

特集 | 世界初、熱可塑性CFRP製シャシーの作製に成功



熱可塑性CFRP製シャシーに置き換えたロータス・エリーゼの車体下部構造(手前)を囲むプレス成形トライに参加した大学・企業の研究員(名古屋大学NCC)

金属より軽くて強い炭素繊維強化樹脂(CFRP)は、輸送機器等の軽量化を実現する材料として有望視されています。名古屋大学集中研分室(名古屋大学ナショナルコンポジットセンター: NCCを研究拠点とした産学連携コンソーシアム)は、2017年10月、熱可塑性CFRP製自動車用シャシーの作製に世界で初めて成功したことを発表しました。

CFRPの中でも力学的特性に優れる熱硬化性CFRPは、航空機やスポーツカーなど一部の高級車に適用されていますが、原料が高価で製造に時間がか

かることから量産車への適用は進んでいません。ISMAでは強度に課題があるものの、成形性や融着性に優れる熱可塑性CFRPを課題に掲げ、「熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・応用加工技術の開発」をテーマに、現状のアルミ構造より軽量で年産10万台規模の量産に対応可能な生産性を目標とした研究開発を行っています。

シャシー完成までの道のりや今後の課題について、開発の中心となった名古屋大学NCC特任教授の石川隆司氏、特任准教授の天岡和昭氏に伺いました。

特集 | 世界初、熱可塑性CFRP製シャシーの作製に成功

ゼロからの出発



石川隆司氏
名古屋大学NCC
特任教授

CFRPの車への適用状況を教えてください

石川 2013年にBMWの電気自動車 i3のボディにRTM (Resin Transfer Molding) 工法による熱硬化性CFRPが適用された際は、自動車業界にショックを与えましたが、同社の7シリーズ(2015年モデル)ではマルチマテリアル化の導入により、CFRPの適用はアルミや鉄鋼などの補強材にとどまっています。構造部材ではありませんが、2017年にトヨタのプリウスPHVのバックドアにSMC (Sheet Molding Compound) 工法による熱硬化性CFRPが適用されています。熱可塑性CFRPに関しては、2014年にトヨタの燃料電池車MIRAIのスタックフレームに、量産車として初めて適用されました。その他の事例はまだ研究段階で実用化には至っていません(図1)。

プロジェクト開始の経緯は

石川 量産車の生産に適用できるCFRP製造技術を求めていた日本の自動車メーカー5社が、LFT-D (Long Fiber Thermoplastics-Direct) 工法(図2)に着目し、2012年に

経済産業省の支援を受けて研究プロジェクトを立ち上げました。日本にはLFT-Dに精通した研究者がいなかったため、長年、航空機で熱可塑性・連続繊維型CFRP開発に取り組んできた私がプロジェクトリーダーに任命されました。その後、2014年に現在のNEDO「革新的新構造材料等研究開発」プロジェクトに合流しました。

LFT-Dはドイツのフラウンホーファー研究機構が最初に着想した繊維強化プラスチックの製造方法で、当初はガラス繊維と熱可塑性樹脂(ポリプロピレン)を混練した素材を高速でプレス成形するものでした。本プロジェクトでは力学的特性を向上させるため、原料に炭素繊維と熱可塑性樹脂(ポリアミド)を使用しています。熱可塑性は熱硬化性に比べて、材料が安価な上、短時間で成形できます。また熱可塑性の特性として、接着剤やリベットなどが不要で、現行の自動車製造ラインを使えることが、日本の自動車メーカーにとって大きな魅力となっています。

天岡 本プロジェクトの特徴の一つは、大学と企業11社(2017年度まで)が参画するコンソーシアム体制をとっていることにあります。各企業がそれぞれの経験に基づいた知恵を出し合い、さまざまな改良を重ねて、現在に至っています。ゼロから新工法の開発を始めて、5年間でここまでの成果を出すことができたのは、企業と一緒に作り上げてきたことが大きな力となっています。企業のニーズに合致した研究



天岡和昭氏
名古屋大学NCC
特任准教授

開発を進めていることが、このプロジェクトが評価されているところです。

改良に改良を重ねて

これまでの主な成果は

石川 まずはLFT-D押出素材を最適条件で形成し、ハンドリングする大物部品の高速成形設備システム(図3)をほぼ完成させたことです。原料の投入から成形品の完成までは5分間程度、プレス成形にかかる時間は1~2分まで短縮され、年産10万台規模の量産対応が可能となりました。設備システムの開発で最も難しい点は炭素繊維と熱可塑性樹脂を混練する工程で、この難しさは永遠の課題ともいえます。混練スクリーウの設計は改良に改良を重ねたノウハウの塊ですが、スクリーウの中で何が起きているかは、まだほとんどわかっていま

