

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：32657
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17K06275
研究課題名(和文) センサ・回路統合型高分子アクチュエータ素子の開発と小型流体デバイスへの応用

研究課題名(英文) Development of sensor-circuit integrated polymer actuator and its application to small-sized fluid device

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：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素子は、柔軟・軽量で成形性にも優れる。低電圧駆動が可能であり、駆動部の小型化が可能である。しかしながら、駆動回路を含めて全体を小型化するためには、電極部の配線や駆動回路の実装が課題となる。本研究では、IPMC表面の電極層を回路基板として利用し、駆動回路を素子上に実装する方法を検討した。回路統合型アクチュエータの構築方法を検証するとともに、流体デバイスなどの小型素子を試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電場応答性高分子材料(Electro-active polymer: EAP)に関する研究は、盛んに行われており、応答性や耐久性など実用に近い材料も開発されている。本研究で対象としたIPMCは、アクチュエータとセンサの両機能を有しており、応用の分野は広い。本研究では、IPMCの薄膜、軽量である点や成形性に優れた点を有効利用した先端的応用事例であると考えられる。実用化のためには、電極の取り付けや配線などが課題となるが、本研究での取り組みは、他の材料でも共通の課題解決方法となりうると思う。

研究成果の概要(英文)：The ionic polymer-metal composite (IPMC), one of the high polymer gel actuators, is soft and flexible material and has good formability. It can be activated in low applied voltage, and can construct minimized devices. However, to realize minimized whole devices with driving system, some problem on miniaturization of driving circuits and wiring connection remain. In this study, we investigate fabrication methods of circuits-integrated IPMC actuator, and prototype some devices such as fluid pump.

研究分野：ロボット工学

キーワード：高分子アクチュエータ 機能性高分子 ソフトマテリアル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

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、柔軟で軽量のソフトアクチュエータとして注目されている。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 材料には、様々な種類が存在するが、その中でもイオン導電性高分子・貴金属接合体(Ionic polymer-metal composite: IPMC)は応答性に優れ、実用化が期待されている。IPMC はイオン導電性樹脂の表面に金属を接合したものであり、1~2 V 程度の低電圧で屈曲変形する。材料自身が変形し、成形性にも優れているため、小型素子への期待が大きい。低電圧で駆動可能であり、駆動回路も単純で小型化が可能である。

(2) IPMC は、電気刺激に対して変形するアクチュエータとは逆に、変形に対して電気信号が発生するため、センサとしても利用可能である。このように同一素子において、アクチュエータ機能とセンサ機能の双方を有していることから、柔軟で軽量の機能性高分子材料の特長を損なうことなくセンサ・アクチュエータの一体化や制御系の構築が可能である。センサとアクチュエータを一体化した統合素子を構築するためには、電極を分割してパターニングする方法が有用である。電極パターニングは機械的切削やレーザー加工、化学的処理などが可能である。これらの手法を用いることで、電極をパターニングした数 mm サイズの小型素子が比較的容易に製作可能である。しかし、駆動系全体を含めてデバイスの小型化を実現するためには、電極部への配線やセンサ部とアクチュエータ部の電氣的干渉の解決が課題となる。

2. 研究の目的

本研究では、IPMC と呼ばれる機能性材料のセンサとアクチュエータの両機能に着目し、センサ・回路統合型アクチュエータ素子の構築方法を確立するとともに、小型流体制御デバイス等へ適用することを目的とする。レーザー加工による素子の成形と表面電極のパターニング、電極部の配線、駆動回路実装、センサ・アクチュエータ統合系のフィードバック制御における技術課題の解決を図り、小型デバイス駆動システムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) パターニング素子の構築方法の確立

IPMC の電極パターニングは、レーザー加工や機械的切削、化学処理、フォトリソグラフィ技術などが適用されている。想定している素子サイズでは1 mm 幅程度のパターニングで十分であるため、本研究では、加工の容易さや精度を考慮して、レーザー加工機を用いた電極パターニングを用いる。また、デバイス全体の小型化には、駆動回路の省スペース実装や電極部への配線が課題となる。IPMC 自体が表面に金属層を有しているため、回路基板としても利用し、IPMC 表面上に回路を実装する。

パターニング素子の構築方法を確立するため、レーザー加工を用いたパターニングの条件を検証するとともに、回路素子の接合方法を選定する。

(2) 小型素子の試作および動作検証

パターニング素子を適用した小型デバイスとして、流体ポンプや可変焦点レンズ用の駆動素子を試作する。機構や IPMC 素子形状を工夫することによって、駆動力や変位の増大を図るとともに、試作した素子・デバイスの性能評価を行う。

(3) 集積化素子のフィードバック制御方法の検証

パターニングにより、並列や直列に集積した素子を構築可能である。複数の素子を統合して駆動する集積化素子の制御方法として、これまで確率的 ON/OFF 制御(セルラーアクチュエータ制御) を適用し、変位制御や発生力制御を実現してきた。ON と OFF の 2 値入力では、電圧入力の切り替わり時に電流値が大きくなり、消費エネルギーが増大する。また、素子の分割数にも依存するが、2 値入力では出力の変動も生じ、制御性能に限界があることが課題であった。そこで、入力を 3 値やそれ以上の分割数に拡張し、制御性能の向上を図る。

