

## 開発課題実習『海洋調査ロボットの開発』の取り組み

椿 博敏<sup>\*1</sup>, 岩城勇生<sup>\*2</sup>, 石部剛史<sup>\*3</sup>

日本の海洋政策に基づく新たな海洋資源創出, 海洋ロボットの技術力向上と人材育成を掲げた海洋基本計画に端を発した海洋ロボットコンテストが JAMSTEC(国立研究開発法人 海洋研究開発機構)主催により横須賀, 大阪(隔年), 沖縄で毎年開催されるようになった. 本課題は, 海洋ロボットコンテストに参加することを目標にした AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 初号機の製作における現状と結果について報告をする.

**Keywords:** AUV, 海洋ロボットコンテスト, GPS, スラスタ, 防水, ガントチャート.

### 1. 緒言

当校の学生は4年時に開発課題実習(卒業研究に相当)と呼ぶ機械系, 電子情報系, 電気系の3科の学生がチームを組み, 専門性を活かしたものづくりを行う.

今回は, 海洋ロボットコンテストに参加する明快な共通目標を持たせ, 初めて挑んだ「海洋調査ロボット開発」AUV 部門への取り組み事例を報告する.

### 2. 海洋ロボットコンペティション in 沖縄

**2.1 大会概要** 沖縄で開催するロボット競技会には, AUV(Autonomous Underwater Vehicle), ROV(Remotely Operated Vehicle), のフリースタイルの3部門があり, 3部門とも11月中旬に連続した二日間で行われる.

初日はプレゼンテーションのみが行われ, 審査員の観点により総合的に採点される. 二日目は競技で海での航行となる. 参加予定である AUV は各チーム予選と決勝の2回航行し, 指定したコースを潜航と浮上を繰り返しながらゴール到達を目指す. 二日間の合計点数(プレゼン+予選+決勝)の高いチームが優勝となる. さらにロボット航行時, 「観客を湧かす」や「面白い動き」がある場合, 特別点も用意されている. 予選の採点表を表1に, 決勝の採点表を表2に示す.

表1 AUV 予選採点表

採点項目	観点	点数
プレゼン (一日目)	コンセプト	5点
	独創性	5点
	技術性	5点
	完成度	5点
予選航行 (二日目)	第1潜航:	10点
	第1浮上:	10点
	第2潜航:	10点
	第2浮上:	10点
	第3潜航:	10点
	第3浮上:	10点
	中継ブイ通過:	10点
特別点	観客を湧かす, 面白い動き	10点
合計		100点

表2 AUV 決勝採点表

採点項目	観点	点数
プレゼン	予選時のプレゼン点	20点
決勝航行 (二日目)	第1浮上:	5点
	第1潜航:	10点
	第2浮上:	5点
	第2潜航:	10点
	第3浮上:5点(中間ブイに到達)	
	第3浮上:5点(中間ブイを通過)	
	第4潜航:	10点
	第5浮上:	5点
	ゴールブイ潜航通過:	15点
特別点	観客を湧かす, 面白い動き	10点
合計		100点

**2.2 予選及び決勝コース** 予選コースを図1に, 決勝のコースを図2に示す. 予選コースはスタートとゴールが直線上に配置された単純コースであるが, 決勝コースではスタートとゴールの位置関係が「J」文字の如くカーブしており難易度が増す.

