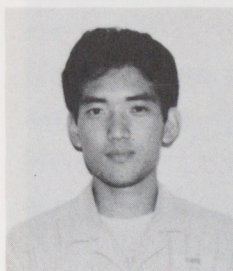
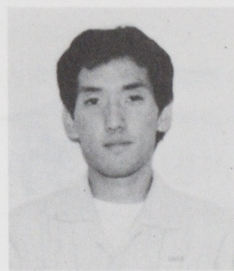


人力飛行機



研究1課
鈴木 弘人



堀内研究室
鈴木 正人

1. はじめに

われわれが人力飛行機の研究を開始してから、7年余りが経過した。その前半は主に、人力のみを動力源とし、旋回飛行等を目的とした、純粋な意味での人力飛行機の研究を行った。(写真1-1)そして後半には「鳥人間コンテスト」出場用の機体で(写真1-2)、滑空機に、補助として動力を用いることによって直線滑空距離を延ばすことを目的とした、いわば人力滑空機の研究を行っている。

この2種の機体の使用目的は異なるが、基本的な設計プロセスは共通するものなので、これら2種の機体を通じて、人力飛行機の話を進めて行きたい。

2. 人力飛行機の設計と技術的問題点

2-1 人間の出せるパワーについて

「人力飛行機の動力源は人間である。」ということが最大の特徴なのであるが人力飛行機の設計を難しくさせる最大の問題点でもある。グラフ2-1を見ていただきたい。このグラフは競輪全米チャンプと普通の人の、パワーと持続時間をグラフにしたものである。見て分かる通り、人間は訓練されたものでも瞬間的に1.5馬力、長い時間持続させようと思えば0.5馬力を切ってしまう程度のパワ

ーしか持ち合わせていない。われわれは、競輪選手を使うわけではないから、人力飛行機を設計する場合、0.3~0.5馬力で飛行可能なものにしなければならない。

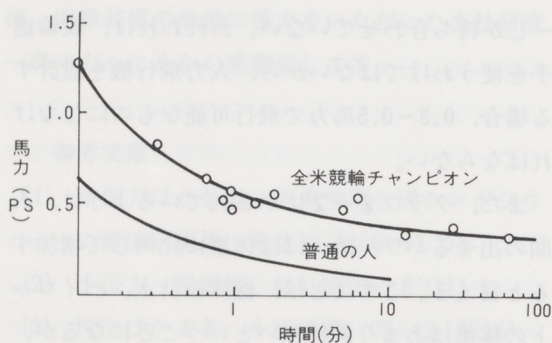
また、グラフ2-2に示されているように、人間の出せるパワーは、ほぼ体重に比例して増加すると言える。このことは、機体設計上、パイロットの体重はあまり関係無いということになるが、なるべく軽い人間を使いたいというのが人情というものである。尚、グラフ上には、われわれの人力飛行機のパイロットを担当している鈴木正人のデータ(1982年23才当時、競輪学校パワー測定器にて計測)を黒丸で示してある。このパイロットは0.37馬力を10分間持続することが可能であり、体重も62kgであるから、パワーソースとしては合格品と言える。



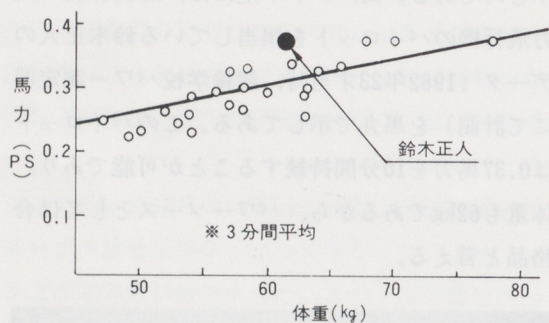
写真1-1 人力飛行機ミラン'82



写真 1-2 人力滑空機シーガルII



グラフ 2-1 人間の出せる馬力と持続時間の関係



グラフ 2-2 人間の出せる馬力と体重の関係

2-2 設計

(1) 人力飛行機

たとえ人力飛行機が極小のパワーで飛ぶものとはいえ、飛行の理論をもって飛んでいることに変わりはない。

飛行機の水平飛行に必要なパワー P (PS) は、

$$P = \frac{4}{75\eta} \cdot \frac{C_D}{C_L^{1.5}} \cdot \left(\frac{W}{S}\right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots ①$$

ここで η : プロペラ効率, C_L : 揚力係数, C_D : 抗力係数, W : 機体総重量 (kg), S : 主翼面積 (m^2), を表わす。

この式で、左の項は、プロペラの性能に関する性能向上を表わす。すなわち η を良くすることが必要パワーを低減させることを表わす。中の項は機体自体の空力性能を表しており $C_L^{1.5}/C_D$ を大きくとる (失速迎角で飛ぶことを意味するが、飛行状態の余裕が無くなるため、失速迎角より多少低い迎角を水平飛行にセットすることが多い) ことがパワーの低減を意味する。 C_L の値は、機体を計画する際、主翼の翼断面形を選んだ時点で (翼断面形は NACA 等のデータの揃ったものを使うことが多い) 決まっているといたっても良いので、後は、いかに空気抵抗の少ないフォルムを創り上げるかにかかっていると言える。

