

Development and Test-Flight of Human-Powered Aircraft

Nozomu KOGISO

1. はじめに

本稿では、琵琶湖で開催される「鳥人間コンテスト」(主催: 読売テレビ) への出場機体である人力プロペラ機の設計開発と試験飛行における安全性について述べる。

このコンテストは高さ10m, 長さ10mのプラットフォームから水面に向けて飛行する。出場機体に対しては, 主にパイロットの安全性確保を目的とした機体検査を競技前に行っている。と言うのは, 着水後あるいは墜落時に機体が破損したとしても, パイロットが安全に脱出できればよいためである。また, 安全確保のため, 陸地上空等を飛行禁止区域が定めてあり, そのような危険域に近づいたときは主催者が着水命令を下すことで, 競技時の安全を確保しようとしている。

しかしながら, 試験飛行は主にグラウンドや空港滑走路等の陸上で行うため, 飛行時および着陸時にパイロットの安全性を確保することはもちろん, 機体が破損しないように設計することが重要な要件となる。そこで,

なお, これらの知見は, コンテストに参加している「大阪府立大学・堺・風車の会」の活動から得られたものであることをお断りしておく。

2. 人力プロペラ機の設計における留意点

Fig. 1 に, 2000 年の鳥人間コンテストに出場した機体の平面図を示す。人力プロペラ機の特徴は, Table I に示すように, 機体重量 $W = mg$ に対して翼面積 S および翼幅 b が大きいこと, すなわち翼面荷重 W/S が小さく, アスペクト比 $A_R = b^2/S$ が大きいことがあげられる。また, 飛行速度 V は風力 4 とほぼ同程度であり, 飛行時には気象状態の影響が大きい。

軽量・低速の飛行機としなければならない最も大きな理由は, Fig. 2 に示すように人間が発生できるパワーが低いことにある。パイロットの体力には個人差があるけれど, 長距離飛行を実現するためには必要パワー P_{req} を

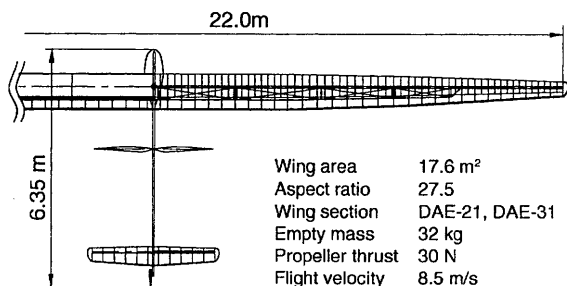


Fig. 1: Top view of Phoenix, WindMill Club, Osaka Pref. Univ. (2000).

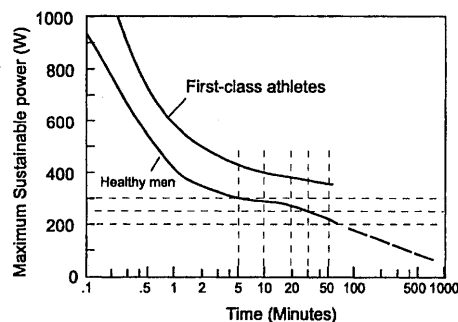


Fig. 2: Human sustainable power.²⁾

Table I: Typical specifications of human powered aircrafts participated in Japan Birdman Rally¹⁾.

Wing area	S (m ²)	20 ~ 30
Span	b (m)	20 ~ 30
Aspect ratio	A_R	25 ~ 35
Empty weight	W_e (N)	300 ~ 450
Flight velocity	V (m/s)	6 ~ 7.5

250~300[W] 以下にしなければならない。

必要パワーと必要推力 T_{req} との間には $P_{req} = T_{req}V$ の関係があることから, プロペラの必要推力は 30~40[N] 程度となる。パイロットを含めた重量が約 1000[N] であることから, 定常飛行を実現するためには揚抗比 L/D を 25-35 程度と大きな値が必要であり, 主翼のアスペクト比を大きくしなければならない。

構造面では, 軽量化を達成するために, 一次部材には炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が用いられている。特に, 揚力による曲げモーメントを支持するために, 翼根で十分な強度を有することが必要となる。また, 飛行の安定性のためには適度な上反角が必要である。そのため, 主桁には揚力に対して適度なたわみを有するだけの柔軟性も確保しなければならない。一方で, 迎角を一定に保つために, 翼にねじり変形が生じないように高いねじり剛性を確保することも必要である。

流体力学に関連すると, 機速が低いことから, 主翼においてはレイノルズ数は $1.5 \times 10^5 \leq Re \leq 6.0 \times 10^5$ 程度, プロペラにおいては $6.0 \times 10^4 \leq Re \leq 1.7 \times 10^5$ 程度と一般の航空機よりもレイノルズ数が二桁程度小さくなる。Fig. 3 は人力機でよく用いられる翼型 DAE-21³⁾ における極曲線である。このような低レイノルズ数域では, 形状抗力の影響が大きくなることがわかる。そのため, 主翼やプロペラの設計では, これら形状抗力の影響を考慮することが不可欠となる^{4,5)}。

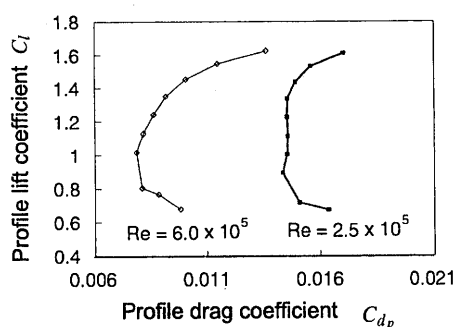


Fig. 3: Polar plot of DAE21.

