

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14126

研究課題名（和文）繊維状ソフトポンプの研究開発：基礎特性の把握

研究課題名（英文）Research and development of fiber soft pumps: Investigation of basic characteristics.

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・准教授

研究者番号：10821746

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の成果として、まず、繊維状ソフトポンプに適した材料を明らかにし、製造方法を確立した。次に、繊維状ソフトポンプの出力を増大させる作動液体を見出した。そして、繊維状ポンプの新規の構造としてらせん状電極を用いることを着想し、製作と測定を行った。その結果、この種のポンプの基礎特性を把握することができた。具体的には、0-9 kVの電圧範囲で118 mL/minまでの流量と2.9 kPaまでの圧力を出力できることが分かった。並行して、得られた成果をアクチュエータや異なるタイプのポンプへ応用した。以上の成果は、学術雑誌論文や学会で発表し、特許出願も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

繊維状の流体駆動ソフトデバイスは、織物のように編み込めるため汎用性が高く出力も大きいですが、外部的なポンプが必要であるため、構成が複雑になりがちである。こうした背景において、本研究では、内部的に実装できる繊維状ソフトポンプを提案し、適した材料の同定を行い、製造方法を確立し、良質な作動液体を発見し、そしてポンプの基礎的な性能特性を明らかにしたところに学術的意義がある。本研究の成果である繊維状ソフトポンプが、次世代の流体駆動要素となって、様々なデバイスに適用されることにより、ソフトロボットの社会実装が大きく促進され、人々の生活がより豊かになることが期待できるところに社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this research, we first identified suitable materials for fiber soft pumps and established a fabrication method. We then discovered a working fluid that increases the output of the pumps. Finally, we conceived the idea of using a helical electrode as a novel structure for the fiber soft pump, and fabricated and measured it. As a result, the fundamental characteristics of the pump were obtained. Specifically, it was found that a flow rate of up to 118 mL/min and a pressure of up to 2.9 kPa could be output in the voltage range of 0-9 kV. In parallel, the obtained results were applied to actuators and different types of pumps. These results were published in journal papers and conferences, and applied as patents.

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 ファイバー ソフトポンプ アクチュエータ ポンプ 誘電エラストマーアクチュエータ 静電アクチュエータ

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

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性質を持つと、触れた物になじむことができ、外部からのショックを吸収できる。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、ソフトロボットは自然環境の調査や災害救助のためのモバイルロボット、および医療や介護において人の動作を補助するウェアラブルデバイスといった用途で、社会に広く普及して役立つことが期待される。

ソフトロボティクスにおいて、デバイスの動作を担うアクチュエータには様々な種類がある。その中で、細長い繊維状のアクチュエータは、織物のように編み込んだり、ロボットの構造上に自由に配置できるため汎用性が高い。アクチュエータを編み込んで構成するアクティブテキスタイルは、人の体に装着するウェアラブルデバイスに特に有効である。繊維状アクチュエータには、液体や空気といった流体の入力によって動作するものがある。この駆動方法は、アクチュエータの構造が単純になることに加えて、出力できる力や変位が大きいという利点がある。しかし、動力源には外部的な硬いポンプが必要であるため、結果としてロボットは大きく重くなり、構成が複雑になってしまう問題がある。これに対し申請者らは、前研究において柔らかい材料のみで構成されたポンプを開発した。しかし、依然としてポンプが外部的な要素となっていることには変わりはなかった。

2. 研究の目的

本研究では、繊維状ソフトポンプを提案する。このポンプの研究開始当初の模式図を図 1a に示す。柔らかいチューブの内側に楕円の電極が配置された構造となっている。図 1b にポンプの長さ方向の断面図を示す。電極間に電位差を与えると、チューブに満たされた誘電性流体の分子がイオン化されて電場に沿って動く。その結果、全体として一方向の流れを生み出し、ポンプとして動作する。繊維状の構造によって、本来は外部的な要素であったポンプが、アクチュエータと共に編み込んだり、ロボットの構造上に自由に配置できるようになる。本研究では、繊維状ソフトポンプの製造方法を確立すること、ポンプの基礎的な性能特性を明らかにすること、およびソフトロボティクスへの有効性を実機の開発を通して実証することを目的とする。

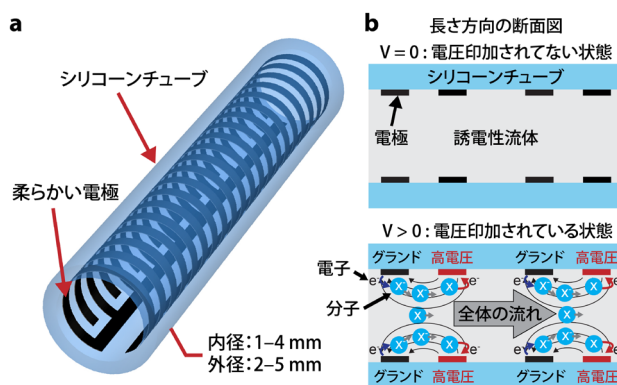


図 1. (a) 繊維状ソフトポンプと (b) 動作原理.

