

## 報告書

実施期間：2022年4月1日～2023年3月31日  
所属：琉球大学大学院理工学研究科総合知能工学専攻  
職位：博士後期課程  
指名：Yukiko K. Muller

### “Underwater Acoustic Communication and Underwater Positioning Systems (水中音響通信と水中測位システム)”

#### 1. はじめに

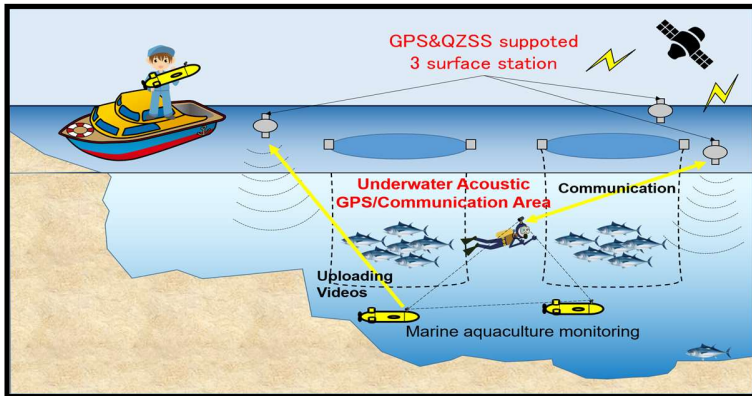
水中ドローンの開発における課題の一つは、通信に電波を使うことに限界があり、音波や光など他の手段に頼らざるを得ないことです。しかし、音波はより長い距離を移動でき、濁った環境でも透過するため、水中での通信に適しています。本研究では、音響技術を活用して、洋上風力発電設備の水中保守や海洋での養殖魚の機械化監視に利用できる水中通信・測位装置の開発を計画しています。

本研究プロジェクトでは、海洋産業の省力化・自動化を推進することを目的として、音響通信技術と音響測位技術を組み合わせて、水中ドローンの自律動作を認識するキーデバイスを開発することを目指しました。プロジェクトチームは、この目標を見事に達成し、水中保守や養殖モニタリング用途に使用できる水中通信・測位デバイスを開発しました。

包括的な協力のもと、コンピュータシミュレーションによるシステムの改良と信号処理方法の検討、自動操縦の水中ドローンとのインターフェース方法の検討を行いました。また、制御ソフトウェアの研究や水中ドローンのハード設計の検討も行い、実証システムの構築に成功しました。

開発した装置は、風力発電設備の洋上設置における水中メンテナンスの低コスト化・自動化、海洋での魚類養殖におけるダイバーによるモニタリングの機械化など、実用化に向けた実証実験に成功した。海洋産業、特に水中での自律型ドローンの認知は特有の課題を抱えていますが、本プロジェクトはこれらの課題の解決に大きく貢献しました。

これらの目的を達成することで、本プロジェクトは海洋産業の発展に寄与し、省力化・自動化を実現し、持続的な成長を促進することができました。本プロジェクトの成功により、海洋産業における自律型ドローンの活用の可能性が広がり、さらなる進化と応用の可能性が期待されます。

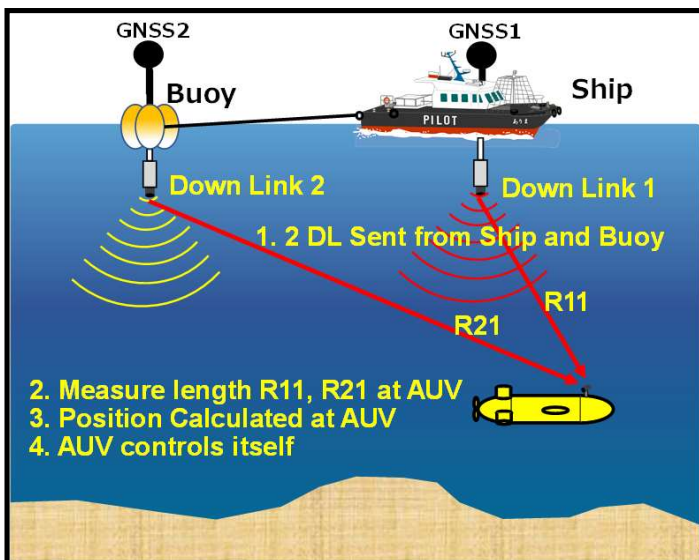


## 2. 群がる AUV と海洋養殖モニタリングのための水中 GPS

群れをなす AUV のために設計された水中 GPS システムは、商業ダイバーに役立つだけでなく、海洋養殖のモニタリングにも大きな意味を持ちます。水産養殖は、水産物の需要を満たすために急成長している重要な産業です。しかし、広大な面積を持つ海洋養殖事業の監視・管理は、特に魚籠や設備の正確な位置決めや追跡という点で困難な場合があります。

