

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 24 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656069

研究課題名（和文）高透過率エラストマーによる電磁ソフトアクチュエータに関する研究

研究課題名（英文）Study on magnetic soft actuators based on high magnetic susceptibility elastomers

研究代表者

金藤 敬一（KANETO KEIICHI）

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：70124766

研究成果の概要（和文）：

平行に置かれた導線に同方向の電流が流れると引力が働く。この原理に基づいて、コイルと高透磁率弾性シートや磁性流体を用い電磁力によるソフトアクチュエータを作製した。磁性フィルムを挟んだコイルでは約 12% の伸縮率を確認した。また、磁性流体を用いてソフトアクチュエータでは 32mT の磁場で変位 2.5mm、発生力 0.4kPa を得た。

研究成果の概要（英文）：

Contractive force generated by electrical current in a coil embedded in high magnetic susceptibility and low elastic media presents a basic idea of magnetic soft actuators. By using a magnetic sheet between coils the actuator contracted by the strain of ca. 12 %. A magnetic soft actuator using rheological magnetic fluid generated the deformation of 2.5 mm with the force of 0.4 kPa at the magnetic field of 32 mT.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：ソフトアクチュエータ・磁気力・エラストマー・透磁率

1. 研究開始当初の背景

近年、ソフトアクチュエータはモーターに代わるロボットなどの駆動装置として、世界的に注目を集めている。現在、導電性高分子、イオン交換膜、誘電体エラストマーなど電氣的に活性なポリマーを用いたソフトアクチュエータの研究が盛んに行なわれている。しかし、高電圧やサイクル寿命、伸縮率などの問題があり、まだ実用化に至っていない。特に、導電性高分子によるアクチュエータは我々が長年研究を行なってきた、大きい伸縮率と収縮力を示し、実用化の可能性が高い候補として考えられているが、電解液を使うことおよびサイクル寿命に問題がある。そ

こで、様々な原理のソフトアクチュエータを探索した結果、誘電エラストマーと対比される磁性エラストマーがまだ提案されていないことに気付いた。即ち、平行に置かれた導線に同方向の電流を流すと引力が働き、逆向きの電流では斥力働く。その力は導線間の距離に逆比例し、電流の 2 乗に比例、また導線間の媒体の透磁率に比例しヤング率に逆比例する。この原理に基づいて、強磁性エラストマーにコイルを埋め込み、コイルに電流を流すことによって、コイルの線間にマックスウェル応力が働き、コイルが収縮するソフトアクチュエータの発想に至った。こ

の原理のソフトアクチュエータについて、先行特許を調査したが、事例がなく、実用化を目指して、開発することにした。(特開2009-165219 平成21年7月23日公開、「磁気力によるアクチュエータおよびそれを用いた駆動装置、並びにセンサ」金藤敬一)。

2. 研究の目的

コイルに電流を流すことによって、収縮する電磁ソフトアクチュエータを設計し、その特性を評価することを、目的とした。

3. 研究の方法

コイルの間に高透磁率の磁性エラストマーを挿入し、電流を流すことによって収縮する電磁ソフトアクチュエータを開発し、その収縮率を測定した。また、高透磁率のエラストマーに代え、高透磁率の磁性流体を用いて、ソフトアクチュエータの設計と機能の評価を行なった。

4. 研究成果

4.1 高透磁率エラストマーシートによるソフトアクチュエータの作製と評価

図4.1に螺旋状の銅板コイルを用いた電磁ソフトアクチュエータの構造を示す。図4.1(a)と(d)に示すように直径50mm、厚さ0.1mmの銅板を内径30mmの穴を開けたドーナツ状の銅板を螺旋状に5枚繋ぎ、ヘリカルコイルを作製し、図4.1(b)および(c)に示すように、コイル間をイミドフィルムで絶縁したものと磁性フィルム(f)を挟んだ構造の2種類を作製し、そのコイルの収縮変形を図4.1(e)の方法でレーザー変位系により測定した。コイルの高さは約3mmであった。

