

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21270

研究課題名（和文）ロータ吸引式把持機構による飛行マニピュレータの動作空間拡張と双腕協調能力の獲得

研究課題名（英文）Expansion of Operational Space and Acquisition of Dual-Arm Coordination Capability for a Flying Manipulator Using a Rotary Suction Gripping Mechanism

研究代表者

西尾 卓純（Nishio, Takuzumi）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：20966402

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、飛行ロボットの動作性能向上を目指し、ロータ分散型飛行マニピュレータを用いた協調作業の安定化を実現した。まず、任意姿勢での安定化を可能にする機体構成法と非線形飛行制御手法を開発し、あらゆる姿勢での安定化を達成した。次に、複数台の機体による離合体制御を提案し、空中での気流干渉を回避しつつ安定した合体を実現した。さらに、変形飛行ロボットの遠隔操縦システムを構築し、人による操作と自律制御を統合することで作業の精度と安定性を向上させた。これにより、高所作業の効率と作業性能が大幅に向上し、リスク軽減と作業精度の向上に繋がる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、飛行ロボットの動作性能を飛躍的に向上させることで、高所作業の効率化と安全性向上に貢献するものである。ロータ分散型飛行マニピュレータを用いた非線形飛行制御手法の開発により、任意の姿勢での安定化と複数台機体の協調動作が実現することで、従来の方法では困難であった複雑な高所作業が可能となり、作業の精度と安定性が大幅に向上に繋がる。さらに、変形飛行ロボットの遠隔操縦システムの構築により、リスクの軽減と作業効率の向上が期待される。これらの成果は、従来の飛行ロボットにおける動作システムにも応用可能という点から、学術的にも大きな意義を持つ研究であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to enhance the operational performance of flying robots and achieved stable coordinated operations using a rotor-distributed flying manipulator. First, we developed a body configuration method and nonlinear flight control method that enable stabilization in any posture, achieving stabilization in all orientations. Next, we proposed a control method for the separation and integration of multiple units, realizing stable integration while avoiding air flow interference in mid-air. Furthermore, we constructed a remote control system for the deformable flying robot, integrating human operation and autonomous control to improve operational accuracy and stability. This significantly improves the efficiency and operational performance of high-altitude work, leading to reduced risks and enhanced work precision.

研究分野：ロボティクス

キーワード：飛行ロボット 制御

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高所作業の効率向上は、多くの産業において重要な課題である。従来は人間が危険を伴う高所での作業を行う必要があったが、飛行ロボットを用いることでこれらの問題を解決する新しいアプローチが期待されている。特に、ロータ分散型飛行マニピュレータの開発により、作業空間の拡大や作業の精度および安定性の向上が可能となり、複雑で高精度な作業が求められる現場での適用が進められてきた。こうした背景から、本研究ではより高度な作業を実現する技術の開発を目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、飛行ロボットの動作性能の向上である。ロータ分散型飛行マニピュレータを用いた協調作業を安定化させることを目指し、以下の目標を設定した。

(1) 変形可能な飛行ロボットにおいてあらゆる姿勢で安定化可能な機体構成・制御手法、(2) 任意の形状の選択や複数台協調できるような離合体協調制御手法、(3) 動作性能向上に向けた遠隔操縦技術を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の方法を採用して研究を進めた。

1. 任意姿勢で安定化可能な機体構成と飛行制御

変形可能な飛行ロボットにおいて作業性能を向上するため、あらゆる姿勢での安定化を実現する機体構成法と制御手法について明らかにすることを目指した。機体構成法では、推力偏向機構と関節配置を最適化することで、あらゆる姿勢での動作を実現する機体の最小構成を検討する。さらに、提案機体を実機で安定化させるための飛行制御手法と機体の形状探索を行う手法を模索する。

2. 複数台協調により離合体制御

協調動作を実現するため複数台の機体における動作に加えて、機体を空中で任意の形状に再構成するための機体構成と安定化制御手法について明らかにする。機体構成では空中において気流の干渉により不安定になった際も安定して合体可能な機構を模索するとともに、離合体制御では、空中で合体するための動作遷移に加えて、合体時の機体間で生じる内力を最小化するような制御手法についても検討する。

3. 変形飛行ロボットにおける操縦システムの構築

高所での動作を実現するにあたって、より柔軟な動作を実現するべく遠隔操縦システムを確立する。通常の飛行ロボットと異なり、提案する飛行ロボットシステムは変形を伴うため、変形を手元で再現できる遠隔操縦モジュールの開発を行う。さらに、提案モジュールと実機の制約を考慮した上でのマッピング手法について模索する。

4. 研究成果

上記3を踏まえて、以下に示す研究成果を得た。

1. 任意姿勢で安定化可能な変形飛行ロボットの実現

機体構成法では、2自由度の推力偏向機構と手先で最小限の動作性能を維持するため6自由度の関節配置とする機体構成を開発した。上述の機体において飛行を安定化させるための非線形飛行制御手法について開発するとともに、あらゆる姿勢で安定化させるため、推力機構配置を決定する自己身体形状計画手法の提案まで行った。さらに、上記の手法を用いて、図1に示すように実機であらゆる姿勢で機体が安定化可能であることを示した。さらに、上記の内容について論文執筆を行い、ロボット分野で著名な雑誌に掲載されることが決まっている。

