

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月19日現在

機関番号：32619

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14201

研究課題名(和文)電界紡糸法を用いた多孔質材料の創製と静電型ソフトアクチュエータの開発

研究課題名(英文)A study on porous materials using electro-spray methods and development of electro-static soft actuatos

研究代表者

前田 真吾 (Maeda, Shingo)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40424808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：エラストマーを電極で挟み、電極に電圧をかけると静電力によってエラストマーの変位が生じることが知られている。近年、この現象を利用した電場応答型の人工筋肉や触覚センサ等のアプリケーションに関する研究が盛んに行われている。このような静電型アクチュエータは柔軟で弾性を持つこと、応答性が優れている。エラストマーは非線形な応力-歪特性を有するため、エラストマーを用いた静電型アクチュエータには予ひずみをかけなければ大きな変形を取り出すことはできない。さらに従来のアクチュエータでは収縮型の応答を示さない。本研究では、収縮型の応答を示し、予歪が必要ないアクチュエータの設計を多孔質材料を用いて目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

誘電エラストマーアクチュエータは次世代型ソフトアクチュエータとして期待されている。収縮型のエラストマーアクチュエータを設計することができれば、これまででない応用展開が期待される。特にソフトロボットやウェアラブルデバイスへの応用展開がきたいされる。本研究では多孔質材料に着目し収縮型ソフトアクチュエータの実現を目指した。多孔質材料の応力歪特性に関する実験研究は報告されているが、これらをアクチュエータとして活用するための条件を理論的に明らかにするとともに、実験的に理想的な多孔質材料の設計方法を探求した。将来的にはアクチュエータだけでなくセンサなど様々な領域へ展開できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：It is known that when an elastomer is sandwiched by electrodes and a voltage is applied to the electrodes, the displacement of the elastomer is induced by electrostatic force. In recent years, studies on applications such as artificial muscle and a tactile sensor utilizing this phenomenon has been actively promoted by many researchers. These kinds of electrostatic actuator are flexible, resilient, and responsive. Since elastomers have nonlinear stress-strain characteristics, electrostatic actuators using elastomers don't generate large deformation without pre-straining. Furthermore, conventional elastomer actuators don't show a contraction type response. In this research, we aim at the design of the actuator using porous material that showed the contraction type response.

研究分野：ソフトマテリアル, ソフトロボティクス

キーワード：エラストマー 多孔質 ソフトアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

ゴム弾性を有するエラストマーを柔軟な電極で挟み、電極間に電圧を加えると静電力によって変位が生じることが知られている (Dielectric Elastomer Actuator :DEA). この現象を利用した電場応答型の人工筋肉に関する研究が推進されている. モータとは異なり、ほとんど発熱しないこと、エネルギー効率が低いこと、静音駆動できることなどが挙げられる. また、一般的に知られている高分子ゲルアクチュエータと異なり、空气中で駆動できるので産業界からも注目を浴びている. しかし、従来の DEA のデメリットは、予歪を与えなければ大変形できないことである. また、アクチュエーションは収縮型でなく平面方向に伸長するタイプのメカニズムであり、応用展開に制限がある. 一般的にエラストマーの応力-歪特性を図1に示す. 図1の領域Iの状態では、変形には大きな応力が要求されるので、静電力がこの状態にあるエラストマーを変形させることは困難である. そこで変形に大きな応力を要さない領域IIまで予ひずみをかける. この状態であれば静電力によってエラストマーを十分に変形させることが可能となる. しかし、領域IIの状態に保つためには歪を維持するためのフレームなどの固定材に取り付ける必要がある. したがって、これらの条件がデバイス化やロボットへ応用する場合に問題となる.

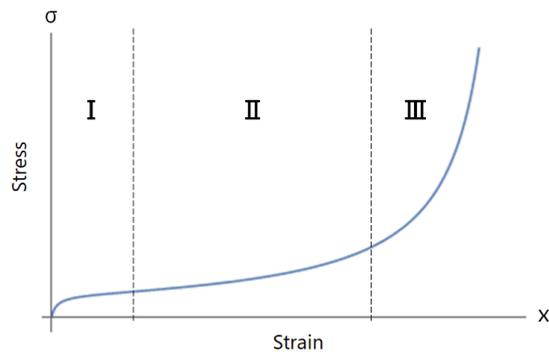


図1. エラスマの応力-歪特性

2. 研究の目的

本研究では、上記に記述したように DEA が有する問題点を解消するために、多孔質エラストマーに着目した. 多孔質材料であれば外力に対して変形しやすいので予ひずみをかける必要がなくなる. これにより予ひずみを保持するためのフレームも必要としなくなる. 図2に多孔質アクチュエータのコンセプトを示す. 誘電体が非多孔質であれば非圧縮性なので見かけのポアソン比が大きいですが、多孔質であれば圧縮性を持つので見かけのポアソン比が小さい. すなわち主な変位の方向が一軸的なものになる.

3. 研究の方法

そこで多孔質材料の経験的な応力-歪の関係式を用いて、電圧と歪の関係を導いた. 図3はその典型的な電圧と歪の関係を示す. ここで、誘電体が多孔質材料であれば必ずしも問題無く動作可能な静電型アクチュエータを作製できるとは限らないという点について言及する. 図3(a)はひずみの小さい領域で立ち上がりの応力を持つ. このような多孔質材料は電圧-歪関係において転移的な振舞をする. つまり印加電圧が転移点付近で力学的に不安定な状態になる. 必ずしも多孔質材料の絶縁破壊電圧値は自明でないが、転移的な振舞をする系では、転移とともに絶縁破壊することが予想される. このような機械物性を持つ多孔質では大きな変位を実現できず、アクチュエータに適していない. 一方、図3(b)のようにひずみの小さい領域では応力が緩やかに増加する多孔質材料であれば転移的な振舞をせず、連続的に変化する. つまり、 $dV/d\varepsilon > 0$ であれば良いことが分かる. V は電圧、 ε は歪である. つまり、このような特性を満たす多孔質多孔質材料の探索が重要となる.

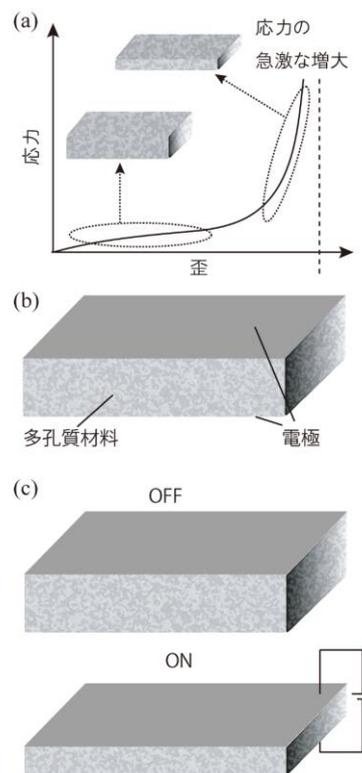


図2.(a)多孔質材料の応力-歪特性
(b)多孔質材料も用いた静電アクチュエータ構成

4. 研究成果

SILPOT 184 はポリジメチルシロキサン (PDMS) と呼ばれるシリコンゴムに着目した。主剤のみでは粘性を持った液体だが硬化剤を投与して時間をおくとゴムのようになり架橋される。基本的に熱を加えることで重合が促進する。PDMS に糖を混合し、重合後に等を溶解することで多孔質エラストマーを得た。さらに我々は超音波処理をした場合としない場合における応力-歪特性を調査した。青い点が超音波処理を施す前、オレンジの点が超音波処理を施した後の結果を示している。圧縮試験の結果からひずみ 0~0.4 の間では、有意な差はみられないが、ひずみ 0.6、0.7、0.8 の点でそれぞれ約 30%、40%、54% 軟化することが明らかとなった。超音波処理を施すことにより、PDMS に残留していた糖が溶解したと考えられる。また、これらの性質を上手く利用すれば、歪が大きくなる領域でスティッフニングさせることが可能であると考えられる。さらに電圧を加え、変形させたところ最大で 5% 程度歪を得ることができた。今後はさらなる改良を経て、10% 以上の歪を得られるように糖のサイズなどを検討する予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. A. Minaminosono, H. Shigemune, Y. Okuno, T. Katsumayta, N. Hosoya, S. Maeda, “Deformable Motor Driven by Dielectric Elastomer Actuators and Flexible Mechanisms”, *Frontiers in Robotics and AI*, 6(1), pp.1-12, 2019.
2. N. Hosoya, H. Masuda, S. Maeda, “Balloon dielectric elastomer actuator speaker”, *Applied Acoustics*, 148, pp.238-245, 2019.
3. Y. Okuno, H. Shigemune, Y. Kuwajima S. Maeda, “Stretchable suction Cup with electroadhesion”, *Advanced Materials Technologies*, 1800304, pp.1-6, 2018.
4. H. Shigemune, S. Sugano, J. Nishitani, M. Yamauchi, N. Hosoya, S. Hashimoto, S. Maeda “Dielectric elastomer actuators with carbon nanotube electrodes painted with a soft brush”, *Actuators*, 7 (3), 51, 2018.

