

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18014

研究課題名(和文)低電圧で駆動する折り紙アクチュエータの開発

研究課題名(英文)Development of origami actuator driven with low voltage

研究代表者

原 雄介(Hara, Yusuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・機能化学研究部門・主任研究員

研究者番号：90452135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：高分子アクチュエータは軽量・柔軟・成形加工性の高さを有しており、有機材料で構成されているため金属疲労が発生しない。また、ほぼ無音・無発熱で駆動することを特徴としている。高分子素材の柔軟性から、電磁モーターやギヤからなるアクチュエータと比較して、非常に柔らかい動きを簡単に作り出すことができる。本研究では低電圧で駆動する薄い形状をしたペーパーアクチュエータの開発を目指して、薄膜化が可能なPEDOT(ポリエチレンジオキシチオフェン)/PSS(ポリスチレンスルホン酸)を電極材料として採用した。絶縁層に水溶性高分子を用いることにより、全てが有機物からなるペーパーアクチュエータの作製が可能になった。

研究成果の概要(英文)：Polymer actuator has light weight, flexibility, high molding manufacturing, and does not occur the metal fatigue because of organic materials. It is also characterized by driving with silent and no heat generation. Due to the flexibility of polymeric materials, very soft movements can be easily produced compared to actuators comprising electromagnetic motors and gears. In this research, we aimed to develop a capacitor type paper actuator with a very thin shape driven by low voltage. To develop such a soft actuator, PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)) / PSS (poly(styrenesulfonate)) was adopted as an electrode material of the paper actuator. The polymer actuator adopted a water-soluble polymer as the insulation layer. By using the PEDOT / PSS thin film and the insulating layer made of the water soluble polymer, we developed the thin polymer actuator.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：アクチュエータ 高分子 導電性高分子 キャパシター ソフトアクチュエータ ソフトロボット マニピュレーター

## 1. 研究開始当初の背景

高分子アクチュエータは、軽量で柔軟性があり、成形加工性の高さを有することを特徴としている。また、有機材料で構成されているため金属疲労が発生することがなく、ほぼ無音・無発熱で駆動する。高分子素材の柔軟性から、電磁モーターやギヤなどから構成されるアクチュエータと比べて、非常に柔らかい動きを簡単に作り出すことも特徴として挙げられる。このような高分子アクチュエータの特徴を活かして、生物模倣型のソフトアクチュエータやソフトロボットの研究開発が活発に行われている。また高分子アクチュエータは筋肉同様にスケール普遍性を有するため、微小化しても駆動させることが可能である。このような特徴は筋肉と同等であり、スケールによらず同程度の効率で力を出すことができる。高分子アクチュエータのスケール普遍性から、マクロなアクチュエータの開発に成功すれば、微細化しても同様の動きが得られる。このような特徴を活かせば、昆虫のように小さなロボットなどへ応用することも可能である。

## 2. 研究の目的

近年、半導体微細加工技術の発展から微細空間で活躍するマイクロアクチュエータへの期待が高まっている。高分子アクチュエータのスケール普遍性を利用して、微細空間で働くマイクロアクチュエータへの応用が活発に行われている。このような研究は当初、マイクロ空間で物体を掴むことが可能なマイクロマニピュレータなどへ応用された。このようなアクチュエータとしてこれまで、高

分子ゲルアクチュエータ、イオン交換膜 (Ionic Polymer Metal Composite(IPMC)) 導電性高分子などに代表される高分子素材を用いたソフトアクチュエータが開発されてきた。特にイオン交換膜で知られるナフィオン膜に白金メッキを施した IPMC の研究が活発に行われ、イーメックス社を中心として実用化検討も行われている。しかしながら IPMC はナフィオン膜上に絶縁破壊なく白金メッキをする必要があることから、特殊なメッキ技術を有していないとアクチュエータの作製が難しかった。本申請課題では、これまで開発されてきた電気二重層キャパシタータイプの高分子アクチュエータの欠点を改善するため、キャストのみのプロセスで誰でも簡単に作製可能な高分子アクチュエータの開発を目指した。

