

機関番号：32657

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760204

研究課題名 (和文) プリント手法を利用した高分子アクチュエータ/センサの開発とその応用

研究課題名 (英文) Development of Polymer Gel Actuator/Sensor with Printing Technology

研究代表者

釜道 紀浩 (KAMAMICHI NORIHIRO)

東京電機大学・未来科学部・助教

研究者番号：70435642

研究成果の概要 (和文)：本研究では、「バッキーゲル素子」と呼ばれる、カーボンナノチューブとイオン液体、高分子材料で構成されるソフトアクチュエータ/センサ素子のプリント手法による作製法について基礎的検討を行った。バッキーゲル素子の成型過程において、プリント技術を適用することで、通常の手作業では実現が困難な精度で製作することが可能となる。小型素子や複雑な形状の素子、また、電極のパターニングによる新たな機能を持つ素子を作製し、応用の可能性を検証した。

研究成果の概要 (英文)：In this research, printing fabrication methods of bucky gel devices are verified. Bucky gel devices are polymer gel actuators/sensors, and consist of carbon nanotubes, ionic liquids and polymers. We constructed the printing system, and the manual forming process is replaced with automatic printing. We investigate the printing of complicated shapes and three-dimensional electrode patterns through experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：ロボット工学、制御工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：ソフトメカニクス、機能性高分子、高分子アクチュエータ、センサ

1. 研究開始当初の背景

(1) 機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路などを集積した微小デバイスである MEMS(micro electro mechanical systems) において、それぞれが全てプリンタブル素子で実現されれば、実装が容易となり、応用の

範囲は拡大する。とくに、プリンタブルアクチュエータについては、意欲的に開発が行われている。

(2) 電気刺激に対して変形応答する電場応答性高分子材料(Electroactive 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きた。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。

(3) カーボンナノチューブとイオン液体をポリマーに固定化した電極で、電解質層を挟んだ構造の「バッキーゲル素子」と呼ばれる新たな EAP 材料が T. Fukushima, K. Asaka らによって開発された。この素子は、低電圧で屈曲変形し、不揮発性のイオン液体を用いていることから、空気中で長期間安定して動作する。この素子は、変形に対して電気信号を発生することから、センサとしても利用可能である。また、素子の作製方法も容易であり、電極材料、電解質材料のそれぞれを溶媒に混ぜた溶液を順々にキャストし、フィルム状に成形した後に溶媒を乾燥させることで作製可能である。プリントにより作製できるプリンタブル素子として応用できると期待されている

2. 研究の目的

本研究では、高分子素材のアクチュエータ/センサのプリント技術（インクジェット技術）を用いた素子作製法を確立し、作製した素子の動特性を検証するとともに、小型ロボットなどの機械システムへの応用を目的としている。対象としている素子は、上記の「バッキーゲル素子」である。従来は、型枠に流し込むキャスト法で成型し、作製されてきた。そのため、バッキーゲル素子の膜厚を均一に保つことや、複雑で細かなパターンを高精度に実現することは困難であった。

本研究では各層の材料を成型する過程において、プリント技術を適用し、通常の手作業では実現が不可能な小型素子や複雑な形状の素子、また、電極のパターニングによる新たな機能を持つ素子を作製し、応用の可能性を検証する。

3. 研究の方法

(1) ディスペンサ装置を用いたプリント手法の確立：

液体材料を高精度に定量供給して塗布することが可能なディスペンサ装置を用いて、素子作製に取り組む。材料の組成、粘度等を調整し、材料の塗布条件を調整し、安定して均一にプリントする手法を確立する。また、作製した素子のアクチュエータ、または、センサとしての応答特性を計測し、作製条件の最適化を図る。

(2) インクジェットプリント手法の検討：

ディスペンサに比べて、より高精度で精密なプリントが可能となるインクジェットプリントが適用可能であるかを検討する。材料の物性評価と吐出実験を実施し、適用可能であれば、プリントシステムを構築する。

(3) パターニング素子の開発：

プリント手法の可能性の検証として、並列型素子や積層型素子など、より複雑な構造の素子や、任意形状の素子を試作する。また、バッキーゲル素子はアクチュエータ、センサの両機能を有していることから、一つの素子上でパターニングを施すことで、両機能を組み合わせた素子の利用、さらに、平面のパターンだけでなく、立体的な電極パターンについても試作・検証を行う。

4. 研究成果

(1) ディスペンサ装置を用いたプリント手法の確立：

図1に示すディスペンサ装置を用いて、高分子材料の成形プロセスを自動化するプリントシステムを構築した。連続的で安定な塗布を実現するため、材料の粘度、塗布圧力の調整、また、溶媒の調整など、塗布条件の調整を行い、安定して塗布できる条件、調整手順を確立した。その後、サンプルを試作し、アクチュエータとして動作することを確認した。

