

利用者からの報告

様々な尾びれを用いた小型魚ロボットの推進能力の測定

中西 志允 (なかにし ゆきのぶ)



所属：工学研究科機械物理系専攻

専門分野：動力システム工学研究室（修士二回生）

趣味：ツーリング、アーチェリー

1. はじめに

私の所属している動力システム工学研究室では、“CFD（数値流体力学）による内燃機関の燃焼解析”、“燃料電池”、“画像制御”、“二足歩行ロボット”、“水中ロボット”、“CFDによる流動解析”など、さまざまな分野に取り組んでいる研究室です。私は研究テーマとして水中ロボット、尾びれによる推進メカニズムについて取り組んでいます。

尾びれによる推進方法は、一般的なスクリューによる推進が回転運動を伴っている事に対して、往復運動だけで推進力を得ることが出来る事から、水中ロボットを人や他の生物の近く、汚濁環境下等で運用する場合に安全性が高いとされています。また、長い年月をかけて進化してきた結果、魚類の推進効率はスクリューと比較して高いとされています。

ここでは、尾びれによる推進メカニズムを実験的に解明するために製作した魚ロボット、実験環境ならびに実験結果の一部について報告いたします。

2. 魚ロボットおよび実験環境と実験方法

試作した魚ロボットの外観を図1、推進力の測定に使用する装置を図2にそれぞれ示します。魚ロボットは5mm厚の天然ゴムの板を魚の形状に切り出した物に、2つのキヤードモータ、これに対するサーボ制御と動作信号を生成するためのマイコンボードと電源用のバッテリーを取り付ける構造となっています。マイコンボードはMicrochip Technology社製のマイコンであるPIC18F1320を用いて、基盤から設計製作した専用の物を使用しています。

尾びれの駆動は、モータに接続されたプーリーを連続して反転させ、その回転運動をポリエチレンの糸を用いてゴム板を引っ張る方向に変換することで、ゴム板を変形させ推進力を発生させています。このような駆動方法について、我々の研究室では“モータ・ストリング機構”と称しており、この機構を用いることで、シンプルな構造でありながら実際の魚に近い、しなやかな運動を実現する事が可能となっております。

