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)	ペレット式3Dプリンタを用いた3 次元形状のIPMCの試作とその動作実験
Title(English)	Prototype of 3D shape IPMC using pellet type 3D printer and its driving experiment
著者(和文)	宍倉一輝, 難波江裕之, 湯浅亮平, 堀内哲也, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Kazuki Shishikura, Hiroyuki Nabae, Ryohei Yuasa, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

ペレット式 3D プリンタを用いた 3 次元形状の IPMC の試作とその動作実験

Prototype of 3D shape IPMC using pellet type 3D printer and its driving experiment

○学　宍倉一輝 (東工大)　正　難波江裕之 (東工大)　湯浅亮平 (慶大)
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
Ryohei YUASA, Keio University Graduate School of Media and Governance
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) has the features of high responsiveness, and can be driven in water by low voltage. Generally, IPMC actuators are fabricated using Nafion sheets, which are an ion-exchange resin, and are driven by bending a flat structure. However, in order to realize more complex motion and shape, it is necessary to fabricate 3D shape IPMC. In this paper, I confirmed that 3D shapes can be formed from pellet Nafion using a pellet 3D printer. Then, I fabricated the IPMC and conducted an driving experiment by applying a voltage to it, and confirmed that it could be driven. In the future, I will adjust the parameters to achieve thinner films and various 3D shapes.

Key Words: 3D Printer, Soft Actuator, IPMC

1　緒言

近年，精密に動く従来のロボットとは対照的な，柔らかさを持つロボットである，ソフトロボット学という分野が注目されている．その中でも，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，水中で駆動可能などの特徴がある．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，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 やアクイビオン，金属電極として白金や金が用いられている．本研究では，nafion 及び金を用いる．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．その結果，IPMC アクチュエータは電圧を印加することで正極側へ屈曲する．また，屈曲したときに起電力を生じるため, センサとしても利用できる [2].

IPMC アクチュエータは平面の nafion を用いて製作されるため，二次元の構造で動かすことが多いが, より複雑な動き, 形状を実現させるために, 蝶, 鶴，毛虫, イソギンチャク型といった 3 次元形状を持つ IPMC アクチュエーターの製作が行われてきている [3][4][5][6]. 製作方法としては，キャスト法，紙等を用いた手法，Simultaneous 3D Forming and Patterning process(SFP プロセス) を用いた手法，3D プリンタを用いた手法等が存在する．キャスト法とは，凹凸形状の型に nafion 分散液をキャストし，乾燥，加熱過程を踏むことで立体形状にする手法である．しかし，円筒のような構造は作れないことに加え，厚さの制御が難しく，場所ごとのむらが大きいという所が難点であった．紙等を用いた手法は，nafion 分散液を三次元形状にした紙等に染み込ませ，乾燥，加熱することによって製作され PF-IPMC と呼ばれる．これは，紙等の剛性によって変位が小さくなってしまうということが課題であった．SFP プロセスを用いた手法とは，固定治具に nafion をはめ込んだ状態で無電解メッキ工程を経ることで，形状記憶と電極のパターニングを同時に行うというものである．しかし，接合力が弱く，形状が崩れやすいという課題があった．そこで，本稿ではペレット式 3D プリンタを用いた三次元形状 IPMC の製作とその動作実験を行う．

2　ペレット式 3D プリンタによる造形とそれを用いた IPMC の製作

今回，Carrico らが用いた製作方法 [7] を参考にして，押し出し温度，使用する薬品，製作手順等を以下のようにし，3D プリンタはエス. ラボ株式会社の GEM 550D を用いた.

1. ペレットの nafion を 3D プリンタに入れ，ノズルから目的の形状に押し出す.
2. ペレットから作られた nafion の膜はそのままでは IPMC として動かすことができず，側鎖末端の SO_2F 基をスルホン酸基に化学処理する必要がある．その活性化プロセスとして，以下の工程を行う.
   (a) 15 wt%の水酸化カリウム，35 wt%のジメチルスルホキシド，50 wt%の純水を混合した溶液を 75 度にし，製作した nafion 膜を 4 時間浸す.
   (b) その後，75 度に加熱した純水に 1 時間浸す.
3. アクチュエータとするために，藤原らが開発した以下の無電解メッキプロセスを行い表面に金を析出させる [8].
   (a) 機能化させた IPMC を，金錯体溶液 ($[AuCl_2(phen)]Cl$ aq) に浸して金錯体を吸収させる.
   (b) 60 度にした亜硫酸ナトリウム水溶液 (Na_2SO_3 aq) に 3-(a) で製作した nafion 膜を浸し，金を表面に析出させる.
   (c) 70 度に温めた純水で洗浄する.
4. 3-(a) から 3-(c) を表面抵抗が数Ωになるまで繰り返し，その後 IPMC の表と裏に電位差を生むために端を切る.

