

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04910

研究課題名（和文）超外部アクセス性を有する分割回転球殻ロボット機構の研究開発

研究課題名（英文）Research and Development of the Separated Spherical Robotic Rolling Shell Mechanism with Hyper Accessibility to Outer Environment

研究代表者

多田 隈 建二郎 (Kenjiro, Tadakuma)

東北大学・タフ・サイバーフィジカルAI研究センター・准教授

研究者番号：30508833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 21,780,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で取り組んだ分割球殻状のロボット機構は、外部にアクセスして作業をし続けることを可能にするというものである。考案した本ロボット実機全体において、球殻の数を、移動体を覆う1つである従来の方式から、さらに拡張させて、ローター（推進部）1つ1つを覆う球殻ロータ方式なるものを考案し、第一次試作機として、4ユニットの球殻ロータ機構構成としたものを実機として具現化した。その過程においては、球殻自体の重量がかさんだり、またその球殻自体があるがゆえに抵抗となり推進力の低下なども考えられるが、推進力よりも小さい範囲で、球殻ロータ構造を構築することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：考案・具現化した分割球殻構造は、飛行体のみならず、車輪・クローラ・脚型・それら複合といった、数多くの移動体に適応可能であり、学術的な拡張性も有する基盤となる機構システムである。

社会的意義：本研究で取り組んだロボット機構は、例えば、環境や人への不慮の転倒・衝突の場合の接触力緩和に留まらず、橋梁点検時の探査活動および補修などの接触を伴う作業が可能となる。また、内部から外部へのアクセスが上記だとすると、外部から内部へのアクセスとして、エネルギー・空気圧の常時給電・供給などが可能になるといった探査作業ロボットとしての活用が可能であり、社会的貢献度が著しく高いものである。

研究成果の概要（英文）：The split spherical shell shaped robotic mechanism that we developed on in this research enables itself to access the outside environment and continue working with not only sensors but also arm, hand, and so on which contact directly to objects. In the entire actual robotic prototype, we expand the basic concept of this split spherical shell into the spherical shell rotor system that covers each rotor (propulsion units) by further expanding the number of spherical shells from the conventional method of covering one moving body. As the first prototype, we realized a 4-unit spherical shell rotor mechanism configuration as an actual machine. In the process, the weight of the spherical shell itself may increase, and the presence of the spherical shell itself may cause resistance and decrease in propulsive force, but the spherical shell rotor structure is constructed within a range smaller than the propulsive force.

研究分野：ロボット工学

キーワード：分割球殻 ロボット機構 機構設計

1. 研究開始当初の背景

移動中に被衝突物に衝突したときの衝撃を受け流すことができる移動体として、ジンバル構造を有する移動体が開発されている。しかしながら、従来の球殻構造を有する移動体は、探査活動を行う際に、カメラ画像にフレームが映り込んでしまうという問題があった。画像処理によりこの問題を解決することは可能であるが、外部にアクセスして作業を継続的に行うことは困難である。

2. 研究の目的

上記問題を鑑み、新たに考案した分割回転球殻構造により、外部にアクセスしての作業を実現する移動体の構築を本研究の目的とした。目的達成の課題として、実機的设计・試作および基礎実験の実施による機体の特性評価・考案した機構の有効性の確認が挙げられる。

3. 研究の方法

研究目的達成のため、アイデアや分析のみならず、実機を実際に設計・試作するという具現化の手法を取る。複数試作機的设计・試作および、実機を用いた特性実験を通してフィードバックを行うというサイクルを出来るだけ早く回すことで、より良い分割球殻構造に関して、効率よく、抽出的かつ帰納的に明らかにするという工学的に適切な方法を取った。

4. 研究成果

考案した分割球殻状のロボット機構を具現化するにあたり、機体的設計・試作・動作確認実験を通して機構の最適化を図ると同時に、実用に即した機体完成度を高めた。動作試験としては、車輪による段差・溝・斜面を含む簡易不整地の走行試験を最初に行い、機体の基本移動機能の確認を行った。また、転倒における衝撃吸収性能試験機を構成し、実際の転倒において十分に耐えうる機体に仕上がっているかの確認を行った。設計においては、探索用センサ等を搭載することを見越しての十分なスペースをボディー内部に残すようにした。また、機体の自由度数も車輪のみの最小自由度、探査用にさらに洗練させた、機体全体を回転させるための反動を発生させるためのアームの機構設計などを明示した。機体の様子を図1に示す。

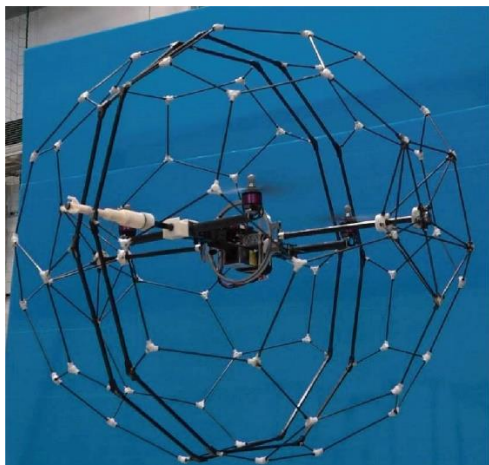


図1：単一分割球殻方式



図2：分割球殻ロータ機構（分散型複数配置方式）

結果として、考案した原理の有効性を実機を用いた実験にて確認し、且つ、実機具現化のノウハウを蓄積した。

さらに、考案したロボット実機全体において、球殻の数を、移動体を覆う1つである従来の方式から、さらに拡張させて、ローター（推進部）1つ1つを覆う球殻ロータ方式なるものを考案し、第一次試作機として、4ユニットの球殻ロータ機構構成としたものを実機として具現化した。試作した実機の外観を図2に示す。この過程においては、球殻自体の重量がかさんだり、またその球殻自体があるがゆえに抵抗となり推進力の低下なども考えられるが、推進力よりも小さい範囲で、球殻ロータ構造を構築することに成功した。その実験においては、1ユニットの推進力を測定して、実際に実験を通じて基本性能を確認し、その後に車両型4ユニット構成とした移動体も、離陸に成功した（図3）。また、上下方向に狭隘な環境への車輪移動方式としての進入の様子を図4に示す。



図3：試作機による浮上飛行の様子



図4：狭隘環境進入の様子

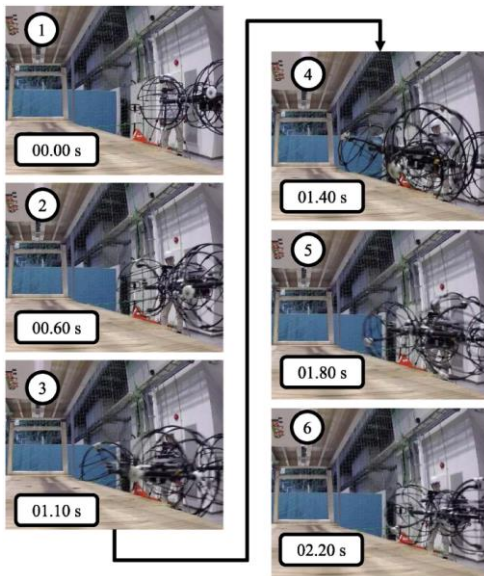


図5：外環境への接触の様子

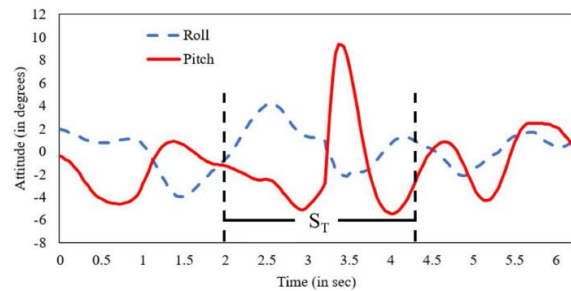


図6：外環境接触の際の機体の姿勢変化

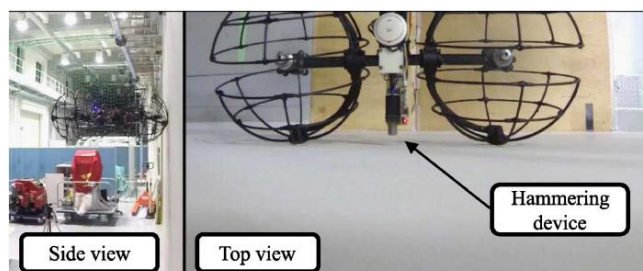


図7：将来的な環境への接触検査の実験の様子

また、本研究における学術的意義として、今回考案・具現化した分割球殻構造は、飛行体のみならず、車輪・クローラ・脚型・それら複合といった、数多くの移動体に適応可能であり、学術的な拡張性も有する基盤となる機構システムである、という点が挙げられる。さらに、社会的な意義として、本研究で取り組んだロボット機構は、例えば、環境や人への不慮の転倒・衝突の場合の接触力緩和に留まらず、橋梁点検時の探査活動および補修などの接触を伴う作業が可能となる。また、内部から外部へのアクセスが上記だとすると、外部から内部へのアクセスとして、エネルギー・空気圧の常時給電・供給などが可能になるといった探査作業ロボットとしての活用が可能であり、社会的貢献度が著しく高いものである。

以上のように、今回取り組んだ分割球殻構造の研究開発は、その構造そのものの基礎的な観点からの学術的貢献はもちろん、応用の観点からの社会的貢献も含めて、非常に発展性の高い内容となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Carl John Salaan*, Kenjiro Tadakuma*, Yoshito Okada, Yusuke Sakai, Kazunori Ohno1, and Satoshi Tadokoro	4. 巻 VOL. 4, NO. 3
2. 論文標題 Development and Experimental Validation of Aerial Vehicle with Passive Rotating Shell on Each Rotor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS	6. 最初と最後の頁 2568-2575
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Carl John Salaan, Kenjiro Tadakuma, Yoshito Okada, Yusuke Sakai, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro	4. 巻 LRA2894903
2. 論文標題 Development and Experimental Validation of Aerial Vehicle with Passive Rotating Shell on Each Rotor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 4件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Carl John Salaan, Kenjiro Tadakuma, Yoshito Okada, Yusuke Sakai, Kazunori Ohno1, and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Development and Experimental Validation of Aerial Vehicle with Passive Rotating Shell on Each Rotor
3. 学会等名 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenjiro TADAKUMA
2. 発表標題 From Mobile Robots to Cell Scooping Mechanism
3. 学会等名 6th Annual Data Science in Life Sciences and Engineering Symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Carl John Salaan, Kenjiro Tadakuma, Yoshito Okada, Yusuke Sakai, Kazunori Ohno, Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 Development and Experimental Validation of Aerial Vehicle with Passive Rotating Shell on Each Rotor
3. 学会等名 IEEE International Conferenece on Robotics and Automation, MoA2.3, Montreal, May 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂井祐介, 多田隈建二郎, 林聡輔, 岡田佳都, Carl John O. Salaan, 大野和則, 田所諭
2. 発表標題 球殻ロータ機構を有する車両型飛行ロボット 地上走行および壁面接近・接触維持のための並進推進力の具現化 -
3. 学会等名 第19回 公益社団法人 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 SI2018, 2D2-06, pp. 1926-1929, Dec. 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 無骨ロボットメカニズム: 柔軟トラス機構を基軸とするロボット駆動体
3. 学会等名 SIG-SoRo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多田隈 建二郎
2. 発表標題 Ultimate Robotic Mechanisms: From their to Practical Embodiments
3. 学会等名 Skoltech Lecture (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多田 隈 建二郎
2. 発表標題 ロボット機構研究の実際と理想 - 原理考案から具現化までの無骨で泥臭く重要な過程 -
3. 学会等名 信州ロボット研究会 特別講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Carl John Salaan, Kenjiro Tadakuma, Yoshito Okada, Eri Takane, Kazunori Ohno and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 UAV with Two Passive Rotating Hemispherical Shells for Physical Interaction and Power Tethering in a Complex Environment
3. 学会等名 Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Carl John Salaan, Kenjiro Tadakuma, Yoshito Okada, Kazunori Ohno and Satoshi Tadokoro
2. 発表標題 UAV with Two Passive Rotating Hemispherical Shells and Horizontal Rotor for Hammering Inspection of Infrastructure
3. 学会等名 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2017) (国際学会)
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

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