表紙

2024.2.2

□プロジェクト名
　　プロジェクトCore Industry

□研究開発分野
　　③次世代材料・分析評価

□研究開発テーマ
　　高機能複合材料ＣＦＲＰの繊維リサイクル技術開発と有効利用法

□研究リーダー
　　松本幸大（豊橋技術科学大学　教授）

□事業化リーダー
　　野村一樹（ソブエクレー株式会社）
　　圖子博昭（株式会社fff fortississimo）
　　中島浩二（福井ファイバーテック株式会社）

□参画機関
　　岐阜大学
　　あいち産業科学技術総合センター　三河繊維技術センター
　　産業技術総合研究所　中部センター
　　矢作建設工業株式会社

１．研究テーマの概要

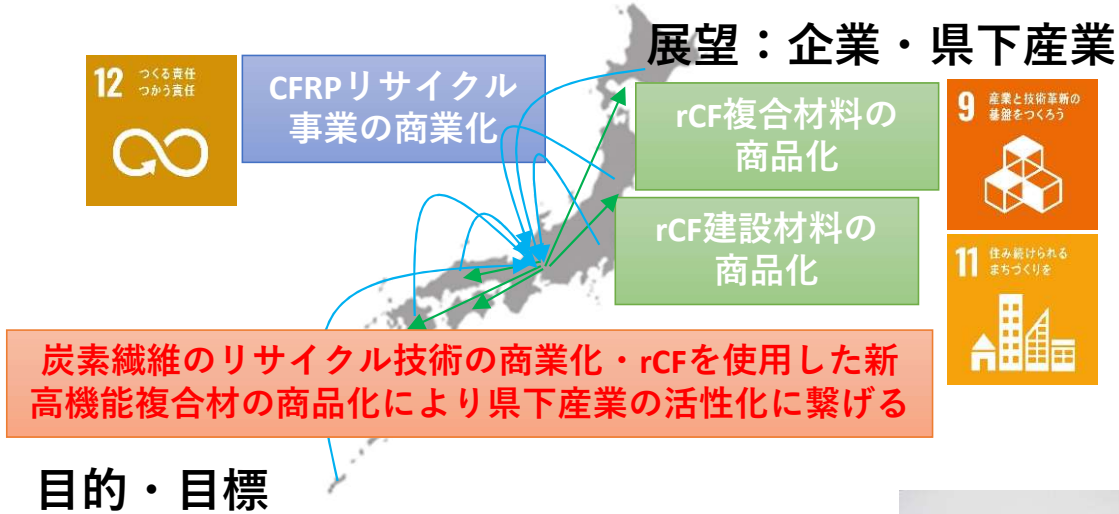
高機能複合材料ＣＦＲＰの繊維リサイクル技術開発と有効利用法

実施体制：豊橋技術科学大学・東海国立大学機構岐阜大学・産総研中部センター・三河繊維技術センター・ソブエクレー・fortississimo・福井ファイバーテック・矢作建設工業

背景・課題

炭素繊維複合材料（CFRP）の用途が拡大しており，それに伴う廃材の有効利用法の技術開発が必要！

展望：企業・県下産業



目的・目標

新二軸混練技術採用によるrCFRTPの開発
→20%以上の性能回復が可能な高性能rCFRTP素材の開発

高機能化rCFの無機複合材料への実用化検討
→20%以上の材料強度向上が可能なrCF無機複合材の開発

rCFを使用した複合材料の開発と建設分野への用途拡大
→20%以上の材料強度向上が可能なrCF引抜成形FRP材の開発

解決手段・シーズ

リサイクル炭素繊維の応用
無機複合材料製品の開発と応用
炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの開発と応用
による炭素繊維のリサイクル技術と有効利用法の研究開発

【主要なシーズと実施事項】
リサイクル炭素繊維の高機能化（岐阜大学）・炭素繊維の溶液分散技術（fff）・FRP引抜成形技術（福井ファイバーテック）・リサイクル炭素繊維の回収技術（ソブエクレー）・短繊維rCFの無機複合材料化（ソブエクレー）・炭素繊維およびCFRPの性能評価（産総研・三河繊維技術センター）・建築材料に関する研究開発（矢作建設工業）・繊維強化プラスチックの建設材料としての設計・評価（豊橋技術科学大学）

