

# 魚ロボットに関する研究

## (その2 実験用魚ロボットの開発と今後の課題)

|            |                |
|------------|----------------|
| 機関動力部      | * 平田宏一，春海一佳    |
| 氷海技術部      | 滝本忠教           |
| 推進性能部      | 児玉良明，富田 宏，牧野雅彦 |
| 海洋科学技術センター | 田村兼吉           |
| 理化学研究所     | 劉 浩            |

### 1. まえがき

著者らは，スクリュープロペラに代わる新たな推進装置として，推進と抵抗の発生メカニズムが相互に干渉しあう「自己推進運動体」(例えば魚)に着目し，1999 年度から研究を行っている<sup>1),2)</sup>。本研究は，高性能な新しい推進装置の可能性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。

こうした自己推進運動体の代表例である魚は，高速・高効率という推進性能ばかりでなく，旋回性能や瞬時の加速性にも非常に優れた性能を有していると考えられる。したがって，魚の泳法を模擬することにより，実際の魚と同等の運動性能を持った船用あるいは海中ロボット用の高性能推進装置を開発できる可能性がある。

本報では，実験ツールとして開発した魚の泳ぎを模擬するロボット(魚ロボット)について概説し，その研究経過並びにそれを海中ロボットに適用する際の課題について述べる。なお，実際の魚の泳法は多様であるが，本研究ではニジマスやマグロのように尾部を左右に運動させて推進する魚の泳法を対象としている。

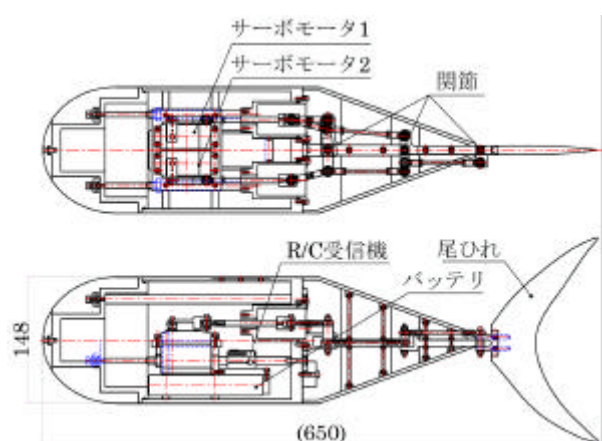
### 2. 魚ロボットの開発

本研究では，新しい推進装置を開発するための実験ツールとして，2 種類の実験用魚ロボットの設計・試作を行った。さらに，その運動制御手法や動力源の検討を進めてきた。以下，それらの研究経過をまとめる。

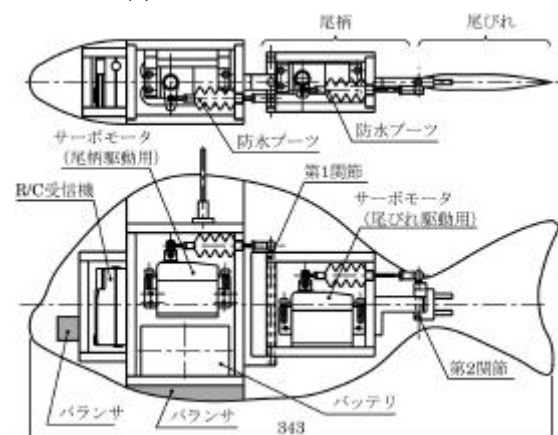
#### 2.1 実験用魚ロボットの基本特性

図 - 1 に本研究で開発した 2 種類の実験用魚ロボットを示す。同図(a)は，直進運動時の推進性能を測定するための魚ロボットであり，全長は 600 mm 程

度，胴部は直径 148 mm の円柱形状をしている。頭部及び胴部には各種センサが内蔵できる空間を設けている。同図(b)は全長 340 mm 程度の旋回性能を測定するための魚ロボットである<sup>3)</sup>。旋回性能を高めるため，体幅に比べて体高が高いタイの体形を基本モデルとし，尾部の振れ角を大きくとれる構造としている。これらの魚ロボットはサーボモータによって様々な運動パターンを実現できるという特徴があ



(a) 推進性能実験用魚ロボット



(b) 旋回性能実験用魚ロボット

図 - 1 実験用魚ロボット

る。現在までに、これらの実験用魚ロボットを用いて、尾部の運動パターンと遊泳速度、旋回直径及び旋回時間等の基本特性を測定した。得られた実験データは、今後の魚ロボットの高性能化に貢献するものと考えている。

