

変幻自在！CFRPが可能にする未来

Versatile material! What can be achieved by using CFRP in the future

PRODUCED BY WORKING GROUP 0

学生編集委員会（WG0）では、企画立案から取材，記事執筆にいたるまで，学生が主体となり活動を行っています。記事は1月号と6月号の年2回発行しています。本編では，先端複合材料の一つであるCFRPの設計から製造までを一貫して取り組む企業を紹介し，学生の視点から描いた本記事を通して他分野の知見を少しでも増やしていただけたら幸いです。

〇〇〇はじめに〇〇〇

皆さんはCFRPをご存知でしょうか。CFRPとはCarbon Fiber Reinforced Plasticsの略称で，炭素繊維強化プラスチックのことです。簡単にいうと，樹脂を炭素繊維で強化したものです。CFRPは，航空宇宙分野をはじめとした多くの分野で用いられています。また，軽量，高剛性，耐熱性などさまざまな特徴から，金属やプラスチック単体ではもち得ない性能・機能を併せもつ素晴らしい材料といわれており，これからどんどん需要が増えていくと予想されています。近年では，低炭素化社会の実現に向けた取り組みとして，材料の軽量化による低燃費化に貢献できるということからもCFRPは注目されています。

CFRPと聞くと，多くの方が“カーボン”と思ってしまうのではないのでしょうか。ひとくくりにカーボンといっても，さまざまな特徴があり，実はとても奥が深く知らないことが多いと思います。また，人によっては“特殊な材料”と思われる方も多いかもしれません。

そこで，学生編集委員会では，今まさに知るべき材料の一つとしてCFRPにフォーカスし，CFRPを中心に先端複合材料の設計・成形を行っている株式会社エーシーエム（以下ACM社）へ取材に伺いました。以降で，CFRPについての基礎的な部分や会社独自の技術について紹介します。



図1 CFRP成形品の一例

〇〇〇CFRPとは〇〇〇

CFRPは1960年ごろに開発され，それ以来幅広い分野で注目を集めている材料です。特に1980年ごろには，航空機の部品としてCFRPが採用されました。CFRPの特長は，極軽量で金属と同等以上の強度・剛性をもつことです。具体的には，引張り強度は鉄の約4~5倍，引張り弾性率は鉄の約2倍であり，さらに，疲労特性・耐蝕性・振動減衰性・寸法安定性に優れ，高い熱伝導率をもつ材料です。このことから，航空宇宙分野や建築分野，産業機械分野など，非常に幅広い分野で用いられています（図1）。

CFRPは一般的な材料とは異なり，標準品を買って加工する材料ではなく，用途に応じた“材料設計”が必要な材料です。そもそもCFRPは，炭素繊維を引き揃え，樹脂（エポキシ樹脂等）を含ませて半硬化させたプリプレグシートという材料を積層させて成形するのが一般的です。プリプレグシートには幾つか種類があり，炭素繊維の方向を一方に揃えたUD材，炭素繊維を縦横に編みこんだクロス材などがあります（図2）。また，使用される炭素繊維にも高剛性のピッチ系，高強度のPAN系などの種類があり，これらを目的に応じて積層させる順番・方向・種類を任意に変更することでさまざまな特性をもたせることが可能です。これを“材料設計”と呼び，設計次第で材料の性能，特性が大きく変わります。例えば，UD材を同じ方向に揃えて積層させることによって，一方向のみの強度に特化するということが可能です（図3）。また，強度だけでなく，意匠性を工夫することも可能です。例えば，表面に外見が綺麗なクロス材が現れるように配置することで，CFRP特有の模様を得ることができます。



図2 プリプレグシートの構造の違い

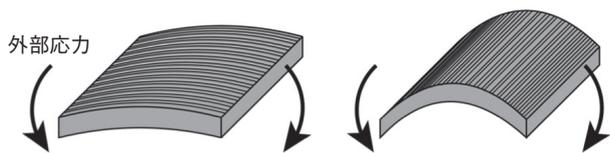


図3 炭素繊維配向の違いによる曲げ剛性変化

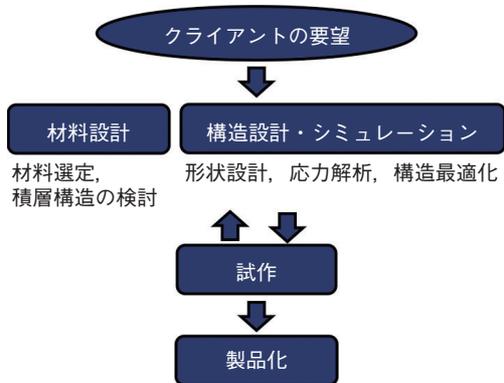


図4 CFRP 成形品作製の概要

CFRP の成形形状は板だけではなく、円筒や角筒、さらに複雑な形状にも成形可能です。このような形状の積層設計は、成形後の寸法の誤差、追加加工も考慮する必要があります。設計時に考慮しなければならない要素は幾つかあります。例えば、炭素繊維と樹脂の線膨張率の違いから冷却時に熱ひずみが生じないように、プリプレグを上下対称となるように積層する必要があります。他にも、加工によるひずみ発生を考慮する必要があります。

○●○ CFRP ができるまで○●○

1枚のプリプレグシートからCFRP成形品ができるまでには、まず、クライアントの要望にあわせて炭素繊維と樹脂を選定し、これをどのように積層させるのかなどを決定します(図4)。これを“材料設計”と呼び、CFRPなどの複合材料特有の工程です。次に、製品の形状や構造を決めていきます。これを“構造設計”と呼び、材料設計をした材料の特性に合わせた構造に最適化していきます。これらの材料・構造設計をもとにシミュレーションをして応力集中がないか、強度は十分か等を確認していきます。仕様が決まったところで、製作に入ります。

まず、図面のサイズに合わせて、パーツごとにプリプレグシートをカットします(図5)。切り終えたシートを一枚ずつ重ね、事前に行った材料設計をもとにシートを積層し端面を合わせます。こうして積層されたプリプレグシートを、加熱・加圧により成形していきます。CFRPの成形方法はいくつかありますが、ここでは代表的な3つの成形法を紹介します。1つ目はプレス成形法です。この方法は、金型を用いることでひずみの少ない成形品を作ることができます。端面を合わせたシートをホットプレス機により加圧しながら加熱し、金型にプレスすることで金型形状



図5 CFRP 成形品の製造過程



図6 真空バギング工程

に成形します。

2つ目はオートクレーブ成形法です。オートクレーブ成形法は、積層したプリプレグを離型フィルムで包み、離型フィルムの上に当て板を載せます。これをシートに包んで密封してから、内部の空気を抜きながら成形します(図6)。これを真空バギングと呼びます。真空引きにより、プリプレグ積層間のエアを完全に抜くことができ、ポイド・ピンホールがなく、そり・ねじれの少ない製品板を成形できます。この工程は非常に技術を要し、熟練した職人でないとフィルムにシワが寄り、積層した材料がずれてしまうことがあり精度に影響します。その後、圧力釜に投入し部材に応じて3~8気圧程度の圧力で加熱することで成形します。

もう一つは、真空バッグ成形法です。この手法は、積層した部材を真空引きするまではオートクレーブ成形法と同じですが、圧力釜ではなく、加圧機能をもたない“熱風炉”を用いて加熱します(図7)。そのため、加熱時に部材に加わる圧力は大気圧(1気圧)となります。真空バッグ成形法は、オートクレーブ成形法より加熱時の圧力が低



図7 真空バギングされたプリプレグシート（手前）と大型熱風炉（奥）

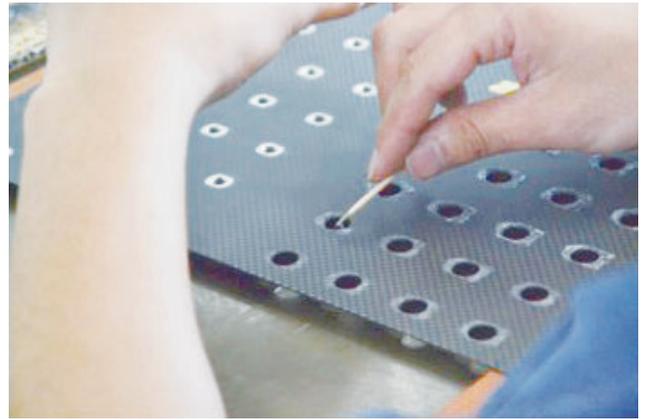


図8 機械加工後のビス穴接着作業

いため、品質が劣ると思われがちですが、実際は、 1 kg/cm^2 の圧力、つまり 1 m^2 あたり 10 t の重さをかけて成形しているため、成形圧力は十分であることがほとんどです。そのため、同じ材料を使えば、オートクレープ品と同等の品質であるといわれています。

成形されたCFRPは、基本的にチタンないしはダイヤモンドがコーティングされた超硬工具（エンドミル）で加工することができます。CFRPは、難削材ではありますが、一般的な金属材料と同様にフライス加工、研削加工、研磨加工、タッピング加工等が可能です（図8）。さらに、寸法公差もマシニングセンタを使うことで $5/100\text{ mm}$ 程度、 H7 公差は十分に出せるそうです。そのため、金属同等の加工が可能です。また、ACM社では切削加工時に切削液は使わずドライでの加工をされていました。これは、CFRPの樹脂が吸湿性をもつため、油分が浸透することによる物性低下を懸念しているためのこだわりだそうです。

このようにして、1枚のプリプレグシートから多種多様な特性を与えられたさまざまな形のCFRPの成形品が生み出されるのです。

○●○インタビュー○●○

株式会社エーシーエムの代表取締役社長の久保茂氏、事業開発部の白川麻衣氏に、CFRPについて、こだわりや将来像についてお話を伺いました（図9～11）。

編集委員：「具体的にはどのようなところに使われていますか？」

白川氏：「CFRPは軽量かつ高剛性かつ高振動減衰性に設計できるため、液晶ディスプレイや半導体関係では搬送用のロボットハンドなどに採用されています。CFRPは、アルミなどの金属に比べて破断応力が高く、また、繰り返し応力をかけても、その破断応力が低下しにくい特徴があります（繰り返し 1000 万回応力をかけても破断応力は2割程度の低下。アルミなどは半分以下になる）。このような優れた疲労特性から板バネにも用いられています。

また、熱膨張特性を生かして望遠鏡の鏡筒にも用いら

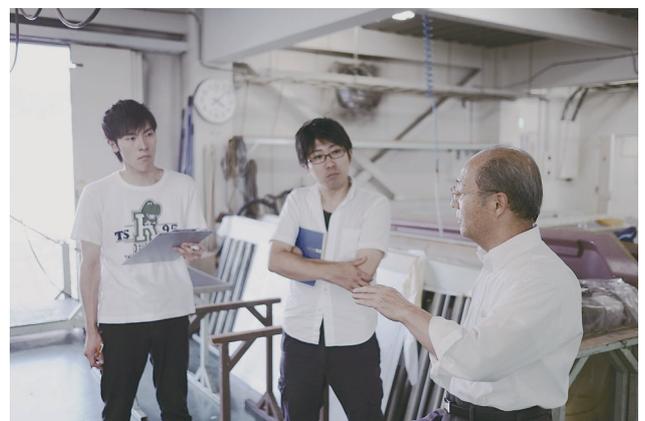


図9 製造現場で久保氏の説明を受ける編集委員

れています。CFRPは、熱膨張率が非常に小さいため、温度変化によるピントずれなどを防ぐ用途に使われています。ここでは、材料設計が重要となってきます。炭素繊維自体はほぼ伸びない、もしくは負の熱膨張率をもちます。それに対し、樹脂は正の熱膨張率をもつため、これらをうまく組み合わせて、いかに熱膨張をゼロに近づけるかという積層設計が非常に重要になってきます」

久保氏：「CFRPは強度が高いので、金属で使われているところをほとんど全て置き換えることができます。よく、こういったとことに使われますか？」と聞かれるけど、金属でもセラミックでもほとんど置き換えることができます。ただし、コストの問題は別です。例えば、自動車部品ですと外装の他にドライブシャフトにも使われています。CFRPの繊維をねじり方向に配置することで高い回転トルクの伝達性を達成すると同時に、衝突安全性を高めることも可能です。一般的な金属ですと、衝突時に歩行者に危害を加える可能性があります。それに対し、CFRPは最適な材料設計、構造設計を行うことで、衝突時にドライブシャフトが潰れるようにすることができます。これにより、機械的な性能は保持しつつ、万が一の歩行者保護も可能になります。このように、強度の方向性、つまり、壊れるところを事前に設計しておくこ



図 10 インタビューの様子



図 11 ACM 社の皆さんと集合写真

とが可能で。

そもそも、CFRP という材料はなく、総称として CFRP と呼んでいます。金属にアルミや鉄やステンレスがあるように、CFRP は目的に合わせて設計することで、特性をもたせることができる材料です。

材料の特性を見るのにいい物を用意しています(長さ 1 m 幅 10 cm 厚み数ミリの CFRP 板を取り出して)。それを曲げてみてください」

編集委員：「場所によって曲がり具合が違いますね……」

大久保氏：「板厚や外見は同じですが、曲げ剛性を途中から変えています。このように、材料の物性を途中から変化させることも可能です。ゴルフのドライバーのシャフトもそうですね」

編集委員：「材料設計において、どの程度シミュレーションできるのでしょうか？」

大久保氏：「非常に精度よくシミュレーションできますが、非常にお金がかかります。そのため、ある程度の段階で試作と解析を繰り返し最適化します。その方が結果的に時間もコストも削減できています」

