

循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

・研究課題名＝難処理複合廃材のワンポットプロセスによる循環再生利用に関するモデル的研究

・研究番号＝(K2005) (K2148)

・国庫補助金精算所要額（円）＝46,587,000 円

・研究期間（西暦）＝2008～2009

・代表研究者名＝内藤牧男（大阪大学接合科学研究所）

・共同研究者名＝大原 智（大阪大学接合科学研究所）、近藤 光（大阪大学接合科学研究所）、譚 振権（大阪大学接合科学研究所）、井須紀文（株式会社 INAX、総合技術研究所）、三浦正嗣（株式会社 INAX、総合技術研究所）、大国泰子（株式会社 INAX、総合技術研究所）、森 梓（株式会社 INAX、総合技術研究所）

・研究目的＝繊維強化プラスチック材料（以下 **FRP** と略す）は、軽量、高強度、耐候性などの優れた特徴により、これまで幅広く利用されてきた。現在は、宇宙・航空産業、自動車、船舶、鉄道、建設産業等に幅広く利用されている。また、移動体軽量化による省エネルギー・二酸化炭素削減への期待から、今後さらなる需要の増加が期待されている。しかしながら **FRP** は、その再生利用に大きな課題を抱えている。そこで、本研究では、**FRP** の循環再生利用に資するために、ガラス繊維強化プラスチック材料をモデル廃材として取り上げ、これを高機能建材用原料へと転換し、かつ **FRP** 廃材の再生利用に要する費用の大幅な削減を可能とするワンポットプロセスの確立を目的とする。さらに、再生原料の成形により、軽量・高強度で断熱性等に優れた繊維強化多孔質高機能建材を開発するための基盤技術の確立を目指す。本研究提案の概要を図 1 に示す。

・研究方法＝本研究で目的とするワンポットプロセスを構築するために、まず **FRP** 廃材からガラス繊維粒子の形態を保持したままで、マトリックス粒子界面と分離する機械的プロセスを開発する。さらに、分離されたガラス繊維表面等に、安価なナノ粒子を多孔質状に均質複合化するプロセスを開発する。前者の課題に対しては、既に代表研究者らが開発した乾式粉碎原理を応用し、**FRP** 廃材中のガラス繊維とマトリックス界面にせん断力を集中的に作用させることにより両者の効果的な分離を試みる。また後者の課題に対しても、既に代表研究者らが開発した乾式機械的手法を適用することにより、分離されたガラス繊維粒子表面等に、ナノ粒子を複合化することを試みる。このようにし

て再生された複合粒子原料から、乾式プレスにより成形体を作製し、軽量、高強度、断熱性などに優れた繊維強化多孔質高機能建材開発のためのプロセス基盤技術を構築する。

結果と考察＝ワンポットプロセス構築のための基礎実験として、まず小型摩砕ミルと小型振動ミルを用いて、廃 FRP 粗砕品（図 2 参照）中のガラス繊維とマトリックスとの分離に及ぼすせん断力、並びに衝撃力の効果について検討を行った。その結果、小型摩砕ミルを用いることにより、ガラス繊維とマトリックス界面で両者を効果的に分離できることが分かった（図 3）。一方、振動ミルにより FRP 廃材粒子に衝撃力を加えた場合には、ガラス繊維は微細な粒子に粉碎された（図 4）。また、ガラス繊維とマトリックス界面にせん断力をより効果的に作用させる手法として、摩砕ミル内壁の摩擦抵抗の影響を検討した結果、ミルの内壁に V 字形の溝をつけた場合の方が、平滑にした場合に比べて、ガラス繊維の分離に要する処理時間が、格段に短縮されることを明らかにした（図 5）。以上の結果を踏まえ、複合廃材処理装置の設計、並びに試作を行い（図 6,7）、これを用いて FRP 廃材の分離、複合化の実験を行った。まず分離用ローター（図 8）を用いることにより、廃 FRP 粗砕品からガラス繊維とマトリックスとを効果的に分離できることを明らかにした（図 9）。さらに同装置のナノ粒子複合化用ローター（図 10）を用いることにより、シリカナノ粒子を多孔質膜状に複合化することに成功した（図 11）。次に、この複合粉体を加圧成形することにより、ナノ気孔を有する軽量な成形体を作製することができた（図 12）。得られた成形体の強度、熱伝導率、VOC 吸着特性などを評価することにより、成形体密度などとの関係を検討した。その結果、低熱伝導率（約 $0.025\text{W/m}\cdot\text{K}$ ）を有する軽量材料の作製に成功した（図 13）。さらに、成形圧力の増加に加えて成形後蒸気養生を行うことにより、成形体の強度が向上することを実験的に明らかにした（図 14,15）。以上より、高機能建材開発のためのプロセス基盤技術を確立した。

結論＝ワンポットプロセス構築の基盤となる複合廃材処理装置を開発し、これを用いて FRP 廃材粗砕品にせん断力を作用させることにより、ガラス繊維とマトリックスを効果的に分離できることを明らかにした。さらに、複合廃材処理装置のローター形状を変えることにより、分離されたガラス繊維粒子、マトリックス粒子表面にシリカナノ粒子の複合化を試みた結果、これらの粒子表面にナノ粒子を多孔質膜状に接合できることを明らかにした。次に、上記二つのプロセスによって作製された廃材複合粒子原料を乾式プレス成形することにより、得られた成形体の機械的強度、熱伝導率、VOC 吸着特性などを評価した。その結果、低熱伝導率（約 $0.025\text{W/m}\cdot\text{K}$ ）を有する軽量材料の作製に成功した。さらに、成形圧力の増加に加えて、成形後蒸気養生を行うことにより、成形体の強度が向上することを実験的に明らかにした。

英語概要

・研究課題名 = Study on One-pot Recycling Process of Fiber Reinforced Plastics
・研究代表者名及び所属 = Makio Naito (Joining and Welding Research Institute, Osaka University), Satoshi Ohara (Joining and Welding Research Institute, Osaka University), Akira Kondo (Joining and Welding Research Institute, Osaka University), Zhenquan Tan (Joining and Welding Research Institute, Osaka University), Norifumi Isu (General Research Institute of Technology, INAX Corp.), Masashi Miura (General Research Institute of Technology, INAX Corp), Yasuko Okuni (General Research Institute of Technology, INAX Corp.) and Azusa Mori (General Research Institute of Technology, INAX Corp.)

要旨 = Recycling of Glass Fiber Reinforced Plastics (FRP) must be urgently established, because the waste of FRP is 0.45 million ton/ year in Japan, and 98-99% of the waste FRP is incinerated and landfilled. Actually, only 1-2% is recycled as cement raw material. In this study, novel recycling process was proposed to develop advanced materials by making use of the waste FRP through one-pot processing based on mechanical method in dry phase. As a result, new method to separate glass fibers from matrix particles (including resin, calcium carbonate particles etc.) by making use of attrition type milling was developed. The separated glass fibers kept their own structure without any breakage into small pieces. Bonding process of nanoparticles on the surface of the processed particles was also developed by making use of attrition type milling. Actually, the surface of the separated particles was uniformly coated with fumed silica nanoparticles by this method. The coated particles were then compacted, and pressed to make bulk body in dry phase. The thermal conductivity at room temperature achieved about 0.025 W/m · K under low bulk density. The mechanical strength of the bulk body increased by processing it in steamed atmosphere and dried.

・キーワード = Glass Fiber Reinforced Plastics, Recycling, Mechanical processing, One-pot processing , Advanced materials



