ハチドリの羽ばたきを模した羽ばたき飛行機の研究

Study on Ornithopter Imitating Hummingbird's Flap

○学 村田 大征 (富山大) 正 佐々木 基文 (富山大院)

Hiroyuki MURATA, University of Toyama, Gofuku 3190, Toyama, Japan
Motofumi SASAKI, Graduate School, University of Toyama

1. 緒言

従来の飛行機などは、揚力を得るためには前進し続けなければならない。起伏が多い地形での超低空飛行は困難である。ホバリング（空中静止）や後退、急旋回等が可能になるロボットを製作すれば、これが解決されと考えられる。

ハチドリは連続したホバリングが可能な唯一の鳥であり、後退、急旋回も可能である。本研究はハチドリを模することでホバリング等を可能にするロボットを製作することを目的とする。

ここでは、基礎実験について報告する。

2. ハチドリの特徴

ハチドリが他の鳥と違うのは主に羽ばたき方であり、図1で示すようにハチドリは翼を8の字の軌跡を描きながら羽ばたかせている。その軌跡の中で翼を打ち下ろすときに自分の体重の3/4を支える力を生み出し、打ち上げるときに自重の1/4を支える力を生み出す。この比が昆虫と鳥の間に当たる(昆虫は打ち下ろしと打ち上げでの体重を支える割合が1:1、鳥は全て打ち下ろしのときに自分の体重を支えている)。

ハチドリは、他の鳥と比べて翼平面形は高速で羽ばたくために細く、小型の鳥なので短い翼になっている。

3. 実験機1の製作と実験方法

3.1 実験機1の構想と設計

上記のハチドリの翼の軌跡を踏まえ、その軌跡に近い動きができる機構を考える。実験機で作るハチドリを模倣した軌跡と実験機で作るその他の軌跡の揚力の違いを実験で求める。ハチドリの軌跡の利点を検証するために実験機1を製作する。

実験機1は図2のような形状で、上部がてこクラック機構、下部が往復スライダクラック機構になっている。てこクラック機構が円周に沿った揺動をし、往復スライダクラック機構がスライダに沿った直線の運動を行い、二つが合わさって8の字の軌跡を作れるように製作する。

機構が描く軌跡は図2の右図のようにてこクラック機構と往復スライダクラック機構を簡易に表し、作図によって軌跡を導き出す。

てこクラック機構の寸法はハチドリの翼の迎え角 110° を参考にし、後で利用できるように 110° で揺動するようにリンク長の比をクラック：連接棒：てこ：連接棒（固定）＝7：14：10：12にして設計を行い、最終的に実験機はクラック：連接棒：てこ：連接棒（固定）＝28：56：40：48[mm]の長さにした。

往復スライダクラック機構ではクラックの長さの2倍の長さがスライダの振幅になる。寸法はφ25[mm]のプーリを使用することにし、クラック長は20[mm]とした。

以上の寸法で作図を行ない、導き出された軌跡は図3の太線で示されるような8の字の軌跡を描いており、てこクラック機構と往復スライダクラック機構間の取り付け角度（図2中の θ ）を変化させることで8の字の交点の位置が

Fig.1 Trajectory of hummingbird's wing

Fig. 2 Simplification of mechanism

Fig. 3 Trajectory generated by the experimental machine 1

ずれていくつかの軌跡を描く。図3の軌跡は取り付け角 $\theta = 60^\circ$ にしたときの軌跡で実際のハチドリと良く似た軌跡を描いた。この軌跡をハチドリと類似した軌跡として、作図によりシミュレーションを行なった機構を元に実験機を製作した。

3.2 測定装置の設計

図4は実験機の水平方向及び垂直方向の空気力を測定する装置である。これにより軌跡の違いによる空気力の変化を測定する。

測定装置は空気力測定の実験に合わせて寸法等を決定した。ひずみを検出する板は測定でかかる力を想定して、適度なひずみが出るような片持ちはり寸法を決定してあり、固定方法も片持ちはりとして計算できるように考慮して設計を行なった。

3.3 実験機1製作の結果及び考察

実験機1の材料は強度に優れ、すべり性能がよいポリアセタールおよびスライダ部分には特にすべり性能が良い高分子量ポリエチレンを使用し、各部品をヒンジピンやボルト等でつなぎ、配置を変更しやすくすることで、何種類かの軌跡を出せるようにしておく。

実際に製作し駆動させ、その様子をカメラで撮影し画像解析を行った。しかし、図からわかるように図3のような8の字の軌跡は得られず、複雑で規則性が無い軌跡になっている。これはプーリ同士の力の伝達に輪ゴムを使用したことで軸間距離の変化に対応することはできたが、ゴムの伸び縮みにより2つのプーリの回転数の差が変化し、同期できなかったのが原因である。

4. 実験機2製作の結果及び考察

実験機1で目的の軌跡を得られなかった最大の理由は2つのプーリ間の同期がうまくいかなかった点である。

そこでプーリ同士の同期性を高めるために、図6のようなタイミングプーリ及びタイミングベルトを用い、改良した実験機2を製作した。製作した実験機2を手動で動かしてみた場合、2つのプーリ間の位相のずれは無くなり、常に同じ軌跡を描くようになった。

しかし、軸間距離の変化に対する対応がベルト単独では不可能になったため、張り車を取り付ける必要が出てきた。

5. 結言

- (1) シミュレーションによりてコクランク機構の円周に沿った揺動と、往復スライダクランク機構の直線の運動を組合せることで8字の軌跡を描ける機構を作れることがわかった。
- (2) てこクランク機構と往復スライダクランク機構を組合せ8字の軌跡を実際に生成するためには、2つの機構を同期させる必要があることがわかった。

文献

- [1] 田中光一, みんなで作ろうインドア・プレーン, (CQ出版), (2006), 149-172
- [2] 和田康資・松雪公彦・河村良行・西本怜史, "羽ばたき翼の空気力測定と翼膜の画像解析システムの開発" 福岡工業大学河村研究室 (online), available from <http://www.fit.ac.jp/~y-kawa/packages/study/2007st/2007_kaiseki02.pdf>, (accessed 2009-1-19)

Fig. 4 Apparatus measuring forces

Fig.5 Outline and trajectory of the experimental machine 1

Fig.6 Improved experimental machine 2