

研究種目：基盤研究(S)  
研究期間：2006～2010  
課題番号：18100002  
研究課題名(和文) 昆虫の飛行制御の研究

研究課題名(英文) Study on Flight Dynamics of Insect

研究代表者

河内 啓二 (KAWACHI KEIJI)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：60143400

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：システム生物学、飛行制御、昆虫の飛行、情報処理、微小飛行体

### 1. 研究計画の概要

昆虫は3億年に及ぶ自然淘汰の歴史に耐え抜いた信頼性と実績のある飛行制御システムを持っている。その運動のほとんどは外部から与えられた刺激に対する条件反射であると考えられ、それでいて極めて複雑巧みな運動が可能である。このような飛行昆虫の制御応答システムを細胞レベルからシステムレベル、さらに人工物による実証機レベルまで統一的に解明する

### 2. 研究の進捗状況

本研究の進展状況は以下の通りである。

#### システムレベルの研究

(1)テザード状態のマルハナバチに対して、視覚刺激を与えはばたき運動を誘発させて、視覚刺激をシステムへの入力とし、翼に発生する空気力を出力とする関係を調べ、伝達関数の形に整理した。

(2)ハチの制御系の伝達関数は航空機のパイロットに近く、常に一巡伝達関数を一定にするように制御されていることを世界で初めて見いだした。人間の伝達関数はクロスオーバーモデルとして知られているが、マルハナバチのそれは2乗クロスオーバーモデルと呼べるものであった。

(3)チョウの滑空飛行の運動方程式を導き、その安定性を定量的に解析した。

#### 細胞レベルの研究

(1)スズメガのはばたき運動を感知する機械感覚の神経経路を同定し、全ての神経経路が食道下神経節へ投射されていることを確認した。これは機械感覚情報が視覚情報

と統合され、羽ばたき運動の調整を行うことを示唆し、システムレベルの研究とよく合致する結果である。

#### 実証機レベルの研究

(1)回転翼型の微小飛行体の制御系と空力特性を、上記のシステムレベルの研究を指針として改修し、2m/sの風まで位置制御ができることを実証した。

(2)実用化を考慮し固定翼型の微小飛行体を開発し、5m/sの風まで安定して飛行できることを実証した。

(3)はばたき翼型の微小飛行体を開発し、その安定性と重心位置の関係を明らかにした。さらにMEMS技術により羽に昆虫サイズの翅脈を作ること成功した。翅脈の配置を変えることにより羽の振り角を制御できることを実証した。

#### 運動シミュレーションによる研究

(1)大きさの異なる昆虫のはばたき飛行は多様性に富み、羽周りの空気流の構造も大きく異なることを世界で初めて示した。

(2)大きさの異なる昆虫の飛行安定性を統一的に解明した。

これらの結果は昆虫の飛行の多様性を示す世界で初めての成果である。

### 3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

おおむね、当初の目的通りに研究が進展しているが、立案した時点よりも時間的に進み方が早い。以下に示すように、既に重要な雑誌に論文が幾つかアクセプトされている。

#### 4. 今後の研究の推進方策

研究分担者との議論の場を多くして、グループ全体の研究を深める。また、本プロジェクトの結果を論文や本にまとめ出版する。

#### 5. 代表的な研究成果

(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38件)

- 1) Okamoto, M., Sunada, S. and Tokutake, H.: "Stability analysis of a gliding flight of a swallowtail *Papilio xuthus*", Journal of theoretical biology, vol.257, pp.191-202, 2009. (査読有り)
- 2) # H. Liu: "Integrated modeling of insect flight: from morphology, kinematics to aerodynamics", Journal of Computational Physics, vol.228(2), pp.439-459, 2009. (査読有り)
- 3) Wang H, Ando N, and Kanzaki R: "Active controls of free flight maneuvers in a hawkmoth, *Agrius convolvuli*", *Journal of Experimental Biology*, vol.211, pp.423-432, 2008. (査読有り)
- 4) Hiroto Tanaka, Kiyoshi Matusumoto, Isao Shimoyama: "Fabrication of a three-dimensional insect-wing model by micromolding of thermosetting resin with a thin elastic mold", J. of Micromech. and Microeng., Vol.17, No.12, pp.2485-2490, 2007. (査読有り)
- 5) Tanaka, K., Kawachi, K.: "Response characteristics of visual altitude control system in *Bombus terrestris*", J. of Experimental Biology, Vol.209, pp.4533-4545, 2006. (査読有り)

[学会発表](計88件)

- 1) Hiroto Tanaka, Kiyoshi Matsumoto and Isao Shimoyama: "Deformation and aerodynamic performance of a flapping artificial butterfly wing in free flight", Annual Main Meeting of the Society of Experimental Biology (SEB2008), July 6-10, 2008, Marseille, France.
- 2) Sunada, S: "Flight control of an insect", The 3rd International conference of Smart materials, structures and systems, June 8-13, 2008, Sicily, Italy.
- 3) H. Liu and H. Aono: "Vortex dynamics, wake topology and high lift production in insect hovering: an integrated computational study", Proceedings of Biological Approaches for Engineering, March 17, 2008, Southampton, UK.

4) Wang H, Ando N and Kanzaki R: "The steering control of free flight maneuvers in *Agrius*.", Society for Experimental Biology Annual Main Meeting, March 31-April 4, 2007, Glasgow, Scotland.

5) Kensaku Tanaka and Keiji Kawachi: "Dynamic flight stability in bumblebees (*Bombus terrestris*)", The 3rd International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms, July 3, 2006, Ginowan, Japan

[図書](計12件)

- 1) H. Liu: "Micro Air Vehicles (MAVs)", *Encyclopedia of Aerospace Engineering*, Wiley, in press. (Editor)
- 2) 田中博人, 高橋英俊, 下山勲: "第3編 第1章第13節 昆虫飛翔研究用の昆虫型羽ばたき飛行機", 昆虫ミメティクス - 昆虫の設計に学ぶ - (下澤, 針山監修), エヌ・ティー・エス出版, pp.716-723, 2008.
- 3) 砂田茂, 得竹浩: "第3編第1章第14節 センチメートルサイズの航空機", 昆虫ミメティクス - 昆虫の設計に学ぶ - (下澤, 針山監修), エヌ・ティー・エス出版, pp.724-729, 2008.
- 4) 河内啓二: "回転翼", 制御工学ハンドブック, コロナ社, pp.1004-1010, 2008.
- 5) 河内啓二: "鳥の飛翔・レオナルドの手稿から五百年", 鳥学大全, 東京大学出版会, pp.295-303 2008.

[産業財産権]

出願状況(計3件)

- 1) "2重反転回転翼機", 発明者: 砂田茂・得竹浩, 権利者: 大阪府立大学, 特願2006-279062, 出願日: 2006.10.12, 国内
- 2) "2重反転回転翼機", 発明者: 砂田茂・得竹浩, 権利者: 大阪府立大学, 特願2006-279063, 出願日: 2006.10.12, 国内
- 3) "2重反転回転翼機", 発明者: 砂田茂・得竹浩, 権利者: 大阪府立大学, 特願2006-279064, 出願日: 2006.10.12, 国内

取得状況(計0件)

[その他]

- 1) 新聞発表(国内紙2件、仏紙1件)
- 2) テレビ放映1件