

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：16201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12120

研究課題名(和文) 新型多機能な水陸両用生物型Mother-sonロボットシステム

研究課題名(英文) A Novel Type of Amphibious Bio-inspired Spherical Mother-son Robot System with Multi Functions

研究代表者

郭 書祥 (Guo, Shuxiang)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：40273346

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：海底火山の監視、サンゴ礁内の生物の追跡と監視、海底の岩の割れ目中の鉱物のサンプリングなど、非常に複雑な環境での探査及びサンプリングの作業を実現するために、高機動性、高精度、柔軟性、小型化、多機能な駆動モードを持ち、安定した水底歩行運動ができ、環境に優しい回収可能な水陸両用生物型Mother-sonロボットシステムの開発が期待される。本研究は、生物(ウミガメ)型ハイブリッド駆動機構を基に着想したものであり、開発したロボットシステムは水陸両用の球型Motherロボットと、これに搭載する複数の生物型マイクロロボットとが連携作業を行うことで、複雑な作業を可能にしたことが検証された。

研究成果の概要(英文)：A Novel Type of Amphibious Bio-inspired Spherical Mother-son Robot System with Multi Functions has been developed. Conventional underwater intervention tasks are performed by underwater vehicles equipped with rigid multi-link arms. However, the movements of conventional mechanical arms exert reactive force on the vehicle platform due to their enormous bulk. Additionally, they cannot be used for small object recovery. In this research, an ionic conducting polymer film (ICPF) actuator-based crayfish-inspired microrobot is designed and developed as a son robot for object recovery, which is connected to the amphibious father robot by copper wires. The crayfish-like son robot is used as the mechanical arm of the father ;son robot system, which can grasp the small object especially in restricted spaces. The crayfish-inspired son robot actuated by ten ICPF actuators can realize underwater basic motions. The father robot can emit the son robot for object recovery.

研究分野：バイオ医用ロボット、水中ロボット、リハビリシステム

キーワード：生物型Mother-sonロボットシステム 生物(ウミガメ)型ハイブリッド駆動機構 球型ロボット 生物型マイクロロボット

1. 研究開始当初の背景

これまで開発されてきた水中ロボットとしては、スクリューを駆動力として用いたロボットとひれを駆動力として用いたロボットの2種類が主流となっている（イタリアの P. Dario (2011)、日本海上技術研究所、東京大学、大阪大学の加藤ら(2008)、アメリカ海軍研究所(2008)、ハワイ大学(2007、2008、2010)、UCB(2008)、CMU(2011))。これらの水中ロボットは、駆動電圧が高いこと、コンパクト構造が難しいことなどの問題点が残されている。本研究では、申請者のこれまでの研究成果を踏まえ、これらの課題を解決することができる新型多機能な水陸両用生物型 Mother-son ロボットシステム（以下、本ロボットシステムと呼ぶ）を提案し、Mother ロボットを設計し、陸上と水中での特性評価を行い、その有効性を実証した 1)-5)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多様な環境下においても自律的に活動可能とするために、本ロボットシステムでは放出される場所を認識して、自律的に水中と陸上のルートを適宜決めて作業を行えるようにする。さらに、水中作業を行う際には、水中環境に及ぼす影響を最小限にするために、Mother ロボットは適時 Son ロボット（マイクロロボット）を放出して、作業をさせるシステム構築を目指している。

本研究期間内に、Mother ロボットと Son ロボットとの協調動作に基づき、水中で高移動能力を持ち、かつ複雑で高度な作業ができる本ロボットシステムを構築した。申請者は、今までに球型 Mother ロボットを開発してきているが、この球型 Mother ロボットでは、クローズドループ制御、Son ロボットの回収機能、及び単体球型ロボットと複数のマイクロロボットとの通信・協調作業機能などがまだ不十分である。そこで本

研究では、開発してきた球型 Mother ロボットの性能を改良し、クローズドループ制御でロボットをコントロールして、運動精度を高め、Mother ロボットと Son ロボットの協調作業メカニズムを検証し、複雑な水中環境で高度な作業を行うことが可能な本ロボットシステムの開発を目指す。最終的には、本ロボットシステムを複数用いて協調作業をさせることも検討課題の一つである。

当該分野における本研究の学術的な特色及び予想される結果と意義

本ロボットシステムは、水中では四つの自由度を有し、かつ球型構造であることから高圧力に耐えることができ、しかも大きな内部空間を備える。さらに、Mother ロボットは陸上でも水中でも放出できるだけでなく、自律的に回収することも可能な機能を実現するものであり、ロボット分野における先進的技術開発を先導するものである。このような機能を有する本ロボットシステムは、陸上と水中の両方を含むような複雑な環境下においても活動が可能であるので、水中の生物探索や未知の水中地形の探索等に役立つことが期待できる。また、球型構造であることから水中植物に引っ掛かりにくい利点もある。特に、異なる環境にまたがることが多い海洋資源調査、エンジンや配管のメンテナンスなどの水中作業及び水中通信技術開発などへ貢献することが期待される。

3. 研究の方法

当研究に関しては、本ロボットシステムを提案し、球型 Mother ロボットを試作し、性能評価を行ってきた。次のステップはクローズドループ制御で球型 Mother ロボットの安定性を高め、Son ロボットの放出と回収機能を改良し、球型 Mother ロボットと Son ロボットとの通信・協調作業メカニズムを検証し、二種類のロボットの位置制御

技術を開発して、複雑な水中環境でも高度な作業を実現すること及び本ロボットシステムを複数用いて協調作業技術開発を目指す。

4. 研究成果

本ロボットシステムは水陸両用の球型 Mother ロボットとこれに搭載される複数の生物型 Son ロボットから構成される。本研究に関しては、生物型 Son ロボットと球型 Mother ロボットを試作し、性能評価を行ってきた。次のステップは球型 Mother ロボットの安定性を高め、Son ロボットの放出と回収機能を改良し、球型 Mother ロボットと Son ロボットとの通信・協調作業メカニズムを検証し、複雑な水中環境でも高度な作業を実現すること及び本ロボットシステムを複数用いて協調作業技術開発を目指す。

(1) ソフトアクチュエータとバイオミメティック運動とを一体的に組み合わせた構成

小型化が可能で、低電圧駆動ができ、応答性に優れ柔軟な高分子アクチュエータである IPMC (Ionic Polymer Metal Composite) アクチュエータを用いてバイオミメティック運動を組み入れることで、図 2 に示す小型構造、多自由度を有する多機能な水中マイクロロボットの提案・試作を行った。これらはソフトアクチュエータの応用例である。

(2) 生物 (ウミガメ) 型ハイブリッド駆動機構を基に着想した Mother ロボットシステム

本ロボットシステムは水陸両用の球型 Mother ロボットとこれに搭載される複数の生物型マイクロロボットから構成される。図 2 に示す球型 Mother ロボットは、サーボモータとウォータージェットプロペラ推進器で駆動され、陸上と水底では四足歩行運動が可能で、水中では四つの自由度を持って巡航することができる。また、Son ロボットとするスマート・アクチュエータ駆動のマイクロロボットはコンパクトな構造

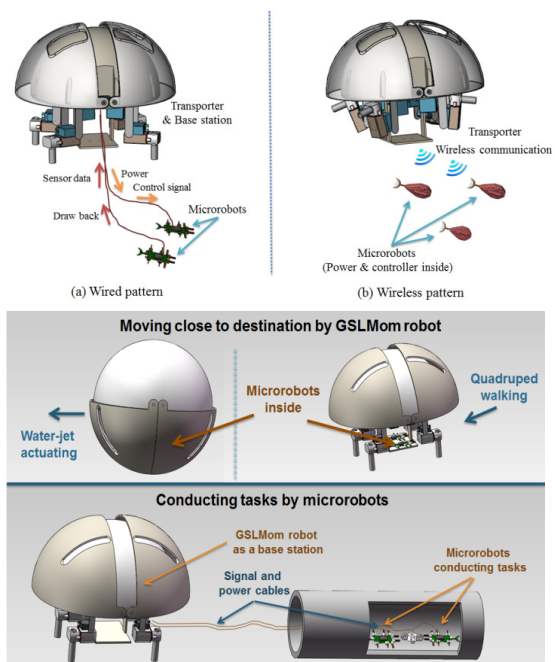


図 1 提案した水陸両用生物型 Mother-son ロボットシステム

を持ち、低電圧駆動が可能で省エネルギーであるため、狭い空間においても高度な作業が可能である。球型 Mother ロボットはサーボモータを用いた複数の水陸両用の駆動ユニットを利用して陸上での多足歩行運動を実現し、水中ではウォータージェットプロペラにより、駆動され、ノイズが小さくて、環境に優しい。

球型 Mother ロボットは高機動性、長航続時間、柔軟性と高搭載能力などの特徴を持つため、複数の Son ロボットを搭載可能で、それらを目的地に近い場所へ運んで放出し、狭い空間で高度な作業をさせ、作業が終了した後 Son ロボットを回収することができる。つまり、本ロボットシステムは球型 Mother ロボットと Son ロボットの協調動作に基づいて、水中で高い移動能力を持ち、かつ高度な作業ができるシステムである点に特徴を有する。図 4 に示すように、Mother ロボットから Son ロボット放出実験を行って、Mother ロボット動作のメカニズムを実証した。さらに、図 5 に示すように、三台の Mother ロボットを使って水中と陸上で並行、隊列歩行などの実験を行った。Mother ロボットの協調動作メカニズムを実証した。

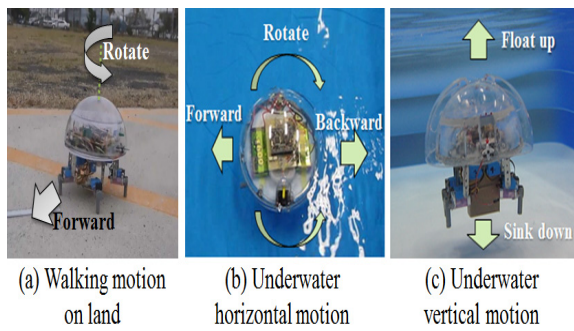


図2 Mother ロボットの多機能な動作

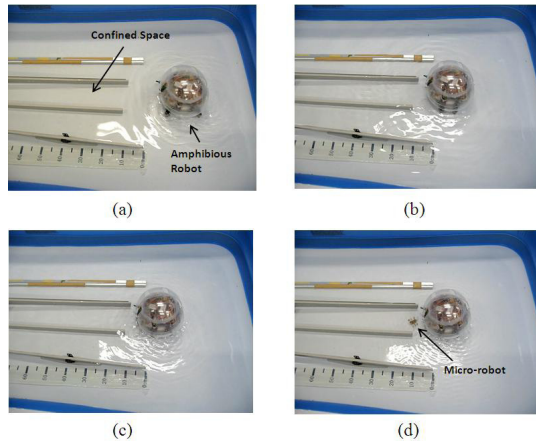
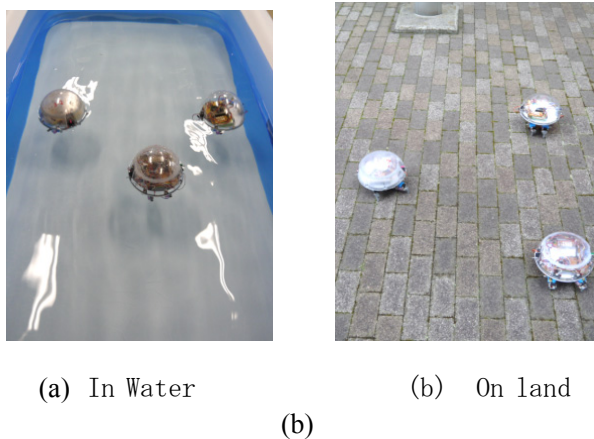


図3 Mother ロボットから Son ロボット放出実験



(a) In Water (b) On land

図4 複数台 Mother ロボットの協調動作実験

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 13 件)

- ① Shuxiang Guo, Shaowu Pan, Liwei Shi, Ping Guo, Yanlin He, Kun Tang, “Visual Detection and Tracking System for a Spherical Amphibious Robot”、査読有、*Sensors*, Vol.17, No.4, DOI:10.3390/s17040870, 2017.
- ② Yaxin Li, Shuxiang Guo, Yu Wang, “Design

and characteristics evaluation of a novel spherical underwater robot”, *Robotics and Autonomous Systems*, 査読有、 DOI: 10.1016/j.robot.2017.03.014, 2017

- ③ Liwei Shi, Shuxiang Guo, “Development and evaluation of a Venus flytrap-inspired microrobot”, 査読有、*Microsystem Technologies*, Volume 22, Issue 8, pp.1949-1958, DOI: 10.1007/s00542-015-2484-9, 2016.
- ④ Shuxiang Guo, Yanlin He, Liwei Shi, Shaowu Pan, Kun Tang, Rui Xiao, Ping Guo, “Modal and fatigue analysis of critical components of an amphibious spherical robot”, 査読有、*Microsystem Technologies*, DOI:10.1007/s00542-016-3083-0, 2016
- ⑤ Maoxun Li, Shuxiang Guo, Hideyuki Hirata, Hidenori Ishihara, “A Roller-skating/Walking Mode-based Amphibious Robot” *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 査読有, Vol.44, pp.17-29, DOI:10.1016/j.rcim.2016.06.005, 2016
- ⑥ Jian Guo, Shuxiang Guo, Liguo Li, “Design and Characteristic Evaluation of a Novel Amphibious Spherical Robot”, 査読有, *Microsystem Technologies*, DOI: 10.1007/s00542-016-2961-9, 2016.
- ⑦ Maoxun Li, Shuxiang Guo, Jin Guo, Hideyuki Hirata, Hidenori Ishihara, “Development of a biomimetic underwater microrobot for a father-son robot system”, 査読有, *Microsystem Technologies*, DOI:10.1007/s00542-016-2817-3, 2016
- ⑧ Qiang Fu, Shuxiang Guo, Songyuan Zhang, Hideyuki Hirata, Hidenori Ishihara, “Characteristic Evaluation of a Shrouded Propeller Mechanism for a Magnetic Actuated Microrobot”, 査読有,

Micromachines, Vol.6, No.9, pp.1272-1288, DOI:10.3390/mi6091272, 2015.

- ⑨ Yanlin He, Liwei Shi, **Shuxiang Guo**, Shaowu Pan, Zhe Wang, “Preliminary Mechanical Analysis of an Improved Amphibious Spherical Father Robot”, 査読有, *Microsystem Technologies*, DOI:10.1007/s00542-015-2504-9, 2015.
- ⑩ Shaowu Pan, Liwei Shi, **Shuxiang Guo**, “A Kinect-based Real-time Compressive Tracking Prototype System for Amphibious Spherical Robots”, 査読有, *Sensors*, Vol.15 No.4 pp.8232-8252, DOI:10.3390/s150408232, 2015.
- ⑪ Chunfeng Yue, **Shuxiang Guo**, Liwei Shi, “Design and Performance Evaluation of a Biomimetic Microrobot for the Father-son Underwater Intervention Robotic System”, 査読有, *Microsystem Technologies*, DOI: 10.1007/s00542-015-2457-z, 2015.
- ⑫ Chunfeng Yue, **Shuxiang Guo**, Maoxun Li, Yaxin Li, Hideyuki Hirata, Hidenori Ishihara “Mechantronic System and Experiments of a Spherical Underwater Robot: SUR-II”, 査読有, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.80, No.2, pp.325-340, DOI: 10.1007/s10846-015-0177-3, 2015.
- ⑬ Yaxin Li, **Shuxiang Guo**, Chunfeng Yue, “Preliminary Concept of a Novel Spherical Underwater Robot” *International Journal of Mechatronics and Automation*, 査読有, Vol.5, No.1, pp11-21, 2015.