図1 本研究提案の概要



図2 廃FRPの粗砕原料

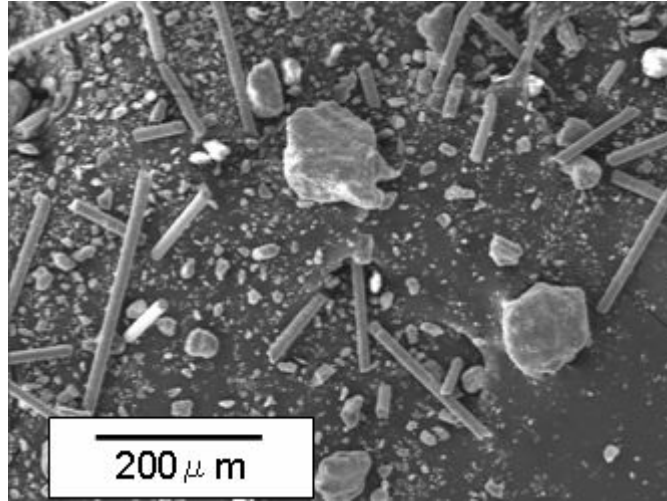


図 3 小型摩砕ミルによる処理品

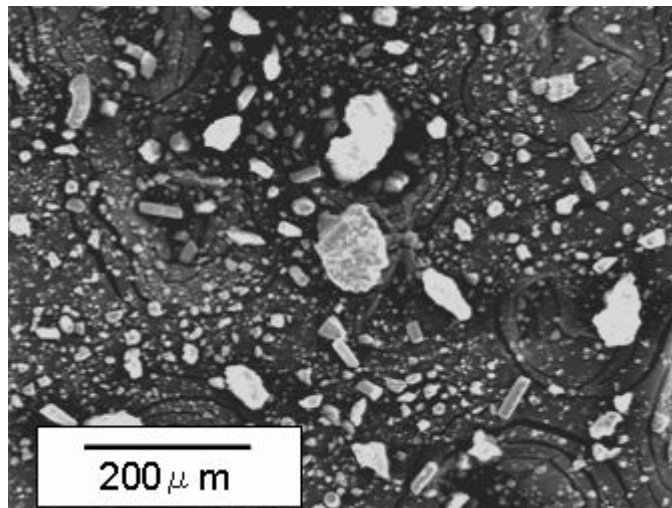


図 4 小型振動ミルによる処理品

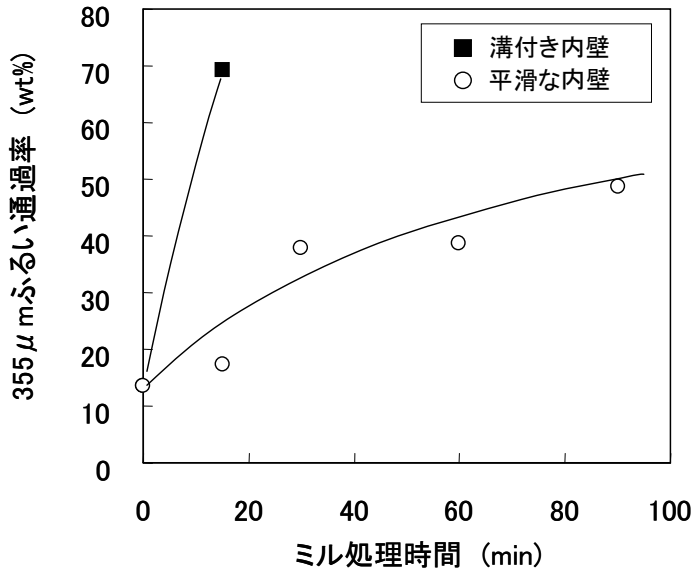


図 5 小型摩砕ミル容器の内壁の形状がガラス繊維の分離に及ぼす影響

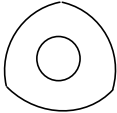
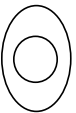
ローター回転軸	横型(水平軸)		壁面加工	平滑、溝付き 各1
ローター径	100mm		材質	ローター: CIX(高クロム 鑄鉄) 容器: SKD-11 蓋: SUS304
ローター形状	(ガラス繊維分離用) T型 先端部3箇所- 120度毎		壁面⇨ローター間の クリアランス	4mm
	(粒子複合化用) S型 先端部2箇所- 180度毎		壁面⇨ローター間の 有効容積	約400cc
			空間容積	約510cc
ローター長さ	125mm (ローター1個の幅25mm×5)		ローター回転速度	インバータ変速 (主要な速度: 1000rpm)
			モーター定格動力	15kW