提案システムは、水中での AUV と機器の正確で信頼性の高い位置決めを提供することで、海洋養殖のモニタリングに活用することができます。群がる AUV は、養殖エリア内を移動し、水質、魚の行動、摂食習慣に関するデータを収集するようプログラムすることができます。収集したデータを分析することで、餌の最適化、魚のストレスの軽減、魚の全体的な健康状態を改善することができます。

また、魚類資源や海洋生態系に大きなダメージを与える有害藻類の発生など、潜在的な環境問題の特定と防止にも役立ちます。正確な測位と追跡により、このような危険を検知・監視し、養殖事業者に早期警告のアラートを提供することができます。

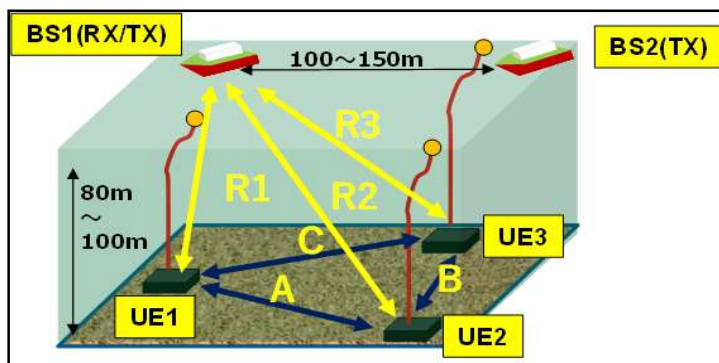


### 3. AUV の測位システムの提案

本システムでは、自律型海中ロボット (AUV) の測位システムを提案し、AUV で計測された測位結果を図示しています。このシステムは以下のように動作する：

- (1) 船とブイから AUV に 2 つの距離リンク (DL) 信号 (DL1、DL2) が送信される。
- (2) 水圧センサーにより、AUV と船、ブイ間の距離を表す長さ  $R11$ 、 $R21$  を AUV で計測する。
- (3) AUV では、測定された長さに基づいて基準点の位置が算出される。
- (4) 算出された位置をもとに、AUV は適切な制御を行うことができる。

