

【L22】 小型羽ばたきロボットの試作とその特性評価

01E1020 柳市郎 01E2030 早田智史

(指導教員 河村良行 教授)

1 緒言

鳥や飛行昆虫など、非定常翼による羽ばたき飛行を行う生物は自然界に多数存在するが、人類が実現した固定翼による飛行機械に対しはばたき翼による飛行機械はほとんどない。しかし、小型の鳥や虫のサイズになると航空機などの固定翼より、羽ばたき飛行が有利になると言われている。本研究ではサイズの異なる2種類の実験装置を作成し、飛行を実現するため、非定常翼に関するデータの取得、考察を行った。

2 中型羽ばたき機構による実験

この章では、全スパンが60cmの翼を用いた羽ばたき機構について述べる。

2.1 実験装置

2.1.1 駆動方式

サーボモータを使用した駆動方式よりDCモータを使用したリンク機構のほうが高い周波数を出す事ができ、より推力、揚力を得られると考え、駆動方式としてDCブラシモータを使用したリンク機構を使用した。この機構はモータの回転運動をクランクにより翼の往復運動に変換するというもので、小型・軽量化に向いているため飛行を目的とした羽ばたき機構はこの方式を用いていることが多い。

2.1.2 実験用駆動部

リンク機構はネット販売されているCYBIRDに使われていたものを使用した。これは製作の手間を省き、安定した性能を得るためである。また、モータの回転数を計測するためレーザーを使用した非接触回転計を設置した。DCブラシモータはTAMIYA社製の「ブラズマダッシュモーター」を使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 翼の構造比較

推力、揚力は翼の状態により変化する。その最適な状態を調べるため翼の条件を変更し、0Vから4.5Vまでを0.5Vおきに变化させ3分力ロードセルを使用して各条件での静止推力測定を行った。変更した条件は翼軸の径、翼の膜を支えるロッドの数である。測定時の固定条件は、翼の面積比率一定、仰角0度、である。

2.2.2 風洞を使用した模擬飛行

飛行中仰角を変更した場合、揚力がどのように変化を調べるためにロードセルと風洞を使用して実験を行った。飛行状態を再現するためにはばたき周波数を一定にし、X方向の合力を0になるよう風洞の風速を調整し、その時の揚力を角度ごとに測定した。はばたき周波数は5Hzから9Hzまでを1Hzおきに、角度は0度から60度までを10度おきに变化させた。

2.2.3 モーター性能比較

実験に使用しているモーターと同じサイズで現在販売されているブラシモーターはフェライト磁石を使用したものが主流であり、希土類系の磁石を使用していない。ネオジ

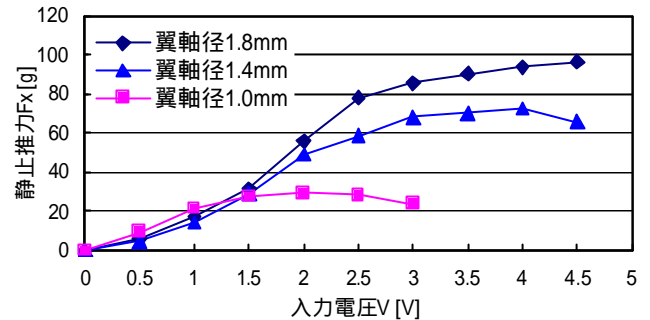


Fig. 1 翼軸径別の翼の入力電圧と静止推力の関係

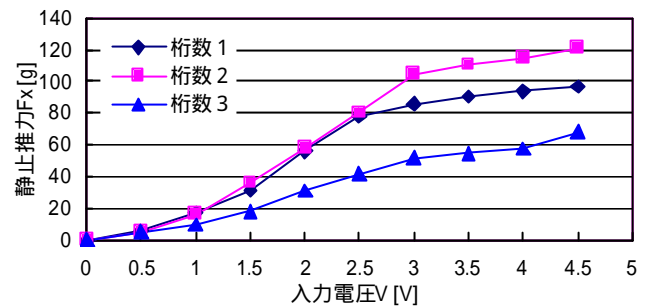


Fig. 2 桁数別の翼の入力電圧と静止推力の関係

ム磁石を使用しない理由及び、固定子をフェライト磁石からネオジウム磁石に交換し、内部の磁束密度が変化した場合モーター性能がどのように変化するかを調べた。フェライト磁石、ネオジウム磁石を使用したモーターの静止トルク、最大電流(静止トルク時)最高回転数、最高(無負荷)回転数時の電流、の値を入力電圧1.5Vから3Vまでを0.5Vおきに測定し最高効率時の効率をもとめた

