

# 2002 年度 東京大学飛行理論実践委員会報告書

## 目次

第 I 部 設計	6
1 概念設計	6
2 主翼平面形	6
3 主翼桁構造	6
4 桁接合部	7
5 尾翼	8
6 パイプ	9
7 リヤスパー	10
8 コックピット	10
9 最後に	11
第 II 部 主翼班	12
10 ワイヤ及びワイヤ取り付け金具	12
10.1 主桁側	12
10.2 コックピット後部支柱キャスター側	12
10.3 キングポスト側	12
10.4 シンプル・シャックル	13
10.5 ワイヤの長さ調節	13
10.6 フェアリング	13
10.7 安全審査	13
11 リブ関係	13

11.1	リブ切り	13
11.2	リブ接着	14
11.3	リブの変形について	14
12	エスレンシート	14
13	後縁材	14
13.1	今年度の後縁材	14
13.2	湿気によるゆがみについて	15
14	桁接合部の金具	16
14.1	リアスパ側	16
14.2	主桁側	16
15	荷重試験	16
16	尾翼	16
16.1	リブ	16
16.2	操舵	16
16.3	エスレンシート	17
17	主桁・リアスパ間の架橋部となるカーボンパイプによる構造体（以後菜箸と呼ぶ）	17
17.1	概要と作り方、作る時の緒注意	17
17.2	今年の問題点	19
18	大会準備	19
19	特別付録<スタイロ5 mm カット>	19
<b>第 III 部 駆動班</b>		<b>21</b>
20	一年で作ったもの	21
21	問題点と対処法	21
21.1	プロペラシャフト側チェーンの歯飛び	21
21.2	スプロケボックス支持台の分解	21
21.3	BB の軸が外れた	21
21.4	クランク固定のボルトがなめた	21
21.5	チェーンとテンショナープレートの干渉	22
21.6	キャストの破壊	22
22	注意点	22
23	来期の改善予定	22

第Ⅳ部 操舵班	23
24 1年間で作ったもの	23
25 内蔵式について	23
25.1 メリットとデメリット	23
25.2 初期設計から	24
25.3 問題点&改善	24
26 操縦桿について	25
26.1 変更点について	25
26.2 従来のもを真似た部分について。	26
26.3 注意点&工作法	26
27 尾翼アーム(胴体側)について	27
27.1 注意点	27
27.2 問題点	27
27.3 工作法	28
27.4 改善点	29
28 尾翼アーム(尾翼側)	29
28.1 注意点	29
28.2 工作法	29
28.3 改善点	30
29 全体について	30
29.1 注意点	30
29.2 ワイヤのつなげ方	30
30 スケジュール	30
第Ⅴ部 プロペラ班	32
31 設計	32
31.1 空力設計	32
31.2 空力設計における反省点	32
31.3 構造設計	32
31.4 構造設計における反省点	34
32 製作	35
32.1 桁とリブ	35
32.2 治具とリブ	36

32.3	リブの接着	37
32.4	前・後縁のバルサ材	37
32.5	外皮バルサの貼り付け	37
32.6	フィルムの貼り付け	37
32.7	ハブ	38
32.8	その他	38
第Ⅵ部 フェアリング班		40
33	はじめに	40
34	本年度フェアリング図面	40
35	作業の内容	41
35.1	本年度の製作日程	41
36	本年度の制作方法	41
36.1	材料の切り出し	41
36.2	一次構造材の製作	41
36.3	水平方向の部材の接合	42
36.4	前部・後部の骨組み	42
36.5	前部・後部の外面の貼り付け	43
36.6	軽量化	43
36.7	ドア部分の製作	43
36.8	仕上げ	44
36.9	ポート	44
36.10	運搬	44
37	製作上の注意点	44
38	本年度の反省・工夫	45
38.1	製作システムに関する問題点	45
38.2	製作開始の遅れ	46
38.3	知識不足	46
38.4	参加人数の少なさ	46
38.5	意思疎通の失敗	47
38.6	製作に関する問題点	47
38.7	製作精度の低さ	47
38.8	制作方法の検討	48
38.9	材料の洗い直し	48
39	本年度の工夫	49

40	来年度に向けて	49
40.1	フェアリング班の設置	49
40.2	最初の段階での制作方法・図面の確認	50
40.3	二年生以上の参加	50
40.4	ミーティング	50
41	製作に対する解決案	50
41.1	型紙の改良	51
41.2	ドア部分について	51
41.3	接着方法について	51
41.4	塩ビ板について	51
41.5	治具の改良	51
41.6	ボートの製作について	52
41.7	空冷方法について	52
41.8	運搬用のダンボールについて	52
42	まとめ	52
第 VII 部 計測班		54
43	あらまし	54
44	各システムの原理	54
44.1	対気速度計	54
44.2	回転数計	54
44.3	データロガー	55
45	当初のシステム	55
45.1	回路	55
45.2	ソフト	56
45.3	反省	56
46	大会で使用したシステム	57
46.1	回路	57
46.2	ソフト	57
46.3	大会仕様のシステム	58
47	得られたデータ	58
48	最後に	58

# 第 I 部

## 設計

### 1 概念設計

先代のパイロットと私の体格（主に体重とパワー）が似ていたこともあり、従来と変えていない。大型低速にするか、小型高速にするかはもっと迷ってもよいと思われる。大型低速では構造が厳しく、風に弱く、ペダル負荷が楽になる。逆に小型高速は構造が楽に、風に強く、ペダルが重くなる。ただし、あまり高速だと試験飛行で地上の人間が追いつけないため、専用の地上人配置を考え出す必要がある。

設計の前提として機体総重量 100kg をあらかじめ仮定してしまったが、実際には 94kg であった。これは誤差として無視できる差ではない。そんなに軽いのならフィードバックして設計しなおすべきところである。設計前にすでにあるコックピット、翼などの重量を測定しておき、設計ではなるべく実際の重量に近い値を用いるべきだ。

### 2 主翼平面形

翼端失速を防ぎつつ飛行機効率  $e$  を大きくすることが主題である。従来  $C_l$  は翼端失速を防ぐことを重視し、「最大値が翼根にあり、翼端に向かって単調減少する」ように設計されており、tip chord は 650 以上に制限されていた。本年度は  $e$  の値を大きくすることを考え、「最大値が翼根にあり、ほぼ一定」となるように設計、tip chord を若干小さくし 470 とした。本番のフライトでは翼根から失速していたようで、本年度の設計方針で翼端失速の危険が現れることはないようである。また  $C_l$  が一定であるとみなすことができると、 $l$  の分布がコード長の分布と同じになるため構造設計のとき計算が一段階楽になる。

### 3 主翼桁構造

従来よりワイヤ取り付け位置が中央に近い。すなはち片持ちに近づいている。これは、たわみ曲率を一箇所に集中させないこと、ワイヤで発生する抗力を小さくすることが目的である。この曲率均等化計画は完全に達成できていない。従来ワイヤより内側には B.M. はほとんどかからない設計だったが、たんせい 9 号ではワイヤより内側でほぼ一定の強い B.M. がかかる。(図 1) そのため中央、内翼はもちろん曲げ剛性が強いものでなければならない。しかし忘れてはいけないのが、完全に片持ちにさらされる外翼もまた大幅に強化されなければならないということだ。旧ワイヤ取り付け位置だった sta7.8m より外側では B.M. の値に新旧で大差はない。そもそもワイヤ取り付け位置 (sta7.8m) で曲率が大きいことを避けるための設計なので、この位置でのパイプの曲げ剛性が強くならなくては意味がない。本当は外翼にもっと薄肉大径のパイプを使いたかった。予算の都合上これを断念した。

ワイヤ位置が胴体に近ければ、桁が剛性の必要性から重くなり、ワイヤで発生する分の空気抵抗が減る。逆にワイヤ位置が胴体から遠いと桁は軽く作れるがワイヤの抗力が大きい。どこかにその最適な位置があるかもしれない。

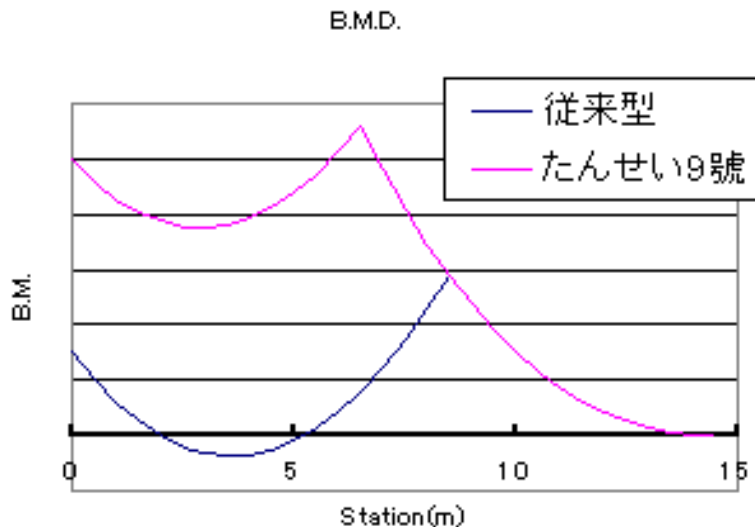


図1: 新旧 B.M.D. の比較

B.M.D. と主桁曲げ剛性のグラフ形状をなるべく似た形に近づけたほうがよい。曲げ剛性の過不足がない方が重量配分の効率がよいからである。ワイヤ取り付け位置がパイプのど真ん中にあると、そのパイプの両端はオーバースペックとなる。このため、ワイヤ取り付け位置は桁接合部付近がよいと思われる。ただし、接合部は応力分布が複雑に変化するところであり、ぴったり接合部の位置にするのは気持ち悪い。

たんせい八號以前では最大応力は  $730\text{MPa}$  ( $\text{B.M.}45\text{kgf}\cdot\text{m}$ ) 程度、一方九號では  $420\text{MPa}$  ( $\text{B.M.}90\text{kgf}\cdot\text{m}$ ) 程度である。許容応力は例年  $800\text{MPa}$  としている。剛性の要求から I を増していったところ、強度の面での安全率がとんでもなく大きくなってしまった。このような事態は様々な設計現場で自然に起こることであり、間違った方向性ではないのだが、何とかしたくはある。しかも東邦テナックスが提示する曲げ強度は  $1500\text{MPa}$  であり、実はもっといける。G が大きくなっていったとき、先に壊れるのはむしろ接合部などだろう。一概になんとも言えないが、強度と剛性がバランスよくマッチするのは脆弱なパイプ(を、使う設計のとき)かもしれない。

本年度の中央翼は従来よりかなり長い。そのため迎角を固定するためにはど真ん中に強烈な菜箸(リヤスパーと主桁をつなぐ架橋の部材をこう呼んでいる。)が必要だった。これがないとリヤスパーが非常に大きいたわみ、迎角が小さくなってしまふ。今まで中央翼が短かったため必要性は気付かれていなかったが、このような菜箸は本来いかなる設計のときでも必要なものである。(図2)

#### 4 桁接合部

今回の外 最外翼接合部は救いようのないミスであるといわざるを得ない。桁は主に外側に向かって細くなるテーパがかかっている。にもかかわらず、直径の小さい最外翼を雄にしては、ガタができないはずがない(しかしあんまりばれていない)。

中央 内翼、内 外翼接合部にはごっついアルミリングが使われていたが、これは不必要に重い。内翼は二つのパイプを中子によってつないでいるが、この中子にもこのごっついアルミリングが使われている。さっさ

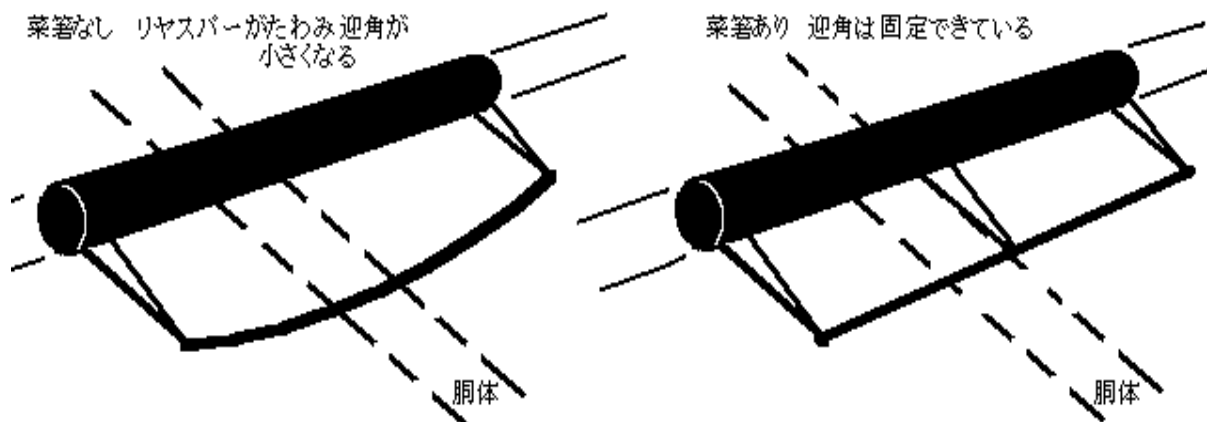


図 2: 中央菜箸の必要性

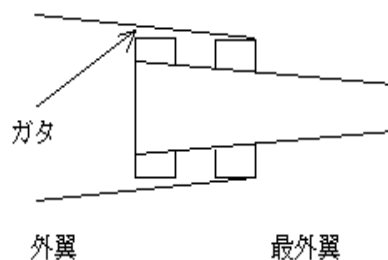


図 3: 外 最外翼接合部のガタ

とぶった切ってこの部分を削除したい。ぎりぎり小さな径のパイプがなかったためにそうせざるを得なかった。径の同じ 2 パイプを接合するなら中子には径がぎりぎり小さいパイプを使いたい。そのためのパイプを発注してもよいだろう。一方、径が大きく異なるパイプを接合する必要に迫られる場合もある。このとき何かリングをつけるなどして径をあわせなければならない。ヤマハがこのような部分にバルサを用いていることからわかるように、もっと僅かな圧縮剛性しか持たない材質でもよいと思われる。さしあたり思いつくのは発泡ウレタンや木材が。

接合される二つのパイプの直径が同じであると、中子が両方のパイプの内側になければならず、若干重量的、信頼性的に損である。

## 5 尾翼

尾翼面積をいくら小さくしても空気抵抗はまるっきり変わらない。尾翼面積が大きくなることでの抗力増の罪より、尾翼面積を小さくするためにテールアームを長くすることによる、重量増、重心位置後退の罪の方が重い可能性がある。それならば安定性のため思い切って大きくした方がよい。ただし、垂直尾翼についてはあまり大きくしすぎるとスパイラル、小さくしすぎるとダッチロールが起こるため慎重に容積比を選ぶべきである。特に  $V_f$  を 0.011 以上にすることは traumatic である。



リブ型紙ははじめから box 構造を前提としてしまえばよい。

## 6 パイプ

東邦テナックスパイプは最外に 0.06t の 90° 層が強制的に 1ply 入る。一方三菱レーヨンパイプは最外が 0° 層である。重量増はもちろんあるが、東邦テナックスパイプの扱いやすさ、断面変形に対する剛性は三菱レーヨンパイプの比ではない。

中央、内翼は東邦テナックスに発注した楕円パイプで、上下だけ 0° 層が多くなっているが、一周分ある通常の 0° 層も 2ply ある。いっそのことこの 0° 層を完全に無くし、曲げ中立面近くには 0° 層が一切ない状態にしてみてもどうか。

さて楕円パイプは硬化処理後の収縮のため上下に微妙に (1mm 程度) つぶれる。I が小さくなることはほぼ無視できるが、外形が真円からずれることで、リブをつけたり角度をあわせたりするのが難しくなる可能性がある。断面内で肉厚差があまり大きいとつぶれが大きくなるだろう。今年は 0° 層の ply 構成による上下の伸びと収縮によるつぶれがうまく相殺して、外形はたまたま真円になってしまった (図 4)。

0° 層の ply 構成は図面で指定するのだが、 $\pm 10^\circ$  くらいの誤差があるような気がする。設計時点でその誤差は考慮すべきだった。

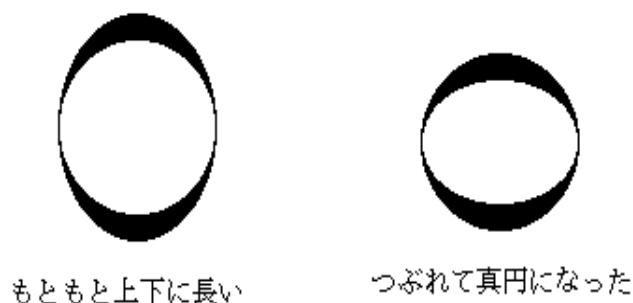


図 4: 熱収縮による断面変形

狭いところに入っていく必要のあるリヤスパーは別として、あらゆるパイプをもっと限界まで径を大きくすれば同じ断面二次モーメント I でも断面積を減らせる。ただしこのとき cylindrical 変形に対する剛性が低下する。断面変形を防がないと、曲げモーメントがかかったとき断面がつぶれ実質的な I が減る可能性がある。90° 層が最外、最内にあって全体をはさむようなときこれを防ぐ剛性はかなり大きい。それが東邦テナックスパイプである。三菱レーヨンに発注する際にも最外に 90° 層を 1ply 指定するとよいかも知れない。あるいは竹の節でも作るか。

