

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04190

研究課題名（和文）複眼水中ロボットの実海域充電実証と両眼転導による広範囲／高精度空間認識

研究課題名（英文）Real-sea recharging confirmation of underwater robot with dual-cameras and wide-space/high-accuracy perception by eye-vergence function

研究代表者

見浪 護（Minami, Mamoru）

岡山大学・自然科学研究科・特命教授

研究者番号：80262608

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000 円

研究成果の概要（和文）：複眼で動画像を認識し空間計測に基づいてロボットを制御するビジュアルサーボ技術を水中ロボットに応用し、水中での自動充電を可能とする自動ドッキング制御技術について研究を続けた。その結果深海底での継続的運用が可能なロボット作業の実現につながる自律水中ロボット(AUV)の自動充電模擬実験(仮想充電ステーションとの嵌合を意味する)の実海域実証実験(瀬戸内海)に成功した。さらに発光3次元マーカ-を考案することで、深海底を模擬した漆黒光環境と海底泥舞上り条件下での瀬戸内海実海域嵌合にも成功した。2022年度はドッキングのための水中空間計測技術を泳ぐ魚の位置姿勢計測技術に応用し、魚の寸法計測技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自律水中ロボット(AUV)の自動制御技術は、AUVの位置姿勢をリアルタイムに計測する技術が不可欠であり、空間計測技術の開発はAUVの海底での自律的活動電を可能とする自動嵌合制御を可能とする。海底では海流変化、濁り、水中物体によるカメラ視界遮蔽など海中独特の外乱が存在し、これらの外乱に対するロバストな充電ドッキング制御技術の開発を行った。自発光3次元マーカ-と複眼カメラを用いたリアルタイム計測、およびドッキング安定化制御方法の開発により瀬戸内海での実海域ドッキングに成功しその実用的能力を実証した。さらに開発した空間計測技術を泳ぐ魚の寸法計測に応用し養殖技術の自動制御化とSDGs達成に貢献した。

研究成果の概要（英文）：Development of autonomous docking control technologies that enables automatic recharges of batteries for the power sources of underwater vehicles has been conducted. The experiments have shown that the developed real-time 3D-pose (position and orientation) measurement system combined with AUV controlling technologies has abilities to make the vehicle dock to the simulated docking station in real Setouchi Inland Sea. On top of this result, the docking performances have been confirmed in the environment with complete darkness and mad surging condition representing the deep-sea bottom circumstances by using self-lighting 3D-maker developed in this research. By expanding the resulted real-time space perception abilities to measurement of swimming fishes, new measurement method of swimming fishes' length has been achieved.

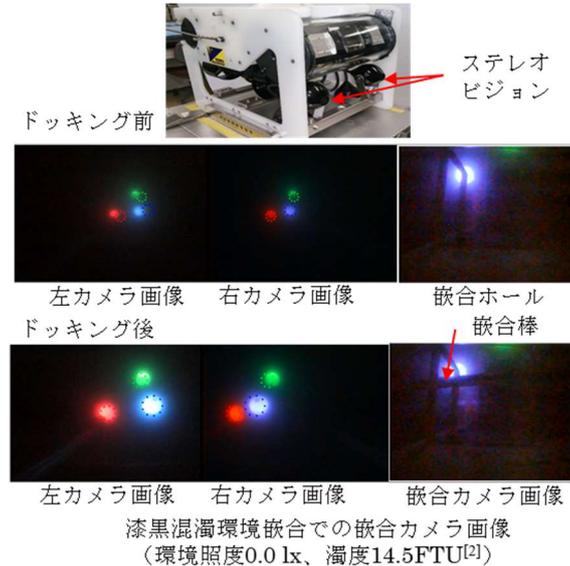
研究分野：水中ロボティクス

キーワード：ドッキング制御 リアルタイム空間計測 位置姿勢安定化制御 自律型ロボットのための自律充電 泳ぐ魚の寸法計測 魚養殖の自動制御化 省エネ養殖によるSDGs貢献

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

気中(水中に対して陸上を「気中」と呼ぶ)では GPS 機能を用いた位置同定が可能であるが、水中では電波が届かないため不可能である。また音波(ソナー)による環境計測はメートル単位の精度であり、水中の計測技術は未熟である。内閣府は戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)次世代海洋資源調査技術開発計画(第3次5か年計画)を策定し、革新的深海資源調査技術研究開発計画を発表した。水深 6000 メートルでの自律充電可能な自律型水中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)の開発と実海域実証を目指した計画である。中心課題は、水中位置姿勢の実時間計測をフィードバックした水中ロボット閉ループ系の漸近安定性化およびドッキング制御達成である。深海底での AUV の自動ドッキングと充電実証は、世界的に現在でも未達成である。

