

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	自律型IPMCロボットの研究
Title(English)	Research on autonomous IPMC robots
著者(和文)	穴倉一輝, 難波江裕之, 堀内哲也, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Kazuki Shishikura, Hiroyuki Nabae, Tetsuya Horiuchi, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2022, 6

自律型 IPMC ロボットの研究

Research on autonomous IPMC robots

○学 穴倉一輝 (東工大) 正 難波江裕之 (東工大) 正 堀内哲也 (産総研)
正 遠藤玄 (東工大) 正 鈴森康一 (東工大)

Kazuki SHISHIKURA, Tokyo Institute of Technology, shishikura.k.ab@m.titech.ac.jp

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

Tetsuya HORIUCHI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Ionic Polymer Metal Composite (IPMC) is planar and it is necessary to apply AC voltage to both sides of the IPMC in order to drive it repeatedly. Since the generated force is small, the interference caused by the wiring, critically limits the motion. In this study, I consider the following two issues separately in order to drive an independent IPMC robot integrated with a battery. First, to make it wireless, a magnesium battery is installed. Second, a spiral IPMC is used to drive the robot only by the battery characteristics. As a result, I confirmed that the spiral IPMC can be driven only by the characteristics of the magnesium battery. In the future, I will design a structure that enables even greater motion, and fabricate a self-contained IPMC robot that incorporates the above elements.

Key Words: Autonomous Underwater Robot, Soft Actuator, IPMC, Magnesium Battery

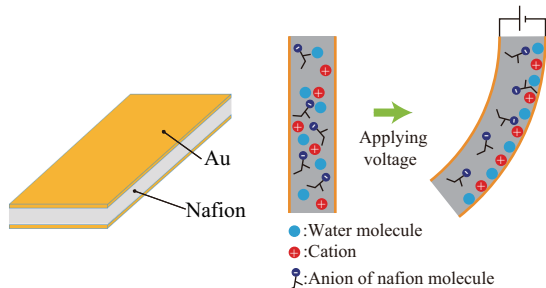


Fig.1 Structure and driving principle of IPMC.

1 緒言

Ionic Polymer Metal Composite (IPMC) アクチュエータと呼ばれる高分子アクチュエータには、応答性が高い、低電圧、水中で駆動可能といった特徴がある。これは、小黒らによって発明された [1]。IPMC アクチュエータは、図 1 のように高分子電解質膜であるイオン交換樹脂の外側を金属でメッキした構造をしており、イオン交換樹脂として nafion、金属電極として金を用いている。次に、IPMC アクチュエータの動作原理についても図 1 に示す。IPMC アクチュエータ内部に陽イオンが含有されており、両端の電極から電圧を印加することで、陽イオンが水分子を引き連れて負極側に移動し、負極側が膨張する。

本研究では、IPMC アクチュエータを海水に入れるとワイヤレスで動き出し、自発的に駆動する群ロボットを製作することを大きな目標としている。特に、IPMC アクチュエータの長所として、通常のロボットの製作と異なり、複雑な加工がなく、化学的なプロセスのみで行えるため、量産化が容易になることが期待できる。通常、繰り返し動作を行うには、時間的に変化する電圧を印加する必要があるが、そのために複雑な駆動回路を用いることになる [2]。そこで、図 2 のように渦巻型の IPMC を用いることにより、電池のみを用いて駆動することができるようになれば、構造を単純化し、かつワイヤレスで駆動できる。本稿では、上記の IPMC ロボットを実現するために必要となる、交流電源を用いずに、渦巻型の IPMC を電池特性のみで駆動可能なこと、及び、その電源として、海水から電力を取り出せるマグネシウム電池を用いて駆動可能なことを示す。

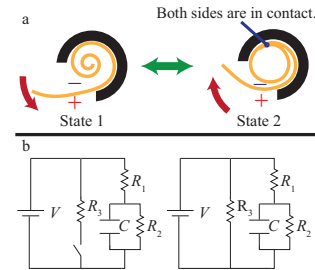


Fig.2 (a) Motion of a spiral IPMC when a battery is connected. (b) Equivalent circuit of the IPMC corresponding to the above figure.

2 渦巻型 IPMC

2.1 渦巻型 IPMC の駆動原理

まず、IPMC の電気的なモデルは Wang らの提案したもの [3] を参考に、図 2(b) の左のように置いた。ここで、 V は電源電圧、 $I(t)$ は電源を入れて t 秒後に回路に流れる電流値を表す。一層目 (内側)、二層目 (外側) を定義し、IPMC を渦巻型にする事で電圧を制御することなく駆動できる、本アクチュエータの動作原理は以下のように説明される。

1. 直流電圧を IPMC の両面 (渦巻の外側が正極) に印加すると、渦巻が広がる。
2. 図 2 のように渦巻の外側に囲いを作る事で、二層目の広がり制限され、IPMC の両面が接触する。その結果、IPMC の等価回路が変化し、図 2(b) の右のようにスイッチが ON となる。
3. 等価回路が変わったことで電流が大きくなるため、電池特性による電流制限を行うと IPMC にかかる電圧を下げる事ができ、IPMC の剛性で元の形に戻ろうとする。
4. 接触状態が解消されると、また等価モデルが図 2(b) の左のように変化し、電圧が上昇することで、また接触する。

これらを繰り返す事で図 2(a) のように IPMC を駆動させる事ができると考えた。

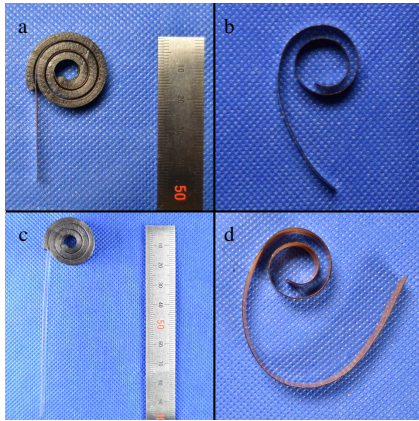


Fig.3 (a) Spiral mold and (b) fabricated short IPMC. (c) Spiral mold and (d) fabricated long IPMC.

