

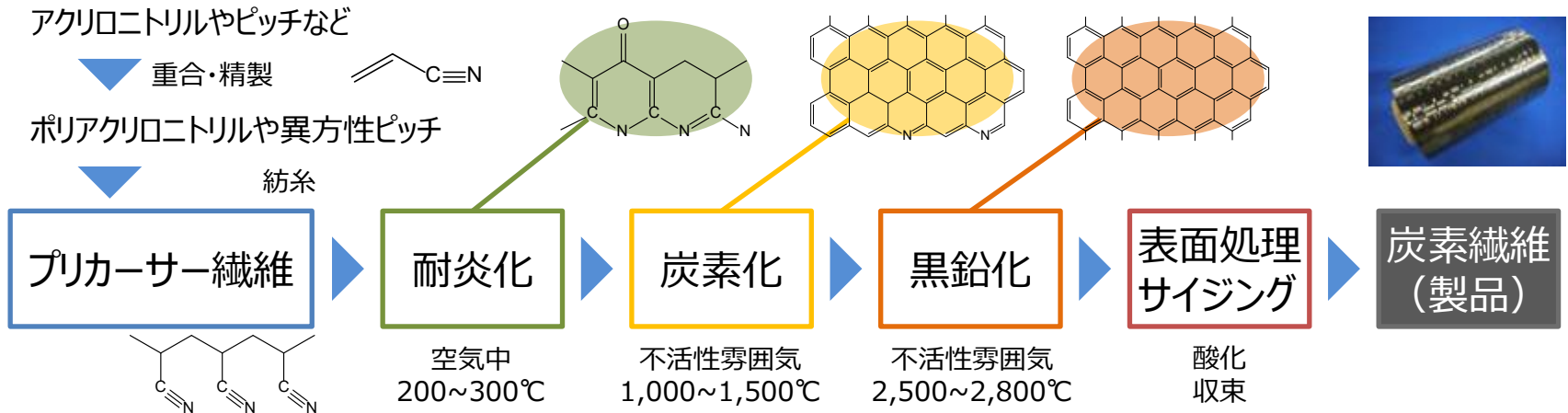
サステナブル複合材料を実現するための リサイクル炭素繊維活用に関する研究開発

杉本 慶喜、三木 恒久

産総研 マルチマテリアル研究部門

2026年7月21日

「NEDO先導研究プログラム」RFIに係るVIPワークショップ



- 焼成できる高分子は限られる
ポリアクリロニトリル(PAN)とピッチが炭素繊維の前駆体の主流
- 製造に多くのエネルギーを要し、高コスト
耐炎化や炭素化・黒鉛化工程でエネルギーが必要

「長期間使用すること」や「リサイクル」が重要

2015年以降、環境に対する意識が大きく変化

法規制

自動車リサイクル法

80%リサイクル（部品・金属など）

20%がシュレッダーダスト → 大半がサーマルリサイクル

EU: Circular Economy政策

一般廃棄物のリサイクル率を2025年までに**55%**（2035年65%）

2035年までに埋め立てを最大**10%**削減

SDGs、パリ協定、ELV規制などほかにも様々な制約が存在

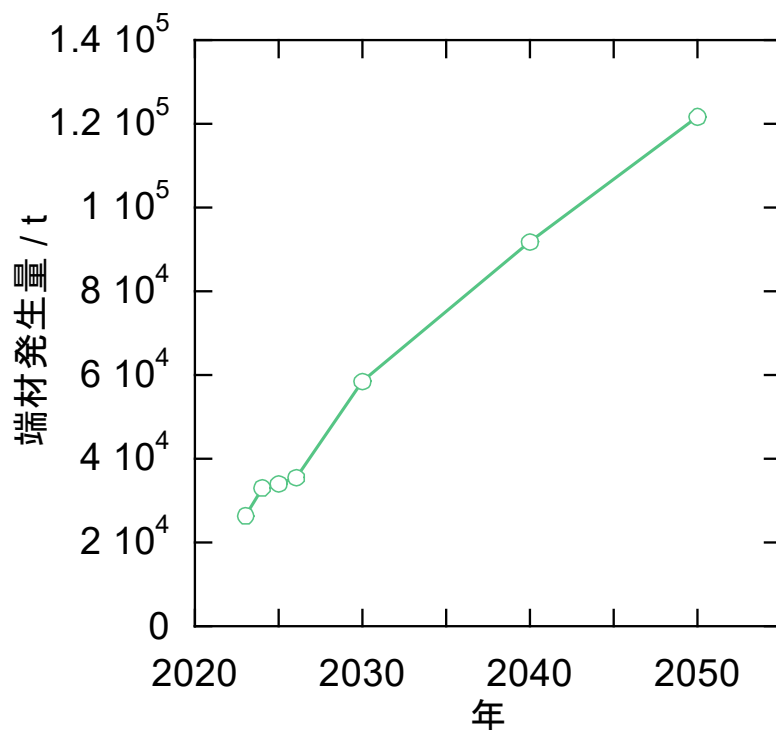
水素タンク等炭素繊維複合材料の代替材料がない分野も存在

⇒炭素繊維複合材料の**法規制への対応**が必要