図 6 試作した複合廃材処理装置の主な仕様

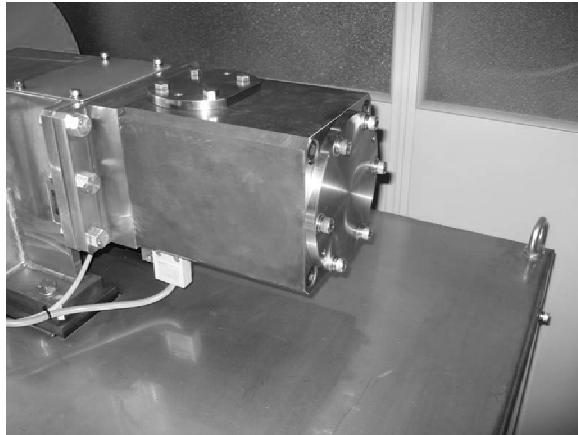


図7 複合廃材処理装置の外観形状

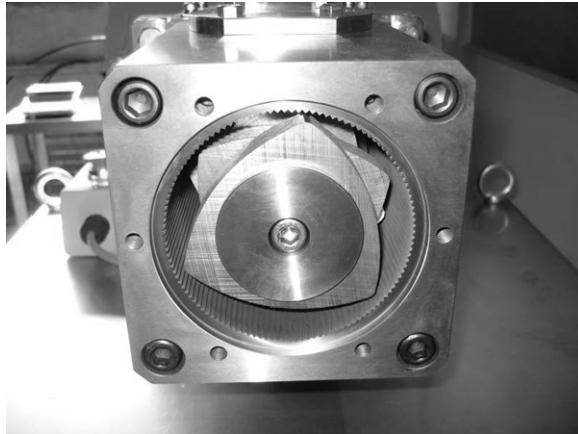


図8 ガラス繊維とマトリックスの分離に使用したローターの形状（図7を断面方向から撮影）

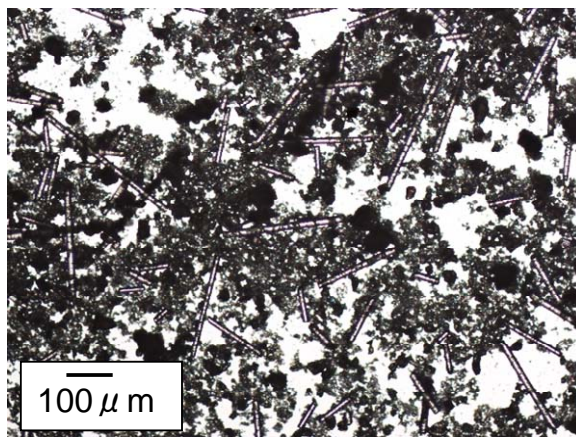


図9 図7,8に示す装置による処理品の光学顕微鏡写真の例

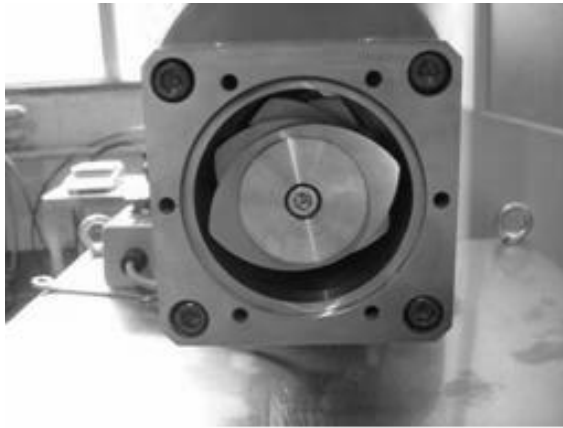


図 10 ナノ粒子複合化用に試作したローターの形状 (図 7 を断面方向から撮影)

