

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「炭素繊維ドライファイバーチョップドテープによる高生産性・高機能性・高賦形性すべてを達成する革新的RTM成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年 3月

担当局 中部経済産業局
補助事業者 公益財団法人石川県産業創出支援機構

目 次

第1章 研究開発の概要	・・・	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	・・・	1
1-2 研究体制	・・・	5
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)		
1-3 成果概要	・・・	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	・・・	7
第2章 本論	・・・	8
【1】プリフォーム用のドライファイバーテープ製造技術の開発	・・・	8
【2】プリフォーム作製技術の開発	・・・	8
【3】樹脂注入プロセスの開発、金型の設計	・・・	11
最終章 全体総括	・・・	14
(1) 研究開発成果	・・・	14
(2) 研究開発後の課題・事業化展開	・・・	14

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

CFRP の実用化は近年、航空機分野での適用が大幅に進んでいるが、その実用化の多くが熱硬化性プリプレグを使用した成形方法であり、これは部材の成形に数時間から 1 日程度の時間がかかることから、年間数万台規模の量産を行う自動車分野では適用ができず、成形時間を数分レベルまで短縮させる高速成形法の開発が進められてきた。

そうした中、欧州の自動車メーカーの BMW 社では HP-RTM (高圧レジントランスファーモールディング) 成形技術の開発により、CFRP 部材の成形時間を 10 分以下に短縮することで量産車への適用を可能にし、2014 年より販売を開始した電気自動車の i3 の車体の主要骨格に CFRP を用いた量産化を実現している。



HP-RTM装置(金沢工大ICC)

日本においても近年 CFRP の車両部材への適用に向けた研究開発は活発となっている。これまでの研究では、例えば、平成 20 年度から実施された東京大学を中心とした NEDO 事業の「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」では熱可塑性樹脂を用いた CFRP の中間基材のスタンパブルシートが提案されている。また、平成 24 年度から稼働した名古屋大学のナショナルコンポジットセンター (NCC) では炭素繊維の長繊維を利用した熱可塑性樹脂 CFRP による車両部材成形技術が提案されている。これらの熱可塑性樹脂をマトリックスとした CFRP はスタンピングプレス成形により、RTM プロセスよりさらにサイクルタイムを短縮するのに有望であり多くの取組が見られるが、これまで適用されてきた熱硬化性 CFRP とは成形方法に加え、強度や耐熱性、耐久性などの機械特性も全く異なるものであり実用化にはまだ多くの課題があると言える。

また、日本の複合材料産業の状況としては、炭素繊維の生産は世界の約 7 割を占める状況であるが、炭素繊維を使った CFRP の生産は 10% 以下と非常に低い割合にとどまっており、川中から川下に至る基盤技術とサプライチェーンの形成が十分でなく、製造技術において欧米に大きく後れを取っている状況である。

こうした背景の中、直近の課題としては、まず欧米に後れを取った RTM 等の量産製造技術をキャッチアップし、そこへさらに日本の繊維技術、加工装置等の強みを活かした開発や、熱可塑性 CFRP への展開等を上乘せすることで日本の複合材料の産業力を強化させていくこ

とが、産業界から強く求められている。

このような現状の課題を踏まえ、本事業の連携体である学校法人金沢工業大学の革新複合材料研究開発センター (ICC) と三井物産株式会社は共同開発契約を締結し、BMW 社が採用している HP-RTM 成形装置一式を ICC へ導入し、これを活用した研究開発を産学連携で実施する取組を開始している。本事業では、この RTM 装置を活用して基礎技術を確認し、現状の RTM プロセスの課題を解決する次世代の高生産性・高機能性 RTM 製造技術を開発し、自動車をはじめ今後需要が大幅に拡大する航空機分野等へも適用を目指した取組を実施した。

表：成形法の比較

	本手法	従来のRTM	プレス成形
樹脂	熱硬化性樹脂	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂
基材	ドライファイバーチョップドシート	マルチアクチャル	織物スタンパブルシート
成形時間(スピード)	○(5分)	○(5分)	◎(1分)
賦形性	◎	○	△
歩留り	◎	×	×
強度	◎	○	○
コスト	○	△	△

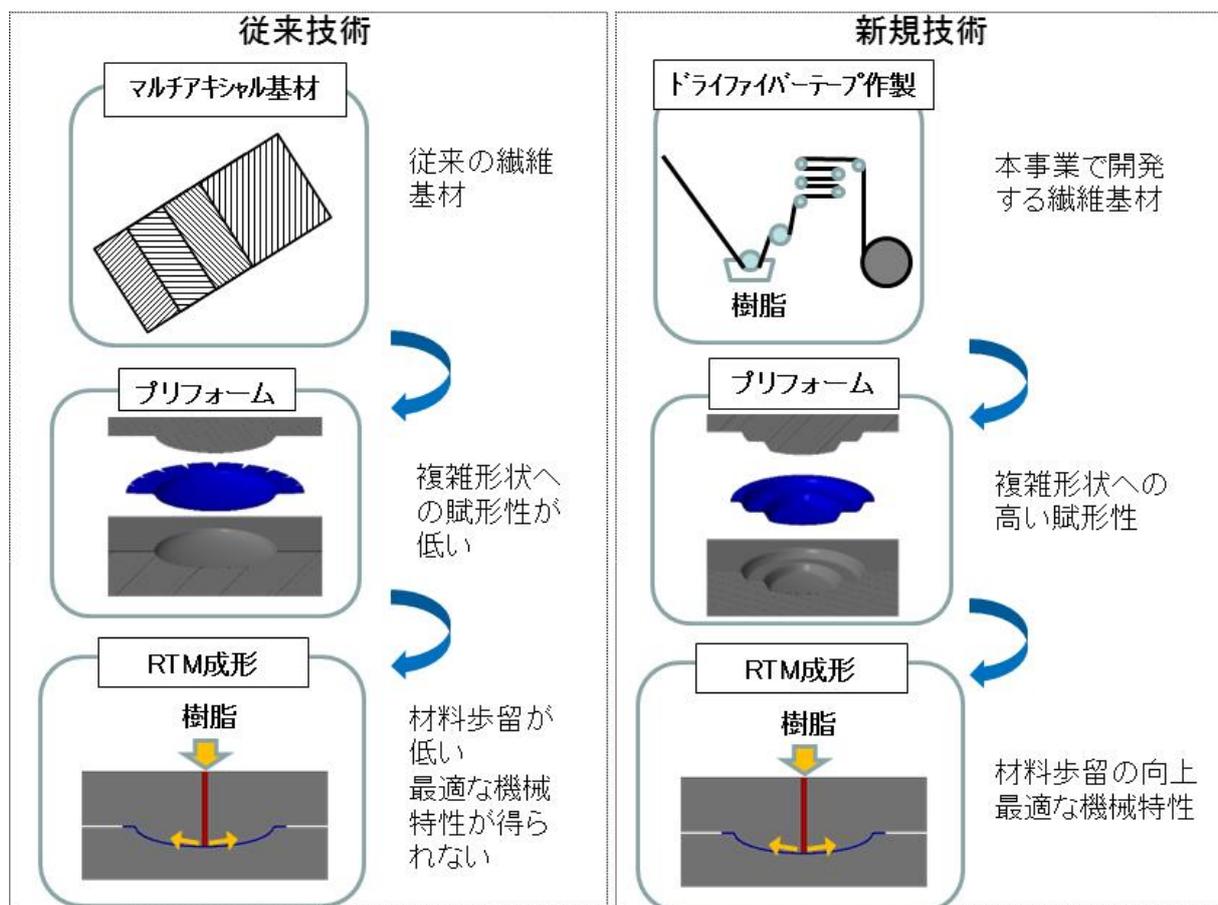
当該分野における研究開発動向

本事業へ提案した新技術は、炭素繊維のドライファイバーチョップドテープによるランダム積層プリフォーム製造技術、および樹脂注入技術である。現状の HP-RTM 成形で一つの大きな問題が、使用する炭素繊維基材の歩留りである。炭素繊維のマルチアクシャル材を製品形状に切り抜いて裁断するために材料ロスが大きく、元々材料費の占める割合が高い CFRP においてさらにコストを上げる要因となっていることと同時に多量に発生する端材のリサイクルが課題となっている。また、連続繊維を使用するために複雑な車両構造部材への賦形が難しく適用部材に限られていることも大きな問題である。今回提案した新技術は、あらかじめ細断した炭素繊維ドライテープ片を用いる事で目的形状に沿った積層により材料ロスが少なく、なおかつ不連続なテープ片を積層するため、賦形性が高く複雑な構造部材への適用が可能であり、テープ片の配向を制御することで設計の自由度が高く力学的に局所的な異方性を持たせることで最適な設計が可能となる。また、テープ片は薄層の開繊糸を使用すること

で、積層した時の均一性及び強度に優れると同時に糸表面積の増大による作業性向上と樹脂含浸促進を図ることは重要な構成要素である。

(2) 研究目標

プリフォームの製造技術、金型・注入プロセスの開発により、自動車部材等の量産製品に適用可能な、高い生産性（成形サイクル、材料歩留り）による低コスト化に加え、高い機械特性を可能にする新たな RTM プロセスを開発する。下記に従来技術と本研究開発で実施した新規技術の概要を示す。



【1】プリフォーム用のドライファイバーテープ製造技術の開発

技術目標：バインダー剤および塗布条件と成形品の機械物性の相関調査

【2】プリフォーム作製技術の開発

【2-1】チョップドテープシート作製技術の開発

技術目標：シート化後に搬送可能であること、立体のプリフォームへの賦形性があること

【2-2】プリフォーム作製技術の開発

技術目標：炭素繊維歩留まり 90%以上（参考：現状のマルチアキシタル材では 40%程度）、
全ての自動車パーツ形状へ適用可能な賦形性

【2-3】異方性プリフォーム作製技術の開発

技術目標：連続繊維擬似等方性以上の剛性・強度

【3】樹脂注入プロセスの開発、金型の設計

【3-1】標準金型（評価用）の設計、製造

【1】～【2】で検討したプリフォーム基材ごとの注入プロセス解析と機械特性を検証する
ための標準金型（評価用平板）設計・製造

【3-2】プリフォーム型の設計、製造

複雑形状に対するプリフォーム賦形技術の確立

【3-3】成形金型（実形状金型）の詳細設計、製造

複雑形状の RTM 成形技術の確立

【3-4】RTM 低圧樹脂注入プロセスの開発

マトリックス樹脂注入条件の最適化

技術目標：成形時間 5 分以内、成形品の繊維の乱れ・表面品位不良・含浸不良（ポイド）が
ないこと

【3-5】RTM 成形試作品の評価

【3-4】で得られた成形品についての機械物性に関する詳細評価

本研究開発の目指す目標を競合となる従来技術との比較において下図のように位置づけた。
従来、自動車に適用された RTM(NCF) よりコストが安く賦形性に優れるので有利である。ま
た、潜在的な競合技術である SMC よりも力学特性が高い。

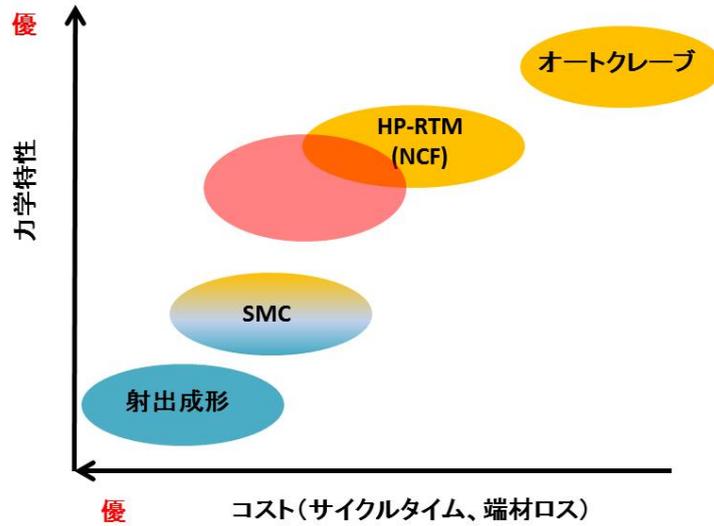
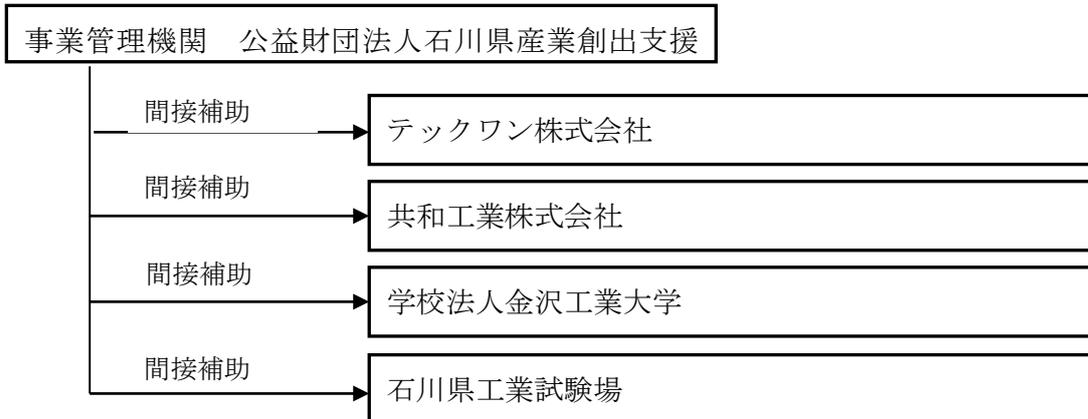