## 3. 研究の方法

本申請課題では、導電性高分子 PEDOT(ポリエチレンジオキシチオフェン) / PSS (ポリスチレンスルホン酸) 薄膜をフレキシブル電極として採用したペーパーアクチュエータの開発を目指して検討を行った。PEDOT / PSS は水溶性高分子であり、界面活性剤や少量の有機溶媒を添加して乾燥させることにより、高い導電率を有する薄膜を作製可能である。本研究では、アクチュエータの電極材料である導電性高分子 PEDOT/PSS 薄膜の合成検討および強度・耐久性の向上検討を行った。また、電気二重層キャパシタの絶縁層には水溶性高分子を採用し、評価・検討を行った。

#### 4. 研究成果

PEDOT/PSS 水分散液に少量の界面活性剤を導入することにより、キャストプロセスによって非常に薄い薄膜が作製可能であること確認した。キャストプロセスによって作製した導電性高分子薄膜に、絶縁層となる水溶性高分子を塗って乾燥させるだけで、電極間を強固に接着可能なことが明らかになった。このことから、水溶性高分子は絶縁層を PEDOT / PSS 薄膜電極間に形成するだけではなく、電極間を接着させる糊として活用可能なことが分かった。このような電気二重層キャパシタータイプのアクチュエータの作製では、電極と絶縁層をしっかりと吸着させることが重要である。糊となる部材を新たに添加する必要があると、厚みが増してしまうとともに、組み立て工程の煩雑化やアクチュエータの高コスト化につながってしまう。本研究で開発した水溶性高分子は、絶縁層と糊の役目を同時に果たすことで、このような問題を解決できたといえる。

アクチュエータを駆動させるためには電圧の印加後、絶縁層内にあるイオンが移動してマイナス極とプラス極に存在するイオン数を不均衡にさせる必要がある。そのため、絶縁層を常に水で濡らしておく必要性が生じるが、駆動を続けるとジュール熱により水が蒸発し駆動変位が減衰してしまうことが明らかになった。また水が電気分解するため、あまり大きな電圧がかけられないことも明らかになった。溶媒の蒸発が起こりにくいイオン性液体を採用もしたが、PEDOT / PSS 薄膜との相性が悪く、本研究ではうまくアクチュエータ素子を作製することができなかつ

た。そこで本研究では、水の蒸発を防ぐため、非常に薄くやわらかい高分子膜でアクチュエータを包むなどして駆動耐久性の向上を狙った。また PEDOT / PSS 薄膜の強度を調整することで、折り紙のように折って使用することが可能なアクチュエータへ進化させることができないかについて、検討を行っている。このような手法を確立することができれば、その形状や駆動特性を 3 次元的に空間デザインすることも可能である。最終的には、新規アクチュエータをマイクロ空間で複雑な動きを簡便に作り出すことができるよう発展させることを目標とし、得られた知見を基に今後も継続的な研究開発を行っていきたい。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- 1 .H. Shigemune, S. Maeda, Y. Hara, N.Hosoya, S. Hashimoto “Origami Robot: A Self-Folding Paper Robot With an Electrothermal Actuator Created by Printing”, IEEE-ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, 21(6), pp. 2746-2754, 2016. (査読：有り)

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 原 雄介 “化学反応を駆動源とするケミカルアクチュエータの開発” 早稲田大学 理工学研究科 講演会 (H.29.3 早稲田大学)
2. 原 雄介 “時空間機能を有するゲルアクチュエータの開発とケミカルロボティクスの開拓研究” 岐阜大学 公開講演 (H.28.12 岐阜大学)

3. 原 雄介 “即時診断を目指したポンプ  
一体化型マイクロ流路の開発” 第6  
回CSJ化学フェスタ2016(H.28.11  
タワーホール船堀)
4. 原 雄介 “ゲルポンプ一体化型マイク  
ロチップの開発 とポータブル燃料電池  
チップへの応用” 未来のコロイドおよ  
び界面化学を創る若手討論会 (H.27.9  
ホテルウェルビューかごしま)
5. 原 雄介 “マイクロポンプへの応用を  
目指したソフトアクチュエータの開発”  
2015年若手の会サマースクール  
(H.27.8 ライオン伊豆高原研修センタ  
ー)

〔図書〕(計0件)

〔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〕

なし

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

原 雄介 (HARA, Yusuke)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・機能

化学研究部門・主任研究員

研究者番号：90452135

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：

(4)研究協力者

( )