



炭素繊維強化プラスチックのリサイクルに関する研究

東広商事株式会社
ツネイシカムテックス株式会社
広島県立総合技術研究所西部工業技術センター
広島大学大学院工学研究院

粟屋正和（研究代表者）・高橋俊宏
水上正善
下原伊智朗・田平公孝・武田正良
中井智司

1. 研究の背景

炭素繊維は、軽くて腐食しない21世紀型の先端機能材料と言われており、優れた機械的性質と炭素質から来る特性を併せ持つため色々な用途(航空機、自動車部品、土木建築部材、印刷機等)に幅広く使われている。世界需要も2015年で6万トンが、2020年には14万トンの需要が見込まれている。

今後、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の不良品、製造残渣、廃棄される使用製品等が多量に排出されるてくることが予測されるが、こうした廃棄物のリサイクル技術、リサイクル体制については開発途上にある。

2. 研究目的

近年、航空機や自動車の素材として注目を集めている、鉄よりも軽量かつ強度の複合材料「炭素繊維強化プラスチック」について、今後、製造残渣や廃棄される使用製品等が多量に廃棄されることが予想されるため、その現状とリサイクル技術の動向を調査し、処理業者等が担うことができる役割、体制について検討を行うとともに、広島県内におけるリサイクルシステムの検討を行う。

3. 研究の成果

主要なマテリアルリサイクル業者等から13業者を選定し、調査協力を依頼したが、結果としてマテリアルリサイクル事業者3社、ケミカルリサイクル事業者1社、中間処理施設事業者1社から調査協力を得た。

調査件数は少ないが、事業の内容及びこれに基づく課題・展望は次の表のとおりである。

1. ヒアリング調査の結果(主にリサイクルシステム検討に関わる事項)

	A社	B社	C社	D社
CFRPリサイクルへの関わり	・2018年2月開始	・事業実施中	・2018年度本格開始	・ケミカルリサイクル
技術の概要	・2段階熱分解	・過熱水蒸気を利用した1段階熱分解	・過熱水蒸気を利用した2段階熱分解	・電気炉での燃焼処理
CFRPリサイクル関連情報	・自動車用廃材は、将来、九州北部地域で3,600t/年に達すると想定	・CFRPリサイクルではCFR元の素性が重要	・工程廃材は、自動車関係への用途を見込む ・退役廃材のリサイクルは難しい	・現在、事業として電気炉でCFRP廃材を処理しているのは全国でD社のみ(D社見解)
CFRP廃材の受け入れ状況	・トレーサビリティの関係から、工程廃材のみを想定 ・関東以西4~5社、航空機用廃材が主	・航空機用の工程廃材で、東レPAN系高強度グレード1種類のみ	・トレーサビリティの関係から工程廃材のみ想定 ・現状は、自動車メーカー、航空機メーカー、CFメーカー等	・産業廃棄物として有償で受け入れ ・名古屋が多く、北陸、広島からも受け入れ ・ほぼ全てのCFRPが処理可能
CFRP廃材の受け入れ量(処理量)	・事業計画として2,000t/年	・最大3トン/月を受け入れ	・2,000t/年(処理能力として) ・現状40~50t/月(樹脂含む)	・処理量は、2016年度約600t、2017年度約800t
CFRP廃材の購入価格	・有償で購入 ・輸送費は自己負担	・有償で購入 ・輸送費は自己負担	・0円/kg~数十円/kgなど ・輸送費は自己負担	・有償で処理
リサイクルCF製品の概要	・樹脂コンパウンド(ペレット)を想定 ・自動車用パーツ用途を想定	・ミルドファイバー(長さ80μm)のみ ・製品は樹脂コンパウンド(ペレット)で、射出成型パーツ等へ用途展開	・主に繊維として出荷 ・樹脂コンパウンド(ペレット)は外注 ・用途は、長繊維では不織布等	・電気炉で焼却処理 ・将来的には、還元材としての効果を期待
リサイクル設備	・2018年2月より、パイロット工場を稼働	・加熱処理は自社 ・前処理としての破砕は、委託先が実施 ・自社一貫処理を計画	・破砕機は国内メーカー既製品。 ・最終的に1次加熱炉5千円/台、2次加熱炉1台~1億5千円/台、破砕機3千円/台(補助金数千万円)	・破砕機単体1億円、建屋、集塵機、付帯設備など含め約3億円 ・電気炉等のCFRP廃材を燃焼するため、事前の破砕処理(数cm程度)が必要 ・埋立処分費に対するケミカル・サーマルリサイクル費用の適正化
リサイクルCF製造量	・500~1,000t/年を想定	・現状1t/月	・現状の出荷量はCF単体で120t/月(24時間稼働)	・焼却炉の耐熱性向上、粉じん対策、燃焼効率向上等の設備対策 ・バージンCF製造に230MJ/kgの多大なエネルギーを要するため、マテリアルリサイクルを優先する必要性あり
リサイクルCF価格	・単価1,000円/kg以下で試算	(不明)	・アルミと同等、バージン材の1/3等	・ケミカル・サーマルリサイクルの課題・展望

2. CFRPリサイクルの課題・展望

項目	マテリアルリサイクルの課題・展望
廃材回収	・CFRP廃材の回収量の安定的かつ継続的な確保 ・CFRP廃材の回収システムの確立(分別回収方策、回収事業者団体・集積拠点等)
安全性	・破砕時の粉じん対策ならびに作業安全性の確保
廃材要件	・CFRP工程廃材の素性、トレーサビリティ等の確保(標準規格化の導入の可能性もあり) ・CF廃材の単一性の確保(構造が複雑なCFRPは、リサイクル用途が限定的) ・退役廃材のリサイクル用途の確保 ・低グレードCF工程廃材のリサイクル用途の確保 ・廃材回収技術の向上による溶解炉のエネルギー効率向上
事業性・設備面	・リサイクル製品の顧客や用途の安定的かつ継続的な確保 ・競合する既存製品に対する競争力の確保 ・リサイクル技術の展開(先行企業の特許によるリサイクル技術の囲い込み) ・リサイクル過程での熱分解によるCF強度の低下
技術面	・マテリアルとしてのリサイクル回数向上(リサイクルの過程で繊維長が短くなり、用途が限定的となる) ・リサイクルCFの繊維の方向性や繊維長分布の均一化技術の確立

項目	ケミカル・サーマルリサイクルの課題・展望
廃材回収	・CFRP廃材の回収量の安定的かつ継続的な確保 ・CFRP廃材の回収システムの確立(分別回収方策、回収事業者団体・集積拠点等)
安全性	・破砕時の粉じん対策ならびに作業安全性の確保(破砕時のカーボンライに対する安全性の確保)
廃材要件	・コークスの代替材として定量的に評価するためには、廃材の素性を把握する必要がある ・電気炉等でCFRP廃材を燃焼するため、事前の破砕処理(数cm程度)が必要 ・埋立処分費に対するケミカル・サーマルリサイクル費用の適正化
事業性・設備面	・電気炉等のCFRP廃材の燃焼設備の確保(電気炉を所有する企業が限定的) ・焼却炉の耐熱性向上、粉じん対策、燃焼効率向上等の設備対策 ・バージンCF製造に230MJ/kgの多大なエネルギーを要するため、マテリアルリサイクルを優先する必要性あり
技術面	・コークスの代替材(還元材、加炭材)としての定量的な評価

4. リサイクル事業に係る推移

調査結果から得られた知見を基に、広島県におけるCFRPリサイクルのビジネスモデルを想定した結果は次のとおりである。

1. マテリアルリサイクル (リサイクル施設:加熱炉を含む。)

ケーススタディ1(リサイクルCF販売費500,000円/tの場合)

CFRP処理量	検討ケース(バリエーション)	100 t/年 0.3 t/日	500 t/年 1.7 t/日	1,000 t/年 3.3 t/日	1,500 t/年 5.0 t/日
初期投資	設備費	330,000千円	380,000千円	480,000千円	530,000千円
	補助(1/3)	110,000千円	126,667千円	160,000千円	176,667千円
	投資額	220,000千円	253,333千円	320,000千円	353,333千円
	耐用年数	10年	10年	10年	10年
収入	CF販売費(75万円/t)	37,500千円/年	187,500千円/年	375,000千円/年	562,500千円/年
	合計	37,500千円/年	187,500千円/年	375,000千円/年	562,500千円/年
支出	CFRP廃材取得費	2,000千円/年	10,000千円/年	20,000千円/年	3,000千円/年
	人件費	10,200千円/年	10,200千円/年	15,300千円/年	20,400千円/年
	エネルギー費	2,200千円/年	11,000千円/年	33,000千円/年	22,000千円/年
	メンテナンス費	33,000千円/年	38,000千円/年	48,000千円/年	53,000千円/年
	減価償却	22,000千円/年	25,333千円/年	32,000千円/年	35,333千円/年
	租税公課	2,772千円/年	3,192千円/年	4,032千円/年	2,772千円/年
	一般管理費	7,500千円/年	37,500千円/年	75,000千円/年	112,500千円/年
	合計	79,672千円/年	135,225千円/年	216,332千円/年	261,685千円/年
	営業利益	-42,172千円/年	52,275千円/年	158,668千円/年	300,815千円/年
	法人税	0千円/年	20,910千円/年	63,467千円/年	120,326千円/年
税引き後利益	-42,172千円/年	31,365千円/年	95,201千円/年	180,489千円/年	

ケーススタディ2(リサイクルCF販売費750,000円/tの場合)

