

推進性能実験用魚ロボットの基本性能

機関動力部 * 平田宏一
氷海技術部 滝本忠教
推進性能部 牧野雅彦

1. まえがき

本研究は、魚の泳法を模擬した推進方法についての基礎的な知見を得ることを主目的としている。本報では、実験ツールとして設計・試作した魚の泳ぎを模擬するロボットについて概説する。さらに、実験用魚ロボットの予備試験を行い、尾ひれの形状や運動パターンが遊泳速度に及ぼす影響を測定し、運転並びに実験時の問題点について検討した。

2. 推進性能実験用魚ロボット

図 - 1 に実験用魚ロボットのモデルとしたニジマス及びマグロの外観を示す¹⁾。両者は尾ひれの形状に外観上の特徴があり、三角形の尾ひれを持つニジマスは加速性に優れ、三日月形の尾ひれを持つマグロは高速かつ高効率な遊泳に適しているという特徴がある。本報で述べる魚ロボットは、両者の基本的な特性を把握し、魚ロボットの高性能推進の可能性について検討することを設計指針とした。

図 - 2 に試作した実験用魚ロボットの構造を示す。実験用魚ロボットの胴部には、尾部を駆動させるための2つのサーボモータ等を搭載し、尾部のリンク機構に連結するロッド部には市販の滑り軸受を用いて水密構造とした。サーボモータ1は、尾柄の2つの関節を駆動し、リンク機構のアーム長さやロッド長さを調整することで、尾柄のしなるような動きを実現した。また、サーボモータ2は尾ひれの関節を駆動する。

魚ロボットのサーボモータは、R/C 送信機と D/A コンバータを取り付けたパーソナルコンピュータに

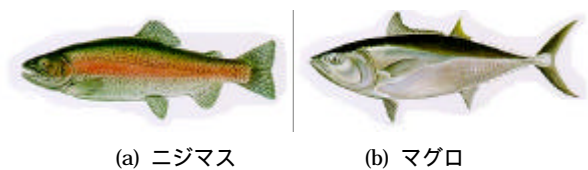


図 - 1 実験用魚ロボットのモデル

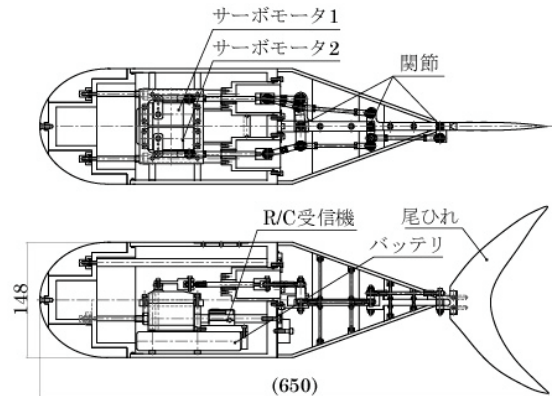


図 - 2 実験用魚ロボットの構造

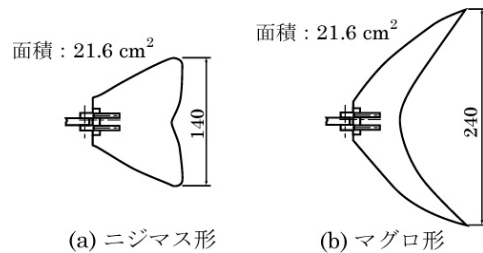


図 - 3 尾ひれの形状

より遠隔制御される。以下の実験において、運動パターンは基本的な正弦状の運動を与えている。中心軸に対する尾柄の振れ幅 A_1 (mm) 及び尾ひれの振れ角 A_2 (deg) は次式で表される。

$$A_1 = K_a A_{1\max} \sin 2\pi f t \quad (1)$$

$$A_2 = K_a A_{2\max} \sin(2\pi f t - b) \quad (2)$$

ここで、 f は周波数、 t は時間、 b は尾柄と尾ひれの位相差、 $A_{1\max}$ 及び $A_{2\max}$ はリンク機構により制限を受ける尾柄の最大振れ幅及び尾ひれの最大振れ角であり、 $A_{1\max} = 80$ mm、 $A_{2\max} = 30$ deg に設定される。 K_a ($=0.7$ 一定) は振幅の度合いを表す係数である。

図 - 3 は実験に使用した2種類の尾ひれを示している。ニジマス形尾ひれは断面を比較的平面状、マグロ形尾ひれは断面を翼形状としており、これらの材料には硬質な木材を使用している。

3. 実験用魚ロボットの推進性能

実験は長さ 8 m, 幅 0.9 m, 深さ 1.2 m の水槽で行った。魚ロボットを約 4 m の助走区間で定常な状態とし, 一定距離を進むのに要した時間を測定し, 遊泳速度を求めた。

図 - 4 に周波数 f に対する速度 V の実験結果を示す。これより, 周波数 f が比較的高い範囲において, マグロ形尾ひれを用いた場合の速度 V はニジマス形よりも高く, その傾向は位相差 β が 90 deg の場合に顕著に現れていることがわかる。これは, 翼形状であるマグロ形尾ひれが高い周波数で運動する際, 大きな揚力が発生するためであると考えられる。

図 - 5 に位相差 β に対する速度 V の実験結果を示す。これより, ニジマス形尾ひれを用いた場合, 最高速度が得られる位相差 β は 60 deg 程度であり, マグロ形尾ひれを用いた場合は, ニジマス形尾ひれを用いた場合よりもやや大きく, 90 deg 程度であることがわかる。位相差 β が小さいほど尾ひれ後端の振れ幅が大きくなるため, ニジマス形尾ひれを用いた場合, 比較的小さい位相差で大きい推進力が得られていると考えられる。

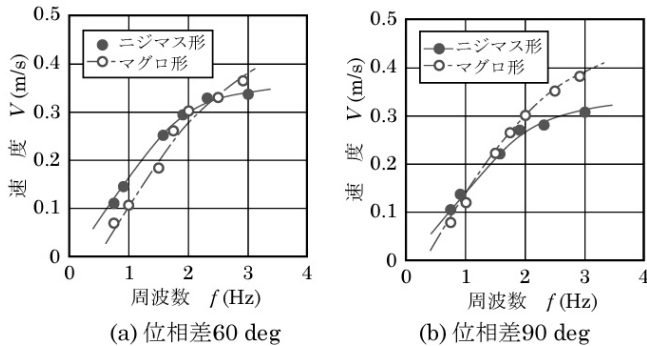


図 - 4 周波数と速度の関係

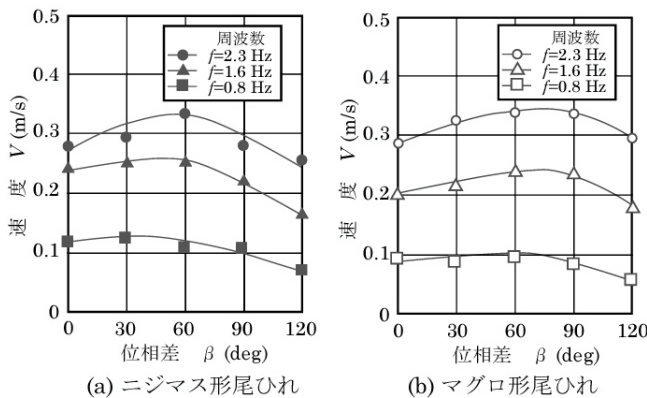


図 - 5 位相差と速度の関係

4. 実験用魚ロボットの運転・実験における問題点

実験用魚ロボットの運転試験を行った結果, 以下の問題点が明らかになった。

(1) 本実験では, 魚ロボットの上部にバルサ製のフロートを取り付け, 一定の深度で遊泳させた。深度は尾部を静止させた状態でのえい航試験の結果に基づき設定しているが, 尾部を運動させた場合, 自由表面の影響が現れていると考えられる。そのため, 異なる尾ひれ形状の特性を詳細に比較することは難しい。

(2) 関節や尾柄の形状は, 加工性や浮力と重力の調整のしやすさを重視して決定した。しかし, 尾ひれで発生する推進力等を流体力学的な観点から評価する場合には, 関節の位置や尾柄部の形状を詳細に検討し, 決定する必要がある。

(3) 現状では各関節の回転角度を測定していないため, 尾部の運動が制御プログラムで設定した通りの運動であるかはわからない。高度な制御プログラムの開発や関節の回転角度の測定と制御が詳細な実験を進める上での課題である。

(4) 本実験において, 実験用魚ロボットは約 0.4 m/s の最高速度が得られた。これは 1 秒間に体長の約 0.7 倍の距離を進んでいることになり, 実際の魚の持続速度が 1 秒間に体長の約 2 倍もの距離²⁾であることと比べてかなり低い値である。これは魚ロボットの外形や表面形状が高速遊泳に適しておらず摩擦抵抗が大きいことや設定可能な周波数がサーボモータの回転速度及びトルクによって制限を受けていること等が原因であると考えられる。

5. あとがき

実験用魚ロボットを開発し, 試作直後の予備試験を行った。そして, 魚ロボットの運転や実験における問題点を検討した。これらの結果は, 今後の魚ロボットの研究開発に大いに貢献するものと考えている。今後, さらに詳細な性能実験, 流体力学的な解析並びに消費電力や尾部に作用する荷重の測定と効率の評価等を進める予定である。

参考文献

- (1) 岩井保, 他 4 名: 学研の図鑑 魚, 学研, 1998.
- (2) 永井實, イルカに学ぶ流体力学, オーム社, 1998.