

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04288

研究課題名（和文）格子配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた生体規範型流体内推進機構

研究課題名（英文）Bio-normative in-fluid propulsion mechanism using coordinated motion of lattice array linear soft actuators

研究代表者

中林 正隆（Nakabayashi, Masataka）

宇都宮大学・工学部・助教

研究者番号：50638799

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題は最終目的であるリニアソフトアクチュエータを用いて高自由度の変形性能を実現、任意の遊泳形態で遊泳する流体内推進機構の開発のため、ユーグレナの複合表皮帯構造を規範とする基礎運動機構を開発することを目的とした。これを実現するアクチュエータ(SMAA)を試作検討し、高出力と高変位を実現する形状記憶合金アクチュエータ製造技術を構築、歩留まりを低減した。高自由度の変形を実現する構造についても試作検討がなされ、基礎技術として多孔質シートと格子配列SMAAを用いた弾性型変形機構とその制御系を開発した。この結果、本研究を更に拡張すれば任意の形状に変形する汎用型流体内推進機構を実現できると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：高効率・安全性の観点から生物規範的な流体内推進機構が開発されてきたが、その多くの研究は各環境下の生物模倣といった合目的な設計であった。本研究は、それらの研究とは全く別に、高自由度の変形機構を実現することで任意の遊泳形態を実現する汎用型流体内推進機構を開発しようとするものであり、その基礎技術は学術的にも新たな知見と意義をもつ。
社会的意義：汎用流体内推進機構のための基礎技術が確立されたことは、新たな機械要素開発のための知見にもなり得る。また高発生力・高変位のSMAAの歩留まりを押し安定した製造方法が確立については、今後のロボット開発における重要な技術を提供できたとも考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project was to develop a basic motion mechanism based on the pellicular complexes structure of Euglena to realize high-DOF deformation performance using linear soft actuators and to develop an in-fluid propulsion mechanism for swimming in an arbitrary swimming form. We have developed a prototype actuator to realize this mechanism, and developed a manufacturing technology for a shape memory alloy actuator (SMAA) with high power and high displacement to reduce the yield. A prototype structure for high-DOF deformation was also studied, and an elastic deformation mechanism and its control system using a porous sheet and a lattice array of SMAA were developed as a basic technology. As a result, it is believed that a general-purpose in-fluid propulsion mechanism that can be deformed into arbitrary shapes can be realized by further extending this research.

研究分野：バイオメティクス/メカニクス，医用システム，福祉工学，リハビリテーション，流体力学

キーワード：バイオメティクス バイオメカニクス ソフトロボット SMA 人工筋肉 流体内推進機構

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般的な水中推進器であるスクリュプロペラによる環境負荷(漁網・藻の巻上げ / 攪拌による汚泥の巻上げ / 水質汚濁)に対し、生物の遊泳手法は低環境負荷であり高効率な点から、流体力学的な研究が多く行われている。特に弾性的な運動は有効だと報告されており、ソフトロボット開発による遊泳機構の研究が注目を浴びている。これらの研究の多くは、それぞれの環境下に適合した生物の運動形態を模倣することで、その任意の目的に合わせた機能を実現する合目的的な設計がなされている。これは即ち、その遊泳形態自体を形成するのはその形状の変化に他ならず、それぞれの環境に合わせてロボット開発を行わなければならないことを意味している。

そこで本研究では、このようなこれまでの研究開発手法とは全く異なるアプローチとして、高度な変形機構を有することで複数の遊泳形態に変形可能な運動機構を開発することを提案した。これを実現する運動構造として、真核生物であるユーグレナ類の運動に着目した。ユーグレナは、全体が弾性体で構成され、それによって高度な形状変化能力を有している。この運動はユーグレナ運動と呼ばれ、複数の形状への変化を実現している。これによって、同一の機構で複数の遊泳形態に変化できれば、多くの環境に適用可能な汎用型の遊泳装置が実現可能になる。

2. 研究の目的

ユーグレナの細胞表面には、この属特有の複合表皮帯と呼ばれる細胞骨格が存在し、変形時にはそれらが相互滑走することが知られている(図1)。この運動原理は未だ明らかになっておらず、(i)表皮帯の深部に収縮機構が存在し、これが原動力となっている説、(ii)隣接する表皮帯が能動的にスライドする説など、複数の説が存在する。本研究では前者をもとに高度な変形機構を実現することを提案した。この収縮機構の配置については、滑走方向の力の発生が必要であることから変形機構内部には格子配列されていると推察できる。これらのことから、格子配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた流体内推進機構を開発する。

本研究期間においては、(1)原動力として利用するためのリニアソフトアクチュエータの制御方法を確立、(2)高度な変形を実現するための弾性骨格構造の開発、(3)Body and/or Caudal Fin (BCF)推進、蠕動運動などの複数の変形形態を実現すること(図2)を目的とした。

3. 研究の方法

(1) リニアソフトアクチュエータ (Linear Soft Actuator, LSA) の構成と制御方法の検討: 本装置のアクチュエータには既存の形状記憶合金アクチュエータ (Sharp Memory Alloy Actuator, SMAA) を用いることとし、この制御に用いる PFM 制御基板も自作した。初めの試みとして単一線維の人工筋での 2 Ch 制御を試み、その後、複合線維の SMA 人工筋での発生力と変位の評価が行われた。また、ナイロンを素材とする Twisted and Coiled Polymer Actuator (TCPA) の適用可能性も考え、製造装置が作成され、性能の評価が行われた。

(2) 代替人工筋を用いた格子配列リニアソフトアクチュエータ(LSA)を用いた変形機構の開発: 前節 3.(1)を適用する変形機構として、当初高分子ビーズを複合繊維囊に入れた構造を提案していたが、あまりの剛性の低さから、この構想で作成することは断念された。この代替として、PVC フィルムシートと複合 SUS ワイヤによる弾性外骨格を作成した。この内部には LSA を導入する前段階として、確実な変形量が期待できる代替人工筋をワイヤ駆動方式の伸縮ユニットによって作成し、これを上下二段格子状に複数配置することで格子配列 LSA の協調運動を用いた変形機構を作成した(図3)。格子状に配列されたアクチュエータについて、上段を N_u 、下段を N_l とし、3種類の収縮パターンによる変形動作を行わせ、ユーグレナの変形挙動と同様の変形が実

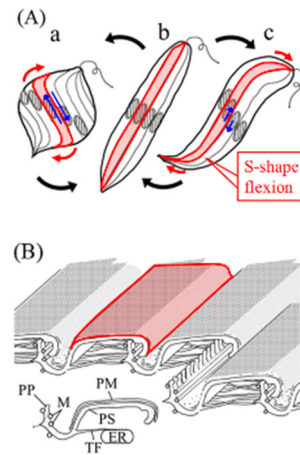


図1 ユーグレナの変形原理
(A) 相互滑走 (B) 複合表皮帯構造
M: 微小管, ps: 表皮帯
PM: 細胞膜, PP: 周期的突起

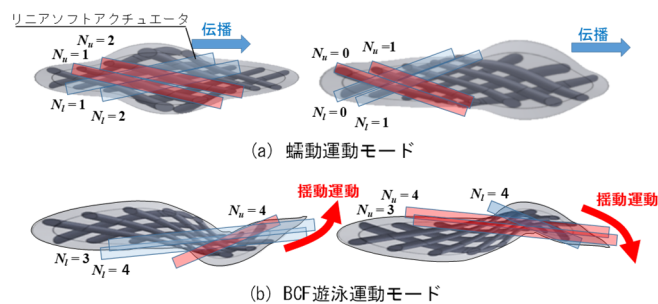


図2 格子配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた流体内推進機構の運動

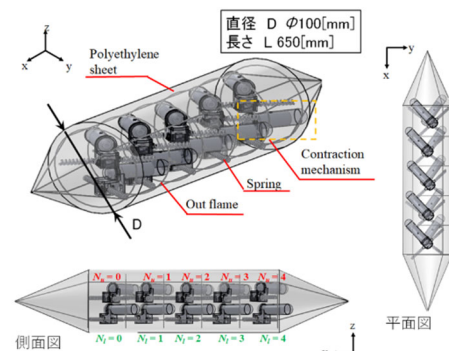


図3 格子配列 LSA(代替)を用いた変形機構

現可能かを検討した。初めの試みとして実験環境は空中とし、中央にロープを通して、外力が与えられない状態で計測が行われた。動作解析に際しては、機構外郭部の表面に配置したマーカをデジタルビデオカメラで撮影して、動作解析ソフト Kinovea experiment を用いて2次元動作解析を行うことで、その変形能力の評価が行われた。

(3)多層配列リニアソフトアクチュエータを用いた流体内推進装置のための基礎運動機構

前節 3. (2) の変形性能の評価の詳細は後述するが、構成材料の再選定、アクチュエータの配置方法の変更など改良を試みたが、変形能力の不足し、前節 2.(2), (3) の目的を達成することが困難であった。

これを受け、アクチュエータの配置・変形原理から見直すこととした。前節 1.(i) で述べた原理について、表皮帯の線状構造の中心として両側面側に同方向に収縮機構が存在すると仮定、表皮帯自体が収縮機構（すなわち、LSA）によって屈曲し、それが隣接する表皮帯間の連動した滑走をもたらし、結果として LSA が格子状に配列され変形するのだと考察した（図 4）。この考察を元に表皮帯を模した単体屈曲構造を作成した（図 5(a)）。作成した単体表皮帯を模した屈曲構造は、六角錐台の配列形状に切り出した弾性ブロック配列（図 4, FM1）に対して、弾性シート（図 4, FM2）を側面に貼り付けた弾性平線の基本屈曲構造（以降、EBA と略称）で構成した。これに新たに設計開発した自作の小型で柔軟な SMAA2 本を EBA 内部に挿入し両端を固定した。この EBA 単体ユニット（図 5(a)）の変形性能を評価し、加えて、その運動性を評価するために3ユニット複合 EBA（図 5(b)）を作成した。複合時にはシート状の FM2 にクラフトテープで多層の鱗上被膜を施した柔軟性の高い低摩擦構造シート（図 5, (c)(d)）を作成し、それを滑走ガイドに取付けることで EBA 間の運動を維持した連結を実現した。駆動条件は①BCF 推進のような屈曲運動を目的として各 EBA に配置された SMAA の片側のみ駆動させる条件、そして②蠕動運動のような収縮膨張運動を目的とした全 SMAA を同時収縮させる条件の2つとした。

この運動の評価には、前節 3. (2) と同様の2次元動作解析を用いた。ただし、3ユニット複合 EBA については、3次元動作解析が困難であったため各面に対して垂直に3台のデジタルビデオカメラを配置して、各表皮帯の運動性を評価することとした。なお、実験はアクリル板に接地した状態で行われた。

この運動の評価には、前節 3. (2) と同様の2次元動作解析を用いた。ただし、3ユニット複合 EBA については、3次元動作解析が困難であったため各面に対して垂直に3台のデジタルビデオカメラを配置して、各表皮帯の運動性を評価することとした。なお、実験はアクリル板に接地した状態で行われた。

(4)多孔質 PTFE シートの複合滑走構造を用いた高自由度変形機構：前節 3. (3) において、形状の変化パターンをアクチュエータの制御方法によって変更することが可能になったが（詳細は 4. にて後述）、変形量が少なく流体内推進機構に利用するには不十分であった。これを解消するため、先行研究のシミュレーションモデルを 3D スキャンしたデータと合わせて、実際のユーグレナと同様の表皮帯と同等数の弾性繊維構造を構成することで十分な変形量を得ることを考案した。この考案の結果、多孔質 PTFE シートの複合滑走構造を用いた高自由度変形機構が開発された（図 6）。柔軟かつ低摩擦である多孔質 PTFE シートにスリットを入れて加工することで繊維状とし、繊維間の距離を一定に保ち尚且つ効果的に滑走を生じさせるために幅 l のポリイミドフィルムで隣接する2本の繊維を束ねるようにして巻き付け市松模様状に N 箇所配置された。両端はシリコンシーラントにより端が円弧を描くように集約・固定され、2次元平面上の変形を行う。

本機構内の繊維同士の滑走状態および単純な変形能力を評価するため、SMAA (Ni-Ti コイル、鎌田スプリング社製) は本機構表面に対して一定角度を保ちつつ平行となるように2本配置した（図 6）。これら(a)両側同時収縮時と(b)片側収縮のみの2つの収縮パターンで運動させることで、繊維同士の相互滑走と変形制御の可能性を検

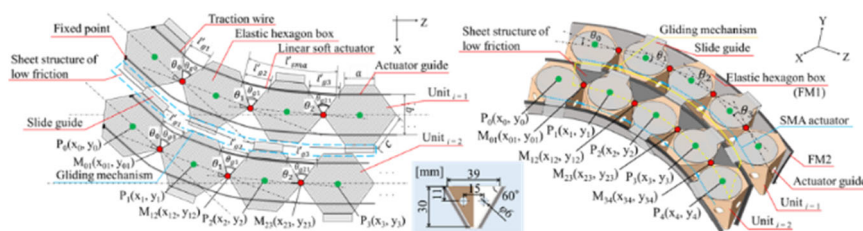


図 4 表皮帯を規範とした変形機構の駆動原理

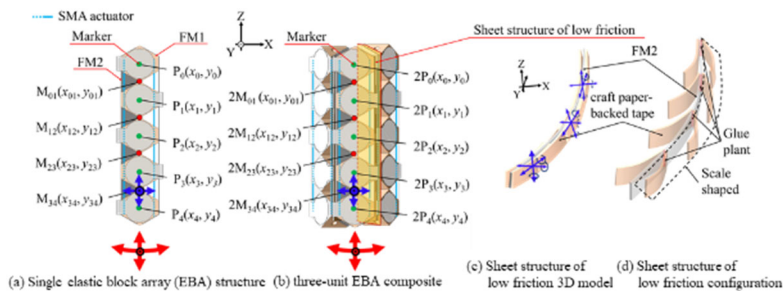


図 5 単体弾性ブロック配列ユニット単体の屈曲構造と3ユニット複合構造

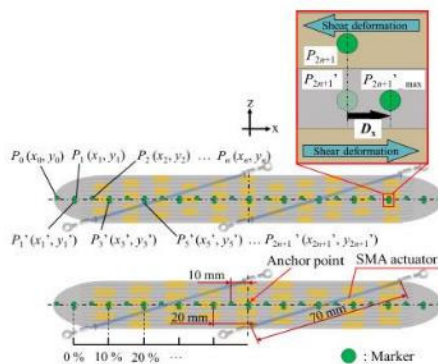


図 6 多孔質 PTFE 繊維複合体 (SMA-2 本配置)

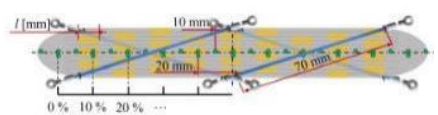


図 7 拮抗制御時の繊維複合体の SMA 配置

討する。

また、上述の装置では片側だけの繊維の滑走のみしか発生しえないため、拮抗制御となるように構造帯を挟んで格子状に SMAA を 4 本配置した機構 (図 7) も作成し、相互に動作させたときの挙動についても検討することとした。

実験では Type A, B, C ($l = 5, 7.5, 10 \text{ mm}$, $N = 44, 40, 33$) の 3 種を用意し、それぞれの滑走変位を比較した。実験環境は、SMAA - 2 本配置の場合は前節と同様に空气中、SMAA - 4 本配置の場合には冷却状態を考慮してフッ素系不活性液中で行うこととした。動作中の挙動は前節と同様に 2 次元動作解析で行うこととし、機構中心軸に対して $P_0 \sim P_{22}$ のマーカを固定し、それをデジタルビデオカメラで撮影した動画をもとに表皮帯間の滑走と変形量が計測された。このとき、機構の座標系の中心となる P_{11} を鉄針で固定することで、機構自体の移動を防いだ。

4. 研究成果

(1) リニアソフトアクチュエータの制御系構築と適用可能性：自作した PFM 制御基板を用いた簡易的な変位計測試験と適用可能性試験によって、複数の人工筋の同期制御も可能になった (5. 発表論文①②③)。しかし、当初の SMA 自体の原材料・熱処理による歩留まりの問題から、このアクチュエータを適用するには困難を極めたため、代替としてワイヤ駆動の代替人工筋が作成され、装置への組み込みがなされた (5.発表論文④)。しかし、重量の問題が大きく装置全体を十分に变形させるには性能が十分ではなかった。これに際し、ナイロンを用いた TCPA 人工筋なども検討されたが、これも装置に適用するには困難を極めた。この問題に際して、更に情報収集と試行錯誤行った結果、自作 SMA でも対応可能であること、また SMA のコイル成形/熱処理を全て対応可能なメーカを見つけることができ、外注によって相当数あった歩留まりの問題を解決できた。これによって本研究に適用可能性のある SMAA と制御系の構築が可能になった。

(2) 格子配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた生体規範型流体内推進機構の性能評価：SMAA の問題が解決しないため、ワイヤ駆動の代替人工筋を備えた変形機構を開発、変形性能が評価された。実験ではユーグレナ運動による変形を元に 3 つの収縮パターンを使用した。推進機構の後方 $N_u, N_L = 0$ を収縮した場合、駆動部付近では最大収縮が $\Delta d = 2 \text{ cm}$ 程度となった (図 8, 9)。魚類のような遊泳形態をとると予想されたが、先端部の振幅が少なく蠕動運動に近い挙動が見られた。複数のアクチュエータ $N_u, N_L = 0, 1$ を同時に動かす収縮パターンでは、屈曲運動のような挙動が見られた (図 10)。これは、複数の機構を動作させることにより、全体の変形量が増加したことが原因と考えられ、複数の機構を駆動させることで複数の動作が可能になると考えられる。変位量の向上とそれによる屈曲運動の拡大が推進力の発生に繋がることが示唆された。しかし、その後、変形方向の変換機構を骨格構造に導入するなどに改良を加えたが、所望の変形能力を示すことはなかった (5.発表論文⑤)。

(2) 多層配列リニアソフトアクチュエータを用いた流体内推進装置の性能評価 (5.発表論文⑥)：EBA 単体ユニットの挙動では P_0 から P_2 にかけて変位はほぼ確認されず、 P_3 と P_4 で変位が確認された (図 11(a))。また、X 方向の最大屈曲変位量は $T_c = 6 \text{ s}, D = 20\%$ と $T_c = 3 \text{ s}, D = 50\%$ の 2 条件で $\Delta d_{max} = 30 \text{ mm}$ の変位が見られた (図 12)。屈曲角度については、ユーグレナの変形モデル (Suzaki, et al, Cell Motility and the Cytoskeleton, Vol.6, No.2, 1986) の屈曲角度と比較して定性的に近いものの定量的に不足していた。より大きな変形を得るには、アクチュエータの発生力の向上と柔軟な素材あるいは表皮帯構造の改良が必要だと考えられる。

