

炭素繊維のリサイクルはどうあるべきか？ —【後編】CFRPのリサイクル技術の高度化—

2026年8月26日

サステナビリティコンサルティング部

小川大輔、後藤嘉孝

前編では、炭素繊維のリサイクルを促進するために、CFRPのリサイクルを前提とする材料・構造設計として、使用後のリサイクルを見据えた、熱可塑性樹脂や分解可能な熱硬化性樹脂の研究開発動向について紹介した。

後編では、既に市場に存在する使用済み CFRP から、炭素繊維の性能を可能な限り維持しつつ、炭素繊維を回収・リサイクルする「CFRP リサイクル技術の高度化」の動向を紹介するとともに、適切な情報伝達やリサイクル材の用途・需要の創出など、炭素繊維のリサイクルを進めるうえで重要な観点について述べる。

📄 [「前編のレポートはこちら」](#)

1. CFRP のリサイクル技術の展望

CFRP のリサイクル手法は、主に機械的な手法、熱的な手法、化学的な手法に分けられる。それぞれの技術的特徴について、以降で簡単に紹介する。なお本稿では取り上げないが、電気化学法等その他の手法も検討されているが、研究段階である。

	機械的な手法	熱的な手法	化学的な手法
概要	 CFRPを切断・粉碎し、粒子や短繊維として利用する手法	 - 加熱により樹脂マトリックスを分解・除去する手法 - 熱分解や流動床法、マイクロ波支援熱分解等がある	 - 溶媒・薬品により樹脂マトリックスを分解・除去する手法 - 加溶媒分解や亜臨界・超臨界流体を用いた方法等がある
リサイクル炭素繊維の品質	繊維長や形態が損なわれやすく、高品質用途には制約がある	- 機械的特性を一定程度保持した炭素繊維を回収できる - 処理条件により品質は変動する	- 繊維損傷を抑えた高品質な炭素繊維の回収が期待できる - 処理条件により品質は変動する
課題の例 (品質面を除く)	電力消費や粉塵の発生による作業環境への配慮が必要となる	高温設備、雰囲気制御、電力消費、排ガス、炭素質残渣の管理が必要となる	反応時間、工程の複雑さ、溶媒・薬品の管理、廃液処理、スケールアップへの対応が必要となる
TRL	8	6-8	4-7

図表 1 CFRP のリサイクル技術の概要

(注) TRL (Technology Readiness Level) は技術成熟度段階のことであり特定の技術が開発プロセスのどの段階にあるかを評価する尺度。1～9の9段階で評価し1が最も基礎的な研究段階であり9が最も商業化に近い段階である。本稿では、Sántha and Tamás-Bényei (2026) による定義を用いる。

(出所) 各種資料を参考に、みずほ総合研究所が作成

（１）機械的な手法

機械的な手法は、使用済みの CFRP を切断、破碎、粉碎し、短い炭素繊維や粉末を含む再生材として回収する方法である。特別な薬品や高温処理を必要とせず、比較的簡単に処理できることが利点である。一方、破碎や粉碎の過程で炭素繊維が短くなり、元の製品でそろえていた繊維の向きも失われるため、新品の CFRP と同等の強度を得ることは難しい。そのため、回収材は、樹脂やコンクリートに混ぜる充填材、あるいは短繊維で補強する樹脂製品などに利用されることが多い (Pakdel et al., 2021; Keith et al., 2025)。

（２）熱的な手法

熱的手法は、**熱分解、流動床処理、マイクロ波支援熱分解等**により CFRP から樹脂を分解・除去し、炭素繊維を回収する方法である。

現在、市場に存在する CFRP の大半は熱硬化性樹脂を用いたものであり、加熱しても再溶解・再成型はできない。そこで、熱硬化性樹脂を分解して炭素繊維を取り出すために、酸素が少ない雰囲気で高温に熱することで樹脂を分解・除去する手法である。

処理温度が低いと、繊維表面に炭素質の残りが付着しやすいため、熱分解後に酸化処理を行うことがある。一方、酸化が過度になると炭素繊維が傷み、強度が低下する可能性があるため、温度、処理時間及び酸素雰囲気の適切な管理が重要である (Keith et al., 2025)。こうした課題を有するものの、熱分解は CFRP リサイクル技術の中では実用化が比較的進んでおり、日本においても、商業化又は実証試験に向けての取組が進められている。

熱分解を応用した方法として、流動床法やマイクロ波支援熱分解が検討されている。

流動床法は、細かく砕いた CFRP を、熱した砂などが空気によって激しく動いている装置の中に投入し、樹脂を熱で分解して炭素繊維を取り出す方法であり、流動する高温の珪砂との接触によって熱伝達を高め、樹脂を比較的効率よく加熱・分解できる。実際に Meng et al. (2017) の研究では、CFRP をおおむね 6～20 mm に破碎した後、450～550℃に加熱した珪砂の流動床で処理する研究事例も存在する。この手法は、金属部品などの異物を含む廃棄物にも対応しやすいという利点がある。一方、処理前に CFRP を細かく破碎する必要があるため、回収される炭素繊維は不連続な短繊維となりやすく、繊維強度も低下する場合がある。

マイクロ波支援熱分解は、電子レンジと同様に、マイクロ波を使って CFRP を加熱し、樹脂を分解する方法である。炭素繊維はマイクロ波を吸収しやすいため、外側から徐々に熱を伝える通常の加熱方法に比べ、材料内部から効率的に加熱できる可能性がある。このため、処理時間の短縮やエネルギー消費の低減が期待されている。一方、現時点では実験室規模の研究が中心であり、材料内部の均一な加熱、連続処理及び設備の大型化が今後の課題となる (Jiang et al., 2024; Dega et al., 2024)。

（３）化学的な手法

化学的な手法は、溶媒や触媒を用いて CFRP の樹脂を分解し、炭素繊維を回収する方法である。代表的な手法である加溶媒分解（ソルボリシス）では、水、アルコール、有機酸などの溶媒・触媒を用いる。一般に熱分解より低い温度で処理でき、繊維の長さや強度を保ちやすい一方、反応時間、薬品の取扱い、溶媒・廃液の回収、処理コスト及び設備の大型化が課題となる（Keith et al., 2025）。

環境省の実証事業では、溶媒である NMP（N-メチル-2-ピロリドン）と水酸化ナトリウムを用いて様々な CFRP をリサイクルする方法を検討している。6,000 L 規模の試作では、収率 91%で、樹脂残渣が 1%未満の高品質なリサイクル炭素繊維を回収した。また、年間 2,500 t の処理を想定した試算では、バージン炭素繊維と比べて GHG 排出量を約 3 割削減できる可能性が示されている。

また、水やアルコールを高温・高圧にして樹脂に浸透しやすくする亜臨界・超臨界流体を用いた方法も研究されている。繊維の性能を保ちながら樹脂を除去できる可能性がある一方、高温・高圧に耐える設備、安全管理及びスケールアップが必要となる（Keith et al., 2025）。

（４）ハイブリッド手法

熱的な手法と化学的な手法を段階的又は一体的に組み合わせるハイブリッド手法も近年研究されている。これは、熱処理の処理効率と、化学処理の選択的な樹脂除去能力を組み合わせることで、炭素繊維の価値をより高く保ったまま回収することを意図している（Chohan et al., 2026）。

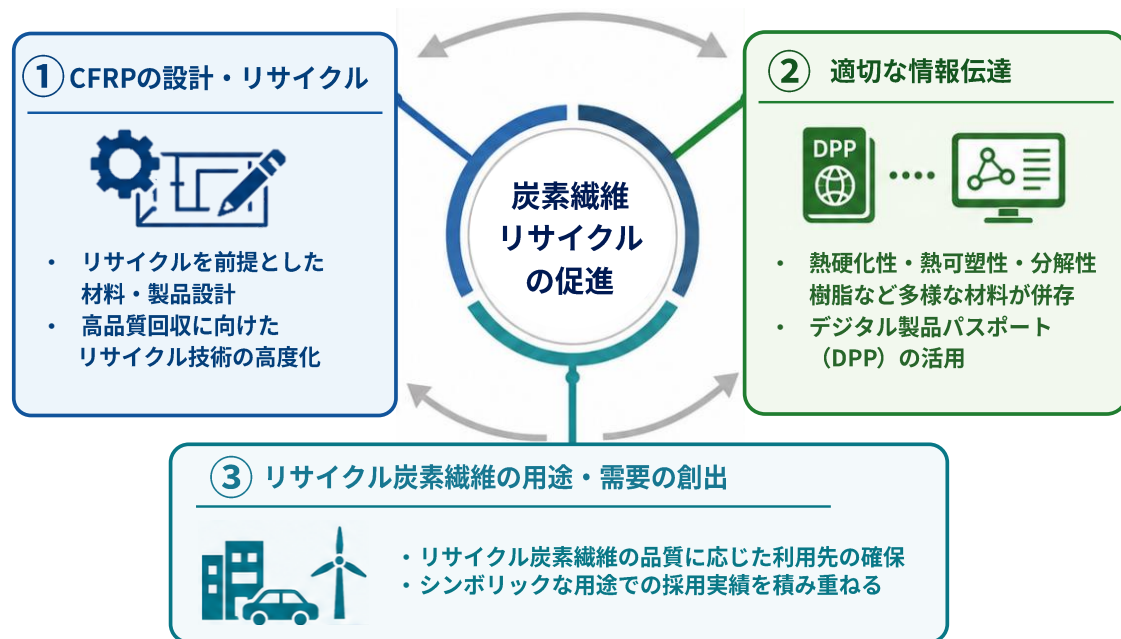
例えば、Dega et al.（2024）は、熱分解だけでは樹脂や炭化物が残る場合があるため、マイクロ波による熱分解後に化学処理又は酸化処理を行い、繊維表面に残った炭化物を除去した。一方、化学的手法の処理の状況によっては、炭素繊維自体も損傷するため、温度や処理時間の管理が重要となると指摘している。

