

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04188

研究課題名（和文）多肢型飛行ロボットの知覚統合と環境適応制御による複合移動様式と操作能力の相乗獲得

研究課題名（英文）Multi-modal locomotion and extensive manipulation ability by multi-legged aerial robot with integrated perception and adaptive control system

研究代表者

趙 漠居 (Moju, Zhao)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任講師

研究者番号：30825378

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はロボットの歩行・飛行による複合的な移動様と3次元空間の任意点での物体操作能力の相乗的な獲得方法の解明を目的とし、(1) プロペラ内蔵型リンクモジュールから構成される多足構造の身体構成法、(2) 視覚、力覚、平衡感覚を統合した自己状態推定と環境認識を可能にする知覚システム、(3) 環境からの外力を利用した環境適応型行動制御法、の3つの基礎理論を確立し、これらを核に四足モデルを中心とした3次元空間におけるより高い移動能力と操作能力を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は多関節構造を有するロボットの移動・操作といった基本的な行動生成論の確立に推力という付加要素を加えた新しい学術分野と捉えることができ、これは飛行ロボット分野と操作能力を有する多足型ロボット分野の二つの枠組みを融合したものと考えられる。したがって、ロボットの身体構成、知覚構築、行動制御という基礎理論の一般化と体系化は本研究で扱う地上と空中の二つのフィールドにとどまらず、水中移動ロボットや宇宙ロボット分野への波及効果も期待できる。また、空中作業に主眼を置く研究成果は高所作業の自動化といったより高次の産業革新の促進を可能にし、サステナブルな社会の実現に貢献していると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to achieve the aerial/terrestrial hybrid locomotion and extensive manipulation ability by multi-legged aerial robot. We develop the proposed multi-legged aerial robot from three aspects: (1) fundamental mechanical design for the multi-legged model that an individual thrust unit is embedded in each link module; (2) integrated perception system that is based on distributed vision, force/torque, and imu sensors embedded in the whole body; (3) adaptive control method that actively considers the force from the interaction with the environment. In this study, we eventually achieved the aerial/terrestrial hybrid locomotion by a prototype of four legged model and the advanced aerial manipulation ability by multi-link models such as the valve operation in midair.

研究分野：ロボット工学

キーワード：多肢型飛行ロボット 知覚統合システム 環境適応制御 空中操作能力

## 1. 研究開始当初の背景

プロペラを複数枚有するマルチロータ型飛行ロボットの空中移動能力は多くの分野で注目されており、物流、点検、警備、農業等での応用が期待され、次世代工業の推進の一役を担う存在となっている。一方で、飛行ロボットは全臨場撮影といった単なる空中移動だけではなく、人間に代わって高所での操作能力が期待されている。従来の研究では、マルチロータ型飛行ロボットの底面に多自由度の単腕アームを取り付ける方式が提案されている。一方、応募者は飛行能力と操作能力を有機的に融合する身体モデルを模索し、関節サーボによって駆動されるシリアルリンク構造の各リンクにプロペラを内蔵させる推力分散型配置の身体設計法を提案し、その身体特性を利用した拡張的な空中移動と操作行動を実現した。

しかしながら、飛行によって可到達範囲を拡大することができるが、エネルギーという観点からみると、その他の移動様式よりはるかに低効率である。したがって、環境に応じて移動様式を選択できる複合的な移動能力が必要と考えられる。また、既存でのシリアルリンク構造は最大二つのエンドエフェクタをもつことができるが、多足生物のようにより多くのエンドエフェクタを持つことでより多彩な操作を行うが可能となる。このように、ロボットの身体構成、知覚構造、動作制御の3つの側面から、3次元空間での移動能力と操作能力を統合的に獲得する方法論の学術的解明が必要不可欠であると考えられるようになった。

## 2. 研究の目的

従来のマルチロータ型飛行ロボットは主に単一剛体モデルであるため、プロペラ推力をモデルに作用する唯一の力と仮定する飛行制御法が確立されている。そのため、殆どの飛行行動において外部（環境・物体）との接触は極力回避している。ゆえに、環境接触を伴う移動や物体操作へのアプローチは容易ではない。そこで、本研究は環境・物体との接触による外力の発生を陽に考慮した、(1) プロペラ内蔵型リンクモジュールから構成される多足構造の身体構成法、(2) 視覚、力覚、平衡感覚を統合した自己状態推定と環境認識を可能にする知覚システム、(3) 環境からの外力を利用した環境適応型行動制御法、の3つの基礎理論を確立し、これらを核に多足型ロボットの3次元空間におけるより高い移動能力と操作能力の獲得方法の実証的な体系化を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究は推力作用を有する多足型ロボットの移動・操作に関する総合行動生成理論の体系化を目指すため、ロボット身体の身体構成法、知覚統合システム構築法、環境適応型行動制御法について段階的に理論構築を実施する。具体的には、まず多足構造を有する身体構成法について、リンクの基礎構造を明らかにしたうえで、四足モデルのプロトタイプの実装を行う。次に、エンドエフェクタを有する多リンクモデルをベースにした視覚・力学・平衡感覚を統合した知能システムの構築を展開し、自己状態と外力の推定および環境認識を分散型知覚センサで獲得する。さらに、環境適応型行動制御法に関しては、4足モデルを中心に推力・関節トルクの混合力学モデルの解明を踏まえて、空陸両用の移動・操作行動のフィードバック制御法を確立する。なお、これらの方法論の検証に関しては、屋内外環境での実証実験による有効性や頑健性を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) プロペラ内蔵型リンクから構成される空陸両用の四足ロボットの機体設計と実装

多肢型飛行ロボットのリンクモジュール及び全身の構造・機能設計法を構築し、図1(B)に示すような四足モデルのプラットフォームを実装した。機体構成法において、サイズ、重量、剛性、出力の間の相関関係を制約条件とし、ロータの推力特性、ダクデットファンの形状、関節モータの減速係数等を設計の出力パラメータとなる設計式を仮想環境での変形飛行時の安定性から導き出した。特記すべき点として、提案する四足モデルは不整地での歩行性能を保证するため、生物規範の骨格特性とは異なり、図1(A)に示すような点対称な構造を有し、各足には図1(C1)/(C2)に示すように計4つの関節を有する。また、いかなる姿勢での飛行を可能にするため、図1(D)に示すように各リンクには2自由度に偏向可能なデュアルロータモジュールが搭載されている。なお、図1(B)の実機による定位飛行テストを実施し、安定な飛行により本研究が提案する多肢飛行ロボッ

トの設計手法の有用性を示した。

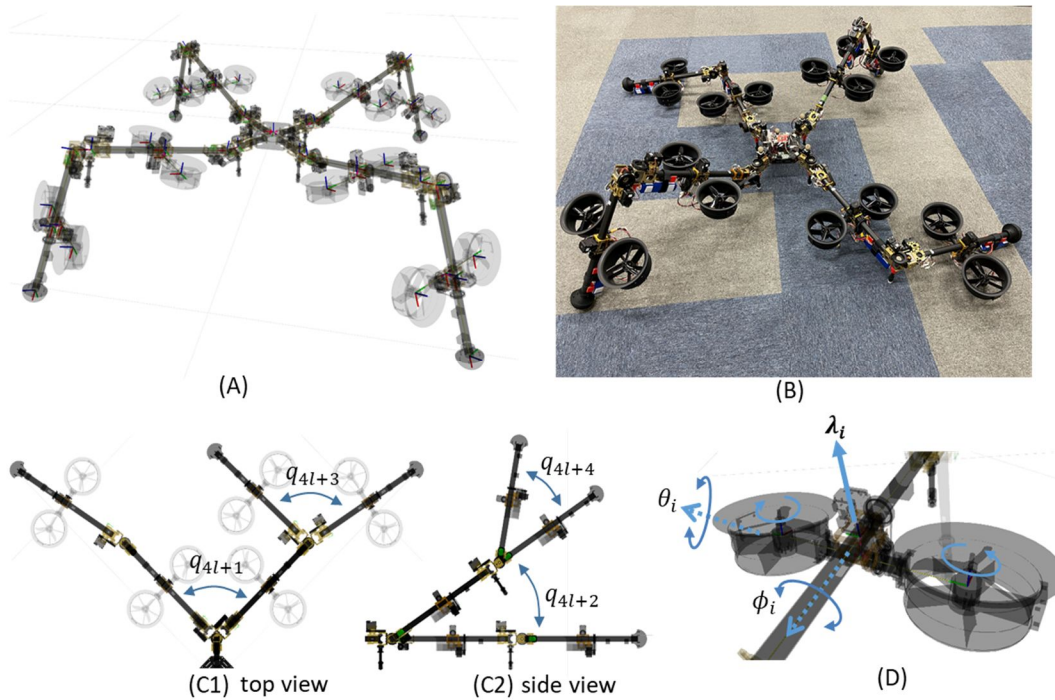


図 1 プロペラ内蔵型リンクから構成される空陸両用の四足ロボットの基本構成. (A) 点対称な全体モデル; (B) 実装したプロトタイプ; (C1)/(C2) 各足の関節構造; (D) 各リンクの推力モジュール

(2) 四足モデルを含む多リンク系モデルの汎用的な環境接触可能な動作制御手法

多肢型モデルの空陸両用の移動能力に関しては、図 2(A)のような四足モデルのプラットフォームを対象に、歩行時のロータ推力、関節トルク、重力及び末端の接触力を包括した力学モデルをまず明らかにした。そのうえで、准静的運動という仮定のもとで、図 2(B)に示すようなロータ推力と関節トルクの両方を利用した空陸両用の動作制御器を確立した。地上移動に関しては、この制御器を用いた静的歩行動作を実機で実現した。一方、飛行制御に関しては、外乱を考慮した適応制御やモデル予測制御の検討に加え、天井効果についても流体力学の観点から解析し、安定性を図った。加えて、機体の空中運動における特異点を究明し、それぞれ機構学、流体力学及び振動学に起因するものに分類した。そのうえで、それぞれの特異点に適応した最適化問題を含む飛行制御手法を提案し、力学シミュレーション・実機の両方での検証実験を行い、とりわけ直線形状での安定飛行を実現した。さらに、安定な空中操作を見据えた環境接触を伴う飛行動作においては、外力の動的補償を制御器に組み込んだ。

制御手法の汎用性に関しては、最小構成である 2 リンクモデルから四足モデルである 8 リンクまで対応できる一般化を図り、それぞれの形態下での実機検証を踏まえて、提案手法の有効性を示した。これにより、多肢型を含む多リンク系の飛行理論の基盤構築が実現できたと考える。

制御手法の汎用性に関しては、最小構成である 2 リンクモデルから四足モデルである 8 リンクまで対応できる一般化を図り、それぞれの形態下での実機検証を踏まえて、提案手法の有効性を示した。これにより、多肢型を含む多リンク系の飛行理論の基盤構築が実現できたと考える。

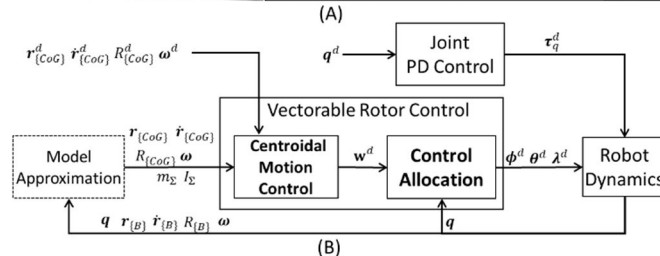
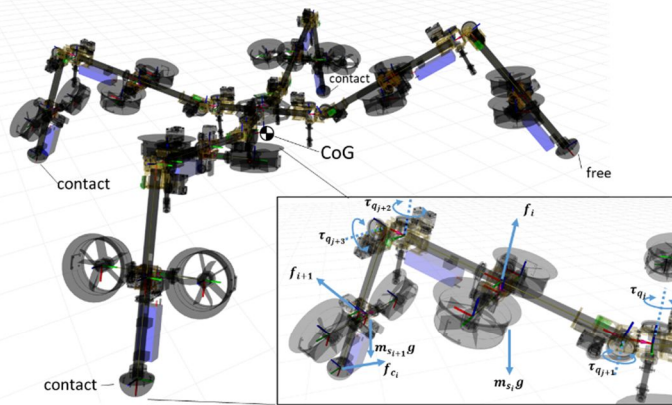


図 2 (A) 四足モデルを含む多リンク系の力学モデルの構築; (B) 汎用的な環境接触可能な動作制御器の確立.