右側の項は、構造設計による要因が大きいのといえる。 W を小さく、 S を大きくとれば良いわけであるが S を大きくとれば、それなりに構造重量も増し、パワーの低減を実現出来ない可能性が大である。ところが、複合材料 (カーボンファイバー、ケブラー等) の出現が、 W/S の値をかなり小さくせしめ、最近、「大きな機体を軽く作る」ことに重点を置いた機体が人力機の理想とまで言われた。この W/S (翼面荷重と呼ぶ) の極端な低減は、多少の C_D 増加をもカバーすることが出来るようになる。

ちなみに、前述のミラン (写真 1-1) では、 $W=91\text{kg}$ (機体重量 29kg)、 $S=43\text{m}^2$ 、 $W/S=2.1\text{kg/m}^2$ 、である。この機体は、ピアノ線による張線構造で、主翼の大きさは、ジェット旅客機ダグラス DC-9 にも相当するものであるが、重量は 1% にも満たない。これを 5.4m/sec のピードで水平飛行することが可能だ。

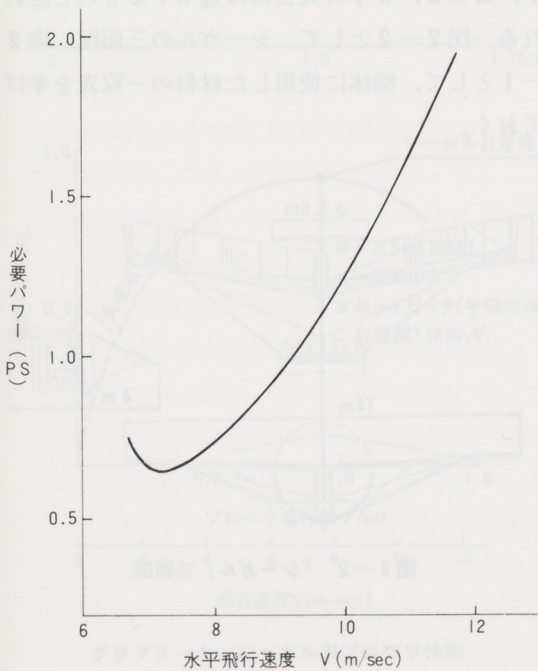
実際、機体設計に入ると、その製作場所のスペース、飛行場まで運ぶトランスポーターの寸法などからの制約が多く、上記の寸法でおさまっている。というわけで、開発環境も機体の性能に多少

なりとも影響を及ぼす。

もうひとつ付け加えておきたいことは、地面効果（Ground Effect）である。機体の空力性能は、飛行高度により大きく変化する。機体が地面に近づくとき主翼廻りの空気が地面の影響を受け、空気抵抗が減少する。このことは、必要パワーの低減に役立つ。従って、多くの人力飛行機は、高度2～3mの所を飛んでおり、パイロットはその高度を維持する様に機を操縦することが、自らを楽しむことにつながる。

(2) 人力滑空機

われわれは、機体の持つ性質から、「鳥人間コンテスト」出場機を、人力滑空機と呼ぶことにした（機名「シーガル」）。なぜならば、この機体は、最初から、長距離飛行を目的とせず、第7回大会の飛距離162mから、ターゲットを200mに置いているからである。パイロットがたとえ、一生懸命にこいだとしても、機体は徐々に沈下して行く設計となった。グラフ2-3は、シーガルの性能曲線であるが、これを見ての通り、この機体を水平定常飛行に入れるには最低でも0.6馬力は必要である。



グラフ 2-3 シーガルの必要パワーと速度

つまり、人力飛行機には成り得ないのである。(1)の①式で言うところのW/Sが大きく、C_Dも大きいのである。

次に、この機体を動力滑空に入れたときのことを考える。図2-1は、動力滑空中の機体の釣り合いを示す。ここで、L：揚力、D：抗力、T：推力、W：機体総重量、θ：滑空角を示す。単

