

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	立体形状IPMC成膜プロセスによる蝶型ロボットの試作
Title(English)	Manufacture of butterfly robot by designable 3D shape IPMC fabrication method
著者(和文)	小平暁雄, 安積欣志, 堀内哲也, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Akio Kodaira, Kinji Asaka, Tetsuya Horiuchi, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2018, 6

# 立体形状 IPMC 成膜プロセスによる蝶型ロボットの試作

## Manufacture of butterfly robot by designable 3D shape IPMC fabrication method

○学 小平 暁雄 (東工大) 正 安積 欣志 (産総研) 正 堀内 哲也 (産総研)  
正 難波江 裕之 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大) 正 鈴木 康一 (東工大)

Akio KODAIRA, Tokyo Institute of Technology, kodaira.a.aa@m.titech.ac.jp  
Kinji ASAKA, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
Tetsuya HORIUCHI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology  
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology  
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

The Ionic polymer metal composite (IPMC) actuator is a representative polymer actuator. Useful properties include high responsiveness, the capacity to be driven by low voltage, longevity and the ability to operate in water. However, almost all of the commercially available IPMC actuators are flat films. Because of this, most of the conventional biomimetic robots which use IPMC consist of rectangular IPMC actuators. In this paper, we manufactured a butterfly shaped IPMC actuators by a fabrication method for designable 3D shape IPMC actuators that we have proposed. The butterfly robot had several wings with different resonant frequencies and each wing was able to flap separately by sinusoidal wave voltage which included the same resonant frequency of the wing. Also the wings could flap simultaneously by combinational sinusoidal wave voltage.

**Key Words:** IPMC, Soft robot, Thin film actuator

### 1. 緒言

Ionic Polymer metal composite(IPMC)アクチュエータは代表的な高分子アクチュエータの一つであり、数 V の低電圧で駆動することが出来るにも関わらず、高い応答速度を持ち、さらには高応答感度、水中動作可能、そして高耐久性といった多くの優れた特徴を持つ。これらの特徴を有するソフトアクチュエータであることから、現在までにヘビ型や魚型など様々な生物模倣ロボットへの応用が研究されている [1][2]。しかし、現状の多くの IPMC アクチュエータを利用したロボットは、市販の矩形形状 IPMC を切り貼りして製作されており、形状の自由度が低い、システムの煩雑化などといった課題を残している。

そこで本稿では、3次元任意形状 IPMC アクチュエータの成膜法 [3]を用いて、蝶型の IPMC を製作し、駆動実験を行う。これにより、一枚の膜であるにも関わらず、骨組みとなる構造材と多自由度駆動可能なアクチュエータの両方を内包したシステムである薄膜ソフトロボットという領域への IPMC アクチュエータの拡張可能性を示すことを目的とする。

### 2. 蝶型ロボットの製作プロセス

#### 2.1 キャスト/スプレー法による蝶型イオン交換膜の製作

本稿で製作した蝶型薄膜ソフトロボットは 1 枚の蝶の形を模した IPMC アクチュエータである。蝶型薄膜ソフトロボットは図 1 に示すように、駆動部である 4 枚の翅と、非駆動部である中央の胴体によって構成されている。1 枚の連続した IPMC 上にこれらの役割の異なる要素を配置するために図 2 に示すような蝶を模した 3 次元形状のテフロン型を使用した。蝶のテフロン型は翅や胴体といった部位ごとによって深さが異なるため、型に対してキャストおよびスプレーコートをして生成したイオン交換膜も部位ごとに膜厚が変化する。これにより、構造材として使用したい箇所のみを厚く、そしてアクチュエータとして使用したい箇所のみを薄くするなどの設計

が可能となった。また、深さの異なる溝同士は滑らかな曲面で接続されており、曲面に沿うようにスプレーコートを行うことで 1 枚の薄膜でありながら 3 次元形状を有した蝶型の IPMC アクチュエータの製作に成功した。以下に本稿で実際に行っ

