

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18832

研究課題名(和文) 繊維工学に基づくファイバーソフトアクチュエータの創製

研究課題名(英文) Development of a fiber soft actuator based on textile engineering

研究代表者

橋本 稔 (Hashimoto, Minoru)

信州大学・繊維学部・特任教授

研究者番号：60156297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高分子ゲルを用いたファイバー状ソフトアクチュエータの創製を目的とし、芯材となる導電性ファイバーへの高分子材料の均一塗布方法を確立し、芯鞘構造ゲルファイバーを開発した。このゲルファイバーを陰極、導電性ファイバーを陽極として、2つのファイバーの撚り合わせ方法やファイバー径、ゲルコーティング厚などの最適化を実施し、400V印加時に約0.5mm収縮するファイバーソフトアクチュエータを創製した。また、構造を変えることで伸縮変位と伸展変位を選択することも可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、人の生活圏へのロボットの導入が進み、ロボットはより身近な存在となっている。未だハードタイプのロボットが主流であるが、本研究によりファイバーソフトアクチュエータが開発・実用化されたならば、人間親和性を重視した革新的なソフトロボットやソフトロボット工学の実現に寄与することができる。

また、繊維工学に基づいてファイバーから織物へ展開することも可能であり、着用者への動作支援を目的としたアクティブに変形する衣服など、その応用展開は多岐にわたる。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study is to create fibrous soft actuators using polymer gels. First, we elucidated a method for uniformly coating a polymer material on a conductive fiber as a core material, and then developed a core-sheath structure gel fiber.

This gel fiber is used as a cathode and the conductive fiber is used as an anode in a fiber soft actuator. We compared the twisting method, fiber diameter, gel coating thickness, etc. of the two fibers in order to find the optimum structure of the fiber soft actuator. As a result, we created a fiber soft actuator that contraction by about 0.5 mm when 400 V is applied. Furthermore, the actuator can also select contraction displacement and extension displacement by changing the structure.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：高分子アクチュエータ PVCゲル 人工筋肉 ファイバーソフトアクチュエータ 芯鞘構造 撚糸構造 繊維工学 ゲルファイバー

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、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

日本の 65 歳以上の高齢者数は人口の 25%以上となり超高齢社会を迎えた。これを受けて医療・福祉分野へのロボットや機械システムの導入が進められている。その中で日常動作支援や作業支援を目的としたアシストスーツの開発が近年盛んに行われている。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ことから、衣服の様な装着感でありながらも能動的に補助力を発揮できるアシストスーツが求められている。

申請者はこれまでに高分子材料の一つであるポリ塩化ビニル (PVC) を用いてソフトアクチュエータを開発してきた。このアクチュエータは 400V 印加時に収縮率 10%、発生力 90kPa、応答性 9Hz という特性を有する。前述のようなヒトの日常生活や肉体労働をサポートするロボットには親和性、安全性の他、柔軟・静音であることや装着方法の簡便化、ロボット本体の軽量化なども大きな課題となる。これらはモータを駆動源とするロボットには解決困難であり、複雑なニーズに応えるには高分子材料を用いたソフトアクチュエータが有用である。

### 2. 研究の目的

本研究では、繊維工学に基づいて電圧により能動的に伸縮する高分子ゲルファイバーソフトアクチュエータを創製することを目的とする。ファイバーソフトアクチュエータが実現できれば織構造や網構造を作る繊維工学技術を利用して、様々な布状アクチュエータを開発し、ウェアラブルなアシストスーツ実用化への大きな一歩となる。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、次の研究を実施する。

①芯鞘構造を有する高分子ゲルファイバーを作製する (図 1)。芯部となる材料の選定、それを覆う PVC ゲルのコーティング方法及びコーティング厚のコントロール技術を確立する。②この芯鞘構造を有する高分子ゲルファイバーを陰極、導電性ファイバーを陽極として用いて、2 本のファイバーを撚り合わせてファイバーソフトアクチュエータを開発する。各ファイバー径や撚り構造などを調整し、特性評価を行う。③高分子ゲルファイバー及び撚糸構造の改良を実施し、最適構造を見出す。

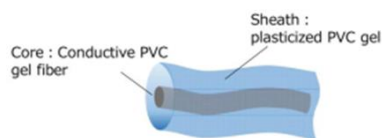


図 1 PVC ゲルの駆動原理

#### (1) PVC ゲルの駆動原理

PVC ゲルはポリ塩化ビニル (PVC) と可塑剤であるアジピン酸ジブチル (DBA) を溶媒のテトラヒドロフラン (THF) 中で混合し、乾燥させた後に得られる。この PVC ゲルに電圧を印加すると、図 2 のように陽極近傍のゲルが陽極表面に沿って変形するという特異な現象が起こる。この変形挙動は電圧印加によって陽極側に形成された高電荷密度層と陽極との静電気引力によって引き起こされると考えられている。

