

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：32619

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630096

研究課題名(和文)バンド型誘電エラストマーアクチュエータの開発

研究課題名(英文)Development of band type dielectric elastomer actuator

研究代表者

松日楽 信人(Matsuhira, Nobuto)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：20393902

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)：本研究の目標は、ソフトロボット実現のための誘電エラストマーアクチュエータを設計することである。これまでの誘電エラストマーアクチュエータは、フレームを必要とすることもあり、有効な仕事を外部に取り出すことが困難であった。したがって、本研究ではフレームレス化を進めることが誘電エラストマーアクチュエータの研究にブレイクスルーを起こすのではないかと考えた。本研究では繊維構造とすること、また、導電性を有するパウダーを有する電極を採用することで、従来のアクチュエータに比べ、10倍以上の変位を有する基礎特性が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to design a dielectric elastomer actuator to realize a soft robot. Since previous dielectric elastomer actuators need frame structure, it is difficult to extract useful power to the outside. Thus, advancing the frame-less structure makes breakthrough of dielectric elastomer actuators in this study. Adapting the fiber structure and an electrode using a powder with conductivity, as compared with the conventional actuator, basic characteristics with more than 10 times of the displacement are revealed.

研究分野：ロボット工学

キーワード：エラストマーアクチュエータ ソフトアクチュエータ ソフトロボット

1. 研究開始当初の背景

本研究の目標は、ソフトロボット実現のための誘電エラストマーアクチュエータを設計することである。これまでの誘電エラストマーアクチュエータは、フレームを必要とすることもあり、有効な仕事を外部に取り出すことが困難であった。したがって、本研究ではフレームレス化を進めることが誘電エラストマーアクチュエータの研究にブレークスルーを起こすのではないかと考えた。これまで、ソフトアクチュエータの研究は、高分子ゲルなどの湿潤な条件で駆動可能なシステムと古典的な空気圧アクチュエータが研究されてきた。高分子ゲル系では用途が限定されること、乾燥することが大きな問題であり、素材の研究としては面白いが、システムとして発展しづらい面もある。また、空気圧アクチュエータはポンプなどが必要であり、大型化するため小型のロボット設計には向かない。誘電エラストマーアクチュエータは、空气中で安定動作可能であること、静電アクチュエータの一種であるため、エネルギー効率が良いなどの長所がある。しかしながら、これまで誘電エラストマーアクチュエータは高電圧が必要であったり、フレームが必要であることなどの問題があり、あまり研究が進展していなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的として、フレームレス化を進めるために、ファイバー構造を導入し、アクチュエータの特性について研究を行った。

3. 研究の方法

誘電エラストマーの駆動原理について説明する。誘電エラストマーアクチュエータは、柔軟な電極間にゴム弾性体を挟んだキャパシタ構造になっている(図1)。電極間に電圧を印加すると、静電的引力が働く。弾性体であるため、静電引力とゴムの弾性が釣り合うところまで変形が生じる。

しかしながら、ゴムの絶縁破壊が生じるため、予歪をかけておくとゴムが大変形することが報告された[1-3]。アクチュエータの発生応力は式(1)に、ひずみは式(2)に示すことが出来る。

$$p = \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{V}{t}\right)^2 \dots (1)$$

$$s = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{V}{t}\right)^2}{Y} \dots (2)$$

ϵ_0 : 真空誘電率
 ϵ_r : ゴムの比誘電率

V : 電圧[V]
 t : 電極間距離[m]
 Y : ヤング率[Pa]

