

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08029

研究課題名(和文)2台の小型水中ロボットによる海中協調作業用制御アルゴリズムの構築

研究課題名(英文)Development of control algorithms for underwater cooperative task using multi ROVs

研究代表者

三好 扶 (Miyoshi, Tasuku)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：10392193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：複数台のロボットを協調させて作業を行わせるとき、水中環境ではお互いのステータスを通信することが困難である。そこで、各ロボットの作業内容は互いに持つことなく、割り当てられたシナリオを自律遂行することで協調制御が達成されることを実験的に明らかにした。また、作業遂行時の状況をリアルタイムに学習しフィードバックゲインそのものをチューニングすることで、さらに協調制御の精度が高まることが示唆された。一方、作業状況を監視するオブザーバが必要となることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数台のロボットを協調させて作業を行わせるとき、水中環境ではお互いのステータスを通信することが困難である。そこで、各ロボットの作業内容は互いに持つことなく、割り当てられたシナリオを自律遂行することで協調制御が達成されることを実験的に明らかにした。この成果をベースとし、さらに複雑な作業を実施できるようにすることで、極限環境下での作業を遂行する協調ロボットシステムの構築が可能となる。

研究成果の概要(英文)：It is difficult to communicate the status of each other in an underwater environment when multiple robots work in cooperation. In this study, it was clarified experimentally that cooperative control can be achieved by autonomously executing the assigned scenario without having each robot's status. The results suggested that the accuracy of cooperative control would be further improved by learning the situation during work execution in real time and tuning the feedback gain itself. In addition, it became clear that an observer robot should be required to monitor the work status.

研究分野：ロボット工学

キーワード：水中ロボット 協調作業 協調制御 マルチロボット

1. 研究開始当初の背景

日本は海に囲まれた島国であり、古くから海産物を食料としてきた。豊かな漁場を守りつつ、安定的に海産物を供給するには海の状態や生態を調査することが重要である。磯根資源調査では資源数や被度などを調査方法としてビデオトランセクト法やコドラート法がある。ビデオトランセクト法は海底に設置されたライン周辺の調査を行うものであり、コドラート法は海底に枠を設置し枠内の調査を行うものである。一般にこれらの調査は潜水土に依存するが、潮の流れの速い浅瀬での作業が多く危険も伴う。そこでこれらの調査を水中ロボットによる作業代替を達成すべく、本研究を計画した。

2. 研究の目的

複数台のロボットを同時に使用することで、単一ロボットの限界を超えるタスクの達成、あるいは達成速度の向上が可能となる。一方、水中調査において調査対象や調査方法により必要とされる機能は異なり、複数の調査が実施可能なロボットは多数の機能を搭載することによる機体の大型化と複雑化による扱いの難しさが顕在化する。そこで我々は状況に応じて搭載する機能を変更可能な機体を用いることで大型化や複雑化の問題を解決すべく、各機能が独立して制御可能な協調ロボットシステムの開発を行うことを目的とした。なお本研究での「協調」とは制御系の独立した複数の機体が同一の目的に向かい協力することと定義する。

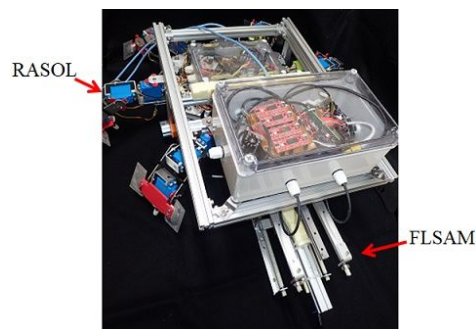
水中においてロボットアームとベースロボットによる姿勢制御ではベースロボットが水中に浮いている場合と地面に着底している場合が想定されるが、本研究では着底が可能なロボットを用い、一般的なプロペラ推進器を用いた水中ロボットでは調査不可能な岩陰や深奥部への侵入調査、および物体把持を対象とし、アーム部分の移動に伴い変化する機体姿勢を任意に維持するベース部分の姿勢制御について研究開発を実施する。

