

令和元年6月21日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18940

研究課題名（和文）昆虫の飛行能力の計測を実現可能にするAttached Device法の開発

研究課題名（英文）Development of 'attached device method' for revealing insects' flight ability

研究代表者

砂田 茂（SUNADA, SHIGERU）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70343415

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：虫の神経系に内在する制御機能を顕在化させるAttached device法を提案し、マルハナバチに適用した。空力的付加物であるAttached deviceを取り付け、ハチに安定飛行をするための制御機能の適応を強制することで、従来解析することが困難であったハチの飛行制御能力や学習能力が明らかとなる。まずハチの飛行履歴を正確に計測する実験装置を構築し、多くの個体について実験を行うことで、強制的に変化させられたダイナミクスによらず、特定の制御目標を達成するように制御系を適応させていることが明らかとなった。ハチの制御系の決定方針は人工物の制御系設計方針と整合したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドローンのミッション利用において、風擾乱に遭遇した際の安定した飛行の実現が問題となっている。一般に飛翔体は小型・軽量化とともに風擾乱の影響を受けやすくなる。しかし昆虫は、人工の飛翔体と比べて小さいにもかかわらず風擾乱に対しタフである。飛行コントロールを司る神経系に、その理由がある可能性がある。本研究で提案するattached device法は、この秘密を明らかにするために提案したもので、生物学の視点で学術的に大きな意義があると考えられる。また、現在の人工の飛翔体には備えられていない機能をドローンに適用することでその性能が飛躍的に向上し、その結果、生活がより便利になる社会的意義も期待できる。

研究成果の概要（英文）：We proposed an 'attached device method' for revealing the essence of insects' flight control determined by their nervous system. The method has been adopted to a bumblebee for investigating the availability of this method and revealing a rule of a flight control of a bumblebee. First, we made a flight arena where a flight data of an insect can be recorded. Next we made flight tests of many bumblebees in the arena. The flight tests have made clear that bumblebees can change their active flight control for accomplishing the specific one when the effects of the attached device on their flight dynamics are varied. This rule in the flight control in the bumblebees can be seen in the flight control system of a machine.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：マルハナバチ システム同定 ロバスト安定性 飛行試験 神経系

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

情報取得や軽量の物資の輸送のために、ドローンが注目を浴びている。多数のロータを有する数キログラムの回転翼機である。ドローンのミッション利用において、風擾乱に遭遇した際の安定した飛行の実現が最大の問題となっている。一般に飛翔体は小型・軽量化とともに風擾乱の影響を受けやすくなる。しかし一方で、大きな角加速度が発生できる、姿勢を乱した際、単位慣性モーメント当たりでは大きなダンピングが働く等、飛翔体が小型化すると風擾乱に対し有利に対抗できる要素もある。昆虫は、人工の飛翔体と比べて非常に小さいにもかかわらず高い飛翔能力を持つことが知られている。その理由として、Optical flowにより高度な視覚情報を得ていること、多数の気流センサを有していること、翼だけでなく胴体も利用し飛行を制御することなどが指摘されている。これらは現在の人工の飛翔体には備えられていない機能であり、生物の高い機能を人工物に応用するバイオメティクス手法は、ドローンの性能を飛躍的に向上させる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、昆虫の高い飛翔能力の源となっている飛行制御システムや学習能力などを顕在化させる新しい実験・解析手法 (Attached device 法) を確立する。これは昆虫の形状や質量分布によって決定される固有の物理特性を、様々な機械的な付加物で強制的に変化させ昆虫の飛翔を観測する斬新な手法であり、昆虫の神経系に内在する見えないシステムを見える化する新しい学問分野構築につながることを期待できるものである。

3. 研究の方法

Attached device 法は、飛行コントロールを中心とした昆虫の飛翔能力を明らかにするために提案する手法である。図1に Attached device の代表例である先尾翼が、マルハナバチにピッチングモーメント擾乱を与えるメカニズムを示す。先尾翼に働くピッチングモーメント擾乱は、機体の迎角 α の変化に依存するものと、ピッチング角速度 q に依存するものに分けられる。