図 5 で、平板の曲げ剛性

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

として、 $D_B$  は  $D_A$  の 200 倍～。

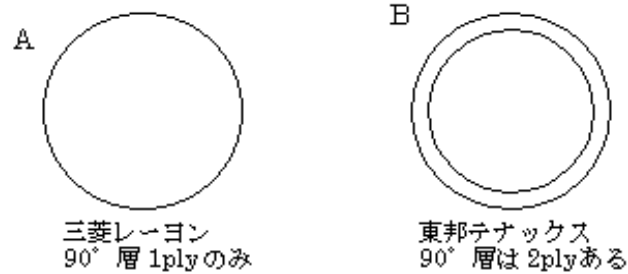


図 5: 90°層配置

## 7 リヤスパー

菜箸には元リヤスパーの 20 のパイプを使ったが、これはオーバースペックである。

リヤスパー接合金具はパイプ間の角度を拘束し、曲げモーメントを伝えるようにした。金具の 2 ピンはスパン方向に並んでいるが上下に並んでいればもっと小さくできる。(図 6) ただし、金具が翼型からはみ出やすくなるので、リヤスパーを主桁に近づけてしまうかリヤスパーが上下にずれないように注意して精度よく工作する必要がある。

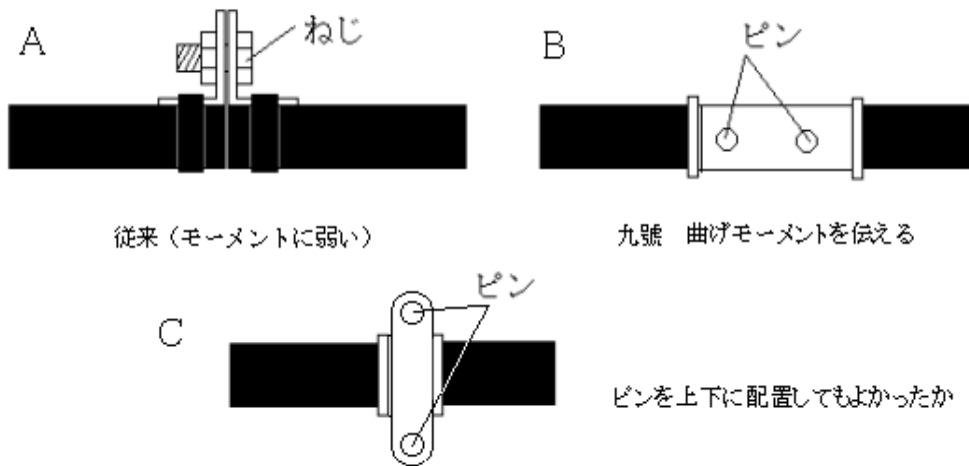


図 6: リヤスパー接合

## 8 コックピット

サドル、ハンドル、ペダル位置はパイロットの自転車を極限まで再現すべきである。操縦桿は、ワイヤーを配置するためある程度トップチューブから離れた位置にならざるを得ない。すると操縦桿位置が高いためにこぎやすい前傾姿勢がとれない。そこで、トップチューブを斜めにするこて操縦桿位置を下げた。サドル部分

を高くするという方法も考えられる。

コックピット前支柱は視界を著しく悪くしている。もっと遠ざけてもよいだろう。しかしやりすぎると操縦桿が取り付けづらい。

## 9 最後に

設計するにあたっては過去のデータ、他チームのデータをすべからく把握しておくべきである。さもないと、気付かぬうちに過去の失敗の繰り返しに終わることになりかねない。たとえそれが自分ですばらしいと思うアイデアだとしても、だ。また不安な個所について、よい方法があるにもかかわらずそれを知らずに安全策をとり、オーバースペックになることもある。いや、あった。

## 第 II 部

# 主翼班

(これがどこまで役に立つのかわかりませんが、今年やった反省として書きました。複数で担当したため、文章に統一感が欠けていますがご了承ください。)

## 10 ワイヤ及びワイヤ取り付け金具

### 10.1 主桁側

初めに製作した金具(第1回試験飛行にて破損)は厚さ  $1mm$  のアルミ板を用いた。2つ目は  $1.5$  厚のジュラルミン板を用いた。シンプルやシャックルを通す穴は  $\phi 7.0$  で開けた。これは昨年度の取り付け金具の設計を引き継いだ。シャックルのピンの直径は  $\phi 6.0$  であったが、ピンの径と穴の径がぴったりだとワイヤにテンションがかかった状態でピンを穴に通すのは困難なので、穴は  $\phi 7.0$  あたりが妥当だと思われる。取り付け金具の幅は  $25$ 、接着部分の長さは  $50$ 、非接合部分の長さは  $55$  とした。昨年度の取り付け金具を大体引き継ぎ、桁と金具の穴との間にシャックルやシンプルを入れるためのスペースを設けること、金具にシンプルやシャックルをはめられること、接着面積を充分にとることを考慮した。接着面積はこれで充分であったと思われるが、最低限必要な接着面積を定量的に求める必要があると感じた。

第1回試験飛行後、コックピット後部支柱キャスター部分の取り付け金具を見たところ、シャックルを通すところの穴が圧縮により変形していたので、主翼下側ワイヤの取り付け金具のシャックルの穴の部分は  $25 \times 30$  程度のジュラルミン板をエポキシで接着した。しかし、金具の厚みがありすぎるとシンプルが入らないので、今年のようにジュラルミン板を貼り合わせる必要性などは検討する必要がある。上側ワイヤの金具は、大きさは下側ワイヤのものと同じにしたが、穴の部分にもう一枚ジュラルミン板を貼り合わせることはしなかった。接着した後に気付いたのだが、金具の幅を取りすぎて、小さいシンプルが入らなくなってしまっていた。今年作った金具は1個  $10g$  ほどだったので、無理に軽量化をする必要はないと思う。接着は桁と金具をエポキシで接着し、その上からエポキシをしみこませたカーボンローピングを巻きつけた。

### 10.2 コックピット後部支柱キャスター側

第1回試験飛行では昨年度のものを使っていたが、材質が不明なため同じ形のを、 $1.5$  ジュラルミン板を用いて作り直した。キャスターとコックピットの支柱との間に挟んで固定した。

### 10.3 キングポスト側

キングポストの部分の金具は昨年度のものをそのまま使用したので、今年は作っていない。しかし、特に問題は見当たらなかった。

## 10.4 シンプル・シャックル

シンプルやシャックルはステンレス製なのでそれなりに強度に問題ないとは思われるが、実際にその許容荷重を調べようと思って調べてみたがどこにも見当たらなかった（調べ方が悪いだけだと思うが）。やはり来年度は、張線関連の部品はその強度を調べてから使うべきである。シャックルは斜めに荷重がかかると意外にもろいということなので、シャックルと取り付け金具の隙間に板を入れた。

## 10.5 ワイヤの長さ調節

今年は試験飛行中にワイヤの長さを変えることがなかったので特に問題にならなかったが、長さ調節をするという状況はありうるので、時間のかからない調節方法を考えておかなければいけない。

## 10.6 フェアリング

コックピット後部支柱キャスト部分のワイヤ取り付け金具は、コックピットにフェアリングを取り付けるとその内側に入ってしまうので、フェアリングにワイヤの通る穴を開けてもらわなければいけないのだが、今年はそのことを忘れていて、琵琶湖で開けることになってしまった。傾きを計算すればどこにその穴を開ければいいかわかるにはわかるが、現物合わせ的な側面もあるので、最後の試験飛行までにはやっておかなければいけない。またその穴の必要な大きさも求めておくと便利である。

## 10.7 安全審査

昨年、今年と読売テレビに出した設計計算書には、ワイヤは警戒色で塗って人が引っかからないようにするといったことが書いてあり、おそらく毎年書かれると思うので、ワイヤに色をつけるのを忘れずに。必ずしも蛍光黄色がよいとは思わないが、他に妥当な色も思いつかない。琵琶湖での安全審査時にワイヤを付けさせられる可能性がある。片翼だけワイヤを取り付けるとキングポストに大きな力がかかるなど好ましくないので、シンプルを付けた状態の10cm程度のワイヤを用意しておいて、それを実際のワイヤとシャックルでつなぐことでワイヤを充分長くしておき、取り付けでも張力がかからないようにして対策した。

# 11 リブ関係

## 11.1 リブ切り

今年はスタイロフォームを使うということで、 $100 \times 910 \times 1820$  のブロックから5 厚に切り出したのだが、リブ1枚分ずつ切り出していったので、効率が悪く大量のスタイロフォームごみが出てしまった。作業場の広さとの兼ね合いもあるが、もっと大きなサイズの5 厚のスタイロフォームが切り出せるようにしなければいけない。リブを切るときは型紙や木で作った型をスタイロフォームに貼り付けて熱線カッターを用いて切った。幾つかしるしを付ける箇所があるが、ペンの太さに充分気をつけないと迎角を合わせられないので、印や線を引くための細いペンを用意しておくべきである。今年度のリブで失敗したのは、エスレンシートの糊代となる部分の精度にあまり気を使わなかったことであるが、これは容易に改善できるので大きな問

題ではない。スタイロフォームは石川商店というところに注文した。1週間強で配達してくれる。電話番号は紛失。

## 11.2 リブ接着

迎角を合わせるために、錘のついた糸をリブに貼ってリブに引いた線と合わせるといった方法をとった。最初は桁の順序をあまり深く考えずに接着してしまった。桁と桁の間でのねじりをなくすためには、中央翼から順に接着していくのがよいと思う。スチのりは乾くまでに時間がかかるので、接着時には迎え角が合っても、徐々にリブの自重によって回転してしまうことがあったので、接着してから1時間ほどたったらもう一度迎え角を調整したほうがよい。

## 11.3 リブの変形について

リアスパのある翼ではリブを桁の端から入れていくわけにはいかないので、桁にはめ込むための切込みを入れなければいけないが、接着の際にこの切込みが接着されていないか、ずれたまま接着されていたりしたことがあり、リブの変形の原因となっていた。

各翼の両端2枚のリブは、フィルムの張力により著しく変形し、また試験飛行等で壊れやすいところなので、厚いスタイロフォームを用いるなど対策が必要。

## 12 エスレンシート

エスレンシートは $1 \times 570 \times 1000mm$ であったので、1枚は半分に曲げ、まげていないもう1枚と貼り合わせて、それをリブに貼った。曲げるときのパイプの径は前縁半径から求めた。

エスレンシートはちょっとしたことで折れたり、凸凹になったりするので非常に取り扱いが大変である。試験飛行で傷ついたり凹んでしまったりしたエスレンシートを貼りかえる作業は時間がかかるうえ、エスレンシートをはがしたところのリブにはスチのりの固まりが残っていたりして翼型の精度を悪くしかねないので、来年度は極力エスレンシートを使わずに、新しい材料を探すべきである。

今年度は尾翼では翼端部はリブの周全体をエスレンシートで覆い、フィルムによる張力によってリブが変形するのを防いだ。主翼でも各翼の両端で同様の対策を考えるべき。

## 13 後縁材

### 13.1 今年度の後縁材

後縁材はプラ板を用いて湿気の影響を受けないものを製作しようと試みた。スチロール板は重量、強度を考え0.3厚の物を用い、以下のようなサイズのものを作製し、重量の面でパルサよりも優れていることを確認した。断面の直角三角形を維持するためのスチロール板がなかに入っている。スチロール板を曲げる手段としてニクロム線に電流を流して発熱させ、その熱線を直線の溝を掘った板に置いたスチロール板に押し付けるといった方法をとった。しかし大きなサイズのスチロール板（少なくとも一辺が1m程度あるもの）が見つからなかったこと、30m分作るのに大変な労力を要すること、ある程度の長さを作るとねじりが生じてしまうこと

が解決されず、諦めた。

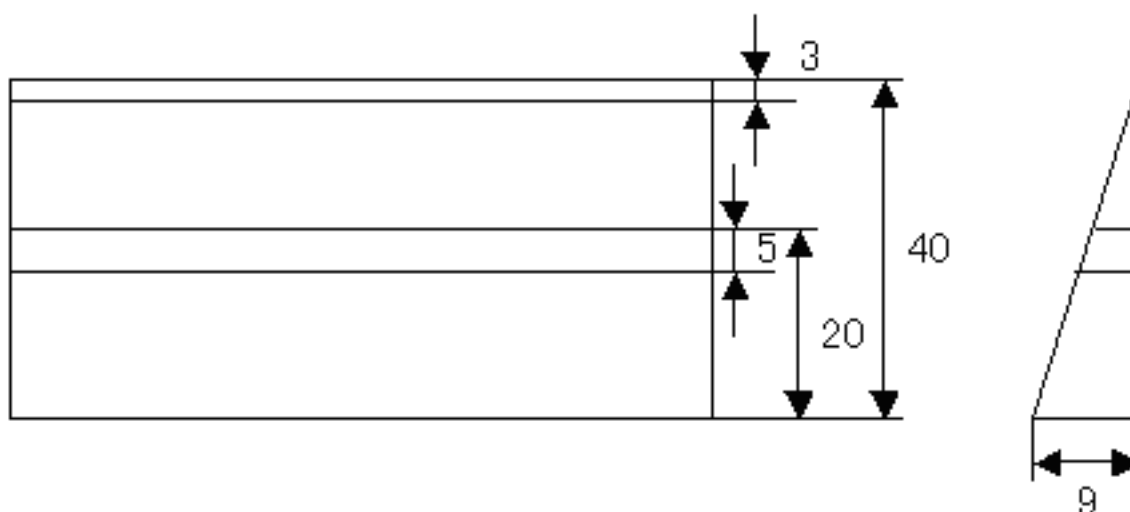


図 7: 後縁材

そこで例年通りバルサ材を用いた。主翼の後縁材は断面が直角三角形のものを用いた。バルサ材 1 本の長さは 1m 程度なので、数本をつなぎ合わせて各々の翼の後縁材とする。つなぎ合わせ方は、2 本のバルサ材の端を字型に切り、断面にボンドをつけ、なるべく平らな面で、メーター尺等を用いてまっすぐになるように接着する。その際、適当な長さに切ったカーボンローピングと瞬間接着剤で 2 本のバルサ材を固定するとよい。今回は中央翼から最外翼まで同じ大きさのバルサ材を使用した。翼ごとに大きさを変えるのもよいと思う。

数  $m$  の長さになったバルサ材をリブに接着する際には、後縁材がねじれないようにする工夫が必要である。リブとの接着は適当な長さに切ったカーボンローピングがリブと後縁材の橋渡しをした状態で、瞬間接着剤を用いて行った。

尾翼用の後縁材は二等辺三角形のバルサ材を用いた。これは尾翼の翼型が対称であるためである。バルサ材の断面の形状は後縁角から算出。

バルサ材は木村バルサというところに断面の形、長さを指定して注文した。ただし、バルサ材の長さは 910 あたりの無難なところで指定したほうがよい。1 週間程度で宅配してくれる。木村バルサの FAX 番号は紛失。

### 13.2 湿気によるゆがみについて

当初心配されていたほど湿気によるゆがみは大きくなかったが、やはりニス塗り等の対策は必須であると感じた。今年に関しては 6 月まではほとんどゆがみは見られなかったが 7 月になって多少ゆがみが見られた。試験飛行後にバルサ材を新しくするのがよいと思われる。ただ、大会直前は時間的に厳しいかもしれない。しかし早めに準備しすぎると結局ゆがんでしまうことが考えられるので、その辺の折り合いが難しい。

今回の後縁材のゆがみが小さかった原因として、昨年度よりも幅が大きかったことが考えられる。更なるゆがみ対策としては、ゆがむのはおおむね翼に垂直な方向なので、今回のよりも厚みを増すことが考えられる。

## 14 桁接合部の金具

### 14.1 リアスパ側

今回のリアスパ側の接合部は、互いをピンで接合していたので接合は楽であるように感じた。円筒形の部分をリアスパに差し込んで、その隙間にエポキシを詰めていくという方法で接着した。金具の円筒の部分の外形とリアスパの内径の差は1mm以下であったにもかかわらず、ただ差し込んだだけでは金具はゆるゆるであった。しかしその隙間にエポキシを詰め込むとか押し込むとか流し込むのは非常に困難で、確実な接着という観点からすると今年のような金具の形は好ましくない。

### 14.2 主桁側

主桁側の接合部は加重試験ではアクリルを使用したが、接着強度が足りないということで、L字型の金具を桁の両端に接着して、その金具同士をボルトで固定する方法を取った。ボルト固定は実際作業をするとスパナや六角レンチを入れるスペースが狭いことなどもあり非常に時間がかかるが、このタイプの金具が一番妥当だと思われる。接着はワイヤ取り付け金具と同様にカーボンローピングを用いた。

## 15 荷重試験

先端研敷地内の広いスペースを使用。桁を上下さかさまにして、高さ2.5mくらいの(つまり最終的なたわみよりも高い)台に中央翼をのせ固定。このとき回転しないようにリアスパも固定。事前に計算して求めた重さにあわせた錘(ペットボトル)を順に吊り下げていく。今年は3分の1の錘を吊り下げたところで桁を接合に使用していたアクリル板の剥離を発見し、その時点で中止とした。このとき台の上に固定されていた中央翼をみると、主桁は特に問題は見当たらなかったが、リアスパが中央から左右0.5mあたりの点での2点支持になっていて、その部分でリアスパが著しくたわんでいた。これは支持台の形状を工夫して改善する必要がある。

## 16 尾翼

### 16.1 リブ

尾翼のリブはすべてに錘をたらし接着した。翼弦長が短いと糸とリブの線とのずれには特に慎重になる必要がある。また出来ることならリブの穴のところの切り込みは入れないほうがよい。これはリアスパのない翼全てに言える。

### 16.2 操舵

操舵班が尾翼を回転させるために桁に接着しようとしていた部品とリブの位置が重なっていて操舵班に変更してもらったが、リブを貼るのに邪魔にならないような部品を操舵に作ってもらう必要がある。



### 16.3 エスレンシート

尾翼はリアスパがないため、翼端のリブが自重やフィルムの張力によって変形する。このため翼端はエスレンシートを後縁側まで貼り、ボックス構造にした。

また尾翼のエスレンシートはフィルム貼りの時に凹んでしまうことが多く、翼形の精度に影響を与えしまう。リブを増やす等の対策方法が考えられる。操舵アーム付近のエスレンシートは、アームを通すために大きめに貼った。

## 17 主桁・リアスパ間の架橋部となるカーボンパイプによる構造体（以後菜箸と呼ぶ）

### 17.1 概要と作り方、作る時の緒注意

今年度は外径  $21.5\text{mm}$  のカーボンパイプを使用した。このカーボンパイプには  $0^\circ$  層と  $90^\circ$  層からだけで出来ていて  $45^\circ$  層は入っていない。これは菜箸をねじる方向に力が働かないためである。具体的な概形としては左のようになっている（上の丸が主桁、下の丸がリアスパでそれを連結しているのが菜箸である）。作りあがった形としては中央図のようになる。

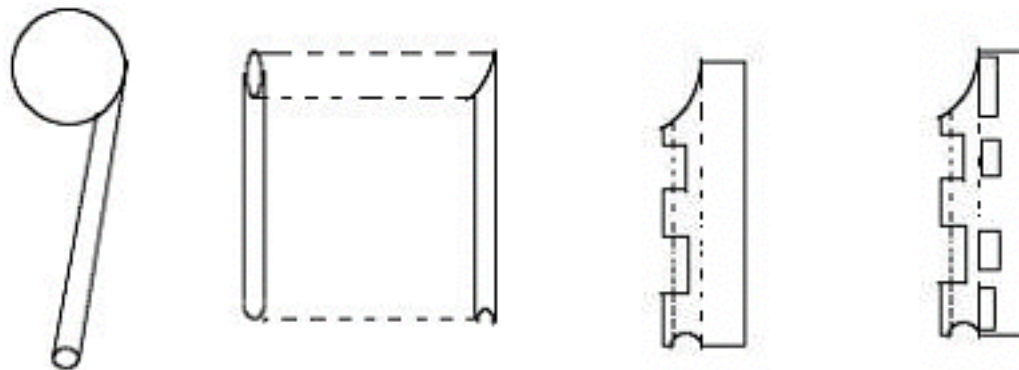


図 8: 菜箸

作るためにはまず治具を作る。治具の作り方としては、まず上右図の様な板（ベニヤ板を用いた）を二枚作る。その後、その二枚をずれないように最右図の位置にカーボンパイプの径と等しい厚みの板を挟み込み木工ボンドで接着した（何カ所やるかは適当だが最良なのは端から端まで完全に切れ目なくあることである）。ベニヤ板が2箇所くぼんでいるのはガムテープでカーボンパイプが縦横、そして軸回転方向にずれないように固定するためである。桁間距離、主桁の径が変わるたびに新しいのを作る必要があった。

治具が出来たらそこにカーボンパイプを入れガムテープでしっかりと固定する。まず荒く切断してから治具

に合わせて接合面を作る（削るときはカーボンの粉が出るのでマスクをして白衣を着て外でやること）。大雑把なところは金属ノコギリで、細かなところはリユーターを用いる。失敗しないためには切断面の真正面からみて上下の二枚の板が一枚に見えるような位置に目を置いてそのたびごとに確認すること。そうしないと視差の関係などで正しく削ることが困難である。そして金属ノコギリ、リユーターも刃（研ぎ面）をやはり板に垂直な方向に固定して削るのが基本である。理由は視差をなくすのと同じ意味である。

（慣れてきたら話だが、始めにできあがりの形がわかるわけだからいらぬ部分を切り落としてしまえば時間の節約になる。とくに何回か作ってみれば実感できると思うが、主桁との接合面は正しく治具をつくれればやたらと長くなるはずである。実際には最後に、その先の方は切り落としてしまうことになることが多いので、始めから切り取ってしまうと作業効率は上がる。但し、今年度の治具の問題の可能性もあるので鵜呑みにしないで頂きたい。）まず主桁の方の接合面を仕上げしてからリアスパの接合面を削る。ここはまず大体の形を切り出してリユーターで整形してから現物あわせにはいる。何処があたってはまらないのかをよく見て慎重に削る。たいていの場合、とんがっているところを大分削ることになると思う。ここで絶対にやってはならないのは底を削ってしまうこと。底を削ってしまうと桁間距離が変わってしまい実際に接着するとき主桁側の接合面が主桁にぴったり合わなくなって余計に時間がかかる。ここでリアスパにはまるようになったらとりあえず菜箸けずりは終わりである。

その後接着面積を稼ぐため 20 倍型の発泡ウレタンを詰める。やり方としてはまずスタイロフォームなどで菜箸にぴったりはまるサイズの厚さ 10~20mm の円筒を作って菜箸の両側に深さ 3 cm ぐらいのところを押し込む。次に菜箸の先にフィルムテープを菜箸の円筒を延長するように張りそこに発泡ウレタンを注ぎ込む。発泡が止まったら必要な形にカッターで削る（ヤスリも良いがカーボンを削ってはいけないので注意が必要）。とりあえずはこれで終了である。

最後に実際に接合する段になって少々手直しをする。主桁とリアスパとを治具で固定した状態で所定の場所にはめてみる。リアスパの部分が合っているのに主桁の方がずれていたら主桁の方の接合面を削ってぴったりになるようにする。そしてエポキシ樹脂で接合して完成である。



図 9: 菜箸の接合

今年度は菜箸を接着するときに一カ所につき上からと下からとそれぞれ一本ずつ計二本（中央だけは丈夫にする必要があるということで三本つけた）をつけるようにした。去年度以前はその二本をまとめて一つの V 字型の物にしていたが、中央で接着する面を作るのが大変だという理由で今年のような形になった。

また、たんせい 9 号では外翼のところではリアスパが主桁にくっつくために斜めに走っている。そこでその部

分の接合面をつくるには接合面が斜めになるため、治具を作る段階でそのリアスパの傾きでぴったりはまるように上下二つの板に半円に近い物（実際は楕円である）を切った。それで形をリユーターで作るときも斜めの方向から見ながら作った。

## 17.2 今年の問題点

最終的に飛行機を飛ばす段階になって表面に現れるような問題はなかった（もっともヤマハや東北大のようにワイヤを翼の中に通したほうが良いのではという考えもあるがそこまでは検討の余地がある）。しかし、実際に接着するという段階になってかなりの修正を余儀なくされ、結果として菜箸自体が短くなり主桁に接する方向ではなく主桁を貫くような形で接着しなければならなくなった菜箸が何本もあった。これは菜箸を削りだしているときにガムテープがゆるんだりして軸方向に回転し、主桁側とリアスパ側で削っているところの角度がねじれてしまったことに由来する。また上の節でも取り上げたが、視差があることが問題である。このために、余り正確には作れず最終的に現物あわせをしなければいけなくなったり、慎重にやらなければいけなかったりすることによって時間のロスが大きい。それを解決するためのある一つの発案だが、治具にはめて菜箸を削るという形をやめ、今年度でもコックピットの骨組みのカーボン削るときにやっていたようにすればいいのではないだろうか。つまり円柱と円柱の相貫線をパソコンなり手計算なりで求め、それを菜箸の軸を極としてある基準の角度からの角度  $\theta$  でどこを通るかを方眼紙にプロットしその通りに切ってから菜箸に巻き付け両面テープなどでしっかり固定してからそれに合わせて削るのである。そうすることで上に挙げた問題は解決する。ただ、方眼紙を張り付けた後にはずれることはないが、どのように方眼紙をきちんと張り付けるか、というところに問題を残している。

## 18 大会準備

琵琶湖ではテントが1つだと翼はおそらく日にさらされることになると思われる。カーボンパイプに日光が当たると非常に高温になってしまうので翼を覆うようなシートを事前に用意しておくべき。アルミホイルや銀マットのような光を反射するものが好ましい。当日琵琶湖近くのローソンでアルミホイルを買おうと思ったが、当然ながら売り切れていた。朝露を取るためのタオル、機体回収のためのゴミ袋の準備も大切。

## 19 特別付録 < スタイロ 5 mm カット >

使うときには、はじめに

1. 左右のレールがちゃんと接近しているか。（真ん中の台が落ち込んでいないか。）
2. 配線がちゃんとなされてあり、わに口クリップがちゃんとピアノ線（ニクロム線）を噛んでいるか。
3. ひもがちゃんとプーリーを通過しているか。

を確かめる。切っていくうちに、なぜかスタイロブロックの真ん中の部分が浮いてくるため、その部分には重めのペットボトルのおもりを置く。ピアノ線なら60V、ニクロム線なら70Vに設定し、おもりをひもにぶらさげスタート。途中で止まってしまうこともしばしばあるので、集中して見守る。切った後の断面はピアノ線の方がきれいだが、赤熱してよく切れてしまう。よくある（僕がしでかした）失敗とその改善策としては、

1. ひもがプーリーから外れていたため、車の動きが止まってしまう。  
スタート前にちゃんとチェックする。
2. ひもにつるしたおもりが支持台の引っ張りに引っかかってしまう。  
引っ張りの上に紙などをはって、おもりが引っかからないようにする。
3. ピアノ線（ニクロム線）のテンションがきついため、車の動きが鈍くなる。  
テンションは多少緩めにしておく。

## 第 III 部

# 駆動班

## 20 一年で作ったもの

1. スプロケットボックス・ボックス取り付け金具・スプロケットシャフト（以上、製作は試作工場に依頼）
2. スプロケボックス支持台（上下：上はテンショナーもの土台も兼ねる）
3. スプロケット（既製品を削った）
4. スプロケットのスペーサーベアリング
5. テンショナー（ペラシャフト側・チェーンホイール側）
6. プロペラシャフト固定リング（前後）
7. プロペラシャフト（従来品の穴かえと短縮）
8. ボトムブラケット (BB) と BB 固定部
9. ペダル（作ったわけではないが、トークリップ・SPD・SPD-R を使用）
10. キャスター

## 21 問題点と対処法

### 21.1 プロペラシャフト側チェーンの歯飛び

スプロケット固定の上部台を土台にし、最初は固定式のテンショナーを入れてたるみをとろうとしたが、固定式のテンショナーでは駆動試験の際にこぎだしが重く、歯飛びも減りはしたがなくならなかったために土台はそのまま可動式のテンショナーをとりつける事にした。これで歯飛びは解消できた。

### 21.2 スプロケボックス支持台の分解

MDF ボードを積層させて製作したスプロケットボックス支持台（下）が駆動試験の際に剥離分解を起こした。剥離をしたのは MDF ボード自体だったため材質を変更し、さらにカーボンでの補強を加えて支持台を新作した。

### 21.3 BB の軸が外れた

駆動試験の際に BB シャフトとベアリングの固定のリングが緩み（ちゃんとはまっていなかった？）シャフトが固定台から外れた。固定のリングをピアノ線を使って補強する事で対処した。

### 21.4 クランク固定のボルトがなめた

BB シャフトにクランクを取り付けたさい、増し締めをしていると取り付けボルトがなめてしまった（ボルト自体抜けなくなった）。クランクは十分なトルクで締めればめしてあったため、そのまま使用した。

## 21.5 チェーンとテンショナープレートの干渉

チェーンとテンショナーのプレートが干渉して音鳴りがした。プレートにひねりを加えて作り直し、さらにワッシャーをはさむ事でチェーンラインからプレートをずらし、解消した。

## 21.6 キャスターの破壊

最終試験飛行で着地し、傾いた機体を支えようとした際に横向きの力がかかって後キャストが台から外れ（原因は台のカーボン補強をしていなかったこと）、その直後前キャストの台が胴体から外れた。残るは本番のみだったためクッションなどを省いて簡素化・軽量化したキャストを製作した。無事だった後キャストの台・新作した前キャストの台ともに、カーボンロービングのみでなくカーボンクロスも使って補強した。

## 22 注意点

負荷をかけて（プロペラを取り付けて）回転させると思いのほかチェーンにたるみができるので、テンショナーの巻き取り範囲を大きくとること（チェーンののびのデータを手に入れるべき）。

## 23 来期の改善予定

1. BB 取り付け部を自転車用にし、パーツのグレードをかえて軽量化をはかる。
2. スプロケットを特注にし、材質から見直す。
3. テンショナーのプーリーに歯付のものを製作する。
4. プロペラシャフトに肉抜きを施し、軽量化をはかる。
5. キャスター部の構造を見直し、本番時の軽量化と試験時のクッション性を両立させる。

## 第Ⅳ部

# 操舵班

## 24 1年間で作ったもの

大きく分けて次の4つである。

1. 内蔵式
2. 操縦桿
3. 尾翼アーム（胴体側）
4. 尾翼アーム（尾翼側）

それぞれの製作について述べたあとに実際の運用上での注意点、問題点を29章に書いた。

## 25 内蔵式について

### 25.1 メリットとデメリット

まず内蔵式にすることで

1. リンケージワイヤによる胴体周りでの渦を発生させない。主翼からの吹き下ろしも存在するが、渦がすると、尾翼は計算のような挙動を示さない。とくにエレベータに関しては深刻である。
2. テイクオフする時にリンケージワイヤによる事故がなくなる。
3. リンケージワイヤが外側から見えず、見た目がよい。

というメリットがある。しかし

1. 不具合時、つまりワイヤがブーリーからはずれた時やワイヤを中でつなぎ間違えた時、に必ず胴体を外さなければならないという問題がある。これは、YAMAHA のようにもともとリンケージが結合されているチームでは、目に見える範囲での作業で済むが、F-tec のように機体を胴体と後部胴体とをつないで構成しているチームではそのための対策（後述）が必要である。
2. CFRP パイプを加工する必要がある。CFRP パイプはカーボンファイバーが色々な角度に積層されて（9号では、主桁は0, 45, -45, 90度）エポキシを含ませて焼かれているが、内蔵にするためには、リンケージワイヤが胴体内に入るところと出るところの計3ヶ所でパイプに穴を開けなければならない。繊維を切るのだからその部分で強度が一気に落ちる。したがって補強をする必要がある（後述）。

というデメリットは常につきまとうことになる。次に実際に行ったことについて述べる。

## 25.2 初期設計から

まずプロトタイプは図のようなものだった。この形で必要なことはリンケージワイヤによりかかる力は 45 度の方向に安全率を 1.5 とした場合、ワイヤは  $5kgw$  ではるとしていたので、

$$5 \times 1.5 \times \sqrt{2} = 10.6(kgw)$$

の力が 1 本のワイヤから受ける力となる。したがって、その方向に対しては面積を大きくとってある。また、基板は昔の CFRP パイプを切断して作ったが、この上にプーリー台を載せることで取り付けが容易となり製作もしやすくなる。また力を分散させることができる。

しかしこの形状では実際に後部胴体や胴体内に入れるのが非常に困難なため、実際に用いられたのは図 10 のような形になった。基本概念は同じである。



図 10: 実際に用いた形

## 25.3 問題点 & 改善

### ・ プーリーカバー

プーリー台からワイヤがおちてしまうことがあるので使用した。注意点としては一つ一つのプーリーに対してひとつのカバーをつけることである。また、プーリーの横方向には遊びは極力ないほうが良いが、上下方向にはその後のワイヤの出し入れのためにある程度遊びがあったほうがよい。