2.3 実験結果及び考察

2.3.1 翼構造の変更による推力比較

翼軸の径を変更して測定を行った結果を Fig.1 に示す。径が大きく、しなりにくい翼軸を使用した翼のほど推力が大きくなった。これはしなりがある場合、翼が空気の抵抗に負け反ってしまい空気を逃げてしまっている事を示している。

次に翼の膜を支えるロッドの数を変更した結果を Fig.2 に示す。推力の大きさはロッド数が2本のときが最も大きく、3本が最も小さくなった。これは膜のしなりが大きい場合、空気を上手く掻く事ができず、小さすぎる場合空気を上下に動かすだけで後ろに送る事ができない事を示している。膜の部分にはある程度のしなりが必要であることが判明した。

2.3.2 風洞を使用した揚力測定

測定結果を Fig.3 に示す。はばたき翼では仰角を大きくしても揚力を失わないことが判明した。これは固定翼の飛行機が翼を通る気流により揚力を得ているため仰角を大きくすると気流が剥がれ失速するのに対し、はばたき翼では仰角が大きくなると推力が下向きになり揚力が失われる事がないと考えられる。

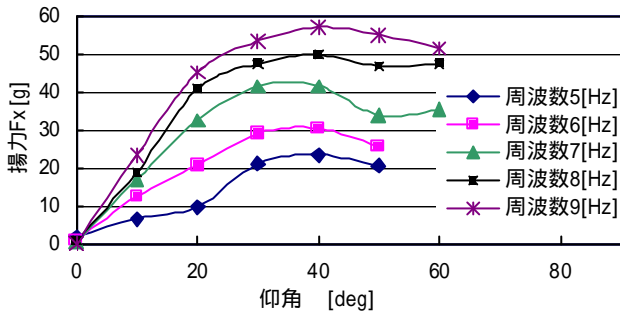


Fig. 3 はばたき周波数別の仰角と揚力の関係

Table.1 固定子別のモーター性能 (電圧 3 V 一定)

	磁束密度 [mT]	電流 [A]	回転数 [rpm]	静止トルク [g・cm]
フェライト	63.5	1.3	32,000	103.2
ネオジウム	157	2.4	24,000	249

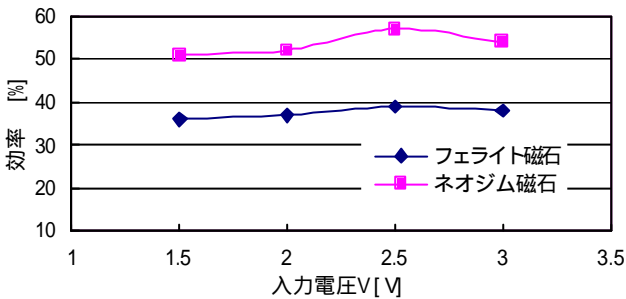


Fig. 4 固定子別の入力電圧と効率の関係

2.3.3 固定子変更による性能比較

実験結果を Table.1、Fig.4 に示す。磁束密度の高い固定子に変更した場合、静止トルクは磁束密度にほぼ比例して増加したのに対し回転数はあまり低下しなかった。その結果、効率が約 15% 良くなりモーター性能は良くなったと言える。

3 小型羽ばたき機構による実験

この章では、全スパンが 15 ~ 40 cm のサイズの翼を用いた羽ばたき機構について述べる。

3.1 実験装置

小型の羽ばたき飛行機を開発するための測定装置の概要を Fig. 5 で示す。推力の測定装置は、L 字アームの先端に電子ばかりを設置したもので、羽ばたきによる推力がモーメントとして伝達される。このとき測定されるのは静止推力である。羽ばたき頻度の測定にレーザー発振器と光検出器を用いた。また、一部の測定条件では熱電対を用いてモーターの表面温度を測定した。

3.2 実験方法

測定は電源電圧を基準にして行った。定電圧(電流)電源により、ある一定の電圧を印加する。電圧は 1.0 V から 0.5 V 刻みに 4.0 V まで上げ、最後に 4.2 V (使用する予定のバッテリーの最大電圧) 時の測定を行う。これを、いくつかの翼面積について測定した。Fig. 5 で示される「翼面積 60%」等の表記は、翼の半スパンが 190 mm の翼を 100% の大きさとし、翼形状を相似的に縮小したことに由来する。測定内容は主に電流量 I [A]、羽ばたき

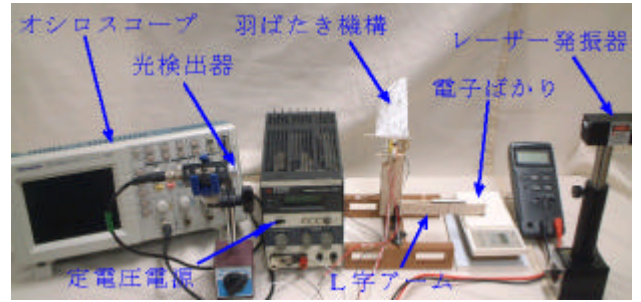


Fig. 5 小型羽ばたき機構による測定システム概要

頻度 f [Hz]、静止推力 F [g]、モーター表面温度 T [] である。これを各電圧で測定した。ただし、電流および静止推力は値が変動するので前者は中央値、後者は平均値を採用した。羽ばたき頻度については、翼がレーザー光を遮る間隔を読み取ることで測定した。

3.3 実験結果及び考察

羽ばたき頻度と静止推力についてまとめ、Fig. 5 に示す。グラフは、ほぼ二次曲線になり、このことから静止推力は羽ばたき頻度の二乗に比例することが読み取れる。

また、それぞれの曲線の頂点は電源電圧 4.2 [V] のときの値で、とくに翼面積 14.4% の時と 60% の時とでは、電流量がほぼ同じであっても静止推力は後者のほうが 2 倍近い値を示しており、翼面積が小さくなるほど静止推力は減少する傾向にあることがわかった。この実験はすべて同種のモーターを用いている。モーターは与えられる負荷によって動力としての効率が変化するので、一概に比較することはできないが同程度の動力を持つ場合、翼のスケール(面積または翼のスパン)が大きいほど大きな静止推力が得られるといえる。

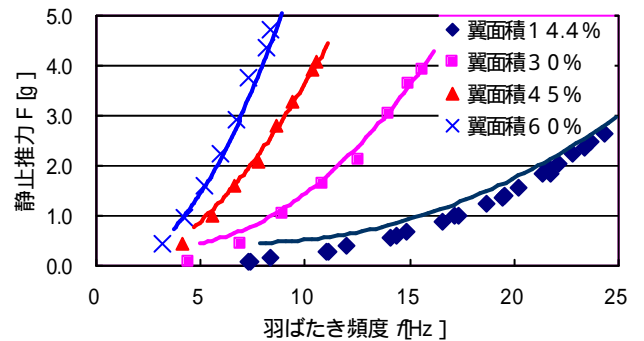


Fig. 6 羽ばたき頻度と静止推力

4 結言

今回の結果により推力を得るための大まかな条件が判明したといえる。翼の大きさはモーター毎の最高効率点によって異なるため、綿密な条件に関してはモーター毎に調べる必要がある。

磁束密度の高い固定子に変更した場合、モーターの効率とトルクが良くなる事が判明した。

はばたき翼は仰角が大きくなった場合でも揚力を失いにくい事が判明した。

羽ばたきによる静止推力は羽ばたき頻度の二乗、つまり羽ばたき速度の二乗に比例し、翼面積が大きいほど静止推力も大きくなる傾向があるとわかった。