

課題情報シート

テ ー マ	海洋ロボットの開発		
大 学 校	近畿職業能力開発大学校		
ホームページ	www3.jeed.or.jp/osaka/college/		
電 話 番 号	072-489-2112（学務課）		
訓 練 課 程	応用課程	訓 練 科	生産電気システム技術科 生産機械システム技術科 生産電子情報システム技術科
担当指導員	椿 博敏		

開 発（制 作）年 度 ・ 期 間

2017 年度 ・ 7 カ月

（内訳）調査・仕様決定：0.5 カ月、設計：2 カ月、製作：2 カ月、組立・調整：2.5 カ月

開 発（制 作）学 生 数

14 名

（内訳）生産電気システム技術科：6 名、生産機械システム技術科：4 名、生産電子情報システム技術科：3 名

習 得 し た 技 能 ・ 技 術

技能・技術に関して代表的な内容は、完全防水実現のための精密加工、潜水状態での自律航行実現のためのプログラミング精度（センサ情報取得を含む）、密閉容器内の発熱を抑えるため電子部材の効果的使用と配置バランス及び放熱対策等を習得します。

人間力に関しては、今までの実習では経験したことの無い海中に製作物を入れることについて、どのような問題や課題があるのか？ 創造と問題や課題の発見を粘り強く繰り返しながら最後に計画を立てる“考え抜く力”に加え、3 科協同の実習であるため、自分の意見を解り易く伝える発信力や相手の意見を聴く傾聴力や柔軟性などの”チームワーク力”が養われ、さらに主体性を持って最後まで作り上げるための実行力などが習得できるようになります。

また、全体像の把握と納期を意識させるため、プロジェクト管理手法を実習の中に用いています。これにより作業全体と製作期間について俯瞰することが出来るようになります。

開 発（制 作）の ポ イ ン ト

毎週 1 回は必ず全体（3 科）ミーティングを行います。その時にはポンチ絵や図面、製作物を必ず持参させ、テーマ内の学生全員に見せながら発表させます（情報の共有）。この時に重要なポイントがあれば他の科の学生にもわかるように伝えます。（例えば防水で必要な部材と水圧の分散化の考え方など）

製作途中で問題が発生した場合や、修正する場合は、ミーティング時で話し合い決定するようにします。

安全に関すること、特にフルプルーフとフェールセーフについては必ず導入するよう求めます。

訓練（指導）のポイント

学生に対し最初から競技大会出場を目的としたため、学生は一つ一つの目標を立て易く、課題実習に対するモチベーションを保てることが可能で、さらに納期（開発期限）を守り易くなります。

この課題では何を作らないと完成とならないのか？競技大会ではどのような事が要求されるのか？を考えさせて、それを”要求仕様書”として作成し全体像を明確にさせました。

次に、要求仕様書にある要求項目を実現するためには、何をどうすればよいのか考えさせ、“作業分解（WBS）”表または図を作成させ、それを元に「誰が、何を、何時までにするのか」の一覧を作成させて、日程（ガントチャート）に落とし込むように指導しました。

開発物の仕様

項目	内容
寸法[mm]	D930×W520×H300
重量[kgf]	32.5
供給電源	Li-Po バッテリ（14.8V/10Ah）×3
連続航行時間[s]	5400（90min）
速度[m/s]	0.5（1ノット）
搭載センサ	GPS、9軸センサ、圧力センサ
スラスタ	DC モータ（12V）×4、φ100mm プロペラ×4
メインコントローラ	Raspberry Pi3 Model B®

開発において使用した機器等（機器名・メーカー・型番）

3D CAD/CAM システム（Solid Works®）、マシニングセンタ（FANUC・ROBO DORILL）、半自動旋盤（TAKISAWA・TAC-510）、半自動フライス盤（牧野フライス・KE-55）、レーザ加工機（Mszak・SUPER TURBO ×1212）、プリント基板設計 CAD システム（図研・CR-8000）、プリント基板製造システム（ミッツ・Auto Lab）