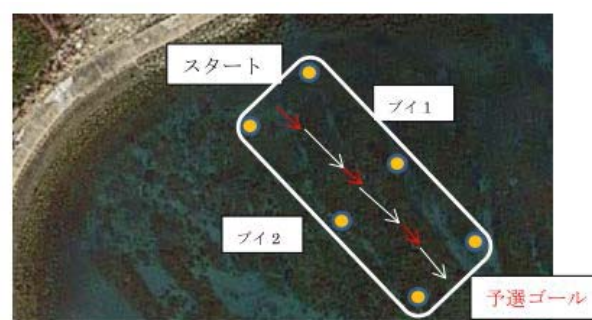


図1 AUV 予選コース

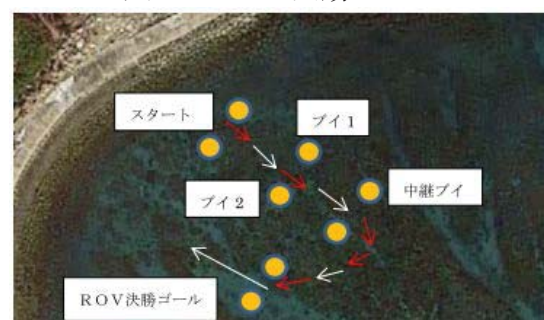


図2 AUV 決勝コース

\*1 生産電気システム技術科

\*2 生産機械システム技術科

\*3 生産電子情報システム技術科

**2.3 大会ルール** AUV 部門における大会ルールは以下の通りである。

- ① ロボットの総重量は、50kgf 以下であること。
- ② ロボットが GPS データを取得し、ゴールまで自律航行が可能であること。但し、浮上航行だけでなく 10 秒から 20 秒程度は必ず潜航航行すること (図 1, 図 2 の白色矢印)。
- ③ 予選, 決勝共に競技時間は 10 分間であり, 10 分以内であれば, 何回でもスタート地点に戻って「リトライ」を行うことが可能。「リトライ」を宣言すれば, 専属のダイバーが実機をスタート地点まで移動してくれる。
- ④ スタート及びゴール地点を含む各ブイの位置情報 (GPS データ) は, 開始 1 時間前に大会本部より与えられる。
- ⑤ ペナルティによる減点項目
  - ・スタート後, 地上 PC による遠隔操作: (50 点減点)
  - ・通信ケーブル等接続状態での航行: (失格)
  - ・ロボットの一部分が海面に出た潜航航行: (50 点減点)

**3. ロボット概要**

**3.1 システム構成** AUV 部門は大会本部よりブイの位置情報が与えられるため GPS センサを中心としたシステム構成となる。GPS データ受信後の進むべき方位角と距離計算を高速処理するために専用の MiniPC をロボット本体に内蔵した。システム構成図を図 3 に示す。MiniPC を使用した別の理由は, WOL(Wake On Lan) 技術を使用したロボットのリモート起動が可能のためであり, これは競技の順番待ち時間の間 Wi-Fi 無線モジュールを除いた全ての電源を切った状態で待機し, バッテリーの消耗を抑えることを可能にした。

リモート起動は, ノートパソコンとの Wi-Fi 通信により WOL 技術を利用して MiniPC を起動し MiniPC から電源ラインを通电して制御用マイコンを起動する。

ノートパソコンのリモート接続から MiniPC の電源を OFF にすることも Windows の機能より可能である。圧力センサは, 潜水深度を計測するために使用する。地磁気センサは, 潜水している間は GPS の電波が受信できないので, 進行方位を維持するために使用する。

**3.2 基本設計** 製作するロボットのハードウェア仕様を表 3 に示す。

表 3 ハードウェア仕様

項目	内容
寸法 (長さ×幅×高さ)	1,108×528×288(mm)
重量	40kgf
動作時間	最大 90 分
スラスト×4	DC モータ 12V 21W
バッテリー (モータ用)	Lipo14.4V, 10,000mAh
バッテリー (PC, マイコン用)	PC 用モバイルバッテリー 19V,5V 出力, 16,000mAh
GPS 情報取得及びリモート起動用 MiniPC	Windows10 PC
制御マイコン	GR-SAKURA®
センサ	GPS 受信機 BU-353S4 (GLOBALSAT 社製) 圧力センサ (10m 最大) PSE563-01 (SMC 社製) 3 軸地磁気センサ LSM303DLHC (Strawberry Linux 社製)
Wi-Fi 無線モジュール (リモート起動用)	無線 LAN ルータ 2.4GHz

**3.3 本体設計** 今回のロボット製作で一番注意することは防水設計である。ロボット本体に対し, 最小限の加工で最大の防水効果を高めるために円筒を用いた。

円筒形は側面が曲面であり, 水圧に対して力が分散するように働くため変形に対して強くなる。本体の材

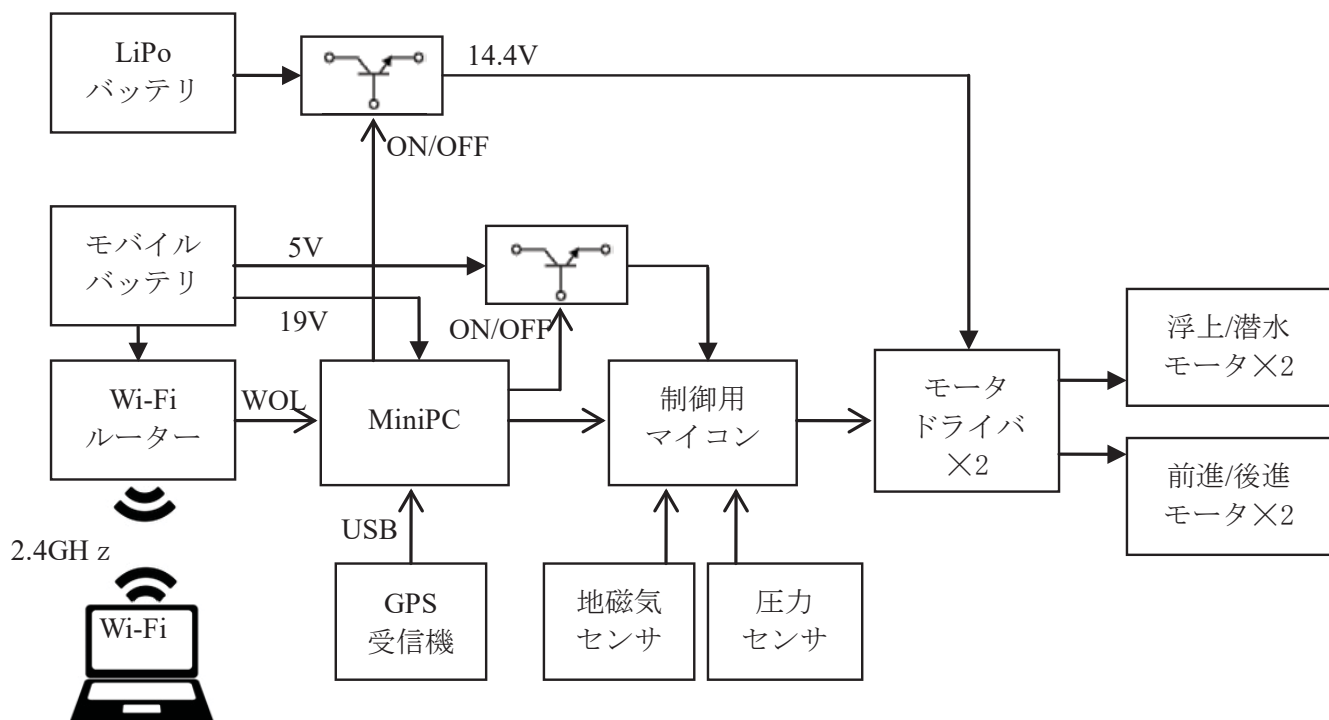


図 3 システム構成図

料には軽量化のためにアクリルパイプを使用した。

アクリルパイプの前後蓋にアルミ製の円柱を加工して取り付け、アルミフレームで前後蓋を固定する構造とした。アルミ製の蓋は海中において本体内で発生した熱を逃がす放熱板の役割も果たす。

