

# 東北大学 Windnauts における人力飛行機の製作について



撮影 とりっば

The Production of Human Powered Aircrafts in Windnauts Tohoku University



*Key Words : Human Powered Aircrafts, CFRP, Japan International Birdman Rally, FAI*

中村 寿 (東北大学・院)  
安倍 祥 (東北大学)  
沢田 雅洋 (東北大学)  
後藤 卓也 (東北大学)  
達 永里子 (東北大学)  
石川 智己 (東北大学)  
青木 太助 (東北大学・院)

Hisashi Nakamura (Tohoku University)  
Yoshi Abe (Tohoku University)  
Masahiro Sawada (Tohoku University)  
Takuya Goto (Tohoku University)  
Eriko Tatsu (Tohoku University)  
Tomomi Ishikawa (Tohoku University)  
Daisuke Aoki (Tohoku University)

## Abstract

We made 3 Human Powered Aircrafts (HPA) while supported by “Lifting Off Young Birds” in 1999 and 2001. We have bettered our flight records in our activity. In particular, we had fine records with “FirstLady” in 2000 and with “KAZATO” in 2001. We tried to get FAI records with “FirstLady” by woman pilot and had the third record of herself-take-off in Japan. With “KAZATO”, we participated in “Japan International Birdman Rally” and had the flight record over 1000 m. Then we introduce our team activity for a report of “Lifting Off Young Birds” in proceedings.

## 1. 緒言

東北大学 Windnauts は 8 年前に結成された。当初は鳥人間コンテストの滑空機部門に参加していたが、かねてからの目標であった人力飛行機の製作を 3 年前から始め、現在に至るまでに 3 機の人力飛行機を製作した。滑空機からの決別を図り、人力飛行機の製作の第一歩となった「政宗・改 寒冷地仕様」(1999 年)。鳥人間コンテストには書類審査で不合格となったものの、FAI 記録飛行をめざし、女性パイロットによる自力離陸に成功した「FirstLady」(2000 年)。そして、今年度の鳥人間コンテストで 1000 m 越えを記録した「風人」(2001 年)。有力チームが 10000 m を越す記録を出す中、後発チームとしてはあるが、確実に記録を伸ばしてきた。

この成長を支えた技術の一つが高品質な CFRP の自作である。人力飛行機の一次構造部材には CFRP がよく用いられているが、メーカーに発注した際の高いコストがネックとなる。特に、チーム結成初期の資金力が乏しい時期には大きな問題である。そのため、コストダウンを図りつつメーカーに負けない CFRP の製作を目指し、Windnauts では 4 年前から CFRP の自作を始めた。今ではその品質は有力チームにも負

けず劣らず、内外から高い評価を得ている。

こうした経過の中で Windnauts は 1999 年と 2001 年に Lifting Off Young Birds から支援を受けた。本報ではこの報告を兼ねて、これまで製作した人力飛行機 3 機と自慢の CFRP の自作を中心に、Windnauts を紹介する。

## 2. 各機体の紹介<sup>1)</sup>

### 2.1 「政宗・改 寒冷地仕様」(第1図)

滑空機から人力プロペラ機に移行した最初の機体である。奇抜を避け、あくまで飛ぶ飛行機の製作を念頭に、いわゆる「Daidalos」タイプと呼ばれるオーソドックスな機体を設計した。(「Daidalos」とは MIT によって開発された機体で、1988 年に 115.11 km という人力飛行機の最長飛行記録を残した。)着陸張線を使用していなかったため、離陸時には翼持ち台で上半角を強制的につけて発進する必要があった。製作に手間取り、十分な試験飛行ができなかったため、鳥人間コンテスト本番では飛行張線に翼持ち台を引っ掛けてしまい、離陸に失敗した。記録は 16m である。設計・製作・運営などあらゆる面において多くの反省点を残す結果となった。

### 2.2 「FirstLady」(第2図)

微小パワーで安全にフライトできる高性能な機体をめざし、女性パイロットを起用したが、鳥人間コンテスト書類審査に不合格した。その直後より FAI 記録飛行挑戦<sup>5)</sup>に目標を変更して製作を行ってきたが、プラットフォームからの離陸にすら成功したことのない Windnauts にとって自力離陸は困難の連続であった。

FAI 記録飛行とは FAI (Fédération Aéronautique Internationale) により認定される世界記録のことである。人力飛行機の部門には General と Feminine のカテゴリがあり、それぞれに Sub-Class IC、Sub-Class HD、Sub-Class I-E が設けられている。「FirstLady」は Feminine カテゴリの Sub-Class I-C に挑戦した。

