慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	透明なイオン導電性高分子アクチュエータの創製と界面付着強度制御による高機能化
Sub Title	Study on interfacial strength of transparent ion polymer metal composite actuator
Author	大宮, 正毅(Omiya, Masaki)
Publisher	
Publication year	2010
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2009.)
JaLC DOI	
Abstract	イオン導電性高分子に電場をかけると, 水和したカウンターイオンが陰極に移動し, 陰極側が膨潤, 陽極側が収縮することで湾曲が生じ, アクチュエータとしての機能を果たしている. 本課題では, イオン導電性高分子膜に透明導電性膜を成膜し, "透明なイオン導電性高分子アクチュエータ"を創製するとともに, イオン導電性高分子アクチュエータの変形特性に及ぼすイオン種類, 濃度, 温度などの影響について検討を行った.
Notes	研究種目 : 若手研究(B) 研究期間 : 2008 ~ 2009 課題番号 : 20760077 研究分野 : 材料力学, 破壊力学, 界面力学 科研費の分科・ 細目 : 機械工学, 機械材料・ 材料力学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20760077seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（Ｂ）
研究期間：2008～2009
課題番号：２０７６００７７
研究課題名（和文）　透明なイオン導電性高分子アクチュエータの創製と界面付着強度制御による高機能化

研究課題名（英文）　Study on Interfacial strength of Transparent Ion Polymer Metal Composite Actuator

研究代表者
大宮　正毅（OMIYA　MASAKI）
慶應義塾大学・理工学部・講師
研究者番号：30302938

研究成果の概要（和文）：
イオン導電性高分子に電場をかけると，水和したカウンターイオンが陰極に移動し，陰極側が膨潤，陽極側が収縮することで湾曲が生じ，アクチュエータとしての機能を果たしている．本課題では，イオン導電性高分子膜に透明導電性膜を成膜し，“透明なイオン導電性高分子アクチュエータ”を創製するとともに，イオン導電性高分子アクチュエータの変形特性に及ぼすイオン種類，濃度，温度などの影響について検討を行った．

研究成果の概要（英文）：
We built up the way of fabricating ionic polymer metal composite (IPMC) actuator with palladium electrodes and Indium Tin Oxide (ITO). The bending response under the various solvents and temperature were evaluated. In the evaluation, we study the influence to bending response by cation forms and mol concentration. As a result the bigger the ionic radius become, the larger bending response IPMC actuator showed, and the higher the ionic concentration become, the larger bending response IPMC actuator showed. The higher the temperature of ionic solvent is, the larger bending response IPMC actuator showed. Moreover, a simple beam model was introduced and compared with the experimental results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2008 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総　計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：材料力学，破壊力学，界面力学
科研費の分科・細目：　機械工学，機械材料・材料力学
キーワード：機械材料，構造・機能材料，先端機能デバイス，表面・界面物性，アクチュエータ，高分子，イオン導電性

１．研究開始当初の背景

近年，イオン導電性アクチュエータが研究され，人工筋肉やマイクロカテーテルなどに応用されている．これは，イオン導電性高分子に電場をかけると，水和したカウンターイオンが陰極に移動し，陰極側が膨潤，陽極側が収縮することで湾曲が生じる．イオン導電性高分子をアクチュエータとして用いる利点は，曲げ剛性が小さく変形が大きい，数 V 程度の電圧で稼動．消費電力・発熱が少ない，水溶液中でも稼動するなどが挙げられる．一方，近年，薄型ディスプレイや有機 EL ディスプレイなどの電極膜として，透明導電性膜（ITO など）が利用されている．そして，この透明導電性膜とイオン導電性高分子膜とを組み合わせることにより，“透明でフレキシブルに曲がるアクチュエータ”を作ることが可能となる．このような“透明でフレキシブルに曲がるアクチュエータ”は，例えば，建物の窓に貼り付けておき，太陽電池を駆動電源として膜厚を制御することで，赤外線の透過量を制御し，夏は涼しく，冬は暖かい省エネルギー住宅での利用や，あるいは，有機 EL ディスプレイと組み合わせることで，“透明でかつ動くディスプレイ”として，電車の窓ガラスの広告，立体ディスプレイや盲目者のための触覚ディスプレイとしての利用などが考えられる．しかしながら，以上のような実用性を考えた場合，イオン導電性高分子アクチュエータの機械的な強度・信頼性の検討がほとんど行われていないのが現状である．そして，機械的強度・信頼性を明らかにすることが実用上大変重要である．