3 ユニット複合 EBA の挙動は、前節 3.(3).①の屈曲運動の

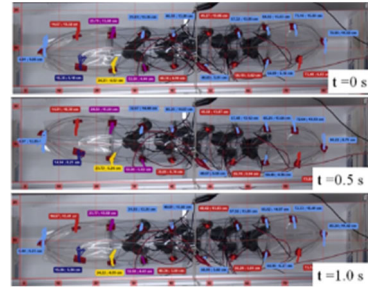


図 8 格子配列推進機構の挙動 ($N_u, N_L = 0$)

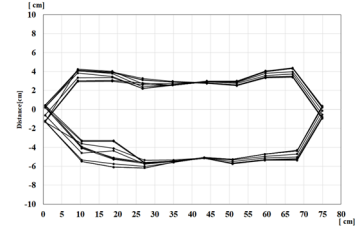


図 9 格子配列動作解析結果 ($N_u, N_L = 0$)

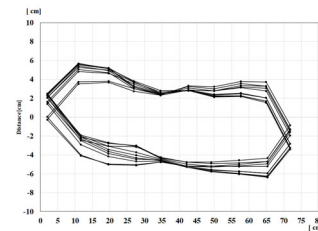


図 10 格子配列動作解析結果 ($N_u, N_L = 0, 1$)

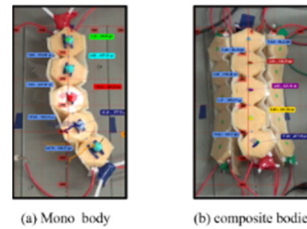


図 11 多層配列機構の屈曲時の挙動

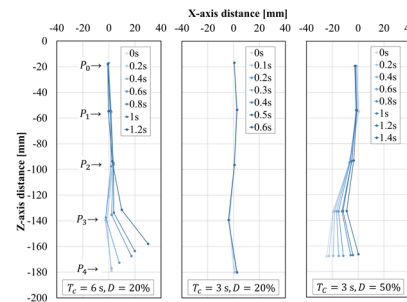


図 12 EBA 単体ユニットの屈曲時変形量

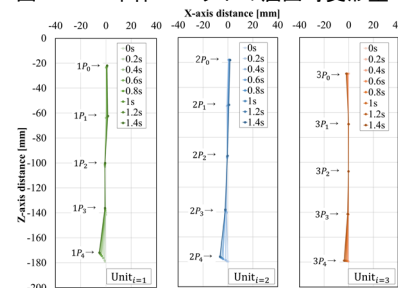


図 13 3 ユニット複合 EBA の変形量

条件下では単体屈曲構造の変形量と比べると変位が大きく制限されたが、微小な屈曲運動を確認することができた(図 11(b))。なお、このときの X 軸方向の最大変位量 $|X\Delta d_{max}| = 5 \text{ mm}$ 程度であった(図 13)。これは、表皮帯 1 と 3 が床面と接地していることによる摩擦が原因と考えられる。前節 3.(3).②の収縮運動の条件下では、全 EBA が収縮し互いに干渉することなく変形運動を実現することができたが、遊泳に見られる蠕動運動ほどの大きな変位を得ることはできなかった。

(4)多孔質 PTFE シートの複合滑走構造を用いた高自由度変形機構の変形性能: 前節 4.(2)で述べた変形モデルを 3D スキャンしたデータをもとに必要な自由度について再検討し(5.発表論文⑦)、改良した機構の変形性能を評価した(5.発表論文⑧)。

2本の SMAA を同時収縮させた駆動パターン A について、両端(P_0, P_{22})が対称的な方向に屈曲する S 字形状に近づいた(図 14(a))。変形前後の表皮帯先端 P_{22} の屈曲時の Z 方向の最大変位は $|\Delta d_{z,max}| = 20 \text{ mm}$ 程度であった(図 15)。配置された SMAA のうち向かって左の SMAA のみ収縮させた駆動パターン B では右側の領域で変位が増加する結果が得られた(図 14 (b))。片側収縮時の変位量は $|\Delta d_{z,max}| = 24 \text{ mm}$ 程度となった(図 16)。滑走変位はユーグレナの球形変形時の推定滑走変位に対してそのピークは、Type C で目標値と一致した。この結果より、Type C がユーグレナの拘束に適しているという結果が得られた。また、その滑走変位は $|D_{X,max}| \cong 1.8 \text{ mm}$ 程度という結果が得られた。