4. 研究成果

(1) レーザーパターニング

IPMC の電極層に回路を実装するため、レーザー加工機を使用して IPMC 上に回路パターンを製作した。レーザー加工機のレーザー光の強度や移動速度を適切に設定することで、IPMC 表面の電極層のみを除去し、回路パターンを形成可能であることを確認した。また、加工条件のパラメータを調整することで、IPMC を任意の形状に切断加工することも可能であることを確認した。

(2) 接着方法

IPMC 上に回路を接合する必要があるため、接着方法の選定を行った。はんだ付けによる接合や銅テープによる接着、導電性接着剤を用いた接着の 3 つの方法を比較した。はんだ付けを用いた場合は、はんだ付けの際の熱により IPMC 表面の金メッキ電極が剥がれ、IPMC が動作しなくなる現象が生じた。銅テープを用いた場合は、はんだ付けのように IPMC 上の電極は剥がれることは

ないが、テープの粘着力が弱く素子が取れやすいことがわかった。導電性接着剤を用いた場合は、はんだ付けのように IPMC 上の金メッキが剥がれることなく、銅テープよりも粘着力が強く素子を接合可能であることが確認できた。これら比較の結果から、本研究の試作では導電性接着剤を用いることにした。

(3) 回路統合型 IPMC の試作・検証

レーザー加工による回路パターニングと回路素子の接着方法を検証のため、LED 点灯回路を試作して、動作検証を行った。試作した素子を図 1 に示す。全体の大きさは $6 \times 22 \times 0.5$ mm、回路部は $6 \times 10 \times 0.5$ mm、駆動部は $3 \times 12 \times 0.5$ mm である。パターニングした IPMC の表面に、LED、抵抗、トランジスタ、フォトトランジスタを導電性接着剤で接合している。回路素子は全て片面に設置している。IPMC は両面の電極層に対して電圧を印加することで駆動できる。そのため、IPMC の一部分に穴を空け、穴の中に導電性接着剤を挿入することにより表面と裏面を導通し、外部配線を使用せずに駆動部分の裏面に + 極の電圧を導通させている。

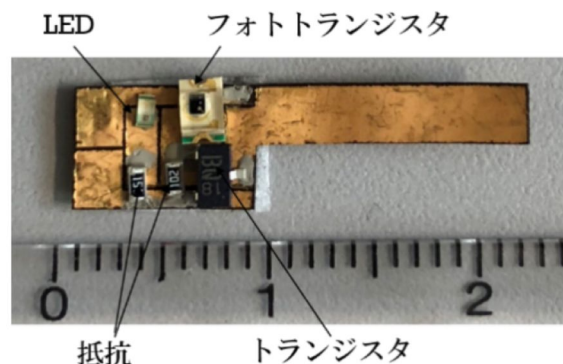


図 1 回路統合型 IPMC 素子の試作 (LED 点灯回路)

この回路は、発光している LED の光をフォトトランジスタが検知すると、駆動部の IPMC に電圧が印加され駆動する。フォトトランジスタに物体を接近させて、反射光が入るようにすることで、駆動部の IPMC に電圧が印加され、屈曲変形することを確認した。

(4) 小型素子の試作・検証

レーザー加工によるパターニングを施した素子を用いて、小型デバイスを試作し、その動作検証を行った。図 2 は、可変焦点レンズ駆動用素子であり、中央部にあるシリコン製柔軟レンズの周囲に IPMC で力を加えて変形させ、焦点を調整することができる。図 3 は、ダイアフラム型素子を用いた小型ポンプである。IPMC の分割数を増やし駆動性能の比較を行い、分割数が多い素子の方が、中心部の変形量が大きくなり、流量も増加することを確認した。

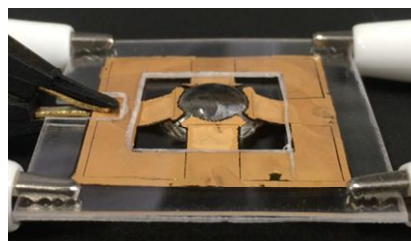


図 2 可変焦点レンズ駆動用素子



図 3 ポンプ駆動用ダイアフラム型素子(左:ポンプ、右:パターニングした IPMC)

(5) 集積化素子のフィードバック制御方法の検証

確率的 ON/OFF 制御 (セルラーアクチュエータ制御) は、中央コントローラと分散コントローラの 2 つで構成する。中央コントローラは、誤差信号などのブロードキャスト信号を一様に分散コントローラへ送信する。分散コントローラは受信したブロードキャスト信号をもとに、IPMC アクチュエータの状態を OFF から ON に、また、ON から OFF に確率的に遷移させることで切り替える。入力の切り替えを ON と OFF の 2 値入力から、3 値に増やして制御性能の向上を検証した。数値シミュレーションにより追従性能を評価したところ、ゲインの設定方法にも依存するものの、平均二乗誤差の評価において性能が向上することが確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 木村佳史郎, 釜道紀浩	4. 巻 83
2. 論文標題 確率的ON/OFF制御を用いた集積化イオン導電性高分子アクチュエータの変位制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 p. 17-00328
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1299/transjsme.17-00328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青木駿弥, 釜道紀浩
2. 発表標題 回路統合型IPMCアクチュエータの試作
3. 学会等名 第19回システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考