２．研究の目的

本研究では，イオン導電性高分子膜に透明導電膜を成膜した“透明なイオン導電性高分子アクチュエータ”を創製するとともに，出来上がったアクチュエータについて，アクチュエータの変形特性に及ぼすカウンターイオン種，濃度，温度の影響について明らかにすることを目的とする．

３．研究の方法

本研究では Nafion®膜（Aldrich 社製 Nafion 117®）にパラジウム（Pd）を無電解メッキすることで，IPMC アクチュエータを製作した．また，透明アクチュエータでは，ITO（酸化インジウム錫）をスパッタリングにより，Nafion 膜に成膜し，透明電極とした．IPMC アクチュエータの変形特性を評価するために，先端水平変位を図 1 のような試験装置で測定した．IPMC アクチュエータに直流電源にて電圧を印加し，変形の様子を CCD カメラで撮影し，画像処理により，先端の変位を求めた．また，カウンターイオン種として，Li^+, Na^+, NH_4^+を用い，濃度及び温度を種々変化させて，変形特性へ及ぼす影響について検討を行った．

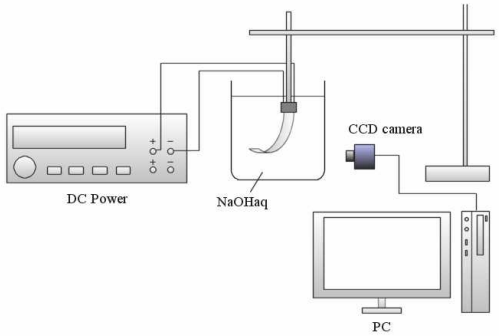

図１　変形特性評価システム

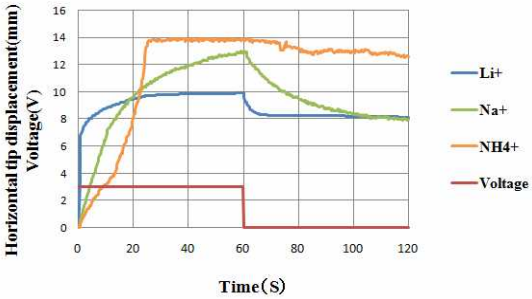

図２　先端変位の時間変化

４．研究成果

図２は，各イオン種における時間と先端変位の関係を比較した図である．イオン半径が大きくなるほど，先端変位の最大値は大きくなる傾向にある．これは，イオン半径が大きくなるほど両極側の体積の偏りが大きくなるためと考えられる．一方で，電圧印加直後の変位の勾配は，ばらつきはあるが，イオン半径が小さいほど大きい傾向にあった．

次に，陽イオンとして Na^{+}を用い，濃度を 0.1 mol/l, 0.5 mol/l, 1 mol/l の３種類用意して，それぞれに対して時間と先端変位との関係を調べた．図３にイオン濃度と先端変位との関係を示す．これより，濃度が大きいほど，先端変位の最大値は大きくなり，ばらつきはあるが，濃度が小さいほど電圧印加直後の変位の勾配が大きい傾向にあることがわかった．これは，イオン濃度が大きいほど，体積の偏りが大きくなるためだと考えられる．図

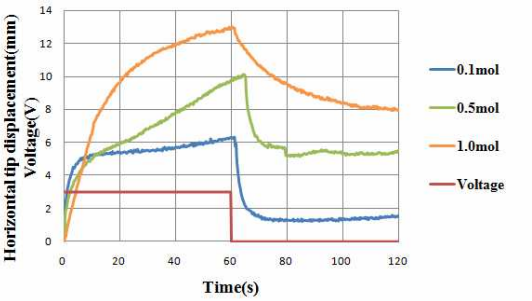

図３　濃度による先端変位の違い

図４　印加電圧と先端変位

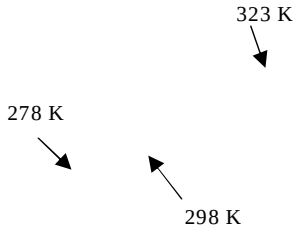

図５　温度と先端変位の時間変化

４に種々の温度下における先端水平変位と印加電圧との関係を示す．なお，変位は電圧を印加後，十分に時間がたってから測定している．これより，印加電圧を大きくすると，先端水平変位は大きくなり，323K 下では電圧 2V まで電圧とほぼ比例関係にある．また，先端水平変位は，温度が高いほど小さな電圧で大きく屈曲することがわかる．これは，Nafion®膜のヤング率の温度依存性によるも

