

人力飛行機「リネット I」の開発

岡宮宗孝

1950年代後半に英国で人力飛行機熱が盛り上がり、王立航空協会の中に研究グループが作られ理論的研究を行ったり、実業家のクレマーが“8の字飛行賞”を発表し、1961年には英国で初飛行に成功した。

これらを知った木村秀政教授は、人力で空を飛ぶという人類の夢への挑戦、そして、多くの課題を解決しなければ成功しない難しさは航空工学を学ぶ学生の研究テーマに最適であると判断し、理工学部機械工学科航空専修コースの卒業研究として取り上げるようになった。

1. 基礎研究

1963年から基礎研究が開始されたが、人力飛行機開発の黎明期であり資料や文献が皆無の時代であったので、一番重要なエンジン部分である人力の測定から始めることになった。

当時はペダルを漕ぐことによって簡単に人間の動力測定ができる装置は市販されてなかったので、測定装置の設計・製作から始めなければならなかった。

自前の測定装置を用い、最大出力、一定時間での持続時間などの測定を行った結果、非常に短時間ならば0.8-0.9馬力を出せるが、人力飛行機の飛行時間を3分と想定した場合、持続可能な力は0.4馬力以下であることが判明した。

(注) この馬力は比較的小さな模型エンジンと同程度であり、人間の重量1Kgf当りの出力効率が非常に悪い事を改めて再認識させられる事になった。



写真提供 所沢航空発祥記念館

2. 基本設計

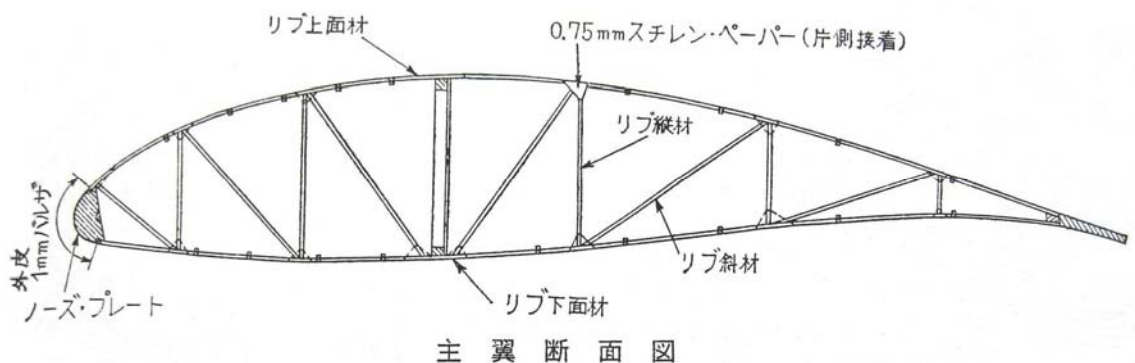
1964年4月から開始した基本設計において、オペレーションズ・リサーチの手法を用い単葉機／複葉機、先尾翼／通常尾翼、パイロットの姿勢などの考察を行い、翼型、胴体、プロペラ形状と位置、機体形状などの設計を行ったが、電卓もない時代なので“タイガー式手回し計算機”を用い多大な時間と労力を要する数値計算であった。

人力測定結果と空力計算により人力飛行機の最適条件を以下のように算定した。

- ・ 必要馬力：0.35PS 以下
- ・ 総重量：110Kgf 以下
- ・ 飛行速度：7.5m/s
- ・ 飛行高度：2m

・翼型

高い揚力係数において低い形状抗力係数が要求される事から、設計揚力係数 1.2 の非常に大きなキャンバーを持った層流翼 (NACA633-1218) を新たに設計し^(AG注)、風洞実験を行い採用を決定した。



