

機関番号：13701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560235

研究課題名（和文） 親水性電解質高分子アクチュエータのセルフセンシング制御に関する研究

研究課題名（英文） A study of self-sensing control of hydrophilic electrolytic polymer actuator

研究代表者

佐々木 実 (SASAKI MINORU)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20183379

研究成果の概要（和文）：高分子アクチュエータの一つである Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC) は乾電池一本程度の電圧で駆動する低消費エネルギー屈曲モードアクチュエータとして知られている。その屈曲制御は非常に困難であり、従来は屈曲方向を反転させるために臨機応変に印加電圧の極性を反転させる程度の制御しか行われてこなかった。本研究では従来のアプローチと異なり、制御理論に基づき屈曲制御を試みた。FFT 解析により IPMC の伝達関数を導出し、この伝達関数をもとにして Feedforward、Feedback、Two-Degree-of-Freedom 制御を試みた。実機を用いた制御の検証では、Feedback および Two-Degree-of-Freedom 制御下で IPMC は理想的に屈曲制御できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC) is one of electroactive polymer actuators. It can be activated even by a ordinary dry cell battery. So, IPMC is a low energy consumption bending mode actuator. Control of its bending is a quite difficult task. Usually IPMC bending control is carried out merely by alternately changing polarity of voltage imposed on the IPMC according to the circumstances. It is a quite impractical way of bending control. In this study, we attempted to establish a controlling technique of IPMC bending based on the control theory. A transfer function of the IPMC was derived by FFT analysis. Employing the derived transfer function, we carried out bending control of IPMC by the methods of Feedforward, Feedback and Two-Degree-of-Freedom controls. It turned out that all three methods sufficiently well controlled the IPMC bending. Especially, Feedback and Two-Degree-of-Freedom controls made it possible to precisely control the IPMC bending.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス

### 1. 研究開始当初の背景

広く工業利用されているアクチュエータは人間の手や足と等価な機能を有しているが、手や足の機能はアクチュエータの性能にある点では凌駕している。例えば、その非常にしなやかな動きはその典型的な例である。

生体に近い動きを実現する生体模倣型のアクチュエータ開発は、人間型ロボット開発等につながる非常に魅力的なテーマである。実際に、人間型ロボットは既に開発されている。しかし、人間のしなやかな動きを忠実に再現しているとは言い難く、新たなアイデアを以って改善していかなければならない。より生体に近い動きが実現できれば、卵のように極めて繊細に扱う必要のある物を自由に操る機器や、障害者に怪我をさせないような介護用ロボット開発等への道が開けるものと考えられる。そのためにはアクチュエータ材料そのものから見直す必要がある。

従来、アクチュエータと言えば、金属、あるいはセラミックス製であったが、しなやかな動きをするアクチュエータとして高分子から成るアクチュエータ開発の必要性があった。事実、手や足も高分子から形成されている。高分子アクチュエータとして研究されているものとして近年注目されているものに電気刺激による駆動が可能な親水性高分子がある。このような親水性高分子はわずかな電気刺激で大変形を示すことが特徴であるが変形制御が困難等の問題があり実用に至っていない。

### 2. 研究の目的

親水性高分子を利用した生体模倣型のアクチュエータを作製する。実用的なものにするためには様々な問題を解決しなければならないが、本研究では特にその変形制御方法の確立を目指した。

### 3. 研究の方法

研究を遂行するに当たって、特に注目したアクチュエータ用親水性高分子はイオン交換膜である。イオン交換膜表面を金属コートして含水させると乾電池程度の印加電圧下で大きく屈曲することが知られており、この材料は Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC) と呼ばれる。

IPMC はその特異な性質故に多くの研究者が研究する対象ではあるが、その屈曲制御は容易ではない。従来 IPMC の屈曲制御と言えば印加電圧の極性をその場その場で反転させて制御するものであったが、このような方法では IPMC の実用化はほど遠い。従って、我々は、高分子材料科学の観点からではなく、制御理論の観点から IPMC の変形をとらえ、その制御方法を考えた。

IPMC の制御法を確立するに当たり、その印加電圧（入力）に対する変形応答（出力）を FFT 解析によって明らかにした。入力電圧周波数に対する IPMC の変形及び位相特性から IPMC の伝達関数を導出し、この伝達関数を用いて制御系を組みシミュレーションを行った。そしてシミュレーション結果の妥当性を実機を用いて確認した。

### 4. 研究成果

(1) IPMC は従来含水状態にあり、電圧刺激により駆動される。つまり屈曲が引き起こされる。この屈曲方向は、従来、含水 IPMC 内に可動カチオンあるいは可動アニオンどちらが大量に存在するかに支配されると考えられていた。しかしながら、我々の研究から IPMC 表面の金属コートが銀であった場合、IPMC はほぼ脱水状態であっても印加電圧下で屈曲することが明らかとなった。また、IPMC を構成するイオン交換膜内に可動カチオン、あるいは可動アニオンどちらがより多く存在していても（我々が研究する IPMC は完全脱水状態ではないので、わずかに IPMC 内に存在する水によって可動イオンが生成している）屈曲方向は印加電圧の極性にほぼ支配されることが明らかとなった。

