

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03965

研究課題名（和文）俊敏さと器用さを実現するロボット機構の開発

研究課題名（英文）Development of Robot Mechanism for Agility and Dexterity

研究代表者

武居 直行（Takesue, Naoyuki）

東京都立大学・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：70324803

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、移動・跳躍・遊泳・飛行を複合し、自然環境で頑健に動作し、スズメやカラスなどの鳥やネズミやメダカなどの小動物に見られる俊敏さや器用さという運動機能のロボットによる実現を目指してきた。アクチュエータ・減速機の開発や滑空飛行可能な機体製作、跳躍機構の融合により、羽ばたきパターンの最適化を含む複数の要素技術を確立した。今後は、多様な飛行形態や移動手法の実現を目指す。本研究の成果の一部は学会や学術雑誌で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年世界的にも注目されているBiologically Inspired Roboticsの分野であり、複数の機能を統合し、動物のような運動性能を持つロボットの開発を目指した点で学術的意義がある。軽量で高出力のアクチュエータや滑空飛行を可能にするロボット機体、跳躍と飛行の融合などの開発は、次世代ドローンとして自然環境下での多様な飛行形態を実現するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research was to investigate the locomotor functions of agility and dexterity observed in birds such as sparrows and crows, as well as in small animals such as mice and killifish, and to develop robots that integrate movement, leaping, swimming, and flight, and operate with resilience in natural environments. The development of actuators, reduction gears, a gliding flight vehicle, and a jumping mechanism has led to the establishment of several elemental technologies, including the optimization of the flapping pattern of the wings. In the future, we intend to develop a variety of flight modes and movement methods. Some of the findings of this research have been presented at academic conferences and published in academic journals.

研究分野：ロボット工学，メカトロニクス

キーワード：ロボット 移動 跳躍 飛行

## 1. 研究開始当初の背景

ロボットにおける運動性能やマニピュレーション技術が日夜進歩している。特に、Biologically Inspired Robotics と呼ばれている分野の発展は目覚ましく、動物並みの高い運動性能を備え、技術的完成度の高いロボットが数多く開発されている。例えば、MIT では走行やバック宙などを行う 4 脚ロボットを開発している。Boston Dynamics は、体操選手を想起させるほどの運動性能を人間型ロボットで実現し、また極めて運動性能の高い 4 脚移動ロボットを開発し、販売を開始した。Case Western Reserve University では、車輪と脚の長所を併せ持つスポークホイールを利用したゴキブリ並みの走破性をもつ小型移動ロボットを開発している。UC Berkeley では、持続的かつ安定的に跳躍を行う 1 本脚跳躍ロボットの開発で話題となっている。また、水中では、東工大により水陸両用ヘビ型ロボットが開発され、McGill 大・York 大・Adept 社のグループは 6 脚の遊泳ロボットを開発している。Harvard 大では非常に小さな飛翔ロボットが開発され、Delft 工科大では巧みな飛行能力を持つ羽ばたき飛行ロボットが発表されている。国内でも、Biologically Inspired Robotics は大きな一分野ではあるが、特に海外のロボティクスは非常に活発な状況である。

## 2. 研究の目的

現在世界中で多くの Biologically Inspired Robot が開発されているが、移動・跳躍・遊泳・飛行をそれぞれ単独で実現されているものが多く、これらを両立した研究は数少ない。我々もこれまでに、移動・跳躍・遊泳・飛行を実現してきた。本研究ではそれらを融合し、最終的な目標としては、自然環境で頑健に動作し、スズメやカラスなどの鳥やネズミやメダカなどの小動物に見られる俊敏さや器用さという運動機能をロボットによって実現することを目指す。

## 3. 研究の方法

これまでも無滑走離陸可能なロボットは開発されているが、いわゆるホバリングを行うものであった。我々が開発した羽ばたき飛行ロボットでは、多くの鳥が飛び立つような俊敏な無滑走離陸の実現に成功した。本研究では、これまでに開発している羽ばたき飛行ロボットの機構をベースに改良するとともに、飛行ロボットに搭載可能な陸上移動機構およびマニピュレーション機構の開発を進める。

## 4. 研究成果

まず、離陸後に安定した水平飛行への移行や滑空飛行が可能な飛行ロボットを開発するためには、無動力でも滑空可能なロボット機体が必要となる。翼による推力発生位置と重心位置のバランスを考慮してロボット機体を製作した。その機体により、羽ばたきをしない無動力状態で、手投げの滑空飛行が可能であることが確認された(図1)。また、安定した水平飛行の実現のため、左右翼独立駆動機構を設計・実装した(図2)。推力測定実験により、自重以上の推力発生が可能であることが確認された(図3)。

