

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420209

研究課題名(和文) イオン導電性高分子を用いたセルラーアクチュエータの構築と制御

研究課題名(英文) Development and control of cellular actuators with ion-conductive polymers

研究代表者

釜道 紀浩 (Kamamichi, Norihiro)

東京電機大学・未来科学部・准教授

研究者番号：70435642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、イオン導電性高分子・貴金属接合体(Ionic polymer-metal composite: IPMC)と呼ばれる高分子アクチュエータの特性変動や個体差を考慮したロバストな制御手法の構築を目的に研究を実施した。多数のアクチュエータ素子を接続した集積化素子に対して、セルラーアクチュエータ制御手法を適用した。実験により個々の素子の個体差や特性変動があっても制御可能であることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the research is to control ionic polymer-metal composite (IPMC) actuators with considering the individual difference and variations of response characteristics. A cellular actuator concept and its control method were applied to the IPMC integrated actuator devices which consist multiple IPMC segments with parallel/series connections. The validity of the applied methods was investigated through experiments.

研究分野：制御工学

キーワード：高分子アクチュエータ 機能性高分子 ソフトアクチュエータ 制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 電気刺激に対して変形応答する電場応答性高分子材料(Electro-active polymer: EAP)は、柔軟で軽量なソフトアクチュエータである。生物のようなしなやかな動作をすることから「人工筋肉」とも呼ばれ、高分子の優れた成形性からも応用が期待されている。EAPの一つである、イオン導電性高分子・貴金属接合体(Ionic polymer-metal composite: IPMC)はイオン導電性樹脂の表面に金や白金などの金属を接合したものであり、1~2V程度の低電圧で屈曲変形する。応答性に優れ、実用化が期待されている。

(2) しかし、単一の素子では発生力は小さく、変形量も限定される。素子の膜厚を増大させれば、発生力は増大するが、応答速度や変形量は減少する。発生力や変形量とともに増大させるためには、素子を直列/並列に接続し、集積化するなどの工夫が必要である。

(3) IPMCは、電場駆動の素子であることから簡単な駆動系やPID制御などの単純な制御手法により制御可能であるが、高分子の不均一さから生じる個体差や、動作環境の変化による動特性変動が生じる。そのため、高精度に制御するためには、動特性の変動に対してロバストな制御系を構築することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、IPMCと呼ばれる高分子アクチュエータの特性変動や個体差を考慮し、ロバストな制御手法の構築を目指す。多数のアクチュエータ素子を接続して、集積化素子として利用する場合を想定し、個々の素子に個体差がある場合でも、全体として望みの制御性能を実現するため、セルラーアクチュエータ制御手法をベースにした制御方法を適用する。特性変動に対するロバスト化だけでなく、特性の異なる素子を組合せ、応答特性の向上や効率的な駆動方法の実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、個々のアクチュエータに特性変動がある場合においても、それらの素子を多数接続したアクチュエータ全体として望みの制御性能を実現するための制御方法の確立を目指す。IPMCを多数並列に接続した状況を想定し、上田らが提案しているセルラーアクチュエータ制御(引用文献)を適用する。

セルラーアクチュエータは筋肉の構造をイメージしたもので、セルと呼ばれる内部に分散コントローラを持つアクチュエータを複数、直列もしくは並列に接続したアクチュエータである。図1にセルラーアクチュエータのブロック図を示す。分散コントローラは、ON/OFFの切り替えのみを行う単純な制御器で、中央コントローラより各セルへブロード

キャストする信号の強弱に応じてON/OFFを確率的に遷移させる。各分散コントローラは他の素子の状態や個体差を考慮しない。また、中央コントローラも各素子の状態や特性変動を考慮せずに制御できる。

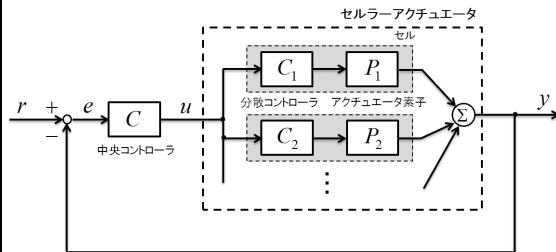


図1 セルラーアクチュエータのブロック図

(2) 本研究の開始時点においては、数値シミュレーションによりセルラーアクチュエータ制御手法の有効性を確認していた。本研究では、これらの基礎的な研究結果を元に、主に実験において有効性を検証するとともに、コントローラの設計法や集積化デバイス製作法を確立するための検討を加える。具体的には以下の通りである。

セルラーアクチュエータ制御の検証:

数値シミュレーションと実験により制御手法の有効性を検証する。IPMCの応答モデルを考慮して、分散コントローラおよび中央コントローラの設計法を検討する。変位制御と力制御の双方において制御性能を評価する。

特性の異なる素子を組み合わせた場合の応答特性の検証:

IPMCは高分子内のカウンターイオンの種類によって、応答特性が変化する。異なる特性の素子を適切に組み合わせることで、制御性能の広帯域化が可能であるかを確認する。

集積化デバイス作製法の確立:

多数の素子を直列/並列に接続した素子を構築するための作製方法を検討する。電極のパターニングや積層手法を検討するとともに、多数の素子を駆動するための電極の接続方法についても検討し、作製法の確立を目指す。

<引用文献>

上田淳、筋肉を規範としたアクチュエータの確率的な制御、日本ロボット学会学会誌、Vol. 29、No. 5、2011、431-434

4. 研究成果

(1) 研究の方法(2)にて述べた項目に沿って主な研究成果を述べる。

セルラーアクチュエータ制御の検証:

多数のIPMC素子を並列に接続して作製した

集積化素子に対して、セルラーアクチュエータ制御手法を適用し、実験において変位制御および力制御が可能であることを確認した。個々の素子ごとに特性が異なっているが、その特性の個体差や変動を考慮せずに安定に制御可能であることが確認できた。また、消費エネルギーと追従誤差の観点から分散コントローラの適切なゲイン設定の指針を確認した。

特性の異なる素子を組み合わせた場合の応答特性の検証:

高分子内部のカウンターイオンの種類を変えて特性の異なる素子を準備し、それらを組み合わせた素子を用いた際の応答の違いを検証した。応答が速い素子(例えばカウンターイオンにナトリウムイオンを用いた素子)と応答が遅いが定常値が大きく応力緩和もない素子(例えばカウンターイオンにテトラエチルアンモニウムイオンを用いた素子)を組み合わせることで、双方の特長を合わせた結果となることを確認した。個々の特性を考慮せずに制御可能である点に加え、あえて個々の特性に変化をつけることで、集積化素子全体で特性を向上できる点も特長である。

集積化デバイス作製法の確立:

レーザ加工技術を用いて、素子表面の電極パターンニングを行い、1枚のIPMCフィルムで並列配置した集積化素子を製作した。製作した素子を用いて制御実験を行い、変位および発生力の制御が可能であることを確認した。図2に製作例を示す。



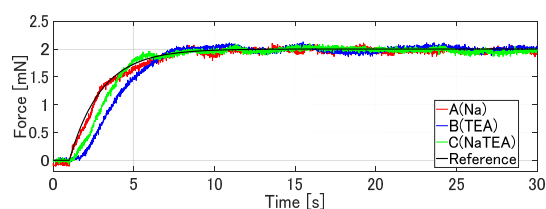
図2 レーザパターンニングにより製作した素子例

(2) 制御実験の結果を図3に示す。この実験では、24枚のIPMC素子を並べ、先端部をプラスチック板で固定して接続した素子を用いている。その先端部のプラスチック板の中央部に発生する力を、ひずみゲージを用いて測定した。この実験では、発生力をコンピュータに取り込み、それぞれの素子のON/OFFの切り替えを計算しているが、各素子の状態は考慮せず測定した発生力のみで切り替えを行っている。

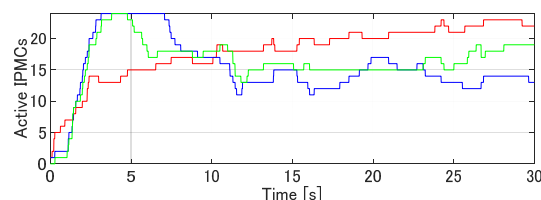
図3に示す実験結果のグラフでは発生力とON状態の個数を示している。発生力のグラフより目標値に対して追従していることがわかる。ON状態の個数が変動しており、切り替え

が行われていることがわかる。また、この実験結果では、IPMC内部のカウンターイオンの種類と割合を変更して3パターンの結果を示している。Aは全てがNa(ナトリウム)イオンの場合、Bは全てがTEA(テトラエチルアンモニウム)イオンの場合、CはNaとTEAを半数ずつ用いた場合である。

Naイオンの素子は、応答は速いものの、応力緩和があり、徐々にONの素子数が増えていき、長時間発生力を維持することは難しい。TEAイオンの素子は、応答は遅いものの、発生力を維持することが可能である。半数ずつ混ぜた場合は、応答速度も速く、発生力も維持できていることがわかる。



(a) 発生力



(b) ONの素子数

図3 発生力制御の実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計5件)

K. Kimura, N. Kamamichi, Experimental Verification of Displacement Control on Integrated Ionic Polymer-Metal Composite Actuators with Stochastic On/Off Controller, SPIE Smart Structures/NDE, 2017年3月27日、ポートランド(アメリカ)

K. Kimura, N. Kamamichi, Force Control of Integrated Ionic Polymer-metal Composite Actuators with Stochastic ON/OFF Controller, 10th Asian-Australasian Conference on Composite Materials, 2016年10月17日、釜山(韓国)

木村佳史郎, 釜道紀造, 確率的ON/OFF制御による集積化IPMCアクチュエータの力制御, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016年9月14日、九州大学(福岡県福岡市)

倉科志帆, 釜道紀造, セルフチューニン

グ制御による IPMC アクチュエータ変位制御の実験検証、第 33 回日本ロボット学会学術講演会、2015 年 9 月 3 日、東京電機大学（東京都足立区）
倉科志帆、釜道紀浩、セルフチューニング制御による IPMC アクチュエータの変位制御、第 15 回システムインテグレーション部門講演会、2014 年 12 月 15 日、東京ビックサイト（東京都江東区）

〔図書〕(計 1 件)

釜道紀浩、シーエムシー出版、実用化に向けたソフトアクチュエータの開発と応用・制御技術（開発研究編 2 章「特性変動を考慮した高分子アクチュエータの制御」、2016、238（150-159）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

釜道 紀浩 (KAMAMICHI, Norihiro)
東京電機大学・未来科学部・准教授
研究者番号： 7 0 4 3 5 6 4 2

(2) 研究協力者

井上 勇志郎 (INOUE, Yushiro)
倉科 志帆 (KURASHINA, Shiho)
木村 佳史郎 (KIMURA, Keishiro)