

「ギネス級 .006 (0.096cc) 自作マイクロエンジンでラジコン機を飛ばす！」

001 microwings 006 飛行



【全備わずか75gのエンジン機が大空を駆け抜ける】

量産されたグローエンジンで排気量が最も小さいエンジンは先月号で紹介しましたcox.01エンジンと思います。第三弾(最終回)は、この.01エンジンよりさらに小さい.006エンジン(排気量0.096cc)を自作して無謀にもラジコン機に搭載し飛行に挑戦しました。フル4ch仕様のラジコンエンジン機としてはギネス級の挑戦となります。

計画当初は翼面積の大きい高翼機でふわふわと飛ばせば一応飛んだことになるかと安易に考えましたが、どうせ飛ばすならカッコいいスポーツ機風の低翼機の方が確かに飛んだという実感が湧くので、あえて難しい機体を設計することにしました。構想した機体はアエロバティクス風の4ch低翼機で、オープンデッキではなくフルカバーのキャノピ、ジュラルミン製のランディングギア、外装は絹張りドープにウレタンのカラーリング・・・と、まるで大型機でも作ることのようなスペックですが目標とする全備重量はわずか70gほどで製作しなければなりません。

1.排気量0.096ccのマイクロエンジンの製作

002 COXと試作した006エンジン



RC用に改造したCOX.01エンジン

製作した.006マイクロエンジン

【自作した.006マイクロエンジンの挑戦とは・・・】

写真右側が今回製作した006エンジンでボア径5.00mm、ストローク4.90mm、行程容積は0.096cc、重量12.3gのグローエンジンです。吸入エアをコントロールするRCスロットルを装備しています。マフラーも製作しましたが、パワーダウンが大きく機体にはマフラーなしで搭載しました。もちろん製作で参考にしたのは小型エンジンの先駆者COXです。

左側は先月号に掲載したCOX.01エンジンで、スロットルとマフラーは加工して取り付けただけのものです。指先ほどのエンジンですが、基本的な原理原則を守って作れば小さくても比較的容易に廻ってくれます。ただ問題は飛行機を飛ばすためのパワーと安定性で、これが一筋縄ではいきません。

「エンジン模型」を作ったわけではなく、ラジコン飛行機を飛ばすことができる「模型エンジン」にするには、使用する材料や熱処理など目に見えないところが最も重要になります。エンジンはどんなに小さくてもその目的とした仕事ができなければなりません。今回はそのため小さくて大きな挑戦です。

【マイクロエンジンの構成部品】

006マイクロエンジンの構成部品です。少しやり過ぎかもしれませんが、小さくても摺動抵抗を極力減らすためドライブシャフトにミニチュアベアリングを1個挿入しました。毎分2万回転以上で廻せばシャフトの摺動ロスは無視できません。

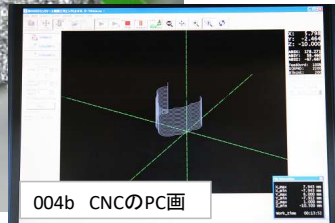
グロープラグは製作できないのでCOX.01エンジンのものを加工して利用しています。プラグの底面を切削して圧縮比の調整を行いました。後の部品はアルミや鋼材から切削して製作しました。



【卓上CNCでクランクケースの外周加工】

クランクケースの外周はφ16のアルミA2017(ジュラルミン)からパソコンで制御するCNCで切削しました。小さな卓上マシンなので切削油はなく、エアーで切削片を吹き飛ばしています。数値制御のプログラムは一般的なGコードを使います。

