

航空機飛行試験特論

5 秒の充電で 30 秒飛ぶ紙飛行機を作れ！

水 野 宏 一 著

第1章 電動紙飛行機フライベリー誕生

1 こんな飛行機がほしかった

子供たちの航空に関する興味を持たせようと、年に数回工作教室を企画し、紙飛行機やゴム動力飛行機を作らせてきました。しかし、家庭でも作れる折り紙飛行機は子供達が飽きてしまったり、少し上級者向けに作られた紙飛行機を子供達に作らせても、主翼や尾翼のねじれなど微調整が難しく、感動的な飛行を体験させるのは難しいと感じていました。



ある時子供向けヒコーキ工作教室の依頼を受けたので昔懐かしいゴム動力ヒコーキを教材に使おうと見本を見せながら「今日はこれを作ります」自慢げに話すと、以外にも子ども達のノリが悪く、「ダサいなあ〜」って声も聞こえてショックを受けたことがあります。後で考えてみたら、今の子ども達は幼い頃からアニメやゲームを見ているので「カッコ良さ」にはとても敏感で、昭和時代のゴム動力機のビジュアルはお目に敵わないのです。その後ネットで現代っ子に受けるデザイン性の高いヒコーキを購入しようと探しましたが手頃な飛行機が見つかりませんでした。

これがきっかけでカッコ良くても子どもでも簡単に作れて、飛んでるヒコーキを追いかけて走り続けるほど長く飛ぶ紙飛行機を作ってやろうと思い、設計しはじめ試行錯誤を繰り返してようやく完成したのがこの電動紙飛行機フライベリーです。

このヒコーキは湿気に強いスチレンペーパーで作られており、専用充電器を使ってコンデンサーに5秒充電するだけで小型モーターの力で約40秒飛行する面白い紙飛行機です。スタイルも子どもたちが思わず「カッコイイ!」と叫びたくなるようにスタイリッシュに仕上げ、手にするだけでも飛行機を好きになってもらえるようにしたんです。

2 教材として使える模型飛行機とは

設計にはまずコンセプトが大切です。開発の目的を決めて用途にあった機体を設計しないと、ただのおもちゃになってしまいます。そこでテーマは「作って学べる航空科学教材」として下記の条件を満たすように設計しようと考えました。

- 1) 子供たちが「カッコいい」と感じるデザインで高性能（長時間耐空できる）であること。
- 2) 動力は簡単な充電で飛ばせる電動であること。
- 3) カスタマイズできて工作技術の向上を図れるような工夫されたものであること。
- 4) 特徴ある機体で飛行原理を解説してあり、指導者が子供に教えやすい工夫がしてあること。
- 5) 異なる複数のタイプを作ることによって子供に翼の特徴を感じさせることができること。
- 6) 高性能であるが低価格で子供たちが手軽に作ってみたいくなること。
- 7) 子供達のアイデアで機体のカラーリングなどオリジナルティーをいかせること。

今までの航空教室で体感してきた活動を思い起こしながら自分で条件を設定してみました。正直かなり難しい条件となっていました。(笑)しかし、必要は発明の母といいます。ここはひとつ頑張ってみよう。そう思って当時仕事から帰宅して寝る前にこそこそと設計が始めたのです。

3 フライベリーの工夫

3-1 素材 軽くて強度があって湿気にも強く安い素材

まずは工作の素材選びです。バルサ材・ケント紙・発泡スチロール・で軽く作ってみました。飛行機を作るには子供でも加工しやすく軽くて丈夫が一番、となればやはり発砲スチロールです。その中でも簡単に入手でき、丈夫で軽いスチレンボードやスチレンペーパーが最適と考えました。これなら切って、折って、曲げて、貼るだけで簡単に機体を作ることができます。いろんな発想を試しながら試行錯誤できるので教材として面白素材です。

3-2 動力 小さくて強力なコアーレスモーター

動力は飛行機の心臓部ですからなにを使おうかと模型販売店や電気メーカーを探しましたが、都合の良い商品がなく、たまたま使わなくなった携帯電話を分解したときに取りついていたバイブレーションモーターを改良して使おうと思いましたが、軸に取り付けた振動用のおもりが取れなくて断念していました。あるとき小型室内機のラジコン飛行機を自作して飛ばしている友人に会い、マニアの世界では海外から輸入し理想的なユニットが入手していることを聞きました。僕は早速友人に教材用模型飛行機の設計をしていることを話すと、友人は「良いのが有る」そう言って早速モーターを海外から手に入れてくれたのです。こうして小電力でも馬力がありギアユニット付き小型軽量のコアーレスモーターを低価格で手に入れることができました



3-3 コンデンサー 適切な電圧と容量を選ぶ

次の難問はバッテリーでした。電動模型飛行機の世界では今や小型軽量のリチウムイオン電池が主流なのですが、これが単体で買うと1個 3,500円もするのです。子供たちが手軽に楽しむ教材にはとても高く使えません。どうしたものかと考えているある日の朝刊で、小学校6年生の理科で電界コンデンサーを取り入れる電気実験が授業に取り入れられるという記事に目がとまり、ピンとききました。「これだ！」模型飛行機の電源に使えるばかりか、電界コンデンサーの放電特性の実験にも模型飛行機が使ってもらえるかもしれない。早速モーターの出力に必要な電力と大きさや重さを考え2.5V5Fの電界コンデンサーを入手して試したところ、40秒間は安定した出力が出ることがわかり、クイックチャージで何度でも飛ばせるコンデンサーとコアーレスモーターを組み合わせた動力が決まりました。



4 設計と試作

動力と電源の問題さえ解決できれば、機体設計は長年の経験を生かして主翼や胴体のサイズを割り出し制作に入るのですが、ここでもう一つ重要なポイントがありました。それは子供からみて「カッコいい」と思えるデザインにすることでした。そこで何枚もデザインパース描き、機体構造を考えながら 10 機くらい試作機をつくりやっと完成したのが初号機となる KM7 1 スカイレーサーでした。

どのように制作させれば教材として最適か KM7 1 は何度もテスト飛行を行い目標の飛行性能を発揮できるようになりました。しかし、次の問題ははどうやって子供たちの工作力でこれだけのものを作らせるか、その制作過程が問題になってきました。「子供たちの工作力を向上させる」これも大きな課題です。市販の模型のようにパーツをカットして貼り合わせるだけにすれば簡単に完成させることができますが、寸法を測ったり、切ったり、折り曲げたりする折半加工により翼の曲面を簡単に左右均等かつ正確に作るためのガイドラインと、



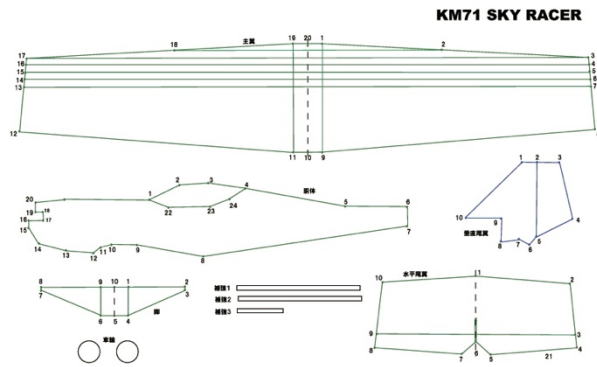
工作のすることで子供達たちに道具の使い方を習得させたり、工作上で工夫させて探究心を持たせることを狙うことにしました。

そこで思いついたのが型紙をスチレンペーパーの上に置き、画鋏で型紙に書かれた番号順にピンホールをあけ、型紙を外してピンホールを線で結ぶと機体のレイアウトが写し取れるという方法でした。これをカットすれば簡単に正確な形が誰でも作ることができる。早速加工図面を描いて子供たちに解りやすく解説も付けました。

試作 1 号機 KM-71-SKY RACER

5 試験飛行と分析ができる教材へ

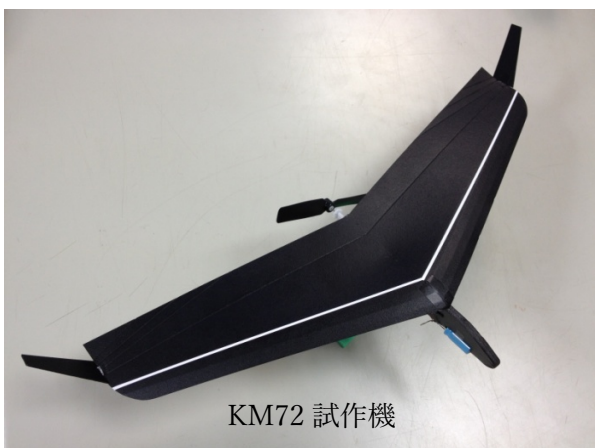
完成した KM7 1 は、早速中学生が行う工作教室で利用してみました。設計者としては子供たちがどういう反応をするのか楽しみでした。ピンホールをいくつか開け忘れたり、スチレンペーパーに定規を当ててカッターでうまく切れなかったり、ミスをする子供もいましたが、失敗しないように注意深く作業をする子供達の眼は真剣でした。「いいぞ！失敗を克服して初めて勉強だ、間違えたら最初から作ればいい」そう言って子供たちに指導しました。そしてやっと完成した KM7 1 の初飛行。充電してスイッチを入れると高鳴るモーター音を響かせながら子供たちの手を離れた機体は見事に飛んで行きました。機体を追いかける子供たちの歓声が今でも忘れられません。工作教室の感想を聞くと、「最初は難しく感じたけど作っている間にはまってしまった。」「失敗したけどすごく飛んだ、これカッコいいね。」子供たち