同方法を操舵機能のない、すなわち飛行をコントロールできない、固定翼機に適用することで、同方法の問題点を検討する。さらに、同方法を昆虫の飛行に適用し、実験のノウハウを確立し、さらに実験結果を検討することによって同方法の昆虫の飛翔能力解明の可能性を明らかにする。

(1) 飛行コントロール機能を持たない固定翼機への適用

Attached device 法では、device を有する昆虫の安定微係数は、独立した attached device の空力微係数と device を有さない昆虫の安定微係数の和で得られる(仮定A)ことを仮定している。この仮定の妥当性を確認するために、昆虫に近いサイズの固定翼機について、Attached device 法の適用を目指した。固定翼機の飛行が観察し易い様、カタパルトで発射時に磁石の上を飛行することで擾乱を加え、大きい振幅の飛行を実現した。

(2) 昆虫への適用

図2に示す飛行スペース内でマルハナバチ(1例を図3に示す。)を自由飛行させた。その際、期待する方向の飛行を誘起するため、紫外線光を用いた。飛行の様子を2台の高速度カメラで撮影し、モーションキャプチャ装置でピッチ角履歴を計測した。短周期モードと思われる飛行の周期、減衰比から、先尾翼付きマルハナバチの安定微係数 $(C_{M,\alpha})$ 、 $(C_{M,q})$ を得た。図4に、 $(C_{M,\alpha})$ 、 $(C_{M,q})$ から決まるピッチ角変動と、実測したピッチ角変動の比較を示す。本同定の精度の良好性が確認できる。さらに、求めた $(C_{M,\alpha})$ 、 $(C_{M,q})$ から、解析的に得られる先尾翼による安定微係数 $\bar{C}_{M,\alpha}$ 、 $\bar{C}_{M,q}$ を引き、マルハナバチのみの安定微係数 $C_{M,\alpha}$ 、 $C_{M,q}$ を得た。

このプロセスを多くのマルハナバチで行った。また、同一のマルハナバチに対して、このプロセスを繰り返し、 $C_{M,\alpha}$ 、 $C_{M,q}$ に対する学習の効果を明らかにした。

