

【D10】小型羽ばたき飛翔体の画像解析法の開発

05E1051 別役 満 05E2304 根本 理那

指導教員 河村 良行

1. 緒言

羽ばたき運動を用いて飛行する鳥や昆虫は固定翼の飛翔体とは異なり、自由度の高い飛行を行なっている。この羽ばたきによる飛行を人工的に模擬できれば、固定翼の飛翔体とは違う効率的な飛翔体を作ることができる可能性がある。本研究では飛行中の翼膜の動作を3次的に解析するために、2台のデジタルカメラの画像を基に、それぞれの2次元座標を取得した後、測定対象の空間座標の校正及び3-D座標の算出をするためのシステム及びプログラム開発を行うことで、翼膜の動的な解析を行った。

2. 実験装置と実験方法

2.1 実験装置⁽¹⁾

撮影対象物の奥行情報を取得し、羽ばたき運動の動作解析を行なうための装置の概要を図1に示す。計測する翼膜は翼長150mmの2枚翼を使用する。撮影装置はデジタルカメラ2台(Canon社, EOS Kiss)、ストロボスコープ及びハーフミラーを用いる。計測装置はロードセル、動ひずみ測定器、低速風洞、オシロスコープ、定電圧電源、パーソナルコンピュータによって構成される。撮影のタイミングはプログラムによって制御される。

2.2 撮影方法

羽ばたき機構(図2)に取り付けてあるフォトインタラプタ及びシュミットリガを用いて翼位置検出センサーとし、そこから得られる信号をAD/DA変換ボードへ入力、その後プログラムを介してデジタルカメラ及びストロボスコープを動作させ同期式撮影を行った。撮影時は全ての照明を落とし暗闇の中で行った。これは、デジタルカメラのシャッターが開いている1/10secの間にストロボスコープの光を入れることで同期撮影を可能にしているためである。この時のストロボスコープの発光時間は計測の結果約33 μ sであるため、撮影可能時間はおよそ1/30000sとなる。

撮影対象である翼膜を図3に示す。翼膜の外周に2mmの反射シールを貼り、それぞれを計測点とした。この反射シールにストロボスコープの光を反射させることでトラッキングを容易に行うことができる。

3. DLT法⁽³⁾を用いた翼膜の運動解析

本研究に用いた羽ばたき翼膜は柔軟性に富むポリエチレンを用いているため、複雑な変形をしている。よって既存の2次元画像解析ソフトでは、疑似的な飛行状態での翼膜の翻りなどの運動は解析することが困難であるため、2次元解析ソフトから得られた2次元座標を基にDLT法を使用し、3次元座標を算出するシステムの開発を行った。DLT法とは、カメラの位置や方向に関する情報は知る必要がなく、3次元データが得られるという解析法である。

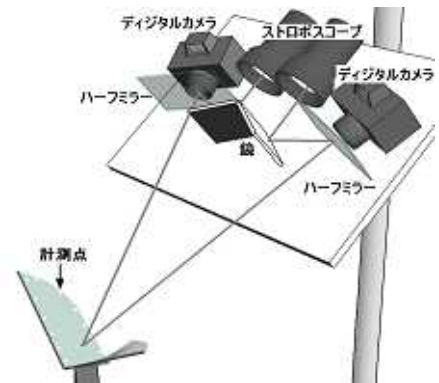


図1 同期式ストロボ撮影装置

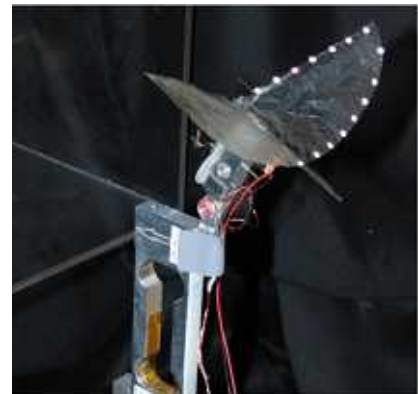


図2 羽ばたき機構

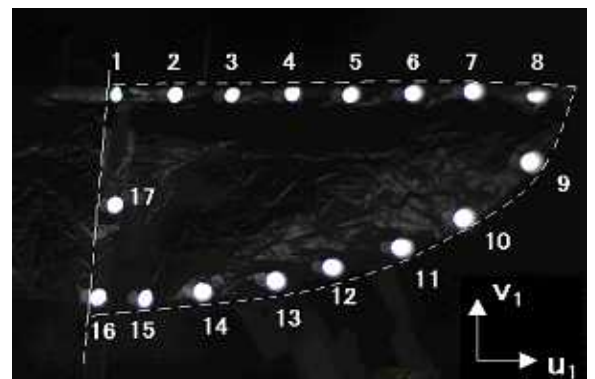


図3 翼面及び測定点(左カメラ)

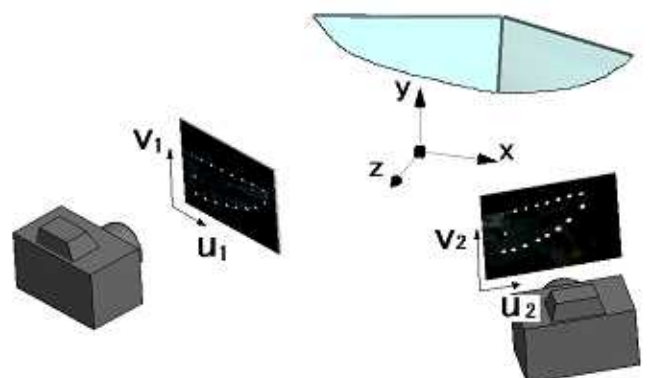


図4 カメラ校正図

3.1 解析原理

始めに画像解析をする範囲でカメラの校正をし、2台のカメラの2次元座標 (u_1, v_1) , (u_2, v_2) より3次元計測空間の座標を求めるためのカメラ定数 D_1 ($A_1, B_1 \dots L_1$), D_2 ($A_2, B_2 \dots L_2$)カメラ定数を算出する。カメラの校正の様子を図4に示す。校正には50mm四方の立方体を製作した。校正点を8点としたのでカメラ2台分の2次元座標よりカメラ定数は 16×11 行列 A と2次元座標行列 b で表わされる。しかしこれは過剰条件連立方程式となるため、最小自乗法を用いて以下のように表わされる。

$${}^T A A D_i = {}^T A b \quad (i=1,2) \quad (1)$$

(1) 式を D_i について解けばカメラ定数が求まる。次に求めたカメラ定数と2次元座標より、3次元座標 $R(x, y, z)$ を求めるための 3×4 行列 A' と。

$$A' = \begin{bmatrix} (A_1 - E_1 u_1) & (B_1 - F_1 v_1) & (C_1 - G_1 u_1) \\ (H_1 - E_1 v_1) & (J_1 - F_1 v_1) & (K_1 - G_1 v_1) \\ (A_2 - E_2 u_1) & (B_2 - F_2 u_2) & (C_2 - G_2 u_2) \\ (H_2 - E_2 v_2) & (J_2 - F_2 v_2) & (K_2 - G_2 v_2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

と4行の b'

$$b' = \begin{bmatrix} (u_1 - D_1) \\ (v_1 - L_1) \\ (u_2 - D_2) \\ (v_2 - L_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

