

令和元年6月7日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02428

研究課題名(和文) 海底センサネットワークとの連携によるAUVの長期広域展開手法

研究課題名(英文) Long-term and wide-area deployment of an AUV based on seafloor sensor network

研究代表者

巻 俊宏 (Maki, Toshihiro)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：50505451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,700,000円

研究成果の概要(和文)：海底センサネットワークを拠点とする、AUV(自律型海中ロボット)の無人・長期・広域展開手法を提案し、海底環境の長期間、広範囲かつ密なモニタリングを行うための技術基盤を構築した。新開発した広域ナビゲーション手法により、音響測位範囲より遠く離れた海底観測ノード間のAUVの自律移動を実現、これまでに開発したドッキング手法の発展により、ノードへのAUVの自動ドッキング、充電および高速データ通信を実現する手法を確立した。さらにTri-TON 2, Tri-TON, Tri-Dog 1という3台のAUVを用いた海域試験により、本手法が複数のAUV間の相互測位にも応用可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、AUVを船舶や人間の介在無しで長期間かつ広範囲に展開する手法が確立された。海底ステーション単体へのドッキングや音響ナビゲーションに関する研究事例は存在するが、複数の海底ステーションからなる海底センサネットワーク全域をターゲットとし、かつドッキングまで含んだシステム提案はこれまでほとんど存在しない。本手法は現在常識となっている船舶ベースの海洋調査を根本から変える可能性を秘めており、サイエンス分野のほか、資源開発、漁業、施設管理、環境モニタリング、捜索救助など幅広い応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：This research developed a technical base to realize long term, wide area, and dense observation of seafloor, by developing a method to deploy an autonomous underwater vehicle (AUV) based on seafloor sensor network. The newly developed wide area navigation method enabled an AUV to transit to another seafloor station beyond the range of acoustic positioning devices. Docking method was also developed, which enables an AUV to dock to a seafloor station to charge battery and send data. Furthermore, it is also verified that the method can be applied to multi vehicle navigation, through sea experiments using the three AUVs, Tri-Dog 1, Tri-TON, and Tri-TON 2.

研究分野：海中プラットフォームシステム学

キーワード：AUV 自律型海中ロボット 海底ステーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

AUV はエネルギー源と頭脳 (計算機)、推進装置、センサ類を搭載した自己完結型の海中探査機であり、人間の管制を受けずに全自動で活動可能であるため、海中探査のための新たなプラットフォームとして注目されている。しかしながら保持できるエネルギーやデータ量には限りがあるため、全自動といいつつも、その展開・回収・再充電のために母船が必要となり、コスト的に従来の探査システムと大差無いのが現状である。また、船舶を使用するため、実際に観測できる時期や回数は船舶の運航スケジュールや天候、海況に大きく左右される。一方で JAMSTEC の開発した DONET のような海底ケーブルによるセンサネットワークは長期的に連続した観測ができるという利点があるが、観測点が限定されるという欠点がある。

2. 研究の目的

新たな海底観測手段として注目されている海底センサネットワークを拠点とする、AUV (自律型海中ロボット) の無人・長期・広域展開手法を提案し、海底環境の長期間、広範囲かつ密なモニタリングを行うための技術基盤を構築する。新開発する広域ナビゲーション手法により、音響測位範囲より遠く離れた海底観測ノード間の AUV の自律移動を実現、これまでに開発したドッキング手法の発展により、ノードへの AUV の自動ドッキング、充電および高速データ通信を実現する。本手法は現在常識となっている船舶ベースの海洋調査を根本から変える可能性を秘めており、サイエンス分野のほか、資源開発、漁業、施設管理、捜索救助など幅広い応用が期待される。

3. 研究の方法

提案手法の核となる手法は、図 1 に示すように単独のステーションの周囲を観測するためのローカルナビゲーション、音響測位レンジを超えて離れたステーションに移動するためのインターノードナビゲーション、そしてステーションに接触して非接触充電および通信を行うドッキングの 3 点である。それぞれについてシミュレーション、水槽試験、海域試験を繰り返しながら開発を進める。実験用プラットフォームとして、申請者らがこれまでに開発した AUV および海底ステーションを改造して用いる。

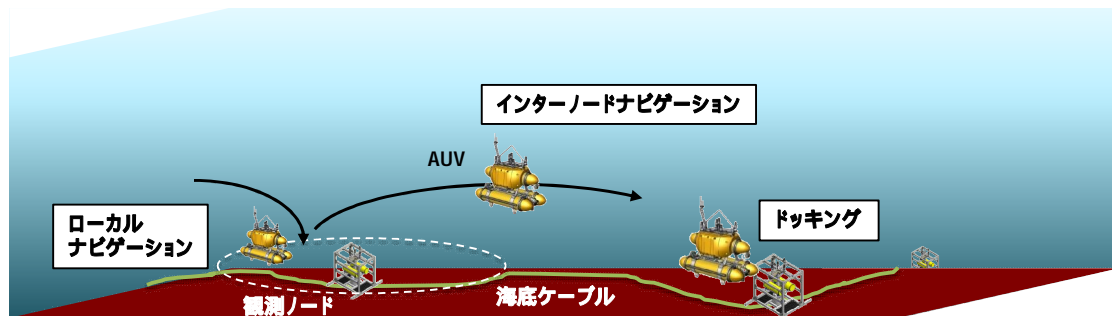


図 1 提案手法の概要

4. 研究成果

第一年度は AUV のナビゲーション手法の開発を実施した。AUV が海底ステーションの周辺で行動するためのローカルナビゲーション、海底ステーション間を移動する際、音響測位レンジを離れた場合の誤差増大を考慮したインターノードナビゲーションについて、それぞれこれまでに海域試験で取得したデータによるシミュレーションならびに水槽試験により、アルゴリズムを開発した。また、観測用プラットフォームとして申請者らの所有する AUV Tri-TON 2 ならびに海底ステーション A 型の整備を行い、駿河湾奥部の内浦湾において海域試験を実施、ローカルナビゲーションおよびドッキング手法の有効性を検証するとともに、さらなる改良に向けて課題を抽出した。

第二年度は第一年度に引き続いて実験用プラットフォームとして AUV Tri-TON 2 ならびに海底ステーション A 型の整備を進めた。昨年度に実施した海域試験の結果を踏まえ、システムの安定性向上に資する電氣的、および機械的な改造を実施した。AUV がステーション間を移動するためのインターノードナビゲーション手法の実証試験を鹿児島湾にて実施した。水深約 200m の海底に海底ステーションを設置し、AUV Tri-TON 2 を展開、自律制御によりステーション近傍から約 800m 離れた地点まで往復させた (図 2、3)。また、AUV の絶対位置を外部の高精度音響測位装置でも計測した。本試験によって得られたデータにより、ステーションとの音響測位圏外へ移動する際の AUV の測位手法を提案するとともに、その有効性を評価した。また、本手法の応用により AUV が海底に着底する手法についても検討し、海底重力探査への応用について検討した。ドッキング手法についても、海底ステーションおよび Tri-TON 2 に必要な治具を取り付け、水槽試験および海域試験を通して開発を進めた。



Tri-Ton2



海底ステーション

図2 鹿児島湾に展開した機器

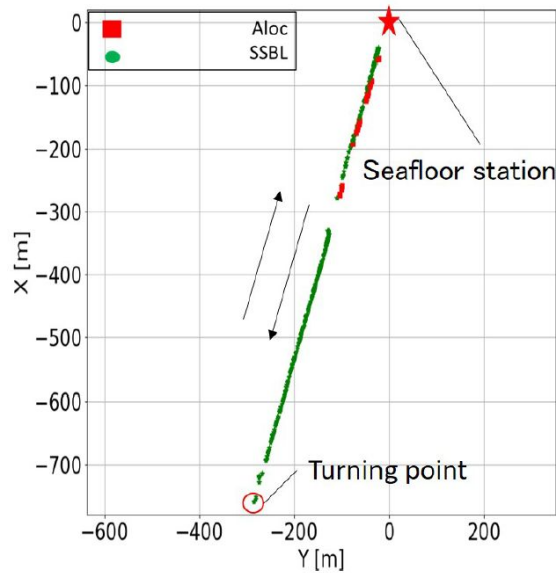


図3 AUV Tri-TON 2 の航跡の SSBL (音響測位) による測位結果。海底ステーション近傍からスタートし、約 800m 離れた地点で折り返して再びステーションに接近した。

