

1/3 スケール三田式 3 型改 1 製作記

マルチパートシリーズの最初のパート。

[Norimichi Kawakami](#)



If you prefer you can read the [English translation](#) of this article, which was provided by the author.

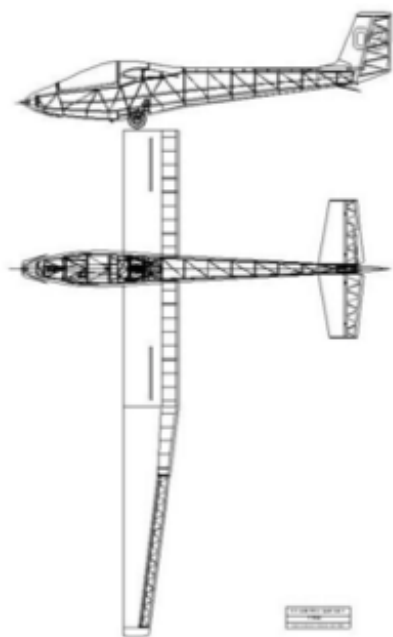
栃木県宇都宮市 河上宣道

昨今は既成の半完成機(所謂 ARF 機)を組み立ててラジコン飛行を楽しむのが主流ですが、自分で設計して素材から部品を切り出しそれを組み立てる、というのもラジコン機趣味の醍醐味です。資料を集めて種々検討しながら納得のいくまで図面を修正し、思わぬ失敗を繰り返しながら何とか自分好みの機体に仕上げると ARF 機では味わえぬ愛着が湧きます。

子供の頃には工作が楽しくてしょうがなかったのに成長するに従ってその機

会も無くなり、その上最近では半完成品が手軽に手に入ることから益々工作から遠ざかってしまい、イザ自作と言っても実際に着手することは躊躇される方も多いと思います。ラジコン技術誌には自作記事が載りますが、自作過程で起こる幾多の検討事項をどのように処理し、避けて通れぬ失敗をどのように乗り越えて完成に至ったのかは殆ど記されないのが普通です。その為、読者は余程工作の得意な人が製作したものと考えて自分とは遠い存在に思いがちです。

斯く言う私も中学生以来工作から遠ざかること数十年、退職後に始めたラジコン飛行機の趣味で、当初は ARF 機やバルサキット機を組み立てて楽しんでいましたが、やはりゼロから自分で設計・製作してみたい気持ちが大きくなりました。そこで数十年ぶりに 2D CAD で図面を描き、カッターや鋸、やすり等を使って素材から部品を切り出し組み立てることに挑戦しました。設計の段階ではいろいろ検討することも多く、製作段階でも多くの失敗を繰り返しました。その過程を隠さず報告することで自作に興味がある方の参考になるのでは、と考えてこの文をまとめました。その為少々長文ですが読み物としても楽しんで頂き、少しでも自作に躊躇されている方の背中を押せたら、と願っているところです。尚、対象は「ラジコン技術」2019 年 11 月号に掲載された 1/3 スケールの三田式 3 型改 1 グライダーです。翼幅 5.3m 超の大型機で、私が設計・製作した完全自作の 2 番機です。



きっかけ

退職後ラジコン飛行機を趣味として始めました。飛行機にも色々な種類がありますが特にグライダーの優雅な飛行スタイルに魅力を感じています。いろいろなラジコングライダーを製作した中でも、サーマル工房のキットから製作した 1/5 スケール三田式 3 型改 1 が特にお気に入りの一機になっています

下の写真はこのグライダーの初飛行で撮った着陸直前の姿です。この優雅な姿に参ってしまいもう少し 大きな 1/3 サイズの機体が欲しくなりました。キットとして販売されているものは無いので自作することになりました。



画像1 サーマル工房のキットから製作した1/5スケール三田式3型改1

実機調査その1

早 2017 年の年末から三田式 3 型改 1 の実機調査を始めました。ネットでいろいろ調べていると、サーマル工房の 1/5 キットの元になった、東海大学が所有していた JA2103 を所有する方が同じ宇都宮市に お住まいということで、早連絡をとり同年末に御自宅にお邪魔させて頂きました。残念ながら

ら現在は 機体を静岡理工大学の航空資料館に寄贈されたとのことで見ることはできませんでした。しかし、所有されていた時代に撮られた機体各部の貴重な写真を CD に焼いたものを頂き、以後の設計の大きな助けとなりました。

この調査開始と同時に 1/5 三面図を元に、1/3 三面図の原寸製図を CAD で開始しました。これは図面を描くことで調査に必要な不明点/疑問点を具体的に明らかにするためです。尚、残念ながら私は 3D CAD を使えないので 2D の AR_CAD というフリーソフトを使用しています。

実機調査その2

年が明けた 2018 年一月、関東地方は稀にみる大雪に見舞われましたが、その 3 日後に静岡空港傍の静岡航空資料館を訪問して実機調査を行いました。さすが静岡、雪はまったくありませんでした。

初めて三田式3型改 1 の実物を目にすることができました。



画像2 静岡航空資料館の実機三田式3型改1JA2103(インターネット航空雑誌ヒコーキ雲から拝借)

初印象は思っていたより小さく華奢だということです。特に胴体に使われている鋼管の太さを勝手に 30 中位と想像して図面を描き始めましたが、年末に頂いた CD の写真と見比べてもっと細そうだという感じを持ちました

が、実際に実機を見てみると一番太い縦通材でも 20φ、その他は 15、12、10φ程度だということに驚きました。

忙しい時間を割いて資料館の方が親切に対応して下さいったお蔭で、構が良くわからなかった中央翼と 外翼の結合方法や、翼の胴体への取付方、エルロン前縁形状とヒンジ位置などが判り大収穫でした。今はインターネットでなんでも調べられる時代ですが、やはり何事も実物を観て自分の感覚に訴えることが重要だと改めて感じた次第です。

今後の設計過程で発生する不明点をメールでやり取りして、資料館の方に実物調査をして頂くことを快く受けて頂き、多いに励まされることになりました。

画像 3 は外翼と中央翼の結合状況です。主翼前縁側から撮りました。両翼は約 10cm 程度の間隔を隔て左 右の主桁から突き出したかなりゴツイ結合金具で結ばれます。結合は桁の上下フランジ高さの位置にある2本の剪断ボルトで結ばれます。この写真は上側ボルトが見えています。尚、翼の隙間はプラスチックのカバーで覆って塞ぎます。



画像3 実機の中央翼と外翼の結合部

画像 4 は主翼と胴体の結合金具です。前後2か所にあります但これは前側のものです。主桁ウェブに取り付けられた2個の金具の先端に穴が開いており、角型胴体フレームから突き出したボルトが貫通し、それをナットで締め上げます。揚力と抗力およびローリングモーメントを効率良く胴体側に伝えています。



画像4 実機の翼胴結合部(前側)

この他にも貴重な写真を何枚も撮影できました。

実機データ

ここで三田式3型改 1 の実機データを纏めると次のようになります。

形式		複座式滑空機
初飛行		1966. 03. 26
生産機数		32
構	胴体	鋼管羽布張り
	翼	木製単桁式羽布張り、中央翼 1 枚と外翼 2 枚の 3 部構成。
主要諸元	翼幅	16m
	全長	7.96m
	全高	1.57m
性能	自重	300Kg
	全備重量	450Kg
	主翼面積	15.87m ²
	アスペクト比	16.3
	外翼上反角	3.45°
	ねじり下げ	外翼部にねじり下げを設けているがその大きさ不明。
	翼型	NACA 633-618
	最良滑空比	30.8
	最良滑空 度	78Km/h (単座) 82.7Km/h (複座)
	最少沈下 度	0.72m/sec (全備重量時)
飛行限界	超過禁止 度	180Km/時
	最小シンク速度	62.5Km/時 (複座時)
	制限荷重倍数	+5.0~-2.5
	許容重心範囲	30%MAC~40%MAC (主翼前縁から 312mm ~ 416mm)

これらのデータを参考にして 1/3 模型の諸元を決めていくことになります。

1/3 模型の基本構想

実機の基本調査が完了したので、いよいよ 1/3 模型の基本構想を固める段階です。方針としてはできるだけ実機のイメージを壊さずに必要に応じて省略や簡略化をすることにしました。基本構想として固めなければならないことには以下の 5 項目があります。

1. 分割をどのようにするか?:搬送は私の愛車スバルフォレスターで行いますが、これに乗せられるように各部をどのように分割するか?

