

## 水中ロボコン in JAMSTEC' 19～海と日本プロジェクト

### ■ フリー部門 作品一覧

学校名 チーム名	ロボット名 (全長、空中重量)	備考	page
慶應義塾湘南藤沢高等部 SFC 電工	<b>OYG-YKT_3</b> (0.5 m, 7.5 kg)	OyYoGu-YuKiTi-sensei。池の生態系を調査する池の水深が1m程度と浅く、水草などに絡まないよう高さが小さく、平べったい形状とした。	4
東京工業大学附属科学技術高等学校 東工大附属 13期機械科水中ロボット製作チーム	<b>ドレパナ 初号機</b> (0.905 m, 2.6 kg)	古生物ドレパナスピス型 AUV。機体制御に Arduino を使用。浮心移動でグライダーのように滑空し、尾ヒレで浮上、GPS で出発地点に戻る。	5
信州大学 小林研究室	<b>Moonswim III</b> (0.9 m, 4.5 kg)	体全体をくねらせて泳ぐウナギに着目。横方向の移動が難しいので、ゴカイのいぼ足に相当するフィンを取り付けて全方向に泳げる。	6
東京工業大学 アクア研 18	<b>水鉄砲太郎</b> (0.3 m, 1.5kg)	2台のカメラによる立体視で消火対象を認識し、水鉄砲(強め)で消火する水上船。超音波を用いたフェイズドアレイソナーにも挑戦したが断念。	7
東京工業大学 ロボット技術研究会 アクア研 Gen 班	<b>gen4</b> (0.8 m, 7 kg)	DC モータとスラストの間にマグネットカップリングを採用。モータ軸とスクリュー軸が直交する2重反転スクリュー、ピストンバラスト、水圧駆動のロボットハンド、子機も製作中。	8
慶應義塾大学 宇宙科学総合研究会 LYNCS	<b>銀次郎</b> (1.1 m, 18 kg)	地球外天体の海を調査する探査機を模した AUV。レーザーポインタで測距し、スラストを自律制御してプール底までの距離を維持できる。	9
東京都立産業技術高等専門学校 YLab@TMCIT	<b>スティングレー</b> (0.40 m, 9 kg)	簡単な改造により多種多様なことができる汎用型潜水ロボット。DIN レールにより部品の取り換え時の重心位置の変化にも対応できる。	10
北海道函館水産高等学校 チーム函水	<b>HSK-19</b> (0.3 m, 2 kg)	アルミ製セミモノコック構造を採用したホバリング型有線 ROV。4K カメラを搭載。スラストに灯油ポンプ用モータ、浮力体に食品タッパーを使用。	11
徳山大学 徳大制御研	<b>DTRU: Diving Tilt Rotor UAV</b> (0.8 m, 5.45 kg)	ダムの壁面調査用。4 発ティルトロータ型マルチコプタに潜水能力を付加。72MHzのラジコン電波を使用。プロペラを逆転させて潜水する。	12

小山工業高等専門学校 小山高専水中ロボット製作 チーム 2019	マリンダヴィン チコプター (0.262 m、3.6 kg)	ソフトクリーム型水中飛行体。ヘリコプターのプロペラ部分にはダヴィンチが考案した「空圧ネジ」を再現し、水中で飛行能力を検証する。	13
--	--------------------------------------	---	----

### ■ AI チャレンジ部門

所属	チーム名	備考	page
社会人一年生	サラダボウル	Mark3 を使用	15
神奈川県立横須賀高等学校	県立横須賀高校 73 期		
木更津工業高等専門学校	数の子ライダー	Mark3 を使用	16
福井工業大学	水中ロボット研究会		
株式会社富士通ビー・エス・シー	BSC ドローン LAB	Mark3 を使用	17
東京工業大学	東工大ロボット技術研究会 アクア研	Mark3 を使用	18
豊橋技術科学大学	豊橋技科大コンピュータクラブ	自作機体	19

### ■ ジュニア部門 参加チーム一覧

学校名	チーム名	備考
岡山商科大学附属高等学校	工業技術同好会	新規
熊本県立水俣高等学校	水俣ウォーターボーイズ	既存キットを改造
早稲田大学系属早稲田実業学校中等部	科学部水中ロボット班	新規
大磯町立大磯中学校	大磯町立大磯中学校科学部	新規
長崎総合科学大学附属高等学校	NiAScience	新規
愛知県立三谷水産高等学校	海洋工学部	新規
和歌山県立海南高等学校	海南高校	新規
東京都立産業技術高等専門学校	MOSEY	既存キットを改造
品川区立大崎中学校	大崎中学校	新規
東京工業大学附属科学技術高等学校	ぴよぴよソウル	新規
芝浦工業大学附属高等学校	DGK@しんかい 4.8	既存キットを改造
平塚市立中原中学校	ナカツパ	既存キットを改造

### ■ 体験操縦・水中撮影協力

所属・チーム名	ロボット名	
O.R.E.	VideoRay Pro, BlueROV	展示と体験操縦用
アクアモデラーズミーティング	C-DOCK, ENB-06 ほか	水中撮影用。

一般競技部門  
フリー部門

# OYG-YKT\_3 (OYoGu-YuKiTi-sensei)

慶應義塾湘南藤沢高等部 電子工学研究会  
立川寛大 加藤陽樹 武藤健吾 福永航汰 村上遥空

## 概要

このロボットは湖や池などで生物が集中する浅い部分の生態系を調査するために、私たちが6年前から制作しているものです。今回制作したロボットは3機目で制御方法のほか、センサー類を新たに搭載するなど各所でアップデートされています。

## コンセプト

### ①小回りの利く形状

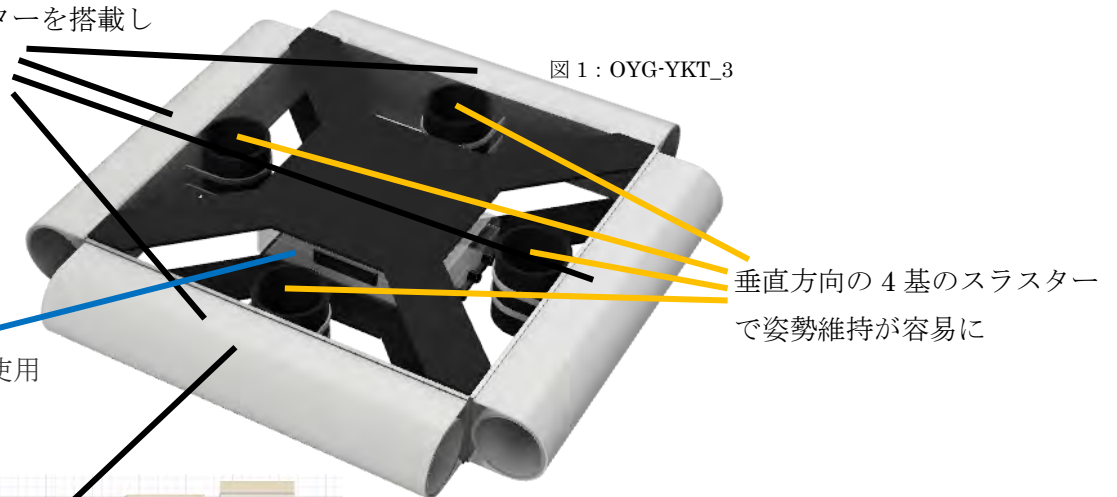
水平方向に4基、垂直方向に4基、計8基のスラスターユニットを搭載し、全方向への水平移動など小回りの利く移動が可能になっています。このロボットの特徴である扁平な形状は浅瀬に乗り上げにくくなるだけでなく、スラスターの推進力のモーメントを増大させ、姿勢維持をしやすいという利点があります。

### ②低コスト

このロボットは塩ビパイプやアクリル板、灯油ポンプといった、ホームセンターなどでだれでも低コストに買えるもので作られています。

水平方向に4基のスラスターを搭載し  
自由度の高い移動が可能

図1: OYG-YKT\_3



垂直方向の4基のスラスター  
で姿勢維持が容易に

制御にArduino+TB6612を使用

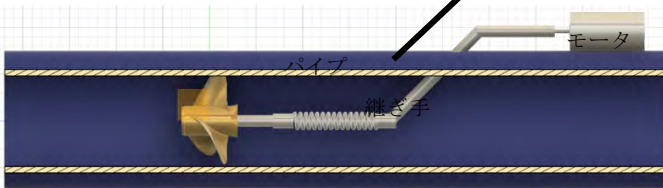


図2: スラスターユニット

スラスターユニット内に直接モーターを配置せず  
継ぎ手を使用してモーターを外に配置することで  
推進効率の低下を防止

# 古生物をモデルにした水中ロボットの製作と評価<sup>1</sup>

荒田爽楓<sup>2</sup> 石川采燈<sup>3</sup> 石崎諒<sup>4</sup> 伊藤暁紀<sup>5</sup> 東京工業大学附属科学技術高等学校3年

## 1.はじめに

近年生物の形をモデルとした工学的製品の開発が行われているが、普及を目的とした古生物をモデルにしたロボットの開発など古生物学の研究成果の工学的な応用への検証がなされつつある。本研究では古生物のロボットを工学的な応用を検討するためにドレパナスピスをモデルとしたロボットの開発を行った。

