

水中環境情報取得を目的とした全方向水上移動ロボットの開発

○ 榎本 裕次郎 (東北大学), 比嘉 翔弥 (東北大学), 山内 元貴 (東北大学),
永谷 圭司 (東北大学), 武村 史朗 (沖縄高専), 川端 邦明 (理化学研究所)

Development of a Omni-Directional Mobile Robot on Water for Underwater Environmental Information Acquisition

○ Yujiro EMOTO (Tohoku Univ.), Shoya HIGA (Tohoku Univ.), Genki YAMAUCHI (Tohoku Univ.),
Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.), Fumiaki TAKEMURA (Okinawa National College of Technology),
Kuniaki KAWABATA (RIKEN)

Abstract : The radiation leakage accident occurred at Fukushima Daiichi nuclear power plant on March 11, 2011. The radiation contaminations were appeared not only in the air, but the sediment of ponds in Fukushima area. However, at present, it takes a long time to measure the radiation measurements because the measurement has been done by humans. In addition, there is a risk that the man is slipped to the contaminated ponds from the boat. Therefore, mobile robotic technologies for radiation measurements are currently required. In this research, we aim to develop a mobile robot on the surface of water to measure radiation level at the bottom of contaminated ponds. It requires omni-directional surface mobility on water and tethered measurement system underwater. In this paper, we explain a developed mobility system and initial experimental results.

1 緒言

2011年3月11日, 東日本大震災により, 福島第一原子力発電所の放射性物質漏れ事故が発生した。これにより, 該当地域を中心に放射性物質濃度が高くなり, 被ばくの危険性から, 現在も人の立ち入りが禁止されている区域が存在する。その影響は, 福島県内のため池にも表れており, 平成25年4月の農林水産省農村振興局の報告によると, 計測が行われた32箇所のため池の底質の内, 2箇所のため池では, 放射性セシウム濃度10万Bq/kg以上が計測された [1]。

福島県内には, ため池が約3700箇所あり, 他にも汚染されたため池が多数存在すると予想される。しかしながら, 現在, このため池の池底の放射性物質濃度の計測作業は人の手で行われているため, 多大な労力と時間を要する。また, 作業員がボートからため池に転落し, 被ばくする危険もある。これらの理由から, ため池の放射性物質濃度を中心とした水中環境計測作業のロボットによる自動化に, 大きな期待が寄せられている。

水中環境情報の計測を可能にする手段として, Fig. 1に示すように, 水中移動ロボットを用いる方法が挙げられる。この例として, TUNA-SAND [2]やr2D4 [3]といったロボットが挙げられ, これまでに, 海底の調査やサンプリングが行われてきた。

しかしながら, 水中は, 電磁波の減衰が大きいためGPSを利用することができず, 計測地点の正確な位置を獲得することが難しい。これに加え, 特に池底の計測地点に接近する際, スラスタが高濃度の放射性物質を含む土砂を巻き上げてしまい, 水中環境の正確な計測を行うことが難しくなることも予想される。一方, 水上移動ロボットは, GPSが利用できるため, 水面における正確な位置情報を獲得で

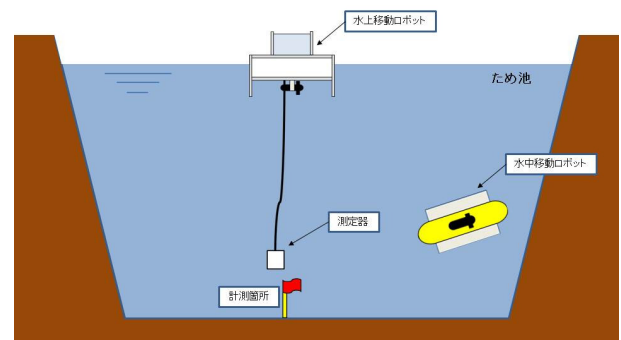


Fig. 1: Means of measurement of underwater environmental information at reservoir

きる。よって, 測定器を取り付けたテザーの長さを測定することで, 池底の計測地点の正確な位置を獲得できると考えられる。ただし, このためには, 計測地点に一定時間停留する能力が求められる。

水上において定点に停留するためには, 波や風などの外乱の影響を補償するため, 全方向移動が可能であるシステムが望ましい。そこで, 本研究では, 放射性物質濃度を中心とした水中環境情報取得を目的とした, 全方向移動可能な水上移動ロボットシステムの開発に取り組むこととした。本稿では, 開発したロボットの構築システムと動作試験について述べる。



Fig. 2: Path planning

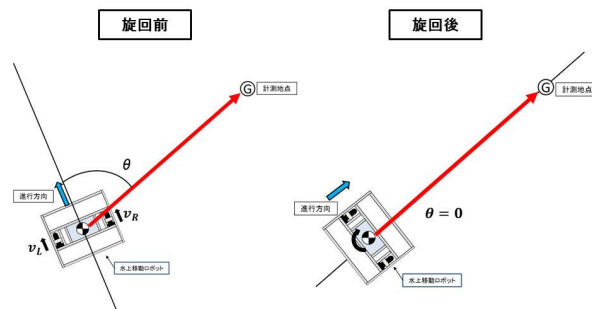


Fig. 3: Attitude control

2 要素技術

2.1 軌道追従制御

水中環境情報の取得は、対象環境とするため池において、池底の複数の計測地点で行われる。そのため、ロボットは、水面のある計測地点から、次の計測地点へ正確に移動する必要がある。そこで、まず、Fig. 2のように、対象とするため池に、ロボットの出発点を始点と設定する。次に、地図上にグリッドを投射し、ため池上の交点を計測点とする。加えて、あらかじめ決めておいた経路図を反映させ、経路を設定する。Fig. 3に、ロボットの進行方向を調整する姿勢制御方法を示す。この図において、 θ はロボットの前方方向と目標計測地との角度、 v_L と v_R は、左右のスラスタの出力による進行速度を表す。計測地点間は、ロボットが直線追従可能となるように、現在地座標と目標計測地座標から、ロボットの向きに対する方位を算出し、方位・ジャイロセンサのデータと照らし合わせ、各メインスラスタの出力(v_L , v_R)を制御し、ロボットを旋回させて進行方向を $\theta=0$ となるように調整する。計測地点に辿り着くと、ロボットは停留動作に入り、ロボットの姿勢と位置を制御する。これらより、軌道追従制御には、GPSと、方位センサ、ジャイロセンサが用いられる。

2.2 全方向移動技術

正確な水中環境情報を取得するためには、計測地点に一定時間停留することが必要である。これを実現するためには、ボートのように進行方向の範囲が限定的なロボットは適しておらず、全方向に移動できることが望まれる。そこで、本研究では、前後方向のスラスタだけでなく、左右にもスラスタを設置することで、全方向への移動を可能にした。これにより、波や風といった外乱によって、計測地点から位置がずれても、それぞれのスラスタを制御し、計測地点に留まることが可能となる。

