

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23686128

研究課題名(和文) ISSBL方式と音響データ伝送によるAUVのナビゲーションに関する研究開発

研究課題名(英文) Research and development on a navigation of AUV using ISSBL method and acoustic data telemetry

研究代表者

渡邊 佳孝 (WATANABE, Yoshitaka)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究員

研究者番号：40359138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、海中探査機のナビゲーションのための新手法で、探査機装備の受波器アレイにより母船からの音響信号の到来方向を計測する Inverse Super Short Baseline (ISSBL)方式と、その音響信号を用いた母船位置情報等の探査機への伝送による手法を提案した。試験機を製作して係留および探査機搭載での深度2,000mまでの実海域実験を実施し、本手法が実用的であり、想定したメリットが有意であることを示した。また実験結果から、位置計算上の母船位置のドリフト誤差が有意な影響を及ぼすという知見を得た。今後、海域実験での検証結果を基に改良点を検討し、運用機プロトタイプ的设计・製作を実施する。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new navigation method for underwater vehicle was proposed. In the method, inverse super short baseline (ISSBL), in which acoustic signal transmitted from a mother ship is received with an receiver array equipped on the vehicle and direction of arrival of the signal is measured, and acoustic data transmission of information of ship's position are adopted. Ocean experiments using a experimental device moored on the seabed or equipped on a underwater vehicle were carried out. Depth of experimental area was up to 2,000 meters. As result, it was found that the proposed method is enough feasible and considered merits of the method is valid. Furthermore, error of estimation of the ship's position in the position calculation becomes effective. In the future, a prototype device for actual operation will be designed based on the result and knowledge from this study and developed.

研究分野：水中音響工学

キーワード：水中音響測位 水中音響通信 ナビゲーション ISSBL 海中探査機 AUV

1. 研究開始当初の背景

近年、自律型無人探査機 (Autonomous Underwater Vehicle: AUV) による海中探査が活発になってきている。AUV は、海底面地殻を比較的高速に安定して航走することができ、広範囲を高精度で探査できる。探査結果の価値保持のため、AUV 自体の位置把握が重要であり、ナビゲーションの精度が求められる。ナビゲーション機器として、慣性航法装置、ドップラ速度計が使用されるが、これらはセンサ値を積分して位置を計算するためドリフト誤差を持つ。絶対位置を計測する場合には、音響測位が必要である。音響測位装置として、運用が簡便である Super Short Baseline (SSBL)方式がしばしば用いられるが、比較的精度が良くない。また、AUV の測位結果が母船で得られるため、AUV のナビゲーションに用いるには別途測位結果の送信が必要である。また、AUV の複数機の同時運用や、自律型海上ピークル (Autonomous Surface Vehicle: ASV) との協調運用などの研究開発が進められており、ナビゲーション機能の重要度が高まっている。

本課題では、音響による AUV ナビゲーションの、以下のような特徴をもつ新方式を提案する。AUV 側に受波器アレイを装備し、母船からの音響信号の到来角を求める (Inverse SSBL: ISSBL 方式)。SSBL 方式で用いられる往復伝搬時間ではなく、AUV に装備された深度計で計測される深度情報を用いることで、AUV からの信号送信を行うことなく、母船と AUV の相対位置を計算する。GPS による母船の絶対位置情報を音響信号に載せて AUV に伝送することで、その情報を用いて AUV 内で AUV の絶対位置を計算する。ISSBL+母船の位置情報により計測された AUV 位置と、他の航法機器データを統合し (カルマンフィルタ等)、高精度な絶対位置計算を行う。以上より、AUV 側で測位計算を行うため、遅延のないリアルタイムなナビゲーションを行うことができる。データ伝送信号を用いるため、高レートでの計測結果のフィルタリングにより、精度を高めることができる。母船と AUV の同期が不要であり、AUV からの送信がないため他の音響機器への干渉がなく、また複数ターゲットを考える場合、同じ音響信号で同時に複数の AUV のナビゲーションができる。等のメリットがある。

2. 研究の目的

本課題では、以下を目的とする。

(1) AUV の将来的な高度な運用法 (複数機運用など) に対応できる新たな音響ナビゲーション手法 (航法) を提案する。

(2) 試験機を製作し、これを用いた実海域実験による評価・検証を行い、課題の洗い出しを行う。

(3) シミュレーションや実海域実験の結果から、実用に耐えうる設計を検討する。

3. 研究の方法

(1) 提案方式の概要

提案方式では、母船から母船の位置情報等を含んだ音響信号を送信し、受波器アレイを装備した海中システムでは、音響信号を受信して内部で測位計算を行う。受信信号を用いて信号の到来角 (Direction of Arrival: DOA) を計測し、深度と合わせて母船との相対位置を計算する。また、受信信号に含まれる母船位置等の情報を復調し、絶対位置を計算する。このとき、拡張カルマンフィルタを用いることで、DOA 計測のランダム誤差を抑制する。母船情報はデジタルデータとして送信し、計測精度と情報伝送確度の確保のため、2 次変調方式として直接拡散方式スペクトラム拡散 (Direct Sequence Spectrum Spread: DSSS) を用いた。

(2) シミュレーションによる検討

以下に示す条件で、シミュレーション検討を行った。表 1 の条件により、ノイズおよびマルチパス波を考慮したシミュレーションを行い、誤差推定を行った。デジタルデータのアナログ信号への変調である 1 次変調は、8 値位相変調信号 (Eight Phase Shift Keying: 8PSK) とした。

表 1. シミュレーション条件

項目	値
搬送波周波数	12.5 kHz
チップレート	3.125 kHz
拡散符号	5, 6, 7 次の M 系列符号
シンボルレート	100.8, 49.6, 24.6 Hz
変調方式	1 次変調: 8PSK 2 次変調: DSSS
受波器アレイ	4 素子 50x50cm の正方アレイ

また、上記のシミュレーション結果を基に DOA の測定誤差を設定し、3,000m の深度を航走する AUV を想定した拡張カルマンフィルタによる測位計算のシミュレーションを行った。

(3) 試験機の設計・製作

シミュレーション検討を基に、表 2 に示す仕様の試験機を設計・製作した。ハードウェアの都合により、シミュレーションと若干異なる仕様となった。探査機による実験では、搭載の都合上、また係留系による実験結果より、充分精度が得られると判断したことから、受波器アレイのサイズを小さくした。

表 2. 試験機仕様

項目	値
搬送波周波数	12.8 kHz
チップレート	2.56 kHz
拡散符号	6 次の M 系列符号

シンボルレート	40.6 Hz
変調方式	1 次変調 : QPSK 2 次変調 : DSSS
受波器アレイ	4 素子 50x50cm の正方アレイ (係留系による実験) 15x15cm の正方アレイ (探査機による実験)
搭載センサ	音速計、深度計、 姿勢センサ

(4) 係留系を用いた実海域実験

製作した試験装置を用いて、実海域実験を行った。係留系を用いた実験概要図を図 1 に、係留した試験機を図 2 に示す。母船上に、GPS から位置および速度情報を得て音響信号に変調する変調装置、パワーアンプ等を設置し、船底装備の送波器から実験用の音響信号を送信した。海中システムとして、表 2 に示した受波器アレイを装備した試験機を海底に係留した。母船から送信された信号は、海中システムで受信され、生信号の記録と、リアルタイム処理とログを行った。

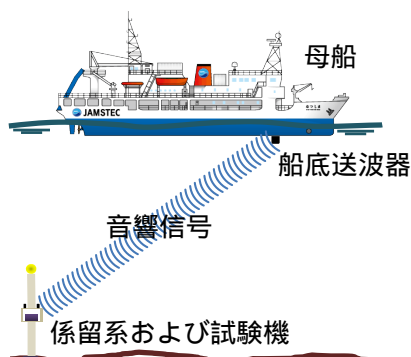


図 1 . 係留系による実験概要図

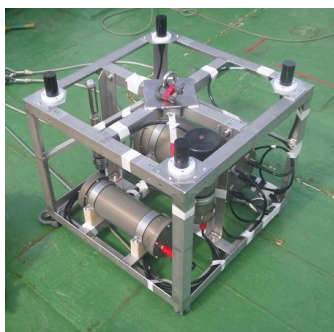


図 2 . 係留した試験機

平成 25 年度に、海洋研究開発機構所有の海洋調査船「かいはう」による実海域実験（航海番号 KY13-15）を、平成 26 年度に同「なつしま」による実海域実験（航海番号 NT15-05）を行い、本実験を実施した。KY13-15 において、試験機を深度約 1,000m に配置し、高度 30m, 500m（すなわち水深約 1,500m の海域）の 2 パターンの実験を行った。また、NT15-05 においては、設置深度による違いを見るため、深度約 2,000m および約 500m に試験機を設置した試験を行った。

(5) 探査機を用いた実海域実験

平成 26 年度に、前述の航海 NT15-05 において、海洋研究開発機構所有の探査機「おとひめ」を用いた、探査機搭載での実験を行った。図 3 にその概要図を示す。本実験において、「おとひめ」は細径光ファイバケーブルで母船と接続され、母船でリアルタイムにモニタしつつ制御を行った。母船上の設定は図 1 と同様であり、海中システムは、試験機を「おとひめ」後部に搭載し、上部に配置した受波器アレイで音響信号を受信した。図 4 に「おとひめ」に搭載した試験機を示す。深度約 700m までの実験を行った。