また、アルミフレームは前後蓋の固定と併せて、アルミフレームの溝を利用して、バランスを無段階調整で取り付ける役目を果たす。

バランスは、本体前後左右のバランスと浮力調整用に用いる。海洋ロボットの全体を写真1に示す。

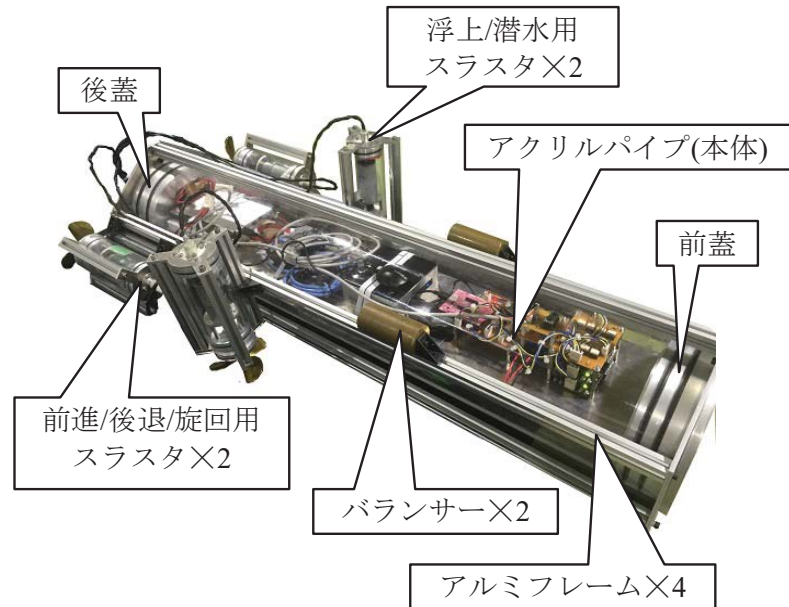


写真1 開発した海洋ロボット

**3.4 本体の防水設計** 本体の防水は、アクリルパイプの前後蓋として用いたアルミ製の円柱にOリング2本を取り付け、さらにシリコングリスをOリングと本体の両方に塗布して防水効果を高めた（図4）。

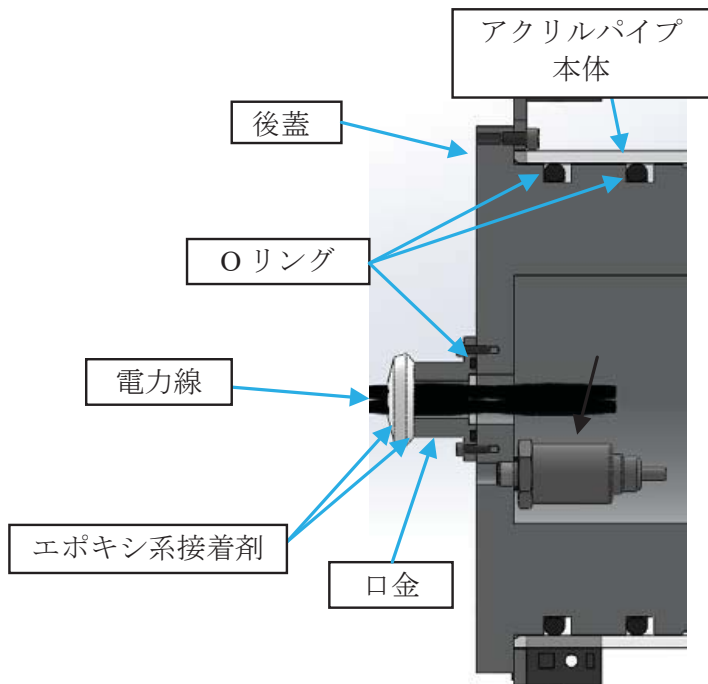


図4 本体後部防水対処方法（断面図）

ロボット本体後部から引き出されるモータ用電力線の防水は、防水コネクタを使用せず専用のフランジを作製して、エポキシ系接着剤をフランジと電力線との間に流し込む方法を用いた。今回の方法は、一時的しのぎ的なもので本来の意味で防水機能に問題がある。防水コネクタを使用しない理由は、高価で予算オーバー