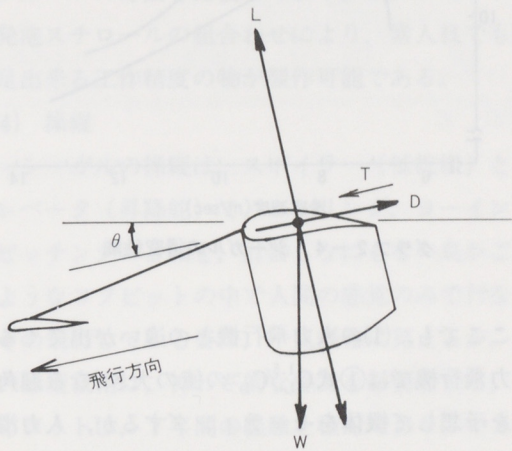


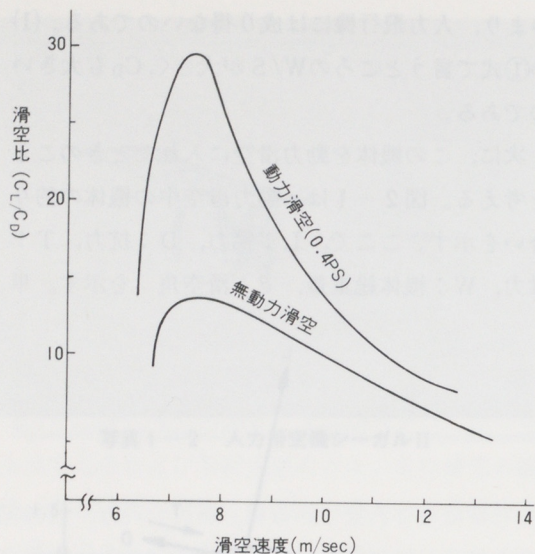
図 2-1 動力滑空中の力の釣り合い

位はいずれもkgである。このとき、滑空比G・R（Glide Ratio）は、

$$G.R=\frac{1}{\tan \theta}=\frac{L}{D-T}$$

で表わされる。無動力の滑空機では、G・RはL/Dで表わされるから、動力滑空機でDから推力T分を差し引いた分が滑空機で言うDに等しいため、滑空性能は、無動力滑空機のそれよりは有利になることが予想される。

グラフ2-4を見ていただきたい。これは、シーガルの滑空性能を表わしたものである。これからわかるように、滑空機としての性能は、他の参加機（L/D16～18が常識）に比べてはるかに劣っている。しかし、プロペラによって推力を与えることによってL/（D-T）は30、飛距離にして300mは飛ぶ計算になる。



グラフ 2-4 シーガルの滑空性能

ここでも、(1)の人力飛行機との違いが出てくる。人力飛行機では①式 $C_L^{1.5}/C_D$ の値の大きくなる迎角を予想して機体をセッティングするが、人力滑空機では、一般の滑空機と同じ C_L/C_D の最大値 ($C_L^{1.5}/C_D$ 最大値の迎角より小さい迎角の位置) で滑空させるのが理想である。

また、シーガルの定常速度は7.6m/secである。この値は参加機の中でも遅い部類に入る。本機は、大会の規約上、10mの助走路を自力で走って離陸しなければならないが、計算によると10mの助走で約6.5m/secまで加速可能と言うことがわかってきた。この値は、定常の滑空速度に近い値であり、離台時の安全性を意味している。1 m/sec程度の向い風があれば、離台即定常飛行に移行可能だ。さらに、多少の強風が吹いても前進出来る速度であるとも判断された。

ここで、空力設計と関係は無いが、シーガルの寸法を決定するに当たって三つの要求を満足せねばならなかった。どうしてもテスト飛行では、毎回、飛行場までの運搬を余儀無くされる。シーガルは約10分割に出来るのであるが、かなりの労力を要することが予想された。この労力をすこしでも軽減させるには、機体をコンパクトにするしか

ない。最大でも4 tトラックで運搬可能にするため、翼長14mに決められた。われわれは、この翼を4分割し、1枚3.5mを4列にならべて2 tトラックに収まる設計とした。

また、大会当日は、スタート台まで機体を持ち上げなくてはならない。この時の台上までのスロープの付いた通路がくせもので、このスロープの角度だけ迎角を大きくとった、パイロットの乗っていない機体は向い風によって強烈な揚力を生じる。それを押さえるのには大変苦勞する。一步間違えば機体は飛ばずして命を閉じる。これは大きな機体ほど影響は大きい。

さらに、この機体の製作時間である。設計、開発メンバーは、退社後の時間と、休日のみに作業を行う。このために、製作に費す時間は非常に制約され、複雑で凝った機体を作ることはできない。それには構造が簡単でコンパクトな機体でなければならない。

シーガルは、「鳥人間コンテスト」出場機として十分なORを行って決定した機体寸法とはい言いが、ここ2、3年の大会には通用するものと思われる。図2-2として、シーガルの三面図、表2-1として、機体に使用した材料の一覧表を挙げておく。