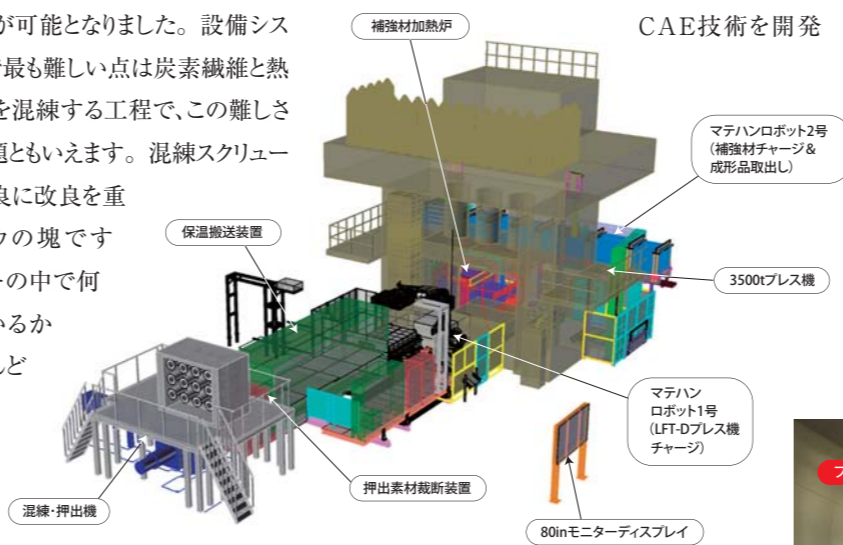


図3 大物LFT-D高速成形設備システム

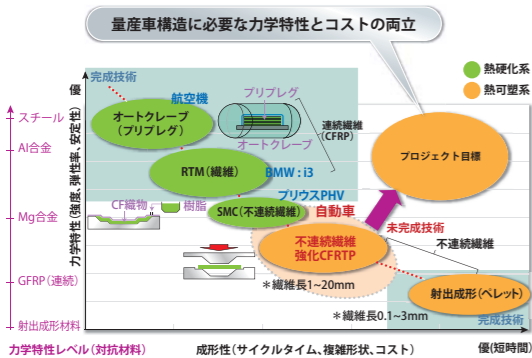


図1 CFRP成形技術と力学特性の関係性を示すロードマップ

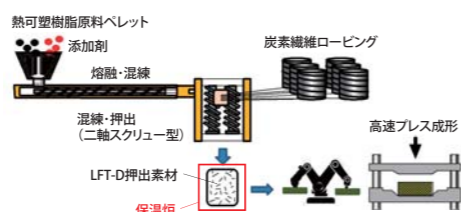


図2 LFT-Dの製造プロセス概念図



スクリーウの改良を重ねた混練・押出機



保温搬送装置の中で適温に保たれる押出素材

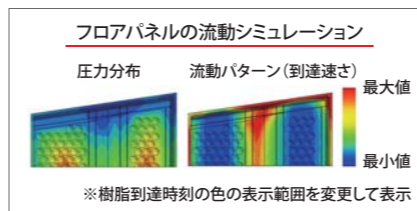


図4 CAE流動解析

せん。コンピューターシミュレーション技術も追いついておらず、そのメカニズムの解明が今後の課題でもあります。

天岡 マテリアルハンドリング(マテハン)技術の開発にも苦労しました。押出素材は空気に触れると酸素で劣化するので、酸素を遮断する必要があります。また冷えるとすぐに固まって、プレス機の中で流れなくなるので、温度を保ちながら、いかに高速でプレス機にチャージできるかがカギとなります。その絶妙なタイミングを司るのがマテハン技術です。

石川 混練工程とは逆に、プレス成形中の材料の動きはかなり解明されてきています。

流動シミュレーション
CAE技術を開発

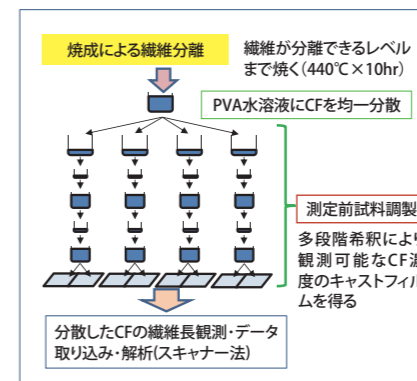


図5 多段階希釈法による繊維長分布の測定法

し、成形トライの水準設定や金型設計にフル活用しています(図4)。

材料の測定評価技術に関しては、これまで2件の特許を出願しています。1件はプレパートの作製方法で、多段階希釈法による繊維長分布測定法を開発し、試料採取位置特異性を排除した精度向上と効率化を実現しています(図5)。もう1件は繊維の向きを計測する方法で、X線回折法による繊維配向測定法を開発し、平均配向角と配向オーダーパラメータの算出手順を確立しました(図6)。