KM-71-SKY RACER パーツカット設計図

の喜びの声を聞いたとき、設計者としてはまさに「してやったり。」思わずガッツポーズです。次々に飛行する機体が面白いように飛んで行くのを見て満足感と感動で胸がいっぱいになりました。

6 飛行性能の違いを見せるための新機種開発



KM72 試作機

バージョンアップはどんな世界も必要不可欠。誰もがもっと手軽に作れてもっと長く飛行できる機体を作りにはどうしたらいいのだろうと考えるうちに、飛行に必要な最小限のパーツだけで作ることができるタイプがベストと考え、様々なタイプの飛行機から主翼と胴体を一体にして尾翼を持たない無尾翼機を2号機として設計することにしました。しかもモーターを最後尾に配置して室内で障害物に当たってもプロペラやモーターを壊しにくいプッシャー式の機体を設計してみました。

図面をおこし、試作機を作って飛ばしてみるのですが、最初はなかなかうまく飛行してくれませんでした。無尾翼機は重心位置範囲が狭いため微妙なバランスをとるのが難しいのです。そこで、航空関連図書を読み返して、無尾翼機の安定性を増すためのポイントを見つけました。



①主翼前縁から後縁にかけてS字キャンバーを付け、主翼の構造の中に尾翼の働きをさせる、②翼端失速を防ぐためにねじり下げを付ける、③重心範囲を広げるために後退角を付ける。などです。細工を施しながら何度も試験飛行をしているうちに安定飛行させるコツをつかむことができました。それを基に機体を改良して量産型に設計変更したのがKM72アルソミトラです。

この機体のデビューは山梨県立科学館で依頼された「こども工作教室」でした。工作教室では子供達の工作力でも2時間くらいで機体を完成させることができ、科学館の講堂で飛行コンテストを行う中で最長20秒も飛行する機体もありました。お陰で工

作教室は大成功。ポイントさえ押さえて説明すれば、小学校4年生の子供達でも簡単に作れることもわかり。この機体は低学年向けの機体として利用ができることを確信しました。



7 高性能機を目指せ

ここまでくると電気容量を大きくして野外で飛ばせる機体の設計をしてみたくになりました。子供たちが驚くようなスタイリングと高性能を兼ね備えた教材機は作れないだろうか。またデザインを考え苦悩の日々が続くわけですが、アニメの「スカイクロラ」や「とある飛行士への追憶」「紺碧の艦隊」を見て先尾翼機をデザインしてみようと考えました。最初はやはりアイデアスケッチからです。試行錯誤を繰り返して先尾翼でツインテール(垂直尾翼2枚)にして・・・重心は、翼面積は・・・さらにデザインに力を入れ、インクジェットプリンター専用の粘着プリントシートを使って機体専用のシールをデザインして機体に貼ってみました。こうして完成したのがKM73 スターフライヤーです。自信满满で早速テスト飛行させたのですが、これが全然上昇しないんです。(笑)



なぜ・・・どうすれば飛ぶようになるのか・・・。こんな時はネットで検索するとヒントがつかめることがよくあります。早速検索して様々なサイトを読みあさると、先尾翼の迎角を主翼の迎角より、 $2\sim 3^{\circ}$ 大きくすることで機体全体が上向きになったとき、先尾翼を先に失速させて機種を下げ主翼の失速を防げるということがわかりました。そこで早速先尾翼の取り付け部分を改良して、迎角を多めにとってから、飛行させてみると、まるでまったく別の機体のように空高く上昇し、旋回しながら約20mまで上昇して飛行を続け、離陸位置から500mも離れたところに着陸し、今までのシリーズでは出せなかった最高1分40秒以上を記録しました。楽しくなって何度も飛行試験をしているうちに上昇気流にのり、



機体が見えなくなってしまう、結局紛失してしまいました。(笑)「これ以上はラジコンにしないとフリープレーンでは追いつけるのが大変だな」そう思った瞬間でもありました。

こうして作られた3タイプを使い分け子供達に高翼機、低翼機、無尾翼、先尾翼など、タイプ別に特徴などを解説して飛行を楽しみながら理論を付け加えて指導をしていったのです。新型機を生み出すのは苦労の連続ですが、子供たちの飛行機を好きになってもらいたいという熱意と、子供たちを驚かせたいと思う気持ちが高じて、今では僕自身が模型飛行機作りに夢中になっていました。

8 物作りの楽しさと大切さを伝える

石川県にある日本航空学園能登空港キャンパスにある日本航大学校では、航空機設計のプロフェッショナルを育成する学科として航空工学科(4年制)があり、学生達は三菱重工業内でも設計に活用しているキャティア(設計専用ソフト)を使って航空機の設計技術を学んでいます。以前指導されている先生にコンデンサープレーンをどう活用すべきか相談した時に、「最近の子供たちは道具があっても工夫して使いこなすことができない、設計屋を目指すなら、まずは素材をよく知り、道具を使いこなす職人にならなくてはだめだ。パソコンで図面が書けたからと満足してはいけない。もっと良いものがないか常にひらめきと探求心を忘れないことが大切です。」と話してくれました。まさに子供達に伝えたい物作りの真髄であり、航空教材開発を行う上で大切なお話であると受け止めました。

素材と言えば日本航大学校では今年の6月に航空工学科の学生達を中心に、あるTV番組の依頼で段ボールを使ってグライダーを制作した。普段使っているあの段ボールを素材に作るのですが、実機を作るとなると強度を持たせた上に軽量化を図る必要があり、さらに段ボールは湿度に弱い性質があり、設計制作にはかなり苦労したようである。番組では学生達の手で作られた段ボールグライダーを人力曳航でテスト飛行させるシーンが放映され、わずかな時間ではあったが見事に地面を離れ飛行した。このとき学生達と先生と一緒に成功に感性をあげる姿が印象的でした。航空機制作には不向きな段ボールと向き合って飛行機を作ったチャレンジは、きっと学生達にとって普段授業では貴重な経験になったと思います。フライベリーと段ボール飛行機、航空工学を学くことについて共通点を感じます。

日本航大学校ではいつでも学校見学をすることができます。羽田から1時間で行ける能登空港キャンパスに一度いかれてはいかがでしょうか。きっと広大なキャンパスと施設設備に驚かれると共に、生き活きと勉学に励む学生達に感動されると思います。ご相談頂ければ体験授業ができるようにお話もいたしますので是非一度お立ち寄り下さい。



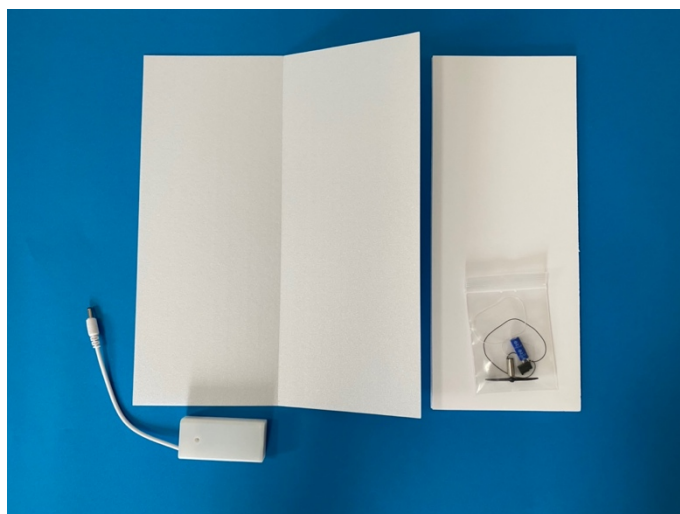
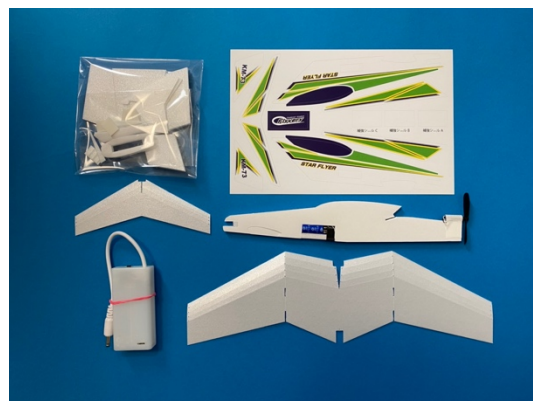
9 多くの方に楽しんでもらうために

これまで教材として開発した模型飛行機のことをお伝えしてきましたが、ただの模型飛行機じゃないかと思われる方もいると思います。しかし実際作ってみると実に奥深いものがあります。飛行機は小型軽量で強度を持たせることが必要不可欠ですから、無駄な物を極力削ぎ落して設計しなくてはなりません。そこには様々な工夫が必要になってきます。また実際に作りながら通常プラスの揚力を得るための翼に、マイナスの揚力を作り出して空力的バランスを取っている仕組みを飛ばしなから発見すると感動を覚えます。中高生以上の方にはスチレンペーパー、コンデンサー、モーターユニットを与えてオリジナルプレーンを作らせ、うまく飛行した時の感動を体験させれば素晴らしい経験になると思います。

そこで、さらにアイデアが浮かび、学年や各団の活動内容に応じて、工作の難易度を変えられるようにオーダーパッキングをおこなっています。

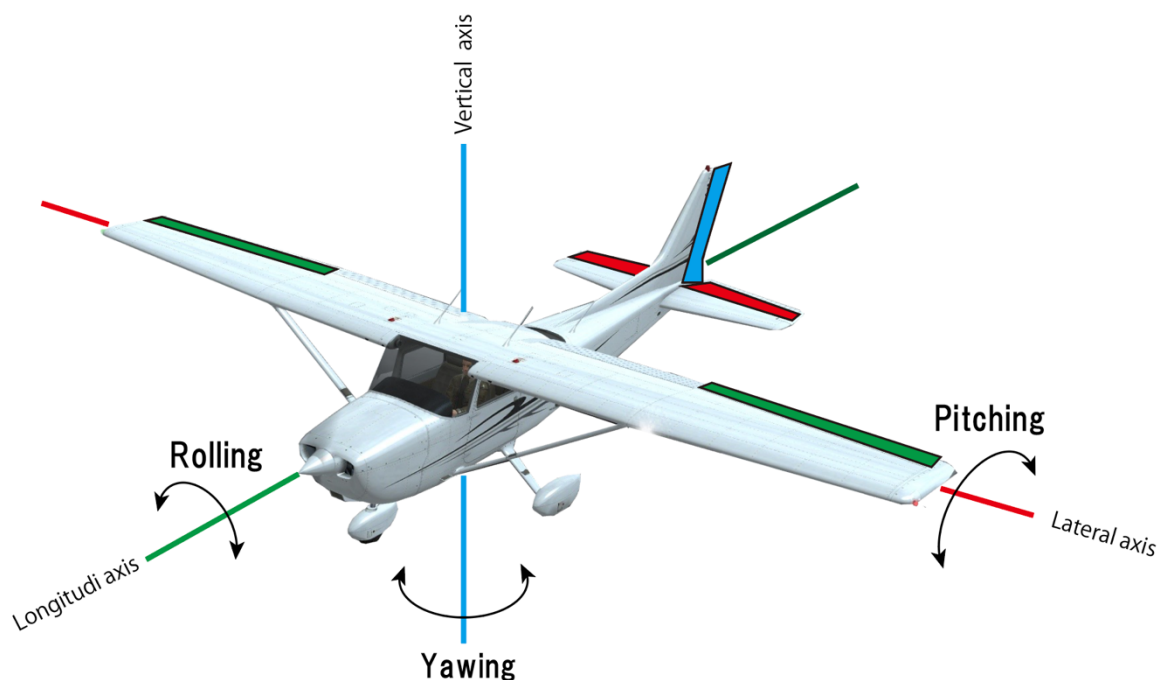
その他、航空工学が学べるように組立図や解説書が付いているほか、PC・タブレット・スマホで動画を観ながら工作のポイントを確認しながら作れるようにして、誰もが自作した飛行機を飛ばして驚くほど良く飛ぶ成功体験ができるようにサポートをしています

さらに面白くしようと、機体に絵を描がいたり、自分でカラーリングを行なってオリジナルフライベリーを作れるようにホワイトボディを発売したほか、ワンランク上のモーターや容量の良いコンデンサーに取り替えて飛行性能をカスタマイズできる交換パーツも販売しています。



第2章 電動紙飛行機制作の知識

紙飛行機が安定した飛行を行うためには飛行機の動きは3つの Axis（軸）を基準にピッチング・ヨーイング・ローリングの動きをしています。飛行機を設計する場合この3つの動きに対して安定させる仕組みを見ていきましょう。

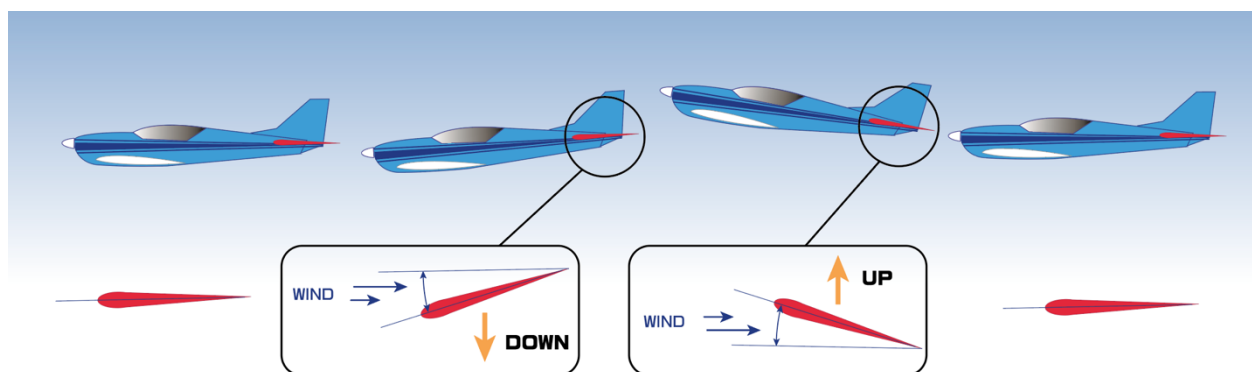


1 ピッチング安定

機首が lateral Axis を軸に上下に動く運動をピッチングと言います。このピッチングを安定させているのが水平尾翼です。

例えば飛行機が水平飛行中に機首が上向きになったとします。すると水平尾翼は迎角がプラスになり揚力を発生して機体の尾部を持ち上げる力が働くので機首が下がり水平に戻ります。逆に機首が下がった場合は尾翼がマイナスの迎角になるので今度は尾部を押し下げる力が働き機首が水平に戻ります。

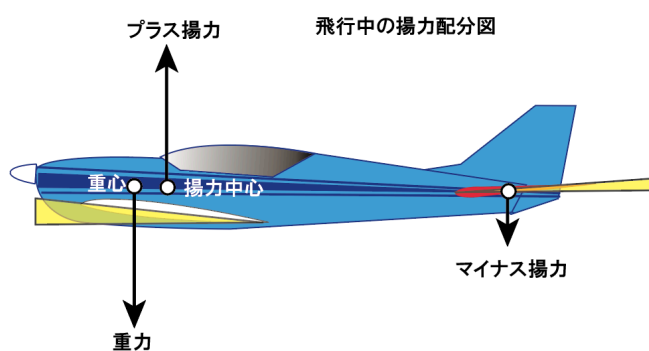
このように水平尾翼はピッチングの安定を司る大事な翼といえます。



次に主翼をと尾翼の関係について見てみましょう。主翼は機体全体の重量を揚力で支えています。水平尾翼は機体のピッチングに対して安定させる働きをしています。機軸に対して主翼と尾翼の取り付け角を比べてみると、水平尾翼は若干前が下がり後ろが上がっていることにお気づきだと思います。

例えば飛行機の機首が上向きになると揚力中心が重心位置の後方に移動して機種を下

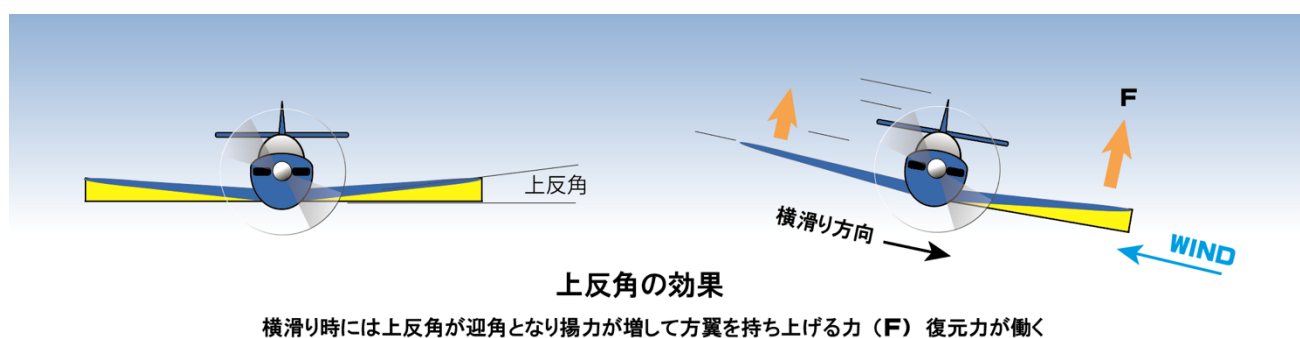
げる力が働き、逆に機首が下がると揚力中心は重心よりも前方に移動し機首上げの力が働きます。飛行機はこの揚力中心と重心位置が重なる時にバランスが取れて主翼は一定の迎え角を維持する状態となり主翼の迎え角を一手に保って飛行できるのです。



2 ローリングの安定

上反角の効果

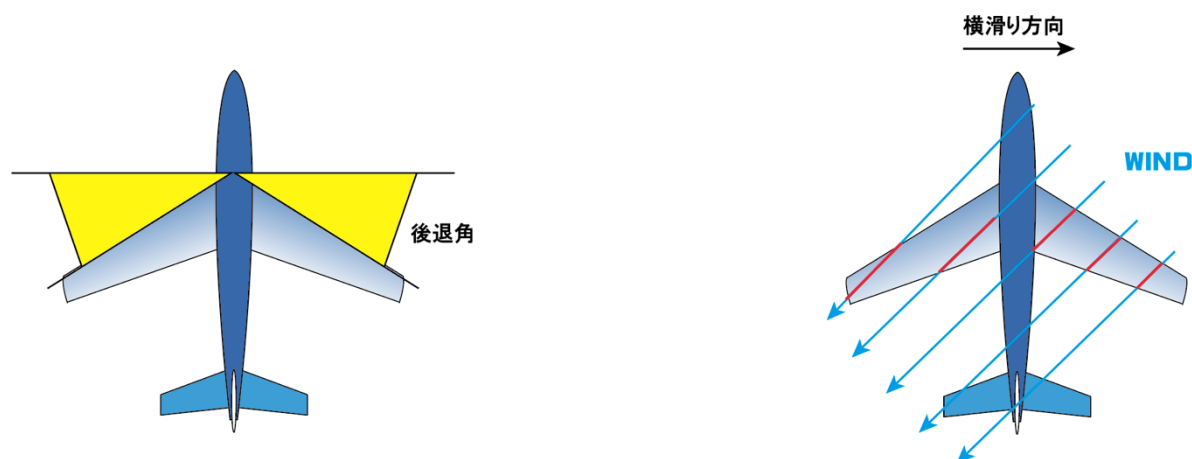
飛行機が左右に傾いた時にヤジロペーのように自然に元の水平に戻るローリング安定を維持するための工夫として上反角や後退角が上げられます。上反角は図のように翼の付け根から翼端にかけて反り上がるように翼を取り付けてある主翼と水平のなす角を言います。例えば飛行機が傾いて横滑りを起こしたとします。この時飛行機には滑り落ちる内側の翼は上反角により横滑りした時に当たる相対気流に対して迎角がつくことでより大きな揚力が発生して右翼を持ち上げるような力が働くので。その結果飛行機の横滑りは止まり傾き戻す力が働いて水平位置に戻ります。



3 後退翼が持つロール安定

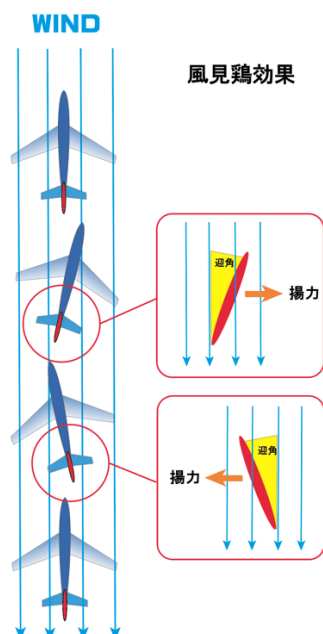
速度の速い飛行機は、上から見ると両翼の翼端を後方に下げて空気抵抗を軽減するようになっています。この角度を後退角と言います。図のような機体を後退翼と言います。デルタ翼も同様に後方に流れるような

翼になっているので後退翼の発展型がデルタ翼と考えれば良いでしょう。例えばこの後退角を持つ飛行機が左右に傾いたとします。すると相対気流は斜めから当たることになると、滑り方向の主翼は相対気流に正体する形になり揚力を大きく発生させることができますが、滑り方向と反対側の主翼は相対気流が少なくなります。左右に揚力さが発生すると飛行機は自動的に水平に戻り、滑りが止まると左右均等に揚力が発生するのでローリング安定を図ることができます。



左翼より右翼の方が相対気流に正体するので右翼の揚力が大きくなり復元力が発生する

4 ヨーイングの安定



飛行機が前進すると正面からの気流に向かって飛行することになりますが、この時垂直尾翼には左右均等に気流が流れ飛行機の直視安定性を保持しています。例えばこの状態で飛行機が左を向いたとします。

すると、垂直尾翼が相対気流に対して横向きになり迎角が生まれ尾部に横向きの揚力が働きます。これにより尾部が左に寄せられ相対気流に平行になって安定します。

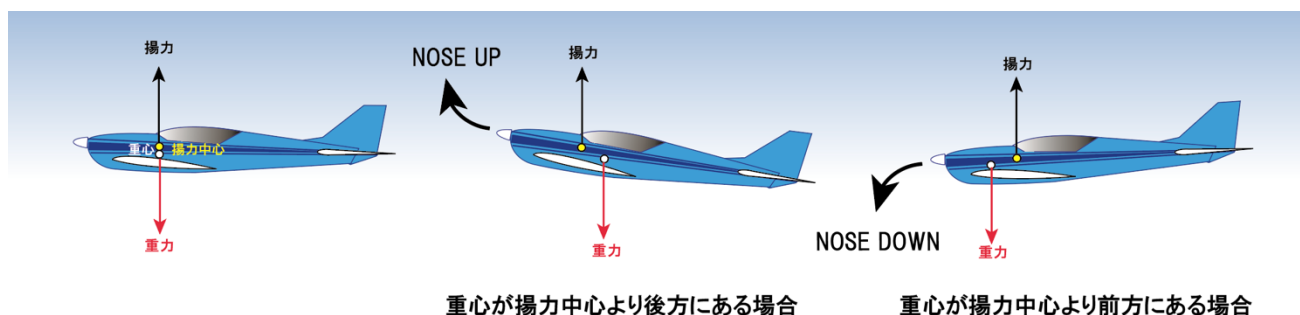
機首が右を向いた時も同様に戻され安定しますがこのように相対気流に平行に向く効果を風見鶏効果と言いい、飛行機のヨーイング安定は垂直尾翼が大きな影響を持っていることがわかります。垂直尾翼の面積が大きいとこの安定性も向上しますが、逆に運動性が悪くなることも考えておかなければなりません。

5 重心位置による飛行特性

飛行機の重心位置と揚力中心位置関係は飛行特性に大きな影響を与えます。

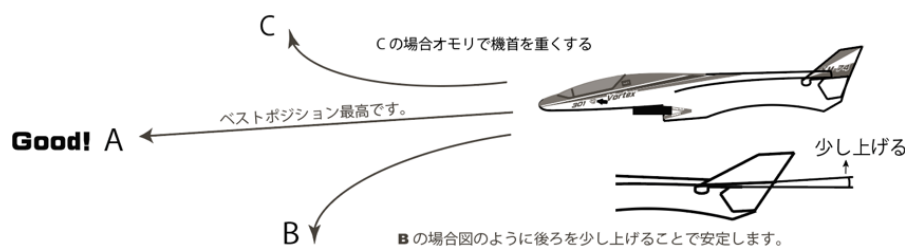
例えば飛行機の尾部が重く重心が揚力中心より後方にあると機体全体が常に上向きの姿勢になり上昇することになりますが、迎角が大きくなると抗力も大きくなり機体は減速していきやがて失速してしまい、失速から回復しようとしても機首が下げにくいので回復が遅れることになります。

逆に機首が重く重心が揚力中心より前にある場合は常に機首が下を向いてしまい降下姿勢になってしまいます。例えば離着陸時に機首を上げて引き起こそうと思っても上げることができないといった事態になってしまいます。紙飛行機の場合は重心位置が合っていないと滑空できませんので設計する時は重心位置と揚力中心を考えて設計する必要があります。



フライベリーは組み立て完了時に重心位置がベストポジションになるよう設計してあります。多少ノーズヘビーになっていますが主翼の後ろを跳ね上げて上げることでバランスのよう飛行ができるようになっています。

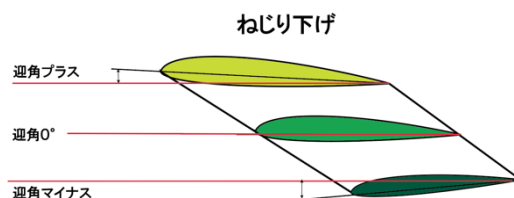
滑空テスト飛行（重心位置の確認）



6 翼の種類と構造

飛行機は用途に応じた飛行性能を求められるために、設計段階でどのような翼を採用するかがその飛行機の個性につながります。例えば低速飛行を重視する飛行機と高速を重視する飛行機を比べたら、高速重視の飛行機はできるだけ空気抵抗を減らすために胴体を細くし出来るだけ翼面積を小さくしたデザインになります。夏休みの自由研究で飛行機の写真をたくさん集めて用途別に分けてみるとあんがい面白い研究ができるかもしれませんね。

話は翼の話に戻りますが飛行機の翼って一枚の板のように思っている方も多いのではないのでしょうか。確かに一枚の板材から作られてはいますが、飛行機の姿勢が変化しても翼で揚力を得られるように翼の断面はアーチ型の曲線になっています。このアーチをキャンバーラインと呼びフライベリーシリーズはこのキャンバーラインを左右均等に作れるように翼に筋押し（折線）が付けてあり、これがロングフライトのポイントです。（揚力の発生については YouTube をご覧ください）さらに翼は翼の付け根から翼端に向かって翼断面（翼型）を変えたり、「ねじり下げ」と言って翼付け根の翼弦線と角度より翼端の翼弦線をマイナス角にしています。これは飛行中に翼の迎え角がある一定の以上に大きくなった場合失速してしましますが、この時同時に全面失速するのではなく、翼付け根から失速が始まり翼端側はねじり下げにより最後に失速するのでそれまではバランスを維持できる仕組みを作り出すことができます。また飛行中上向き姿勢なろうとしてもねじり下げで機首を下モーメントが働くので、この力のバランスで安定した水平飛行が可能になります。



