2) 収縮ユニット

図1のような移動パターンを実現するためには、構造的に柔軟で収縮可能な収縮ユニットの実現が必要である。このため、図2に示すように、電界共役流体を利用したユニットを提案した。本ユニットは軸方向に繊維強化されたゴムチューブと ECF ジェット発生部（電極対）、内部を満たす電界共役流体から構成されている。ECF ジェット発生部からのジェットによってユニットの内圧が上昇し、ユニットは軸方向に収縮し、径方向に膨張することになる。

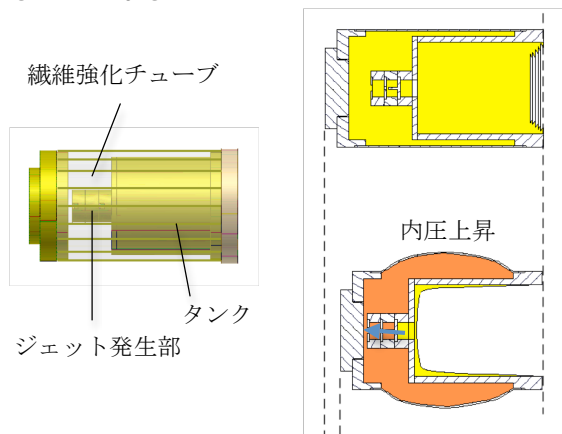


図2 収縮ユニット

(3) プロトタイプ①

図3に上記の収縮ユニットを用いたプロトタイプを示す。本プロトタイプは4つの収縮ユニットを直列に配置した構造をしており、収縮するユニットの位置を順次後方に移動させることにより図1のような移動パターンを実現できる。実験の結果、プロトタイプは平面上で移動することを確認した。

(4) プロトタイプ②

図4のプロトタイプは、タンク/ジェット発生部/繊維強化チューブをそれぞれの収縮ユニットに配置している。しかし、図2の移動パターンを詳しく検討すると、収縮するユニットの位置が順次後方に移動すればよ

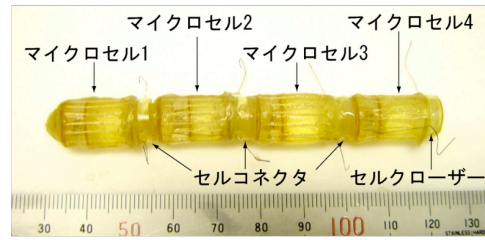


図3 プロトタイプ①

く、ユニットが独立している必要はない。このため、より簡便な構造として図4のプロトタイプ (φ5mm×60mm) を開発した。本プロトタイプではタンクを排除し、3つの繊維強化チューブと2つのジェット発生部（双方向にジェット発生が可能）、内部を満たす電界共役流体によって構成されている。ECF ジェットの発生方向を図5のように切り替えることによって収縮する繊維強化チューブの位置を順次後方へと移動させることができる。本プロトタイプを内径6mmのアクリル管内で駆動した際の実験結果を図6に示す。適当な入力信号によって0.2mm/sの移動を実現した。



図4 プロトタイプ②

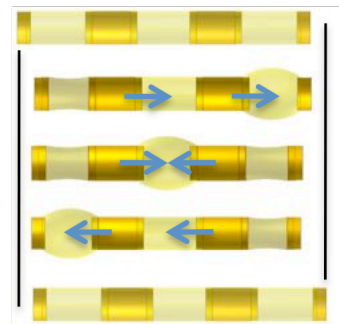


図5 ECF ジェットの発生パターン

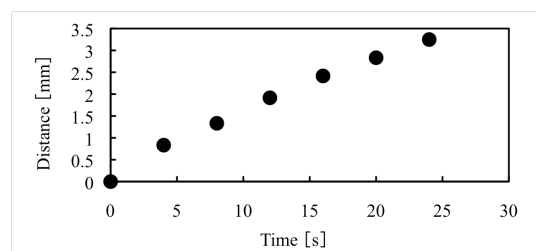


図6 プロトタイプ②の実験結果

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 横田眞一, 洪榮杓, 竹村研治郎, 枝村一弥, 電界共役流体により駆動されるミミズ型ぜん動駆動マイクロマシン, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 6, pp. 140-145, 2007. 査読あり

[学会発表] (計 2 件)

- ① 時田憲一郎, 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥, 電界共役流体を用いた柔軟生物型ロボット, デザインシンポジウム 2008 講演論文集, pp. 157-160, 2008.11.21, 横浜. 査読なし
- ② Kenjiro Takemura, Young-Pyo Hong, Kazuya Edamura, Shinichi Yokota, Earthworm type Robot driven by Electro-conjugate Fluid, Proc. 17th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control, pp. 85-92, 2008.7.5, Tokyo. 査読あり

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹村 研治郎 (TAKEMURA KENNJIRO)
慶應義塾大学・理工学部・専任講師
研究者番号：90348821

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし