

地域の海中林を撮影できるロボット開発の教育



実施担当者 北海道函館水産高等学校
教諭 澤田 和之

1 はじめに

水産を学ぶ生徒については、カッターによる漕艇や実習船による乗船、磯採集などを行い海に親しむ機会が多く設けられている。一方で、海の中はどうなっているのだろうかという疑問を多くの生徒が持っている。また、地球規模の環境問題については様々な機会学習する機会がある。一方で地域の環境問題については、問題があることは認識されているものの、現状を正確に把握できていない。これらの疑問について水中ロボット開発を通してアプローチする学習テーマを設定した。新学習指導要領では教科「水産」について水中ロボットの記述がみられ、様々な学習を通して次世代の高校生が求められる問題発見・解決能力等の学習の基盤となる資質・能力の育成を行う事が示されている。しかしながら、本校では適切な教材がなく、教育者も揃っていない現状がある。また、本校は渡島地区唯一の水産高校として地域の海の状況を地域に伝える役割を求められている。そこで AI・ロボット・IoT・ビッグデータが牽引する第4次産業革命の先に見据えた Society5.0 の社会に繋がり、地域の海を撮影・観察できるロボットを、各教科・科目等の特質を生かし教科等横断的な視点から、開発・製作し、得られたデータを教材とすることを目指している。そこから海洋の諸問題を発見し、その問題を定義し解決の方向性を決定し、解決方法を探して計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていくこと（問題発見・解決）や、情報を他者と共有しながら、対話や議論を通じて互いの多様な考え方の共通点や相違点を理解し、相手の考えに共感し多様な考えを統合して、協力しながら問題を解決していく能力を身につける活動を考えた。

2 実践内容

2-1 背景と目的

北海道函館水産高等学校は人口4万6千人、農業と漁業が基幹産業の北海道北斗市にある渡島地区唯一の水産高校であり、学校の前には七重浜の海が広がっている。北斗市七重浜にある上磯郡漁協上磯地区の漁業は地先における定置網漁業、磯漁業などであり、漁獲される主な魚種は、定置網でとるサケ・イワシの他、突き採り漁業で行うホッキ貝

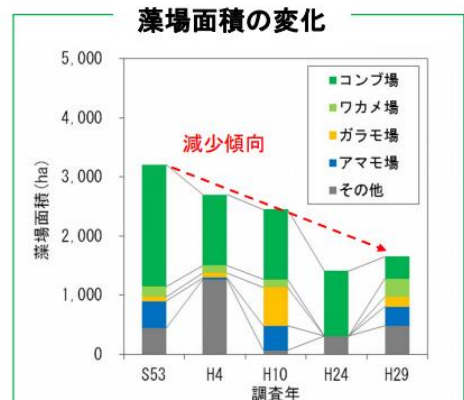


図1 津軽海峡付近の藻場面積の変化

がある。上磯地区の年度別水揚げ実績をみると、10年間でイワシ、サケ、ホッケ、ホッキ貝などは半分以下に減少している。いわゆる地先の魚の水揚げ量が大きく減少している。この水揚げ量減少の原因については、海水温度の上昇や藻場の減少があげられる。七重浜海岸を含む津軽海峡付近の藻場面積は、図1をみると20年間で半分近くまで減少している。藻場は海底に広がる海藻の林や森のことで魚にとって住処となり餌場となり産卵場となるため重要である。ところが現在、この藻場が枯れる磯焼けという現象が日本全国的に起こっており、津軽海峡付近でも進行している。函館湾の東側は船舶の交通が激しいことやフェリー定期航路となっているために調査が行われていない。海水温度の上昇が原因といわれる磯焼けは津軽海峡全域で起こっていることから七重浜海岸の藻場も減少している可能性が高く、これが水揚げ量の減少につながっていると考えられる。この現状が続くと地域の環境と水産業の未来が心配である。

これを地域の環境・地域の水産業の問題として理解し、自分達が各種の水中ロボットを開発・製作できる可能性があること、水中ロボットであるROV (Remotely operated vehicle) を製作し七重浜海岸の沿岸域を観測すること、観測したデータを環境保全や水産業に活用して地域社会に生かすことを確認した。

2-2 シースワロー・プロジェクト

昨年度は、水中ロボットの開発として遠隔操作型広海域探査無人潜水機である無人機のゼロから、マリンゼロ・プロジェクトと名付け開発研究計画を行った。設計コンセプトの概念設計(機能・仕様)を、七重浜海岸の藻場の調査に必要な①広い海域を調査するため巡航性能に優れること、②高画質の動画撮影が可能なことの2点とした。これを実現するための基本設計(構造・形状)として水中ロボットの種類の中でも巡航性能に優れるクルーズ型ROVを選択し、魚雷型の細い船型で水の抵抗を減らすこと、カメラ部、サイドスラスタ部、制御・バッテリー部、メインスラスタ部の4つに分けたユニットモジュール方式として生産性を高めること、推進効率を高めるためメインスラスタは低回転の大直径プロペラとオリジナル軸封装置を、細い船型のためサイドスラスタはV型交互配置とした。高画質の動画撮影の観点から4Kの動画撮影が可能なカメラを搭載した。結果として開発・計画には成功したものの、最大の利点である細い船体は最大の欠点となった。細い船体のユニットモジュール方式は余裕空間が小さく、分解パーツが多く、入水観測毎に多くの整備を必要とした。密閉性が高いことから制御部ユニット内が長時間使用することで高熱になったこと。また、海での運転走行の結果から、一軸右回り大直径プロペラのため、機体が左へ偏針したこと、細い船体とV型交互配置サイドスラスタは旋回性が悪いばかりか、旋回時に機首が下を向き撮影に支障をきたし操縦を難しくした。タッチパネル操縦スイッチの応答性が良くなかった。といった主として構造に関する改善項目が導き出された。広い範囲の探査に特化した性能要求をみたしたものの、これらの欠点はROV本来の任意に定点を観測できる利点を喪失させた。これらの反省と最終目標を地域の海中林を撮影することに設定したため、広い範囲と定点を細かく探査できる両方の機能を持った水中ロボット必要であると考えた。

今年度の開発・製作の方法として設計コンセプトの概念設計(機能・仕様)は、七重浜海岸の藻場の調査に必要な①広い海域を調査するため巡航性能に優れること、②高い実用性を持つことの2点に絞ることとした。開発するROVを鳥にたとえ、海を渡り小回りの利く小鳥のイメージから「海燕」と命名した。また、この「海燕」でアマモ場を撮影する計画を「シースワロー・プロジェクト」と名付けROVの開発・製作を開始した。

2-3 開発・製作の方法

開発・製作の基本設計(構造・形状)として水中ロボットの種類の中でも運動性能に優れるホバリング型ROVを選択した。船体抵抗を減らし運動性能を確保するため、形状として外観は船体前部をクルーズ型に船体後部をホバリング型に設計した。構造としては、魚雷型船体をカゴで囲って

モーターを配置している。魚雷型の細い船型は水抵抗を減らすことに効果が高い。また、スラスターは複数で間隔を空けた配置である方が運動性を高くなることから、水抵抗は少々増加するが、巡行性能と運動性能を両立させるためこの配置とした。

詳細設計（寸法・材質）として、機体の小型化（80%サイズ：全長 80 cm）、機体の 90% にアルミ素材を採用することで軽量化を図ることとした。また、限られた時間と予算で、すべてを満たした ROV の開発研究することはできないと判断し、ROV の開発研究の目的を市販品の組合せ・応用で巡航・実用性能を高めることに絞ることとした。

研究の内容（製作）として巡航性能を向上させるため、船体の水抵抗の軽減の他、アンビリカブルケーブルの抵抗の軽減を考えた。水中では電波が減衰するため、ROV では操縦信号や給電はアンビリカブルケーブル（有線ケーブル）で行っている。