3. 研究の方法

本研究で提案する繊維状ソフトポンプは、シリコンチューブと柔らかい電極から構成される。母体となるシリコンチューブは、型を用いるモールドイングによって製作することとし、そこに導電性材料を塗布することを基本的な指針として、こうした製作方法に適した材料の同定と、細部の製作工程の検討を行うこととした。製作したポンプは圧力と流量を明らかにするべき基本特性とし、これらの測定が行えるテストベンチを構築することとした。製作したポンプの基本特性が明らかになった時点で、それを応用したデバイスの検討と開発を行うこととした。

4. 研究成果

繊維状ソフトポンプに必須である十分な柔らかさを持つ、任意の直径のシリコンチューブの製作を可能とする方法を確立した。この方法では、上述した通り、型を用いるモールドイングによってチューブを製作する。材料として、Dow Corning 社製 Sylgard 184 と Smooth-On 社製 Ecoflex 00-30 の混合物が確立した製作方法に適していることを明らかにした。これらの材料によってできたチューブに酸素プラズマ処理を施すことで、炭素ナノ粒子とシリコンの混合物からなる電極材料が接着できることを確認した。また、その際の最適な処理条件を明らかにした。さらに、ポンプを特性解析するための、圧力・流量センサーと治具からなるテストベンチの製作を行い、単純なポンプをサンプルとした簡易実験によって、測定が正確に行えることを確認した。その様子を図 2 に示す。ポンプ構造の液体に対する防水性や、高電圧印加に対する絶縁耐性を実験を通して確認した。その過程で、本研究で製作したチューブそのものが静電アクチュエータとして動作することを新たに発見した。この挙動は、チューブ内外の液体が電極として作用する際に発現するものである。進捗状況が良好であったことから、チューブの静電アクチュエータとしての特性解析も行った。

繊維状ソフトポンプの性能は、内部の作動液体に左右される。そのため、構築したテストベンチにおいて、作動液体の検討を行った。その過程で、アジピン酸ジブチル (DBA) にポリ塩化ビニル (PVC) を添加したものが他の液体よりも大きな出力を示すことを見出した。また、ゲル化した PVC をアクティブなスマート材料として応用すると、静電ポンプとして機能することも明らかにした。

繊維状ソフトポンプの特性解析における実験計画を検討している途上で、新規の構造としてらせん状電極を用いることを着想した。らせん状電極は、図 1a に示す楕型電極よりも形状が単純であるため、製作方法の簡易化と高い電気・機械的な安定性が期待できる。そこで、らせん状電極を持つ繊維状ソフトポンプを、すでに確立した製造方法によって製作した。製作されたポンプと動作の様子を図 3 に示す。このポンプの測定を行った結果、0-9 kV の電圧範囲で 118 mL/min までの流量と 2.9 kPa までの圧力を出力できることが分かった。

本研究で得られた成果は、学術雑誌論文や学会で発表され、特許出願もなされた。今後は、ポンプを応用したソフトデバイスの検討と開発を継続しながら、より詳細なポンプの性能特性の把握を通じた設計方法の確立を行う予定である。

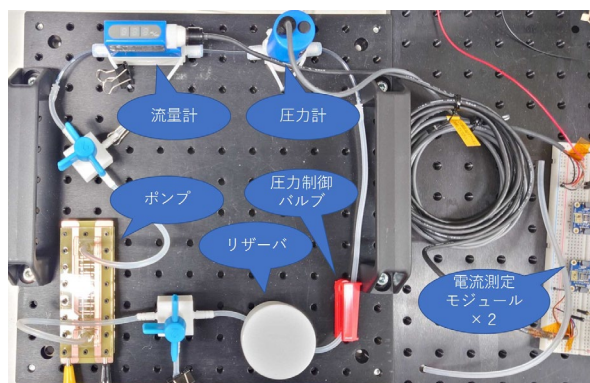


図 2. 構築したポンプ測定用のテストベンチ.

