補助事業番号　2024M-382
補 助 事 業 名　2024年度　生物模倣型水中ロボットの急加速・急旋回の実現　補助事業
補助事業者名　新竹　純

1　研究の概要

水中ロボットは資源探査や水難救助などに有用であり、魚類のような高い運動性を目指した生物模倣型ロボットの研究が進められている。申請者らはこれまで、ギア等を用いない直接駆動方式によって構造を簡素化し、魚類並みの高速直進遊泳を実現してきたが、急加速や急旋回といった機動性には課題があった。そこで本研究では、尾ひれの振幅や周波数を時間的に可変させる制御を導入し、魚類が行うような高機動動作を目指す。これには高速な制御周期が必要なため、ハードウェアの刷新とともに、力学モデルによる最適入力の設計と実機による検証を繰り返すことで、高機動な生物模倣型水中ロボットの実現を目指す。

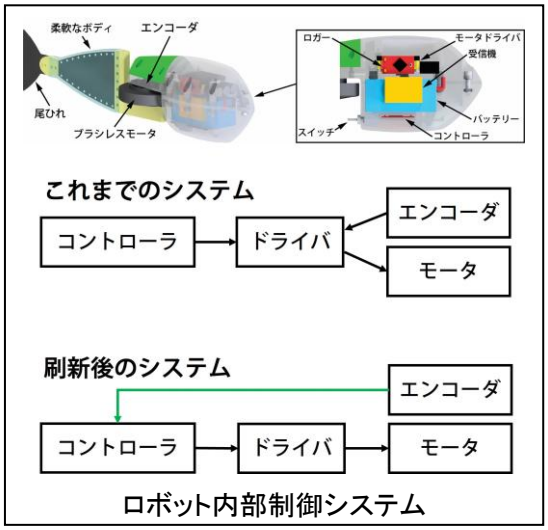
2　研究の目的と背景

我々は、実際の魚類のような優れた運動性を持つロボットの実現を目指している。本補助事業の目的は、魚類が持つ急加速や急旋回といった高い機動性に着目し、魚類の挙動から着想した新しい制御方法を実装することにより、高い運動性を持つ生物模倣型の水中ロボットの実現とその方法を確立することである。

3　研究内容（https://www.shintakelab.net/jka）

（1）ロボット内部制御システムの刷新

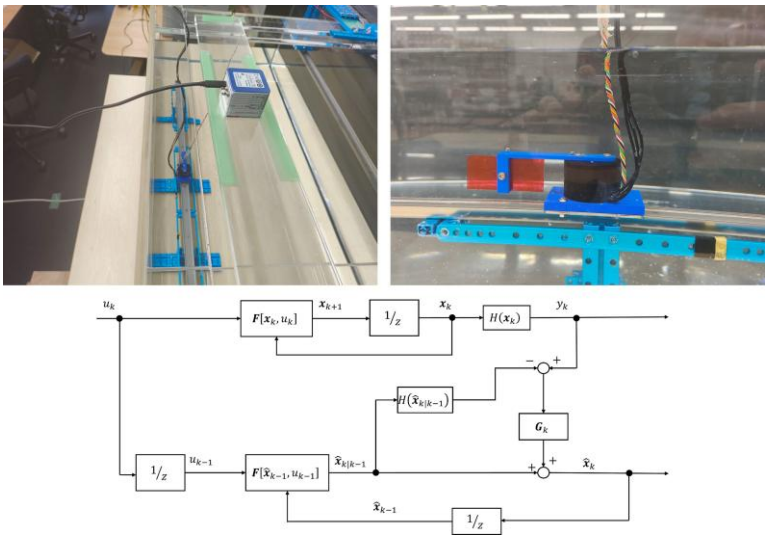
ロボット内部におけるモータ制御系を刷新し、マイクロコントローラとモータドライバを新たに構成することで、エンコーダの値をマイクロコントローラで直接取得し、制御入力をモータドライバへ直接送信する制御ループを構築した。これにより、制御周期2 kHzのシステムを実現した。具体的には、マイクロコントローラとしてArduino Nano 33 BLE、モータドライバとしてODrive Proを用いた。