両面に人工筋を 2 本ずつ配置した拮抗制御時の変形挙動については片方向へのわずかな屈曲に留まり、最大変位は $|\Delta d_{z,max}| \cong 7 \text{ mm}$ 程度であった。これは、SMA の収縮力解消が不十分であったことが挙げられる。駆動後に外力を加えることや冷却方法を検討する必要がある。

これらの結果から、ユーグレナに近い変形性能を実現する可能性がある弾性構造体を実現することができた。しかし、まだ 2 次元レベルの変形挙動しか検討できておらず、3 次元レベルでは評価までには至っていない。今後は弾性構造体を 3 次元に落とし込んだ実験装置を構築し、アクチュエータの配置や制御系に関して検討する必要がある。

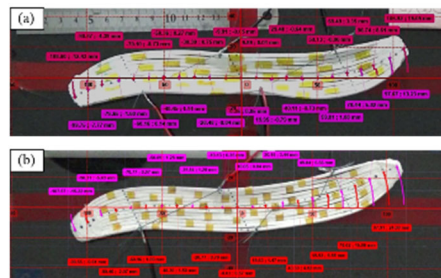


図 14 複合滑走構造の屈曲の挙動
(a) 両側収縮 (b) 片側収縮

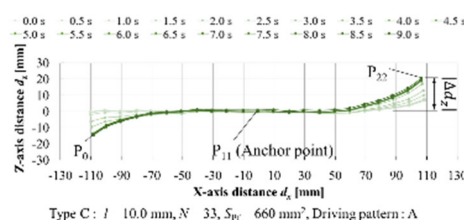


図 15 両側収縮時の変形軌跡 (Type C)

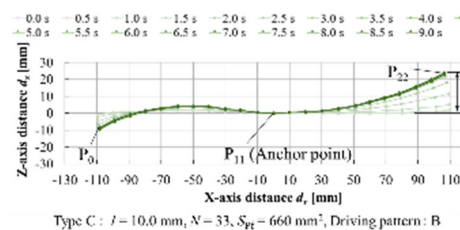


図 16 片側収縮時の変形軌跡 (Type C)

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 8 件)