## 2.目的

古生物をモデルにした水中ロボットの製作およびその評価を行う。

ドレパナスピス  
*Drepanaspis*  
無顎綱異甲目  
デボン紀



図1 *Drepanaspis* sp.  
国立科学博物館展示標本

## ドレパナスピスの特徴

- ・底生生物であると考えられている (Frickhinger, 1995)
- ・縦扁形を呈しており、カサザメ *Squatina* と生活様式が類似する (Turner, 1992)
- 海底においても安定した形態
- ・対鰭がなく形態が単純
- 複雑な構造を考慮せずとも開発しやすい

- ・海洋観察に適した古生物をモデルにした工学製品の開発

## 期待される効果

- ・古生物を工学的な応用への可能性
- ・古生物の動きの仕組みの検証
- ・博物館などにおける動く古生物展示

## 3.設計と制御の方法



図2 *Drepanaspis* sp.  
城西大化石ギャラリー展示標本

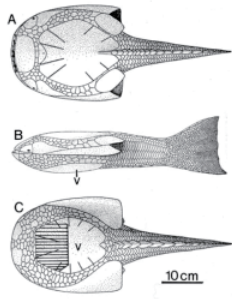


図3 *Drepanaspis* sp. の復元図 (Delsate, 2004)

### 3-1 設計

ドレパナスピスの実物化石標本の観察 (図1, 2) および, Delsate (2004) などのドレパナスピスの復元図 (図3)、およびその他の“甲冑魚”の復元図を参考に外形の設計を行った (図4)。ロボットの材質はPP板とブラボード (スチロール樹脂板) で胴体部にサーボモーター、電池、マイコン、浮力体を搭載した (図5)。

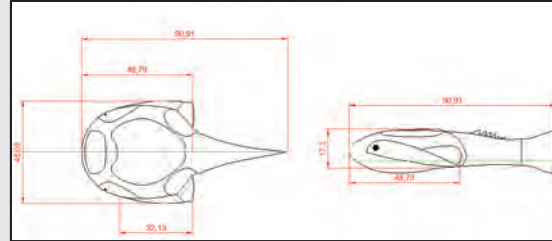


図4 水中ロボットの設計図

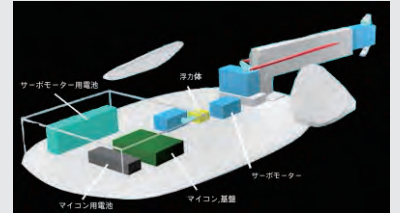


図5 水中ロボットの機構

### 3-2 制御の方法

機体の制御には、マイクロコンピュータの一種であるArduinoとサーボモーターを用いる。

#### ① 潜水時

胸鰭の角度を制御し、水中グライダーのように滑空する。

#### ② 潜水してデータを取得

水中の温度を観測するセンサーをロボットに搭載することで海洋環境のデータとして海水の温度を測定する。

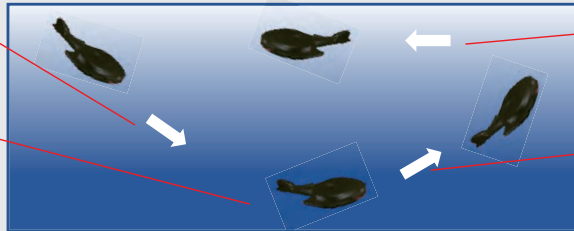


図6 水中ロボットの動きの流れ

#### ④ 出発地点に戻る

搭載したGPSを用いる。

#### ③ 浮上

内部の浮力材の位置を変えることで機体の浮心の位置を頭部に近づけ浮上する。同時に尾鰭を稼働させる。

## 4. 事前実験の内容と結果

### 4-1 実験内容

機体の滑空比や尾びれ・胸鰭の形状を変化させる準備段階として、製作した機体 (図7) をプールで泳がせて、機体の重心、浮心の位置や対称性、防水性、浮心移動機構が使用可能であるか実験を行った (図8)。



図7 製作した機体



図8 実験の様子

### 4-2 実験の結果と現在の問題点

・結果:

実験番号	深水距離	推進距離	滑空比
1	130	173.7	1:1.338
2	130	296.6	1:2.285
3	130	173.7	1:1.338
平均	130	214.7	1:1.651

・問題点

- ①サーボモーターのトルクが足りず、速度が遅いため、機体の軽量化や胸鰭や尾鰭の形状を変えて実験を行い、より良い機体していきたい。
- ②メンテナンス性が悪く、各種パーツの不良が起きているため、改善していきたい。

## 6. 謝辞

本課題研究を遂行するに際し、宮田真也博士 (城西大)、近藤敏康氏 (AFK研究所)、岩城純教諭 (東工大附属高校) には、終始熱心なご指導を頂いた。以上の方々から感謝申し上げます。

## 5. 考察とまとめ

本研究ではドレパナスピスをモデルにした水中ロボットの開発を行っている。水中ロボットは主に海洋観察に用いられている。現在開発途中であるが、この水中ロボットは、プロペラを用いず、静穏性に長けるだけでなく、プロペラによる他の生物の負傷を避けることができるため、従来のプロペラ搭載の水中ロボットと比較して海洋観察に適したロボット開発に応用できる可能性がある。今後は本研究ベースを元に耐塩水機能を搭載しつつ、実観測に耐えられるか検証する必要がある。

1 Making and evaluation of a robot in the water where model the ancient creature.

2 Sayaka Arata, 3 Ayato Ishikawa, 4 Ryo Ishizaki, 5 Akinori Ito (Tokyo Tech High School of Science and Technology).

# バイオインスパイアードアクアロボット Moonswim III



信州大学 小林研究室  
 小林俊一(教員), 小林千知(大学院1年), 勝原章吾(学部4年)

## 開発背景

### スクリュプロペラの問題点

- 水中の生物に対する危険性
- 激しい攪拌による汚泥の巻き上げ
- 水質汚染の促進

スクリュプロペラの欠点を補う  
 新たな推進機構

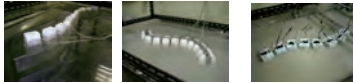
### 生物の泳ぎを規範とした推進



多リンク水中推進機構の開発

### 多リンク水中推進機構

- さまざまな運動パターンでの周期的運動が可能
- 多リンク系の構造であることからマニピュレータに応用可能
- 高粘性流体における推進が可能
- 蛇行運動のため水陸両用の移動機構にも発展可能

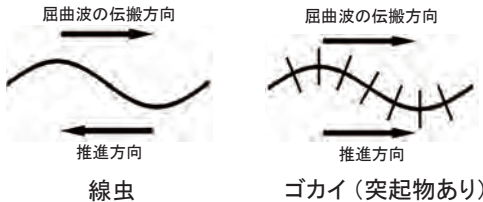


### 問題点

- 機動性が低い
- 方向転換が困難

### 線虫とゴカイの推進

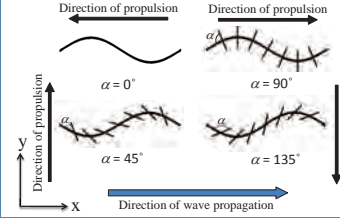
ゴカイの泳ぎにインスパイアードされた水中ロボット Moonswim 開発のきっかけ



線虫  
 $C_T < C_N$   
 ゴカイ  
 $C_T > C_N$   
 $C_T$ : 接線方向抵抗係数  
 $C_N$ : 法線方向抵抗係数

## Moomswimのコンセプト・特長

突起物の角度による推進方向の変化

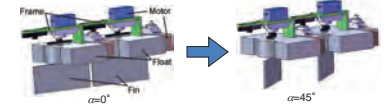


(突起物の角度の変化により),  
**前進遊泳するような屈曲運動を変更せずに, どんな方向にも遊泳可能!**

(参考) Moonwalk: 前に歩いているように見せながら後ろに滑る

目的  
 多リンク水中推進機構によるロボットの機動性の向上, 方向転換の改善

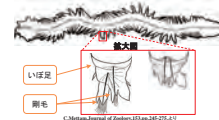
## Moomswim I



水中にあるフィンの角度を変更して全方向に遊泳可能!

## Moomswim II

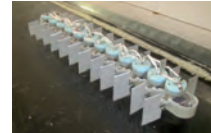
実際にゴカイの遊泳を観察・解析



ゴカイのいぼ足は能動的に運動

- 屈曲のくねりが山になる部分で水を速く強く動作(パワーストローク)
- 屈曲のくねりが谷になる部分で位置をゆっくりと戻す動作(リカバリーストローク)

ゴカイのいぼ足に相当するフィンを用意, Moonswim I の動作に加えてフィンの能動的な動作も可能に!



ユニット数	12
全長 (mm)	900
1リンク長 (mm)	100
マイコン数 (PIC16F648A)	13
モータ数 (屈曲用: JR PROPO DSR8901, フィン駆動用: HI TEC HS-5085MG)	13, 24
フィン幅 w (mm)	30~90
フィン高さ (mm)	166
重量 (kg)	約 4.5

推進速度の増加  
 フィンのパワーストロークによる推進が支配的

## Moonswim III

### 開発目的

Moonswim II の「防水性」「メンテナンス性・信頼性」を向上させ, トラブルの多かったMoonswim II で検討出来なかった推進特性(屈曲波形・フィンの形状と剛性・フィンの運動に対する影響), 流れの可視化, 水深の制御などに取り組む。

### 構成



現在は6ユニット分が完成

ユニット数	6
全長 (mm)	800
1リンク長 (mm)	90
モータ数	15
フィン幅 (mm)	63
フィン高さ (mm)	70
重量 (kg)	3.6

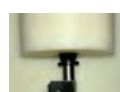
陸上 水中

「防水性」

ユニット間: 柔軟なウレタンゲルのチューブを使用  
 「メンテナンス性・信頼性」



ユニットの蓋はゴムパッキン使用



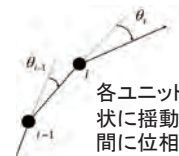
オイルシールの使用

### 屈曲とフィンの動作

屈曲波形: サーペノイド曲線

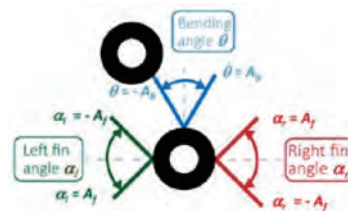
$$q_i = A \sin(\omega t + \phi_i)$$

$\theta_i$ : 偏角  $A$ : 振幅  $\omega$ : 角周波数  $t$ : 時間  $\phi_i$ : 位相差

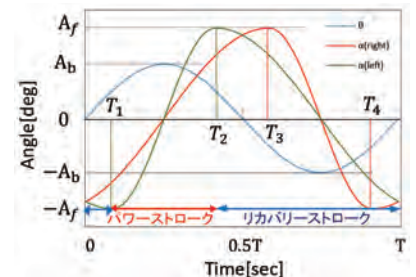


各ユニットは正弦波状に揺動, ユニット間に位相差を設ける

屈曲とフィンの動きの関係



屈曲角  $\theta$  とフィン角度  $\alpha$



ユニット運動1周期における屈曲角  $\theta$  とフィン角度  $\alpha$

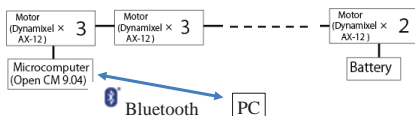
フィンはゴカイのイボ足と同様に運動, パワーストロークとリカバリーストロークの速度比は2:1

### 今後の課題

6ユニット増設, 推進特性の詳細な検討, 流れの可視化, 水深制御の確立(浮力・フィンの揚力), PC-モータ間の通信

スマートアクチュエータ(DYNAMIXEL AX-12)使用  
 モータ・減速機・コントローラ・ドライバ・ネットワークを一体化  
 シリアル接続・モータ情報のモニタリング可能

プログラム開発環境  
 open CM IED (C言語)



# 東工大: アクア研18 水鉄砲太郎

早田尊  
村山修太  
平光顯思郎



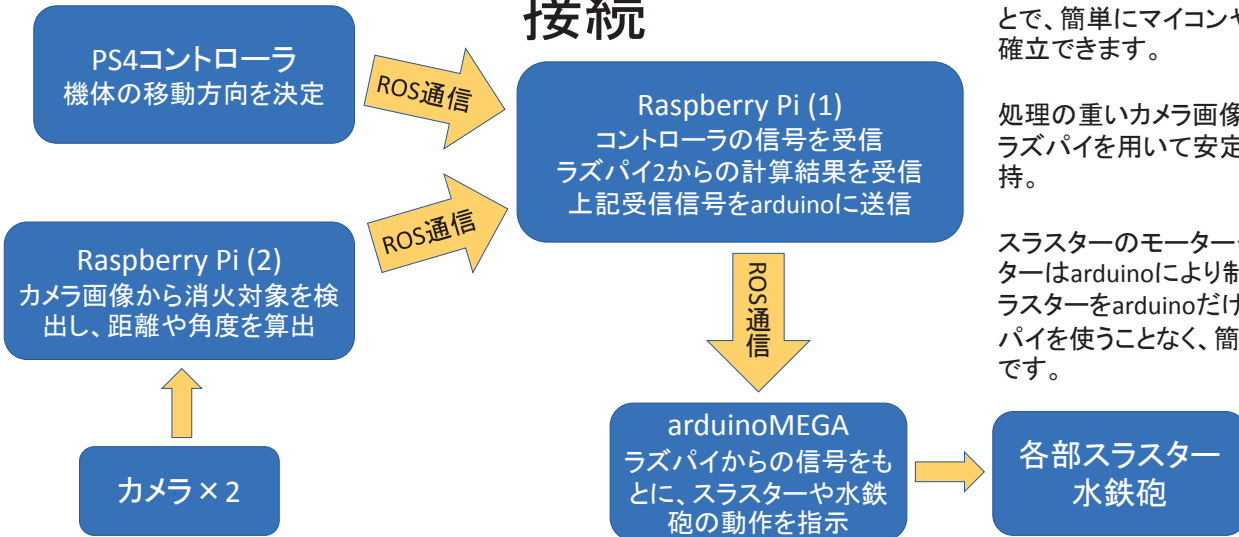
消火作業イメージ

## コンセプト

「なんか派手で面白いもの作ろう！水鉄砲良くない？」という安直な考えから水鉄砲主体の企画になりました。水鉄砲を活かすにはどうすれば良いかを考え、「せっかくだから水中(水上?)ロボコンがあるから船にしよう」「船なら砲台から撃とう」ということで水鉄砲搭載水上船になりました。

当初は水かけ対象検出のために、多数の超音波センサによるフェイズドアレイセンサーを製作予定だったのですが、無理っぽいと思い、急遽カメラ画像処理に変更しました。

## 接続



ROSの豊富なライブラリや統一規格を用いることで、簡単にマイコンやコントローラ間の通信を確立できます。

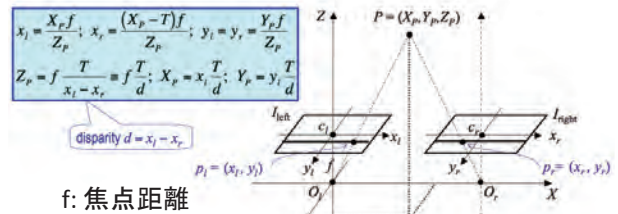
処理の重いカメラ画像処理は画像処理専用のラズパイを用いて安定したパフォーマンスを維持。

スラスターのモーターや水鉄砲のサーボモーターはarduinoにより制御。簡単に記述でき、スラスターをarduinoだけで動かば、わざわざラズパイを使うことなく、簡単に異常チェックが可能です。

## 消火対象検出

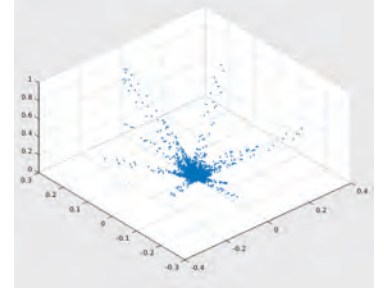
消火対象の検出は2台のカメラによる立体視で対象への距離、方角を算出します。

実行環境である水上はほとんど一様で変化のない場所であるため、何もない場合はほぼ一面水色の画像が得られます。これはRGBカラーモデルでは青色成分のBがとくに大きい値を示します。ここに赤色の物体(燃えた船)があるとき、カメラ画像の中でこの船の点だけRGBカラーモデルは赤色成分のRがとくに大きい値を示します。これを「青色っぽい」領域と「赤色っぽい」領域の2つに分け、赤色の領域を消火対象として認識します。これを左右2つのカメラで撮影し、左右での赤色の物体の画像の位置のズレを計算することで対象までの距離と方角を計算します。

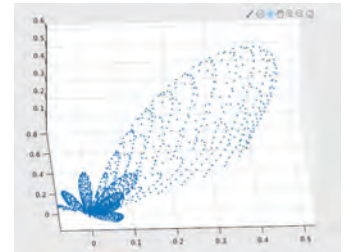


f: 焦点距離

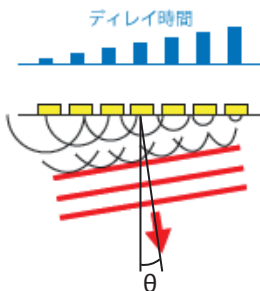
空气中: ウニのようにビームが拡散している



水中: 強いビームはほぼ1方向に集中している



## フェイズドアレイセンサーのビミョーな結果？



超音波センサを多数並べそれぞれの超音波の発振タイミング(位相)を極微妙にずらすことで、合成された超音波が正面だけでなく、斜め方向にも進めます。これを利用してわざわざサーボでセンサを振り向けなくても任意の角度θに超音波ビームを発振するのがフェイズドアレイセンサーです。

しかし整った合成波を作るにはセンサ素子同士を波長の半分以下に近接させる必要があります。素子同士が離れていると、あらぬ方向にまで強い合成波が複数作られてしまい、正しい反射波がどれかわからなくなります。

安価で防水性能のある、aitendoの防水超音波センサー [TR40-16B] を7個x7個の正方形アレイにした場合をモデリングしたところ、空気中での波長はmm、水中での波長はmmとなり、波長の短い空気中ではアレイ間隔が波長に対して大きすぎ、合成波が狙った1方向に収束しませんでした。一方水中では波長に対しアレイ間隔が小さくでき、実現の可能性があります。

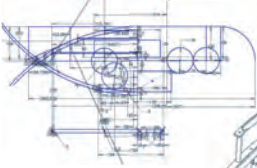
今回、水鉄砲は空気中で使うことを想定していたため、フェイズドアレイはお蔵入りとなりました。