(2) IPMC に対して FFT 解析を行った。振動電圧を入力、IPMC の屈曲振幅を出力とした FFT 解析結果を図 1 に示す。図 1 上図は入力振動数に対する出力の Magnitude、下図は入力振動数に対する出力の Phase を表す。この結果をもとに IPMC の伝達関数  $G$  を求めた。求めた伝達関数  $G$  による Magnitude と Phase の結果を、図 1 に重ねて示す。

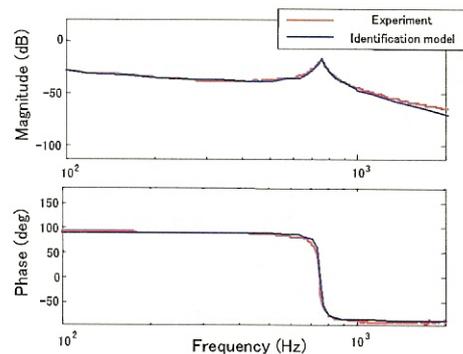


図 1 振動電圧を入力とし、IPMC の屈曲振幅を出力とした時の FFT 解析結果

この IPMC は外部環境湿度によって、入力電圧に対する変形出力を変化させるという性質がある。FFT 解析により明らかになったことは、この IPMC の伝達関数  $G(s)$  は予想通り湿度依存性があるが、ある湿度  $H$  における伝達関数  $G(s, H)$  は  $G(s, H) = k(H) \cdot G(s, H_0)$  と記述で

きるということである ( $k(H)$ はある外部環境湿度に対して決定される定数、 $H_0$ はある特定の外部環境湿度)。つまり、ある特定の湿度下における伝達関数  $G(s, H_0)$  が分かれば、他の湿度下での伝達関数  $G(s, H)$  は  $G(s, H_0)$  を定数倍するだけで得られるということである。

(3) 得られた伝達関数  $G(s, H)$  を用いて、Feedforward、Feedback、Two-Degree-of-Freedom の三種の制御系に基づいて IPMC の屈曲制御シミュレーションを行った。本シミュレーションでは時刻  $t=1s \sim 4s$  の間 IPMC の屈曲振幅を  $10\mu m$  に維持し、それ以外の時刻では  $0\mu m$  に維持することを目標とした。以下にその結果を示す。なおいずれも縦軸は IPMC の屈曲振幅を示す。

図2は IPMC の目標振幅軌道と Feedforward シミュレーションによる IPMC の振幅軌道を示す。両者は完璧な一致を見せている。

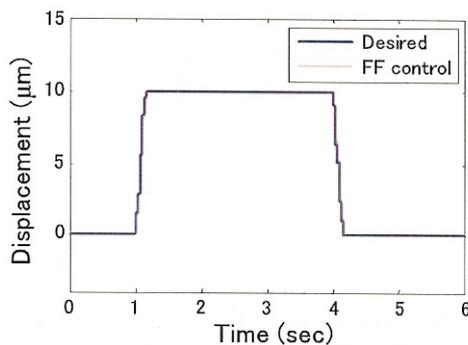


図2 IPMC 振幅の目標軌道と Feedforward シミュレーションによる軌道

図3は IPMC の目標振幅軌道と Feedback シミュレーションによる IPMC の振幅軌道を示す。  $t=1s$  と  $4s$  において目標軌道とシミュレーション軌道との間にわずかにずれが生ずるが、すぐにそのずれは消失する。おおむね、正確な制御が可能であると言える。

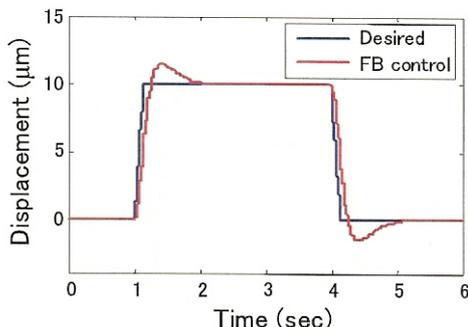


図3 IPMC 振幅の目標軌道と Feedback シミュレーションによる軌道

図4は IPMC の目標振幅軌道と Two-Degree-of-Freedom シミュレーションによる IPMC の振幅軌道を示す。Feedback 制御同様に  $t=1s$

と  $4s$  において目標振幅軌道とシミュレーション振幅軌道との間にわずかにずれが生ずるが、Feedback 制御時と比べてそのずれは小さい。また、すぐにそのずれは消失する。おおむね、正確な制御が可能であると言える。

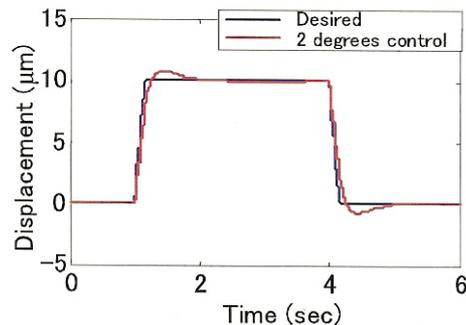


図4 IPMC 振幅の目標軌道と Two-Degree-of-Freedom シミュレーションによる軌道

(4) 実機を用いて、Feedforward、Feedback、Two-Degree-of-Freedom 制御が実際に可能かどうかを調べた。

図5は IPMC の目標振幅軌道と実機を用いた Feedforward 制御による IPMC の振幅軌道を示している。シミュレーション結果と異なり実機の軌道は目標軌道から大きくずれてしまう。

