

NISSAN
MOTOR CORPORATION

**自動車リサイクル収支余剰金を活用した個社自主事業
2024年度事業報告**

**2025年9月
日産自動車株式会社**

FY24リサイクル支援事業一覧

<自社リサイクル支援事業一覧>

アイテム名 (3件)	委託先	期間 (FY)	費用 (百万円)
1. 軽量化材料のリサイクル技術開発			
CFRPリサイクルランダムシート化と樹脂再利用技術	学校法人金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター	2024	35
2. 廃車段階におけるカーボンニュートラル			
ASRサーマルリサイクル排出CO ₂ の樹脂化技術	国立大学法人 東北大学	2024	10
3. 廃車由来樹脂の原料化			
廃プラスチックの有価物化技術	国立大学法人 九州大学	2024	25

1. 軽量化材料のリサイクル技術開発

実施者	学校法人金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター	期間	2024年5月～2025年3月
-----	---------------------------	----	-----------------

背景

これまでCFRPのリサイクルについては、炭素繊維が高価であることから、廃車から回収されたCFRPから樹脂を除去し、炭素繊維をいかに高品質に回収することが課題とされてきた。しかし、近年ではカーボンニュートラルの観点から、炭素繊維のみならず、樹脂の再生利用も注目され研究開発が進んでおり、また炭素繊維においては、CFRPに成形加工される前の工程端材の有効活用が求められている。

24年度課題

1. CFRPリサイクルランダムシート化技術

廃車から回収されたリサイクル炭素繊維不織布(以下rCF不織布)の特性を活かし、製造工程でドライ基材を切断する際に発生する工程端材との組み合わせシート化する、再製品化リサイクル方法の技術検討と物性評価を実施する。

2. 樹脂再生利用化技術

再生可能な樹脂材料を用いたCFRPの分解プロセスを検証、再生樹脂材料の課題を明確化する。

24年度結果

1. CFRPリサイクルランダムシート化技術

<プリフォーム(成形前の炭素繊維積層)工程>

CFRP成形前の工程端材を短冊裁断し、均一積層したランダム積層材に加えて、ランダム材の厚さの不均一を緩和するため、廃車から回収されたrCF不織布を組み合わせたランダムシートをロボット自動積層機を用いて4パターン作成した。

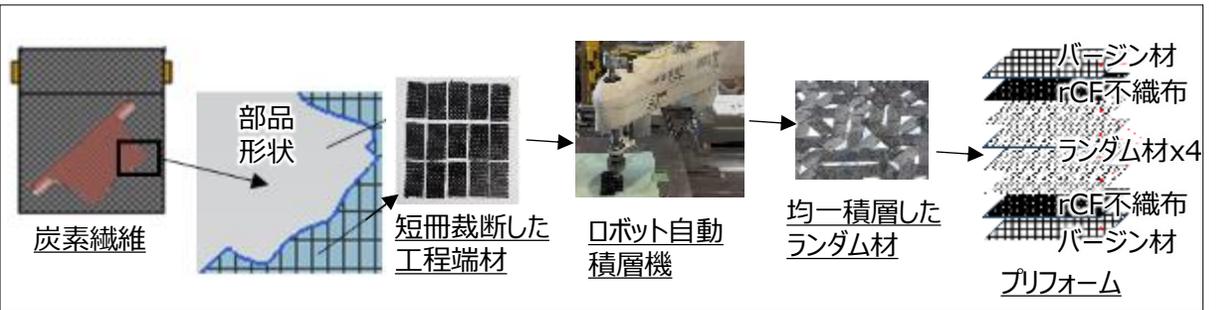


図1.プリフォーム工程の流れ

表1.プリフォーム積層パターン

基準	試作①	試作②	試作③	試作④
バージンのみ	バージン+ rCF不織布+ ランダム	ランダム+ rCF不織布	rCF不織布+ ランダム	整列+ rCF不織布

<成形工程>

量産性に優れたHP-RTM法(※)による平板成形を行った。



図2.HP-RTM装置

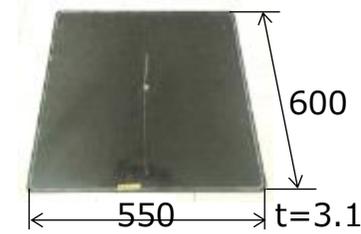


図3.平板成形品寸法

※HP-RTM法
金型内にセットした繊維に
樹脂を注入・含浸させる
成形法

1. 軽量化材料のリサイクル技術開発

実施者	学校法人金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター	期間	2024年5月～2025年3月
-----	---------------------------	----	-----------------

