

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05901

研究課題名(和文) 5つの翼運動と脚による短距離離着陸を実現する羽ばたき飛行ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of Flapping Flight Robot achieving 5 Wing Motions and Short Takeoff and Landing with Legs

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：鳥は翼の関節を連動的に動かすことで、羽ばたき動作だけでなく、滑空、帆翔、ホバリングなどの優れた飛行を行っている。また、鳥は2本の脚を持ち、短距離の離着陸ができる。本研究では、鳥の翼運動および脚による離着陸の実現を目指し、平成27～29年度の3年間で以下の研究成果を得た。両翼で12自由度の羽ばたき動作のシミュレーションモデルの構築、翼の断面形状の検討と揚力・推力への影響の調査、5つの翼運動を実現する両翼10自由度の羽ばたき翼を持つ飛行ロボットの開発、鳥の筋肉構造の知見を取り入れた揚力増幅装置の開発、短距離離着陸を実現するための脚機構の開発と離着陸の達成

研究成果の概要(英文)：Birds perform not only flapping motions, but also excellent flight such as gliding, soaring and hovering by moving their joints of wings effectively. In addition, they have two legs and can takeoff and land with short distances. In this research, we aimed to achieve the wing motions like real birds, and taking off and landing with short distance by their legs, and obtained the following research results in the three years from 2015 to 2017.

1) Construction of simulation model of both wings having 12 degrees of freedom, 2) Consideration of cross-sectional shape of wing and investigation of influence on lift and thrust forces, 3) Development of a flying robot with both wings which have 10 degrees of freedom and realize 5 wing motions, 4) Development of amplifying device for lift force based on knowledge of bird's muscle structure, 5) Development of leg mechanism and achievement of short distance takeoff

研究分野：生物規範型ロボット

キーワード：羽ばたき飛行ロボット 鳥型ロボット 跳躍

1. 研究開始当初の背景

多くの生物規範型ロボットに関する研究が行われている。人間を模した2足歩行ロボットや陸上動物を模した4足ロボット、昆虫を模した6足ロボット、蛇やミミズを模した無足ロボット、また、水中生物を模した魚型ロボットなど様々である。陸上や水中のロボットに比較して、空中を飛ぶ飛行ロボットは蝶やトンボのような小型の昆虫などの研究は多く行われているが、鳥のような羽ばたき翼を持った飛行ロボットに関する研究は非常に少ない。

鳥は非常に優れた特性を有している。例えば、飛行に関しては、羽ばたき飛行だけでなく、滑空による高効率な飛行や帆翔を取り入れた長距離飛行を行うことができる。小型の鳥だけでなく、風をうまく利用することで大型の鳥もホバリング飛行を行うことができる。鳥の羽ばたき周波数は飛行機のジェットエンジンやヘリコプタのロータに比べて非常に遅いため安全である。また、飛行以外の特徴として、鳥は翼を折りたたむことができるため、飛行機のような大きな格納庫は必要なく、巣の中で生活することができる。2本の脚を持ち、歩行だけでなく、跳躍による離陸や地面への着陸ができる。足指による物体の把持ができ、木の枝や電線につかまり、安定して休息をとることができる。このように鳥は既存の航空機には真似のできない優れた特徴を有している。

本研究では、この優れた特徴を有する鳥を規範とした羽ばたき飛行ロボットを開発することを研究の目的としている。

2. 研究の目的

鳥類は羽ばたき動作だけでなく、滑空飛行、帆翔、ホバリングなど非常に優れた飛行特性を有している。また、鳥類は非常に短い距離での離着陸が可能である。鳥類の羽ばたき動作は、翼を上下に動かすフラッピング、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、肘関節を使い翼を伸縮するスパニング、手首関節を前後に折りたたむデビエーション、そして、手首関節を上下に折り曲げるフレクションの6つの動作を行う。このうち、フレクションは能動的に駆動させるための筋肉は少なく、主に空気抵抗などによって受動的に駆動する関節である。

本研究の目的は、鳥類が行っているこれらの翼運動を実現し、様々な飛行形態を行うことができる羽ばたき飛行ロボットを開発すること、および、短距離の離着陸を実現できる羽ばたき飛行ロボットを開発することである。

3. 研究の方法

本研究では、以下の5つの点について研究を遂行した。

(1) 両翼で12自由度の羽ばたき動作のシミュレーションモデルの構築

羽ばたき飛行ロボットを開発する前段階として、コンピュータによるシミュレーションモデルを構築し、動作シミュレーションを通して、設計パラメータや必要部品の選定を行った。

