

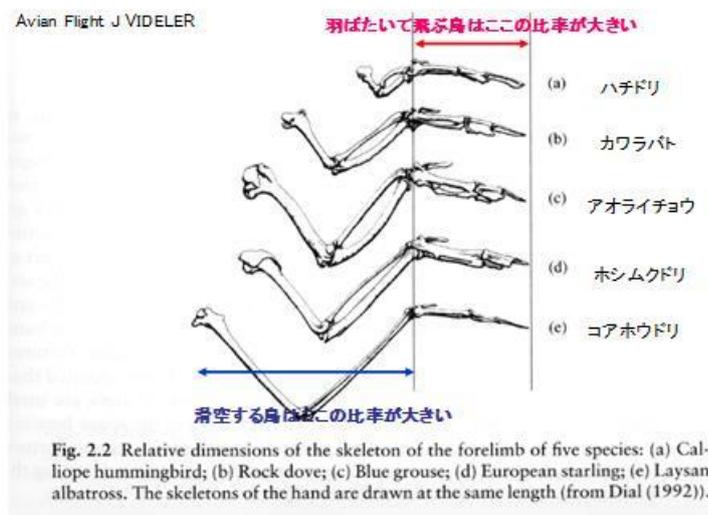
2014/9/19 かくたこども&アレルギークリニック角田和彦

はじめに

空を飛ぶ鳥をみて、自分も羽ばたいて空を飛んでみたいと思ったことがあるだろう。羽ばたいて飛ぶことは夢がある。2007年、小さなラジコン羽ばたき機に魅せられた。すぐに製作を開始し、よく飛ぶことがわかった。すると、昔からの夢であった翼竜を羽ばたかせて飛ばしたいという気持ちがわき上がってきた。翼竜に関する文献を読みあさり、羽ばたきや飛行方法を調べた。さまざまな操縦方法を試し、最後に足の指の間に張っている膜を使って操縦することが、一番効率がいいことがわかった。この方法で、小さなものから大きなものまで、多くの翼竜型羽ばたき機を作って飛ばした。同時に、鳥型の羽ばたき機、フラッパーなどの昆虫型の羽ばたき機、アニメや映画に登場する架空の世界の飛行物体などを作ってきた。

現在、私の羽ばたき機は、飛行性が向上し、狭い場所でも飛ばせるようになった。宙返りやロールなどのアクロバットの飛行も可能だ。とても、気持ちよく飛ぶ。羽ばたき機と一緒に心も飛んでいく。

羽ばたき機の原理 推力を生み出す仕組み 推力発生部 揚力発生部



プロペラ機ではプロペラを回して推力を発生させる。羽ばたき機ではプロペラに相当する部分が翼の外側部分 (A) だ (図 1)。翼の体側部分 (B) は、揚力を発生させ滑空に必要な部分だ。鳥の翼を見ると、強く羽ばたき、早いスピードで飛翔する鳥 (アマツバメ、燕、ハヤブサなど) やホバリングをする鳥 (ハチドリ) は A 部分が大きく、早くは飛ばないが長時間滑空する鳥 (コンドル、ワシ、トンビなど) は B 部分が大きい (図 0)。

図 0 翼体側部と翼端部の比率 滑空する鳥は翼体側部の比率が高く、羽ばたいて飛ぶ鳥やホバリングするハチドリなどは翼端部の比率が高い。

鳥の翼の構造と同様に、羽ばたき機の翼の前縁部は硬く、後縁に行くほど弾力でしなやかに曲がるようにすると大きな推力を発生させることができる (図 2)。

また、本物の鳥と同じように翼に関節を作り、羽ばたき時に下に曲がるようにすると、本物の鳥によく似た羽ばたきができるようになる (推力は多少低下するが風に強くなる)。

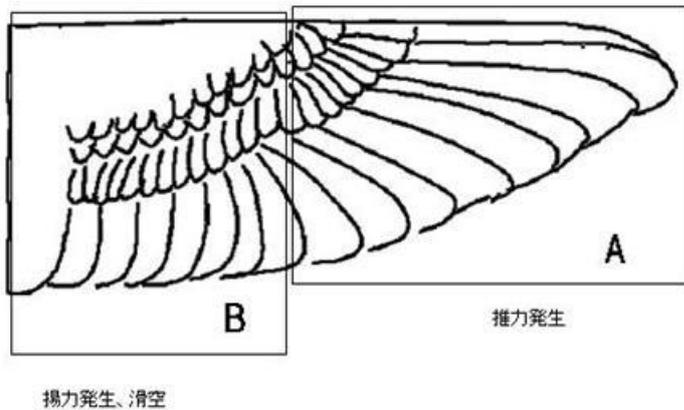
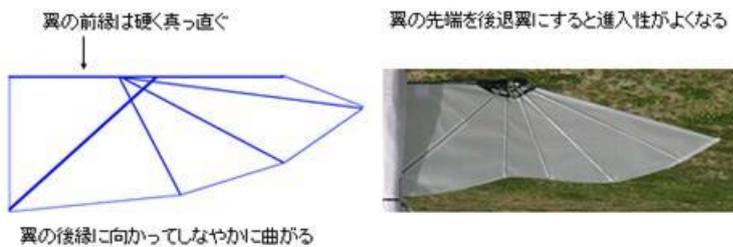


図 1 翼の体側部分は揚力発生部、翼の先端部分は推力発生部（プロペラに相当する）である。

### 推力を発生させるための羽ばたき機の翼の構造



翼の前縁は硬く真っ直ぐにし、翼の後縁に向かってしなやかに曲がるように作ると良好な推力が得られる。

翼全体が硬くしなりにくいと推力は増加するが、モーターやESCへの負担が大きくなり、飛行の安定性がなくなる。

図 2 翼の前縁は硬く真っ直ぐにし、翼の後縁に向かってしなやかに曲がるように作ると良好な推力が得られる。翼全体が硬くしなりにくいと推力は増加するが、モーターやESCへの負担が大きくなり、飛行の安定性がなくなる。翼の先端を後退翼にすると推力は落ちるが進入性がよくなる。

### 上反角

羽ばたいているため、羽ばたきの振幅の中心部を使って上反角を設定する（図3）。上反角が大きいと飛行は安定するが、推力は低下し、推力の発生中心が重心の上になるため頭下げの力が働く。そのため、エレベーターをアップさせる必要がある。上反角を小さくすると、飛行は不安定になりアクロバットのな飛行が可能になるが、操縦は難しくなる。しかし、推力は増加する。上反角がマイナスになると、羽ばたき機は安定が保てずひっくり返ってしまう。

その羽ばたき機に適した上反角を飛行させながら見つける必要がある。

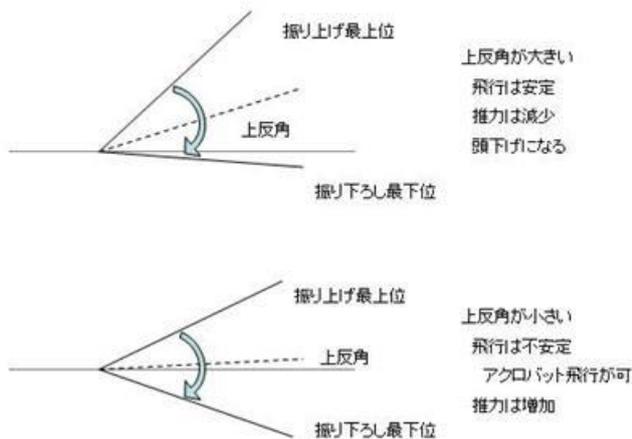


図 3 上反角が大きいと飛行は安定するが推力は減少、頭下げが起こる。  
上反角が小さいと飛行は不安定になるが、アクロバット飛行が可能となり、推力が増加する。

### 羽ばたきの振幅と羽ばたきの回数

羽ばたきの振幅は飛行の安定性と速度を決める重要な部分だ。羽ばたきの振幅が大きいと推力は増加するが、安定性が悪くなり、羽ばたきの振幅が小さいと推力は落ちるが飛行は安定する。また、大きな振幅の羽ばたきは堅牢な羽ばたきのシステムが必要になる。

羽ばたきの回数が多いほど飛行は安定し推力が増加する。しかし、ゆっくりと羽ばたく大型の本物の鳥の羽ばたきとはかけ離れてしまう。製作者が作ろうと求める羽ばたきの状態を作り出すためには、羽ばたきの回数を設定し、その羽ばたき回数で十分な推力が得られるようなシステムを構築する必要がある（重量、翼面積その他が影響する）。

### 翼の重さ

翼の重さも重要な因子だ。翼が軽いほうがモーターやシステムへの負担は軽く、同じパワーで大きな推力を生み出すことができる。軽いと同時に羽ばたきの振動でも壊れない堅牢性が必要である。

### 翼の素材

翼が軽いことで、動力システムへの負担が軽くなり大きな推力を作り出せる。そのためには、軽い翼の素材が必要だ。

翼の膜には、いろいろな素材を使ってみた。まずは、ポリ袋。薄いポリ袋は軽く、小さな羽ばたき機に使うことができる。しかし、接着性が悪く着色ができない。また、伸びてしまう。リップストップ (0.5 オンス/平方フィート程度の軽いナイロン製の布) は大き目の羽ばたき機に使うことができる。発泡ポリプロピレン (EPP) は翼型も作れ、形が自由にできるが重い。厚さが 2mm 以下の EPP シートは軽い翼を作ることができる。オラコンフィルム OrconFilm はリップストップの半分の重さで軽く薄く彩色ができる。しかし、AN36 という一番軽いものは現在生産されていない。最新の Orcofilm EN-158C は OrconfilmAN36 の 1.3 倍ほどの重さだが購入できる（しかし、値段が高く少量の販売をしていない）。

翼の骨組みはカーボンロッド、カーボンパイプなどを使い、軽く堅牢に作る。羽ばたきによって発生する振動で接着剤のみでの結合は外れてしまう可能性がある。細いカーボン棒を翼のメインカーボン棒やパイプに接合するときは、つり用のリリアンを利用し PE ラインで縛り、瞬間接着剤で固定する。

### 胴体

機体も軽く丈夫であることが必要だ。カーボン、つり用の PE ライン、瞬間接着剤を多用して作って

いる。部品は、ギア、ボールベアリング、シャフトなど以外、多くはカーボン素材から切り出して製作する。

## 重心位置

重心位置は、通常の飛行機と同様に翼の前縁から 30-40%程度のところに設定することが多いが、翼の形や、羽ばたきの状態でも変わるため、実際に飛行させて決定する。

## 羽ばたきのシステム ギア ベルト

翼を羽ばたかせるためのシステムにはいくつかのタイプがある。ギア（アセタノール製またはジュラルミン製）を組み合わせたシステム（図 4、5）。ベルトドライブを使ったシステム（羽ばたく力は強力だが重い）（図 6）。通常は、軽く簡便に製作できるギアを組み合わせたシステムを使用する。インチサイズの大きなギアは SDP で購入できる。ただし、かなり高額だ。メートルサイズの小さなギアは安くて丈夫な GWS 製のものを使っている。

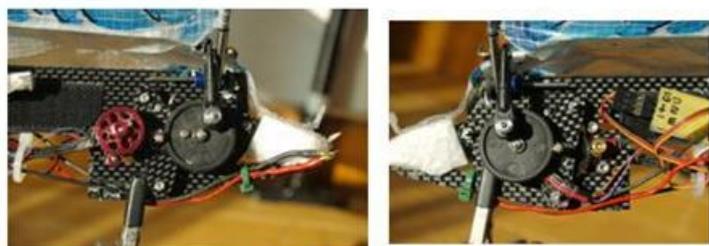
SDP <http://www.sdp-si.com/>

GWS <http://www.gws.com.tw/>

初期は、1 枚のメインギアの軸の両側にアルミ製のクランクをつけて翼のメインカーボン棒と連結させていた。1 枚のメインギアだけでは、羽ばたきの過剰な負荷でよくギアの歯が欠けてしまった。そのためジュラルミン製ギアを使ったが重くなってしまった。そこで、両側にアセタノール製のギアを 1 枚ずつ計 2 枚のギアを配置することで、1 枚のギアへの負担が軽減し、強い羽ばたきを作り出すことができたようになった。さらに、両側にギアを配置しギアそのものをクランクにすることで工作が容易になった。

モーターからメインギアまでのギア比は、モーターの性能、羽ばたきの性状などによって変ってくる。通常は 20-40 程度で、FalcoHobby22iV や NightFuryBaby23iV などは 29 程度、小さなモーターでゆっくり羽ばたく Goshawk26iV では 135 と大きい。

羽ばたきによる振動で緩んでしまう可能性があるため、ねじはすべてロックタイトで固定する。



両側アセタノールギア  
FalcoHobby22iV

Main gear: 66TM0.4 Acetal  
GWS EPS D (Stainless  
shaft3mm, 3mm ball bearing),  
Second gear: 56TM0.4 GWS  
EPS 2 (=GWS IPS-42),  
64P8TPinionWire(with 4mm  
ball bearing), Pinion Gear  
M0.4 16T(=64P 16T)



図 4 プラスチック（アセタノール）ギアを左右に 2 枚使ったシステム。ギアへの負担が少なく壊れにくく、大きな推力が得られる。また、工作が簡単。



1つのアセタノールギアとアルミ製クランク  
 一番一般的な羽ばたきシステム  
 SlowHawk2  
 MainGear 32P64T  
 SecondGear 48P84T  
 Pinionwire 48P6T

図 5 1個のアセタノールギアを使ったシステム。古典的な羽ばたき機のシステム。クランク部分の工作が難しい。



ベルトドライブによる羽ばたきシステム  
 CircusF9  
 Gear: Main Gear: 0.200 (XL) Pitch 30T  
 Polycarbonate Timing Pulley With  
 Aluminum Insert , 0.200" (XL) Pitch 40 T  
 3/8" Wide Urethane Belt.  
 Second Gear: 0.200 (XL) Pitch  
 10T Aluminum Alloy Timing Pulley &  
 48P56T Aluminum Gear  
 Third gear : 48P66T Acetal Gear & 48P10T  
 Pinion Wire

図 6 ベルトドライブを使ったシステム。大きな羽ばたき力が得られるが、重くなる。工作は非常に複雑で難しい。

### モーター、スピードコントローラーESC、バッテリー

動力源となるモーターや ESC は選択が難しい。それぞれのモーターにはプロペラを使った負荷試験の結果があるが、羽ばたき機ではあてにならない。おそらく、羽ばたきに周期があり、高負荷の振り下ろし部分と、負荷が少ない振り上げ部分があるためと思われる。実際に使って飛ばし、状態を見て判断するしかない。そのため、多くのモーターや ESC を試し、最適なものをさがした。バッテリーは放電率が高い最新のものがいい。この試行錯誤の結果、世界でも初めての羽ばたき機によるアクロバット飛行、宙返りができる機体を作ることができた。

モーターや ESC の限界を超えた使い方でも耐えることが多い。パワーの余裕があったほうが飛行状態は良くなるので、高い Kv 値で高アンペアのモーターと高アンペアの ESC が必要だ。羽ばたき機の大きさや重量、翼の重さ、羽ばたき周波数などによって適合するモーターが変わるので、実際に使って、判断するしか方法がない。すでに完成しよく飛んでいる羽ばたき機のスペックを利用することが早道だ。

バッテリーも高パワーのものが要だ。

## 操縦 平坦な1枚尾翼（エレボン）・V字尾翼・逆V字尾翼・羽ばたき振幅可変システム

飛行のコントロールには、翼の変形などさまざまな方法があるが、羽ばたき機の操縦で一番簡単で効果的な方法は尾翼の動翼を使う方法であることを、多くの実験から突き止めた。V字尾翼は左右への方向転換時、機体があまり傾かないため、安定した飛行ができ、初心者に向いている（翼竜型の羽ばたき機は足の指の間の膜を使ってV字尾翼にしている）。逆V字尾翼は、方向転換時機体が大きく傾き、飛行が不安手になるが、アクロバットなど機敏な操作が必要な機体に適している（FalcoHobby22iVやNightFuryBaby23ivなど）。フラットな尾翼（エレボン）ではその中間の状態が得られる（ButeoF4やKestrelF6など）。

自然界の飛行生物は垂直尾翼を持たない。羽ばたき機も、羽ばたいている最中は垂直尾翼がなくても左右の安定は保たれる。この理由は、羽ばたきの中で翼がV字翼になっている瞬間があるためと思われる。羽ばたきをやめそれがなくなると不安定になる。しかし、翼の構造が膜または、表面に凹凸があるEPPなどの素材で作られているため、両翼にドラッグ（抗力）がかかり左右の安定が保たれる。羽ばたきをやめて、滑空しても安定することが多い（特に膜型の翼では安定する）。

虫型羽ばたき機のフラッパーFlaptter19（4枚の羽を羽ばたかせて飛ぶ）では、後ろの2枚の羽の迎角を可変させるシステムで操縦が可能だ。トンボ型羽ばたき機では、4枚の羽のうち前の2枚に羽の迎角を変えることで操縦しようと試みたがうまくいかず、最終的には前の2枚の羽の羽ばたき振幅を可変にするシステムを構築することで操縦が可能になった（おそらく世界初）。このシステムは本物のトンボの羽の動きと酷似している。

## 滑空システム New GLDAB

滑空するためには一定の位置でギアの回転を止める必要がある。フランスで開発されたGLDAB（磁石を検知してスピードコントローラーを停止させる滑空装置）と同じものを、電子部品を集めて製作し、プログラムを改造した（New GLDAB）。スロットルスティックを最下位にすると、モーターが設定された出力で動き続けセンサーが磁石を検知した位置でモーターが停止。多少逆回転後につめ車によってギアがロックされ、翼が滑空位置に固定される。さらに、小型の羽ばたき機にも搭載できるように、部品を集めて小さく作り直した（重さ2g）。これによって、小さな羽ばたき機でも滑空ができるようになった。→私のホームページを参照

## 羽ばたき機のタイプ

自然界の飛行生物に種類があると同様、それを模倣して作られる羽ばたき機にもいくつかのタイプがある。現在、製作しているものは、鳥型の翼を持ち尾翼が水平か逆V字の鳥型羽ばたき機（翼に関節がないタイプと関節があるタイプ）、膜型の翼をもち足の指の間に張られた膜をV字尾翼にした翼竜型羽ばたき機、1組（2枚羽）か2組の羽（4枚羽）を持つ虫型羽ばたき機（蝶型とトンボ型）、こうもりの膜型の翼を持つこうもり型羽ばたき機、アニメや映画に登場したドラゴンなどの架空の生物の羽ばたき機と5種類がある。

トンボやハチドリなど羽ばたき時に前縁がまっすぐで折れないタイプの翼や羽は羽ばたき回数を増やすことによって大きな推力を生み出す。このタイプの翼・羽では翼を振り下ろす時だけでなく、振り上げるときも推力を発生させている。このタイプの膜型の翼を持った羽ばたき機は常時強い推力を発生

させるので、曲技的な飛行ができる。4枚羽の羽ばたきシステムでは、前羽と後羽の羽ばたき周期のずれが重要で、これがうまく設定されていないと羽ばたきで推力が生まれない。後羽の羽ばたき周期が前羽の羽ばたき周期より25%先行することが必要だ。

本物の鳥やコウモリは、翼を振り下ろすための筋肉は充分にあるため、振り下ろし時に強い推力を作れる。しかし、振り上げるための筋肉は少ないため翼の関節で翼を折ってたたんで振り上げている。模型の羽ばたき機でこれを模倣すると、翼を下に振り下ろすときにのみ強い推力が得られる。したがって、アクロバットの飛行を目指す羽ばたき機には不適だが、ゆっくりと羽ばたき、滑空するタイプの羽ばたき機では有用だ。この関節がある翼を使うことで、本物の大型の鳥やコウモリと同じようなゆっくりとした羽ばたきを再現することができる。

## 羽ばたき機の製作過程

羽ばたき機の例として、GosHawk25iVの製作過程をみてみよう。

GosHawk (オオタカ) 25iVは、翼の振り上げ時に翼の関節部で翼が下に曲がるタイプの羽ばたき機で、鳥の羽ばたきの模倣をめざして製作した。動力部分のモーター、ESC、バッテリーはFalcoHobby22iV、NightFury Baby 23iV、Seagull24iVとほぼ同じである。滑空装置NewGLDABによって滑空することができる。

### 1) 羽ばたきシステム部

メインギアは66Teeth (歯:T)、Module (モジュール:M) 0.4のアセタール製ギア (GWS社製 EPS D) が2個、3mmステンレスシャフト、内径3mmボールベアリング。ファーストギアは56T、M0.4 GWS EPS 2 (=GWS IPS-42)。64ピッチ8Tのピニオンワイヤー (本来はM0.4、8Tのピニオンワイヤーが望ましいが入手できず64ピッチのものを代用した)と内径4mmボールベアリング、M0.4、10T(およそ64ピッチ、10Tと同等)ピニオンギア。ギア比は46.2:1。ギア固定用のカーボン板を1mmカーボン板から削りだし、ギアがきっちりかみ合うようにシャフト用の内径3mmと4mmボールベアリングの穴を開ける。

羽ばたき振幅は約60度。

図7、8、9



図7 Goshawk25iV with articulated wing (オオタカ: 関節がある翼) の部品。カーボン部品は素材

から切り出す。

羽ばたきシステム  
部品

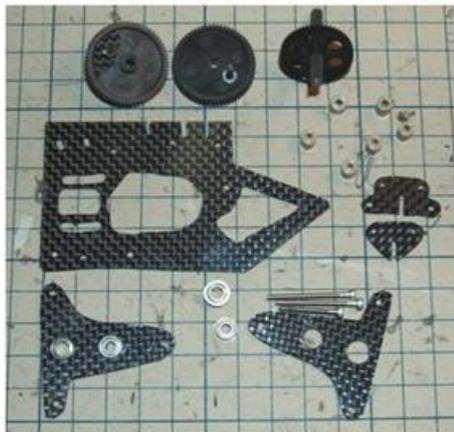


図 8 羽ばたきシステム部の部品

羽ばたきシステム部の組立



図 9 羽ばたきシステムの組立

## 2) 尾翼

尾翼は逆V字尾翼。

1mmカーボン板、1.2mmと1mmカーボン棒を組み合わせて製作。バルサ板の上に設計図、シリコンシートを重ね、その上に部品をマチ針で固定。瞬間接着剤で仮固定し、1号PEラインで縛った後、再度瞬間接着剤で固定する。

図 10、11

尾翼の製作

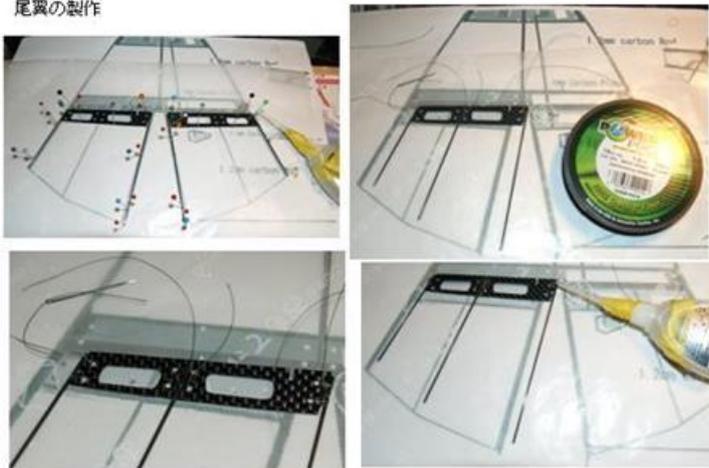


図 10 尾翼の製作。バルサ板の上に、図面、シリコンシートを敷き、その上に部品をマチ針で固定し、瞬間接着剤で固定する。その後、PE ライン（釣糸）で縛り、さらに PE ラインを瞬間接着剤で固定する。これをしないと、羽ばたきの振動で部品が剥がれてしまう。

尾翼基部の製作と組立

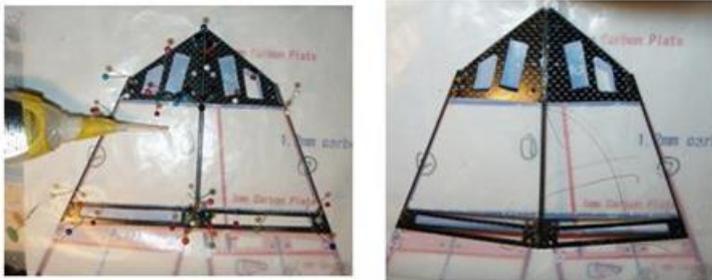


図 11 図 10 と同じ方法で尾翼基部を作製。できあがった左右の尾翼を中央で PE ラインで縛り、瞬間接着剤で逆 V 字に固定。

### 3) 胴体

2mm、1.5mm カーボン棒を組み合わせ 1 号 PE ラインと瞬間接着剤で固定する。

図 12

胴体の組立

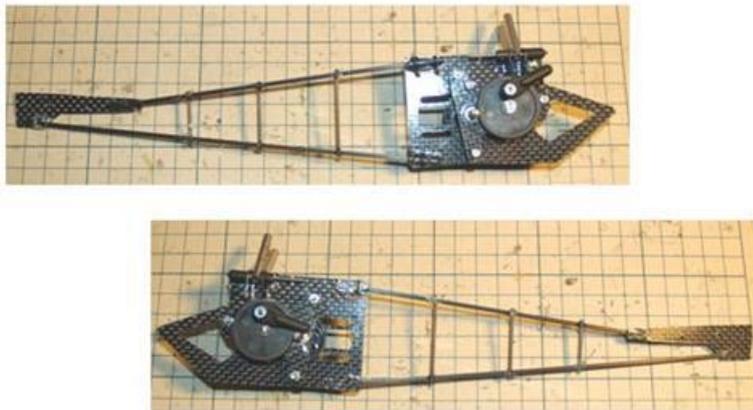


図 12 胴体の組立

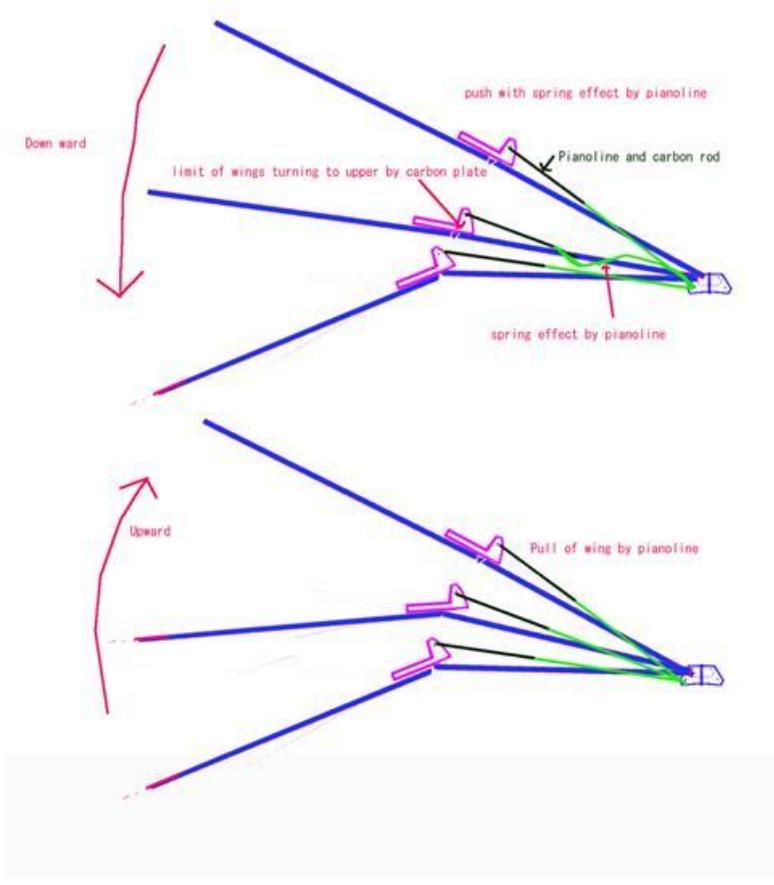
### 4) 翼

翼基部には外径 4mm、内径 3mm のステンレスパイプを使用。翼のメインカーボンは 3mm カーボンロッドを使い、翼先端部は 1.6mm カーボンロッドを使用した。翼端部分は 1.2mm カーボンロッド、対角に 1.6mm カーボンロッドを入れて翼のしなりを形成。翼のメインカーボンロッドとの接合は、釣竿用のリアンと 1 号 PE ライン（糸）、瞬間接着剤で補強している。

翼の体側は EPP でリブを作り、上下に Orcon Film を貼って翼型を作る。

図 13、14、15

関節部の製作 図 A



1mmカーボン板を使って関節部を製作。図のようなシステムを作る

胴体、尾翼、主翼の組立

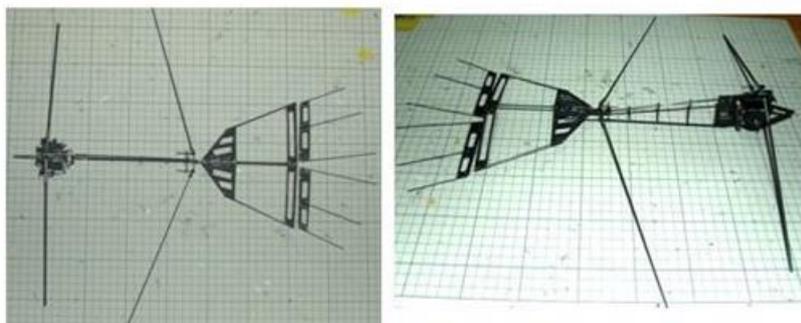


図 13 尾翼基部と翼のメインカーボンロッド、対角のカーボンロッドを組立

カーボンロッドをリアンとPEラインで結合

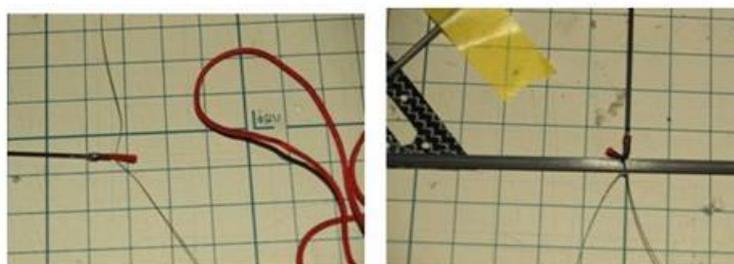


図 14 カーボンロッドとカーボンロッドは釣竿の穂先使うリアンとPEライン、瞬間接着剤で固定。

主翼の組立

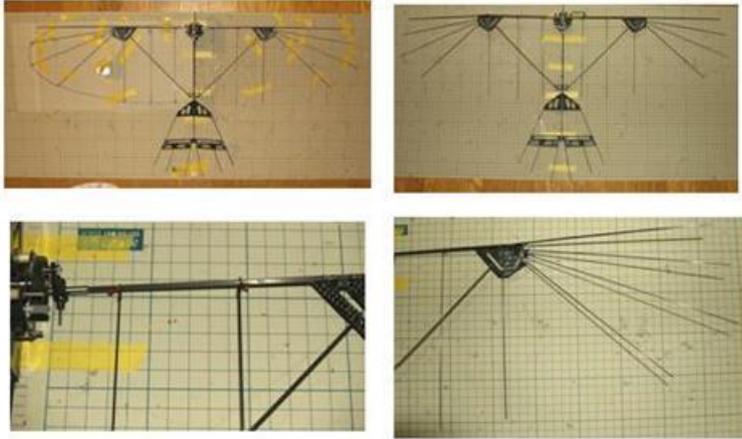


図 15 主翼のカーボンロッドを接着。

5) 骨組みの完成

図 16

骨組みの完成

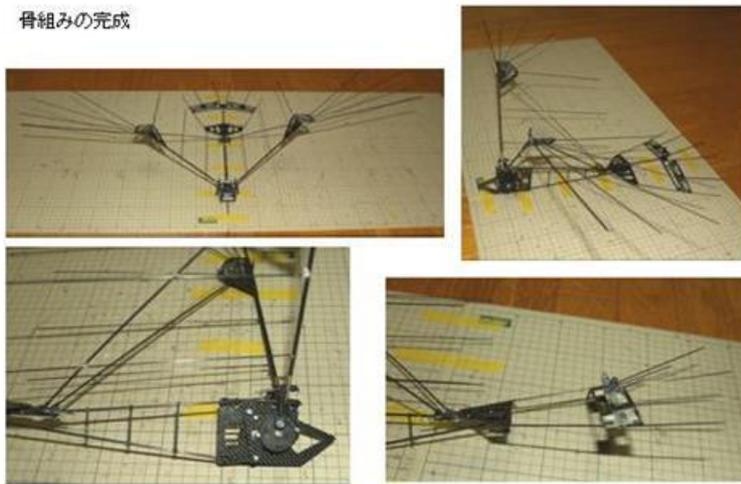


図 16 骨組みの完成。尾翼の動翼はリップストップを貼って結合。

6) 動力装置をつけて動きの設定

動力装置をつけて動作を確認

<http://www.youtube.com/watch?v=bIjRr1fstdo>

図 17

動力装置を取り付けて動きの設定

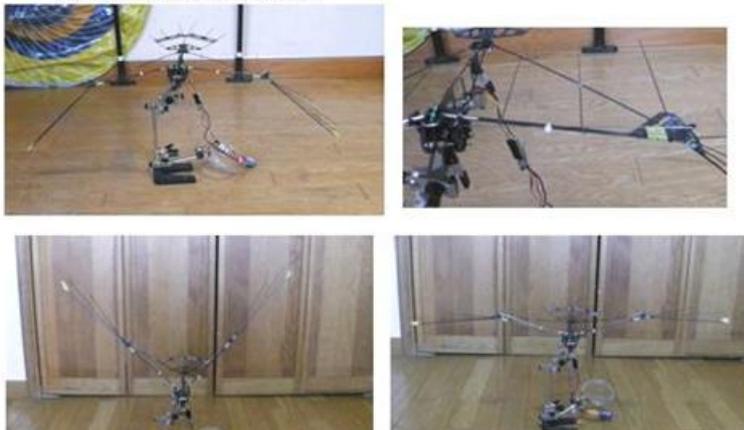


図 17 モーター、ESC、バッテリーを装着し動きの設定。

7) Orcon Film を翼に貼り付け

図 18

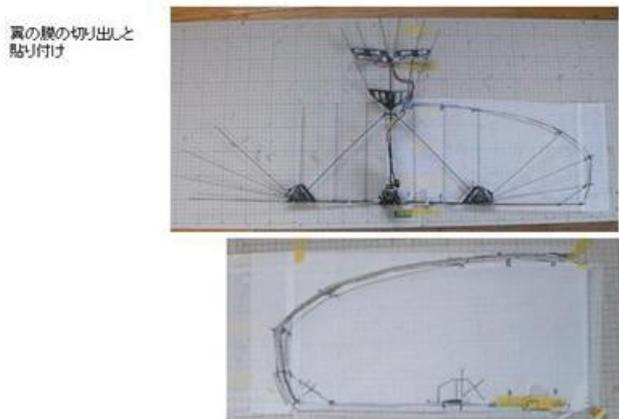


図 18 Orcon film (オラコンフィルム) を翼の形に切り出し、両面テープ (3M 9460 Seam Tape または 3M 9670 Seam Tape ) で固定。

8) 飛行可能な状態の完成

ここで試験飛行を実施。 <http://www.youtube.com/watch?v=bIjRr1fstdo>

図 19



図 19 飛行可能な状態の完成。ここで試験飛行。

9) 表面胴体の製作

45 倍発泡ポリプロピレン (EPP) のブロックから表面胴体をカッターナイフと電熱線 (ニクロム線を曲げてくりぬきができるように製作したもの) で胴体を製作。表面胴体をつけて試験飛行を実施。

<http://www.youtube.com/watch?v=atk0UYZ82z0>

図 20、21

表面胴体の作製 45倍EPPからカッターと電熱線で切り出す

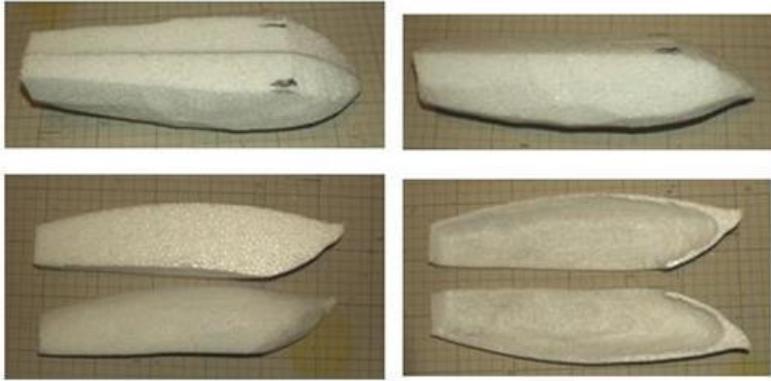


図 20 45 倍発泡ポリプロピレン (EPP) のブロックから表面胴体をカッターナイフと電熱線 (ニクロム線を曲げてくりぬきができるように製作したもの) で胴体を製作。

表面胴体の完成

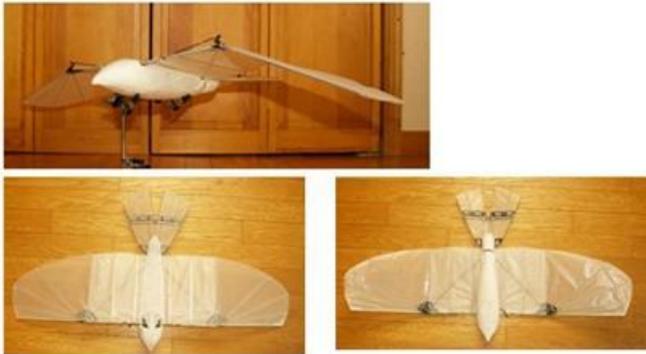


図 21 表面胴体の完成。この状態で試験飛行。

10) 完成

彩色をし、滑空装置 NewGLDAB の設定をして、完成。試験飛行を実施。

<http://www.youtube.com/watch?v=CDuv93WMN20>

図 22

完成: 彩色し完成



図 22 完成。滑空装置 NewGLDAB を積み込み、最終の試験飛行。

### 3D プリンターによる羽ばたき機の製作

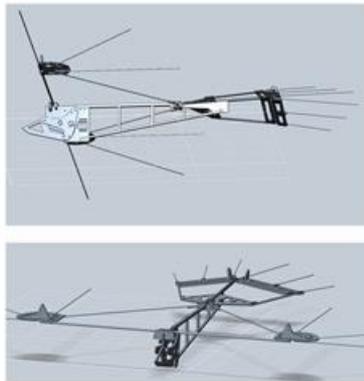
カーボン素材を切り出して部品を作り出す方法では、高度の熟練（または精密機器）が必要となる。そこで、部品の位置や大きさ、左右対称性などが確保できる 3D プリンターを使った羽ばたき機の製作にチャレンジした。

