多様な遊泳機能を持つ魚型ロボットの開発

正員市来崎哲雄* 正員

正 員 山本 郁夫**

Development of Robotic Fish with Various Swimming Functions by Tetsuo Ichikizaki, *Member* Ikuo Yamamoto, *Member*

Keywords: Robotic Fish, Flexible oscillating fin, 3D-CAD, Rapid Prototyping, FM radio wave control

1. 緒 言

日本は周囲を海でかこまれた海洋国家であり,貿易,漁業な ど経済,市民生活は海と深いかかわりを持っている。このよ うな環境を背景に海洋調査なども活発に行われており,調査 には水中作業ロボットが使われることが多い。これらの水中 作業ロボットの大半は推進方式としてスクリューを採用し ており性能,信頼性の面でも豊富な実績を誇っている。

我々はこれまでに弾性振動翼技術^{1),2),3),4)}を適用したひ れで推進力を得て遊泳する数種類の魚型ロボットの開発を 手がけてきている。これまでの魚型ロボットの開発の経験か ら弾性振動翼を使ったひれには推力発生アクチュエータと しての潜在的なパフォーマンスや環境や海洋生物にやさし いという優れた特性があることがわかってきており,ひれを 推力発生アクチュエータとする魚型作業ロボットに注目を している。

本研究では魚型作業ロボットの開発の第一ステップとし て多様な遊泳機能をもつ魚型ロボットの開発に取組んだの でその結果を報告する。

2. 開発の基本手法

魚型ロボット開発のあるべき姿として開発の基本手法に ついて述べる。魚型ロボットの基本仕様策定から遊泳試験ま での開発の基本手法を図1に示す。

まず運用の要求項目にもとづきロボットの外形形状,アク チュエータの種類,操縦方式,制御方式,センサなどの基本仕 様を策定する。基本仕様の項目のうち新たに要素技術の開発 が必要な項目については要素模型による水槽実験を実施す る。魚型ロボットの運動系の開発に関しては,運動モデルに よる運動シミュレーションを行い,適正な要素模型実験を計 画し実施する。計装系に関しても制御,通信,操縦などで事前 に確認を要する項目について要素模型実験を実施し,検証結 果を基本計画にフィードバックする。

次に魚型ロボットの外形形状データを採取するために計 測を実施する。このプロセスは魚のリアルな外観の再現,あ るいは流体抵抗の少ない外形を持つ魚型ロボットの開発に おいて重要な作業であると考える。

外形形状のデータ計測手法としては,樹脂材料を用いた型

原稿受付 平成18年9月30日 秋季講演会において講演 ・日本船舶海洋工学会



Fig. 1.Basic Steps of Development

取り法,3 次元レーザ計測で STL データ (STL: Stereo Lithography)を採取する方法などを適用する。採取したデー タをCAMデータとして用いてラピッドプロトタイピングあ るいは NC 機械加工により魚型ロボットの外観を形づくる 外皮を製作する。

魚型ロボットの機構部については基本計画にもとづき2 D-CADあるいは3D-CADで組立図を作成し,部品図に展開して,機械部品を製作する。計装系についても部品,機器を製作 をしこれらの部品で魚型ロボットを組立てる。製作した魚型 ロボットは遊泳試験で性能能を検証し,運用の要求項目を満 たすことを確認して開発を完了する。

3. 開発仕様

鯉ロボットの仕様を表1に示す。外観は鯉をモデルにして 製作した。サイズは体長900mm,直径180mmで体重は約12kg である。尾ひれと胸ひれは弾性振動翼となっており小型のサ ーボモータで駆動する。

動力源としてニッケル水素電池を使用しており,1回の充 電で約60分間遊泳させることができる。直線の遊泳速度は 約0.8/ットである。腰の部分に設けた関節を曲げることで 最小1mの半径で旋回させることができる。また魚体の先端 部に組み込んだCCDカメラで水中の様子を撮影し地上に伝 送する機能を持たせた。魚ロボットの操縦はFM電波による ラジコン操縦を採用している。

^{*} MHI ソリューションテクノロジーズ株式会社

^{** (}独)海洋研究開発機構,九州大学大学院

Subject	Specifications
Dimensions	Length 900mm Diameter 180 mm
Weight	Approx. 12kg
Power source	Ni-H battery
Swimming speed	Max 0.8 knot
Turning radius	Min 1.0m
Operating time	Approx. 60 min per battery charge
Swimming function Basic mode	Straight forward, Turn Surfacing/Diving, etc.
Swimming function Attractive mode	Treading water Backward, Hovering,etc.
Underwater image photography	CCD Camera
Controlling method	FM radio wave

