C106

羽ばたき型 MAV 周りの流れ場の可視化

萩巣 宏幸[○](工学院大院), 中村 瑞木(工学院大院)

富川 昌義(工学院大院), 飯田 明由(工学院大学)

Visualization of flow field around a Micro Air Vehicle with mechanical flapper

Hiroyuki OGUSU, Mizuki NAKAMURA, Masayoshi FUKAWA and Akiyoshi IIDA

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to develop the flapping-wing micro air vehicles based on dragonflies. In order to reduce weight of mechanical flapper, MEMS technologies were introduced. An etching process was utilized for manufacturing the light weight wings. As a result, the weight of the mechanical flapper was 62 % lighter than that of the previous one. The flow fields around the mechanical flapper were almost the same as the dragonfly. The leading edge separation and wake capture process can be observed. The aerodynamic force of the mechanical flapper was proportional to the second powers of the flapping frequency. The experimental results showed that the flapping frequency for the flight should be required over 40 Hz at two pair of wings such as the dragonfly.

Keywords: PIV, Vortex, Flow visualization, Flapping wing, MAV

1. 緒論

災害によって倒壊の恐れのある建物内部や極限環境での探査を目的とした小型飛翔体 (MAV: Micro Air Vehicle) は, ホバリングや急旋回などの高度な飛行を実現させる必要があるが, これまでにこのような飛行を実現した探査用 MAV は開発されていない¹⁾.

研究の目的は, 高度な飛行を行うトンボの羽ばたき飛行に着目し, トンボの飛行を模範とした MAV の開発を行うことである. 本研究においてこれまでに開発した羽ばたき機構は, トンボと同程度の流体力を発生させることが可能であるが, 機体の重量が重いため飛行にはいたっていない. そこで MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)²⁾を用いて重量の軽量化について検討を行った. 開発した羽ばたき機の性能を評価するため, 流体力の計測とダイナミック PIV を用いた羽ばたき翼周りの流れの可視化実験を行った.

2. 解析手法

2.1 羽ばたき機構

本研究でこれまでに開発した羽ばたき機構の重量の 65 % は, アクチュエータ (モータ) の重量である. アクチュエータの重量は羽ばたきに必要トルクに依存することから, 翼の軽量化によって必要トルクを抑え, モータの小型化・軽量化が可能である. MEMS 技術を用いて, 翼の軽量化と高剛性化を行った結果, 翼の重量は, 従来のペーパー翼 (18 mg) に比べ, 60 % 軽減することができた. その結果, Fig. 1 に示す羽ばたき機構の重量 (0.7

g) は, 従来に比べて 62 % 軽量化することができた.

2.2 流れの可視化と流体力計測

開発した羽ばたき機構の羽ばたき運動中の翼周りの流れ場をダイナミック PIV を用いて可視化した. 開発した羽ばたき機構は羽ばたき周波数 26 Hz で運動するため, 流れ場の様子を捉えるためには, ダイナミック PIV による時系列解析が必要である. 可視化には出力 4 W の赤外線レーザと IDT 社製の高速ビデオカメラを用いた. サンプリング周波数は 4 kHz である. 羽ばたき機構の翼幅中央付近にレーザシートが照射するようにレーザを計測対象物後方に設置し, 風洞テスト部側面から高速カメラでレーザ断面を撮影した. レーザシート幅の調整にはシリンダリカルレンズを用いた. トレーサ粒子にはオイルミスト (粒径 1~3 μm) を用いた.

流体力を評価するため, 羽ばたき機構を上皿天秤の一端に取り付けて, バラストによって自重とのバランスを取った状態で, 羽ばたき機構を運転させることにより, 羽ばたき機構を浮上させた. 浮上量をレーザ変位計で計測して, 流体力を求めた.

Fig. 1 Picture of mechanical flapper with MEMS wing

Fig. 2 Vortex structures around a flapping wing

3. 解析結果

3.1 流れ場計測結果

トンボを用いた実験では、流れ場と非定常流体力の同時計測を行い、鉛直方向の流体力が最大、最小となる条件での流れ場を求めた。Fig. 2 (a), (b) に可視化結果を示す。鉛直方向の流体力が最大となる条件では、翅前縁から発生した前縁渦が翼上面に位置するため、渦の負圧により、鉛直上向きの力が得られる。一方、流体力が最小となる条件では、振り下げ過程で発生した渦が翅の側面にあり、トンボの推進を妨げる方向の力を発生させている。

トンボの羽ばたき運動（特に翼をひねる運動）を模擬した羽ばたき機構周りの流れ場を Fig. 2 (c), (d) に示す。(c), (d) はそれぞれトンボの振り下げ過程、振り上げ過程に相当する。渦の配置はトンボの場合と良く一致していることがわかる。このことから開発した羽ばたき機構はトンボと同様の流れ場を再現できていると考えられる。

3.2 流体力計測結果

羽ばたき機構が発生させる鉛直方向の流体力 F_v と羽ばたき周波数 f の関係を Fig. 3 に示す。流体力は、羽ばたき周波数の二乗に比例して増加することが確認された。実験結果から、羽ばたき周波数 26 Hz で自重 W の 0.2 倍の流体力を発生させていることがわかる。

Fig. 3 Relationship between aerodynamic force and flapping frequency

したがって、羽ばたき機構を浮上させるために必要な羽ばたき周波数は、翼一対の場合 57.7 Hz、トンボのような翼二対の場合 40.8 Hz である。本研究により、羽ばたき機構を浮上させるための定量的指標を得ることができた。

4. 結論

トンボの飛行を模範とした羽ばたき機構を開発し、羽ばたき機構周りの流れを PIV 計測するとともに、流体力計測を行い、以下の知見を得た。

- (1) トンボの羽ばたき運動及び翼のひねり運動を観察し、トンボの羽ばたき運動を模擬した羽ばたき機構を開発した。
- (2) MEMS 技術を用いて、剛性が高く、軽量の羽ばたき翼を開発し、羽ばたき機構の重量を従来に比べて 62 % 軽減した。
- (3) 羽ばたき機構による流体力は、羽ばたき周波数の二乗に比例することが確認された。この結果から、開発した羽ばたき機構を浮上させるには、翼二対の場合、羽ばたき周波数を 40.8 Hz にする必要がある。
- (4) 羽ばたき型 MAV の浮上条件を定量的に求め、設計指針を得ることができた。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金 (16560157) の援助を受けて行われた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 早田・他 1 名: ホバリング可能な小型羽ばたき飛行機の開発, 日本機械学会流体工学部門講演会 (2006) pp. 1211
- 2) T. Nick Pornsin-sirirak, *et al.*: MEMS Wing Technology for a Battery-Powered Ornithopter, *The 13th IEEE Annual International Conference on MEMS* (2000) pp. 709-804