であることと、納期が3ヶ月以上のため話し合いの結果採用を止めた。

**3.5 スラスタ設計と防水設計** ロボットの推進力を得るスラスタ内部は、DCモータ、カップリング、シャフトで構成する。スラスタ本体もアクリルパイプとアクリルパイプ前後の蓋はアルミの円柱を用い、防水にOリングを使用した。

DCモータとスクリープロペラ結合には、カップリングを用いる（図5）。

スクリープロペラの 主軸回転部の防水設計にはオイルシールを用い、それを2重に取り付けて防水性能を高めてある（図6）。

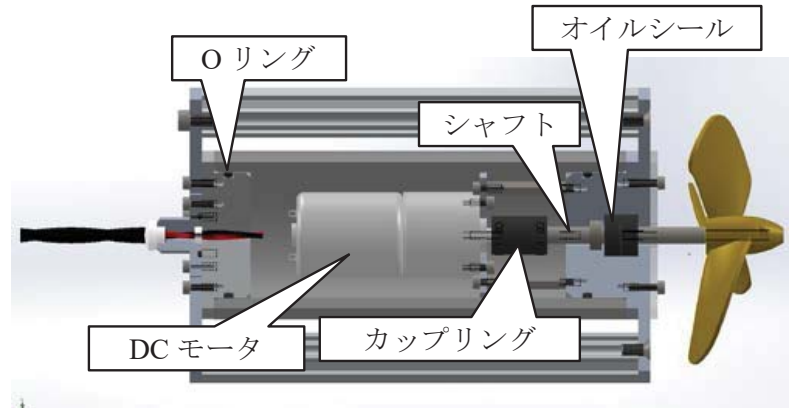


図5 スラスタ全体（断面図）

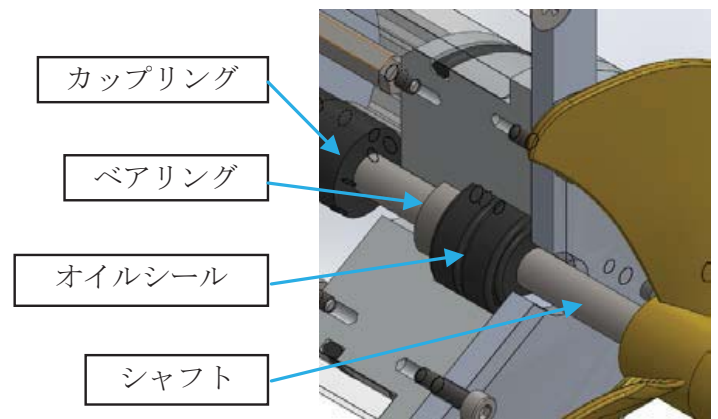


図6 スラスタ、主軸回転部の防水方法（部分断面図）

スラスタの構造は、浮上/潜水用2台、前進/後退/旋回用2台ともに共通の仕様である。

## 4. 制御方法

**4.1 GPSアプリケーション** 大会用に開発したGPSアプリケーションは、MiniPCの中にインストールしてノートパソコンからリモート接続で起動する（図7）。

GPSアプリケーションは以下の三つの機能を持つ。

- ① 大会本部より発表になったブイの位置を示すGPS情報（緯度・経度）の入力及び記憶。
- ② GPS受信機から得られるデータを用いてゴール地点までの距離と方位角を算出し、制御用マイコンに送る。
- ③ 移動した軌跡を記憶する。（受信データ，計算値，移動距離）

作成したGPSアプリケーション画面を図7に示す。



図7 GPSアプリケーション

GPS を用いた 現在地の取得と目的地への到達確認は以下の手順と手法を用いて実現した。先ず MiniPC が GPS 受信機から NMEA0183 規格のデータを受信する。このデータは「\$」で始まり「,」区切られ改行コードで終了する文字列データである。GPS 受信機から受信した文字列データから緯度と経度のデータを抜き出し、Lambert-Andoyer 法[1]を用いて現在地を取得する。

Lambert-Andoyer 法とは、地球を回転楕円体と考え回転楕円体上の 2 地点間の最短距離を計算する方法である。地球球面上の距離  $X$ [km]をから Lambert-Andoyer 法を用いて、球面上の距離と楕円体の距離の差  $\Delta\rho$ [km]を計算する。これに GSR80(Geodetic Reference System 1980)楕円体で規定される赤道半径  $A$ [km]を用いて、2 点間の最短距離  $\rho$ [km]を求めた。

地球の扁平率を  $F$ , 現在地の化成緯度・目的地の化成緯度をそれぞれ  $\phi_A$  [rad],  $\phi_B$  [rad]とする。化成緯度  $\phi$  [rad]と GPS から取得した緯度  $l$  と  $\phi$  の関係を(1)式に示す[2].

$$\phi = (1 - F) \tan l \quad \dots(1)$$

$$X = \cos^{-1}(\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos(L_A - L_B)) \quad \dots(2)$$

$$\Delta\rho = \frac{F}{8} \times \left\{ \frac{(\sin X - X)(\sin \phi_A + \sin \phi_B)^2}{\cos^2\left(\frac{X}{2}\right)} - \frac{(\sin X - X)(\sin \phi_A - \sin \phi_B)^2}{\sin^2\left(\frac{X}{2}\right)} \right\} \quad \dots(3)$$

$$\rho = A(X + \Delta\rho) \quad \dots(4)$$

4.2 地磁気センサ 地磁気センサを用いて電子コンパスを作製した。電子コンパスは方位磁石と同じように地磁気を検出して向いている方向を示す。真北を  $0^\circ$ とし  $0^\circ$ から  $359^\circ$ の方位角で表すようにした。

