

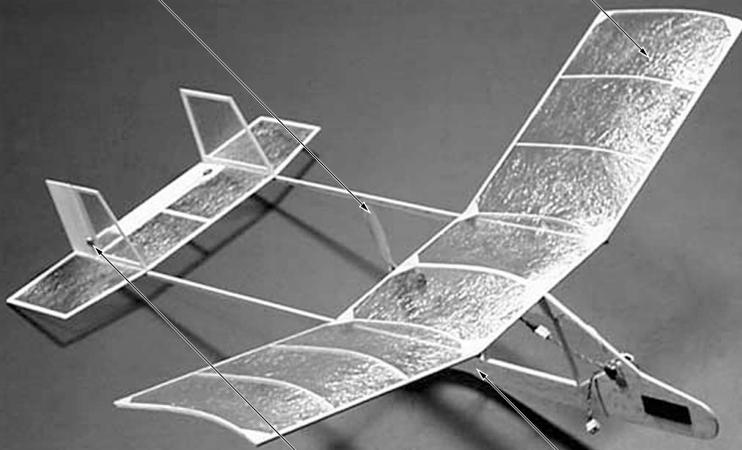
# 第 10 章

## より軽量なインドア・プレーンの製作

見本

プロペラは市販品 U-80，モータは直付けもしくはギアで減速する

フィルムをシワ貼りした



マグネット・アクチュエータで尾翼をコントロール

飛行機重量：4.27g  
全備重量：14.4g

ここではバルサを使って作る本格的なインドア・プレーン Push-E を紹介します。バルサ・コート 1 面の広さがあれば十分に飛行を楽しむことができ、自立安定のとてもよい飛ばしやすい飛行機です。

オリジナルの Push-E は 1999 年に Jack Reid 氏が設計したもので、KP-00 というモータに U-80 というプロペラを取り付け、50mAh のニカド電池 1 セルを組み合わせで飛ばすインドア・フリー・フライト機です。主翼の面積が  $2.3\text{dm}^2$  で全備重量が約 12g ほどになります。翼面荷重を計算してみると  $5.2\text{g}/\text{dm}^2$  になります。インドア・プレーンをゆったり飛行させるのに必要な翼面荷重は、 $5\text{g}/\text{dm}^2$  前後が目安になります。

今回は赤外線によるリモート・コントロール装置を搭載するので、重量の増加に見合う分だけ飛行機を大きくしなければなりません。搭載装置の重量増加分を考慮して、オリジナル・サイズから 16% ほど大きくして作ることにしました。

## 10.1 モータとプロペラと電池の選択

早速図面を描いて材料を切り出しました( Push-E の設計図は後述 ). オリジナルでは翼端がテーパになっていますが, 工作を容易にするため, 矩形翼にしました. 主翼の面積は $3.3\text{dm}^2$ になります.

完成した機体は写真10.7を参照ください. 主翼の後にプロペラがついたプッシャ・タイプです. KP-00モータはパワーにおいて申し分ないのですが, U-80プロペラをモータの軸にセットして, リチウム電池1セルで回すと1Aを超える電流が流れてしまいます. KP-00モータは外径10mm, 高さ8mm, 長さ15mmのモータですが, このサイズのモータは内部のコイル抵抗値が違うものがたくさんあります. 同じサイズの100円で買った, コイル抵抗値が2.6 のジャンク・モータを使うことにしました( 写真10.1 ).

写真10.2のように, U-80プロペラをジャンク・モータの軸にセットして, 140mAhのリチウム・ポリマ電池で回したところ, 初期でプロペラの回転数が7,800回転, 0.88Aの消費電流でした. 静止推力は10gほどになります. モータとプロペラを合わせて約5gの重さです. 140mAhのリチウム・ポリマ電池が約4gになります. 飛行中は半分ぐらいのパワーですから電池にもそれほど無理はかかりません.

モータとプロペラと電池ですでに9gとなりますが, 10gの静止推力があれば20gぐらいの飛行機が飛ばせます. できれば余裕をみて15gぐらいで仕上げたいところです. 残りの6gで飛行機と受信機とマグネット・アクチュエータ2組を作らなければなりません.

モータのスペックがわかっていない場合など, 回転数など特性を測定できるようにしておくと, 最適なモータを見つけることができます.

図10.1にコアレス・モータの特性例を示しますが, 大雑把な目安として, 無負荷回転数の半分程度の回転数で使うと, 消費電流も少なくて大きな静止推力を作り出すことができます.

