

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14942

研究課題名（和文）高い形状自由度を持つ積層型誘電エラストマーアクチュエータの研究開発

研究課題名（英文）Development of stacked dielectric elastomer actuators with high degree of shape freedom

研究代表者

新竹 純（Shintake, Jun）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：10821746

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：積層型の誘電エラストマーアクチュエータはソフトロボティクスの技術として有望であるが、その形状は限定的で、製作には長い時間がかかり、特殊で複雑な設備が必要である。本研究では、積層型の誘電エラストマーアクチュエータの製作を極めて単純な工程で行える新しい方法として、モールディング法を提案した。そして、提案手法に基づいて製作されたアクチュエータの特性を実験や解析モデルによって明らかにするとともに、ソフトロボットへの有効性を実機の開発を通して検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、提案手法であるモールディング法に適した材料と、それらに基づいた製作条件を明らかにした。また、実験の結果、製作したアクチュエータが変位や力を出力できていることが分かり、提案手法の有効性を実証することができた。さらに、アクチュエータの解析モデルを作成し、その計算値が実験値に一致することも確認した。そして、これらの結果に基づいてソフトロボットを製作し、動作を確認することができた。本研究は、ソフトロボティクスにおける新しい製作方法を確立したところに学術的意義がある。本研究の成果がモバイルロボットやウェアラブルデバイスなどに応用されることで、ソフトロボットの社会的な普及に役立つと期待される。

研究成果の概要（英文）：Stacked dielectric elastomer actuators are a promising technology for soft robotics, but their shape is limited to a certain range of geometries. Moreover, fabrication is laborious and often requires dedicated facilities. In this study, we proposed a novel method for fabricating stacked dielectric elastomer actuators with a very simple process, the molding method. The characteristics of the actuators fabricated based on the proposed method were clarified by experiments and analytical modeling, and the effectiveness of the method for soft robotics was validated through the development of a soft robot.

研究分野：ソフトロボティクス

キーワード：ソフトロボティクス 誘電エラストマーアクチュエータ 誘電エラストマー アクチュエータ モールディング マイクロフルイディクス

1. 研究開始当初の背景

近年 柔らかい材料でロボットを作る , ソフトロボティクスの研究開発が盛んに行われている . ロボットが柔らかいという性質を持つと , 外部からのショックを吸収でき , 触れた物になじむことができる . そのため , ソフトロボットは壊れにくく , 汎用的で , ロボットを取り巻く環境や人への適応性と安全性が高い . これらの特徴により , ソフトロボットは多用途での社会実装が期待されている .

ソフトアクチュエータの一種である , 誘電エラストマーアクチュエータは , 大きな変形を出力できることに加えて高い電気・機械効率を持つことから , ソフトロボティクスにおける有望な技術として注目されている .

誘電エラストマーアクチュエータは , 薄膜であるため出力できる力が弱い , 膜を積み重ねる積層化によってその欠点を補うことができる . 従来の積層手法には , 電極とエラストマー膜を 1 枚ずつ交互に重ねる方法や , 細長いエラストマー膜と電極を折り紙のように折り畳む方法がある . しかし , これらの従来手法は製作時間が長く , 特殊で複雑な設備を必要とする . また , これらの手法では膜と電極の厚さ方向の形は同じで , 積層化されたアクチュエータの形は円柱や立方体に限定されており , 形状の自由度が低いという問題がある .

2. 研究の目的

本研究では , 誘電エラストマーアクチュエータを自由な形に積層できる方法を提案する . この方法ではアクチュエータの積層化が , 3 次元的なアクチュエータの形を持つエラストマー体を型で作る , その中に液体の電極を流し込む , という極めて単純な工程で行える (図 1) . そのため製作時間は短く設備は簡単になる . 型の形を変えることによって , 様々な形状を持つアクチュエータを作ることができる . このアイデアの核は , モールディング (鋳造) と , エラストマー体に液体を流し込むマイクロフルイディクスの技術の利用であり , 本研究ではこの手法をモールディング法と呼ぶ .

本研究の目的はモールディング法による積層型の誘電エラストマーアクチュエータの特性を明らかにし , ソフトロボットへの有効性を実機の開発を通して実証することである .

