

伸縮性電極の接合によるイオノマー系化学アクチュエータの 創製と運動性能

Conducting Fabrics as a Stretchable Flexible Electrode for the Development of
Ionomer based Chemical Actuators and their Performance Evaluation

#

研究代表者

福井大学大学院工学研究科 准教授

庄 司 英 一

【研究の目的】

従来普及している、機械・電気モータの駆動原理は生物の化学的な動く仕組みとは違う。モータを搭載してヒトの手足を模倣したロボットアームを考えた時、その重量の問題や、どこかぎこちない動きにおいて機械仕掛けと化学反応ベースの駆動原理の違いは歴然である。今後、巧みに滑らかに動くロボット、曲面の制御で自在に推進するアゲハ蝶やエイのような仕組み、ヒトの筋肉のように動く原理を工学的に具体化させることは重要である。ノイズや音がしない、小型軽量、低電位、極限条件、大気中でも力強く動く駆動機構の具現化は必要である。本研究は人間と機械の調和を早急に促す化学系運動発生材料(人工筋肉)の創製である。

運動発生材料としてイオノマー型アクチュエータは、大気中で、数ボルト程度で大きな屈曲変位運動が発生し、条件によっては自重の数百倍程度の物を移動できる性能を持っている。このイオノマー型アクチュエータの従来研究例においては入手の容易性や化学的安定性などからイオノマー膜として、にパーフルオロスルホン酸膜(デュポン社が製造するナフィオンTM)を用いた研究が多くなされている。しかもこの膜の表裏には無電解メッキ法による貴金属層が電極として検討され、イオン性高分子金属複合体として議論されてきた。しかし、電極構造の違いがど

のように運動性能(安定性、変位・力学特性等)に影響を与えるかの知見の集積はほとんど行われていない状況にある。次世代の駆動原理として有望視されているイオノマー型アクチュエータの性能を見極める上で電極層の議論は重要であり、構造に関する知見の集積は急務であると言える。従来の電極構造は無電解メッキによるイオノマー膜上への直接的メッキが主である。この方法で得られる電極構造の問題点は電極のメッキ厚を増加させるためには何回もメッキを繰り返す必要があり、そのための時間(20~50時間)、手間、コストなどの問題がある。さらに、外部応力による電気導度の影響やイオノマーによってはメッキ液に溶解するためメッキが出来ないなどの本質的な問題もある。こうした問題点を打開する方法として、本研究では織物の持つ力学強度と伸縮性から、導電性布帛を伸縮性電極材として着目、これを一段階でイオノマー膜に導電性布帛を接合する方法を検討する。高分子複合電極の創製と、得られたアクチュエータの運動性能についての知見の集積をめざすものである。

【研究の内容、成果】

従来のイオノマー型アクチュエータの諸問題を解決するブレークスルーとして、柔軟性、引張り強度に優れ、伸張時にも導電性が劣化しにくい、導電性の織物(導電性布帛)を電極材として検討する。即ちイオノマー膜の表面に金属電極を直接

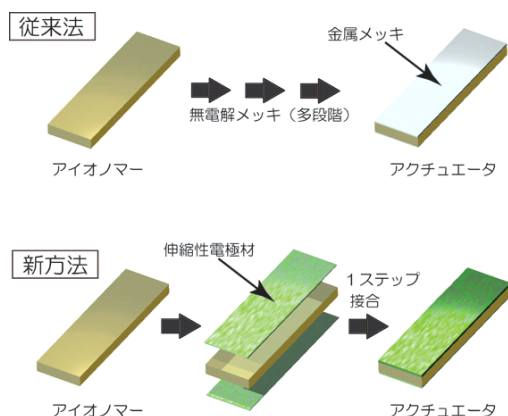


図1 導電性布帛の接合によるアクチュエータ

的にメッキする方法ではなく、伸縮性と力学強度が期待できる導電性の布帛を電極として接合する、ポリマー導電性布帛複合体 (**Polymer Conducting Fabric Composites: PCFC**)について検討した (図1)。

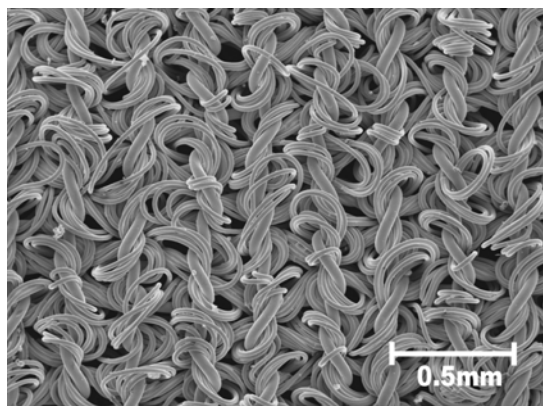


図2 導電性布帛

PCFC アクチュエータの電極材として、伸縮性と強度をもった導電性の布帛として、伸張率が100%で抵抗率が $1\Omega/\text{sq.}$ のナイロンニット素材 (伸張度: 約600%) のものを検討した。これら基材の表面に電子導電層としては、銅 (無電解メッキ)、および金 (電解メッキ) を固定したものをを用いた。導電性布帛の外観を図2に示す。

金をメッキしたこの導電性布帛自体の応力歪み曲線と電気伝導性を同時計測した結果を図3に示す。張力により長さが6倍にもなっても電極層の電気伝導性はほとんど低下しないことを示

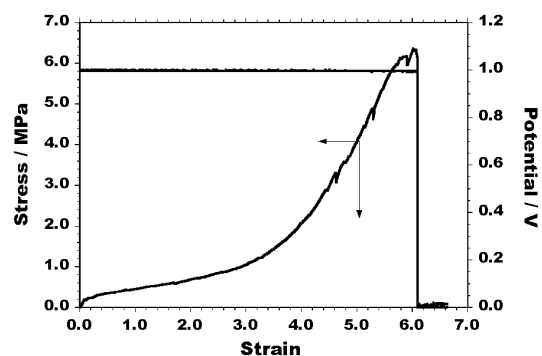


図3 導電性布帛の応力歪み曲線/電気伝導性

している。

アクチュエータの膜材として、イオノマーにはパーフルオロスルホン酸ポリマーとして、ナフィオン117 (デュポン社製) を用いた。プロトン型であるナフィオン膜を接合前にリチウムイオンで交換した。即ち、通常法に従って膜を洗浄後、イオン交換には 0.5M 水酸化リチウム溶液に含浸させて行った。

PCFC アクチュエータの製作は、ナフィオン膜 (両面をブラスト処理) と導電性布帛をバインダの存在下、加熱プレスによる接合により検討した。バインダにはナフィオン溶液 (溶媒: 低級アルコール・水混合溶媒) を用いた。接合時に位置合わせを行うために、凹型の金型を独自に設計・加工により製作した。接合条件を検討した結果、バインダ濃度 $15\text{wt}\%$ 、温度 95°C 、プレス時間が60秒、図4に示す。バインダが分散

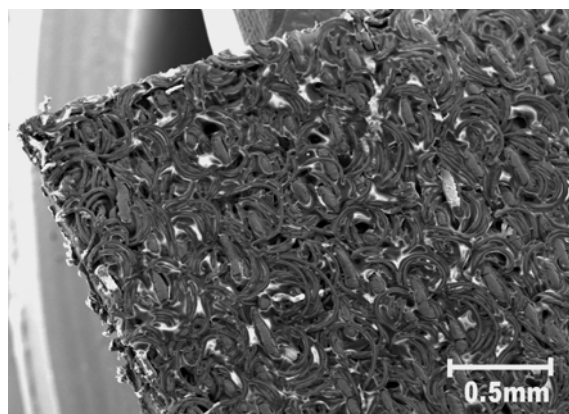


図4 Au-PCFCのSEM写真

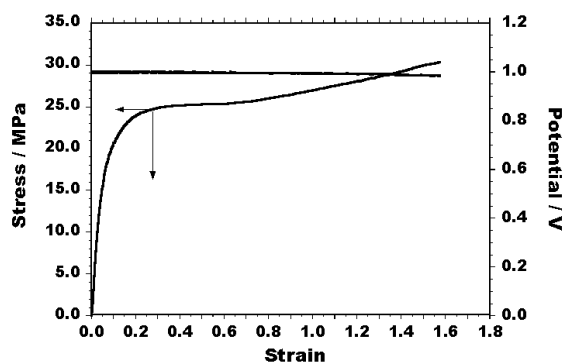


図5 Au-PCFCの応力ひずみ特性と電気特性

して良好に密着している様子が確認される。

得られた複合電極（アクチュエータ電極）の応力歪み曲線と電気伝導性を同時計測した結果を図5に示す。電極自体の全体の伸びにおいて、表面抵抗がほとんど影響を受けないことを示している。これは図3に示すように、導電性布帛が単独で有する極めて良好な応力電気特性が、複合化されても有していることを示す結果である。従来のナフィオンに直接的に白金をメッキしているアクチュエータの応力ひずみ特性と電気特性の同時計測の結果を図6に示す。この場合、strain が 1.2 程度で表面層の電気抵抗値を反映する電圧降下は 0.5V となっているが、これは表面抵抗が 1K Ω 程度まで急上昇していることを意味する。スムーズなアクチュエータの屈曲を実現するためには表面抵抗は少なくとも数十 Ω 以下である必要があるが、この従来のア

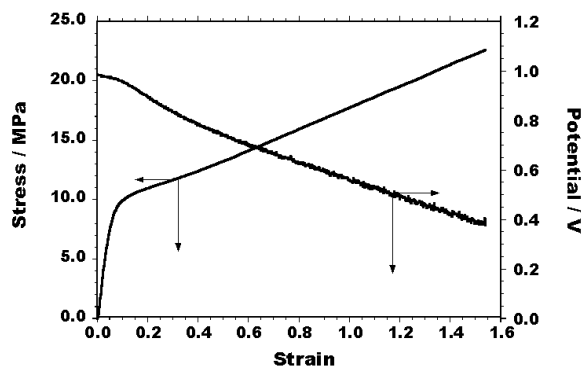


図6 ナフィオンの直接的な白金メッキによるアクチュエータ電極の応力ひずみ特性と電気特性

クチュエータの応力電気特性の結果は、導電性布帛によるアクチュエータに比べて大きな問題を有していることがわかる。

次に、作製した複合電極（Au-PCFC）のアクチュエータとしての屈曲特性を評価するために変位量の計測を行った。評価はアクチュエータの支持点から 12mm の位置の屈曲時の変位量 L と支持点から 5mm における力発生を調べた。屈曲変位量と発生力の定義を図7に示す。

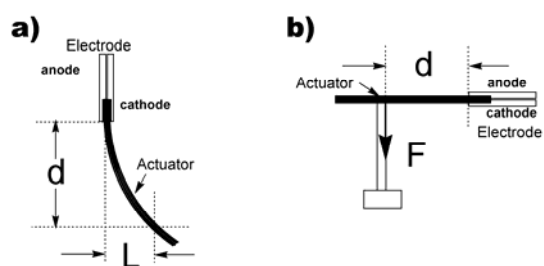


図7 変位量と発生力の計測

駆動波形が印加電位： ± 1.5 V、周期：20 秒の矩形波とした場合の屈曲動作の結果を図8に示す。変位の応答として極めて良好に作動していることがわかる。この応答性を見る限り、従来のナフィオンへの直接的なメッキによるアクチュエータと特に遜色のない結果である。