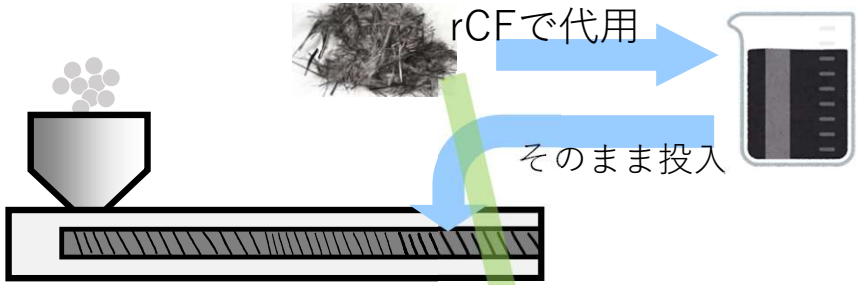
豊橋技術科学大学・産総研中部センター・三河繊維技術センター・岐阜大学によるリサーチアシスタント雇用・育成による人材育成
参画企業における本技術開発を主導する技術者の人材育成
→**愛知県による炭素繊維リサイクル・再利用事業の牽引**

展望：人材・知の拠点

知の拠点分析設備の有効利用と設備拡充
電子顕微鏡による開発品の微細観察・シンクロトロン光X線CTによる試作品の状態観察・化学状態の評価・建設材料用耐久性評価試験機の整備

1. 研究テーマ概要

新二軸混練技術採用によるrCFRTPの開発



自動車部材に適した高速成形の実現のため，熱可塑性樹脂母材CFRP(CFRTP)の開発が世界的に活発である中で，二軸混練を応用したCFRTP成形技術開発が進められている．

一方で

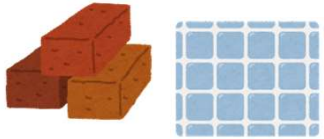
炭素繊維を細断するため，新品である必要が無い

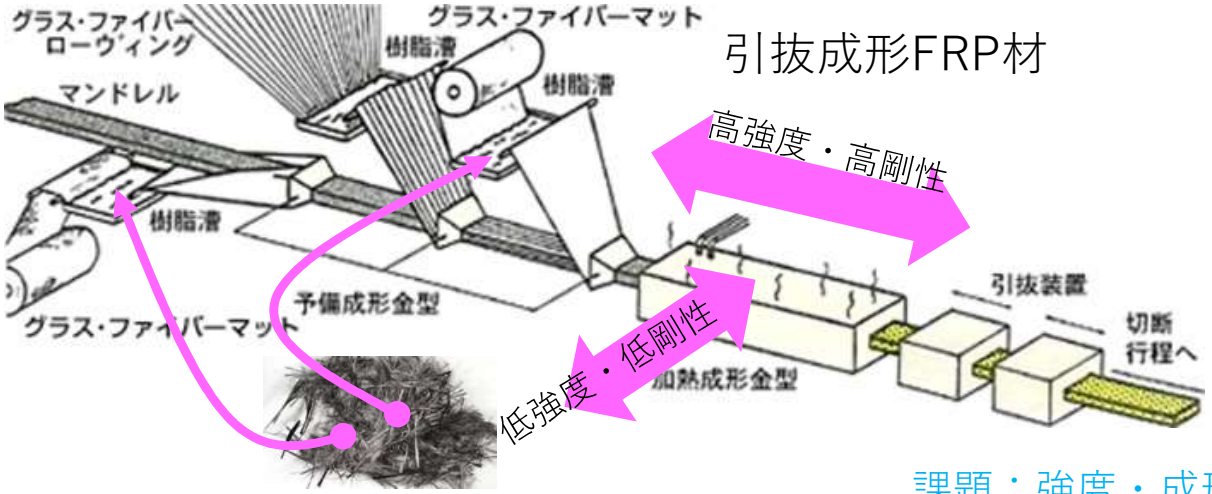
課題：導電性ある綿状rCFの飛散（電子機器故障の要因）
綿状rCFがフィード（投入）しにくい

rCFの高機能化（強度復元，セラミクスコート等）

建設用途への展開

高機能化rCFの無機複合材料への実用化検討





引抜成形FRP材

大量生産性・性能の安定性に優れる引抜成形FRP材は，建設分野でも大量に使われているが，引抜直交方向の強度・弾性率は大きいが，直交方向は非常に小さく，折れ・割れが生じやすい→引抜成形FRP材の弱点！

rCFランダム繊維の有効利用

短い繊維でランダム方向に配向させたいため，新品である必要が無い

課題：強度・成形性のバランスを考えた最適なrCFの使用量

rCFを使用した複合材料の開発と建設分野への用途拡大

2. 年次ロードマップ

		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
研究開発ターゲット	ターゲット１ 新二軸混練技術採用によるrCFRTPの開発	新二軸混練装置によるｒＣＦＲＴＰ試作									rCFRTP材のサンプル rCFRTP試作品の完成		
						試作したrCFRTPの材料評価							
	ターゲット２ 高機能化rCFの無機複合材料への実用化	粉砕技術の高度化とｒＣＦの供給									rCF無機複合材のサンプル提供と建設資材としての評価 rCF無機複合材の試作品の完成		
								ｒＣＦ無機複合材の試作と評価					
	ターゲット３ rCFを使用した複合材料の開発と建設分野への用途拡大	ｒＣＦ引抜成形材の試作									rCF引抜成形材のサンプル提供と建設資材としての評価 rCF引抜成形材の試作品の完成		
						ｒＣＦ引抜成形材の材料性能評価							

3．研究開発の実施状況（ターゲット1）

■樹脂残渣・熱分解温度とrCFRTPの強度との関係について分析を進めており，温度と曲げ強度・温度と引張強度についての関係性が明らかとなっている。
■rCFを酸化処理することで強度復元することを検証し，強度復元したrCFを用いたrCFRTPの力学物性評価を進め，繊維長がある一定長さ（臨界繊維長以上）になると強度復元の効果が得られることがわかった。
■rCFRTPの2軸混練実験を進め，3Dプリンター用フィラメントやペレットの試作が完了し繊維含有率約30%wtに到達している。ペレットの繊維配向についてもシンクロトロン光X線CT分析を進めている。
■ペレットについては射出成形試作にも応用し，優れた成形性を有するペレットであることを確認できた。

rCFRTPの2軸混練実験とフィラメントの作製状況

3Dプリンタに適用可能なフィラメントの試作に到達し、今後、その成形性や成形物の強度評価などを進める
ペレットからは成形性に優れるrCFRTPボルトの試作に成功

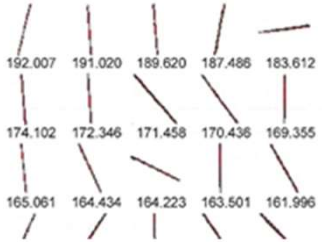
3Dプリンター用フィラメント

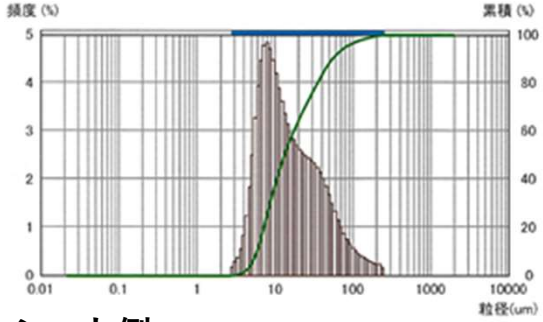
ペレット化し射出成形へ

CFRTP軽量ボルト

3. 研究開発の実施状況（ターゲット2）

■ミルドrCFの一部については販売を開始した。
■ミルドrCFは製品スペックとして繊維長分布などを計測・提供できる体制を整えた。
■新たなCFRP廃材の調達ルートを開拓するとともに，粉砕装置なども導入し，rCF供給体制を強化した。
■ジオポリマーとの無機複合材についてSEM観察やX線CT観察を行い材料特性の評価を進めている。ジオポリマーとCFとの密着性は低く，表面処理が必要と評価された。表面処理の効果については，三河繊維技術センターのマイクロドロップにて評価を進める予定である。
■岐阜大学において無機質母材rCFRCの試作・物性評価を開始し，弾性率の増大効果が得られたが，界面接着力に課題があることが分かった。界面の設計についてセラミクスコーティングなどを想定して，試料の準備に着手を開始した。