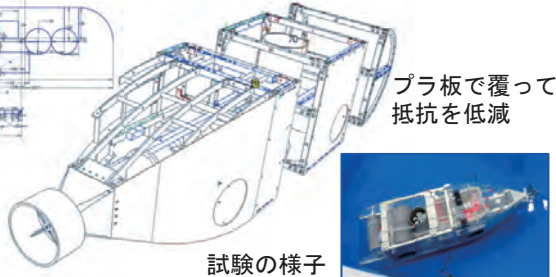
## gen4

### 特徴

分解式：整備性の向上  
 仕様変更に対応可

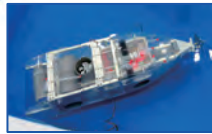


基本設計



プラ板で覆って  
 抵抗を低減

試験の様子



### 個別技術紹介

・マグネットカップリング 隔壁内外を完全に遮断  
 摺動部分がないので水がモーターケース内に入らない。  
 メンテナンスフリーで使える。

スラストタイプ



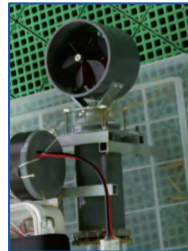
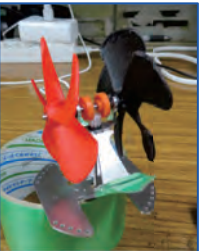
ラジアルタイプ



軸負荷  
 低減

・2重反転スクリュー

モータ軸とスクリュー軸を直交  
 スクリュー出力をモーターが邪魔しない  
 スクリュー回転によるトルクを打ち消す



・モーターケース用  
 防水フランジ

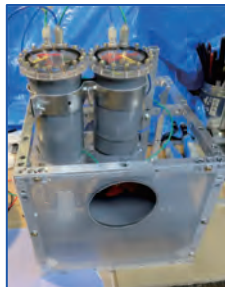


↓右側モータは  
 垂直スラスタ  
 左側モータは  
 水平スラスタ  
 につながっている

防水コネクタ  
 付きケーブル



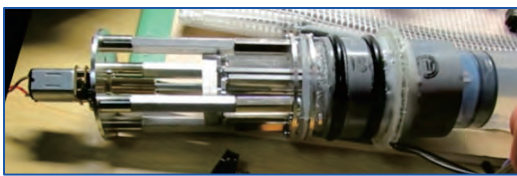
モーターを3つ並べて  
 コンパクトに収めた



緊急停止用  
 防水スイッチ



ピストンバラスト  
 容量60mL



・水圧駆動のロボットハンド、機体前面の展開機構も製作中

### 子機

#### コンセプト:

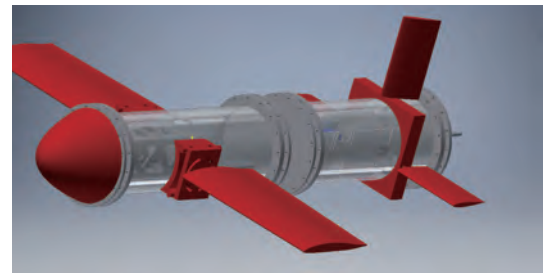
翼の設計をしたいので翼を持った  
 気体を作りたい

ただし、推進は機体後方のプロペラ  
 で行う。

#### 特徴:

尾翼をサーボモータで動かすこと  
 で操縦を行う。

主翼の迎え角は調節可能  
 なお主翼、尾翼の翼型はXFLRで解析し、  
 その後機体全体をCFDで解析した



### ・有線通信技術

#### コンセプト:

ノイズの中でも安定した中距離の通信が行いたい

#### 通信形式:

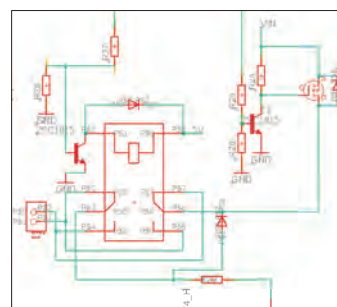
Controller Area Network (CAN)

#### 特徴

- 1Mbpsの高速通信でもバス最大長40m
- 2本配線だけでも動作可能
- 5V電源使用のためマイコン周辺回路への増設が容易
- マスタ-スレイブ関係なく複数ノード間での通信が可能  
 ためモジュール化が容易
- 自動車制御システムでよく用いられる

### ・モータードライバ回路

密閉容器内におけるモータードライバの発熱が熱暴走の  
 原因になるケースが多いという話を聞いたため、リレーを  
 組み込んだ回路を採用した。



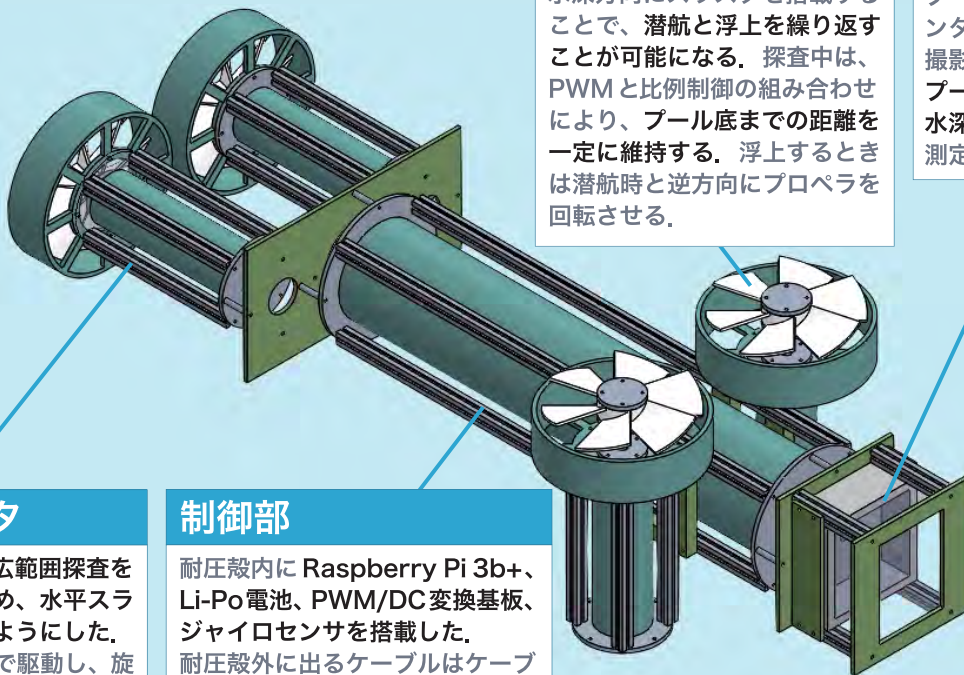


概要

銀次郎は、地球外天体の海を調査する探査機を目指した自律型水中ロボットである。

1. 地上局と交信できない状況でも探査を続行できるよう、自律制御で動く
2. 広範囲探査のために自力で水中を移動できる
3. 調査実施後、測定結果を地上局に送信するため潜航と浮上を繰り返し行うことができる

銀次郎全体図



水深スラスト

水深方向にスラストを搭載することで、潜航と浮上を繰り返すことが可能になる。探査中は、PWMと比例制御の組み合わせにより、プール底までの距離を一定に維持する。浮上するときは潜航時と逆方向にプロペラを回転させる。

測距モジュール

プール底にマーカをレーザーポイントで投影し、カメラでそれを撮影する。マーカの大きさからプール底までの距離を算出し、水深スラストの制御に使用する。測定原理の詳細は図3に示す。

水平スラスト

定点観測ではなく広範囲探査を目的としているため、水平スラストで移動できるようにした。PWMとPID制御で駆動し、旋回するときは左右の出力差を利用する。回転軸はオイルシールで、それ以外の箇所はオリングで防水している。

制御部

耐压殻内に Raspberry Pi 3b+、Li-Po電池、PWM/DC変換基板、ジャイロセンサを搭載した。耐压殻外に出るケーブルはケーブルグランドで防水した。自律制御で探査し、地上局と交信するのは浮上して観測したデータを送信するときのみ。

図1 銀次郎の全体図。  
全長：1.1 m  
質量：18 kg  
機体は主に塩ビ管・アルミ合金・PLA樹脂（3Dプリンタ）で作製した。アルミ合金の部品は大学の施設を利用し、自分で加工した。