- ① 吉田潤平, 中林正隆, 嶋脇聡, 石川敏也: リニアソフトアクチュエータを用いたフィンによる生体規範型流体内推進機構, 第 32 回バイオエンジニアリング講演会論文集(CD-ROM), 2B34, 2019
- ② 吉永怜央, 中林正隆, 吉田潤平, 嶋脇聡, 石川敏也: 概則摺動案内チューブを備えた巻きフィルムチューブ式 SMA アクチュエータの単独トルク計測, 日本機械学会バイオフロンティア講演会講演論文集(CD-ROM), 2B19, 2020
- ③ 吉永怜央, 中林正隆, 吉田潤平, 嶋脇聡, 石川敏也: 外側摺動案内チューブを備えた巻きフィルムチューブ式 SMA アクチュエータの単独発生力の計測(動的運動特性の検討), 関東学生会第 60 回学生員卒業研究発表講演会論文集, 504, 2021
- ④ 石橋萌絵, 中林正隆, 嶋脇聡: マルチアレイドリニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた流体内推進機構の収縮機構の検討, 関東学生会第 61 回学生員卒業研究発表講演会論文集, 218, 2022
- ⑤ 石橋萌絵, 吉永怜央, 田村雄飛, 中林正隆, 嶋脇聡: ユーグレナの表皮帯構造を規範とした長軸方向配置型収縮機構の滑走運動を用いた高自由度変形機構, 日本機械学会第 33 回バイオフロンティア講演会講演論文集, 1F04, 2022
- ⑥ 吉永怜央, 石橋萌絵, 田村雄飛, 中林正隆, 嶋脇聡: 多層配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた弾性形状制御機構, 日本機械学会関東支部第 29 期総会・講演会予稿集, 17G06, 2023
- ⑦ 石橋萌絵, 中林正隆, 嶋脇聡, 田村雄飛, 三國文菜: ユーグレナの表皮帯構造を規範とした高自由度変形機構のための 3 次元コンピュータモデルの 3D スキャナ計測, 日本機械学会第 35 回バイオエンジニアリング講演会論文集, 2023
- ⑧ 石橋萌絵, 中林正隆, 三國文菜, 嶋脇聡: ユーグレナの表皮帯構造を規範とした多孔質 PTFE 繊維複合体を用いた高自由度変形機構の開発, 日本機械学会第 34 回バイオフロンティア講演会講演論文集, 1F19, 2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石橋萌絵, 吉永怜央, 田村雄飛, 中林正隆, 嶋脇聡
2. 発表標題 ユーグレナの表皮帯構造を規範とした長軸方向配置型収縮機構の滑走運動を用いた高自由度変形機構
3. 学会等名 日本機械学会 第 33 回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉永怜央, 石橋萌絵, 田村雄飛, 中林正隆, 嶋脇聡
2. 発表標題 多層配列リニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた弾性形状制御機構
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第29 期総会・講演会講演論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石橋萌絵, 中林正隆, 嶋脇聡
2. 発表標題 マルチアレイドリニアソフトアクチュエータの協調運動を用いた流体内推進機構の収縮機構の検討
3. 学会等名 関東学生会第 60 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉永 怜央, 中林 正隆, 吉田 潤平, 嶋脇 聡, 石川 敏也
2. 発表標題 外側摺動案内 チューブを備えた巻フィルムチューブ 式 SMAアクチュエータの単独トルク計測
3. 学会等名 第 31 回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉永 怜央, 中林 正隆, 吉田, 潤平, 嶋脇 聡, 石川 敏也
2. 発表標題 外側摺動案内チューブを備えた巻フィルムチューブ式 SMA アクチュエータの単独発生力計測-動的運動特性の検討-
3. 学会等名 関東学生会第 60 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田潤平, 中林正隆, 嶋脇聡, 石川敏也
2. 発表標題 リニアソフトアクチュエータを用いたフィンによる生体規範型流体内推進機構
3. 学会等名 日本機械学会 第 32 回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 潤平, 中林 正隆, 嶋脇 聡
2. 発表標題 ユウグレナの表皮帯を規範とした弾性伸縮機構を備えた弾性型流体内推進機構 -高粘性流体内中における推進特性-
3. 学会等名 日本機械学会 2019 年度茨城講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋萌絵, 中林正隆、三國文菜、嶋脇聡
2. 発表標題 ：ユウグレナの表皮帯構造を規範とした多孔質 PTFE 繊維複合体を用いた高自由度変形機構の開発
3. 学会等名 日本機械学会第 34 回バイオフィロンティア講演会講演論文集
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 低摩擦部材，運動機構，及び衣類	発明者 中林正隆，石橋萌 絵，三國文菜，吉永 怜央	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-211365	出願年 2023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
研究 分担者	嶋脇 聡 (Shimawaki Satoshi) (10344904)	宇都宮大学・工学部・教授 (12201)	

	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	吉田 潤平 (Yoshida Jumpei)	宇都宮大学 / 大学院・工学部 / 工学研究科・学生	
研究 協力者	吉永 怜央 (Yoshinaga Reo)	宇都宮大学 / 大学院・工学部 / 工学研究科・学生	
研究 協力者	石橋 萌絵 (Ishibashi Moe)	宇都宮大学 / 大学院・工学部 / 地域創生科学研究科・学生	
研究 協力者	三國 文菜 (Mikuni Ayana)	宇都宮大学・工学部・学生	

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