以上を踏まえると、熱的な手法と化学的な手法にはそれぞれ長所と課題があり、両者を組み合わせるハイブリッド手法についても、対象となる樹脂や廃材の性状に応じて、処理条件を適切に選択する必要がある。

今後、従来型の熱硬化性樹脂に加え、分解可能な樹脂や熱可塑性樹脂などの導入が進めば、樹脂の種類によって適切な処理方法も異なってくる。このため、リサイクル技術の研究開発においては、既存材料への対応だけでなく、樹脂材料の開発動向や将来の廃 CFRP の動向も見据えて、**材料設計と処理技術を一体的に検討することが重要**である。材料特性、廃材の形状、回収後の用途に応じて複数の処理方法を適切に選択・組み合わせるリサイクルシステムの構築が重要となると考えられる。

2. リサイクル技術からリサイクルシステムの構築へ向けて

以上のとおり、前編で紹介した CFRP のリサイクルを前提とする材料・構造設計と本稿で紹介した CFRP リサイクル技術の高度化といった①CFRP の設計・リサイクルを進めていくことが重要である。これに加えて本章では、リサイクルシステムの構築に向けて重要な観点として、②適切な情報伝達と③リサイクル炭素繊維の用途・需要の創出について述べてい（図表 2）。



図表 2 炭素繊維リサイクルを進めるための3つの重要な視点

（出所）各種資料を参考に、みずほ総合研究所が作成

まず、②適切な情報伝達について述べる。従来型の熱硬化性 CFRP に加え、今後熱可塑性 CFRP や分解性樹脂を用いた CFRP 等が市場導入されると、適用可能な処理方法が異なる材料が回収ルートに混在することとなる。その際に、どの部品に、どのように使用されているかが分からなければ、処理工程で適切に選別ができない可能性が高く、適切なリサイクル手法を選択することはできない。したがって、「どの材料が、どの部品に、どのように使用されているか」を伝達する仕組みが必要となる。EU のエコデザイン規則や ELV 規則では、既にデジタル製品パスポート（DPP）等を通じてリサイクラーに向けた情報伝達の仕組みが検討されつつある。

さらに、回収技術と並んで重要となるのが、③リサイクル炭素繊維の用途・需要の創出である。炭素繊維を回収できても、品質に応じた安定的な利用先がなければ、回収設備への投資、量産化及び回収網の整備は進まない。リサイクル炭素繊維の特性・品質に応じ

て、非主構造材、内外装材等のカスケード利用を設計し、品質を管理しながら利用することが必要である。その際に、社会的な発信力を有するシンボリックな用途で先行的に採用することは、リサイクル炭素繊維の利用促進の観点からも重要ではないだろうか。

航空分野では、Airbus 等が、退役した A380 から熱可塑性 CFRP 製の外装パネルを回収し、加熱・再成形することで、A320neo 向けの新たな外装部品へ作り替える取組を進めている。炭素繊維と樹脂を分離せず、部材の形で再利用する点が特徴であり、再成形後の部品についても、航空機用途に必要な品質及び機械的性能の確保を目指して評価が進められている。日本でも、NEDO が 2026 年度から「次世代航空機向け静脈産業構築事業」を開始し、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター（NCC）を中心に、退役航空機から回収した CFRP を再び航空機に利用するための技術とサプライチェーンの構築を進めている。同事業では、リサイクル炭素繊維を長く連続した基材に再構成し、航空機の二次構造部品や内装部品として製造・評価した上で、テスト機に搭載して飛行試験を行う計画である。

