

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05793

研究課題名(和文)乱気流中を飛翔する昆虫の空力特性の評価と制御

研究課題名(英文) Evaluation and control of aerodynamic characteristics of flying insects in turbulent flow fields

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：効率の良い羽ばたき飛翔体を開発するため、プラズマアクチュエータ(PA)を振動翼に取り付け、流体力の制御を試みた。振動翼の運動周期に対して、PAを駆動する割合、駆動開始タイミングを変えて解析を行った。その結果、振り上げ開始と同時に振り上げ運動の半分程度までPAを駆動すると、PAを駆動させない場合に対して揚力を6.8%増加させることができた。また、この制御を行うことにより揚力の変動を小さくすることもできた。数値解析の結果より渦が揚力を発生させるタイミング、効率的な振動方法、制御方法などが明らかになった。プラズマアクチュエータによる制御によって乱気流中においても安定して揚力が得られることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a high efficiency Micro Air Vehicle (MAV) with a flapping mechanism, we attempted to control the aerodynamic force of flapping airfoils by using the plasma actuator (PA). Wind tunnel experiments and numerical simulation were carried out with respect to the motion period of the flapping motion using the ratio of PA driving and the switched timing as control parameters. As a result, aerodynamic lifting force could be increased by 6.8% compared with the case without PA control when PA is driven up to half of the flapping motion simultaneously with the start of swing up. In addition, it was possible to reduce the fluctuating lift by performing this control. From the results of the numerical simulations, the timing at which the vortex generates lift, efficient flapping motions, and control method were clarified. It was confirmed that the lift can be obtained stably with the control by the plasma actuator even in the turbulent flow fields.

研究分野：流体工学

キーワード：MAV 流体制御 乱流 小型飛翔体 プラズマアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

Micro Air Vehicle (小型飛行体) の開発ではトンボのような羽ばたき飛行の実現が求められているがトンボの飛行運動は複雑であり、小型飛行体の場合、重量の面から複雑な機構を実現することが難しいという課題があった。その一方でより小型で乱気流中でも飛翔できるトンボのような飛行体は、災害救助の現場で必要とされており、MAV の高性能化が求められている。

2. 研究の目的

トンボのように乱気流中でも自由に飛翔できる羽ばたき機構を開発するには、できるだけ簡単な羽ばたき機構によりトンボのような流れ場を作る必要がある。本研究の目的は、単純な正弦波運動の羽ばたき機構とプラズマアクチュエータを組み合わせることにより、簡便な機構で大きな流体力を発生させる羽ばたき機構を開発することである。

3. 研究の方法

本研究では小型飛行体模型を用いた風洞実験と数値解析を行った。実験には断面 400mm × 400 mm, 長さ 300 mm の測定胴を持った小型回流風洞を使用した。実験には図 1 に示す厚さ 2mm, 翼弦長 30mm の平板翼を使用し、クランク機構により流れに対して上下運動するように設定した。翼の迎角は 2 度から 6 度まで変えて実験を行った。主流速度は 1m/s, レイノルズ数は 132 である。平板の振動振幅は板厚の 1.5 倍, 無次元振動周波数は 0.006 とした。

この羽ばたき機構の翼の前縁にプラズマアクチュエータを設置し、流れの制御を行った。図 2 にプラズマアクチュエータの概略図を示す。プラズマアクチュエータは誘電体を 2 枚の電極で挟んだものである。この電極に、高電圧・高周波数の交流電流を与え、プラズマを誘起し、周囲の流れを制御するデバイスである。図 3 に実験に使用したプラズマアクチュエータを示す。電極の厚みは 12 μm, 誘電体 (ポリイミド) の厚さは 400 μm である。印過電圧は 3.5 kV_{p-p} から 4.9 kV_{p-p}, 周波数は 4.2 kHz である。