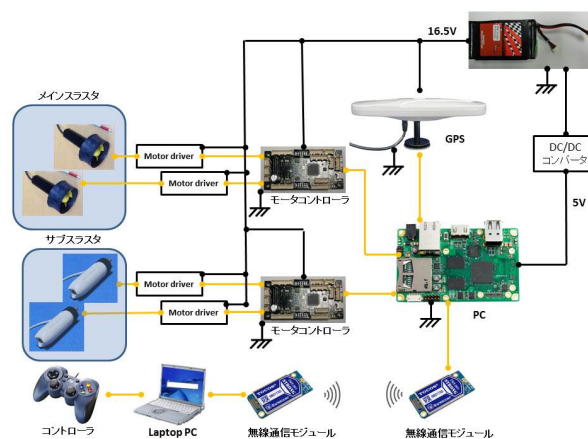


Fig. 4: Robot system

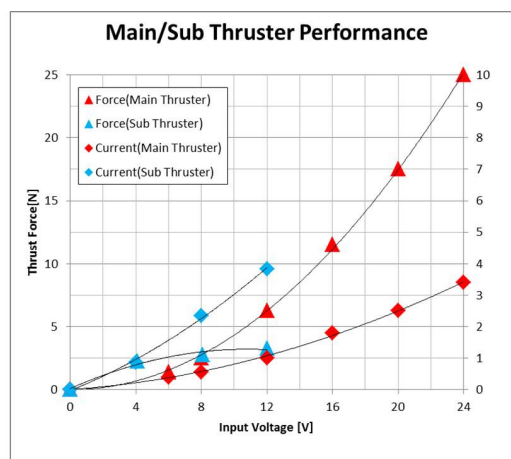


Fig. 5: Performance of each thruster

3 ロボットシステム

本研究では、沖縄高専の武村研究室で、開発された水上移動ロボットをベースとして、水上移動を可能とするロボットを開発した。

将来的にはロボットの自律移動を想定しているが、現状は、実環境における移動性能の確認を行うため、このロボットには、ジョイスティックコントローラを用いた遠隔操作システムを組み込んでいる。

以下に、Fig. 4に示すロボットシステムについて説明する。まず、正転・逆転により、出力方向を変えることが可能な90Wスラスト(RoboPlusひびきの社製RPTH-90V02)をメインスラストとし、ロボットの左右に後ろ向きに設置した。加えて、サブスラストとして、防水ウォータージェットモータ(RC-SUB-WORKSHOP社製)をロボットの左右に設置した。それぞれのスラストの性能をFig. 5に示す。サブスラストのモータは定格4~12V、メインスラストのモータは定格24Vであり、12Vの電圧を与えた場合、サブスラストの推力は、メインスラストの約半分である。Fig. 5を参考に、実際の走行において、サブスラストは常に12Vで動作させ、メインスラストは最大16.5Vで動作させることとした。各スラストは、モータドライバ(HiBot社製 1-Axis DC Power Module)を介して、モータコントローラ(STMicroelectronics社製STM32F103VF)に接続されている。モータコントローラは、PC(アットマークテクノ社製Armadillo-840)に接続され、PCから各モータコントローラへスラスト制御コマンドを送ることで、PCからの制御を実現している。

遠隔操作については、ジョイスティックコントローラ(Logicoil社製F310 Gamepad)からのコマンドを、Laptop PCから無線通信モジュール(東京コスモス電機社製TWE-001S-IP)を介してロボットを搭載したPCに送り、ロボットとの通信を可能としている。

なお、モータコントローラは、3軸加速度・3軸ジャイロセンサ(INVENSENSE社製MPU-6000)が搭載されており、GPS(ヘミスフィア社製ssV-102 Simple GPS Satellite Vector)には、方位センサが搭載されているため、それらを用いて、姿勢制御を行うことが可能となる。

また、全てのスラストを最大出力で動作させた状態におけるシステム全体の最大電力消費量は175Wであった。この内、約93%は全スラストの電力消費量である。ロボットは1時間の連続動作を想定することに加え、スラストは常に動作させているわけではないことを考慮し、各装置への電源には、A123社製LiFePO₅バッテリー(16.5V, 4600mAh)を2個並列で接続して利用することとした。

以上の装置を組み合わせたロボットの外観と仕様をFig. 6, Table 1に示す。ロボットのフレームには、アルミフレーム(MISUMI社製HFS5-2020シリーズ)を利用し、浮力材には、発泡スチロール(松原産業社製発泡率50倍)を利用した。また、ロボットの上部には防水ケースを設置し、内部にはPC, モータコントローラ, モータドライバ, バッテリーを搭載し、ケースの上には、無線通信モジュールとGPSを