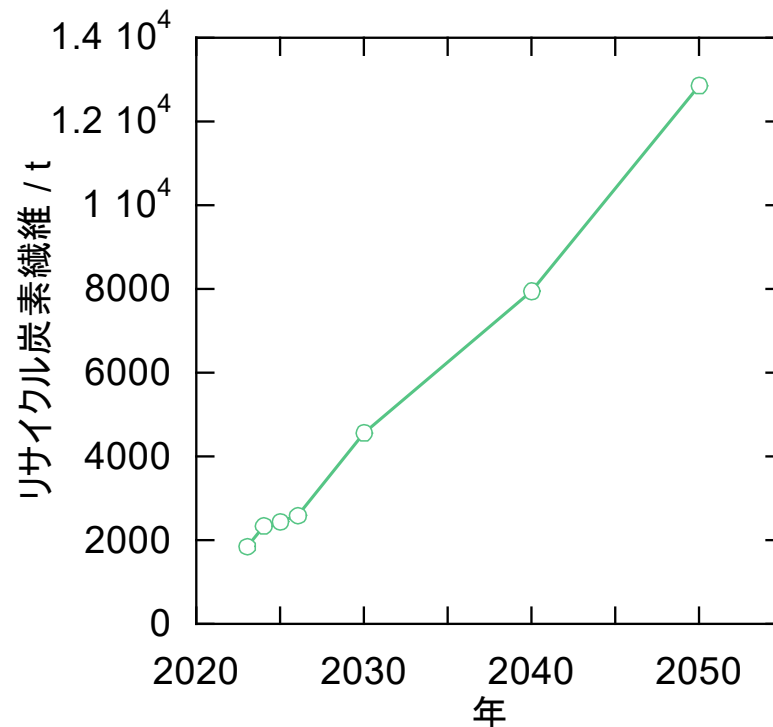
炭素繊維複合材料の資源循環の実現が重要

端材発生量とリサイクル炭素繊維生産量の予測

端材発生量

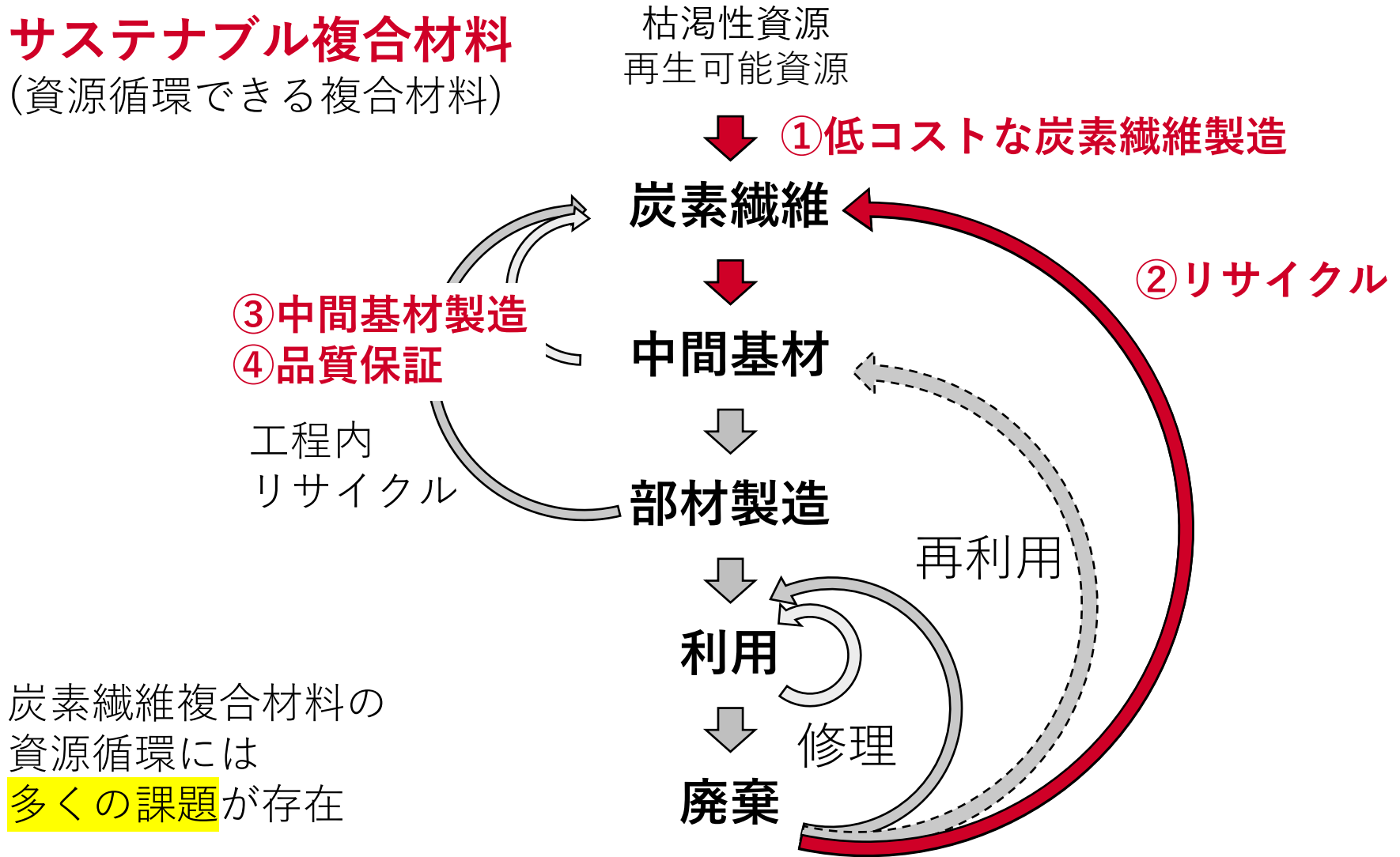


リサイクル炭素繊維生産量



リサイクル炭素繊維の使用量は炭素繊維の使用量とともに増加

サステナブル複合材料 (資源循環できる複合材料)



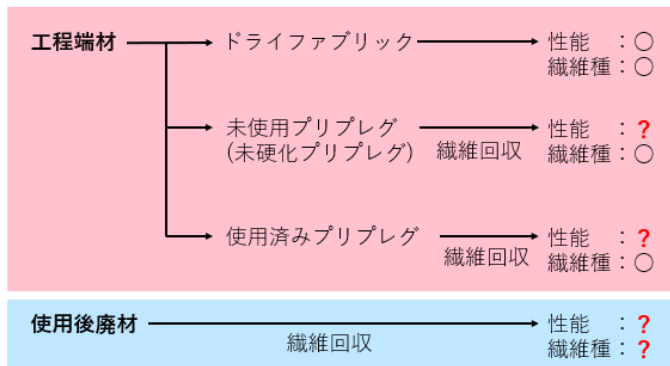
長期利用を見据えた資源循環の構築が重要

資源循環にむけた課題の例

廃材の種類によるリサイクル炭素繊維の違い

リサイクル炭素繊維(recycled carbon fibers)