第三年度は第二年度までの海域試験で得られたデータを用いたシミュレーションにより、インターノードナビゲーションにおいて AUV の自己位置の確率分布がどのように変化するかを定量的に明らかにした。図4がその結果であり、ステーションから離れる場合はステーションとの音響測位レンジ(約 200m)より離れると測位誤差が増大する様子がわかる。また、ステーションへ接近する際も測位誤差は増えるが、音響測位が得られると測位誤差が減少する。これにより遠く離れたステーションへ移動した際に測位誤差を正しく修正できることが確認された。また、ドッキング手法においても近距離での位置決め用の LED アレイが部分的にしか見えない場合でも活用できるようにアルゴリズムを改良し、オクルージョンや環境に対するロバスト性を向上させた。そして AUV と海底ステーションを用いて実施した水槽試験および浅海域試験により、音響測位からドッキング、充電に至る流れを確認した(図5)。また、2018年6月に鹿児島湾、9月に内浦湾にそれぞれ2台、3台の AUV を展開し、本手法を AUV 間の相互測位にも応用可能であることを確認した。これと並行して、近年発売された小型の音響測位通信装置の性能評価を行い、AUV に搭載した状態で相互測位、通信に使用可能であることを確認した。

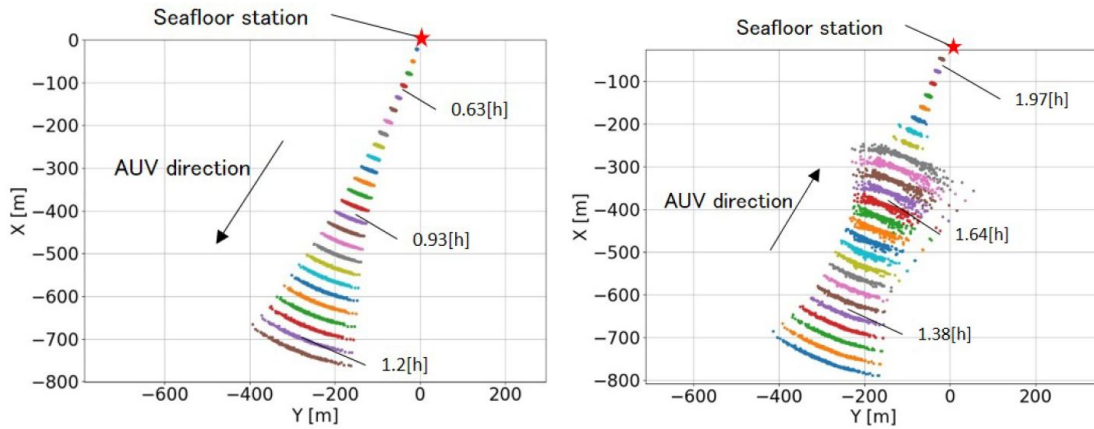


図4 鹿児島湾での試験結果を用いたシミュレーション結果。左：ステーションから離れる場合 右：ステーションへ戻る場合。

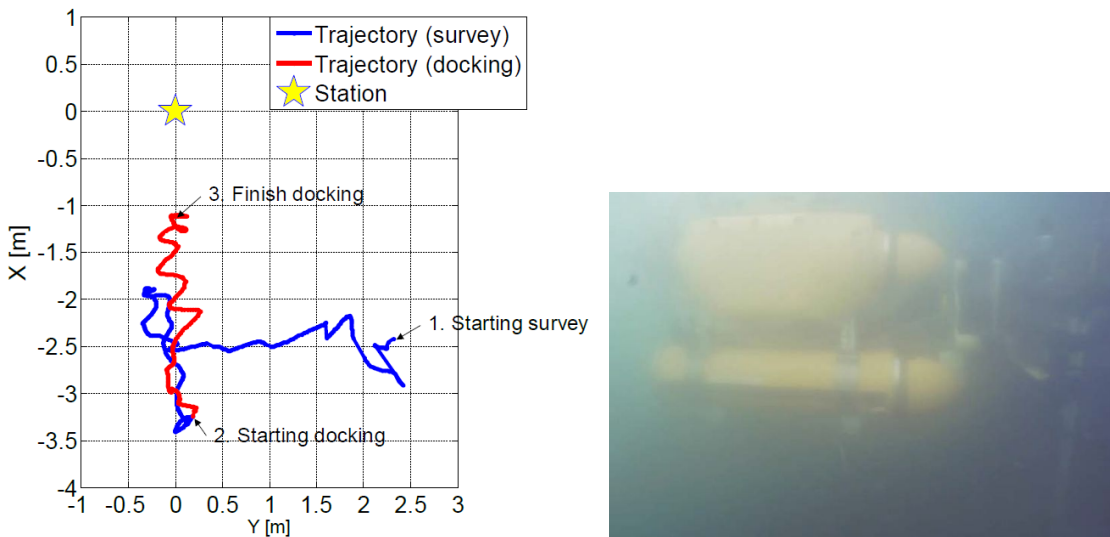


図5 浅海域におけるローカルナビゲーションおよびドッキング試験の結果 左：AUV Tri-TON 2の航跡（提案手法による推定結果） 右：ステーションにドッキング中のTri-TON 2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

T. Matsuda, T. Maki, T. Sakamaki, Accurate and Efficient Seafloor Observations with Multiple Autonomous Underwater Vehicles: Theory and Experiments in a Hydrothermal Vent Field, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), 4(3), 2333-2339 (2019.6)

査読あり

巻俊宏, 自律型海中ロボット - 魚のごとく -, 人工知能, 34(2), 222-227 (2019.3) 査読無し

巻俊宏, AUV: 自律型海中ロボット, 日本機械学会誌, 121(1199), 24-27 (2018.10) 査読無し

T. Matsuda, T. Maki, Y. Sato, and T. Sakamaki, Experimental Evaluation of Accuracy and Efficiency of Alternating Landmark Navigation by Multiple AUVs, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 43(2), 288-310 (2018.4) 査読あり

T. Maki, Y. Sato, T. Matsuda, K. Masuda, and T. Sakamaki, Docking Method for a Hovering Type AUV Based on Acoustic and Optical Landmarks, Journal of Robotics and Mechatronics, 30(1), 55-64 (2018.2) 査読あり

T. Matsuda, T. Maki, Y. Sato, and T. Sakamaki, Alternating Landmark Navigation of Multiple AUVs for Wide Seafloor Survey -Field Experiment and Performance Verification-, Journal of Field Robotics, (2017.9) 査読あり

〔学会発表〕(計 26 件)

増田殊大, 松田匠未, 巻俊宏, AUV 長期実海域運用に向けた位置と負荷変動にロバストな非接触充電装置の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会'19, 2A1-H09, 広島,

(2019.6) poster

T. Matsuda, T. Maki, K. Masuda, T. Sakamaki, K. Ohkuma, Port Experiments of the Docking and Charging System Using an AUV and a Seafloor Station, 2018 IEEE OES Autonomous Underwater Vehicle Symposium, Porto, (2018.11)

A. Yamaki, T. Yamamoto, T. Furukawa, H. Miyake, T. Shimura, T. Maki, Y. Koyano, A. Sasaki, The Exhibition, Research and Education of Lamellibrachia satsuma In the Kagoshima City Aquarium, 10th International Aquarium Congress 2018 Fukushima Japan, Fukushima, (2018.11) poster

巻俊宏, 海中で活躍するロボット技術の最新動向と今後の展望, 日本ロボット学会 第116回ロボット工学セミナー, 東京 (2018.10)

巻俊宏, 自律型海中ロボット(AUV)の開発, SUBSEA TECH JAPAN 2018 併催セミナー, 東京 (2018.9)

T. Maki, Autonomous Underwater Platform Systems, The 5th UTokyo-SJTU-KAIST Joint Academic Symposium, Chiba, (2018.9)

巻俊宏, NomadAUV:海底ケーブルネットワークを基地とするAUVシステムの実現に向けて, ワークショップ:海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望, 東京 (2018.9)

松田匠未, 巻俊宏, 坂巻隆, 高性能AUVを核としたAUV群の測位手法 -海底熱水地帯における複数AUVの展開-, 第36回日本ロボット学会学術講演会, 春日井, (2018.9)

巻俊宏, AUVの最新事情, 海洋開発利用システム実現学寄付講座 第51回セミナー, 千葉 (2018.6)

増田殊大, 巻俊宏, 松田匠未, AUV向け海中非接触充電装置の開発及び海域試験, ロボティクス・メカトロニクス講演会'18, 2P2-D07, 北九州, (2018.6) poster

