

# 魚ロボットの上下運動メカニズムに関する研究

## Study on Vertical Motion Mechanisms for a Fish Robot

学 櫻井健太郎(法政大)  
正 長松 昭男(法政大)

正 平田 宏一(海技研)  
正 御法川 学(法政大)

Kentaro SAKURAI, Hosei University, Kajinocho 3-7-2, Koganei, Tokyo  
Koichi HIRATA, National Maritime Research Institute, Mitaka, Tokyo  
Akio NAGAMATSU, Hosei University  
Gaku MINORIKAWA, Hosei University

Key words: Robot, Underwater Vehicle, Vertical Motion and Fish

### 1. まえがき

近年、海洋開発や海洋環境保全への利用を目的とした海中作業ロボットの開発が活発に行われている。そのような背景に基づき、国の内外で魚の泳法を模擬した海中ロボット(魚ロボット)の研究が進められている。現在までに、魚ロボットの推進性能及び旋回性能に関する研究は活発に行われてきたが、上下運動に関する研究は十分に行われていなかった<sup>(1)</sup>。実際の魚のように機敏な旋回運動と上下運動が実現できれば、水中での作業効率が向上し、様々な海中作業に役立つと考えられる。本研究では、魚ロボットの3次元運動(前進、旋回、上下運動)に着目し、様々な上下運動方法を検討する。そして、上下運動メカニズムを持つ実験用魚ロボットを設計・製作し、その運動性能について考察する。

### 2. 魚ロボットの概要

魚ロボットには様々な形式があるが、本研究で対象としているのは、尾部を左右に振動させて推進する形式である。遊泳時には、尾ひれと尾柄との間に90°程度の位相差が与えられることにより、高速で力強い推進が可能となる。このような形式の魚ロボットでは、尾部を左右どちらかに偏らせて振動させることにより旋回運動が可能である。

### 3. 魚ロボットの上下運動メカニズム

#### 3.1 上下運動メカニズムの種類と特徴

優れた3次元運動が可能な魚ロボットを開発するために、様々な上下運動方法を検討する。以下、それらの上下運動メカニズムの構造や特徴をまとめ、本研究で設計・試作する実験用魚ロボットのメカニズムを選定する。

##### (1) 浮き袋を利用したメカニズム

図1に示す浮き袋を利用したメカニズムは、搭載したポンプでタンクの水を増減することにより、魚ロボットの比重を調整し、重力・浮力のバランスを変える。この方法は、前進方向に遊泳していなくても上下運動できるが、タンクの水の出し入れにより、重力・浮力のバランスを変更するため応答性が低いと考えられる。

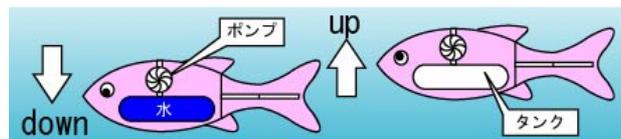


図1 浮き袋を利用した上下運動

##### (2) 重心の移動を利用したメカニズム

図2に示す重心の移動を利用したメカニズムは、おもりの前後移動により重心の位置を変え、魚ロボットを前後方

向に傾斜させる。傾斜させた状態で推進力を与えることによって、上下運動を行う。構造を簡略化できるが、魚ロボットを適切に傾けるためのバランス調整が重要である。



図2 重心移動を利用した上下運動

##### (3) フィンを利用したメカニズム

図3に示すフィンを利用したメカニズムは、魚ロボットの側面に取り付けたフィンにより発生する揚力を利用して上下運動させる。高速遊泳時には発生する揚力が増すため応答性が高まるが、低速遊泳時には十分な揚力が得られず上下運動が困難となる。

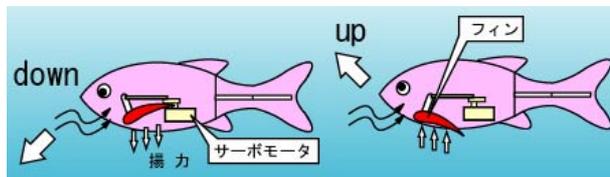


図3 フィンを利用した上下運動

##### (4) 上下方向の関節を利用したメカニズム

図4に示すように、上下方向の関節を利用することにより上下運動が可能である。このメカニズムの動作原理には、図4(a)のように体全体の揚力を利用する方法と図4(b)の推進力の方向を変化させる方法がある。これらの特性は、魚ロボットの形状や重心・浮心位置等によって異なると思われる。

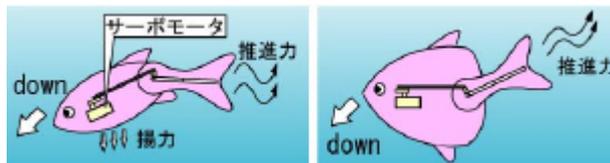


図4 上下方向の関節を利用した上下運動

#### 3.2 実験用魚ロボットに用いる上下運動メカニズムの検討

本研究では、旋回運動と上下運動を両立した高い運動性能を持つ魚ロボットの開発を目指している。前節にあげた4種類の上下運動メカニズムを検討した結果、図4に示した上下方向の関節を利用したメカニズムが、上下運動の応答性や構造的な点に優れていると考えられた。

本メカニズムを魚ロボットに適用する場合、左右方向の関節の他に新たな上下方向の関節を取り付ける方法や全体を回転させる方法等が考えられる。後者では、魚ロボッ

ト側部に左右逆の働きをするフィンを取り付けることで魚ロボット全体を 90° 回転させ、尾部を上方または下方に偏らせて振動することで上下運動ができると考えられる。

このような様々な構造を検討した結果、図 5 に示すような、尾部だけを回転できる構造とし、尾部の偏りによって上下運動を行うメカニズムを採用することとした。これは、回転の制御が比較的容易であり、推進・旋回用の関節をそのまま上下運動に利用できると考えたためである。