より3次元座標を求める。

$${}^T A' A' R = {}^T A' b' \quad (4)$$

(4)式を R について解けば実座標空間での翼膜3次元座標 (x, y, z) が求まる。

4. 解析結果

実験条件は周波数 10Hz, 15Hz, 20Hz で翼膜を疑似飛行状態にし、打ち下ろしから打ち起こし状態の1周期を撮影し運動解析後にそれぞれのZ軸方向の座標を比較した。解析結果の例として、20Hzで動作させた結果を図5, 図6に示す。図5は翼膜の計測点1~8までのz座標の変化を示している。翼膜の中心付近ではほとんどz座標の変化は生じておらず、中心から離れていくにつれてz座標の変化が増大していることが分かる。図6は計測点9~16までのz座標の変化を示している。計測点1~8までとは異なり、z座標の変化が一定でないことが分かった。この一定でない座標の変化は、翼膜の翻りによって生じるものではないかと考えられる。また、周波数 10Hz と 15Hz でも計測点9~16では座標のばらつきが生じた。しかしこの変化は周波数が増大するほど拡大する傾向にあることが分かった。しかしどの周波数でも計測点1~8まではz座標の変化はおよそ一定であった。よって、周波数による翼膜の運動は、翻りが少ない部分では影響しないことが考えられる。

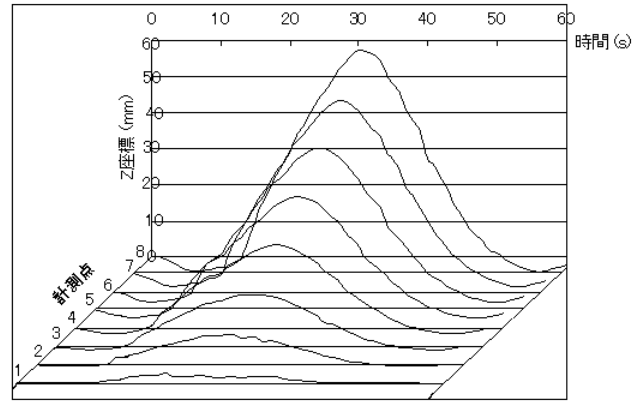


図5 20Hz 計測点1~8のZ座標の変化

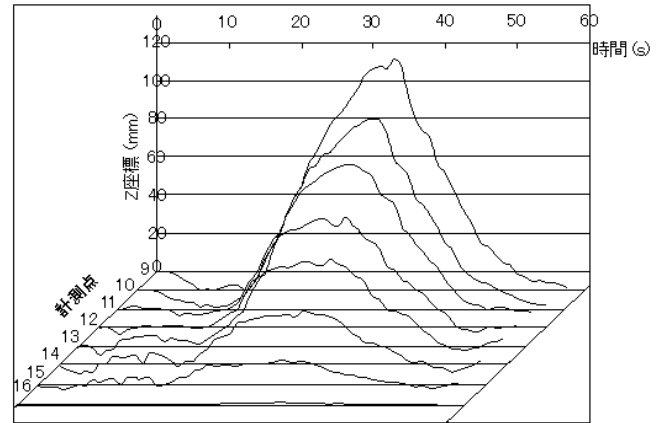


図6 20Hz 計測点9~16のZ座標の変化

なお、本研究で使用した校正機を x, y, z 軸にそって5mmずつ移動させ、移動前の座標と移動後の座標をDLT法を用いて算出し、移動距離との誤差を求めた。その結果、実際移動させた距離(5mm)との差はそれぞれ、 x 方向 0.12mm, y 方向 0.06mm, z 方向 0.06mm であった。詳細は講演に譲る。

5. 結言

2枚翼の羽ばたき翼膜の3次元運動解析システムの開発を行った。この結果、翼膜の運動を視覚的に解析するだけでなく、カメラの校正を行い、数値解析を行うことに成功した。また、動作解析の結果より、翼膜の翻りには周波数が大きく関係していることが分かった。今後、この解析手法を基に翼膜の運動と空気力学特性との関係性を調べる必要がある。

参考文献

- (1)西本怜史 「小型羽ばたき飛翔体の動的空力特性に関する研究」福岡工業大学工学研究科知能機械工学専攻平成19年度修士論文
- (2)早田智史, 河村良行, 「ホバリング可能な小型羽ばたき飛行機の開発」日本機械学会流体力学部門講演会論文集 P149 2006
- (3)橋原孝博, 小林堯, 宮原満男 「3次元映画撮影法の導入に伴う16mm動作解析システムの確立に関する研究」広島大学ことう総合科学部保健体育講座 広島大学総合科学部紀要, 6巻, P33~41, 1988