リサイクル処理をして強化繊維として使用できる力学的特性を有する繊維



廃材によりリサイクル炭素繊維の状態が異なる
適切な分別もリサイクルに非常に重要

廃材の種類とリサイクル方法によって様々なリサイクル炭素繊維が存在

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 | 12

リサイクル炭素繊維の状態

例) 燃焼法による回収プロセス

CFRPの破碎→樹脂の熱分解・酸化解→リサイクル炭素繊維

繊維回収時の破碎プロセス
→繊維長分布の変化

炭素繊維の損傷
→繊維強度分布の変化

繊維表面の樹脂残りなどによる表面状態の変化
→繊維/樹脂界面強度の変化

ほかにも残渣の量、残渣の種類なども重要

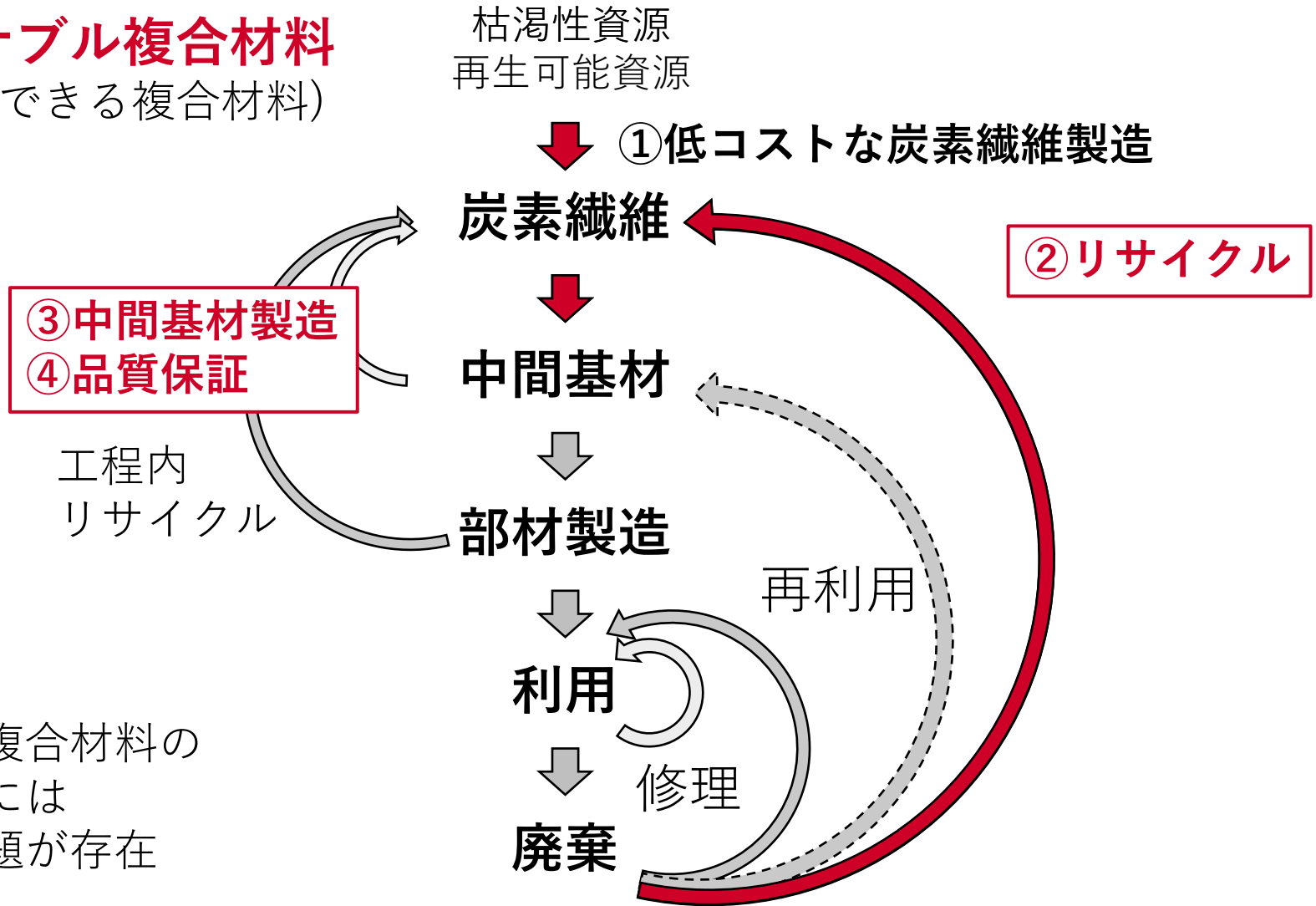
再度、強化繊維として使用するためには評価技術が必要

今まで実施されてきたNEDOプロジェクト

区分	NEDOプロジェクト・テーマ	期間	主な実施者・体制
①低コスト炭素繊維製造	燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業／水素利用等高度化先端技術開発／低コストと高性能を両立した炭素繊維の研究開発	2020年10月～2025年3月予定	東海国立大学機構、九州大学、再委託先として京都工芸繊維大学、産総研、東京工業大学または信州大学など
②リサイクル	戦略的省エネルギー技術革新プログラム／革新的省エネルギー技術により製造した再生炭素繊維使用機能性自動車部材の開発と 自動車の軽量化	2017年6月～2020年2月	カーボンファイバーリサイクル工業、日本ガスケッ、共同研究に東海国立大学機構岐阜大学
③品質評価	NEDO 革新的新構造材料等研究開発、特に「熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・応用加工技術開発」内のリサイクル炭素繊維評価技術	2014～2022年度、評価技術開発は2018～2020年度	新構造材料技術研究組合（ISMA）、 産総研 など
②リサイクル ④中間基材	NEDO先導研究プログラム／リサイクル炭素繊維の連続化技術および航空機適用技術の研究	2023～2025年度	一般財団法人ファインセラミックスセンター、東海国立大学機構、SUBARU、ジャムコ等