【ホームページ】

海洋ロボットコンペティション in 沖縄公式 HP : <http://www.robo-underwater.jp/2017/rchp/JPN/index.php>

測地線航海算法 : <http://www2.nc-toyama.ac.jp/~mkawai/lecture/sailing/geodetic/geosail.html>

海洋ロボットの開発 (Gr1)

生産機械システム技術科

生産電気システム技術科

生産電子情報システム技術科

指導教員 椿 博敏, 岩城勇生, 石部剛史

海洋ロボットの競技大会に参加することを目的として、2機の海洋ロボットの開発に取り組んだ。遠隔操作により動作し、俊敏性と機動性を重視した遠隔操作型無人潜水機 (以下 ROV と表記)と、自律的に動作し、機動性とメンテナンス性を重視した自律型無人潜水機(以下 AUV と表記)をコンセプトに、大会に参加可能な海洋ロボットを製作した。ROV は『'17 水中ロボットコンベンション in JAMSTEC』に大会出場を果たした。AUV は『沖縄海洋ロボットコンペティション 2017』に、大会出場を果たし 3 位入賞した。

Keywords : AUV, ROV, GPS, 海洋ロボット, 防水,

1. 緒言

海洋ロボットは、海洋資源の探査や、海洋観測といった、海洋に関する様々な分野で活躍が期待されている。世界的にも広大な排他的経済水域を持つ日本では、ROV, AUV 共に活躍が期待されている。そうした背景で、いくつかの海洋ロボットの大会が行われている。そのうち、8 月下旬に神奈川県で開催する『'17 水中ロボットコンベンション in JAMSTEC』の ROV 部門と、11 月中旬に沖縄県で開催する『沖縄海洋ロボットコンペティション 2017』の AUV 部門に出場することを目的に、開発に取り組んだ。

2. ROV

ROV は俊敏性・機動性のある動作をさせ、フリー演技で高い競技点を獲得するための動力性を確保すること。トラブルに対して短時間で対応するためのメンテナンス性を確保すること。機体を直感的に制御するための操作性を確保すること。大会現地までの輸送に対しての耐久性を確保すること。それら 4 つの内容を重視し、「動力性能がありメンテナンス性と耐久性を備えた機体」を開発コンセプトとした。製作した機体に 6 個のスラスタを搭載することで、12 方向への移動を可能とし、操縦には汎用コントローラを用いた。また、本体内部に 2 つのカメラを搭載し、前方・下方部の水中映像がリアルタイムで取得を可能とした。機体全体を覆うようにアルミフレームを取り付けることで、スラスタの保護、運搬の簡易性を実現した。

2.1 '17 水中ロボットコンベンション in JAMSTEC

大会における採点対象は、機体の重量、水中でのフリー演技を行い、ロボットの操作性、機動性等の技術力と想定通りの動作が行えているかの表現力、製作した機体をどのようにアピールするかのプレゼンテーション能力が採点の対象となる。我々は ROV 部門に参加した。[1]

2.2 仕様 ROV(図 1)の仕様を表 1 に示す。

表 1 ROV の仕様

項目	内容
寸法[mm]	D930×W520×H300
重量[kg]	18
スラスタ	・ ブラシレス DC モータ×6 ・ $\phi 100\text{mm}$ プロペラ ×6
電源	Li-po バッテリ (11.1V/6Ah)×3
連続航行時間[min]	30
遊泳速度[m/s]	1(約 2 ノット)
装備	LAN カメラ・汎用コントローラ
メインコントローラ	GR-SAKURA®

