

2018年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関名	神戸大学
職位または役職	准教授
氏名	元井 直樹

1. 研究題目

操作性向上と多自由度化を目指したモータ駆動型水中バイラテラル制御の研究開発

2. 研究目的

我が国におけるエネルギー資源の自給率はわずか4%であり、かつこれらのエネルギー資源は少数国に生産が偏っているため、我が国への供給構造は極めて脆弱と言える。この脆弱性の打開策の一つとして、我が国の排他的経済水域に存在が確認されているメタンハイドレート等の豊富なエネルギー資源の活用が望まれている。

このような海洋資源探索や海洋設備の海洋設備の敷設・埋設や保守点検において Remotely Operated Vehicle (ROV) の研究が行われている。ROVとは遠隔操作型の無人潜水機であり、ROVに設置されたカメラ等の視覚センサをもとに、視覚情報に基づいて操作者が遠隔操作を行い、所望動作を実現する。しかし、ROVの遠隔操作においては視覚情報のみを用いているため、操作性が著しく悪く、操作に熟練を要する。そのため、視覚情報のみならず力覚情報等の複合的な感覚情報を用いた環境への遠隔操作を実現する制御手法の確立が必要である。

申請者はこれまで力覚情報の伝送を可能とする遠隔操作技術であるバイラテラル制御の研究を行っている。また、上記の研究成果を水中マニピュレータへ発展応用し、水中でのバイラテラル制御技術の研究についても実施している。本研究では、水中バイラテラル制御における操作性の向上を目指す。まず、機構面においては操作システムの構造が、操作性向上に直結するため、操作性を考慮した安全な装着型の操作システムの設計・開発を行う。また、試作した操作システムと水中マニピュレータ間での高精度な力覚伝達を目指した運動制御則の構築を行う。本研究の遂行により、モータ制御技術を基盤とした水中における接触環境からの力覚情報の伝達が可能となり、海洋資源探索や海洋設備の敷設・埋設や保守点検の高効率化につながる。

3. 研究内容及び成果

本研究では水中ロボットの遠隔操作における操作性の向上と多自由度化を目指し、機構面・制御面において研究を行っている。まず、操作性向上の観点より、操作性に対して大きく寄与する操作システムの設計開発を行った。水中ロボットの遠隔操作においては、環境からの接触力のみならず、流体力等の様々な外力がシステムへ影響を与える。そのため、全外力に対する力覚伝達では、操作力が大きくなり過ぎ操作性の直結につながらない。つまり、操作に直結する環境に対する作用・反作用力のみでの伝達が望まれる。また、水中での動作においては急激な流体力等の変化が生じうることも考えられ、安全性を考慮した受動性を有するシステムが望まれる。これらの観点より、受動的なシステムであるパウダブレーキと低トルクバネの組み合わせによる操作システムを新たに設計開発した。図 1 に設計開発した操作システムの外観図を示す。パウダブレーキと定トルクバネの組み合わせにより、接触物体の塑性・弾性変形の再現が可能となる。試作した本操作システムを用いて仮想空間上におけるシミュレーションモデルとのバイラテラル制御を実施し、単体評価試験を行い、基本動作性能を確認した。

図2に水中バイラテラル制御における遠隔操作システムの構成図を示す。試作した操作システムをマスタシステムとし、操作者が装着し操作する。一方で、スレーブシステムは水中に設置する。ここでスレーブシステムとしては多自由度化を考慮し、駆動側のモータ・エンコーダから磁気カップリングを介して負荷側までを単体モジュールとする構造を用いた。複数の同モジュールを組み合わせることで、多自由度化が可能となる。また、モータ部をアクリル筒で内包することで防水性を獲得し、磁気カップリングにより駆動力を水中に存在する負荷側へと伝達している。

図3に水中バイラテラル制御における実験結果を示す。位置情報においてはマスタ・スレーブ間において同期がとれており、また力情報としては作用・反作用の法則を実現できている。以上より、本実験結果より、水中バイラテラル制御における基本性能の確認が行えた。