さまざまな運動機能を実現するために、翼形状(図4)による羽ばたき周波数と推力特性の関係(図5)を明らかにした。また、詳細な実験データを積み重ね、羽ばたきパターンによる推力特性への影響(図6)を調べ、離陸推力が最大となる羽ばたきパターンは正弦波に近いものが最も適していることを明らかにした。

さらに、無滑走離陸や跳躍などの多機能化のためには自重の軽量化が必須であるため、

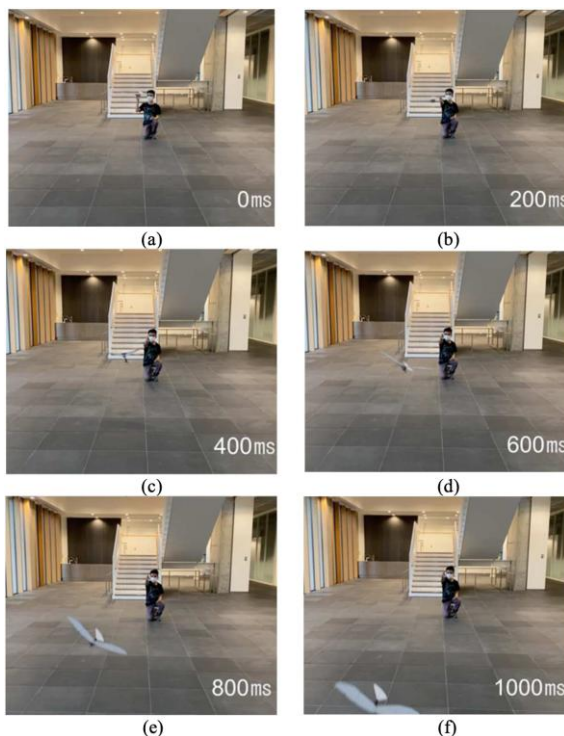


図1：滑空飛行実験

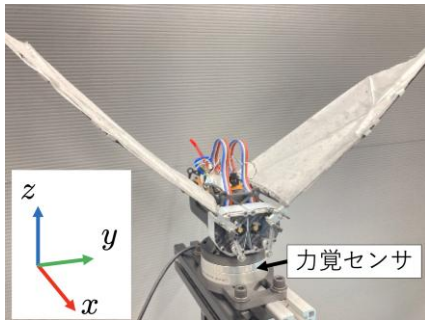


図 2 : 左右翼独立駆動機構搭載ロボット

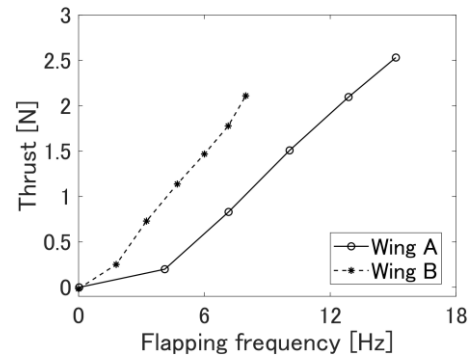


図 5 : 翼形状による推力実験

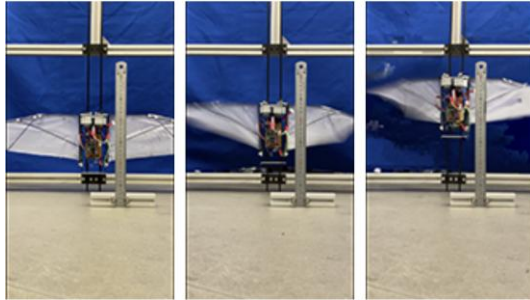


図 3 : 離陸推力実験

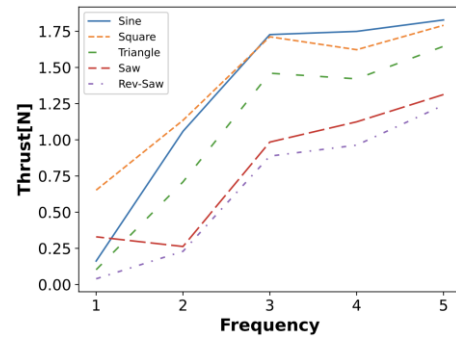
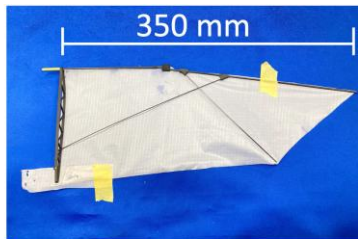
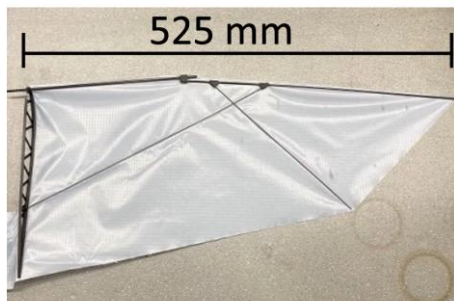


