

2021 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻
職 位 または 役 職	助教
氏 名	新竹 純

1. 研究題目

直接駆動方式の生物模倣型水中ロボットの研究開発

2. 研究目的

本研究の目的は、直接駆動方式の生物模倣型水中ロボットを開発することである。水中ロボットは海洋や湖沼における資源探査や水難救助に有用である。生物の構造や機能を工学的に取り入れた、生物模倣型的水中ロボットは、魚類のような高い運動性や効率を実現できる可能性があり、研究開発が盛んに行われている。

電磁モータはエネルギー密度や効率、導入のしやすさの観点から、生物模倣型水中ロボットの動力源として最も有望であると考えられる。従来の生物模倣型水中ロボットでは、トルクの確保や動力伝達のために、モータにギアやクランクが付随している。そのため、ロボットの構造は複雑になり、結果として重量の増加や衝撃に対する耐久性の低下を招く懸念がある。この問題に対して、ギアなどの伝達機構を省いた直接駆動方式は構造を大幅に単純化できる利点があり、有効な解決手段となり得る。直接駆動方式の生物模倣型ロボットについて、地上を動物のように歩行するロボットは研究事例があるが、水中を魚のように遊泳するロボットの例は見当たらない。

そこで本研究では、生物模倣型水中ロボットの構成法として直接駆動方式を提案し、実機を用いた実験による性能評価を通してその有効性を明らかにする。本研究の成果によって、電磁モータの新しい用途と関連技術が創出され、モータの利用が大きく拡大することが期待される。

3. 研究内容及び成果

ロボットボディの製作と実験

モータの出力を魚類のような構造変形に変換するロボットボディは、直接駆動方式の生物模倣型水中ロボットの核となる部分である。まず、本研究ではロボットボディに適した材料や部品、構造を特定し、製作方法を確立した。それらによって製作されたロボットを図 1a に示す。ボディは CFRP を内包したシリコンでできており、その基部はモータに、端部は尾ひれに接続されている。モータに周期的な角度変化を与えると、周囲の水の反力によってボディは変形し、尾ひれを介して推進力を生み出すことができる。

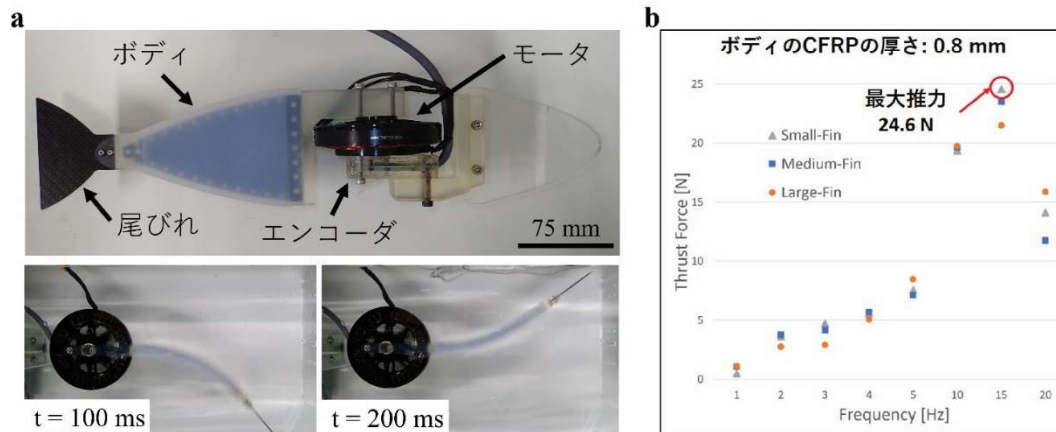


図 1. (a) 本研究で製作した有線駆動のロボット。下段は水中におけるボディの変形の様子。(b) 推進力の測定結果。

実験の結果、有線でのロボットの遊泳速度は 0.39 m/s であり、推進力は 24.6 N であることが分かった。測定された推進力を用いて、有線でない自立化した場合の速度は 5.1 m/s と推定され、体長比速度 (Body Length: BL / s) で 12 BL/s に相当することが分かった。この値は、トビウオを含む魚類が離水する速度である 10 BL/s を超えるものであり、本研究で提案する方式のロボットが高い潜在能力を有することが分かった(図 1b)。

ロボットの自立化と実験

ロボットが想定よりも高い性能を示した一方で、当初の実験環境では遊泳スペースが狭いために、評価が限定的になってしまふことが懸念された。そこで、より広い環境での遊泳が行えるようロボットの自立化を行った。その結果製作されたロボットを図 2a に示す。バッテリーやコントローラを内蔵した頭部が連結され、遠隔で操作できるようになっている。このロボットを用いて、大学内や外部研究機関のプールで遊泳速度の測定を行った。その様子を図 2b に示す。カメラによる測定の結果、ロボットの遊泳速度は 1.2 m/s であり、 3 BL/s に相当することが分かった。