<成形品 外表面評価>

外観については、懸念していた全てのパターンにおいてツール面が転写され良好な結果が得られた。特に試作②では最外層をカットテープのランダム層としたため、樹脂リッチ部の引けによる工程端材パターンによる凹凸が懸念されたが、表面の凹凸は観察されなかった。

表2.成形品 外表面評価結果

	基準	試作①	試作②	試作③	試作④
成形外観					
外観拡大					
3D計測 (0.25分解能)					
3D計測 (0.02分解能)					
断面					

<成形品 物性評価>

成形品から曲げ試験用の試験片を切り出し、曲げ試験(JIS K7074)を実施した。

- 基準と試作①の比較では、強度、弾性率ともにほぼ同等の値となった。
- 試作②、試作③については、試作①より弾性率、強度ともに低くなり、特に再外層が不織布の試作③では弾性率が大幅に低下した。工程端材の端部が破壊の起点となっていると考えられる。
- 試作④については、弾性率は基準より高い値となった。工程端材を整列させ、外層に3 Plyずつ合計6 Plyの積層構成となっているため弾性率は基準を上回る結果となった。

表3.成形品 物性評価(曲げ評価)結果

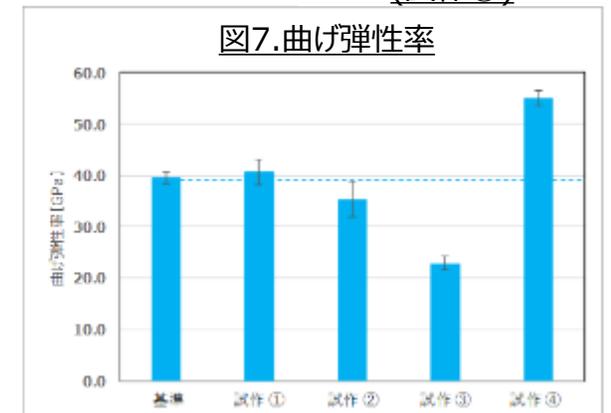
	曲げ強度		曲げ弾性率	
	平均(Mpa)	標準偏差	平均(Gpa)	標準偏差
基準	652.6	31.6	39.5	1.1
試作①	674.2	46.8	40.6	2.4
試作②	399.2	12.9	35.4	3.5
試作③	373.9	15.4	22.9	1.4
試作④	517.8	41.8	55.1	1.4



図4.曲げ評価サンプル



図5.曲げ評価後の表面(試作③)



1. 軽量化材料のリサイクル技術開発

実施者	学校法人金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター	期間	2024年5月～2025年3月
-----	---------------------------	----	-----------------

2. 樹脂再生利用化技術

近年CO₂排出削減やクローズドリサイクルの観点から、燃焼または分解による廃棄をしない、再利用を目的とした易分解性エポキシが開発され、風力発電ブレードへの採用がすすんでいる。本研究ではその樹脂を用いて分解性を検証した。

<成形品 分解性検証>

成形したCFRP板をメーカー指定の分解液、分解条件により分解性を検証した。

- ・開始から8時間観察した結果、分解液の色が濃くなり、分解が進行していることが推測された。
- ・分解後回収した繊維を洗浄し、250℃で乾燥したところ、樹脂の残渣物が炭化したことから、完全に繊維と樹脂を分解はされておらず、さらなる検討が必要であることがわかった。



図8.分解作業の状況

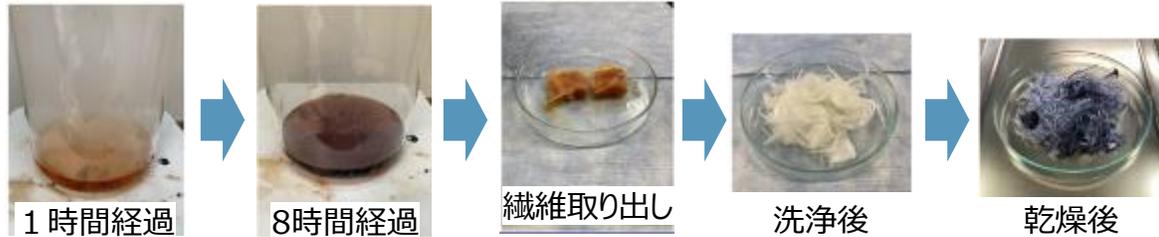


図9.分解性評価

まとめ

- ・工程端材の活用技術では従来の不織布ではなくバージン材の性能を生かすため、カットテープでのプリフォームを検討した。
- ・カットテープは比較的テープ厚が厚いため、樹脂の含浸性が悪化し、テープ端部の段差が破壊の起点となることが懸念されたが、廃車から回収されたリサイクル不織布との組合せにより、テープ端部の段差を補填する作用があり、バージン材と同等の性能が確認できた。



図10.工程端材シート+リサイクル不織布の成形性/物性への影響

- ・易分解性エポキシ樹脂の検証については、少量サンプルのため定量的な検証までは至っていないが、一定の分解性能は確認できた。

2. 廃車段階におけるカーボンニュートラル

実施者	国立大学法人 東北大学	期間	2024年7月～2025年3月
-----	-------------	----	-----------------

目的

自動車シュレッダーダスト（Automobile shredder residue : ASR）のサーマルリサイクル時の排ガスに含まれるCO₂を樹脂原料などの有価物へ変換することを目的とし、環境負荷が低い電気化学的CO₂還元反応活性が高い触媒種を探索する。

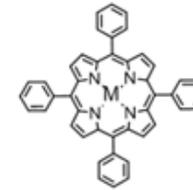
24年度課題

活性点の構造と機能の関係を明らかにすることを目的の1つとし、分子触媒を採用した。特に金属錯体は中心金属と配位子の組み合わせにより分子設計が可能であり、中でも構造設計自由度が大きい金属ポルフィリン錯体をベースに電気学的CO₂の還元反応特性を検討した。中心金属にはCO₂の還元反応に活性に高いと考えられるNi、Co、Cuを用いた。

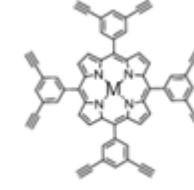
24年度結果

1. 導電性担体の選定

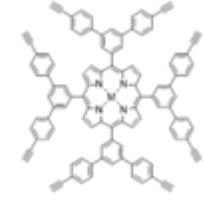
金属錯体は、中心金属と配位子の組み合わせによって反応性を精密にチューニング可能であり、電子供与性、立体障害、水素結合性などの分子設計パラメータを自在に変化させることで、特定の反応経路や中間体を選択的に安定化させることが可能である。中でも、金属ポルフィリン錯体は、生体触媒であるヘム酵素に類似した構造を持ち、中心金属と大環状n共役配位子の相互作用によって多様な電子状態をとることができる。さらに、ポルフィリン環への周辺置換基の導入、中心金属の変更、配位子環境の改変といった多角的な構造修飾が可能であり、極めて高い設計自由度を有している。近年の研究において、コバルトポルフィリンや鉄ポルフィリンをベースとした錯体がCO₂を選択的にCOに還元できることが報告されており、分子触媒としての高いポテンシャルが示されている。このような理由から様々な導電性担体が考えられえる（図1）。今回は金属錯体/導電性錯体の組み合わせが可能な3種を選定した。



M: Ni, Co
M-TPP



M: Ni, Co, Cu
M-P_8e



M: Ni, Co, Cu
M-P_3p_8e

図1. 金属/導電性担体

2. CO₂還元反応に優れた金属/導電性担体探索

各触媒の性能はファラデー効率で示し、一定量の電子を投入した際に生成する反応物の収率で比較した。金属種、担体の違いにより反応性や生成物の収率に違いが生じることを見出した。金属種にCoを用いた際にCO₂の還元反応が進行し、担体にポルフィリンを用いることで、水の還元反応が抑制されることが確認できた（表1）。

2. 廃車段階におけるカーボンニュートラル

実施者	国立大学法人 東北大学	期間	2024年7月～2025年3月
-----	-------------	----	-----------------

表1. 各触媒におけるCO₂からのCO生成反応特性

導電性担体 配位金属種	M-TPP (テトラフェニルポルフィリン)	M-P_8e (ポルフィリン_8エチニル)	M-P_3p_8e (ポルフィリン_3フェニル_8エチニル)
Ni			
Co			
Cu	未反応		

まとめ

CO₂からCOへの反応は遷移金属としてCoを用い、導電性担体にはポルフィリンを用いることで高いファラデー効率が得られることが確認できた。特に、導電性担体をポルフィリンとすることで、生成物として100%のCOが得られることが確認できた。

【今後の展望】

COの還元反応に有効な触媒種についても同様の触媒検討を行い、CO₂の還元反応との両立を可能にする触媒システムを確立することで、高効率なCO₂からの樹脂原料などの有価物化が実現できる。

3. 廃車由来樹脂の原料化

実施者	国立大学法人 九州大学	期間	2024年7月～2025年3月
-----	-------------	----	-----------------

目的

本研究では、自動車破碎残渣（モデル物質）と担持金属触媒の混合物にマイクロ波を照射することで、CO₂を排出することなく水素を選択的に得るための触媒開発および反応条件の最適化を行う。

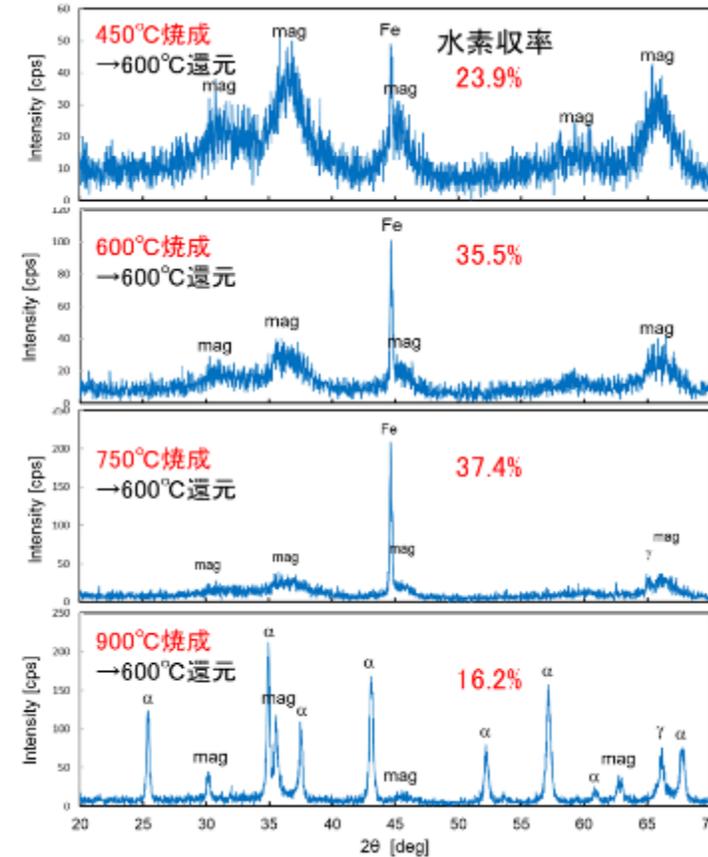
24年度課題

自動車破碎残渣のモデル樹脂としてポリプロピレン（PP）を用いたマイクロ波照射反応実験を行い、①Fe系触媒、②Ni系触媒の反応特性を評価するとともに、③他金属・他担体・他樹脂についても評価する。

24年度結果

1. アルミナ担持 Fe 系触媒の検討

Fe触媒は水素還元前処理を行った方が水素生成能が向上した。水素還元前の結晶相はヘマタイト相が主であったが、水素還元後にはマグネタイト相と金属鉄相の共存状態となった。後者の触媒の方が、温度上昇が容易で、かつ水素生成能も高かった。これはマグネタイト相がマイクロ波を吸収して触媒温度を上昇させ、Fe金属相が分解反応を起こすためと考えられる。両機能がバランス良く共存している状態が良い触媒と考えられるが、Fe系触媒ではそれほど高い水素生成活性は得られなかった。