そのためにはギヤを使って減速します. たとえば, 無負荷回転数が6万回転のモータでは, プロペラ

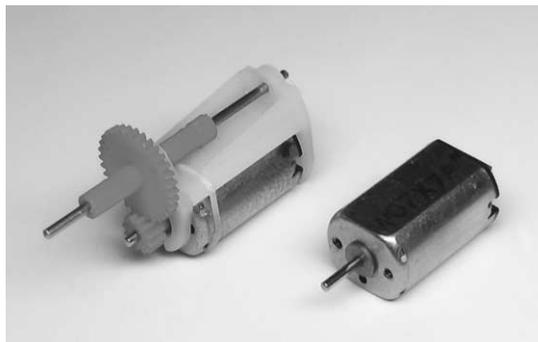


写真10.1 KP-00モータ左と100円のジャンク・モータ



写真10.2 U-80プロペラとジャンク・モータ

U-80プロペラはユニオンモデル社から発売されている直径80mmのプロペラで, 約100円で販売されている. とてもしなやかなプロペラで折れにくく, 0.7gと軽量. プロペラの軸穴は1mmのシャフトにセットできるように作られていて, ジャンク・モータの出力軸も1mmなのでぴったり圧入することができる. プッシャとして使用するのでプロペラの表面をモータに向けて取り付ける.

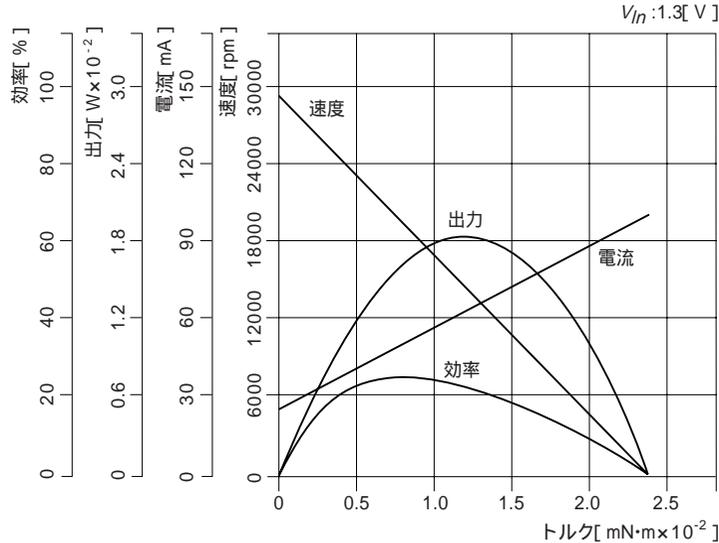


図10.1 4mm コアレス・モータの特性例

図はある4mm コアレス・モータの特性を示した．1.3V時の特性だが，多くのモータは無負荷回転数の半分の回転数付近に最大出力点がある．この図から最大効率点は無負荷回転数の3割付近にあることがわかる．1.3Vの電圧で無負荷回転数は28000rpm付近を示している．リチウム・ポリマ電池(3.7V)で回すと7万回転以上回る．その場合の最大出力は3万回転から4万回転付近にあることになる．小さなモータで最大のパワーを引き出すにはこの最大出力付近の回転数で使うように，ギヤ比とプロペラのサイズを選択する．

を負荷にしてモータの最大回転数を3万回転程度に設定します．ギヤの減速比を9:1とすると，最大3,300rpmほどで回るプロペラを選択すればよいことになります．このようにモータの最大出力ポイントを見極めるためには回転計が不可欠です(コラム写真10.A)．

電流計と組み合わせればかなり詳細にモータの特性を調べることができますが，同時に供給電圧，消費電力を表示できるメータがあるといっそう便利です．筆者が利用しているデジタル・メータを写真10.3に示します．

プロペラの静止推力は，プロペラ直径の3乗に比例し，回転数の2乗に比例します．静止推力を  $T$  (g)，プロペラの直径を  $D$  (インチ)，プロペラのピッチを  $P$  (インチ)，プロペラの回転数を  $R$  (rpm)，プロペラ係数を  $K$  とすると，

$$T = (D \div 10)^3 \times (P \div 10) \times (R \div 1000)^2 \times K$$

で静止推力を計算することができます．

今回使用するU-80プロペラとジャンク・モータの組み合わせでは，プロペラ回転数( $R$ )が7800rpmで，プロペラ直径 $D=3.15$ インチ，プロペラ・ピッチ $P=2$ インチ，プロペラ係数 $K=27$ から，

$$T = (3.15 \div 10)^3 \times (2 \div 10) \times (7800 \div 1000)^2 \times 27 = 10.3(\text{g})$$

と静止推力が計算できます．プロペラ直径とプロペラ・ピッチがわかっているプロペラを推力測定器にセットして，ある回転数の時の静止推力を一度読み取っておけば，プロペラ係数( $K$ )を導き出すことができるので，その値を記録しておいて，モータ・ユニットの推力を調べるときに，プロペラの回転数を



写真10.3 Astro Micro-Meter

アメリカのAstro Flightから発売されている、供給電圧、消費電流、消費電力、積算電力を同時に表示する便利なデジタル・メータ。電流は10mAから15Aまで、電圧は4.0Vから15.9Vまで、電力は0.1Wから225Wまで、積算電力は2,000mAhまで測定できる。内部にはPICが使われている。供給電圧が4.0Vからなので、インドア・プレーンに使用するリチウム電池1セルでは、定格電圧が3.7Vなので使えない。そこで内部に50mAhのニカド電池を4本組み込んで、デジタル・メータの動作電圧に満たないときは内部から4.8Vの電圧を供給できるように改造してある。

読み取るだけで、そのモータ・ユニットの静止推力を算出することができます。

自作のプロペラでおよそのピッチしかわからない場合でも、ピッチは静止推力に比例するので、その誤差はプロペラ係数に吸収され、正確な静止推力を導き出すことができます。プロペラ係数は以下の式で算出できます。

### コラム 回転計と静止推力

モータとプロペラの組み合わせを選択するのに、回転計があると大変便利です。小さなモータほど無負荷回転数が高くなる傾向があります。外径4mmのページャ・モータでは3.7Vのリチウム・ポリマ電池で回すと、1分間に6万回転以上回ります。1秒間で1,000回転も回るので。このような高速回転のモータは、モータの軸に直接プロペラをセットして回すと極端に回転数が落ちてしまい、大変効率の悪いところで回すことになるので、ほとんど実用になりません。

今回使用する直径10mm程度のモータになると、直接モータの軸にプロペラをセットしても何とか実用になります。ただし効率は大変悪く、取り出せる推力の割に消費電流が大きくなってしまいます。



写真10.A デジタル回転計

2枚ブレード、3枚ブレード、4枚ブレードのプロペラの回転数を測定することができる。プロペラが回転したときの、ブレードからの反射光の変化をフォト・センサで読み取っている。体育館などの暗い場所とか、プロペラからの反射が少ない場合には回転数を読み取ることができない。そのような場合に備えて、赤外線のプロペラに向けて照射し、その反射光で回転数を読み取れるように改造した。小型の回転計には10rpmと優れた分解能をもっていて、最大で99990rpmまで測定でき、測定した回転数をホールドする機能もある。測定する対象に対して非接触で測定できるので、小さなモータでも正確に測定することができる。

$$K = T \div (D \div 10)^3 \div (P \div 10) \div (R \div 1000)^2$$

たとえば、静止推力( $T$ )=13(g)、プロペラ直径( $D$ )=5(インチ)、ピッチ( $P$ )=3(インチ)、回転数( $R$ )=3400(rpm)とすると、

$$K = 13 \div (5 \div 10)^3 \div (3 \div 10) \div (3400 \div 1000)^2 \\ = 30$$

となり、プロペラ係数が30と導き出せます。

## 10.2 受信機とマグネット・アクチュエータ

受信機にはスピード・コントローラとマグネット・アクチュエータ・ドライバを内蔵したコンポ受信機を使います。この受信機はマグネット・アクチュエータのコイルをドライブするためにFETを使っています。FETを使うことでマグネット・アクチュエータに100以下のコイルが使えるようになり、コイルの巻き数を減らせることから軽くて強力なマグネット・アクチュエータを使うことができます。

ここでは、0.05mmのマグネット・ワイヤを400回巻いた60のコイルを使うことにしました。マグネットには直径3mm、高さ3mmのものを使います。

最初に60のコイルとマグネットを組み合わせたマグネット・アクチュエータを使って、垂直尾翼を組み立てました(写真10.4)。飛行機に搭載した場合にトルクが足りるかどうか確認するためです。受信機に接続して送信機のラダーを右いっぱいに切って、ラダーに手をあててそのトルク確認してみました。申し分ないトルクがあり、飛行機に組み込んで大丈夫だと確信しました。

## 10.3 飛行機の製作

Push-Eは胴体が2本あります(写真10.6参照)。組み立て順序で悩みましたが、3分割で作った主翼の中央部分に、胴体を接着してから上反角のつく翼端部分を接着しました。この飛行機は主翼の後縁付近にモータを取り付けるため、重心位置が後になってしまいます。電池を胴体の先端に取り付けて重心位置を合わせるようにします。組み立てには瞬間接着剤を使っています。

途中で何度も重心の確認をしたのですが、どうしてもお尻が重くなってしまいました。仕方なく最初に組み立てたバルサの垂直尾翼を、細いバルサ棒で作った枠組みの垂直尾翼に変更しました(写真10.7)。

2ミクロンのフィルム(入手については付録Eを参照)をシワにして翼に貼りました。シワ貼りにすると、フィルムの張力が弱いので、細い材料で組み立てても翼がゆがまず、全体にねじれが出ません。なかなかよい方法です。

