

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15235

研究課題名（和文）母船レス調査システムによる調査効率化のための航走ルート定量評価手法の提案と評価

研究課題名（英文）Route evaluation method for autonomous underwater vehicle without support vessel

研究代表者

大木 健（OHKI, Takeshi）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海資源調査技術開発プロジェクトチーム・特任技術副主任

研究者番号：10768237

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、岸壁から調査海域に無人で展開される母船レス海底調査システムの効率的な運用を目指し、母船レス海底調査システムの調査計画の定量評価手法を提案し検証した。母船レス海底調査システムは単数または複数の自律型海中ロボット（AUV）および洋上中継器（ASV）によって構成される。この両者を一体的に複数の指標で評価することにより、複数の調査計画の中から実運用における調査日数などの制約条件を満たしつつ最も効率的な調査計画を比較、選定することが可能となると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象としている母船レス海底調査システムは、数が限られる有人調査船に依らずに無人での海底調査が可能なシステムであり、現在世界中で研究開発が行われている。このようなシステムの大規模展開により、未だその大半が詳細に調査されていない深海底の調査が進展することが期待されている。本研究は、上記システムの実用化、利活用拡大を目指し、その効率的な運用のための手法を提案するものである。

研究成果の概要（英文）：In this research, I proposed and verified the mission plan evaluation method for seafloor mapping system without crewed support vessels directly deployed from a shore base to a survey site. The seafloor mapping system consists of single or multiple autonomous underwater vehicles (AUVs) and autonomous surface vehicles (ASVs). Evaluating these vehicles as one system using several indexes makes it possible to compare several mission plan candidates and select the most efficient one, which satisfies the constraints in real sea trial operations such as the allowed survey period.

研究分野：フィールドロボティクス

キーワード：自律型海中ロボット 洋上中継器

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

未だその大半が詳細に調査されていない深海底において、自律型海中ロボット (Autonomous Underwater Vehicle: AUV) の活用が進んでいる。AUV は一般的に、調査船 (母船) に搭載されて調査海域まで運搬・投入され、潜航後は母船からの音響通信・測位の支援を受けながら調査活動を行い、浮上後はスィマーにより母船に揚収される。近年では、母船に代わり AUV を追尾し、音響通信・測位を担う自律型の洋上中継器 (Autonomous Surface Vehicle: ASV) が開発され、AUV と ASV のペアで海域に展開することで、同時展開可能な AUV の機数を増やし、効率的な海底調査が行われるようになりつつある。しかし、船舶を利用する限り、調査活動には作業員と船舶が必要となり、機動的な観測が難しいことから、母船レス海底調査システムの提案・開発が進んでいる。当該システムは、母船が担っていた機能を、ASV 及び通信機能を備えた陸上管制局によって代替するものである。これらのアプローチでは、AUV は ASV に搭載されるか、あるいは、ASV によって曳航されることにより海域に投入され、潜航した AUV は、ASV を経由して陸上から遠隔管制される。

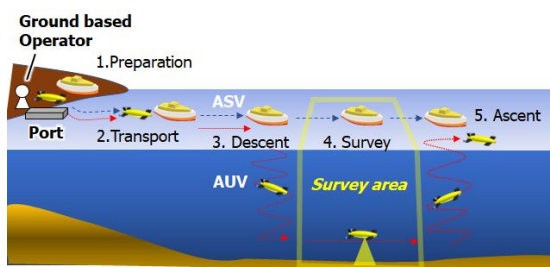


図.1 母船レス海底調査システムの運用イメージ

研究代表者は、これまでに ASV によって AUV 複数機を陸上から衛星通信で管制する母船レス海底調査システムを提案・構築し、実海域での検証を行ってきた (引用文献)。当該システムでは、1 機の ASV により複数の AUV を岸壁から調査海域まで曳航し、調査海域で AUV を切離して潜航させ、陸上から衛星と ASV を経由して複数の AUV を管制する形を取る。こうした母船レス調査システムの運用を重ねる中で、岸壁から洋上航行、潜航状態までの各フェーズで、ロボットと環境の様々なパラメータにより、システム全体で調査可能な面積が多く変化することが分かってきた。しかしながら、母船レス海底調査システムは、現時点で開発・運用事例に乏しく、広大な海洋環境に対してどのような数の AUV・ASV の組み合わせをどのようなルートで航走させれば効率的なマッピングが可能となるか、十分な知見が存在しない。

2. 研究の目的

母船レス海底調査システムのミッション計画は、調査環境や調査システム (AUV・ASV) の構成、それぞれの航走ルートや、ルートごとの AUV・ASV の速力、対象海域の利用可能期間など多様な要素から構成される。本研究では、これらすべてをあわせて「ミッション計画」と呼称する。本研究では、様々な母船レス海底調査システムのミッション計画の定量評価手法を構築することを目的とした。なお、本研究で想定する母船レス海底調査システムは、ASV により AUV を洋上で曳航するタイプであり、陸上管制局、ASV1 機、AUV1 機のシステム (以下、当該システム) とした (図 1)。

3. 研究の方法

本研究では、当該システムの運用可能時間は、ガソリンなど豊富なエネルギーを利用可能な ASV ではなく、内蔵エネルギーに制約が大きい AUV の稼働時間がボトルネックとなるとの仮定に基づき評価指標を提案した。具体的には、当該システムのミッション計画を定量的に評価する簡易な指標として、調査エネルギー効率 (Survey energy efficiency: SEE) を定義した。SEE はミッション計画における事前推定調査可能面積とそれに要する AUV の事前推定消費電力量から算出する。