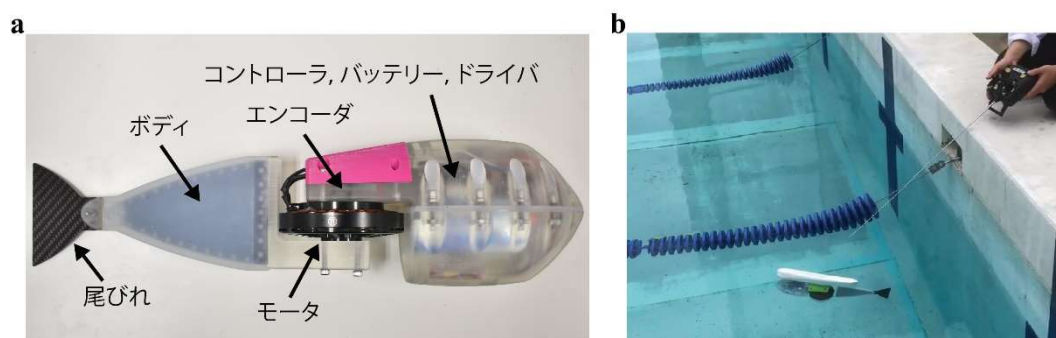


図 2. (a) 本研究で製作した自立型のロボット。(b) 屋外プールにおける実験の様子。

4. 今後の研究の見通し

本研究で製作した自立型ロボットは、直接駆動方式による高い潜在能力を持つことを示していることから、今後の研究の方針としては、さらなる性能向上が挙げられる。具体的には、駆動入力制御ゲインの調節やフロートを含めた形状の改善による抗力低下によって、遊泳速度の向上を行う。これらが完了した時点で、直接駆動方式の生物模倣型水中ロボットの諸特性と設計指針が把握できていると考えられるため、それまでの成果をまとめて学術雑誌論文に投稿する。

次の段階として、高速遊泳を活かしたロボットの高機能化を行う。その機能の一つとして、実際のトビウオのような離水と滑空が挙げられる。トビウオの胸鰭は遊泳中は折り畳まれており、離水からの滑空では展開され翼として機能する。この時、展開された胸鰭は飛行機の方向舵のように働き、滑空中の上下左右への姿勢の制御を行うことができる。こうしたトビウオの機能性を有する胸鰭の設計と製作、ロボットへの実装を行い、実機を用いた実験を通して、遊泳、離水、および飛行の性能を明らかにする。現状考えられる具体的な取り組み内容は以下の通りである。

胸鰭の基本的な形状は文献を参照して決定する。展開時に翼として働く面積、言い換えれば胸鰭の大きさは、滑空時の揚力とロボットの重量が釣り合うと仮定して、 $mg = 0.5C_L\rho SV^2$ より決定する。ここで、 m, g, C_L, ρ, S, V はそれぞれロボットの質量、重力加速度、揚力係数、大気密度、面積、および離水速度である。胸鰭の折り畳みは、実際のトビウオのものが扇子のような構造していることから、これを取り入れることで達成する。胸鰭内にはバネを入れておき、折り畳まれた状態を解放した際に素早く展開するようにする。この際、解放を行うメカニズムは微小な形状記憶合金で構成する予定である。

製作した胸鰭を、ロボットの側面に配置した防水サーボに接続する。サーボによって胸鰭の根本の回転角が可変でき、それによって滑空中に方向舵として機能できる。ロボット側では、サーボが取り付けられるよう構造の変更を行う。この際、滑空中の静安定を確保するため、胸鰭の揚力中心がロボットの重心位置より後方となるよう取り付け位置を検討する。

実験用プールにおいて、遊泳、離水、および滑空の各状態での速度を測定する。それによって、それぞれの状態を達成できるロボットの駆動条件と速度範囲を把握し、これらを生物学上のデータと比較して本研究の妥当性を検証する。また、主に滑空時での制御性についても測定を通じた評価を行う。それらをもって、最終的に高機能化を行う本提案手法の有効性を明らかにする。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国内会議（査読無）

井口慶祐, 新竹純, 直接駆動方式に基づく生物模倣型水中ロボットの特性解析, 電気学会 回転機/リニアドライブ/家電・民生合同研究会, RM-22-059, 2022 年 8 月 8 日.