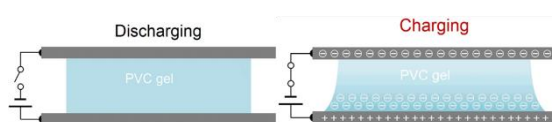


図 2 PVC ゲルの電場応答

本研究ではこの変形挙動を利用したファイバーソフトアクチュエータを構築する。この構造のアクチュエータは、電圧印加により陽極表面に沿って高分子ゲルが変形することから、アクチュエータの半径方向に収縮して、長さ方向に伸展する (図 3)。

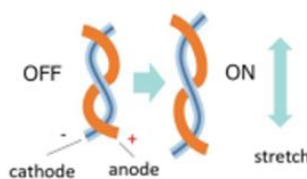


図 3 ファイバーソフトアクチュエータ

#### (2) PVC ゲルのコーティング方法と膜厚制御

芯材へのコーティング方法としてディップコータ (株式会社 SDI DT-0303) を採用する。ワークとなる芯材には銀メッキ糸を使用し、引上げ速度と繰り返し回数からコーティング厚と液ダマなどの膜厚不均一部分の発生を比較評価する。

#### (3) ファイバーソフトアクチュエータの試作

芯鞘構造ゲルファイバーの作製方法が確立した後、陽極となる導電性ファイバーと撚り合わせてファイバーソフトアクチュエータを試作する。撚り合わせ方や導電性材料などを変えながら数種類のファイバーソフトアクチュエータを試作してその特性を比較評価する。

#### (4) ファイバーソフトアクチュエータの最適構造の検討

一連の実験から得られたデータより、アクチュエータ構造、陽極との撚り数、各ファイバーの線径などを決定し、ファイバーソフトアクチュエータの構造を最適化する。

#### 4. 研究成果

##### (1) PVC ゲルコーティング方法の検討

ディップコータを用いた場合のコーティング条件の最適化を実施した。ワークとして線径約 300 $\mu\text{m}$ 、長さ 200 mm の銀メッキ糸を使用し、引上げ速度 5~50 mm/s、ディップ回数 1~5 回の条件下で PVC ゲル膜厚を評価した。ディップ液として用いる PVC ゲル溶液は揮発性のため、浸漬時間はいずれの条件も 3 秒以内とした。図 4 に引上げ速度と発生するダマ部分の直径を示す。引上げ速度が 10 mm/s 以上になるとダマが発生し、速度が上がるにつれて直径が大きくなること分かる。

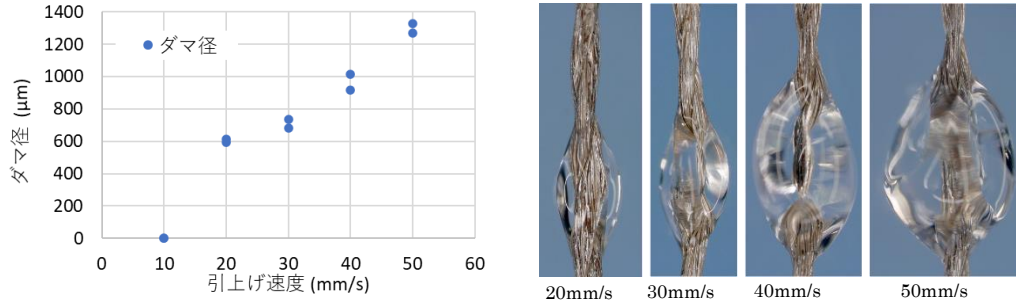


図 4 引上げ速度と不均一部分の厚み変化

次に、引き上げ速度 10mm/s 以下での繰り返しディップ回数と膜厚の関係を調査した。その結果を図 5 に示す。引上げ速度 10 mm/s と 8 mm/s では平均してほぼ同等の厚みとなるが、引上げ速度 8 mm/s の方が膜厚にバラつきが少なくより安定したコーティングが出来ること分かった。また、引上げ速度 5 mm/s では一度のディッピングで形成される膜が薄く、露出部などが発生するなどし、不均一部分が多い結果となった。