産学官連携研究のモデルケースに

シャシー完成までの道のりは

石川 ターゲット車は、鉄鋼より軽いアルミ製で参加メーカー車以外という基準で選びました。ロータス・エリーゼの中古車を購入し、分解する前にねじり剛性を測定して、

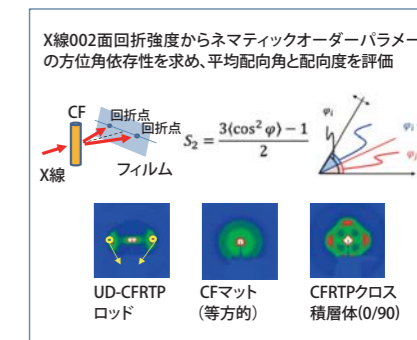


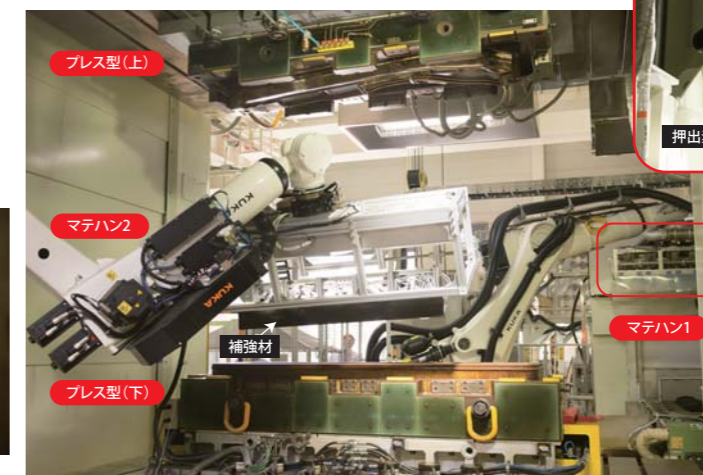
図6 X線回折法による繊維配向の測定法

それと同等の剛性を目標にしました。

大物平板の成形トライを開始し、基礎データを取得、問題点を洗い出しました。当初は品質の良い平板の成形は難しく、試行錯誤しました。強度が足りない部分は、織物(熱可塑性・連続繊維型CFRP)を補強材として使用するハイブリッド成形の開発も進めました。技術的に最も難しいフロアパネルを完成させた後は、比較的スムーズに進み、サイドシルほか全ての実車模擬構造部品(次ページ図7)を2016年度末に完成させました。

接合法については

石川 鉄鋼材料の接合で用いられるスポット溶接と同等レベルの高速接合技術の開発を目指しました。超音波融着が有効なことはわかっていましたが、電磁誘導とレーザー融着も実験しました。電磁誘導は連続繊維には有効でも不連続繊維では



(写真上) マテハン1が保温装置を通った押出素材を掴み、プレス機にチャージする。

(写真左) ハイブリッド成形を行うため、マテハン2が補強材を加熱炉から取り出し、プレス型(緑色)にチャージするところ。この後、即座にマテハン1が掴んでいた押出素材をその上に置く。1~2分プレス後、マテハン2が成形品を取り出す。

機能せず、レーザー融着は接合可能なものの、特許などの壁があり、研究レベルにとどめました。最終的に超音波融着を選び、現状では融着できない部分は接合も一部併用していますが、LFT-Dの特性を生かすためにも、構造設計から工夫し、すべて融着で接合できるようにしていきます。LFT-D成形材同士だけでなく、アルミ材とも超音波融着で接合できることがわかってきています。鋼材との接合も可能ですが、表面処理の課題があり、まだ研究に着手したところです。

今回の接合技術の開発は、基本的な原理が確立されている技術を、LFT-D成形材に応用するという学生向きの研究テーマだったので、学生もプロジェクトに参加する貴重な機会を得ました。産学官連携のモデルケースとして評価され、2017年10月には内閣府から「産学官連携功労者選考委員会特別賞」をいただきました。また同年2月には、自動車的大幅な軽量化につながる成果が評価され、「nano tech大賞 2017」のプロジェクト賞(グリーンナノテクノロジー部門)も受賞

しています。

完成した熱可塑性CFRP製シャシーは40kgで、ターゲット車のアルミ製45kgに対して10%軽量にもかかわらず、強度と剛性は同等を実現しました(図8)。さらにアルミ製では100個の部品が必要であるのに対し、熱可塑性CFRP製はわずか10個の部品で済むことから、コスト的にもアルミ製と競合できるところまでできました。

シャシーを展示会に出展した反応は—
石川 国内では2017年10月24～28日に幕張メッセで開催された「国際プラスチックフェア」や2018年1月17～19日に東京ビッグサイトで開催された「オートモーティブワールド」、2月14～16日には東京ビッグサイトで開催された「nano tech」に出展し、多数のメディアで取り上げられました。海外では、3月6～8日にパリで開催された世界最大の複合材料展「JECワールド 2018」に出展し、招待講演も行ったとこ

ろ、多数の現地専門誌などに取り上げられました。

今後の課題や将来の展望は—

石川 2018年度から本プロジェクトも後半に入るため、最終目標達成に向けて、若干体制の変更がありました(図9)。後半はスクリーンの改善をはじめとするLFT-D高速成形最適化技術の開発に加えて、ハイブリッド成形、一層の低コスト化を目指してリサイクル繊維によるLFT-D技術などの開発にも取り組んでいきます。

天岡 加えて、成形品の疲労強度や耐久性といった長期的物性や破断のメカニズムを解明し、材料特性の予測技術を確立します。そして使用箇所に合ったさまざまな強度の成形品を提供できるようにするなどLFT-D成形材の適用領域を拡大させ、企業にとっての選択肢を広げることで実用化につなげていきます。

※「熱可塑性CFRPの開発」に関しては、『ISMA REPORT No.2』(2016年3月)でも特集していますので、あわせてご覧ください。

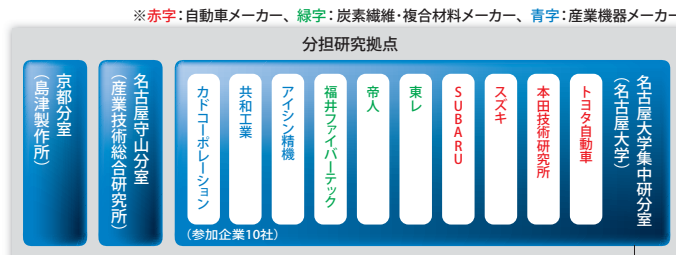


図9 2018年度体制図

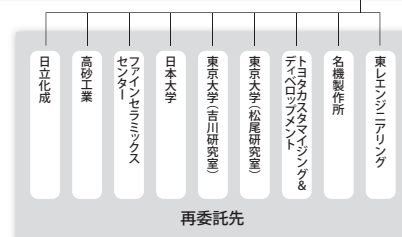


図8 熱可塑性CFRP製シャシー

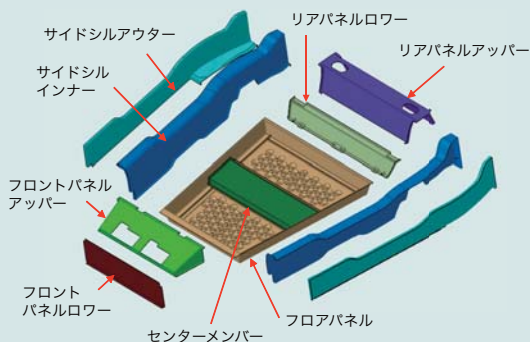


図7 LFT-Dシャシー構造設計と部品構成

ISMAの活動についての報道

- 新聞
 - 2018年3月19日 日経産業新聞「金属・摩擦で接合」
 - 2018年5月 9日 鉄鋼新聞「新たに4テーマ採択:超ハイテンの解析・評価技術開発など」
- 雑誌
 - 2018年3月15日 Motor Fan illustrated Vol.138「熱可塑性CFRPの可能性」
 - 2018年6月号 日経Automotive「アルミを超えるCFRP:クルマ軽量化の最有力へ」

ISMA REPORT June 2018, No.11

©Innovative Structural Materials Association. 2018 All rights reserved.

発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部
 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階
 Tel : 03-6213-5655 Fax : 03-6213-5550
 制作協力: サイテック・コミュニケーションズ
 デザイン: 高田事務所 撮影: 石川典人(表紙ほか)