

異なる 8 の字軌跡設計における流体力計測

[研究代表者] 北川一敬 (工学部機械学科)

研究成果の概要

羽ばたき周波数約 16.8[Hz]の 8 の字運動を行う両翼羽ばたき飛行機の製作に成功した。今年度は昨年度の翼端の軌跡が対称な機体(機体 i)に加え、ハチドリ翼端の軌跡を模倣した機体(機体 ii)を製作し可視化、流体力計測を行った。また、初期迎角を-10~-80[deg]の間で 10[deg]ずつ変更して行った。両機共に、上死点・下死点付近における翼膜の弾性変形によるフェザリング運動の確認した。フラッピング運動による流体力の生成、翅骨組みの弾性、翅表面の変形により、可視化結果は設計計算の軌跡と比べ異なった軌跡をとった。流体力は、両機共に-50[deg]の際に最大の流体力を生成した。機体 i と機体 ii の羽ばたき 1 周期の平均流体力はそれぞれ、羽ばたき周波数 11.9[Hz]において 1.08[-]、羽ばたき周波数 12.7[Hz]において 0.8[-]となった。推進方向の平均流体力は両機共に-2.77[-]となった。可視化結果から、機体の振動が大きいことで流体力測定装置が振動していることが確認できた。

研究分野：流体力学

キーワード：生物流体力学, 昆虫の飛行, 羽ばたき飛行機, 生物模倣技術

1. 研究開始当初の背景

生物の羽ばたきはホバリング、急降下、急旋回や前進などの曲技飛行を行っている。鳥類の Re 数 $\approx O(10^5)$ で、粘性力と慣性力の両方が影響し、航空機では Re 数 $> O(10^6)$ で、粘性よりも慣性力が支配的な領域になる。昆虫、ハチドリや羽ばたき飛行機は、航空機と比べ μRe 数範囲(粘性力が支配的な領域)で且つ粘性力を利用した羽ばたき飛行が可能となる。飛翔昆虫の研究はトンボ、蝶、蜂、蝇、蛾や甲虫に至る。研究対象の甲虫は他昆虫と比較して、突風等の外乱に強い。また、胴体部分の容積が大きく、実機設計製作において、各種機器の搭載が可能な大きな特徴がある。

2. 研究の目的

本研究では、上下、回転と捻りの羽ばたき運動状態を生物模倣し、甲虫型小型無人飛行体の設計開発を目指す。特に、8 の字運動時の羽ばたき翼周りの流れ場と流体力発生機構と空気力学的特性を解明し、安定した羽ばたき飛行条件を導出することである。上記の関係を明らかにするために、以下の方法で研究を遂行する。

(1)軌跡と初期迎角の異なる羽ばたき運動の空気力学特

性・性能比較と飛行へのチャレンジ。

(2)羽ばたき時に発生する前縁剥離渦と翼端渦の生成効果と流体力発生機構との関係と特徴の調査。

3. 研究の方法

(1)羽ばたき飛行機の製作

3D プリンターを用いた機体部品の造形

(2)羽ばたき時の流れ場の可視化

スモークワイヤ法、及び粒子画像流速測定法(PIV)により羽ばたき時の渦の可視化を行い、羽ばたき時の流れ場の特徴を測定する。

(3)羽ばたき時非定常流体力の計測

ひずみゲージを用いた 2 ゲージ法の流体力測定器を製作し、動ひずみ測定器、オシロスコープを用いて流体力を計測する。

4. 研究成果

図 1 は 8 の字羽ばたき飛行機の概要を示す。羽ばたき機構はモータ及び伝達部を除いて左右対称になっており、羽ばたき運動時左右の翅は同じ運動を行う。羽ばたき飛行機はモータから出力した回転運動をモータに取り付けた歯数

12のピニオンギアから歯数36のスパークギア①を通して軸に伝達され、歯数12のピニオンギアから歯数48のスパークギア②に速度伝達比12で伝える。すべてのギアのモジュールは0.3となる。スパークギア②の回転運動をピストン・クランク機構により翅を110[deg]に傾ける羽ばたき運動に変換する。胴体のカーボンロッドはφ0.7[mm]を使用した。

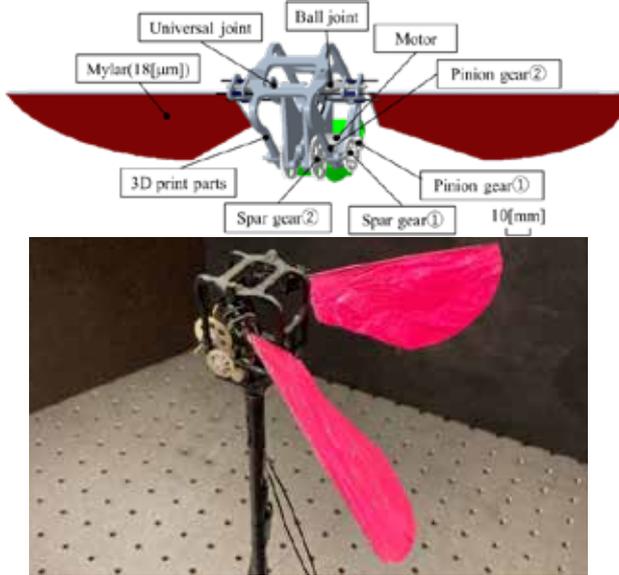
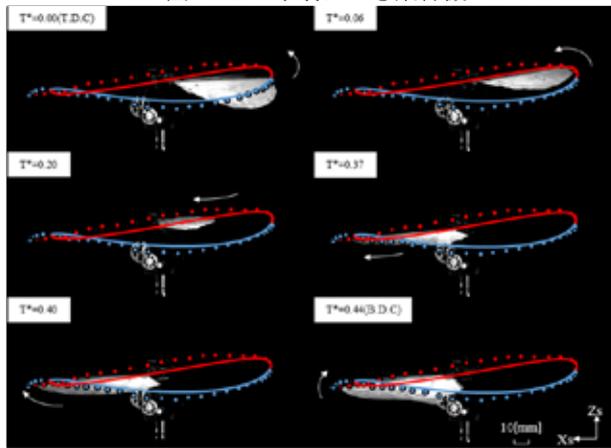
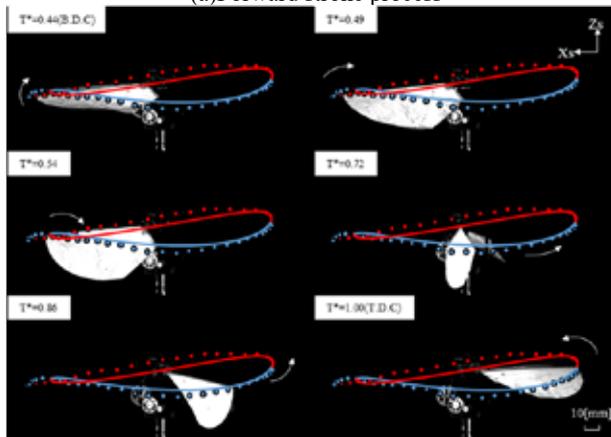


図1 8の字羽ばたき飛行機



(a)Forward stroke process



(b)Backward stroke process
図2 羽ばたき運動の可視化

図2はハチドリの翼端の軌跡を模倣した機体(機体ii)の無風時の羽ばたき軌跡の撮影結果を示す。羽ばたき飛行機は $T^*=0[-]$ のT.D.Cからフォワードストロークを開始する。 $T^*=0.06[-]$ まで-Zs方向ヘリード・ラグ運動を行った後、翼膜の弾性変形と羽ばたき機構の迎角変化によるフェザリング運動を行う。 $T^*=0.06[-]$ から $T^*=0.37[-]$ において低迎角で縦方向ヘリード・ラグ運動を行う。 $T^*=0.37[-]$ からリード・ラグ運動を行いながら翅は低迎角から高迎角へ変わる。 $T^*=0.44[-]$ においてB.D.Cとなる。 $T^*=0.44[-]$ からバックワードストロークを開始し、 $T^*=1.0[-](=0.0[-])$ となる。 $T^*=0.44[-]$ から $T^*=0.54[-]$ においてZs方向に動きながら回転運動を行う。 $T^*=0.54[-]$ から $T^*=0.86[-]$ まで高迎角のまま縦方向にリード・ラグ運動を $T^*=0.86[-]$ から後ろ方向へ回転運動を行いながら高迎角から低迎角に変わり始める。

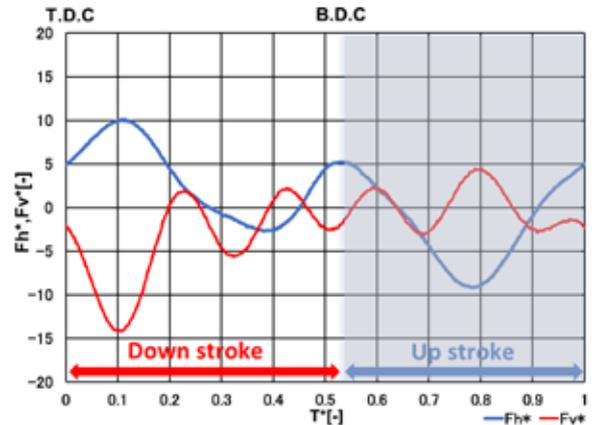


図3 流体力の時間履歴

図3は機体iiの初期迎角が-50[deg]における羽ばたき運動1周期の流体力の時間履歴を示す。横軸は羽ばたき運動の無次元周波数 $T^*[-]$ を示す。モータへの印加電圧は4.0[V]で羽ばたき周波数は12.7[Hz]であった。 $T^*=0[-]$ は上死点(T.D.C)、 $T^*=0.53[-]$ で下死点(B.D.C)となり、 $T^*=1[-]$ でT.D.Cとなる。アップストローク/ダウンストローク比は0.89[-]となった。揚力方向の流体力 F_h^* においては、羽ばたき中に山が2箇所あり、負の力を生成する谷は2箇所ある。1周期の F_h^* 平均値=0.79[-]となった。ダウンストローク時の流体力の平均値=2.65で、アップストローク時の流体力の平均値=-1.62[-]となった。アップストローク・ダウンストローク共に負の流体力を生成されているため、安定して流体力を生成できていないことが確認できた。推力方向の流体力 F_v^* においては、 $T^*=0.1[-]$ 付近で-Xs方向への運動がみられ、その後1周期を通して、振動していることが確認できる。