バックプレートは3点止めで極力余計な肉は落とします。



【クランクケースの内面加工】

シリンダー取付け部のフライス加工タップ加工後、旋盤で中繰り加工します。写真は研削をためにたもので通常は中繰りバイトで切削します。



【クランクシャフトのピン加工】

クランクシャフトの偏心ピンをCNCで切削中です。偏心チャック治具を製作すれば旋盤で加工できます。治具作りが面倒なので便利な機能を使った手抜き工作です。



【シリンダーの加工】

シリンダーは鉄製で旋盤でシリンダーの穴加工後に取付け部の外ネジを切ります。プラグ取り付けの内ネジは専用製作したインチタップで加工します。内側の吸気ポートはボールエンドミル等で切削しますが、排気口のスリット幅はわずか1.0mmで、排気開始から吸気ポートが開くまで0.2mmしかありません。吸気が開くまでが早すぎると吸気口に排気ガスが吹き返し、遅すぎるとシリンダー内部の掃気効率が悪くなります。回転数によっても変化します。実際にどんなことが起きているかは頭の中で想像するしかありませんが想像すらできないので結論はやってみて決める……でした。シリンダーの冷却フィンは最後に加工します。

008 ピストン内部の加工



【ピストン内部の加工】

ピストン径は5.0mmしかありませんので、ピストンの内側はφ1.0のエンドミルで内周を掘り込みました。中央のコンロッドの取り付けはボールエンドミルで球状に加工し、コンロッドは専用治具でカンメて取り付けます。大変手間のかかる加工なので、ピストンピン仕様のもも製作しました。

009 キャブボディの切削



【RCキャブボディーの旋盤切削】

キャブボディーはフライス盤で四角の面加工と穴明け後に、取付け部等の旋盤加工を行っています。大きい穴はスロットルドラム用で小さい穴は、燃料噴霧のスプレーバー用です。

010 キャブスプレーバーの加工



【燃料噴霧のスプレーバーの加工】

スプレーバーは真鍮で製作しました。燃料を噴霧するノズル穴径は0.3mmで超鋼ドリルで穴あけします。ニードルを差し込むφ1.0の深穴を垂直にあけるのは大変難しい加工になります。

011 クランクシャフトとコンロッド



【クランクシャフトとコンロッド】

加工したクランクシャフトとコンロッド部品です。シャフト径は3.99mm、クランクピンは1.39mm。材質はSCM415(低炭素クロムモリブデン鋼)で簡易の浸炭焼き入れしてピン部の耐摩耗性を確保します。

熱処理後はシャフト径が数ミクロン大きくなるのでその分を考慮して切削し研磨して仕上げます。

012 ピストンASSY



【COX01と006の豆ピストンASSY】

大きい方がCOX.01用のピストンで小さい方が今回の006エンジン用のピストンです。コンロッド先端は球状に加工してピストンにカシメて取り付けます。写真はアルミ製ですが熱による線膨張率の違いから鉄製のものも製作しました。鉄製のシリンダーには同じ膨張率の鉄製のピストンがマッチします。

013 組立て途中の006エンジン



【組立て途中の006エンジン】

指の大きさからエンジンのサイズがわかります。決して手が大きいわけではありません。キャブボディはクランクケースに圧入しシリンダー側から小さなイモネジで固定しました。

014 専用マフラー



【指輪サイズの専用マフラー】

いいえ指も入らない006用のマフラーです。排気オイルの飛び散りは防げますが、大幅なパワーダウンとなるので実用向けではありません。パイプ部分は二分割で内部の中繰りを行い圧入して一体にしています。リング部とはM2ネジで固定します。

015 COX01用プロペラを削って製作



【COXプロペラを加工してマイクロエンジン完成】

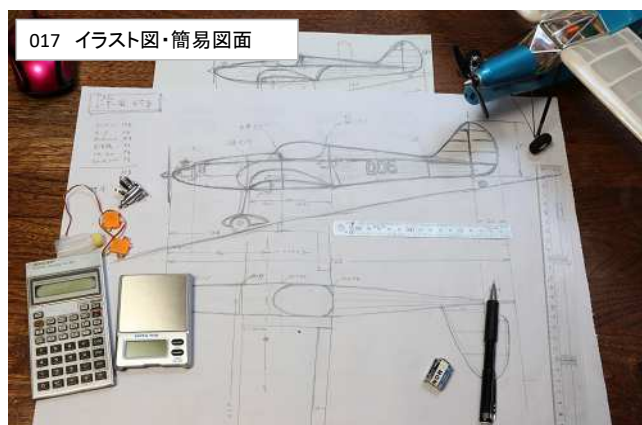
完成した排気量0.006キュービクインチのマイクロエンジン。このサイズの市販のプロペラはないのでcox.01用の3D×1.25Pから切削して作りました。サイズはダイヤ径およそ2.6インチ、ピッチは不明。一番効率のいい部分をカットしているのでプロペラ効率は悪くなりますが、軸動力は回転数の三乗に比例するので負荷を下げて回転で稼がなければマイクロエンジンのパワーは出せません。エンジン製作に使用した工作機械はいずれも卓上の小さなマシンで加工精度は1/100mm程度です。シリンダーなどミクロン単位の摺合せは全て手研磨で行いました。ベンチでのエンジンのテスト運転では、ニトロメタン15%、オイル20%の標準的なグロー燃料で、ピークおよそ23000rpm、スローは11000rpm程度です。ニードルはかなり敏感で始動できる位置は、ほとんどワンポイントです。ここまでたどり着くには試行錯誤を繰り返した結果ですが、これなら何とか4chの飛行機を飛ばすことができそうです。

016 完成した006エンジン



2. .006マイクロエンジン機の設計と製作

017 イラスト図・簡易図面



018 胴枠の製作と燃料タンク



019 燃料タンク



【アエロバティックス風機体の構想とデザイン】

006エンジンを搭載するラジコン機として、今回は低翼のスマートな機体をデザインすることにしました。いくつかスケッチして最終的にイラストにあるデザインとカラーリングに落ち着きました。

この時点では、できるかどうかなど考慮せず何とかなるだろうくらいの感覚です。

エンジンのパワーからできるだけ翼は長くて翼面積を稼ぎ、安定性を確保するため尾翼は少し大きめのサイズにしました。また最後にバランスウェイトは積みたくなかったのでテールヘビーを避けるためノーズ部を心持ち長めに取りました。フルカバーのキャノピにしたのはデザイン上のこともあります。少しでも空力特性を良くするためです。翼長は520mm、全長340mm、エンジンも含む目標全備重量は70gとして使わないカレンダーの裏に実寸大で絵を描きました。もちろんフリーハンドでイメージだけのいい加減な図面です。スクラッチでの製作は最初に厳密に考えてもその通りにはいかないので作りながら考えることにしています。計画性には乏しいのですがその方が早く出来上がります。

また小さな機体ですから材料は余りもので十分事足ります。

【胴枠の製作と燃料タンクの搭載】

胴枠はテールヘビーを避けるため、バルサ張りは前方のみで後部は絹張りの収縮に耐えられるよう2mm角の檜棒と、厚さ1.5mm×2.0mmにカットした航空ベニアでスパー構造としました。

燃料タンクは、弁当用の醤油注しで容量は6ccほどあります。タンク重量はわずか1.6gでPPチューブを差し込みシリコンコーキングでシールしています。

020 主翼用のスパー&リブの作成



【主翼を構成するスパーとリブ】

主翼は極力軽量に仕上げるためバルサ張りは胴体の取付け部のみで、スパー&リブでの構成です。翼先端は強度を持たせるためφ1.0のカーボンロッドを使用することにした。テーパー翼ですので図面から実測してリブを切り出しますが大型機に比べれば至って短時間で作業できます。翼の取付け部の幅は75mm、先端幅は54mmで薄手の絹を張る予定です。

翼は非対称で先端が少しシャープになるので抵抗は小さくなりますが失速特性は多少悪くなるかもしれません。

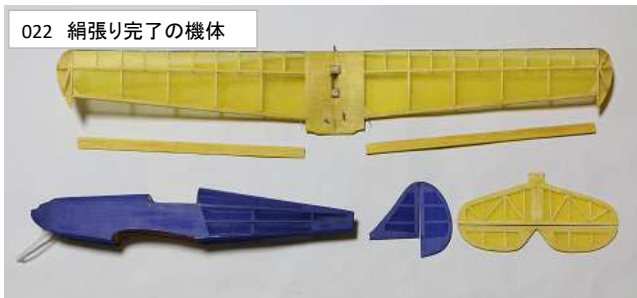
021 生地完成の小さな機体



【一週間で生地完成の小さな機体】

生地が完成した機体は燃料タンクは内蔵していますがエンジンや脚など付属品を除き26.1gで仕上がりました。まずまずですが外皮・塗装含めて30g以下で仕上げるのはこの時点ですでに無理があります。ここまでデザインと図面作成で一晩、胴体生地完成1日、主翼2日、その他もろもろで2日で、一週間ほどで生地完成。小型機ならではの手軽なスクラッチです。厳密にやったら一ヶ月かかります。

022 絹張り完了の機体



【絹張りが完了した機体】

胴体は紺色、主翼と尾翼は黄色で結構鮮やかな配色で張りました。

黄色は残り物の薄手の絹になります。薄手は強く引っ張るとすぐよじれてしまいます。厚手に比べて疎な編み方になっているだけで使用している絹糸は同じもののようです。この時点で29.3gで絹による重量増加は3.2gほどです。

023 ドープ塗装サンプル



【ドープ塗装は一工夫してオリジナルカラーに・・・】

先月号で紹介いたしましたクリアドープの色付けですが、今回もウレタンプルーを少し混ぜてドープ塗りました。写真はサンプルで左側はクリアドープを通常通りに塗ったもので、右側はクリアドープにウレタンプルーを数滴混ぜて塗り重ねたものです。結構濃いめのクリアなブルーに仕上がります。(詳しくは先月号を参照ください)

カラーリングはエアブラシを使ってエンジンウレタンで塗装しました。レタリングは京商製のカラーデカール(Dフレックス)を切り抜いて張り付けました。グロー燃料に耐性がある曲面にも馴染むのでよく利用します。

塗装が完了した機体重量は36.1gで塗装による増加分は6.8gとなりました。思った以上に重量は嵩んでいきます。

024 クリアブルー絹張りドーブとレタリングシール

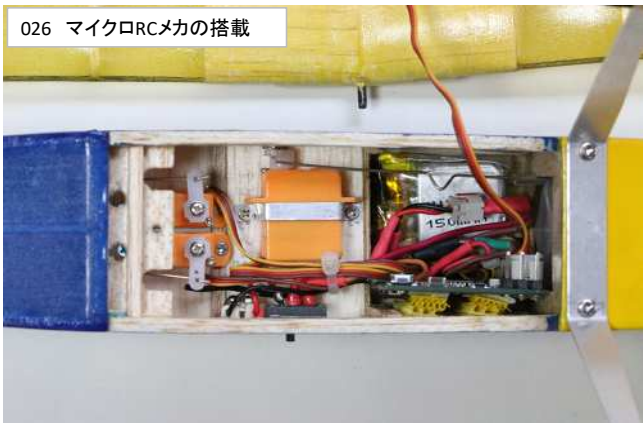


【億劫なクリアキャノピーの製作】

型を作るのはいつも億劫な作業ですが仕方ありません。キャノピー用型はバルサブロックを張り合わせてカッターで荒削りしサンディングで仕上げました。表面は目止め用にドーブにマイクロバルーンを混ぜて塗装しています。

成形作業はパーツなどが入っているクリアパッケージをヒートガンで加熱して、柔らかくなったらこの型に押し付けて成形します。小さな部品なので大きめのクリア板を手持ちで熱いのを我慢して押し付けました。もちろんヒートガンを型の上部に固定して作業します。手もう1本ほしくなる作業です。縁取りのモールはマスキングしてウレタンブラックで塗装しました。これが思いのほか重くて2gあります。サーボ1個分です。でも苦勞した甲斐があってキャノピーを付けると精悍さが増して見えます。

026 マイクロRCメカの搭載



【マイクロRCメカの搭載】

サーボは2gのデジタルサーボを4個搭載。横置きに搭載しているのはエンコン用でエルロンロッドに干渉しないように寝かせてアルミ板で固定しました。6ch受信機は入らないのでケースを外して側板にマジックテープで取り付けました。奥には150mAhの1セルのリポを搭載し、基盤とショートしないようにクリアテープで保護しています。バッテリーの充電で付けたり外したりは困難なので、外部から充電できるよう、電源スイッチ横に充電用のマイクロコネクターを設置しています。スイッチを切った状態で充電が可能です。