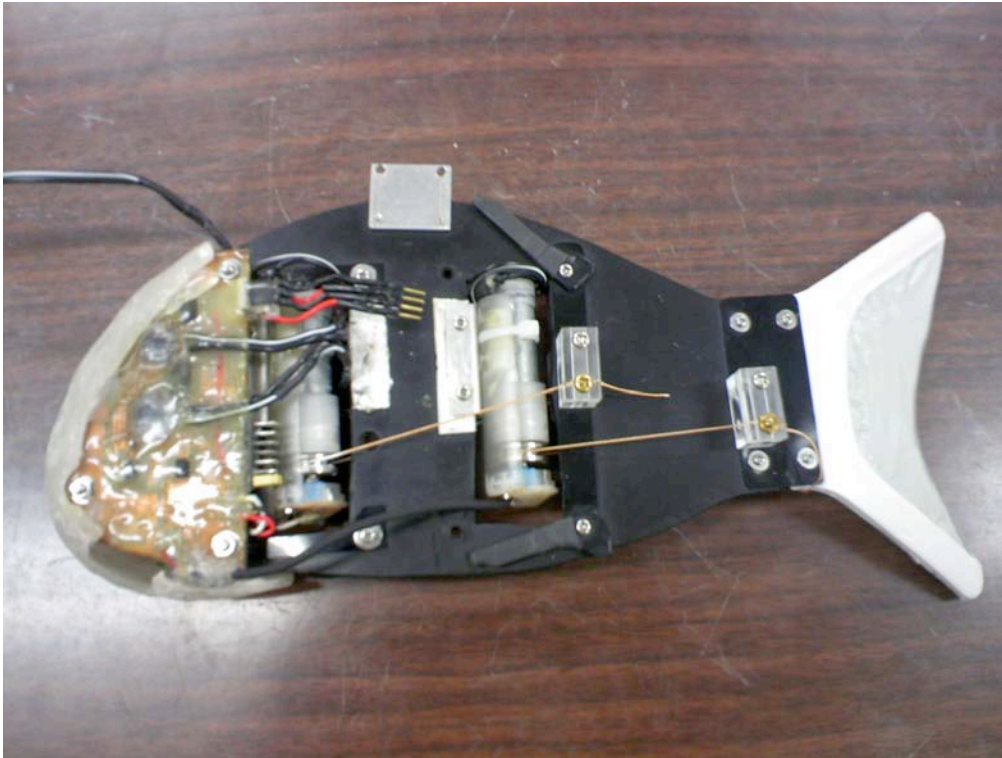


図1 試作した魚ロボット

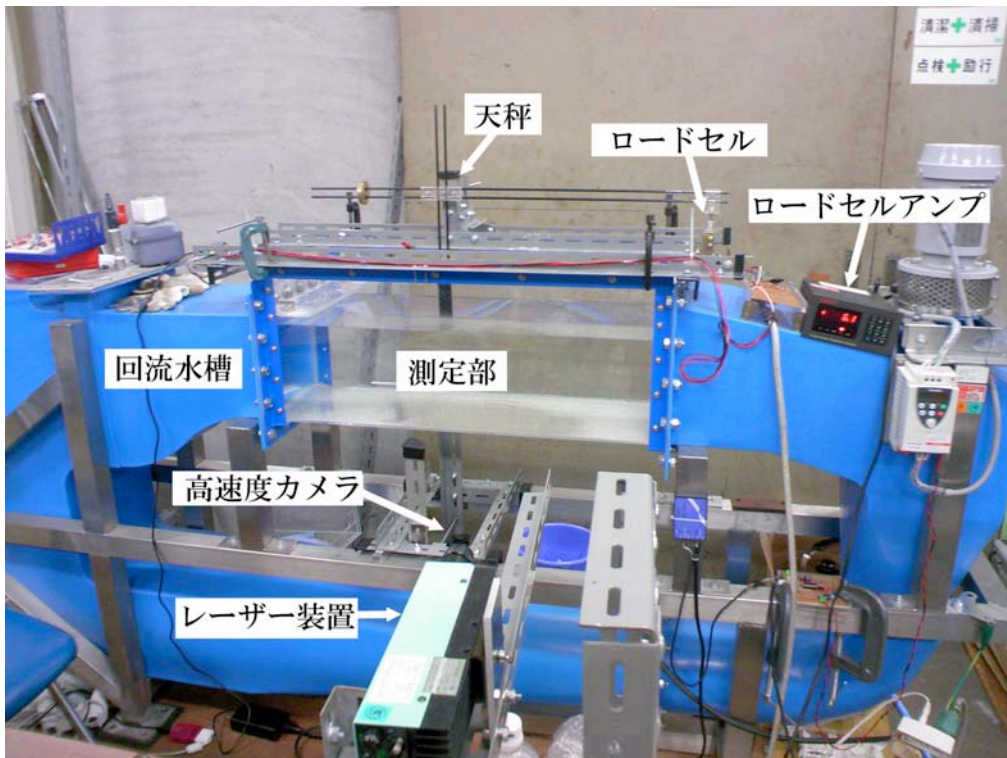


図2 回流水槽および測定用装置

本研究では尾びれ部分を様々な素材や形状で製作し、それらを付け替え、推進力及び消費電力を計測することでその推進能力を測定しています。図3に実験で使用した5種類の尾びれを示します。尾びれはアクリル樹脂を研究室で使用している3次元モデリングマシンを用いて製作した型にシリコンゴムを流し込んで製作しました。



図3 実験に使用したシリコンゴム製の尾びれ（左から Type1,2,3,4,5）

実験環境については、本研究室に備えられた小型回流水槽を用いています。回流水槽とは水槽内部の水を循環させることで、測定部において任意の流速を作り出す事が可能な装置です。ちょうど物体周りの空気の流れを調べる風洞と同様なもの理解して頂ければ良いと言えます。この水槽の測定部に魚ロボットを固定し、動作させながら測定部分に流速を与える事で、魚ロボットが水中で遊泳しているのと同等の状態を作り出す事が出来ます。