発生力の計測として、アクチュエータを固定し

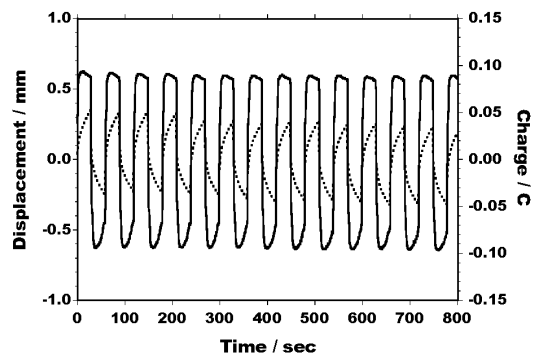


図8 Au-PCFC アクチュエータの屈曲変位特性（印加電位： ± 1.5 V、印加時間：20 秒）

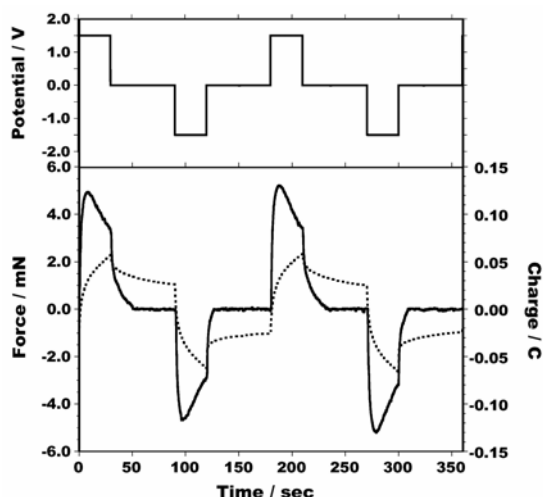


図9 Au-PCFC アクチュエータの力特性

ている部分から $a=5\text{mm}$ の位置での発生力を印加
電位： $\pm 1.5\text{V}$ 、印加時間：30 秒、休止時間：60
秒の条件で計測した。図9に示すように、電位印
加による屈曲に伴い、最大で約 5mN の力の発生
が確認された。力発生において、いったん上がつ
て下がる挙動が見られるが、これは従来のナフィ
オンの直接メッキ型アクチュエータでも見られ
る挙動であり、膜内部の物質移動と関連すると考
えている。次に卑金属の Cu を電極材として用い
た Cu-PCFC アクチュエータの作動について、印
加電位： $\pm 2\text{V}$ として駆動させ、良好に作動するこ
とを確認した。

Au-PCFC アクチュエータに比べて、この
 Cu-PCFC アクチュエータでは変位の後戻り現象
が抑制されており興味深い結果となった。変位量
は Au 電極に比べて減少しており、これは界面の
電子導電性の低下によるものではないかと考え
られる。

【今後の研究の方向、課題】

導電性布帛を電極材としたアクチュエータの
創製について検討を行い、結果、従来に無い
 PCFC アクチュエータが良好に作動することを
確認した。今回、 PCFC アクチュエータは加熱プ
レス法から簡便に製造することができ、有用な方

法であることを確認した。今回の結果を踏まえ、
実用的なアクチュエータへの研究を継続して行
って行きたい。電極の接合界面構造の密着性の検
討、界面構造の経時変化による電気化学的変化、
さらに電位印加による物理化学的な反応解析も
調べる必要がある。従来のイオノマー型のアク
チュエータでは電極材として貴金属（白金や金）を
用いているケースが圧倒的に多く、卑金属を積極
的に利用した例は殆ど報告されていない状況に
あった。今回、 PCFC アクチュエータは卑金属に
よる電極層により簡単に作成でき、屈曲変位動作
する事が確認できた点は、コスト的にも今後の実
用化検討の上できわめて大きな意味を持つであ
ろう。

【成果の発表、論文等】

1. E. Shoji, S. Takagi, H. Araie: Novel conducting fabric polymer composites as stretchable electrodes: one-step fabrication of chemical actuators, *Polym. Adv. Technol.*, **20**, 423-426 (2009).
2. 庄司英一：アイオノマーを用いた化学アクチュエータの創製と運動パフォーマンス, 第 21 回アイオノマーシンポジウム(兵庫)(2008.11)
3. 庄司英一, 平山大祐, : 化学系アクチュエータの創製と運動性能(5): パーフルオロスルホン酸ポリマー系複合電極の屈曲運動における相対湿度・駆動電位波形の効果, 第 57 回高分子討論会 (2008.9)
4. 庄司英一：布帛の伸縮性を生かした高分子アクチュエータの創製, 繊維系シーズ・ニーズ発表会, 福井大学 (2008.10)