7 半トルク

半トルクとは、動力の力でプロペラが回転しようとする、機体がプロペラの回転方向と反対方向に回転力が加わることです。例えば飛行機が離陸するときは最大出力で離陸しますから半トルクも強くなります。これにより機体が傾き旋回しようとしやすくなるから、トルクと反対方向のラダーを使って、この動きを止める操作を行います。飛行機は巡航時に安定した飛行ができるようになっており、離陸上昇中や降下中にはトルクの補正をすることになります。もう一つのトルクの対応として動力の取り付けを機軸より角度を予めつけておくことで、半トルクの影響を最小限にとどめています。

フライベリーに利用するコアレスモーターはコンデンサーの蓄電容量 MAX から 1 分間に最大 40000 回転となり、それに伴い機体に生じる半トルクも最初は強く徐々に弱くなっていきますが、逆にトルクを利用して、さらにモーターの取り付けを機軸に対して右に 10 度ほど角度をつけて旋回飛行をさせる力に利用しています。

8 P ファクター

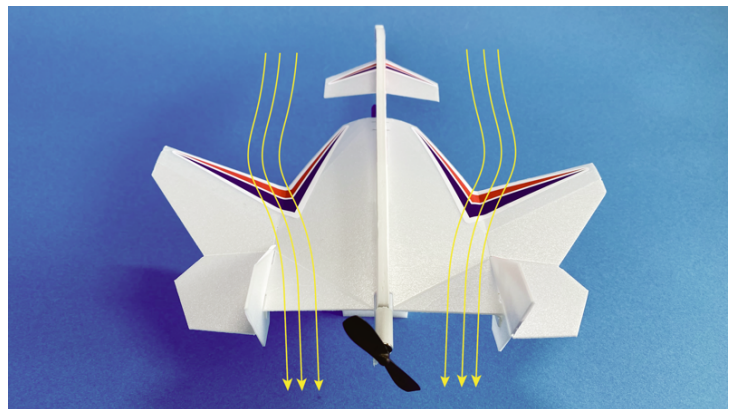
飛行機が上昇時に上向きの姿勢になると回転するプロペラ軸が上向きになり、プロペラの回転面の左右で相対気流に対してブレードの迎角が変わり、迎角が大きくなる側のスラストが強くなり、結果的に機体の方向が変わってしまいます。この現象を「P factor」といい、飛行機を直進させるためにはこの力に対してもラダーを使って補正する必要があります。

9 応用と発送で作ったフライベリースリーズ例

9-1 KM-74 VORTEXの特徴

10-1-1 前進翼

翼の付け根から前方に角度を持たせた翼を前進翼と言い、V O L T E Xはこの前進翼を採用したモデルです。前進翼の利点はデルタ翼などに比べ翼端失速が起きにくいことです。飛行機は上昇姿勢で速度が低速になると主翼表面に沿って流れる空気が表面から剥がれる剥離現象を起こします。すると翼の揚力が急激に減少して失速してしまいます。失速は翼の形状によって失速が始まる場所が異なり、前進翼は翼の付け根後方から失速が始まり翼の前縁と翼端に向けて広がっていくので、デルタ翼などに比べ翼端失速が起きにくい翼と言えます。飛行中の空気の流れが外側から胴体に集まるような流れになり胴体の摩擦抵抗が増えることや、高速になると翼端がねじり上げを起こして主翼の破壊につながるほか、ロール系統の安定性が悪いなどのデメリットもあります。しかし安定性よりも運動性を重視する戦闘機に用いられています。





9-1-2 ねじり下げ

VOLTEXの主翼は前進翼の欠点を補うために左右の翼の中間点（ホッチキスを「へ」の字曲げる位置）で上半角を持たせるようにしていますが、この時に翼を横から見るとねじり下げが同時に付くように設計しており、ロールシステムの安定性を向上させる工夫がしてあります。飛ばしたときに傾いて落ちてしまうような場合はこのねじり下げがうまくついて付いていないのが原因ですので、翼をもう一度注意して観察しながら角度を調整してみてください。

9-1-3 カナード翼

VOLTEXはもう一つ安定性を向上させるためにカナード翼を使っています。カナード翼は機体のピッチングの安定性向上と、揚力を発生させることで機体の重量の一部を支えることで主翼面積を小さくすることができる役割を持たせています。また機種が上向きになった時に主翼上面が縦長なために剥離が起きやすい性質があるが、この時カナード翼からの乱流が主翼に当たることで翼表面からの剥離を防いで失速を防ぐ効果もあります。近年の戦闘機ではこのカナード翼・主翼・尾翼を持つクロスカップルドデルタと呼ばれる戦闘機もあり、カナード翼も可動させて急激に機体の姿勢を変えることができるよう運動性能向上を図っています。



9-2 KM-77の特徴

9-2-1 デルタ翼

飛行機の主翼を後退翼にすると空気抵抗を減らすことができるので高速性を求める飛行機に利用されますが、この後退角が大きくなると翼のねじれが生じ易くなり機体の破壊に繋がってしまいます。そこで後退角を大きく取っても翼の強度を保てるようにしたのがデルタ翼です。さらに翼面積を大きく取ることができる上に空気抵抗も少なく、音速を超えて飛行する戦闘機には最適な翼と言えるでしょう。デルタ翼には三角翼・二重三角翼・オーギー翼があります。通常の三角翼は高速飛行に向いていますが低速時になるとより大きな迎え角を取る必要



があり、そのため空気抵抗も大きくなってしまいます。二重三角翼は後退角が異なるために、前方の三角は低速時に揚力を生まないが、迎え角が大きくなってくると揚力を発生して機首上げの力が働きます。また後退角が違うところで渦を発生させることで剥離を遅らせて揚力を保つ働きもあるので低速から高速まで幅広い範囲で安定した飛行が可能になる翼です。オーギー翼はコンコルドの主翼のように二重三角翼を滑らかな曲線にして空気抵抗を減らしている翼を言います。

9-2-2 デルタ翼の安定性

デルタ翼に飛行機には尾翼がありませんが K M-77 の主翼を真横から見ると主翼の後ろが軽く上に跳ね上がっている (reflect) のがわかると思います。実はこの reflect が尾翼の代わりをして安定した飛行をさせるための大きな要因になっています。

例えば飛行機の機首が上向きになると揚力中心が重心位置の後方に移動して機種を下げる力が働き、逆



に機首が下がると揚力中心は重心よりも前方に移動し機首上げの力が働きます。飛行機はこの揚力中心と重心位置が重なる時にバランスが取れて主翼は一定の迎え角を維持する状態となり主翼の迎え角を一定に保ってピッチ安定を良くして飛行できるのです。デルタ翼は尾翼が無い飛行機ではなく、尾翼の働きを主翼に内蔵した翼と言えるのです。

10-3 K M-73 STAR FLYER の特徴



主翼の前方に尾翼を配置した機体を先尾翼機といい、第二次世界大戦末期に日本が設計した「震電」が印象的な機体として上げられます。先尾翼機は見た目も斬新なデザインですが空力的にも長所があります。通常の飛行機の尾翼は機体のピッチの上向き姿勢を維持するためにマイナスの揚力を作ってバランスを保っているの、言うならば主翼の揚力を削っている感じに

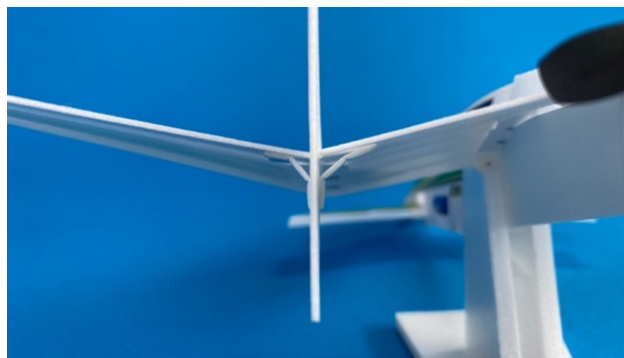
なります。しかし先尾翼は重心位置が先尾翼と主翼の間にあり、尾翼も主翼も揚力を発生させて飛行することができるので、揚力の無駄がないデザインと言えるでしょう。欠点としては主翼と垂直尾翼が近い位置にあるのでヨーイングの安定性が悪くなる傾向にあり、操縦性が低下する欠点があります。KM-73の場合この問題をツインテール（垂直尾翼 2 枚）にすることで運動性の向上をしており、旋回時も安定した飛行ができるように設計してあります。

先尾翼はピッチング安定を良くする効果もあります。主翼の取付角と先尾翼の取付角を比較するその秘密が明確になります。先尾翼の方が迎え角を 2～3 度主翼より大きくしています。

例えば機体が上昇姿勢にして失速させたとします。この時主翼より大きな迎え角の先尾翼が主翼より先に失速状態になります。すると当然尾翼の揚力が無くなり機首が下がり下向きになり機体全体が失速から回復することができます。通常飛行の場合も先尾翼と主翼の迎え角の違いで揚力バランスを保ちピッチングの安定性を確保できる優れたデザインです。