### ・ カーボン加工

カーボンの加工、特に CFRP パイプへの加工は基本的に屋外でやるのが望ましいが、困難な場合作業場でやるのは仕方ない。手順は次の通り。

パイプにマークをつける。ここではボスカのような大きいものではなく小さな油性ペンが良い。

一番小さなドリル (1 or 2 mm) でボール盤の回転数を最高にして、中心に穴をあけ、その後に少しずつ、大きなリーマーで穴を大きくしていく。

ここでの注意点は、このように行わないと、例えば M6 の穴をいきなり開けてしまうとカーボンにクラックが入り使い物にならないからである。

また、プーリー台のようにネジ止めで固定する場合さらに補強が必要になる。手順は、

ネジを使う部分の周辺に 0.4~0.5mm のアルミ板を張り付けてその上からカーボンクロスをエポキシではる。

あとは、上述の開け方で穴をあければよい。もちろん M6 のネジを使う時は M6.2~6.5 で穴を開ける



## 26 操縦桿について

ほぼ 2000 年度の再現ということであるが、手を加えた部分としてはワイヤチューブの使用と支持台の形、ハンドルの形である。

### 26.1 変更点について

狭い操縦桿まわりのスペースを有効に使うために、自転車と同じ要領で、ワイヤチューブを固定することで曲線状の取りまわしを可能にした。

#### 【問題点 & 改善方法】

当初、操縦桿の中心(図 11 の a)に薄いアルミ板を曲げたものを、なべネジでワイヤチューブを挟む形で(図 12)固定しようとしたが実際の使用に耐え切れず、第 1 回試験飛行ではワイヤチューブごと動いてしまった。これは、ネジを締めすぎるとチューブ内のワイヤごと締めってしまうことになり、また、ワイヤが動く程度に締めるとチューブごと動いてしまうことになるからだ。経路長を一定にしなければエレベータに対し張力がかからないため、エレベータが使用不可能という状態になる。

そこで、経路長を固定するためにチューブの両端をエポキシとカーボンローピングで固定した。この方法だと、外側のチューブのみを固定することが可能である。結果、第 2 回試験飛行からは問題は解消された。

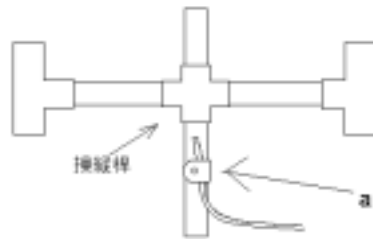


図 11: 操縦桿

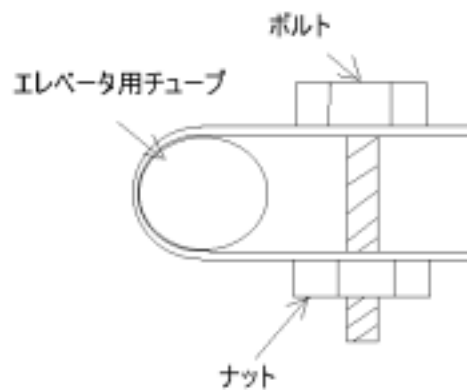


図 12: ワイヤチューブの固定

## 26.2 従来のものを真似た部分について。

2000年度の操縦桿をほぼ参考にしたのは次の理由である。

1. エレベータとラダーの独立性が高い。つまり、エレベータを動作させてもラダーには干渉しない構造になっている。逆も同様、つまり操縦性がよい。
2. 操縦桿自体がもともと傾いてついているので操縦しやすい。これは、自転車と同様に、体を傾けた状態で操縦するためには、操縦桿をある程度（コックピットの柱から 30° くらい。もちろんどの程度が最適かはパイロットにより確かめる）傾ける必要がある。
3. 操縦桿にかける時間があまりなかったため。

## 26.3 注意点 & 工作法

まず、アルミパイプや、その他新たな部品を用いる時は必ず強度試験をすること。両手で引っ張ってみる、などでもよいが、現在あるアルミパイプでは問題はなさそうである。

機体がプラットフォームを離れたらパイロットが体重を支えるのは操縦桿だけなので、操縦桿はオーバースペックでもよいので、十分な強度を持ちパイロットに安心を与えられるものを作ること。

・初期の操縦桿は、パイロットの体重移動により発生する力（操縦桿に左右不均等にかかる力）を考慮しなかったため、塩化ビニルの十字部品が駆動試験中一度破損した。対処として、十字部品の接着部の肉厚を大きくし、カーボンロービングで補強することにした。十字部品には大きなモーメントがかかるので、操縦桿の支持方法を再考した方がいいのかもしれない。

・初期の操縦桿支持板は、2ピースでボルト接合としたが、接合部での遊びがあった。これは、金属板の補強板を接合部に渡すことで解消した。原因は、操縦桿を取り外せるよう支持板を2ピースにしたことだが、操縦桿は取り外さない方針が最もよいであろう。

一番しっかり作らなければならないのは根元の部分ともう1つの支持部である。

根元は一体物で木から削り出す方法で作った。固い木で作ったのでとても手間がかかった点が問題のひとつである。たんせい9号の場合、65度に傾けた状態で穴を開けたが、むしろ穴を開けてから切るほうが良いと思う。そして、根元の部分はパイプに対して確実に固定すること。

上側の支持部は、カーボン板（8mmの合板にカーボクロスを張ったもの）で作った（図13）。これも、角度をあわせる治具が絶対必要である。理想としては様々な角度がだせるしっかりした治具をつくるべきである。この根元と、支持部については、大きな問題点が残っている。それは、2つのパーツの角度がぴったりと合っていなかったことだ。そのため、根元の部分の固定に補強をすることになった。この点は是非とも改善したい。

もう一つの失敗は、エレベータの固定器具をつけようとしたことである。この固定器具をつけようとしていたために、たんせい9号の上側の支持部は2つに分かれている。フライト中にそこまで操縦する余裕はパイロットにない。また、金属部品を操縦桿周りに多用するのは危険であり、重量の面でも問題がある。この点に時間をとられたのは昨年失敗の最たるものであるが、是非必要だと思われるのは自動的にニュートラルに戻る機構である。これはパイロットからの感想であり、特にエレベーターには是非つけてほしいとのことである。

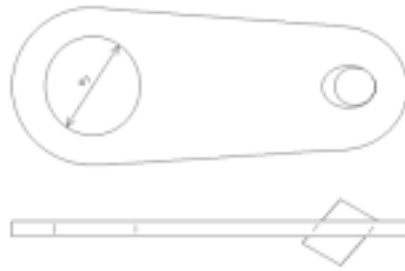


図 13: 上側の支持部

## 27 尾翼アーム（胴体側）について

内蔵式にしたため、この部分も新しい形状になっている（図 14）。注意点は、エレベーターとラダーが約 1 m 離れているが、90 度の傾きをしっかりとつけることが難しいことである。残されている問題の一つである。特にエレベーターが傾いていることは許されない。たんせい 9 号の場合エレベーターは水平であったがラダーが傾いている状態だったが、やむなくそのまま本番を迎えた。



図 14: 胴体側の尾翼アーム

### 27.1 注意点

1. 1m の大きさを持つ治具が必要だと思われる。
2. 胴体に穴を開けてから行うこと。
3. 後部胴体はテーパを持つので計算に入れること。

### 27.2 問題点

まず、内蔵式であれ外付けであれ、一つ注意しなければならないのはピンジョイントでつくるということだ。つまり、モーメントを伝えないような構造が要求される。モーメントを伝えてしまうと、強度を増加させなければならないという問題が生じてしまう。たんせい 9 号の場合、当初はモーメントフリーで設計していたが、事実上ピンジョイントではない形となっているので補強したためごつい形になってしまった。YAMAHA などの構造も参考になる形である（図 15）。

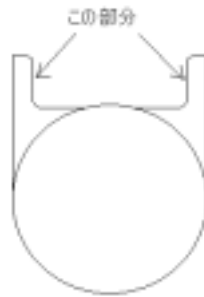


図 15: 問題点

### 27.3 工手法

#### ・カーボン板の作り方

まず、接着面を紙やすりでやる。CFRP パイプなどの場合は紙やすりがカーボンで軽く黒くなるくらいまでやる。このとき、力のかかる方向を考えてやすらなければならない。かかる力に対して平行にやすっても全く意味がない。むしろ逆効果である。その後接着面をアセトンで脱脂する。トイレトペーパーは溶けてかえって汚れを増やすので、ティッシュペーパーなどのほうがよい。

次にエポキシ接着剤を使用量きちんと出す。チューブタイプなら長さで調節し、低粘土のものならば、使用基準に従うこと。

フィルムの上においたカーボンクロスにエポキシを一様にぬり、木に貼る。木は合板の方が良い。

木にフィルムごとおき、まんべんなく荷重をかける。2 l ペットボトルなどがつかいやすい。

\*実際に穴を開けた時の力のかかる向きを考えること。つまり揚力を発生しネジ穴等で真上に力のかかる場合カーボンローピングは+45, -45 の方向にあるべきである。これはすべてにおいていえる。

#### ・大きな穴の開け方

前述の内容と少し重複するが、苦労した一つの点なので書いておく。

小さい径で高速回転で開ける。

板をクランプや万力でしっかり固定する。径の大きな穴を開ける時は、回転数を落とす。2 3 mm 等の穴を開ける場合は一番回転数の低いものを使う。

一気に開けるのではなく、少しずつ開けること。特にカーボン板の場合最後のカーボン層は少しずつやらないとドリルを持っていかれます。

実際の作り方は図の通りである。ただし、特にモーメントフリーでない場合、補強としてネジ穴の周りに金属板を接着し、ネジ穴が広がらないようにせねばならない。

その他の胴体周りについて。

#### ・尾翼アームの取り付け部

実際に胴体パイプについている部分に、尾翼取り付け部をエポキシとカーボンローピングを併用して接着した。注意すべきは、これもまたあまりに硬い木で作ると大変なことになることである。図 16 のような形を作る時に、上部の延びている部分は、尾翼取り付け部をつける部分として重要なところだ。

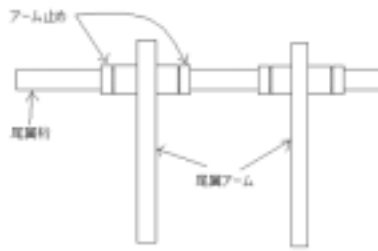


図 16:

## 27.4 改善点

1. ピンジョイントで作ること。
2. エレベーターとラダーの垂直をしっかり出すこと。
3. 取り付け部を胴体から斜めに伸ばす。

## 28 尾翼アーム（尾翼側）

カーボン板の部分については上述と同じなので、省略する。ただし、カーボン板に誘導のための塩化ビニルの水道管をつける事を勧める。

### 28.1 注意点

ニュートラルをしっかり出すことは非常に大切である。リンクワイヤの設定時も同様だが、毎回同じ設定になるようにすることが必要である。また塩ビパイプの穴を大きくする時は、ボール盤に金属やすりをつければ、すぐにできる。

### 28.2 工作法

#### ・カーボン板止め

エレベーター用のものはこれにより左右にぶれるのを防ぐのみだが、ラダー用のものは自重を全て支えることになるので、ラダーの方はエレベーターよりしっかり作るべきである。形状は、完全なパイプのまま尾翼の桁に挿入してしまうと取り外す時に尾翼のリブを全てはがさなければならないので、パイプを中心角 90° となるようにカットしてから使うなどの工夫が求められる。

#### ・ストッパー

大事な部分の一つである。カーボン止めに物理的にぶつかるような角度を決めて塩ビパイプを接着してある。

設計では、

エレベーターは± 15 度

ラダーは± 10 度

としている。

- ・ニュートラル位置

尾翼の桁と回転しない部分をつかってニュートラル位置が分かるような線を引いておき、これと操縦桿でのニュートラル位置を合わせた状態でターンバックルを調節し、規定の張力が出るようにする。

### 28.3 改善点

塩ビパイプにこだわりすぎる必要はない。もっと便利なものがあるかもしれない。

## 29 全体について

### 29.1 注意点

内蔵部でワイヤがからまり操縦が効かなくなったことがある。このようなことを防ぐために、ワイヤは絶対に絡まないようにすること。

またつなぎ間違いを防ぐためにも、製作が終わったらすぐに、色を塗るといった見分けのための対策をすべきである。胴体内部に絡まり防止の琴柱のようなもの入れるとよいかもしいない。

### 29.2 ワイヤのつなげ方

もちろん「かしめ」とシルバーロックを用いるが、2つのワイヤを直接つないだり、間にワイヤを入れたりしてつないだとしても、使うたびにワイヤを切断するので経路長が変化してしまう。これでは何のために調節したのか意味がなくなってしまう。そこでワイヤを円形にしてつなぐことで、交換するのはワイヤだけでよいようにし、経路長も変化しない方法を考えた。ただし円の径が大きいと円の部分で張力を吸収してしまうので、円はできるだけ小さくして張力がかかった時に直線と見なせるようなものがよい。

- ・ターンバックルを多用するとワイヤが緩み、操縦性が落ちる。

ワイヤ同士の結合個所をできるだけ減らし、またできるだけかしめにより結合する。

- ・ネジについて

ネジの種類として、

頭が丸くなってるもの・・・なべネジ

頭がまっすぐなもの・・・皿ネジ

頭にへこみがあって、六角レンチをつかうもの・・・キャップネジ

などを用いるが、取り外しをよく行うような所にはキャップネジを用いること。作業性が全然違う。

## 30 スケジュール

操縦桿の固定機構に多くの時間を費やしすぎた。そのため基本となるその他のパーツの製作に着手するのが遅れ、4、5、6月が大変になった。しかも実用に至らなかったのは、設計段階で十分な強度計算や重量計算を行わなかったからだ。新しい構造に挑戦するときは、まず基本となるものを作り、新しいものが失敗しても

全体のスケジュールに影響を与えないようにすることが必要である。

## 第 V 部

# プロペラ班

## 31 設計

設計は、形状を決定する空力設計と、具体的な構造を決定する構造設計に大別される。

### 31.1 空力設計

設計には 8 年前のメンバーが開発し使用してきた設計計算プログラムを用いて、諸元を決定した。このプログラムは、後流中の渦による誘起速度を求め、それを利用してブレード上の循環分布を最適化するものであり、回転軸付近に翼が無い部分が存在する場合も考慮されている。表 1 にプログラムに入力した値を、表 2 にその計算結果を示す。

巡航速度	7.25(m/s)	プロペラ内側半径	0.200(m)
必要推力	34.67(N)	リブ分割数	15
入力パワー	251(W)	空気密度	1.176(kg/m <sup>3</sup> )
回転数	2.5(rps)	プロペラ迎角	1.0(deg)
ブレード数	2	設計揚力係数	0.5
プロペラ半径	1.500(m)	設計抗力係数	0.02

表 1: 入力値

但し、翼型は DAE 5 1 を使用する。

$$\begin{aligned} \text{推力} &= 29.4027(\text{N}) \\ \text{トルク} &= 15.9792(\text{N} \cdot \text{m}) \\ \text{プロペラ効率} &= 0.8493 \end{aligned}$$

### 31.2 空力設計における反省点

#### ・プロペラ内側半径

プロペラのブレードを胴体から離れた方が効率が上がるのではないかという考えにより、入力値の「プロペラ内側半径」を 0.200m としたが、これでは荷重が先端に偏りたわみが大きくなり、さらに効率もほとんど変わらないので、次回は内側半径をハブのサイズぎりぎりまで小さくするつもりである。

### 31.3 構造設計

・構造は、昨年に引き続いて、主桁に 15 枚のリブ（木製）を接着し、そのリブ同士をバルサの前縁、後縁で繋ぎ、さらにバルサの外皮で覆い、最後に熱収縮フィルムで表面を仕上げる、という方法とすることとした（図 17）。



半径 (m)	翼弦長 (m)	取付角 (deg)	入射角 (deg)	循環 ( $m^2/s$ )	局所効率	Re 数
0.243	0.1487	64.64	63.6	0.30	0.8473	$8.2 \cdot 10^4$
0.330	0.2101	57.10	56.1	0.47	0.8608	$1.3 \cdot 10^5$
0.417	0.2421	50.68	49.7	0.59	0.8662	$1.6 \cdot 10^5$
0.503	0.2567	45.29	44.3	0.69	0.8677	$1.8 \cdot 10^5$
0.590	0.2601	40.77	39.7	0.76	0.8670	$2.0 \cdot 10^5$
0.677	0.2562	36.97	36.0	0.82	0.8650	$2.2 \cdot 10^5$
0.763	0.2476	33.75	32.8	0.87	0.8621	$2.3 \cdot 10^5$
0.850	0.2356	31.02	30.0	0.89	0.8588	$2.3 \cdot 10^5$
0.937	0.2212	28.67	27.7	0.91	0.8550	$2.4 \cdot 10^5$
1.023	0.2048	26.63	25.6	0.90	0.8510	$2.3 \cdot 10^5$
1.110	0.1865	24.86	23.9	0.88	0.8467	$2.3 \cdot 10^5$
1.197	0.1661	23.31	22.3	0.84	0.8424	$2.2 \cdot 10^5$
1.283	0.1425	21.94	20.9	0.76	0.8379	$2.0 \cdot 10^5$
1.370	0.1136	20.72	19.7	0.64	0.8334	$1.7 \cdot 10^5$
1.457	0.0752	19.63	18.6	0.45	0.8289	$1.2 \cdot 10^5$