モータースポーツ分野では、電気自動車レースの Formula E が、第 3 世代の競技車両「GEN3」の車体外装に、引退した旧世代車両「GEN2」から回収したリサイクル炭素繊維を採用している。GEN3 では、リサイクル炭素繊維と亜麻由来の繊維が、主要な荷重を担わない車体外装に使用されている。Formula E によれば、これによりバージン炭素繊維の使用量が削減され、車体外装の製造に伴うカーボンフットプリントを 10% 超削減できるとしている。

また、リサイクル炭素繊維の利用先は、必ずしも既存の CFRP 製品に限定されない。例えば、名古屋大学ナショナルコンポジットセンター（NCC）では、自動車破砕残さ（ASR）由来の再生材料、再生樹脂及び低炭素なリサイクル炭素繊維を組み合わせ、各材料の弱点を補う「3R-Composite」の研究を進めている。

最終的に、リサイクル炭素繊維を普及させるには、リサイクル技術の高度化だけでなく、リサイクルを見据えた材料・製品設計、回収・処理に必要な情報の共有、回収材の用途・需要の創出を一体的に進める必要がある。設計側、リサイクル側、需要側が連携し、「どのように回収し、どのような材料として、誰が利用するのか」まで見据えながら、炭素繊維リサイクルのエコシステムを構築していくことが求められる。

当記事の内容は執筆時点の情報に基づくものであり、その正確性・完全性・最新性を当社が保証するものではありません。閲覧者の判断と責任にてご利用ください。

🔗 [「前編のレポートはこちら」](#)

参考文献

- Airbus. (2026). Recycled and ready.
<https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2026-01-recycled-and-ready>
- Chohan, B. S., Yuan, Z., Riaz, A., & Cheng, K. (2026). Carbon Fiber-Reinforced Polymer Sustainability—A New Outlook on Recycling Methods and Strategic Decision-Making for the Recovery of Fiber, Matrix, and Composite. *Polymer Composites*, 47, 4869–4899. <https://doi.org/10.1002/pc.70470>
- Dega, C., Boukhili, R., Esmaili, B., Laviolette, J.-P., Doucet, J., & Decaens, J. (2024). Microwave-assisted pyrolysis of carbon fiber-reinforced polymers and optimization using the Box–Behnken response surface methodology tool. *Materials*, 17(13), 3256. <https://doi.org/10.3390/ma17133256>
- European Union. (2024). Ecodesign requirements for sustainable products. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/ecodesign-requirements-for-sustainable-products.html>
- European Union. (2026). Regulation on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles: PE-CONS 13/26. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-13-2026-INIT/en/pdf>
- FIA Formula E. (2022). GEN3 facts: Performance × efficiency × sustainability. <https://www.fiaformulae.com/en/news/2439/gen3-facts-performance-x-efficiency-x-sustainability>
- Jiang, Q., Xu, L., Ren, Y., Sun, Y., Xiao, S., & Shen, Z. (2024). Carbon fiber recovery from carbon fiber reinforced polymer matrix composite by microwave pyrolysis. *Materials Today Communications*, 40, 109462. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109462>
- Keith, M. J., Al-Duri, B., McDonald, T. O., & Leeke, G. A. (2025). Solvent-based recycling as a waste management strategy for fibre-reinforced polymers: Current state of the art. *Polymers*, 17(7), 843. <https://doi.org/10.3390/polym17070843>
- Meng, F., McKechnie, J., Turner, T. A., & Pickering, S. J. (2017). Energy and environmental assessment and reuse of fluidised bed recycled carbon fibres. *Composites Part A*, 100, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.05.008>
- Pakdel, E., Kashi, S., Varley, R., & Wang, X. (2021). Recent progress in recycling carbon fibre reinforced composites and dry carbon fibre wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105340. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105340>

- ・ Sántha, P., & Tamás-Bényei, P. (2026). A comprehensive overview of the potential of recycled carbon fiber from composite waste: Reclamation, remanufacturing, and performance. Waste Management, 213, 115352.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2026.115352>
- ・ 環境省（2025）令和 6 年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業（うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業）（新規溶媒溶解法による CFRP リサイクルプロセス実証事業）委託業務成果報告書（委託先：東レ株式会社），
<https://www.env.go.jp/content/000311345.pdf>
- ・ NEDO. (2026). 「次世代航空機向け静脈産業構築事業」の実施体制の決定について.
https://www.nedo.go.jp/koubo/SR3_100020.html