本研究では、この実験環境において主に以下の3点を計測しています。

①魚ロボットの推進力および消費電力

魚ロボットの推進力は、写真中の回流水槽の上に取り付けられた天秤を介してロードセルにより測定しています。ロードセルの出力はロードセルアンプを通じて計測用パソコンに搭載されたADボードにて記録しています。

また、魚ロボットの消費電力の計測は魚ロボットに電力を供給している電圧および電流を計測用パソコンに搭載されたADボードで記録する事で実現しています。電流の監視にはホール素子を利用した電流センサを用いており、対象物に影響を与えることなく電流値を電圧に変換し精度良く計測することが可能となっています。

②高速度カメラによる映像

本研究室に備えられている高速度カメラは、解像度が640pixel*480pixel、フレームレートが200fpsのものです。このカメラを使用して魚ロボットの動作を撮影することで、遊泳動作中の魚ロボットの変形等を確認することが可能となります。また、この映像から得られた情報を元に、CFD解析を行い、PIV解析の結果と比較することで、魚ロボット周りの流動状態を詳しく調べることが可能となります。

③PIV 法による魚まわりの速度場の計測

PIV 法とはトレーサ粒子と呼ばれる数 μm の粒子を混合した流体中に平面状のレーザ光を照射し、トレーサ粒子で散乱した光を高速度カメラで撮影した映像をもとに流体中の任意の平面上の速度場を測定する手法です。本研究では PIV 法を用いて魚ロボットの尾びれ後方の流動状態を測定しています。

3. 実験結果

ここでは以上の装置を用いて計測したデータについて示します。まず、図 4 は AD ボードで取得した計測結果を示すもので、横軸を時間として上から電流、電圧、推進力となっています。図 5 に高速度カメラを用いて取得した画像を示します。図 6 に魚ロボットの推進力と推進速度、消費電力の計測結果から Type4 のモータ位相差ごとの推進効率を比較したものを示します。図 6 より尾びれの振動周期は 2.0Hz で位相差が 0 度の場合が最も推進効率が良いことがわかりました。しかし、他の尾びれ形状においても概ね同じ結果となったことから、今回試作した魚ロボットにおいては尾びれの形状についてはあまり推進能力に影響しないと考えています。今後は尾びれの素材や厚みを変更し、尾びれのしなやかさ等、他の要素が推進能力に与える影響を調べていく計画となっています。図 7 は高速度カメラで取得した画像と、同じ場面から PIV 法を用いて算出した速度場をもとに渦度を計算した結果です。PIV を用いることで、目視では確認することの出来ない尾びれ後方の流動状態を確認することが出来、そこから魚ロボットの遊泳能力とロボット周りの流動状態の関連を調べることが可能となります。

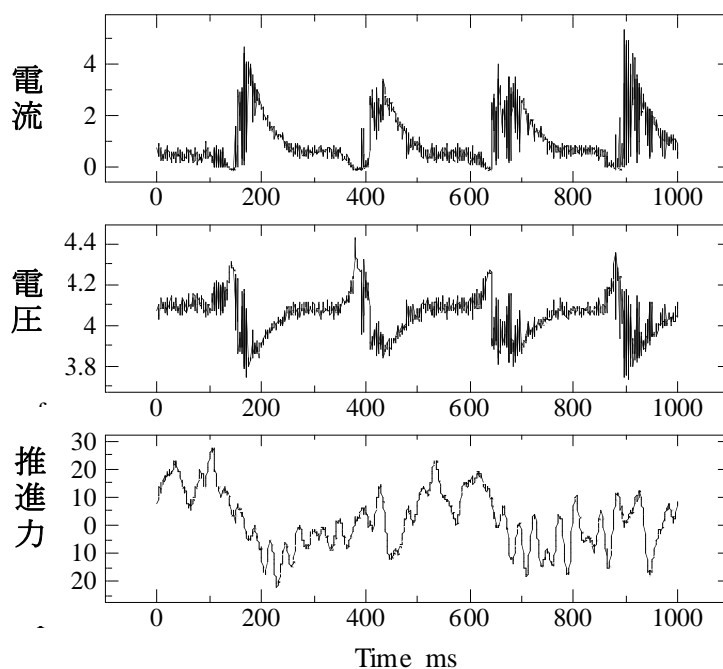


図 4 AD ボードによる計測結果 (1000ms)