(2) 翼の断面形状の検討と揚力・推力への影響の調査

鳥の翼の断面は飛行機と同様な翼形状になっている。しかし、翼形状を持つ羽ばたきロボットの研究は少ないため、設計に先立ち、翼断面形状の検討を行った。

(3) 5つの翼運動を実現する両翼10自由度の羽ばたき翼を持つ飛行ロボットの開発

上記(1)、(2)の結果に基づき、5つの翼運動を実現する羽ばたき飛行ロボットの設計と製作、および、力の計測を行った。

(4) 鳥の筋肉構造の知見を取り入れた揚力増幅装置の開発

上記(3)では飛ぶための十分な力を得られなかった。実際に飛行している本物の鳥の内部構造の知見を利用し、この問題の解決を試みた。

(5) 短距離離陸を実現するための脚機構の開発と離陸の実現

飛行とは別の特性として、脚による離陸を実現するために、鳥の脚を模した脚機構を設計し、跳躍による離陸が可能かを検証した。

4. 研究成果

(1) 両翼で12自由度の羽ばたき動作のシミュレーションモデルの構築

羽ばたき運動を実現するシミュレーションモデルを構築した。モデルを図1に示す。

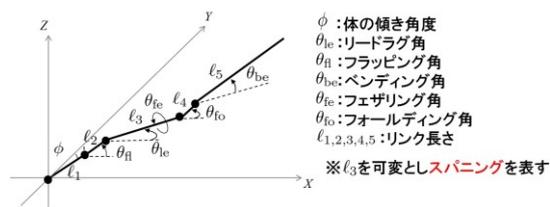


図1. シミュレーションモデル

スパニングは本来は肘関節の曲げ運動によって実現されるが、構築したシミュレーションモデルでは、リンク長さを可変とすることで疑似的にスパニング運動を実現している。実際の鳥の羽ばたき動作の動画から各関節の駆動範囲と時間変化を観測し、構築したシミュレーションモデルを用い、羽ばたき動作のシミュレーションを行った。シミュレーションの様子を図2に示す。さらに、その動作を実現するための動力学計算を行い、実機的设计に必要な運動に必要なトルクを求めることができた。

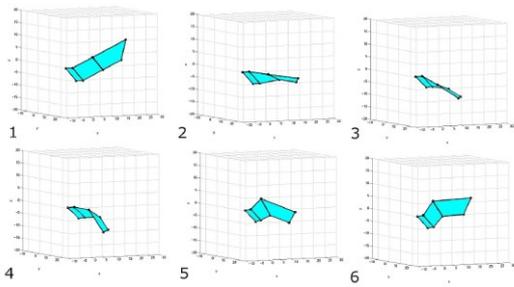


図2. シミュレーションの様子

(2) 翼の断面形状の検討と揚力・推力への影響の調査

羽ばたきロボットは、薄い膜翼を用いたものが多い。しかし、実際の鳥の翼の断面は飛行機などと同じ翼形状をしており、これにより大きな揚力を発生させ、鳥は飛行している。3種類の翼断面形状を作成し、図3に示すように羽ばたきロボットの翼の前縁の骨部分にリブとして組み込み、フィルムを張ることで、翼形状を実現した。羽ばたき運動を行わせ、揚力と推力を測定した。測定結果より、羽ばたき運動に適した翼形状を選定することができた。

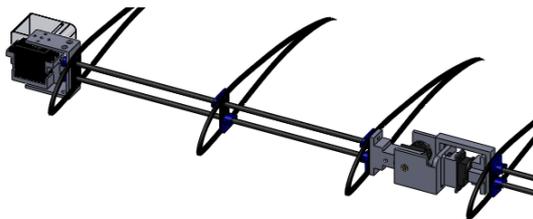


図3. 翼形状を実現するリブ

(3) 5つの翼運動を実現する両翼10自由度の羽ばたき翼を持つ飛行ロボットの開発

シミュレーションモデルで確認した運動をロボットで実現するために、羽ばたき飛行ロボットの開発を行った。6つの翼運動のうち、スパニング運動はスパニング機構を導入することで得られる効果よりも重量の増加が勝る、というシミュレーション結果が得られたため、スパニング運動を除いた5つの翼運動を実現できる羽ばたき飛行ロボットを開発した。開発したロボットを図4に示す。10自由度を持つ羽ばたきロボットの実現例はこれまでにない。羽ばたき運動を行わせ、揚力と推力を測定した。従来よりも大きな揚力は得られるものの、飛行できる大きさの力



