

リサイクル炭素繊維樹脂複合材料 ReMax Composite[®]の開発と適用例

佐久間特殊鋼(株) 川村 早紀^{*1} Kawamura Saki、漆原 勝^{*2} Urushihara Masaru

*1 技術サービスグループ 副主任部員 *2 技術サービスグループ 主幹部員
〒458-8510 名古屋市緑区浦里 5-250 ☎052-623-5553

はじめに

1970年代に市場に登場した炭素繊維(CF)は、2006年の東レ社/ボーイング社による787機体への炭素繊維強化樹脂(CFRP)の適用を皮切りに、当時3万トンに満たなかったCF需要が年15%を超える成長率によって2020年には20万トンに迫ると目論まれた¹⁾。CF素材開発で先行していた日本も、技術先進立国の復権をかけて“CF技術開発と市場創出”を成長戦略の1つとして位置付けた²⁾。

しかし、CF世界市場の販売量は2018年時点で8万トン程度にとどまっております³⁾、この伸び悩みの背景には、世界経済の成長鈍化、コロナ危機、地政学上の問題などによる市場全体の足踏みと併せて、地球環境問題の深刻化と経済・産業社会のサステナビリティ重視への戦略変化が横たわる。CFが画期的に優れた素材であることに疑問の余地はない一方で、上記の状況がその社会実装に逆風をもたらしていることは無視できない。サステナブルな開発/製造/供給といった課題を乗り越えなければ、CFの実市場での活躍は実現しないだろう。

こうしたCFの社会実装における持続可能性の課題に対して、当社はCFユーザーとして、リサイクルしたCFを積極的に原材料として使用することでCFの資源循環に貢献すべく、リサイクル炭素繊維を使用した射出成形用短繊維CFRP「ReMax Composite[®]」を開発し、今年から製造・販売・上

市を開始した。

CFRPの主たる用途は金属部品の樹脂化であり、鉄よりも強くアルミより軽いCFの特異的物性を最大限に発揮させる“連続繊維CFRP”の先端技術開発が盛んで、これについては本稿で述べるまでもない。連続繊維CFRPは、CF単体の高性能化に加えて、樹脂との複合化や加工技術も高度で複雑となり、航空機、高級車、スポーツカー、高性能スポーツ用品など、高価であることが受け入れられる特殊市場と相性が良い。

一方、当社の開発する短繊維CFRPは、鉄をしのご強度こそ狙えないものの、一般のエンジニアリングプラスチック(エンブラ)をはるかにしのご機械的物性に加え、重さ、摺動(しゅうどう)、腐食など金属部材の弱点を楽々と払拭するポテンシャルを持っている。さらに成形など加工に特殊技術を必要としないため、連続繊維CFRP部品に比べて、ユーザーにおける成形加工など部品化のコストを抑えることができる。用途も量販されている既存のエンブラ、アルミダイカスト、鉄鋼部品(強度要求レベルの低いもの)からの代替など、工業部品のポリウムゾーンをターゲットとすることができるため、潜在市場は広大となる。

“CASE”(Connected, Autonomous/Automated, Shared, Electric)、“MAAS”(Mobility as a Service)をキーワードとして進化するこれからの新しいモビリティ社会⁴⁾がCFRPの実装先であると考えれば、その多くの製品が、過去の樹脂化では達成できなかった究極の軽量化を目的として、

金属とプラスチックの中間、ハイブリッド、あるいはコラボ特性を求めるようになる予見できる。短繊維CFRPはこれらのニーズに良く適合し、高性能でありながら既存技術・既存材料との親和性も高く、これらとの融合/複合化が容易であり、実装現場で使いやすく便利な材料になると考えている。

当社は、CFユーザーとして短繊維CFRPの便りさを市場に展開することで、CFRP部材がさまざまなシーンで当たり前のように使われる姿をイメージしているが、これを実現するためには、前述のサステナビリティを担保するCF資源循環が実用レベルで展開されることが不可欠である。「ReMax Composite[®]」は、「リサイクルCF」を短繊維CFRPの原料として導入することによって、CF資源循環の一翼を担うCFRPを実現した。さらに、リサイクルCFでは製造(リサイクル)時の消費エネルギーを大幅に抑制できるため⁵⁾、この点においても「環境にやさしい材料」となっている。

また、CFのコスト問題も先送りにできない課題である。CFは優れた特性・物性・機能を持つが、一般的に非常に高価であるために、機能の訴求だけではなかなか市場実装が進まない。この低コスト化の課題に対して「ReMax Composite[®]」は、バージンCFよりも価格を抑えた製造が可能なりサイクルCFを活用することで対応する。

このように「ReMax Composite[®]」は、短繊維CFRPの非常に優れた材料物性を維持しながらコスト面・環境面で使いやすいCFRPを目指して開発した材料である。

こうした持続可能性、使いやすさ、便利さ、コストなどにこだわることによって、市場自身の焦点が「高度で独創的な材料・加工開発や特性の差別化の追求」から、「コストと資源循環/サステナビリティの装備による使いやすさの開発」へシフトしていくニーズの変化に、当社は速やかに応えたいと考えている。

以上、持続可能性への貢献、広く潜在するニーズへの対応、実用的コストへの挑戦、の3点から、リサイクルCFを原材料とした射出成形用短繊維CFRP「ReMax Composite[®]」の開発コンセプトを解説した。

続いて本稿では、その特徴や適用例を紹介する。

リサイクル炭素繊維を使った樹脂複合材料 「ReMax Composite[®]」

1. 「ReMax Composite[®]」製造方法

先述の通り、「ReMax Composite[®](以降rCFRP)」はベースレジン内に短繊維のCFが均一分散した、射出成形用の樹脂ペレットであり、原料にリサイクルされたCFを使用している点が最大の特徴である。

rCFRPの製造方法について簡単に紹介する。「ReMax Composite[®]」は樹脂コンパウンドメーカーである山陽化工(株)との共同開発材料であり、同社で製造を行っている。射出成形用のペレットであるrCFRPは原料のリサイクルCFと熱可塑性ベースレジンを二軸混練押出機内で混練し、製造する。この混練工程におけるせん断により、リサイクルCFは解繊・切断され、長さ数百 μm 程度まで短くなり、ベースレジン内に均一分散する。

この工程におけるリサイクルCFの取り扱いが肝であり、混練後のペレット内部の状態や生産性が最善となるよう、最適化を行っている。

2. 「ReMax Composite[®]」の特徴

rCFRPの物性・機能面での特徴を図1にまとめた。本稿ではその中でも特筆すべき3つの特徴について詳しく紹介する。

(1) 高耐摩耗特性

rCFRPは耐摩耗性に優れた材料である。rCFRPの耐摩耗性評価として実施した鈴木式滑り摩耗試験の結果を示す(図2、3)。評価したい樹脂プレートの上に金属リングをセットし、一定荷重をかけながらプレートを回転させ、接触面を摺動摩耗させた。最高レベルの樹脂摺動用途に使用されるPEEKをベースレジンとし、rCFRP(PEEK-rCF30wt%)および比較材として短繊維ガラス繊維(GF)強化樹脂(PEEK-GF30wt%)について、耐摩耗性を比較した。摺動を始めてから一定時間経過後に自身(樹脂プレート)と相手材(金属リング)の摩耗量を測定した結果、rCFRPは短繊維GF強化樹脂に比べ、自身で65%程度、相手材で25%程度、摩耗量の減少が見られた。この結果から、従来の短繊維GF強化樹脂に比べ、摩耗耐久性が大幅に向