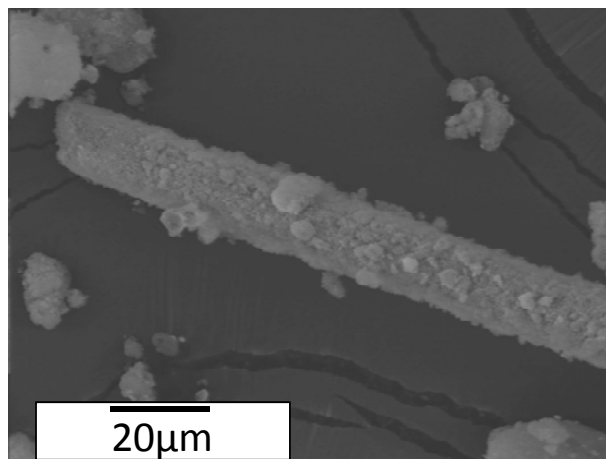


図 11 シリカナノ粒子を被覆した複合粒子の SEM 写真

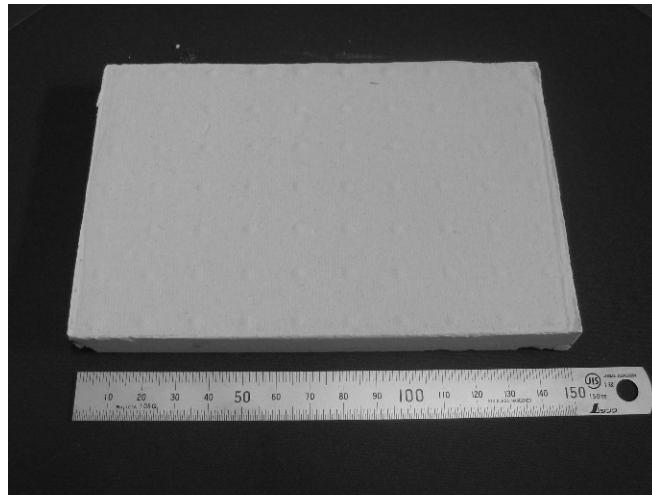


図 12 成形体の写真 (密度 340kg/m³)

