

湖沼底層の自動観測システムの試作 PROTOTYPE OF AUTOMATIC OBSERVATION SYSTEM FOR BOTTOM LAYER ENVIRONMENT IN LAKES AND RESERVOIR

○鈴木 優志・小川 峻司・齋藤 遼太・三浦 勉・山上 路生

○Masashi SUZUKI, Ryoji OGAWA, Ryota SAITO, Tsutomu MIURA, Michio SANJOU

This study involved the prototyping of a robot autonomous water quality monitoring based on an ROV (remotely operated vehicle). Particularly, we evaluated the basic performance of its water depth measurement system. The present observation system using a depth sonar was confirmed to perform its basic functions; however, issues with stability and signal integrity remained in the experiments conducted in an outdoor flume. Specifically, the reel control mechanism exhibited unstable operation, indicating the need for improvements. In the future, the system aims to incorporate a sediment sampler and position control functions to enable sediment catchment and large-scale surveys. The ultimate goal of this research is to develop a multifunctional and high-performance water quality monitoring system that is expected to contribute to environmental management coasts, rivers and reservoirs.

1. はじめに

水質環境の調査・モニタリングは、環境保全や水資源管理において重要性が増しており、特に閉鎖的な水域では、水質や底質の変化が生態系や水利用に与える影響を評価する必要がある。本研究では、効率化とコスト削減を目指し、ROV（遠隔操作型無人潜水機）を基盤とした自動水質環境観測ロボットを開発した。このロボットはリール制御機構を備え、水深ソナーによる観測を効率的かつ安全に行える設計である。さらに、将来的には濁度センサーや採泥器などの追加計測機器、GPS通信やカラートラッキングを用いた船の位置制御技術を導入する計画がある。これにより、多面的な環境情報の取得や調査作業の効率化が期待される。本研究は、効率的な水深観測を実現する初期段階の試みとして位置付けられる。以降の章ではシステム設計と運用テストの結果について示す。

2. システム設計

本システムはソナーを用いた水深計測を行い、得られたデータを Arduino UNO を通じて処理することを目的として設計されている。本システムの構成は、ソナーによる水深計測と得られた計測データを Arduino UNO でリアルタイム処理する仕組みとなっている。また、Arduino UNO は巻き取り部分の回転を制御する役割を果たす。使用する水深ソナーは Gauselink 社製の超音波センサーモジュールで、超音波パルスを水中に送信し、反射波が

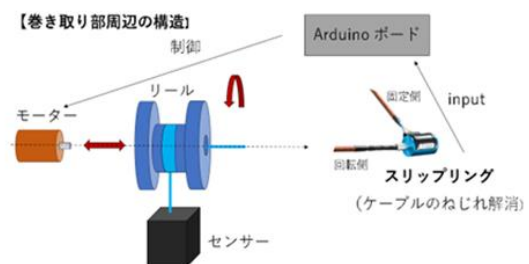


図-1 巻き取り部分周辺構造



図-2 システム俯瞰図

水面に戻るまでの時間を測定して水深を計算する。このソナーが傾くことで生じる測定誤差を解決するため、直立状態を保持する補正部品を設計した。部品の製造には Prusa Research 社製の Prusa MK4 を使用し、CAD 設計には Fusion360、生成ソフトには Pulsar Slicer を活用した。フィラメントには耐衝撃性、耐水性、耐候性に優れた PETG を採用し、屋外での使用に適した OVERTURE 社製の 1.75mm 径 PETG フィラメントを使用した。



図-3 屋外造波水槽での実験の様子

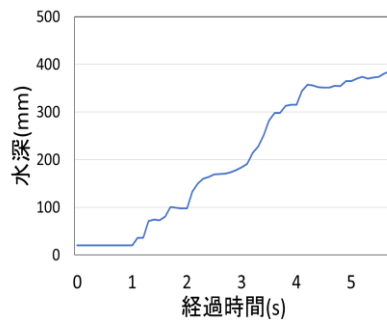


図-4 ソナー回収動作中の測深時系列データ（静水条件）

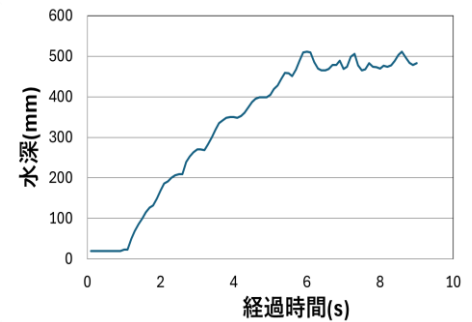


図-5 ソナー回収動作中の測深時系列データ（造波条件）

リール制御には高トルクを提供する防水ブラシレスモーターを採用し、スリプリングを導入することで回転部分での信号伝達を安定化させた。このとき、有線接続方式を採用することで、無線通信の信頼性が低い水中環境でも安定したデータ伝送が可能となった。巻き取り部分周辺の構造を図-1 に示し、システムの俯瞰図を図-2 に示す。

3. 実験結果と考察

本章では、屋外造波水槽を使用して行った静水条件および造波条件での実験について述べる。実験は回収機構の動作確認と水深ソナーの計測精度を評価することを目的とした。

実験は京都大学宇治川オープンラボラトリーの屋外水槽（深さ 67cm）を用いて実施した。実験の様子を図-3 に示す。PC と Arduino を有線接続し、プログラムをエンコードした後、システムを水槽に設置した。造波条件では、波の高さを約 5cm に設定し、人工的に波を発生させて影響を評価した。水深ソナーの計測データは Arduino IDE のシリアルモニターに表示され、巻き取り機構を動作させながらデータの変化を確認した。

静水条件では、ソナーの計測データに基づき水深が段階的に変化する様子が確認されたが、巻き取り機構の不安定な動作やリールの回転停止が頻発した。特に、リール直径の小ささがケーブルの巻きつきに悪影響を及ぼしていた（図-4）。一方、造波条件ではソナーを水底から引き上げる際には波に追従して水深が変化する様子が確認され、計測データが波高に比例して上下動する様子が確認された（図-5）。いずれも、ソナーが水底に降下後自動制御により、回収動作と測深を大きな支障なく行えることがわかった。

今回の実験において、いくつかの設計上の課題が浮き彫りになった。回転制御に使用したモーターは低速回転時にトルク不足を生じ、回転速度の

調整が困難であった。また、リール直径の小ささがケーブルの張力を分散させる要因となり、巻き取り動作が不安定になる原因となった。これらの課題を解決するためには、トルク調整可能なモーターの選定やギアボックスの導入による回転制御の改善、リール直径の増加によるケーブル巻き取り効率の向上が必要である。さらに、波の影響を軽減するためのソナー保持部品の改良も検討すべきである。今後はこれらの改良を施した上で再実験を行い、静水条件および造波条件下での安定性や測深精度の向上を目指す予定である。また、波を伴う実験環境でのデータ精度向上を図るための追加評価を行う予定である。

4. おわりに

本研究では、ROV（遠隔操作型無人潜水機）を基盤とした自動水質環境観測ロボットの試作を行い、基本性能を評価した。水深ソナーを使用した観測システムは基本的な機能を果たすことが確認されたが、実験を通じてシステムの安定性や設計にいくつかの課題が明らかになった。今後は、浮き彫りになった課題を解決し、システムの安定化を図るとともに、採泥器や濁度計などの追加機器を導入することで機能を拡張する予定である。これにより、水深方向の多次元データ収集が可能となり、環境観測の精度と効率がさらに向上することが期待される。最終的には、貯水池や湖沼の環境管理に貢献できる高性能な水質観測システムの構築を目指す。

参考文献

- 1) Sanjou, M. Shigeta, A., Kato, K. and Aizawa, W.: Portable unmanned surface vehicle that automatically measures flow velocity and direction in rivers, Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier, Vol.80, 101964, 2021.