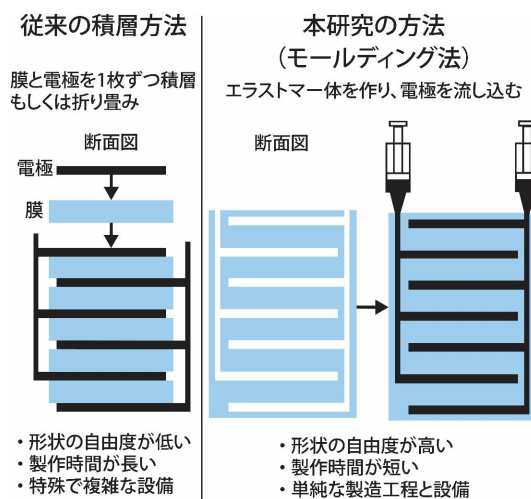


図 1. 積層型の誘電エラストマーアクチュエータの従来の製造方法 (左) と本研究の方法 (右)

3. 研究の方法

本研究で提案するモールディング法では , アクチュエータを構成するエラストマー体は 3D プリンターにより作られた型から成形し , 電極となる液体金属を注入して製作する . 電極の注入法は真空チャンバーによる液体金属の引き込みを用いる . モールディング法で用いる型は 2 つの部品からなる . 1 つはアクチュエータの外形 , もう 1 つはそれに応じた電極形状を形成する . この型に液状のエラストマーを流し込み硬化させると , 電極形状を持つ型部品がエラストマー体の中に閉じ込められる . これを有機溶剤で溶かすと空洞化した電極形状ができる . そこに液体金属を流し込んでアクチュエータが完成する . 有機溶剤によってエラストマー内の部品を溶かし空洞化する手法は , マイクロフルイディクスで用いられているものを応用したものである .

本研究では , 上述した製作工程に適した材料や条件を明らかにし , 製作したアクチュエータを用いた実験によって特性を明らかにする . そして , その結果に基づいてロボットの開発を行い , ソフトロボティクスへの有効性を明らかにする .

4. 研究成果

モールディング法に適した材料と , それらによってアクチュエータを作る際の , 製作条件を明らかにした . 具体的には , エラストマー , モールド , 有機溶剤 , および液体金属の材料が , それぞれシリコンエラストマー (Dow Corning 社製 Sylgard 184) , ポリ乳酸 , ジクロロメタン , ガリウム・インジウム合金であるとき , 提案手法によってアクチュエータが製作できることが分かった . 図 2(a)-(c) にアクチュエータの製作過程の様子を示す . (a) は硬化した後のエラストマ

一体であり、電極形状を持ったポリ乳酸の内型が内包されている。このサンプル全体をジクロロメタンに浸し、十分な時間が経過した後に取り出すと、(b)のように溶けた内型が空洞として残り、電極形状の流路が形作られる。この流路に液体金属であるガリウム・インジウム合金を注入し導線を接続すると、(c)に示されているアクチュエータが完成する。

同定された材料と製作条件によって、電極数の異なる積層型誘電エラストマーアクチュエータを製作し実験を行った。図3(a)は印加電圧に対するアクチュエータの変位を示している。アクチュエータは電圧に応じて収縮し、変位を出力できていることが分かった。また、その大きさは電極の枚数に比例していることも分かった。図3(b)は印加電圧に対するアクチュエータの収縮力を示しており、こちらも同様に電圧に応じて力を出力できていることが分かった。これらの結果から、本研究の提案手法が、積層型誘電エラストマーアクチュエータの製作方法として有効であることを実証した。さらに、アクチュエータの解析モデルも作成した。このモデルは電極間に働く静電気力とエラストマーのヤング率から、電圧に応じた変位と力を計算するものである。図3(a),(b)に示すように、実験値との比較から、作成されたモデルによって実際のアクチュエータの出力を予測できることが分かった。それによって、提案手法による積層型誘電エラストマーアクチュエータの設計手段を得ることができたことを確認した。

提案手法のソフトロボティクスへの有効性を実証することを目的として、上述した実験結果とアクチュエータモデルに基づいて、魚型ロボットの開発を行った。図3(c)に示すように、ロボットは魚類と同様の形をした、形状の自由度が高い流線形のアクチュエータで構成されている。実験の結果、アクチュエータの駆動によって尾鰭を含むロボット全体が周期的に動作できることが分かった。それによって、提案手法によって形状の自由度が高い積層型誘電エラストマーアクチュエータが製作可能であること、および提案手法がソフトロボットの構築手段として有効であることを確認した。

本研究の成果は国際学会で発表され、特許出願もなされた。本報告書の作成時点で、英文の学術雑誌論文が投稿済みであり査読中となっている。今後の展望としては、材料や製作条件の改善に基づくアクチュエータ性能の向上、より多様な形状を持つアクチュエータやロボットの開発が挙げられ、これらの方向性に沿って研究を継続していく予定である。

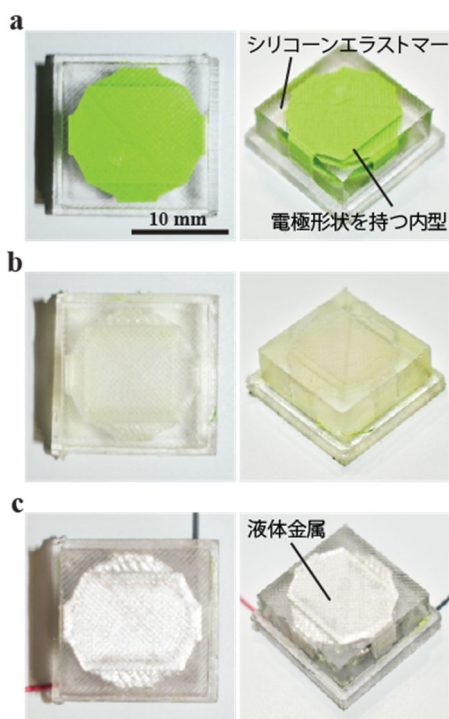


図2. モールディング法によるアクチュエータの製作過程。

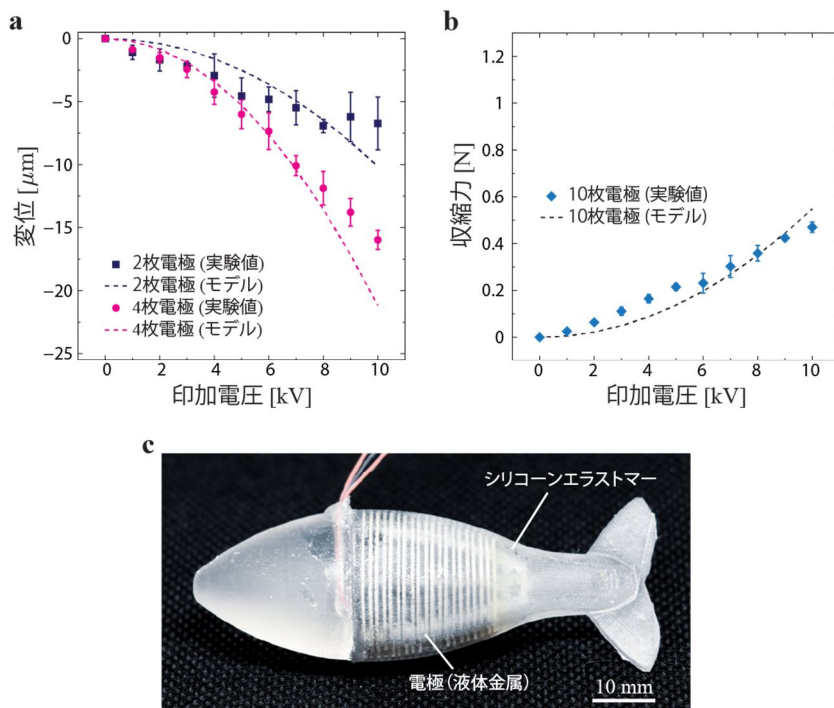


図3. (a)印加電圧に対するアクチュエータの変位。(b)印加電圧に対するアクチュエータの収縮力。(c)モールディング法によって製作した魚型のソフトロボット。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Daiki Ichige, Koya Matsuno, Kazumasa Baba, Genki Sago, Hiromitsu Takeuchi, Jun Shintake
2. 発表標題 A method to fabricate monolithic dielectric elastomer actuators
3. 学会等名 SPIE Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXII (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 多層構造体の製造方法	発明者 新竹純、松野幸也、 馬場一将、左合玄 紀、市毛大貴、永井	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-008359	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------