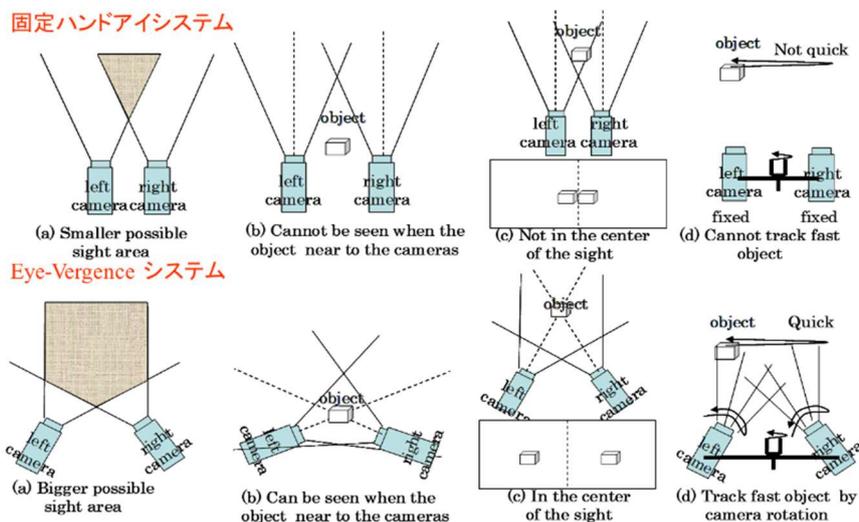


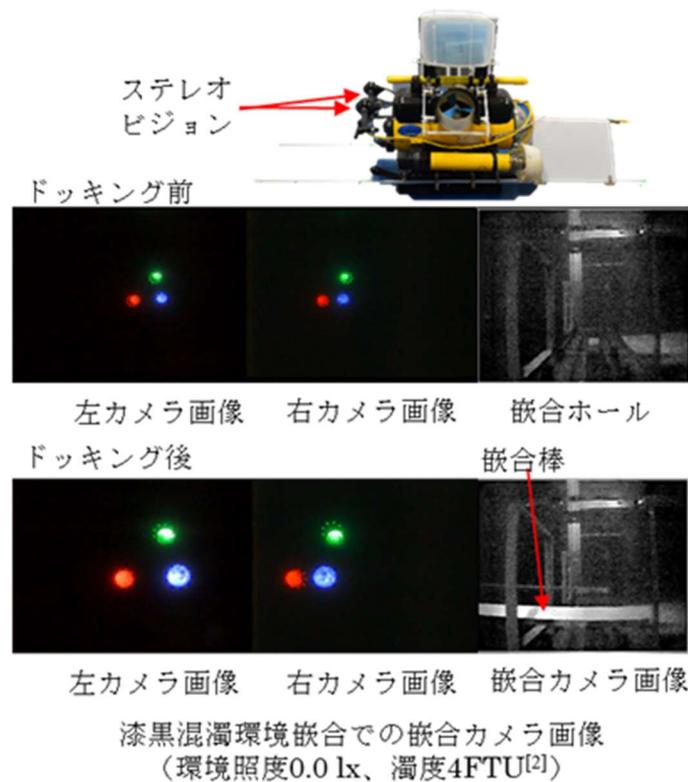
2. 研究の目的

深海底での AUV のドッキング充電実証課題は、(A)電波が届かない、(B)漆黒光環境、(C)海底泥舞上り混濁環境、(D)深海底不規則潮流、(E)高圧環境、などの問題点を克服する必要がある。本研究の目的は、深海底で自動充電可能な実用的システムの構築と実海域での充電実証であり、具体的には、深海底環境において嵌合、充電、海底資源回収、海底基地建設、など海底資源回収を可能とする実用的 AUV の空間制御技術の開発・実用化である。上図は事前の準備的研究成果を示すものである。深海底漆黒環境下で海底泥巻き上げ状態での水中ロボットの位置姿勢空間計測に成功し、AUV の空間位置姿勢制御に成功したことを示している。

Eye-vergence System

Eye-Vergenceシステムにより対象物をよりよく観測することができる





3. 研究の方法

申請者は独自に複眼立体視をロボットの制御に利用するステレオビジョンビジュアルサーボを継続的に研究し、動画像列[30 画面/秒]に遅れることなく 3 次元対象物の形状認識と位置姿勢計測を行う独自の計測系と制御系を構築し、安定したビジュアルフィードバック制御による気中ロボットのハンドの位置姿勢制御を実現した。さらに両眼転導ステレオビジョンによる 3 次元空間認識に基づく安定化制御に成功している。上図は両眼転導ビジュアルサーボのメリットが、両眼視野空間を広く拡大できるメリットを説明したものである。

4. 研究成果

造船会社との共同研究を実施するとともに、科学研究費を用いた課題テーマの研究を進めた。研究担当者が開発した実時間複眼 3 次元立体認識 (3D-MoS: 3 Dimension Move on Sensing) 計測装置を、同社所有の航行型水中ロボットに搭載し、自動嵌合実証実験を行った。2021 年度は、研究室所有の水中ロボットにコンピュータ、カメラ 2 台、ネットワーク通信システムを搭載し、自律型水中ロボット (AUV) を作成し、AUV 化に成功した。さらに AUV を用いたドッキング実験に成功している。上図は AUV が瀬戸内海実海域でドッキング実証実験を行った様子を示している。深海底でのドッキングを想定して漆黒深夜環境での実験である。ドッキング勘合棒が、水中ステーション側の勘合用ホールに挿入されていることが確認される。