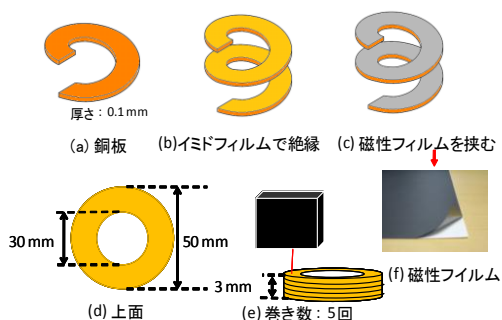


図 4.1 螺旋コイルと磁性フィルムによる電磁ソフトアクチュエータ

図4.2にコイルに流す電流に対して、得られた変位の結果を示す。透磁率がイミドフィルムに比べて大きい磁性シートを用いるとその収縮長は約2倍近くの0.38mmで、収縮率として約12%が得られた。この収縮率は期待通りであるが、発生力は十分ではない。

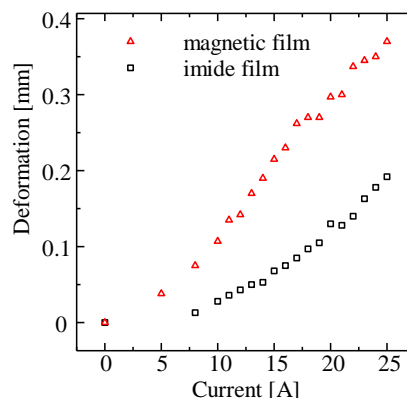


図 4.2 磁気シートを入れたものとイミドフィルムのみのコイルの電流に対する収縮長

4.2 磁性流体を用いた電磁ソフトアクチュエータの作製と評価

磁性流体 (Magnetic Rheological Fluid) は、通常媒体となる液体 (ベース液) とマグネタイト等の強磁性超微粒子、その表面を覆う界面活性剤で構成され、超微粒子による激しい熱運動と、界面活性剤層の相互反発力により凝集することなく安定な分散状態を保ち、強磁性と流動性を兼ね備えている。また、粒子直径が10nm程度であるためマグネタイトは超常磁性となり、残留磁化およびヒステリシス損失がない。磁場中で粘度が増加するという特徴を有する。今回用いた磁性流体は株式会社シグマハイケミカルのN-504で、比重は1.41、粘度は79.0mPa・s、飽和磁化60 mT、および透磁率は1.4である。

磁性流体に磁場を印加すると、磁性流体は透磁率が高いので、磁極に引き寄せられるが流体であるため、磁力線に沿って突起したスパイクが形成される。磁場印加からスパイクの形状が完了まで時間を必要とし、その応答は、図4.3に示すように遮断周波数が約2Hzであった。

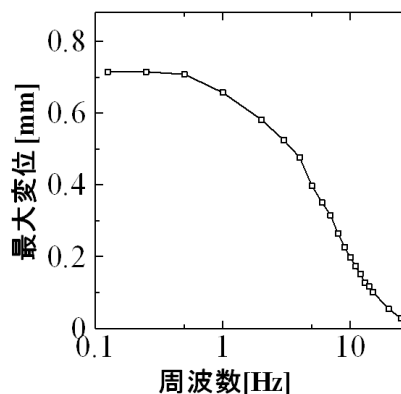


図 4.3 磁性流体の周波数応答

磁性流体を図 4.4 に示す装置に用い、コイルに電流を流すことによって、反射板が押し上げられる構造のソフトアクチュエータを作製した。磁性流体の磁場応答もこの装置を用いて測定した。

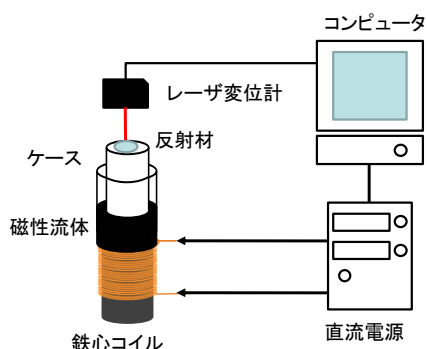


図 4.4 磁性流体を用いたソフトアクチュエータの概念図

図 4.4 の反射板に重りを置くことによって、アクチュエータに荷重をかけ、磁場強度に対して、変位と発生力を測定した。その結果を図 4.5 に示す。このグラフは荷重を印加しておき、磁場を 17.6 から 32.3mT まで変化させたときの変位長を測定したものである。磁場を強くすれば、変位も発生力も大きくなることが判った。この結果から、磁性流体を用いたソフトアクチュエータは、変位は大きい値が得られるが、発生力は最大 0.4kPa で導電性高分子に比べて、かなり小さいことが判った。