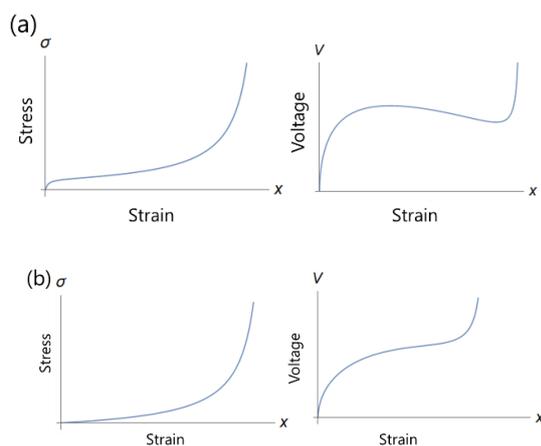


図 3. 特徴的な応力-歪特性と電圧-歪特性

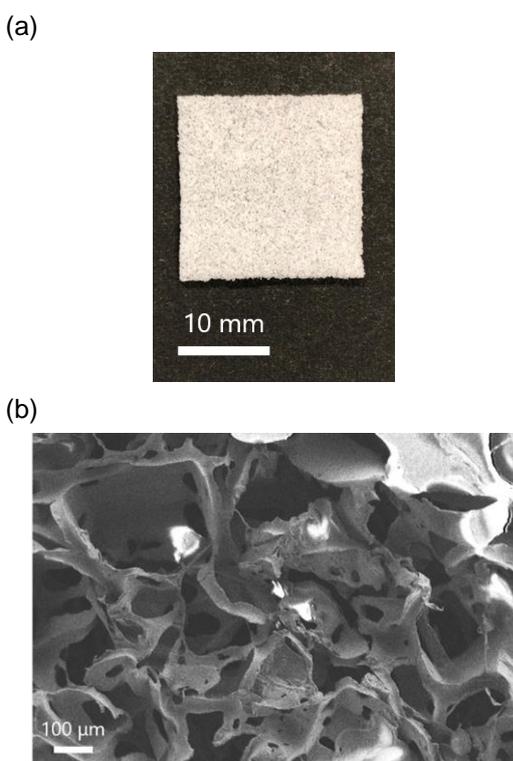


図 4. 多孔質 PDMS

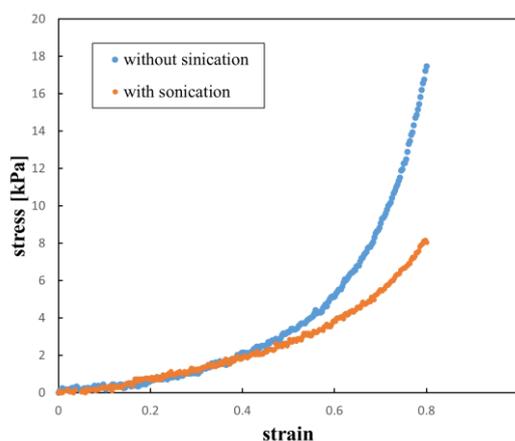


図 5. 多孔質材料の応力-歪特性

〔学会発表〕（計 6 件）

1. Y. Okuno, H. Shigemune, Y. Kuwajima, S. Maeda, “suction cup with active soft pad”, Int. Conf. on IEEE/RSJ Robotics and System(IROS), Spain, Oct., 2018.
2. 平原隼人, 梶原逸郎, 細矢直基, 前田真吾, “DEAによる構造物の振動制御に関する研究”, 日本機械学会 Dynamics and Design conference, 2018年8月.
3. 菅野誠, 重宗宏樹, 前田真吾, “DEAの振動を用いた推進に関する研究”, ロボティクス・メカトロニクス 2018 (ROBOMECH2018), 2018年5月.
4. 南之園彩人, 重宗宏樹, 前田真吾, “DEA モータとその制御モジュールの開発”, ロボティクス・メカトロニクス 2018 (ROBOMECH2018), 2018年5月.
5. 小林優太, 宇津直輝, 重宗宏樹, 前田真吾, “多孔質エラストマーの作製方法と力学的評価”, ロボティクス・メカトロニクス 2018 (ROBOMECH2018), 2018年5月.
6. 奥野友都, 中村真吾, 長谷川忠大, 油田信一, 前田真吾 “やわらかい静電型接着デバイスの開発”, ロボティクス・メカトロニクス 2017 (ROBOMECH2017), 2017年5月.

〔図書〕（計 1 件）

1. 奥野悠人, 重宗宏毅, 桑島悠, 前田真吾, “静電吸着パッドを有する吸盤”, 月刊 ファインケミカル, CMC 出版, 48, pp.5-18, CMC 出版, 2019年2月.

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://shibaura.pure.elsevier.com/en/persons/shingo-maeda>

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。