3D プリントを使うことの優位な点は

- 1) ギアボックス（軸と軸の距離が不正確だとギアがうまくかみ合わない）や尾部の細かくて難しい製作が不要になる。
- 2) 有害なカーボンの粉塵がでる作業を減らすことができる。
- 3) そのため、製作時間が短縮される。
- 4) 重量はカーボン素材を使った場合より少し重いかほぼ同じで、飛行性能に大きな影響は与えない。

ソフトはフリーソフトの AUTODesk123D Design を使用。印刷はオランダ Shapeways 社に安価なナイロン樹脂（Flexible strong & white）で依頼した。

#### 3Dソフトで設計し印刷する



ソフト: AUTODesk123D Design  
印刷: オランダ Shapeways 社  
ナイロン樹脂



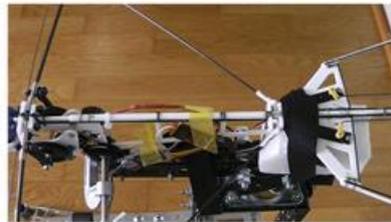
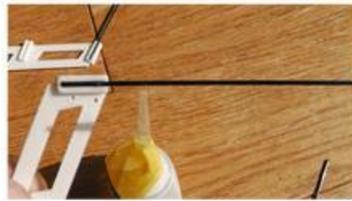
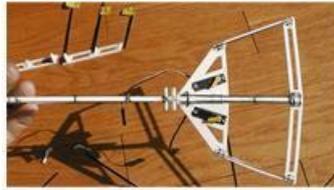
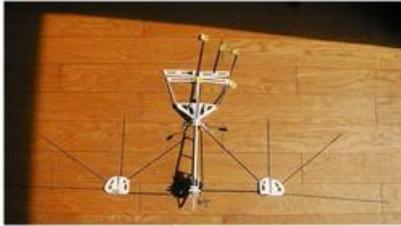
#### カーボン切出しの部品と3Dプリンターで作った部品の比較



多少重くなる

### 3Dプリンターで作った部品の組み立て

位置あわせが簡単のため、組み立て時間は大幅に短縮される



3D プリンターで製作した部品は、カーボンロッドとつり用の PE ライン、中粘土耐衝撃性瞬間接着剤で補強した。重量はほぼ同じで、強度もカーボン製の羽ばたき機とほぼ同等のものができあがった。飛

行性能も良好だ。

<http://www.youtube.com/watch?v=MWooOogLVU>

以下のサイトで3Dプリント部品は購入することができる。

<http://homepage2.nifty.com/smark/3DPShop.html>

## 羽ばたき機の可能性

羽ばたき機の利点はプロペラと違い、怪我をする可能性が低いことだ。しかし、現状では弱点のほうが多い。

エネルギーからパワーを発生させる効率が悪く、羽ばたきシステムは複雑であり、メンテナンスが頻回に必要だ。

しかし、可能性は無限にある。

### 人が羽ばたいて飛ぶためには

小さく軽くハイパワーな高性能モーターや高性能なバッテリーが開発され、軽く丈夫な素材が開発されれば羽ばたいて飛ぶことができる装置が作られるかもしれない。-----しかし、これは遠い道のりだ。しかし、翼竜の翼を模倣して製作したことで、次のような感触をもった。

翼竜の翼は、薄い膜型の構造であるにも関わらず、弱い力で推力を生み出し、十分な浮力を保っている。飛行できる鳥で最大のコンドルが翼幅3メートルに対し、翼竜では12メートル以上になる。鳥は足を自由に使うため、羽を進化させて空を飛んだが、羽の構造はとても複雑で重い。一方、翼竜は飛ぶことだけを目的して進化し膜型の構造の翼は軽く、歩行を犠牲にしている。さらに、翼竜の翼は1億5000万年の間、ほとんど変化しておらず、このことは翼竜の翼が飛行に最適であったことを示しているかもしれない。

翼竜の翼を研究していくことが、人が羽ばたいて飛ぶことの夢を実現できる道かもしれない。

## 未来への可能性

- 1) 人が羽ばたいて飛ぶ:  
小さく軽くハイパワーな高性能モーター  
高性能なバッテリー  
軽く丈夫な素材が開発されれば  
羽ばたいて飛ぶことができる装置が作られるかもしれない。  
翼竜の翼: 羽ばたいて飛ぶ軽量の飛行機
- 2) 猛禽類型の羽ばたき機を使ったバードストライクの防止
- 3) 偵察や自然の鳥たちに混ざって飛んで自然な生態を観察するための羽ばたき機
- 4) ホビー: 羽ばたいて飛ぶ夢の実現

## 自然界の大きな飛行者たち

鳥(恐竜の子孫たち)

コンドル 翼幅3m 体重12-14Kg



翼竜 1億5000万年の間 空の支配者  
プテラドン 翼幅7-9m 体重20kg



ケツァルコアトルス 翼幅12m 体重70kg  
羽ばたいていた?



体重60Kgのヒトが羽ばたいて飛ぶことができるか?

## 翼竜の飛行から学び 人は飛ぶことができるか?



プテラドン 翼幅7-9m 体重20kg

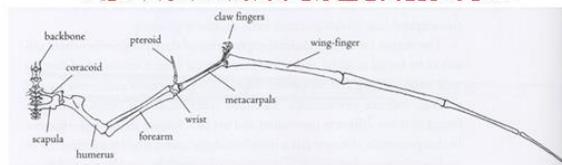


ケツァルコアトルス 翼幅12m 体重70kg

アリキサンダー・ジュライハース ASW19B型	
おぼろげなイメージですが、でも今では練習機として多量に飛んでいます。それどころか、むしろカスリーン号(1)には十分な運送性能があります。1日の飛、かなりの練習機があります。	
機体寸法	1108
空機重量	205kg
最大重量	454kg
最高速度	255km/h
翼幅	15m
製造国	ドイツ