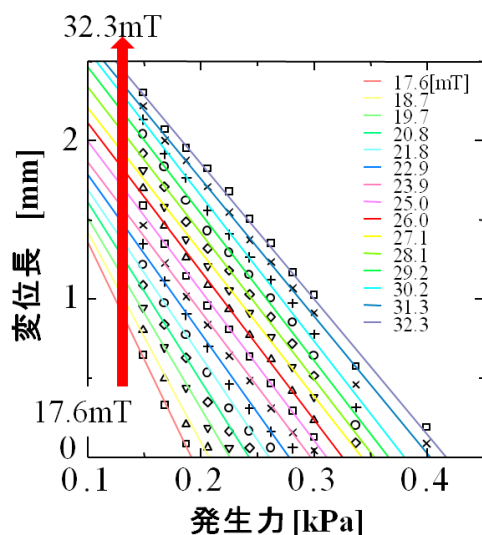


図 4.5 磁性流体を用いたソフトアクチュエータの変位長対発生力の関係

結論として、電磁ソフトアクチュエータは変位の点では、予想通りの結果が得られたが、

発生力は実用レベルには、ほど遠いことが判った。今後の課題として、発生力はもとより、変位量も大きくするためにはアクチュエータの構造について、抜本的な改善が必要であることが判った。

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)

[雑誌論文] (計 11 件)

- 1) K. Kaneto, K. Takayanagi, K. Tominaga, and W. Takashima, How to Improve “Electrochemomechanical Strain in Conducting Polymers” Proceedings of SPIE, Electroactive Polymer Actuators and Devices 査読有 (EAPAD) 2012, Vol. 8340, pp83400K-1~7
- 2) K. Tominaga, H. Hashimoto, W. Takashima, K. Kaneto “Training and shape retention in conducting polymer artificial muscles” SMART MATERIALS & STRUCTURES, 査読有, Vol. 20, No. 12 (2011) 124005 (6page)
- 3) K. Kaneto, T. Shinonome, K. Tominaga; W. Takashima, “Electrochemical Creeping and Actuation of Polypyrrole in Ionic Liquid” JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 査読有, Vol. 50, No.9 (2011) 091601(5page)
- 4) W. Takashima, S. Kawamura, K. Kaneto, “Diffusion-limited characteristics of mechanically induced currents in polypyrrole/Au-membrane composites” ELECTROCHIMICA ACTA, 査読有, Vol. 56, No.12 (2011) pp4603-4610.
- 5) K. Kaneto, H. Hashimoto, K. Tominaga and W. Takashima, “Shape Retention in Polyaniline Artificial Muscles” Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 Vol.50, No.2, Feb. (2011) 021603 (5 pages).
- 6) T. Morita, V. Singh, S. Oku, S. Nagamatsu, W. Takashima, S. Hayase, and K. Kaneto, “Ambipolar Transport in Bilayer Organic Field-Effect Transistor Based on Poly(3-hexylthiophene) and Fullerene Derivatives” Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 Vol.49, No. 4 (2010) 041601(5 Pages).
- 7) A. Kaushik, P.R. Solanki, K. Kaneto, C. G. Kim, S. Ahmad, B.D. Malhotra, “Nanostructured Iron Oxide Platform for Impedimetric Cholesterol Detection” ELECTROANALYSIS 査読有 Vol.22, No.10, (2010) 1045-1055.
- 8) A. K. Singh, L. Joshi, R. Prakash, and K.

- Kaneto, "Influence of Synthesis Conditions on Electronic and Junction Properties of Poly(anthranilic acid)-Clay Nanocomposites with Aluminum" Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 Vol.49 (1) (2010) 01AD06 (6 pages).
- 9) S. Oku, T. Nagase, S. Nagamatsu, W. Takashima, and K. Kaneto, "Comparative Study on Gate Insulators of Polymers and SiO₂ in Transport Properties of p- and n-Type Organic Field-Effect Transistors" Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 Vol.49 (1), (2010) 01AB14 (4 pages).
- 10) K. Kaneto, H. Hashimoto, K. Tominaga, T. Sendai and W. Takashima, "Anisotropic Strain and Training of Conducting Polymer Artificial Muscles under High Tensile Stresses" Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1224 © 2010 Materials Research Society 1224-FF11-10, 2009 MRS Fall Meeting Boston, 査読有 30 Nov. -5 Dec. 2009, Symposia FF/GG, Paper ID:672550.
- 11) S. Oku, K. Takamiya, D. Adachi, S. Nagamatsu, W. Takashima, and K. Kaneto, "Robust Hole Transport in a Thienothiophene Derivative toward Low-cost Electronics, CHEMISTRY LETTERS, 査読有, Vol. 39, No.12, DEC 5 (2010) 1315-1316.