完成した様子を写真10.7に示します。

接着剤にはいろいろありますが、フィルムの接着には3Mのスプレーのり77が入手性もよく、使いやすいでしょう(写真10.8)。

電池は、胴体の長方形の黒い部分にベルクロ・テープで貼り付けるようにしてあります。電池を前後

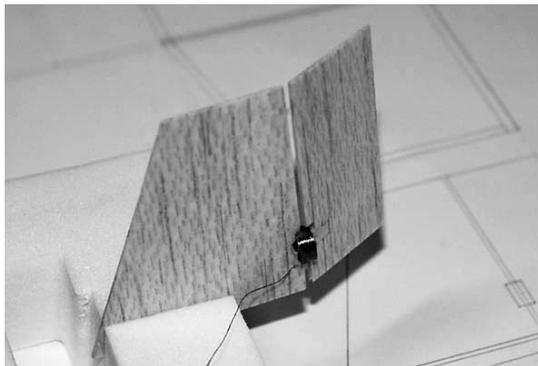


写真10.4 マグネット・アクチュエータのテスト

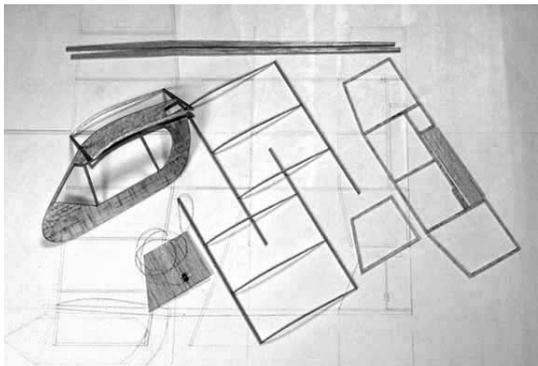


写真10.5 切り出した材料からの組み立ての途中

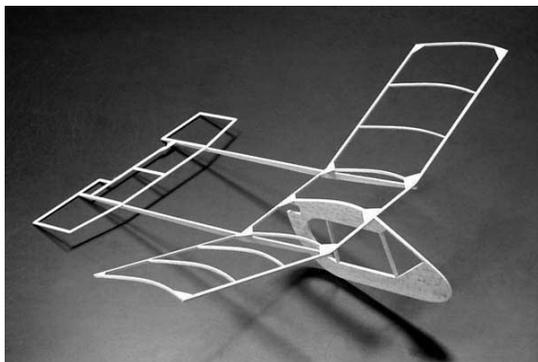


写真10.6 Push-Eの生地完成

軽くするために胴体を大きくくり抜いた。主翼中央は途中のリブと同じ形状に削っており、胴体の水平線に対して2度の迎角をつけてある。モータは主翼後縁の下の胴体に取り付けたが、飛行機が完成してから水平線と並行に取り付けて接着する。プロペラのサイズより胴体を高くしてあるので、着陸の時にプロペラが床に当たらない。2枚の垂直尾翼とエレベータは、翼にフィルムを貼ってから取り付ける。

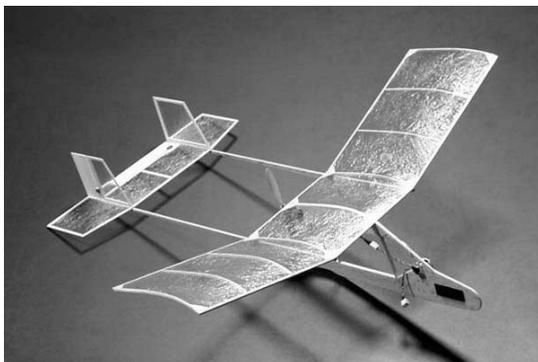


写真10.7 Push-Eの完成

重心を合わせるために胴体のノーズを延長して、電池を前のほうに積めるようにした。また、U-80プロペラはプラスチック製なので、同じサイズのプロペラを軽いバルサ材で作り直して重心を合わせた。ラダーは片方だけが動くようにしてあるが、操縦性にはまったく問題はない。マグネット・アクチュエータのケーブルは、左右の胴体の内側を通過して、主翼前縁から受信機に配線した。

に移動することで重心位置の微調整ができます。

側面から見た様子を写真10.11に示します。

Push-Eの完成重量は14.4gと当初の予想より軽くできました。翼面荷重も $4.4\text{g}/\text{dm}^2$ と申し分ない軽さです。

動翼のヒンジ(可動接続部分)には50ミクロンのフィルムを細く切って使いました。垂直尾翼も水平尾翼も1mm厚のバルサ板を使い、その中央にカミソリの刃でスリットを入れてヒンジを差し込み、瞬間接着剤で固定しました。マグネット・アクチュエータはヒンジの弾力でニュートラルを保持します(写真10.10, 写真10.11)。

スペックを表10.1に示します。