2. 胴体構 をどのようにするか?:サーマル工房製の1/5模型はレーザーカットしたシナベニアの組合 せ構 だが、レーザーカッティング機を持っていないのでどうするか?
3. 中央翼と外翼の結合方式はどのようにするか?:実機の結合方式は前述の通りですが、これを忠実に 模型化するかまたは別方式にするか?
4. 翼型はどうするか?:実機と模型では飛行時のレイノルズ数が異なるので、翼型の揚力や抗力等の空 力特性が変わります。そのため実機そのまの翼型では性能が落ちる懸念があります。
5. 目標重量をどの程度に設定するか?:重量管理の重要な飛行機の開発では目標重量を定めて、設計、 製作の各過程で重量・重心をそれに照らして監視しなければ、重量オーバーで満足な飛行性能が得ら れないことになりがちです。

以上 5 つの基本的な項目を順次以下のように固めました。

基本構想その1 機体の分割

実機は中央翼、外翼(2 つ)、胴体、水平尾翼の合計 5 つに分割することが基本分割です。その他にラダーも比較的簡単にはずれますので胴体長を若干縮めることができます。サーマル工房製の 1/5 模型も 基本的に実機と同じ分割です。但し私の機体では水平尾翼は付けたままで4分割にしています。

さて、1/3 模型のそれぞれの寸法は以下ようになります。

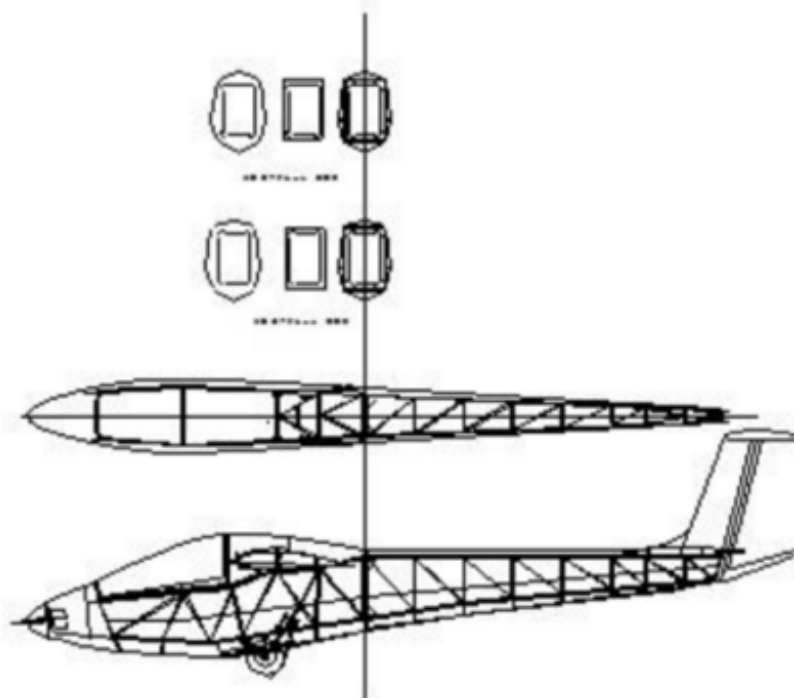
中央翼	2,000mm
外翼	1,670mm
胴体	2,654mm (ラダーを付けた状態) 2,526mm (ラダーをはずした状態) 2,394mm (垂直尾翼もはずした状態)
水平尾翼	996mm

一方、私の愛車スバルフォレスターでの長尺物運搬能力は次のような状況です。

後席を倒した状態	1,600mm
同上で運転席と助手席の間の隙間に通す場合	1,700mm
助手席を倒してダッシュボードに突当る場合	2,600mm
同上でフロントガラスに突当る場合	2,800mm

以上の条件で分割方式を検討する訳ですがこれにはいろいろ悩み二転三転しました。外翼は運転席と助手席の間の隙間から顔を出すことで何とか運べます。問題は中央翼と胴体です。当初は単純に助手席を倒すことで実機と同じ分割にすることにしました。しかしできれば助手席を倒さないで運ぶことがベストですので、途中で中央翼と胴体を分割することを計画しました。中央翼は真ん中で2分割すれば見栄えも悪くなく長さも1mに縮まります。組み立てるには、桁ウェブの前後に2~3mm厚のアルミ板を当てがってボルト締めすれば比較的簡単に組めます。

問題は胴体です。垂直尾翼を外れるようにしても未だ長すぎますので、どこかで2分割する必要があります。主翼後縁のすぐ後ろあたりで2分割すると前胴が約1,200mm、後胴が約1,200~1,300mm程度になります。そのように分割する方法を作図したのが図面1です。



図面1 胴体分割案

前胴最後部と後胴最先端にほぼ同形状のフレームをそれぞれ 4mm 厚と 5.5mm 厚のシナベニアで作製、4 隅の 4 本の M4 ボルトで結合する案です。5.5mm シナベニアが強度を受け持ち、4mm シナベニアは外周形状を保つ役目です。かなりの間これで進めることに決めていましたが、この方法の最大の欠点は本グライダーの美しい羽布張り胴体に分割ラインが明確に生じることです。

更にどんなにシナベニアのフレームを平滑にしても羽布の張力で歪みが生じて、分割ラインに隙間が現れることが予想されます。これはスケール機には大きな痛手です。また、この分割のために機体後部の重量が 200g 弱増加します。それだけでなく重心後退が心配されるのでこれは避けたいという思いがだんだん強くなり、とうとう分割を諦めることにしました。

胴体の分割を諦めることは助手席を倒すことを意味しますので、中央翼も分割しないことにしました。結局当初の構想に戻り、中央翼、外翼(2枚)、胴体、水平尾翼、垂直安定板、ラダーの 7 分割にすることになりました。

基本構想 その2 胴体構

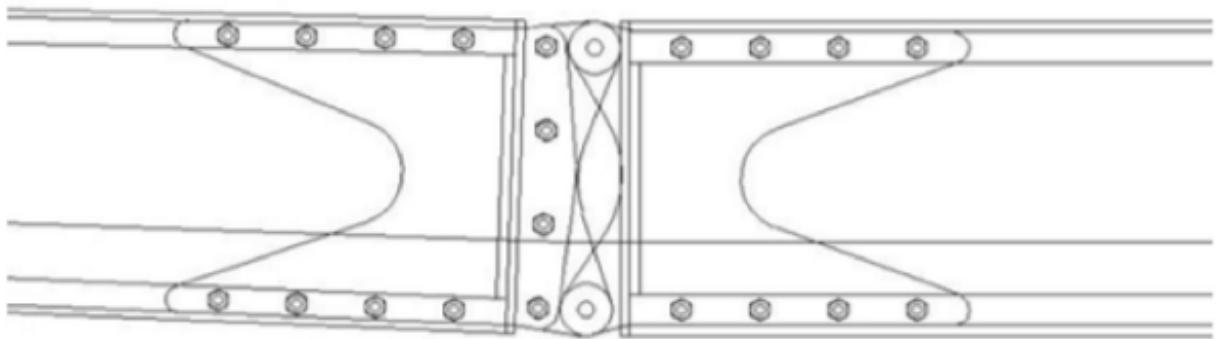
サーマル工房製の 1/5 模型の胴体構はシナベニアをレーザーカットしたパネルを組み合わせた複雑且つ精巧なものです。重量も軽く剛性も高く優れた構です。しかし、私はレーザーカッターを所有していませんし時間貸しでカッターを借りるとしても、複雑な構故に相当の時間がかかりその費用もかなりなものと予想されます。

そこで今回はカーボンパイプを鋼管に見立てて実機と同じようなトラス構にすることにします。当初はアルミパイプも考えたのですが、カーボンの方が軽く剛性も高く、且つ手ごろな太さのものが入手できることから選択しました。また、カーボンは瞬間接着剤やエポキシ樹脂で簡単に接着できることもメリットです。但し、切断がやや困難と思われますが、百均で入手したダイヤモンドカッターをミニルーターに付けて予備的に実験したところ、割と簡単に切断できることが判りましたこれで実機の鋼管羽布張りのイメージが一層リアルに再現できるのではないかと期待しました。尚、本機完成後に英国のスケールグライダー同好会(SSUK: Scale Soaring UK)に投稿し

たところ、この カーボンパイプ製胴体構 が目新しく大いに注目を集めました。この方式で着陸荷重等に耐えられるな らば画期的との評価も頂きました。今のところクラックや接着剥がれ等の問題もなく、充分使用に耐える 構 となっています。

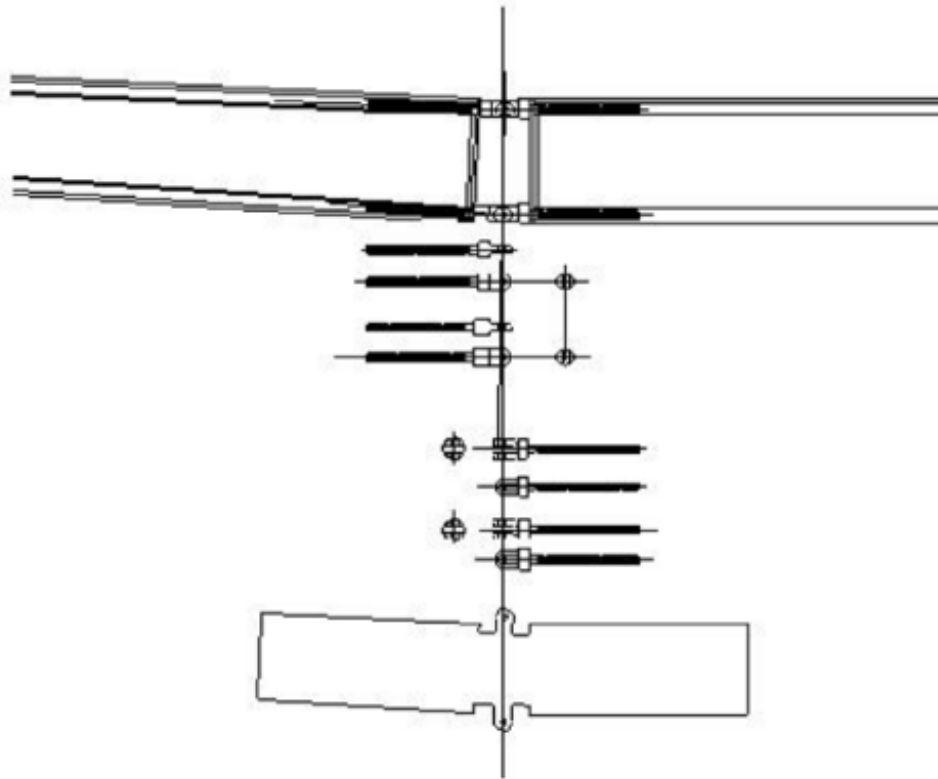
基本構想 その3 外翼と中央翼の結合方法

実機では先に述べたように外翼と中央翼の間は 10cm程度の間隙があり、そこに結合金具が両者の桁から伸びて上下2本の剪断ボルトで締結されています。そこで当初は折角 1/3 もの大型模型を作るのだからできるだけ実機に似せようと思い、同様の結合方法を考えました。図面 2 はまず最初に考えた実機 もどきの結合方式です。



図面2 当初考えた外翼と中央翼の結合方式

両翼の桁フランジにボルト締めした金具を張り出して2本の結合ボルトで結びます。最も実機らしい結合方式ですが、この金具の製作にはどうしてもフライス盤が必要になります。ラジコン仲間に金属加工の得意な方がいらっしゃって、時々特殊金具の製作をお願いするのですが、同氏もミニ旋盤しかお持ちではありません。金属加工所に製作依頼する手もありますが、結構な金額になると思われます。そこで、次に考えたのがミニ旋盤だけで作れる金具を用いた図面 3 の結合方式です。



図面3 ミニ旋盤だけで製作可能な外翼と中央翼の結合方式

これは、両翼の桁フランジをカーボン角パイプで作り、そのパイプの中にボルト状の結合金具を上下4本挿し込んで接着固定するものです。一番下の板状のものは組立時に外翼の上反角を正確に出すための治具です。この方式ならばボルト頭の平面部を手でヤスル必要がありますが、ミニ旋盤で製作可能です。実機感も出て面白そうに思え、当初はこの案を進めることを考えました。しかし、問題は隙間を塞ぐプラスチックのカバーです。プラスチック部品の製作に経験のない私にとって、前縁部の急カーブにもピッタリ馴染んだカバーの製作とその装着方法を考えることは余り得意ではありません。

結局、飛行前後の組立・分解の手間や見栄えを考えて、ラジコン飛行機では常識的なカーボンパイプのカンザシで両翼を繋ぐことにしました。従って、両翼は隙間無くピッタリとあわせます。しかし、金具結合方式は通常のラジコン模型とは一線を隔した高級感があり、若干の未練が残りました。

基本構想その4 翼型

実機の翼型は米国 NASA の前身 NACA が開発した NACA633-618 です。所謂 NACA 6 シリーズの層流翼型で18%の翼厚です。6 シリーズの命

名法がうろ覚えになっていたのでここで再確認しました。

最初の 6 は 6 シリーズ(層流翼シリーズ)であることを意味します。層流翼シリーズとは翼の最大厚を比較的后方に置くことで、翼上面の最低圧力の位置を後方にずらし、これによって前縁から最大厚付近までの空気の流れを加えてその部分の流れを層流(きれいに整った流れ)に保つことで抵抗の少ない翼型を実現するという狙いで開発された一連の翼型です。次の 3 は最低圧力の位置が前縁から 30% 翼弦長の位置に設定したことを意味します。その次の 3 はこの後の 6 と対になって意味を持ちます。即ち 4 番目の数字の 6 が設計揚力係数を意味し、その前の 3 はその設計揚力係数の前後 ± 0.3 の範囲で抵抗が低いと伝えています。つまり本翼型の設計揚力係数は 0.6 で、その前後 0.3 の範囲、即ち 0.3~0.9 の揚力係数の範囲で抵抗が少ないということです。最後の 2桁の 18 は翼厚を意味しますので、本翼型の翼厚は翼弦長の 18%とということです。

さて、一般に翼型の空力性能(最大揚力係数や抵抗係数)は翼弦長が長いほど、飛行度がいほど良くなる性質があります。即ち翼弦長と飛行度の積が大きいくほど空力性能が良くなります。この積の値を表すのにレイノルズ数 Re という値があります。 Re は翼弦長と飛行度の積を空気の動粘性係数で割ったもので、 $Re = (C \cdot V) / \nu$ と記されます。 C は翼弦長、 V は飛行度、 ν は空気の動粘性係数でその値は $1.50 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ です。レイノルズ数 Re は翼型に及ぼす空気の慣性力と粘性力の比を意味します。つまり Re が大きくなるほど粘性の影響が減って翼型の空力性能が改善されます。

そこで問題になるのは、実機と 1/3 模型のレイノルズ数の相違ですので次にこれを検討しました。実機の翼弦長 C は中央翼で 1.2m、外翼は 1.2m $\rightarrow$ 0.54m にテーパしています。このようなテーパ翼の代表的な翼弦は平均空力翼弦(MAC: Mean Aerodynamic Chord)と言いますが、三田式3型改1の場合はその弦長が 1.04m と計算されます。対して、1/3 模型では当然その 1/3 の 0.347m となります。

次に飛行度 V ですが、最良滑空度で考えます。実機の複座状態でその度は時 82.7km/h、即ち 23.0m/sec です。1/3 模型の最良滑空度は未だわかりませんが、凡その値は次のように推測されます。滑空中の翼に働く揚力 L

は機体の重量 W と釣り合っています。揚力は $L=1/2 \rho V^2 * S * CL$ で与えられます。 ρ は空気密度、 S は主翼面積、 CL は揚力係数です。揚力 L は機体重量 W と釣り合っていますから L を W に置き換えて式を変形すると、
$$V=2*\sqrt{(W/S)/(\rho*CL)}$$

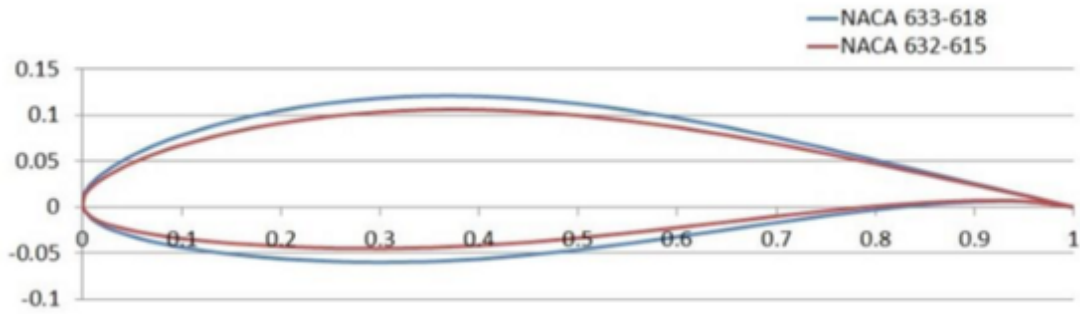
空気密度 ρ は実機も 1/3 模型も同じです。揚力係数 CL もそれほど異なりません。そうすると、飛行速度 V は W/S 即ち、単位面積当たりの重量(翼面荷重)の平方根に比例することになります。実機の翼面荷重は $W=450\text{Kg}$ 、 $S=15.87\text{m}^2$ から、 $W/S=28.36$ となります。1/3 模型の重量はこの段階ではまだ正確に判りませんが、次の基本構想その5目標重量で検討するように、 10Kg 以下になります。ここでは仮に $W=10\text{Kg}$ と置くと、 $S=1.76\text{m}^2$ ですから、 $W/S=5.68$ となります。従って、1/3 模型の翼面荷重の平方根は実機のそれの 0.445 となり、最良滑空速度は実機の凡そ 0.44 倍の 10m/sec 程度に下がることになります。

以上のことから、実機と 1/3 模型のレイノルズ数は凡そ次のようになります。

$$\text{実機 } Re=1.04*23.0/1.50E-05 \approx 1.6E+06=1,600,000$$

$$\text{模型 } Re=0.347*10/1.50E-05 \approx 2.3E+05=230,000$$

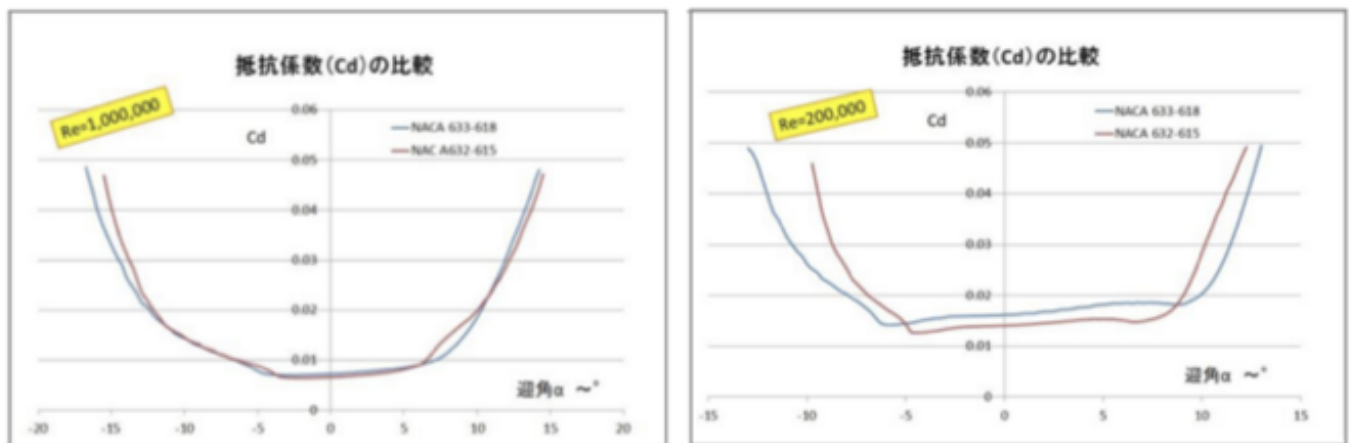
即ち、実機の 160 万に対して、模型は 23 万と実機の 14%程度に落ちますので、翼型の空力性能は実機よりかなり悪くなってしまうことが予想されます。そこで、模型のレイノルズ数で少しでも空力性能が良く、尚且つ実機の翼型のシルエットイメージを壊さないものを採用したいと思って探し当てた翼型が同じ NACA 6 シリーズの 15%翼厚の NACA632-615 です。両翼型の比較図を下に示します。



