

# 【P05】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

00E1028 倉田 直命 00E1062 名切 大 00E2074 福嶋 亨 00E2080 水迫 郷巳

(指導教員 河村 良行教授)

## 1.はじめに

本研究では、魚の運動機構と運動パターンを規範とする事により優れた水中推進機構の開発を目的とする。今回、我々が製作した魚ロボットの構造、制御システム、流体抗力係数及び遊泳実験について報告をする。

## 2.実験装置

### 2.1 魚ロボットの基本構造

今回製作した魚ロボット3号機を図1に示す。頭部、胸部、尾部、尾ヒレに分かれており、胸部に制御システム、駆動システムが入っている。胸部にシステムをまとめる事により、防水箇所を少なくし漏水の原因を減らし、それによりメンテナンス性を向上させた。動力源と駆動部は離れるのでワイヤーを使い動力伝達させた。全長 1350(mm)、高さ 325(mm)、重量 23(kg)である。尾ヒレの材質はFRP(繊維強化プラスチック)であり厚さ 0.8(mm)、面積 4925(mm<sup>2</sup>)である。頭部は流体抵抗を減らす為の物であり内部は水で満たされる構造になっている。

制御システムは、パーソナルコンピュータ(以下 PC と略す)、受信機、信号変換機及びモータドライバから成り立っており、PC より与えられた制御信号をもとに魚ロボットの動きを制御するものである。モータが誤作動を起こすと魚ロボット本体が破損する恐れがあるので、モータが一定角度以上回転すると、リミッタースイッチにより強制停止させる。

駆動システムはモータ、ワイヤー、尾部、及び尾ヒレから成り立っており、モータのトルクをワイヤーで尾部及び尾ヒレに伝え、各々を駆動させるものである。

また振幅は最大で ±45(deg)まで可動させる事ができる。胸部の右側面にはプロペラ式流速計を設置し、遊泳速度を測定する事が出来る。

### 2.2 運動制御システム

運動制御システムの流れは PC より尾部駆動用モータ、尾ヒレ駆動用モータの制御信号を出力する。出力された制御信号は D/A 変換機でデジタル信号からアナログ信号に変換され、リモートコントロール(以下 R/C と略す)送信機から信号を送信される。R/C より受信されたそれぞれの制御信号は信号変換機により、パルス波からアナログ信号に変換され、モータドライバに出力される。サーボ機構によりモータを制御する事で、魚ロボットの遊泳パターンを制御することが出来る。

### 2.3 流体抗力係数

昨年製作された魚ロボット2号機は、本物の魚に比べ流

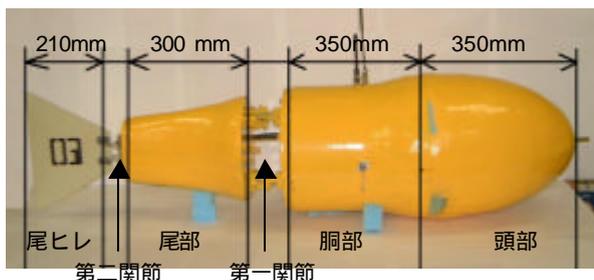


図1 魚型ロボットの全体写真と名称

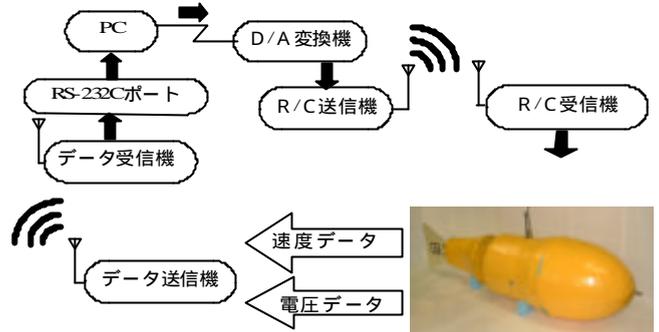


図2 運動制御システム

体抗力係数が高かった。その理由の一つとして、ボディーの凹凸が大きく、渦を引き起こす事が原因だと考えられた。そのため、製作した3号機は、抗力係数を下げる目的で、凹凸の小さい流線型のボディーをFRPで形成した。

