

課題情報シート

テーマ	海洋ロボット ROV の設計・製作		
大学校	中国職業能力開発大学校附属福山職業能力開発短期大学校		
ホームページ	http://www3.jeed.go.jp/hiroshima/college/		
電話番号	084-926-2351 (学務援助課)		
訓練課程	専門課程	訓練科	生産技術科
担当指導員	牟田浩樹		

開発（制作）年度・期間

2019（令和1）年度 ・ 10 カ月

（内訳）機体設計：3 カ月、NC 機械加工：5 カ月、組立・調整：1 カ月、試運転など：1 カ月

開発（制作）学生数

6 名

（内訳）Team A：3 名、Team B：3 名

習得した技能・技術

3DCAD を活用した海洋ロボットの機体設計技術（使用材料（A5052 および SUS304）別の強度・応力計算やマスプロパティ計算による慣性モーメント計算等）。JIS 規格準拠の機械製図技術。

NC 機械工作技術（マシニングセンタ、レーザ加工機等を活用）。

開発（制作）のポイント

現場海域で持ち運びし易く設置および運用し易いように、宅急便 160 サイズ（3 辺合計）以内かつ空中重量 20Kg 以下である事。水中重量は簡便な姿勢制御を行うために、中性浮力やや正である事。第 5 回沖縄海洋ロボットコンペティション競技規約に準拠する事。特に、福山能開短大校がある広島県福山市のイメージ「薔薇と蝙蝠」を、地元球団の赤色でナイスに PR する事等です。

訓練（指導）のポイント

3DCAD (SolidWorks2016 教育版) を活用して、トップダウン設計の手順により、構想設計および詳細設計へと進みました。設計した CAD 部品モデルに材料（A5052 や SUS304 等）の割当を行い、質量特性や重心位置を確認しながら、全体の構成を決めさせました。防水処理は定番の O リングによる円筒および平面固定方式を採用しましたが、O リング用溝加工のためにマシニングセンタによる小径エンドミル加工作業が必要になるため、CAM ソフトにより加工前シミュレーションを正確に行わせました。初めての取り組みでしたが、2 チーム間で競争意識を持たせ、完成を目指しました。

開発物の仕様

(Taem A 製作 ROV の主な仕様)

項目	内容
全長×全幅×全高 (mm)	500×420×210 (主に A5052 および SUS304 を使用)
空中重量および水中重量 (Kgf)	12.5 (Failsafe のため中性浮力やや正)
スラスタおよびバッテリー	T200 スラスタ×6, LiPo バッテリー (4 セル 14.8V 18Ah)
制御装置など	Pixhawk 2.4.8 ×1, Raspberry Pi 3B ×1
オープンソースソフトウェア等	ArduSUB 3.5.4, Companion 0.0.18, QGroundControl 3.5.4

使用機器

開発において使用した機器等 「機器名 (メーカー・型番)」

3DCAD (ダッソー・システムズ・SolidWorks 2016 教育版)、CAM (G02cam International・G02cam 6.3)、マシニングセンタ (森精機・NVX5100 II)、レーザ加工機 (澁谷工業・WTS4112)

参考文献

著者名 (発行年) 『著書名』 出版社.
ArduSUB : https://ardupilot.org/index.php/casestudies/case-underwater
ArduSub and the ArduPilot Project http://www.ardusub.com/
後藤慎平 (2019) 『深海探査ロボット大解剖&ミニ ROV 製作』 CQ 出版

海洋ロボットの設計・製作(Team A)

福山職業能力開発短期大学校
生産技術科

1. はじめに

私達が作る遠隔操縦型無人機は、ROV(Remotely Operated Vehicle)と呼ばれ、陸上から遠隔で操縦する海洋ロボットである。

ROVには、海中での移動を可能にするスラスタ(thruster; 推進装置)と、海中の様子を撮影するカメラやライトを搭載した。カメラから送られてくる海中映像を見ながら、陸上にある遠隔用PC(QGroundControl)から操縦者が機体を操縦できる。今回は、小回りの効く軽量かつ小型ROVを目標に設計・製作を行った。図1に製作した海洋ロボット(ISN)を示す。



図1 海洋ロボット (ISN)

2. 設計について

機体の全高が高いと水の抵抗を受けるため、全高を低く設計した。フレームは20mm×20mm(A5052)を採用した。その理由は、金属の中で質量が軽くさびないためである。表1に機体の主な設計仕様を示す。

表1 機体の主な設計仕様

全長(mm)	500
全幅(mm)	420
全高(mm)	210
空中重量(kgf)	12.5
スラスタ、バッテリー	6基 LiPO 14.8V 18Ah
制御装置	FC×1、CC×1

次に、インターネットの浮力シミュレータを参考に浮力を求めた。図2に浮力の計算について(1/2スケール)を示す。

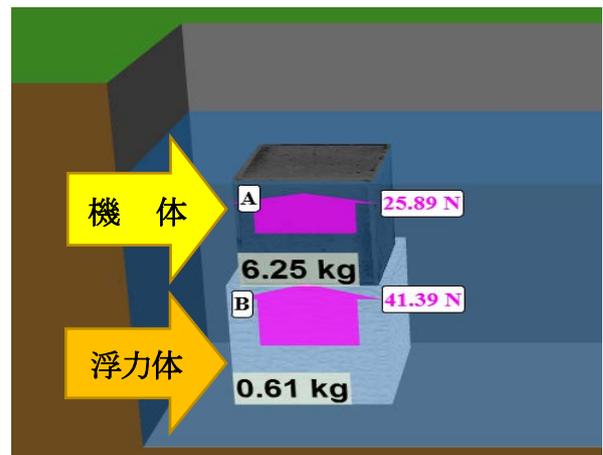


図2 浮力の計算について(1/2スケール)

このサイトは重さ10kgf以上の物は、シミュレーションできないため、機体の重さ12.5kgfの半分の値で求めた。まず、重量12.5kgfをニュートンに単位換算する。

$$12.5(\text{kgf}) \times 9.8(\text{m/s}^2) = 122.5(\text{N})$$

シミュレーションから、機体の浮力である25.89Nの値を本来の数値に戻すため2倍する。

$$25.89(\text{N}) \times 2 = 51.78(\text{N})$$

この2つの式を差し引くと必要な浮力がわかる。

$$122.5(\text{N}) - 51.78(\text{N}) = 70.72(\text{N})$$

上記により機体に必要な浮力が求められた。

3. フレームについて

本体部分とフレームとの固定には、M5のねじを使用した。また、プレートとフレームの固定も同様とした。

実際に組立てたとき、アルミキャップ(t10)と本体まわりの剛性が弱く、持ち上げるとフレームがたわんでいた。そこで、本体の上部と下部に2本ずつフレームを追加し、剛性の強化を図った。

その結果、本体を持ち上げ、荷重をかけてもたわみが軽減され、本体の剛性を強化することができた。

4. 制御方式について

図3に制御の流れを示す。コントローラから入力した信号は、陸上PC(QGroundControl)で処理される。その後、LANケーブル経由で本体との通信制御部であるラズベリーパイからUSBケーブルにより、入力信号がフライトコントローラへ入り、スラスタを駆動する。