表 2: 計算結果

主桁は、根元をステンレスパイプ、大部分をカーボン製スキーストック、先端をアルミパイプ・棒で製作した (図 19)。

特に主桁については、たわみの計算を行った。今回は、ほとんど工学部の先輩にやっていただいたので、今回は自分で計算し最適解を求めることが目標である。下に、計算を行うまでの手順を示す。

計算までの手順

ストックの剛性を求める加重試験を行う。(ストックの一方を固定しそこから  $1m$  の点に  $1kg$  の錘をぶらさげ、その時のたわみを測る)

結果 (1 回目  $45mm$ 、2 回目  $47mm$ ) から剛性を計算。  $E = 7210$

各リブにおける推力を計算。

たわみを計算。先端部で  $93mm$  のたわみがあることが分かる。

推力のロスを計算できる。

さらに、スキーストックにはねじれ方向の考慮がなされていないので、2号の製作の前にねじれの加重試験を行い、ねじれの計算も行った。手順はたわみの場合と同じ。Eの代わりにGの値を出し、ひずみを計算することができる。その結果、やはりねじれ方向の剛性が不足しているという結論に達し、応急処置として  $45^\circ$  の

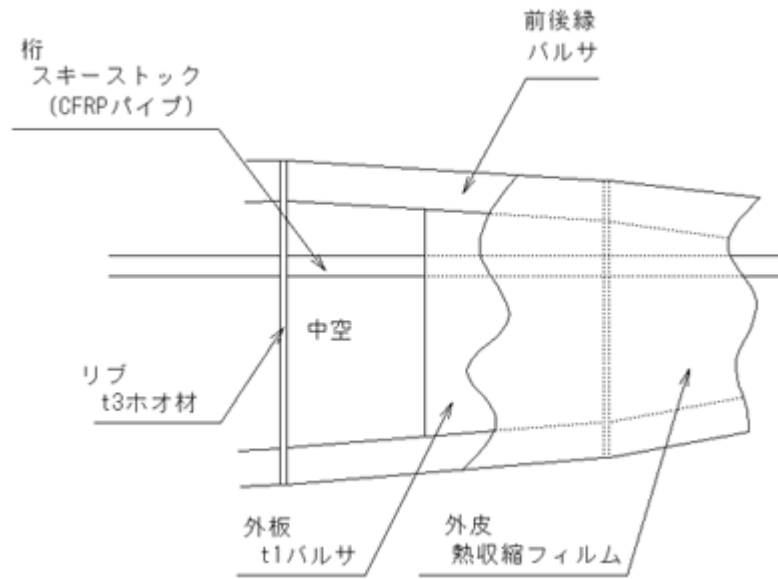


図 17: 構造

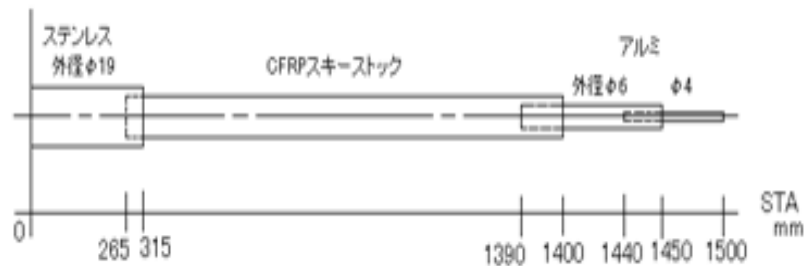


図 18: 主桁

向きにカーボクロスを貼り付けた。

### 31.4 構造設計における反省点

#### たわみ、ねじれの計算

計算の仕方が分からなかったので、ほとんど工学部の先輩にやっていただいた。次回は、もちろん全て自分で行う。また今回は、材料が先にあって、それを使って作ったらどうなるか（そこから応急処置を施して理想の値に近づける）という計算の仕方だったが、次回は、まず理想の値を算出して、それを達成するための材質・構造を研究していくという順番にしなければならない。そのためにも、理想値の計算は11月頃には終了させ、材料の手配を行わなければならないと考えている。

#### 主桁の構造

の内容と重なるが、今回はいくつかの材料をつぎはぎして作ったが、次回はカーボン製の一体成型桁を注文するつもりである。

## 32 製作

### 32.1 桁とリブ

まずは、桁の製作とリブの切り出しを行う。(次回は桁は完成品を注文する予定なので、桁に施す加工は少なくなるだろうと思われる。)プロペラ班のメンバーが複数なら、並行して作業を進める。

#### 桁の製作

構造設計のところでも述べた構造のとおり接着した。大きな力がかかるのでアセトンで油などをきれいに取り除いて、エポキシ接着剤で丁寧に接着せねばならない。

#### リブの切り出し (b y 大内)

材料は、一・二号とも 3mm 厚の、朴の木の薄板である。翼型をプロットした型紙を、リブ一枚ごとに切り抜いて朴の木の表面にボンドで貼っていく。翼型には前縁から 15mm、後縁から 15~25mm のところに、垂直線を引いておく。型紙は厚紙の方が良い(貼るときにしわができて変形することを防げる)。型紙の上からフィルムテープを貼ってはがれるのを防ぐ。リブの曲線を糸鋸で切り抜く。このとき、前後縁(垂直線をひたところで区別する)は翼型で二重に縁取りされている線の外側を、それ以外のところは内側を切り抜く。

#### <リブの切り方>

リブを切るときは、切り出すべき型紙の線の外側を切り出すような感覚で刃を進める。線の上を切ろうとすると、出来上がるリブが一回り小さくなってしまう。まず、垂直線に刃を入れてから、後縁の先端を切り落とす。そして、切り落とした後縁から刃を入れ、後縁を切り出す。後縁先端の切り落とし作業を先にしないと、先端部がどこであるか分からなくなる。この後は、各自切りやすい順番で切っていくのが良いと思う。参考までに私(大内)の切り出し手順を示す。

1. 前縁側の垂直線に切り込みを入れる。
2. 前縁から 30mm くらいのところから、垂直線の切り込みの根元に向けてなるべくリブの曲線にそって切り込みを入れる(これによって、前縁から後縁にむけて側面を切る切り始めの場所ができる)。
3. 側面を切り出す。
4. 上下とも同じように切り出す。
5. 前縁の先端を切り落とし、そこから刃を入れて前縁を切り出す。

#### リブ製作における反省点

・翼型の型紙をコピーして利用したら、実際のものとはずれた。

コピーは、等倍にしても原本を正確に再現することはできない。原本より、湾曲率が大きかったり、サイズ自体が大きくなっていたりした。一号ペラでは、リブと治具の一部をコピーを利用して作ったため、組み立ての段になって治具にリブが上手くはまらないといった問題が発生した。さらに、迎角自体が狂っていた可能性が大きい。

解決方法：プロッターでプロットした型紙をそのまま利用すること。 ・朴の木の薄板が曲がった。  
梅雨の時期に、板に何もかぶせずに箱に入れておいたので、湿気を吸って板が木目の垂直方向に湾曲してし

まった。リブ一枚の幅は小さいため、製作精度にさほど影響は与えないと思われるが防げるのなら防いでおいたほうが良いと思われる。

解決方法：ビニール袋などに入れて、口を縛っておくこと。これだけで、変化がかなり少なくなる。

## 32.2 治具とリブ

次に治具を製作する。メンバーが複数いるなら、第 32.1 節で切り出したリブに穴を開ける作業も並行して行う。

治具の製作（by 大内）

基準線を引き、型紙を貼る。基準線は、治具の材料となる 4 ミリ厚板の製品加工された辺を使う。切り方はリブの逆。型紙の外線の内側を切り出す感覚で刃を進める。リブの、弦の下半分を切り出す。後は、四箇所穴をあけて、長ねじを通し、リブと同じ間隔で一枚ずつナットではさみ、固定する。

リブの穴あけ

桁に、リブを接着すべき点に印をつけ、その地点における桁の直径を測る。こうして測った直径の穴をリブに開けていく。

治具製作における反省点（by 大内）

- ・水平面を決定できない。作業場に水平を保証する台がないため、プロペラの羽根角の基準が正確に得られない。昨年度のプロペラは作業台の隣の机で製作していたが、どれだけの精度を持っていたかは分からない。治具に型紙を貼るときの回転面の基準にしていたのは、製品加工されている辺である。こちらは、それなりに信用できると思われる。

解決方法：水平な作業台を設置すること（可能か！？）治具自体の水平、鉛直の基準は製品加工されている辺を利用する。

- ・治具組み立ての時に、リブ間の長さを決めにくい。

リブの間隔が全て同一ではなく、治具が鉛直に立っているかどうかを判断する手段もないため、精度に不安がある。

解決方法：現在のところ、有効な手段がない。（誰か考えて！！）

- ・治具とリブの基準線が合わない、治具にリブがはまらない。

治具に貼ってある型紙の回転面の線や迎角の線を、リブのものとお合わせる必要があるが、リブ一枚一枚の形状が微妙に違うため、誤差が生じる。

解決方法：リブを切り出すときの精度にも限界があるので、リブ一枚ごとに修正する必要がある。治具にビニールテープを貼って後縁の高さを微調整したりする。治具を組み立てる前に、リブとおわせて調整するのが望ましい。二枚のリブを重ねてやすりで加工するのも良いと思う。

リブの穴あけにおける反省点（by 大内）

- ・リブに穴をあけるとときにリブが割れる。ボール盤で穴をあけるとときに、リブの幅に近い大きな穴をあけると割れることが多い。原因として

1. ドリルを下げ速度が速い。
2. 大きな穴を一気にあけようとする。

というものが考えられる。ドリルは突端の形状により、リブの下面を突き抜けるときに大きな摩擦力を発生する。それによって、リブに大きなねじれの力がかかって割れるのである。

解決方法：まず、ドリルをゆっくり下げる。特に、下面に差し掛かるときは注意すべき。また、一回で

目的の大きさの穴を開けるのではなく、先に小さな穴をあけ、段階的に穴を大きくしていく手法も有効である。

### 32.3 リブの接着

リブと桁を、治具にセットしてリブをそれぞれエポキシ接着剤で桁に接着する。リブの穴の下半分には接着剤を塗布しにくく、かつ無理に塗布すると（接着剤がたれて）治具とリブが接着されてしまうので、まずは上半分にしっかり塗布するのが得策である。上半分の接着剤が固まったら、一旦治具からはずして下半分に塗布し、桁を立てた状態で乾かすとスムーズに進む。

### 32.4 前・後縁のバルサ材

前縁部にはバルサのブロックを、後縁部にはバルサの三角材をそれぞれ木工用ボンドでリブとリブの間に貼り付ける。できるだけ、ぴったりのサイズに切り出すことが難しいが、少々隙間があいてもボンドを多めに流しこんで埋めても良い。

貼り付けたら、今度は翼型に削っていく。このとき、前・後縁の平面形はリブ間においては直線になるようにする。また、先端部にもバルサ材を貼り付けて削り、翼端を成型する。

#### ・バルサ材貼り付けにおける反省点

後縁は大変細くなっており折れやすいので、先に後縁側のバルサ材を貼り付けて折れにくくした方が良い。

#### ・バルサ材削りにおける反省点

最初はカッターを使って削っていくが、ぴったりに削ろうとせずに、少し余裕を残しておくのが良い。あとは、紙やすりで削ってぴったりのサイズに仕上げていく。また、特に前縁は丁寧に仕上げなければならない。

### 32.5 外皮バルサの貼り付け

1mm 厚のバルサ板を貼り付けていく。

#### ・バルサ板貼り付けにおける反省点（by 大内）

表面のバルサ材がへこむ。

内部が空洞のため、特にバルサ材とバルサ材の接合部でへこむ。バルサ材の側面同士をボンドで接着してはいるが、接着面が小さいのであまり効果はない。

解決方法：桁の上に薄く切ったスタイロフォームをボンドで固定し、内側からバルサ材を支える。リブのカーブに合わせて削りだしておくこと綺麗に仕上がる。または、リブの間隔に合わせて切ったバルサ材を使う。リブの上に接合部がくるようにするとよい。

### 32.6 フィルムの貼り付け

表面に、模型飛行機用のフィルムをアイロンで貼り付けていく。

#### ・フィルムの貼り付けにおける反省点

熱収縮テープにしわが生じる

特に前縁に生じやすい。テープがたるんでいるところに、プロペラ表面に押し付ける方向の力をかけ、たるみをつぶしてしまうとしわになる。

解決方法：まず、アイロンを低温に設定して収縮テープを仮止めする。後縁の先端で上下のテープを引っか

り接着する。そのあと、高温に設定を変更して、プロペラ表面から 5 mm ほど離して熱を与える。テープは勝手に収縮してプロペラ表面に張り付く。特に前縁は、しわができやすいが、しわを作ると気流の流れが乱れるので、好ましくない。注意が必要。また、前縁のカーブに合わせて、一回に貼り付けるテープの幅を狭くすることも有効な手段である。

## 32.7 ハブ

今まで述べてきたようにして作ったプロペラのブレードを回転軸と繋ぐのが、ハブである。今回は、工学部の先輩に設計していただいたものを、生産技術研究所の試作工場において製作していただいた(図??)。

図 19: ハブ

### ・ハブとブレードの接合における反省点

プロペラ 1 号のブレードの根元は、直径 19mm のステンレスパイプだった。ハブのブレード差込部の内径を 20mm にしたいということはあらかじめハブの設計者と打ち合わせてあったのだが、ステンレスパイプの既製品の規格に直径 20mm というのが無かったのである。

そこで、ステンレスパイプに 0.4mm 厚のアルミ板を接着することでハブの差込部にはまるようにしたのだが、アルミ板の切れ目がカッターの刃のようになり、ハブの差込部を削って内径を徐々に大きくし、ブレードを固定できなくなった。さらに、ハブにブレードを差し込んで周りから押さえつける金具に、ホース留め金具を利用していたので、押さえつける力も不足していた。

結局、1 号はハブとブレードの根元部に穴を貫通させ、ボルトで締め付けて固定することとした。これでは、ブレードの取り付け角の微調整ができない。次の 2 号ではこの失敗を受けて、ブレードの根元とハブをセットで作ってもらい、さらに専用の押さえ金具も製作してもらった。これにより、しっかりと固定することができるようになった。

今回は、ブレードの形状や構造だけでなく、ハブとの結合方法も最初から視野に入れた設計を考える。

### ・ブレードの取り付け角について

ブレードは、設計では 1 度で取り付けることになっていたが、機体全体の挙動やパイロットのフィーリングその他の要素を考慮して 0.5° 程度ずつで微調整しなければならない。今回は、0.5° ずつ、取り付け角 0° から 2° まで 5 つの印をつけて、この印に合わせることで調整できるようにしたが、0.5° 程度では実際はほとんど動かさないので、いちいち手で合わせる限り決して正確とは言えない。正確に取り付け角を変更する方法を考えたい。

## 32.8 その他

### ・ジグソーの使い方について (by 大内)

現在作業場にある糸鋸には、刃が三種類用意されている。「厚板用」「標準板加工用」「薄板加工用」(名前は定かでない)ペラ班でリブの切り出しに使っていたのは、薄板加工用(刃山数 72)である。これは、刃の中でも細く、曲線などを切り出すのに有用である。ただ刃がもろく、これで厚板を切ったりすると、その後はすぐ折れてしまったり、薄板をまっすぐに切れなくなったり、切れ味が変わってしまったりする。作業場の糸

鋸にはこの「薄板用」がいつも取り付けてあるので、それで厚板も加工してしまったりしていた。その結果、しよっちゅう刃が折れていた。糸鋸を使うときには、加工する板の性質を考えて刃を選ぶようにするといいと思う。また、使った刃は取り外しておけば、気づかずに合わない刃を使うこともなくなると思う。

## 第 VI 部

# フェアリング班

### 33 はじめに

例年の傾向であるようだが、F-tec 内において、フェアリングは軽視される傾向にあるようである。実際、本年度も後述するように時間が迫ってからの作業となってしまった。

本年度のフェアリングは製作に当たっては主に一年が中心になって作業を進めた。そのため、まとめとしてうまく書き残せるほど作業全体に目がいっていなかったように思う。それでも、何らかの形で記録を残しておくということは意味があることであると思うので、本年度の記録を残しておこうと思う。

以下、この記録では「いかにして製作するか」を中心に話を進めていきたい。この拙文が、今後フェアリングの必要作業時間の想定や作業効率の向上の一助となれば幸いである。

### 34 本年度フェアリング図面

本年度のフェアリングの図面を示す。

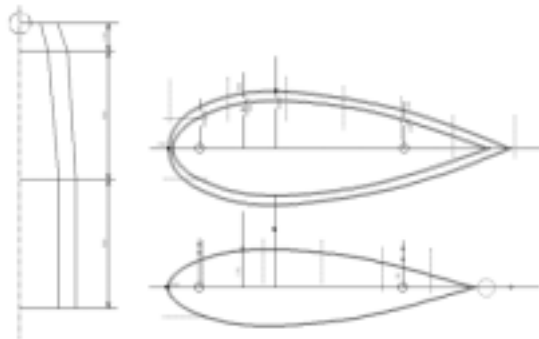


図 20: 初期図面

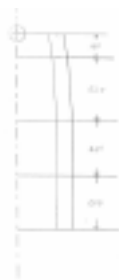


図 21: 最終図面



## 35 作業の内容

### 35.1 本年度の製作日程

まず、本年度におけるフェアリングの製作日程を記す。

- 6月半ば 製作準備開始
- 7月9日 本格的に製作開始
- 7月23日 組み立てのチェック
- 7月24日 組み立て試験
- 7月25日 最終調整・デフォルトの位置記録
- 7月26日 持ち運び用の箱製作
- 7月27日 安全審査・デフォルトの位置調整・デコレーション
- 7月28日 フライト

## 36 本年度の制作方法

本年度のフェアリング各部の制作方法を以下に記す。

### 36.1 材料の切り出し

材料の切り出しに関しては、最初はベニヤに概形を描き、そこからケント紙で型紙を製作した上で、カッターを用いてスタイロを切り出す形で製作しようとしていた。しかし、カッターで部材を切断するという手法は精度があまりにも低いということでこの手法は放棄された。

次に考えられたのは、カッターを用いずに電熱カッターを用いる手法である。しかし、この手法でも、ケント紙の貼り方で形が変化してしまう・ケント紙の劣化・電熱カッターの不慣れによる失敗の多さといった問題があり、結局この手法も廃案となった。

最終的に用いられた手法は、ベニヤを用いて型紙を作り、それを用いてスタイロを切断するという手法であった。材料には10mm厚のスタイロを用いた。

また、後述するが縦方向の骨組みには、同じく10mm厚のスタイロを8mm幅に切ったものを多数用意した。

また、ドア周りの柱としては20mm×60mmの部材を用意し、右図のようにドアをはめ込むような形で製作できるようにした。



### 36.2 一次構造材の製作

切り出した部材に対し、内側、外側の両面に1mmパルサを貼っていく。横方向の部材はし前面からの風による曲げの力に耐える必要があるので、繊維が水平方向に走るように貼ればよい。

次に、飛行中に受ける力によるフェアリングのゆがみを防止し、また横からの風による力に耐えるために縦

方向の部材を製作する。8mm幅に切ったスタイロをこれに当てる。バルサは前方からの風による変形を抑えるために前後方向に、また横風による変形を抑えるために内側にも貼っておいた。

以上のように製作した部材を用いてフェアリング全体の外形を製作した。

### 36.3 水平方向の部材の接合

次に、前部・後部の骨組みを製作した。まず、前部・後部それぞれの分割して作った部材を接合した。接合の際はドア側の先端の間隔が設計図どおりになるようにして接合した。接合はスチのりを用いたが、最終的に構造材の接合部の表と裏にカーボンローピングを渡して接合した。カーボンローピングはバルサと同方向に繊維が走るように接合した。

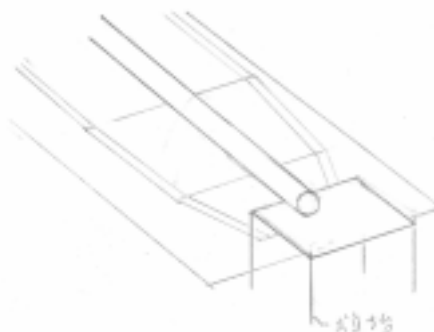
また、後縁部分に関しては当初は右図のように樹脂を塗った三角バルサで後援材を製作しようとしたが、実際には後援部分に三角形の1mm厚のバルサ材を接着することで十分な強度を得られたため、この後縁材は使用しなかった。また、水平方向の部材は当初4本の予定であったが、強度を考えて最終的には5本製作した。



### 36.4 前部・後部の骨組み

次に、余っていたカネライトの板に、ドアとの接続部にあたる、前後方向に垂直な断面の図を描いた。この時に横の部材の間隔を最終的に決定し、それに合わせて図面通りの長さを書き込んだ。

このようにして図面を引いた上で、カネライト板の両側にお立ち台を置き、そこに鉄パイプを置くことで治具のようなものを作る。このとき、高さの補正はお立ち台の上にスタイロを挟み、鉄パイプの高さを調節することで行った。



このように治具を製作した上で、切り出した骨組み材(水平方向のもの)をその図に合わせて固定し、位置を合わせた。このとき、前部については、先頭から接続部までの距離がすべて等しいので、骨組みの先頭を鉄パイプに懸けて高さを揃えるようにもした。その上で、横の部材の間に縦方向の部材を渡し、全体が変形しないように固定した。

同様に後部についても同じ手順で製作する。ただし、後部に関しては高さが一定ではないため鉄パイプは渡さず、目分量で垂直になるように固定した。

### 36.5 前部・後部の外面の貼り付け

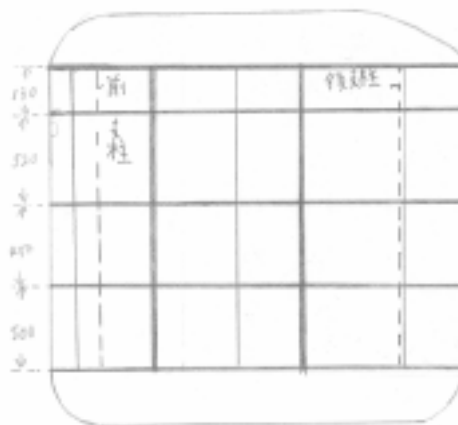
次に、前部・後部の外面を貼る。接着には両面テープを用いる。前部の材料としては、上半分、すなわち上から2本目の部材から上から4本目のハンドルの付近の部材までは厚さ $2mm$ の塩ビ板を、それ以外の部分にはエスレンを用いる。また、後部の材料としてはシルバーフィルムを用いるが、後支柱を支える人が支える場所をチェックした上で、そこをあけて貼っていく。

また、前部には空気を導入するための空気穴を開けた。場所としては、パイロットがコックピットに乗った状態で前部を持ち、パイロット自身に顔の前方のところに印をつけてもらって決定した。その上でカッターを用いて穴を開けた。

### 36.6 軽量化

この段階で、部材全体、特にドア周りの部材があまりにもオーバースペックであるというご指摘により、全体の部材の軽量化が行われた。この作業に関しては、一年生では必要な部分を損傷する恐れがあったため、山上さんにほとんど一任する形になった。

作業としては、右図のようにドア周りの部材の内側部分を斜めにそぎ形をとった。ドア周りの部材の出っ張りの部分はドアが内側に入り込まないためのものであり、その役割を果たせばそれでよいので、斜めにそぎ落としても十分である。また、横方向の出っ張り部分はあまり長いと凹部分にかかる力のモーメントアームが大きくなり、よって大きな力がかかることになる。よってむしろ短い方がよいということになる。



### 36.7 ドア部分の製作

最後に、ドア部分を製作した。ドア部分は、下図に示すようにフェアリングの側面全体にわたっていたため、これだけの大きさの物を正確に製作することは難しく、フェアリング本体を組み立てた形で作る手法がもっともあったものを作れると考えた。まず、ドア受けの部分は下図のように、同じ部材を三つ合わせて製作した。

次に、ドアの部分は、前に製作した前部及び後部を型紙（下部ポート用の模造紙の型紙）に乗せて場所を固定した状態で製作した。まず、ドアの横方向の部材を前部・後部の横方向の部材に合うように調節し、ガムテープで仮止めした。次に縦方向の部材は前述したように $8mm$ 幅のスタイロを用いたが、この長い棒を現物あわせで切断し、それをスチのりを用いて接着した。その上で、縦方向の部材同士をカーボンローピングで固定した。これによりドア部分の概形は完成したが、このままでは平行四辺形方向の変形を起こしてしまうため、前頁の図のように角の部分に三角形のスタイロを挟むことにより平行四辺形方向に固定した。

ドア部分の外面には、網とハーフミラー、それにシルバーフィルムを用いた。当初は下の一区画はシルバーフィルムを、それ以外の部分は前方の半分は塩ビ板を、後方の半分には網を用いる予定であったが、塩ビ板は重く、厚手のフィルムを用いることに変更した。しかし、結局はフィルムにハーフミラーを貼るのはフィルム

がもったいない(この部分はまだ空気が剥離していない(予定の)部分であったが、側面部分であったため、たいした強度は要求されないため)ということになり、直接ハーフミラーを接着した。

また、網をあまり大きくしても仕方がないというご指摘を受け、最終的にはアミは当初の予定の半分の面積に縮小し、後方の1/4にはシルバーフィルムを使用した。

## 36.8 仕上げ

最後に、仕上げとして前方にハーフミラーを貼った。接着面のフィルムを剥がし、接着する両面に中性洗剤を塗って貼り付かなくした上で場所を合わせ、その上で中に入った空気を抜いていくことで接着した。

また、ドア部分が大きく、プラットホーム上で風にあおられる恐れがあったため、パイロットに確認の上で、パイロットが乗り込む側のドア部分を、最下部一区画分切断した。

## 36.9 ボート

ボートの製作は本体の製作とは別に行った。材料には発泡スチロールを用い、設計図に合わせて模造紙を用いて図面を引き、それに合わせて削っていく手法で製作した。下部は左右の二つに、上部は前後のそれぞれに対して左右の四つに分割して製作した後に前部の二つ、後部の二つを接合しておいた。

## 36.10 運搬

最後に、運搬に関する部分を書いておきたい。

本年度のフェアリングの運搬にはダンボール箱を接合した物を用いた。本年度は大型のダンボール箱を3箱接合して運搬用の入れ物を製作した。うちのりがフェアリングが入るのに足りればよいので、 $1800 \times 500 \times 500mm$ 程度の大きさがあれば良い。高さに関しては部品が倒れない程度であれば少々短めでもよいと思われる。

運搬にあたっては、念のために緩衝材をしいた上でまず上部・下部の各ボートを、続いて上下のドア受けとヘルメット・シューズを置いた。その上で、前部を伏せる事でそれらを防護した。

さらに、前部とダンボールとの隙間に後部を仰向けに置き、その中にドア部分を置いた。本年度は以上のような状態で運搬を行った。

以上により、フェアリング全体が完成した。最後に、本年度のフェアリングの骨組み及び外面の図を示す。

## 37 製作上の注意点

以下、本年度製作して感じた、制作上注意した方がよいと思われる点を記しておく。必ずしも本年度成功したとはいえないものが多いが、それは製作者の技術不足によるものである。

### 1. 前部外面の滑らかさ

…フェアリングはコックピット部分の空気抵抗を減らすことが最大の目的である。それゆえ、前部の外面、まだ空気が剥離しきらない部分(プロペラの後方であるので乱流しか来ないが、それでもフェアリン

グに沿って流れていることが重要である)をいかに滑らかにするかが重要になる。これには、部材を滑らかに製作すること、また外面に貼るものを正確に切り取り、貼ることが必要である。

## 2. 上部の水平

…フェアリングは上部・下部のボートは発泡スチロールの板を用いるため、水平面ができています。これに部材をしっかりと接合するためには、部材の上面が水平になっている必要がある。

## 3. 貼り合わせ

…今回のフェアリングでは接着が弱い部分が目立った。当然ながら、バルサなどは十分に接着されていなくては意味がなく、よって接着後ガムテープなどで巻いておくなどしてしっかりと固定する必要があります。

## 4. ドアの強度確保

…ドアの部分は大きな面になっており、どうしても変形しやすい。また、乗りこむ側のドアはプラットフォーム上で組み立てることになり、風による変形などが無いことが望ましい。ドアの周辺に三角形の板をはさんでずれを抑えるなどの手法が考えられる。

## 5. 風通し

…風通しには十分に気を使う必要がある。風通しの悪いフェアリングではパイロットは暑い上に酸欠になりかねないという問題があるため、結果に直接影響する恐れがある。

具体的には、前述したように風のアウトレットをあまり後ろに下げないようにする必要があります。インテイクはもっとも風圧のかかる最前部でよいが、アウトレットを後方に寄せすぎると、空気を排出するのではなく空気が入ってきてしまうため、アウトレットはドア部分の中央部付近が望ましいと思われる。

# 38 本年度の反省・工夫

## 38.1 製作システムに関する問題点

本年度の製作システムにおける反省点は、大別して以下の2点となる。

### 1. 作業開始の遅れ

…フェアリング製作の計画は6月の半ばにあったものの、設計の遅れ等により、実際に製作が始まったのは7月の頭になってからであった。さらに、その後も設計図の変更や制作方法の変更があり、本番用のフェアリングの製作に取り掛かったのは実質的には7月の第2週からであった。

### 2. 知識不足

…この件に関しては単に製作者の不勉強によるものであるが、製作の中心メンバーが一年生であったこともあり、「押さえるべきところ」を満身に押さえることができず、無用な力・材料の浪費や必要とされる用途への不適合などが頻発した。このことが製作を遅らせる一因であったことは否定できない。

### 3. 参加人数の少なさ

…本年度のフェアリングの製作は、おおよそ3人程度で行っていた。そのため、一気に作業を進めてしまいうことができず、非効率な部分もあったようにも思われる。もう少し全体に協力をお願いしていた方がよかったかもしれない。

以下、一つ一つ仔細に見ていきたい。

## 38.2 製作開始の遅れ

本年度の日程の項でも記したとおりであるが、本年度のフェアリング製作は実質的な作業開始が7月の第二週以降となり、そのため試験飛行が一度もできなかったのみならず、製作そのものがぎりぎりの日程となってしまった。

このようなことが起こった主たる原因は以下のようなものである。

1. フェアリングを製作する要員が主に一年生であり、設計・製作方法の確立が単独では困難であった。
2. それゆえ渡辺さん・山上さんといった上級生の方々の助力を仰ぐことになったが、ただでさえチームの中で最も多忙な方々をお願いする形になったため、設計等がなかなか進行しなかった。
3. さらに、設計図・製作方法が一度では決定せず、変更されるたびに再度一から製作しなおすことになり、進行が遅れた。また、製作方法がはっきりしないところが多く、その決定に時間を要した。

この製作の遅れにより、組み立て時のゆがみなどを満足に修正する時間がなく、結局最後まで無理矢理くみ上げたような形になってしまった。

## 38.3 知識不足

本年度の最大の問題は、製作者の知識不足であった。これは、製作を一年生中心に行ったことが原因であると思われる。この製作を通じて、「何かを製作する」という事への考え方の甘さを痛感させられた。

知識不足が最も如実に現れたのは材料製作においてであった。本年度は最初、ドア周りの部材を断面  $30\text{mm} \times 60\text{mm}$  という大きさにしていた。しかし、現実的には  $20\text{mm} \times 15\text{mm}$  程度の大きさでよく、時間的にも材料的にも大きな無駄が生じてしまった。実際、フェアリングは、機体が予定通り  $7.5\text{m/s}$  で飛行するとして、向かい風による影響を考慮して安全率を 1.5 倍にとったとして約  $11\text{m/s}$  の風による力に耐えられればよい。それを考えれば、本来ならばどの程度の強度が求められるかははっきりするはずである。今回の問題は、何がどの程度の強度を持っているかが分からなかったことによると思われる。他にも、作業手順の決定の遅れ、上手な治具が製作できなかったことなどもこのことによる問題であろう。

## 38.4 参加人数の少なさ

本年度は最終的にはそれほど大きな問題にはならなかったが、作業人数が常に3人程度であったということは作業効率の低下を招いた部分があったと思われる。特に前半の材料の切り出しなどの作業はある程度(4~5人)の人数がいる方が効率がよいと思われる。これは、スタイロの切り出しとバルサ貼りなどの作業を分担することで同時に進められると考えられるからである。また、本年度は人数が少なかったため作業終了が22時をまわることが何度もあったが、人数を増やすことで一人当たりの作業時間を短くすることができるのではないかと考えられる。

このように作業人数が少なくなった原因としては、一年生全体に作業日程がいきわたっていなかったことや、作業が試験期間に重なってきたことが考えられる。そもそも2年生以上の方々が忙しかったために一年生にフェアリングの製作作業がまわってきたのだということを考え、全体として作業していこうという姿勢が必要だったように思う。

## 38.5 意思疎通の失敗

今回のフェアリング作業は時間的な制約もあり、思いつくままに作業を進めた部分もあった。そのため、全体の意思疎通がしっかりと図れていなかったと思われる。例えば、「骨組み製作の段階で、フェアリング製作責任者と十分な話し合いができてなかったため、前後部が他の部分とどのように組み付けられるのかについて十分な認識がなく、この部分でのずれが後でどのように影響するのかを深く考えながら制作していなかった。」といったことも言われている。