図面4 翼型比較

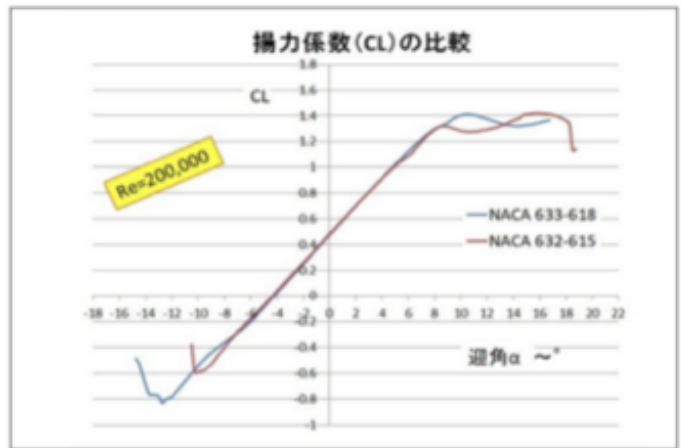
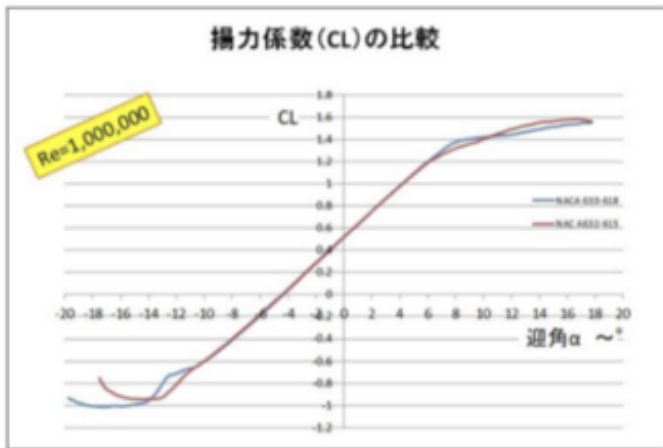
断面が見えない状態ではシルエット的に殆ど違いが判らないと思います。

次に、両翼型の空力性能を比較します。手元にあったデータはレイノルズ数 100 万と 20 万ですので、100 万を実機レイノルズ数、20 万を 1/3 模型レイノルズ数として見ます。まずは抵抗係数の比較です。



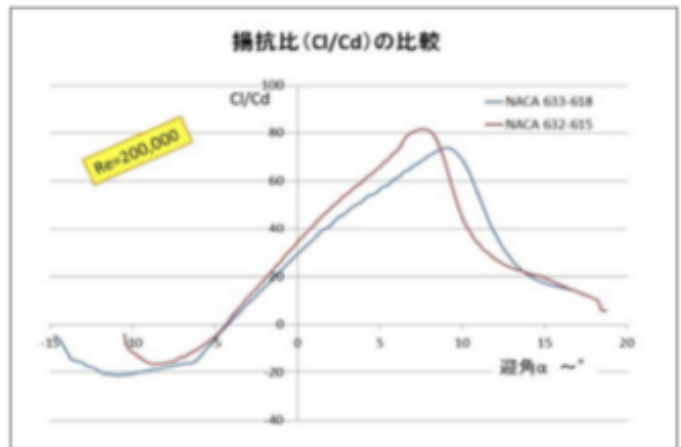
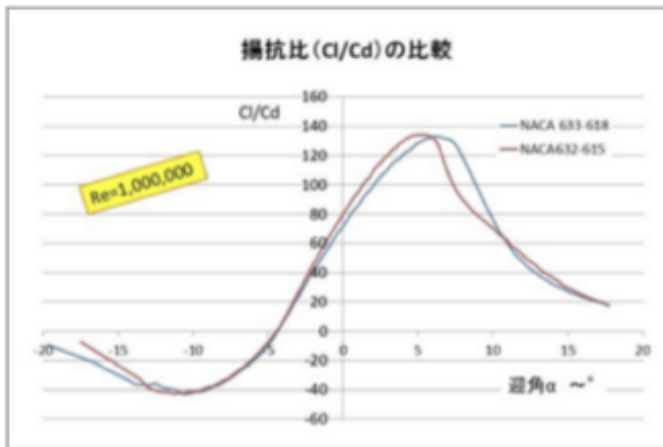
グラフ1 両翼型の抵抗係数比較

レイノルズ数が 100 万の時の両翼型の抵抗係数はほぼ同じで、迎角が -4° ~ $+6^{\circ}$ 程度の間は $C_d=0.007$ 程度の非常に小さい値を保ちます。一方模型レイノルズ数の $Re=20$ 万では、実機翼型の 633-618 は抵抗係数の低い迎角の範囲でもその値は $0.016\sim 0.018$ と $Re=100$ 万の場合の倍以上に増えます。一方 632-615 は $0.014\sim 0.015$ と倍増で済みます。



グラフ2 両翼型の揚力係数比較

このことからグライダーにとって重要な揚力と抗力の比である揚抗比 (Cl/Cd)は次のようになります。



グラフ3 両翼型の揚抗係数比較

Re=100 万では両翼型の揚抗比はほぼ同等で、最大揚抗比は 130 超が実現されますが Re=20 万では抵抗係数の違いから、迎角 7.5°付近の失角までは明らかに 632-615 の方が優れた特性を示します。最大揚抗比も 632-615 は 81.6、633-618 は 72.2 と、前者が約 13%程優れます。

以上のことから、実機のレイノルズ数では 18%翼型と 15%翼型の性能に差は殆ど無いことが判りました。厚翼にするほど構的には強度、剛性を確保し易くなりますから、実機が 18%翼型を採用した理由は良く判ります。一方 1/3 模型では最大揚抗比が実機の $72.2/132=0.55$ と激減しますから、少しでも滑空性能の劣化を食い止めるために、15%翼型を採用することに

しました。

基本構想その5 目標重量

基本構想の最後の項目として目標重量を定めました。方法は実機と手持ちの 1/5 模型の重量データから 1/3 模型の重量を推測して設定することにしました。

二乗三乗則

実機の世界では新規の機体を開発する場合、まだ色々なことが決まっていない計画の極初期段階でその重量を予測するのに、「二乗三乗則」という法則を用いて推測することがあります。これは、重量が既知の似たような形状の機体のデータから新規の機体の重量を推算するのに当たり、面積は大きさの比(寸法比)の二乗に、重量は三乗に比例するとして推測する方法です。例えば似たような機体の半分の大きさの機体の翼面積は $1/2 \times 1/2 = 1/4$ に、重量は $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ になるということです。

面積が $1/4$ になることは当然ですが、重量が $1/8$ になるということは次のように仮定していることになります。即ち、重量は体積に材料密度を掛けたものですが、半分の $1/2$ に小さくした機体の全ての構や搭載物は同じ材料と構様式で作られ材料密度も変わらない。ただ寸法(長さ、幅、厚さ)はそれぞれ半分で、体積が $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ に小さくなる、と想定している訳です。

最初はこの二乗三乗則を出発点にして必要な修正を加えて、1/3 模型の重量を予測しました。

グライダーの重量推測の留意点

普通のプロペラ機模型の重量推算では空虚重量を推算すれば済みますが、スケールグライダーの場合は事情が異なります。三田式三型改1の空虚重量は300Kgですが、搭乗員の乗っていない空虚重量状態では重心が後方過ぎで、当然そのままではRC装置を搭載した無人機としても飛行できません。2人搭乗した最大全備重量は450Kgですから、実に空虚重量の半分もの重

量(ペイロード)を搭載して重心が合 うという状況です。従って、模型グライダーの重量を推算するには空虚重量とペイロードの両者を考 え する必要があります。

私の作る模型グライダーは全て機首にモーターと折りペラを装着します。これは平地でも気軽に飛行を 楽しむためです。当然実機に無いこのような装置の重量はペイロード扱いです。そこで模型グライダー に搭載する装備品の重量区分を以下のように考えました。

ペイロード扱い	モーター、折りペラ&ハブ、動力用LiPo、アンプ、受信機、受信機用電源&S/W
空虚重量扱い	サーボ、サーボ用延長コード

サーボと延長コードを空虚重量扱いにしたのは実機でも操縦系統のリンクやケーブルが空虚重量に含ま れるからです。

実機と 1/5 模型の重量データ

因みに実機と手元にある 1/5 模型の空虚重量とペイロード重量を比較すると次のようになります。

	実機	1/5 模型
空虚重量	300Kg	2.10Kg
ペイロード	最大 150Kg	0.665Kg
飛行重量	最大 450Kg	2.77Kg

実機と 1/5 模型では材料も構 様式も異なりますが、強引に実機に二乗三乗則を適用してみますと、

$1/5 \text{ 模型予測空虚重量} = 300 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5 = 2.40\text{Kg}$
$\text{最大ペイロード} = 150 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5 = 1.20\text{Kg}$