### 2.4 学習プログラム

今回の学習プログラムは、昨年製作された山登り法を用いた学習プログラムを基本にして製作した。第一関節、第二関節の動作タイミング(以下、位相差とする)を変化させ、そのつど測定される速度を基にし、位相差を最適化する学習である。実験では池を縦横無尽に泳がせる為、風や波等の外部要因の影響が大きく、同じ条件にはならない。したがって、位相差による正確な速度データを得る事が出来ず学習が困難である。学習をするために、一定区間で区切り、条件を出来るだけ同じにし、最大速度の位相差を見直す必要があった。そこで、試行錯誤のうえ、試行回数を10回行なう毎に、最高速度を0(cm/s)にし、最高速度時の位相差を基に次の10回の学習を行なう。この方法を繰り返す事で最大速度時の位相差を見直し、最適な位相差へと学習して行く。

## 3.実験及び考察

### 3.1 位相差による遊泳速度実験

本校のおとめが池にて、尾部と尾ヒレの動かし方の位相差により生じる遊泳速度の違いを測定した。振幅 ±30(deg)で一定である。0(deg)は、同位相であり 180(deg)は、逆位相である。

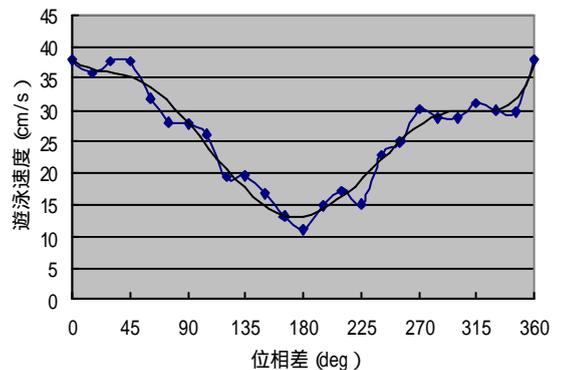


図3 位相差と遊泳速度

結果を図3に示す。位相差が0(deg)の時、最高速度だった。これは尾ヒレが、最大振り幅だった為と考えられる。速度だけで見れば尾ヒレの振り幅を大きくすれば上昇する。逆に最も遅い時は180(deg)だった。これは尾を逆位相に振った事により水を上手く後方に押し出せないためだと考えられる。

### 3.2 流体抗力係数測定実験

第一関節、第二関節には、構造上隙間が出来てしまう。その隙間が遊泳速度を下げる原因とも考えられるので、2ヶ所の関節部の隙間にカバーを取りつけて渦ができにくい状態での流体抗力係数を測定した。測定方法としては、定電圧でモータを駆動させ、池で魚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、

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

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。

以上の計算式より求めた抗力係数を図5に示す。3号機のカバー無しの場合の抗力係数の値は0.5となり2号機の1.8より大幅に減少した。3号機の表面形状が2号機の円柱状の型から流線型に変わったことが抗力係数を下げた要因であると考えられる。

また、3号機の2ヶ所の関節部にカバーを取りつけた状態での抗力係数の値は0.4となりカバー無しより小さくなった。関節部の隙間に生じる渦が抵抗になるとわかった。

### 3.3 学習遊泳実験

位相差の最適化を目的とした学習プログラムを用いた。尾は、振幅を $\pm 30(deg)$ 一定にし、振動周波数を1.0(Hz)にした。位相差の初期値は、90(deg)と180(deg)から学習を