この問題は全体の作業工程を一部の作業者が独断的に考え、十分な話し合いをせずに作業に入ったことによると思われる。意思疎通なしでは作業の効率も、また製作に当たって注意すべきだと考える点も統一性のないものになり、まともなものには仕上がらないということを認識しておく必要があったと思う。

## 38.6 製作に関する問題点

製作自体における問題点は主に以下のようなものがあった。

### 1. 製作精度の低さ

…本年度のフェアリングは、組み立て試験をしてデフォルトの位置をマークしておいたにもかかわらず本番も含めてぴったりとかみ合わなかった。この原因はそもそもの部材の精度が低く、そのため治具を用いて制作しても要求される精度を出せなかったためであると考えられる。

また、そもそも精度への意識も薄かったように思われる。

### 2. 制作方法の検討

…本年度のフェアリングの製作手法は前述の通りであるが、たとえばベニヤで型紙を製作したことに関してはベニヤの加工の難しさから型紙が不正確であった・ベニヤが折れやすく、途中でほとんどの型紙が破損した等の問題があった。これについては、制作方法・手順の再検討を行うことで改善を図ることができるのではないかと考えられる。特に治具に関しては、精度の向上ということを考えれば、改良は不可欠であると思われる。

### 3. 材料の洗い直し

…本年度フェアリングに利用した材料には、たとえば発泡スチロールとフィルムテープのように相性のよくない材料が多々用いられている。材料や構造の洗い直しの必要性が感じられる。

以下、細かくみていこう。

## 38.7 製作精度の低さ

本年度は、製作精度の低さから、全体としての組み立ての不具合や製作方法変更の必要性など、大きな問題を招いてしまった。

本年度の製作精度の低さに関する最大の問題は水平性の確保に関してであった。本年度は簡易な治具のようなものを用いて制作してみたが、地面への垂直性が確保できず、また部材自体の大きさも一定していなかったため、前部、後部ともにゆがみを生じてしまった。具体的には前部の高さが設計より約 20mm 短く 前後で高さが異なっていたため、ドアの上部を斜めにせざるを得ず、また水平方向の骨組みが斜めについていた、すなわち、はじめの固定の段階で斜めに固定していたため、ドアの形が歪んだといった問題が発生した。さらに、

後部に関しては上面と下面が平行でなく、上部・下部のポートへの接着に難を生じてしまった。

また、組み立てた時に、向かって左側の側面において長さが足りなくなり、隙間ができるという問題も発生した。この問題に関しては、組み立て時に前部・後部のゆがみを修正ながら組み立てられなかったことも原因であると思われる。

さらに、ゆがみが原因であると考えられるが、前部と後部の高さのずれ、組み立て状態によってドア部分の幅が変わってしまいドア部分がはまりにくくなることなどの問題があった。

また、部材の切断面が滑らかになっていなかったため、バルサ材の貼り付けや部材同士の接合においてしっかりとした接着ができていなかったという問題もあった。

以上のような問題以外にも、そもそも製作精度への認識不足という問題もあったと思われる。「この程度ならば」という意識がどこかにあったということも否めないのではないだろうか。

### 38.8 制作方法の検討

本年度の制作方法で最も問題があったと思われるのは前部・後部の製作である。確かに治具のようなものを製作はしたが、前述したとおり前部・後部での高さのずれ、後部の上面のゆがみなどの問題があり、成功したとはいえなかった。前部の外面の貼り付けに関しても、ずれを残したままの完成となってしまったことも、制作方法が少々雑になったのではないと思われる。

次に、ドア部分に関してはシルバーフィルムの張り方に問題を感じた。シルバーフィルムの張力により骨組みがゆがんでしまい、形が合わなくなるという問題が生じた。この問題はドアを前部・後部の骨組みからはずした状態で組み立てたことが一つの原因であったように思われる。

また、横方向の部材の型紙をベニヤ板で製作したことに関しても、ベニヤ板の加工のしづらさから製作精度が落ちるといった問題があり、この部分の制作方法も検討した方がよいと思われる。

また、上部ポートに関しては前部と後部の間に穴が空くという問題があった。これは前後を別の発泡スチロールから製作したことによる問題であったと考えられる。

最後に、全体的な問題として、最初にしっかりとした完成図を描いておくことが必要であるとする。これは特に長さの不足に対して言えることであると思うが、しっかりと各部分の長さを測った上で作業をすれば、そのようなミスは防げるはずではないかと思う。また、完成図が頭の中に入っていれば「確実にきれいに組み立てられる」ものを製作していくことも可能になるのではないだろうか。本年度の組み立ての出来がが毎回変化してしまったことの原因の一つは各接着箇所がつき合わせる形になっており、一定した接着ができなかったことであると考えられる。

### 38.9 材料の洗い直し

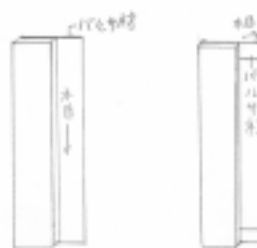
部材の洗い直しの必要性が最も感じられたのは、上部・下部に使用している発泡スチロール及びその接着に使用しているフィルムテープである。この部分は、製作に時間がかかるのみならず、組み立ての際にフィルムテープで満足に接着できないという問題があり、何らかの修正の必要性が感じられた。

また、前部に使用している塩ビ板についても、重量と加工のしやすさの点から考えると、改善の余地があるように思われる。しっかりと張力をかけて貼れば、プラスチックほどの剛性は要求されないのではないだろうか。型紙の部分についても、ベニヤ板は加工がしづらい、折れやすいといった問題があり、改良が求められる。



と思われる。

他にも、バルサ材についても、繊維の方向がはっきりしすぎており、扱いづらい部分があった。例えば、本年度は一案として、ドア受けの部分を実に示したように、柱の部分からバルサを伸ばす形で製作しようという案もあったが、このようにするとバルサの繊維が縦に入り、強度がないと考えられたため廃案になった。繊維方向の関係のない材料があれば、より軽量化が図れると思われる。



## 39 本年度の工夫

本年度の製作において効率化が図れたと思われるのは以下のような点である。

### 1. 治具の図面

…あまり十分に機能し切れなかった本年度の治具であるが、その中で、ドアとの接続部の実寸大の図面を用意するのは、これを基準とできるので悪くなかったように思われる。フェアリングの中で最も精度を要求されるのは、他の部品との接合部分であるドア周りであり、その部分の図面を基準にすることは方針としては正しかったように思われる。

### 2. 前部部材の重ねあわせ

…本年度は、前部の部材の型紙を少々余分に長めにしておき、後で合わせた状態になるように斜めに切るようにした。これにより、前部の接着部分が少しでも滑らかに接合できるようにした。

### 3. ドア部分の強化

…本年度は、ドア部分の補強材として10 mm スタイロを三角形に切り出したものを利用した。これを用いることでドア部分のゆがみを抑えられるようにする。

### 4. ドア部分の分割

…上述のように、本年度は最終的に、ドア部分の最下部を一区分分割した。これは、当初の計画通りでは高さ1600 mm に及ぶドアになっており、プラットホーム上で取り付けの際に風が邪魔になるのではないかと考えられたためである。ドア部分の最下部を切断し、組み立ての段階でフェアリング本体に取り付けておくことで、ドアの長さは約1100mm となった。また、事前に一部分を固定しておくことで最後にドアを取り付けるのが容易になった。

## 40 来年度に向けて

まずは製作システムに対する解決案から書いておきたい。

### 40.1 フェアリング班の設置

作業の開始を早くする方法の一つとして、フェアリング班を設置してしまうという方法が考えられる。フェアリングを製作する人間をあらかじめ決定しておくことで、早い段階から計画・試作といった作業にかかれるようになるのではないだろうか。

実際、チームによってははっきりとフェアリング製作を担当する班を持っているということも聞いており、はっきりと班を作っておくことも一つの方法であると考えられる。

もっとも、現在の人数を考えると2～3名、それも主翼班との兼任という形になることはやむをえないかもしれないが、それでも主翼班がまだ忙しくないうちに試作を試みられるなど、一定の効果は期待できるのではないだろうか。少なくとも、人数不足の解消のためにも、班は作らないまでも、大体の担当者は早期に決定しておく必要があるのではないだろうか。

#### 40.2 最初の段階での制作方法・図面の確認

実際にフェアリングを作り始める前に、もう一度制作方法の確認と図面のチェックをしておくべきではないだろうか。そうすることで、いざ始めてみてから問題が分かり、一からやり直しになるなどといった事態は避けられたはずである。

最初の段階では時間がかかるかもしれないが、図面のチェックなどをしておくことで、最終的には作業がスムーズになるため、結局は効率化が図れるのではないだろうか。

#### 40.3 二年生以上の参加

知識不足の解消の一つの方法として考えられるのが、二年生以上の人間が一人以上作業のメインとしてフェアリングに関わる方法である。もともとある程度の知識のある一年生ならばまだしも、普通の一年生がサークルに入って二、三ヶ月で一つのを製作しようというのは現実的に多分に無理のあることではなかったかと思う。

全体の作業が混んできていて、フェアリングにそれほど人を割けない状況であったのは事実であるが、どなたか一人でもいらっしゃればずいぶん違ったのではないかと思う。

#### 40.4 ミーティング

実際の製作に取り掛かる前に、製作に当たる中心となる作業で一度ミーティングを行っておくべきであると思われる。ミーティングの中で抑えるべきところ、制作方法等を話し合っておくことでダメだしもできるであろうし、また途中で作業に参加してくれる人に対しても「誰かに聞けば分かる」状況を作ることができ、効率的であると思われる。また、製作精度に関してもミーティングの場でしっかりと確認をしておくことである程度の意識の向上は図れるのではないだろうかし、出席率についても全体で確認しあうということで向上が図れるのではないだろうか。

また、出席率や精度等への意識の維持ということを考えると、製作中に何度か小さなミーティングのようなものはさんでおくことも効果があるかもしれない。

### 41 製作に対する解決案

次に、製作に対する解決案を書いておこうと思う。この部分に関しては、知識不足により満足な答えを示すことができない問題がほとんどになってしまう恐れがあるが、何らかの指針になれば幸いである。

#### 41.1 型紙の改良

本年度用いたベニヤ板の型紙は、確かにスタイロの切り出しが容易になるという意味で一定の効果はあったように思う。しかし、型紙を製作する段階で精度が落ち、結果的にはあまりよい精度での製作には繋がらなかったように思われる。

来年度に関しては、ケント紙で製作した上で何らかの方法で補強を行なうといった手法も取れるのではないだろうか。また、時間の余裕があればケント紙のみで型紙にすることもできると思われる。

#### 41.2 ドア部分について

ドア部分の最大の問題点はシルバーフィルムであると思われる。ドア部分の骨組みを正確に製作しても、外面を貼った際にゆがみが生じては組み立ての際に支障をきたすことになる。

シルバーフィルムの貼り方については、テンションをかけずに接着することが必要である。そのためには、例えばシルバーフィルムを置いておき、上から骨組みを置き、押さえていくといった方法も一つの方法ではないだろうか。

#### 41.3 接着方法について

組み立て時の接着に関しては、現在全てをフィルムテープによっているが、フィルムテープのひだによる空気抵抗の増加、発泡スチロールとの相性の悪さなどが問題となっており、例えば補助的にスチのりなどの接着剤を用いるなどの方法でフィルムテープの露出を抑える必要があるとおもわれる。特に下部ポートの接着には、フィルムテープを包むように貼っていくため、ひだも多く、改善が求められる。これについてはまだ具体案を提示するにはいないが、何らかの解決策を考える必要があると思われる。

また、組み立て時にフィルムテープを内側から張ることができる部分に関しては、内側から貼ることによってフィルムテープによる空気抵抗の増加を押さえることができると思われる。

#### 41.4 塩ビ板について

塩ビ板については、軽量化の観点から、できる限り面積を減少させることが望ましい。本年度は時間がおしていたこともあって、単純に「中央部分の2区画分」と決定したが、現実的にはその部分全てがパイロット視界にはなっておらず、腕などで隠れている部分もあり、不必要に重量が大きくなっている部分があることが考えられる。

水平方向の部材がないところでの接着は多少面倒になるという問題はあるものの、軽量化は非常に重要であり、優先されるべき問題であるように思われる。

#### 41.5 治具の改良

前述の通り、治具の改良は製作精度の向上には不可欠である。ここでは、材料の精度が向上しているものとして2, 3の改良案を挙げておく。

まず考えられるのが、垂直方向の固定である。台にする板に垂直になるように固定することで、骨組みの部分を垂直性を保って固定できるのではないだろうか。この垂直性は差し金を用いることで得られるのではない

だろうか。また、この板の高さを低めにしておけば、縦の柱の接着には大きな支障はないと思われる。

また、材料を固定するためにお立ち台に渡しておく材料については、ベニヤ板や10 mm厚のスタイロなどをを用いることもできると思われる。厚さを変更できる材料を用いることで必要な高さを出せるのではないだろうか。

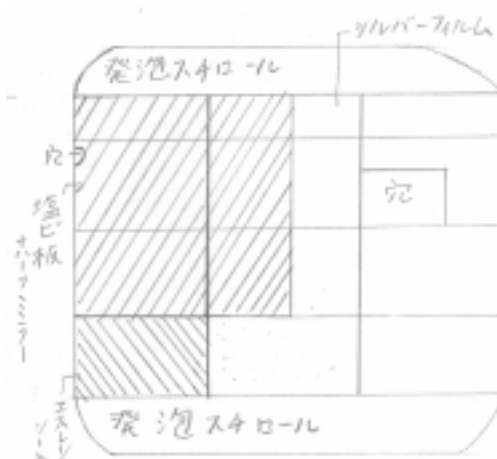
他にも、上に渡す材料に切込みを入れるなどの方法で材料を固定する方法も考えられる。

## 41.6 ポートの製作について

ポートの製作は、上部・下部それぞれ一つずつの発泡スチロールから切り出すべきではないかと思われる。分割に関しては、それぞれを切り出した上で行うほうがよいように思われる。このようにすることにより、本年度のように上部ポートの前部と後部の間に間隙が生じるといったミスは起こらなくなるのではないかと思われる。

## 41.7 空冷方法について

空冷については、本年度はパイロットの前面に穴を開けて行っていた。しかし、チームエアロゼブシーの機体ではフェアリング上部の二箇所にも右図のように穴を空けることで空気の入れを行っている。これに関しては現在のところどちらが優れているとはいえないが、少なくとも製作の簡易さという点ではパイロット前面からのインテイクの方が容易であったため、この方式を採用した。しかし空気を取り入れの点で明らかな違いがあるのならば、制作方法の変更も必要になると思われる。



## 41.8 運搬用のダンボールについて

運搬用のダンボールに関しては、早めに用意しておくべきである。本年度は運搬前日に用意したため、時間的に非常に切羽詰った作業になってしまった。

また、来年度は昨年度以前の物を修繕して用いる事も考えるべきではないだろうか。

## 42 まとめ

本年度フェアリングの製作を通じて感じたことは、フェアリングにはまだマニュアル的なものがないということであった。「これがよいのではないか」という制作方法がまだはっきり決まっておらず、手探りでの製作になったように思われる。

確かに、本年度のように時間のない状況では、ぎりぎりまでフェアリングの製作に取り掛かれなかったのは事実である。しかし、できれば、そのような状況になる可能性を想定して何らかのマニュアルのようなものが出来上がっていればよかったように思う。それは決して「このままやればよい」ということではなく、たたき台になるものでよいのだが、何も無い状況からつくのではどうしても時間がかかってしまうように思われる。

また、毎年1から製作を行なっているだけでは進歩は難しいのではないだろうか。上に向かって積んでいくための土台の必要性が感じられた。

また、他チームの研究ということも多少行なっていても良いのかもしれない。少々時間はとられるだろうが、それによってより効率化、性能の向上が図れれば大きな成果であろう。

## 第 VII 部

# 計測班

### 43 あらまし

本年度は当初、対気速度計・ペダル回転数計・飛行高度計、さらにこれらの計測した値を飛行中記録するデータロガーを作ることを目標とした。このうち対気速度計については、測定部分に関しては実績ある昨年度のシステムを踏襲することとしたが、ペダル回転数計（以下「回転数計」と略記する）・高度計は経験がないため新規に製作することにした。またデータロガーについても、昨年度のシステムでは EEPROM のリーダーを別個に必要としたが、本年度は計測用の基板から直接 PC にシリアル転送が可能となるよう設計した。

しかし残念ながら、高度計は超音波を用いるという原理上、機体のバンク角によって値が大きく変動することが問題となり、また担当していた者がチーム運営に専念することを希望したため、開発を継続することが事実上不可能になってしまった。

### 44 各システムの原理

#### 44.1 対気速度計

対気速度計は、模型飛行機用のプロペラを右内翼の下部に取り付け、その軸の回転数を計測することにより動作する。図 22 のように、スリット付きの円板（プラスチック板をアルミで補強したもの）を軸にとりつけ、この円板をくわえるようにとりつけたフォトインタラプタによって回転の検出を行うものである。