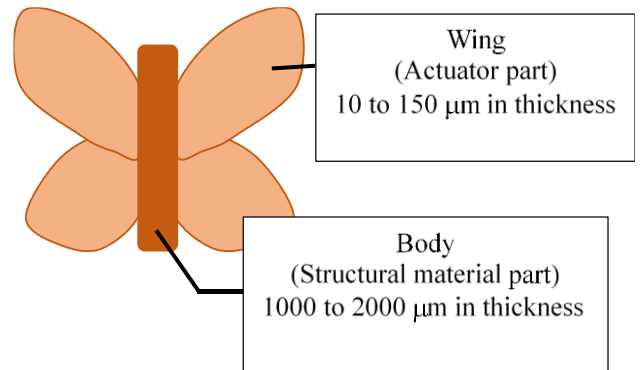


Fig.1 Schematic of butterfly robot



Fig.2 Butterfly shaped mold



Fig.3 Butterfly shaped Nafion membrane

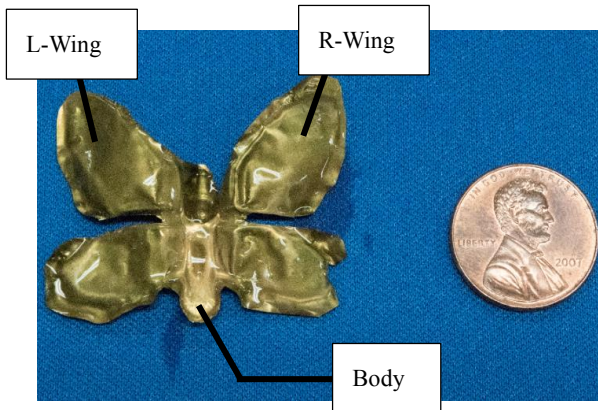


Fig.4 Butterfly robot (butterfly shaped IPMC)

た製作手順を示す. キャストおよびスプレーには 5%Nafion 分散溶液 DE520CS type(和光純薬)を使用した.

- ①蝶の型全体にスプレーコートをする
- ②蝶の胴体部のみをキャスト液で満たす
- ③50°Cで 10 分間乾燥し,有機溶媒を蒸発させ成膜する
- ④上記の①, ②, ③の工程を 5 回繰り返す.
- ⑤蝶の型全体をキャスト液で満たす.
- ⑥50°Cで 1 時間乾燥し,有機溶媒を蒸発させ成膜する
- ⑦100°Cで 2 時間加熱し, 膜を水に対して不溶化させる
- ⑧テフロン製の型から成膜した蝶型 Nafion 膜を剥離する

以上の手順によって実際に成膜した蝶型 Nafion 膜を図 3 に示す.

## 2.2 無電解メッキおよび仕上げ処理

製作した蝶型 Nafion 膜を蝶型 IPMC とするために, 金の Nafion 膜への無電解メッキ手法 [4]を用いて蝶の表面に金電極を接合した. 無電解メッキ直後に生じていた微小の穴や端面の導通箇所等を切除処理し, 駆動可能な状態となった蝶型ロボットを図 4 に示す.

## 3. 蝶型ロボットの羽ばたき動作

### 3.1 駆動システム

図 5 に本実験で用いた蝶型ロボットの駆動システムの模式図を示す. 各種正弦波電圧を dSPACE で生成し, それをアンプ(BWS 120-2.5, 高砂製作所製)を介して蝶型ロボットへと送る. 蝶型ロボットは下腹部を両電極クリップによってクランプされ, 垂直下向きとなるように固定されている.

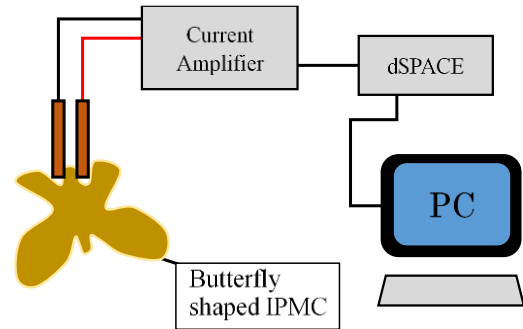


Fig.5 The schematic layout of the experimental setup

Table.1 Measured properties of butterfly robot

	Body	R-Wing	L-Wing
Thickness [ $\mu\text{m}$ ]	1798	104	94
Length [mm]	21	22	20
Width [mm]	6	13	14
Resonant frequency [Hz]	-	12.1	14.5

### 3.2 各翅の周波数応答

蝶型ロボットの左右の翅の形状および共振周波数を表 1 に示す. 左右の翅は非対称であるため, 共振周波数も R-Wing が 12.1 Hz, L-Wing が 14.5 Hz と左右の翅でそれぞれ異なった値を持っていることが測定により確認出来た.

### 3.3 重畳正弦波電圧による羽ばたきの制御

蝶型ロボットの左右の翅の異なる共振周波数を利用して, 重畳正弦波電圧による多自由度の羽ばたき動作を実現させる. まず, 図 6 に 2 Hz, 3 V の正弦波電圧を印加した場合の動作の様子を示す. このときは左右の翅がともに高いゲインの帯域にあるため, R-Wing も L-Wing も同程度の振幅で羽ばたきを行っている. 次に, R-Wing の共振周波数である 12.1 Hz, L-Wing の共振周波数である 14.5 Hz, そしてそれらを重畳した正弦波電圧(ただし,  $V_1=3\text{ V}$ ,  $V_2=3\text{ V}$ )

$$V_1 \sin(2\pi \cdot 12.1t) + V_2 \sin(2\pi \cdot 14.5t) \quad [\text{V}] \quad (1)$$

を印加したときの動作の様子を図 7 に示す. 12.1 Hz, 3V の正弦波電圧を印加した場合は R-Wing のみが動いており, 14.5 Hz, 3V の正弦波電圧を印加した場合は L-Wing のみが動いていることが確認出来た. さらに, 重畳正弦波電圧を印加した場合は左右の翅が同時に羽ばたき動作を行ったことも確認することが出来た. また, 胴体部は全周波数帯において視認出来る程の屈曲動作を示すことはなく, 構造材として十全に機能していることも確かめられた.