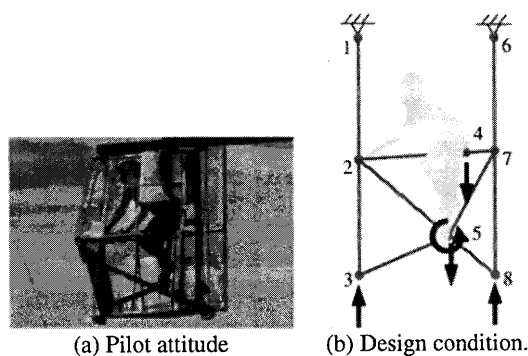


Fig. 4: Structural design condition of fuselage.

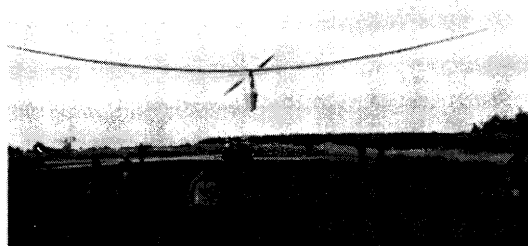


Fig. 5: Test flight at old Nanki-Shirahama airport.

胴体の設計においては、Fig. 4 に示すように、飛行時の荷重だけではなく、離着陸時の荷重を考慮している⁶⁾。試験飛行は、コンテスト本番のように湖面上ではなく、Fig. 5 に示すように、空港滑走路上やグラウンドで行うためである。

安定性・操縦性のためには、尾翼設計において負荷質量による慣性モーメントの増加を考慮する必要がある⁷⁾。また、パイロットを覆うコクピットは、空気抵抗の削減だけではなく、パイロットの体力消耗を防ぐためのベンチレーション機能も重要である⁸⁾。

3. 試験飛行と安全性

試験飛行は、製作した人力機の性能確認ばかりでなく、パイロットの操縦訓練など、機体の持つポテンシャルをコンテスト本番で発揮するために不可欠である。

まず離陸滑走時には、パイロットのペダリングだけでは離陸速度に達することが困難であり、補助者が機体を押して、機体を加速させる。また、滑走時の横方向の安定性が低いため、補助者が左右の翼を支えながら、機体と伴走する(図 6 参照)。飛行時には、図 5 に示すように、せいぜい高度 3m 程度で飛行する。着陸時には、離陸時



Fig. 6: Running for Taking off.

と同じように、胴体および左右の主翼を支える補助者が入り、機体の転倒を防いでいる。

一般の飛行機と違い、人力機にはパイロットが高度や飛行姿勢を把握するための計器を装着していない。そこで、飛行機の後方から指示者が伴走し、姿勢回復のための操縦や飛行方向を指示する。パイロットが飛行に慣れてくれば自ら判断できるようになるけれど、それまでにはかなりの飛行回数を要する。

飛行時に高度をせいぜい 3m 程度に限定しているのは、プロペラ推力が低いために上昇が困難であることも一つの理由であるが、飛行姿勢の乱れを防ぐためでもある。人力機は機速が遅いために風の影響を受けやすい。このとき、高度が低ければすぐに着陸させることができるけれども、高度が高ければ、姿勢の乱れが大きくなり、墜落の危険も増す。

これまでの活動において、墜落により機体が大破したことはあったが、幸運にもパイロットが骨折などのケガをすることはなかった。しかし、空中に留まることができない飛行機では、飛行中の不具合が墜落に直結し、パイロットがケガをする可能性が常に存在する。現在、試験飛行に対する規制はなく、安全性確保は各チームの判断に任されている状態である。しかしながら、このような人力機の設計活動を盛り上げるためには、試験飛行における安全性確保の指針を構築していかなければならないであろう。

参考文献

- 1) 東, 鳥人間コンテストとスカイレジャー・ジャパン, 日本航空宇宙学会誌, **42**, 6, 337-350 (1994)
- 2) Drela, M. and Langford, J. S., Human-Powered Flight, *Scientific American*, **253**, 11, 122-129 (1985)
- 3) Drela, M., Low-Reynolds-Number Airfoil Design for the M.I.T. Daedalus Prototype: A Case Study, *J. Aircraft*, **25**, 8, 724-732 (1988).
- 4) Kogiso, N., Tsushima, T. and Murotsu, Y., Wing Planform Optimization of Human Powered Aircraft in Low Reynolds Number Range, 8th AIAA Symp. on MAO, AIAA 2000-4739 (2000).
- 5) 小木曾, 内海, 室津, 低レイノルズ数域で作動するプロペラブレードの形状最適化, 日本航空宇宙学会論文集, **50**, 586, 458-465 (2002)
- 6) Kogiso, N., et al., Reliability-Based Optimum Design of Laminated Composite Frame Structure in Human-Powered Aircraft, 4th WCSMO, Paper 131 (2001).
- 7) 中尾, 大久保, 得竹, 人力飛行機の安定性と運動特性, 第 5 回スカイスポーツシンポジウム, 35-38 (1999)
- 8) 鈴木 他, 琵琶湖横断飛行の成果について, 第 4 回スカイスポーツシンポジウム, (1998)