ミルドrCF製品と繊維長分布のスペックシート例

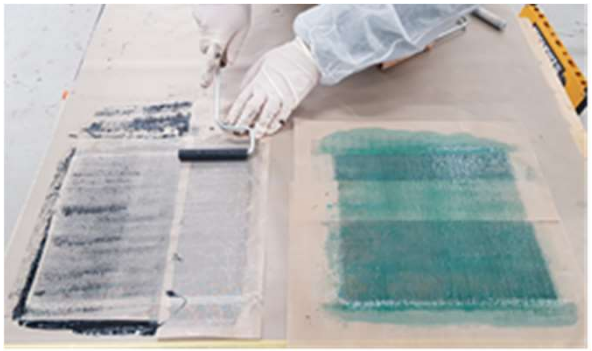
CFRP廃材と熱分解サンプル

ジオポリマーへのrCF添加により強度・クラック防止の効果を確認

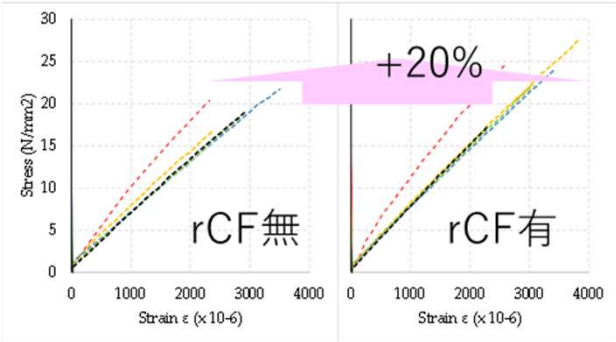
rCF無機複合材の圧縮試験結果

3．研究開発の実施状況（ターゲット3）

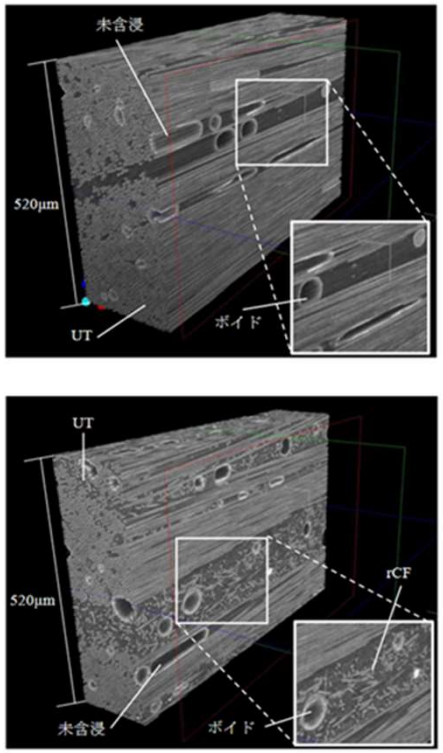
■連続繊維を使用したCFRP・GFRPに対して，マトリックス樹脂にrCFを使用することの効果を検証した。
■一方向炭素繊維強化材のハンドレイアップ成形品に対してrCFを用いることで，連続繊維直交方向の弾性率・強度が優位に向上することを明らかにした。その根拠として，シンクロトロン観察によって，マトリックス樹脂の中にランダムにrCFが配向されていることが確認された。
■±45度に連続繊維が配されたCFRPとGFRPのハンドレイアップ成形品に対してrCFを用いることで，剛性が向上することを明らかにした。これは0/90度のFRPに対する剪断性能に対応することから，樹脂にrCFを混ぜて成形するだけでFRPの弱点である剪断性能が向上させられることを示すことができた。
■VaRTM成形については含浸樹脂に予めrCFを攪拌することで，含浸不良やボイドの残留が生じ，成形性や機械的性質に悪影響を及ぼすことが分かったため，成形法の改善を進める。
■形状自由度の高いプラスチック建築部品への応用を考え3Dプリンタ造形による試作を進めた。