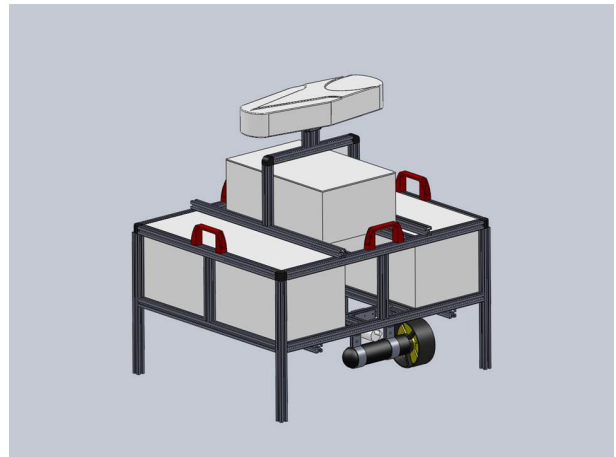


Fig. 6: Model of a mobile robot on water

Table 1: Specifications of a mobile robot

Length [mm]	620
Width [mm]	540
Height [mm]	390
Weight [kg]	14.65

設置した。Fig. 7にロボットの正面図と下面図を示す。この図に示す通り、メインスラストの上にサブスラストが設置されている。スラストは、ロボットを制御し易くするために、ロボットの中心に重心が位置するように配置した。

4 動作試験

開発したロボットが正常に動くことを確認するため、宮城県の広瀬川における流れが穏やかな場所にて、無線通信を利用した遠隔操作試験を行った。動作試験の目的は、風や小さな流れのあるため池に近い環境において、全方向移動するために必要となる各スラストの出力の確認である。試験の様子をFig. 8に示す。

この試験の結果、本環境において、メインスラストの操作による前進・後進・旋回移動は円滑であったのに対し、サブスラストの操作による左右移動は、川の流れと拮抗している場合が見受けられた。これより、最終的な実環境であるため池より、流れが強い本環境において、メインスラストの出力は十分であることがわかった。一方、サブスラストの出力は不十分な可能性があることがわかった。

5 結言

本研究では、水中環境情報取得を目的とした、水上移動ロボットを開発した。このロボットの動作試験の結果、メインスラストはため池において有効であると想定されるが、風の強い状況等において、サブスラストの出力は不十分な可能性がある。この対策としては、サブスラストの

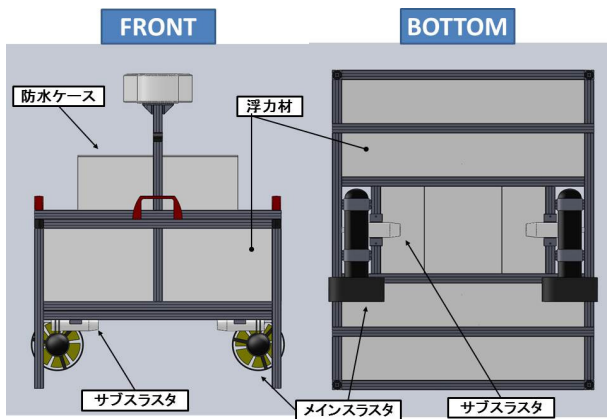


Fig. 7: Front and bottom views



Fig. 8: Field test of mobility at Hirose River

増設、または、サブスラスタもメインスラスタと同様の90Wスラスタに代えることが有効であると考えられる。

以上を踏まえ、本ロボットは、水上の定めた位置に一定時間停留することを、全方向移動可能なスラスタの配置・制御により実現することが期待できる。今後、本ロボットを用いて位置・姿勢制御を行い、自律移動の実現を目指す。また、実際のため池環境でフィールド試験を行い、全方向移動の有用性を検証する予定である。さらに、放射性物質濃度を中心とした水中環境情報を取得するため、各計測地点において、計測デバイスを水中に投下する機構の開発を目指す。

参考文献

- [1] 福島県内におけるため池中の放射性物質に関する実態と対策について～中間とりまとめ概要～、平成25年4月、農林水産省振興局。
- [2] 中谷 武志、浦 環、坂巻 隆、自律型海中ロボット「TUNA-SAND」、マリンエンジニアリング：日本マリンエンジニアリング学会誌 43(4)、523-526、2008-07-01 社団法人 日本マリンエンジニアリング学会。
- [3] 浦 環、自律型海中ロボットr2D4の製作と佐渡沖および黒島海丘海底観測、日本ロボット学会誌 Vol.22 No.6 pp.709-713、2004。