記録飛行は 2000 年 11 月 4 日と 5 日に、日本初の女性パイロットによる日本記録樹立チーム、アクティブギャルズとともに行われた。これは世界でも稀有な女性パイロットによる 2 機同日記録飛行への挑戦であった。結果は第 1 表のとおりである。残念ながら飛行高度 2m を証明することができなかったため、FAI 記録の樹立はできなかった。その最も大きな原因は、フライトの準備時に発生した濃霧により多量の露が機体に付着し、翼の性能低下と重量の増加が発生したことである。しかし、日本で 3 例目となった女性パイロットによる自力離陸には成功した。

第 1 表 FAI 記録飛行の結果

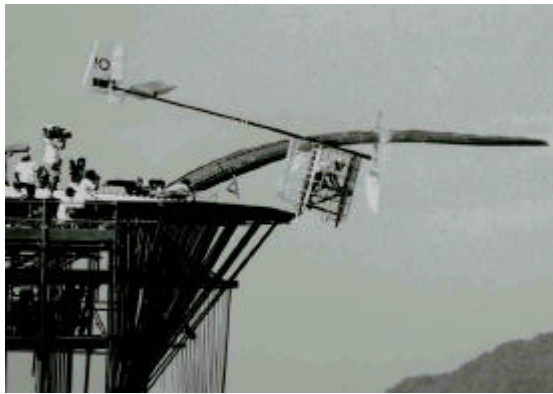
飛行実施日	2000 年 11 月 4 日 (土)	2000 年 11 月 5 日 (日)
パイロット	隅川 真由美	
天気	晴れ	晴れ
滑走路方向	南北	
風向	北北西	北北西
風速 [m/s]	2.5 ~ 3.0	0 ~ 0.5
滑走距離 [m]	56.839	56.133
飛行距離 [m]	113.248	100.844
滞空時間 [s]	24.95	17.10
最高高度	測定できず 推定 約 1.4 m	測定できず 推定 約 1.4 m
備考	フライト前の天気は濃霧	フライト前の天気は濃霧

### 2.3 「風人」(第3図)

3機を代表して、「風人」の機体緒言を第2表に示す。これまでに得られた技術を結集し、機体のほとんどを製作しなおした。構造部材に用いる CFRP の実に 90% 近くを自作 CFRP で供給した。また、メンテナンスの煩雑さや製作精度の確保の難しさから、ギアボックスによる動力の伝達を取りやめ、ねじりチェーンによる伝達に変更した。さらに、これまでの技術の蓄積により、翼は早く精確に製作できるようになったので、主翼と尾翼をフライト時の風に合わせて選択できるように複数製作した。主翼は翼端を取り換えることによりスパン 29 m と 27 m を選択できるようにした。水平尾翼はスパン 3.2, 3.4 および 3.6 m の 3 種類、垂直尾翼は同一スパンで翼面積  $1.86\text{ m}^2$  と  $1.97\text{ m}^2$  の 2 種類用意した。5000 m 程度の記録を狙っていたが、フライト中に風の変わり目に遭遇し、背風により着水した。結果は第 25 回鳥人間コンテストにおいて 1709.50 m を記録した。鳥人間コンテスト出場 2 機目で 1000 m 越えの記録を残したチームは、過去の記録を見てもほとんどない。

第2表 「風人」の機体緒言

総重量		90 kg		
機体重量		38 kg		
パイロット重量		52 kg		
巡航速度		7.0 m/s (スパン 29 m)	7.1 m/s (スパン 27 m)	
必要パワー		228 W (スパン 29 m)	246 W (スパン 27 m)	
重心位置		0.35 MAC		
主翼	翼型	DAE11-DAE21-DAE31		
	スパン	29 m	27 m	
	翼面積	27.5 m <sup>2</sup>	26.5 m <sup>2</sup>	
	平均空力弦	1.00 m	1.02 m	
	アスペクト比	30.5	27.5	
	翼面荷重	3.27 kg/m <sup>2</sup>	3.27 kg/m <sup>2</sup>	
水平尾翼	翼型	NACA0009		
	スパン	3.6 m	3.4 m	3.2 m
	モーメントアーム	4.4 m		
	翼面積	2.70 m <sup>2</sup>	2.38 m <sup>2</sup>	2.24 m <sup>2</sup>
	水平尾翼容積比(スパン 29 m)	0.413	0.380	0.357
	水平尾翼容積比(スパン 27 m)	0.439	0.387	0.364
垂直尾翼	翼型	NACA0009		
	スパン	2.4 m		
	モーメントアーム	5.3 m		
	翼面積	1.86 m <sup>2</sup>	1.97 m <sup>2</sup>	
	垂直尾翼容積比(スパン 29 m)	0.0123	0.0131	
	垂直尾翼容積比(スパン 27 m)	0.0138	0.0146	
プロペラ	翼型	DAE51		
	回転半径	1.5 m		
	回転数	160 rpm		
	推力 (高度 10 mにおいて)	25.4 N (スパン 29 m)	27.0 N (スパン 27 m)	



第 1 図 「政宗・改 寒冷地仕様」



第 2 図 「FirstLady」 撮影 井上剛



第 3 図 「風人」 撮影 とりっぱ

### 3 . Windnauts での CFRP 製作方法 <sup>2)</sup>

Windnauts では 4 年前に山形大学クラフト・パル <sup>3)</sup> のご協力により CFRP を自作した。当初は自作した CFRP を 1 次構造部材に用いず、もっぱら補助的な運用をしていた。しかし、その後独自に改良を進めた結果、機械的性能・コストパフォーマンスの両方を兼ね備えた CFRP を安定供給できるようになった。このため、近年の Windnauts の人力飛行機では 1 次構造部材にも大量に自作 CFRP を用いるようになった。

ここでは CFRP パイプが最も重要、かつ大量に用いられる主翼桁に適用する場合を中心に紹介を進める。はじめに主翼構造について簡単に解説する。続いて CFRP パイプの製作手順を述べ、最後に荷重試験について紹介する。

#### 3 . 1 主翼構造

一般の航空機では主翼桁構造に応力外皮構造をとる。人力飛行機で応力外皮構造をとった機体はほとんどなく <sup>4)</sup>、多くは応力主桁構造をとる。主桁に求められる重量・剛性・強度・製作精度の確保・工程の簡略化の条件をバランスよく満足するために、Windnauts では主桁に CFRP パイプを採用している。外皮とリブは発泡材とフィルムで形成され、補強のために部分的にバルサを使用している。翼型は「Daidalos」のために開発された DAE シリーズを採用している。また、「風人」では翼端に 3° のねじり下げをつけてより高い翼効率を狙っている。

主翼のアスペクト比を十分に確保するため、人力飛行機のスパンは長大である。片持ちはり構造で十分

な剛性を確保しようとする、桁重量が非常に大きくなる。そのため翼下面に飛行張線を張ることで桁の軽量化を図っている。翼上面には着陸張線を張り、離陸時の上半角不足を解消する。主翼は着陸時に揚力を失い、自重によりたわむ。着陸張線には試験飛行の着陸時にたわんだ主翼が地面と接触するのを防ぐ狙いもある。

### 3.2 CFRP パイプの製作手順

Windnauts における CFRP パイプの自作方法は次のとおりである。また、積層物の断面構成を第 4 図に示す。

治具となるアルミパイプの表面を耐水ペーパーで水研ぎし、表面の凹凸を無くす。

アルミパイプを洗浄し、十分に乾燥させる。

離型剤でアルミパイプの表面をコーティングする。

プリプレグを積層する。

ピールクロスを巻く。

シュリンクテープを巻く。

電熱線をアルミパイプの中に通し、保温のためにアルミホイルを巻く。

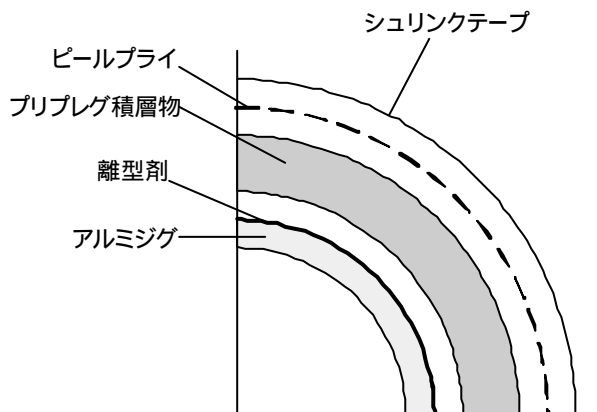
キュアサイクルを守って昇温・保温・降温する。

ピールクロスとシュリンクテープを取り外し、アルミパイプを引き抜く。

仕上がり具合を確認する。

高品質な CFRP を製作しようとする場合、加熱と加圧のサイクル(キュアサイクル)を守る必要がある。そのため通常はオートクレーブと呼ばれる窯を用いるが、主翼桁のような大きな部材が製作できるオートクレーブを所有することは事実上不可能である。そこでシュリンクテープと呼ばれる熱収縮テープを積層したプリプレグに強く巻きつける。すると電熱線による加熱でシュリンクテープが熱収縮を起こし、加圧できる。こうすることでオートクレーブがなくても CFRP の成型ができる。また、キュアの最中にプリプレグから余分なエポキシが染み出るので、これを吸収するためにピールクロスと呼ばれる布を積層する。