図. 研究開発目標の位置づけ

1-2 研究体制

研究開発の実施体制

1. 履行体制図



2. 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人石川県産業創出支援機構

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
坂野 信吾	プロジェクト推進部長	【4】
中尾 一也	総務企画部担当部長兼総務企画課長	【4】
宮前 由紀乃	プロジェクト推進部技術開発支援課	【4】

【間接補助事業者】

テックワン株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
惣川 武勇	技術顧問	【1】【2】【3】
浅井 清嗣	戦略研究室	【1】【2】【3】
西俣 皓	戦略研究室	【1】【2】【3】

共和工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
高橋 勉	専務取締役	【3】
樋山 修	営業部・本部長	【3】
堀川 正史	営業部営業技術・課長	【3】
猪股 丈二	営業部・部長	【3】
小坂井 正明	製造部設計課・係長	【3】
渡辺 良弘	製造部・部長	【3】
山田 孝	製造部設計課	【3】
小林 恵理子	営業部	【3】
平原 靖則	製造部設計課・課長	【3】
小林 孝成	品質管理部・課長	【3】
酒井 篤史	製造部設計課・課長	【3】
本間 茂	製造部設計課	【3】
重山 尚彦	営業部営業技術・課長	【3】

学校法人金沢工業大学

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
鵜澤 潔	教授・革新複合材料研究開発センター	【1】【2】【3】
西田 裕文	所長	【1】【2】
石田 応輔	革新複合材料研究開発センター 研究員	【1】【2】【3】
布谷 勝彦	革新複合材料研究開発センター 研究員	【2】【3】
金崎 真人	革新複合材料研究開発センター 研究員	【2】【3】

石川県工業試験場

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
森 大介	企画指導部 主任研究員	【1】【2】【3】
齋藤 譲司	企画指導部 主任技師	【1】【2】【3】
長谷部 裕之	企画指導部 主任技師	【1】【2】【3】

1-3 成果概要

本研究開発ではラボでのドライファイバーテープ及びプリフォームの試作からスタートして、HP-RTM用の成形金型（平板、実形状）を設計・導入し、HP-RTM成形試験を繰り返して実施しながらその結果をフィードバックして、プリフォーム基材仕様及び成形プロセスの改良を実施した。その結果、当初掲げた各研究項目の目標をおよそ達成できる成果を得た。また、チョップドテープシートとプリフォームの作製プロセス及び装置の改良を実施し、量産化に向けて効率的な製造手法を開発できた。下記には本研究開発の各目標に対する達成率を示す。

表. 研究項目（目標）の達成状況

研究項目	達成率
(1)ドライファイバーチョップドテープ開発	
量産に向けたバインダー塗布の効率的な手法の開発。	100%
(2)プリフォーム技術開発	
実部材形状プリフォーム成形技術の確立	95%
(3)樹脂注入プロセス、金型開発	
金型の開発(平板、実形状)、プリフォーム型の開発、注入プロセス開発	平板100% 実形状90% 成形品評価90%
コスト目標	100%

今後の事業化に向けては、出口に位置するユーザーとタイアップして、量産へ向けた静オズプロセスの構築と改良が必要である。また、プリフォーム基材及びHP-RTM成形品の品質の安定へ向けた更なるレベルアップが必要である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

テックワン株式会社 技術顧問 惣川武勇

Tel : 0761-55-0761

E-mail : t-sogawa@tecone.co.jp

第2章 本論

【1】プリフォーム用のドライファイバーテープ製造技術の開発

炭素繊維ドライテープにバインダーを塗布する効率的な製造手法の開発を行った。図1にその製造工程のイメージを示す。幅16mm程度に開繊されたテープ状の炭素繊維にバインダーを塗布する。ここでバインダーはRTM樹脂注入時の樹脂含浸性と炭素繊維基材の固定性を両立する必要がある。さらに、立体形状のプリフォームを作製する時の賦形性も合わせ持つ必要がある。本研究ではバインダーの種類や量、塗布方法を最適化して上記の課題を解決した製造技術を開発できた。