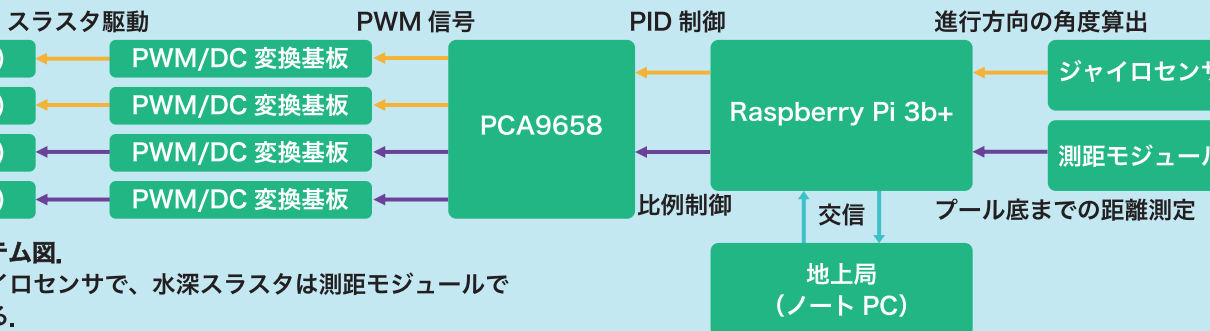


図2 銀次郎のシステム図。  
水平スラストはジャイロセンサで、水深スラストは測距モジュールで補正しながら探査する。

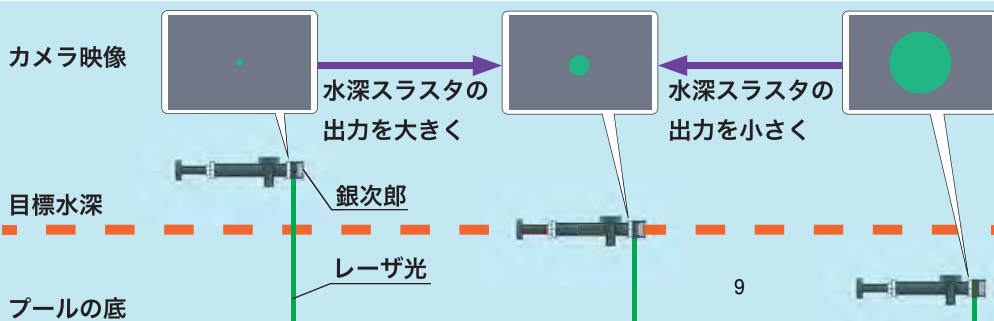


図3 測定モジュールの測定原理。  
プール底に投影したマーカをカメラで撮影すると、マーカが画面を占める割合はプール底までの距離と比例する。これを利用し、撮影した映像を元にマーカサイズが一定になるよう水深スラストを比例制御する。目標水深では水深スラストの出力をそのまま維持するようにする。

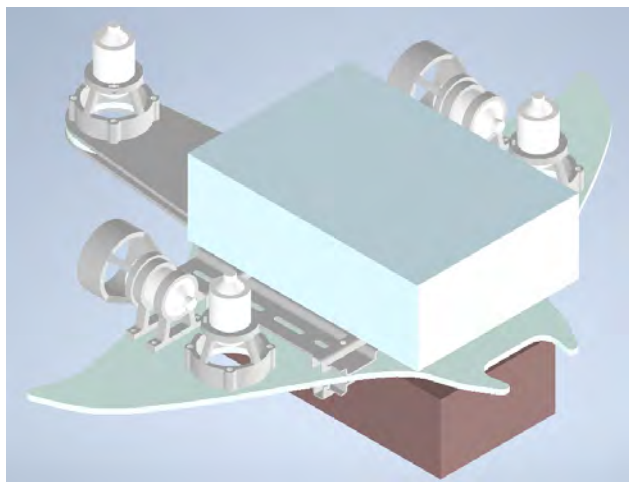
# 汎用型水中ロボット スティングレー

YLab@TMCIT

鈴木 智士  
上道 修治  
出口 晶啓  
村越 一哉  
横溝 匡

## このロボットの ココがすごい！

- ◎ “何でもできる” がコンセプト！  
部品を取り換えるだけで、荷物の運搬や水中作業など、様々なことができます。
- ◎ ロボット目線の映像を誰でも見られる！  
スマートフォンを使って、ロボットから送られてくる映像を誰でも見られます。
- ◎ 分解、組み立てが簡単にできる！  
各部品は取り外しが比較的容易に可能で、持ち運びも簡単です。



## ロボットの諸元等

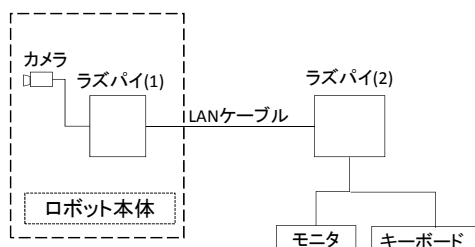
全長	400	mm
全幅	500	mm
高さ	200	mm
可能な動作	前後の推進 浮上、潜水 ピッチ、ロール、 ヨーの微調整	

部品を換える都合上、重心位置が変化します。そのため、DINレールを用いて重心の変化にも対応できるように設計しました。各部品は、値段と入手のし易さを考えて選定しました。モータを5個用いており、基本的な姿勢制御が可能です。

## ロボットの活用方法

- ◎ 汎用型のため部品を交換して…  
例 海洋ごみの回収 / 海の生物の観察
- ◎ 海をもっと身近に！  
海に入れなくても、リアルタイム映像で手軽に海を楽しめます。

## 映像配信システム



ロボット内のラズパイ1は、LANケーブルにより地上のラズパイ2と接続され、SSHにより遠隔操作が行われます。

カメラ映像はラズパイ1によりWebサイトへ掲載します。そしてその映像が、ラズパイ2をWifiアクセスポイントとして配信されます。観覧の皆さんは、お手持ちのスマホ上でその映像を見ることができます。

## 今後の課題

- ◎ 今回の製作を通して水中ロボットのノウハウを蓄積し、来年に向け改善を行いたい。
- ◎ 追加部品により、“魚のエサやり”等の機構を実現し、魚の食事風景を観察できるような機能を実現してみたい。



# 水空両用マルチコプタDTRU

三輪 昌史 瀧川雄登(徳島大)

## 1. 水中マルチコプタの開発について

日本には2000箇所以上にもおよぶダムが存在する。そのダムの中でも50年以上前に作られたダムが半数以上にもおよぶ。老朽化によってダムには亀裂が発生しており、壁面調査が行われている。その調査は壁面の流入・流出の両面で行われており、高所や水中での作業が行われており、作業効率が悪い。

そこで飛行によって壁面調査を行っているマルチコプタを水中運用も可能なように改良することによって作業の効率化・作業費の削減等を目指す。



## 2. 実験機体

DTRU(Diving Tilt Rotor UAV)

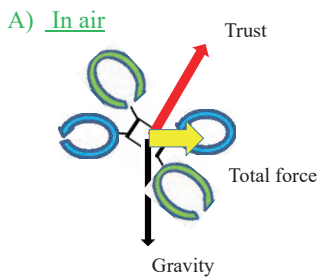
- 中央の防水パックにより電子機器類を防水する。
- 瞬間的に回転方向の切り替えが可能なモータ・ESCを搭載
- 水中機動時はTilt機構の推力偏向により、機体姿勢を維持して移動
- 72MHz帯のラジコン電波を使用



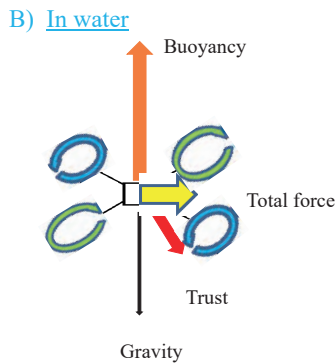
Specification

Weight (not include battery)	3.78[kg]
Weight (include battery)	4.76[kg]
Size	804 × 804 × 400[mm]
Buoyancy	5.45[kg]

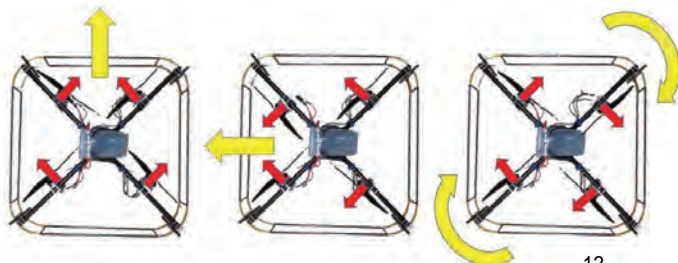
## 3. 水中移動原理



重力（下向き）  
 推力（上向き）  
 発生推力の差動を用いて機体を傾斜した際の  
 水平方向成分で移動



合力（（=重力+浮力）上向き）  
 推力（下向き）  
 Tilt機構により推力を偏向偏向することで機体  
 姿勢を水平に保ったまま移動



← : 進行方向  
 ← : 推力偏向方向



# マリンダヴィンチコプターの開発 ～ソフトクリーム型水中飛行体～

小山高専水中ロボット製作チーム2019

## 1. はじめに

私たちの開発した水中ロボットは、500年前にレオナルド・ダヴィンチが考案したヘリコプターのアイデアスケッチ(図1)がもとになっている。スケッチの原文中では「空圧ネジ」と呼ばれている。ヘリコプターの構造および動作は、「太い針金で縁取られた半径約5mの布製の螺旋型のプロペラを軸に取り付け、軸は薄い鉄板で作り強くねじ曲げると元に戻ろうとする力でプロペラが回転する。」と記述されている。[1]



図1 ヘリコプタースケッチ

このヘリコプターの実現において当時、軽く強度のある材料が調達できないことや高度な製作技術もないことから飛行は不可能であったと考えられる。現代においてもダヴィンチのヘリコプターを再現し空中飛行を実現させることは理論的にも困難である。

そこで私たちはダヴィンチヘリコプターのユニークなプロペラ形状に着目し、水中におけるプロペラの飛行能力の検証を試みることにした。水中では流体の粘性が大きいことや浮力の作用により、ヘリコプターの飛行が期待できる。