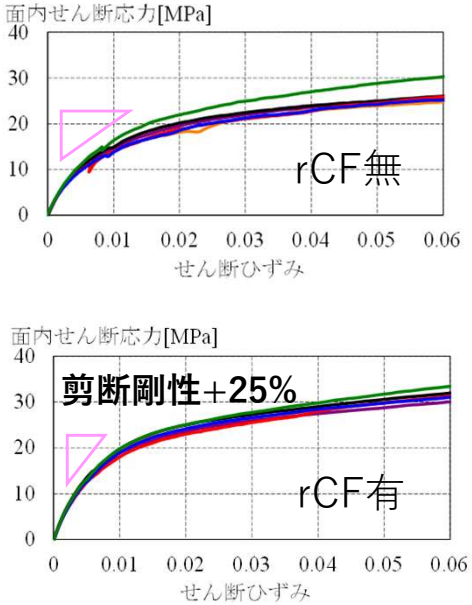
ハンドレイアップ成形
（左：rCF入り，右：rCFナシ）



一方向CFRP直交方向の
引張試験結果



シンクロトロン光
X線CT分析結果



±45度GFRPの引張試験結果

CFRTP製建築木部材の継手
構造の試作と強度検証

4. 研究業績

項目	内容
特許出願	なし（ターゲット１で検討中）
外部発表（５件）	【査読付きジャーナル】 Scientific Reports：登載済み（https://doi.org/10.1038/s41598-023-40813-2） 【口頭発表】 日本建築学会大会：2023.9に発表 FRP CON-EX：2023.10に発表 炭素材料学会：2023.11に発表 プラスチック成形加工学会：2023.11に発表 Adv. Materials Research Grand Meeting, MRM2023：2023.12に発表
情報発信（３件）	メッセ名古屋（2022, 2023） SAMPE（2023）
会議の開催件数（９回）	２０２２年度 2022/8/18, 2022/9/28, 2023/2/6, 2023/3/29 ２０２３年度 2023/5/30, 2023/8/3, 2023/10/2. 2024/1/9, 2024/3/26（予定）

5. 事業化の見通し

		市場性	優位性
fortississimo	rCFの特殊処理法の目途が立っており事業化を検討中	rCFの有効利用法としての処理技術は，アップサイクルに必須の技術であり必要性が高い	rCFの高機能化技術は希少であり，実用化・事業化は優位性の高い技術として注目される期待が高い
SKK	ミルドrCFの販売を開始 ミルドrCFを添加した無機複合材の高機能化を進めており事業化を検討中	CFRP廃材は社会問題となっており，市場性は今後発展すると確信 展示会などでも注目されている	ミルド化することで，適用先が広くなるとともに，他種の廃材に対応できることから優位性が高い
fft fukui-fibertech.co.jp	rCFにより一方向強化複合材の連続繊維直交方向の強度向上の効果が得られたため引抜材への応用と事業化を検討中	引抜材は建設資材などとして多量に流通しており，リサイクル品の適用先として大きな市場	マトリックス樹脂に攪拌することで，既存の成形法を変更することなく対応できる優位性がある

6. 県産業への貢献度、人材育成等

○本県産業への波及の見通しについての見解

愛知県には世界的な炭素繊維の主要メーカーが立地しているだけでなく，自動車・重工業・輸送機器関連企業が多く集積しており，CFRPに関する関心が非常に高い地域である。
→CFRP の工程廃材や使用済み製品を原料とするリサイクル分野の市場規模は2030年には約1,000 億円に達すると推定され，資源循環に関連する有望な市場に成長すると期待
建設関連においても，rCFを利用することで脆性材料の性能改善が期待できることが明らかとなったことから，有効利用と機能性新材料開発の期待が確認された。

回収・処理に加え利用法に関する産業創出の期待

○人材育成への取組状況

8名以上の博士課程・修士課程学生を本研究テーマに参画させており，会議・分析・実験にも学生が多数参加することで，人材・モノづくり育成につなげられている
→世界を牽引できるリサイクル炭素繊維の抽出技術・評価技術・複合材料応用技術を有する技術者・研究者の人材育成，県下の高度なモノづくりやそのマネージメント能力を活かす機会につなげる

知の拠点あいち Knowledge Hub Aichi

知の拠点・産総研・三河繊維技術センター設備の活用による評価分析に関する研究者技術者育成

国立大学法人 豊橋技術科学大学

MAKE NEW STANDARDS. 東海国立大学機構

産総研 | 中部センター

あいち産業科学技術総合センター 三河繊維技術センター

産総研で研修生（リサーチアシスタント）を受け入れ，人材交流を通した研究者・技術者育成を予定

SKK ソブエクレー株式会社

fft fukui-fibertech.co.jp　fff fortississimo

炭素繊維複合材のリサイクル・成形技術開発を通して，新たな分野の人材育成につなげるとともに，評価技術の高度化を図る

炭素繊維複合材の建設分野への応用に関する人材育成

YAHAGI 矢作建設工業株式会社

炭素繊維複合材の建設分野への応用に関する人材育成につなげるとともに，評価技術の高度化を図る