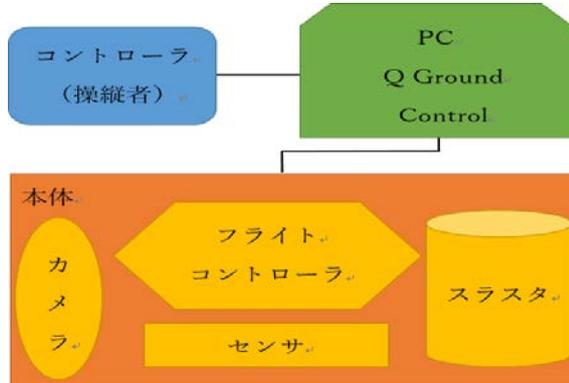


図3 制御の流れ

図4に制御部を示す。図の右側が進行方向である。



図4 制御部

5. オリジナルデザインについて

沖縄で開催された大会で福山市のアピールを合わせて行いたかったため、メインフレームを福山市を象徴するバラと市章であるコウモリによりデザインした。このフレームはSUS304(t3)を採用した。CADでモデリングし、レーザ加工機で製作した。そして、脱脂を行い、カラースプレーを使用し着色した。図5にメインフレームを示す。



図5 メインフレーム

6. 防水について

当初キャップAとキャップBをつなげる接合部は海水の侵入を防ぐため、TIG溶接を予定していた。しかし、繰り返し練習したが、キャップの板厚が10mmだったこともあり、難しいことがわかった。そこで、金属用接着剤を使用しキャップAとキャップBを接着した。しかし、水漏れの試験をすると隙間から水漏れが確認されたため、追加で高機能弾性接着剤を重ね塗りし、防水処理を施した。水を入れ確認したところ、水漏れがなく防水できた。

また、本体が入るPVC(塩化ビニル)、φ140の筒の内部に海水が入らないように、キャップBにOリング用溝を5mmの突切工具を使用して汎用旋盤で加工した。図6に防水処理の様子を示す。

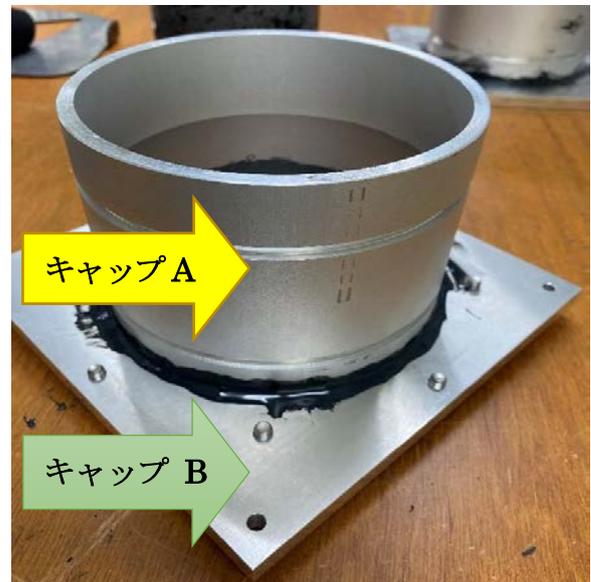


図6 防水処理の様子

7. おわりに

この海洋ロボットの製作は前例がなくゼロからのスタートだったこともあり、予定より部品の作成や発注が遅れ、大会に出場することができなかった事が悔やまれる。しかし、今回の経験から、メンバー間でのコミュニケーションの大切さや、部品が完成し組立てたときの達成感を味わうことができた。

この総合制作実習での経験を就職先、進学先で活かしていこうと思う。生産技術科の先生方及び電子情報技術科の先生方大変ありがとうございました。

参考文献

- (1) https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy_ja.html (浮力シミュレータ)
- (2) 深海探査ロボット大解剖&ミニROV製作 後藤慎平著 CQ出版

海洋ロボットの設計・製作(Team B)

福山職業能力開発短期大学校
生産技術科

1. はじめに

ROV 型の海洋ロボット(以下「ROV」という。)とは通信用ケーブルを経由した映像をもとに、操縦者が陸上から海中の機体の遠隔操作を行う有線型のロボットである。ROV は海中の様子をリアルタイムで観察することができ、主に海底の資源調査や地形調査などに利用されている。今回の総合制作実習において小型 ROV を製作し、2019 年 11 月 9 日、10 日に開催された第 5 回沖縄海洋ロボットコンペティション 2019 へ参加した。その後機体の大幅な改良を行い、海中撮影を試みたので報告する。

2. 機体の主な仕様について

表 1 に機体の主な仕様を示す。製作した ROV は一人で持ち運べるコンパクトサイズとした。また、フレームに板金部品を使用し、空中重量が約 9kgf と軽量化を図った。各部品はシンプルかつ安価なものにし、組立てやすい設計を行った。推進用動力として、正転・逆転可能なスラストを 6 基使用した。

制御部本体は、アクリルパイプ(外径φ120mm×全長600mm 厚さ3mm)を採用した。外部から内部の制御機器の様子を確認できるように、透明なアクリル材を選択した。また、海水の内部への浸水を防ぐため、防水対策として O リング付きプレート(A5052)でパイプを両側から挟み込み、全ねじを使用することによって

密閉する構造とした。さらに、浮力材をあまり使用せず、パイプ自体で大きい浮力を得るために、外径が大きく長いパイプを採用した。

機体の姿勢制御用機器としてフライトコントローラ(以下「FC」という。)を選択した。FC が計 6 基のスラストを制御している。陸上にある遠隔操作 PC(QGC)と ROV 前方に設置してあるカメラの映像を送信するコンパニオンコンピュータ(CC)を採用した。制御プログラムはオープンソースのものを使用した。海中から引き揚げた機体内部には圧力がかかり、プレートの取り外しが難しいので、空気抜きのためベントプラグを設けた。

バッテリー部は制御部本体と同じアクリル材のパイプ(外径φ120mm×全長210mm 厚さ3mm)を使用した。バッテリーはリチウムイオン(LiPo)を使用した。バッテリー部からの電力は、電源ケーブルを介し本体の制御部へ供給している。防水対策及び空気抜き対策は制御部本体と同じである。

フレームには、海洋での使用を考え、ステンレス(SUS304)を使用し、製作のしやすさを考え、フレームは板金加工部品を採用した。さらに軽量化のため、肉抜きを行った。機体の駆動性を考え、スラストを 6 基配置した VECTORED 方式を採用した。

急ピッチで製作したものの機体が完成したのはコンペティション前日であった。

図 1 に製作した機体(Mk-II)を示す。

表 1 機体の主な仕様 (Mk-II)

名称	Mk-II
寸法 (mm)	全幅 500x 全長 600x 全高 350
空中重 (kgf)	約 9.0
スラスト	BlueRobotics 社製 T200 Thruster x6 3 枚プロペラ (正転・逆転可能)
電源	Lithium-Ion-Battery (14. 8V, 18AH)
フライトコントローラ (FC)	Pixhawk
通信用ボード	Raspberry Pi 3B
正面用カメラ	Raspberry Pi Camera Module V2



図 1 製作した機体 (Mk-II)

3. 大会への参加及び結果

私たちは、2019年11月9日、10日に開催された第5回沖縄海洋ロボットコンペティション2019のROV部門に出場した。まず機体の仕様を記載したパネルを利用したポスターセッションは5位であった。次に海洋での競技部門では、事前の筐体検査で水漏れが発覚し棄権となった。結果として、ROV部門で参加した6台中、5位となった。

主な反省点は機体の密閉方法である。アクリルパイプの両端面にアクリルのフランジをアクリル接着剤で固定し、Oリングを取り付けたアルミプレートで挟み込み、固定し、密閉していた。水漏れが発覚したのは、アクリル接着剤で固定していた箇所であった。水漏れの原因として、接着剤の塗りが不完全であったか、機材搬入時に本体に衝撃が加わり、接着剤が剥がれ隙間ができてしまったことが考えられる。

4. 改良した Mk-III について

Mk-IIIは接着剤を使用せず、多少の衝撃が加わっても水漏れしない頑丈な構造に変更し、製作することにした。

Mk-IIではフランジをアクリルパイプの両端面に固定しアルミプレートで挟み込むことにより密閉する方法をとっていた。しかし、この方法では完全に密閉することができなかつたため、Mk-IIIは、密閉方法としてプラグをパイプに挿し込む密栓方式に変更した。

