

平成22年 5月31日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760151
 研究課題名 (和文) 動的変構造モデリング手法の開発と生物型羽ばたき飛行ロボットの自律飛行制御の実現
 研究課題名 (英文) Development of modeling technique for dynamic variable structure system and application to flight control of biology-inspired flapping robot
 研究代表者
 大竹 博 (OHTAKE HIROSHI)
 電気通信大学・電気通信学部・助教
 研究者番号：60377017

研究成果の概要 (和文)：鳥の羽ばたき動作のように、翼の振り上げ時と振り下げ時で翼の形が変化するようなシステムに対して、実験データからその挙動を表す数式モデルを推定する手法を開発した。羽ばたき動作を実現するロボットを試作し、実験データから羽ばたきロボットの数式モデルを構築した。さらに、数式モデルに基づいて作ったコントローラとセンサを搭載した羽ばたき飛行ロボットを製作し、その飛行可能性を確認した。

研究成果の概要 (英文)：In this research, modeling technique for dynamic variable structure system such as the flapping motion of a bird was developed. The mathematical model of the flapping motion was identified by using the technique and the controller was designed based on the identified model. Finally, the proto-type flapping robot was developed and the flight experiment was performed. The validity of the identified model and designed controller were demonstrated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	660,000	3,860,000

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：動的変構造システム, sector nonlinearity, 羽ばたき飛行ロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 飛行生物を模したロボットの実現例は少なく、また、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) 空中を自由に飛び回るためには羽ばたきによって生じる揚力と推進力によって鳥

やロボットがどのように運動するのかを知る必要がある。これらの関係は運動方程式として導出することは困難である。

2. 研究の目的

(1) 羽ばたき動作は振り上げと振り下げでシステムの自由度が変化する。動的にシステ

ムの自由度が変化するシステムの運動を表す数式モデルをシステム同定によって構築する。

(2) この数式モデルに基づく動的変換制御器を設計する。

(3) 設計した制御器を組み込んだ自律制御型の羽ばたき飛行ロボットを設計・製作し、安定して飛行可能な羽ばたき飛行ロボットを開発する。

3. 研究の方法

(1) 肘関節を持つ2リンクアームロボットを製作し、駆動実験データに基づき、動的変換システムモデルを構築するためのシステム同定手法を開発する。

(2) 羽ばたき飛行ロボットを試作し、羽ばたき飛行の入出力データを獲得する。得られたデータに対して、(1)で開発した同定手法を適用し、羽ばたき飛行ロボットの動的変換システム型の数式モデルを構築する。

(3) (2)で構築した数式モデルに対してこれまでに開発した動的変換システムのための制御器設計法を適用し、羽ばたき飛行ロボットの制御器を設計する。

(4) 設計した制御器やマイクロコンピュータ、様々なセンサを組み込んだ自律制御型の羽ばたき飛行ロボットを設計・製作し、羽ばたき飛行実験を行う。

4. 研究成果

(1) 動的変換システムに対するシステム同定手法の開発

肘関節を持つ2リンクアームロボットは、肘関節の曲げ伸ばしによって、1リンクと2リンクが変化するという動的に自由度が変化するシステムと見なすことができる。

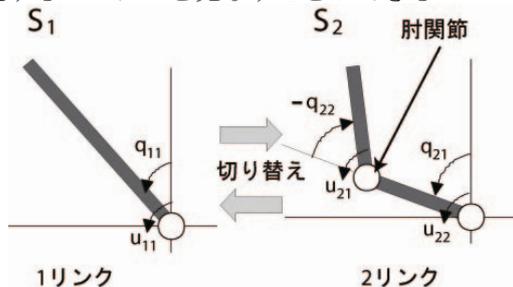


図1：動的変換システム

この肘関節を持つ2リンクアームロボットの数式モデルを導出した。数式モデルに適切な入力を加え、そこから得られた出力データにノイズを加えることによって擬似的な実験データを作成した。動的な自由度の変化に対応できるように、あらかじめ冗長的な sector 領域を構築しておき、sector 領域ごとに同定を行うことで、動的変換システムの同定を行う動的変換モデリング手法を開発した。

(2) 非線形追従制御手法の開発

2リンクアームロボットや羽ばたき飛行ロボットでは、ある軌道に沿ってアームや翼を動作させる必要がある。そのための連続システムと離散システムに対する非線形サーボ制御手法と非線形モデル追従制御手法を開発した。本手法を適用することにより、1リンクアームのサーボ制御を実現した。

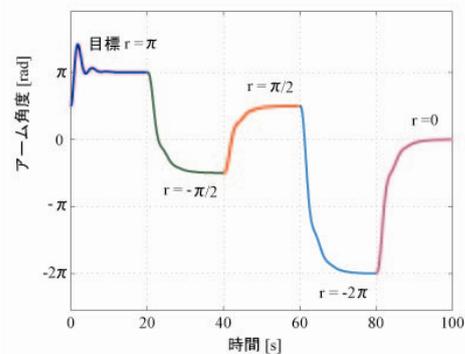


図2：非線形システムのサーボ制御

また、非線形システムである台車型倒立振子に対して非線形モデル追従制御手法を適用することにより、提案手法の効果を確認した。

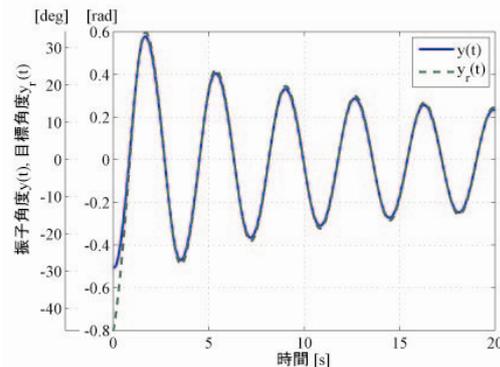


図3：非線形システムのモデル追従制御

(3) 肘関節を持つ2リンクアームロボットの開発

2リンクアームロボットの肘部に接触センサを配置し、駆動範囲に制限を設けた肘関節を持つ2リンクアームロボットシステムを構築した。

(4) 肘関節を持つ2リンクアームロボットへのシステム同定手法の適用

2リンクアームロボットシステムの非線形追従制御に対するデータの獲得、および、追従制御データに基づく動的変構造システムの同定手法を適用し、2リンクアームシステムの数式モデルを構築し、シミュレーションにより構築された数式モデルの有効性を確認した。

(5) 羽ばたき飛行ロボットの試作

羽ばたき動作のデータを獲得するための羽ばたき飛行ロボットを設計・試作した。

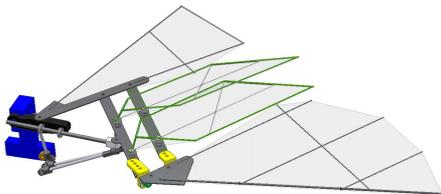


図4：羽ばたき飛行ロボットの設計

また、本研究では、羽ばたき飛行ロボットを作業台に固定し、前方から強力な送風機で風を当て、擬似的に飛行環境を再現した簡易的な風洞実験環境を用意した。

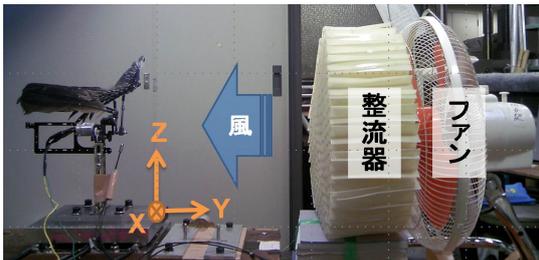


図5：実験環境

羽ばたき飛行ロボットの翼の数か所にカラーマーカーを取り付け、3次元画像処理装置を利用して、羽ばたきの様子を計測した。

本実験により、システム同定に適した入出力データを獲得した。得られた実験データに対して、動的変構造システムの同定手法を適用し、羽ばたき飛行ロボットの動的変構造型の数式モデルを構築した。

(6) 制御器の設計

羽ばたき飛行ロボットの数式モデルに対して、動的変構造システムの制御手法を適用し、数式モデルに基づく制御器を設計した。試作した羽ばたきロボットの制御実験を試み、制御結果を通して数式モデルの効果を検証した。制御実験では、多少の誤差が発生し、ロボットの挙動が大きく乱れることもあったが、設計した制御器を用いてある程度の制御結果が得られたことから、構築した羽ばた

き飛行ロボットの数式モデルは概ね良いモデルとなっていることを確認した。

(7) 自律制御型羽ばたき飛行ロボットの設計・開発

設計した制御器を組み込んだ自律制御型羽ばたき飛行ロボットの設計・開発を試みた。



図6：羽ばたき飛行ロボット

制御装置などの重量が増えてしまい、安定した連続飛行の実現には至らなかったが、発生できる力と重量とのバランスを考慮した飛行ロボットを開発することにより、設計した制御器を用いて羽ばたき飛行ロボットが十分に飛行可能であることを確認した。

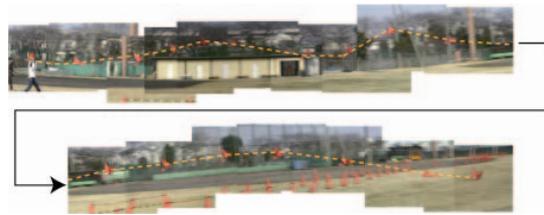


図7：飛行実験の様子

(8) 今後の展望

本研究を通して、発生できる上昇力・推力と搭載するセンサ・制御装置の重量とのバランスが非常に重要であることが分かった。今後の展望として、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。構築したシミュレーションモデルに様々な設計パラメータを代入し、飛行可能な上昇力・推力が得られ、かつ、積載可能重量（上昇力－機体重量）が最大となる機体パラメータを選定する。シミュレーションモデルを構築することで、試行錯誤的に多数の実機を製作することなしに、コンピュータ上で設計パラメータの選定が可能となる。これにより、飛行可能な羽ばたき飛行ロボットを設計・製作する。

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7件）

- ① Hiroshi Ohtake, K. Tanaka, H. O. Wang, Fuzzy Model-Based Servo and Model Following Control for Nonlinear Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B, 査読有, Vol. 39, No. 6, 2009, pp.1634-1639.
- ② Hiroshi Ohtake, K. Tanaka, H. O. Wang, Switching Fuzzy Model Construction based on Optimal Dividing Planes, Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems 2009, 査読有, 2009, pp.808-813.

〔学会発表〕（計3件）

- ① 大竹博, 田中一男, ファジィモデルに基づく非線形モデル追従制御系設計, ファジィシステムシンポジウム 2008, 2008年9月5日, 阪南大学（大阪府）
- ② 上野弘傑, 大竹博, 田中一男, GPS による羽ばたき飛行ロボットの自律飛行に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008年6月6日, ビッグハット（長野県）
- ③ 横山拓, 田中一男, 大竹博, 鳥の羽ばたき運動を規範とした可変構造翼機構の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008年6月6日, ビッグハット（長野県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大竹 博 (OHTAKE HIROSHI)
電気通信大学・電気通信学部・助教
研究者番号：60377017

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：