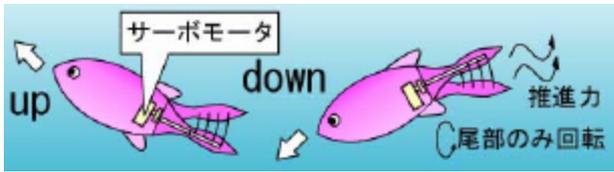


図 5 尾部だけの回転

#### 4. 実験用魚ロボットの設計 試作

以下の結果を踏まえて、図 6 に示す実験用魚ロボットの設計・試作を行った。本魚ロボットの骨格は、バッテリーケース、胴体ケース及び尾柄ケースから構成される。胴体ケースには、上下運動並びに尾柄関節を駆動するためのラジコン用(R/C)サーボモータと R/C 受信機が配置されている。尾柄ケースには、尾ひれ関節を駆動するための R/C サーボモータが配置されている。さらに、その外側には流線形状をした外装カバーが取り付けられる。

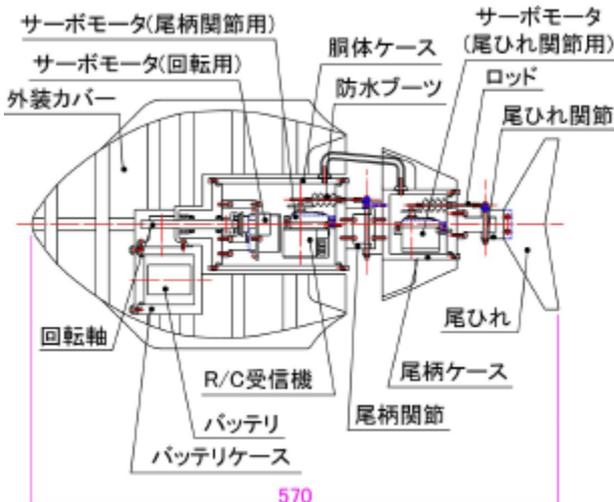


図 6 実験用魚ロボットの構造図

胴体ケース及び尾柄ケース内の R/C サーボモータは、それぞれ 2 本のロッドを介して尾柄関節及び尾ひれ関節を駆動する。ロッド部の防水にはゴム製の防水ブーツを使用する。胴体ケース内の尾部を回転させるための R/C サーボモータは、本魚ロボットに求められる広い回転角度 ( $\pm 90^\circ$  以上) を満たすため位置決め用の可変抵抗を外後付けする等の改造をする。この改良した R/C サーボモータの回転運動は回転軸を通してバッテリーケースに伝わる。バッテリーケースは、下側におもり、上側にフロートを入れた外装カバーに固定されている。そのため、水中において回転軸を動かした場合、胴体ケースが回転することとなる。外装カバーはラワン材及びフロートの役割を果たすウレタンで作られ、表面を FRP で成形する。外装カバーの内側にはおもりを入れる空間があり、これにより重力・浮力の調整ができる。本魚ロボットは R/C 送信機を用いて外部から操作される。尾部の連続的な往復運動や尾ひれと尾柄に適せつな

位相差を与えるために、R/C 送信機に A/D 変換機能を持つマイコンを取り付ける。これにより、尾部の周波数や振幅、旋回並びに尾部の回転を操作できる。

#### 5. 実験用魚ロボットの遊泳性能

本魚ロボットの試作後、外装カバーに入れるおもりを調整し、試験水槽において動作試験を行った。図 7 は遊泳時の実験用魚ロボットである。本魚ロボットは約 0.4m/s で直進遊泳できることを確認できた。

図 8 は、尾部を右側に偏らせて振動させた際の合成写真である。これより、全長と同程度の直径で適切な旋回運動が可能であることを確認できた。次に尾部を 90° 回転させて上下運動を観測した。しかし、尾部を下方に傾けて振動させても魚ロボットの胴体が下方方向に傾くだけで潜ることはできず、上下運動は実現できなかった。さらに入念な重量調整や推進力の向上、あるいは外装形状の流体力学的な最適化等により適切な上下運動が可能となると考えられる。



図 7 遊泳時の実験用魚ロボット

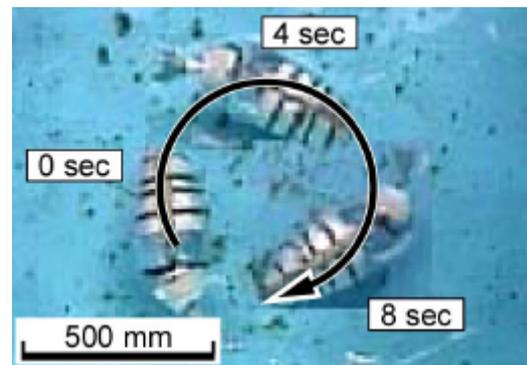


図 8 旋回運動時の実験用魚ロボット

#### 6. あとがき

本報では、魚ロボットの上下運動メカニズムについて検討し、尾部が回転するメカニズムを用いた実験用魚ロボットの設計・試作を行った。そして、動作試験を行った結果、本魚ロボットは適切な直進運動及び旋回運動が可能であることが確認できた。上下運動については、旋回運動と同様の原理で、尾部を下方に偏らせることで潜水することを期待したが、現状の実験用魚ロボットでは、適切な上下運動を得るには至らなかった。上下運動は、旋回運動と異なり、重力・浮力のバランスや重心・浮心位置の影響を大きく受けるためである。これらの影響を少なくするためには、推進力の向上や胴体の抵抗低減などが有効であり、それにより適切な上下運動が可能になると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 海上技術安全研究所、魚ロボットホームページ  
<http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/>