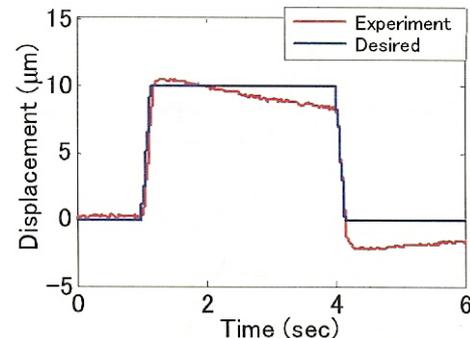


図5 IPMC 振幅の目標振幅軌道と実機を用いた Feedforward 制御下の振幅軌道

しかしながら、図6に示すように Feedback 制御下では IPMC の振幅軌道は非常に理想に近い振る舞いを示した。

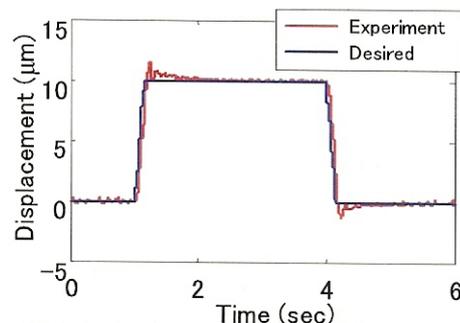


図6 IPMC 振幅の目標振幅軌道と実機を用いた Feedback 制御下の振幅軌道

図 6 に示された Feedback 制御の結果と同様な事は Two-Degree-of-Freedom 制御下でも言える。図 7 は IPMC の目標振幅軌道と実機を用いた Two-Degree-of-Freedom 制御下の IPMC の振幅軌道を示しているが、Feedback 制御下同様に、非常に理想に近い振る舞いを示した。

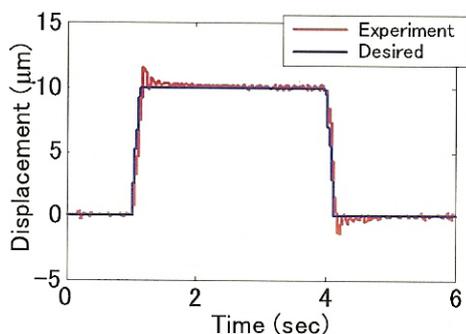


図 7 IPMC 振幅の目標振幅軌道と実機を用いた Two-Degree-of-Freedom 制御下の振幅軌道

Feedforward により IPMC 実機を正確に制御するには極めて正確な伝達関数の導出が必要になり、現実的ではない。しかしながら、Feedback、Two-Degree-of-Freedom 制御ではそのような極めて正確な伝達関数を得られなくともおおむね良好な制御結果が得られた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. M. Sasaki, Y. Onouchi, H. Tamagawa and S. Ito, “Two-Degree-of-Freedom Control of an Ionic Polymer-Metal Composite Actuator”, *Materials Science Forum*, 670, 369-378, (2011). (査読有り)
2. M. SASAKI, T. OZEKI, S. ITO and H. TAMAGAWA, “Position control of a dual-stage actuator”, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 33, 839-847, (2010). (査読有り)
3. M. SASAKI, Y. ONOUCHI, T. OZEKI and H. TAMAGAWA, S. ITO, “Feedforward Control of an Ionic Polymer-Metal Composite Actuator”, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 33, 875-881, (2010). (査読有り)
4. H. Tamagawa, H. Watanabe and M. Sasaki, “Bending direction change of IPMC by the electrode modification”, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 140, 542-548, (2009). (査読有り)

[学会発表] (計 4 件)

1. H. Tamagawa, K. Kikuchi and M. Sasaki, “Quantity of Ag<sub>2</sub>O versus Ag-Plated Selemion CMV Curvature”, *APSAEM 2010, Malaysia* (2010).
2. M. Sasaki, Y. Onouchi, H. Tamagawa and S. Ito, “Two-Degree-of-Freedom Control of an Ionic Polymer-Metal Composite Actuator”, *JAPMED 2009, Bucharest, Romania* (2009).
3. M. SASAKI, T. OZEKI, S. ITO and H. TAMAGAWA, “Position control of a dual-stage actuator”, *ISEM 2009, Xi'an, China* (2009).
4. M. SASAKI, Y. ONOUCHI, T. OZEKI, H. TAMAGAWA, S. ITO, “Feedforward Control of an Ionic Polymer-Metal Composite Actuator”, *ISEM 2009, Xi'an, China* (2009).

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 実 (SASAKI MINORU)  
 岐阜大学・工学部・教授  
 研究者番号：20183379

(2) 研究分担者

玉川浩久 (HIROHISA TAMAGAWA)  
 岐阜大学・工学部・助教  
 研究者番号：60324282

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：