図2にプラグのモデルを示す。

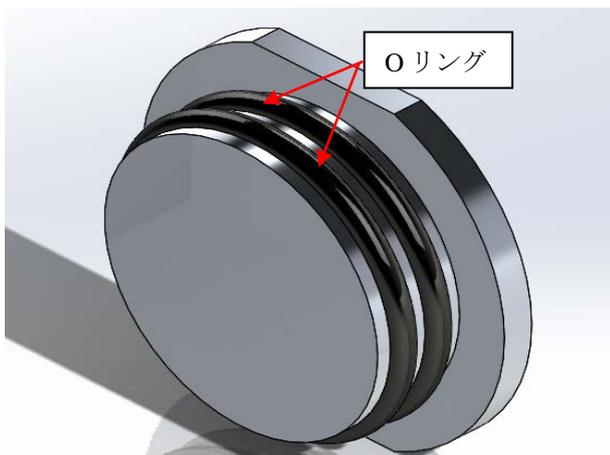


図2 プラグのモデル

Oリングはφ5.7mmで、ニトリルゴムを採用している。プラグはアルミニウム(A5052)を使用している。アルミニウムを選択した理由は、アルミニウムが金属の中でも軽く、加工が容易なためである。

制御部本体・バッテリー部に使用していたパイプはアクリル材からアルミニウムに変更した。透明なアクリル材は、制御機器が外部から確認することができ、制

御機器に不具合が生じた場合に、迅速に対応することができた。しかし、アクリル材では耐久性に欠けるので、頑丈で耐久性のあるアルミニウムが適しているため変更した。

また、Mk-IIでは持ち手を取り付けておらず、運ぶ際に抱え込んで運んでいた。そこでMk-IIIには、機体上面に持ち手を二つ取り付けた。持ち手はアルミニウム(A5052)を使用し、放電加工機・フライス盤を使用し、製作した。

図3に改良した機体のモデル(Mk-III)を示す。

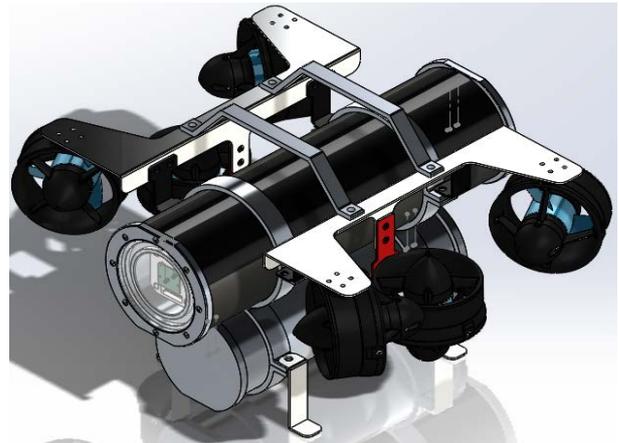


図3 改良した機体のモデル(Mk-III)

5. 試運転について

簡易水槽での航行試験を2月上旬に行う。その後実際に那覇の浦等の海で航行を行い、海の様子を確認・観察を行う予定としている。

6. おわりに

今回のROV製作はゼロからのスタートであった。沖縄海洋コンペティションに参加するため急ピッチで製作を行う必要があった。その中で、事前に綿密なスケジュールを練ったが、予定通りに行動できなかった。そのため、実際に予定通りに行動に移すことの大切さを実感した。また、コミュニケーションの大切さについても実感することができた。今回の総合制作実習では部品の製作にあたり、マシニングセンタ、放電加工機、レーザ加工機等のNC工作機械を使用することで、ものづくりに対する知識と技能を身に付けることができた。今後就職や進学の際には活かしていきたい。生産技術科、電子情報技術科の先生方にはお世話になりました。ありがとうございました。

参考文献

- (1) <https://bluerobotics.com>
- (2) 深海探査ロボット大解剖&ミニROV制作 後藤慎平著 CQ出版社