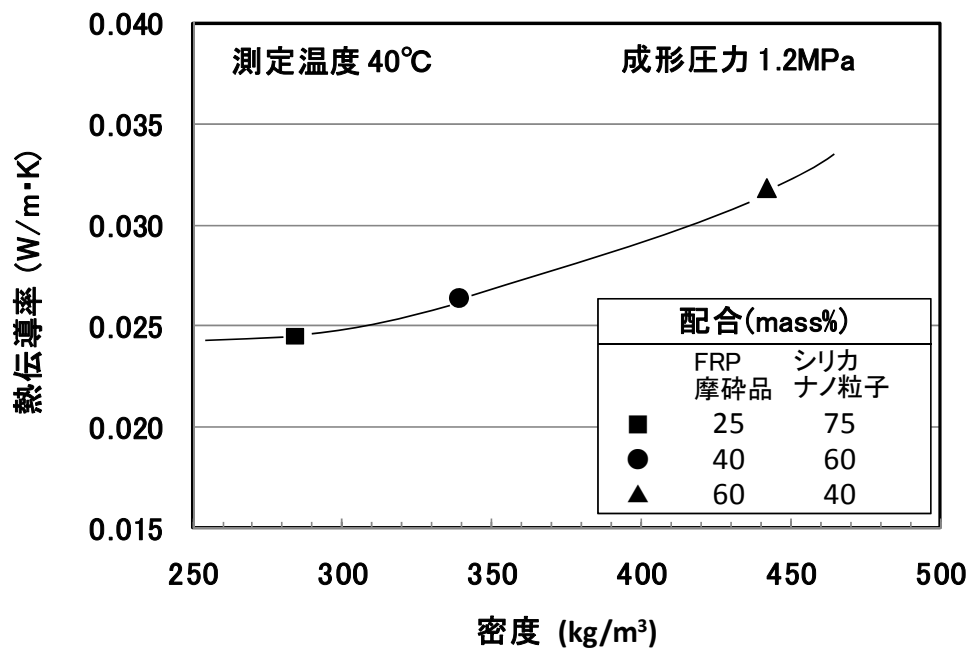


図 13 熱伝導率と成形体密度との関係

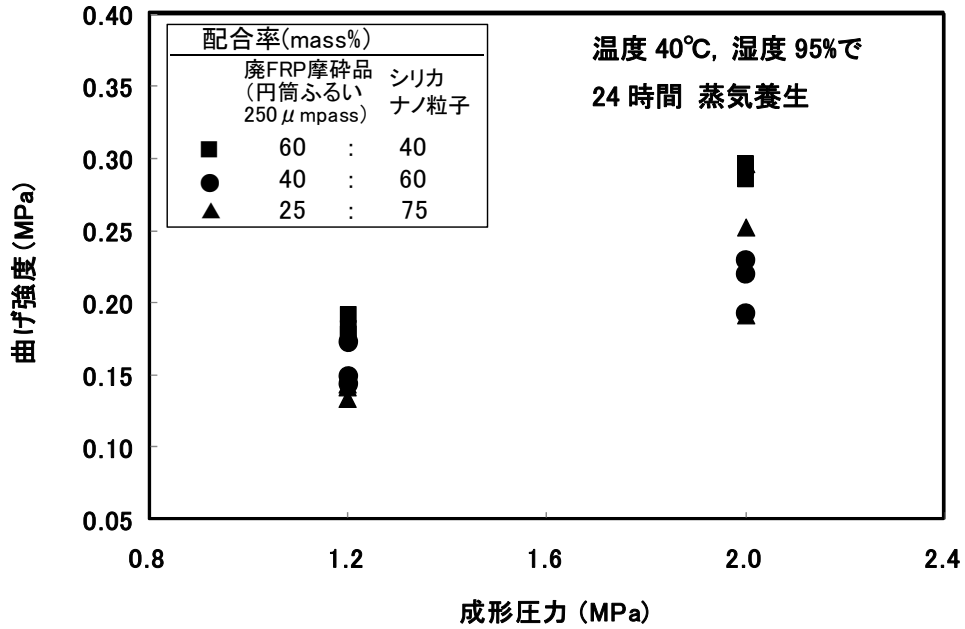


図 14 成形体強度と成形圧力との関係

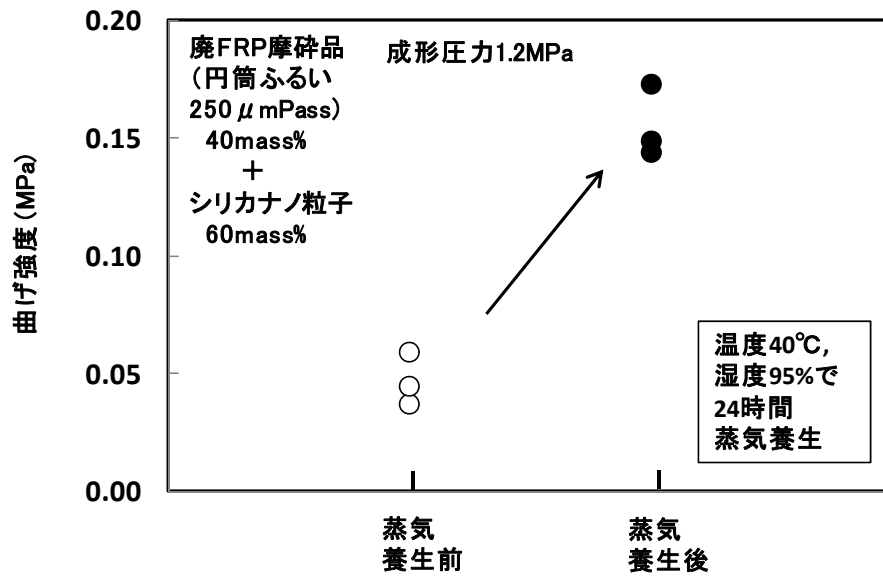


図 15 成形体強度と蒸気養生との関係