9--3-1 ガル翼

K M-73 は水平な主翼だとプロペラが接地してしまうので、ガル翼にして直尾翼の取付位置を下げることで垂直尾翼がプロペラガードの働きをしてプロペラが接地しないようにすることを目的でガル翼にしてデザインしてあります。実機ではコルセア



第3章紙飛行機のデザイン

1 パースペクティブ

最近では様々な飛行機を Pinterest で見ることができ、気に入った飛行機を集めてストックすることができます。私も数多く集めてデザインの参考にしています。

飛行機好きのみなさんも既に独自で集めている方もいらっしゃると思います。そこで今度は自分で気に入った飛行機をデザインして飛ばしてみたいでしょうか。最初は簡単に紙を2つに折り畳んで適当にハサミで切って広げれば飛行機の形になります。まずはそんな簡単なものからプレーンデザインを始めましょう。沢山作って飛ばしながら重心の取り方や飛び方を観察してデザインを決めていくと良いと思います。

おおよそイメージができれば、パースに描いてみましょう。最初はネールスケッチから始めます、ネールスケッチは自分が考えたアイデアを書き留めておくメモ的なスケッチを言います。特に他人に見せるのではなく、あくまで自分が考えたイメージや特徴を書き起こす感じです。沢山描き出してみると意外に後から有効に使えるものが出てきます。私は机に向かって鉛筆を握って考えても良いアイデアが浮かばない

ので、音楽を聴いたり、温泉のゆっくり入ったり、時にはランニングしたりしている時に良いアイデアが突然天から降りてきます。常に頭の片隅で考えているからひらめく時はそんなのものです。

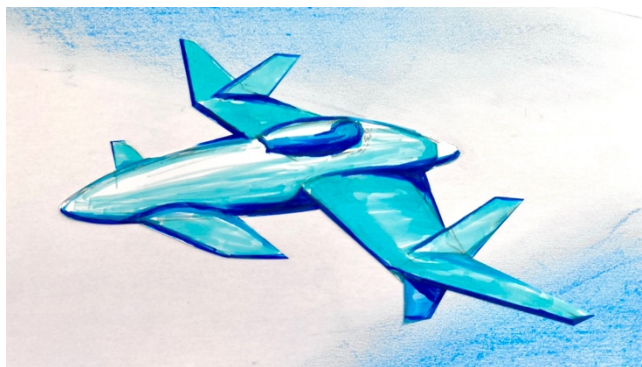
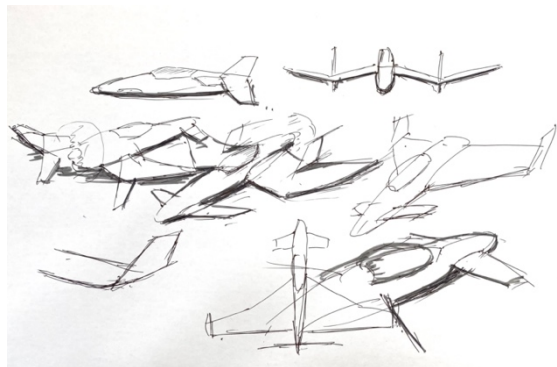
イメージが起こせたらこんどはパースでアイデアを仕上げます。A3 くらいの紙を用意してアニメーター気分で作っていきましょう。必要に応じて色を入れてもいいです。大切なのは人にイメージを伝える絵だと思ってください。自分のパースを見せたときに他人が「お--！それいいね」と言ってくれるような絵に仕上げることです。この時頭の中ではおおよその機体構造もイメージできるようにしましょう。

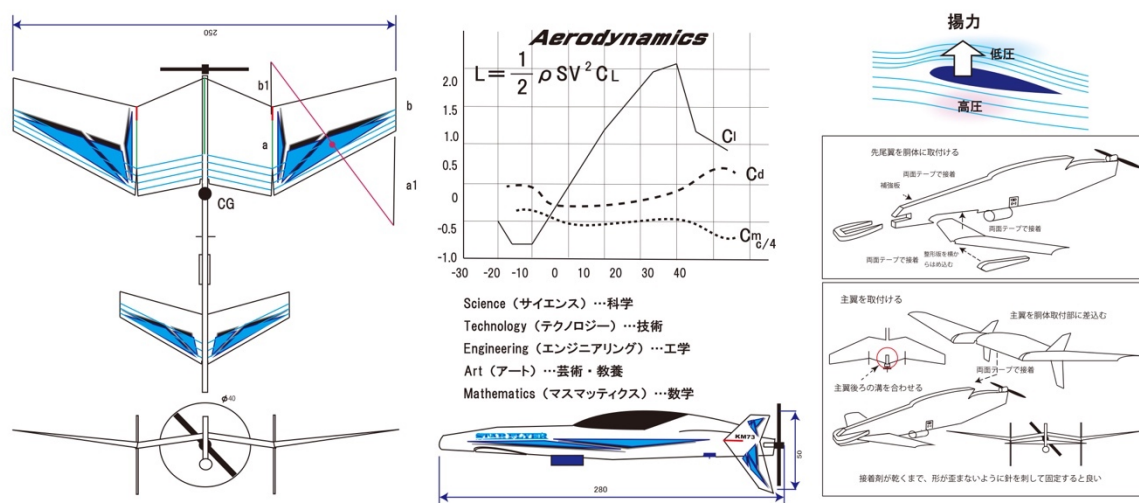
強度や接合部の取り付け方など、アイデアを段々現実的なものにまとめ上げていきます。

パースができれば今度は設計図面です。まずは3面図にしていきましょう。3面図は正面図・平面図・側面図に分け、必要があれば背面図も描いてみてください。今度はデザインパースと違うのは実際の寸法を割り出して製品化できるようにすることです。ここでは計算で翼面積を割り出し、ある程度計算しながら図面にアイデアを落とし込んでいきます。このパースが完成した時点でようやく、デザイン会議で自分の考えを他人に説明できる資料が出来上がることになります。



参考例





2 試作の技法

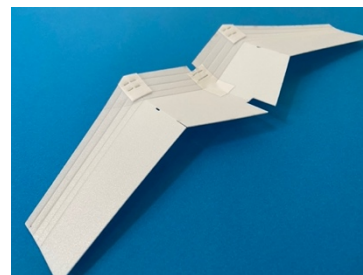
図面から実際に作り出す前に材料や部品を確保しましょう。バルサ材・紙・スチロール・などそれぞれの材質の長所と欠点を見定めながら自分がデザインした飛行機を作るのに適した材料を選びましょう。パワーユニットはフライベリー仕様のモーターとコンデンサーを利用します。フライベリーに使用しているコアーレス 6mm モーターに 4 5 mm プロペラを付け、2.5 V 5 F のコンデンサーを使用しています。このパワーユニットは軽くてパワーが、テープで固定するだけで機体の好きなところにつけられるので自由なデザインが可能になりますこのパワーユニットを使って 30 秒飛行する電動紙飛行機を設計していきましょう。

飛行性能を上げてさらに強度を持たせ綺麗に仕上げる 4 つの方法

フライベリーを商品化するにあたり、組立ときにやはり仕上がりが綺麗であることが求められます。そのためには工作力が低い子供でも主翼形状が左右対称に作れることや、工作難易度が低く、しかも軽くて丈夫に作れるように配慮することが求められたので下記のアイデアで実現できるようにしたことがフライベリーの特徴にもなっています。

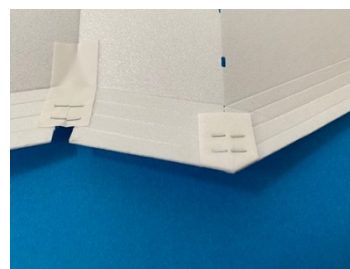
2-1 左右均等に主翼のキャンバーをつける

従来の紙飛行機で一番難しいのは主翼のキャンバーを左右対称になるように付け、さらにねじり下げや、上半角も同時に付けなくてはなりません。そこで翼の前縁部分に筋押しを数本することで、筋押しを折線にして折ると自動的に左右均等にキャンバーを作ることができ、さらに上半角も同じ角度でつけることができます。ぜひオリジナル機を作るときにも取り入れてみてください。



2-2 ホッチキスで強度を持たせる

キャンバーをつけた繋ぎ目などは補強テープで貼り合わせますが、さらにホッチキスを使うことによって機体の強度を上げ、必要に応じてホッチキスを「へ」の字に曲げることで均等な上半角をつけることができる有効な手段です。

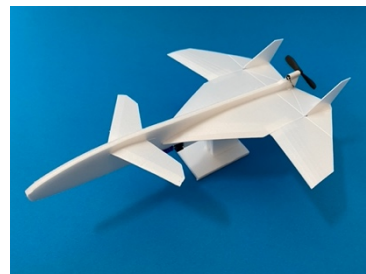
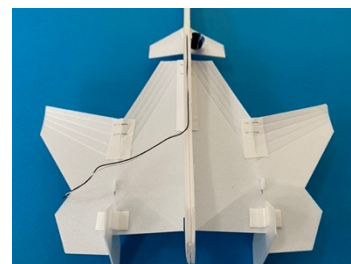


2-3 紙貼りのスチレンボードを使い機体の硬性を上げる

胴体を使用しているスチレンボードは両面紙貼りで厚さ 5mm の板材を使っていますが、自由設計で作るときにレーザー加工機を使うときに紙貼りスチレンボードはレーザーで焦げてしまい切断が難しいのでレーザー加工機を使うときは紙貼りでないスチレンボードを使い、カット後に左右の面に紙貼りにすると良いでしょう。

2-4 配線を機体内部に埋め込む

機体の表面に配線コードがテープで止めてあると、いかにも手作りといった感じで、商品としては見栄えが悪いので、胴体下部スリットを付けて回線をヘラで押し込み、出来るだけ目立たないようにするのが綺麗に作るコツでもあります。



試作機の数々

2-5 組立図の動画による解説

機体完成まで試行錯誤がありますが、完成後に今度はフライベリーを購入して組み立てる方の立場で組立図を書かなくてはなりません。

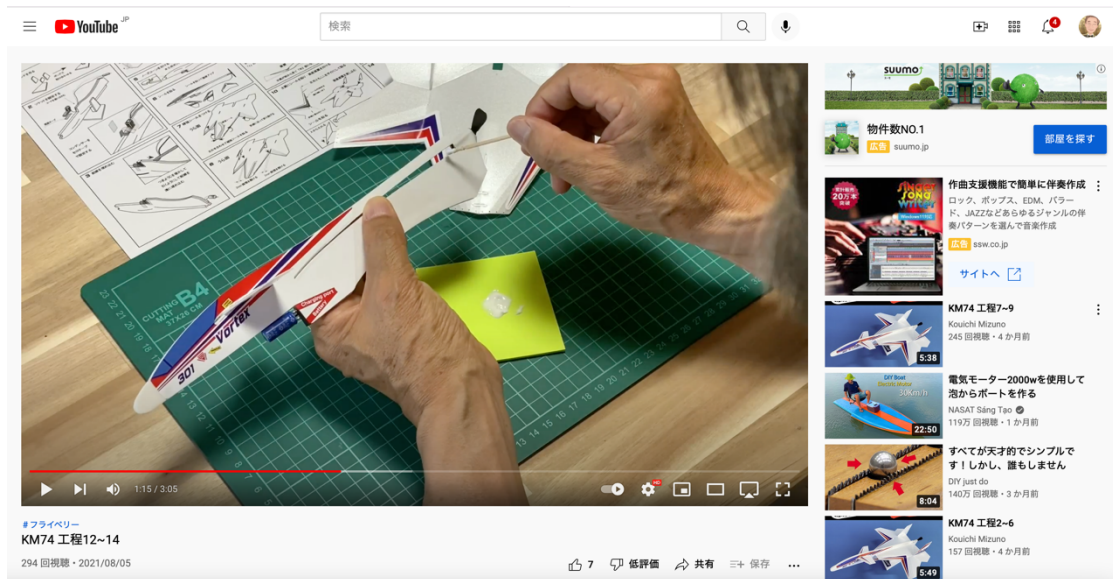
組み立ての順番や工作過程のポイントなる注意点なども織り交ぜて、可能な限りシンプルでわかるやすく表現しなくてはなりません。

A4一枚まとめるためには作業工程のカット割も紙面の構成上重要になってきます。

私は Illustrator を使って描いています。



組立図の次は工作過程を動画に編集して YouTube に上げています。組立図には QR コードを印刷しておき、スマホで動画を見ながら工作過程を確認して作ることができるサービスを付けています。こうすることで子供から大人まで多くの方がより正確な工作ができるので、結果的にフライベリーの飛行性能を引き出すことができるのです。飛行機を丁寧に作ってくれると大変嬉しく思います。



第4章 ブランディングと商品化

K M-71を飛ばしてから8年が経ち、教材としての利用で多くの方にご利用いただける実績ができたところで、今度はブランディングして商品化し販売利益から新たなシリーズを生み出せる仕組みと、電動紙飛行機を使った競技会を開催して広く普及させようと新たなチャレンジを考えていました。

そんな時、偶然にも長野銀行の方からクラウドファンディングの利用を勧められたのです。それまでクラウドファンディングは知っていましたが、実際どのように進めたら良いか全く知識がありませんでしたが、銀行の方にクラウドファンディングは商品への顧客の反応を見ることで売れるかどうか判断でき、さらにプロジェクトを掲載することで大きな宣伝効果が得られると聞き、チャンスは逃すまいとチャレンジに踏み切ったのです。

1 ネーミングとロゴ



まず商品として販売するにはイメージを伝えるネーミングが重要です。さらに誰もが親しみやすく言いやすいことも今後多くの方に広めていく上でとても重要です。今までコンデンサーエアープレーン・電動紙飛行機といった呼び方をして来ましたが、もっとわかりやすくシンプルに考えることにして、よく飛ぶ飛行機を強調するように very (とっても) と fly (飛ぶ) を組むあわせて Flivery というネーミングにし、ロゴマークも実際の飛行をイメージできればと飛行の軌跡からイメージを作ってロゴにしましたのです。

2 クラウドファンディングの進め方

クラウドファンディングは主に資金調達を目的として始める方もいますが、多くの場合商品のマーケテ

ィングを事前に行い、売れ行きを見て生産していこうという考えで行う場合も多いと聞いています。

私も自分の設計したフライベリーが世の中でどんな反響があるか大変興味があったので数あるクラウドファンディングの中で新商品開発商品を専門とする Makuake を利用することにしました

クラウドファンディングは資金集めが最大のポイントになります。そのためには魅力ある商品にすること、集めた支援金を個人的利益にするのではなく資金を活用して社会貢献することを目的にする必要があります。そこで私が考えたプロジェクトの目的は大きく2つ。まず一つは魅力ある商品にすること、もう一つは教材の新たな活用です。ただ商品化しても店頭に並べて売っただけでは意味がない、フライベリーをいかに多くの方に楽しんでもらえるかを最終目標にしたのです。ではどうやって多くの方にフライベリーを楽しんでもらえるか……。そこで考えたのはフライベリーを使った飛行大会です。単純に誰が一番長く飛んでいられるか。これも大いに競技になりますが、フライベリーはモーターの取付け角を変えたり、尾翼を少し曲げることで、旋回飛行をさせることができます。この特徴を利用してリリースしたフライベリーを最後地上でキャッチすると飛行時間が加点する特別ルールを採用し、さらに受け取り方に技を決めて、難易度が高い受け方をした人はさらにポイントが加点されるとか、地上に大きな円を描いたエリアを設け、最後に円の中心部の一番近く降ろせた人が優勝など、競技性を高めるアイデアを盛り込んだ飛行大会を企画しようと思いました。

さらにこうした飛行大会は晴雨に関係なく開催できる場所として、各地のドームを利用することも検討してみよう。よし目的は出来たこれを題して「フライベリープロジェクト」と呼んで支援者を集めようと、取引先の銀行から Makuake にクラウドファンディングを行う旨を伝えていただき、その後 Makuake の担当者から連絡があり、クラウドファンディングでプロジェクトを公開するまでには下記の順番で進めるよう指導を受けながら下記の手順で手探りで支援広告を作成していきました。

- 1) Makuake のアカウントを取得しマイプロジェクトのページを作る
- 2) 公開日を決めそれまでにマイプロジェクトに必要な事項を記載して審査を受ける。
- 3) 審査が通過すると公開開始
- 4) 公開中に描かれるコメントには丁寧に応える
- 5) 時々トピックスや返礼日の進捗状況を記事にしてサイトに書き込む
- 6) 返礼品発送（締め切りと同時に発想しました）
- 7) 問い合わせ対応

Makuake の場合次のような項目に従い、支援者の立場で支援したくなるような文書を考えていくことが求められます。この作文をする時に気をつけなければならないのが個人利益のためでなく公の目的を達成するために支援を募ることです。ある会社が自社製品を作るために支援金を集めようとしていることを支援者が感じると「そんなの自分の金でやれよ！」と冷たいコメントに悩まされた事例も聞きます。製品を作ってどのように役立てたいか、そのためには理解と協力をお願いしたいといった内容が良いでしょう。

クラウドファンディングにはプロジェクトや商品のイメージを伝える写真や動画が不可欠です。文書を読む前に支援者はキャッチーな写真や動画で全てを判断するからです。プロをお願いして撮影から編集までやってもらえば、文句ないと思いますが多額の費用がかかります。少しでも節約するにはやはり自分で行うのが一番です。私の場合は i-phone11 で全て撮影し、動画編集アプリで編集して作り上げました。商品写真もスマホで撮影したものを使いました。それでも多くの方々に支援をいただけましたら、これからクラウドファンディングを考える方もあまり費用をかけずにやることをお勧めします。



2-2 思いがけない効果

クラウドファンディングに掲載されると企業も見ていて商品として面白いものが見つかるのと商談の連絡も来ます。私の場合は小学館でした。突然の連絡にびっくりしました。最初は子供向け教材だから小学館かと思っていましたが、話を聞くと「大人の逸品」に掲載したいとのこと、なんと 40・50 代向けの通販雑誌ではないですかでもさすがです。あ後で気がつきましたが、クラウドファンディングの支援者の大半は 40・50 代の男性でしたから小学館の編集部は大人の心理をよく読んでいたんですね。こうして小学館とコラボできたお陰でフライベリーの知名度はアップ。今後に期待が持てる事例となりました。

**専門家が本気で作った
ロングフライトの紙飛行機**

↑フライヘリーの製作者であり、ドローンパイロットの技量向上企画などを手掛ける株式会社「エディックス」代表の水野宏一さん。かつて航空従事者の育成学校でパイロットとして勤務。

【集合長認定】

専用の充電ボックスを片手に持ち、モーターに5秒充電することで約40秒の飛行が可能。

軽量なコアレスモーターがプロペラを回り推進力を得てロングフライトを可能にする。

【集合から安楽した飛行の「スターフライヤー」】。直進は可能で「（コアレスモーター）」スピードは約40秒の飛行が可能。

飛行機の軽量化や重心位置、翼の形状などを設計して、さらには陸地に組み立てられて長く飛ぶ紙飛行機を実現。

電動紙飛行機 フライヘリー 3機セット エディックス

税込み価格 9900円
商品番号 070-00

セット内容はスターフライヤー×1、ヴォルテックス×1、ファルコン×1、充電ボックス×3。約全長25.5～28×幅18.4～27.5×高さ5～5.5cm、9.8～11g。スターフライヤーは3.3V2.5V、モーターは6mm コアレスモーター。日本製。各製品の環境に十分注意してご利用ください。

子供にこそいくつも作り、飛行距離を競ってきた紙飛行機。その成功はひとえに滞空時間にかかっていた。そんな紙飛行機を、パイロット経験のある模型飛行機の専門家が本気で作ったという。それを実現させたのがこの電動紙飛行機「フライヘリー」である。本品は簡単に組み立てることができ、ひとたび飛び立つたなら、それを追いかけて走り続けなくなるほど長く飛ぶ。素材は軽くて丈夫なステンレーパーで、動力として小型コアレスモーターのプロペラを駆動している。これにより専用の充電ボックスを使つて5秒充電するだけで、約40秒のフライトが可能。速度重視や安定感重視など、特徴を持った3つの機体で楽しめるキットなのである。

お電話でのお申し込みは **0120-588-303** (平日 9:30～17:00) 大人の逸品 [2021年 秋号] 74



3 パッケージデザイン

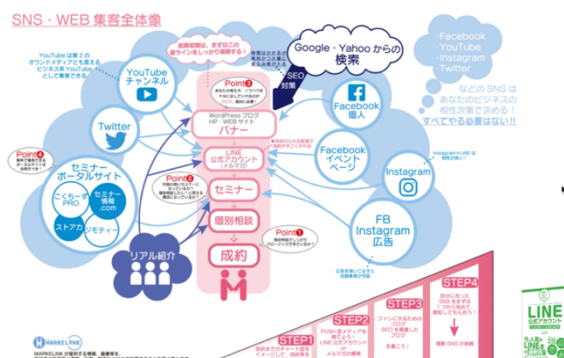
商品を店頭に並べたときに即購入したくなるようなインパクトのあるパッケージは必要不可欠です。一目で商品のイメージが伝わり、手にとってみて詳細がわかるようにと考え、クリアケース無に台紙をとる表紙を入れて高級感を出し、さらに裏返すとシースルーで内容物がわかるようにしたことで

より購入意欲を増すようにデザインしています。



4 ホームページ作成とSNSの活用による集客

商品化してネット販売するためにはホームページの作成は必要です。私はWIXを使って「Airplane Geek」というホームページを作成しています。「飛行機オタク」というキャッチーな名前にして、ブログに最新情報をアップし、ネットショップ機能も加えてあります。このホームページが販売促進の源となっています。次に必要なのがSNSによる集客です。ホームページだけでは集客するのは難しいですから、Instagram・Twitter・YouTube・TikTok・Pinterest・Facebookでフライバーをアピールしていわゆる情報の入り口を作り、LINEの公式アカウントを取得して全ての情報をLINEに紐付けておきます。LINEには様々な集客及び宣伝ツールが備わっており、LINEとホームページをリンクさせて販売促進に繋がっています。





YouTube による配信



LINE 公式アカウント

5 ワークショップの実施

私はコロナ禍なのでオンラインとリアルの両方でワークショップを開催しています。オンラインの場合は予めフライベリーを購入していただき、後日 zoom を使って個別指導でフライベリーを作りながら、飛行機の歴史や未来の飛行機、パイロットになるには、といった雑学を含めて約1時間で行っています。オンラインワークショップはコロナ禍での初の試みでしたが、スムーズに指導できるだけでなく、保護者や子供と対話しながら工作できるほか、オンラインワークショップなら集まることなく購入者と直接

向き合って話ができ、時には「航空整備士になるにはどうしたらなれますか」など、子供たちの質問にもその場で回答できるメリットも感じているのでオンラインワークショップは今後拡大していきたいと思っています。またリアルでのワークショップは開催場所を航空博物館とタイアップして行うことで、展示してある展示機を内覧してから工作ができるメリットもあり、航空博物館にとっても集客に利用できるなど、お互いのメリットのメリットを活かしたワークショップの開催が可能と感じています。



7 フライベリーマイスターの育成

教材として活用できる商品を生み出せましたが、活用を広めていくにはやはりフライベリーの制作と活用目的を理解して、青少年へ航空啓蒙を行なっていただける指導者の育成も重要だと考えました。そこで電動紙飛行機フライベリー を使って思考力・理論的思考・問題解決力・発想力・検証力・工作力を養える 航空科学ワークショップ」と「フライベリー飛行大会」を全国で開催していく企画を

立ち上げ、指導者「フライベリーマイスター」を育成するために講習会を開催することにしました。講習ではフライベリーシリーズの特徴や工作のポイントや航空関連情報を学んで頂き、空の伝道師として 副業として企画を推進していただける内容で行います。 航空関連業務に携わっていた方、模型工作が好きな方、 地域活性化の活動をされている方がこの講習を受けていただけたら、日本の航空啓蒙活動は全国に広がって行くと期待しています。

(※詳細はホームページ参照)

フライベリーマイスター資格の活用

フライベリーマイスターとは

電動紙飛行機フライベリーを活用して、ものづくりの楽しさと飛行の魅力を伝え航空業界に導く伝道師として教育役立つ副業資格です。

フライベリーマイスターが有するスキル

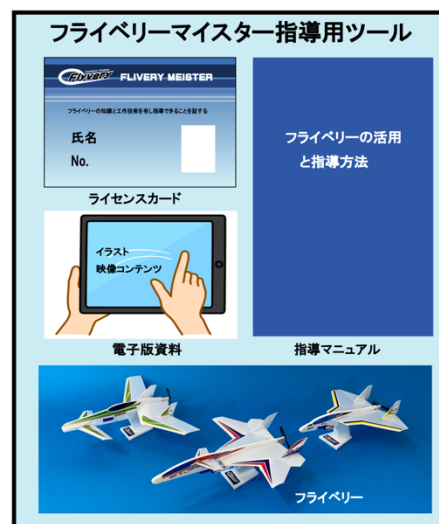
航空関連の仕事に関する知識・模型飛行機工作技術（飛行原理やフライベリー特色製作ポイント・飛行調整方法）・指導方法及び教材活用方法・集客とスポンサー獲得方法・助成金の活用等

フライベリーの活用を広げるマーケット

青少年育成団体・学校・航空少年団・子ども発明クラブ・各地公民館・自治体の地域教育イベント会社・企業・塾

マイスター特権

フライベリー卸価格での購入と販売及び活用の権利・ワークショップ指導教材の無料活用



活動事例



8 飛行機設計を目指す人へ

戦後日本の航空事業は航空運送事業においては他国に負けない高品質なサービスを行う事業に発展してきたが、新たな発想で飛行機を作り出すことについては他国に大きく突き放されていると感じます。その原因は予算的な問題に加え、航空機製造事業法など飛行機を自由に作れない足枷となる法律にあると思います。なぜ三菱のドロームジェットが国産ジェットとして製造できないのか、なぜ本田ジェットは

世界でベストセラー機になれたのか。この話をすると長くなりますから省略しますが、新たな発想を抱いて挑戦する技術者が少ないことも事実です。

近年地球環境を考へて航空機にも CO₂ 排出量削減が求められる中、新たな航空機設計では水素などの燃料と電気で動くハイブリッドタイプとなり従来のジェット燃料これまでの 1 割までになり 2030 年を目指しています。ブラジルエンブラエル新航空機開発プロジェクトは水素燃料電池を搭載し、電気推進で動く。CO₂ 排出はゼロで、騒音も従来比 70% 減をうたう。2035 年就航を目指しています。

また注目すべきはフライベリー同様プロペラ駆動のエンジンが胴体最後部に備わる「リアエンジン機」であることです。「リアエンジン機」はジェット機などでは一般的ではあるものの、プロペラ機の場合、まず見られない仕様といえるでしょう。これについて以前、エンブラエルの商用航空事業の CEO（最高経営責任者）アルジャン・マイヤー（Arjan Meijer）氏が新型ターボプロップ機の開発を進めていると公式 Twitter に投稿した際、同機も「リア・ターボプロップ」のレイアウトを取り、「従来機よりも高速で、運用コストが低いほか、客室内の騒音を低減できる」とコメントしました。今回発表された 4 つの新型機も、このコンセプトを引き継ぎ、客室の快適性を向上させていると見られます。

日本もドローンや空飛ぶ車といった分野で斬新なアイデアを活かした日本が誇れる航空機開発が行われ、それに伴う航空技術者が活躍してくれることを期待したいと思います。