### (3) 分散知覚センサによる自己状態・外部環境の推定・認識システムの構築

多リンク構造に分散された異種知覚センサ情報を統合し、自己状態推定に取り組んだ。図 3(A)に示すように、IMU、GPS、LiDAR、VIO といったセンサモジュールの情報を時間同期可能な拡張カルマンフィルタ(EKF)に入力し、ロバストな自己状態推定を保証し、屋内外の様々な環境下での自律飛行を可能にした。

一方、外力推定に関しては、分散した IMU 情報から機体重心にかかる外力を検知する手法を提案したが、定量的な計測のためには図 3(B1)に示すような 6 軸の力・トルクセンサを根元に搭載することで、吸着プレートが天板・天井といった周囲環境に安定に固定するための接触力推定を可能にした。一方、IMU 情報と制御出力の差分から外力を推定する運動量ベースの手法を導入し、図 3(B2)のように上下ロータ気流の相互干渉力を定量的に評価したうえで動的補償を実現した。

また、知覚統合システムによる環境認識を屋外環境で評価してきた。図 3(C1)に示すように画像処理による物体検出手法において深層学習モデルを導入し、さらに飛行ロボットにも搭載できる小型エッジ AI デバイスに格納するための量子化を実施し、実時間での高精度な空中物体検出を可能にした。一方、図 3(C2)のように、俯瞰視による地上物体の検出を可能にし、さらに図 3(C3)のように、点群情報を利用した物体の 3 次元認識を実施した。これらの認識機構により、地上ブロックの自動検出を基軸にした把持運搬を屋外環境で実現した。

これらの成果は、分散知覚センサの自己状態・外部環境の推定・認識システムといったロボットの自律行動への有用性を示していると言える。

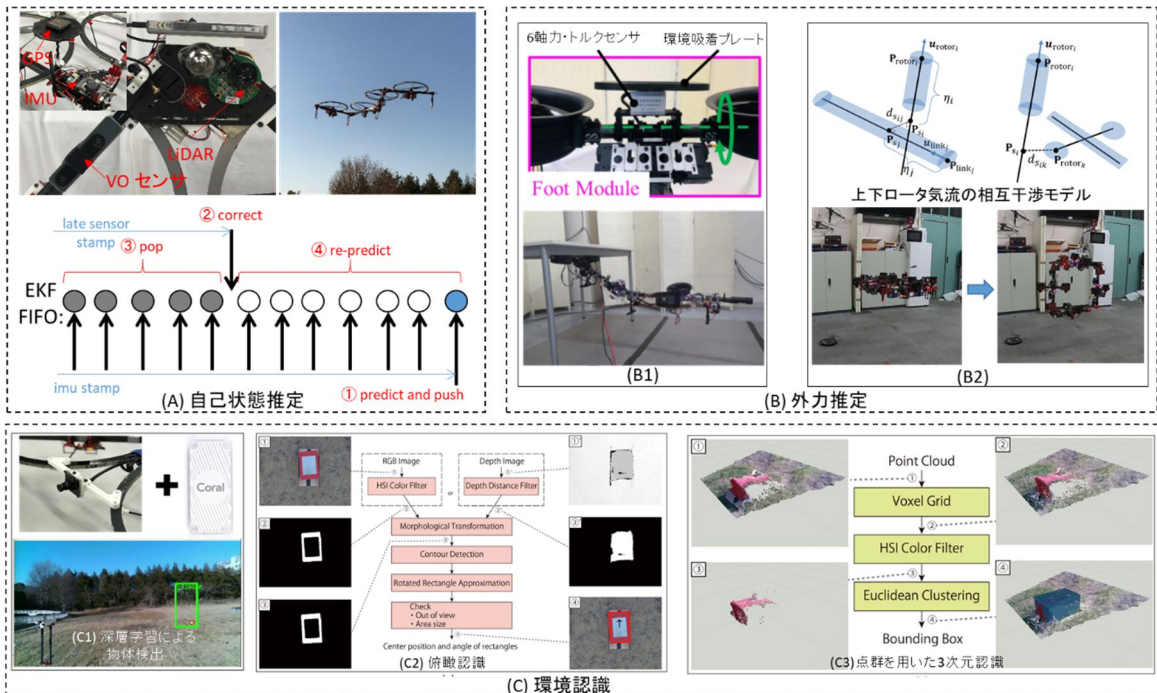


図 3 分散知覚センサによる自己状態・外部環境の推定・認識システムの構築. (A) 複数センサ情報を統合した時間同期可能な EKF による屋外環境での自律飛行. (B) 知覚センサを利用した天板への接触力の計測(B1)や上下ロータ気流の相互干渉力の推定(B2); (C) ビジョンセンサを利用した屋外での環境認識機構.

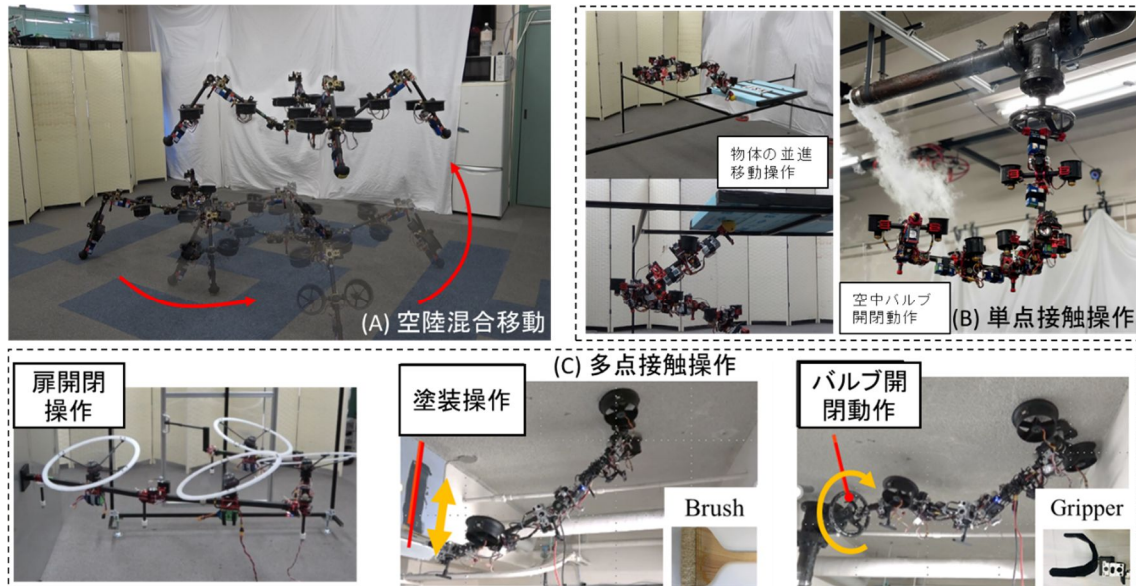
### (4) 環境接触を活用した空陸両用の拡張的移動・操作行動の生成

まず、移動行動に関しては、図 4(A)に示すように四足モデルによる歩行から飛行への連続的な移動様式の遷移を実現し、環境に適応した複合的な移動能力を獲得したと言える。

一方、空中操作行動に関しては、単腕モデルを用いた原理確認を中心に、図 4(B)のような単点接触操作から、図 4(C)のような多点接触操作へと段階的に評価を深めた。特に、多点接触に関しては、その場固着を利用した空中操作行動の体系化に取り組んだ。環境への固着を吸着と押し当ての二通りの方法に分けて、安定な接触を保证するそれぞれの制約条件を定式化し、それを飛行制御のフレームワークに組み込む。一方、他の自由な手先の操作運動に関しては押し付け、スライド、および回転の三つの方式に分け、それぞれの方式で発生する操作反力を考慮した動作計画法を構築した。実機検証においては、多肢型モデルの部分解であるシリアルリンク構造の機体を用いて、図 3(C)に示すような壁への押し当てを利用した扉の開閉操作や、天井に固着した状態でのドリル開

け、刷毛塗装、およびバルブ開閉動作といった多彩な空中操作行動を実現した。これらの動作計画法は短腕モデルに特化したものではないため、四足モデルをはじめとする多肢型にも容易に適用することが可能だと考える。また、本研究が提案する推力偏向可能な機構により推力操作の冗長性が生じ、この冗長性は環境への接触や物体の把持の外力補償において非常に有用であることを初めて明らかにした。