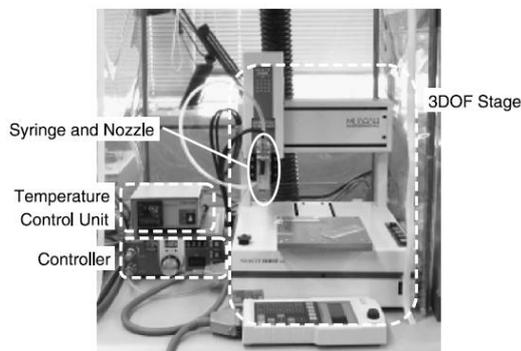


図1 ディスペンサ装置

このプリント装置は、武蔵エンジニアリング(株)製のシステムで、ディスペンサ、3軸ステージ、温度制御ユニット、コントローラから構成されている。また、ディスペンサは、空気圧吐出式を用いている。コンピュータ上のCADソフトウェアを用いて、成形パターンを設計でき、プリントパターンのプログラムデータをコントローラへ転送し、材料の印刷成形が可能である。塗布条件の調整手順は以下の通りである。

- ① 材料の混合過程において、材料の粘度を調整する。
- ② ノズル径を選定する。

③ 吐出圧力とプリント速度を調整する。

一般的には、材料の粘度と吐出圧が高い方が安定して塗布できる傾向にあるため、通常のキャスト法に比べて溶媒量を少なく設定して材料を準備した。

本装置で印刷成形したサンプルを図2に示す。図2は、電極用材料を塗布したものであるが、図2(上図)が直線状にプリントしたものである。始点と終点付近で幅が膨らみ丸まっているが、それ以外では、均一の幅・厚みでプリント可能である。また、図2(下図)は0.5 mm 間隔で5本の直線を2回ずつプリントしたものである。細線状の塗布を繰り返すことで、任意のサイズのフィルムに成形可能である。電解質材料についても、同様に塗布することができ、本装置を用いて、電極層、電解質層、電極層と重ねて塗布し、溶媒を乾燥することで、バッキーゲル素子が作製できる。

また、本装置を用いれば、曲線状などの任意の形状もプリント可能である。一例として、図3に手の形をプリントする様子を示す。手作業でキャストして作製する方法では、大きめの型枠を用いて作製し、端を切断して短冊状に加工していたが、ディスペンサを用いて素子を作製することで、直接成形可能である。

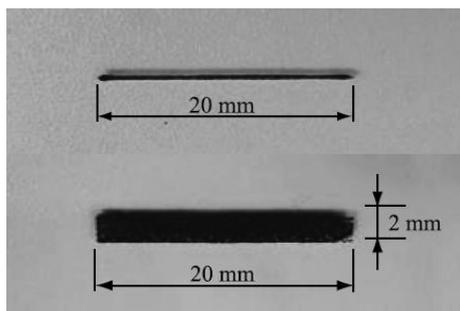


図2 印刷成形した素子(直線・矩形)

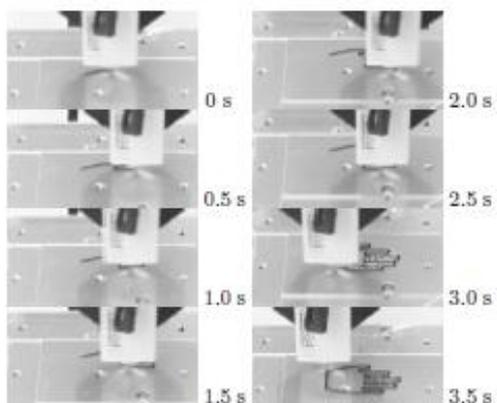


図3 印刷成形の様子

(2) インクジェットプリント手法の検討：

ディスペンサに比べて、ノズル径が小さく、より高精度に精密なパターンをプリント可能なインクジェット技術が適用可能である

か、検討を行った。

インクジェットプリントを適用するためには、まず、吐出できる範囲の液材であるかを検証する物性試験が必要である。とくに、粘性は吐出条件に大きく影響するため、材料の比率を変えた材料について、それぞれ粘度測定を行い、適用範囲内であることを確認した。カーボンナノチューブを含まない電解質層材料については、吐出試験を実施し、圧力や駆動周波数等の吐出条件を調整することで吐出可能であることが確認された。しかしながら、カーボンナノチューブを含む電極層材料については、粒径が大きくノズル径が小さなインクジェットプリントシステムでは、目詰まりが問題となり、安定して吐出することは困難な状況である。粒径が小さくなるように材料の選定や、分散の方法など作製手法のさらなる検討が必要である。