以上の工程で作られたものを図 2 に示す．図 2(a) は長方形の薄膜，図 2(b) は中空角柱となっており，二種類の IPMC の大きさ，厚さ，表面抵抗を表 1 に示す．表面抵抗は，図 2(a)，(b) 共に 5〜10 Ω程度で，メッキが十分にされていることが確認できた．薄膜は IPMC として駆動させることが可能な厚さであった．Carrico らが 3D プリンタを用いて製作した長方形型の IPMC は 1 mm 程度の厚さであったことから，本実験では約 57% 薄膜化することができた [7]．また，nafion の薄膜を製作する際，穴が

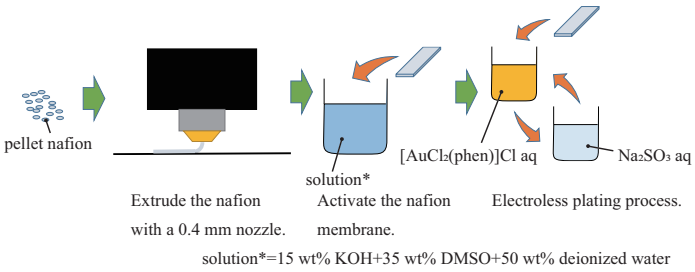


Fig.1 Fabrication process of IPMC using pellet type 3D printer.

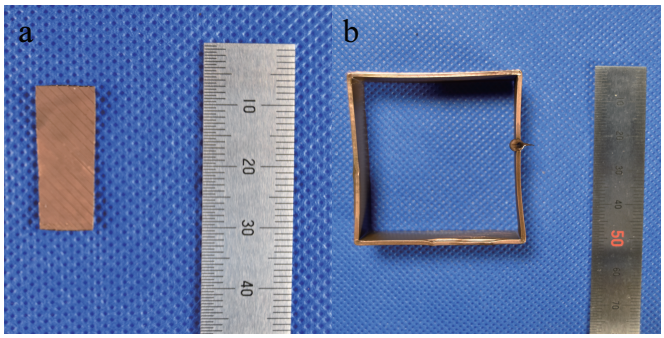


Fig.2 IPMC made from nafion pellets by 3D printer. (a) Thin-film IPMC created parallel to the stage. (b) IPMC stacked in the height direction.

開いているとメッキによって両面が導通してしまい，IPMC として駆動させることができなくなってしまうため，3D プリンタでの製作時には穴が開かないようにすることが課題である．実際に，IPMC の表裏間が導通していないことを確認したため，造形によって穴は開いていないと考えられる．

3　製作した IPMC とその駆動実験

図 2(a) の薄膜の IPMC に 2.5 V，100 mHz の正弦波を印加させて駆動させたところ，図 3 のように変位を生むことができ，約 1.0 mm の振幅で動作させることができた

4　結言

ペレット式 3D プリンタを用いて三次元形状の IPMC の造形に成功し，また，薄膜の IPMC については駆動させることができた．一方で，高さ方向に積層する際の厚さは駆動するにあたり十分な薄さにすることができなかったため，今後より薄く造形するために，ノズル温度，押し出しスピード等各パラメータの調整を進めていく必要がある．

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．

Table 1 Parameters of the two types of fabricated IPMCs.

	thin-film IPMC	hollow square pillar IPMC
size [mm]	9 × 24	45 × 45 × 16
thickness [mm]	0.43	1.2
surface resistance [Ω]	5	7
Nozzle temperature [℃]	280	310

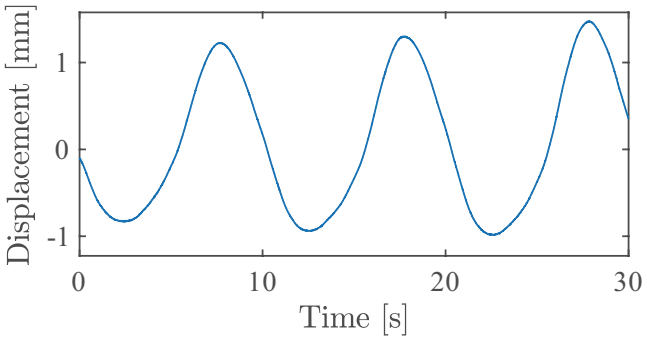


Fig.3 Time response of a 3D printed IPMC to 2.5 V at 100 mHz sine wave inputs.

参考文献

[1] Keiskue Oguro, Hiroyasu Takenaka, and Youji Kawami. Actuator element, December 7 1993. US Patent 5,268,082.

[2] 田中俊哉, 神戸威人, and 釜道紀浩. 3a1-m06 ipmc センサのメッキ回数による応答特性変化の検証 (機能性材料と応用の新展開). In **ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集** *2014*, pages _3A1–M06_1. 一般社団法人 日本機械学会, 2014.

[3] 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.

[4] Asuka Ishiki, Hiroyuki Nabae, Akio Kodaira, and Koichi Suzumori. Pf-ipmc: Paper/fabric assisted ipmc actuators for 3d crafts. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(3):4035–4041, 2020.

[5] James D Carrico, Kwang J Kim, and Kam K Leang. 3d-printed ionic polymer-metal composite soft crawling robot. In *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 4313–4320. IEEE, 2017.

[6] Keita Kubo, Hiroyuki Nabae, Tetsuya Horiuchi, Kinji Asaka, Gen Endo, and Koichi Suzumori. Simultaneous 3d forming and patterning method of realizing soft ipmc robots. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 8815–8822. IEEE, 2020.

[7] James D Carrico, Nicklaus W Traeden, Matteo Aureli, and Kam K Leang. Fused filament 3d printing of ionic polymer-metal composites (ipmcs). *Smart Materials and Structures*, 24(12):125021, 2015.

[8] 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.