

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 5月25日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21560281

研究課題名（和文） 昆虫の飛行を規範とした超小型飛翔体の開発

研究課題名（英文） Study on the micro air vehicles mimicking the insect flight

研究代表者

河村良行（KAWAMURA YOSHIYUKI）

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：90167362

研究成果の概要（和文）：

昆虫の飛行法を規範として、超小型の羽ばたき飛翔体（MAV）の研究開発を行った。初めに、自動制御技術を駆使し、風洞内で超小型の羽ばたき飛翔体が自由飛行（無支持で飛行すること）出来る「風洞内飛行実験システム」の開発研究を行い、その試作に成功し風洞内で羽ばたきMAVを安定に飛行させることに成功した。このような風洞装置はおそらく他に類を見ないものであり、本研究の大きな成果である。これを用いて羽ばたき飛翔体の飛行の研究を進め、研究開始当初は4枚翼の疑似的な羽ばたきMAVの飛行のみが可能であったが、最終的にはより昆虫や鳥の形状に近い2枚翼の羽ばたきMAVの飛行に成功した。

研究成果の概要（英文）：

We have performed the study on the micro air vehicles (MAV) mimicking the insects. On the first stage, making use of the automatic control technology, we have succeeded in developing the “Experimental system for the free flight in the wind tunnel”, in which the MAV can flight without any supporting rods or strings. We think that this system is very original one and cannot be found elsewhere. We also think that this system is one of the most important results in this research activity. Using this system, we have performed the research activity, and have succeeded in the flight of the flapping MAV with two wings, which is more similar to the real insects or birds, than in case of the flapping MAV with four wings.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：羽ばたき飛行、MAV、風洞、制御、昆虫

1. 研究開始当初の背景

飛翔体の研究はライト兄弟の研究に始まり100年来、大型化・高速化の方向に向いて

いた。近年、携帯電話の普及等により、超小型電動モータや、超小型リチウムイオン電池の性能が急速に向上したこと、さらにマイク

ロコンピュータの性能向上により、超小型飛行体 (MAV : Micro Air Vehicle) の開発環境が整い、その研究が盛んになってきた。特に羽ばたき式の MAV は飛行速度は遅いが、ホバリング飛行が可能である、急激な横からの突風 (ガスト) に対して比較的安定である、等の固定翼の MAV にはない特徴を持っているので、世界各地で研究が進められるようになった。また、超小型化により昆虫サイズになるので、生物分野の昆虫の飛行の研究者との連携も生まれ始め、学際的な研究になりつつあった。

2. 研究の目的

羽ばたき式の MAV を超小型にすると、昆虫サイズになり、普通の飛行機の場合と比較して低いレイノルズ数の領域の飛行となるので飛行時の空気力学現象が全く異なる。この状況を正しく理解し、適切な設計指針を立て、高性能の超小型 MAV を開発・試作するために、①風洞内における羽ばたき飛行機の飛行状態のその場観測が可能なる「風洞内飛行実験システム」の開発を行なう。また、昆虫の飛行の特徴をより深く理解し、その知見を実験や MAV の開発に役立てるために、②昆虫飛行力学の専門家 (ケンブリッジ大学動物学昆虫飛行グループの C. Ellington 教授) との間に研究協力の関係を持ち、さまざまな交流を通じて、昆虫の飛翔の空気力学の理解とその MAV 開発へ利用する。さらに、これらの研究活動で得られた知見をもとに、③昆虫サイズに近い羽ばたき式 MAV を開発する。

3. 研究の方法

(1)画像処理装置による飛行位置解析システムの開発、既存の低速風洞の風速の風速制御の自動化、小型羽ばたき MAV の試作、Lab. View による飛行制御アルゴリズムの開発等により「風洞内飛行実験システム」の開発を行った。

(2)C. Ellington 教授の短期招聘、ケンブリッジ大学生物学昆虫飛行グループへの訪問・調査、現地での実験等により様々な知見を得た。特に本学の大学院生を先方のサマープログラムにより、平成 22、23 年度に渡り現地訪問と現地での昆虫の行動の束縛制御実験を実現することが出来、その後の研究の推進に必要な貴重な経験を得ることが出来た。

(3)羽ばたき翼を駆動するクランク機構を左右の翅の動きが対称になるように改良し、2枚翼の羽ばたき飛行体の試作を行い、その飛行に成功した。現在、引き続きさらなる小型化に取り組んでいる。

4. 研究成果

図 1 に本研究で開発した風洞内飛行実験シ

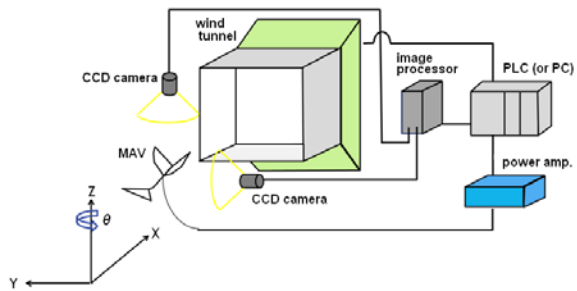


図 1. 風洞内制御飛行システム

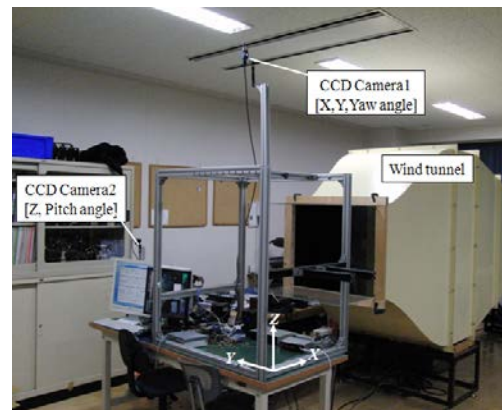


図 2. 風洞内制御飛行システムの外観

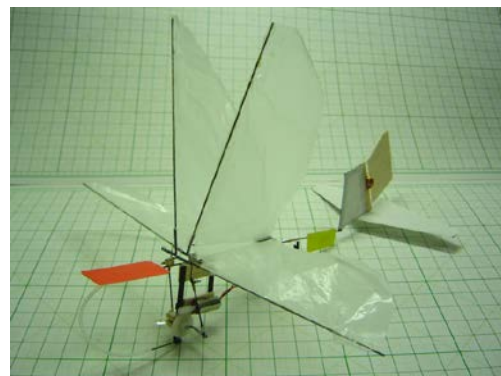


図 3. 4枚翼羽ばたき式 MAV

ステムのダイアグラム、図 2 にその外観を示す。図 3 に風洞内飛行実験用に開発された 4枚翼羽ばたき式 MAV の外観を示す。

風洞出口の飛行領域の有効断面は横 750mm、縦 600mm、最大風速は 4m/秒である。飛行領域の上部と横に CCD カメラが設置され機体に張り付けられた赤色と黄色のシールの画像を撮影し、画像処理により飛行位置の 3D 情報を測定する。翅の駆動リンクは左右の翅の動きが同じになるようにリンク駆動軸が飛行方向と垂直になるように改良されている。機体の左右の位置は垂直尾翼に付けた方向舵で制御する。図 4 に方向舵による左右の位置制御のステップ応答を示す。

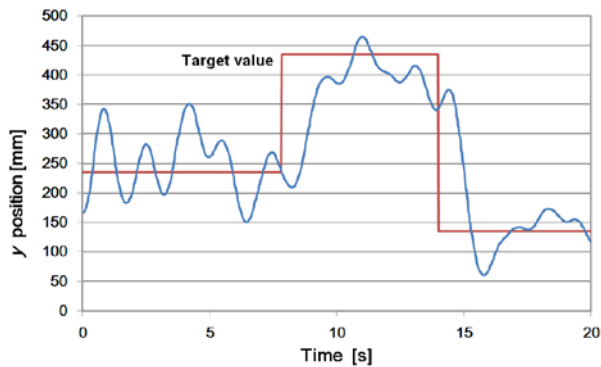


図 4. 方向舵による機体位置の左右方向の制御のステップ応答

図 5 に本研究で開発した、風洞内における機体の上下及び前後の位置を制御するための方法を示す。羽ばたきの周波数が増すと機体はベクトル D の方向に動き、減少するとその逆の方向に動く。また、風洞の風速が増すとベクトル E の方向に動き、減少するとその逆の方向に動く従って、上下・前後の動きはベクトル D とベクトル E の組み合わせ、即ち羽ばたき周波数の調整と風速の調整の組み合わせによって調整することが出来る。

図 6 にこの手法により制御された、機体の上下・前後の位置の安定性を示す。目標位置の周りに安定に位置制御されていることが分かる。

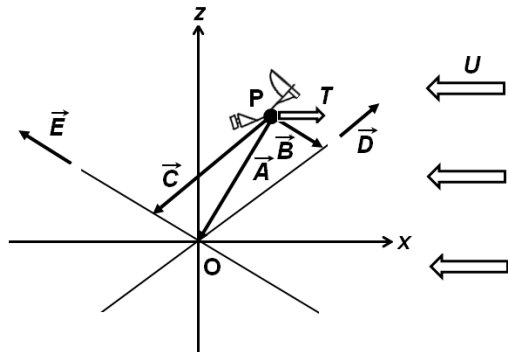


図 5. 機体位置（前後・上下）制御法

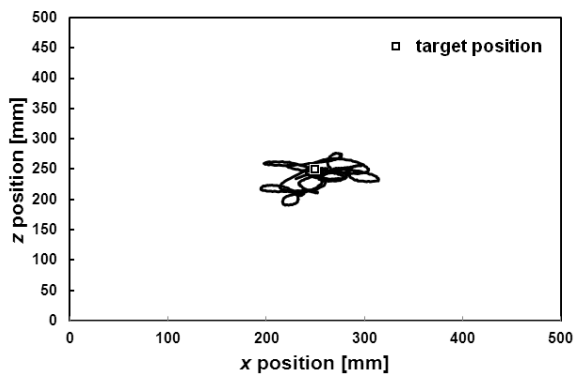


図 6. 機体の前後・上下の位置制御の安定性

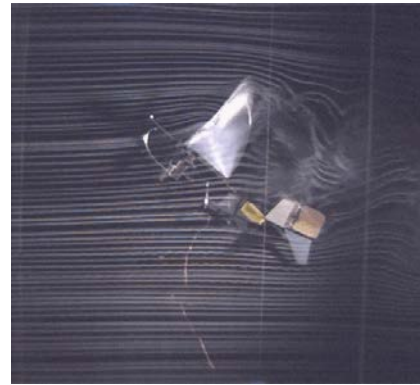


図 7. スモークドワイヤー法による羽ばたき飛行時の流線の様子

図 7 にスモークドワイヤー法による羽ばたき飛行時の機体周りの流線の様子を示す。実際の画像は動画である。機体は自由飛行であり支持棒で固定されていないので、羽ばたき運動に応じて上限に運動し、その運動に合わせて渦が複雑に変化している様子那场観察出来た。

これを用いて羽ばたき飛翔体の飛行の研究を進め、研究開始当初は 4 枚翼の疑似的な羽ばたき MAV の飛行のみが可能であったが、最終的にはより昆虫や鳥の形状に近い 2 枚翼の羽ばたき MAV の飛行に成功した。現在、この機体をさらに小型化するための研究を引き続き行っている。

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 4 件)

1. Dong-Kyu Lee, Jun-Seong Lee, Jae-Hung Han, Yoshiyuki Kawamura and Sang-Joon Chung, “Development of a Simulator of a Magnetic Suspension and Balance System”, International Journal of Aeronautical and Space Science. Vol. 11, (2010) 175-183.

2. Rina Nemoto, Satoshi Nishimoto and Yoshiyuki Kawamura “Three dimensional motion analysis of flapping membrane using synchronized stroboscopic photography system”, Journal of Aero Aqua Bio-mechanics, Vol2. No1, (2010) 86-90

3. Y. Kawamura, K. Yamamoto, H. Shibata and A. Kondo “Development of a stable

controlled flight system for micro air vehicles in a wind tunnel”, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, to be published.

4. Y. Kawamura and T. Mizota, “Wind Tunnel Experiment of Bluff Body Aerodynamic Models Using a New Type of Magnetic Suspension and Balance System”, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, to be published.