・機体の形状

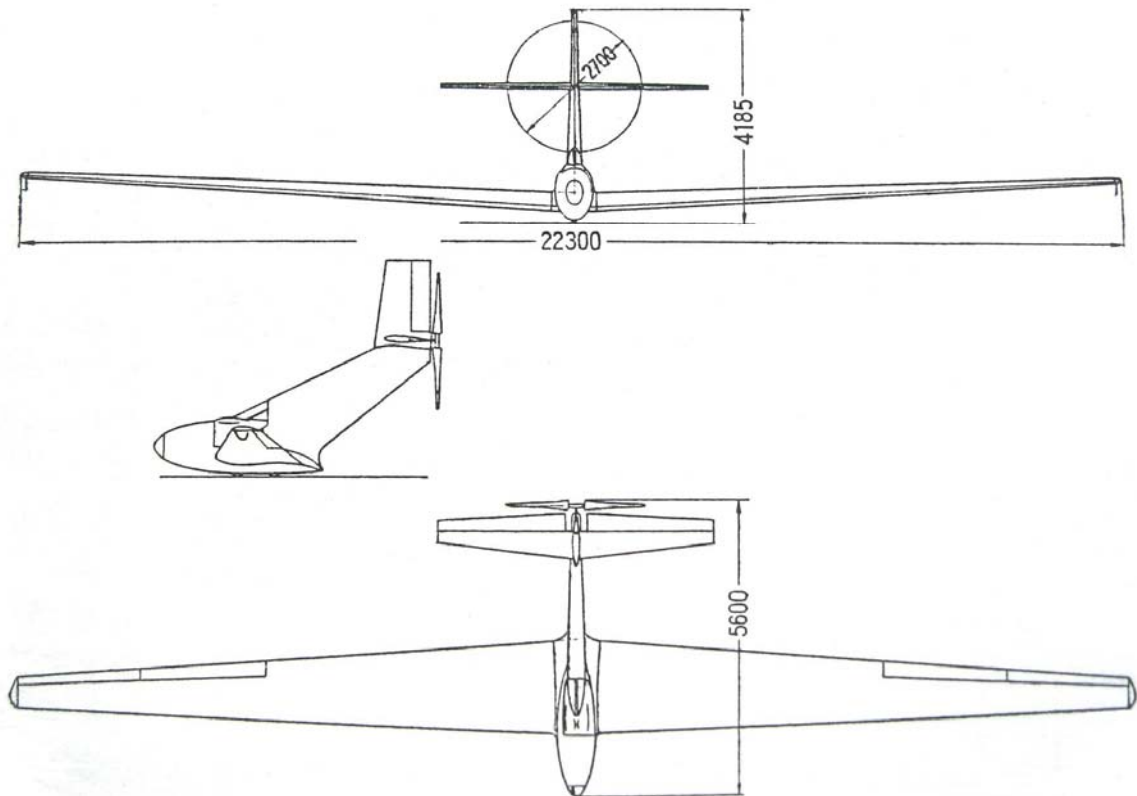
抗力をできるだけ小さくするため、翼以外の部分の形状をできるだけ小さくする必要があった。

胴体の大部分はパイロットの姿勢によって決まるが、普通の自転車を漕ぐ姿勢は前面面積が大きくなるので“半分うつ伏せ”と“半分仰向け (リクライニング)”の姿勢を検討した結果、ペタリングの反作用を背中で受け止め、手足が自由に動かすことが出来る“半分仰向け (リクライニング姿勢)”を採用した。

機体の中程にパイロンを立てプロペラを装着する形状にすると、伝道装置が軽くできるのだが、パイロンにより抵抗が増す上に負の安定要素になり、直尾翼を大きくする必要が出てくるため、機体の後方に垂直尾翼を兼ねたパイロンを立てる形状にした。この形状では伝動装置の良し悪しが成功の決め手になるので、伝導効率を高く保ち且つ軽くするためにトルクチューブはパイロットの頭の上を通す事とした。

また、地面効果を最大限に発揮するため、先行していた国外の人力機とは異なり低翼機にすることになった。

3 面 図



・プロペラ

佐貫亦男著の「プロペラ」に基づき設計を行い、英国航空協会の「Standard Method of Propeller Performance Estimation」により性能推定を行った結果、プロペラ直径 2.7m、翼数 2 枚、翼厚比 8%、回転数 180rpm と決定した。

