

# CFRP 翼のスキン・リブ一体成形

## Composite Molding of Skin and Rib of CFRP Wing

卒業論文要旨

知能機械システム工学コース

機能性材料工学研究室 1180107 豊見山 敬樹

### 1. 緒言

CFRP (炭素繊維強化プラスチック) とは、プラスチック樹脂を炭素繊維に含浸させて固めた複合材料のことであり、プリプレグとは、あらかじめ樹脂を炭素繊維に含浸させ、乾燥、半硬化させたシート状の中間基材のことであり、CFRP は軽量、高剛性などの特徴が挙げられることから、現在は様々な分野で用いられている。特に民間航空機においては、1970 年代から CFRP が使用され始め、2012 年に就航した Boeing787 では機体の約 50% に CFRP が使用された。

近年、災害時の緊急支援や観測などへの小型 UAV (無人機) の災害対応への活用が注目されている。一般的な飛行機の翼はスキン、ストリング、リブ、スパーなどの様々な部品から構成されているが、小型 UAV の翼では機体重量が小さいため、それらの補強が必ずしも必要ではない。しかし、翼スキンを薄くする場合は、ある程度の補強は必要である。よって最小限の補強で軽量かつ高強度な翼を設計する場合、補強材を一体化した成形が可能であれば、翼の部品数も削減でき、低コストで軽量な翼を作ることができると考える。さらに、スキンには高強度・高剛性そして設計自由度の高い CFRP プリプレグが用いられることが多いが、材料コストが高いため、プリプレグの使用量を減らすことで製造コストの削減を期待できる。

そこで軽量、高剛性かつ低コストの CFRP 製小型 UAV 主翼の製造方法を確立することを目指して、本研究では、CFRP プリプレグとカーボクロスという異なる基材を用いて VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) 成形法により、スキン、ストリングの複合一體成形手法の実験的検討を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 材料

表 1 に使用する CFRP プリプレグとカーボクロスの厚さと縦弾性係数をそれぞれ示す。カーボクロスの縦弾性係数は 70GPa であるが、プリプレグの繊維方向はその倍以上の 156GPa ある。そのため、これらを組み合わせて成形することで、カーボクロスだけで成形するよりもより強度・剛性の高い翼スキンを成形することが出来る。

#### 2.2 成形方法

図 1 に、本研究で提案する複合成形法の概略を示す。型に接する面に CFRP プリプレグを積層し、カーボクロスを重ねる。カーボクロスの一部分をあらかじめ変形させて、補強部 (ストリング) とする。カーボクロスの上にピールプライと樹脂拡散メディアを重ねて、シーラントと真空バッグフィルムによって真空バッグを形成する。その後、VaRTM 成形法により、真空引きを行って、液体樹脂を大気圧でカーボクロスに含浸させる。含浸工程の後に CFRP プリプレグと樹脂が含浸したカーボクロスを同時加熱して、材料を硬化させる。

本研究では、まずプリプレグとカーボクロスの複合成形手法をするため、200mm 四方の平板のプリプレグを 0°、90°と積

Table 1 Thickness and Young's modulus of each base material

	Thickness (mm)	Young's modulus (GPa)
Prepreg	0.091	156
Cloth	0.22	70.8

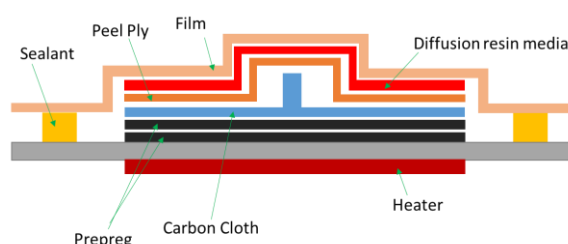


Fig. 1 Schematic view of VaRTM molding method

層し、その上からカーボクロスを積層した。硬化工程での加熱には、シリコンラバー・ヒーターを用いた。使用したプリプレグは 100°C 以上で樹脂の硬化が始めるので、ヒーターの設定温度を 120°C で 3 時間加熱とした。

次に、2 種類のストリングをつけた一体成形を行った。本研究では、図 2 で示すようなハット型と T 型の 2 種類の補強を試みた。プリプレグの上にカーボクロスを積層する際、最表面のカーボクロスをあらかじめ変形させた。ハット型の成形にはコア材が必要となるが、本研究では 3mm 角のヒノキの角棒をコア材として、コア材に沿うようにカーボクロスを変形させた。真空バッグを形成した後に、樹脂含浸時の樹脂リッチ部の形成を防ぐために、図 3 に示すジグを用いてストリング部分を左右から挟み、また上から 4kg のおもりで抑えた。T 型の場合は、既定の高さ (今回は 10mm) となるように最表面のカーボクロスを摘み、ハット型の場合と同様にして補強部を形成した。