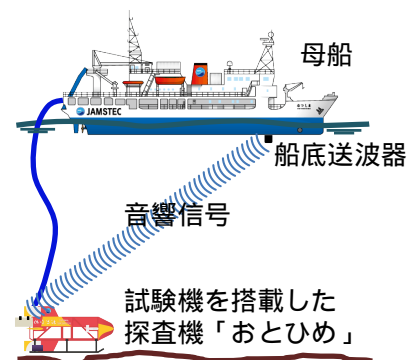


図 3 . 探査機による実験概要図



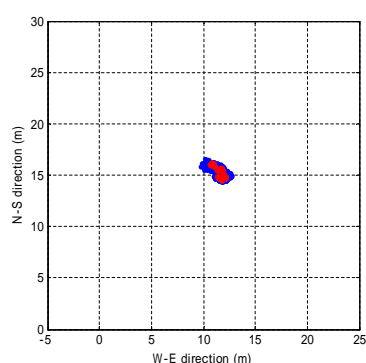
図 4 . 探査機「おとひめ」に搭載した試験機

4 . 研究成果

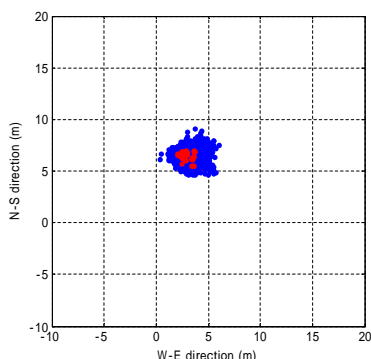
(1) 主な研究成果

実海域実験により、表 2 の仕様による提案方式のシステムが、現実的であることが検証できた。係留系による実海域実験では、母船は係留系の周囲を最大 5kt 程度で航走したが、ドップラシフトおよびマルチパスによる情報復調エラーはなく、非常に安定的に母船情報を得ることができた。図 5 に、係留系による実海域実験の測位結果を示す。(a) ~ (c) はそれぞれ、深度 500m, 1000m, 2000m での実験結果である。図は、係留系の水平位置を示しており、横軸は東西方向、縦軸は南北方向を示す。図の 1 辺はすべて 30m となるようにスケールを合わせている。青いプロットは、カルマンフィルタを用いない場合の測位結果、赤いプロットはカルマンフィルタを用いる場合の測位結果である。青いプロットでは、ランダム誤差の深度依存性が顕著に確認で

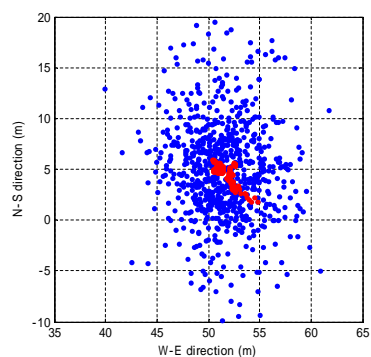
きる。これは、DOA 計測の誤差が、母船と海中システムの直距離に依存して大きく影響するからである。赤プロットでは、特に大深度においてカルマンフィルタによりランダム誤差が抑制されているのが分かる。一方、すべての結果において、1~2m 程度の誤差を持つようになった。母船情報は 2 秒毎に送信したが、新たな情報を得るまでの 2 秒間は、前の母船位置と速度から線形推定して測位計算を行う。この間のドリフト誤差の影響により、必ず 1~2m 程度の誤差を生じた。母船情報を正確に復調できれば、母船位置の推定誤差は、深度によらず一定である。したがって、大深度であるほど、ランダム誤差抑制の効果が大きく、本実験仕様では、深度 500m 程度において、余りフィルタリングの効果が見込めないことが分かった。



(a) 深度 500 m に係留



(b) 深度 1,000 m に係留



(c) 深度 2,000 m に係留

図 5 . 係留系による実海域実験結果

また、図 6 に探査機による実海域実験の結果を示す。南西方向へ航走する探査機の軌跡

を測位することができた。係留系の場合と比較し、小さいサイズの受波器アレイを用いたが、前述のように母船位置推定誤差による 0.5~1m 程度の跳びを示しつつ、移動している様子が分かる。表 2 に示す程度のサイズの受波器アレイでも実用的であることが示された。

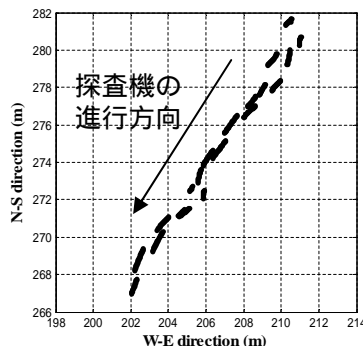


図 6 . 探査機による実海域実験結果

(2) 今後の展開

本課題で得られた知見を基に、運用機の設計検討を行い、平成 27 年度から 2 年間程度で、運用機プロトタイプを製作する予定である。前述した母船位置推定誤差の影響を半分程度にするよう検討を進めている。実用における課題としては、受波器アレイと姿勢センサの設置誤差をどのようにキャリブレーションするかということがあり、今後具体的な検討が必要である。

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 2 件)

Y. Watanabe, H. Ochi, and T. Shimura, "An Experiment of Acoustic Navigation System Using Inverse Super Short Baseline for Underwater Vehicle", ASME2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2014), 2014/06/13, San Francisco, California, USA, (発表論文査読有) .

Y. Watanabe, H. Ochi, and T. Shimura, "A Study of Inverse SSBL Acoustic Positioning with Data Transmission for Multiple AUV Navigation", OCEANS2012, 2012/05/24, Yeosu, Korea.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 佳孝 (WATANABE, Yoshitaka)
 独立行政法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究員
 研究者番号：40359138