極めて低速の人力飛行機においてはプロペラ後流内の気流速度が抗力に大きく影響するので推進方式はプッシャータイプとした。

3. 構造設計・製作・飛行実験

・軽量化の取組み

1965 年 4 月から開始した構造設計・製作における最大の考慮事項は軽量化であり、そのために素材の選定と重量管理が一番重要な要素であった。

素材に関しては、当時は軽量で強度があるカーボンファイバーなどの新複合材は入手が大変困難であったため、強度を要する部分はヒノキ材を用いその他はバルサ材を用いた。

重量管理に関して製作メンバーの 1 人を専属とし、製作メンバーに対して厳しく軽量化を要求しグラム単位での管理を行った。

バルサ材は比重のばらつきが 0.07 から 0.4 と大きく、比重につれて強度も違うので、購

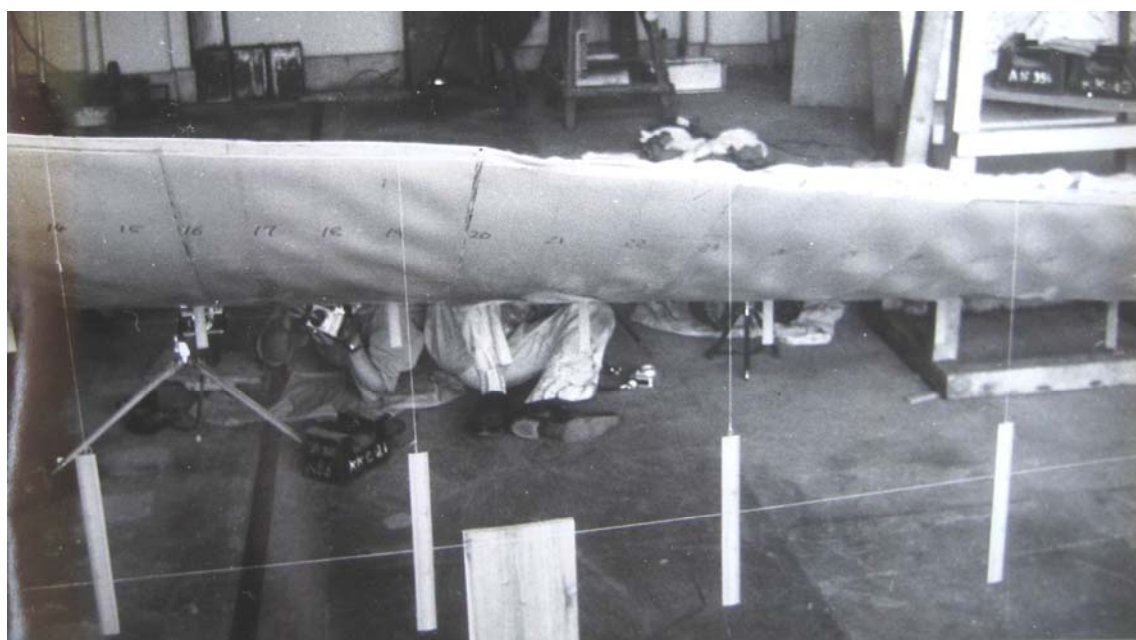
入した数千本のバルサ材一つ一つの重量を測り、強度計算結果に従って適所に配分するようにした。

接着剤も強度と重量管理が大切なのでセメダイン社を訪問してアドバイスを受けた。木工用接着剤というのはせいぜい数種類だと思っていたが、何十種類もの接着剤があり、それぞれ接着性能や重量が違うことを知り、セメダイン社のアドバイスを受けて数種類買い、接着強度と重量の実測を行ってから最終決定した。

・主翼

新設計の層流翼は広範囲の層流を得るため少なくとも 50%の外形が正確でまた表面の波や粗さがあってはならない。そのためには、翼の表面はある程度の厚さを持ったバルサ材またはそれに類したものでなければならない。

機体全重量の 40%以上を占めるので軽量化が最も求められた。主桁は主にヒノキ材を、リブはバルサ材とし、外皮は以下の特徴を持つスチレンペーパーを使用した。



- ・ バルサ材のように方向性がないため破損しにくく、どの方向にもカーブがつけ易い。
 - ・ 1mm厚のバルサより 2-3 割軽い (スチレンペーパーが 0.75mmの場合)
 - ・ 羽布に比べて水分による収縮の度合いが少なく、表面仕上げ (ラミネート) が不要。
- (注記) 外皮の素材選定に苦労したが、メンバーの 1 人が買物で目にした食品容器にヒントを得てスチレンペーパーを使用した。これがリネットの飛行が成功した大変大きな要因になった。

実機製作前に木村教授ご出身の東大航空宇宙研究所で荷重試験を行った結果、最初に考えた構造では“振り”に非常に弱いことが判明したので、実機ではストリンガーを表面に出して外皮と接着させ、外皮の 1 つのセクションを小さくした。これは振りと曲げに対して非常に効果的であった。