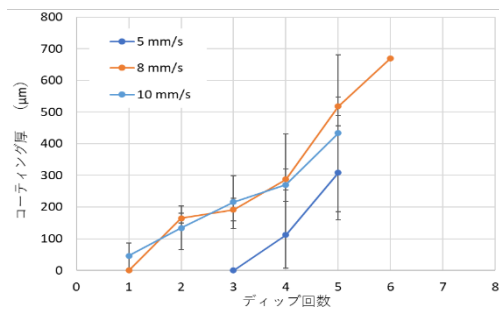


図 5 ディップ回数と掃引速度による膜厚の比較

##### (2) ファイバースフトアクチュエータの試作

芯材に銀メッキ糸を用いた芯鞘構造ファイバーを陰極、SUS 線を陽極としてファイバースフトアクチュエータを試作した (図 6)。変位量は、照射板と接続されたファイバースフトアクチュエータを吊り下げ、照射板とレーザー変位計センサヘッドとの距離を測定した。ファイバースフトアクチュエータの最適構造を検討するため、PVC ゲルコーティング厚と陽極の巻き数による変位量の比較実験を行った。その結果、図 7(a) に示すようにゲルコーティングが厚いものは変位量が小さいことが分かった。電極間距離の問題の他、コーティングを厚くすることでゲルファイバーの曲げ方向への柔軟性が損なわれることが要因と考えられる。また、図 7(b) に示すように陽極との撚り回数が多い方が変位量が大きいことが分かった。陽極との接触面積が増えるためと考えられる。

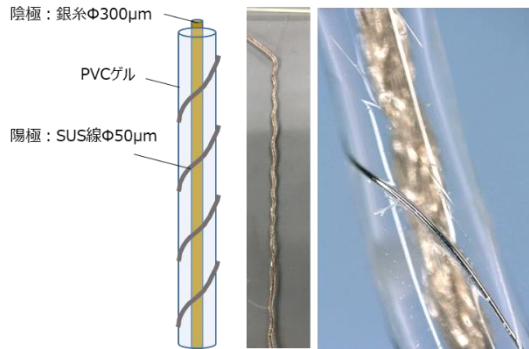
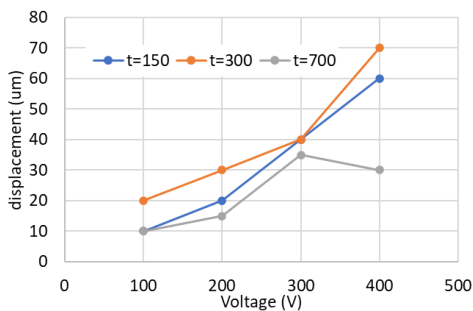
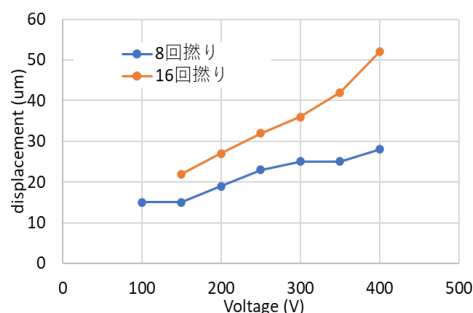


図 6 ファイバースフトアクチュエータの試作 [試作 1]



(a) 膜厚による変位量比較



(b) 撚り数による変位量比較

図 7 アクチュエータの変位量比較

### (3) ファイバーソフトアクチュエータの構造

(2)で作製した試作アクチュエータの特性比較の結果から、芯鞘構造ゲルファイバーの PVC 膜厚を 300 $\mu\text{m}$  とし、陽極との接触面積の多い構造となるよう 3つのファイバーソフトアクチュエータを考案し (図 8)、その特性を評価した。伸展変位量及び発生応力測定の結果を図 9 へ示す。

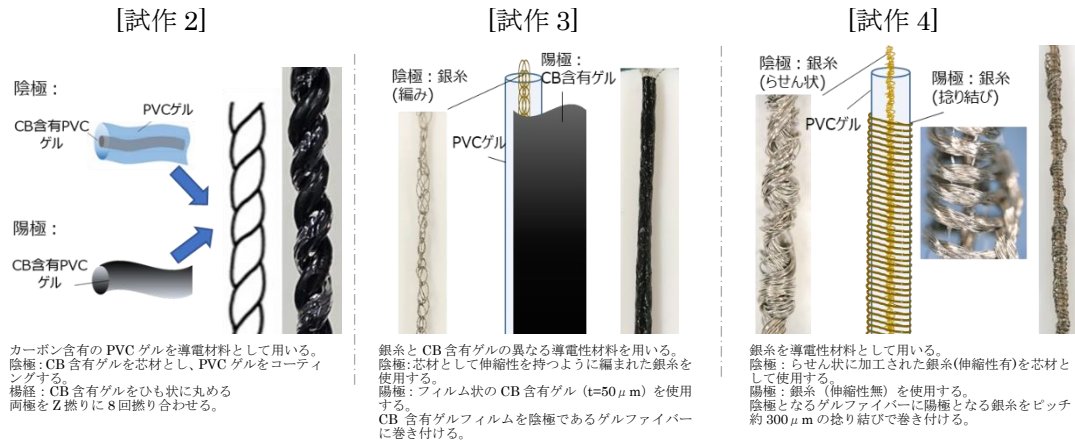


図 8 ファイバーソフトアクチュエータの試作 [試作 2,3,4]