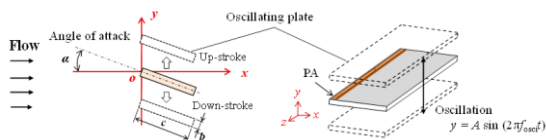


Fig. 1 Configuration of the oscillating plate in flow

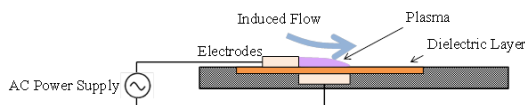


Fig. 2 The basic configuration of plasma actuator

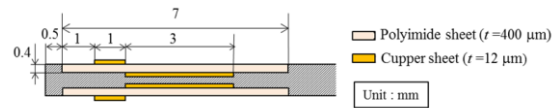


Fig. 3 Configuration of the PAs in wind tunnel experiments

数値解析には 3 次元非定常圧縮性流れ解析を用いた。羽ばたき運動のような移動物体を解析するため、解析には埋め込み境界法の一つである Volume Penalization 法を用いた。この方法は基礎方程式の右辺に仮想外力項を与え、物体内部と流体部分で外力項の値を調整することにより物体を表現する。解析格子を移動、変形させる必要がないため、移動物体や複雑形状の解析に適している。

PA は、流れ場に体積力を与える Suzen ら (Y, B, Suzen., P, G, Hung., J, D, Jacob., D, E, Ashpis., "Numerical Simulations of Plasma Based Flow Control Applications" 35th Fluid Dynamics Conference and Exhibit, AIAA. 2005-4633 (2005)) の手法を用いた。Suzen らの手法では、PA が空間中にする電荷分布及び電位を別途計算して、支配方程式に体積力を与える方法である。電荷分布および電位の計算に必要な物理量については、あらかじめ予備実験を行い適切な値を数値モデルとして求めた。

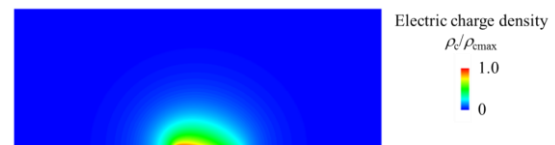


Fig. 4. Computational results of charge density by PA

4. 研究成果

図 5 に羽ばたき翼周りの流れ場をスモークワイヤで可視化した結果を示す。写真の右上には各条件における解析結果 (流線) を合わせて示す。翼の降り下げ工程では、前縁において強い離れ流れが発生する。この離れは揚力を生成するのに役立つ。振り上げ工程では、渦の生成を抑制する必要があるが、PA 制御を行わない場合は、離れを抑えることができない。一方、PA による制御を行うと振り上げ工程での流れの離れを抑制することができる (図 6)。その結果、PA を駆動することにより振り上げ時の負の揚力が小さくなり、平均揚力が増加する。図 7 は揚力の時間変化を示したものである。ただし、振り上げ中に PA を駆動し続けると、降り下げ時の離れも抑制されてしまうため、振り上げ工程途中で PA 制御を抑制したほうが良いことがわかった。PA の駆動を振り上げ工程の前半 50% 程度とすると流体力の制御が効率よく行えることがわかった。この制御により PA を使用しない場合に比べて揚力が 6.8% 増加し、また揚力の変動も小さくなることがわかった。

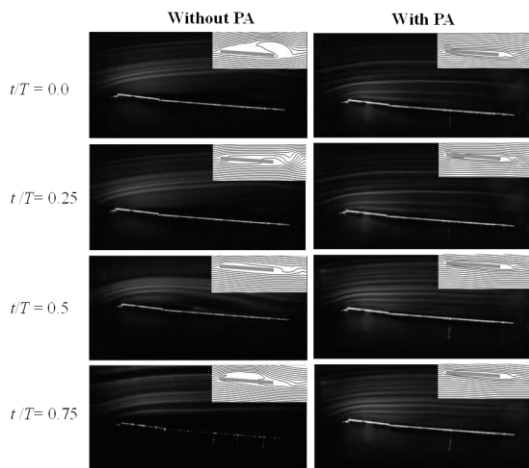


Fig. 5 The flow visualized by smoke-wire method and the predicted streamline lines around the oscillating plate with and without control by the PA ($E_{PA} = 4.5 \text{ kV}_{p-p}$, $f_{PA} = 4.2 \text{ kHz}$), where T is an oscillating period and $t = 0$ represents time for the lowest position of the plate.