T. Matsuda, T. Maki, T. Sakamaki, Multiple AUV Navigation Based on a Single High-performance AUV for Accurate and Efficient Seafloor Survey: Sea Experiments with 3 AUVs, OCEANS'18 MTS/IEEE Kobe / Techno-Ocean 2018, Kobe, (2018.5)

八巻鮎太, 山本智子, 古川貴裕, 三宅裕志, 志村豪大, 巻俊宏, 小谷野有加, 佐々木章, かごしま水族館におけるサツマハオリムシ展示・研究・教育普及の取り組み, 水族館シンポジウム, 柏, (2017.12)

T. Maki, Recent Developments on our AUV Fleet: Tri-TON 2 and HATTORI, The Eighth Symposium on Polar Science, Tokyo (2017.12)

松田匠未, 巻俊宏, 坂巻隆, 複数の自律型海中ロボット(AUV)による海底広域探査 -高性能AUVを核としたAUV群の測位手法-, 第35回日本ロボット学会学術講演会, 3K3-02, 埼玉, (2017.9)

T. Matsuda, T. Maki, Y. Sato, and T. Sakamaki, Accurate and Efficient Survey of Seafloor by Multiple AUVs Using Alternating Landmark Navigation -Sea Experiments by 3 AUVs-, OCEANS17 MTS/IEEE Aberdeen, Aberdeen, (2017.6)

伊東高明, 松田匠未, 巻俊宏, 海底ステーション間を移動するAUVのナビゲーション手法 自己位置の推定誤差に基づくベイズフィルタの切り替え, ロボティクス・メカトロニクス講演会'17, 2A2-G07, 郡山, (2017.5) poster

A. Oshida, T. Maki, T. Matsuda, S. Okuma, M. Komazawa, T. Tachibana, R. Kubota, Ocean Bottom Gravity Measurement Using a Landing AUV, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, (2017.5)

巻俊宏, 自律型海中ロボットAUV ~魚のごとく~, 第5回人工知能学会汎用人工知能研究会(SIG-AGI), 東京 (2017.3)

巻俊宏, 海中はロボットの世界 -自律プラットフォームシステムの可能性-, 第6回超異分野学会シンポジウム「より一層オープンな海底探査を目指して」, 東京 (2017.3)

巻俊宏, 海中ロボット, 第30回海洋教育フォーラム / 平成28年度第2回岩手県海洋エネルギー産業化研究会・公園会, 釜石 (2017.2)

②1 Y. Sato, T. Maki, K. Masuda, T. Matsuda, and T. Sakamaki, Autonomous Docking of Hovering Type AUV to Seafloor Charging Station based on acoustic and visual sensing, IEEE OES Underwater Technology 2017, Busan, (2017.2)

②2 巻俊宏, Autonomous platform systems for seafloor observation, International Symposium in Commemoration of the 130th Anniversary of MMBS, Tokyo (2016.11)

②3 T. Maki, Autonomous Underwater Platform Systems, International Workshop on Aqua Vision 2016, Kyoto (2016.9)

②4 巻俊宏, 自律プラットフォームシステムによる海中海底計測, 海中観測技術の実装に関するセミナー, 柏 (2016.8)

②5 巻俊宏, 佐藤芳紀, 水島隼人, 松田匠未, 増田殊大, 岡田宣義, 坂巻隆, 海底ステーションを基地とするホバリング型AUVの展開手法 -海底環境の長期モニタリングに向けて-, ロボティクス・メカトロニクス講演会'16, 1A1-17b4, 横浜, (2016.6) poster

②6 岡田宣義, 松田匠未, 佐藤芳紀, 水島隼人, 坂巻隆, 巻俊宏, 環境変化にロバストなホバリング型AUVのドッキング手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会'16, 1A1-17b1, 横浜, (2016.6) poster

〔図書〕(計 1 件)

海洋へのいざない, 日本船舶海洋工学会 (2017.5) 巻が p60-61 を担当

〔その他〕

ホームページ等

<http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：佐藤芳紀

ローマ字氏名：Yoshiki Sato

研究協力者氏名：松田匠未

ローマ字氏名：Takumi Matsuda

研究協力者氏名：坂巻隆

ローマ字氏名：Takashi Sakamaki

研究協力者氏名：伊東高明

ローマ字氏名：Takaaki Ito

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。