受信機のチャンネルは主翼を取り外し易いようにエルロンを6chに接続し、1chに電源、5chにエンコンとバラバラになりました。変則的ですがフタバ14SG送信機側でスイッチを割当てて動作させています。

マイクロコネクターは付けたり外したりすると配線がちぎれてしまいそうなので、できるだけ外さなくて済むようにしています。主翼も付けっぱなしでメンテナンス時以外は取り外しません。マイクロ機のいいところです。

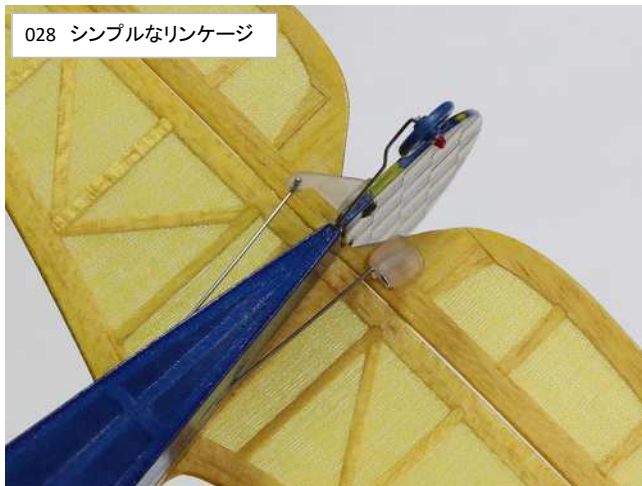
027 外部充電コネクター



【搭載したRCメカの重量】

- | | |
|----------------------------|-------|
| 1. マイクロデジタルサーボ × 4個 | 8.1g |
| 2. 受信機 Fr sky 6ch | 3.0g |
| 3. リポバッテリー 150mAh 3.7v 1セル | 4.2g |
| 4. スイッチ・ケーブル | 1.1g |
| 合計 | 16.4g |

028 シンプルなリンクージ



【マイクロ機ならではのシンプルなリンクージ】

リンクージはパイプガイド式でロッドエンドは使わずサーボ側はZ曲げです。尾翼側はL曲げして抜け止めのPPチューブを差し込んで止めています。ロッドはφ0.55の硬質ステンレス線です。超小型機ですから余分なものはなくリジッドな取り付けになっています。小さなホーンは電動機についていたものを拝借しました。尾輪はオモチャのプラタイヤで一応ラダー連動になっています。ゴルフ場の行き届いたグリーン上なら滑走して離陸できるかもしれません。

【完成したMicro wings .006号】

ほぼイメージ通りの機体に仕上がりました。ただ全備重量は74.8gと少しオーバーしましたが、バランスウェイトは積まなくてすみしました。専用のスピナーを切削してエンジンを搭載。模型らしさと小さくても精悍さがあります。機首部のウレタン塗装はドーブより耐グロウ性が高く、浸み込の心配もありません。ランディングギアは厚さ0.8mmのジュラルミンの板から切り出しました。車輪取付け用にM1.4のタップを立ててスタッドボルトをねじ込んでいます。スタッドを立てるときは穴のバリ取りはしません。このバリが潰れてネジがロックされます。ホイールはジュラコンを削って製作し、ストッパーは細いPPパイプをネジ替わりにしてタイヤを止めています。後はマイクロエンジンのご機嫌次第です。

【006エンジンの重量履歴】

今回は全備重量の制限が大きく各工程毎に計測しました。生地完成から塗装完成では全体重量は38%増加しました。翼は生地完時の1.5倍増加します。当たり前の結果ですが塗装がいかに重量増加になるかが分かります。

	生地完	下地ドーブ	絹張り完	塗装完
胴体	13.9	14.2	15.1	16.8
主翼	10.1	10.5	11.6	15.5
尾翼	2.1	2.4	2.6	3.8
合計	26.1	27.1	29.3	36.1
増加率	-	3.80%	12.30%	38.30%

単位g

030 完成したMicro wings.006号



【Micro wings006号のテクニカルデータ】

全長	340mm
全幅	520mm
全備重量	74.8g
翼面積	3.19dm ²
翼面荷重	23.4g/dm ²
RC装置	4ch

【自作.006エンジンスペック】

ボア径	5.00mm
ストローク	4.90mm
行程容積	0.096cc (0.006cu.in.)
重量	12.3g
実用回転数	10000～25000rpm

3.ギネス級 マイクロエンジン機のフライトインプレッション

031 青空に映えるマイクロエンジン機



033 飛行待機



【やっぱり、一筋縄ではいかない初フライト】

葉桜になった4月某日。少し風がありますが晴天の絶好の飛行日和です。はやる気持ちを抑えながら初フライトの準備を始めました。準備完了と思った直後に突然ラダーが動かなくなりました。2gのマイクロサーボはよく壊れるので持っていた予備と交換しました。想定内のトラブルです。006エンジンは21000rpmほどですが安定して回ります。エンジン調整が終わり燃料を補給して再始動しようとスターターを回すと「ゴキッ」と嫌なロックしたような感覚が……。プロペラが重くて擦れているようです。オーバーチョークで液圧縮に近いのを無理に回したようでコンロッドが曲がってしまいました。一難去ってまた一難……ですが、これも万一エンジンに何かあった場合の想定内です。予備のエンジンに載せ替えて再調整です。今度は慎重に調整してやっと飛行準備が完了しました。軽く手投げした機体は少しパワー不足気味ですが10mほどの高度をとってゆっくりと旋回しました。排気プレッシャーをとっていないからか飛行中エンジン回転にムラがあります。安定したパワーではないので少しごちない飛行になりましたがスパン520mm、75gの機体は明らかに自らのパワーで飛んでいます。小さな機体ですが青空にくっきり映えて見えます。初飛行はベテランフライヤーにお願いしましたがトリム調整をする余裕はなさそうです。と言うより、そう強くない風でもあおられて常に舵を打っていないといけない状態でしょうか、追い風になると高度が落ちます。もう少しエンジンパワーがあれば冷や汗をかかなくても済みそうです。2フライト目は、パワーアップを狙って少し圧縮比を上げて再挑戦することにしました。プラグを外して底面を油砥石で研磨して取り付けました。ところが元々掛が緩めだったネジを締め過ぎてプラグをねじ切ってしまいました。予備用の他のプラグでは微妙で廻ってもパワーが出ません。完全に想定外のミスです。エンジンは1台毎に微調整しているので現場でのセッティングは困難で本日は一巻の終わりです。予想通り一筋縄ではいきませんでした。大成功にはほど遠いのですが「自作マイクロエンジンでラジコン機を飛ばす！」という最低限の目標はクリアしたとしてまた出直すことにします。

【終わりに】

マイクロエンジン機の製作や飛行を3機種、3回に渡って掲載させていただきました。超小型エンジン機は涙ぐましいくらいデザインや減量に苦労します。エンジンパワーで引っ張る大型機では考えられないくらい小さなところに頭を悩まします。お蔭で秤は0.1gまで計測できるものにして、載せたり降ろしたり……。零戦の主任設計者堀越二郎氏の著書「零戦その誕生と栄光の記録」では零戦の設計においては強度計算を繰り返しながら1g単位で徹底した肉抜きが行われたたそうです。その結果、上昇性能、旋回性能、巡航性能など当時は不可能と思われた卓越した性能の航空機が現実のものになりました。少し大げさに言えば、模型の世界でも実機の開発で苦労したことを、ある意味想像ながら作り上げていくことも一つの楽しみ方です。今回のサブテーマ「マイクロエンジン機で忘れかけていた模型らしさを楽しむ！」とは、ただ単に小さい飛行機にエンジンを載せて飛ばすという単純なものではありません。限られたスペックの範囲でどこまで創意工夫ができるかの挑戦みたいなものです。誰から言われたものでもないこの種の挑戦は「わくわく、ドキドキ」、「楽しさと苦労」の表裏一体で単なる遊びではできません。これが「趣味」と「遊び」の本質的な違いかもしれません。小さくたって模型らしさは十二分に楽しむことが可能です。