[学会発表] (計 13 件)

1. Yoshiyuki Kawamura “Study on the free flight system for the flapping micro air vehicles in a low speed wind tunnel”, 5rd International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanism, Aug. 26, 2-12, Howard Civil International House, Taipei, Taiwan.

2. Y. Yamamoto, H. Shibata, A. Kondo and Y. Kawamura, “Study on the In-Situ Observation System of Flapping MAV in the Low Speed Wind Tunnel”, Proceedings of 2011OSU-FIT Joint Seminar, Nov. 21-24, 2011, Corvallis. USA.

3. 山本 清貴、河村 良行、「低速風洞内における羽ばたき飛翔体のその場観測システムに関する研究」、日本機械学会 2011 年次大会、東工大（東京都）2011 年 9 月 13 日

4. 松永 龍太、Gao Yanjia、河村 良行、Charlie Ellington、「磁力制御による昆虫飛翔実験装置の開発」、日本機械学会 2011 年次大会、東工大（東京都）2011 年 9 月 13 日

5. Y. Kawamura, “Experimental Studies on Various Types of Animal Mimicking Robots”, Workshop on Robot Interaction, Control, Communication and Cooperation (RI3C-2010), Nov. 4th, 2010, Fukuoka (Fukuoka Institute of Technology), Japan

6. 河村 良行、“Research activities of animal mimicking robots in Kawamura lab. of Fukuoka Institute of Technology since 2000” (招待講演)、第 25 回エアロ・ア

クアバイオメカニズム研究会、2010 年 10 月 22 日、飯塚市(九州工業大学情報工学部)

7. Lee, D.-K., Lee, J.-S., Han, J.-H., Kawamura, Y., “System Modeling of a Small Flight Vehicle Using Magnetic Suspension and Balance System”, ISIAAC 2010-8th International Symposium on Intelligent Automation and Control ISIAAC 117, Sept. 19th, 2010, Kobe, Japan.

8. 根本 理那、西本 怜史、河村 良行、磯貝 紘二、「羽ばたき翼膜に発生する空気力の研究」、日本機械学会 2010 年度年次大会、名古屋市、2010 年 9 月 6 日

9. 山本 清貴、柴田 光紀、河村 良行、辻輝生、「低速風洞内における小型飛翔体の飛行制御システムに関する研究」、日本機械学会 2010 年度年次大会、名古屋市、2010 年 9 月 6 日

10. 河村 良行、近藤 篤、柴田 光紀「低速風洞内における羽ばたき飛翔体位置制御システム」(招待講演)、日本文理大学マイクロ流体技術研究所公開研究発表会(昆虫型超小型飛翔ロボットの研究開発)、2009 年 10 月 24 日、大分市(日本文理大学)

11. Rina Nemoto, Satoshi Nishimoto and Yoshiyuki Kawamura “Measurement of the deformation of the flapping membrane wing using a stroboscopic 3-dimensional photography synchronized to the flapping motion”, 4rd International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanism, Sept. 1, 2009, Shanghai (Shanghai Jiao Tong University), China.

12. 河村 良行、根本 理那、磯貝 紘二、「小型羽ばたき飛翔体の画像解析」、平成 21 年度非定常空気力学研究会・構造物の空気力学研究会、2009 年 8 月 3 日、福岡市(福岡工業大学)

13. 柴田 光紀、近藤 篤、永渕 嘉大、吉田 友宏、小川 和海、直井 紘志、河村 良行、「生物模倣小型飛翔体の低速風洞内安定飛行実験システムの開発」、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009、2009 年 5 月 25 日(福岡市)

[その他]

ホームページ等

「福岡工業大学河村研究室」

<http://www.fit.ac.jp/~kawamura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河村 良行 (Kawamura Yoshiyuki)

福岡工業大学工学部知能機械工学科教授

研究者番号：90167362

(2) 研究分担者

劉 浩 (Liu Hao)

千葉大学工学(系)研究科(研究院)教授

研究者番号：10342875

谷口 泰敏 (Taniguchi Yasutoshi)

福岡工業大学情報工学部情報工学科講師

研究者番号：60140810

(3) 連携研究者

C. Ellington

Department of Zoology, University of

Cambridge (Professor)