地磁気センサで X 軸と Y 軸の磁気を検出しその値を方位の角度に計算することにより電子コンパス化した。この電子コンパス自律航行制御に用いている。

4.3 制御用マイコン ロボットの浮上航行時は MiniPC から送られる情報より、本体方位角の補正をおこなう。潜水航行時には横波や潮の流れ等の外乱により本体方位角が目的地の方位角からずれることが予想される。よって、浮上航行の際には GPS 情報と本体内部に搭載された地磁気センサの値を比較し目的地ま

での方位角の補正をおこない、潜水航行時は直進をおこなう (図 8)。

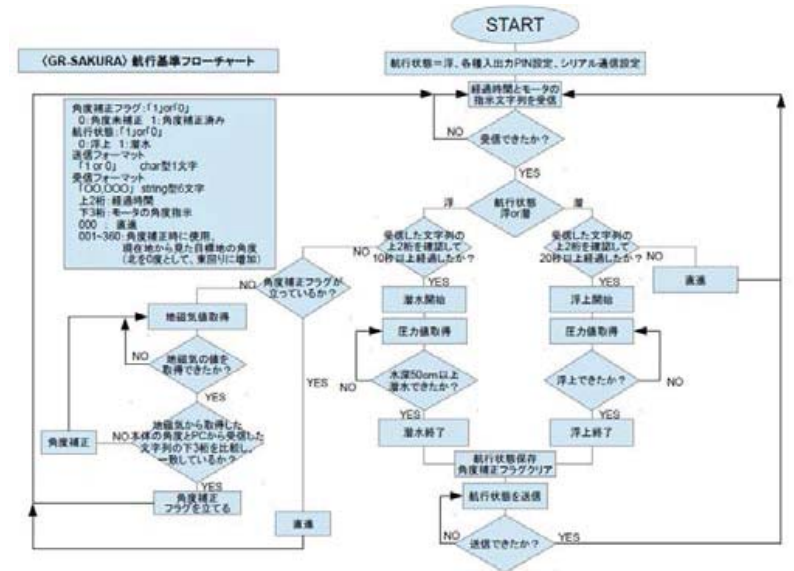


図8 航行フローチャート

## 5. 大会結果

防水をメインとしたロボットは前述のようにハード・ソフト共に完成したが、本体製作に時間が掛かり、9月に設けられた校内での完成確認会には間に合わず、残念ながら競技会への参加は見送りとなった。

## 5. 原因

何故、指定期日までに完成できなかったのか担当学生にヒアリングを行い以下の回答が得た。①競技会への参加ではモチベーションは上がらない。②そのため授業のあるとき時しか取り組まなかった。③異なる課題開発チームは来年の2月までが完成予定の為、ゆっくり行うことに引きずられた。④まあ、何とかなるだろうという甘い考えがあった。が多くを占めた。

## 6. 結言

今回のものづくりの結果より、学生は授業の枠組みの中では「大会出場」や「優勝」などのキーワードだけではモチベーションの向上にならず、単に卒業に必要な単位取得だけに意識が行き、授業時間外に実習の残業はしたくない事が学生との会話で解かった。

ガントチャートを作成させ、計画的に実習を始めたが、「後でやってもなんとかなる」という「学生症候群」が見られたのも事実であり今後の課題である。

## 7. 謝辞

ロボットの講義で御来校頂いた JAMSTEC の吉田様、ロボットの試走にプールを快くお貸し頂きました府立久米田高等学校の皆様には心よりお礼申し上げます。

## 文献

- [1] Lambert, W.D., The distance between two widely separated points on the surface of the earth, Jour. Washington Acad. Sci., 32, 125-130, 1942.
- [2] 測地線航海算法(Geodesic Sailing), <http://www2.nc-toyama.ac.jp/~mkawai/lecture/sailing/geodetic/geosail.html>

(2017年06月29日提出)