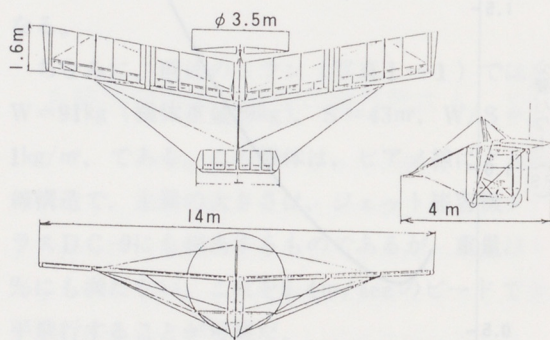


図 2-2 「シーガル」三面図

名 称	使用 材 料	備 考
主 翼 桁	C.Fパイプ	曲げE=10,000kg/mm ²
胴体フレーム	クロモリパイプ, CFパイプ	自転車部分はクロモリ使用
主 尾 翼 リ ブ	発泡スチロール	
張 線 線	SUSピアノ線	φ 0.6mm
桁間ジョイント	アルミパイプ	A6061 T 6
外 被	PPフィルム	t = 0.01 mm
サ ド ル	C.F, ケブラ	
プ ロ ペ ラ	C,Fパイプ,発泡スチロール	外被はPPフィルム
駆 動 チェーン	市販品 RS25	

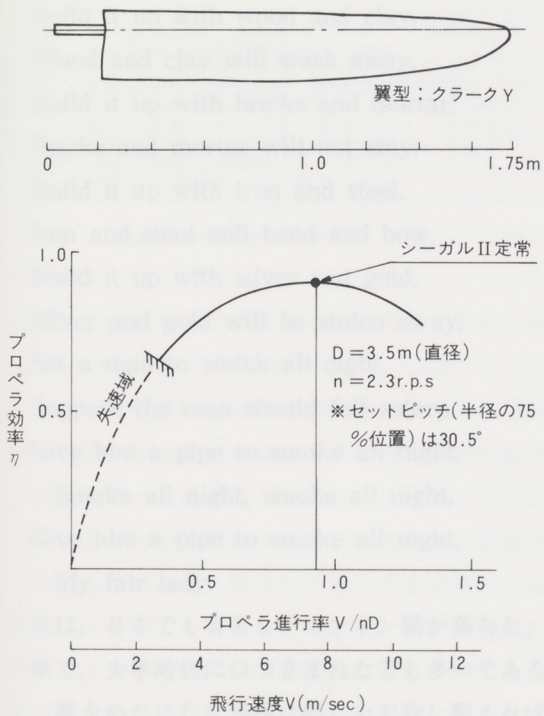
表 2－1 「シーガル」主要材料一覧

(3) 人力飛行機（滑空機）用プロペラ

極小の馬力で飛ぶ人力飛行機にとって、プロペラの設計も大変重要である。

我々の使用しているプロペラは、東京大学境界領域研究施設東研究室のプロペラ設計プログラムを使用させていただいての設計となっている。

グラフ 2－5 は、シーガル用に設計されたプロペラの平面形と、効率のグラフである。



グラフ 2－5 シィガル用プロペラ性能

このプロペラの効率は、最良動力滑空時で、90%に達する。プロペラの最適ピッチは、テスト飛行時のパイロットの脚にかかる負荷トルクと、機体の飛行状態の観察から、0.5°単位でセッティングを採らねばならない。テスト飛行はそのためにあると言っても過言では無い。

プロペラの工作法は日本大学の人力飛行機開発グループの方法を踏襲しており、C,Fのパイプと発泡スチロールの組み合わせにより、素人技でも満足出来る工作精度の物が製作可能である。

(4) 操縦

シーガルの操縦は、スポイラー（抵抗板）とエレベータ（昇降舵）で、ローリング、ヨーイング、ピッチングの3軸を、計器もなにもない鳥かごのようなコクピットの中で人間の感覚のみで行なう。その飛行している姿は、一見優雅に見えるが、その操縦技術は、神わざ的な感覚を必要とする。パイロットは、7年間の経験を積んでおり、いちおうの信頼は持てる。

特に「鳥人間コンテスト」においては、当日の気象条件は人力滑空機にとっては過酷なものであり、その場に応じた判断力と操縦技術が要求されることになる。そのためにも大会前2ヶ月間の飛行練習は必須である。

4. 「鳥人間コンテスト」メンバーについて

我々のメンバーは14名。56～58年度入社の技術系社員が主力となっている。

そして、今年の夏もまた「鳥人間コンテスト」に出場する。メンバーの設計、製作業はウィークディの午後8時～11時に当てている。時には12時を過ぎることすらある。このペースで進めれば5月下旬にはロールアウト可能な勢いだ。

この大会は、テレビ番組の性格上、どうしてもパイロットのみが脚光を浴びてしまうが、こうしたメンバーの影の力によって支えられていることを忘れてはならない。

5. おわりに

参考文献
内藤子生：「飛行力学の実際」

内藤 晃

山名正夫：「飛行機設計論」
中口 博