強引な法則適用ではありますが、空虚重量は意外なほど実測重量の 2.10Kg に近いのに驚かされます。実 際の模型の空虚重量は予測値の

$2.10/2.40 \times 100 = 87.5\%$ で仕上がっています。ペイロードが最大ペイロード予測値の半分強で済んでいるのは重たいモーターが機首に搭載されているためです。この状態で追加おもり無しで重心が合います。

1/3 模型の予想重量(当初)

当初この二乗三乗則を用いて 1/3 模型の重量を次のように予想しました。

1. 空虚重量

実機データから予想すると	$300\text{Kg} \times 1/3 \times 1/3 \times 1/3 = 11.11\text{Kg}$
実機と模型の構や材料の違いを考えて 1/5 模型の実績に合わせて上の予想値の 87.5%とすると、	$11.11 \times 0.875 = 9.72\text{Kg}$
1/5 模型から予想すると	$2.10\text{Kg} \times 5/3 \times 5/3 \times 5/3 = 9.72\text{Kg}$
当然両推定値は同じ値になります。	

2. ペイロード

錘が無い状態のペイロードは 1/5 模型の実績値から推定して $0.665\text{Kg} \times 5/3 \times 5/3 \times 5/3 = 3.08\text{Kg}$
最大ペイロードは実機と同じように空虚重量の半分とすると、 $9.72\text{Kg} \times 0.5 = 4.86\text{Kg}$

以上から飛行重量は次のようになります。

錘のないノーマル飛行時	$9.72 + 3.08 = 12.80\text{Kg}$
錘を積んだ最大全	$9.72 + 4.86 = 14.58\text{Kg}$

1/3 模型の修正予想重量(目標重量)

当初は上のように重量予測して設計を進めていましたがその過程で次のことに気が付きました。翼の図面を書き進めると 1/3 模型と 1/5 模型で材料の板厚は左程違いを付ける必要がありません。リブやプランク等 1/5 模型とほぼ同じ 2 乃至 3mm 厚のバルサ材で済みます。比較的重量を食う被覆材も 1/5 模型と同じオラテックスにする予定ですので、厚さは同じです。つまり、これらの重量は寸法の三乗では無く二乗で増えます。

また桁は 1/5 模型ではヒノキ角材ですが、1/3 模型ではカーボン角柱にする計画にしましたので軽くなります。更に 1/5 模型のシナベニア組立に対してカーボンチューブ組立とします 1/3 模型の胴体構 も、 どうも三乗則程重量は増えないと思われます。

以上のことから 1/3 模型の重量は 1/5 模型にスケール比の二乗を乗じて推定することに修正しました。 1/5 模型の主要構成部の重量データがありますので、これを用いて 1/3 模型の主要構成部の重量を二乗則 で推定したのが下の値です。

	1/5 実績重量	1/3 推定重量
左外翼(エルロンサーボ込)	242g	672g
右外翼(同上)	244g	678g
中央翼(スポイラーサーボ込)	585g	1,625g
胴体(尾翼&それ用サーボ込)	1,029g	2,858g
合計(空虚重量)	2,100g	5,833g
ペイロード(モーター、LiPo 等)	665g	1,847g
再計(ノーマル飛行重量)	2,765g	7,680g
最大全備重量(空虚重量×1.5)		8,750g

端数処理をして 1/3 三田式三型改 1 の目標重量を次のように決めました。

	目標重量
左外翼	700g
右外翼	700g
中央翼	1,600g
胴体	2,800g
空虚重量	5,800g
ペイロード	1,800g
ノーマル飛行重量	7,600g
最大全備重量	8,700g

失敗1 後で示しますように残念ながら完成重量は約10Kgに達してしまいました。 1/5模型には無かった主翼補助桁の設置や装備品(脚ダンパー、計器盤、座席、曳航索リリース機構、エルロンフラッター防止錘、翼端車輪等)の装着、材料変更(桁ウェブのシナベニア化等)等が原因です。

この手痛い失敗から、3面図程度の情報しか得られない初期段階で精度良く模型飛行機の出来上がり 重量を推定する方法の開発が必要と痛感しました。

その後手持ちの機体十数機のデータを用いて、RC 飛行機の重量推定式を下記のように開発しました。

$$W=2,151L^{-0.11400}b^{-0.76204}S^{1.75388}$$

ここに、

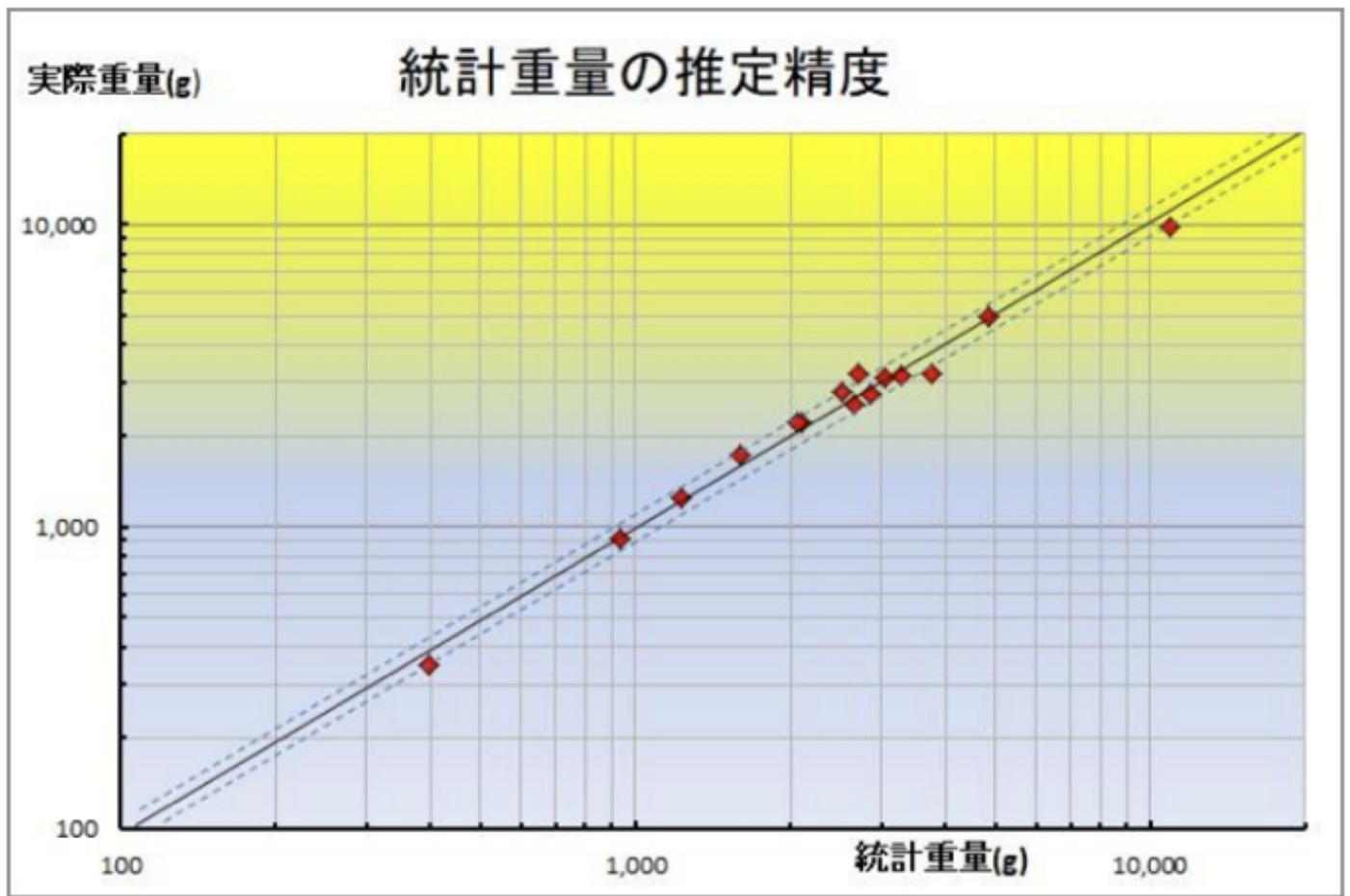
L: 胴体長 (mm)

b: 翼幅 (mm)