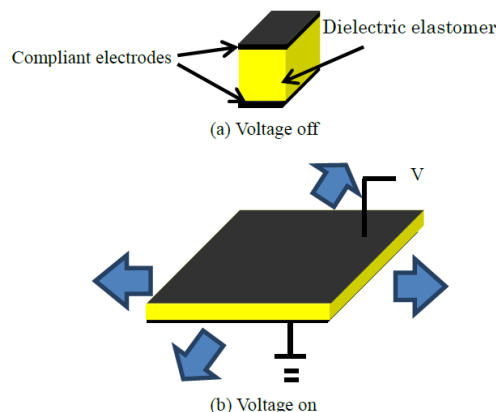


図1. エラストマーアクチュエータ

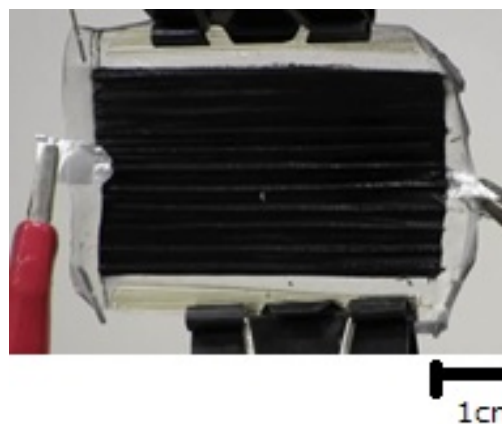
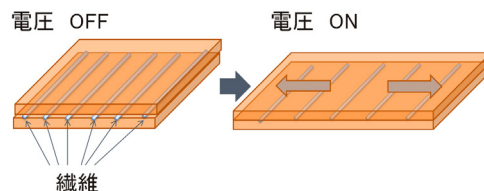


図2. ファイバー構造を有するアクチュエータ

アクチュエータ化を検討すると、この予歪を維持するのに必要なフレーム構造は無い方が良い。フレームが稼働するようなアクチュエータの設計などがいくつか報告されているが、フレーム無しに駆動した報告はほとんどない。

図1に示すように、ファイバー構造を有するアクチュエータを設計した。ファイバー構造を有するため、エラストマーの伸長方向がファイバー構造によって制限される。したがって、制限された分だけ伸長方向の変位が大きくなることが予想される。

そこで、以下の方法でアクチュエータを作製した。

- 1) アクリル系エラストマーに 2 軸方向への予歪を与えた状態でフレームに固定する。
- 2) 柔軟な電極を吹き付け乾燥させる。
- 3) ファイバーを配向させる。
- 4) フレームを外す。

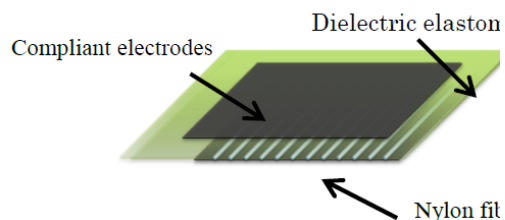


図 3. ファイバー構造を持つアクチュエータの作成方法

4. 研究成果

ファイバー構造を導入しないアクチュエータに比べ、大きな変位を有することが明らかとなった。周波数が 0.01Hz の時にファイバー構造を有するアクチュエータは約 2mm 程度の変位を有することが分かった。しかしながら、周波数が高い領域においてファイバー構造の有無による変位の差はあまりないことが明らかとなった。

これは、アクリルゴム特有の周波数に対する応答性が悪いことに起因していると考えられる。シリコン系の減衰が少ないゴム弾性体に変更することで周波数応答性は改善できると考えられるが、変位は小さくなることも予想される。

次に、ファイバーの構造（太さ、間隔）に対する変位の関係について実験を行った。以下の実験を行った。

- 1) ファイバーの直径を 0.3mm, 1.0mm に変化させた場合の印加電圧 4kV, 0.01Hz~3Hz の動的条件における変位測定
- 2) ファイバーの配向間隔を 2mm と 4mm と 6mm に変化させた場合の印加電圧 4kV, 0.01Hz~3Hz の動的条件における変位測定

ファイバーは太いほうが良いが、ファイバーの配向間隔には最適な間隔があり、その間隔よりも広くても、狭くても変位は減少してしまうことが分かった。これは、ファイバー間の距離が広すぎると水平方向に対する拘束力が減少し、狭い場合においても減少することが分かった。