SEE では、そのミッション計画において、ボトルネックとなる AUV のエネルギーが足りているか、余るのであればどの程度余裕があるのか、といった点が考慮されていないため、ミッション計画終了時の AUV のバッテリー容量の余剰割合も指標とした。また、海域での調査が可能な期間は実海域では日数制限があり、また、海況次第で中断を余儀なくされることがあることから、ミッション計画の総所要時間も指標とした。以上の指標群を用い、具体的なミッション計画を複数立案し、最も SEE が高いミッション計画を選定する手法を提案した。

また、ミッション計画の調査効率に着目した上記指標とは別に、ASV と AUV の間の通信や測位の安定性についても基礎的な検討を行った。AUV 自体は、外部からの通信・測位が伴わなくても自律航走が可能であるが、ミッションによっては、陸上管制局・ASV・AUV の間で常に通信を維持し、ASV からの音響測位により AUV の位置を常時モニターすることが求められる。この場合には、ミッション計画として海中音響通信・測位が維持されるかを評価する必要がある。通信には、AUV から ASV へのアップリンクと、その逆のダウンリンクがあるが、本研究では、受信環境が厳しいアップリンク、すなわち、ASV 側での受信可能 SNR (Signal Noise Ratio) を用いて AUV の通

信・測位の安定性を評価することとした。通信・測位の可否に影響する主な環境要素としては、ノイズやドップラー効果、マルチパスが挙げられるが、本論ではノイズにのみ着目し、次の片道のソナー方程式を用いることとした。

$$SL - TL - (NL - AG) = DT$$

ASV・AUV間の直線距離 l 、ASV から AUV への直下方向からの相対角度（図2）を定めるとき、SL(source level)は AUV 送波器の走破音圧と指向特性より計算し、 l により変化するものとした。TL(transmission loss)は拡散減衰と吸収減衰の和であり、 l の変数とした。NL(noise level)、AG(array gain)は、それぞれ ASV の航走ノイズ、ASV 側受信器仕様等から決定した。DT(detection threshold)は、それぞれ通信、測位が可能な閾値とした。

4. 研究成果

本研究では、岸壁から調査海域までの距離が 54km と、その 5 倍の 270km という 2 つの異なる環境を仮定し、それぞれ環境 S、環境 L とした。この 2 つの環境に対して、実際の AUV や ASV の性能を参考に当該システムの速力や消費電力、海底調査用に AUV に搭載するマルチビーム音響測深器の性能等の具体的な仕様を定め、これを用いた調査を行うシンプルなミッション計画を作成し、それぞれミッション計画 S1, L1 とした。続いて、ベースとなるミッション計画 S1, L1 について、ASV による AUV 曳航速力や、AUV の海底付近での調査時の速力など、いくつかのパラメータを変更した比較用のミッション計画をそれぞれ 4 つ作成した(ミッション計画 S2~S5, L2~L5)。上記合計 10 個のミッション計画群について検証を行い、様々な要素からなるミッション計画について、そのエネルギー効率を SEE という簡潔なパラメータによって定量的に比較できることを確認した。

また、AUV から ASV への通信・測位が可能な範囲については、実際に AUV・ASV に搭載している音響通信・測位装置の送受波レベルや航走ノイズの実測値等を用い、通信・測位ごとの検出閾値をそれぞれ 10 dB、5 dB と仮定して、通信・測位の可能範囲を計算可能であることを確認した。上記検討におけるノイズレベルは ASV での実測値から一定値としたが、実際には AUV や ASV の速力が大きくなると航走ノイズも大きくなるため、通信・測位可能範囲は狭くなる。こうした点を考慮した上で、複数 AUV・ASV からなる大規模な母船レス海底調査システムのミッション計画のエネルギー効率と通信・測位安定性を一体的に評価することが今後の課題である。

本研究にて提案・検証した手法を活用することにより、考えられる複数のミッション計画候補の比較や、各種制約条件等を考慮したミッション計画のパラメータ調整を行うことで、様々な母船レス海底調査システムのより効率的な運用が可能になることが期待できる。

< 引用文献 >

Takeshi Ohki, Hitoshi Kakami, Yuya Nishida, Takeshi Nakatani, and Thornton Blair, "Development and Testing of an Unmanned Surface Towing System for Autonomous Transport of Multiple Heterogeneous Underwater Vehicles for Seafloor Survey," Marine Technology Society Journal, Volume 54, Number 5, 2020, 61-71

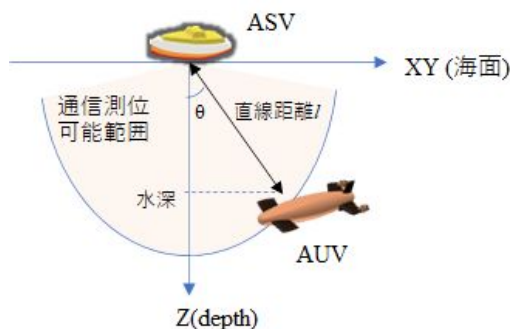


図.2 ASV・AUV間の位置関係に基づく通信・測位可能範囲の検証

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大木健
2. 発表標題 母船レス海底調査システムのためのミッション計画の定量評価手法
3. 学会等名 システムインテグレーション部門講演会（SI2020）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2020）優秀講演賞 受賞
--

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------