## 2. 水中ダヴィンチヘリコプターの考案

### 【第1段階】ドローン型

最初の設計では、クワッド型ドローンのプロペラをダヴィンチ型スクリューに交換した水中ロボットを考案した(図2)。空中ドローンと同様に各プロペラの回転数を制御し移動方向を変える。ドローン型は、既に空中を飛ぶことが可能なので、同様に水中でも安定して飛行できるというメリットがあるが、スクリューの数が多いため制御が難しいというデメリットもある。

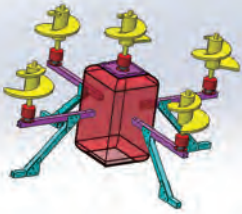


図2 ドローン型

### 【第2段階】ソフトクリーム型

アイデアスケッチのプロペラをより忠実に再現するため、図3のように中央のメインスクリューを拡大し、その回転力による本体の回転を抑制するため、2つの小型サブスクリューが本体側面に配置されている。

#### 【移動方向制御】

移動方向制御はメインスクリューの回転軸方向をサーボモータを用いて移動したい方向へ傾けることによって行う(図4)。

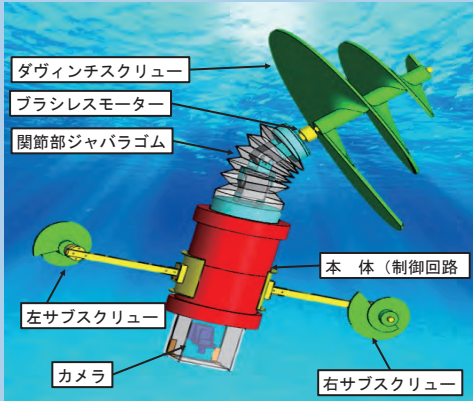


図3 ソフトクリーム型

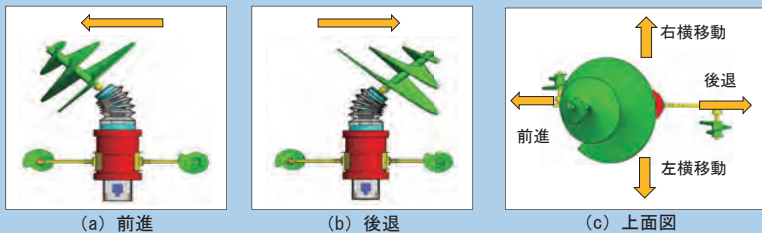


図4 移動方向制御のアイデア

## 3. スクリューの製作

メインスクリューの形状は複雑かつ、最大半径は20[cm]であるため、スクリュー全体を回転軸方向に対して4分割し、PLA樹脂を用いて3Dプリンターで印刷した(図5(b))。次に分割部品はアクリル接着剤で張り合わされ完成品となる(図5(c))。サブスクリューも同様の方法で製作されている。メインスクリューは浮きの役割するため、充填率を10%とし中空構造となっている。一方、サブスクリューはロボットの重心位置を下げるため、充填率は95%である。

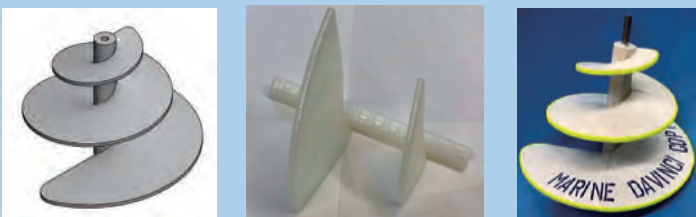


図5 PLA樹脂製ダヴィンチスクリューの製作

## 4. 完成ロボット

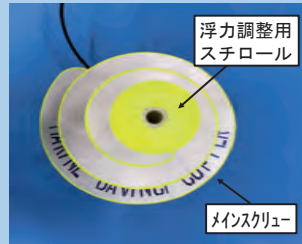


図6 上面図

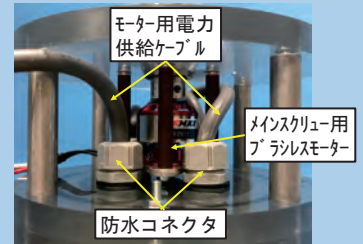


図7 メインスクリュー駆動部

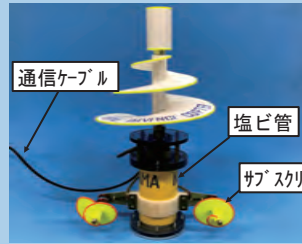


図8 正面図



図9 側面図

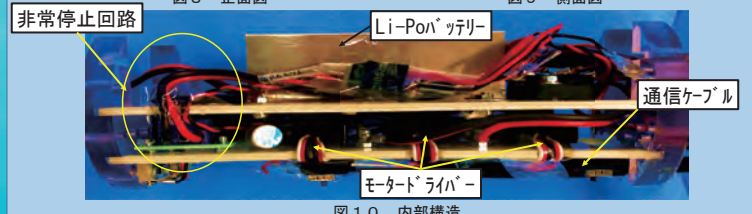


図10 内部構造

## 5. ロボットの主な仕様

部名	縦×横×高さ(mm)	重量(g)	備考
水中ロボット全体	262×368×615	3620	
メインスクリュー	266×253×244	381.2	最小半径45(mm)、最大半径138(mm)、ピッチ72(mm)
サブスクリュー	91×99×86	55.7	最小半径20(mm)、最大半径55(mm)、ピッチ40(mm)

通信方法	Futaba T6EXHP 40MHz
バッテリー	Li-Po 7.4V 1500mAh
モーター	GF2822 11.1V 最大電流16A

#### 【動作性能の評価】

水平方向の移動速度は、速度が一定になった状態から1[m]を進む時間を測定した。上下方向の移動速度は、水深1.35[m]のプールの底から水面に到達するまでの時間を測定した。

表3 移動および旋回速度

項目	値
水平速度	0.211 [m/s]
昇降速度	0.061 [m/s]
右旋回速度	186 [deg./s]
左旋回速度	238 [deg./s]

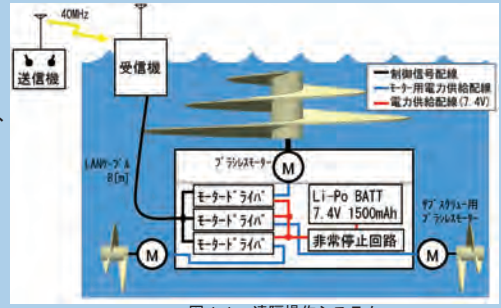


図11 遠隔操作システム

## 5. ブルーシート製ダヴィンチスクリューの製作

ダヴィンチヘリコプターを忠実に再現するため、ブルーシート製のダヴィンチスクリューを製作した。その形状はダヴィンチのヘリコプター螺旋の比率を参考にしている。完成品のサイズは縦514[mm]、横545[mm]、高さ240[mm]、最小螺旋半径は194[mm]、最大螺旋半径は292[mm]である。重量は359[g]である。

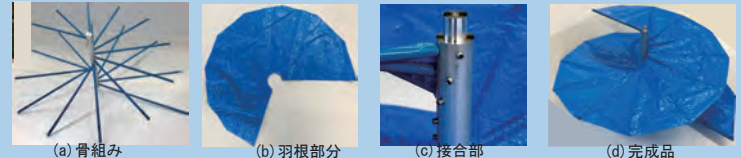


図12 ブルーシート製スクリューの製作

## 6. 今後の展望

ダヴィンチスクリューを用いた水中ロボットを製作し、水中での飛行実験を行った。その結果、潜水および浮上動作が可能であり、水中においてダヴィンチのヘリコプターを飛行させることに成功した。さらに、移動方向制御用の小型ダヴィンチスクリューも十分な推進力があり、瞬時に移動方向を変えられることから、比較的操作性の良いロボットであることも確認できた。

今後の展望としては、以下の3つが挙げられる。

- (1) 当初のアイデアにあった関節機構を用いてスクリュー回転軸の傾斜角変化による水中ロボットの移動方向制御を実現する。
- (2) 水中ロボットを複数台製作し、ロボット間の超音波通信によるシンクロ制御を試みる。
- (3) 水中ロボットの機動性を活かし、画像を用いたAIによる自律移動を試みる。

## 参考文献

- [1] 市川 真史:富山科学博物館 とやまサイエンスピククス No.424 レオナルド・ダ・ヴィンチのヘリコプター

# AI チャレンジ部門

## コンセプト



私たちの提案する **Mark3+Mayonnaise**では、従来の**Mark3**キットによるSTEM学習に加えて、今ロボット開発分野でホットな**AI**と**ROS**の学習が可能です

**AIとは？**  
近年コンピュータサイエンスで注目を集めている技術であり、AIによる画像認識や音声認識のロボットへの応用が盛んです

**ROSとは？**  
ロボット開発に必要なソフトウェアモジュールを世界中で共有して使いやすく提供する仕組みで、世界のデファクトスタンダードになりつつあります

### Mark3からの変更点

- AI学習のため、GPU搭載PCのJetson Nanoを使用
- ROS学習のため、ArduinoをMicroからMega2560に変更

## AI

### 学習

水中に浮かぶ風船を認識可能なAIを作るため、7/15の事前講習会で収集した映像に対してアノテーションを行い、YOLOv3-tinyによる学習を実施



計16113枚の画像を学習に使用

対象物	タグ	使用枚数
赤風船	balloon_red	3166
黄風船	balloon_yellow	2877
青風船	balloon_blue	1981
おもり	weight	2897
反射した風船	balloon_fake	1612
反射したおもり	balloon_blue	3580

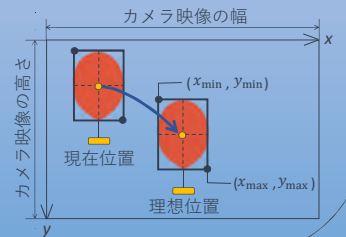
### 学習結果

6種の対象物を判別成功



### 利用方法

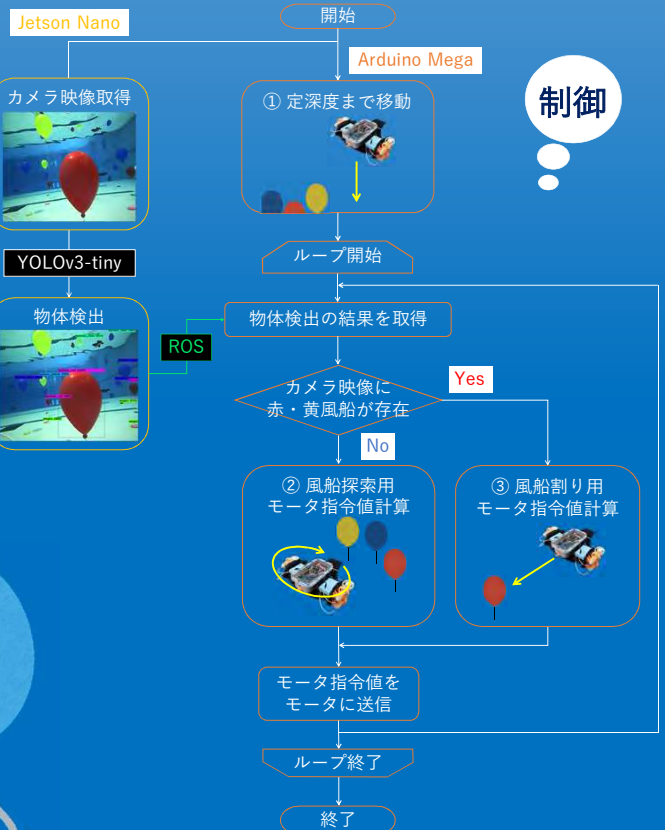
映像内の風船の位置座標を約10fpsで取得し、ロボット制御に利用



## Mayonnaise

### 制御の流れ

ロボットは赤風船の存在するプール底から300mm位置まで移動した後、カメラ映像内に映る赤または黄風船を近い方から割っていく



## 制御

## 機体

### 全体構成

陸上にあるJetsonNanoと水中にあるArduino、カメラがケーブルで接続

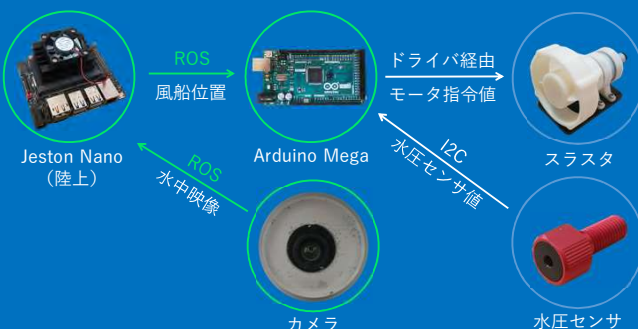
### スラスタ

- ホバリング型の配置を採用
- 水平スラスタ増設で高速化
- 左右反転ペラで傾き抑制



### 通信

Jetson Nano、Arduino、カメラをROSのノードとして立ち上げて通信



# Raspberry Piによる画像を用いた動作制御

木更津工業高等専門学校 電子制御工学科5年 大場翔太

## 1. 初期の機体からの構成の変更

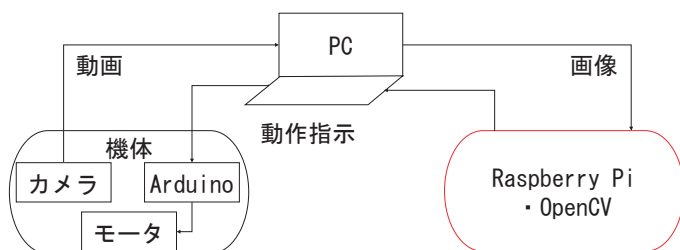


図1. 構成変更後

機体の初期構成でコントローラが担っていた動作信号の入力部を図1のようにRaspberry Piで置き換え、それに伴いRaspberry Piに搭載したOpenCVで処理して入力信号を決めるために画像を取り込む。大まかな流れは以下の通りである。

- (1) 水中ロボットから動画をPCへ送る。
- (2) 動画からRaspberry Piに画像を取り込む。
- (3) 取り込んだ画像をOpenCVで解析し、色と形の判別を行う。
- (4) 判別結果を元に進行方向とそれに伴うモータの出力用信号を決める。
- (5) 送られた信号からモータの動作を変更する。

## 2. OpenCVによる画像処理

今回使うOpenCVは、計算効率を優先しリアルタイムアプリケーションに重点を置いて設計されたコンピュータビジョンライブラリである。ライブラリには画像診断、セキュリティ、ユーザインタフェース、カメラキャリブレーション、ステレオビジョン、ロボット工学を含む、ビジョンの多くの領域にわたる500以上の関数が含まれています。CとC++で書かれており、PythonやRuby、Matlab、その他の言語用インタフェースも開発が進んでいる。<sup>1</sup>

今回使用する機能については以下に示す。

### 2.1 ビデオを読み込む

今回は水中ロボットからの動画を用いて制御するので、まずはビデオの読み込みが必要である。特に今回の状況下では、リアルタイムの動画を扱うので保存された状態の動画とは取り込み方が異なる。また、ある程度の長いビデオデータについて処理し続ける事が考えられるので、過剰な負荷を防ぐために一定フレーム毎に画像ファイルとして切り出すようにする。

### 2.2 画素を取得する

2.1で読み込んだ画像について、BGR値を取得する。水中では色の減衰率が異なるため、普段の色判別から調整して色を読み取る必要がある。また、事項で扱う輪郭検出のために二値画像への変換も必要となる。

### 2.3 輪郭を検出する

2.2で得た二値画像を使い、物体の輪郭を検出する。

### 2.4 輪郭を近似する

2.3で得た物体の輪郭をより少ない点で近似する。どれだけ精度で近似するかによって点の数が変わってくる。

### 2.5 物体の形を判別する。

2.4で得た点の数によって大まかな形を判別する。2.4で行う近似精度や、形の判別の際の点の数の閾値によって形の判別に誤差が出るので、実際に試しつつ値を変更する。

### 2.6 面積と重心を求める。

2.5で円形だと判別された図形について、面積と重心を、モーメントを出してから求めて、正面からのズレとある程度の距離を確認する。

### 2.7 モータへの出力信号を決める。

2.6で求めた左右上下方向のズレと距離からそれぞれのモータの出力を決める。

## 3. 参考文献

- 1 Gary Bradski & Adrian Kaehler 詳解OpenCV-コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識 1(2014)



## BSCドローンLABとは？

私たち富士通ビー・エス・シーは、富士通グループのシステムインテグレーター企業である。  
「業務の10%を使い、組織横断で自由闊達に議論し、未来を切り開くビジネスアイデアの創出にチャレンジする」という企画「Innovation Challenge」から生まれた活動だ。

2017年にドローンのプログラミングを始め、2018年後半から“水中ドローン”へ活動範囲を広げた。

2019年4月には神戸市のイベントにて“須磨海浜水族園”の大水槽から水中ドローンの映像をインターネット配信し、三宮の会場で視聴するという内容の出展をした。

## 水中ロボコン参加動機

水中ドローンのプログラム制御、とりわけ自動潜航を主体とし、業界動向視察、技術研鑽、開発を行っている。今回、その腕試しとしてAIチャレンジ部門にエントリーした。同時に、提供して頂いたMark3改により様々な事柄を体感出来ることも、私たちにとって大きなプラスになる。

## こだわりポイント

### ◆層別アーキテクチャー

保守性、発展性を持たせるために、コンポーネント化を行った。アプリケーション層、自動潜航エンジン、機器制御層の3層構造とした。

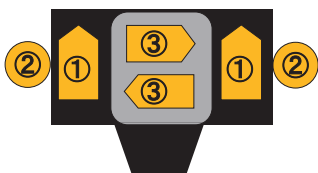


今回の水中ロボコンでのMark3制御だけでなく、オペレーション、フィールド、機体を切り替えるだけで多様な自動潜航が可能になる。

### ◆Mark3改のシンプルなスラスト配置

推進出力は非効率となるが、敢えて「ベクトル合成」を考慮せずに、1つの移動方向に対して2つずつスラスターを配置した。

- ① 前進/後退×2
- ② 沈降/浮上×2
- ③ 左右推進×2



### ◆Arduinoは指定値で回すだけ

操作側（PCアプリケーション側）で運動方向を指示して、機体側（Arduinoソフト側）で適正なモーター回転数を導き出して動作させる作りがよく見受けられる。しかし今回は、機体側は指定されたモーターを指定された分だけ回すようにし、操作側で細かな調整値を各モーターに与える作りとした。