また、電極を塗布する方法をこれまではポ

リマー化した電極を用いていたが、導電性を有するパウダーを用いることでアクチュエータのパフォーマンスが向上することを見出した。これは非常に興味深い結果であり、

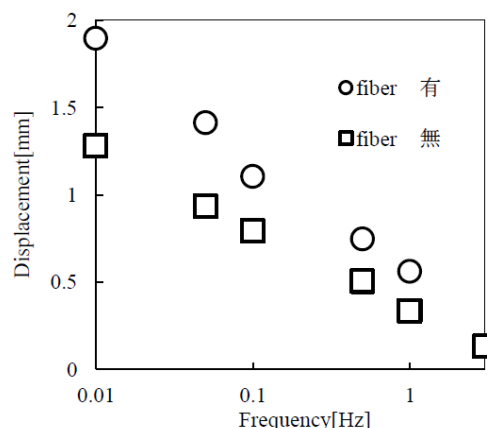


図 4. ファイバー構造の有無によるアクチュエータ変位

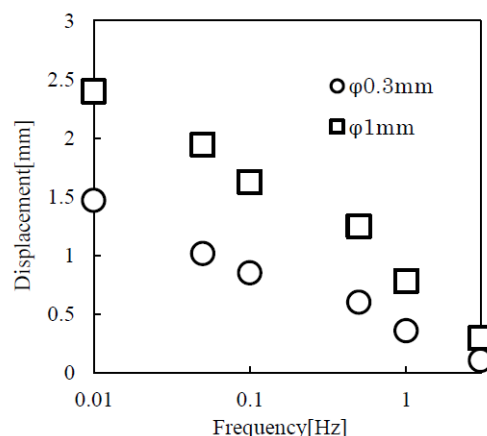


図 5. ファイバーの直径に対する変位の関係

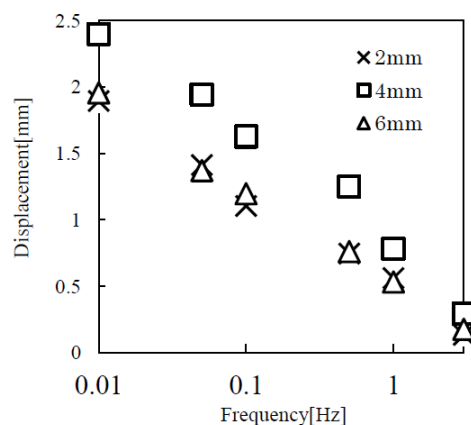


図 6. ファイバーの間隔に対する変位の関係

通常の変位の 10 倍以上良い特性を持つことが明らかとなった。本研究では、アクチュエータの特性だけでなく電極の作製方法に関する基礎的な研究も実施した。パウダー状の電極を用いると、定電圧下において誘電エラストマーは、大変形をすることとその緩和時間が非常に長いことが明らかとなった。

したがって、これらのファイバー構造と電極をパウダー化することで特性の良いアクチュエータを設計することができると考えられる。

これらの諸特性をうまく制御することができれば、誘電エラストマーアクチュエータを用いたソフトロボットが設計できると考えられる。今後はゴム材料面の研究として、絶縁性が良く柔らかいゴムを合成する方法などが実現されれば、さらに面白い結果が得られるであろう。

参考文献

- [1] Ron Pelrine, et al. "High-Speed Electrically Actuated Elastomers with Strain Greater Than 100%", Science 287, 836, 2000.
- [2] Xuanhe Zhao and Zhigang Suo, "Theory of Dielectric Elastomers Capable of Giant Deformation of Actuation", Physical Review Letters 104, 178302, 2010.
- [3] Guggi Kofod, "The static actuation of dielectric elastomer actuators: how does pre-stretch improve actuation?", J. Phys. D, 41, 215405, 2008.

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 1 件)

Shingo Maeda, Terukazu Kato, Hikaru Kogure, Naoki Hosoya, "Rapid response of thermo-sensitive hydrogel with porous structure", Applied Physics Letters, 106, 171909 (2015).

[学会発表] (計 3 件)

山内優幸, 細矢直基, 斎藤寛泰, 松日楽信人, 前田真吾, "粉末状の電極を有する誘電エラストマーアクチュエータの特性", 応用物理学会春季学術講演会, 東海大学, 2015 年 3 月 25 日.

山内優幸, 細矢直基, 斎藤寛泰, 松日楽信人, 前田真吾, "ナノチューブ・ナノ粒子複合電極を有する誘電エラストマーアクチュエータの設計", ロボティクス・メカトロニクス (ROBOMECH2015), 京都市勧業館「みやこめっせ」, 2015 年 5 月 19 日(ポスター).

高橋尚也, 鵜飼賢介, 前田真吾 "ファイバー構造を用いた誘電エラストマアクチュエータの設計" ロボティクス・メカトロニクス

2013(ROBOMECH2013), つくば国際会議場, 2013 年 5 月 22 日 (ポスター).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松日楽 信人 (MATSUHIRA, Nobuto)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号 : 20393902

(2) 研究分担者

前田 真吾 (MAEDA, Shingo)
芝浦工業大学・工学部・准教授
研究者番号 : 40424808

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :