

ダイバーニーズを具現化したUSV 「海洋ごみ運搬ロボット」の開発 ～SDGs14の達成に向けて～

九州職業能力開発大学校 寺内 越三, 牟田 浩樹, 久場 政洋, 岡田 正之

海洋環境団体 Mr.DIVER 福田 佑介

1. はじめに

海洋ごみは、海洋環境の悪化や海岸機能の低下、景観への悪影響、船舶航行の障害、漁業や観光への影響など、様々な問題を引き起こしている⁽¹⁾。海洋ごみの約8割は陸域起源で、陸で発生したものが河川を伝って海に流出したことがわかっており^(2,3)、全国各地では海洋ごみ問題の周知啓発と、海洋ごみの流出を少しでも防ぐことを目的に、街頭清掃活動や海岸清掃活動が実施されている⁽⁴⁾。

九州職業能力開発大学校応用課程生産システム技術系では、2004年度から開発課題実習において、海中ロボットの開発に取り組んできた。2020年度からは、テーマ名を「海中作業用ロボットの開発」と定め、マリーナに海上係留されるボートの船底をROV (Remotely Operated Vehicle) に内蔵したカメラで撮影し、操作者に映像を配信する「船底点検ロボット」など、地域社会で活躍する実用的な海中ロボットの開発に取り組んでいる。2022年度に開発した船底点検ロボットを図1に示す。

2022年4月、海中ロボット技術を用いて海洋ごみ問題に取り組む中で、海洋環境団体 Mr.DIVER (代表: 福田佑介) に出会った。Mr.DIVERは、海洋環境の改善と海洋ごみ問題の啓発を目的に、北九州市の観光地などで水中清掃活動を行っている。水中清掃とは、ダイバーが河川や海中に潜水し、不法投棄された大型ごみや生活排出された小型ごみの収集を行う活動である。水中清掃活動を図2, 3に示す。小型ご

みを回収する際は川底まで潜水し、収穫ネットにごみを拾い集め一定量たまったところで浮上し、川岸まで泳いで運搬する。川岸までは10mから50mを往復する必要があるため、ダイバーは体力を消耗し、作業効率は低下する。そこで、ダイバーが浮上後、回収したごみを浮上地点から川岸まで運搬するロボットがあれば、ダイバーは水中作業に集中することができ、水中清掃活動の効率化を図ることができる。

以上から、本課題では海洋環境の改善と海洋ごみ問題の啓発、水中清掃活動の効率化を目的に、ダイバーを支援するUSV (Unmanned Surface Vehicle) 型の遠隔操作型舟型協働ロボット「海洋ごみ運搬ロボット」を開発することを目標とした。

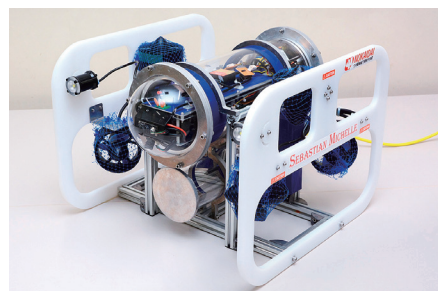


図1 船底点検ロボット



図2 水中清掃活動 (潜水作業)



図3 水中清掃活動（陸揚げ作業）

2. 地域の海洋ごみ問題とMr.DIVERとの出会い

2022年3月、海中ロボット技術を用いて海洋ごみ問題に取り組む中で、角島のことを知った。角島は、山口県下関市豊北町にある島で、青い海に囲まれながら角島大橋で島に渡ることができる絶景観光地である。角島を図4に示す。しかし、環境省が令和元年（2019）に実施した海洋ごみ調査により、角島は全国で最も多量の海洋ごみが漂着している地点であることが明らかになった。

3月16日、筆者（寺内）と岡田特任教授は角島に向かい、角島漁協了解のもと、環境省の調査が行われた北田の尻漁港海岸を視察した。角島の海洋ごみを図5に示す。丸石が集積する海岸には、多量の海洋ごみが打ち上げられていた。海岸線500mに渡り、養殖用フロートや漁網、ロープ等の漁具、材木や薬品ボトル、ペットボトル等、水に浮き海流で運ばれやすい海洋ごみが漂着していた。

角島の現状を目の当たりにしながら、将来の実証実験に向けて北九州市沿岸の海洋ごみホットスポットの調査を進めた。進める中で、昨年北九州市で「海のお掃除プラント&ロボット夢コンテスト（以下、「海のお掃除ロボコン」という。）」が開催されたことを思い出した。海のお掃除ロボコンは、海洋ごみの回収と海洋汚染の改善をテーマに、海洋環境を改善するロボットのアイデアを自由に表現するコンテストである。

コンテスト開催報告書の中から、Mr.DIVER福田佑介氏のアイデアが目にとまった。福田氏は、ダイビングインストラクターや潜水士の経験を生かして、河川ごみ回収ロボットのモデルを提案すると共

に、北九州市小倉北区を流れる紫川にごみフェンスを設置し、河川ごみ回収の実証実験を行っていた。

その後、TwitterやInstagram、YouTubeからMr.DIVERが北九州市内で水中清掃活動に取り組んでいることを知り、代表の福田氏に北九州市沿岸の海洋ごみの現状をヒアリングするために連絡を取った。



図4 角島



図5 角島の海洋ごみ

3. 水中清掃活動とロボットによる支援方法

4月14日、福田氏に來校していただき、水中清掃活動について伺った。

Mr.DIVERは、10余名からなるボランティアダイバーチームで、「2050年の未来の海を守るチーム」として、2019年から北九州市小倉を代表する紫川や、人気観光地である門司港レトロ等、多くの人の目を引く場所で水中清掃活動を行っている。

水中清掃活動は水深3mから5mの川底や海底で行われる。川底には不法投棄された自転車や車のタイヤ、バッテリー等の大型ごみや、瓶、缶、ペットボトル、財布等の小型ごみが広範囲に散乱している。視界が1mもない水中で、大型ごみは浮揚バッグを取り付け水面まで浮上させ、小型ごみは10kgまで

輸送できる収穫ネットに拾い集める。各種ごみは、ダイバーが川岸まで泳いで運搬する他、SUP（Stand Up Paddleboard）やカヤックに乗った水上スタッフが舟にごみを載せ、手こぎで川岸まで運ぶ。運んだごみを水中から岸に引き上げる際は、ごみに生じていた浮力が無くなるため、陸上スタッフも重労働を強いられる。

福田氏から、2022年度は10月22日に紫川清掃活動が実施されることを聞き、半年後の水中清掃活動に向けて共に協力しながら、清掃活動を支援するロボットを開発することを約束した。

後日、実習テーマに配属した15名の学生にサブテーマを選択させ、生産機械システム技術科（以下、「機械科」という。）から2名、生産電気システム技術科（以下、「電気科」という。）から2名、生産電子情報システム技術科（以下、「電子情報科」という。）から2名の学生が、ロボットの開発を担当することになった。

5月17日、再度福田氏に来校していただき、今度は開発担当学生から水中清掃活動の詳細と開発するロボットへのニーズについてヒアリングを行った。ヒアリングの様子を図6に示す。



図6 ヒアリングの様子

清掃活動は約2時間を予定する。清掃範囲は紫川水上ステージ（川上）から水環境館（川下）までの400mの水域で、川幅は50mから60mある。これまでは、カヤックに10kgの収穫ネットを2袋載せて川岸まで運び、水面から川岸まで0.5mから1m程袋を持ち上げていた。

福田氏からは、ロボットの本体には波乗りを使うボディボードが浮力材として利用できると提案していただき、また要望として、高速で回転するスラスタに手指や物が巻き込まれないように巻き込み防止

ネットを取り付けてほしい、ロボットの現在位置を潜水中のダイバーに示すために水中ライトで下方を照らして欲しい、ロボットの付近でダイバーが潜水中であることを示すために、潜水旗を掲げてほしいというダイバーへの3つの安全対策が挙げられた。加えて、親しみやすく覚えやすいロボット名をつけてほしいと告げられた。

その後、紫川清掃活動に求められる仕様と応用課程の習得技術要素を盛り込み、ロボットの機能要件を定義した。ロボットの本体は、ボディボードをボートフェンダー用フロートで前後から支え、上部に背の低いメッシュコンテナを載せ、下部に4つのスラスタをハの字に配置し構成する。そして、コンテナに20kgのごみを載せた状態で断続的に1時間以上稼働できること。ゲームパッドによる遠隔操作と200m以上の無線通信により、前後左右への移動と旋回ができること。ロボットの緯度、経度、方位、前方映像について、50m以上の無線通信により遠隔監視ができること。そして、ロボットが浸水したり、転覆したりする恐れがあるため、制御回路とバッテリーは水密容器に収めることとした。また、1時間の活動時間で、一度に10kgのごみを運搬することを10回繰り返し、合計100kgのごみを運搬することを目標とした。

続いて、ロボットによる水中清掃の作業支援手順を立案した。作業支援手順を図7に示す。はじめに、ダイバーとロボットが入水する。次に、ダイバーが川底のごみを収穫ネットに回収する。その後、ダイバーが浮上しロボットのコンテナに収穫ネットを載せる。最後に、ロボットを川岸に寄せ、陸上スタッフが、船を引き寄せるのに用いるボートフックに収穫ネットを引っ掛け、川岸に引き上げる。

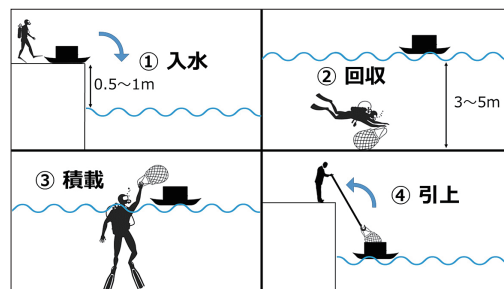


図7 清掃支援手順

4. 試作品の披露と学内プールでの実演

機能要件をもとに、機械科では本体を、電気科では無線通信とモータ制御回路基板を設計製作し、電子情報科では920MHz帯の無線通信実験などを行った後に遠隔操作ソフトウェアを作成し、ロボットを試作した。試作品を図8に示す。

7月20日、福田氏に向けて試作品を披露し、デザインレビューを実施すると共に、学内プールで実演を行った。また、この日からNHK北九州による密着取材撮影が実施された。

はじめに、実機と共にロボット名「海の宅配便」が披露され、次に、ロボットの基本仕様と2カ月間の各科の成果を説明し、レビューを行った。その後、学内の自作プール（全長7.2m、幅1.8m、水深0.7m）で5kgの重りを載せて航行するなど、実演をした。学内プールでの実演の様子を図9に示す。

レビューでは、ダイバーへの3つの安全対策に加えて、アルミフレームの先端にけが防止キャップを取り付ける等、細やかな対策を確実に講じることが確認され、実演では、ダイバーがごみを積載する際にフロートをつかむことが想定されるため、ロボットの浮力や浮上バランスが確認された。

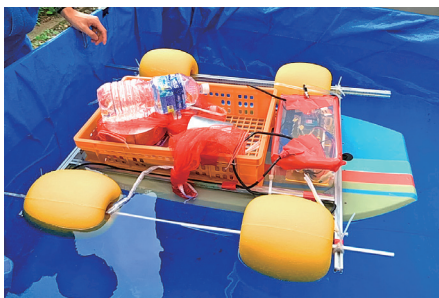


図8 試作品



図9 学内プールでの実演の様子

5. 試作品の改良とマリーナでの実演

9月30日、福田氏と共に新門司マリーナの1号桟橋で、改良した試作品を用いて紫川の流れを想定した航行実験を行った。改良品と開発メンバーを図10に、マリーナでの取材撮影の様子を図11に、マリーナでの実演の様子を図12に示す。

はじめに改良点として、ごみを載せやすいようにフロートの配置を変更したこと、Google Mapに現在位置を表示する遠隔監視画面を作成したこと、潜水中を示す潜水旗を掲揚したことを説明した。

次に、潮の流れがある中で、目的地に向けて航行できることを実演した。当日は中潮の引き潮であったが、風もなく流れは緩やかであり、ロボットを20m離れた流れのある海域まで航行させたが、潮に押し流されたり、無線通信が途切れたりすること無く、ゆっくりではあるが確実に航行することができた。途中、ロボットにつけていた命綱がスラスタに巻き込まれるというインシデントが発生したため、改めてダイバーへの安全対策の必要性を再確認することができた。



図10 改良品と開発メンバー



図11 マリーナでの取材撮影の様子



図12 マリーナでの実演の様子

6. 紫川清掃活動 実証実験

10月22日、北九州市小倉北区の勝山公園前艇庫前にて、北九州市立 水環境館主催による「第4回くいとめろ大作戦！」が開催された。当日は市民ボランティア20余名、ボランティアダイバー10余名が川岸と水中を清掃する中、実証実験の機会を得た。

ロボットはこの日までに、通信制御回路が水密容器に収められ、巻き込み防止ネットや水中ライトなどの安全対策が講じられた。開催前には、紫川で初めての試験航行を行ったが、その川の広さと流れの速さに圧倒され、航行速度が出ないことに不安が感じられた。

清掃前のオリエンテーションではダイバーの方々から、接近時にはスラスタを止めてほしい、転覆時はどうすれば良いか、触れてはいけない箇所はどこか、漏電対策はしているのかなどの意見や質問が上がり、それぞれ学生から回答し、理解を得た。

13時40分にロボットを川に浮かべ、6分後にダイバーから最初の運搬要請が入った。浮上地点にロボットを近づけると、ダイバーはフロートに手を掛けながら姿勢を保ち、ロボットには空き缶やペットボトル、弁当容器が入った収穫ネット2袋が載せられた。その後、ロボットを川岸に近づけ、学生たちにより袋が引き上げられた。コンテナにごみを載せるダイバーを図13に、ごみを運搬するロボットを図14に、ボートフックでごみを引き上げる学生を図15に示す。