- ・スラスト配置を変えてもArduinoソフトの書換不要
- ・様々な回転数での動作を試すことができる

## ブイタッチ

### ◆画像処理（色検出）

機械学習で物体認識をする手法も検討したが、画像処理（色検出）で物体認識をする手法のが適していると判断した。

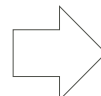
### <色検出+前処理>

- ① 色検出の前処理としてぼかし処理（平均値）を追加
- ② ラベリング処理の前処理としてモルフォロジー変換を追加（オープニング処理）

#### 色検出のみ



①・②を採用



#### 色検出+前処理



ひとつのブイに対して検出範囲が狭く、複数検出してしまう。座標情報だけみると小さなブイがたくさんあるように見えてしまう。

ひとつのブイに対して十分な範囲を検出できている。的確な座標情報を得ることができている。

### ◆自動潜航

水中の流れやドローン自体の余分な動きがあるために、速度、移動時間からドローンの現在位置を推定することは難しい。そのため、画像処理によって得たブイの大きさや位置からドローンの移動距離を算出し、ドローンの現在位置を意識せずに移動できるようにした。

### <基本動作>

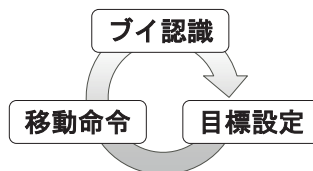
- ① 画像処理でブイを認識 → 目標ブイを設定 → ブイの重心に移動命令を行う
- ② 上記を0.5~1秒単位で繰り返す
- ③ ブイとの距離が遠いと高速、近くと低速で近づいていく

#### ● 目標設定

ブイを検出した枠の面積を算出し、黄色又は赤色のブイの中で一番大きい面積のブイを目標に設定する。

#### ● 移動命令

ブイの重心とカメラ映像の中心点から、距離・方向を算出する。合わせて距離に応じて速度を変更する工夫を加えた。



## 定点観測ミッション

### ◆QRマーカの検出

QRマーカは遠くから見た場合、黒の固まりと認識されるため、ブイ探索時にQRマーカも合わせて探索する。

### ◆自動潜航

定点観測時に横からの水流が予想されるため、QRマーカを認識する場合、静止する必要がある。左右推進のスラスターを噴射して、横からの水流に抵抗する。

## ロボットの構成

弊サークルではハードウェアからの水中ロボットの開発を行っているが、今回はソフトウェアに注力することを目的として、Mark3機体を採用した。スラスタは6基構成とし、z軸方向に4基、x軸方向に2基搭載している。チームメンバーの開発経験の都合上、メインマイコンをArduinoからSTMマイコンを搭載したNucleoボードに切り替えている。ロボットにはIntel社のRealSense d435が搭載されており、可視光カメラの画像だけでなく、距離カメラ画像、加速度の取得が可能である。ロボットの制御は全て地上のPCが行っており、ROSを使用している。また、ロボットには二つのダイバー用ライトが搭載されている。実験の結果、周辺光の状況によりオブジェクトの見え方は大きく異なることが分かった。外乱光の影響を避けつつ、オブジェクト判別の成功率を高めることを目指している。

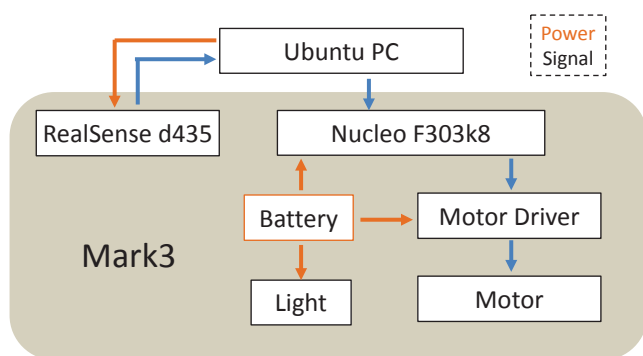


図1 ロボットの基本構成

## オブジェクト検出アルゴリズム

風船の検出では、概ね以下の処理を実施している

- ・ 取得画像の加重平均をとる
- ・ エッジ検出アルゴリズムの適用
- ・ Hough変換による円形の探索
- ・ 円形候補中心点の色彩を取得
- ・ 探索対象の色彩と一致していれば、目標として設定

## ロボットの動作計画

ロボットがタスクをこなす上で非常に重要な情報の一つが自己位置である。しかし、水中では高精度の自己位置推定は難しいと考えられる。そこで、主に自己位置情報の貢献度を変更しながら、当日の状況に応じた制御を選択することとした。

基本的にロボットは加速度センサによるフィードバックを使用して一定深度にとどまる。まずロボットは360度回転してその深度内に存在するべき色の風船を探索する。発見されれば直ちに風船を割る動作に移行、発見できなければ方向を変え、直進して後探索を再開する。壁や段差を検知した場合も方向を変えて探索を続行する。

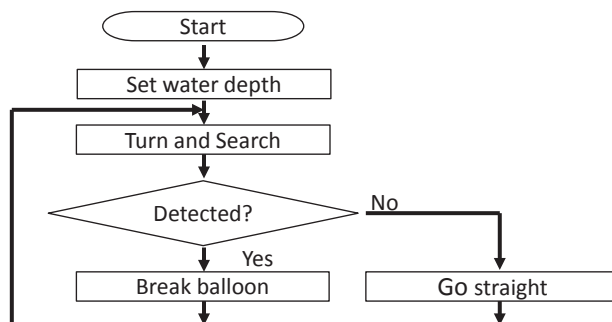


図3 ロボットの基本動作

## RealSense距離計測カメラの利用

RealSenseでは、赤外線カメラ2台を利用して視差を考えることで、目標物体までの距離を計測することが可能である。これにより、可視光のみでは判別が難しい青色の風船を取得できる。また、壁や段差等の検出も可能である。しかし、実験により水中で用いると測定画面にノイズがのることが分かった。これは、プールの水が赤外線を乱反射していることによると考えられる。また、取得した距離データは実際の距離との誤差が大きい傾向にある。そのため、可視光カメラで得られる情報と、相補的に利用しどちらかに一方的に依存する場面が生じないように工夫する。

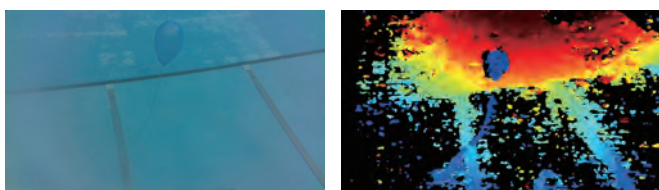


図2 青風船の撮影画像(左/可視光, 右/距離画像)

第一の自己位置補正は、一定期間ごとに行われる水深の補正である。一度プールの底まで潜水し、ロボットの水深を固定したのち、加速度センサを用いて目標の水深まで浮上する。

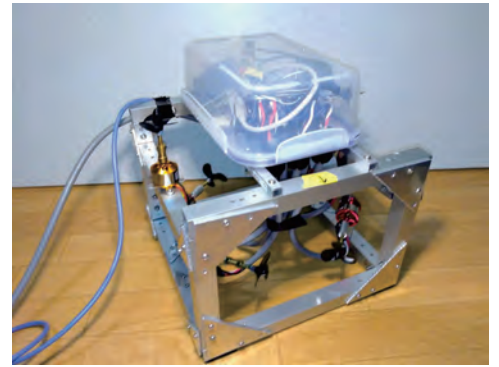
第二の自己位置補正としては、壁の情報を用いたSLAMが考えられる。競技エリアを30cmごとの格子に区切り、それぞれにロボットの存在確率を与える。加速度センサの情報から逐次存在確率を更新し、壁に遭遇すると壁際の格子のどこかに存在するとして、推定が可能になる。この情報を用いて、ロボットが風船のあるエリア外に出ないようにコントロールできる。

第三の自己位置補正として、風船の情報を記録していくことが考えられる。これはカメラ画像内に風船が存在した場合、これをランドマークとして登録しておき、自己位置の補正に使用するものである。また、一つ風船を割った後、次に割る風船まで効率的に到達することが可能となる。

# クラゲ

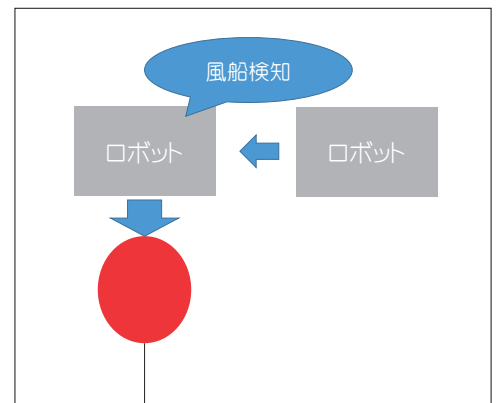
## ロボットコンセプト

- 制御方面を強化するために…
  - ➡ 既存フレーム(2017大会にて使用)を用いる  
制御方面に時間を割く方針
- 左右方向の移動性を強化
  - ➡ スラストの配置変更  
前後左右方向に移動が可能



## オリジナリティ

- 風船の割り方  
風船を正面から割る ➡ テスト段階では困難…
  - ➡ 風船を上から割る方針に変更  
上下の動きで割れるのでシンプル



## 制御方針

- 風船順序決定アルゴリズム
  - ➡ カメラから風船の位置関係, 風船の種類を取得  
割る順番を決め移動
- 風船中央検知
  - ➡ 風船追尾中にカメラ下側に移動  
カメラ映像を切り替え風船の中央検知

