

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月5日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21686082

研究課題名（和文） 複数の自律型水中ロボットの協調による海底の広域・高精度マッピング手法

研究課題名（英文） Large-area precise imaging method of seafloors by multiple AUVs

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、複数の自律型海中ロボット（Autonomous Underwater Vehicle, AUV）が交互にランドマークとなることで、広範囲かつ高精度な海底画像マッピングを行う手法の研究開発を実施した。キーテクノロジーである AUV 間の相互測位・通信を行う装置を試作し、AUV Tri-Dog 1 と海底ステーションを用いた実海域試験を通して手法の有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：We have developed a method to obtain a precise seafloor image over wide-area, by collaboration of multiple autonomous underwater vehicles (AUVs). Firstly we had developed the key technology, a method to communicate and localize each other. Then the performance of the proposed method was verified through a series of sea experiments using the AUV Tri-Dog 1 and a seafloor station.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2010年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	21,000,000	6,300,000	27,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海中・海底工学、自律型水中ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

地表であれば人工衛星や航空機等によって容易に広範囲の画像マップを得ることができ、現在では Google Earth<sup>1</sup> のようにインターネット上で全世界の3次元画像を楽しむことができる。しかし海中では可視光線の到達距離の短さや測位精度の悪さといった問題があるため、これまでの観測手法では広域にわたる画像マップを構築することは非常

に困難であった。

AUV はエネルギー源と頭脳を内蔵した無索無人の水中探査機である。人間による遠隔制御を受けることなく全自動で長時間・広範囲を動き回ることができるため、広域画像観測を行うための理想的なプラットフォームである。しかしながら、画像マッピングに十分な精度で測位を行うためには、AUV は測位基準（ランドマーク）の近傍に留まる必要があり、広範囲かつ高精度なマッピングは難しかった。

<sup>1</sup> <http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/index.html>

## 2. 研究の目的

本研究では広範囲かつ高精度な海底画像マッピングを行うために、相互音響測位に基づく複数の自律型海中ロボットのナビゲーション手法を提案する。Fig.1 に示したように、2 台の AUV が交互に移動と停止を繰り返し、移動 AUV は停止 AUV を基準に位置推定を行う。これにより特定の領域に限定されることなく、広範囲にわたる観測が可能になる。相互音響測位は移動 AUV から計測した停止 AUV までの相対距離と相対方位と、停止 AUV が計測した相対方位を音響通信により共有することで、AUV は位置推定を行う。

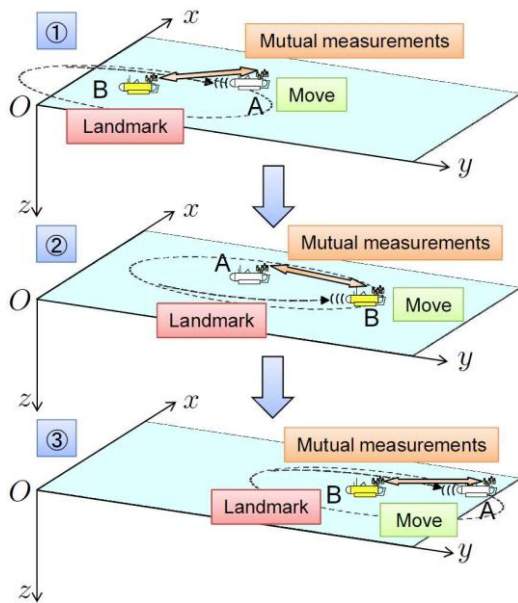


Fig. 1 Concept of the proposed method.

## 3. 研究の方法

本手法における基幹技術は、AUV 間での相互測位手法である。そこで、まずは音響によりこれを実現する手法を確立し、試作機を製作した。次にこの試作機を研究代表者らの所有する AUV Tri-Dog 1 に搭載して必要な改造を行うと共に、試作した海底ステーションにも搭載した。そして Tri-Dog 1 と海底ステーションにより水槽試験を繰り返すことで手法の改善を進め、鹿児島湾で行われた実海域試験により、実海域における相互音響測位手法の有効性を示した。Tri-Dog 1、海底ステーションの写真をそれぞれ Figs. 2, 3 に示す。

上記はあくまでも移動局 1 台 (AUV) と固定局 1 台 (海底ステーション) による実験である。そこで、2 台の AUV が相互に停止してランドマークになるという提案手法の有効性を示すために、実海域実験で得られたデータを用いたシミュレーションを実施した。

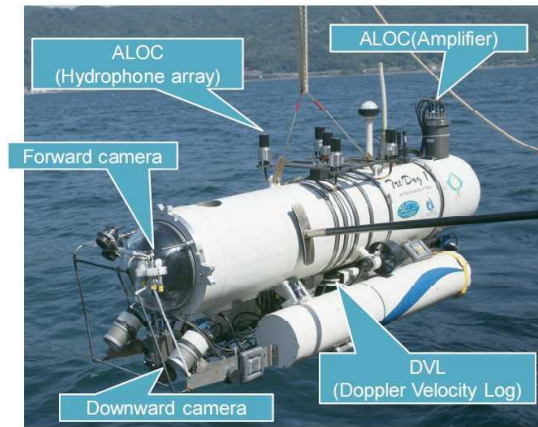


Fig. 2 AUV Tri-Dog 1.

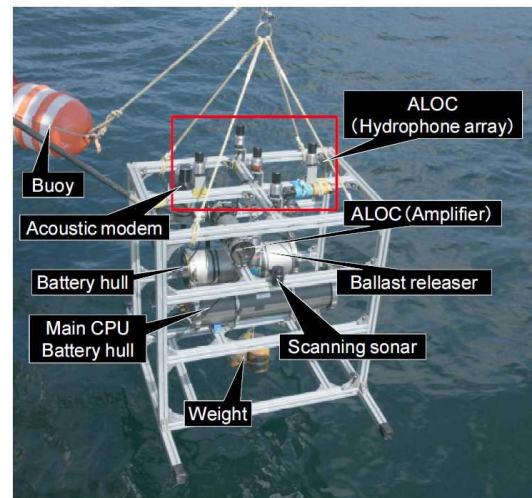


Fig. 3 Seafloor Station.

## 4. 研究成果

### (1) 実海域試験

2011 年 10 月に鹿児島湾奥部のいわゆる「たぎり噴気帯」周辺において実海域試験を行った。Tri-Dog 1 は水深約 80m の海底に設置したステーションを開発した音響測位・通信装置により発見し、ステーションを基準としてリアルタイムに自己位置推定を行い、海底の画像観測を実施した。パーティクルフィルタによって推定された測位誤差は、水平位置が 0.3m 程度、方位が  $1^\circ$  程度であった。また、Tri-Dog 1 がこのとき撮影した海底画像を比較した結果、提案手法による測位結果が従来手法 (デットレコニング、従来型の音響測位) よりも優れていることを確認した。Fig. 4 に第 7 潜航における Tri-Dog 1 の測位結果を、Fig. 5 にこの時得られた海底画像マップ (範囲は Fig. 4 に赤枠で示す) をそれぞれ示す。

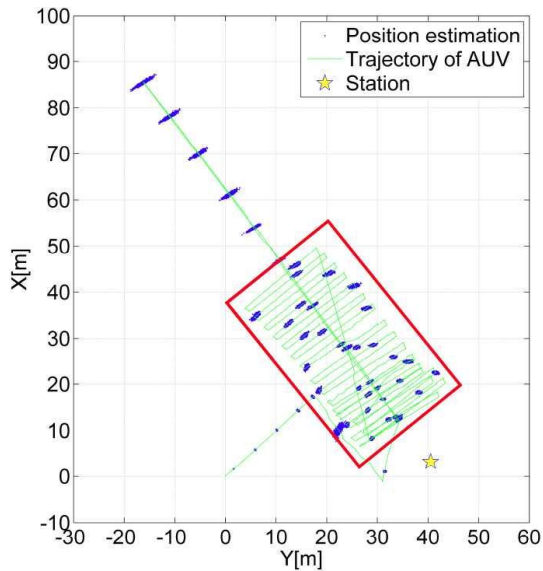


Fig. 4 Estimated trajectory of the AUV Tri-Dog 1 at Dive #7.

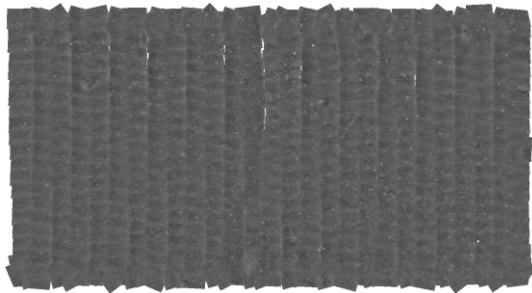


Fig. 5 Photomosaic of the seafloor obtained at the experiment (20 x 40 m).

### (2) シミュレーション

実海域実験の結果をもとに、複数の AUV が交互に基準となり位置推定を行う場合の誤差の推移についてシミュレーションを実施した。提案手法と固定基準の単体 AUV のナビゲーションの 2 通りで比較した。両手法によるシミュレーション結果をそれぞれ Figs. 6, 7 に示す。提案手法はミッションを通じて位置推定が収束しているのに対し、固定基準の場合は位置推定が基準を計測できる範囲に制限される様子が読み取れる。提案手法の場合、300m の領域をカバーした後、真値に対する誤差は X 方向に 0.1m, Y 方向に 0.5m 程度であった。この値は画像観測を行う上で十分な精度であり、よって提案手法の有効性が示された。

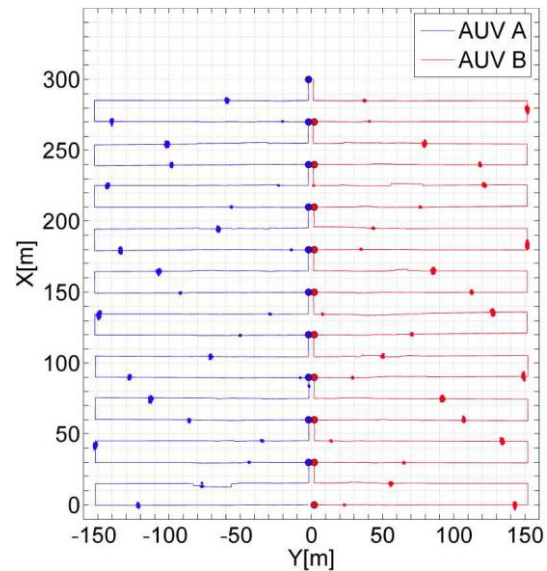


Fig. 6 Simulation results (Proposed method).

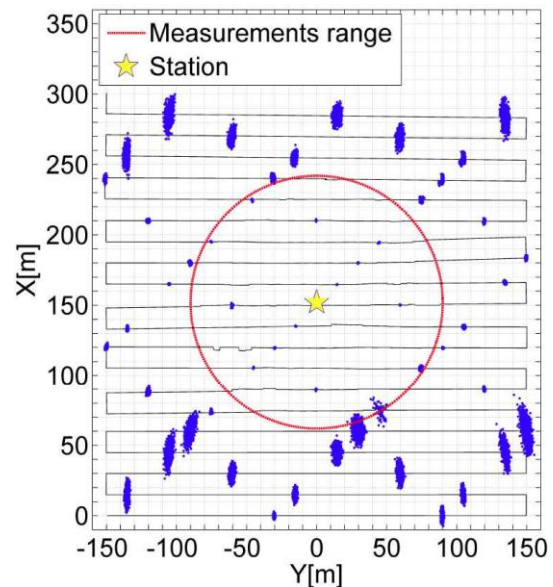


Fig. 7 Simulation results (Fixed station).

### (3) 今後の展望

本研究により、従来よりも広範囲な海底画像マッピング技術が確立された。AUV のハードウェアを支える技術（電池、機器の省電力化、高効率な推進手法）等の発展と本成果を組み合わせることで、より広範囲の画像マッピングが可能になると期待される。また、本技術は海底ステーションを基地とする AUV 運用にも適用可能であり、例えば海底ステーションで充電することで AUV の長期展開が可能となる。AUV 単独ではなく、海底ステーションや他の AUV 等、複数の機器の連携により、より広範囲・長期間・高精度な海底探査技術の開発が望まれる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① T. Matsuda, T. Maki, T. Sakamaki, T. Ura, Performance Analysis on a Navigation Method of Multiple AUVs for Wide Area Survey, Marine Technology Society Journal, 査読有, 46(2), 2012, 45-55, DOI:10.4031/MTSJ.46.2.6

[学会発表] (計 6 件)

- ① T. Matsuda, T. Maki, T. Sakamaki, and T. Ura, Alternant Landmark Positioning: Towards Wide Area Observation by Multiple AUVs, IEEE OCEANS' 12 Yeosu, May. 24, 2012, Yeosu, Korea.
- ② T. Matsuda, T. Maki, T. Sakamaki and T. Ura, Large area navigation method of multiple AUVs based on mutual measurements, IEEE OCEANS ' 11 Hawaii, Sep. 20, 2011, Kona, USA.
- ③ 巻俊宏, 松田匠未, 小島淳一, 浦環, 海底熱水地帯の 3 次元画像マッピングシステムの開発, 第 22 回海洋工学シンポジウム, 2011 年 8 月 2 日, 東京.
- ④ T. Maki, T. Matsuda, T. Sakamaki and T. Ura, AUV navigation with a single seafloor station based on mutual orientation measurements, 2011 IEEE International Symposium on Underwater Technology, Apr. 6, 2011, Tokyo, Japan.
- ⑤ 巻俊宏, 松田匠未, 小島淳一, 浦環, 海底ステーションとホバリング型 AUV による海底環境の広域画像化システム, 海洋調査技術学会第 22 回研究成果発表会講演要旨集, 2010 年 11 月 25 日, 32-33. 東京.
- ⑥ 巻俊宏, 海底設置ステーションと自律探査プローブによる海底環境の 3 次元画像マッピング, ワークショップ 海底資源開発を目指した海底観測機器開発の最先端, 2010 年 7 月 9 日, 東京.

[その他]

東京大学生産技術研究所 巻研究室 HP  
<http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究協力者

松田 匠未 (MATSUDA TAKUMI)  
東京大学大学院・新領域創成科学研究科・博士課程学生  
研究者番号: (なし)

小島 淳一 (KOJIMA JUNICHI)  
株式会社 KDDI 研究所・研究プロモーション部門・グループリーダー  
研究者番号: 50416575