## 翼竜の翼の構造

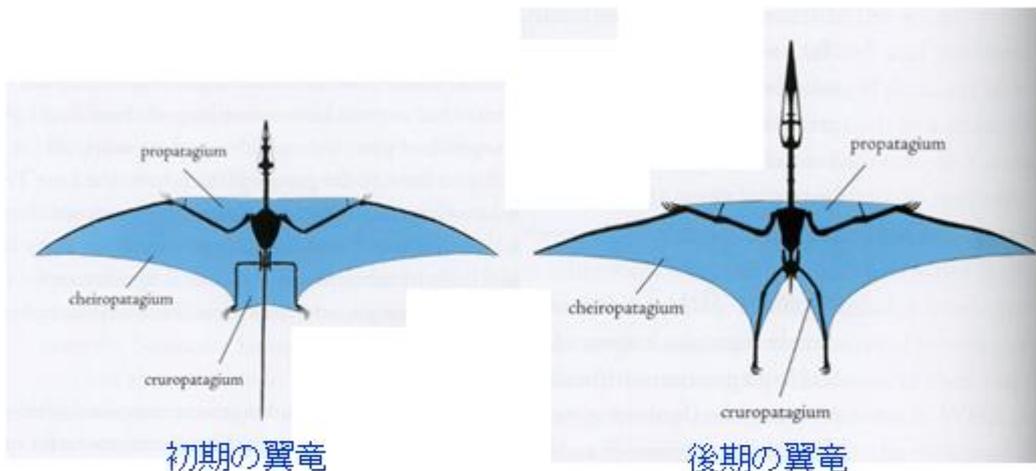
1億5千万年の間、翼竜は空を支配してきた



翼竜の翼の利点(鳥の翼と比較して)

- 1) 軽い: 骨格が1本のみ、他は膜構造
- 2) 小さなパワーで羽ばたきことができる
- 3) 体側まで膜構造のため浮力が大きい

→人が羽ばたいて飛ぶためのヒント



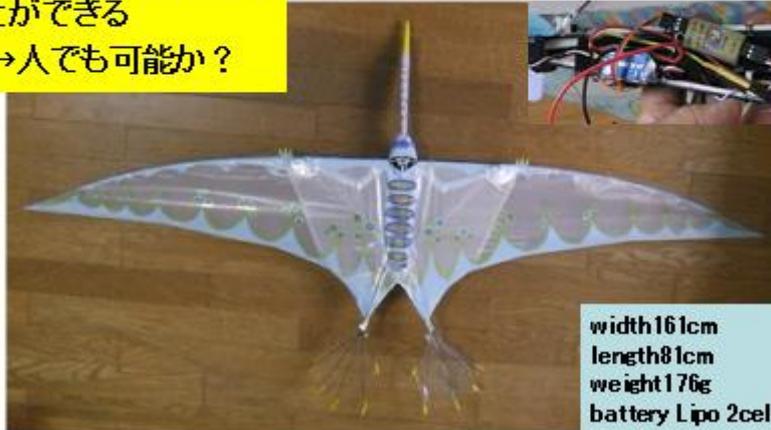
飛行するための進化  
足の間の被膜・長い尾

地上を歩くための進化  
足の間の被膜がなくなり  
尾が短くなる

1億5000万年の間 翼はほとんど変化がない＝飛行性能が極限に達していた？

## Sinopterus37iV 2014年8月製作

小さなパワーのモーターで大きな翼を長時間羽ばたかせることができる  
→人でも可能か？



width 161cm  
length 81cm  
weight 176g  
battery Lipo 2cell 300mAh 29g  
Total flight weight 205g



## Dsungaripterus5-9 Articulated Single Finger Wing



参考：

### Web 上の羽ばたき機の世界

各機体の詳細：私のホームページ <http://homepage2.nifty.com/smark/Habataki.htm>

飛行の様子：YouTube チャンネル <http://www.youtube.com/user/BZH07614>

### 世界の羽ばたき機

Robird <http://clearflightsolutions.com/>

製作者の Robert Musters 氏は鷹匠だ。本物そっくりの EPP の翼を持った羽ばたき機を使って、空港などの鳥を追い払う会社を設立している。

Smartbird [http://www.festo.com/cms/en\\_corp/11369.htm](http://www.festo.com/cms/en_corp/11369.htm)

本物のカモメの羽ばたきに近いシステムを開発し、精密な工作機器によって羽ばたき機を製作し飛行させた。

Avitron <http://www.rcflyingbird.com/>

超小型の高性能な羽ばたき機（モーターと左右のコントロールのみ）で、現在、バージョン 2 が販売されている。

### Hobby Technik

SeanKinkade 氏は、おそらく世界で最初に販売できる高性能な羽ばたき機を製作し、販売した。現在、世界中の多くの人がこの SeanKinkade 氏が作った羽ばたき機を飛ばしている。しかし、彼は商売が下手で、現在、注文し、お金を払っても商品は来ない。私も SlowHawk を頼んだが送ってこず、届いたのは 1 年半後だ。注文し羽ばたき機が届いたら超ラッキー。世界中からクレームが殺到している。ここで購入しないこと。2013 年 2 月、SeanKinkade 氏は交通事故で死亡した。

OVIRC [http://ovirc.free.fr/ornithopteres\\_hobbytechnik.php](http://ovirc.free.fr/ornithopteres_hobbytechnik.php)

フランスで SeanKinkade 氏の古いタイプの羽ばたき機を販売している。ここに注文すると数週間で手元に届く。ただし、やや高額。

Carbon Sail <http://www.carbonsail.com/index.html>

シンガポールの会社で、SeanKinkade 氏の新しい羽ばたき機と同等の羽ばたき機の販売を今年から始めた。注文すると数週で手元に届く。

### 日本の羽ばたき機

羽ばたき飛行機製作工房 <http://blog.goo.ne.jp/flappingwing>

小型の羽ばたき機の開発を行っており、この分野では世界の先頭を走っている。

超小型飛行体研究所 <http://trhk.exblog.jp/i16/>

ふしみ製作所 <http://blogs.yahoo.co.jp/watasidesuyo49>

UNA3 SlowFly <http://una3-slowfly.sakura.ne.jp/blog/>

上記、3 者は薄い EPP 翼を使った軽量の羽ばたき機 (SB30) の開発を行なっている。最近、急速に開発が進展している。ふしみ製作所の FUSHIMIBird の折れ曲がりタイプの翼のアイデアを参考にし、私の GosHawk25iV は作られた。

自作工房 <http://jisaku-pc.net/blog/?cat=21>

Smartbird のシステムを高度な精密工作機器を使って再現し、折れ曲がりタイプの翼の羽ばたき機の飛行を成功させた。

羽ばたき機に関する知識

Rcgroup <http://www.rcgroups.com/ornithopters-101/>

羽ばたき機に関する論議が豊富で、羽ばたき機に関するニュースが入ってくる。

Ornithopter Zone <http://www.ornithopter.org/>

羽ばたき機の基礎や歴史が学べる。

### 参考文献

- 1) The Pterosaurs: From Deep Time by Unwin, David M 2005
- 2) 動物大百科 翼竜 平凡社
- 3) 世界最大の翼竜展 恐竜時代の空の支配者 (ガイドブック)
- 4) Avian Flight、John J. Videler