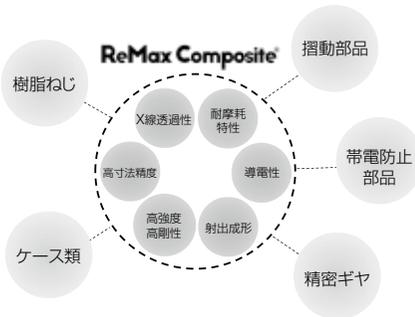


図1 ReMax Composite®の特徴と適用例

上したことがわかる。

このようにrCFRPは、自身は削られにくく相手も削りにくい耐摩耗特性に優れた材料であり、このような特性を活かした構造部品摺動部などへの活用が期待できる。

(2) 高寸法精度

rCFRPは非強化の汎用樹脂材料や短繊維GF強化樹脂に比べ、成形収縮率や線膨張係数の値を抑えることができる点で、樹脂では不適と考えられてきた高寸法精度のニーズにも対応できるポテンシャルを持っている(図4)。一般の短繊維GF強化樹脂より寸法精度が高い理由は、5~8μmと径の細いCFが樹脂の膨張・収縮による成形品の寸法変化を抑制しているためである。これらの値はCFの充填率や配向などにも大きく依存するため、この特徴をうまく活用するためには設計・成形・材料における連携した開発が重要となる。

(3) 高強度・高剛性 ー軽量

rCFRPと各種構造材料の弾性率・比弾性率の関係を図5に示す。簡単にrCFRPの強度・弾性率レベルを表現するならば、“金属や連続繊維CFRPには及ばないが、一般の樹脂よりはるかに強い”という位置づけであり、“金属ほど強度は必要ないが、樹脂では信頼性に欠ける”という中間かつ空洞となっていた領域に当てはまる。単位重量あたりの剛性を示す比弾性率もアルミや鉄と同等程度である⁶⁾。