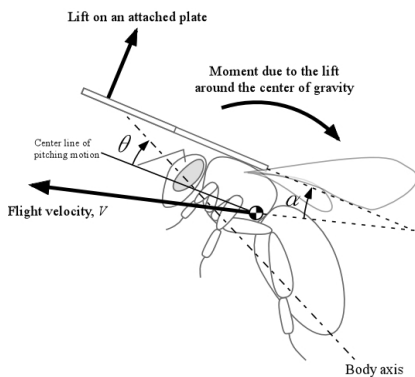


図1 先尾翼によるピッチングモーメント

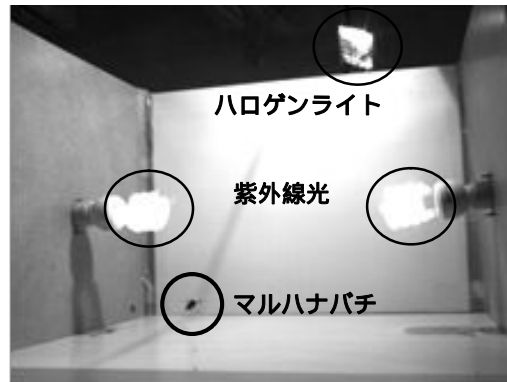


図2 飛行スペース



図3 先尾翼を付加したマルハナバチ

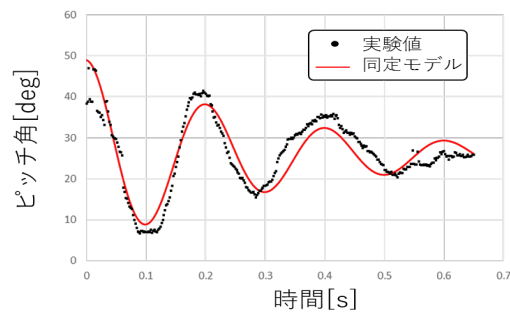


図4 ピッチ角変化

4. 研究成果

昆虫の飛行能力を明らかにするための Attached device 法の確立を目指して、大きく分けて以下の2つの成果を得た。(1)(2)の成果は今後、講演会、論文で公表予定のため、本報告では、そのアウトラインに限る。

(1) 飛行コントロール機能を持たない固定翼機への適用

図5に飛行試験に使用した先尾翼を付けない機体を示す。図6に示す様に、振幅が大きく安定な長周期モードは観測された。昆虫の飛翔解析では、ピッチ角変化が中心となる短周期モードを検討対象にしている。現在の発射装置で擾乱を与える際の飛行では、トリムがとれていないので、短周期モードが観測できない。そこで、発射直後に擾乱を加えるのではなく、発射後トリムのとれた滑空飛行を実現した際に風擾乱を加え、その直後の短周期モードを観測する様、試験を継続中である。短周期モードの観測が可能になった後に、先尾翼の有無時の飛行の比較から、上記の(仮定A)の妥当性を確認する。

(2) 昆虫への適用

撮影された飛行を2次の振動系でモデル化し、マルハナバチのフィードバックゲインを推定した。その結果、一定の目標ダイナミクスを達成するように飛行制御ゲインを適応させていることが明らかになった。さらにそのゲインは神経・筋肉系の遅れに対するロバスト安定性を確保する下で飛行性能を最大化するものであることがわかった。

さらに、これらの運動を行う際、慣性力や空気力によってパッシブに起こる翼運動による空気が支配的であれば、マルハナバチに対して得られた結果はマルハナバチの神経に依存するものでなく体、翼の形状や剛性に依存していることになる。そこで、昆虫の運動とパッシブな翼運動との関係について理論解析を行った。また、本研究によってマルハナバチは与えられた

擾乱によって、発生コントロールモーメントを大きく変化可能であることが明らかになった。コントロールモーメントの変化を別の手法で確認するために、昆虫の翼に働く空気力と強い相関を持つ翼付近での音圧測定の可能性も検討した。

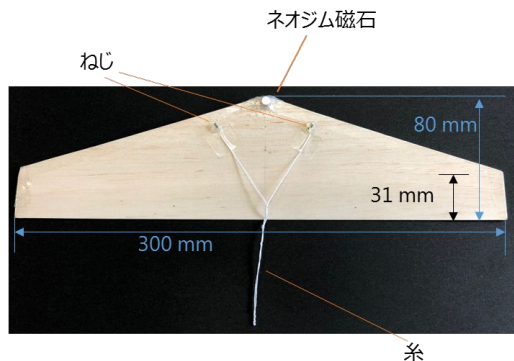


図5 無尾翼機

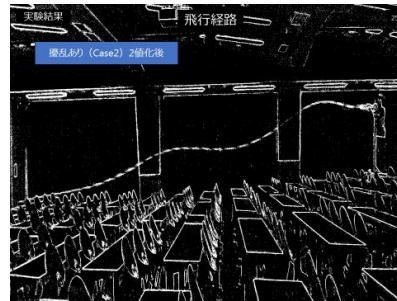


図6 長周期モード

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

木村健吾, 砂田茂, 山口皓平, 得竹浩: 羽ばたき翼のフェザリング運動と固有安定性に関する解析的研究、日本航空宇宙学会第 50 期年会講演会、7 ページ

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 得竹 浩

ローマ字氏名: HIROSHI TOKUTAKE

所属研究機関名: 金沢大学

部局名：フロンティア工学系

職名：教授

研究者番号(8桁): 80295716

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。