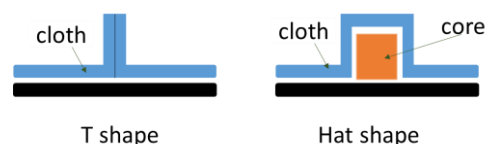


Fig. 2 String shapes manufactured by carbon cloth

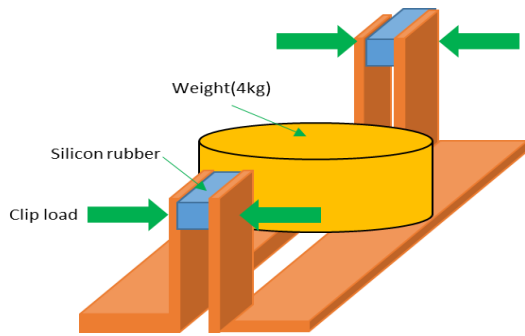


Fig. 3 Jig for molding stringer

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 プリプレグ/クロス複合成形 CFRP

図4に、製作した CFRP 板の断面写真を示す。下から 0°層, 90°層, カーボンクロスとなっており, それぞれの厚みは 0.091mm, 0.09mm, 0.24mm であった。図 4(b)は 0°層と 90°層の層間付近, 図 4(c)は 90°層とカーボンクロスの層間付近の断面写真である。図より, 0°層と 90°層の間にも, 90°層とカーボンクロスの間には樹脂層は見られず, またどの面にもボイドがほとんど形成されていないことがわかった。よって, VaRTM 法による大気圧加圧によって, ボイドレスのプリプレグ/クロス複合成形 CFRP が可能であることが分かった。

#### 3.2 ハット型ストリンガー一体成形 CFRP

図5に、ハット型ストリンガー一体成形 CFRP のストリンガ付近の断面写真を示す。図より, ストリンガの成形には成功しているものの, ストリンガ側面とコア材の間に大きな樹脂リッチ部が形成されていることがわかる。この理由は, クロス積層時のコア材周辺のストリンガ側面部が, 真空バッグを製作する過程で引張力を受けて変形し, コア材とストリンガ側面に隙間が生じたためであると考えられる。よって, 真空引き工程でのクロスの変形を考慮した予備成形が必要である。

#### 3.3 T型ストリンガー一体成形 CFRP

図6に、T型ストリンガー一体成形 CFRP のストリンガ付近の断面写真を示す。T字型のストリンガの成形には成功しているものの, 成形品のストリンガ高さは 7~9.5mm であり, 予備成形時の 10mm から低下した。この理由は, 断面写真からも分かるように真空引きのときにストリンガの根本のクロスが折れてしまったためである。よって, 真空引き工程でストリンガ形状を保つような工夫を行う必要がある。

作製した CFRP を, 125mm×45mm の寸法で切りだし, 表2に示すようにストリンガとスキンの重量と目付けの比較を行った。表より, 2.24g はストリンガの重量であり, 高さを 10mm とすると目付けでは 1.792kg/m<sup>2</sup> であった。これに対して, スキンの目付けは, 0.67308kg/m<sup>2</sup> であった。これは, クロスの厚さがプリプレグの厚さの 2 倍以上あるためである。しかし, 構造解析結果よりスキンの補強に用いるストリンガの本数はそれほど多くはないと予想されるので, 大きな重量増には繋がらないと思われる。

切り出した T型ストリンガ付きスキン試験片を用いて 3点曲げを行った。実験より得た曲げ剛性を, 幅 45mm のスキンと T型ストリンガ付きスキンの曲げ剛性の予測解析結果とともに表3に示す。表より, 製作した試験片はスキンのみの曲げ剛性よりは大幅に向上するものの, 予測値の 1/6 程度に留まっていることが分かった。この理由は, 製作したストリンガの形状が波打っていること, そのために 3点曲げ試験時にストリンガが支持点で早くから局所座屈を起こしたためである。ストリンガの補強効果を向上させるためには, その形状を改善するための工夫を成形法に加える必要がある。

Table 2 Thickness and weight of each molded article

	Weight (g)	Weight per area (g/m <sup>2</sup> )
skin	3.786	673.8
stringer	2.24	1792

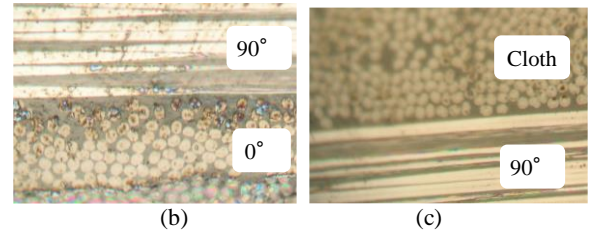
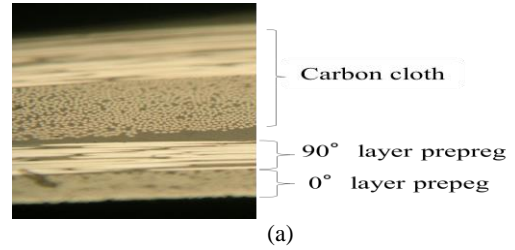


Fig. 4 Cross-sectional view of skin [0/90/cloth]

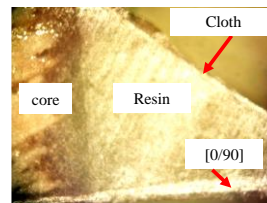


Fig.5 Cross-section of hat-type stringer

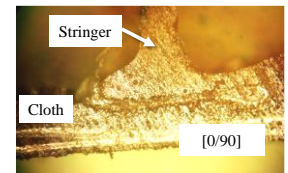


Fig.6 Cross-section of T-type stringer

Table 3 Bending stiffness of T-stringer and skin

Experiment	Analysis	Analysis (Skin only)
0.855	4.86	0.0233

Unit:Pa m<sup>2</sup>

### 4. 結言

本研究では, ストリンガをつけたプリプレグとカーボンクロスの複合一体成形法を提案し, 2種類のストリンガ形状に対して成形を行った。その結果, VaRTM 成形によってボイドの無いプリプレグ/クロス複合一体成形の製作に成功した。今後は, ストリンガ形状がフローメディアの影響を受けないように成形法を改良し, 最終的には翼の成形を行いたい。