実際、強度確保を主目的とせず、成り行きで金属を使用している部品は世の中に多く存在し、そのような領域に対しては、金属代替材料として部

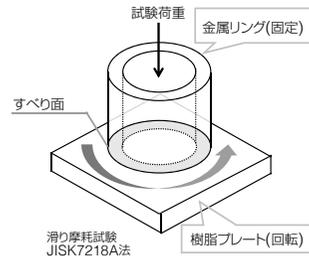


図2 鈴木式滑り摩耗試験

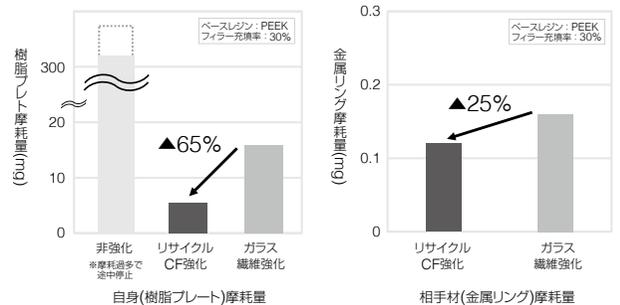


図3 滑り摩耗試験 耐摩耗特性

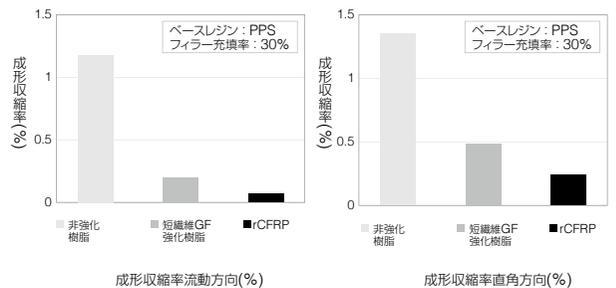


図4 充填材による成形収縮率

品/製品の軽量化に貢献する余地は十分にある。

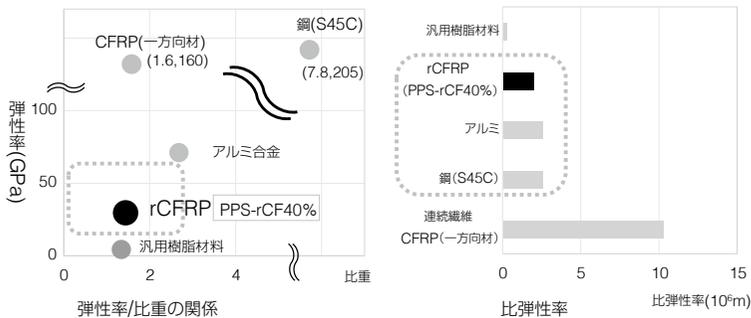
適用例

rCFRPの適用例を大きく2つの視点に分けて紹介する。

1. 部品・製品の高機能化/長寿命化

rCFRPの価値を最大限に発揮することができる領域は機能や特性を活かした分野であろう。

「ReMax Composite®」は、例えば先述したrCFRPの高耐摩耗特性や高寸法精度などの特徴を活か



〔一部数字は、三角測、東レ株式会社「軽くて強い炭素繊維—地球環境に貢献する先端材料—」、化学と教育、66巻9号、(2018年)、p.449、日本化学会から引用〕

図5 構造材料の弾性率・比弾性率



図6 すべりねじ

し、摺動部品などに採用されている。産業機器の位置決めなどに使用されるすべりねじ(図6)の事例では、樹脂ナットにrCFRPを使用することにより、従来の短繊維GF強化樹脂を使用したナットに比べ、耐久寿命がN倍向上することが確認されている[協力：(株)八幡ねじ]。このすべりねじはモータなどによる回転運動を直動運動に変換する機械要素部品で、ねじを切ったシャフト上をナットが摺動しながら移動する。ここで重要となるのがナットの耐摩耗性であり、耐摩耗性が優れるほどすべりねじを長寿命化させることができる。

近年、工業分野に限らず、農業・水産業・林業・サービス業などのあらゆる産業分野で自動化やスマート化が推進されつつあり、この産業の変化に対応していくための重要なポイントが部品/製品の“長寿命化”であると考えている。これまで人が行っていた作業がAIによって自動で操作される、もしくは人によって遠隔操作するようにシフトするにつれて、人による消耗品の取換え・メンテナンス作業をなるべく減らしたいニーズが増えていくことが推測される。ゆえに、長寿命で人の手がかからない部品が今後の産業発展における重要なポイントの1つであり、環境にやさしく機能面で

優れたrCFRPを効果的に使いこなしていくことで、これを今後のキーマテリアルとすることができると考えている。

2. 部品/製品の軽量化

ものづくりの市場では、これまでさまざまな視点で部品/製品の軽量化が検討されてきた。例えば、自動車ではCFRPの活用により1.5トンクラスの車が400kg(約30%)軽くなり、およそ22%の省燃費効果が算出されている⁷⁾。また、産業機器など非自動車分野においても鉄からアルミへ、アルミからプラスチックへと軽量化に向けた検討が進んでいる。

さらに近年、社会の変化に伴いモビリティの電動化やパーソナル化が推進されてきている。また近い将来、空飛ぶクルマなどの登場にも期待が集まる中で、少しでもモビリティの燃費・電費を向上させエネルギーコストを抑えたいというニーズが増えていく。そこで切実に求められていくのが軽量化であり、車体全体の中でも特に重量のあるモーターシステムをいかに軽くするかが今後のキーポイントとなる。そしてそのニーズに対応できる材料としてrCFRPの活躍が期待できると考えている。

例として、ギヤへのrCFRP活用によるモーターシステムの軽量化について考える。

一般にモータは減速機を接続し、モータの回転数とトルクを調節して使用する。主な減速機構として多段式や遊星ギヤ式などの種類があるが、遊星ギヤ式は特に減速比や耐久性面でメリットがあるとされている。これは、トルクを伝達するギヤが並列で複数あることにより、1つのギヤに作用する負荷を低減できるためである。この遊星ギヤの作用負荷が低い点を活かすことで、従来は金属レベルの強度が必要であったギヤ機構をrCFRPに置き換えることができ、これにより減速機構の軽量化が可能になると考えている。また、金属ギヤの樹脂化で懸念されるのは摩耗耐久性であるが、rCFRPは耐摩耗性に優れた材料であり、ドライ環境下で金属ギヤをしのぐ摩耗耐久性を示す