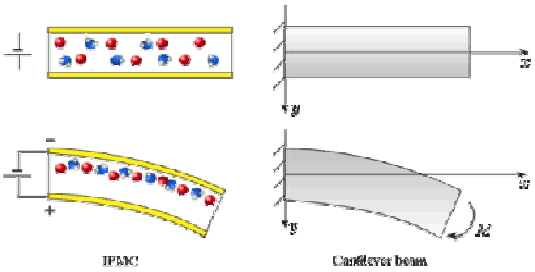

図６　IPMC アクチュエータの簡易はりモデル

のと考えられる．図５に種々の温度下で，3 V の一定電圧を印加した際の IPMC アクチュエータの変形応答について示す．これより，278, 298 K では変形の速度にはほとんど差が見られないが，323 K では，はじめはゆっくりと変形し，その後，急速に変形が進むことが分かる．Nafion®膜のガラス転移温度（Tg）は 60~90 ℃であり，ガラス転移温度に近くなるほど粘性が大きくなるため，323 K 下ではこのような変形応答になったと思われる．

図６のような膨潤した Nafion 膜(長さ l, 厚さ 2h, 幅 b）に電圧ϕ_0が印加される場合を考える．Nemat-Nasser らによると，イオンの移動により体積ひずみが生じ，それによって断面内に応力が発生する．いま，IPMC が x 方向に十分長いと仮定すると，曲げモーメント M は，

$$M = \int_{-b/2}^{b/2}\int_{-h}^{h} z\sigma_{zz}\,dz\,dy \approx k_0\kappa_e\phi_0 ahb$$

となる．電極部の厚さを h_c，弾性係数を E_c とおくと，組み合わせはりになる．そして，Nafion 部の電極金属に対する等価断面は，$b_1 = Eb/E_c$ となり，この断面の等価断面は I 形断面になる．よって，等価断面二次モーメント I_e は，

$$I_e = \frac{b_1(2h)^3}{12} + 2\left(\frac{bh_c^3}{12} + bh_c\left(h + \frac{h_c}{2}\right)^2\right)$$

となる．したがって，曲率半径 R は，

$$R = \frac{E_c I_e}{M}$$

となる．一方，電極抵抗が十分小さければ，x 方向に関しては電位が一定となるため，曲げモーメント一定となり，結局，先端に曲げモーメント M が作用する片持ちはりと等価になる．本実験で使用した IPMC 膜の寸法と，IPMC 膜のそれぞれの温度での物性値を代入して得られる電圧と先端水平変位との関係を図４の実線で示す．これより，電圧が低い範囲では，簡易はりモデルが有効であることがわかった．

今後の課題としては，Nafion®膜の粘弾性特性が及ぼす変形特性への影響，粘弾性効果を考慮した IPMC アクチュエータのモデル化，透明 IPMC アクチュエータにおける透明電極の低抵抗化，その高機能化などが挙げられる．

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３件）

(1) T. Kobayashi, T. Kuribayashi, M. Omiya, Fabrication of Ionic Polymer Metal Composite Actuator with palladium electrodes and Evaluation of its Bending Response, Material Research Society Symposium Proceedings, Vol.1190, NN11-29-1-6 （査読なし）

(2) 大宮正毅，栗林武嗣，小林拓真，種々の環境下におけるイオン導電性高分子アクチュエータの変形特性，日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集， Vol.8, (2009), pp.23-24（査読なし）

(3) 小林拓真，栗林武嗣，大宮正毅，イオン導電性高分子アクチュエータの機能特性評価，日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス CD-ROM 論文集，(2009), pp. 473-475（査読なし）

〔学会発表〕（計３件）

(1) 大宮正毅，栗林武嗣，小林拓真，種々の環境下におけるイオン導電性高分子アクチュエータの変形特性，日本機械学会 2009 年度年次大会，2009 年 9 月 15 日，岩手大学，盛岡市

(2) 小林拓真，栗林武嗣，大宮正毅，イオン導電性高分子アクチュエータの機能特性評価，日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス，2009 年 7 月 25 日，札幌コンベンションセンター，札幌市

(3) T. Kobayashi, T. Kuribayashi, M. Omiya, Fabrication of Ionic Polymer Metal Composite Actuator with palladium electrodes and Evaluation of its Bending Response, 2009 Material Research Society Spring Meeting, April 17, 2009, San Francisco, USA

６．研究組織
(1)研究代表者

大宮　正毅（OMIYA　MASAKI）
慶應義塾大学・理工学部・講師
研究者番号：30302938

(2)研究分担者
該当なし

(3)連携研究者
該当なし