海洋研究開発機構で使用されている ROV も、有線ケーブルの水中重量が ROV の機体重量とほぼ等しく、長い有線ケーブルが ROV にとって重量物となっていることがわかる。この有線ケーブルが潮流の影響を受けると負荷は何倍にもなる。そこで本研究では、有線ケーブル重量軽減のため、ROV 本体を内蔵電源式とすることで、有線ケーブルに電源を通さず、Wi-Fi 規格の映像信号と操縦信号のみとした。しかし、ROV の探査範囲を広げるためには長い有線ケーブルが必要になる。市販品の有線ケーブルで入手しやすい 50m LAN ケーブル（カテゴリ 6）を使用することとした。操縦信号でモーターを動作させるためには、操縦信号という小さな電流で、モーターに使用する大きな電流のオン・オフをコントロールしなければならない。これを制御するのがリレー回路である。リレー回路について、半導体を使用する MOSFET リレー、磁石を利用するメカニカル・リレーが考えられるが、制御用コントロール BOX の密閉性が高く、短時間の使用でも高温になることから MOSFET リレーよりも発熱量の低いメカニカル・リレー（3V 小型リレー：946H-1C-3D）を使用した。このリレーパーツ 1 個につき 2 つの RE-280RA モーターを組み合わせ、両舷用各 4 基、潜降用 4 基のモーターを配置した。リレーパーツやコンデンサー、モーターへの配線についてはブレッドボードを使用することで、設計の自由度を高めた。このリレーパーツの動作温度：-20℃～40℃であるため、ROV を長時間使用するためには、コントロール BOX の冷却を考える必要がある。ROV が接する海水を冷却水として利用できないかと考えた。船舶用の冷凍機を参考に、海水による自然循環式としたプレートフィンチューブ式熱交換器をコントロール BOX に組み込み、小型ファンでコントロール BOX 内の空気を循環することとした。

組立て後、防水テストを実施したが、3 回漏水し、4 機分のコントロール BOX を製作することとなった。漏水箇所はプレートフィンチューブ式熱交換器とコントロール BOX の接続部であった。

完成後、5 回にわたって ROV「海燕」を用いて七重浜海岸で藻場撮影を行った。1 回目の海中撮影において砂浜の海底からアマモ場を探すことは困難を極めたが、どうにかその位置を特定することができた。2 回目以降からは撮影・観察を実施することで、研究目標を達成することができた。

また、完成後にコンデンサーや抵抗を配線し直し、回路の変更を実施した。

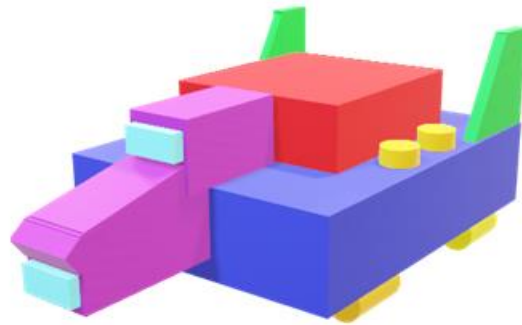


図 2 設計コンセプトのイメージ

2-4 研究発表

研究の成果発表として、はこだてみらい館が主催する「はこだて海のみらい展」で ROV によって撮影した海中動画を展示した。水中ロボットコンベンション in JAMSTEC2021（オンライン）一般フリーの部（一般・大学生・高専生等）で 5 位の結果を出すことができた。大会等から改善点を見出し、思考力、判断力、表現力を向上させることができた。



写真1 ROV 製作



写真2 研究発表



写真3 海中撮影



写真4 水中ロボコン発表

3 まとめ

今回の研究では、広い海域を調査するため巡航性能に優れ、高い実用性を持つ ROV をどのように作り出すかについて考察し、LAN ケーブルを転用したアンビリカブルケーブルの採用や自由度の高い回路設計、コントロール BOX の冷却システムについての技術導入ではよい結果を得ることができた。また、海洋研究開発機構の澤主任研究員に製作した ROV について講評をいただき専門家の意見をいただき改善に繋げることができた。また七重浜海岸で藻場撮影については、5回実施し、アマモの海中撮影、アマモ場の位置特定を行うことができた。また、メンテナンスについては、ROV 本体の水洗いとバッテリーの充電程度で使用できたことから高い整備性を実証することができた。試験水槽や海での運転走行の結果から、①更なる推力の向上②航走時間の向上③センサーの増設の必要性といった改善項目を導き出すことができた。

次年度は設計コンセプトにこれらの改善項目を盛り込んで観測項目を増やした ROV を再度、開発・製造し七重浜海岸の藻場撮影を試みたい。

謝 辞

この研究は公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成により実施することができました。感謝申し上げます。