S: 主翼面積 (dm²)

W: 全備重量 (g)

この統計式はラジコン飛行機の全備重量(動力用 LiPo を含む飛行重量)を平均誤差 8.7%で推定します。

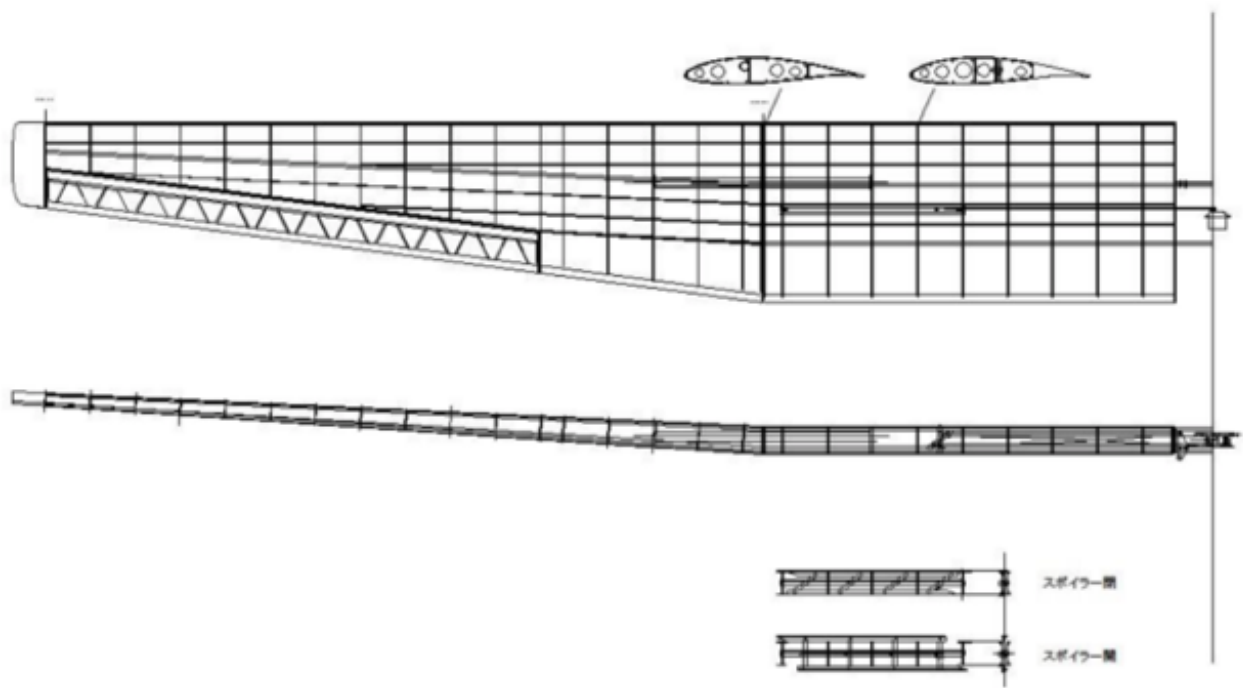


設計製作開始

基本構想も固まっていよいよ実際の詳細設計と製作段階です。

主翼の構造

図面 5 が設計した 1/3 模型の主翼構造図です。



図面5 主翼構造図面

主翼は中央翼と外翼で構成され、両者は外径 20φ、内径 16φ、長さ 480 mmのカーボンパイプ製カンザシ で結ばれます。両翼のカンザシ受けは肉厚 0.5 mmの薄いアルミチューブです。当初、アルミチューブは 1 mm肉厚のものしか見つからずそれを購入して作業を進めていましたが、私の工作室を見回していたら ジコンヘリのテールブームの予備部品が目につきました。内径を図って見たらピッタリ 20φ!。おまけ に肉厚も 0.5 mmで、カンザシ受けに最適です。これで重量が半分になりました。

主桁は前縁から約 35%の一番翼厚の厚いところに通します。中央翼は 6×4(外径 6 mm角で内側にφ4mm の空洞)のカーボン角パイプをフランジとし、1.6tのシナベニアのウェブで作る桁で、外翼はフランジ を 5×4 のカーボン角パイプとしました。この桁が曲げ荷重の大半を受け持ちます。強度計算(P22)で はもっと細いカーボンパイプでも持つことが判ったのですが、剛性を確保するために若干太めのパイプ を採用しました。

前縁から約 67%翼弦長の位置には補助桁が走ります。構 は主桁と同じですが、フランジを若干細くし て中央翼で 5×4、外翼で 4×2.8 のカーボン角パイプです。この補助桁は主桁と対になって主翼のねじり 荷重を胴体に伝えます。補助桁より前方部分は 2tバルサで全面プラックしてねじり剛性を確保し