・ 胴体

重量及び重量分布について計算を行って重量チェックをし、次に簡単な図式計算 (クレモナの方法) を行って強度のチェックをしながら設計を行った。

その結果、主翼結合部、座席、クランク部など強度を要する部分は 20mm のヒノキ材を用い、フィン部分はバルサ材だけを使用して 3 角形断面の単桁トーション・ボックス構造とし、外皮はスチレンペーパーを使用した。

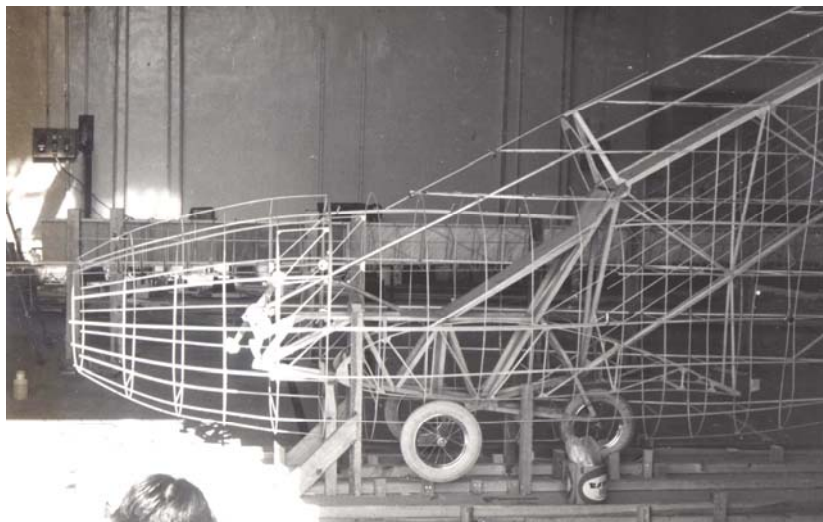
・ 伝導装置

可動部分であるため不具合や破損が多発し、補修と試行錯誤の改善を繰り返す事になり、一番頭を悩ませた箇所である。

プロペラシャフトはアルミ合金と炭素鋼の数種について強さと比重の比を検討し、この値が大きく手に入り易い
ニッケル・クローム鋼 (SNC-3) を採用した。

フランジはジュラルミン製にしたので、シャフトとの硬度差がトラブル発生の要因になった。

トルク・チューブは





軽量化のために外形 30mm、肉厚 1mm のジュラルミンパイプとしたが、捩れ振動が発生し機体速度が上がらない原因になった。

・飛行実験

木村教授のご尽力で当時在日米軍の管理下にあった東京・調布飛行場の格納庫と滑走路を借りることが出来、東大航空宇宙研究所から 1966 年 1 月に引っ越した。

最終組み立てが始まったのは真冬に入ってからであり、格納庫の天井が高く老朽化した屋根から雨漏りがして、コンクリート床に溜まった水が夜間には凍るといふ寒さであった。

飛行実験に入ると操縦ミスによる機体破損や伝動装置などにトラブルが頻繁に発生し、ギア部分の大幅改修や操縦席の前方移動なども行わなければならなかった。

滑走路は、日の出から朝 8 時までしか使用許可がおりておらず、3 月中旬までの少ない日数で出来るだけ多くの飛行試験をするために翌朝までに修理しなければならなかったのだが、寒さで接着剤が固まらない。そこでヘヤドライヤーを使って接着部の温度を上げて接着を早める事になり、10 人のメンバーが交代しながら徹夜で作業に当たり翌日の早朝やっと飛行実験ができるまで強度がでるといふ様な状態であった。



このような日々が何日も続いたので
1人が過労で倒れ肺炎になってしまうと
いう厳しい状況でもあった

2月7日から地上滑走試験を開始し、
トラブルを補修・改善しながらジャンプ
飛行にこぎつけ、2月27日にマスコミ
に対する公開飛行で100名を超える
人が見守る中、15mの日本初飛行に成
功した。(パイロット 岡宮宗孝)



写真提供 所沢航空発祥記念館

飛行実験に入ってからには故障
修理と試行錯誤による改造の連
続だったため、飛行に成功するか
は最期までまったく半信半疑の
状態だったので、成功したとき
には木村教授も満面の笑みを浮か
べ握手に来てくれた。歓喜の一瞬
であった。