図4. 羽ばたき飛行ロボット

を実現するには至らなかった。そのため、次節に示す揚力の増加に取り組んだ。

(4) 鳥の筋肉構造の知見を取り入れた揚力増幅装置の開発

羽ばたき飛行ロボットの揚力不足を改善するために、増力装置の開発に取り組んだ。鳥は翼の振り下ろしの際には大きな力が必要となるため、振り下ろしに必要な胸筋が非常に発達している。これに対して、振り上げの際にはそれほど大きな力が必要でないため、振り上げに使用される鳥口上筋はそれほど発達していない。この知見を羽ばたき飛行ロボットの動作に取り入れることを考えた。具体的には、バネ材を用いて、振り上げの際にバネをたわませることでエネルギーを貯め、振り下ろしの際にはモータの駆動力にバネの復元力を足して大きな力を発揮させることを考えた。増力装置を組み込んだ羽ばたきロボットを図5に示す。この際の揚力と推力を計測したところ、増力装置によって翼端速度が上がり、推力が大幅に増加することが分かった。揚力は装置によって増幅しない、という新たな知見を得た。



図5. 増力装置を組み込んだ羽ばたき飛行ロボット

(5) 短距離離陸を実現するための脚機構の開発と離陸の実現

鳥は、2足歩行や物体の把持、木の枝や電線などへの着陸、跳躍による短距離離陸など、飛行だけでなく様々な能力を有している。本研究では、この中でも、跳躍による短距離離陸に注目した。鳥は自らの脚で跳躍することで、飛行に必要な初速度を得て、羽ばたき飛行に遷移することができる。本研究では、まず市販のねじりバネを用いた脚機構を開発した。開発した脚機構を図6に示す。この機構では跳躍はできるものの、脚機構の重量がかさんだため、跳躍後に羽ばたき飛行に遷移することはできなかった。

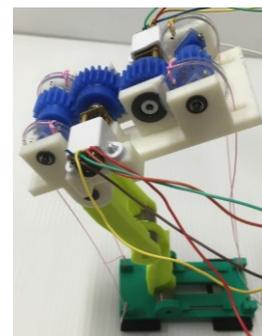


図6. 跳躍脚機構

そこで、1本のバネ材からねじりバネを3連結したような連結ねじりバネを新たに考案した。連結ねじりバネを用いた脚機構を図7に示す。また、この脚機構を羽ばたき飛行ロボットに組み込んだものを図8に示す。跳躍飛行実験を行い、跳躍から羽ばたき飛行に遷移させることに成功した。この時の飛行の様子を図9に示す。跳躍によって離陸する初めての羽ばたき飛行ロボットの実現に成功した。



図7. 連結バネ



図8. 脚を取り付けた羽ばたき飛行ロボット



図9. 跳躍による飛び立ちの実現

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ①大竹 博, 鳥型羽ばたき飛行系ロボティクス, 日本ロボット学会誌, 査読無, Vol. 34, No. 1, 2016, pp14-18
DOI:
<https://doi.org/10.7210/jrsj.34.14>

〔学会発表〕(計 5 件)

- ①木村 悠希, 大竹 博, 跳躍による鳥型飛行ロボットの離陸の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018
②村川 龍馬, 大竹 博, 鳥類の筋肉構造を模した羽ばたき飛行ロボットの羽ばたき動作の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018
③藤永 拓也, 大竹 博, 田中 一男, 多関節羽ばたきロボットの構造および翼形状の改善, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016

- ④森 慎一郎, 大竹 博, ホバリング可能な羽ばたき飛行ロボットの開発, 第16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, 2015
⑤田中 真人, 大竹 博, 田中 一男, 自在な羽ばたき動作を行える羽ばたき飛行ロボットの持続飛行の実現, 第16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, 2015

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

(2) 連携研究者

田中 一男 (TANAKA, Kazuo)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 00227125

(3) 研究協力者

木村 悠希 (KIMURA, Yuki)
村川 龍馬 (MURAKAWA, Ryoma)
藤永 拓也 (FUJINAGA, Takuya)
森 慎一郎 (MORI, Shinichiro)
田中 真人 (TANAKA, Masato)