

# 柔軟かつ屈曲可能な胴体を有する魚型ロボットの開発

## Development of Fish-Type Robot with Flexible and Bendable Torso

研究者 渡部 翔太 指導教員 中西 大輔

Keywords: Fish-Type Robot, Flexible and Bendable Torso

### 1. 緒言

水中・水上の推進システムにはスクリープロペラを用いた推進方法や、魚を模したロボットによる尾びれ推進などがあげられる<sup>1)</sup>。中でも尾びれ推進は周辺環境へ影響を与えず、加速性・旋回性に優れている。こういった点から尾びれ推進を用いた魚型ロボットの開発は生態系調査や災害への支援といった面において注目されている<sup>2)</sup>。これに対して我々は、様々な魚型ロボットを研究・開発してきた。その中で昨年度の研究では、胴体部分を屈曲可能なリンク構造にすることで体をしならせる魚らしい動きの実現にも成功している。また、リンク間のできる隙間によって水をうまくかけていないという問題を解決するために、柔軟な外皮をかぶせたロボット（図）を開発した<sup>3)</sup>。しかし、外皮がリンクにうまく追従せず、遊泳性能が落ちてしまった。そこで本研究では外皮をリンクにうまく追従させ、かつ魚らしい動きを実現できるロボットの開発を目指す。また、外皮ありと外皮なしで遊泳実験を行い、外皮による遊泳性能を検証する。

### 2. リンク追従可能な柔軟外皮装着魚型ロボット

#### 2.1 魚型ロボットの開発

図1に開発した魚型ロボットを、魚型ロボットの構造を図2に示す。魚の泳ぎ方としてアジ型遊泳という代表的な遊泳方法があり、実際の魚に動作を近づけるべく、今回は3Dスキャンされたアジのデータをもとに、元のサイズを2倍したサイズでロボットのボディを作成した。

ロボットは頭部、胴体部、外皮の3つからなり、頭部と胴体部をそれぞれ別の外皮で包む構造になっている。ただし、頭部内部は空気で満たし、胴体部は外皮の内部に水をいれ、浸水させた状態にしている。頭部には制御回路とバッテリーを格納している。頭部内部を空気で満たし防水を行う方法としては、光造形方式の3Dプリンタで制作した頭部の上からシリコン製の外皮をかぶせ、首元を締め付けることによって実現している。また、頭部にワンタッチロック機能を搭載しており、バッテリーやマイコンの取り出しが容易に行える。マイコンはM5stampPicoを搭載しており、マイコンをwifiのアクセスポイントとして機能させることでスマホを用いて遠隔で角度指定等が可能である。胴体部に関して、胴体部の前半分は頭部と一体になっており、その部分に防水仕様（IP67）のサーボモータ（Flash Hobby, M45CHW）を配置している。また、サーボモータには後述する動作のためにプリーを取り付けており、そこに糸を巻き付けている。胴体部の後ろ半分は厚さ0.75mmの弾性樹脂板（ポリプロピレン

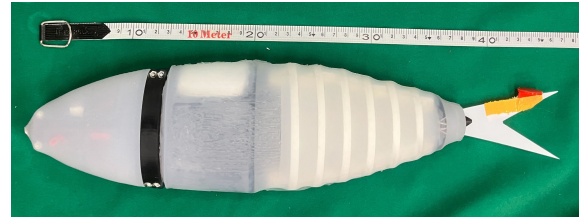


図 1: 作製した魚ロボット

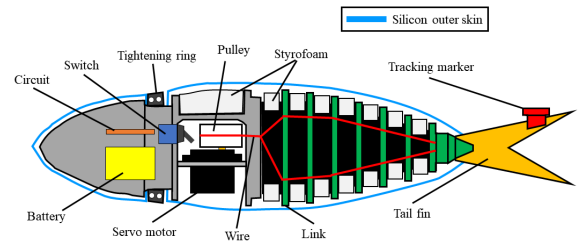


図 2: 魚ロボットの構造

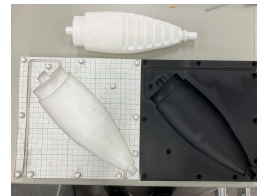


図 3: 型（胴体部）



図 4: 完成した外皮

板）とリンクで構成されており、胴体内部を浸水させるためにリンクには穴を開けている。また、糸を通すために浸水用の穴とは別に2mm程度の穴も開けている。胴体部の一番後ろには厚さ0.3mmのポリスチレン製の尾びれをつけており、遊泳軌道追従のためのトラッキングマーカーを取り付けている。尾びれを固定するリンクにはプリーから伸びる糸の一端が取り付けられている。また、遊泳時に水中姿勢を水平に保つために、頭部、サーボ上部、弾性体などに重り25gと浮きをつけバランス調整を行った。

今回駆動方法として、魚のように緩やかに体を湾曲させることが可能なワイヤ駆動方式を採用している。動作としてはサーボモータに取り付けられたプリーが左右に動き、ワイヤが巻き取られることによって、弾性体に取り付けられたリンクが引っ張られ、弾性体をたわませる。それによって体をしならせ、水をかくことで遊泳する。

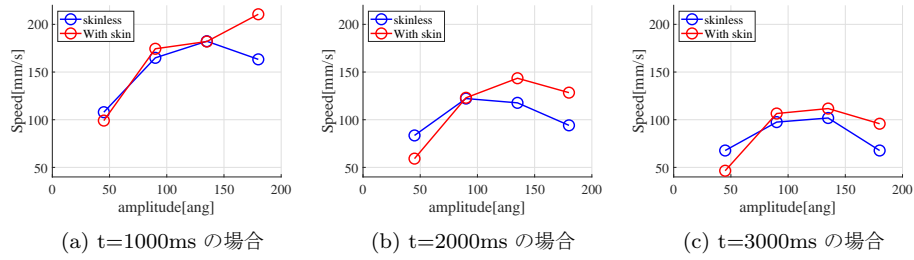


図 5: 周期一定時の速度変化

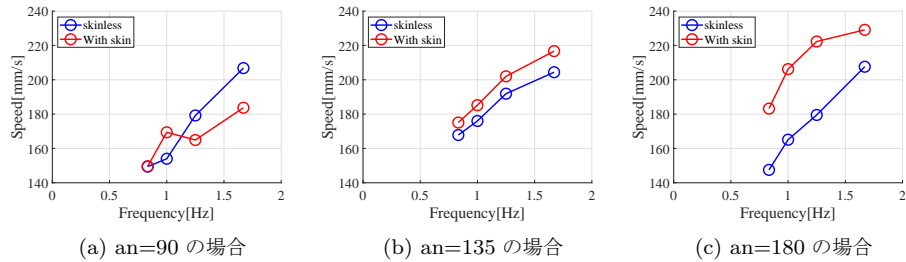


図 6: 振幅一定時の速度変化

## 2.2 柔軟外皮の作製

今回、外皮を作製するため鋳造のように型にシリコンを流し入れることによって外皮の作成を行った。図 3 に外皮作製に用いた型と中子を示す。中子とは鋳造において中空部を作るために使われているもので、型の間にはめ込んで使用する。型と中子はロボットと同じようにスキャンデータからモデルを作成した。今回は胴体部と頭部の皮をそれぞれ作成した。胴体部の皮についてはリンクの動きに追従させるために、リンクがはまるような溝を外皮内部に作製することにした。また、外皮を曲げた時にできるしわを改善するために設計したロボットの胴体モデルを 90 パーセント縮小させて外皮を設計し、装着した時にしっかり皮が張った状態になるようにした。

皮の作成手順は次のとおりである。まず型と中子に離型剤（GSI クレオス 多目的離型剤）を塗布する。この工程を挟まないと、大きめのモデルを作成するときにシリコンが型に張り付いてしまい、取り出すときに困難になる。次に型と中子をはめ合わせ、クランプでしっかり挟み込んで固定する。この隙間に工作用紙を挟み込み、シリコンが漏れ出すのを防ぐ。次にシリコン液（ECOFLEX30）を用意し、真空ポンプを用いて真空脱泡を行う。この工程を行うことでシリコンに穴が開かないようにする。最後にシリンジを用いてシリコン液を型に流し込み、4 時間以上放置することでシリコンが固まり、外皮が完成する。

## 3. 遊泳実験

### 3.1 実験条件

今回、外皮による遊泳性能の検証を行うためにロボットに外皮を装着した状態と未装着の状態とで直進遊泳実験を行い、速度を比較することにした。実験は 2 つ行い、1 つ目は弾性体を振る周期  $t$  が一定の状態ではびれ振幅

$an$  を変化させたときの速度の変化について、2 つ目は尾びれ振幅  $an$  一定の状態ではびれ周期  $t$  を変化させたときの速度の変化について実験を行うことにした。1 つ目の実験は周期  $t$  を 1000ms～3000ms で 1000ms ごとに設定し、それぞれの周期ではびれ振幅  $an$  を 45～180 度まで 45 度ずつ変化させて合計 12 個のパラメータについて皮装着時、未装着時それぞれについて実験を行った。2 つ目の実験は尾びれ振幅  $an$  を 90～180 度まで 45 度ごとに設定し、それぞれの振幅ではびれ周期  $t$  を 600～1200ms まで 200ms ずつ変化させて合計 12 個のパラメータについて皮装着時、未装着時それぞれについて実験を行った。

### 3.2 実験結果

図 5、図 6 に実験結果を示す。今回、直進遊泳をさせたかったが左方向に進路が傾いたり、右方向に進路が傾くことがあった。実験結果から皮あり、皮なし両方に共通して周期が短く、振幅が大きいと遊泳速度が向上するということが分かった。また、ほぼすべての実験において皮を装着した状態の魚ロボットの方が未装着時よりも速度が速くなっていることもわかる。また、皮あり皮なしで実験結果に大きく差が出るのは  $an=180$  で  $t$  を 600ms 1200ms に変化させたときだった。

## 4. 考察

まず、直進遊泳を行えなかった原因として、糸にかかるテンションに少し偏りがあったと考える。本来であれば左右の糸を同じ強さで引っ張る必要があるが、引っ張る力を測定して糸を張っていたわけではないので少なからず偏りがあったと考える。

## 5. まとめと今後の予定

本稿では昨年度開発されたロボットを参考に試作機を作成した。今後は防水対策を施した試作機を用いて遊泳実験を行う。そして柔軟な外皮をロボットにかぶせ、完全防水可能かつ、遊泳性能を向上させた魚型ロボットの開発を目指す。さらに最終的には柔軟な外皮によって生まれるしわを無くすために外皮表面に鱗を付け、さらなる遊泳性能の向上を目指す。

### 参考文献

- 
- 1) 平田宏一, 春海一佳, 瀧本忠教, 田村兼吉, 牧野雅彦, 児玉良明, 富田宏. 魚ロボットに関する基礎的研究. 海上技術安全研究所報告, Vol. 2, No. 3, pp. 281-307, 2003.
  - 2) 高田洋吾, 中西志允, 荒木良介, 脇坂知行. Piv 測定と 3 次元数値解析による小型魚ロボット周りの水の流動状態と推進能力の検討 (機械力学, 計測, 自動制御). 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 76, No. 763, pp. 665-672, 2010.
  - 3) 中西大輔, 石原康平, 柔軟外皮を有する飛び移り座屈駆動式魚型ロボットの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024, 2P2-B10, 2024.