

# 【P09】学習機能を持つ魚型ロボット(4号機)の試作とその特性評価

01E1004 井手 和成 00E1073 深川 武士

指導教員 河村 良行

## 1. 緒言

魚の水中推進能力は速度、効率など非常に優れている。魚の運動機構と運動パターンを模倣し、学習により優れた水中推進機構の開発を目的とする。本稿では今年度我々が製作した4号機の構造、制御システム、流体抗力係数、プログラムの改良及び遊泳実験について報告する。

## 2. 実験装置

### 2.1 基本構造

今回製作した4号機は、二関節魚型ロボットである。本体形状は、流体抵抗を減らし遊泳速度を向上させるために、凸凹の少ない流線形状とした。全長1200〔mm〕、高さ240〔mm〕、全幅240〔mm〕である。頭部、腹部、尾部の三部分に分かれており、腹部に駆動装置を、頭部に制御装置とバッテリーを搭載している。使用したモータはDCギヤードモータ(定格24〔V〕、45〔W〕)を二個使用、バッテリーは、密閉型鉛蓄電池12〔V〕を制御系及び駆動系に各一個使用した。これらは昨年のを流用した。推進力を増すために尾部の先端に縦240〔mm〕、横230〔mm〕、厚さ1〔mm〕の塩化ビニール製の板を取り付けている。

### 2.2 駆動装置

腹部に搭載しているモータのトルクをリンクによって頭部及び尾部に伝達し、駆動させる構造である。最大振幅は、両関節とも中立位置から±30〔deg〕である。頭部右側面にプロペラ式流速計を装着しており流速を測定することができる。

### 2.3 制御システム

4号機の学習制御システムを図1に示す。PCより頭部駆動用モータ、尾部駆動用モータの制御信号を出力する。R/C送信機によって信号を送信し、魚型ロボットに搭載されているR/C受信機より受信される。それらの制御信号はモータドライバに出力され、モータ、ポテンショメータ、モータドライバによるサーボ機構によってモータを制御する事で魚型ロボットの遊泳パターンを制御する。

## 3. 実験及び考察

### 3.1 位相差角による遊泳速度の変化

城東高校のプールにて、頭部と尾部の動かし方の位相差角により生じる遊泳速度の違いを測定した。振幅は、

頭部、尾部共に±30〔deg〕で一定である。位相差角は0〔deg〕が逆位相であり、180〔deg〕は同位相である。結果を図2に示す。位相差角が同位相の時、最高速度だった。これは頭部によって発生する反発力が、尾部の振る力を大きくするために、逆位相の場合は反発力によって振る力が小さくなっていると考えられる。

### 3.2 流体抗力係数測定実験

実験はプールで行った。測定方法は、定電圧でモータを駆動させ、ワイヤーで魚型ロボットを引っ張りモータに流れる電流を測定した。それを基にトルクを測定し抗力係数を算出した。トルクはモータの特性表を基にして求める。抗力〔N〕は

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho U^2 S \quad [1]$$

より計算され、 $F_D$ : 抗力〔N〕、 $C_D$ : 抗力係数、 $S$ : 投影面積〔 $m^2$ 〕、 $\rho$ : 密度〔水:  $\rho = 1000 (kg/m^3)$ 〕、 $U$ : 遊泳速度〔m/s〕である。[1]式より求めた抗力係数を図3に示す。4号機の抗力係数の平均値は0.30となり3号機の0.44よりさらに減少した。これは前年度の3号機が関節部をカバーで覆って流線型に近づけているのに対し、4号機は構想の段階から流線型の翼断面形状を目標とし、関節の隙間も小さく設計した事によって、前年度を上回る良い結果が出たと考えられる。流速についても3号機

