

全方向水上移動ロボットの軌跡追従制御と評価

Trajectory-following Control and Evaluation of an Omnidirectional Unmanned Surface Vehicle

○ 渡辺 健太郎 (東北大学) 沢田 一将 (東北大学)
学 比嘉 翔弥 (東北大学) 学 山内 元貴 (東北大学)
渡辺 敦志 (東北大学) 正 永谷 圭司 (東北大学)

Kentaro Watanabe, Tohoku University, watanabe@frl.mech.tohoku.ac.jp
Kazumasa Sawada, Tohoku University
Shoya Higa, Tohoku University
Genki Yamauchi, Tohoku University
Atsushi Watanabe, Tohoku University
Keiji Nagatani, Tohoku University

On March 11, 2011, Tohoku district was devastated by the Great East Japan Earthquake, and it induced radiation leakage accidents at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. The effects appear to ponds for agricultural water, and it is necessary to measure its concentration caused by radioactive substances. However, it takes a long time with the current measurement methods based on human work. To solve the problem, in this research, we aim at developing an omnidirectional unmanned surface vehicle (SUV) for measurement of dose-rate in the bottom of ponds. In this paper, we introduce our SUV platform, and report a result of field tests in Takanokura dam.

Key Words: Unmanned Surface Vehicle (SUV), Omnidirectional vehicle, Trajectory following control

1. 緒言

2011年3月11日、東日本大震災により発生した津波により、東京電力福島第一原子力発電所において放射性物質漏れ事故が発生した。事故の影響により、自然環境に浸透しやすい放射性物質が、大気、土壌、河川、貯水池、海洋等の環境中に取り込まれ、農林水産物の汚染や生活環境の汚染が懸念される状況となった[1]。特に、人々の生活に密接に関わるため池での予想災害例を挙げると、①ため池が決壊することで、民家に汚染された水や泥が流れ込む、②ため池に近い民家で火災が起きた場合、汚染された水で消火活動が行われてしまう、③ため池の水を農業用水として使用することにより、汚染された食物が栽培されて体内に摂取される等が予想される。これらの事態を避けるためにも、ため池内の環境情報を把握し、迅速な対処することが求められる。

しかし、震災から4年経過した平成27年3月時点の報告書によると、ため池の水中環境情報調査の実施は、福島県内の約3700箇所のため池のうち、2649箇所での計測に留まっている[2]。計測が進まない理由の1つとして、その計測作業方法が挙げられる。現状のため池の底質表面の計測方法は、計測作業員がボートに乗って任意の計測地点に移動し、計測デバイスを降下させて一定時間計測を行うというものである[3]。これらの作業は、すべて手作業で行われているため、多大な労力と時間、費用を要するだけでなく、最悪の場合、作業員がボートから転落し、被曝する危険性もある。また、大雨が降って土砂災害が起きる場合、ため池の底質の状況が変わり、再度計測を行わなければならない。したがって、計測作業の迅速化が求められる。これらの計測作業を水上移動ロボットを用いて自動化することにより、計測の作業効率や作業員の安全性向上が期待される。

そこで、著者らの研究グループでは、水中環境情報を取得を目的として、前後方向のスラスタに加え、左右にもスラス



Fig.1 Measurement work of ponds [3]

タを設置した、水上での全方向移動が可能なロボット“Strider”を開発した[4]。しかしながら、このStriderは、水上での全方向移動が可能であるが、風が強い状況等において、風の流れとサイドスラスタの推力が拮抗してしまい、左右移動に困難を生ずるといった場面があった。また、線量計測を行うためには、水面にて位置・姿勢制御を行うと共に、目標地点に向かって自律移動をする必要があるが、安定した動作を行うことができていなかった。そこで本研究は、上述のStriderの性能向上を目指し、ため池底質での水中環境取得の自動化するための軌跡追従制御をStriderに実装し、その有用性を確かめることとした。

本稿では、まず、本研究で開発・改良を行った全方向水上ロボットStriderについて紹介し、Striderによる、ため池底質での水中環境情報取得の自動化手法ならびに、Striderに実装した制御について述べる。最後に、本システムの有用性の検証のために行った、フィールド試験の結果について報告する。