このように、DL 信号と水圧センサを利用して AUV の位置を測定し、その情報を自律制御や航行に利用することができる。



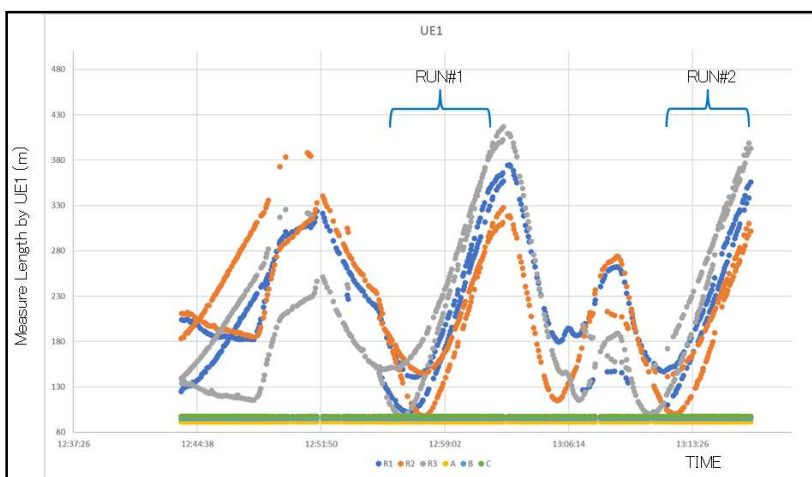
### 4. 実験セットアップ

静岡県駿河湾で海洋実験を実施しました：

- AUV (UE1、UE2、UE3) : UE1、UE2、UE3 と名付けられた 3 台の AUV を使用します。これらの AUV には、基地局 (BS1、BS2) から送信された信号「A」を検出できるトランスデューサが搭載されており、基地局から各 AUV までの距離  $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$  を決定します。
- BS1、BS2 間の距離 : 基地局の受信 (RX)、送信 (TX) 機能を表す BS1、BS2 間の距離は、約 100~150m である。これは、実験セットアップにおける基地局の空間的な配置と相対的な距離を示しています。
- BS と海底 UE との間の深さ : BS と海底 UE 間の深さは、80~100m です。これにより、基地局に対する UE の垂直位置に関する情報が得られます。
- 信号の送信遅延 : 信号「A」を検出した後、各 UV (UE1、UE2、UE3) は、他の AUV への信号送信を 0.2 秒遅らせることができます。このタイミング情報は、近傍の AUV から送信される信号「B」、”C” の AUV 間の距離 (遅延時間) を求めるのに重要です。

- タイミング測定の様子： AUV が送受信する信号から得られるタイミング情報を用いて、各 AUV の距離 R1、R2、R3、A、B、C の 6 つのタイミングを計測しました。
- 位置決定： 距離 R1、R2、R3、遅延 A、B、C を計測しただけでは、AUV の位置がわからないことがわかる。各 AUV の深度情報と姿勢も、水中環境における各 AUV の位置を決定する上で重要な役割を果たします。

全体として、AUV (UE1、UE2、UE3) が基地局 (BS1、BS2) からの信号を検出し、距離と遅延を測定し、位置決定のために追加の深度と方向の情報を使用する実験セットアップが含まれています。この情報は、この研究で説明された実験セットアップと水中測位システムに関わる主要要素の理解に役立ちます。



## 5. 実測結果 (UE1 での測定長)

提案する水中測位システムにおいて、UE1 での長さを計測した結果を示す。

- 3 台の AUV の位置：提案システムでは、UE1、UE2、UE3 と表示された 3 台の AUV の位置は、各 AUV で推定される。特に UE1 は、3 台の UE すべての位置誤差を計算する役割を担っています。
- UE1 の位置推定：R2、R3 の長さ (図中、それぞれオレンジと黄色の線で表現) と UE1 の深度を組み合わせることで、UE1 の位置を推定することができる。これは、UE1 と、R2 および R3 によって測定された BS1 および BS2 との距離と、UE1 の深度情報とを考慮することによって、UE1 の位置を決定することができることを示しています。
- 測位誤差：3 つの UE (UE1、UE2、UE3) の測位誤差は、前述のように、UE1 によって計算される。測位誤差は、UE の推定位置と実際の位置との間の不一致を表し、提案された水中測位システムの精度と正確さを理解することができる。
- 測定された長さ：UE と基地局との距離を表す長さ R1、R2、R3 は、異なる色 (R1 は青、R2 はオレンジ、R3 は黄色) で図に描かれている。これらの測定された長さは、先に説明したように、UE の位置を推定するために使用されます。

全体として、UE1 で測定された長さは、提案された水中測位システムにおける 3 つの AUV の位置を推定するための UE1 の役割を強調しています。また、測位誤差や、位置推定に異なる長さ (R1、R2、R3) を使用した場合の情報も提供されます。これらの情報は、実験で実施した測定から得られた結果や、水中航走体の位置推定における提案システムの性能の理解に役立ちます。

## 6. 結論

1. システム設計と精度 測位システムは、2 つの基準点を用いて三角形のエリアをカバーするように設計されています。ロングベースライン (LBL) のように、正確な測位を行うために 2 つ以上の基準点を必要とする場合がある他の技術とは異なり、提案システムは 2 つの GNSS サポート基準点のみを必要とし、高精度慣性航法システム (INS) に依存しない。これにより、システムのセットアップが簡素化され、測位システムのコストと複雑さを軽減することができます。
2. 柔軟性と拡張性： 基準点の選択に関して、提案システムの柔軟性を強調します。船舶に曳航された 1 つのブイを使用することで、基準点を容易に変更することができ、スケラビリティと異なる運用シナリオへの適応性を提供します。

トランスコスモス財団の継続的な支援に心から感謝します。