20111 人工筋肉素子製造過程における薄膜作成

THIN FILM APPLIED TO ARTIFICIAL MUSCLE ACTUATOR

中土井隼人 *¹ 上條哲志 *¹ 太田正廣 *²

Hyatt NAKADOI, Satoshi KAMIJO, Masahiro OTA

Some types of polymer actuator have recently been focused. These actuators which are soft-structured and operated in wet condition- are so called Artificial muscle. IPMC - Ionic polymer and metal composite, one type of artificial muscle, is one of the simplest actuator. This is a binding of ion exchange membrane(IEM) as a solid electrolyte and metal thin film as electrodes. This actuation, provides a bending motion, is involved by the stress called swelling pressure. Swelling pressure is the sum of osmosis pressure and fluid pressure powered by internal ionic movement. In this paper, we have evaluated the relationship between shape or area of electrodes bit into IEM and actuation specification.

Key Words: Artificial Muscle, thin film, aspect ratio, actuation specification

1 INTRODUCTION

人工筋肉とは、構造部材を用いず高分子などの柔らかい機能部材によってアクチュエーションを起こす素子のことを言う。本研究では、様々な人工筋肉素子[Tab.2 参照]の中から IPMC (ionic polymer and metal composite) を取り上げた。IPMC は ICPF と呼ばれ、電気化学的な作用により、屈曲運動の形でアクチュエーションする素子である。水の膨潤という新しいメカニズムで動作することや、高圧水下でも動作にほとんど影響しない^[1]などの特徴を持つ。また、その構造は、非常にシンプルで、固体電解質であるイオン交換膜に、電極のための貴金属薄膜を表裏に接合したものである。今回の実験では、その特性を向上させるべく、まずアクチュエーションに関するモデリングを行った。これにより改善可能な因子の候補をいくつか挙げ、次に因子の各種条件の最適化に向け、実験・評価した。

2 PRINCIPLE / MODELLING

Fig. 1 IPMC

動作原理としては、Fig.1 に示すように、表裏の独立した電極に電位差が与えられると、内部で自由に動くことのできる水とイオンが移動、偏在することで、膜内部の膨潤圧に勾配が発生し、屈曲運動をする。

膨潤圧とは、流体圧 Φ と浸透圧 Π の和であり、次の式としてモデリングすることができる。

$$\nabla\Phi = \frac{d}{k_m} u = -\frac{\mu d}{k_m} \nabla V \quad (1)$$

$$\nabla\Pi = RT \cdot \nabla c \quad (2)$$

この式において、IPMC のアクチュエーション性能を向上させるためには、以下の3つの因子が考えられる。

- ・ イオン移動度 μ を上げる
- ・ 膜の透水係数 k_m を下げる
- ・ 温度 T を上げる

3 EXPERIMENT

今回の実験においては、イオン移動度 μ を高めることに着目し、電氣的に最も重要な部分であるイオン交換膜・貴金属電極界面の構造が、いかにアクチュエーション特性に寄与するかを評価する。また、IPMC にはアクチュエーションとセンサの可逆性があり、センシング特性への寄与についても同様に調べる。

実験に使用した薬品類は次の通りである。

Tab. 1 List of chemicals

IEM	nafion117	$d=173\mu\text{m}$
Metal	Platinum	
Metal compound	$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$	
Reducing Agent	$\text{NaBH}_4, \text{NH}_2\text{NH}_2, \text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$	

イオン交換膜を金属化合物に 10 時間漬し、白金イオンを膜内に吸着させた後、還元剤で白金を析出させるという、無電解メッキ法を用い、電極薄膜を成膜させる。この成膜時の条件や成膜回数を変えることで、IEM 界面での電極形状（見かけのアスペクト比）および有効面積を変化させる。これらの諸条件のもと、最大曲げ角と感度をそれぞれ評価した。

最大曲げ角 ν_{max} はアクチュエーション特性を示すもので、膨潤圧 P にも以下のように関係がある。

¹ 東京都立大学 Tokyo Metropolitan University² 首都大学東京 Tokyo Metropolitan University

$$P = \Phi + \Pi \quad (3)$$

$$v_{\max} = \frac{2l^2}{Ed} P \quad (4)$$

これにより、イオンの移動度が高まれば、最大曲げ角も大きくなると考えられる。今回の実験では、電圧 2.5V を印加した際の最大曲げ角を評価した。

また、感度とは、一定の速度で素子を屈曲させた時、出力されるセンシング信号を電位差として評価した。

4 RESULTS

Fig. 2 SEM photo of cross-section of IPMC

電極有効面積率（見かけの電極面積 / IEM の断面積）を横軸にとり、縦軸に最大曲げ角 $^{\circ}$ および感度[mA]をとったものを Fig 2 に示す。

Fig. 3 Experimental Result (Dot line indicates proposal)

これにより、最大曲げ角、感度ともに適切な電極有効面積率があることがわかった。

5 CONCLUSION

今回はイオンの移動度 μ を高めるべく、界面の最適条件を探索した。今後は透水係数 k_m の小さい特殊な膜を採用し、実験を行う予定である。

また、先にも述べたようにイオン交換膜は、燃料電池でも用いられるが、これもまた IPMC と同様、理想的な電気的アセンブリが必要である。このため燃料電池についてもその膜・電極界面構造が特性に影響する因子となることが予想される。

参考文献

- [1] 中坊嘉宏, 高木賢太郎, 向井利春, 吉田弘, 産総研安積欣志: 高圧水環境下での人工筋肉の屈曲, 第 5 回システムインテグレーション部門学術講演会, 講演論文集, pp.671-672
- [2] 安積欣志, 小黒啓介: 複合化による刺激応答機能の発現, ケミカルエンジニアリング, Vol.46, No.10, pp.20-24 (2001)
- [3] 浜口良彦, 山上真司, 菅野隆, 田所諭, 高森年: ICPF アクチュエータを用いた人工繊毛の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集, Vol.A, pp.539-540 (1997)

Tab. 2 Types of Artificial Muscle

	Input	Output		Outside Condition	Response	Power density	Young's modulus
	Energy	Stress	Strain		Transform speed	Energy density	Yield stress
IMPC	Electric	bending		WET/DRY	Δ		(soft)
	2V, 3A						
PPy	ElectroChemical	stretch/tense		WET	$\times$	2.0 W/g	80GPa
	2V, 2A	22MPa	40%		1mm/10sec		
Dielectric Elastomer	Electric	expansion		DRY	$\bigcirc$	1.0 W/g	
	5000V, 3A	8.0MPa	400%			3.4 J/g	
Bio-powered	ATP hydrolysys	linear motion		WET	Δ		(soft)
		0.35MPa					
HumanMuscles	ATP hydrolysys	tense		WET	$\odot$		
		0.35MPa	30%				