ます。

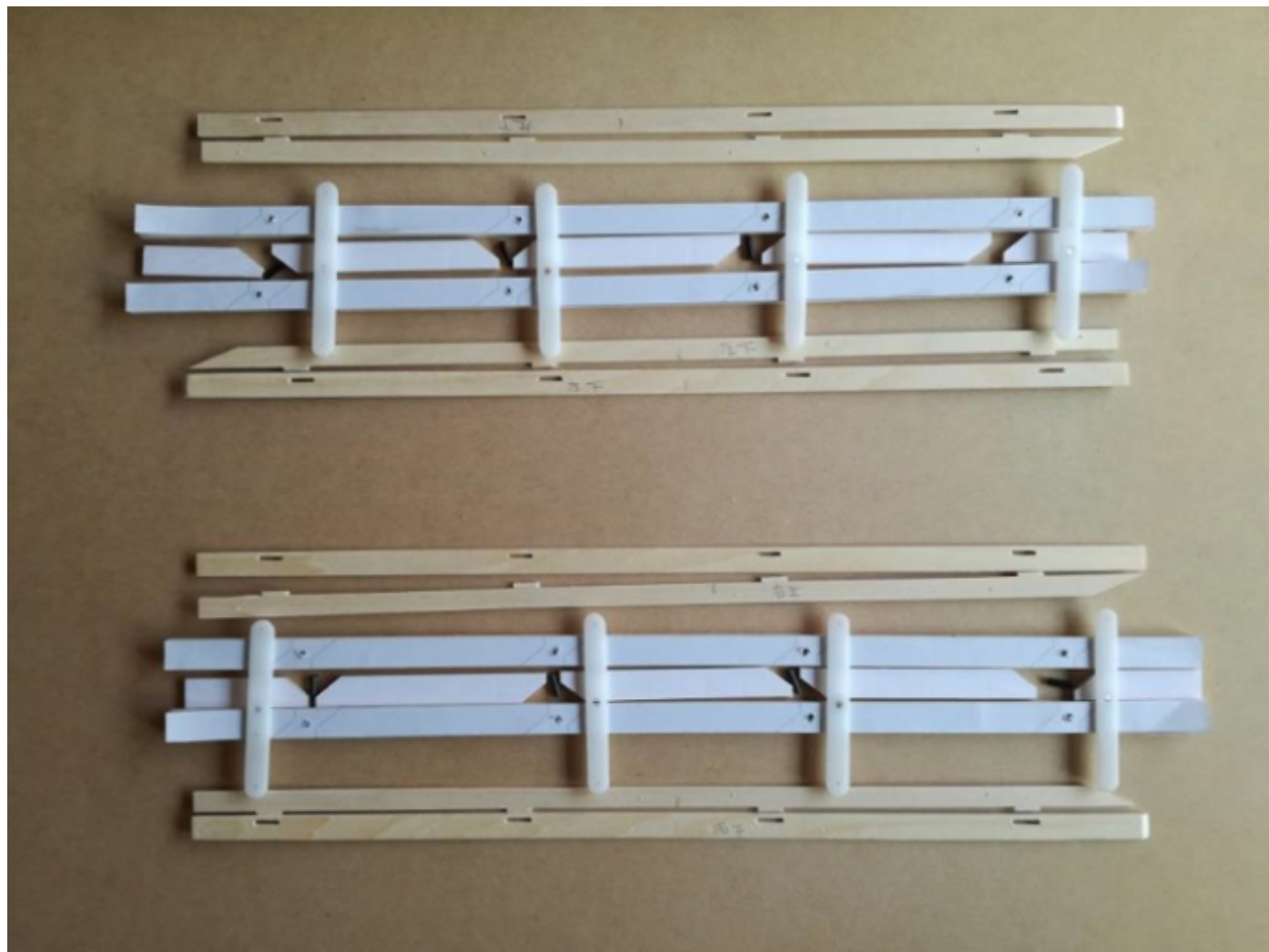
リブ間隔が 100 mmとやや広いのでプランク材のペコ対策として、前縁から主桁の間に上面 2 本、下面 2 本の計 4 本、主桁と補助桁の間に同じく計 4 本のストリンガーを通して、プランク材の剛性を上げています。ストリンガーは 2×5 のバルサ角材です。実機ではストリンガーではなく、前縁と主桁の間のリブ間に補助リブを配置して、前縁付近の重要な翼形状を保っています。私がこの方法を採用しなかった理由は以前製作した機体で補助リブを付けたことがあるのですが、主桁と前縁の短い距離の中で正確に補助リブの位置決めをすることが難しく、主リブとの翼上面の並行度の確保に苦労したことがあるからです。位置決め治具を設けない限り正確に補助リブを配置することは難しいです。リブは中央翼の大半が 3 tのバルサ、外翼は 3tと 2.5tのバルサ製です。両翼の合わせ面には 2tのハードバルサ製、中央翼最内側のリブには 1.6tのシナベニア製保護リブを貼りつけます。

外翼はテーパーしているためリブは外に行くほど小さくなります。当初 CAD だからこれは簡単に比例作図できるとたかをくくっていましたが、いざ実際に作図すると面倒なことに気が付きました。理論翼型は後縁が尖っていますが、そのままでは模型をぶつけたら簡単に凹んでしまいますので、2mm 程の厚みを持たせる必要があります。この厚さは、テーパーに関係せず一定でなければなりません。つまり、翼型の修正はリブ一枚一枚に施す必要があります。

更に、外翼には1°の捩じり下げを設けました。実機の捩じり下げの大きさが不明なので取り敢えず設定した角度です。リブの配置をこの捩じり下げに従って徐々に捩じっていかねばなりません、厄介なのは桁です。桁をリブと同時に捩じってしまうとカーボンパイプ製のフランジが捩じられることになります。カーボンパイプは捩じり剛性が高いので、これでは組立完了後に治具から外すと、捩じり戻って翼が歪んでしまうことが予想されます。それを避ける為にリブ本体は徐々に捩じって配置しますが、桁は捩じらない配置に設計する必要があり、結構な手間を求められました。何事も甘く見てはいけないと、反省しきりです。

製作その 1:スポイラー

2018 年 3 月末から図面が出来た部分から製作を開始しました。最初に製作に着手したのは中央翼です。これはテーパーの無い一定翼弦長なので製作が容易なことと、翼弦長 400mm、スパン 2,000mm という中央翼が実際のくらい大きいものか、実物で見てみたいと思ったからです。中央翼にはスポイラーが組み込まれますので、まずスポイラーから製作を開始しました。下の写真は組立前のスポイラー部品です。



画像5 最初に製作に着手したスポイラー

スポイラーは中央翼の上下翼面に飛び出します。2mm 厚の亚克力製ステーの上下に 1.6mm シナベニアを T 型に組んだ抵抗板を取付け、ステーの中央を 4mm バルサ 2 本で挟んで全体をリンク式に動くようにしました。上下各 2 本のシナベニアには切り込みと張り出しを設けて、T 型形状を作りやすくしています。2 本の 4mm バルサ棒の間にある斜めにカットした

短い棒は、4mm バルサ棒に挟んで接着し、スポイラーの作 動範囲を規定するものです。尚、このスポイラーは 2 本の両引きワイヤーを一番内側のステーに取り付 けてサーボで作動することにしました。

失敗2 実は簡単な構造 なので甘く見て早 速失敗しました。組み上がったスポイラーを手で動かしてみ たのですが、キチット設計通りの高さに収納されません。このままでは収納状態でも翼の上下面に若 干とび出してしまします。修正しようにも構 造上手が入りません。

不具合の原因を当たっているうちに気が着きました。アクリルステーの製作過程でその幅の寸法精度が コンマ数ミリ甘かったのです。このスポイラーの作動範囲は斜めにカットしたバルサの短い棒とアクリ ルステーとの接触によって決まります。バルサ短棒は正確に一発で切出せましたが、アクリルステーは 材料の性質上少し大きめに切出してからやすりで削って寸法を整えることになります。このやすりで削 る段階で図面寸法より若干大き目で終了した為に、図面より少ない角度で斜めにカットしたバルサ短棒 に接触してしまい、キチット収納できないことになったのです。

自分で図面を書いているながらお恥ずかし不始末でした。結局スポイラーは作り直しました。

失敗3 尚、このスポイラーの設計が本機開発で最大の失敗であったことが完成後の飛行試験で判明し ました。それはスポイラーの飛び出し量が不足したのです。

私はスポイラーが翼表面から少しでも飛び出せば、空気の流れが乱されて主翼の抵抗が大幅に増加し、 スポイラー効果が発揮できるものと考えていました。その為飛び出し量を余り気にせず、実機の飛び出 し量を測定することもしないで、適当に決めた 12 mm弱の飛び出し量で設計してしまいました。 実はスポイラーは主翼の抵抗を増すだけではなく、自身も抵抗版となってブレーキ効果を発揮して機 を減 させる機能があることを後で知ったのです。その為にはスポイラーを翼面から大きく飛び出して 境界層の外に出す必要があります。私の設計したスポイラーは主翼の抵抗増加で降下角調整には良く効 きますが、飛び出し量不足のためにブレーキ効果が悪く、着陸

度のコントロール能力が不足と判明しました。

本機の完成後に実機を所有されていた K 氏にお披露目した際にも早 スパイラー飛び出し量の不足を指摘されました。倍程度の飛び出しにすべきであったと後悔していますが後の祭りです。

教訓1 自己の思い込みを排除して、知識不足の場合は調査を徹底すること。

©2021