続いて2度目の運搬要請が入り、再度浮上地点に近づけた。今度は1m四方のトタン板が載せられた。しかしその後、川岸への運搬中、川の中央で突然ロボットが停止し遠隔操作ができなくなってしまっ

た。やむを得ず、SUPに乗っていた福田氏にロボットを曳航してもらい、岸に引き上げた。

引き上げてみると、制御回路が収められたアクリル容器が焦げて溶けていた。容器を開け回路を観察すると、バッテリーと接続するケーブルの被覆が溶け、心線が溶断していた。その場でなすすべはなく、不本意ながら実証実験は終了した。

本実証実験では、一度だけ清掃支援手順に沿って海洋ごみを運搬することができた。しかし、目標であるごみ運搬を10回繰り返す、清掃範囲の終点となる水環境館にたどり着くことはできなかった。ロボットの活動時間は15分だった。

清掃活動の後、ダイバーの方々からは、思った以上にロボットが安定して浮いており、フロートをつかんでも安心して作業ができた点や、100kgまでの荷物を載せ、流れのある川を自由自在に行き来できるのであれば、海水浴場などで人命救助を行うロボットも開発できるのではないかなど、ダイバー経験を生かした前向きな意見を頂けた。

後日、事故発生の原因追求を行った。原因は紫川の流れに対応するために実証実験直前にスラスタの最高速度を上げた事。そして、Li-Poバッテリーと接続するケーブルの許容電流が低かった事であった。その後に行ったスラスタの負荷試験からも、モータ電流がケーブルの許容電流を大幅に超えていたことがわかった。

この日までのロボット開発の工程は、NHK北九州により密着取材撮影され、11月17日に「ニュースブリッジ北九州」で北九州地区に向けて、11月24日に「おはよう九州沖縄」で九州、沖縄地域に向けて、2023年1月4日には「おはよう日本」において、全国に向けて放送された。



図13 コンテナにごみを載せるダイバー

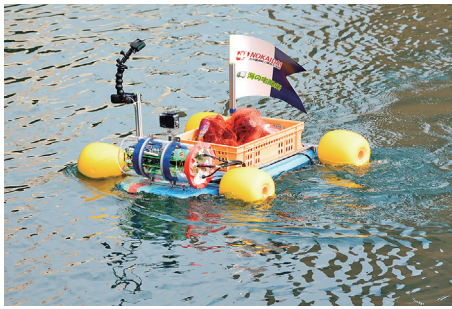


図14 ごみを運搬するロボット



図15 ボートフックでゴミを引き上げる学生

7. 海のお掃除ロボコンへの応募と受賞

紫川清掃活動に向けてロボットを開発すると共に、本取り組みの内容をまとめ、海のお掃除ロボコンへ応募した。応募に際しては3分間のロボット紹介動画を作成し、機械、電気、情報分野の設計図と共に送付した。紹介動画では、ロボットの概要、開発に至った経緯、清掃支援手順、開発の実現可能性と各科の進捗、動作の様子などをアピールした。紹介動画のオープニングを図16に示す。



図16 紹介動画のオープニング

その後事務局から、入賞した旨の連絡があり、最終審査に向けて新たに2分間の紹介動画を作成した。今度は、紫川清掃活動における実証実験の様子と、ダイバーとロボットが協力することで海洋ごみ

を回収することができたことをアピールした。

11月20日、審査の結果、開発担当の学生たちは最優秀賞「Sea Cleaning賞」を受賞することができた。表彰式の様子を図17に示す。



図17 表彰式の様子

8. おわりに

海洋環境団体 Mr.DIVERが取り組む水中清掃活動の効率化を目的に、ダイバーを支援する遠隔操作型舟型協働ロボット「海洋ごみ運搬ロボット」を開発した。

半年間に渡り学生たちは福田氏と交流を重ね、紫川水中清掃活動に特化し、ダイバーの安全に配慮したロボットを開発することで、ダイバーニーズを具現化することができた。さらに、ダイバーとロボットの協働作業の様子は報道され、高い評価を受けた。

今後も、海洋環境の改善と海洋ごみ問題の啓発のために、Mr.DIVERと共に水中清掃活動を支援する協働ロボットを開発して行きたい。

<参考文献>

- (1) 環境省: 令和元年版 環境・循環型社会・生物多様性白書 (2019)
- (2) 公益財団法人かながわ海岸美化財団: なぎさのごみハンドブック (2011)
- (3) 日本財団・日本コカ・コーラ株式会社: 陸域から河川への廃棄物流出メカニズムの共同調査 (2020)
- (4) 日本財団: 海ごみゼロウィーク (<https://uminohijp/umigomi/zeroweek/>)

本文中で使用した会社名、製品・サービス名は、各社の商標または登録商標である。