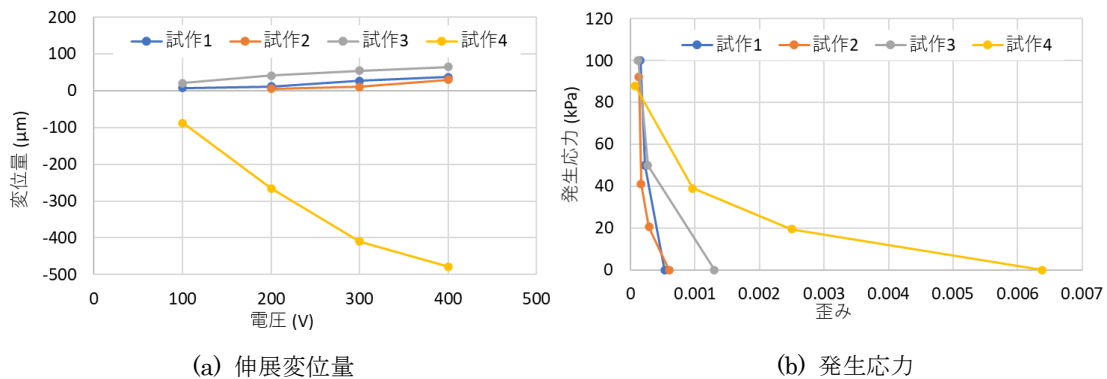


図 9 試作アクチュエータの特性比較

試作 1.2 は前述の図 3 で示した通り、電圧印加により陽極表面に沿って高分子ゲルが変形することから、アクチュエータの半径方向に収縮して、結果としてファイバーソフトアクチュエータが伸展変位すると考えられる。試作 1 に比べて試作 2 の変位量が小さくなった要因として、撚糸構造を構築する際に試作 2 では両極のファイバーに下撚りが掛かっていることが挙げられる。下撚りがかかっているために各ファイバーが既に伸展方向に引き伸ばされた状態となり、上撚りでファイバーソフトアクチュエータを構築した際の伸展変位量が小さくなったと考えられる。

試作 3 は試作 1.2 と比較して変位量が大きい傾向にあった。試作 3 は撚糸構造ではなく芯材、PVC ゲル、CB 含有 PVC ゲルから成る多層ファイバー構造となっている。また、芯材の銀糸は伸縮性を有する構造で編み込まれており、陽極である CB 含有 PVC ゲルもフレキシブルな導電性フィルムである。フレキシブル電極で挟まれた PVC ゲルは、電圧印加によって陽極側に沿ってクリープ変形を起こし、アクチュエータの半径方向に収縮する。同時に電極間で働く Maxwell 応力により、PVC ゲル及び CB 含有 PVC ゲルは面方向へ変形し、伸縮性のある芯材も追随するために、ファイバーソフトアクチュエータとしては伸展方向へ変位すると考えられる。

試作 1.2.3 のファイバーソフトアクチュエータが伸展挙動を示したのに対し、試作 4 のアクチュエータは収縮挙動を示した。試作 4 は陽極として巻き付けた銀糸が蛇腹の骨組みのような構造となっており、ピッチ約 300 $\mu\text{m}$  の空隙がある。電圧印加によって陽極銀糸の表面へ PVC ゲルが吸着の変形挙動を起こすために、銀糸のピッチが狭まり、結果としてファイバーソフトアクチュエータが収縮すると考えられる。

発生力測定の結果、いずれのファイバーソフトアクチュエータも最大発生応力は約 100kPa であった。フレキシブル材料で構築されたアクチュエータであるため、ファイバー一本の応力は小さいが、束ねたり、緯糸を入れて織物状にしたりと構造を変えることで力の増大は充分可能であると考える。

課題となる変位量の増大にはファイバーソフトアクチュエータの長さを、発生応力の増大にはファイバーソフトアクチュエータの本数を増加させる。今後はファイバーという形状を活かし、織物状、ひも状、網状へと構造を展開していく予定である。

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 0件）

1. 発表者名 堀井辰衛, 橋本稔
2. 発表標題 芯鞘構造PVCゲルファイバーを用いた織構造シート状アクチュエータの特性
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p><a href="http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/textiles/chair/ht-lab/">http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/textiles/chair/ht-lab/</a></p>
--

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
研究 分担者	塚原 淳  (Tsukahara Atsushi)  (70601128)	信州大学・学術研究院繊維学系・助教    (13601)	

	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
研究 協力者	鈴木 彩  (Suzuki Aya)		

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
---------	---------