

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560191

研究課題名(和文)乱気流中における飛翔昆虫の安定性と飛翔制御に関する研究

研究課題名(英文) Study of the stability and flight control of the flying insects in turbulent flow field

研究代表者

飯田 明由 (Iida, Akiyoshi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30338272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：大気乱流中における昆虫の飛翔性能、特に安定性について研究を行った。乱流発生装置を用いた実験により乱気流中における羽ばたき翼の特性を調べ、回転翼や固定翼と比較した結果、羽ばたき翼の揚力は他の飛行形態よりも安定であることが明らかとなった。また、複数の昆虫が乱流中を飛ぶ場合についても同様に非常に安定であることがわかった。これは羽ばたき翼の揚力がはく離した渦であることに起因しているためであり、外乱に対してきわめて安定である。これは揚力を利用した飛翔と大きく異なる点である。群飛行は気流が乱れている場合は、効果が小さくなるので、トンボのような小型飛翔体にとっては単独で乱気流中で飛翔できることが重要である。

研究成果の概要(英文)：Flight performance and stability of insects' flight in atmospheric turbulence were studied with a mechanical flapper and active turbulence generator. The results showed that the flight with flapping wings is more stable than that of the other flight systems such as rotational wings and fixed airfoils. Moreover, it was found formation flight of small insects is very stable in turbulence flow fields. This is because flapping wings generate large separated flow, it is not influenced the formation flight and incoming turbulence. It is very stable against disturbances. This is significantly different from the flight utilizing a lift forces such as airplanes. For small insects such as a dragonfly, the benefit of formation flights is small, it is important to be able to fly alone in turbulence flow fields.

研究分野：流体力学

キーワード：MAV 乱流 生物流体 空力制御 PIV計測

1. 研究開始当初の背景

我が国は地震や台風などによる自然災害に見舞われることが多い。特に都市部で災害が起きた場合、倒壊したビルなどに負傷者が取り残されてしまうことがある。このような場合に倒壊したビル内に進入し、探査活動が自由に行えるような探査ロボットとして、昆虫のように小型で自由な飛行が可能な超小型飛行体 (MAV: Micro Air Vehicle) の開発が進められており、この技術は、災害時における負傷者を探査するための必須技術であり、国民の安全を守ることに寄与する技術である。

また、今後アメリカを中心に世界各国で需要が伸びると予想されている小型航空機では、離着陸時における飛行安定性が航空機の安全運行において重要であるとされている。

トンボや蝶のような飛行昆虫は、人工的な航空機に比べて運動性能が極めて高い。また、昆虫の骨格や筋肉から予想されるエネルギーから考えると効率良く飛行していると考えられる。さらに、大気中の乱流場においても自由に飛行できることが知られている。

前述したように、安全という観点から探査用 MAV や小型航空機の安定性に関する研究が重要であるが、これらの研究のブレークスルーとなる技術や知見が得られていないことから研究が行き詰まっている状況である。一方、我々の持っている知識では昆虫の飛行を十分には説明できないことも事実である。そこで、もし昆虫が自由に飛行できるメカニズムを解明することができれば前述の課題に対するブレークスルーが得られる可能性がある。したがって、我々の第一の課題はトンボは何故あのように自由に飛行できるのかを明らかにすることである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者がこれまでに基盤研究 (C) (16560157, 19560182 および 21560171) を通じて、開発してきた羽ばたき型 MAV と乱流発生装置を用いて、乱気流の中における羽ばたき飛行のメカニズムを解明し、羽ばたき飛行の安定性と乱気流に対するロバスト性を明らかにし、乱気流中においても自由に飛行できる羽ばたき型 MAV の開発及び小型航空機の安定性の改善に貢献することである。

3. 研究の方法

乱流発生装置を用いて様々な乱れ強さの流れを風洞中に実現することにより、飛行昆虫が実際に飛んでいる自然界の流れに近い流れ場を作り、流体力学的な特性を調べることが可能である。この装置を用いることにより、より自然界の流れに近い環境で実験が可能となり、乱流中における MAV の飛行性能を明らかにできるという点が本研究の特色である。

MAV の実験にはトンボの羽ばたき運動を模倣する羽ばたき機構を使用した。

図 1 にウスバキトンボ (Pantala

flavescens) をモデルとした羽ばたき型 MAV を示す。翼幅・翼弦長、翼面積や羽ばたき周波数はトンボと一致させてあり、羽ばたき角・ひねり角はホバリング時のトンボの運動と一致させてある。これまでの実験により開発した羽ばたき機構はトンボとほぼ同等の流れ場を作ることが可能であり、発生する揚力がトンボとほぼ等しいことを確認した。トンボの飛行では前翅と後翅の位相差が流体力の向きと大きさの制御に有効であることがわかっている。開発した MAV では前翅と後翅の位相差を 15 度毎に変えられるようにした。本報告では、前翅と後翅を同時に羽ばたかせた位相差 0 度の場合について報告する。羽ばたき周波数は 20Hz とした。