さらに空間認識プログラムの FPGA 化 (プログラムソフトのハードウェア計算による実行を行うもの) によって、空間計測時間応答を改善する試みを行い、計測周期を短くすることが出来ることを確かめた。さらに、新しい空間計測方法を提案し、効果を実証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Horng-Yi Hsu, Yuichiro Toda, Kohei Yamashita, Keigo Watanabe, Masahiko Sasano, Akihiro Okamoto, Shogo Inaba, Mamoru Minami	4. 巻 27
2. 論文標題 Stereo-vision-based AUV navigation system for resetting the Inertial Navigation System error	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 165-178
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 Yejun Kou, Yuichiro Toda, Mamoru Minami	4. 巻 27
2. 論文標題 A new method to estimate the pose of an arbitrary 3D object without prerequisite knowledge: projection-based 3D perception	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 149-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 戸田 雄一郎, 中村 翔, 許 弘毅, 見浪 護	4. 巻 32巻
2. 論文標題 水中ロボットの自動融合制御のための発光3次元マーカを用いた光環境適応特性を有する3次元空間認識手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 177-191
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 戸田 雄一郎, 山下 耕平, 門田 拓也, 許 弘毅, 齊藤 和裕, 見浪 護	4. 巻 32巻
2. 論文標題 水中ロボットの海底充電システム構築のための海流外乱適応型融合システム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 163-176
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 戸田雄一郎, 向田直樹, 許弘毅, 見浪護	4. 巻 31 巻
2. 論文標題 発光型3次元マーカの濁度耐性の検証とその有効性確認のための実海域ドッキング実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 145-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2534/jjasnaoe.31.145	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 該当する

1. 著者名 Horng-Yi Hsu, Yuichiro Toda, Keigo Watanabe, Mamoru Minami	4. 巻 Vol.25
2. 論文標題 Visibility improvement in relation with turbidity and distance and application to docking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 453-465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

1. 著者名 Yuichiro Toda, Hsu Horng Yz, Takayuki Matsuno, Mamoru Minami, Dalin Zhou	4. 巻 Vol.25
2. 論文標題 Adaptive evolution strategy sample consensus for 3D reconstruction from two cameras	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 466-474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

1. 著者名 見浪 護, 戸田 雄一郎	4. 巻 54
2. 論文標題 知的画像処理とステレオビジョンによる実時間空間認識を用いた水中ロボットの実海域ドッキング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 マリンエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 821-827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Khin NWE LWIN, Myo MYINT, Kenta YONEMORI, Naoki MUKADA, Yoshiki KANDA, Akira YANOUE, Mamoru MINAMI	4. 巻 12
2. 論文標題 Dual-Eye Vision-Based Docking Experiment in the Sea for Battery Recharging Application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 47-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Horng-Yi Hsu, Yuichiro Toda, Takuya Monden, Keigo Watanabe, Mamoru Minami
2. 発表標題 Repeated docking/releasing experiments utilizing current-disturbance-adaptive undersea system
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jieyuan He, Shiyu Wang, Takahiro Nitta, Yuichiro Toda, Mamoru Minami
2. 発表標題 Efficiency and improvement of parallel calculation structure in Field Programmable Gate Array
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumiya Yamaoka, Renya Takahashi, Horng-Yi Hsu, Yuichiro Toda, Mamoru Minami
2. 発表標題 Installation and Experiments of Visual Space Sensing Underwater Robot -BlueRov2-
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Shiyu Wang ,Jieyuan He ,Takahiro Nida ,Yuichiro Toda, Mamoru Minami
2 . 発表標題 Shortening calculation by Introducing Field Programmable Gate Array For 3D Space Sensing
3 . 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yejun Kou, Lujie Wang, Yuichiro Toda, Mamoru Minami
2 . 発表標題 Space sensing system using photo/projection combined method
3 . 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Horng-Yi Hsu, Yuichiro Toda, Kohei Yamashita, Keigo Watanabe, Mamoru Minami
2 . 発表標題 Stereo-vision-based AUV docking system for resetting the Inertial Navigation System errors
3 . 学会等名 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Siyu Pan, Renya Takahashi, Jincheng Li, Yuichiro Toda, Mamoru Minami
2 . 発表標題 Expanding the recognition distance using the Model-based Matching method and the 2D model by zoom cameras
3 . 学会等名 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Monden, Kohei Yamashita, Yoshiki Kanda, Horng Yi Hsu, Yuichiro Toda, and Mamoru Minami
2. 発表標題 Successful Repeated Docking under Fluctuating Current Disturbances in Real Sea
3. 学会等名 OCEANS 2019 Seattle (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hongzhi Tian, Yejun Kou, Takuro Kawakami, Renya Takahashi, and Mamoru Minami
2. 発表標題 Photo-Model-Based Stereo-Vision 3D Perception for Marine Creatures Catching by ROV
3. 学会等名 OCEANS 2019 Seattle (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究分担者	戸田 雄一郎 (Toda Yuuichirou) (70806083)	岡山大学・自然科学研究科・助教 (15301)	

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
---------	---------