Table 1 Specifications of the Carp Robot

4. 開発結果

4.1 鯉口ボットの外観

鯉ロボットの外観を図 2 に示す。活きた鯉から採取した STL データをもとにロボットらしい人工的な外観に仕上げた。 鯉ロボットの外皮シェルには白色の塗装を施し,カラーシートを貼り付けてスポット状の模様をつけた。目と口に LED ライトを組み込んでおり、図 2 の写真ではそれを点灯 させている。



Fig. 2. Appearance of the Carp Robot

4.2 要素模型試験

要素模型試験機の外観を図3に示す。鯉ロボットの開発を 進めるうえで必要になった下記の4項目の要素技術に関し, 試作機器を搭載して水槽試験を行い機能を検証した。

(1) 胸ひれを 360 度旋回できる構造とし,360 度全方位に推力を出すことができる推進アクチュエータとしての機能

(2) 錘を体長の方向に移動させて魚体の姿勢を前後に傾ける機能

(3) 腰の部分に設けた関節の曲げ角度を調整して旋回半径 を変える機能

(4) CCD カメラを組込み水中で撮影した映像を地上に無線 で伝送する機能



Fig. 3. Elemental model of the Carp Robot

4.3 製作工程

鯉ロボットの 3D-CAD イメージを図 4 に示す。胸ひれの 駆動用として 30W クラスのサーボモータを使用した。サー ボモータは左右のひれ用に1台ずつ設置した。尾ひれには 60wクラスのサーボモータを1台設置した。腰の部分に設け た関節の曲げ角度の調整用アクチュエータとして 30W クラ スのサーボモータを使用した。移動錘の駆動軸にはボールス クリューを用いた。CCD カメラ,送受信機器などの計装機器 はアクリル樹脂製の耐圧シェルの中に組込んだ。浮力材には スタイロフォームを使用した。

3D-CAD の手法は機器をレイアウトする際に機器の干渉 をチェックしながら計画を進めることができるという本来 の効果に加え,重心の位置や浮力心の位置を事前に良好な精 度で知ることができるという効果があり,この点で魚型ロボ ットの開発に非常に有用な手法であるといえる。鯉ロボット の外観を形作る外皮シェルの製作工程を図 5,6,7 に示す。生



Fig. 4. 3D-CAD Image of the Carp Robot



STL-data of Live Carp





Fig. 5. Rapid-prototyping Data Preparation



Rapid-prototyping



Outer Shell

Fig. 6. Rapid-prototyping Process



Fig. 7. Appearance of Painted Outer Shell

きた鯉を一時的に睡眠薬で眠らせて 3 次元レーザ計測で STL データを採取した。次に STL データを使い体長に沿っ て等ピッチに等価断面積を求め、3D-CAD 画面上でピッチ間 隔を拡げて並べかえ,外皮シェルの形状を CAM データ化し た。この CAM データを使い紫外線硬化樹脂方式のラピッド プロトタイピングで外皮シェルを製作した。最終工程で表面 に塗装を施し,内面に浮力材を貼付け外皮シェルを完成させ た。

4.4 計装系統

鯉ロボットの計装系統を図8に示す。鯉ロボットはFM電 波によるラジコン操縦を採用している。鯉ロボットは尾ひれ, 左側,右側の胸ひれ,移動錘,腰部関節の5個のサーボモータと, 浮き沈みを司るバラストポンプの6個のアクチュエータを 持っている。この6個のアクチュエータの動きを組合わせて 操縦することで,立ち泳ぎ,ホバリング,後退泳ぎなどの変化 に富んだ泳ぎが可能となった。計装系統を構成する各装置の 働きは以下のとおりである。

(1) 制御装置

操縦装置から送られてきた尾ひれ,左右胸ひれ,腰部関節, 錘移動の動作指令信号(アナログ信号)を受け取り,各アクチ ュエータの角度変換パラメータで動作指令信号(アナログ信 号)に変換し送信装置へ出力する。

(2) 送信装置

制御装置から送られてきた各アクチュエータ動作信号(ア ナログ信号)を FM 電波に変換し魚型ロボットに送信する。

(3) 受信装置

受信装置で受信した動作指令をサーボ動作用信号に変換 しロボットの各アクチュエータを駆動させる。

5. 遊泳試験

5.1 試験水槽での遊泳試験

遊泳機能の通常モード,意外性モードにつき機能検証を実施した。遊泳試験の状況を図9に示す。通常モードでは旋回 と浮き潜を組み合わせた3次元スラローム遊泳が可能になった。旋回は腰の部分に設けた関節の曲げ角度を調整して旋 回半径を変えながら行う。意外性モードについては胸ひれの 動きと錘の移動を組合せて,立ち泳ぎ,後退,ホバリングが 可能となった。またコミュニケーション機能については CCD カメラによる水中映像撮影の機能を検証した。

表2に胸ひれの推力による遊泳の特性を示す。胸ひれを揺動させて発生させる推力の方向は左側と右側で個々に設定することができる。さらに推力の大きさも揺動の振動数で 個々に設定することができる。左側,右側の両方の胸ひれを 後方に向けて揺動させると直進し速さは0.5ノットであった。 左側と右側の胸ひれを反対の方向に向けて揺動させると旋 回し速さは3回転/分であった。直進,旋回ともに胸ひれの



Fig. 8. Instrumentation system of the Carp Robot



Table 2 Thrust Characteristic of the Pectoral fin

揺動周波数は2Hz,振り角度は60度の両振りとした。

胸ひれはサーボモータの軸に弾力性のあるエラストマー 製のひれを固定した単純な機構になっているが、この単純な 機構で様々な遊泳モードに対応できることから、推力アクチ ュエータとして高い潜在能力を有するものと考える。

5.2 水族館での遊泳試験

水族館の淡水魚ピラルク(Pirarucu 学名:Arapaima gigas)の水槽で鯉ロボットの遊泳機能の実証試験を実施し た。実証試験の様子を図9の右下段の写真に示す。ピラルク は鯉ロボットが近くに寄っても特に驚く様子はなかった。ま た当日は水族館のイベントとして鯉ロボットの一般公開を 行い来館者に好評をはくした。

6. 結 言

多様な遊泳機能を持つ魚型ロボットの開発をめざし次の 成果が得られた。

(1) リアルな外観,あるいは流体抵抗の少ない外形を持つ魚型ロボットの外皮シェル製作に有用な実体形状再現手法として,3 次元レーザ計測により作成した STL データを使いラピッドプロトタイピングで製作する方法を見出した。

(2)魚型ロボットの計画,設計で利用した 3D-CAD の手法は, 機器をレイアウトする際に機器の干渉をチェックしながら 計画を進めることができるという本来の効果に加え,重心の 位置や浮力心の位置を事前に良好な精度で知ることができ るという点で魚型ロボットの開発に非常に有用な手法であ ることがわかった。

(3) 鯉ロボットは弾性振動翼技術を適用した尾ひれと左側, 右側の胸ひれ,および移動錘,腰部関節用として5個のサー ボモータと,浮き沈みを司るバラストポンプ用のモータ1個 の合計6個のアクチュエータを持っている。この6個のアク チュエータの動きを組合わせて操縦することで,立ち泳ぎ,ホ バリング,後退泳ぎなどの変化に富んだ多様な遊泳が可能と なった。

(4) 胸ひれの左側と右側のひれを別々の条件で揺動させる ことで発生させる推力の方向や大きさを自由に設定できる ことがわかった。胸ひれはサーボモータの軸に弾力性のある エラストマー製のひれを固定した単純な機構ではあるが, 様々な遊泳モードに対応できることから,推力アクチュエー タとして高い潜在能力を有することがわかった。

(5) 水族館の淡水魚ピラルク(Pirarucu 学名: Arapaima gigas)の水槽で鯉ロボットの遊泳機能の実証試験を行った。



Treading water



Hovering

Swimming Backward



Turning

At an Aquarium



実証試験の様子は水族館のイベントとして来館者に一般公開され,遊泳デモンストレーションをはじめ内蔵した CCD カメラで撮影した水中映像をライブでモニターに映し出す などのデモンストレーションを行い好評をはくした。

参考文献

- I.Yamamoto, Y.Terada: Research on an oscillating fin propulsion control system, IEEE OCEANS 93 Vol.3 (1993)
- I.Yamamoto, Y.Terada: Design of maneuvering control system for a ship, Journal of the West-Japan Society of Naval Architects Vol.87 (1994)
- **3)** I.Yamamoto, Y.Terada: Propulsion system with flex ible /rigid oscillating fin, IEEE journal of oceanic engineering Vol.20 No.1 (1995)
- 4) 寺田:水中アニマトロニクスの試み、日本ロボット 学会誌 18 巻 2 号



Inclining forward