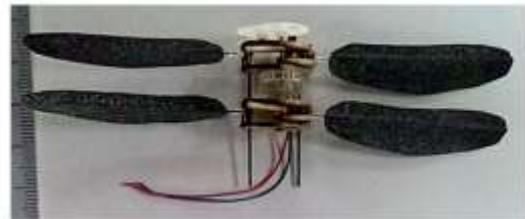


図 1 羽ばたき型 MAV

2.2 乱流発生装置

実験には小型回流風洞を使用した。流速は 1m/s から 3m/s まで変えることができる。測定部上流に図 2 に示す動的乱流発生装置を設置し、風洞内の乱れの強さを変化させることが可能である。この乱流発生装置は縦横 6 本ずつの格子に矩形翼を取り付け、各軸に取り付けられたステッピングモータによって矩形軸の振動を制御し、風洞中に大規模な乱れを発生させる装置である。動的乱流発生装置を用いることにより、通常風洞実験で使用される乱流格子に比べて、強い乱れと大きなスケールを持った渦を風洞中に実現することが可能である。

乱流発生装置を用いることにより、主流乱れ強度は 5% から 15% の範囲で変化させることができる。また、渦スケールは 20mm~70mm 程度の範囲で変化させることが可能である。



図 2 乱流発生装置

MAVの翼幅が100mmであることから渦スケールの最も大きい場合は、MAVの翼幅に相当する渦を風洞気流中に形成することができる。

図3に比較のために作成した回転翼型MAVを示す。羽のサイズ等は羽ばたき型と同一である。

流体力の測定にはひずみゲージ式のセンサーを使用した。図4に計測装置を示す。MAVの微小な流体力を検出するため、半導体ひずみゲージを使用した。

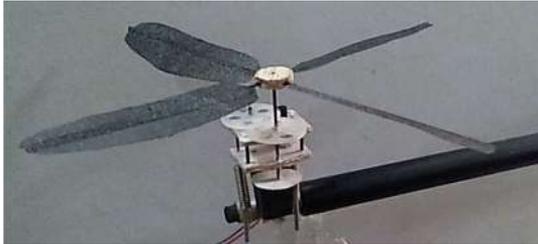


図3 回転翼型MAV



図4 流体力検出装置

4. 研究成果

図5に回転翼型MAVの流体力の時系列変化を示す。4枚の羽根があるため、1回転の間に4回流体力が変動するが、これは主に機体の支持体との干渉によるものと考えられる。平均揚力は87mg程度であった。推進力は非常に大きく変動するが、平均値はほぼゼロであった。これはローターを真上に向けて設定しているためであり、回転翼型の場合、推進力を得るためにはローターを傾ける必要がある。これについては今後の課題である。

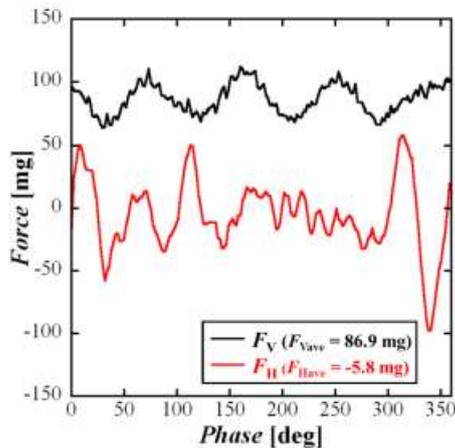


図5 回転翼型MAVの流体力の時系列変化
図6に回転翼型MAVの流体力を計測した結

果を示す。揚力は回転数のほぼ2乗に比例して増加するが、抗力はほとんど発生しない。流体力の大きさはトンボの自重程度であり、トンボを浮上させることが可能である。生物が羽ばたき飛行をする理由はその骨格上の制約であり、羽ばたき飛行が必ずしも高効率なわけではない。

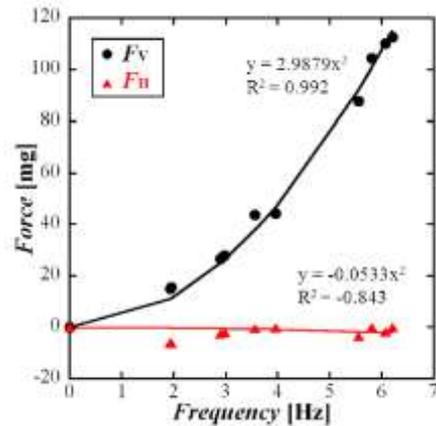
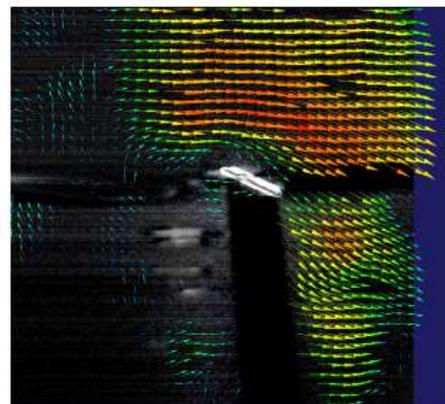