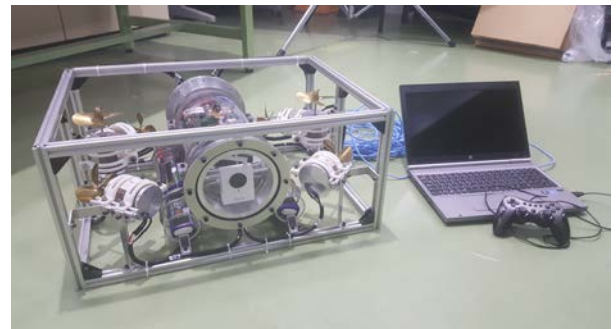


図 1 ROV の外観

2.3 筐体の構成 システムを格納するスペースを直径 170mm, 厚さ 5mm のアクリルパイプにした。そうすることで筐体に対する波や水圧の影響を緩和した。ロボットの前部と後部の蓋の形状は異なる。前部の蓋は水中情報取得用の LAN カメラを搭載するため、アクリル板の窓を設け、後部の蓋は筐体から電源ケーブル、通信用ケーブルを出すための穴をあけた。内部の装置等はアクリルパイプ内部のアクリル板に固定した。さらに、アクリル板を後部の蓋に固定することで後部の蓋と連動して装置を取り出すことを可能とした。

2.3.1 防水 防水の構成について図 2 に示す。本テー

マにおいて水中で使用するため、防水は必須条件である。円筒容器の内径と蓋の外形の間に O リングを密着させ浸水を防ぐ構造とした。本体は厚さ 5mm、スラスタとバッテリーケースは厚さ 3mm のアクリルパイプを切削加工で製作したアルミの蓋に O リングを取り付ける方法で防水した。



図 2 防水構成図

2.3.2 スラスタ スラスタの構成について図 3 に示す。機体のアクチュエータには三相ブラシレスモータを使用した。既製品のモータではシャフトが短く、防水ケースに入れると使用出来ないため延長した。シャフトを後部の蓋にモータ付属の部品でねじ止めし、前部の蓋を貫通させ、先端にダイヤ径 100mm のスクリュ（プロペラ）を取り付けた。前部の蓋にベアリングを設けることにより、延長したシャフトの振れを抑制した。モータシャフトと蓋の防水には AD 型オイルシールを使用し、シャフトの回転軸部に対する浸水対策をした。また、スクリュへの流水を妨げないようにするため、3D プリンタを用いて円錐状の整流器を製作した。

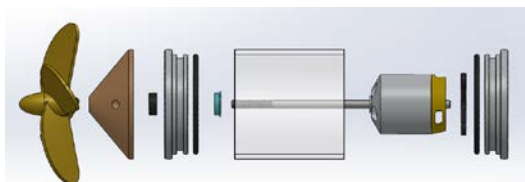


図 3 スラスタの分解図

2.4 システム構成 機体内部のシステム構成について図 4 に示す。

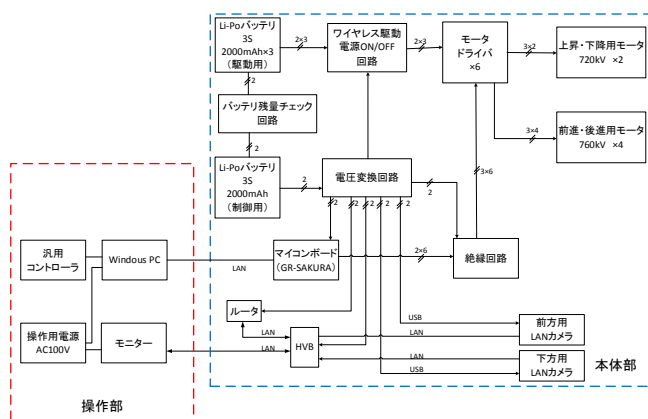


図 4 システム構成図

2.4.1 電源 機体内部に搭載されている Li-Po バッテリから供給される電力を電圧変換回路により各基板に必要な電圧に変圧し、供給した。

2.4.2 アイソレーション 駆動部で発生したノイズや大電流がマイクロコンピュータに悪影響を及ぼすことにより誤作動や故障の原因となる。電氣的に絶縁する必要がある。フォトカプラを用いて制御部と駆動部の絶縁を行った。

2.4.3 操作部 スラスタの制御は、陸上にある汎用コントローラ（図 5）からの信号により制御した。通信には LAN ケーブルを使用し、機体に搭載しているマイクロコンピュータと通信を行った。操縦者は、機体に搭載している LAN カメラより取得した水中情報を手元のモニターに表示し、その情報を基に操作した。



図 5 汎用コントローラ

2.4.4 駆動用電源 ON/OFF 回路 操作時にスラスタが通信ケーブルを巻き込み、通信ケーブルが切断され、機体の制御が不可能となる可能性を考慮し、LAN ケーブルとは別系統で駆動用電源を駆動部と切り離す事を目的とした。赤外線による駆動用電源 ON/OFF システムを設けることにより、手元のコントローラでの機体の停止が不可能な場合でも、強制的に駆動部の電源を遮断することを可能とした。

2.2.5 バッテリ残量チェック回路 目視によるバッテリー残量の確認を行うためにバッテリー残量チェック回路を製作した。バッテリー残量チェック回路は満充電時を 100%、終止電圧を 0 %としたとき、緑色 LED の消灯で 70%以下、赤色 LED の消灯で 40%以下の残量であることを示す。

2.7 評価 校内に設置しているミニプールで航行試験を行った。その結果、機体の浮力・バランス調整、LAN カメラからの水中内情報の取得、汎用コントローラによる操作、多角的な方向への動作については、仕様に準じた機能を満たすことができた。防水面では、本体部は水深 1.5m まで確認できたが、スラスタ部は浸水が確認された。ブラシレスモータを使用しているため、海水での航行は不可能であるが真水での航行が可能である。

2.8 大会結果 初日は機体の重量測定、各チームのプレゼンテーションを行った。2 日目は防水確認、浮力の最終調整をした。その際、浮力調整不足であることが確認された。調整時間が足りず浮力不足の状態で行った結果、開発コンセプトである高い動力性能が発揮できず入賞には至らなかった。機体を制御し目標物に接触させるという加点対象の機体制御を達成した。

3. AUV

3.1 沖縄海洋ロボットコンペティション2017 図6で示すように、競技大会は港に用意された競技コースで行った。SG(スタート・ゴール)区域の中央から開始し、①潜水浮上区域までを海上航行する。潜水浮上区域で潜水し、②潜航区域を潜水した状態で航行する。③海上潜行区域で一度浮上し、④潜水航行、⑤海上航行によって、SG区域に戻る。①～⑤の課題で獲得したポイントの合計で順位付けを行う。大会は全国より11校、18チームが参加した。参加したAUV部門は、5チームの参加であった。[2]



図6 競技コース

3.2 コンセプト 『沖縄海洋ロボットコンペティション2017』の競技コースを航行させるために、競技時間中にコースを完走する動力性能、トラブル対策やバッテリー交換時のメンテナンス性を重視した。メインコントローラにRaspberry Pi 3 MODEL B®を使用し、搭載センサにGlobal Positioning System(以下GPSと表記)、9軸センサ、圧力センサを使用した。海での自律航行であることを考慮し、波や水圧の影響を受けにくい円筒型の筐体に設計した。また、メンテナンス性を考慮した筐体設計と、システム設計を行った。開発コンセプトは、『機動性とメンテナンス性を重視した機体』とした。

3.3 仕様 AUVの仕様を表2に示す。

表2 AUV仕様

項目	内容
寸法[mm]	D930×W520×H300
重量[kgf]	32.5
スラスタ	・DCモータ (TG-85R-SU-13.2-KA, 12V)×4 ・φ100mmプロペラ ×4
電源	Li-po バッテリー(14.8V/10Ah)×3
連続航行時間[s]	5400(90min)
遊泳速度[m/s]	0.5(約1ノット)
搭載センサ	・GPS(AE-GYSFDMAXB) ・9軸センサ(MPU-9250) ・圧力センサ(PSE563-01)
メインコントローラ	Raspberry Pi 3 MODEL B®

3.4 本体設計 筐体は波や水圧の影響を緩和させるために、円筒型とした。また、メンテナンスを容易にするため、内部が確認可能なアクリルパイプを採用した。AUVの外観を図7に示す。



図7 AUVの外観

3.4.1 防水 海洋ロボットであるAUVは、海中で航行するため、防水は必要不可欠である。Oリングを二重に取り付けることで、筐体内部への浸水を防いだ(図8)。スラスタには、ベアリングとスクリュカバーと取り付けることで軸ぶれを押さえ、オイルシールを用いることで防水を行った。また、メタルケーブルグラウンドによって、モータにつながるケーブルの防水を行った(図9)。

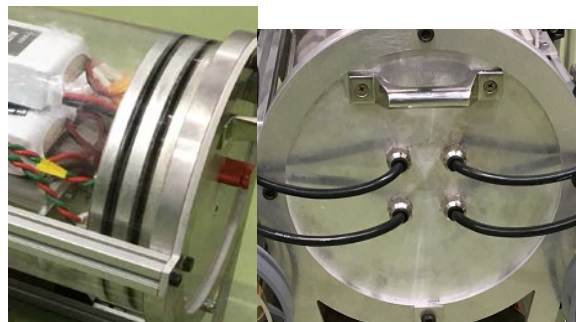


図8 Oリングによる防水 図9 ケーブルの防水

3.4.2 スラスタ スラスタには、3.4.1で述べた防水性に加えて、スクリュカバーが取り付けられており、スクリュの巻き込み防止機能がある。スクリュの動力には、DCモータを使用した。

3.4.3 バランス・浮力調整 筐体の外側に、真鍮製のウェイトを搭載するアルミフレームを取り付けた。さらに、ばねナットをウェイトに取り付け、スライド式にすることで、バランス・浮力の調整を容易にした。

3.5 システム構成 システムの構成図を図10に示す。

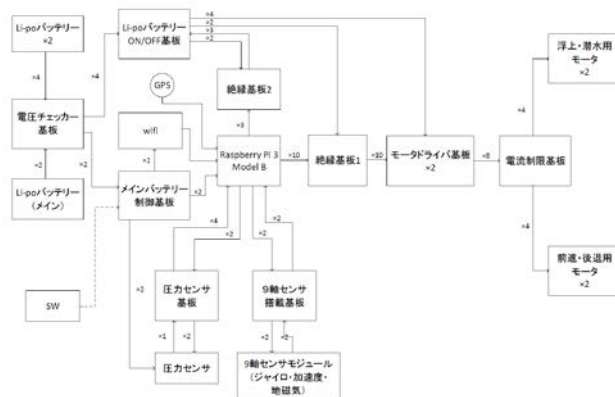


図10 システム構成図

3.5.1 配置配線 航行時、AUV の大部分は水面よりも低位置である。そのため、衛星から電波を受信する GPS レシーバと Wi-Fi ルータを機体上部に配置した。また、9 軸センサは磁気を検知するセンサであるため、大電流が流れるシステムやケーブルが近づかないよう配置、配線を行った。

3.5.2 過電流対策 ヒューズと、リセット型の過電流保護回路による、二重の過電流対策を施した。

3.5.3 ノイズ対策 メインコントローラ[Raspberry Pi 3 MODEL B@]や自律航行をするのに必要な各種センサは過電流が原因で故障する可能性がある為、システム構成をする際、高電圧高電流のモータ駆動側と、低電圧低電流のメインコントローラ・各種センサ側を絶縁した。また、ノイズや磁場の影響による故障を防止する為、センサ系のケーブルにシールド線を使用し、シールド線のシールドの部分の筐体に取り付け、ボディアースとした。

3.5.4 ハードウェアスイッチ AUV の電源は、バッテリーの消費を抑えるために、動作直前までハードウェアスイッチでの切断を可能とした。防水のため基板やバッテリーが搭載されている本体内部は密閉されているため、リードスイッチを採用し、外部から電源の操作を可能とした。また、搭載しているソフトウェアの暴走等による意図しない動作や、停止命令が働かない場合に AUV の電源を切断する安全装置の役割も担っている。