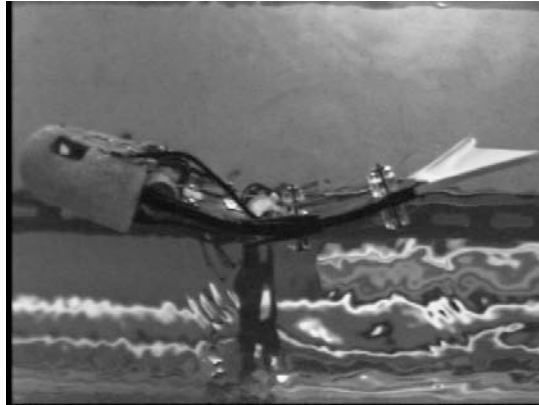


図5 高速度カメラ (200fps) の画像

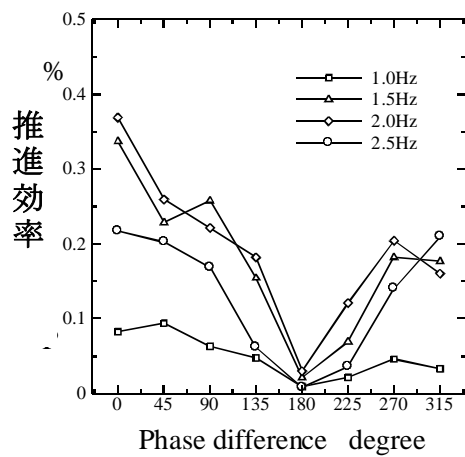


図6 モータ位相差と推進効率の関係

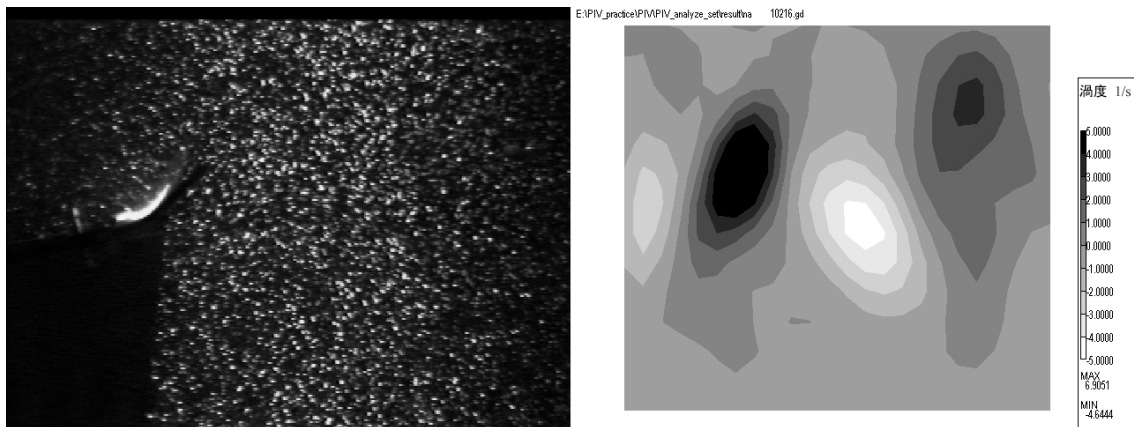


図7 PIV 測定の結果 (左: 元画像 右: 渦度)

最後になりましたが、私が研究室に配属された4年次より、今日に至るまで実験装置の作成、工作方法の相談等、工作技術センターの方々には多大なるご指導とご協力を頂きました。この場を借りて心よりお礼申し上げます。