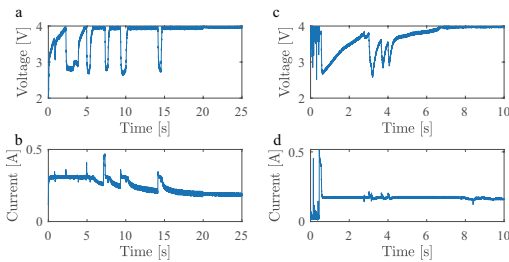


Fig.4 (a) Voltage and (b) current applied to a short IPMC. (c) Voltage and (d) current applied to a long IPMC.

2.2 渦巻型 IPMC の製作とその駆動実験

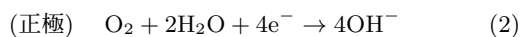
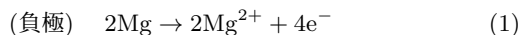
本実験では、市販の nafion シート (N1110) を使用する。渦巻型 IPMC の製作には nafion の高温領域 (70 °C 程度) での形状記憶特性を用いている。

1. 幅 10 mm, 長さは適切な値 (130 mm, 180 mm) にした長方形を切り取る。
2. 図 3(a), (c) のように、製作した渦巻型のマスクに 1 の nafion シートを固定する。マスクは無電解メッキ終了時まで装着したままとする。
3. 無電解メッキ工程により、渦巻型形状に固定すると同時に、表面に金メッキをする。ここでは、藤原らが開発した無電解メッキプロセスを行い表面に金を析出させた [4]。

製作した渦巻型の IPMC は図 3(b), (d) の通りである。そこで、実際に渦巻型 IPMC を駆動させた電流、電圧の様子は図 4 の通りで、安定化電源を用いて駆動させることができた。この時、実験装置は、電池に電流制限があることを模すために、電流プローブ、電圧プローブ、安定化電源、DSP を図 5 のように接続して用いた。ここで、安定化電源の電圧、電流はそれぞれ 4 V, 0.3 A 及び、4 V, 0.1 A で設定した。IPMC にかかる電圧、電流は図 4 の通りで、両面の接触によって電圧を 1 V 程度低下させることができた。短い、長い IPMC はそれぞれ 1.2 mm, 7.8 mm 変位し、変位は 6.5 倍大きくなった。

3 マグネシウム電池を用いた駆動

マグネシウム電池の各極での反応は式 1, 2 のようになり、今回は市販のものを用いた。



マグネシウム電池の特性は、塩化ナトリウムの濃度に依存するため、IPMC を駆動するのに必要な電圧を得るために、今回はマ

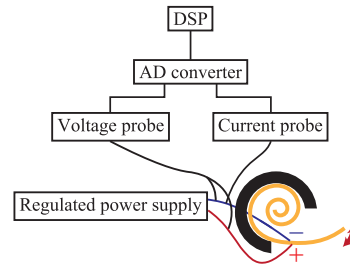


Fig.5 Laboratory equipment for measuring voltage and current characteristics.

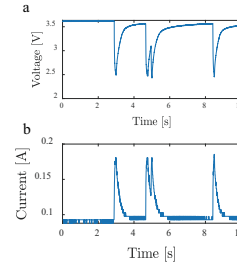


Fig.6 (a) Voltage and (b) current characteristics of spiral IPMC with 4% NaCl aq and magnesium battery.

グネシウム電池を 4 つ直列に繋ぎ、4% 塩化ナトリウム水溶液に $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 浸して電源とした。その結果、両面の接触によって、図 6 のように繰り返し電源電圧を 1 V 程度低下させることが確認できた。これは、IPMC の両面が接触することで流れる電流が増加し、ナトリウム電池の許容電流値を超えたことで電源電圧が低下したことを意味する。

4 結言

本稿で、自律型 IPMC ロボットを製作するにあたり、安定化電源を用いた渦巻型 IPMC の駆動について、理論通りに繰り返しの変位運動が可能であることは確認できた。しかし、その変位は小さく、ロボットとして動かすためには最適な形状を設計することが今後の課題である。また、マグネシウム電池を用いても渦巻型 IPMC の繰り返し運動を実現することができた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費、新学術領域研究「ソフトロボット学」JP18H05470 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Keiskue Oguro, Hiroyasu Takenaka, and Youji Kawami. Actuator element, December 7 1993. US Patent 5,268,082.
- [2] Akio Kodaira, Kinji Asaka, Tetsuya Horiuchi, Gen Endo, Hiroyuki Nabae, and Koichi Suzumori. Ipmc monolithic thin film robots fabricated through a multi-layer casting process. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2):1335–1342, 2019.
- [3] Yanjie Wang, Zicai Zhu, Hualing Chen, Bin Luo, Longfei Chang, Yongquan Wang, and Dichen Li. Effects of preparation steps on the physical parameters and electromechanical properties of ipmc actuators. *Smart Materials and Structures*, 23(12):125015, 2014.
- [4] Naoko Fujiwara, Kinji Asaka, Yasuo Nishimura, Keisuke Oguro, and Eiichi Torikai. Preparation of gold- solid polymer electrolyte composites as electric stimuli-responsive materials. *Chemistry of materials*, 12(6):1750–1754, 2000.