(3) パターニング素子の開発：

ディスペンサを用いたプリント装置を使用して、電極のパターニングを行い、新たな機能を付加した素子を試作し、応用可能性の検討を行った。

プリント技術を用いれば、直接任意の形状に成形可能である。センサ/アクチュエータの複合的な利用を想定して、短冊状の素子を並列に配置したものや、積層型の素子も容易に作製可能である。さらに、単純は2次元のパターンだけでなく、3次元パターンも作製可能であることが確認された。

バッキーゲル素子は、電解質層を電極層で挟んだ3層構造であり、単純に積層した構造では円弧状に屈曲するだけであるが、電極パターンを立体的な構造にすることで、多様な形状に変形する素子の作製も可能である。例えば、図4(上図)のように、電極が途中で交差する構造を実装すれば、S字型に変形する素子も作製可能である。これは、手作業のキャストでは実現が困難なものである。また、この構造を繰り返すことで、波状に変形する素子や直動伸縮アクチュエータも作製可能である。

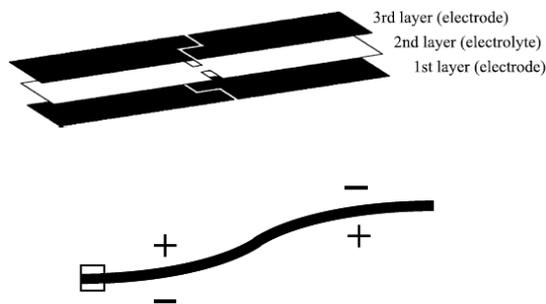


図4 3次元電極パターンニング

(上：印刷パターン、下：屈曲イメージ)

図4のパターンで各層をプリントし、3次元電極パターン素子の作製を行った。作製した素子のサイズは、31 mm×4 mm、厚みは60 μmである。図5に試作した素子を示す。また、図6に動作実験の結果を示す。膜の中心から約+3 mmの付近に電極を固定し、±3 Vの電圧を加えたときの変形を、2次元レーザ変位計を用いて計測した。各層を1回ずつしか塗布していないために、膜厚も薄く変形量も小さいが、S字型に屈曲していることが確認でき、電極層が途中で交差する立体的パターンが構築できていることが分かる。

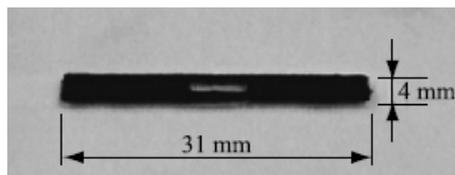


図5 3次元電極パターンニング素子

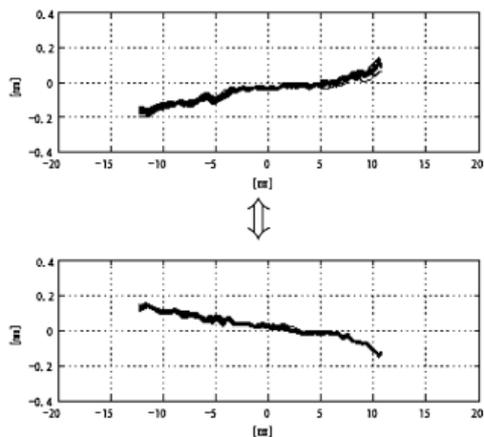


図6 動作テストの結果

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2件)

- ① N. Kamamichi, T. Maeba, M. Yamakita and T. Mukai, "Printing Fabrication of a Bucky Gel Actuator/Sensor and Its Application to Three-Dimensional Patterned Devices," *Advanced Robotics*, 査読有, Vol. 24, No. 10, 2010, pp. 1471-1487
- ② K. Takashima, N. Kamamichi, T. Yagi, K. Asaka and T. Mukai, "Cytotoxicity Test and Mass Spectrometry of IPMC," *Electronics and Communications in*

Japan, 査読有, Vol. 93, No. 1, 2010, pp. 1-8

[学会発表] (計2件)

- ① K. Tanaka, "Integrated Actuator-Sensor System of Bucky Gel Device," *SICE Annual Conference*, 2010年8月21日, 台湾
- ② 田中千博, 「高分子アクチュエータ・センサ統合系の自励駆動について」, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009年12月24日, 東京

[図書] (計1件)

- ① 釜道紀浩, 佐野滋則, 高木賢太郎, 「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)」 (第19章、第20章分担執筆), シーエムシー出版, 2010, pp. 186-209

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計1件)

名称: 直動人工筋アクチュエータおよび直動人工筋アクチュエータの製造方法

発明者: 山北昌毅, 釜道紀浩, 羅志偉, 安積欣志

権利者: 独立行政法人理化学研究所、独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特許第4385091号

取得年月日: 平成21年10月9日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

釜道 紀浩 (KAMAMICHI NOROHIRO)

東京電機大学・未来科学部・助教

研究者番号: 70435642

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし