

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289058

研究課題名(和文) 単位構造の超薄型化による高性能PVCゲルアクチュエータの開発

研究課題名(英文) Development of a high performance PVC gel actuator by ultra-thinning the unit structure

研究代表者

橋本 稔 (HASHIMOTO, Minoru)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：60156297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：積層型PVCゲルアクチュエータの特性改善の基礎技術を確立することを目的として、MEMS技術とエレクトロスピンニング技術の2つ方法を用いてPVCゲルアクチュエータの単位構造を薄型化する研究を実施した。その結果、MEMS技術により10 μ mの厚さの陽極を作製することができ、100Vの印加電圧で10%の収縮率を得ることに成功した。エレクトロスピンニング技術を用いる課題では、PVCゲルファイバーで構成させられる不織布と導電性不織布の作製に成功した。さらに、そのアクチュエータが100V以下で駆動することも確認できた。以上により、PVCゲルアクチュエータの特性を改善するための基礎技術を確立した。

研究成果の概要(英文)：In order to establish the basic technology for the performance improvement of a stacked layers type PVC gel actuator, we studied to thinning the unit structure of the PVC gel actuator using two methods, MEMS and electro-spinning technology. As a result, we have succeeded the anode with the thickness of 10 μ m using the MEMS, and obtained the contraction percentage of 10% with the applied voltage 100V. On the other hand, by using the electro-spinning method we have obtained PVC gel non-woven constructed from PVC gel fibers and conductive non-woven containing carbon particles in PVC gel. Moreover, we constructed a stacked layer PVC gel actuator by stacking them alternately. Then the actuator was driven under the applied voltage of 100V. Consequently, we established the basic technology to improve the characteristics of PVC gel actuators based on MEMS and electro-spinning method.

研究分野：ロボティクス

キーワード：PVCゲル MEMS エレクトロスピンニング ソフトアクチュエータ 人工筋肉

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会への対応のためには、高齢者の医療・福祉分野へのロボットや機械システムの導入が期待されているが、これらの機器には人間に対する高い親和性、安全性が求められる。人間との高い親和性・安全性を有する次世代アクチュエータの開発が極めて重要な課題である。

高分子材料の一つであるポリ塩化ビニル(PVC)を可塑剤によりゲル化した PVC ゲルは、電場印加により陽極近傍でクリープ変形を生じ、大気中で大変形と良好な応答性を有することが知られている。研究代表者らは、この PVC ゲルの陽極近傍での電場応答性に着目し、陽極としてメッシュ形状を有する電極を用いて PVC ゲルを電極で挟み、積層することにより大気中で収縮駆動するソフトアクチュエータを開発した。これらの一連の研究により、600V の印加電圧で収縮率 13%、発生力 3kPa/cm、応答性 7Hz という特性を有し、大気中において低消費電力で伸縮駆動するソフトアクチュエータの実現可能性を示した。

2. 研究の目的

本研究では MEMS 技術とナノファイバー技術を用いてこの積層型 PVC ゲルアクチュエータの特性を抜本的に向上させ、低電圧で生体筋に匹敵する特性を有する高分子アクチュエータを創製する基礎技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

高性能 PVC ゲルアクチュエータを創製する技術を確立するために、MEMS 技術による凹凸表面形状を有する超薄型電極の製作技術、エレクトロスピンニング法を用いて導電性ナノファイバーを用いた超薄型電極の製作技術について研究を行う。次に、薄膜 PVC ゲルシート及び PVC ゲルを用いた薄膜不織布を作製して、積層することによりアクチュエータを構成するとともに、その特性を評価する。

(1) MEMS により凹凸形状を有する超薄型陽極の製作

凹凸表面形状を有した電極の厚さを 10 μm まで薄くすることにより単位構造を薄型にし、ゲルアクチュエータを高性能化する。そのために、MEMS 技術(フォトリソグラフィ)によりシリコン表面に凹凸を付け、その上に高分子材料を用いて型取りをし、凹凸形状を有する薄膜金属電極を作製する。これらの製作工程は MEMS 装置を用いて行う必要があるが、本学では所有していないため、一般財団法人マイクロマシンセンターの研究支援を

受けながら実施する。

(2) エレクトロスピンニング法によるナノファイバー超薄型陽極の製作

炭素粒子を含む高分子材料の溶液をエレクトロスピンニング法により、導電性ナノファイバー膜にして微細空隙を含む不織布電極を作製する。不織布の場合、ファイバー間に空隙を有することから、電圧印加によりこの空隙に PVC ゲルが侵入し、ゲルの厚さ方向の変形が生じるものと考えられる。

この方法によれば、PVC ゲルをナノファイバーとして紡糸し、PVC ゲルファイバー膜を作製することが可能であるので、薄膜の PVC ゲル不織布を作製できる。導電性高分子を用いた陽極膜と PVC ゲルファイバー不織布薄膜をエレクトロスピンニング装置内で交互に積層することで、積層型 PVC ゲルアクチュエータを作製できる可能性がある。これにより、低電圧化を実現する。

(3) アクチュエータの構成と特性の評価

第 1 の方法はスピンコータを用いて数 10 μm のゲル膜を作製する方法である。このゲル薄膜を(1)で作製した MEMS 電極と重ねてアクチュエータを構成し、その特性を評価する。

第 2 の方法は(2)のエレクトロスピンニング法により作製した導電性不織布膜を電極として、PVC ゲル不織布を電極間に挟んでアクチュエータを構成する。この場合、エレクトロスピンニング装置を 1 台用いて、順番に導電性不織布層、PVC ゲル不織布層を作製することにより、アクチュエータを構成し、電圧印加によりその特性を評価する。

4. 研究成果

(1) MEMS により凹凸形状を有する超薄型陽極を用いた PVC ゲルアクチュエータの製作と特性評価

スピンコーター(MIKASA、MS-A100)を用いて遠心力により PVC ゲルを形成し、最も薄いものでゲル厚 20 μm の PVC ゲルを作製することができた。陽極に MEMS 技術(フォトリソグラフィ)を用いた超薄型電極を作製することに成功した。MEMS 電極の大きさは、厚み 10 μm 、大きさ 20mm 角の SUS 平板電極上にニッケル電鍍形成により四角柱が一定間隔に並んだ形状である。図 1 に示すように、表面形状は凸部の四角柱は 1 辺が 12.5 μm 、高さが 12.5 μm 、凸部の間隔は 12.5 μm となっている。

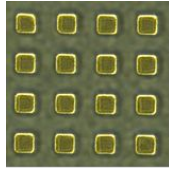


図 1 MEMS 電極の表面形状

MEMS 電極は凹凸が片面のみのため、アクチュエータは陰極のステンレス箔と陽極の MEMS 電極とで薄膜化した PVC ゲルを挟んだ構造となっている。図 2 に断面図と駆動の様子を示す。電圧の印加により PVC ゲルが MEMS 電極の凹部に入り込み厚さ方向に収縮する。PVC ゲルのゲル厚 $20\ \mu\text{m} \sim 115\ \mu\text{m}$ を用いたときの印加電圧と収縮率の関係を図 3 に示した。ゲル厚が薄いほど収縮率が大きくなっていることが分かる。もし、収縮率を固定するとゲル膜の薄膜化により低電圧の駆動が可能であることが分かる。例えば、収縮率 10% を得るのにゲル厚 $57\ \mu\text{m}$ では約 240V が必要であるが、 $20\ \mu\text{m}$ の場合、収縮率 10% を得るのに必要な印加電圧は約 100V であった。

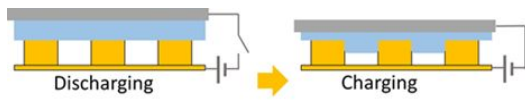


図 2 MEMS 電極を用いた PVC ゲルアクチュエータの駆動

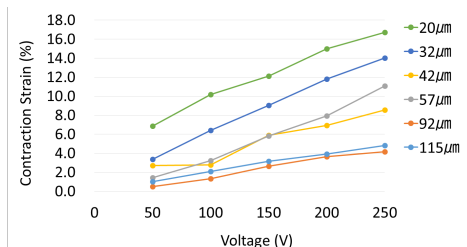


図 3 収縮率の電圧依存性

(2) エレクトロスピンニング法によるナノファイバー超薄膜型陽極を用いた PVC ゲルアクチュエータの製作と特性評価

エレクトロスピンニング法を用いた PVC ゲル不織布を作製して、その単位構造の電圧印加による変位特性を調べた。エレクトロスピンニング法により PVC ゲルの不織布を作製した。図 4 はその SEM 画像で、ファイバー径は分布しているが平均直径が $1\ \mu\text{m}$ 程度であった。この不織布を金属電極で挟んで電圧印加を行ったところ、100V の印加で 20% 程度の収縮率を得ることができ、従来のメッシュ電極に比べて低電圧の駆動が可能であることが分かった。

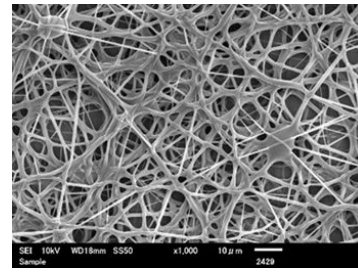


図 4 エレクトロスピンニング法を用いた PVC ゲル不織布の SEM 画像

次に、陰極として金属電極に替えて導電性 PVC ゲル不織布を用いて積層構造を作製することにより、低電圧化に加えより効率的な製法及び軽量のソフトアクチュエータの創製を目指してアクチュエータの作製とその基本特性を評価した。

エレクトロスピンニング装置 1 台を使用し PVC ゲル不織布及び導電性 PVC ゲル不織布を交互に積層した (図 5)。図 6 にその断面の SEM 画像を示した。PVC ゲルの不織布と導電性不織布が交互に積層されていることが分かる。PVC ゲル不織布層の厚さは $25\ \mu\text{m}$ 、導電性不織布層の厚さ $75\ \mu\text{m}$ であった。

上記の積層構造に電圧印加した時の変位と収縮率を図 7 に示した。100V 印加で収縮率 2% 程度と収縮率は小さいが、積層構造の不織布層をより薄膜化することにより、改善できる可能性がある。また、この積層構造はエレクトロスピンニング装置 1 台で製作できることから、アクチュエータの自動製法となることが実証できた。このことは効率的で低コストかつ量産対応に優れた製造方法であることを示唆しておりエレクトロスピンニング法の有用性が高まったと言える。

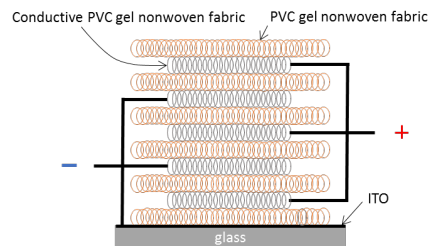


図 5 エレクトロスピンニング法を用いた積層型 PVC ゲルアクチュエータの構成

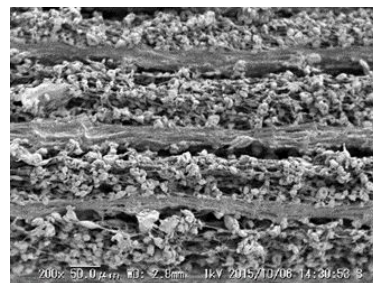


図 6 エレクトロスピンニング法を用いた積層型 PVC ゲルアクチュエータの SEM 画像

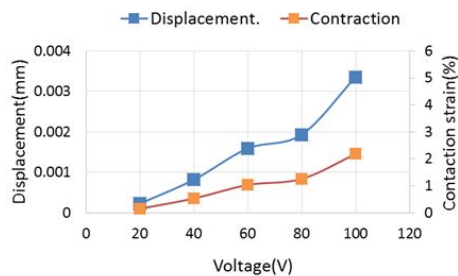


図 7 エレクトロスピンニング法を用いた PVC ゲルアクチュエータの変位と収縮率

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)

[学会発表](計 4 件)

「薄膜化による PVC ゲルアクチュエータの低電圧駆動」横塚里奈、橋本稔、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 2A2-11b (2016.6.8-6.11) パシフィコ横浜 神奈川県横浜市

「エレクトロスピンニング法による PVC ゲル ナノファイバーアクチュエータの創製」金子綾、土屋陽一郎、依田いずみ、橋本稔、第 16 回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 2015 pp.590-592 (2015.12.14-12.16) 名古屋国際会議場 愛知県名古屋市

「PVC ゲルアクチュエータの薄型化による低電圧駆動」小島悠、鈴木彩、橋本稔、第 33 回日本ロボット学会学術講演会 2015 AC1A3-05 (2015.9.3-9.5) 東京電機大学東京千住キャンパス 東京都足立区

“Development of a PVC Gel Actuator using Nano-Fiber Technology,” Hiromi Tokoro and Minoru Hashimoto, The 15th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014), 2014 B7-025-003 (2014.8.24-8.30) Fukuoka University Fukuoka

6. 研究組織

(1)研究代表者

橋本 稔 (HASHIMOTO, Minoru)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：60156297