

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：34104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2013

課題番号：21500417

研究課題名(和文)次世代医用ロボット用ソフトアクチュエータ開発の基礎研究

研究課題名(英文)Development of Next Generation Medical Robotics Soft Actuators

研究代表者

伊原 正 (Ihara, Tadashi)

鈴鹿医療科学大学・医用工学部・教授

研究者番号：70261039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：イオンポリマーメタル複合体は、ナフィオンなどの導電性高分子に白金・金などの貴金属を化学めっきした複合体で、センサとしてもアクチュエータとしても動作する。1-3 Vの電圧で大きな変位を発生し、任意形状に加工が可能で、無音で動作する、制御の容易な人工心筋のアクチュエータとして最適な材料である。イオンポリマーメタル複合体による人工舌プロトタイプモデルに次いで、人工筋肉駆動声帯プロトタイプモデルの開発に成功し、実現可能性の高い人工筋肉開発に前進がみられた。さらに、イオンポリマーメタル複合体をセンサとして用い、衣料に組み込んでヒトの動作を連続測定するスマートインタラクティブテキスタイルの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Ion polymer metal compound is a conductive polymer chemically plated with precious metal such as gold or platinum. It works both as an actuator and sensor. As an actuator, it works with relatively low voltage of 1-3 V, generates large displacement, deformable to any shape, and with no noise. It is one of the most ideal actuator material for artificial muscle. We have succeeded to develop a prototype artificial tongue as well as artificial vocal cord. Further, we have developed a smart interactive textile that continuously monitors the displacement angle of human motion using ion polymer metal compound as a sensor.

研究分野：総合領域(人間医工学)

科研費の分科・細目：医用生体工学・生体材料学

キーワード：人工筋肉 アクチュエータ センサ 高分子電解質膜

## 1. 研究開始当初の背景

現在の産業用ロボット、ヒト型ロボットのほとんどが電磁モータないしは、ステッピングモータを使用している。これらのモータは、トルクが大きく、構造が比較的単純で制御が容易である極めて優れたアクチュエータであるが、重量容積が大きく、組み込みの小型化に限界がある。高分子電解質膜は、白金・金などの貴金属を構造に有するイオン交換膜で、水などの極性溶液を大量に吸収する特性があり、センサーとしてもアクチュエータとしてもその特性が注目されている素材であり、基礎研究が進んでいる。産業技術総合研究所の小黒らが初めて開発に成功したものであり、Shahinpoorらの研究では、高分子電解質膜が10%以上アクチュエーション変位を示し、4-7 Vの印加電圧により数 msecのオーダーで10-30 MPaの力を発生することが判明している。また、2 V以上の電圧を印加した時、陽極側に曲げられ、電圧を上げるに従って変位が大きくなる。動作時は無音で、交流電圧が印加された場合は、振子運動を起こし、また変位のレベルが電圧のみでなく、周波数および材料の水含有率にも依存するため、制御の可能な人工心筋のアクチュエータとして最適な材料である。製法は、Nafionなどの導電性高分子電解質を膜状にヒートプレス加工し、金錯体に浸潤した後、還元液で表面に金を析出して膜の両面にめっきを施すもので、研究代表者らの研究室でも独自の工程で製作している。

## 2. 研究の目的

本研究の研究代表者らは、平成17年度 - 平成18年度科学研究費特定領域研究(公募研究)「電解質膜アクチュエータを用いた人工気管開発の基礎研究」、平成19年度 - 平成20年度科学研究費特定領域研究(公募研究)「高分子電解質膜を用いた次世代医療用アクチュエータの開発」を進展させ、実用可能な医療用ソフトアクチュエータの開発を目指すとともに、電磁モータ、ステッピングモータになり新しいパラダイムのアクチュエータの応用展開を目標とした。

平成17年度 - 平成18年度科学研究費特定領域研究「電解質膜アクチュエータを用いた人工気管開発の基礎研究」では、高分子電解質膜アクチュエータの基礎特性の評価と発生応力の改善を目標とした。その結果、高分子電解質膜アクチュエータの発生応力は、膜厚に比例する容量性の特性を有するものであること、Nafion Resinをヒートプレスして加水分解する過程で、膜厚を任意に調整できるだけでなく、曲率を持った膜など任意形状への加工が可能であるこ

とを明らかにした。また、ガルバノスタットを並列に稼働させることにより、複数の電解質アクチュエータによる、協調動作が可能であることが示された。これらの諸特性が能動的に痰を排出する人工気管のプロトタイプを作成した。

平成19年度 - 平成20年度科学研究費特定領域研究(公募研究)「高分子電解質膜を用いた次世代医療用アクチュエータの開発」では、高分子電解質膜アクチュエータの発生応力を調節する製造過程を開発し、複数の膜による能動人工気管の試作に成功した。具体的には、Nafion Resinをヒートプレスする工程においてプレス前のプレヒート時間を設けて高分子の配列を整列することにより、発生応力を調整できることがわかった。また、プログラムされ、DA変換された信号出力により複数のガルバノスタットを駆動することにより、複数の電解質膜によって進行波を構成して物質移動を実現できることが示された。

平成21年度 - 平成25年度は、人工筋肉プロトタイプモデルの作成、すなわち骨格筋モデル、人工舌モデル、人工声帯モデルの作成を目標とした。

## 3. 研究の方法

平成16年度 - 平成19年度科学研究費基盤研究(C)で導入したヒートプレス機を用いて、任意形状、任意膜厚に成形したナフィオン高分子に金メッキを施し、高分子電解質膜を形成し、導出電極を形成して複数の高分子電解質膜をアクチュエータユニットに構成する。この際、中心軸となる軸体ないし弾性体に電解質膜を固定する。また、この高分子電解質膜に対して給電する電極装着技術を開発する。はんだを用いない、導電性塗料(ドータイト)を使った電極圧着技術を開発し、低温での電解質膜への電極固定技術を開発する。

また、高分子電解質膜をアクチュエータとして駆動する制御アルゴリズムを開発し、その特性を解析する。研究代表者(伊原)は、高分子電解質膜アクチュエータユニットの設計を行い、研究分担者(中村)は、高分子電解質膜アクチュエータユニットの製作、実装、特性計測を行う。またマルチチャンネルガルバノスタットによる複数膜

の駆動による収縮・伸展機構を移植し、実用化を図る。

次に、等尺性張力測定ユニットを用いて、高分子電解質膜による索状構造体の発生張力を測定する。これは変位を一定に保った状態での発生張力を測定する装置で、アクチュエータとしての基礎特定の解析に用いる。

高分子電解質膜は、アクチュエータとして動作するだけでなく、変位を加えると電圧を発生するセンサとしても機能する。高分子電解質膜による索状構造体の制御用に変位依存性の起電力を同時に測定して高度な制御手法を開発する。センサ出力は、高精度振動発生装置により、周波数、変位に応じたセンサ特性を測定する。高分子電解質膜をアクチュエータ・センサ複合体ユニットとして構成した際の動作特性も検証する。ヒートプレス工程では、プレス前の加熱時間（プレヒート時間）によって、膜の特性が変化する。プレヒート時間の異なる膜について、その容量特性を測定し、また膜の内部構造を検証することにより、分子構造の違いと発生張力との関係を解明する。高分子電解質膜の等価回路モデルを構築し、測定値との整合性を検討した。また、人体の計測値に合わせた人工舌、人工声帯をシリコンによって作成し、これに IPMC を組み込んで動作させる方法を開発した。

#### 4. 研究成果

イオンポリマーメタル複合体による人工舌プロトタイプモデルおよび、人工筋肉駆動声帯プロトタイプモデルの開発に成功し、実現可能性の高い人工筋肉開発に前進がみられた。さらに、イオンポリマーメタル複合体をセンサとして用い、衣料に組み込んでヒトの動作を連続測定するスマートインタラクティブテキスタイルの開発に成功した。はんだを用いない電極圧着技術の開発にも成功し、これらの技術を組み合わせて実用化を図る。イオンポリマーメタル複合体の発生力をロードセルと等尺性張力測定装置による膜力学特性測定で比較した。平成 12 年度より、助成を頂いた「イオンポリマーメタル複合体を用いた人工心筋開発の基礎研究」により整備した、ヒートプレス、加熱攪拌器、定温振盪器、精密天秤を利用して膜めっきを行なった。膜力学特性計測用には、ポテンショスタットを用いて定電流・定電圧を維持した方形波による応答特性を、既存の等尺性張力測定装置、等張性変位測定装置により測定した。成果を国際学会、計測自動制御学会 SI 部門、国際学会（IEEE EMBS）、計測自動制御学

会 SI 部門、および東京ビッグサイトテクノフロンティア 2013 モーションエンジニアリング展に発表し、評価を得ることができた。

#### 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 3 件)

[1] Tadashi Ihara, Taro Nakamura, and Kinji Asaka: Actuation of model phalanges by ion polymer metal compound, *Advances in Science and Technology*, 69-74, 2013.

[2] Taro Nakamura, Tadashi Ihara, Takashi Horiuchi, Toshiharu Mukai, and Kinji Asaka: Measurement and Modeling of Electro-Chemical Properties of Ion Polymer Metal Composite by Complex Impedance Analysis, *SICE - Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 2, 6, 373-378, 2009.

[3] Tadashi Ihara, Taro Nakamura, Yoshito Ikada, Kinji Asaka, Keisuke Oguro, Naoko Fujiwara: Application of a Solid Polymer Electrolyte Membrane-Gold to an Active Graft, *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Muscle*, , 2004.

〔学会発表〕(計 14 件)

[1] 中村 太郎, 伊原 正, 安積 欣志: IPMC を用いた関節運動用スマートテキスタイルの開発, 第 14 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 2452-2454, 神戸, 2014.12.20.

[2] 伊原 正, 中村 太郎, 安積 欣志: 高分子電解質膜 IPMC を用いた人工声帯, 第 14 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 2463-2464, 神戸, 2014.12.20.

[3] Taro Nakamura, Tadashi Ihara, Kinji Asaka: Smart Textile Device using Ion Polymer Metal Compound, 35th Annual Internat. Conf. of the IEEE EMBS, 567-570, 大阪, 2013.7/4.

[4] 伊原 正, 中村 太郎, 安積 欣志, 向井利春: イオン導電性高分子アクチュエータを用いた舌運動模擬装置の開発, 第 13 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 1121-1122, 博多, 2012.12.18.

[5] 中村 太郎, 伊原 正, 安積 欣志, 向井利春: IPMC を用いたスマートテキスタイル素子の開発, 第 13 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 1123-1125, 博多, 2012.12.18.

[6] 伊原 正, 中村 太郎, 向井 利春, 安積 欣志: IPMC を用いた複数関節駆動型人工筋肉, 第 12 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 1556-1557, 京都, 2011.12.24.

[7] 中村 太郎, 伊原 正, 向井 利春, 安積 欣志: IPMC を用いた人工管腔臓器の試作, 第 12 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 1554-1555, 京都, 2011.12.24.

[8] 安江一修, 山本隆行, 伊原 正: 顆粒球吸着療法 5 日間連続施行の安全性の検討, 第 32 回日本アフエレーシス学会学術大会抄録集, 142, 東京, 2011.10.1.

[9] 中村 太郎, 伊原 正, 堀内 孝, 向井 利春, 安積 欣志: IPMC センサの起電力計測とセンシングメカニズム, 第 11 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 764-765, 仙台, 2010.12.23.

[10] 伊原 正, 中村 太郎, 堀内 孝, 向井 利春, 安積 欣志: 関節駆動型 IPMC アクチュエータ, 第 11 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 766-767, 仙台, 2010.12.23.

[11] Tadashi Ihara, Taro Nakamura, Takashi Horiuchi, Toshiharu Mukai, and Kinji Asaka: Medical Application of IPMC Actuator and Sensor for artificial muscle (Invited Speech), 5th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nano-Bio, 4th Conference on Artificial Muscle, 大阪, 2009.11.27.

[12] 中村 太郎, 伊原 正, 堀内 孝, 向井 利春, 安積 欣志: IPMC を用いた多関節ロボットセンサ, 第 10 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 595-596, 東京, 2009.12.24.

[13] 伊原 正, 中村 太郎, 堀内 孝, 向井 利春, 安積 欣志: IPMC を用いた疑似筋肉型アクチュエータ, 第 10 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会論文集, 598-599, 東京, 2009.12.24.

[14] Hitsumoto, Shin; Ihara, Tadashi; Morishima, Keisuke : A miniaturized cell stretching tool using Ionic Polymer Metal Composites actuator , Materials Research Society Symposium Proceedings , pp.1097-1097 (GG03-03), San Francisco, 2008.3.26.

〔図書〕(計 3 件)

[1] 伊原 正, 中村太郎: 第 3 章 第 10 節 高分子電解質膜を用いた次世代医療用アクチュエータの開発, アクチュエータ研究開発の最前線, 樋口俊郎, 大岡昌博, エヌ・ティー・エス, 東京, 2011.

[2] 伊原 正: 高分子アクチュエータ/センサの医療応用, 未来を動かすソフトアクチュエータ—高分子・生体材料を中心とした研究

開発, 長田義仁, 田口隆久 (監修), シーエムシー出版, 東京, 2010.

[3] Tadashi Ihara: Next Generation Medical Actuator Using Ion Polymer Metal Compound, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, T.Higuchi, K.Suzumori, S.Tadokoro (Eds.), Springer, London, 2010.

〔産業財産権〕  
○出願状況 (計 0 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 0 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  
<http://yokota-www.pi.titech.ac.jp/index-A.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者 伊原 正  
鈴鹿医療科学大学 (教授)

研究者番号 : 70261039

(2) 研究分担者 中村太郎  
鈴鹿医療科学大学 (助教)

研究者番号 : 70373082

研究分担者 矢田 公  
鈴鹿医療科学大学 (教授)

研究者番号 : 80093152

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：