焼成温度を変えた20mol%-Fe/AlO_x触媒のXRDパターンと得られた水素収率

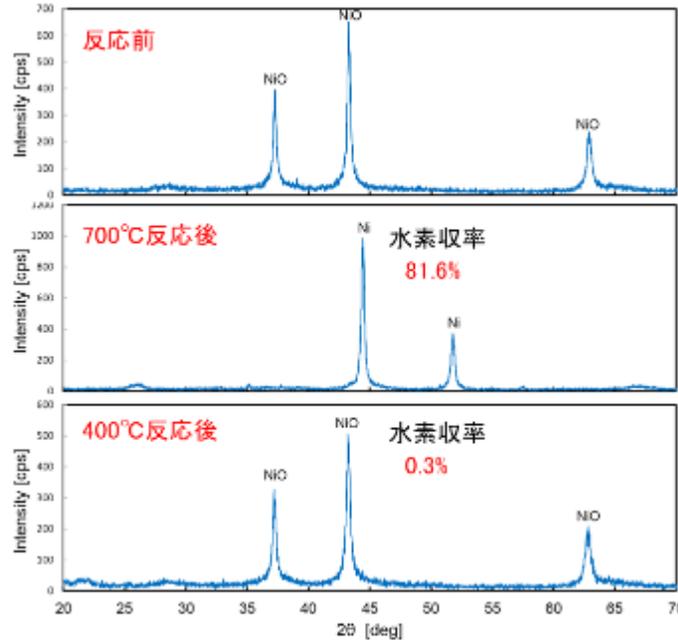
3. 廃車由来樹脂の原料化

実施者	国立大学法人 九州大学	期間	2024年7月～2025年3月
-----	-------------	----	-----------------

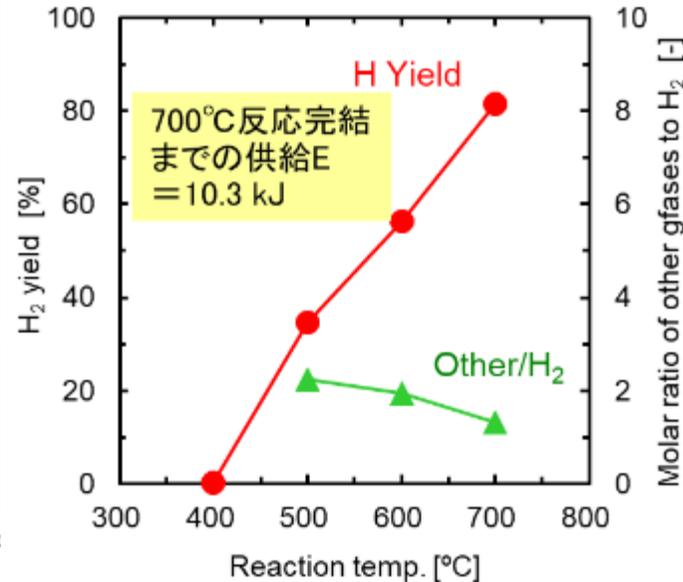
2. アルミナ担持 Ni 系触媒の検討

Feよりも炭素固溶能の高いNi触媒の検討を行った。Ni触媒は、酸化状態の触媒の方が高い性能を示したが、反応中にNiの還元が起こっていた。その還元が起こらなかった触媒はPP分解活性を示さなかったため、PP分解の活性点が金属Niであることがわかった。

Ni触媒の触媒調製法、焼成温度、Ni担持量、反応温度などの影響を調べた結果、80%を超える水素収率を得ることに成功した。



50 mol%-NiO/AlO_x触媒の反応前後のXRDパターンと得られた水素収率



混練法 50 mol%-NiO/AlO_x触媒の水素収率と他ガス生成比の反応温度依存性

3. 他金属・他担体・他樹脂の検討

Fe、Ni以外の金属種としてCo触媒の検討も行った。Co触媒は、Fe触媒と同様に水素還元後に高活性を示した。その活性はNi触媒とFe触媒の中間的なものであった。担体種の違いは大きくなかったが、TiO₂担体を用いた場合のみ試料温度が上がりにくくなり、水素収率も低くなった。PP以外の樹脂として、ABS樹脂およびポリカーボネート (PC) の分解反応も行った。水素収率はPP > ABS > PC の順であった。

まとめ

マイクロ波照射による担持金属触媒上でのポリプロピレンの分解反応を行い、Ni触媒を最適化することで最大で80%以上の水素収率を得ることに成功した。また、触媒種の選定、触媒の調製条件、反応条件などに関する指針を得ることができた。

【今後の展望】

遷移金属にマイクロ波照射することで、樹脂から高い収率で水素が得られることを確認した。今後は水素生成に有効な温度 (700°C) での触媒活性を維持するために、触媒の耐熱性を向上することが必要である。

FY24リサイクル高度化実施事業公開状況

➤ 日産自動車ホームページ https://www.nissan-global.com/JP/SUSTAINABILITY/ENVIRONMENT/A_RECYCLE/R_FEE/SAISHIGEN/

| 6. リサイクル高度化実施事業

リサイクル高度化実施事業のアイテムは、下記の通りです。

軽量化材料のリサイクル技術開発		
・CFRPリサイクルランダムシート化と樹脂再利用技術	概要	詳細報告書
廃車段階におけるカーボンニュートラル		
・ASRサーマルリサイクル排出CO2の樹脂化技術開発	概要	詳細報告書
廃車由来樹脂の原料化		
・廃プラスチックの有価物化技術	概要	詳細報告書