一連の工程の中で最も難しく、時間がかかり、重要なのがプリプレグの積層である。プリプレグの積層時に気泡が入ると剥離による破壊の原因となるため、慎重な作業が要求される。そのうえ、主翼桁クラス的大型部材になると効率よく作業しても桁 1 本の製作に 24 時間以上かかる。しかし、機体の性能と安全性にかかわる非常に重要な作業なので、長丁場ながら気を抜くことはできない。



第 4 図 積層物の断面構成



第 5 図 荷重試験の様子

### 3.3 荷重試験

CFRPの自作における最後の作業が荷重試験である。第5図に荷重試験の様子を示す。荷重試験では翼に働く曲げモーメントを模擬するように荷重をかけて、たわみ分布を測定する。また、想定される引き起こし荷重をかけ、破壊に至らないことを確認する。可能な限り本番のフライトに近い状態まで構造部材を組み上げてから試験する。通常の航空機と同様に、荷重試験をおろそかにするとフライト中の破壊に至るので非常に危険である。Windnautsでもこれまでに何度か荷重試験で構造部材の破壊を起こした。しかし、その後の原因追及と補修および再度の荷重試験を徹底的に行うことで対処してきた。そのため、Windnautsで製作したすべての機体は試験飛行と本番のフライトで1次部材の構造破壊を起こしたことがない。

### 4. まとめ

Windnautsでこれまで製作した3機の人力飛行機について紹介を行った。トップレベルのチームにはまだまだ追いついていないが、着実に記録を伸ばしている。鳥人間コンテストで1000m越えを果たした今、次なる目標は2002年の鳥人間コンテストに出場し、大阪府立大学 WindMill Clubが残した学生チームの最高記録を更新することである。(10000m越え)

また、Windnautsを語るうえで欠かすことのできない、自慢のCFRPの製作について紹介を行った。今後は、より高品質なCFRPの製作に取り組む。同時に、人力飛行機も乗り物であるから十分な安全性を確保しなければならない。そのため「試験飛行と本番のフライトでの1次構造部材の破壊経験ゼロ」という記録の更新を続けてゆきたい。

### 参考文献

- 1) 中村寿、安倍祥、沢田雅洋、後藤卓也、達永里子、石川智己、青木太助：東北大学 Windnauts における人力飛行機への取り組みについて、第7回スカイスポーツシンポジウム講演集、(2001)、pp.53-56
- 2) 安倍祥、沢田雅洋、後藤卓也、達永里子、石川智己、青木太助、中村寿：東北大学 Windnauts におけるCFRPの製作方法および利用方法、第7回スカイスポーツシンポジウム講演集、(2001)、pp.57-60
- 3) 鳥羽慶、徳山浩二、高橋直人、須田元昭、柳川章全、丸山徹、矢野剛、秋葉岳博、岩田宗久：CFRPパイプの製作と曲げ試験、第3回スカイスポーツシンポジウム講演集、(1997)、pp.151-154
- 4) 吉川俊明、坂本慎介、服部高資、佐多宏太、乾嘉行、吉田雄一、西畑浩憲、矢崎茂明：世界初！ストレスキン翼機による女性パイロットの人力飛行に成功！！、航空情報9月号、(2001)、pp.31-45
- 5) <http://www.fai.org/humanpowered/> : FAI - Human Powered Aircraft World Records
- 6) <http://ply.mech.tohoku.ac.jp/windnauts/> : 東北大学 Windnauts

### 謝辞

東北大学 Windnauts の結成と継続に関して、小濱泰昭教授、大林茂助教授に多大なるご支援をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。FAI 記録飛行に際し、吉川俊明氏をはじめとし、乾嘉行氏、とりっば、名古屋大学 Aircraft に多大なるご助力をいただきました。特に、吉川俊明氏、早川聖氏、野尻勲氏には技術面のみならず製作への姿勢に関してまでご指導いただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。フライトの実現にご協力いただきました航空協会、飛行場関係者、測量士の方々に深く感謝の意を表します。グライダートレーニングに関して小田健二先生と東北大学学友会航空部、体力トレーニングに関して堀琴乃氏と淵本隆文教授にご指導とご教示をいただきました。謹んでお礼を申し上げます。厳しいトレーニングに取り組んでこられたパイロットの方々に賞賛と感謝の念を送らせていただきます。Windnauts の発展にご協力いただきました実に多くの関係者皆様およびメンバーに心からお礼申し上げます。最後になりましたが、航空宇宙学会北部支部講演会にて発表の機会を与えてくださいました吉田和哉助教授にお礼申し上げます。