[学会発表] (計 10 件 査読あり)

- ① Liwei Shi, Shaowu Pan, **Shuxiang Guo**, Kun Tang, Ping Guo, Rui Xiao, Yanlin He, “Design and Evaluation of Quadruped Gaits for Amphibious Spherical Robots”, *Proceedings of the 2016 IEEE International*

Conference on Robotics and Biomimetics, pp.13-18, December 3-7, Qingdao, China, 2016.

- ② **Shuxiang Guo**, Xiaojuan Cai, Baofeng Gao, Yuhua, Jiang, “An Improved VR Training System for Vascular Interventional Surgery”, *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp.1667-1672, December 3-7, Qingdao, China, 2016.
- ③ Jian Guo, Guoqiang Wu, **Shuxiang Guo**, “Study on Movement Stability for the Spherical Amphibious Robot” *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.55-60, August 7-10, Harbin, China, 2016.
- ④ Maoxun Li, **Shuxiang Guo**, “A Wireless Biomimetic Underwater Microrobot for a Father-son Robot System”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.392-397, August 7-10, Harbin, China, 2016.
- ⑤ Yaxin Li, **Shuxiang Guo**, “Communication between Spherical Underwater Robots Based on the Acoustic Communication Methods”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.403-408, August 7-10, Harbin, China, 2016.
- ⑥ Shaowu Pan, **Shuxiang Guo**, Liwei Shi, Ping Guo, Yanlin He and Kun Tang, “An Adaptive Compressive

Tracking Algorithm for Amphibious Spherical Robots”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.605-611, August 7-10, Harbin, China, 2016.

⑦ Yanlin He, **Shuxiang Guo**, Liwei Shi, Shaowu Pan and Ping Guo, “Dynamic Gait Analysis of a Multi-functional Robot with Bionic Springy Legs”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.689-694, August 7-10, Harbin, China, 2016.

⑧ Chaonan Zhang, **Shuxiang Guo**, Baofeng Gao and Feiyu Jia, “The Beam Theory-based Collision Force Detection of the Catheter Operating System”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.701-706, August 7-10, Harbin, China, 2016.

⑨ Ying Zhang, **Shuxiang Guo**, Guohua Cao, Songyuan Zhang and Yi Liu, “A Novel Variable Stiffness Actuator-based Exoskeleton Device for Home Rehabilitation”, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.878-883, August 7-10, Harbin, China, 2016.

⑩ Jian Guo, Yang Yu, **Shuxiang Guo** and Wenxuan Du, “Design and Performance Evaluation of a Novel Master Manipulator for the Robot-assist Catheter System”, *Proceedings of 2016 IEEE*

International Conference on Mechatronics and Automation, pp.937-942, August 7-10, Harbin, China, 2016.

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 鈴森 康一、**郭 書祥**、他 83 名、『アクチュエータの新材料, 駆動制御, 最新応用技術』, 担当部分: 第 10 章 第 9 節 高分子アクチュエータの生物型超小型水中ロボットへの応用, 技術情報協会, pp.414-423 (全 536 頁), 2017.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 水中ロボット
発明者: **郭 書祥**
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2016-46933
出願年月日: 2016 年 3 月 10 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.guolab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郭 書祥 (GUO, Shuxiang)
香川大学・工学部・教授
研究者番号: 4 0 2 7 3 3 4 6

(2) 研究分担者

()
研究者番号:

(3) 連携研究者

()
研究者番号:

(4) 研究協力者

()