

# 10 CFRTPの低コスト成形加工技術の開発（第5報） 「炭素繊維加工産業創出プロジェクト」の概要

山下弘之, 藤井敏男, 松永尚徳, 大川正巳, 河野洋輔, 西田裕紀, 松葉 朗\*

Development of low-cost molding processing technology of CFRTP (5th Report)

YAMASHITA Hiroyuki, FUJII Toshio, MATSUNAGA Hisanori, OOKAWA Masami, KOUNO Yousuke,  
NISHIDA Hironori and MATSUBA Akira

Hiroshima industrial technology research institute (HiTRI) has wrestled on Research and Development as “CFRTP Project” in 6 years to create processing industry of carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) in Hiroshima prefecture .

The weight reduction of car for mileage improvement is important issue in Automobile industry, and use technology of CFRTP is required as the solution method. In this project, three technologies: ( 1) design and analysis system of CFRTP, 2) high cycle and low cost press molding, 3) improvement of material characteristics and yield ) were developed as the technology in order to reduce weight of car by using CFRTP.

HiTRI takes for research and development about CFRTP continuously and aim at experimental production of a car part with prefecture companies.

キーワード：炭素繊維複合材料，熱可塑性樹脂，異方性，プレス成形，自動積層装置

## 1 諸 言

自動車では、世界的に厳しくなる燃費規制に対応するため、車体や部品類の軽量化が重要課題となっている<sup>1)</sup>。軽量化の方法として、既存材料の軽量素材への置換があり、その中で軽量・高強度の炭素繊維強化樹脂複合材料(CFRP)が注目され、独 BMW 社製電気自動車<sup>2)</sup>のように、車体に本格展開した事例も見られるようになってきた。現状は航空機と同様に炭素繊維強化熱硬化性樹脂複合材料(CFRTS)の利用が主流だが、今後はハイサイクル成形やリサイクル性の点から、炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料(CFRTP)の普及が期待されており、多くの研究機関や企業などで活発な技術開発が取組まれている。

広島県は広島市を中心に多くの自動車関連企業が集積し、工業製品出荷額に占める輸送用機械器具製造業の割合は25%以上で県の主要産業となっている。また中国地方は瀬戸内海周辺地域を中心に樹脂や繊維の素材産業も立地しており、川上産業(樹脂・繊維)から川下産業(自動車関連)が集積している立地環境にある。

このような背景のもと広島県では、研究所発足の平成19年から2年間の準備期間を経た平成21年度から、「炭素繊維加工産業創出プロジェクト」を開始した。この中で①軽量化技術による県内自動車産業の競争力強化と②炭素繊維複合材料を活用した加工産業の創出を目指し取り組んできた。本稿ではプロジェクト研究のこれまでの取組み概要について紹介する。

## 2 プロジェクトの開発技術

図1にCFRPの各種成形方法を示す。ボーイング787などの航空機では、連続繊維を用いた力学的特性の高い部品のオートクレーブ成形が主流だが、成形時間が長くなる。射出成形は複雑形状の成形が可能で成形時間も短い、繊維が短く、繊維の量を増やせないなどの理由から力学特性が低くなる。また、一般的に熱硬化性樹脂は硬化時間が長く生産性に課題があるのに対し、熱可塑性樹脂は成形時間が短く量産性に優れ、リサイクルも容易と言われている。

本プロジェクトでは、自動車への適用を考え量産性、リサイクル性などの観点から、材料は熱可塑性炭素繊維複合材料(CFRTP)で、生産性に優れた成形法であるプレス成形を選択した。また繊維方向に強いというCFRP

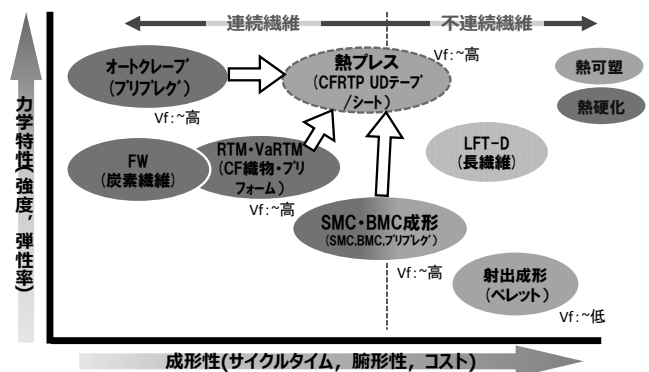


図1 CFRTPの成形方法

\* 広島県立総合技術研究所 東部工業技術センター

の優れた特徴を最大限に生かすために CF RTP の一方向連続繊維(UD)材(CFRTP プリプレグ)を用いることを基本に各技術について検討し、次の3点の技術開発を推進してきた。

- ①CFRTP の異方性・非線形を活かす設計解析技術開発
- ②CFRTP の高速・低コストプレス成形技術の開発
- ③CFRTP 材料の歩留まり向上や機械的特性向上を目的とした中間材料技術の開発

以下に各技術について概要を示す。

## 2.1 CFRTP の設計・解析技術

CFRTP を用いて要求仕様や機能を満足した自動車部品を製作するためには、設計解析技術が不可欠となる。しかし CFRTP は鋼やアルミニウム合金のような等方性の金属材料と異なり、繊維方向に大きな強度・弾性率を有する異方性を持つ材料であるため、それを考慮できる設計解析技術が必要となる。そこでプロジェクトでは、**図2**に示す設計・解析システムを構築してきた。

CFRTP の異方性パラメータを含む材料物性値を取得し、設計のためのデータベースとして蓄積した。この間 CFRTP の基本特性(剛性・強度など)や継手強度<sup>3)</sup>に係る検討を行った。次に部品の要求仕様に対し異方性・非線形を考慮した設計・構造解析を行い、剛性・強度設計を行う。また熱プレスによる成形状態を予め予測するための成形シミュレーションを行い、発生するしわや繊維流動を構造解析にフィードバックすることで剛性・強度の予測精度を高める連携手法を構築した<sup>4)</sup>。**図3**に CFRTP の角筒成形品のフランジ部から切り出した試験片の曲げ試験結果と、剛性解析結果を示す。材料は [0/90]<sub>2s</sub> 積層の CFRTP 板材でフランジ部は理想状態では縦・横に CF 繊維が並ぶが、実際の成形では繊維が壁方向に引き込まれるため湾曲してしまう。この繊維の動き(乱れ)を予め成形シミュレーションにより予測し、構造解析時の各メッシュの繊維方向に反映することで、

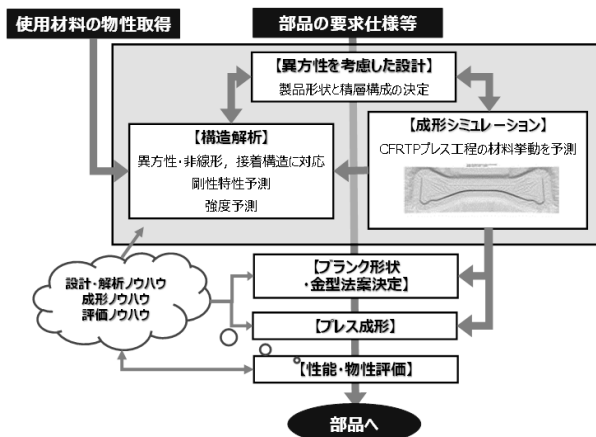
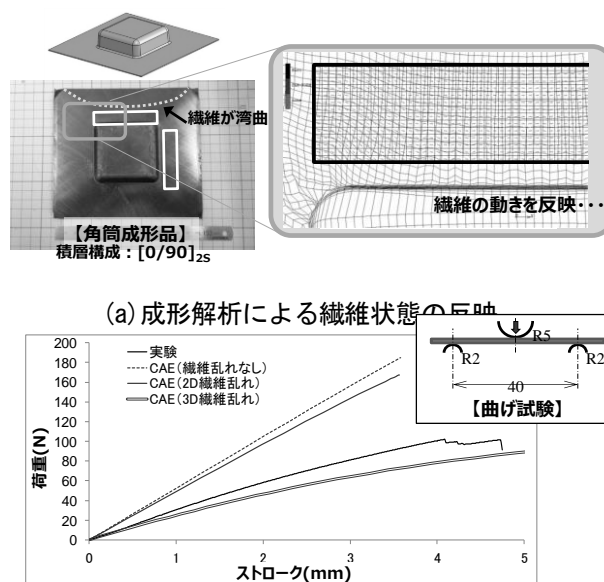


図2 CFRTP のための設計・解析システム



(b) 曲げ試験の比較  
図3 成形-剛性解析の連携による効果

繊維の動きを考慮しない場合に比べ、より実験値に近い値、精度の高い解析となっていることがわかる。

これらの結果をブランク形状や金型方案へもフィードバックし金型構造を決定する。実際に成形した部品の性能評価を再度シミュレーションに反映することで、各段階での予測精度を高めることができる。

## 2.2 CFRTP のハイサイクルプレス成形技術

開発している CFRTP の熱プレス成形工程を**図4**に示す。部品設計に基づき必要な繊維配向、積層構成を持った CFRTP 板材を熱プレス成形により予め作製する(予備成形板)。これを赤外線加熱装置等による外部加熱で再度加熱しやわらかくした状態で、温度制御された金型で熱プレス成形することで所定の形状に賦形する。

本プロジェクトではこの工程の中で、品質や賦形性向上のためのプレス成形技術<sup>5)</sup>や、成形時の金型加熱・冷却サイクルを高速化するハイサイクル金型技術<sup>6)</sup>を提案している。

熱プレスでは、金型を樹脂熔融温度近くまで加熱した状態で成形し、その後冷却して脱型するヒートアンドクール成形(以下、H&C 成形)と、金型を脱型可能な温度に保持した状態で成形するコールド成形がある。現状、予備成形板からコールド成形であれば1分程度での成形が可能である。しかし、成形品の形状や大きさによっては、成形中に樹脂温度が下がり過ぎるため、樹脂の流動性低下による樹脂枯れの発生や、成形困難となる場合がある。一方、H&C 成形は樹脂の流動性が保たれるため、樹脂枯れの発生がなく良好に成形が行える。しかし短時

間で金型を均等に所定の温度に加熱・冷却することは困難で成形時間が長くなる課題がある。そこで金型メーカー（株積層金型（広島県呉市））と共同で図5(a)に示すような銅と鋼のクラッド構造を持つ金型を開発し、成形時間を短縮すると同時に、加熱むらが少なく不良の少ない高品質な成形技術を確認した。図5(b)に金型加熱冷却過程における成形面A,B,Cの温度変化を示す。成形時間に相当するコア型の総加熱冷却時間は、銅クラッド型で165s、鋼製型で280sとなり、銅クラッド金型の適用により成形時間を約40%程度短縮できた。また、銅クラッド金型では全過程において大きな温度差はなく、加熱過程終了時の最大温度差 $\Delta T_{max}$ は5.7°Cで、良好な成形面が得られた。一方、鋼製金型では $\Delta T_{max}$ 43.3°Cと大きな温度むらが生じており、部分的な樹脂変質等成形面品質の低下を招いている。このように開発した金型を用い

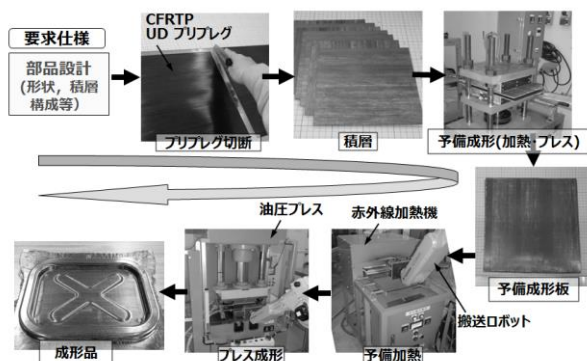
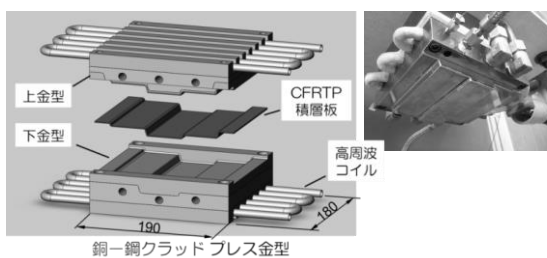
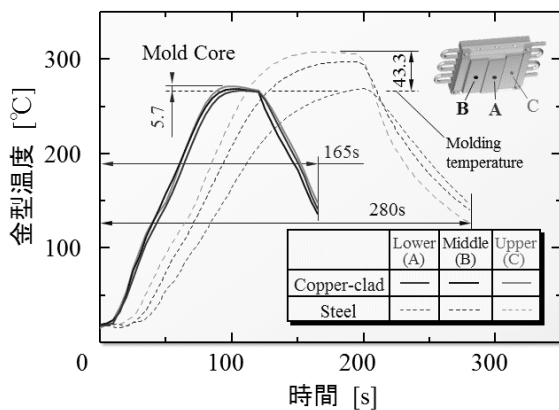


図4 CFRTTPのプレス成形工程



(a) 銅-鋼クラッド金型



(b) 加熱・冷却時の温度変化

図5 銅-鋼クラッド金型による効果

ることでH&C成形でも短時間で高品質の熱プレス成形が可能となった。

### 2.3 CFRTTP材料の歩留り向上技術

部品設計に基づき CFRTTP プリプレグを積層する際に、図6(b)のように従来の幅広いシート状プリプレグを用いた場合、最終的な成形品に対し廃棄部分が多くなり材料歩留りが悪化する。これに対し、図6(a)のように幅の狭いテープ状プリプレグを配向・積層した材料を使えば、廃棄部を大幅に削減できる。しかし幅の狭いテープの積層は、非常に時間を要するため自動化が必要になる。そこで、工業用刺繍ミシンメーカー(東海工業ミシン(株)(愛知県春日井市))と共同で、CFRTTP プリプレグテープをミシンステッチしながら積層する方法を考案<sup>7)</sup>し、同社が製造している工業用ミシン(図7:本縫いハンドル刺繍ミシン)をベースに装置開発を行った。CFRTTP プリプレグテープはヒモや布製テープに比べ硬く変形しにくいいため、専用の供給装置を開発するとともに、積層時に硬い CFRTTP プリプレグテープを所定の位置で把持・切断するための専用切断装置を開発した。これらの装置を使い、後述するトランスバースメンバーの試作に適用しその効果を検証した。その結果、従来の CFRTTP プリプレグシートを積層する場合に比べ、廃材量を50%削減でき、また積層時間も手作業に比べ75%減と大幅に短縮できた<sup>8)</sup>。

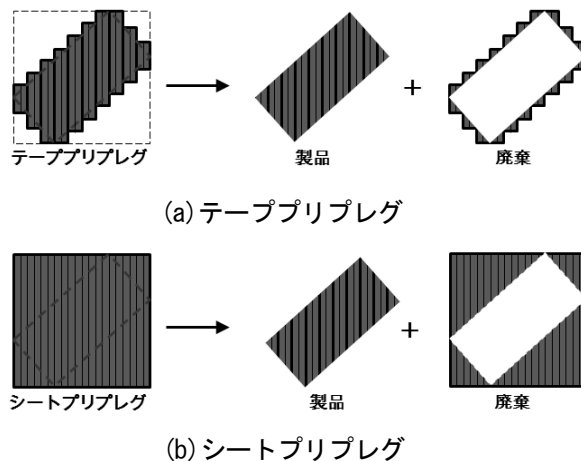


図6 CFRTTP テープによる歩留り改善効果

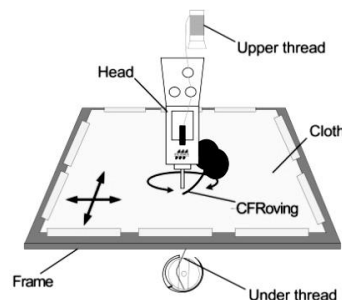


図7 工業用ミシン(本縫いハンドル刺繍ミシン)

### 3 CFRTP製自動車部品の開発

プロジェクトでは自動車部品の試作にも取り組んだ。平成23年度に県内の自動車部品メーカー（㈱ワイテック（広島県安芸郡海田町））と共同で自動車部品の開発を行った。開発した部品のトランスバースメンバーは、図8に示す通り車前輪の左右フレームを結ぶ剛性部品で、いくつかの候補部品の中から、①異方性を活かせる部品である、②比較的凹凸が小さくプレス成形が容易、などの理由から選定した。2部品（CFRTPのプレス成形品と平板）の接着による閉断面構造とし、CFRTPの繊維配向・積層構成を変えることで、剛性特性が鋼製の現行品と同等のものと、異なるものの複数の設計を行った。計2回の試作を行った結果、最終的に鋼製の現行品に比べ60%の軽量化を達成し、また設計で想定したCFRTPの異方性を活かした特性・効果を実車走行で示すことができた<sup>9)</sup>。

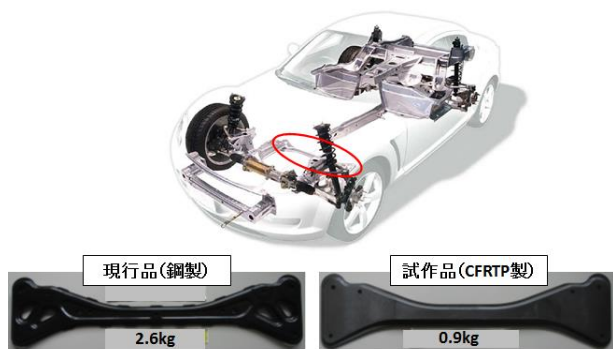


図8 開発したトランスバースメンバー

### 4 まとめ

6年間(H21～H26)にわたり行ってきた「炭素繊維加工産業創出プロジェクト」の概要について紹介した。H27年度からは、これらの成果をベースに成果普及を加速させる取組みとして、県内企業の具体的な課題に即した部品試作等について、共同研究を中心に取り組んでいく新たなステージに入る。

### 文 献

- 1) 大楠恵美：“素材開発から見た自動車構造材の軽量化”（2012）、三井物産戦略研究所
- 2) <https://www.press.bmwgroup.com/japan/showTextTopic.html>
- 3) 河野他：結合力要素法を用いた高靱性CF/PA6単純重ね合わせ溶接継手の強度予測，JCCM-6，2D-11
- 4) 松永他：CFRTPのプレス成形工程による繊維配向の変化を考慮した構造解析，PUCA2013 ESI ユーザーフォーラム JAPAN
- 5) 特願 2012-081520
- 6) 松葉他：日本複合材料学会第38回複合材料シンポジウム 第38回複合材料シンポジウム講演要旨集，pp. 93-94（2013）
- 7) 特願 2010-080046
- 8) 西田他：広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター研究報告，57（2014），33
- 9) 松永他：広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター研究報告，55（2012），5