ことから、上記懸念も不要となる。さらに、このような減速機構の軽量化を成立させることができれば、それを動かすモータ自体も小型軽量化できるため、モーターシステム全体のもう一段の軽量化が実現するのである。

加えて、rCFRPはそれ自身が錆びる心配がなく、レジンを選択次第で耐薬品性に優れた材料とすることも可能である。ゆえに、金属部品の使用がためられる薬品に曝される環境や腐食が懸念される環境での活用にも期待ができる。

今後の展望

1. リサイクル炭素繊維活用にあたっての課題

リサイクルCF活用にあたっての課題として、

①供給安定性と②品質ばらつきが挙げられる。

①供給安定性はrCFRP市場共通の課題である。リサイクルCFはリサイクル材料であるがゆえに、安定供給のためには原料となるCF/CFRPが安定して製造・使用され、そこから廃材が発生し、さらにそれが安定的にリサイクルされることが必要となる。一方で、原料となるCF/CFRPの使用量を増やすためにはCF/CFRPが十分に再利用されるシステムが必要であり、まさに鶏と卵の関係となっている。この課題解決には、“CFの資源循環スキーム確立”と“リサイクルCF出口開拓”を並行して進め、CF/CFRP⇄rCF/rCFRPサプライチェーン全体のボリュームを底上げすることが重要であると考えている。

②品質ばらつきについては、リサイクル材料を使用する以上、限界となるラインがあるという認識である。そのため、品質ばらつきに対する感受性の低い機能特性を活かした活用方法や、ばらつきに強い材料・部品設計の検討が必要となる。

2. さらなる炭素繊維資源循環に向けてのアプローチ

これまで紹介してきたrCFRPの開発はリサイクルCF出口開拓にあたる取組みであるが、これはCF全体の資源循環の中ではほんの一部であり、我々が目指すCFを自由に活用できる社会をつくるためには、CFの資源循環スキーム確立も必要不可欠であると考えている。

実際、現状のCFリサイクル率は十分とは言えない状況で、特にCF/CFRPの取り扱い規模が小さい領域ではリサイクルスキームがほとんど確立できていない。その主な理由として、CF/CFRPユーザーから見て、CFリサイクルの実態が不明瞭であることや、リサイクル事業にはある程度のまとまった量の廃材が必要であり、CFRPユーザー各社から排出される廃棄量の実態とリサイクルに必要なボリューム感が整合しないことが考えられる。今後当社では、これまでのrCFRP開発で構築したCFリサイクルに関するサプライチェーンと本業である流通商社としての実績と経験を活かし、CF/CFRPユーザーとCFリサイクルをつないでいくことで、炭素繊維の資源循環に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 経済産業省:ものづくり白書、(2014年)、p.55.
- 2) 経済産業省製造産業局繊維課:炭素繊維・複合材料関連施策の現状と今後の方針、(2015年).
- 3) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所:リサイクルCFRPに対する低環境負荷技術としてのマイクロ波の利用、「NCC次世代複合材研究会実施報告書[2021年度]」、(2022年)、p.77、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター.
- 4) 政府IT総合戦略本部:官民ITS構想・ロードマップ2020、(2020年).
- 5) 板津秀人、神吉肇、守富寛:省エネ型熱分解法による長繊維リサイクル炭素繊維回収技術、「廃棄物資源循環学会誌」、Vol.24 No.5、(2013年)、pp.371～378、廃棄物資源循環学会.
- 6) 三角潤、東レ株式会社:軽くて強い炭素繊維—地球環境に貢献する先端材料—、「化学と教育」、66巻9号、(2018年)、p.449、日本化学会.
- 7) NEDO:ニュースリリース「炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを開発」、(2013年).