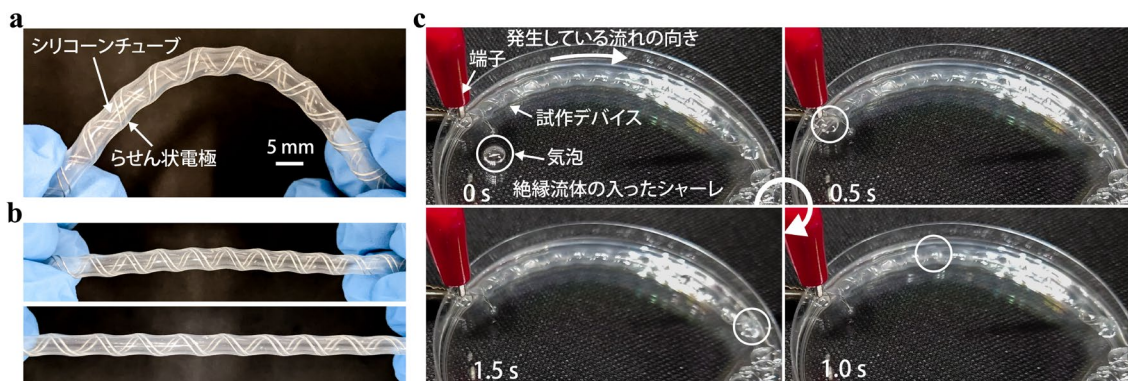


図 3. (a) 繊維状ソフトポンプの曲げ変形の様子. (b) 伸縮変形の様子. (c) 動作確認の様子. 絶縁流体で満たされたシャーレ内にポンプを配置し、5 kV を印加した状態において、流体面に置かれた気泡が、発生した流れによってポンプ内を通過している様子を示している.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Shimizu Keita, Murakami Kazuya, Ogawa Naoki, Akai Hideko, Shintake Jun	4. 巻 10
2. 論文標題 Polyvinyl chloride-added dibutyl adipate for high-performance electrohydrodynamic pumps	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/frobot.2023.1109563	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Motohashi Tomoki, Ogawa Naoki, Akai Hideko, Shintake Jun	4. 巻 12
2. 論文標題 Peristaltic micropump using polyvinyl chloride gels with micropatterned surface	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-27226-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nagai Toshiaki, Shintake Jun	4. 巻 14
2. 論文標題 Rolled Dielectric Elastomer Antagonistic Actuators for Biomimetic Underwater Robots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 4549 ~ 4549
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/polym14214549	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Keita, Nagai Toshiaki, Shintake Jun	4. 巻 13
2. 論文標題 Dielectric Elastomer Fiber Actuators with Aqueous Electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 4310 ~ 4310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/polym13244310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Junshi, Liu Lei, Chen Yuyu, Zhu Mingliang, Tang Liling, Tang Chao, Shintake Jun, Zhao Junjie, He Jiankang, Ren Xiaoyong, Li Pengfei, Huang Qiang, Zhao Huichan, Lu Jian, Li Dichen	4. 巻 2
2. 論文標題 Fiber-reinforced soft polymeric manipulator with smart motion scaling and stiffness tunability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell Reports Physical Science	6. 最初と最後の頁 100600 ~ 100600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.xcrp.2021.100600	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Tomoki Motohashi, Naoki Ogawa, Hideko Akai, Jun Shintake
2. 発表標題 Peristaltic pumps based on polyvinyl chloride gel actuator
3. 学会等名 Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXV (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本橋朋樹、小川直記、赤井日出子、新竹純
2. 発表標題 PVCゲルポンプの開発
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水敬太、菅野亮、永井敏輝、新竹純
2. 発表標題 水中で動作する誘電エラストマーファイバーアクチュエータの研究開発
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永井敏輝、新竹純
2. 発表標題 内骨格構造を有する誘電エラストマーアクチュエータの研究開発
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 ポンプ	発明者 赤井日出子、小川直記、新竹純、清水敬太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-0012268	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 マイクロポンプ	発明者 赤井日出子、小川直記、新竹純、本橋朋樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-137615	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 マイクロポンプ用動作液体及びマイクロポンプ	発明者 赤井日出子、小川直記、新竹純、清水敬太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-137614	出願年 2022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			
中国	西安交通大学			