図 6 : 羽ばたきパターンによる推力実験



(a) Wing A



(b) Wing B

図 4 : 複数種類の翼形状

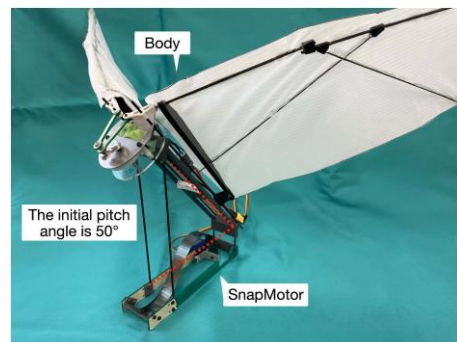


図 7 : 翼形状による推力実験

高出力で、より軽量なアクチュエータ・減速機を開発した。

離陸の羽ばたき時に、翼と地面との接触を回避するために、離陸前に跳躍するための跳躍機構を搭載し（図 7）、その有効性を示した。今後、多様な飛行形態を実現する上で、翼に働く環境作用力を検知できる力センシング可能な翼の開発を進めている。これらの成果を国内外の学会および学術雑誌において発表した。また、最終年度の成果は今後発表予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Muhammad Labiyb Afakh, Hidaka Sato and Naoyuki Takesue	4. 巻 13
2. 論文標題 Study Towards a Flapping Robot Maintaining Attitude During Gliding	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology	6. 最初と最後の頁 681-687
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18517/ijaseit.13.2.18289	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 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Yu Mikawa, Naoyuki Takesue, Hiromi Mochiyama
2. 発表標題 Jumping Takeoff of a Flapping Flying Robot
3. 学会等名 2024 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 三河優, 武居直行, 望山洋
2. 発表標題 羽ばたき飛行ロボットの跳躍離陸の解析
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2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Muhammad Labiyb Afakh, Hidaka Sato, Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Analyzing Power and Force Parameters in Varied Flapping Patterns
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2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yu Mikawa, Muhammad Labiyb Afakh, Hidaka Sato, Hiromi Mochiyama, Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Demonstration of Flapping Flying Robot
3. 学会等名 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation EXPO (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 三河優, 武居直行, 望山洋
2. 発表標題 羽ばたき飛行ロボットの跳躍離陸の検討
3. 学会等名 第24回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
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hidaka Sato, Muhammad Labiyb Afakh, Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Lightweight Design and Developing of Cycloidal Gear Reducer for Flapping-wing Aerial Vehicle
3. 学会等名 KSME/JSME The 9th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Muhammad Labiyb Afakh, Hidaka Sato and Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Study Towards a Flapping Robot Maintaining Attitude During Gliding
3. 学会等名 The 4th International Conference on Innovation in Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤陽威, Muhammad Labiyb Afakh, 武居直行
2. 発表標題 トロコイド歯車減速機の軽量化設計と評価
3. 学会等名 日本機械学会 第21回機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤陽威, Muhammad Labiyb Afakh, 武居直行
2. 発表標題 羽ばたき飛行ロボットにおける羽ばたき周波数と発生推力の実験的考察
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2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hidaka Sato, Muhammad Labiyb Afakh, Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Development of Flapping-wing Robot with Independently Controllable Wings
3. 学会等名 JSME The 7th International Conference on Advanced Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤陽威, アファー・ムハammad・ラビップ, 武居直行
2. 発表標題 独立制御可能な翼をもつ羽ばたき飛行ロボットの開発
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Muhammad Labiyb Afakh, Terukazu Sato, Hidaka Sato, Naoyuki Takesue
2. 発表標題 Development of Flapping Robot with Self-Takeoff from The Ground Capability
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021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
研究分担者	望山 洋 (Mochiyama Hiromi)  (40303333)	筑波大学・システム情報系・教授  (12102)	
研究分担者	山田 篤史 (Yamada Atsushi)  (40534334)	滋賀医科大学・医学部・特任准教授  (14202)	
研究分担者	藤本 英雄 (Fujimoto Hideo)  (60024345)	東京都立大学・システムデザイン研究科・特任教授  (22604)	

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