

Dr. イエローフィッシュ「錦（ニシキ）」

小山高専水中ロボット開発チーム2024（小山工業高等専門学校）
舟田 悠太郎，星野 怜生，野沢 心音，瀬戸山 天亮，木下 紬，古澤 慶悟，田中 昭雄

開発コンセプト

河川・海の汚染の原因として、有害化学物質やマイクロプラスチック等が挙げられる。それらの物質による水中環境の悪化防止のため、水棲生物の生態系変化を継続的に観察することは重要である。そこで、小山高専水中ロボット開発チームでは水中環境の観察・調査を目的とした魚の尾ヒレ推進を模倣した水中ロボットを開発している。魚ロボットの利点は尾ヒレの揺動運動により推進力を得るため、小魚や水草の水棲生物にダメージを与えずに環境調査ができることである。現在、開発中の魚ロボットは、人が潜れない水中の狭所空間を自由に動き回り、水棲生物の観察に適したものを目標とする。

魚ロボットの構造

図1は魚ロボットの構造を示す。大きさは、全長370mm×全幅200mm×全高175mm、重量は819g（空中）である。主な構成材料は、フレーム材はアルミニウム、真鍮およびPLA樹脂を用いた。PLA樹脂は遊泳時における水抵抗を軽減するための外装部品である。浮力材は高密度発泡スチロールを用いた。水密容器は食品用のタッパーを用い、配線ケーブルの貫通隙間部分はバスボンドでシールした。尾ヒレ推進用のクランクアーム動力は、小型ブラシレスモータ（京商、XSPEED 85）を用い、防水処理無しで水中動作可能である。旋回用サーボモータ（ハイテック、HS-646WP）はロボット中央部にあり、尾ヒレ揺動運動機構部全体を左右に動かす。浮沈用のサーボモータ（ハイテック、HS-646WP）はロボット先端の下部にあり、胸ヒレを上下に動かす。電源はLipo7.4V、2200Ahを1個使用した。操作方法は水中遠隔操作を行うため、40MHz帯のラジコン送受信機（双葉電子工業、T6EXHP）を用いた。図2に左右旋回動作時の尾ヒレ位置、図3は浮沈動作時の胸ヒレの位置を示している。

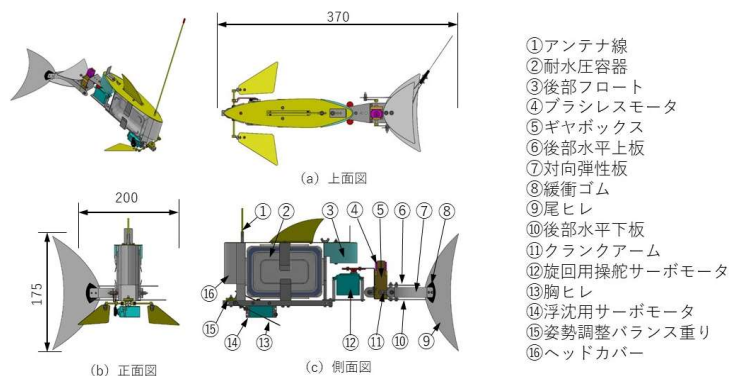


図1 魚ロボット全体図



図2 旋回動作時の尾ヒレ位置

図3 浮沈動作時の尾ヒレ位置

クランクアームと対向弾性板による尾ヒレ揺動運動機構

魚ロボットは、クランクアームの回転と対向弾性板を組合わせた独自の尾ヒレ揺動運動機構を搭載している。図4は本機構の拡大図である。駆動部のクランクアームは、ブラシレスモータの形状に適合するタミヤ製のクランクギヤボックスセットを選択した。対向弾性板はポリプロピレン製の短冊状板（幅15mm、長さ140mm、厚さ1mm）を2枚使用した。尾ヒレの形状は鯉の尾ヒレを参考にし、厚さ0.3mmの塩化ビニル板を用いた。

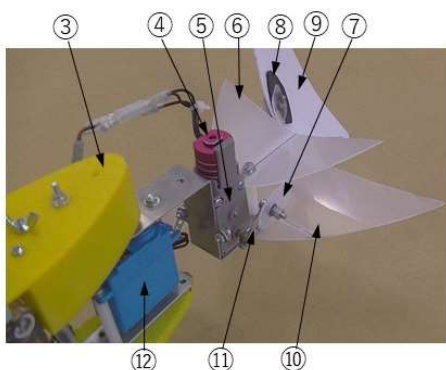


図4 揺動運動機構の拡大図

運動性能に関する実験

【実験1】尾ヒレの揺動周波数と直進遊泳速度の特性

魚ロボットが直線距離1.73mを遊泳する映像を記録し、記録映像から尾ヒレの揺動回数と遊泳時間を求め、**揺動周波数と直進遊泳速度**を算出した（図5）。

その結果、遊泳速度は揺動数波数の増加したがって増加している。最大遊泳速度は**約0.6 m/s**である。遊泳速度が0.5m/sを越えると、水抵抗が影響が大きくなり、直進操作の難易度が高くなる（図6）。

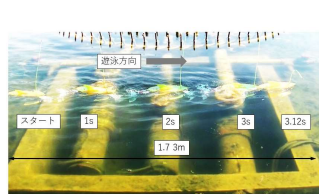


図5 直進遊泳の様子

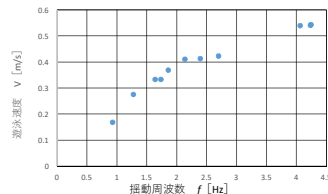


図6 揺動周波数と遊泳速度の関係

【実験2】旋回性能の特性

魚ロボットが360度旋回動作する映像を記録し、その映像から最小半径と旋回時間を測定した。遊泳速度は最大とし、旋回半径は最小となるように旋回用サーボモータを最大可動域まで回転させた。

記録映像より魚ロボットの最小旋回半径は**30 cm**、旋回時間は**約6 s**である。

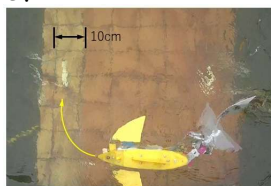


図7 旋回動作の様子

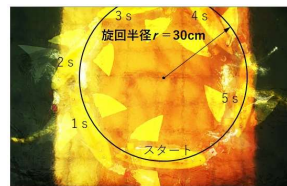


図8 旋回動作の連続写真

実験1、2ともに魚ロボットの一定速度かつ一定方向を維持するための操作が必要となる。送信機の遊泳速度コントロールレバーは固定式としクランクアーム対向弾性板式揺動運動機構を用いれば、遊泳中の揺動周波数変動は無く、旋回操作においては旋回用サーボの角度調整のみ限定されるため旋回半径を容易に変えられることなど、魚ロボットの操縦は比較的簡単に行うことができる。

その他のアイデア機能

(1)きりもみ遊泳動作

飛行機のような「きりもみ遊泳」を実現するために、浮沈用の左右胸ヒレを互いに上下反対となるように動作させることによって、ロール動作が可能となる。現在、ロール軸に対して±90度まで胴体を傾斜させることができる。

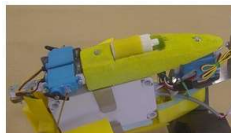


図9 胸ヒレサーボと水中ポンプ



図10 ロール動作と胸ヒレの位置

(2)鉄砲魚のような水射出機能

個性的な魚を表現するために**鉄砲魚**をイメージした水射出機能を搭載した。魚ロボット胴体下部の水中ポンプで水を吸上げ、ロボット上面のノズルから水を射出する。



図11 水射出ノズル



図12 水射出の様子

まとめ

魚ロボットは、小型高出力ブラシレスモータの搭載により、遊泳速度、旋回動作および浮沈動作等の**総合的な運動性能が向上し、操作性も高められている**。今後の予定は、より高性能な（広可動域、高速応答）サーボモータの使用し、河川遊泳可能な実用レベルの運動性能を実現したい。