1 秒ごとに、0.5 秒間のパルス数をカウントし、その値をプログラム内のテーブルによって実際の対気速度に換算する。このテーブルは、市販の風速計による値を参考にして作成したが、風速計と対気速度計を同じ条件（風速）のもとで回転させることが困難であったため、その精度にはなお改善の余地があると思われる。具体的には、風洞実験を行うのがもっとも正確であろう。

#### 44.2 回転数計

当初は、スプロケットボックス内の回転軸に紙を巻き付け、その紙に白い部分（反射部）と黒い部分を作り、反射型のフォトインタラプタでその回転を検出する方法をとっていた。しかし、前述の担当者の事情により、

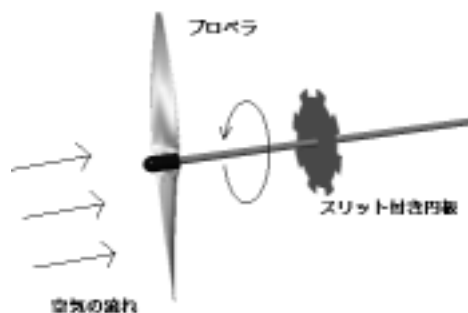


図 22: 対気速度計の原理

開発途中で継続が不可能となってしまった。

ただし大会の直前になり、ギアの歯を挟み込む形式で透過型のフォトインタラプタを設置することで回転の検出が可能であることが分かり、対気速度計とシステムを兼用して設置することができたものである。

### 44.3 データロガー

データロガーとは、ここでは、対気速度計と回転数計から得られる値を EEPROM に記録すると同時に、その値をアナログメータによってパイロットに表示する機能を持つものをいう。

当初、対気速度計・回転数計の演算用に PIC16F628 を 1 つずつ用い、データロガー用には PIC16F873 を 1 つ使って、PIC16F873 がマスターとなって 9bit/8bit 両用のシリアル通信を行ってこの機能を実現していた。またアナログメータについては、PIC16F873 の持つ 2 つの CCP モジュールを用いて、2 つのメータを共に制御していた。しかしこのシステムで計測を行うと、電源投入後数分で機能が停止してしまうという不具合が発見され、この原因は USART モジュールに起因するものであろうと推測はしたものの、究明と解決には至らなかった。

そこで、シリアル通信を行わないシステムを考えることにし、対気速度計・回転数計それぞれに EEPROM を 1 つずつ用意して、独立してデータの記録を行うことにした。そこでメータの制御も、それぞれで独立して行うこととなった。

## 45 当初のシステム

前述のように、当初は PIC16F628 を 2 つ、PIC16F873 を 1 つ用いるシステムであった。

### 45.1 回路

回路図を図 23 に示す。2 つの PIC16F628 について、RPM で表したものがペダル回転数計測用、SPD で示したものが対気速度計測用である。

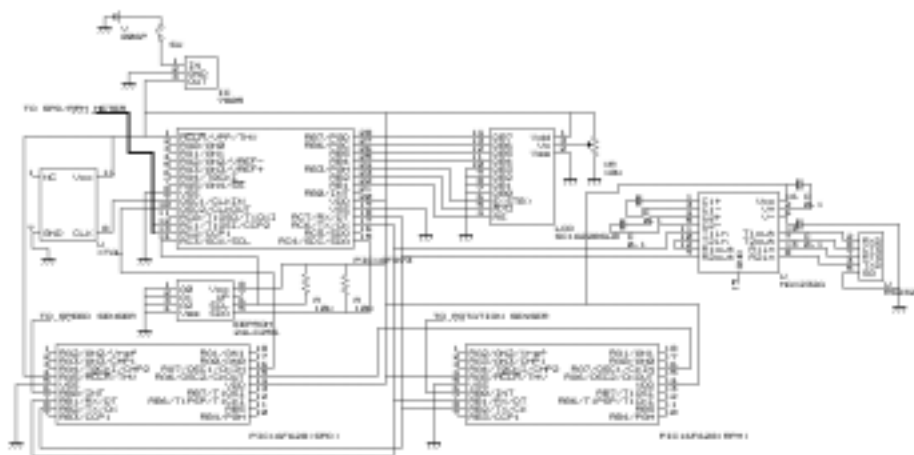


図 23: 当初の回路

## 45.2 ソフト

この回路において、PIC16F873 で使用していたプログラムの機能は以下の通りである。なおこの手続きは、対気速度計測においても回転数計測においても同様である。

1. 9bit モードの USART モジュールを用いてアドレスを送信し、計測側の PIC に割り込みを発生させる。
2. 8bit モードの USART モジュールを用いて計測値を受信する。
3. 最大値を求める。
4. データを EEPROM に記録する。
5. CCP モジュールを用いて速度計 / 回転数計に値を表示する。
6. 10 進数に変換した値および、最大値を液晶に表示する。

次に、PIC16F628(SPD) で使用していたプログラムの機能は以下の通りである。(RPM) で用いていたものもほぼ同様であるが、これは透過型フォトインタラプタを用いたものであり、実用に至らなかった。

1. 外部入力により割り込みを起こす入力ピンを用い、フォトインタラプタからのパルス数をカウントする。
2. TIMER モジュールを用い、約 0.5 秒ごとに割り込みを発生させる。
3. 2. の割り込み発生時、テーブルを用いて、カウント数を実際の対気速度に変換する。
4. 9bit モードの USART モジュールを用いてアドレスを受信し、割り込みを発生する。
5. 4. の割り込み発生時、8bit モードの SART モジュールを用いて計測値を送信する。

このプログラムは、先に示した PIC16F873 のプログラムと通信するものである。具体的には、自らのアドレスが 9bit モードで指定されることを常にチェックしており、指定されると 8bit で値を返信するものである。

## 45.3 反省

前述のように、このシステムは動作が停止してしまうという不具合があり、琵琶湖では搭載しなかったが、一応の(数分の)動作まではこぎつけた。その時の問題点と解決法は以下の通りである(実際はプログラムのデバッグに多大の時間を費やしたが、その殆どは細かなミス・思いこみに起因するもので、反省となるものはなかった)。

1. 電源投入後、EEPROM はアドレス 0 から書き込みをはじめため、一度電源を切断すると以前のデータが消えてしまうこと。しかし EEPROM の容量では、3 時間ほど連続して記録できるのでこれは仕様として、006P の電池ホルダーを並列(2 つ)として動作中の電池交換が可能であるようにした。
2. 試験飛行の運搬時・試験飛行中などに、コネクタや基板が傷つき、断線が数多く発生した。そこで基板上のジャンパやコネクタの半田付け部には、エポキシ系接着剤を盛りつけることにした。当初は硬化するとグレーになるものを使用していたが、後に配線を確認するために不便であるため、透明になるタイプを用いることにした。
3. PC との通信は RS-232C を用いたが、このコネクタ内でも断線が発生した。ケースを取り付けても断線は起こりうるのである。ゼリー状瞬間接着剤で固めることにした( RS-232C 本来のエラー処理を行うには PIC の能力が低かったことも関係している)。



4. このシステムで基板は計3枚作成したが、当初の基板は頻繁にプログラムの書き換えを行うPICがLCDの下部に隠れてしまい、PICを取り外すために毎回LCDをとりはずす必要があり、非常に非効率であった。後はICを取り外すためのピンセットがすぐに入るように配置を工夫した。
5. 水晶発振子からの信号を、3つのPICで共用していたが、負荷容量の測定や信号の終端処理を行っていなかったこと。そもそもこのような使い方は水晶発振子メーカーでも保証外であると思われる。

後に気付いたのであるが、USART モジュールを使うときに、PIC16F873 のプログラムでエラー処理を行っていなかったことがシステム停止の原因であったかもしれない。また、自宅で動作させると数時間順調に動作することもあり、試験飛行中の朝露、気温・湿度の変化による通信回路のインピーダンス変化等も原因として考えられる。いずれにせよ、EEPROM との I2C 通信、LCD の制御を単独で実験するプログラムを別に作成して試すと動作したので、大会直前になり、対気速度計測と回転数計測を独立させたシステムに移行することにした。

## 46 大会で使用したシステム

### 46.1 回路

回路図を図 24 に示す。

当初の回路と比較して、PIC16F873 に関する回路には殆ど変更を加えなかったもので、回路は比較的苦労せず完成した。ただし、I2C のバスのプルアップに粗悪な抵抗 (パーツ店で 1 本 2 円の炭素皮膜抵抗) を使用したためか、当初は I2C 通信に失敗した。1 本 10 円の金属皮膜抵抗に交換すると安定して動作するようになった。波形の立ち上がり・立ち下がりが抵抗の L 成分によって影響をうけていたのであると思われる。

### 46.2 ソフト

実際に琵琶湖で搭載したプログラムは、構成としては当初のシステムのために作っていたものをつなぎ合わせたものであり、ほぼ不具合なく完成させることができた。第 44.3 節で述べたように、このソフトでは USART 機能を使わず、測定値を EEPROM に直接記録している。対気速度計用のプログラムの動作は以下の通りである。

1. 外部入力により割り込みを起こす入力ピンを用い、フォトインタラプタからのパルス数をカウントする。
2. TIMER モジュールを用い、約 0.5 秒ごとに割り込みを発生させる。
3. 2. の割り込み発生時、テーブルを用いて、カウント数を実際の対気速度に変換する。
4. I2C モジュールを用い、対気速度を EEPROM に記録する。
5. 対気速度を、 $6.0m/s \sim 8.0m/s$  の範囲でコックピットのアナログメータに表示する。

原理・動作とも、回転数計用のプログラムとほぼ同様であるが、回転数計は、60~90rpm の範囲でメータに表示した。また回転数が 65rpm を下回るとブザーで警告するようにしたが、この機能についてはパイロットからのフィードバックを得られず (琵琶湖では十分な回転数が維持できていなかったようだが、どの程度の回転数で警告するのが適切であるかはパイロットの判断を待つ必要がある)、実際にどの程度の効果があるのかという点では、何とも言えない。

### 46.3 大会仕様のシステム

大会のフライト後着水すると、コックピット部は完全に水没してしまう。電子回路は水に弱いので、大会仕様として回路を防水することにした。しかし質量・体積の増加を懸念し、完全に防水するのではなく、EEPROM を含む回路部分を重点的に防水することにした。

具体的には回路のちょうど収まるアクリルケースを用意し、LCD はケース蓋に開けた角穴を通して取り付けることとした。この角穴をはじめ、配線用に開けた穴、蓋と本体部分の隙間には、大会前日に琵琶湖岸でエポキシ系接着剤を充填した後、ビニールテープを巻いた。また LCD も、エポキシ系接着剤でケース蓋に強固に取り付けた。

以上の対策の結果、フライト後水揚げした段階で回路はまだ動作していた。また、諦めることにした LCD も、濡れながらまだ動作しており、密閉度の高さのため、内部に浸水しなかったのではないと思われる。

## 47 得られたデータ

EEPROM に記録されたデータをグラフ化したものを図 25 に示した。そして、実際にフライトしていた時刻の前後のデータのみをグラフ化したもの（図 25 の拡大）を図 26 に示した。

## 48 最後に

最終的に、こうして大会時のデータを残すことができたことが大きな誇りである。当初のシステムのトラブルに悩んでいる間は、ちょうど計測班が 1 人になった直後であったこともあり、大会に間に合わないかと何度も思ったが、直前にシステムを変更して間に合わせることができた。また同じく直前になって、回転数計をとりつけることもできた。フォトインタラプタがはずれて駆動に巻き込まれたら、という心配もあったものの、このフォトインタラプタは水揚げ後、機体収容時までしっかりと残っていた。

右内翼にとりつけた機速計は失われたが、これを来年までに復活させることも味のある作業となろう。大会後、EEPROM がコンピュータに送信するデータがディスプレイに表れたのは、正に至福の時であった。

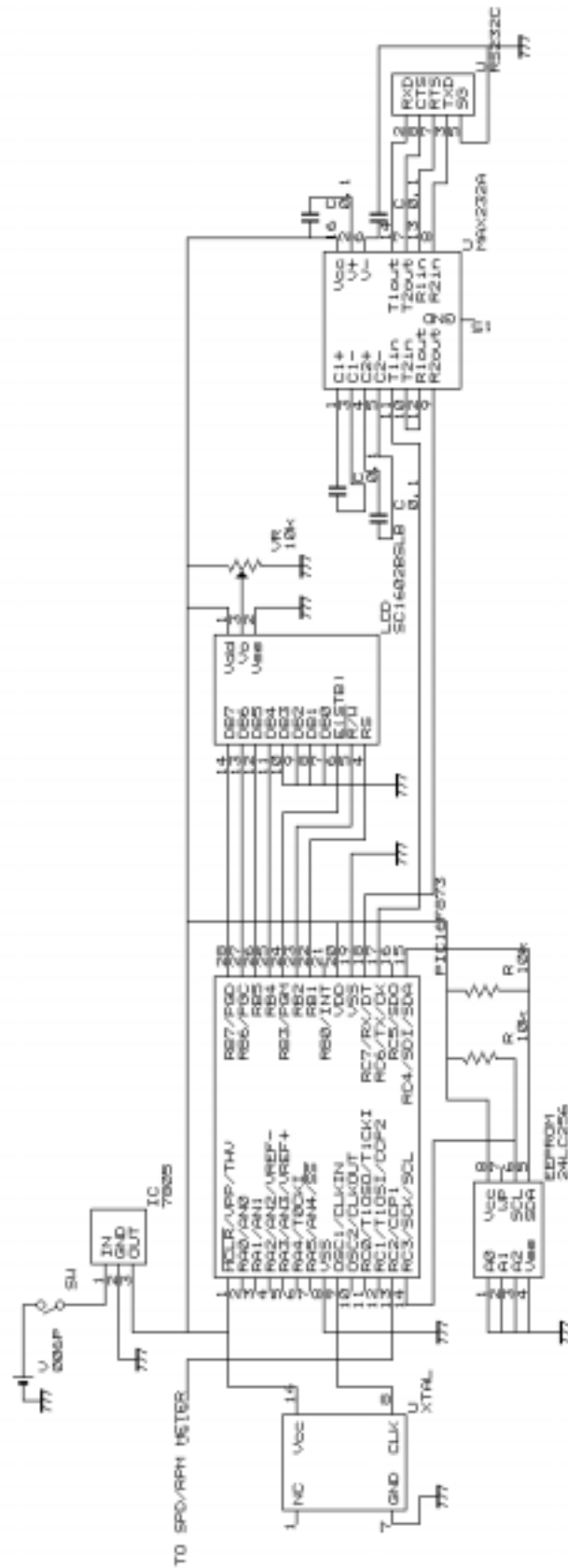


図 24: 大会で使用した回路

機速、回転数と時刻

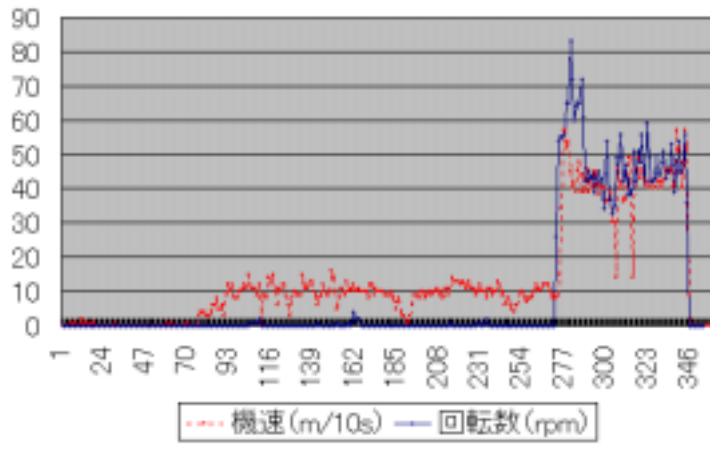


図 25: 得られたデータ

機速、回転数と時刻(拡大)

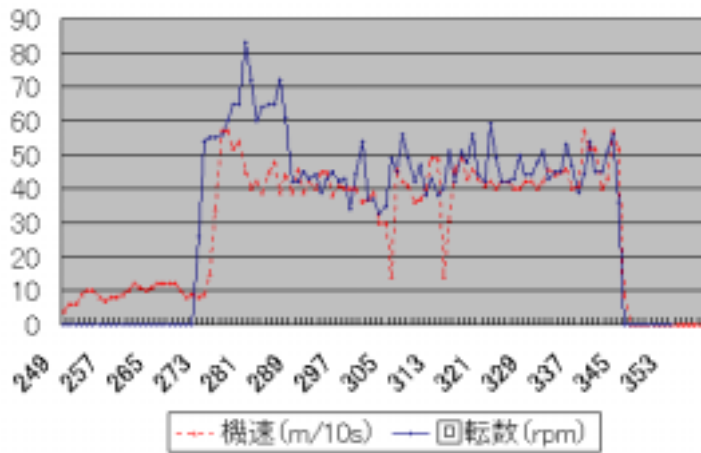


図 26: 得られたデータの拡大