図 4 環境接触を活用した空陸両用の拡張的移動・操作行動。(A) 四足モデルの歩行から飛行への連続的な



移動様式の遷移; (B) 短腕モデルによる単点接触操作: 物体の並進移動操作と空中のバルブ開閉動作; (C) 多点接触操作: 壁の押し当てを利用した扉の開閉操作、天井の吸着を利用した塗装やバルブ開閉動作。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Zhao Moju, Anzai Tomoki, Nishio Takuzumi	4. 巻 8
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 3923 ~ 3930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2023.3272285	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 Zhao Moju, Nishio Takuzumi	4. 巻 23
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 1882 ~ 1882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s23041882	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 Zhao Moju, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 0
2. 論文標題 Versatile articulated aerial robot DRAGON: Aerial manipulation and grasping by vectorable thrust control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Journal of Robotics Research	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/02783649221112446	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 Development of Rotor-distributed Aerial Manipulators to Perch on Ceilings using Thrust and Flight/Perching and End-effector Position Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 701 ~ 711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.701	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 Moju Zhao, Tomoki Anzai, Takuzumi Nishio	4. 巻 0
2. 論文標題 Design, Modeling and Control of a Quadrupe d Robot SPIDAR: Spherically Vectorable and Distributed Rotors Assisted Air-Ground Quadrupe d Robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2023.3272285	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 Zhao Moju, Nagato Keisuke, Okada Kei, Inaba Masayuki, Nakao Masayuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Forceful Valve Manipulation With Arbitrary Direction by Articulated Aerial Robot Equipped With Thrust Vectoring Apparatus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 4893 ~ 4900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3154018	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 Maki Toshiya, Zhao Moju, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Elastic Vibration Suppression Control for Multilinked Aerial Robot Using Redundant Degrees-of-Freedom of Thrust Force	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2859 ~ 2866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3145060	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 Zhao Moju, Anzai Tomoki, Shi Fan, Maki Toshiya, Nishio Takuzumi, Ito Keita, Kuromiya Naoki, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 38
2. 論文標題 Versatile multilinked aerial robot with tilted propellers: Design, modeling, control, and state estimation for autonomous flight and manipulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Field Robotics	6. 最初と最後の頁 933 ~ 966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rob.22019	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 Zhao Moju, Shi Fan, Anzai Tomoki, Nishio Takuzumi, Maki Toshiya, Ito Keita, Kuromiya Naoki, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Team JSK at MBZIRC 2020: Interception of fast flying target using multilinked aerial robot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Field Robotics	6. 最初と最後の頁 70 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.55417/fr.2021003	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 Zhao Moju, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Enhanced Modeling and Control for Multilinked Aerial Robot With Two DoF Force Vectoring Apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 135 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.3032374	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 Zhao Moju, Anzai Tomoki, Okada Kei, Kawasaki Koji, Inaba Masayuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Singularity-Free Aerial Deformation by Two-Dimensional Multilinked Aerial Robot With 1-DoF Vectorable Propeller	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1367 ~ 1374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3056027	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 該当する

1. 著者名 Fan Shi, Moju Zhao, Tomoki Anzai, Keita Ito, Xiangyu Chen, Shunichi Nozawa, Kei Okada, Masayuki Inaba	4. 巻 33
2. 論文標題 Multi-rigid-body dynamics and online model predictive control for transformable multi-links aerial robot	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 971-984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1660710	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 該当する



1. 著者名 Moju Zhao, Fan Shi, Tomoki Anzai, Kei Okada, Masayuki Inaba	4. 巻 5
2. 論文標題 Online Motion Planning for Deforming Maneuvering and Manipulation by Multilinked Aerial Robot Based on Differential Kinematics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1602-1609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2967285	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 該当する

1. 著者名 Moju Zhao, Tomoki Anzai, Fan Shi, Kei Okada, Masayuki Inaba	4. 巻 11
2. 論文標題 Path Planning Based on Differential Kinematics for Passing Through Small Opening by Transformable Multilinked Aerial Robot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Advanced Robotics, Proceedings of the 2018 International Symposium on Experimental Robotics	6. 最初と最後の頁 536-548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-33950-0_46	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 該当する

[学会発表] 計18件(うち招待講演 0件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Nobuki Sugito, Moju Zhao, Tomoki Anzai, Takuzumi Nishio, Kei Okada, Masayuki Inaba
2. 発表標題 Aerial Manipulation Using Contact with the Environment by Thrust Vectorable Multilinked Aerial Robot
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西尾 卓純, 趙 漢居, 岡田 慧, 稲葉 雅幸
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 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉原 和輝, 西尾 卓純, 趙 漢居, 真壁 佑, 岡田 慧, 稲葉 雅幸
2. 発表標題 飛行ユニットを備えたヒューマノイドにおける推力偏向制御に基づく転倒回避に関する研究
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fan Shi, Timon Hombergery, Joonho Leey, Takahiro Mikiy, Moju Zhao, Farbod Farshidiany, Kei Okada, Masayuki Inaba, Marco Huttery
2. 発表標題 Circus ANYmal: A Quadruped Learning Dexterous Manipulation with Its Limbs
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuzumi Nishio, Moju Zhao, Tomoki Anzai, Kunio Kojima, Kei Okada and Masayuki Inaba
2. 発表標題 Fixed-root Aerial Manipulator: Design, Modeling, and Control of Multilink Aerial Arm to Adhere Foot Module to Ceilings using Rotor Thrust
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maki, Toshiya and Zhao, Moju and Shi, Fan and Okada, Kei and Inaba, Masayuki
2. 発表標題 Model Reference Adaptive Control of Multirotor for Missions with Dynamic Change of Payloads During Flight
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Nishio, Takuzumi and Zhao, Moju and Shi, Fan and Anzai, Tomoki and Kawaharazuka, Kento and Okada, Kei and Inaba, Masayuki
2 . 発表標題 Stable Control in Climbing and Descending Flight under Upper Walls using Ceiling Effect Model based on Aerodynamics
3 . 学会等名 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Shi, Fan and Zhao, Moju and Murooka, Masaki and Okada, Kei and Inaba, Masayuki
2 . 発表標題 Aerial Regrasping: Pivoting with Transformable Multilink Aerial Robot
3 . 学会等名 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Tomoki Anzai, Moju Zhao, Masaki Murooka, Fan Shi, Kei Okada, Masayuki Inaba
2 . 発表標題 Design, Modeling and Control of Fully Actuated 2D Transformable Aerial Robot with 1 DoF Thrust Vectorable Link Module
3 . 学会等名 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fan Shi, Moju Zhao, Tomoki Anzai, Keita Ito, Xiangyu Chen, Kei Okada, Masayuki Inaba
2 . 発表標題 Achievement of Online Agile Manipulation Task for Aerial Transformable Multilink Robot
3 . 学会等名 The 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Moju Zhao, K Okada, M Inaba
2. 発表標題 Aerial Manipulation and Grasping by the Versatile Multilinked Aerial Robot DRAGON
3. 学会等名 The 2019 International Symposium on Robotics Research (ISRR) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fan Shi, Moju Zhao, Tomoki Anzai, Xiangyu Chen, Kei Okada, Masayuki Inaba
2. 発表標題 External Wrench Estimation for Multilink Aerial Robot by Center of Mass Estimator Based on Distributed IMU System
3. 学会等名 The 2019 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安齋智紀, 趙漢居, 室岡雅樹, 石凡, 岡田 慧, 稲葉 雅幸
2. 発表標題 一自由度推力偏向機構を有する多リンク型マルチロータ飛行ロボットの構成法と空中変形を伴う全駆動飛行制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾卓純, 趙漢居, 石凡, 安齋智紀, 岡田慧, 稲葉雅幸
2. 発表標題 天井効果モデルを考慮した自律移動型マルチロータ機の構造物近傍点検飛行における目標追従性能向上に関する研究
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤慶太, 趙漢居, 安齋智紀, 稲葉雅幸, 岡田慧
2. 発表標題 伸縮脚をもつ空陸両用マルチリンクロータ飛行ロボットの自律移動操作行動に関する研究
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 眞木俊弥, 趙漢居, 岡田慧, 稲葉雅幸
2. 発表標題 マルチコプターにおける重心位置変動を考慮したモデル規範型適応制御を用いた姿勢制御に関する研究,
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 趙漢居, 岡田慧, 稲葉雅幸
2. 発表標題 推力偏向機構を有する多リンク系飛行ロボットの推力冗長自由度を利用した空中マニピュレーションの実現
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒宮侃熙, 趙漢居, 安齋智紀, 岡田慧, 稲葉雅幸
2. 発表標題 多リンク変形飛行ロボットによるパラ積みブロックの平面検出に基づく認識と把持
3. 学会等名 第20回SICEシステムインテグレーション部門講演会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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