## 2.2 魚ロボットの流体力学

魚ロボットは、体全体が抵抗を受けながら推進力を発して前進するため、通常の船舶模型試験のように抵抗成分と推進成分を分離することが困難である。このため、図 - 1(a)の実験用魚ロボットの開発段階においては、魚ロボットの尾部を静止させた状態でのえい航試験によって擬似的に抵抗力を測定した。図 - 2 は速度に対する抵抗力の試験結果を示している。魚ロボット胴部の直径  $D$  で規格化した深度  $d$  をパラメータとした場合、 $d/D=2.0$  以上の深度では自由表面の影響を無視できることがわかる。これらの結果は、試作機の設計に貢献したが、低速・低負荷時の測定精度が十分ではなく、詳細な流体力学的な評価には至っていない。

運動中の魚ロボットの成分分離は数値計算により評価することができると考えられるが、その場合、信頼度が問題となりうる。また、実験的に成分を分離する方法としては、尾ひれの運動を船舶におけるプロペラと同様に考えて、尾ひれの運動による推進力を測定し、さらに部分的な表面摩擦抵抗を測定する方法等が考えられる。しかし、小型な魚ロボットでは測定精度の限界もあり、今後の課題となっている。

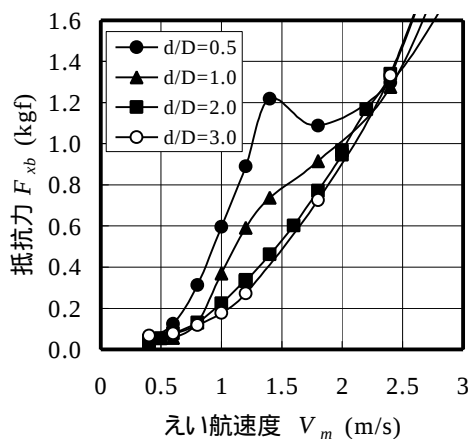


図 - 2 えい航試験の結果

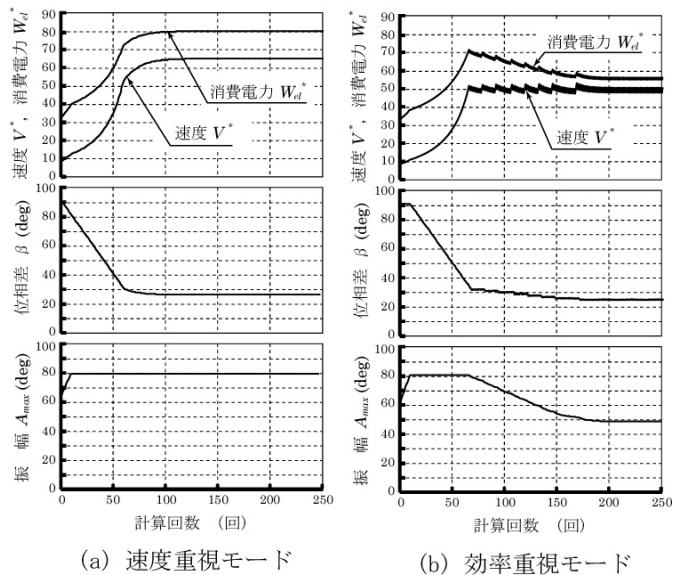


図 - 3 ファジィ理論による計算結果

## 2.3 運動制御手法

魚ロボットの運動制御の一つとして、直進時の推進効率や速度に着目した尾部の運動パターンの制御がある。尾部の運動パターンには、周波数、振幅及び位相差等の様々なパラメータがあり、それらが推進効率や速度に大きく影響を及ぼすため、従来の解析解に基づく工学的制御手法を適用するのは難しい。そのため、ファジィ理論やニューロに代表されるソフトコンピューティングと呼ばれる手法の適用を検討した。図 - 3 は、速度  $V$  と消費電力  $W_{el}$  に着目し、尾部の振幅と位相差を制御変数とした場合、ファジィ理論を利用したシミュレーション結果の一例を示している<sup>4)</sup>。同図に示す速度  $V^*$  及び消費電力  $W_{el}^*$  は計算上の基準値で規格化しており、定性的な性能は試作した魚ロボットの実測値に基づいている。ファジィ理論は、制御変数に対する制御結果が経験的に予測できる場合に極めて有効な手法である。そのため、図 - 1(b)に示した実験用魚ロボットの実験データを利用した旋回性能の制御にも適していると考えられる。しかし、ファジィ理論には本質的に学習能力はなく、最適制御には適していないため、ニューロ等との複合化が有望であると考えられる。