[図書] (計2件)

- 1) 金藤敬二, "導電性高分子アクチュエータと圧力・歪みセンサ" 「有機電子デバイスのための導電性高分子の物性と評価」(株)シーエムシー出版 第18章 (2012) 6月発行
- 2) Keiichi Kaneto "Training and Fatigue of Conducting Polymer Artificial Muscles" 「Nanoscale Interface for Organic Electronics」 Ed. M. Iwamoto, Y.S- Kwon and T. Lee, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore (2011) ISBN-13 978-981-4322-48-5, pp223-240.

[学会発表] (国際会議 計12件)

- 1) K. Kaneto, K. Takayanagi, K. Tominaga, and W. Takashima, "How to Improve Electrochemomechanical Strain in Conducting Polymers" Electro active Polymer Actuators and Devices (EAPAD) 2012, San Diego, USA. 2012年3月12-15日 8340 OK
- 2) K. Kaneto "Electronic Devices Based on

- Conducting Polymers" Processing and Fabrication: the Ultimate Challenge for Functional Materials (招待講演) Australia, Wollongong 2012年2月20日~21日
- 3) K. Tominaga, W. Takashima, K. Kaneto "Electrochemical Creep of Polypyrrole film in Ionic Liquids" India-Japan Workshop on Bio-Molecular Electronics (IJWBME) 2011 (招待講演) EGRET HIMEJI 兵庫県姫路市 2011年12月7日~10日
- 4) K. Tominaga, T. Sinonome, and K. Kaneto "Electrochemical Actuation and Creeping of Porous Polypyrrole Film in Ionic Liquids" 6th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nano-Bio(招待講演) France, Paris 2011年10月27日
- 5) K. Tominaga, M. Ishii, K. Hamai, and K. Kaneto "Electrochemical Strain and Creep in Polypyrrole Soft Actuators" IDC-NICE 2011 福岡県太宰府市 九州国立博物館 2011年10月19日~22日
- 6) D.M.G Preethichandra E.M.I Mala Ekanayake, and K. Kaneto "Templated Nano-porous conducting Polymers as enzyme immobilizing matrix in nano-biosensor applications" IDC-NICE 2011 2011年10月19日~22日 福岡県太宰府市, 九州国立博物館
- 7) K. Kaneto "Training effect and shape retention in polyaniline artificial muscles" First International Conference on Electro-mechanically Active Polymer (EAP) Transducer & Artificial Muscles, (招待講演) France, Pisa 2011年6月8~9日
- 8) K. Kaneto, K. Tominaga "Shape Retention and Learning Effect in Artificial Muscles Based on Conducting Polymer" MRS 2010 Fall Meeting Boston 2010年11月29-12月3日
- 9) K. Kaneto, M. Ishii, K. Tominaga, W. Takashima "Learning and Shape Memory Effects in Conducting Polymer Artificial Muscles" IDC-NICE2010 Jeju, Korea 2010年10月27-30日
- 10) K. Kaneto "Learning Effect of Artificial Muscles based on Electrochemomechanical Deformation in Conducting Polymers" The61th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry Nice, France 2010年9月26日-10月1日
- 11) K. Kaneto, H. Hashimoto, T. Sendai "RHEOLOGY AND TRAINING OF CONDUCTING POLYMER ARTIFICIAL MUSCLES BY HIGH TENSILE STRESS" ICMFC-1 2010 Singapore 2010年7月11-15日
- 12) K. Kaneto, H. Hashimoto, W. Takashima

“Training of Conducting Polymer Artificial
Muscles” ICSM 2010 Kyoto, Japan 2010
年7月4-9日

6. 研究組織

(1)研究代表者

金藤 敬一 (KANETO KEIICHI)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・
教授

研究者番号：70124766