3. 研究の方法

(1) 協調動作時の姿勢制御実験

障害物回避や岩陰・深奥部へ侵入可能な柔軟な伸縮アーム機構 (Flexible Lengthening-Shortening Arm Mechanism: 以降 FLSAM) を、脚機構による推進と海底に接地しての作業が可能な水中 6 脚ロボット (Radially Arranged Six-legged Octopus-Like remotely operated vehicle: 以降 RASOL) に搭載し、協調システムを構築する (図 1A)。本研究における協調システムとしての姿勢制御は、FLSAM の移動可能平面を RASOL で任意に維持することとする。ここで目標姿勢とは操作者側が入力する RASOL が維持すべき機体姿勢とし、現在姿勢とはセンサから逐次計測される現在の機体姿勢とする。システム構成は図 1B に示す。

(A)



(B)

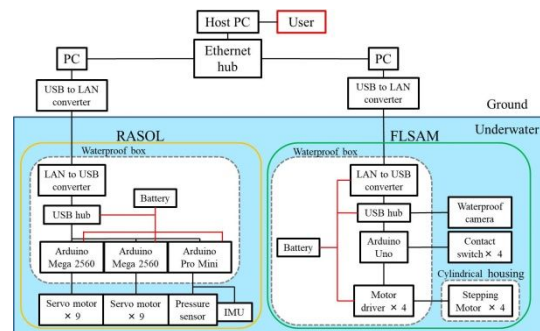


図 1 水中協調ロボットシステム。(A): 異なる機能を有するロボットの組み合わせ例、(B)システム統合構成。

(2) 協調動作時の物体把持実験

物体のサイズを計測し、把持可能な大きさであればこれを把持するシリアルリンク型ロボットアーム機構を搭載した水中脚ロボットによる物体把持実験を実施する。ここでは、アーム機構によるエンドエフェクタ部の姿勢が可制御であることから、対象物体との相対位置・相対姿勢が維持されるような協調システムを構築する。これにより対象物体が移動する場合にも対応可能となる。

4. 研究成果

(1) 協調動作時の姿勢制御実験

RASOL の初期姿勢角度 (ψ, θ) をそれぞれ (A) (0, 0), (B) (1, 0), (C) (0, 1), (D) (1, 1) としたときに構成される平面と、当該平面内を FLSAM が移動した様子を図 2 に示す。この結果、FLSAM 動

作中に RASOL の機体姿勢は不感帯内に収束していることが確認できる。FLSAM の移動に伴って重心位置が変化するが、RASOL はその変化に依存せず一定の姿勢を維持できたとわかる。一方、FLSAM の先端部に錘を取り付けて同様の実験を行うと、RASOL が振動することが確認された。これは RASOL の姿勢が FLSAM の移動に伴う重心位置変化に敏感であり、水中での協調ロボットとして作業に伴う重心位置変化に対して、フィードバックゲインの適応が可能となる制御系の構築が有用であると示唆された。

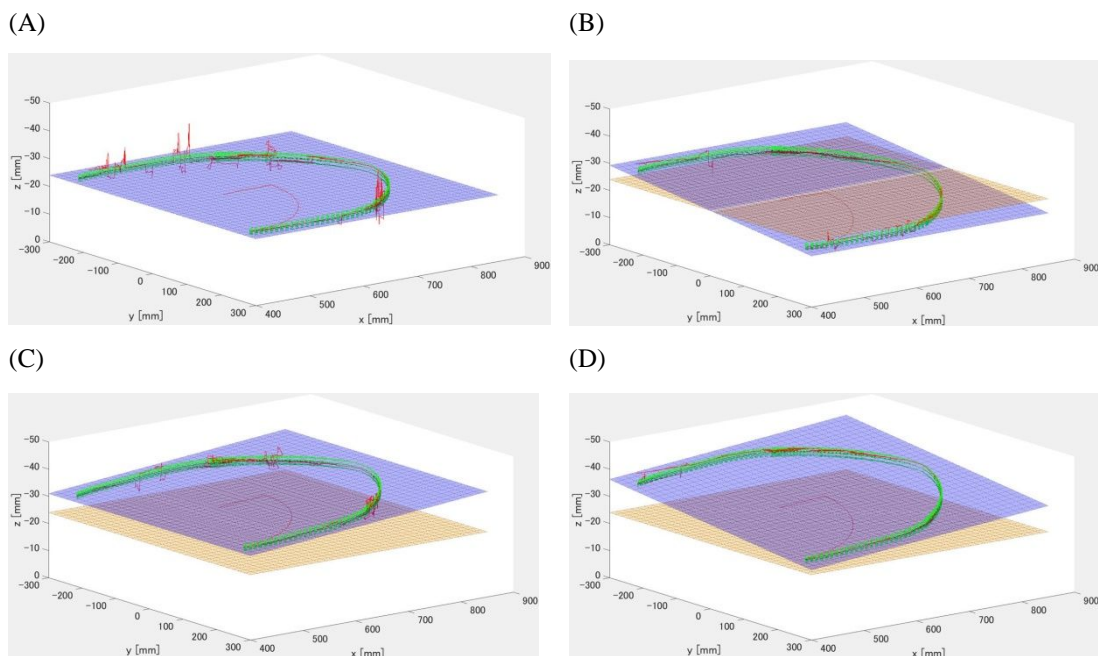


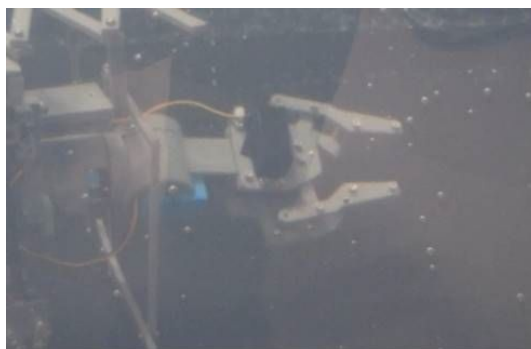
図 2 FLSAM 移動時における RASOL 姿勢制御

(2) 協調動作時の物体把持実験

物体のサイズを計測し、把持可能な大きさであればこれを把持するシリアルリンク型ロボットアーム機構を搭載した水中脚ロボットによる物体把持実験について、ベース部は対象物体との相対位置・相対姿勢が維持されるような協調システムを構築した。右図はこの協調動作中のロボットハンド部による対象物の把持後に壁に衝突し物体を落とした瞬間となっている。

対象物との相対位置・姿勢を維持できても、外界状況との位置関係を認識させることは当然重要なポイントであるが、水中かつ狭小空間でこれを達成するには今後より詳細な研究が必要である。

また、外界状況を理解させるために第 3 者的/俯瞰的な視点(オブザーバ)を持つことも有用であり、今後は作業ロボットを監視するためだけに存在し続けるオブザーバロボットの同時展開も視野に入れつつ複数台のロボットシステムによる協調制御系の構築を目指す。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Miyoshi T, Asaishi K, Satoh K	4. 巻 7
2. 論文標題 A novel seabed surveying autonomous underwater vehicle with spatial control system for managing fishery resources by a video-transect method.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Aquaculture and Marine Biology	6. 最初と最後の頁 206-211
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15406/jamb.2018.07.00210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tomoka Shimizu, Tasuku Miyoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Postural control in the pitch direction using flexion angles of the root and fin tip of the pectoral fin in <i>Mobula japonica</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms	6. 最初と最後の頁 6-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5226/jabmech.8.6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yoshiki Iwamochi, Motoki Takagi, Tasuku Miyoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Flexible lengthening-shortening arm mechanism for fishery resource management	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 290-301
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.25046/aj020636	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 佐藤翔太、高木基樹、三好扶	4. 巻 54
2. 論文標題 水中6脚口ポットにおける機体姿勢制御	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 16-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.54.16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三好扶、高橋伸和
2. 発表標題 海中岩陰部への侵入と調査を目的とした2台のROV協調制御 アーム部動作に伴うベース部自律姿勢制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Iwamochi, Motoki Takagi, Tasuku Miyoshi
2. 発表標題 Flexible lengthening-shortening arm mechanism for an underwater vehicle.
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩持賢季, 三好扶, 高木基樹
2. 発表標題 柔軟な伸縮アーム機構を有する水中ロボットアームの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第308回 研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山生章義, 高木基樹, 三好扶
2. 発表標題 魚の捕食行動のモデル化に用いる水中ロボットシステムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第308回 研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩持賢季, 三好扶
2. 発表標題 水中の岩陰調査を目的とした柔軟な伸縮アーム機構の開発
3. 学会等名 計測自動制御学会第18回システムインテグレーション部門講演会 (SI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山生章義, 三好扶
2. 発表標題 魚の捕食行動のモデル構築に資する水中ロボットシステムの開発～水中移動対象の捕捉～
3. 学会等名 計測自動制御学会第18回システムインテグレーション部門講演会 (SI2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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