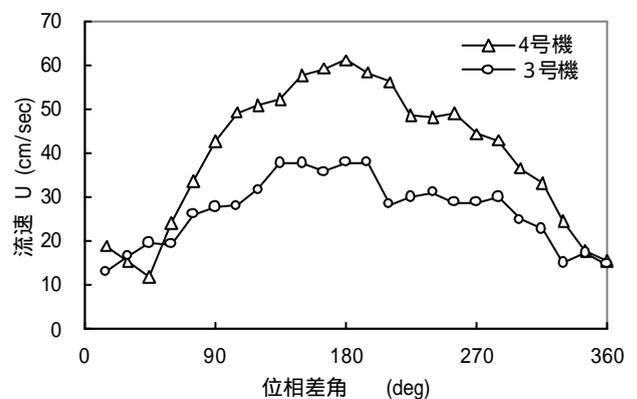


図2 位相差と遊泳速度

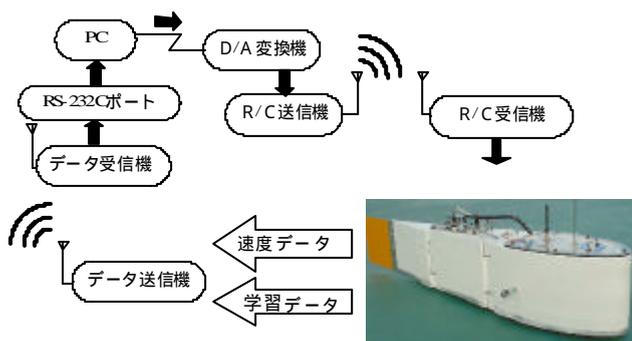


図1 制御システムの流れ

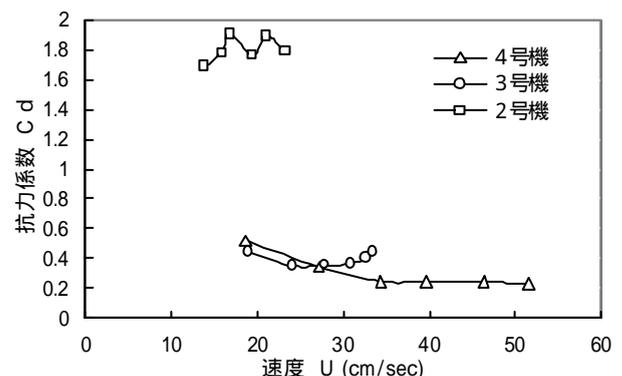


図3 速度に対する流体抗力係数

より良い結果が出たのは、抗力係数の減少の影響が大きいと言える。

### 3.2 学習プログラム

一昨年、昨年、今年度に製作された3つの山登り法による学習プログラムを用いて遊泳実験を行った。位相差角 90 [deg]、周波数 0.5 [Hz] に固定し、振幅について学習を行わせた。2つのモータには同じ振幅を入力している。結果を図4、図5、図6に示す。

一昨年の一般山登り法プログラムの学習評価関数を式であらわすと

$$U_{\max}(n) < U_n(n+1) \quad [2]$$

$$U_{\max}(n) \geq U_n(n+1) \quad [3]$$

となる。 $U_{\max}$  : 最大流速、 $U_n$  : 試行  $n$  回目における流速、 $A_n$  : 振幅、 $\theta_n$  : 乱数 (-30 ~ 30 [deg]) である。[2] 式の時、つまり  $U_n$  が  $U_{\max}$  を上回った時には  $\theta_n$  の値が  $\theta_{n+1}$  と置き換わり、 $U_{\max}$  の値も  $U_n$  と置き換わる (この置き換わりを格納と呼ぶ) [3] 式のように  $U_n$  が  $U_{\max}$  と同じか、それを下回った場合には  $U_n$ 、 $\theta_{n+1}$  とともに格納されない。この二つの式によって最も流速が出る泳ぎ方 (この場合は振幅) を探っていくのが一般山登り法の学習システムなのであるが、この方法では風や波などの外部要因によって  $U_{\max}$  が異常に大きくなってしまった場合、次に  $U_{\max}$  を越える  $U_n$  が出るまで学習を行わなくなってしまうと言う問題があった。

その外部要因の影響を考慮し製作されたのが昨年の再試行山登り法プログラムである。このプログラムでは10回毎に  $U_{\max}$  をゼロにすることによって、外部要因の影響を受けたとしても学習を続けることが可能になった。しかし10回区切りの途中で外部要因によって大きすぎる流速が出てしまった場合、その区間の残りの部分での学習が行われなくなってしまい学習効率が下がってしまう。

そこで外部要因の影響を最小限に抑え、且つ学習効率の向上を目指したのが今年作成した改良型一般山登り法プログラムである。学習評価関数を式であらわすと

$$U_{n-1}(n) < U_n(n+1) \quad [4]$$

$$U_{n-1}(n) \geq U_n(n+1) \quad [5]$$

となる。基本的な流れは一般山登り法の場合と同じであるが、一番の特徴は左辺の  $U_{n-1}$  で、ここには前回の試行で得た流速が入る。これによって外部要因により大き