図6 回転翼型MAVの流体力特性

図7に回転翼周りの速度ベクトルの計測結果を示す。乱れによる流れの変化はあまり大きくないことがわかる。

羽ばたき翼の場合は、主流乱れの影響はさらに小さく、ほとんど変化がないが、回転翼の場合はそれに比べると若干乱れの影響が大きい。



(a) 乱れ強度 $T_u = 4.81\%$

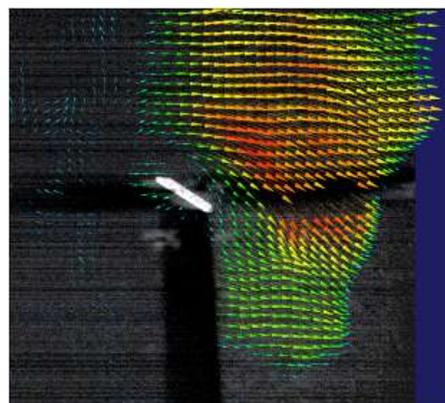


図7 回転翼型周りの速度分布

図8に羽ばたき翼，回転翼，固定翼の流体力に対する主流乱れの影響を示す．固定翼の場合は，主流の乱れにより揚力が低下するが，羽ばたき翼と回転翼では主流乱れの影響は小さい．羽ばたき翼がもっとも安定性が高いことがわかる．主流乱れが小さい条件では回転翼のほうが翼としての効率が良いが乱れに対するロバスト性は羽ばたき翼のほうが優れているようである．

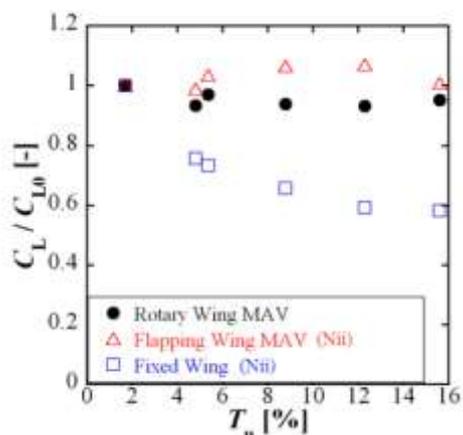


図8 流体力に及ぼす主流乱れの影響

鳥や昆虫は編隊飛行をする場合があるが，主流が乱れている状況で編隊飛行に効果があるかを調べるため，2台のMAVを並べた場合の下流側の機体の流体力を調べた．

主流に乱れない場合は，下流型の機体は抗力が減少する．羽ばたき翼，回転翼ともに揚力の変化はほとんど見られなかった．回転翼の場合，もともと抗力が小さいので，編隊飛行の影響はほとんどみられない．一方，羽ばたき翼の場合は抗力が20%減少することから主流乱れない場合は編隊飛行の効果が得られると考えられる．ただし，昆虫の場合は体が小さく，また飛行速度が羽ばたき速度に比べて遅いため，下流への影響がもともと小さいと予想される．したがって，鳥などの大型の生物の場合に上記の結果が適用できるかは不明である．

主流に乱れがある場合は，編隊飛行の効果はほとんど見られなかった．

これは羽ばたき飛行では，翼のはく離を利用して強い渦を作るため，上流の乱れの影響をほとんど受けないためである．したがって，主流が乱れている環境では編隊飛行を行っても揚力については増加させることができない．昆虫にとっては主流が乱れた状態で単独で飛行できる形態が必要であることがわかった．

主流の乱れに対して，羽ばたき翼はロバストであり，昆虫の骨格などを考えるとベストなソリューションである．しかし，回転翼のほうが飛翔システムとしては性能が高いことから，最適な飛行形態を検討する際には，昆虫などの形状にとらわれずに検討してい

く必要がある．特に低レイノルズ数流れの特色を活かし，渦を活用する飛翔形態を開発することが重要である．

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0件)

〔学会発表〕(計2件)

(1) Iida Akiyoshi and Hiroshi Yokoyama, "Effects of turbulence on aerodynamic force of insect flight", The Fifth International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms. (2012)

(2) 飯田明由, 横山博史, "乱気流中における昆虫の飛翔", 生物流体力学における計測問題研究会(京都大学)(2014)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

(1) 研究代表者

飯田明由 (Akiyoshi Iida)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30338272

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: