

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22760168

研究課題名（和文） 鳥類の羽ばたき動作を模した飛行ロボットの実現と  
その自律飛行制御手法の開発研究課題名（英文） Realization of a flapping flight robot like birds  
and development of its autonomous flight control techniques

研究代表者

大竹 博（OHTAKE HIROSHI）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：60377017

研究成果の概要（和文）：

羽ばたき飛行ロボットの自律飛行制御を目指し、羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルの構築、飛行ロボットの設計・製作を行い、飛行実験により短時間の飛行に成功した。また羽ばたき方法の改善も試み、飛行性能の向上を確認した。羽ばたき飛行ロボットのような複数のセンサを持つシステムに対して、センサのデータ更新周期が不均一な場合にも対応でき、計測誤差に対しても頑強な制御手法の開発を試み、その制御器の設計条件を導出した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the simulation model for flapping robot was constructed, and the flapping robot based on the simulation model was developed. Flight experiments have been examined although flight distance was short. And, the improvement of the flapping model of the robot was considered in order to accomplish better flight performance. Moreover, the control technique for achieving autonomous flight of the flapping robot with some sensors whose sampling rates are different was proposed, and the design conditions were derived.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：運動制御，羽ばたき飛行ロボット，ファジィモデルに基づく制御

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 生物の動作を模倣するロボットに関する研究は多く行われているが、飛行生物を模したロボットの実現例は少なく、また、センサや演算装置を搭載し自律制御された羽ばたき飛行ロボットは実現されていない。

(2) 飛行ロボットには重量の問題で高速・高精度のセンサを用いることができない。そのため、小型演算装置で処理でき、センサごとのサンプリング周期の不均一性に対して頑強であり、かつ、計測誤差に対してロバスト性を持った制御手法の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

(1) 羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルを構築する。それを用いて飛行可能であり、かつ、積載可能重量が最大となる飛行ロボットを設計する。

(2) 複数のセンサを持つ動的システムに対する、不均一なサンプリング周期に対応でき、かつ、誤差に対する強いロバスト性を持つ多目的制御手法を開発する。

(3) (1)と(2)に基づき、自律飛行可能な羽ばたき飛行ロボットを開発し、飛行実験を行う。

(4) 滑空飛行、ホバリング、助走からの飛び立ちなど様々な飛行形態を実現する。

## 3. 研究の方法

(1) 羽ばたき動作によって発生する上昇力・推力を算出するモデル、羽ばたき動作を実現するための動力を算出するモデル、機体重量を算出するモデルを作成し、これらの3つを組み合わせた羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルを構築する。このシミュレーションモデルに基づき機体の設計・製作を行い、飛行可能な羽ばたき飛行ロボットを開発する。

(2) ファジィモデルに基づく非線形制御手法を用いて、不均一なサンプリング周期に対応でき、誤差に対するロバスト性を持ち、計算負荷の軽い多目的制御器を開発する。

(3) (1)で開発した羽ばたき飛行ロボットに(2)で開発した制御器を実装した演算装置を搭載し、自律飛行を実現する。

(4) 通常の飛行制御の他に滑空飛行、ホバリング飛行を実現する。また、小型の走行車輪を取り付け、助走からの飛び立ちを実現する。

## 4. 研究成果

(1) 羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルの構築および最適な飛行ロボットの設計・製作

羽ばたき動作によって発生する上昇力・推力を算出するモデル、羽ばたき動作を実現するための動力を算出するモデル、機体重量を算出するモデルを作成し、羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルを構築した。構築したシミュレーションモデルを用いて、推力と積載可能重量が大きくなる機体を設計した。



図1 機体の設計図

その後、制御回路、バッテリー、通信装置を搭載した羽ばたき飛行ロボットの試作機を製作し、上昇力と推力を測定した。

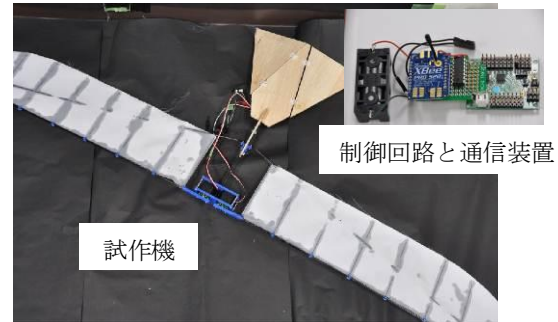


図2 製作した試作機

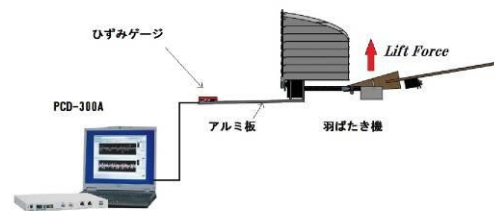


図3 実験装置

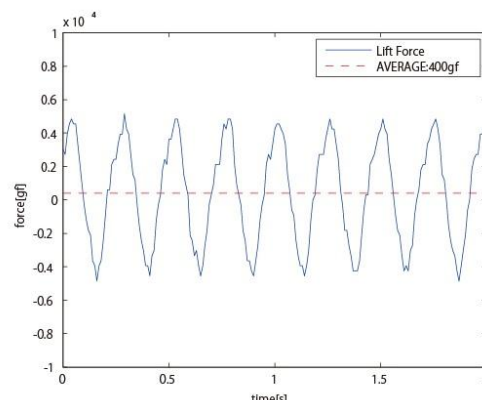


図4 上昇力の測定値

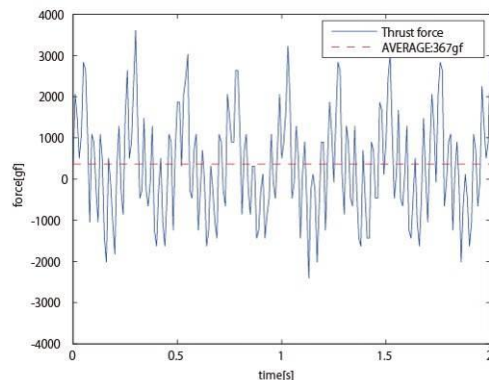


図5 推力の測定値

その後、羽ばたき飛行ロボットのシミュレーションモデルについて、試作機による上昇力、推力のデータを基にシミュレーションモデルの改善を行い、それに基づき機体を再設計した。

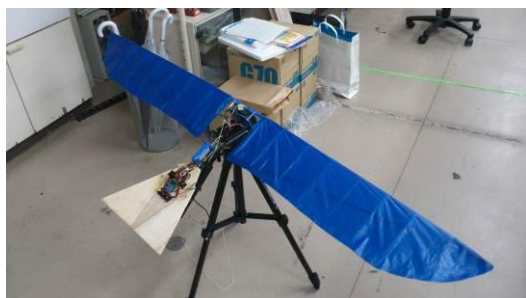


図 6 改良した機体

さらに羽ばたき方法の改善も試み、試作機と比較して飛行性能の向上を確認した。また、飛行実験を行い、短時間の飛行に成功した。



図 7 飛行実験の様子

(2) 複数のセンサを持つ動的システムに対して、不均一なサンプリング周期に対応でき、誤差に対する強いロバスト性を持つ制御手法の開発

複数のセンサの不均一なサンプリング周期に対応するための状態の推定手法の開発、計測誤差に対してロバスト性を有するロバスト制御器の開発を試みた。

開発した状態推定手法とロバスト制御手法の有効性を検証するために、センサのサンプリング周期の異なりを想定した2リンクアームモデルに対して開発した制御手法を適用し、有効に働くことを確認した。しかし、羽ばたき飛行ロボットに搭載するマイコンで実行可能にするためには計算負荷の軽減が必要である。そこで、計算負荷の軽減を実現する設計条件の緩和に取り組み、設計条件の緩和に成功した。しかし、飛行ロボットに搭載可能なマイコンで実行可能なレベルまで緩和ができておらず、さらなる条件の緩和が必要である。

(3) 滑空飛行、ホバリング飛行、助走からの飛び立ちの実現

滑空飛行の実現に向けて、羽ばたき動作を停止させ、翼を一定の角度に保った状態からの投げ出し実験を行い、ある程度の滑空飛行が可能であることを確認した。また、助走からの飛び立ちの実現では、車輪を取り付け走行させることによって多少の上昇力を得ることができることは確認したが、上昇力が十分に得られず、飛行につなげることはできなかった。飛び立ちを考慮した機体の設計が必要であることを確認した。

(4) 今後の展望

羽ばたき飛行ロボットを実現するためには、羽ばたきによって発生する揚力・推力と機体に搭載するセンサ・制御装置の重量バランスが重要である。現在はこれらの力のバランスを議論できるほどの十分な揚力と推力が得られていない。鳥類の羽ばたきは翼を上下に動作させるフラッピング運動だけでなく、翼をひねるフェザリング、翼を前後に動かすリード・ラギング、翼を伸ばしたり折りたたむスパンニングの4つの運動を組み合わせで実現されている。これにより、鳥類は翼を振り下ろすときには翼を伸ばし、効率的に空気を掴み、上昇力・推進力を得ており、また、翼を振り上げるときには翼の向きを変え、さらに翼を折りたたみ空気抵抗を減らし、抗力の発生を抑えている。これにより、鳥類は効率の良い飛行を実現している。今後はフラッピングだけでなく、その他の動きも実現できる羽ばたき飛行ロボットを設計・製作し、自律飛行の実現を目指す。

## 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4件)

① Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Hua O. Wang, A Descriptor System Approach to Servo Control for Nonlinear Systems, Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Fuzzy System, 査読有, 2012, pp. 1597-1602.  
DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251284

② Hiroshi Ohtake, Kazuo Tanaka, Hua O. Wang, Fuzzy Model-based Servo Control for Discrete-Time Nonlinear Systems with Constraints, Proceedings of the 18th IFAC World Congress, 査読有, 2011, pp. 9029-9034.  
DOI: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03290

③Hiroshi Ohtake, K. Tanaka, H. O. Wang, Fuzzy Model-based Servo Control with Constraints on both of Inputs and States, Proceedings of the 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 査読有, 2010, pp.107-110.  
DOI: 10.1109/ISIC.2010.5612887

〔学会発表〕(計5件)

①大竹博, サーボモータを用いた羽ばたき飛行ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012年05月27日, アクオシティ浜松(静岡県)

②Hiroshi Ohtake, An Improved Approach to Fuzzy Model Construction and Servo Control with Constraints based on Error Dynamics, 2011 American Control Conference, 2011年7月1日, Hilton San Francisco Union Square (アメリカ, サンフランシスコ)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大竹 博 (OHTAKE HIROSHI)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号: 60377017