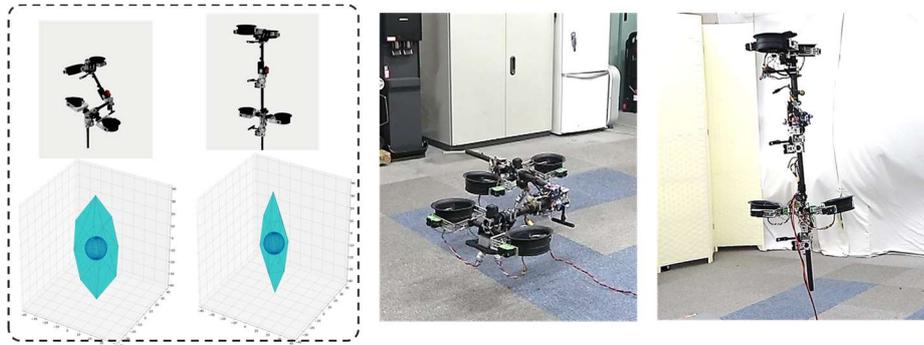


図1 任意の機体で安定化が可能な機体構成とその評価実験

2. 複数機体を用いた任意の離合体の実現

複数機の機体で任意の離合体を実現するべく、機体構成・結合機構の開発を行った。機体構成では1自由度の偏向機構を有するクアッドロータ形式を採用し、結合機構には磁石とスライダ機構を組み合わせることで、ロバスト性と剛性を担保する機構とした。さらに、空中での合体時には、機体間に生じる内力が問題となって分離した際に機体の暴走に繋がる。この問題を解決するため、機体のIMUの情報を用いて内力を推定し、それを保障する制御手法を提案した。これらの手法について、シミュレータおよび実機を用いて検証することでその有用性についても確認した。上記の内容について現在は論文を投稿中である。

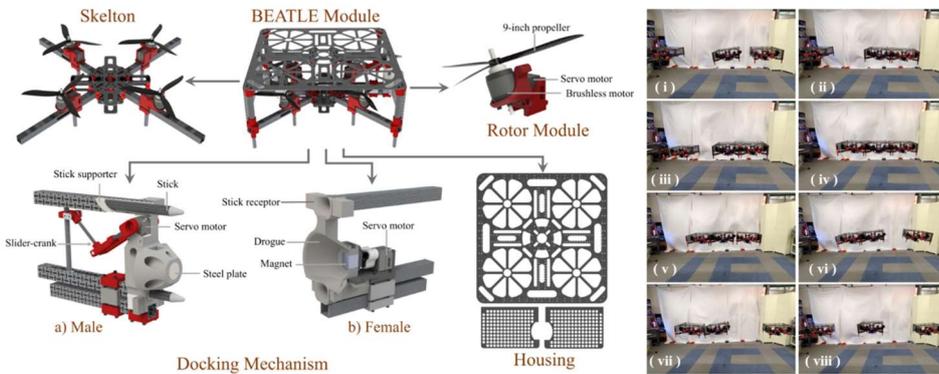


図2 空中での複数機体を用いた分離合体制御

3. 変形飛行ロボットにおける操縦システムの実現

高所での作業を柔軟に実現するにあたって、現状のロボットですべてタスクを行うのは現実的ではない。このような課題に対して本研究では遠隔操縦モジュールを提案することで、その間を補完する研究に取り組んだ。具体的には、遠隔操縦を行うモジュールを開発し、モジュールと実機が連動するようなシステム開発を行った。さらに、手先での安定性を考慮して人による指令を自律的に修正する制御を取り入れることで、作業の安定性の向上を図った。上記システムを、実機を用いて検証することでその有用性の評価までに行い、現在はロボット分野で著名な国際学会誌に投稿中である。



遠隔操縦モジュールと検証実験

本研究の上記成果により、飛行ロボットを用いた高所作業の効率向上と安全性の確保に向けた重要な成果が得られた。これにより、高所作業のリスクが軽減され、作業の効率と精度が大幅に向上させることが可能になると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3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 Tomoki Anzai, Moju Zhao, Takuzumi Nishio, Fan Shi, Kei Okada, Masayuki Inaba	4. 巻 -
2. 論文標題 Autonomous Brick Picking and Placing in the Fields by Articulated Aerial Robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics & Automation Magazine	6. 最初と最後の頁 -
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 Moju Zhao, Takuzumi Nishio (equal contribution)	4. 巻 -
2. 論文標題 Generalized Design, Modeling and Control Methodology for a Snake-like Aerial Robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 -
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 Moju Zhao, Tomoki Anzai, Takuzumi Nishio	4. 巻 -
2. 論文標題 Design, Modeling and Control of a Quadruped Robot SPIDAR: Spherically Vectorable and Distributed Rotors Assisted Air-Ground Quadruped Robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 -
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 Nishio Takuzumi, Zhao Moju, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 40
2. 論文標題 Design, Control, and Motion Planning for a Root-Perching Rotor-Distributed Manipulator	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 660 ~ 676
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TR0.2023.3327634	査読の有無 無
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 Nishio Takuzumi、Zhao Moju	4. 巻 9
2. 論文標題 Singularity-Free Flight using Rotor-Distributed Aerial Manipulator	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1460 ~ 1467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2023.3346797	査読の有無 無
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 Sugihara Junichiro、Nishio Takuzumi、Nagato Keisuke、Nakao Masayuki、Zhao Moju	4. 巻 5
2. 論文標題 Design, Control, and Motion Strategy of TRADY: Tilted Rotor Equipped Aerial Robot With Autonomous In Flight Assembly and Disassembly Ability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aisy.202300191	査読の有無 無
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 Sugihara Kazuki、Zhao Moju、Nishio Takuzumi、Makabe Tasuku、Okada Kei、Inaba Masayuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Design and Control of a Small Humanoid Equipped With Flight Unit and Wheels for Multimodal Locomotion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 5608 ~ 5615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2023.3297065	査読の有無 無
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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 西尾卓純
2. 発表標題 ロータ分散型飛行マニピュレータにおける環境吸着作業実現の研究
3. 学会等名 日本ロボット学会
4. 発表年 2022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
---------	---------