②リサイクル ③評価 ④中間基材	次世代航空機向け静脈産業構築事業／次世代航空機向け複合材資源循環システムの研究開発	2026～2030年度 予定	東海国立大学機構、ファインセラミックスセンター、SUBARU、ジャムコ、JAXA

炭素繊維複合材料の資源循環を後押しするプロジェクトが推進されているが**まだ資源循環の実現はできていない**

サステナブル複合材料 (資源循環できる複合材料)



炭素繊維複合材料の
資源循環には
多くの課題が存在

長期利用を見据えた資源循環の構築が重要

「②リサイクル」の課題

理想の複合材料のリサイクル

すべての構成材料すべてリサイクル

実際のリサイクル

現在のリサイクルでは複合材料の中から炭素繊維を回収
(熱硬化性樹脂を使用した炭素繊維複合材料が主流)

手法分類	熱分解法		化学分解法		機械分解法
全般的な特徴	品質／コストバランス良好 大量処理向き		強度劣化が少ない コスト高な傾向		強度劣化が少ない
手法	過熱水蒸気法	2段階熱分解法	常圧溶解法	電解酸化法	粉碎
特徴	300~500℃の過熱水蒸気によりポリマーを分解	1 段目でポリマーを熱分解、生成ガスを2段目の燃料とし、低酸素雰囲気で燃焼	約 200℃ のアルコール溶液と触媒を用いてポリマーを溶解	前処理段階で焼成したCFRPを陽極とし、電解液中で電気分解	粉碎によって炭素繊維とポリマーを分離
強度の劣化度	○	△	○	○	○
処理コスト	○	○	△	△	○
大量処理可否	○	○	△	—	△

燃焼法の場合

- 処理温度・処理時間の影響を強く受ける。
- 廃材のサイズの影響も大きい。

溶液処理の場合

- 反応による損傷が起きなくても、攪拌や乾燥時の繊維同士の接触で損傷が起きる可能性がある。

機械的処理の場合

- 破砕プロセス時に繊維自体に負荷がかかるため損傷する可能性がある。
- リサイクル炭素繊維の**品質は**処理プロセスの関係上**ばらつく可能性(繊維性能・繊維形態)**

リサイクル炭素繊維

- 原材料のリサイクル炭素繊維そのものの品質が不安定
- 不連続繊維

中間基材

- 繊維の性能ばらつきが見えないような中間基材が必要
- ランダムで短い繊維の中間基材が多い。
- CFに期待される性能を発現できていない。

リサイクル材の品質保証がされていない

- 繊維の品質が保証されていない
試験法などがあるが品質保証にまだ至っていない。
- 中間基材の品質評価方法がない
(繊維長、繊維の曲がり具合など知りたい情報が分からない)