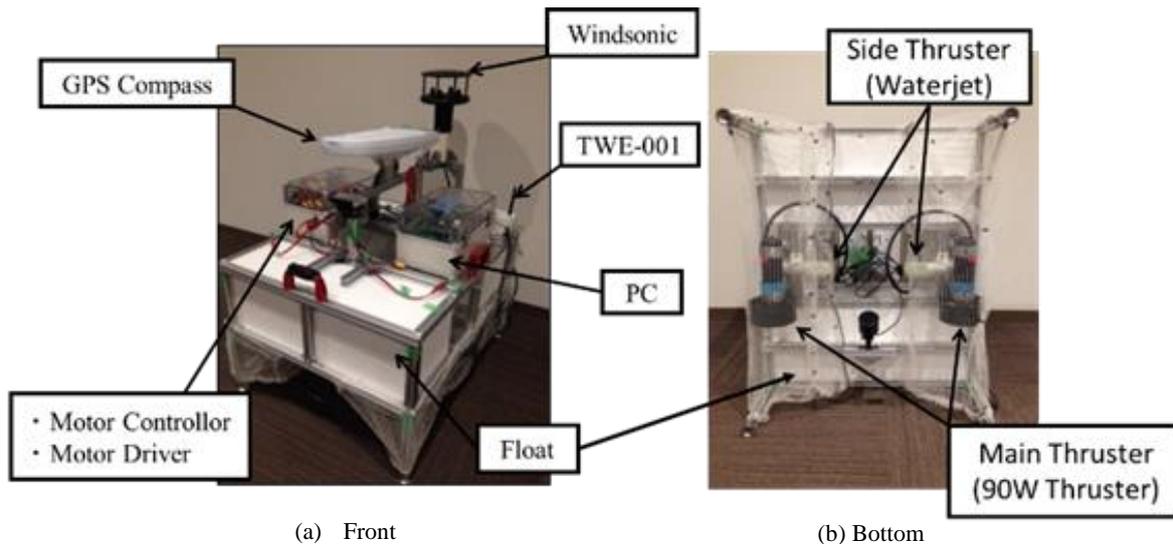


Fig.2 Appearance of strider

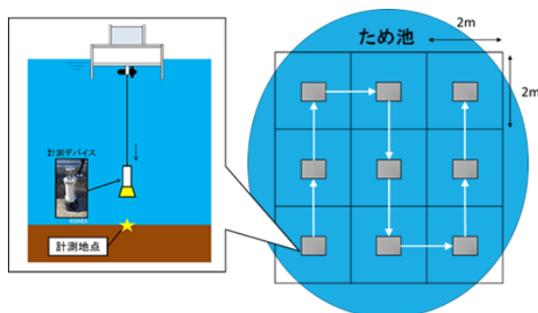


Fig.3 Method of underwater environment information acquisition by omnidirectional water robot

2. 全方向水上移動ロボット Strider の開発

本研究では、我々の研究グループで開発が進められてきた全方向水上ロボット Strider をベースとする。この Strider の概観を Fig.2 に示す。Strider は、長さ 660 mm、幅 540 mm、高さ 810 mm であり、総重量は 20 kg である。ロボットの自己位置・姿勢推定には、GPS Compass (Hemisphere Inc., ssV-102 Simple GPS Satellite Vector) から得られる緯度、経度、方位を利用している。目標地点に到達するための移動機構として、水中ロボット用 90W スラスタ (RoboPlus ひびきの社製 RPTH-90V02) をメインスラスタとした。このメインスラスタを、ロボットの左右に後ろ向きに設置し、それぞれのスラスタを正転および逆転させることにより、水上での直進動作と旋回動作を実現した。加えて、全方向移動の実現のため、サイドスラスタとして、防水ウォータージェットモータ (RC-SUB-WORKSHOP 社製 RC-SUB 防水ウォータージェットモータ) をロボットの左右に設置した。なお、制御を容易とするため、重心がロボットの中心に位置するように配置している。また風向風速を検知するため、ロボットの後方に 2 次元超音波風向風速計 (Field Pro 社製 WindSonic-1) を設置した。

水上でロボットを動かす際は、無線 LAN を介して、Laptop PC のキーボードまたは、ジョイスティックにより遠隔操作を行う。また Laptop PC より、ロボットをマニュアル操作するマニュアルモードとロボットが任意の計測地点へ自律移動し、停留を行うオートモードに切り替えることができる。

一方、無線 LAN の通信が切れた場合の対応策として、長距離 ZigBee 無線通信モジュール TWE-001 STRONG (東京コス

モス電機社製 TWE-001s-IP) を搭載した。このように、二種類の無線通信モジュールを使うことで、通信のトラブルに冗長なシステムを開発した。

3. ため池底質での水中環境情報取得の自動化手法

全方向水上移動ロボットを用いた、ため池底質の水中環境情報取得の自動化手法を Fig.3 に示し、計測手順を下記に示す。

- (1) ため池を 2m 間隔のメッシュで区切り、計測地点を設定する。
- (2) 計測地点に対してロボットが正面になるよう旋回させる。
- (3) 経路追従制御を行いながら、計測地点へ移動する。
- (4) 計測地点に到達後、停留動作に入り、ロボットの位置と姿勢の制御を行う。
- (5) 計測デバイスを降下させ、ため池底質の水中環境を計測する。
- (6) 計測完了後、計画した計測地点に対し(2)~(5)を繰り返す。

これら一連の軌跡追従制御を行い、最終的に、ため池の放射性物質濃度マップを作成し、時系列ごとの放射性物質濃度の変化を観察することを目指す。

ロボットが自律的に任意の点における水中環境情報を取得するためには、ロボットの高い自己位置・姿勢推定と計測地点へ安定して移動・停留をする能力が必要である。本研究では、ロボットの自己位置・姿勢推定に GPS コンパスを使用した。また、計測地点へ移動する際は、メインスラスタを用いて旋回および前後移動を行い、停留時には、前後方向をメインスラスタ、左右方向をサイドスラスタを用いて位置制御を行う。また、停留時の姿勢制御には、風向風速計を利用し、ロボットの姿勢を風向に対して正面を向くように姿勢制御を行うこととした。これは、サイドスラスタに比べ、メインスラスタの方が推力が強いため、風向に対し正面を向けて停留した方が、より強い風に対しても、安定した停留性を確保できるためである。