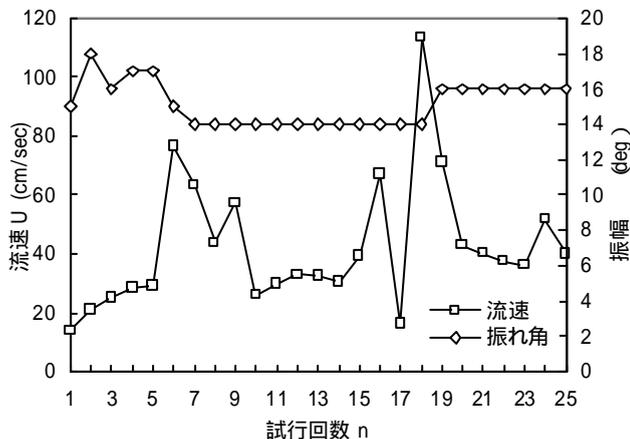


図4 一般山登り法プログラム (一昨年)

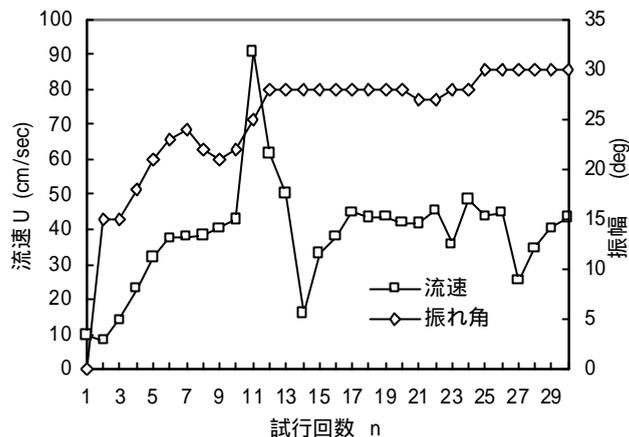


図5 再試行山登り法プログラム (昨年)

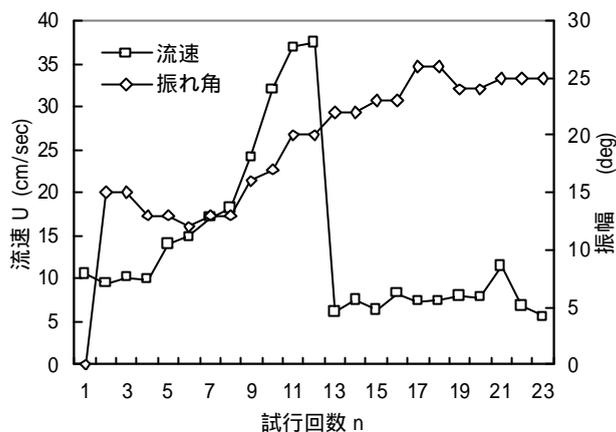


図6 改良型一般山登り法 (今年)

すぎる流速が出てしまった場合でもその影響は次の学習評価にしか作用せず、学習効率の低下を最小限に抑えつつ着実に学習を行わせることが出来るようになった。図6に見られるように、風向きが変わり流速に極端な変化が起こった場合でもすぐに学習を再開する事ができる。これによって外部の環境が常に変化し続けるような状況でも効率よく学習を行わせる事が可能となった。

### 4. 結言

学習機能を持つ魚型ロボット (4号機) を製作した。4号機の特徴を調べる実験を行った結果、過去の魚型ロボットよりも優れた流体特性を持つことが分かった。流速も、定格の半分の電圧で去年を上回る値が出ている。次に3つの学習プログラムを使用して遊泳実験を行い、それぞれのプログラムの特徴から出る違いを解析した。その結果、今年度製作したプログラムは外部要因が常に流速に影響を与えるような状況下において、最も効率よく学習を行う事が証明された。今後の課題として、学習項目を増やした、より高度な学習を行わせていきたい。

(参考文献)

- 1) 15年度卒業論文「学習による二関節魚ロボットの遊泳パターン最適化に関する研究」
- 2) 海洋技術安全研究所ホームページ  
[http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/index\\_j.html](http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/index_j.html)