リサイクル、中間基材、品質保証の課題ゆえ、リサイクル材は
低性能、低信頼性、低賦形性の**三重苦**状態で商品適用化が進まない。

これらの課題を一つずつ克服して、

リサイクル炭素繊維の商品適用化を進めていく必要がある。

炭素繊維の用途

- 宇宙・航空分野
- 自動車
- スポーツ分野
- 風力
- 土木・建築

リサイクル材の適用先の候補

ある程度のスペックの許容が必要

スポーツ分野

- 商品サイクルが短いため、リサイクルと相性が良い

インフラ分野(風力、土木・建築)

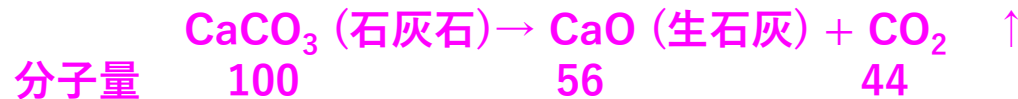
- スペックに対する許容が比較的大きい
- 耐久性が重要(リサイクル品でも担保可能)

インフラ用途の特徴

- 耐久性が必要(100年～200年といった耐久性が必要)
- メンテナンスフリーが理想
- 国家の意向が大きく影響する分野(国土強靱化)

石灰石からセメント原料の生石灰を作ると重量の44%がCO₂として大気に放出される。FRP筋によるコンクリートの長寿命化は、セメントの大量生産・大量消費を抑える。

日本



現状のインフラの多くは**初期コスト**を考慮して
鉄筋コンクリートが基本

海外

メンテナンスを考慮して鉄筋代替として
繊維強化プラスチック筋(FRP筋)を用いた
FRP筋コンクリートが増えてきている

カナダ

- 2002年にCSA S806を制定
- 橋梁設計基準CSA S6にもFRP筋を導入
- 材料規格CSA S807も整備
- 1000件以上の橋梁・床版で採用実績

アメリカ

- ACI 440.1R
- ASTM D7957
- ACI 440.11-22（建築コード）

の整備

寒冷地で凍結防止剤（塩化物）の影響が大きく、鉄筋腐食が深刻なため、FRP筋の価値が非常に高い

ドイツ(C³ (Carbon Concrete Composite) Project)

- FRP筋を使うためコンクリート被りを大幅削減
- コンクリート使用量を30～50%削減
- CO₂排出量削減

韓国

- 公共の道路・橋梁・鉄道へ急速に普及中
- 国土交通部などが主導し設計施工指針を整備
- コストダウンと量産化による市場拡大

(<https://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2021/03/Asia-Focus-157.pdf>)

海外での注目があるように**FRPのインフラ用途への適用は相性が良い**

炭素繊維は配向を制御した連続繊維形態で本来の
「比強度」「比剛性」が発現。

インフラ用途への適用

リサイクル炭素繊維の持つ

- 耐久性
- 軽量

を特徴を活かしつつ、繊維長や配向を制御して
リサイクル炭素繊維の商品適用化をすることが重要。

必要な研究項目

- 繊維及び中間基材評価技術
- 中間基材製造技術
- 再成形技術

の研究開発が必要

リサイクル炭素繊維(rCF)およびその中間基材の物性評価技術

rCFの性能を最大限引き出す場合は、信頼性担保のためrCFの物性およびその中間基材の評価が必須。**日本が開発を先行させる観点から中間基材の評価技術開発**を行う。そして開発評価法を積極的に活用して新規開発の試験方法を国際的に普及させる必要がある。

低コストのテキスタイル技術

rCFの配向繊維中間基材は、まだ商品化に向けた研究開発段階である。国内外の**技術を集結させて低コストな製造技術を構築する必要**がある。

低コストの成形技術

rCFの配向繊維中間基材やそれを用いた部材はまだ実用化されておらず、新たな成形方法が必要になる可能性もある。新成形技術を開発して**rCFの性能を最大限に活かした商品適用化**を実施する必要がある。

**これらの技術が完成することで
リサイクル炭素繊維をインフラ用途へ使用可能**