ロボット内部制御システム

（2）モデル構築と制御入力の取得

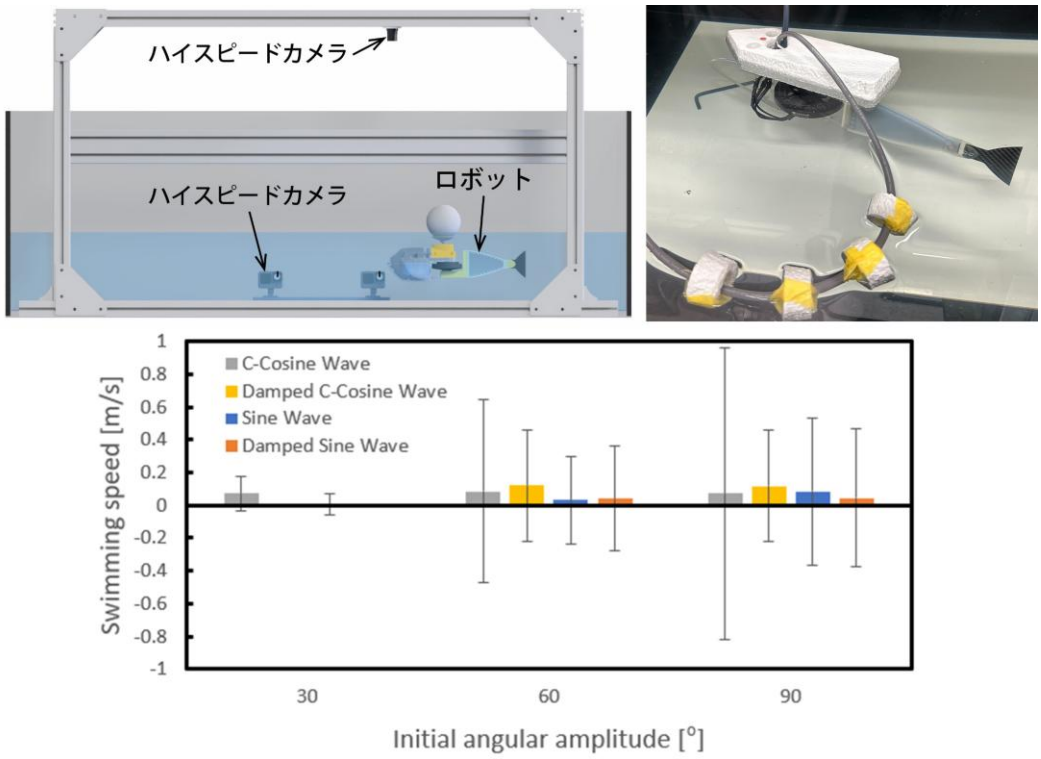
システム刷新によるロボットの動作検証の開始と並行して、本実施項目ではロボットの遊泳動作を簡略化された数理モデルで表現することから着手した。しかし、モデル構築にあたって、周囲流体とロボットとの相互作用が極めて複雑であり、単純なモデルでは適切に記述できないことが明らかとなった。そこで、ロボットの遊泳および周囲流体の挙動を、制御理論におけるシステム同定手法によりモデル化する方針に切り替え、制御入力の取得を行った。その後、実機実験の結果を踏まえ、新たな制御入力設計手法の必要性が判明したため、水槽、PC、ハイスピードカメラから構成される簡易実験システムを構築した。このシステムを用いて、拡張カルマンフィルタによる力学的連成パラメータの推定を簡易ロボットで実施し、最終的に必要な制御入力を取得した。



制御入力取得に用いた簡易実験システム・ロボット，およびカルマンフィルタのブロック線図

（3）実機実験による検証と実証

上述の取り組みにより得られた制御入力を実機に導入し、動作検証を行った結果、安定した遊泳運動が実現されていることが確認され、推力および遊泳速度の測定を実施した。測定の結果、加速性能にはさらなる改善の余地があることが分かり、これは今後の性能向上に向けた重要な示唆となった。要因としては、ロボット頭部に内蔵されたマイクロコントローラやモータドライバの質量や流体抵抗が、制御入力の効果を一部相殺している可能性や、制御入力の取得手法のさらなる最適化が挙げられた。そこで、前者に対しては制御システムをロボット外部（水槽外）に移設することで影響を軽減し、後者に対しては新たな手法を導入して制御入力の取得精度を向上させた。これらの改善により、再度の動作検証では推力と遊泳速度の向上が確認され、本手法の有効性を実証した。



ロボットの実験環境，実機，および実験結果（駆動周波数 2 Hz）

4　本研究が実社会にどう活かされるか―展望

本補助事業による生物模倣型水中ロボットの高機動化は、実際の現場での実証運用に向けた足がかりとなる。将来的には、運動を他自由度化するための胸鰭の実装と、カメラや浮力調整装置といったシステム要素の導入を行い、沿岸における海洋構造物、養殖場内の魚、またはサンゴ礁の観察といった実際の運用を通して、改良も交えながらロボットの実用化に向かう。本補助事業による高機動化は魚型のロボットだけでなく、エイやカメといった多様な生物を模倣したロボットにも有用であり、将来的には目的に応じた異なる種類のロボットも包括する。

5　教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業による今回の研究は、事業者がこれまで教育研究の一環として取り組んできた生物模倣型水中ロボットの研究を、加速性の向上としてさらに発展させるものである。

6　本研究にかかわる知財・発表論文等

- 内海柊人、原田開生、新竹純、生物模倣型水中ロボットの急加速手法の実験的検証、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、2025年6月4日～6月7日（発表予定）

７　補助事業に係る成果物

該当なし.

８　事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：　電気通信大学情報理工学研究科（デンキツウシンダイガクジョウホウリコウガクケンキュウカ）

住　　所:　〒182-8585

東京都調布市調布ヶ丘1-5-1

担　当　者:　准教授　新竹　純（シンタケ　ジュン）

Ｅ－ｍａｉｌ:　shintake@uec.ac.jp

ＵＲＬ:　https://www.shintakelab.net/