その後3月11日までに総計11
回の飛行実験を行い、43mまで
飛行距離を伸ばしたが、所定の速
度まで機速が上がらないことで



写真提供 所沢航空発祥記念館

それ以上距離が伸びず、原因として“トルク・チューブの捩れ振動”が今後解決すべき問題として明らかになった。

操縦性に関しては、重心位置が予定よりかなり後退したため、上げ舵を取り過ぎると直ぐ失速してしまう難しさがあった事に加え、長距離飛行のためにはパイロットの姿勢と顔面すれすれのところでトルクチューブが回転し且つキャノピーの前面が狭いことによる視界の悪さを改善しなければならない事も明らかになった。

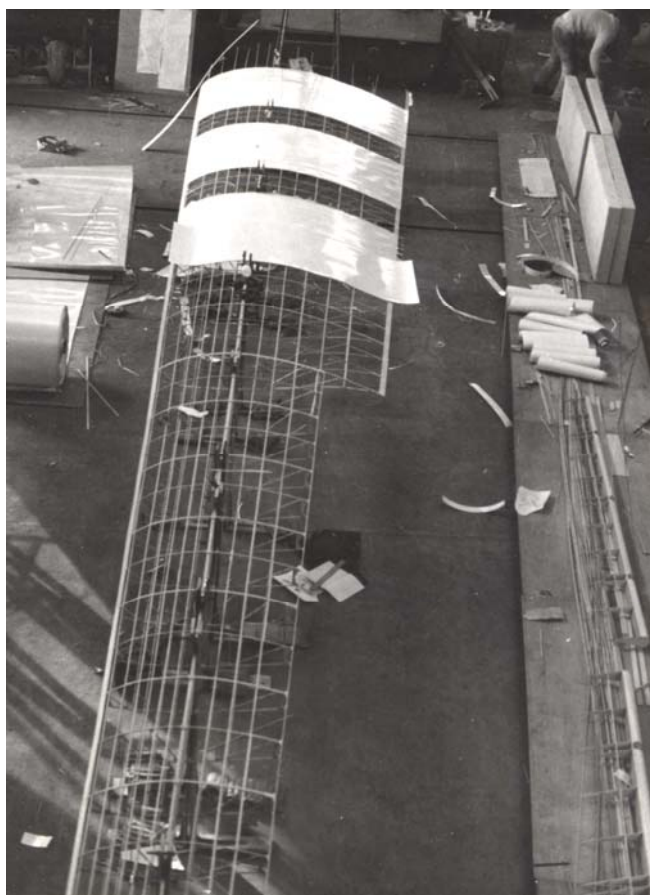
主要諸元

全長：5.600m 全幅：22.300m 全高：4.185m 翼面積：26.0m²
翼型：NACA63₃-1218 アスペクト比：18.5 プロペラ：直径 2.7m × 2 ブレード
推進方式：プッシャータイプ 機体重量：50.06Kgf

AG注

2 ページ中段の『設計揚力係数 1.2 の非常に大きなキャンバーを持った層流翼 (NACA63₃-1218) を新たに設計』とは、当時 NACA の 63₃ シリーズに、63₃-018/218/418/618 の翼型は存在したが、1218 は存在しなかった (当時、このような高揚力で定常飛行する飛行機の翼型の要請がなかったからだと思われる)。NACA63₃-1218 翼型が存在しなかったので、リネット I の飛行に必要な高揚力、低抵抗の 63₃-618 のデータをベースに、設計揚力係数：1.2、翼厚：18%の層流翼型を設計した、と言う意味です。

右は、主翼の被覆作業の写真です。エルロン取り付け前の貴重な写真で、右端にエルロンが見えます。



当時の人力飛行機の主翼は、例えば現在の鳥人間コンテスト等に代表される低捻り剛性でなく、旋回制御を意識し、且つ、片持ち構造で高剛性に設計されていたことが解ります。

また、現在の人力飛行機の基礎技術の全てがリネット I 始まったことも覗えます。

リネット I から進化し、当時の世界記録を樹立したストック B は、『ラジコンのアクロバット機のように、エルロンがバシバシ効いた』と聞いています。

人力飛行、中でも旋回飛行を目指している皆様は、是非参考にしてください。 以上