

鳥人間コンテスト選手権大会用滑空機の軽量化に関する研究

代 表	渡邊 洋輔	(理工学域数物科学類 3年)
	齋藤 佳輝	(理工学域機械工学類 2年)
	八木下 直輝	(理工学域電子情報学類 2年)
	渡邊 英知	(理工学域機械工学類 2年)
	小倉 久司	(理工学域物質化学類 3年)
	大橋 侑	(理工学域機械工学類 4年)
	片山 博喜	(理工学域数物科学類 4年)
	山本 達郎	(理工学域機械工学類 4年)
	岩佐 尚哉	(理工学域機械工学類 4年)
	大平 享央	(理工学域機械工学類 4年)
	木下 博仁	(理工学域物質化学類 4年)

指導教員

香川 博之 (理工研究域機械工学系 講師)

1. 研究背景

鳥人間コンテスト同好会「空猿」は、毎年夏に開催される全国鳥人間コンテスト選手権大会の滑空機部門に出場し優勝することを目標活動している。サークルでは、2年生が主体となって機体を設計・作製し、3年生の時点で大会に出場している。2007年4月に発足し、2010年大会では初出場を果たし、21チーム中19位、2011年大会では126mで20チーム中6位と成績を伸ばしている。しかしながら、2012年には強豪チームが最高記録の501mを記録し、我がチームとは飛行距離はもちろんのこと、機体の設計・クオリティにも大きなレベル差があるのが現状である。強豪チームとの飛行距離の差の1番の原因として、機体重量が挙げられる。翼幅20m以上のオープンクラスの優勝チームの機体重量が35kg程度であるのに比べ、空猿の2011年大会出場機体(以下、Avenge)は53kgと非常に重い。そのため、パイロットに厳しい減量を余儀なくしている。また、Avengeは機体重量の60%程度が炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を主材としている。このため、CFRPの高強度化・軽量化が、空猿の機体重量の主となる軽量化につながると考えた。

製作方法により、CFRPはドライカーボン(DC)とウェットカーボン(WC)の大きく2種類に分けられる。近年注目されているのが、樹脂を含浸させた炭素繊維(プリプレグ)を成形後に高温炉で焼き上げたCFRPであるDCである。DCは余分な樹脂が取り除かれ作業工程で生じやすい気泡による欠陥が少なく、軽量で強度が高いという特徴があるため、WCよりも機体にとって有利な材料である。しかし、DCの作製はWCに比べて難しく、専用設備が必要であるため、外注すると高いコストと多くの時間がかかる。また、高強度である反面、延性が低く、限界荷重を超えるとほとんど変形することなくいき

なり破断するなどの問題がある。このような理由から、これまで、炭素繊維に樹脂を塗りこみ室温で硬化させた WC を機体の材料として使用していた。DC の安価な製作方法を開発し、DC 材の特性について把握できれば、機体の主材料を WC から DC に変え、機体重量を軽減できると考えられる。そこで本研究では、高温炉を自作し、それを用いて DC の作製を行うことで、その作製工程の確立を試みた。また、作製した DC の機械的特性を明らかにするため、曲げ試験によって実験的評価を行った。

2 実験

2.1. 高温炉および加熱方法

DC の作製には東邦テナックス株式会社の 250°F 硬化型エポキシ樹脂系プリプレグをカーボン素材として使用した。このプリプレグの最適硬化条件として、昇温速度 1~3°C/min で 125°C まで加熱し、125±5°C で 80 分保つ必要がある。この条件を満たすことのできる炉 (図 1) の作製を行った。外側に厚さ 10mm のベニヤ板、その内側に厚さ 50mm の旭ファイバーグラス株式会社のグラスロンウールボード 40kg/m³ を貼り付け、断熱構造とした。熱源は、市販のオーブントースターに組み込まれているカンタル線を使用した。炉内温度は、ふたの中心部にあけた穴から K 型熱電対を用いて測定し制御した。

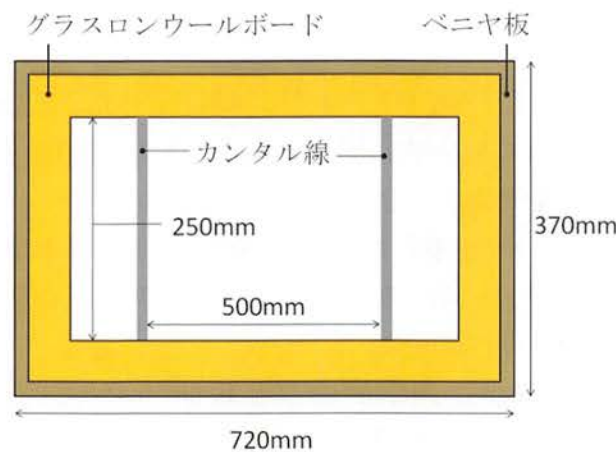


図 1 炉の構造

2.2. 試験片の作製

強度特性試験を行うため、本研究では長方形の薄板試験片を作製した。

まず、加熱中にカーボン素材に圧力をかけるため、300×200×7.5mm の 2 枚の鋼鉄板を金型として用意した。カーボン素材の繊維方向が同一になるように積層した 250×120mm のカーボン素材の上下に、余分なエポキシ樹脂を吸収するシート(ナイロンタフタ 70 d)を配置し、図 2 のように金型で挟み込んだ。金型表面には、金属とエポキシ樹脂が貼り付くのを防止するため離型剤(ケムリース 70)を塗布した。カーボン素材を挟み込んだ金型をボルトで締結するが、本研究ではその締め付けトルクをトルクレンチにより 3.0 N・m 一定とし、各試験片にかかる圧力を均一にした。

次に、前述のボルトで締結した金型を図 3 のように炉内に静置し、ベニヤ板とグラスウールで同様に作成したふたで覆った。80°C までは昇温速度 2°C/min、125°C までは昇温速度 1°C/min で加熱し、125±3°C で 80 分間保った。その後、ふたを閉めたまま室温まで自然冷却した。

以上のように加熱して作製した板材をファインカッターで幅 30mm の長方形型に切り出し、これを曲げ試験片とした。このとき、炭素繊維が長辺と平行になるように切り出した。

なお、本研究では、DC と WC の強度特性を比較するため、WC の作製も行っている。WC には硬化可能最低温度 20℃のエポキシ樹脂を使用したため、DC と同様に図 2 のように金型で挟み込んだ WC 用のカーボン素材を 20℃に保った室内に 24 時間以上放置することで硬化させた。

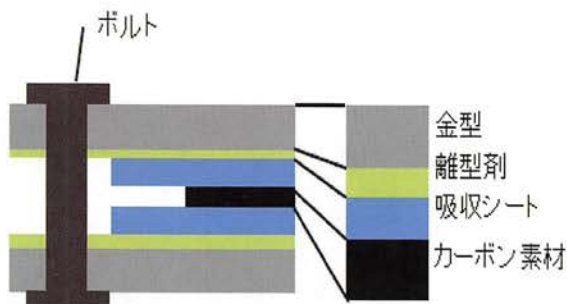


図 2 カーボン硬化時のモデル

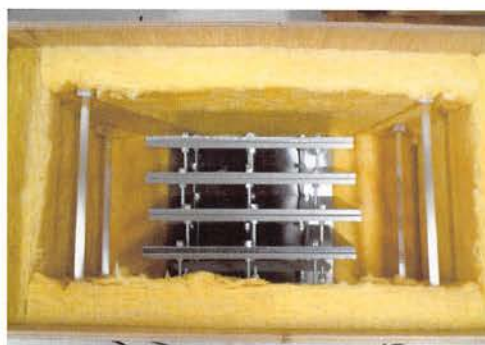


図 3 金型静置時の写真

2.3. 実験方法

曲げ試験

曲げ試験機(図 4)を用いて、DC 材と WC 材の三点曲げ試験を行った。三点曲げ試験とは図 5 に示したように試験片を 2 点で支え、その中央を押し込み、試験片を曲げ変形させる試験方法である。なお、本研究では曲げ弾性試験と曲げ破断試験の二通りの試験を行った。

実験に供した試験片を表 1 に示す。試験片の均質性を確認するため、試験片長さをできるだけ大きくし、同一試験片から複数のデータを収集するようにした。試験片表面には、押し込む位置を図 6 のように白色マーカースであらかじめ記しておいた。

三点曲げ試験は、支点間距離を 50mm、押し込み速度を 10mm/min 一定とした。曲げ弾性試験は、試験片にダメージを与えないように、押し込み荷重が 10N に達してから押し込み変位が 1mm になるまで行った。また、1つの試験片に対し 3 点の押し込みを行い、曲げ弾性率の分布について調べた。曲げ破断試験は、1つの試験片に対し 2 点の押し込みを破断するまで行った。



図 4 曲げ試験機



図 5 三点曲げ試験



図 6 試験片(WC_3pry)

表 1 曲げ試験片の寸法

試験片番号	作製方法	層数	長さ [mm]	幅 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]
DC_3pry	DC	3	250	29.9	0.6	7.20
DC_5pry	DC	5	250	30.0	1.0	11.24
WC_3pry	WC	3	200	30.0	0.8	6.03
WC_5pry	WC	5	200	30.2	1.2	9.55

3 結果と考察

3.1. 曲げ弾性率

三点曲げ試験により得られた曲げ弾性率を表 2 に示す。平均値を比べると、DC 材は WC 材よりも 1 桁大きい鉄鋼材料(平均値 200GPa)に近い高い弾性率をもつことがわかる。これは、DC 材の炭素繊維の割合は大きく、無駄な樹脂を排除できたためと考えられる。また、変動係数を比べると、DC 材の方が場所によるばらつきが小さい。これは、WC 材に比べ空隙などが少なく均一に作られたためと思われる。以上の結果は、DC 材や WC 材に使用されている炭素繊維や樹脂が同一ではないため、作製方法による差だけとは考えにくい。しかし、一般的に入手可能な材料で、簡単に作成した試験片でこれだけ大きな差が出ることは注目に値する。また、市販品 (4 層の DC 材) の結果 (131GPa) よりも大きな値を示しており、本研究の方法で自作しても、ばらつきの小さな高品質高剛性の部材を得られることがわかる。

