

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	3DプリンティングによるDEA駆動搬送機構の検討
Title(English)	Preliminary Study on DEA-driven transport mechanism by 3D printing
著者(和文)	濱本龍之介, 難波江裕之, 鈴森康一, サイ シュウカイ
Authors(English)	Ryunosuke Hamamoto, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Qi Qiukai
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

3D プリンティングによる DEA 駆動搬送機構の検討

Preliminary Study on DEA-driven transport mechanism by 3D printing

○学 濱本 龍之介 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)
正 鈴森 康一 (東工大) サイ シュウカイ (ブリストル大学)

Ryunosuke HAMAMOTO, Tokyo Institute of Technology, hamamoto.r.ad@m.titech.ac.jp

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Qiukai QI, University of Bristol

This research aims to develop a mechanism that mimics biological muscles by using soft actuators composed of flexible materials. Soft actuators are flexible with respect to the object, a property that is difficult to achieve with conventional rigid actuators. The focus of our research is to use electrostatically driven soft actuators to fabricate mechanisms for transporting objects that mimic the principles of biological muscle contraction. Existing research using the principle of muscle contraction in living organisms has faced issues of control complexity and fabrication difficulty due to the use of multiple actuators. Therefore, in this research, we expect to use a single soft actuator to drive multiple simple pantograph structures fabricated by a 3D printer, which will result in smaller and more efficient molding.

Key Words: Soft Actuator

1 緒言

金属などで構成される電磁モータとは対照的にソフトアクチュエータはゴムや高分子材料など比較的柔らかい素材で構成されている [1]. ソフトアクチュエータはその機械的柔軟性から環境に対する適応性が高く従来の固い材料で構成されたアクチュエータでは困難であった作業を実現することが可能になった. 特に生体の筋肉に近い特性を持つ人工筋肉は空気圧を駆動源としたマッキベン人工筋肉や電気で駆動する電気活性ポリマーを利用したものなどがある. しかし実際の筋肉と比べると重量や、応答性と出力のバランス、耐久性といった課題がある [2]. そのため生体独自の独特な構造を理解することによってソフトアクチュエータを発展させる可能性を秘めている. 筋肉は筋線維の束で構成されていて、各筋線維は筋フィラメントで構成され、筋フィラメントはアクチン、ミオシン、トロポミオシン、トロポニンなどからなる収縮タンパク質で構成される. クロスブリッジと呼ばれるミオシン分子の頭部が、隣接するアクチン分子に順番に結合し、アデノシン三リン酸に含まれるエネルギーを動力源とすることで、ミオシン分子がアクチン分子を漕ぐような動きで一方方向に動かし、線維間のずれを生じさせる. そしてそれらの線維が無数に集まっていることで筋肉の収縮につながるとされる. そこで一種の搬送機構であるこの線維間のずれを生じさせる機構に発想を得て生体の筋肉に近い特性を持つ人工筋肉に利用する機構の開発を目標とした. 筋肉収縮の原理を模倣した搬送機構としては既に誘電泳動ジッピングアクチュエータを筋線維の模倣として利用したもの [3] やバルーン型の誘電エラストマーアクチュエータを複数駆動することで搬送するもの [4] などが研究されている. しかしいずれも複数のアクチュエータを使用するため制御や構造の複雑化やそれに伴う製作の困難さから小型化には適していない. そこで本研究では、平面状の Dielectric Elastomer Actuators (DEA) に着目し、DEA 上に 3D プリンタで製作された複数の機械構造を配置することで一つのソフトアクチュエータ上で前述の搬送機構を実現するような手法を提案する. それにより各要素の小型化につながり、3D プリンタで造形することで小型化した構造物の集積性の向上が期待できると考えている. 本稿では原理試作として、数センチメートルスケールのパンタグラフ構造を DEA によって駆動する試作機を製作した. またそれを用いた基礎実験の実験の結果について報告する. 本稿の残りの章は以下の通りである. まず、2 章で本研究における搬送機構の提案を行い、3 章では本機構の製作方法と簡易的に製作した試験機の動作確認のために基礎実験を行う. そして、最後に結言を述べる.

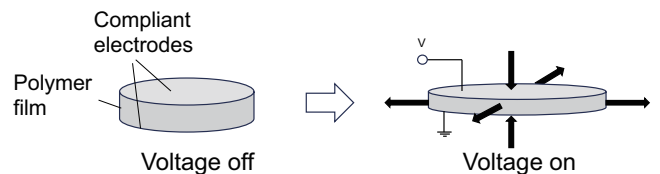


Fig.1 The principal of DEA.

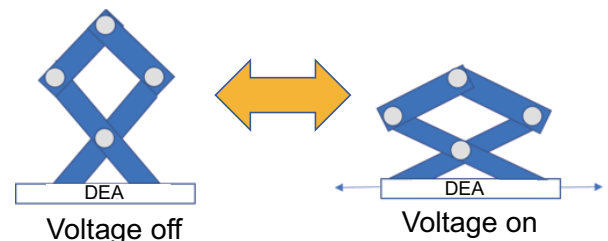


Fig.2 The Schematic of the mechanism consisting of DEA and a simple pantograph structure.

2 設計手法の提案

本搬送機構は DEA による駆動部とそれによって駆動され、3D プリンティングによる積層造形で造形される送り出し機構からなる. 本稿では送り出し機構として簡単のためにパンタグラフ構造を採用した. 複数の送り出し機構を製作することを考えると、組み立てやサポート材の除去の工程が不要な設計が望ましいため、提案する機構はそれらが不要となるような構造とする. DEA は図 1 に示す通りエラストマー膜を柔軟な電極で挟んだ構造をしており、電圧を印加することで電極間に引力が発生し厚さ方向に縮み、面方向に伸長する. この変形をアクチュエーションに利用する.

本研究の提案手法の概略図を図 2 に示す. このように、今回は簡単のためにシンプルな構造であるパンタグラフ構造を DEA に

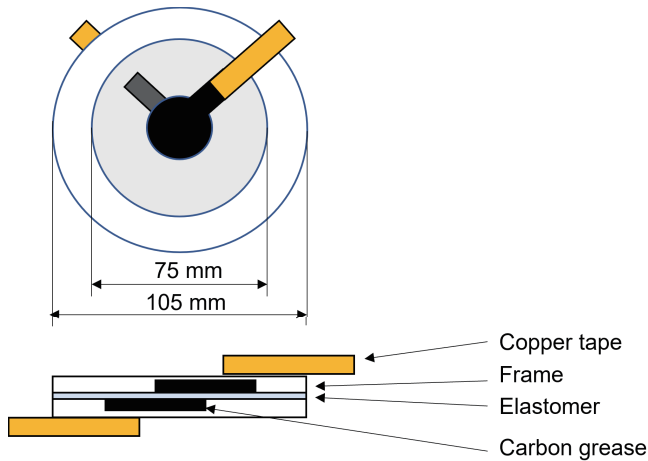


Fig.3 DEA Structure Diagram.

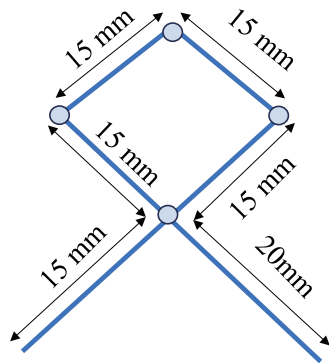


Fig.4 The Length of each link in pantograph structure.

直接取り付けられた構造になっている。DEA に電圧を印加することで面方向の変位が発生しパンタグラフの脚部分が開く。そして脚部分が開いた動きに連動して各リンクを動かす仕組みとなっている。さらに筋肉収縮の原理から発想を得て、ミオシン分子の動きをパンタグラフ構造と DEA を組み合わせることによって再現を目指し、パンタグラフの最上部の動きによって一方向へ対象物を搬送する機構とする。

3 試作機における駆動実験

3.1 作製方法

製作する DEA は図 3 に示すようにフレーム、エラストマーフィルム、電極部分の 3 つからなる円状のものとなっている。本稿ではエラストマーとして扱いが容易なアクリル製のテープである 3M 社の VHB4905 を用いて実験を行った。電極に関しては、塗布が容易なカーボンブラックが混ざれたグリースを使用し、パンタグラフと DEA 部分の接着には Henkel 社の LOCTITE401 を使用した。本研究で用いられる構造物の製作過程を以下に示す。

1. 材料を ABS とした内径 75 mm、外径 105 mm のフレーム、パンタグラフを 3D プリンタで製作する。
2. アクリルエラストマーテープを 50 mm 四方で切り取る。
3. 切り取ったテープに 150 % の予ひずみを加えフレームに固定する。
4. エラストマーフィルムにマスキングテープをつけてカーボングリースを塗布し電極部分を製作する。
5. 銅テープを電極部分に貼り付ける。
6. パンタグラフの片方の脚部分を固定されているフレーム部分へ、もう片方をエラストマーフィルムに接着する。

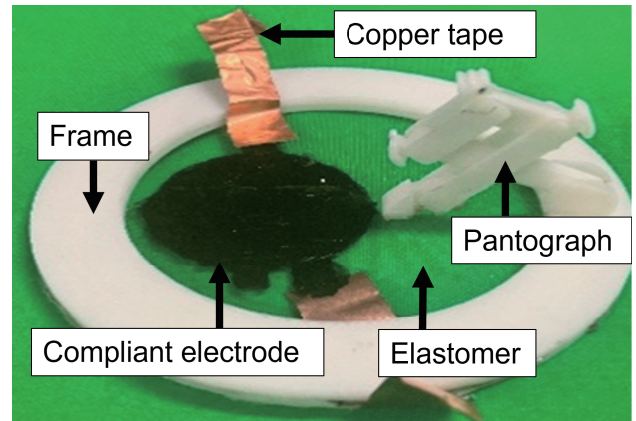


Fig.5 Appearance of prototype combining DEA and pantograph structure.

3.2 駆動実験

試作機を用いた駆動実験を行った。パンタグラフの各部分のリンク長は図 2 に示す通りであり、試作機の外観は図 3 のようになっている。結果としては脚同士が十分に開閉せず理想的な伸縮は見られなかった。これは厚さ 50 μm と非常に薄いエラストマー膜上に直接パンタグラフを接着しているため、重力の影響で上下方向のひずみが発生していることが原因だと考えられる。さらに 3D プリンタの造形精度の制約からパンタグラフ構造を DEA の変位量に対して十分小型にできていないことが原因であると考えられる。

4 結言

本稿では 3D プリンティングと DEA を用いて、生体筋肉の構造を基とした搬送用機構の開発を目的とし、簡易試作機による原理検証を行った。パンタグラフ構造と DEA を組み合わせた試作機を用いた駆動実験において動作に成功した。しかしながら、十分な伸縮動作が行われないという課題が残った。3D プリンタの造形精度不足による造形誤差が原因だと考えられ、造形精度を考慮した設計手法を検討する必要がある。また、複数のパンタグラフ構造の駆動についても検証を行う。さらに、マイクロ 3D プリンティング技術を用いることによる小型化や集積化についても取り組んでいく。

謝辞

本研究は JSPS 新学術領域研究（研究領域提案型）18H05470 の補助を受けて実施した。

参考文献

- [1] Nazek El-Atab, Rishabh B. Mishra, Fhad Al-Modaf, Lana Joharji, Aljohara A. Alsharif, Haneen Alamoudi, Marlon Diaz, Nadeem Qaiser, and Muhammad Mustafa Hussain. Soft actuators for soft robotic applications: A review. *Advanced Intelligent Systems*, Vol. 2, No. 10, p. 2000128, 2020.
- [2] Diego R Higuera-Ruiz, Nishikawa Kiisa, Feigenbaum Heidi, and Shafer Michael. What is an artificial muscle? a comparison of soft actuators to biological muscles. *Bioinspir. Biomim.*, Vol. 17, No. 011001, 2022.
- [3] Martin Garrad, Mohammad Naghavi Zadeh, Christian Romero, Fabrizio Scarpa, Andrew T. Conn, and Jonathan Rossiter. Design and characterisation of a muscle-mimetic dielectrophoretic ratcheting actuator. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 7, No. 2, pp. 3938–3944, 2022.
- [4] Yujin Jang, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, and Koichi Suzumori. Analysis of the multi-balloon dielectric elastomer actuator for traveling wave motion. *SENSORS AND ACTUATORS A-PHYSICAL*, Vol. 333, , 2022 JAN 1 2022.