以上の結果より, 動作させたい箇所の共振周波数を含んだ

## 参考文献

- [1] M. Aureli, V. Kopman and M. Porfiri, "Free-Locomotion of Underwater Vehicles Actuated by Ionic Polymer Metal Composites," IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 15, NO. 4, AUGUST, 2010.
- [2] N. Yoshihiro, T. Kentaro, M. Toshiharu, L. Zhi-Wei and A. Kinji, "Increase of Bending Response in IPMC Dynamics Given Uniform Input I: Analysis of Bending Response of Snake-Like Swimming Robot using IPMC," The 23th Annual Conference of THE ROBOTICS SOCIETY OF JAPAN, 2005.
- [3] 小平 暁雄, 安積 欣志, 堀内 哲也, 難波江 裕之, 遠藤 玄, 鈴森 康一, "3次元任意形状 IPMC アクチュエータの成膜の試み," Robomech2018, 2018 発表予定.
- [4] Fujiwara, Naoko and Asaka, Kinji and Nishimura, Yasuo and Oguro, Keisuke and Torikai, Eiichi, "Preparation of gold- solid polymer electrolyte composites as electric stimuli-responsive materials," Chemistry of materials, 12, 1750-1754, 2000.

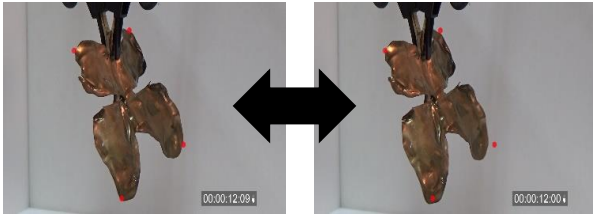
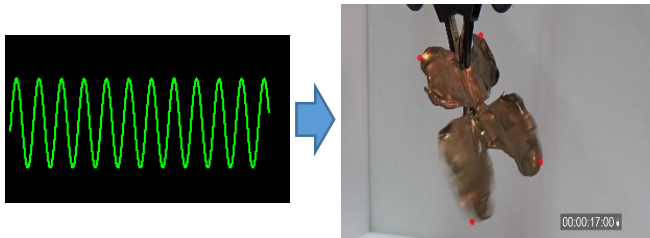
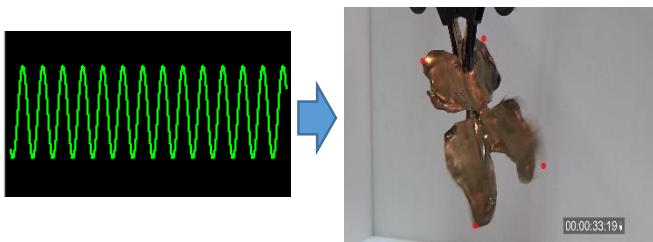


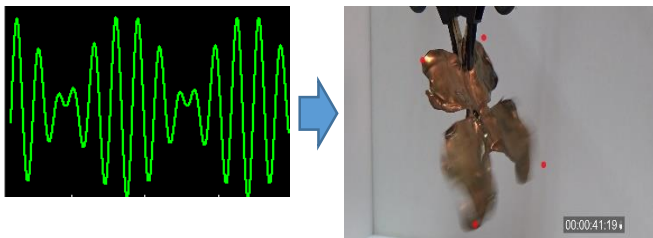
Fig.6 Motions of the butterfly at 2 Hz, 3 V sinusoidal drive (Both wings flap)



(a) 12.1 Hz, 3 V sinusoidal drive (R-Wing flaps)



(b) 14.5 Hz, 3 V sinusoidal drive (L-Wing flaps)



(c) 12.1 Hz, 3 V + 14.5 Hz, 3 V Combinational sinusoidal drive (Both wings flap)

Fig.7 Driving experiment of the butterfly

重畳正弦波電圧を入力することによって、1つの電圧の入力からでも薄膜ソフトロボットの多自由度制御が可能なことを示した。

## 4. 結言

本稿では、3次元任意形状 IPMC アクチュエータの成膜法を用いて単一の膜上に駆動部である翅と非駆動部である胴体を有した蝶型ロボットの製作を行った。また、動作実験では蝶型ロボットの駆動部である翅部だけの動作を確認した。さらに、共振周波数の異なる左右の翅の共振を用いた重畳正弦波電圧による制御によって、左右の翅の独立での動作および、同時駆動に成功した。