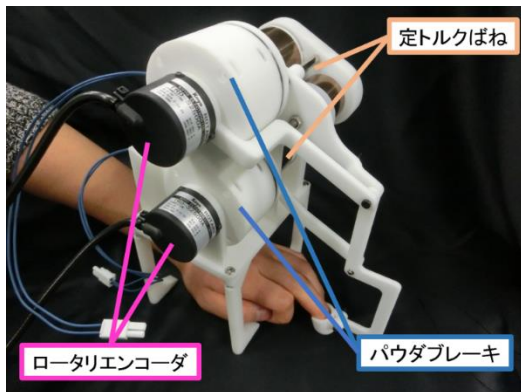


図 1 操作システム

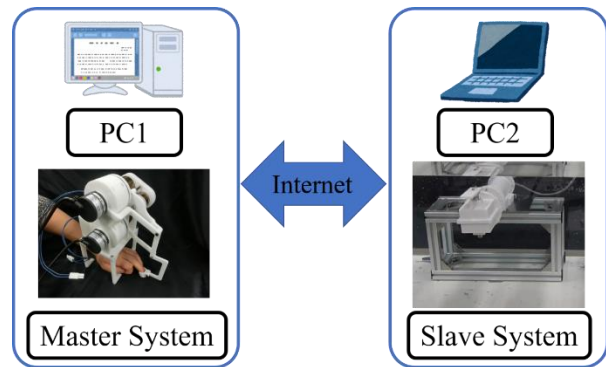
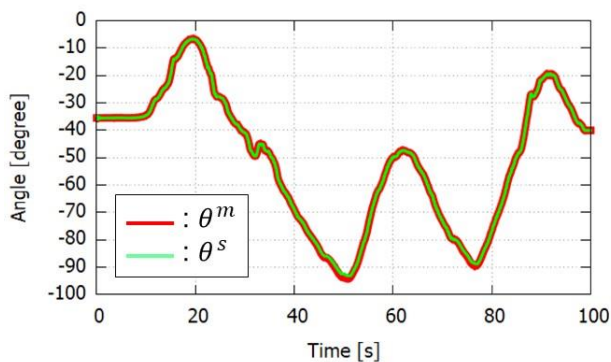
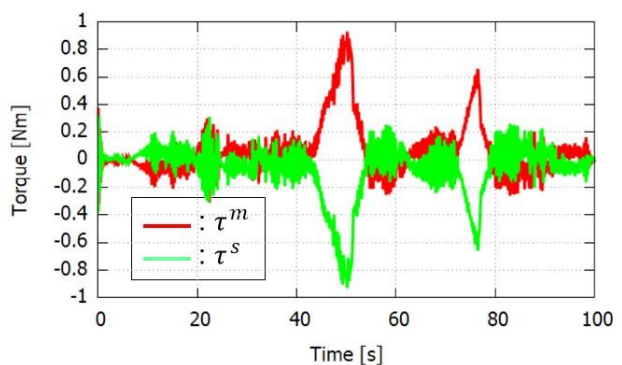


図 2 システム構成



(a) Position response



(b) Force response

図 3 実験結果(水中)

4. 今後の研究の見通し

今後の研究の見通しとして、①水中バイラテラル制御技術の高度化、②ROV の定点保持制御技術の確立、③水中マニピュレータと ROV の協調制御技術の確立、の3点が挙げられる。それぞれの研究の見通しについて述べる。

①水中バイラテラル制御技術の高度化については、水中という動的な変化を有する環境下で駆動するスレーブシステムにおける力覚推定技術の高精度化が望まれる。本推定精度の高度化により、操作者側に高繊細な力覚が伝達され、操作性のより一層の向上が見込まれる

②ROV の定点保持制御技術の確立については、水中バイラテラル制御を含む水中タスクを実現するためには、ROV を定点保持し、ROV に搭載された水中マニピュレータを駆動する必要がある。具体的には、ROV の高度な自己位置推定技術および非線形性を有するスラスタのモデリングおよび制御技術が必要となる。

③水中マニピュレータと ROV の協調制御技術の確立においては、より多彩な水中タスクを遠隔操作で実現するために ROV の移動と、水中マニピュレータ動作との協調動作が必要となる。ここで、マスタシステムとしての操作システムと、スレーブシステムとしての ROV の移動動作と水中マニピュレータ動作においては、自由度・構造が異なるため、操作性の向上のために異自由度・異構造型の遠隔制御技術の構築が重要となる。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

学術論文(査読付)

- N. Motoi, M. Kobayashi, and R. Masaki, "Remote Control Method for Mobile Robot Based on Force Feedback Generated using Collision Prediction Map," IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 8, No. 4, pp. 727-735, 2019.

国際会議(査読付)

- S. Nakamura, and N. Motoi, "Remote Control Method with Tactile Sensation for Underwater Robot with Magnetic Coupling", Proceedings of the IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2020 (Submitted).
- N. Motoi, R. Masaki, and M. Kobayashi, "Remote Control Method with Force Assist Based on Collision Prediction Calculated from Each Turning Radius in Mobile Robot", Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics, pp. 477-482, 2019.
- J. Sakiyama, and N. Motoi, "Position and Attitude Control Method Using Disturbance Observer for Station Keeping in Underwater Vehicle", Proceedings of the Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 5469-5474, 2018.

国際会議(査読なし)・国内会議

- 先山 準規, 元井 直樹, "水中ロボットにおける外乱オブザーバを用いた定点保持制御手法の実機検証", 電気学会産業計測制御研究会, IIC-18-025, pp. 37-42, 2018.

その他(受賞)

- N.Motoi, R. Masaki, M. Kobayashi, Best Regular Paper Award, IEEE International Conference on Mechatronics, 2019