

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月7日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：平成22年度～平成24年度

課題番号：22560244

研究課題名（和文） 生物の構造と運動を模倣する多機能高性能水中ロボットの開発

研究課題名（英文） Development of Biomimetic Underwater Robots with High Performance and Multi Functions

研究代表者

明 愛国 (MING AIGUO)

電気通信大学・情報理工学研究科・准教授

研究者番号：50239456

研究成果の概要（和文）：本研究は、生物の構造と運動を模倣する多機能高性能水中ロボットを開発することを目的とする。圧電繊維を用いた生物模倣型水中ロボットのモデリング、基本的な解析方法を確立し、ロボットの設計と制御に用いることができた。この結果、高性能なアジ型推進ロボット、マンタ型推進ロボットの開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：This project aims at the development of biomimetic underwater robots with high performance and multi functions. The basic modeling and analyzing method for the underwater robots using piezoelectric fiber composite has been established and is available for design and control of the robots. By the method, high performance underwater robots for mimicking Caranginae and Manta have been developed successfully.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学

キーワード：ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

水中ロボットについて様々な研究は行われている。これらの研究の多くがモータなどのアクチュエータにギヤ及びリンクなどの機構を用いており、結果的に魚などの生物とは構造と運動的に異なっている。これらの問題を解決する方法の一つとして、最近高分子ゲルなどの新しい人工筋肉型アクチュエータを用いた水中ロボットの研究開発が試みられているが、アクチュエータの駆動能力に限界があるため高性能のロボットの実現が

難しい。

本研究は、人工筋肉として利用できる新しいスマート材料である圧電繊維に注目している。圧電繊維は、駆動能力の大きさ、エネルギー変換効率といった点において優れており、アクチュエータとしての利用だけでなく、発電とセンシングも行えるマルチ機能を備えている。この圧電繊維は、細く、柔軟で軽く、これをベースにして様々な形状の複合材料構造体の製作が可能である。この圧電繊維に関する最近の研究開発例として

NASAの圧電繊維複合材料が挙げられ、その応用研究として既存の構造体に貼り付けることによる構造体の振動抑制が多く行われている。しかし、圧電繊維を用いた水中ロボットの研究は見当たらない。

本研究は、従来の水中ロボットの問題を解決するために、水中ロボットの構造体に圧電繊維を導入することを提案する。圧電繊維を胴体やヒレなどの構造体に埋め込むことによって、魚などの生物のような柔軟な胴体やヒレの構造が実現できる。センシング用圧電繊維で運動状態をセンシングし、駆動圧電繊維で駆動・制御することによって、生物のような多自由度、高速、高効率の遊泳運動を実現できる。さらに、波などの振動エネルギーを圧電繊維によって回収することで、長期に渡る自立した活動も可能である。

## 2. 研究の目的

圧電繊維を水中ロボットの胴体やヒレなどの構造体に埋め込み、圧電繊維のアクチュエータを用いた構造的・運動的に生物を模倣した多機能高性能水中ロボットを開発することを目的とする。

具体的な研究目的は、下記の通りである。

- (1) 生物模倣型圧電繊維複合推進機構の設計方法の確立；
- (2) 生物模倣型圧電繊維複合推進機構の駆動制御方法の開発；
- (3) 生物模倣型圧電繊維複合推進機構による多様な遊泳運動の実現方法の確立；
- (4) アジ型推進（胴体・尾ヒレ屈曲・振動推進型）、エイ型推進方式（胸ヒレ屈曲推進型）を実現する水中ロボットの試作、評価と改善

## 3. 研究の方法

本研究は、圧電繊維複合推進機構を用いた生物の構造と運動を模倣する多機能高性能水中ロボットを開発することを目的とする。魚のような柔軟な胴体・ヒレを流体の中で駆動するため、弾性体と流体の連成運動を考慮してロボットの設計と制御を行う必要がある。

本研究での手法は、弾性体と流体の連成を考慮してロボットの設計と制御を行うことである。まず、シミュレーションによる圧電繊維を埋め込む複合推進機構の解析手法を確立し、機構の設計と駆動制御を行えるようにする。次に、アジ型推進、マンタ型推進などの各水中ロボットの設計と試作を行い、実験によりこれらのロボットの推進速度、推進効率などを評価し、改善により高速、高効率のロボットを実現する。

## 4. 研究成果

(1) 解析ツール ANSYS を用いて圧電繊維と構造体材料（アラミド繊維、カーボン繊維など）からなる簡単な複合推進機構のシミュレーションモデルを作成し、その複合機構の動的な特性および圧電繊維に電圧（ひずみ）を与える場合の構造物の運動を解析できるようにした。また、弾性体モデルで表現される圧電繊維推進複合機構の、静止流体中におけるアクチュエーションを強制振動とし、弾性体と流体の間の相互作用による機構の駆動特性を近似的に解析できるようにした。

(2) 簡単モデルについてシミュレーションの結果と実験の結果を比較し、モデルの改善を行った。アジ型の推進機構のシミュレーションを行い、アジ型魚ロボットの構造体を設計した。実際にロボットの試作を行い、フォーゲージ、ハイスピードカメラを用いて構築した計測システムによりその性能を評価した。駆動制御方法の検討を行い、魚ロボットの最大推力、最大速度および魚類の高効率な運動の指標となるストローハル数について評価した結果、高速・高効率のロボットを実現できたことが分かった。

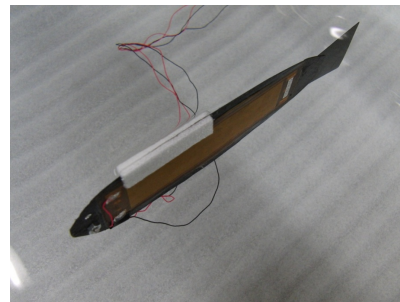


図1 アジ型ロボット

(3) さらに、上記のシミュレーションツールを用いて、1次元的な推進運動から2次元的な推進運動に拡張し、平面的な推進運動が可能な平面推進機構とそのアクチュエーション方法を解析した。解析結果により簡単なロボットを試作し、実験によりその有効性を示した。

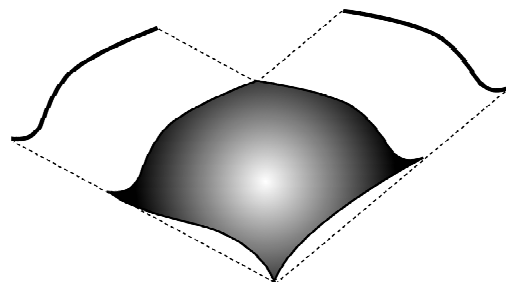


図2 2-D 駆動の概念図

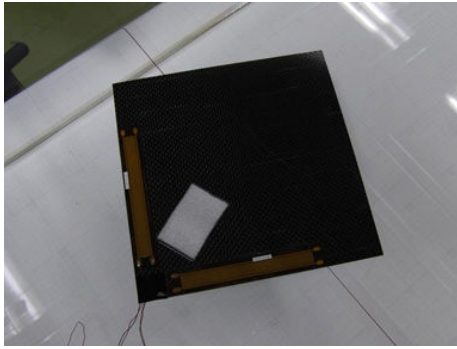


図3 試作した2-D 駆動ロボット

(4) 解析ツール ANSYS を用いて圧電繊維と構造体材料からなるロボットのシミュレーションモデルを作成し、流体におけるモデル解析ができるようになった。その解析結果と実験結果の比較を行い、モデルの改善を行い、より精度の高い解析ができるようになった。この解析を用いて、効率の高い蛇行運動を実現できるうなぎ型ロボットの設計を行った。

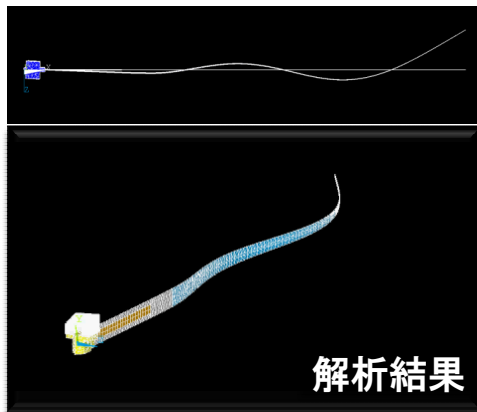


図4 うなぎ型ロボットの解析結果

(5) 同じ解析方法に基づき、マンタの骨格構造と筋肉構成をヒントにしたロボットを設計・試作した。駆動制御方法の検討を行い、このマンタロボットの最大速度および魚類の高効率な運動の指標となるストローハル数について評価した結果、高速・高効率のロボットを実現できたことが分かった。

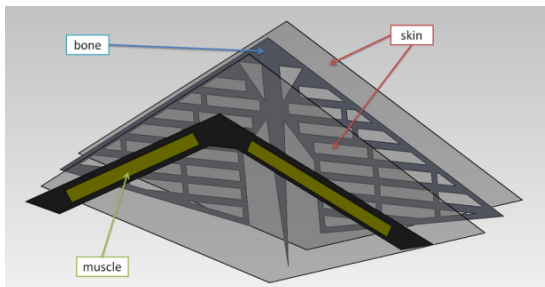


図5 マンタ型ロボットの解析モデル

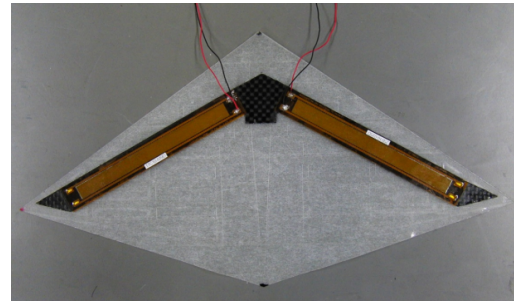


図6 試作したマンタ型ロボット

(6) マスを規範とした中空構造を有するソフト水中ロボットの開発を行った。中空構造マス型水中ロボットは、従来の平板形状をもつソフト水中ロボットに対し、より魚に近い流線形状を有し、将来的に駆動電源や制御回路などのための内部空間を備える。試作したロボットの最大速度、推進効率およびストローハル数について評価した結果、平板型ロボットと同等の速度と、最高効率では実際の魚に近い泳動数を実現できたことが分かった。

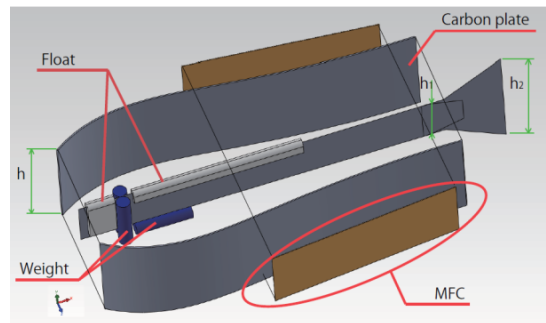


図7 中空構造マス型水中ロボットの構成図

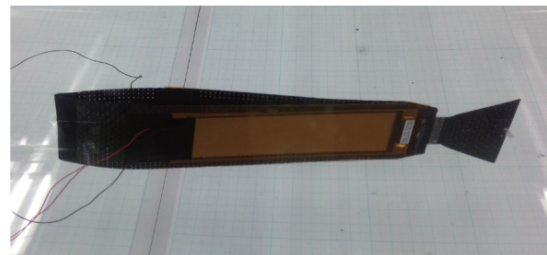


図8 中空構造マス型水中ロボット

(7) 流体におけるロボット運動（駆動変位と受動変形）に起因する流体圧力の変化や渦の発生についてのシミュレーションを行い、ソフトロボットと流体の連成解析の基礎的なプラットフォームを構成した。

## 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)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計9件)

- ① 橋本一慶, 趙文静, 明愛国, 下条誠: 圧電繊維複合材料を用いた生物模倣型ソフト水中ロボットの研究開発, 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, 2012, 3C2-5 (2012.12).
- ② 小松優祐, 大阪拓真, 橋本一慶, 趙文静, 明愛国, 下条誠: 胴体屈曲推進型水中ロボットのPTP制御に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A2-G10 (2012.05).
- ③ Wenjing Zhao, Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Structural Design and Dynamic Analysis of Robotic Fish with Piezoelectric Fiber Composite, Proceedings of 9th France-Japan Congress on Mechatronics, Paris, France, pp.161-168(2012,11)
- ④ 大阪拓真, 新竹純, 明愛国, 下条誠: マンタの動きを模倣したソフト水中ロボットの開発, 第17回日本IFTOMM会議シンポジウム前刷集, pp.47-50(2011.07).
- ⑤ Wenjing Zhao, Takuma Osaka, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of a Soft Underwater Robot Mimicking Cow-nosed Ray, Proceedings of IEEE ROBOT 2011, Phuket, Thailand, pp.1724-1729 (2011.12).
- ⑥ Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: A Novel Propulsion Method of Flexible Underwater Robots, Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA, pp. 4735-4740 (2011.9).
- ⑦ 新竹純, 明愛国, 下条誠: 圧電繊維複合材料を用いた水中ロボットの開発- 単一ヒレ構造による推進運動の多様化-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 2P1-D28(2010.06)
- ⑧ Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of Flexible Underwater Robots with Caudal Fin Propulsion, Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, pp.940-945(2010,10).
- ⑨ Jun Shintake, Aiguo Ming, Makoto Shimojo: Development of Underwater Robots using Piezoelectric Fiber

Composite -Diversification of Propulsion Movement by Single Fin Structure-, Proceedings of The 5th International Conference on the Advanced Mechatronics(ICAM2010), Osaka, Japan, pp.124-128(2010,9)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.rm.mce.uec.ac.jp/ming/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

明愛国 (MING AIGUO)

研究者番号: 5 0 2 3 9 4 5 6