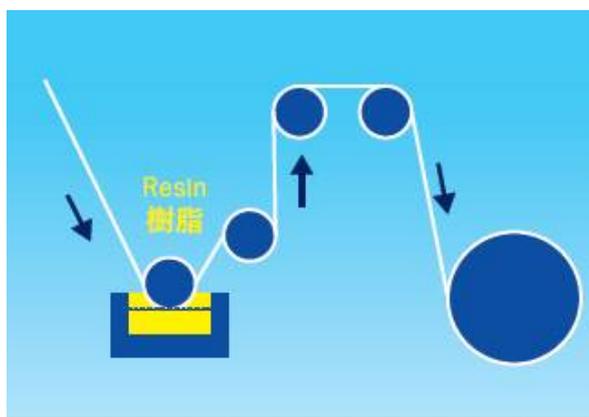


図1. ドライファイバーテープ作製工程のイメージ

【2】プリフォーム作製技術の開発

【2-1】チョップドテープシート作製技術の開発

上記で作製したドライファイバーテープを約50mm程度の一定長さに切断し、繊維の配向分布がなるべく均一になるようにランダムに散布積層して、これを熱圧着で一体化させたチョップドシートの作製技術を開発した。図2にはチョップドシート作製工程のイメージを示す。本項目で重要な点はチョップドテープを均一の嵩で等方性の配向に散布積層させる技術である。本事業では試作レベルでの連続散布積層装置を開発導入し、プロセス及び装置の改善により一定レベルの均一性を有するチョップドテープシートの作製技術を確立できた。尚、試作装置は炭素繊維の開繊糸からバインダー塗布、切断、散布積層を多条で連続して作製できる自動装置である。

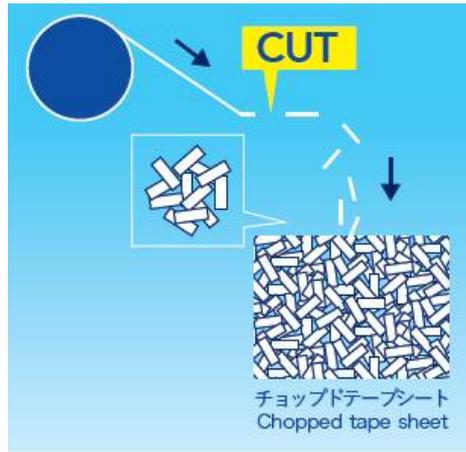


図 2. チョップドテープシート作製工程のイメージ

図 3 には作製したチョップドテープシートの実例の写真を示す。サイズは 550mm×600mm である。

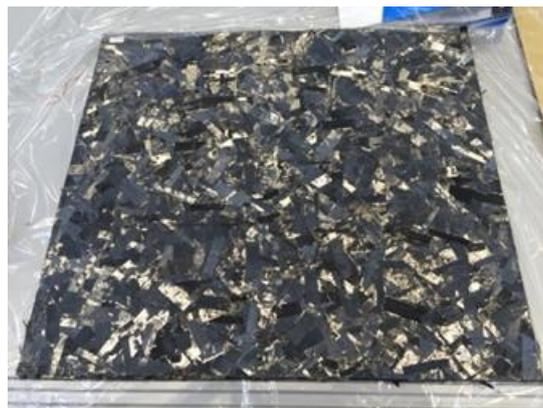


図 3. チョップドテープシートの写真

【2-2】プリフォーム作製技術の開発

上記で作製したチョップドテープシートをプリフォーム型に配置して目的とする製品形状へ賦形させたプリフォームの作製技術を開発した。図 4 にはその工程のイメージを示す。また、図 5 には実際に作製した実形状のプリフォームの写真を示す。ここではバインダーで固定されたチョップドテープの継ぎ面がずれることで、複雑な立体形状へも容易に賦形することが可能となった。また、目的とする製品のプリフォーム形状に合わせてチョップドテープシートを作製することで、端材ロスを少なくプリフォームを作製することができた。

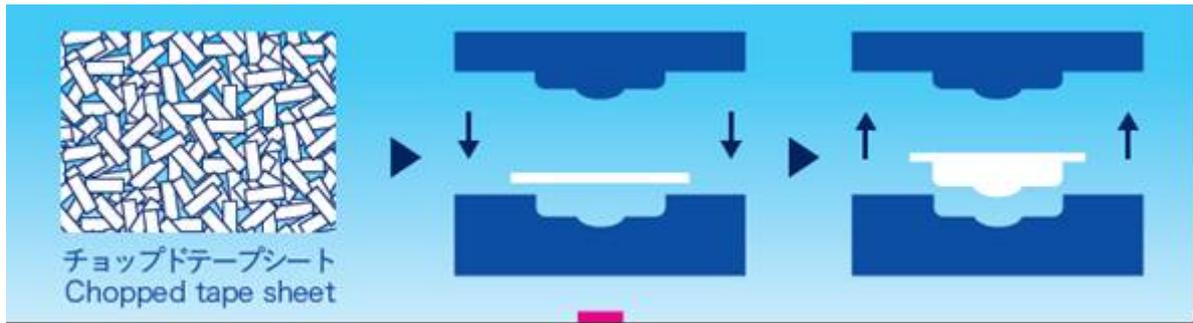


図 4. プリフォーム作製工程のイメージ

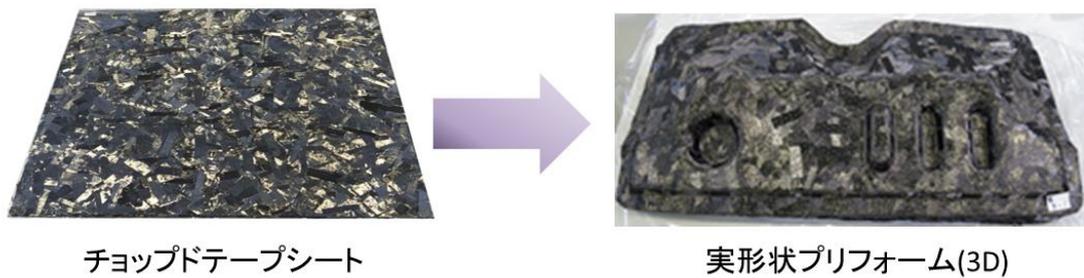


図 5. 作製した実形状プリフォーム

一方、連続繊維の NCF の場合、複雑な凹凸形状への賦形は繊維自体が伸び縮みしないため困難であり、その部分だけ切り抜いてパッチを当てなければならない。また、シワが入らないように切れ目を入れる必要もあり製造コストが上がる。同じ実形状のプリフォームをガラス繊維の NCF 疑似等方積層で作製した写真を図 6 に示す。凹凸部分を切り抜いてパッチを当てて作製している。

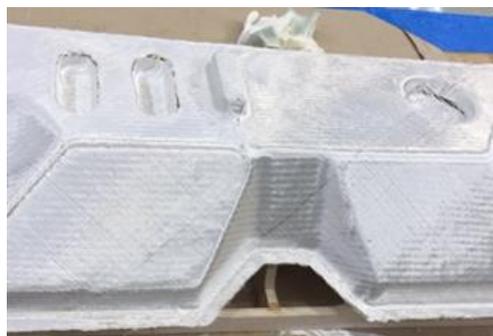


図 6. ガラス繊維 NCF 基材によるプリフォーム

【2-3】異方性プリフォーム作製技術の開発

異方性プリフォームとは図 7 に示すようにチョップドテープをある方向に多くの割合で積

層させることで力学特性に異方性を持たせたプリフォームである。本研究開発では【2-1】で述べたチョップドテープの散布積層装置の散布工程において、異方性を持たせる機構を装置へ追加することによって異方性のチョップドテープシートを作製することができた。

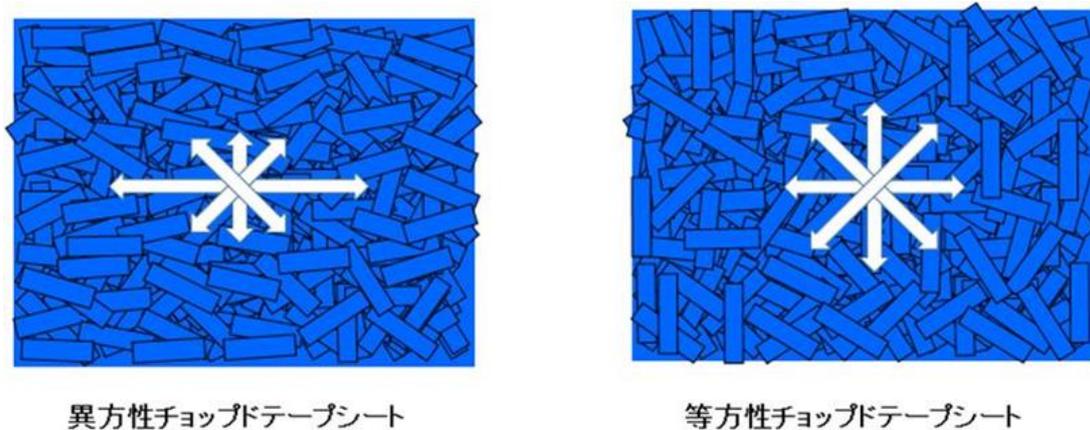


図7. 異方性チョップドテープシートのイメージ

【3】樹脂注入プロセスの開発、金型の設計

【3-1】標準金型（評価用）の設計、製造

標準金型（評価用平板）を設計・製造し、【1】～【2】で検討したプリフォーム基材ごとに標準金型を使用し、注入プロセス解析と機械特性を検証した。

【3-2】プリフォーム型の設計、製造

実形状成形に符合したプリフォーム型を設計・製造し、賦形作業の効率化及び安定化と、基材設計へのフィードバックを図った。

【3-3】成形金型（実形状金型）の詳細設計、製造

自動車部品の1/2スケールの成形金型（実形状金型）の詳細設計・製造し、成形を通じて各サブテーマの妥当性の検証とフィードバックを図った。

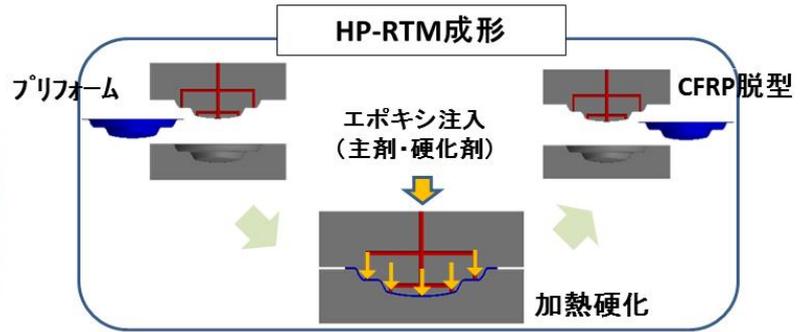
【3-4】RTM 低圧樹脂注入プロセスの開発

HP-RTM 成形は金沢工業大学 ICC に導入されたクラウスマッフアイ製 HP-RTM 成形機及び上記の研究項目で共和工業により開発された成形金型（標準平板型、実形状金型）を用いた。

図8にHP-RTM 成形機の外観写真及び成形のイメージ図を示す。



HP-RTM装置(ICC)



金型



樹脂注入ヘッド

図 8. HP-RTM 成形装置及び成形イメージ図

本成形装置を用いることにより、プリフォーム基材の開発の進捗に合わせて、注入プロセス条件の最適化、バインダー塗布散布積層装置やプリフォーム作製工程の検証と改良、最終的な成形品品質の確認と改良という順序で実施した。成形プロセスのパラメータとしては、金型温度、樹脂注入速度、樹脂注入量、真空引き時間を検討した。成形品の評価（含浸性、表面品位、繊維の乱れ、力学特性）に基づいて、プロセスパラメーターの最適化を確立した。また、同時に成形品の評価に基づいて、プリフォーム基材の改良を実施した。

図 9 には実際に成形した平板（550×600mm(2.58t)）と実形状品（780×380×100mm(2.58t)）の写真を示す。平板については含浸性や表面品位とも優れる品質の成形技術を確立できた。また、実形状品についてもほぼ問題のない成形技術を確立できた。



平板



実形状品

図 9. HP-RTM 成形品の写真

次に、成形品の力学特性を曲げ試験、引張試験で評価した。図 10 には本開発技術の競合技術となる SMC (カタログ値) や NCF (疑似等方積層、RTM 成形) との比較で示した。ここでは強度、弾性率を密度で除したものを比強度、比弾性率とした。(但し、曲げの場合は強度の 1/2 乗、弾性率の 1/3 乗を密度で除した) その結果、本開発品は目標通り SMC を超える特性を得られた。また、比曲げ特性については連続繊維の NCF に迫る結果を得られた。

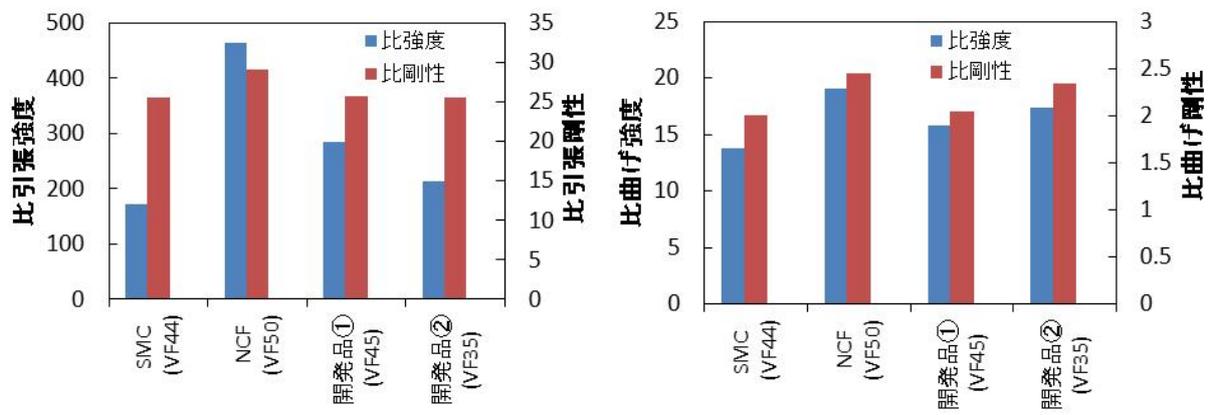


図 10. HP-RTM 成形品の力学特性比較

最終章 全体総括

(1) 研究開発成果

【1】ドライファイバーテープ製造技術開発

炭素繊維を開織したドライテープ基材にバインダーを連続的に効率的に塗布する技術を開発した。また、バインダーは後工程のプリフォーム作製、RTM 成形において、立体形状への賦形性や樹脂の含浸性を損なわない適切な種類と塗布条件を最適化できた。

【2】プリフォーム作製技術

上記で開発したドライファイバーテープを約 50mm 長に連続的に切断し、散布積層する技術を開発した。散布積層装置は【1】のドライテープ基材へのバインダー塗布と連動した自動装置である。装置のパラメータ調整や改良により、チョップドテープの積層嵩や配向性を均一化する技術を開発できた。そこから熱圧着によりチョップドテープシートを作製した。そして、【3】で開発したプリフォーム型にチョップドテープシートを配置して加熱と加圧により賦形させた。基材の仕様やプリフォーム作製条件を最適化して、複雑な凹凸形状へも容易に賦形できる事を確認した。また、散布積層装置を用いてチョップドテープの積層配向に異方性を持たせたチョップドテープシートを作製する基礎技術を開発した。

【3】RTM 樹脂注入プロセスと金型設計

HP-RTM 成形用の成型型（平板、実形状）とプリフォーム型を設計し導入した。実際のプリフォーム作製や RTM 成形試験により、金型の仕様と機構に問題がなく良好な成形ができる事を確認できた。HP-RTM 成形においては、各プロセス条件（樹脂注入速度、樹脂注入量、型温度、真空引き時間等）を最適化して、未含浸や表面の繊維乱れのない成形技術を確立できた。また、成形品の力学特性を評価して、比強度、比剛性において、競合基材の SMC を上回り、比曲げ特性においては連続繊維の NCF 疑似等方積層 (RTM 成形) に迫る結果を得た。

(2) 研究開発後の課題・事業化展開

今後の残された課題のひとつは量産化へ向けた製造プロセスの改良である。製造ロスがより少なく効率的で低コストな量産プロセス技術を構築する必要がある。また、品質の面でもより一層の安定したチョップドテープの積層均一性、等方性を保証する技術の改善が必要である。

事業化においては上記の課題について川下に位置するユーザーとの共同開発を通して解決を図りたい。日本では現状、RTM 成形技術の普及が足踏みしている状況であるが、自動車部

材向けの技術開発へ向けた川下ユーザー（OEM、自動車部材メーカー）へのサンプル提供と共同開発を実施できるように検討している。また、それ以外のニーズも把握するため、広報活動等を通じて用途展開を図る予定である。平成 29 年度にはすでに IPF Japan 2017、及び、先端材料技術展 2017 へ出展し広報活動を実施した。また、雑誌、新聞等で紹介記事も掲載された。その結果により外部企業と連携した取組みを開始しつつあるところである。