CFRP処理量	検討ケース(バリエーション)	100 t/年 0.3 t/日	500 t/年 1.7 t/日	1,000 t/年 3.3 t/日	1,500 t/年 5.0 t/日
初期投資	設備費	330,000千円	380,000千円	480,000千円	530,000千円
	補助(1/3)	110,000千円	126,667千円	160,000千円	176,667千円
	投資額	220,000千円	253,333千円	320,000千円	353,333千円
	耐用年数	10年	10年	10年	10年
収入	CF販売費(75万円/t)	37,500千円/年	187,500千円/年	375,000千円/年	562,500千円/年
	合計	37,500千円/年	187,500千円/年	375,000千円/年	562,500千円/年
支出	CFRP廃材取得費	2,000千円/年	10,000千円/年	20,000千円/年	3,000千円/年
	人件費	10,200千円/年	10,200千円/年	15,300千円/年	20,400千円/年
	エネルギー費	2,200千円/年	11,000千円/年	33,000千円/年	22,000千円/年
	メンテナンス費	33,000千円/年	38,000千円/年	48,000千円/年	53,000千円/年
	減価償却	22,000千円/年	25,333千円/年	32,000千円/年	35,333千円/年
	租税公課	2,772千円/年	3,192千円/年	4,032千円/年	2,772千円/年
	一般管理費	7,500千円/年	37,500千円/年	75,000千円/年	112,500千円/年
	合計	79,672千円/年	135,225千円/年	216,332千円/年	261,685千円/年
	営業利益	-42,172千円/年	52,275千円/年	158,668千円/年	300,815千円/年
	法人税	0千円/年	20,910千円/年	63,467千円/年	120,326千円/年
税引き後利益	-42,172千円/年	31,365千円/年	95,201千円/年	180,489千円/年	

2. ケミカルリサイクル (リサイクル施設:電気炉を除く。)

ケーススタディ1(処理費100,000円/tの場合)

CFRP処理量	検討ケース	100 t/年 0.3 t/日	500 t/年 1.7 t/日	1,000 t/年 3.3 t/日	1,500 t/年 5.0 t/日
初期投資	設備費	90,000千円	90,000千円	150,000千円	150,000千円
	補助(1/3)	30,000千円	30,000千円	50,000千円	50,000千円
	投資額	60,000千円	60,000千円	100,000千円	100,000千円
	耐用年数	10年	10年	10年	10年
収入	処理費(10万円/t)	10,000千円/年	50,000千円/年	100,000千円/年	150,000千円/年
	合計	10,000千円/年	50,000千円/年	100,000千円/年	150,000千円/年
支出	人件費	5,100千円/年	10,200千円/年	10,200千円/年	15,300千円/年
	エネルギー費	1,600千円/年	3,200千円/年	4,900千円/年	6,500千円/年
	メンテナンス費	15,000千円/年	15,000千円/年	25,000千円/年	25,000千円/年
	減価償却	6,000千円/年	6,000千円/年	10,000千円/年	10,000千円/年
	租税公課	756千円/年	756千円/年	1,260千円/年	1,260千円/年
	一般管理費	2,000千円/年	10,000千円/年	20,000千円/年	30,000千円/年
	合計	30,456千円/年	45,156千円/年	71,360千円/年	88,060千円/年
	営業利益	-20,456千円/年	4,844千円/年	28,640千円/年	61,940千円/年
	法人税	0千円/年	1,938千円/年	11,456千円/年	24,776千円/年
	税引き後利益	-20,456千円/年	2,906千円/年	17,184千円/年	37,164千円/年

ケーススタディ2(処理費150,000円/tの場合)

CFRP処理量	検討ケース	100 t/年 0.3 t/日	500 t/年 1.7 t/日	1,000 t/年 3.3 t/日	1,500 t/年 5.0 t/日
初期投資	設備費	90,000千円	90,000千円	150,000千円	150,000千円
	補助(1/3)	30,000千円	30,000千円	50,000千円	50,000千円
	投資額	60,000千円	60,000千円	100,000千円	100,000千円
	耐用年数	10年	10年	10年	10年
収入	処理費(15万円/t)	15,000千円/年	75,000千円/年	150,000千円/年	225,000千円/年
	合計	15,000千円/年	75,000千円/年	150,000千円/年	225,000千円/年
支出	人件費	5,100千円/年	10,200千円/年	10,200千円/年	15,300千円/年
	エネルギー費	1,600千円/年	3,200千円/年	4,900千円/年	6,500千円/年
	メンテナンス費	15,000千円/年	15,000千円/年	25,000千円/年	25,000千円/年
	減価償却	6,000千円/年	6,000千円/年	10,000千円/年	10,000千円/年
	租税公課	756千円/年	756千円/年	1,260千円/年	1,260千円/年
	一般管理費	2,000千円/年	10,000千円/年	20,000千円/年	30,000千円/年
	合計	31,456千円/年	50,156千円/年	81,360千円/年	103,060千円/年
	営業利益	-16,456千円/年	24,844千円/年	68,640千円/年	121,940千円/年
	法人税	0千円/年	9,938千円/年	27,456千円/年	48,776千円/年
	税引き後利益	-16,456千円/年	14,906千円/年	41,184千円/年	73,164千円/年