4. フィールド試験

本研究で実装した制御の有効性を検証するため、福島県南相馬市の高の倉ダム湖でフィールド試験を行った。本試験で



Fig.4 Takanokura pond



Fig.5 Experimental condition

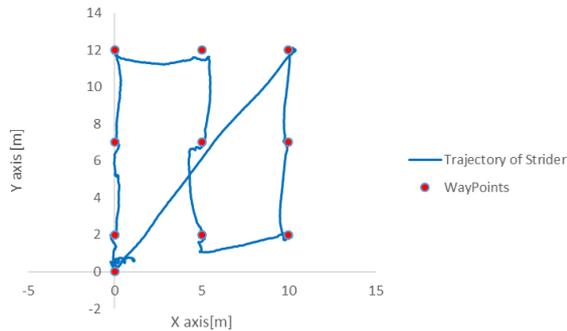


Fig.6 Relationship between the trajectory of Strider and the way points

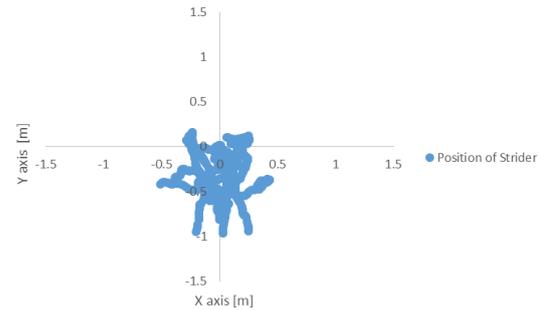


Fig.7 Position of Strider for the way points

は, Fig.5に示すように, 5m間隔で設定した9点の計測地点を, Strider に自律走行させた際の挙動の評価を行うこととした. 自律走行の手順を下記に示す.

- (1) 初期位置または計測地点から, 次の計測地点へ移動する.
- (2) 計測地点の 1m 以内に接近後, 風向がロボットの正面となるように Strider を旋回させる.
- (3) 旋回後に停留動作に入り, 10 秒間にわたって位置および姿勢を制御する.
- (4) 停留完了後, 矢印の順に計測地点に向かい, (1)~(3)を繰り返す.
- (5) 全ての計測が完了後, 初期位置に戻る.

この一連の動作をロボット上にて実装し, 動作の評価を行った. 動作試験の結果を Fig. 6, Fig. 7に示す. Fig. 6が自律走行させた際の, GPS から得られた, Strider の軌跡と計測地点である. この図より, Strider が軌跡追従を行いながら, 9点の計測地点で移動・停留を行うことができ, 上記の自律走行手順を達成することができたことが見て取れる. また, Fig.7は, 停留動作時の9点の計測地点と Strider の位置の差を示したものである. Strider の位置は, GPS のデータを基に推定しており, 平均すると誤差0.34m程度で, 停留できていることが分かる. 以上より, 本提案システムは, 十分な停留性を発揮できていることも分かった.

5. 結言

本研究では, ため池の放射性物質濃度の計測作業の自動化を目指した, 全方向水上移動ロボット Strider を開発し, 放射性物質濃度の自動計測を行うための制御を実装した. また, 制御の有効性を検証するため, 高の倉ダム湖においてフィールド試験を行った. 試験の結果, 軌跡追従を行いながら, 9点

の計測地点への移動・停留ができることを確認した. また各計測地点において, 平均距離 0.34m の位置誤差で, 安定して停留ができていることがわかった.

なお, 現状の風に対する制御は, 停留時に風向に対して正面を向く姿勢制御を実装しているが, 今後は, 風速に関するモデル化を行い, フィードフォワード制御を実装していく予定である. さらに, 実際に放射性物質濃度計測装置を搭載するため, ロボットの大型化を目指す.

謝辞

本研究は, 株式会社日本遮蔽技研「水上移動ロボットの位置・姿勢制御に関する研究助成」の支援を受けて, 実施された.

参考文献

- [1] 経済産業 (山口聡, 近藤かおり), 農林環境課 (小寺正一), "福島第一原発事故とその影響", 国立国会図書館 ISSUE BRIEF NUMBER 718(2011.6.28.)
- [2] 農林水産省農村振興局福島農林水産部 "平成26年度福島県内のため池等における放射性物質の調査結果について"
- [3] (独)日本原子力研究機構福島技術本部福島環境安全センター眞田幸尚, 鳥居建男, "農業用ため池における水底放射能の in-situ 計測法"
- [4] 榎本裕次郎, 比嘉翔弥, 山内元貴, 永谷圭司, 武村史朗, 川端邦明, "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", 第15回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集