



## 学位論文の要旨

専攻名	材料科学専攻	ふりがな 氏名	なかむら たろう 中村 太郎 
学位論文題目 イオン導電性アクチュエータの性能とインピーダンスの研究 (英訳 Analysis of Ion Polymer Metal Compound performance by impedance method.)			
<p>本論文は、イオン導電性高分子を材料としたアクチュエータである IPMC (Ionic Polymer Metal Compound) の発生力とインピーダンス特性の関連性についての研究内容をまとめたものである。本論文は、6章で構成されている。第1章では、人工筋肉に応用が考えられている他のアクチュエータと IPMC の既往の研究についてまとめた。第2章では本研究の目的を述べた。第3章では IPMC の作成法と性能向上の方法の紹介をまとめた。第4章では IPMC のアクチュエータとセンサの基本的特性の調査結果を述べた。第5章では IPMC の発生力とインピーダンス計測結果を検討した。第6章では、各章の結果を要約し総括した。</p> <p>第1章 緒言</p> <p>第1章では、人工筋肉及び医療用アクチュエータへの応用が考えられている高分子アクチュエータと IPMC との比較と位置づけを示し、IPMC 関連の既往の研究と IPMC を用いたデバイスへの応用例の紹介を行った。併せて論文の構成を示した。</p> <p>第2章 目的</p> <p>第2章では、本研究の目的を述べた。本研究の目的は、IPMC の発生力と電気インピーダンスの関連性から、最適な IPMC の条件を見つけ出すことと、発生力向上のメカニズムを解明することである。</p> <p>第3章 IPMC の作製</p> <p>第3章では、IPMC の作製方法と性能向上の方法について述べた。IPMC の作製工程は、(1) Nafion Resin R-1100 を融点の 185°C でヒートプレスして Nafion 膜を作成。(2) 作製した Nafion 膜の加水分解。(3) 加水分解後の Nafion 膜を塩化ジクロロフェナトロリン金 (III) [Au(phen)Cl<sub>2</sub>]Cl 水溶液中に浸した後、亜硫酸ナトリウム (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) 水溶液で還元して電極の形成。以上の3つの工程で行った。</p> <p>IPMC の性能向上の方法は、繰り返しメッキとプレヒート時間の追加がある。繰り返しメッキは、IPMC の電極性能の向上が目的で、プレヒート時間の追加は Nafion 膜の配向を整えることと結晶化の促進を目的で行った。</p> <p>第4章 IPMC の基本特性</p> <p>第4章では、IPMC のアクチュエータ機能とセンサ機能の基本特性の計測を行った。アクチュエータ機能の計測は、厚さ 200 μm、400 μm、800 μm の IPMC を 10×20mm に裁断し、これを水中で固定した状態で駆動させた時に発生する力をアイソメトリックトランスデューサで等尺性張力の計測を行った。</p>			

ふりがな 氏名	なかむら たろう 中村 太郎 
------------	---

IPMC の発生力は、電流値の増加に伴って増加し、周波数が増加すると減少することが確認された。膜厚  $400\mu\text{m}$  の IPMC で最大  $30\text{mN}$  の力が発生した。

センサ特性の計測は、厚さ  $200\mu\text{m}$  と  $400\mu\text{m}$  の IPMC を用意しこれを固定し、外から力を加えて屈曲させた時に発生する起電力の測定を行った。また、IPMC 中に水分が含まれている時（湿潤時）と含まれていない時（乾燥時）のセンサ特性の比較を行った。

起電力は変位の大きさが増加すると大きくなり、膜厚が大きいほど起電力は増加した。湿潤時と乾燥時のセンサ特性は、起電力は小さくなるものの、IPMC 中に水が存在していなくてもセンサとして機能することが確認されたことから、センサとしての動作原理は水の移動は関係なく、Nafion 膜中のイオン密度差によって電位差が発生するものと考えられる。

## 第5章 IPMC の発生力とインピーダンス特性

第 5 章では、膜厚、メッキ回数、プレヒート時間の追加、以上の条件を変えた時の発生力とインピーダンスを計測した結果を述べた。発生力は、第 4 章で行った等尺性張力の測定法で行い、インピーダンスは、LCR メータを用いて、IPMC のアドミタンスを計測し、Cole-Cole プロットから、膜抵抗  $R$  と電気二重層容量  $C$  の値を算出した。

膜厚を変えた時では、膜厚が大きいほど発生力は増加し、電気二重層容量と膜抵抗共に増加した。メッキ回数を変えた時では、メッキ回数を増加させると、発生力と電気二重層容量は増加し、膜抵抗は 4 回メッキした IPMC で増加したものの、メッキ回数を増加させると減少する傾向があった。プレヒート時間を変えた時では、プレヒート時間を増加させると発生力と電気二重層容量は増加し、膜抵抗には変化が見られなかった。

以上の結果より、IPMC の発生力は電気二重層容量が増加すると発生力が増加することが確認された。膜抵抗は発生力に直接の関係がなかった。電気二重層容量が増加した結果、IPMC 中の水がより多く移動し発生力が増加したと考えられる。電気二重層容量は、電極の状態で大きな影響を受けるため、電極表面の状態の評価のために CPE (constant phase element) を含む等価回路としてフィッティングを行い、電極の状態を表す CPE 指数を求めた。その結果、膜厚を増加させると CPE 指数が減少、メッキ回数を増加させると CPE 指数が増加、プレヒート時間に関しては CPE 指数に変化がなかった。膜厚増加時の CPE 指数の減少は、電極表面の凹凸が多くなることを示し、その結果有効電極面積が増加したと考えられる。メッキ回数増加時の CPE 指数の増加は電極の均一さの増加を示し、その結果、電極表面の伝導性が向上したと考えられる。

## 第6章 結論

第 6 章では、各章で得られた結果を要約して総括した。IPMC は、電気二重層容量の増加によって発生力が増加することを実証した。電気二重層容量の増加には、膜厚の増加、繰り返しメッキによるメッキ層の成長、プレヒート時間の追加による Nafion 膜の結晶化等の方法が有効であった。