3.6 制御部 AUV が自律航行するために、搭載センサからデータを取得し、そのデータからモータの制御を行った。

3.6.1 位置把握 目的地到達を判断し、行動の制御を行う為、AUV が現在位置を把握できるようにした。GPS レシーバから NMEA フォーマットのデータを受信し、受信データから、緯度、経度を取得することで現在位置を把握した。さらに、測地線航海算法[3]を用いることで、現在地から目的地までの距離を算出し、目的地到達の判断を行った。

3.6.2 進行方向制御 目的地に到達するために AUV の進行方向を、目的地のある方向へ修正する制御を行った。9 軸センサから、地磁気 $G(G_x, G_y, G_z)$ と、加速度 $A(A_x, A_y, A_z)$ を取得し、AUV の進行方向 $d[m]$ を算出した{(1)式}。[4]

$$\begin{aligned} \varphi &= \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{-A_x}{A_y \sin \varphi + A_z \cos \varphi} \\ d &= \tan^{-1} \frac{(G_z - G_{z,off}) \sin \varphi - (G_y - G_{y,off}) \cos \varphi}{(G_x - G_{x,off}) \cos \theta + (G_y - G_{y,off}) \sin \theta \sin \varphi + (G_z - G_{z,off}) \sin \theta \cos \varphi} \end{aligned} \quad \dots(1)$$

$G_{off}(G_{x,off}, G_{y,off}, G_{z,off})$: 地磁気センサオフセット。
さらに、目的地座標と AUV の現在地座標から目的地の方向を算出し、2つの方向から、方向の誤差を求めることで進行方向の修正を行う。ここで算出している方向は、真北から時計回り、0 から 359 で表した角度とした。例えば、真西なら 270、真南なら 180 である。

3.6.3 深度制御 AUV は、潜水航行や、海上航行を行

うため、水圧センサを用いた深度計測で制御を行った。水圧センサの出力値は、圧力が上昇すると高くなるため、潜水時は、浮上時の電圧より高く、下限となる水深時の電圧より低い、電圧値を維持することで潜水状態を維持した。

3.7 評価 25m プールの 5m 地点をスタート地点、20m 地点を折り返し地点として、往復 30m の水上を自律航行させる実験を行った。ゴール地点は、スタート地点と同じ位置とし、許容範囲をゴール地点から 3m 以内と定めた。実験の結果は折り返し地点で折り返し、ゴール地点から 2m ほど離れた地点で、AUV がゴールと判断し自動停止した。以上のことから、大会に出場する性能を満たしたことを確認した。

3.8 大会結果 大会の得点は競技前に行われるポスターセッションと競技の合計得点となる。大会結果は、AUV 部門 3 位で、敢闘賞を受賞した(図 11)。



図 11 大会に参加したメンバーと敢闘賞

4. 結言

開発のコンセプトに沿った海洋ロボットを製作した。また、目的である大会出場を果たし、『沖縄海洋ロボットコンペティション 2017』では 3 位となった。

謝辞

実験場として 25m プールを提供して頂きました大阪府立久米田高校様、二色の浜公園の使用許可を頂いた公共財団法人マリンスポーツ財団様、本開発に協力して頂きました全ての方々に、深く感謝致します。

文献

- [1] '17 水中ロボットコンベンション inJAMSTEC 公式 HP, <http://underwaterrobonet.org/jam17/> 参照:2017.7.10
- [2] 海洋ロボットコンペティション in 沖縄公式 HP, <http://www.robo-underwater.jp/2017/rchp/JPN/index.php> 参照:2017.10.15.
- [3] 測地線航海法, <http://www2.nc-toyama.ac.jp/~mkawai/lecture/sailing/geodetic/geosail.html> 参照: 2017.6.30.
- [4] Talat Ozyagcilar, Applications Engineer, <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN4248.pdf>. 参照:2017.6.15.

(2018 年 02 月 14 日提出)