編集委員：「ACM の強みは何ですか？」

白川氏：「ACM は、材料を設計することから成形・機械加工、接着等の接合・組み立て・仕上げまでの一貫したサービスで、お客様が満足していただける製品づくりというものを心がけてやっています。この一貫したサービスにより品質保証を可能にしていることが ACM の強みです。一般的な CFRP 屋さんには、設計だけをして製造は別の会社へ発注といったこともよくあります。CFRP は材料設計により特性が大きく異なるため、加工方法もそれに合わせる必要があります。そのため、情報が分断されることで品質保証が成り立たないことも多いです。

もう一つは、事業開発部という存在です。事業開発部は、お客様とやりとりをする営業の仕事と設計といった技術部の仕事の 2 つを担っています。そのため、技術者がお客様の話を直接聞いて自ら設計することができ、スムーズにお客様の要望に答えられるといった特徴があり

ます」

大久保氏：「CFRP って特殊材料だと思います？」

編集委員：「(一同) そうですね……」

大久保氏：「お客様もほとんどが特殊材料とっていらっしやいます。しかし、決して特殊材料ではなく、こんなよい材料はないんです。例えば、引張荷重がかかる部材の場合、引張方向にのみ剛性があればいい。だけど、鉄の場合、一方向だけに剛性をもたせることはできない。ところが、CFRP は材料設計により一方向だけに剛性をもたせることでニーズに応えることができます。CFRP は汎用性がないといわれますが、専用設計をするため確かにそうです。

20 年位前はよくいわれました。CFRP は嘘つきだと、よいデータばかりもってきて実際に使ってみると簡単に折れてしまったなど。それは、お客様側の技術者が間違っていたのと、CFRP をつくる技術者がきちんと特性を説明できていなかったことにあります。そのため、ACM では CFRP を“普通の”材料にするために、CFRP を求められるお客様に、「なぜそこを CFRP にする必要があるのか」を聞きます。それが軽量化ならば、「なぜ軽量化する必要があるのか」と。そこでお客様が「高速化による工程のタクトアップのためです」となれば、「では、軽量化と同時にイナーシャ対策として振動減衰性をもたせる必要がありますね」と、用途に合わせて作りこみ、使い方をきちんと説明することで、特殊材料から普通の材料に感じてもらえるようにしています。このようにして、お客様の用途をきちんと把握することで、満足いただける製品を作ることができ、次回からは、一番に CFRP を材料の候補に考えてもらえるようにしています」

編集委員：「CFRP の将来像について教えてください」

大久保氏：「現在、CFRP に用いられる炭素繊維の生産量は、世界で 6 万トン、金額にすると 1200 億円程度の規模です。CFRP 成形品となると約 1 兆円くらいです。なので、まだまだ規模としては小さいです。そのため、市

場規模を2倍にするのは容易であると考えています。ただ、繊維に関しては日本製が世界シェア7割を占めていますが、CFRP成形品となると世界シェア1割程度となっています。日本は世界と比べて(理解が進んでいないため)CFRPを求めるお客様が少なく、世界に対して相当な遅れをとっているのが現状です」

白川氏：「今後は自動車産業を中心とした産業用途での需要が伸びると予想しています」

編集委員：「なるほど。本日は見学を含め貴重なお話を聞かせていただきありがとうございました」

白川氏：「ありがとうございました」

○●○お わ り に○●○

今回の学生編集委員会では、CFRPについて取り上げ、製造方法やACM社が誇る独自の技術などを紹介しました

が、いかがだったでしょうか。CFRPはさまざまな形で存在し、私たちの生活を支え、地球の環境問題にも向き合っているのだと感じていただければ幸いです。われわれ学生編集委員も、今回の取材を通してCFRPは使用用途に合わせてきちんと設計することで、素晴らしい性能を発揮することを知りました。CFRPは、まさに“変幻自在な材料”なのです。今後、ものづくりでの材料検討では、間違いなくCFRPが候補の一つとして考えるようになると実感しました。特殊材料から普通材料へ、皆さんがCFRPに興味をもち、正しく理解することで、これまで不可能だったことが可能になる未来が待っているかもしれません。

最後になりましたが、お忙しいところ取材および資料の提供にご協力してくださいました、株式会社エーシーエム代表取締役社長の久保茂氏、事業開発部の井上謙二氏、白川麻衣氏に深く御礼申し上げます。

— 会誌編集委員 WG0 メンバー (平成 27 年度) —

阿美拓磨 (埼玉工業大学, B4), 小暮健吾 (千葉大学, M1), 塩屋峻一 (埼玉工業大学, B4), 澁谷九輝 (徳島大学, D1), 田村勇樹 (東京工業大学, D2), 成澤慶宜 (埼玉大学, D2), 長谷川育哉 (職業能力開発総合大学校, B4), 花木樹也 (埼玉大学, M1), 長谷亜蘭 (埼玉工業大学 WG0 顧問)