表 2 曲げ弾性率

試験片番号	平均 [GPa]	標準偏差 [GPa]	変動係数[%]
DC_3pry	196	3.10	1.59
DC_5pry	163	1.55	0.95
WC_3pry	24	0.93	3.96

3.2. 曲げ強さ

三点曲げ試験により得られた曲げ強さ (破断時の最大曲げ応力) と最大たわみを表 3 に示す。実験数が少ないため、表中には①②としてすべての結果を示している。材料の強度を表す曲げ強さは、曲げ弾性率と同様に、DC 材が WC 材よりも 1 桁大きくなっている。2 点の比較ではあるが、同一材料のばらつきも DC 材の方が小さく思われる。本研究の DC 材は、市販品 (4 層の DC 材) の結果 (1646MPa) よりも大きな値を示しており、実用的にも優れていることがわかる。

表 3 曲げ強さと最大たわみ

		曲げ強さ [MPa]	最大たわみ [mm]
DC_3pry	①	2382	10.6
	②	2408	12.9
DC_5pry	①	2714	6.6
	②	2738	6.9
WC_3pry	①	293	9.9
	②	339	9.4
WC_5pry	①	499	5.5
	②	415	4.4

4 まとめ

本研究では、鳥人間コンテスト用滑空機の軽量化を行うために、主要部材である CFRP 材を従来のウエットカーボン(WC)ではなくドライカーボン(DC)により作製することを試みた。低コスト化のために高温炉を自作し、エポキシ樹脂系プリプレグをオートクレープ成形することにより DC 材を作製したところ、曲げ弾性率と曲げ強さは、これまで使用していた WC 材よりも大きく、市販の鉄鋼材料や CFRP 材とほぼ同等のものを得られるようになった。

2011 年度機体の骨組みである桁を図 7 に示す。桁を DC 材で作製する場合、材料の比強度の向上による機体重量の低減が期待できる。例えば、主胴桁は強度を保ったまま肉厚を 1mm 減らすことが可能であり、重量が 11.3kg から約 9.5kg への低減できる。他の部材も考慮すると、全体で機体重量の 5% の低減が見込まれる。

現在のままの方法では高温炉の大きさから小型の部材の作製に限られる。高温炉の大型化には、炉の製作費だけではなく、広い作業スペースと大きな電気量が必要となり、低コスト化のためには高温炉を小型のサイズに留めながら大きな部材を作る手段が必要である。現段階では、図 8 に示すように炉の位置を変えることで桁の一部ずつを順番に加熱し作製する方法を検討しているところである。

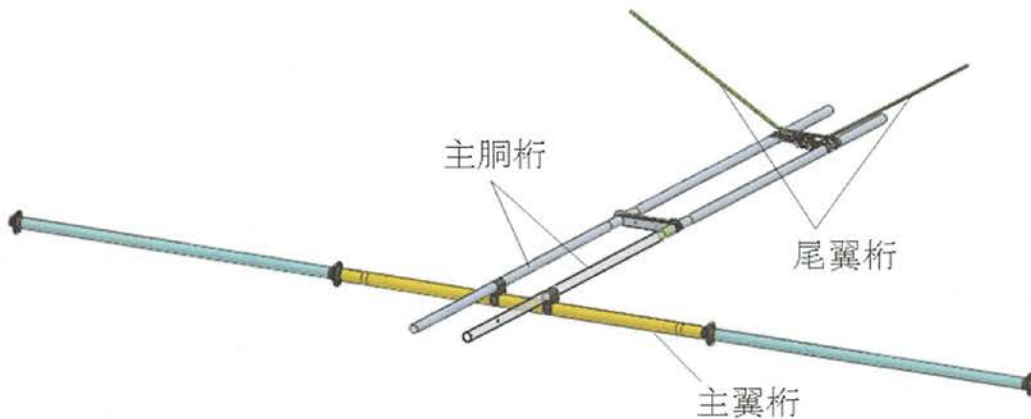


図 7 2011 年度機体“Avenger”桁の構造図



図8 大型部材の作製方法案

5 謝辞

学長研究奨励研究により，多くの経験，知識を得ることができました．関わっていただいた全ての方に心から感謝致します．

日頃，活動場所として研究室を一部お貸し頂いている米山先生，加納先生，本研究を進めるにあたり多大なご指導を頂いた香川先生に感謝申し上げます．また，今年の大会に向け，夜遅くまで活動してくれている後輩達に感謝申し上げます．最後に，研究を進めるにあたり，多くのご助言を頂いた大学院2年の赤穂篤志氏に感謝の意を示します．