## 2.4 海中動力源

海中ロボットの高性能化を図る場合、推進効率ばかりでなく、システム全体の効率に着目する必要がある。本研究では、従来の海中ロボットの動力源に

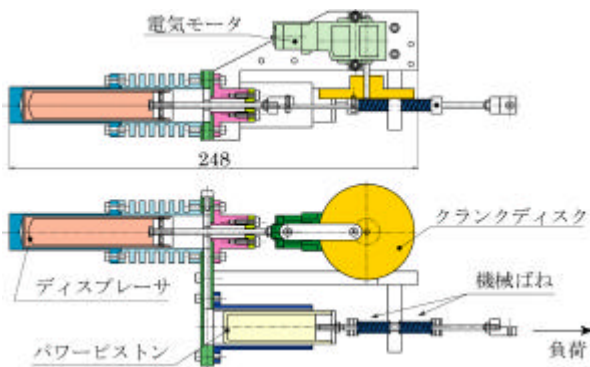


図 - 4 実験用スターリングエンジン

用いられている蓄電池・電気モータシステムの代替動力源として、セミフリーピストン形と呼ばれる特殊なスターリングエンジンの適用を提案した<sup>5)</sup>。このエンジンは、ピストンの往復運動を直接動力として利用できるため、魚ロボットの尾部を往復運動させる場合にその間の機械損失や伝達損失を大幅に低減できると考えられる。図 - 4 は本エンジンの基本的な特性を評価するために設計・試作した実験用エンジンである。現在、実験用エンジンの運転結果及びシミュレーション計算によって本エンジンの魚ロボットへの適用可能性について検討を進めている。

### 3. 魚ロボットの課題と展望

図 - 5 に高性能な海中ロボットを開発するために必要であると考えられる課題を模式的にまとめた。同図に示すように、必要とされる分野は機械、流体、制御及びエネルギーの4つに分類される。

#### 3.1 機械分野

機械分野では、魚ロボットの機構や使用する材料、要素技術等を含めたシステム設計手法の確立を目指す。そのためには、既存の技術を利用するとともに新しい技術を提案し、主として実験的検討に基づく実機開発を進めていく必要がある。現在までに、図 - 1 に示した実験用魚ロボットを用いて基本特性を測定してきたが、設計手法の確立に十分なデータが得られたとは言い難い。さらに詳細な実験を進め、性能評価方法についても検討する必要があると考えている。また、試作した実験用魚ロボットの問題点を踏まえて、新しい魚ロボットの開発も進める予定である。

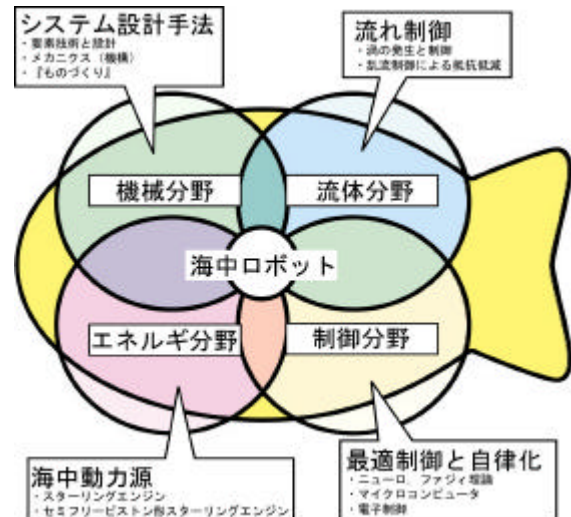


図 - 5 高性能海中ロボット開発の課題

#### 3.2 流体分野

本研究では、新しい推進装置の流体力学的な特性を詳細に評価するため、推進成分と抵抗成分とを分離する手法について検討した。しかし、推進成分と抵抗成分とが相互に干渉しあう魚ロボットでは、プロペラや船体における従来の実験方法を適用することは極めて難しいことを認識し、新しい測定技術を見いだす必要があると考えている。また、魚ロボット並びに魚を模擬した推進方法の高性能化を図るためには、周囲の流れを把握するための詳細な解析が必要であり、CFD 計算や流れの可視化が有効であると考えられる。さらに、乱流制御デバイスをを用いた魚ロボット胴部での摩擦抵抗を低減する技術や尾ひれでの渦を促進・制御する技術も有望であり、それらについても研究を進める予定である。