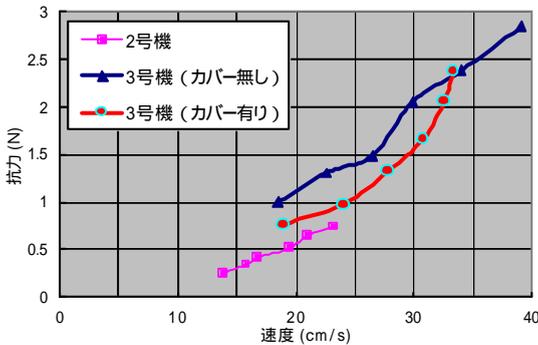


図4 速度に対する流体抗力

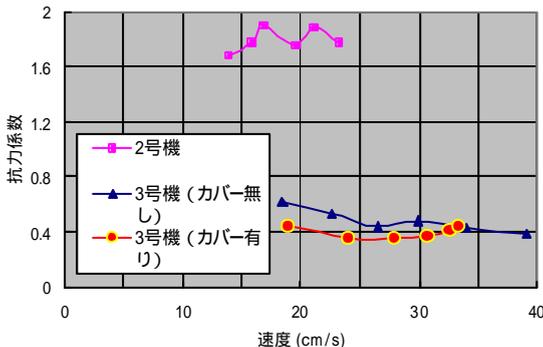


図5 速度に対する流体抗力係数

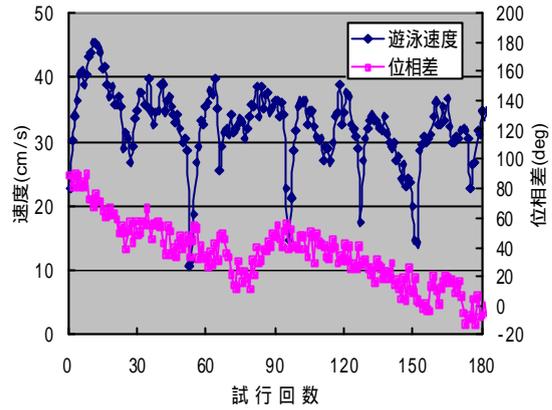


図6 位相差90(deg)からの最適化

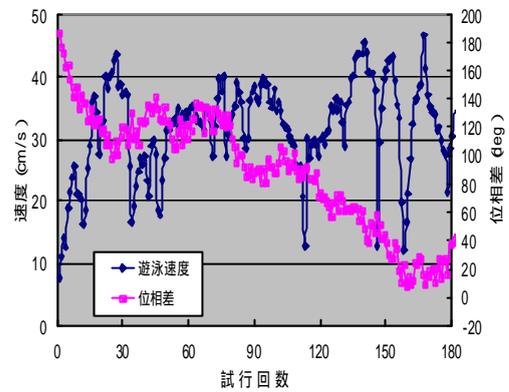


図7 位相差180(deg)からの最適化

始めた。試行回数は、共に180回行った。

結果を図6 図7に示す。今回実験を行った結果90(deg)から始めた位相差の場合でも180(deg)から始めた位相差の場合でも、試行回数を重ねるごとに0(deg)付近で遊泳することが最適であると魚ロボットは導いた。この結果は、実験3.1より求めた測定結果と同じ結論に達したので、学習の効果を確認する事ができた。したがって、図6、図7では一見、学習による速度の上昇は見られないが、区間ごとに位相差の最適化が行なわれている為、全体を通しての学習は行なわれたと考えられる。よって今回、製作した山登り法は、外部要因が大きい環境下での有効な学習方法であると確信した。

### 4.まとめ

遊泳パターン学習機能を持つ魚ロボットを製作した。魚ロボットの基本性能実験の結果、速度は位相差が0(deg)付近の時、最大であった。風や波等の外部要因が大きい環境下では学習が困難である為、学習を小区間で区切り、最高速度を見直す学習プログラムを製作した。それを用いた結果、位相差の初期値を変えた場合でも、位相差は0(deg)付近に到達したので、魚ロボットは学習したと言える。よって、この手法は外部要因が大きい環境下での有効な学習方法であると確信した。

### 参考文献

- 1) 永井實著：「イルカに学ぶ流体力学」、オーム社。
- 2) 平成14年度、卒業論文：「魚ロボットによる推進機構の研究」。
- 3) 岡村 迪夫著：「解析ノイズ・メカニズム」CQ出版。