T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

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)	
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 鈴森 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 senarately 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言った課題を残して 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 butturfly 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℃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℃で1時間乾燥し,有機溶媒を蒸発させ成膜する ⑦100℃で2時間加熱し,膜を水に対して不溶化させる ⑧テフロンの型から成膜した蝶型 Nafion 膜を刻離する 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	Mesured	properties	of butterfl	y robot
---------	---------	------------	-------------	---------

	Body	R-Wing	L-Wing
Thickness [µm]	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2Hz,3V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 =3V, V_2 =3V)

$$V_1 \sin(2\pi \cdot 12.1t) + V_2 \sin(2\pi \cdot 14.5t)$$
 [V] (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



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.

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.