#### 3.3 制御分野

魚ロボットの最適運動制御と高度な自律化を目指す場合、高度な制御手法と情報伝達技術が必要である。前者は、ニューロ等の学習能力を備えた手法を利用して、自らが最適な泳ぎを学ぶ魚ロボットの開発を進める。後者においては、マイクロコンピュータを搭載した魚ロボットの開発を進めるとともに、魚ロボットの内部や周囲の状況を把握するために必要なセンサについても考究する必要がある。

#### 3.4 エネルギー分野

高性能な海中ロボットの開発には、出力や効率の性能ばかりでなく、高い信頼性や取り扱い易さを有

する高性能な動力源が必要不可欠である。また，海中ロボットの用途によっては長時間の航行が要求されると考えられるため，高エネルギー密度な熱源を利用した動力源が有望である。それらには，スターリングエンジン，燃料電池及びクローズドサイクルディーゼルエンジン等が考えられ，それらの特徴を考慮した上で，魚ロボットの寸法や用途によって適する動力源を見いだす必要がある。したがって，動力源については，上記の機械分野や流体分野の研究を進めるとともに検討していく必要がある。

#### 4. あとがき

1999 年度の研究によって，実験用魚ロボットの動作確認をはじめ，多くの成果が得られるとともに，多くの課題が明らかになった。また，流体分野と制御分野についても様々な知見が得られ，それらは今後の研究開発に大いに貢献するものと認識している。

現状では，魚を模擬した推進方法が実用的な技術であるとは断言できず，どの程度の高性能海中ロボットが可能になるかは明らかでない。しかし，実際の魚と同等の運動性能を得ることができれば，図 - 6 に示すような船舶への適用や海洋調査，生態観測，海中作業を目指した高性能海中ロボットの実現が可能になるものと考えている。

#### 参考文献

- (1) 平田宏一，春海一佳，田村兼吉，児玉良明，富田宏，牧野雅彦，魚ロボットに関する研究，平成 11 年度（第 73 回）船舶技術研究所研究発表会講演集，p.190-193（1999）。
- (2) 平田宏一，小型魚ロボットの設計・試作，日本設計工学会平成 11 年度春期研究発表講演会講演論文集，

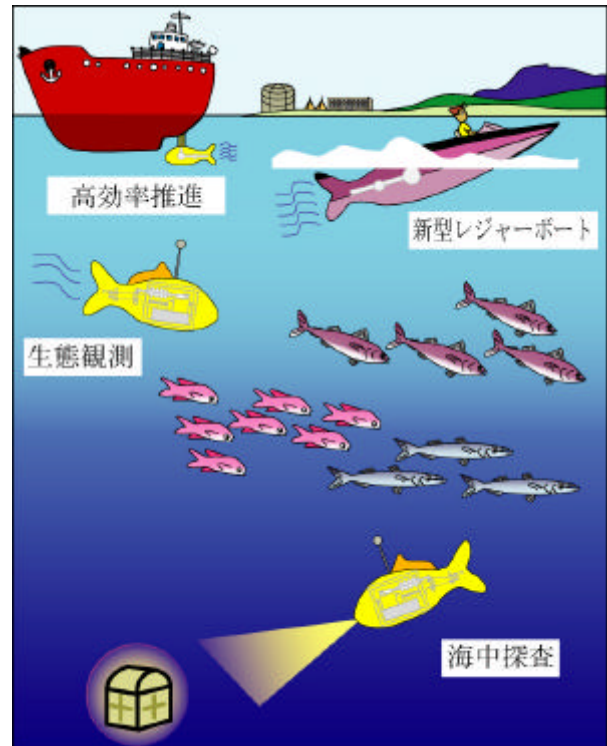


図 - 6 将来の高性能魚ロボット

No.99 - 春季，p.29-32，（1999）。

- (3) 平田宏一，藁科真一，実験用魚ロボットの旋回性能に関する研究，日本設計工学会東北支部，平成 11 年度研究発表講演会，p.68-71（1999）。
- (4) 平田宏一，春海一佳，ファジィ理論を利用した魚ロボットの運動制御，日本設計工学会東北支部，平成 11 年度研究発表講演会，p.72-75（1999）。
- (5) 平田宏一，植木原明，山下巖，魚ロボットに用いるセミフリーピストン形スターリングエンジン，日本機械学会第 3 回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集，p.78-79（1999）。