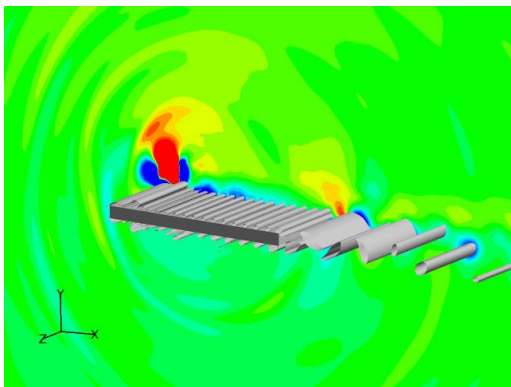
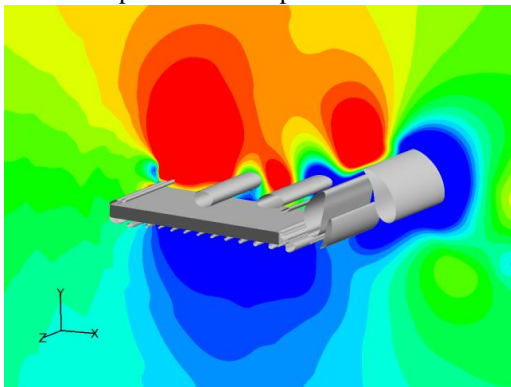


Fig. 6 The effects of control the PAs on sound radiation at the phase of upward direction. Without control of the PAs (above). With control of the PAs (below).

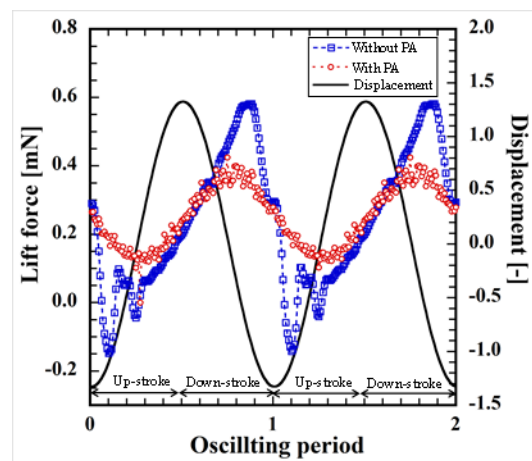


Fig. 7 The effects of the control of PAs on the lift force with displacement during two oscillating periods.

効率の良い羽ばたき飛翔体を開発するため、プラズマアクチュエータ (PA) を振動翼に取り付け、流体力の制御を試みた。振動翼の運動周期に対して、PA を駆動する割合、駆動開始タイミングを変えて解析を行った。その結果、振り上げ開始と同時に振り上げ運動の半分程度まで PA を駆動すると、PA を駆動させない場合に対して揚力を 6.8% 増加させることができた。また、この制御を行うことにより揚力の変動を小さくすることもできた。数値解析の結果より渦が揚力を発生させるタイミング、効率的な振動方法、制御方法などが明らかになった。プラズマアクチュエータによる制御によって乱気流中においても安定して揚力が得られることを確認した。

MAV の高効率化、乱気流中での安定飛行を実現するための手法としてプラズマアクチュエータを活用する方法を提案した。プラズマアクチュエータを有効に活用することにより、従来の複雑な機構を不要とした点が優れている。PA による流れ制御は航空機でも活用されており、航空機の性能向上に対しても有益な知見が得られた。

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 1 件)

- ① Yuuya Tanaka, Hiroshi Yokoyama, Akiyoshi Iida, "Forced-oscillation control of sound radiated from the flow around a cascade of flat plates", Journal of Sound and Vibration, 2018. (Accepted)

[学会発表] (計 3 件)

- ① Saya Sato, Hiroshi Yokoyama, Akiyoshi Iida, "CONTROL OF FLOW AND ACOUSTIC RADIATION

AROUND AN OSCILLATING
PLATE IN A UNIFORM
FREESTREAM BY PLASMA
ACTUATORS", The Ninth
JSME-KSME Thermal and Fluids
Engineering Conference, Okinawa,
Japan (2017)

② H. Yokoyama, Y. Tanaka and A. Iida,
"Direct aeroacoustic Simulation with
volume penalization method",
Computational Modeling, Simulation
and Applied Mathematics, Chapter of
ECTE2016, pp.105-109, 2016.

③ Yuuya Tanaka, Hiroshi Yokoyama,
Akiyoshi Iida, "EFFECTS OF
OSCILLATING PLATES ON
AEROACOUSTIC SOUND
RADIATED FROM A CASCADE OF
FLAT PLATES", ICSV24, London,
United Kingdom.(2017)

〔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：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://aero.me.tut.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯田 明由 (IIDA Akiyoshi)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30338272