

## 1. 技術開発の目的と開発内容

### 1. 1 技術開発によって達成すべき目標

本技術開発における目標は、ガラス繊維補強プラスチックと同等以上の性能と 20%以上のコストダウンを最低の目標とする。具体的目標値は、成形方法、配合量等により異なるが、ボード廃材と PP ベースの容り樹脂配合のコンパウンドで、以下の通りである。

#### ◆性能目標（射出成型体として）

- ・ 曲げ強度 70MPa 以上、弾性率 6GPa 以上

#### ◆コンパウンド販売価格

- ・ 180 円/kg 以下となる生産性を維持できるシステム構築を確立

この性能目標を実現するために、多分岐化ファイバー合成時に FRP 廃材を利用し効率的にフィブリルを形成させるとともに（図 1-1）、FRP 廃材をフィブリル表面にメカニカルアロイすることで（図 1-2）プラスチックとの相溶性を高める。また、コンパウンド販売価格目標を達成するために、これら多分岐ファイバー合成～メカニカルアロイ～コンパウンドまで連続したシステムを構築する。

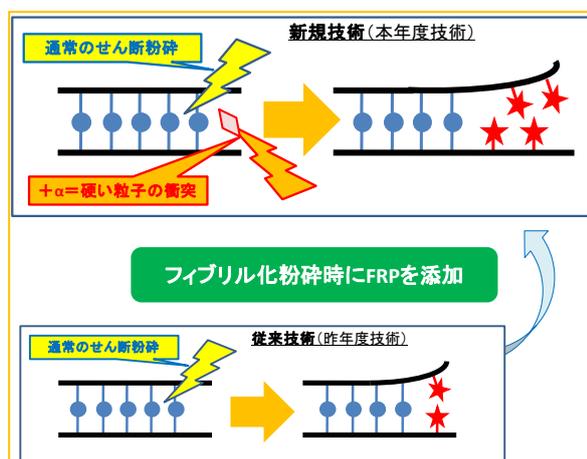


図 1-1 FRP 廃材を利用した多分岐ファイバー合成イメージ図

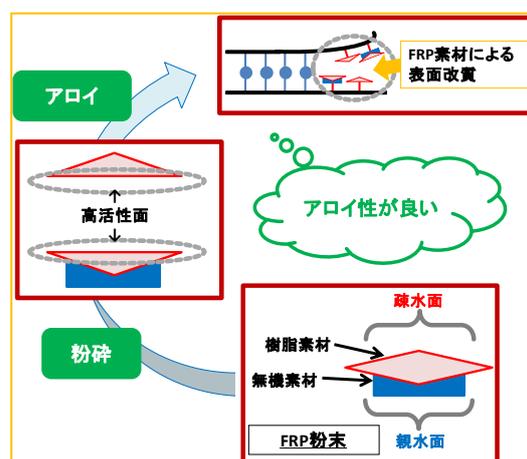


図 1-2 FRP 廃材を利用したメカニカルアロイイメージ図

## 1. 2 開発内容

### 1. 2. 1 実証設備の規模及び設置基数

ユーザーワーク等のサンプル作成やコスト試算をするためには、ある程度の量産性評価をする必要があり、200 kg/時間レベルの実証設備を配置した。図 1-3 には実証設備を利用した工程のフロー図を示す。

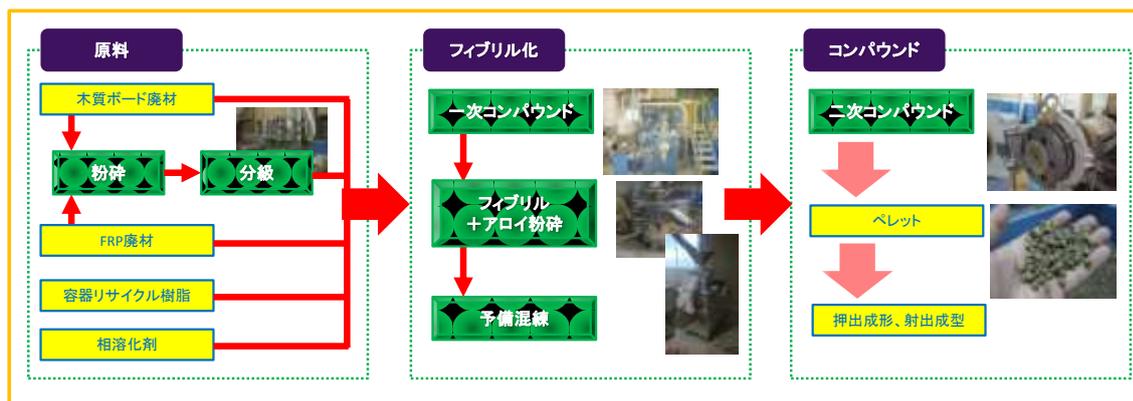


図 1-3 実証設備工程フロー図

表 1-1 には、各実証設備の規模及び設置基数を示す。これら実証検証に用いた設備は、既存の設備も利用しているので、備考欄にその旨を記載している。

表 1-1 実証設備の規模、設置基数

工程	設備名	使用目的	設備能力	設置基数	備考
原料	粉碎設備	木質ボード廃材及びFRP廃材を所定の粒度まで粉碎する設備	250kg/hr	1基	既存設備
	分級装置	FRP廃材の分級	200kg/hr	1基	本技術開発導入設備
ファイブリル化	一次コンパウンド装置	木質ボード廃材粉末と容器リサイクル樹脂の一次熔融混練	200kg/hr	1基	既存設備
	ファイブリル化装置	一次コンパウンドの木粉表面ファイブリル化及びアロイ	250kg/hr	1基	本技術開発導入設備
	混練装置	ファイブリル化コンパウンドの予備混練	200kg/hr	1基	本技術開発導入設備
コンパウンド	二次コンパウンド装置	コンパウンドとペレット形状への加工	250kg/hr	1基	既存設備

FRP 廃材は粉碎しても粒径の大きな材料が残留し、この大きな FRP 廃材が次工程以降での製

造不良及び製品になった際の強度低下につながるので、分級設備が必要となっている（0.6 mm以下の FRP 粉末が必要で、粉碎工程だけでは、1 mm強の残留物が残り、この残留物を除去するまで粉碎することは生産性に影響することから、分級して除去する方式を採択した）。フィブリル化装置は、一次コンパウンドのフィブリル化とメカニカルアロイを目的に導入し、FRP によるディスクの摩耗を防止するため、特殊コートしているディスクを利用している。混練装置は、フィブリル化後の一次コンパウンドの乾燥あるいはその他混和剤の添加等が必要なため、導入している。

## **1. 2. 2 処理対象廃棄物の種類**

本技術開発に使用する廃棄物は、木質ボード廃材、FRP 廃材で、廃棄物にはカウントされないが、容器リサイクル樹脂も生活系プラスチック廃材から再生した素材である。

### **①木質ボード廃材**

パーティクルボード、MDF 及び合板に代表される木質ボードから発生する廃材であり、化粧材や塗装等非金属素材で複合された加工木質ボードの廃材も含まれる。また、本技術開発では粉末化して使用するため、切削や研磨で発生し、チップや木質ボードへ再利用できない粉廃材も適応範囲となる。木質ボード廃材は、再度木質ボードへ還元する利用法は進められているが、その性状等制約は多い。一方、木質ボードに還元できない廃材（複合化されているものや粉状のもの）は、サーマルリサイクルに利用されるが、燃焼時に発生する接着剤等非木質成分由来の分解ガスの影響で、ペレットストーブ等利用できない分野も存在することは事実である。そこで、本技術開発では、最も利用が困難である複合化された状態（パーティクルボード、MDF 等）の廃棄物を評価対象の廃棄物とした。

### **②FRP 廃材**

FRP 廃材の有効利用法としては、セメントの原燃利用、樹脂成分からポリオール等の抽出など様々な利用がなされているが、発生が局在化しており、有効利用が産業として自立するためには、FRP 廃材の運搬収集システムが確立することが不可欠な利用法である。一方、マテリアル利用において、一部未使用の FRP（工場工程内廃材等バージン素材）において、再度 FRP に還元する実用例はあるが、使用後の廃棄物として発生した FRP 廃材は利用できない。70 年代ごろから住宅に使用していた FRP 部材（システムバス、浄化槽、人造大理石等）が、リフォームや解体で大量に廃棄物として発生することが予想される中、有効利用法の確立は急務である。そこで、本技術開発では、この住宅解体から発生する廃棄物（システムキッチン、システムバスからの FRP 廃材）を評価対象の廃棄物とした。

### 1. 2. 3 試験条件

#### ①原材料質

表 1-2 には、本技術開発に用いた代表的な原材料を示す。また、ブランク用として用いたバージン材料は、ウッドプラスチック等の汎用なフィラー充填プラスチックに用いた素材を利用した。

表 1-2 本技術開発に用いた原材料

原材料	材料	製造元	スペック	備考
木質ボード廃材	パーティクルボード	大倉工業	自社工程廃材、木粉サイズav.300 $\mu$	
木粉	針葉樹木粉	相模セルロシン	木粉サイズ150 $\mu$	ブランク用
樹脂	容器リサイクルPP樹脂	グリーンループ	市販品	
	容器リサイクルPE樹脂	グリーンループ	市販品	
	PP樹脂 (PM930V)	サンアロマ	ランダム系、MI=30	ブランク用
	PE樹脂 (HDB870)	旭化成ケミカルズ	高密度、MI=0.3	ブランク用
添加剤	変性PP樹脂 (Optipak300)	ハネウエル		
	変性PE樹脂 (Optipak200)	ハネウエル		

#### ②フィブリル化 (ラボ評価)

原材料を任意の配合に軽量、調整した後、ヘンシェル型ミキサ (図 1-4) を用い一次コンパウンドを合成した。ここでは、一次コンパウンド時点で FRP 廃材による木質ボード廃材の微細化が懸念されるため、ヘンシェル型ミキサを利用した。また、一次コンパウンドの条件は、表 1-3 に示すが、容器リサイクル樹脂が半溶融する状態を終点とした。



図 1-4 ヘンシェル型ミキサ

表 1-3 ヘンシェル型ミキサ試験条件

試験条件	
仕込み量	30L
回転羽根	高速せん断羽根
回転数	1500rpm
温度	160°C



図 1-5 遊星ボールミル

一次コンパウンドのフィブリル化におけるラボ検証は、遊星型ボールミル (図 1-5) を用いて実施した。遊星型ボールミルの回転数 (100rpm~250rpm)、時

間（1時間～8時間）を調整して、所定のフィブリル合成する条件を検証し、ラボ評価材料として利用した。

### ③フィブリル化（実証評価）

実証評価における一次コンパウンドは、ラボ評価と同じ設備条件で実証したため、ここでは割愛する。この一次コンパウンドに所定量の水分を添加し、フィブリル化装置（図 1-6）にてフィブリル化及びアロイ処理を回転数 1000～2500rpm、クリアランス 100～300  $\mu$  で実施した。

フィブリル化した一次コンパウンドを予備混練として混練バレル（図 1-7）を用い、2500rpm の回転速度で混練、脱水処理を実施した。この混練バレルは、高トルクを有したディスク状の粉砕機で、かさが高く含水により流動が極端に低いフィブリル化一次コンパウンドを予備混練するには最適な設備である。



図 1-7 予備混練

（混練バレル）



図 1-6 フィブリル化装置



図 1-8 ラボプラストミル

### ④コンパウンド（ラボ評価）

ラボ評価においては、予備混練を実施せず、各種条件でフィブリル化した一次コンパウンドをラボプラストミル（図 1-8）で、混練温度 190℃、回転数 50rpm で実施した。

ラボプラストミルでコンパウンド化した溶融混練物を 1 mm サイズに粉砕し、プレス成型及び射出成型にて機械的性能評価を実施した。

### ⑤コンパウンド（実証評価）

予備混練したフィブリル化一次コンパウンドを、異方向コニカル二軸押出成形機（図 1-9）にてコンパウンド化及びペレット形状に成形した。コンパウンド条件は表 1-4 に示す。



図 1-9 異方向コニカル二軸押出成形機

表 1-4 コンパウンド化条件

スクリーウ 温度	シリンダ温度					ダイス 温度
	シリンダ1	シリンダ2	シリンダ3	シリンダ4	アダプタ	
130	240	220	185	170	170	170

## ⑥生産性（コスト）評価

目標コストを評価するために、各種実証設備における生産性の評価を実証した。この時目標とする生産性は、200 kg/時間以上の生産量が確保できることを設備稼働条件とし、この条件でフィブリル化～コンパウンドした溶融混練物（量産品）を成形評価及び性能評価を実施した。

### 1. 2. 4 試験回数

#### ①ラボ評価

表 1-5 にはラボ評価による試験回数を示す。各評価に利用している設備の能力が異なるため、試験回数は異なっているが、基本的には、「原料調整～成形評価」まで一連の流れで評価している。また、7 月以降実証評価に移行しても、確認項目あついは改善評価等ラボ評価にてフィードバック検証をしている。

表 1-5 ラボ評価における試験回数

工程	試験概要	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
原材料	原材料の調整、配合計量等	-	7回	7回	-	1回	-	-	-	1回	1回
一次コンパウンド	ヘンシェル型ミキサを用いたコンパウンド	-	3回	3回	-	1回	-	-	-	1回	1回
フィブリル化	遊星ボールミルを利用したフィブリル化	-	3回	3回	-	1回	-	-	-	1回	1回
二次コンパウンド	ラボプラストミルを用いたコンパウンド	-	7回	7回	-	1回	-	-	-	1回	1回
成形	プレス成形	-	7回	7回	-	1回	-	-	-	1回	1回

#### ②実証設備検証

表 1-6 には、実証設備における試験回数を示す。10 月以降随時ユーザーワークを行いこの結果を踏まえ、各種条件検証を実施し、2 月に最終の量産実証を実施した。この量産実証品の性能検証及びコスト評価を 3 月に行った。

表 1-6 実証設備検証における試験回数

工程	試験概要	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
原材料	原材料の調整、配合計量等	-	2回	1回	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
一次コンパウンド	混練装置バレル設備を用いたコンパウンド	-	2回	1回	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
フィブリル化	ディスクミルを用いたフィブリル化処理	-	2回	1回	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
予備混練	せん断を利用した乾燥、混合	-	2回	1回	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
二次コンパウンド	押出機を利用したコンパウンド	-	2回	1回	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
成形	射出成型機を用いた成形	-	2回	-	2回	1回	1回	1回	2回	2回	-
	押出成型機を用いた成形	-	-	-	1回	-	1回	-	-	-	-
ユーザー評価	ユーザーによる評価	-	-	-	-	1回	1回	-	2回	2回	-

### 1. 2. 5 試料の分析項目・回数

本技術開発は、性能目標とコスト目標を設定している。性能目標に対する分析は、フィブリル化評価～成形体評価の各資料の分析を実施し、コスト目標に対する分析は主に量産評価を利用した生産性評価を実施した。また、性能分析は、ラボ評価も実証設備評価も同じ項目のため、ここでは統一して記載している。

表 1-7 にはフィブリル化～成形体評価における主な分析項目・回数を示す。フィブリル化においては、木質ボード廃材粉末の形状がポイントのため、粒度分析と SEM による光学的評価で検証を行った。また、強度発現のためには、フィブリルの相互作用が重要な因子であるため、粘弾性による貯蔵弾性率を評価した。コンパウンドにおいては、分散性と相溶性レベルが重要で、この評価としてシート化による可視的評価、IR 等の光学的評価及び DSC、MFR 等を利用した熱分析を実施した。成形体評価においては、目標性能でもある機械的特性の評価を実施したとともに、フィブリルの成形体における状態を考察するため耐久試験で確認した。

表 1-7 フィブリル化から成形体評価における分析項目・回数

試験項目		試験方法	試験回数
フィブリル化	粒度分布	光拡散粒度分布径を用い、フィブリル処理後の一次コンパウンドの粒度分布	5回
	SEM観察	FE-SEM(電子顕微鏡)によるフィブリル状態画像観察	4回
	粘弾性	コーンレオメーターを用い、プレート温度200℃	4回
コンパウンド	含水率	Ket水分計にて、100℃恒量まで加温したときの百分率	45回
	かさ比重	JIS K 6720-2に準拠	45回
	MFR	メルトインデクサーにて、シリンダー温度190℃、ダイス径6mm、荷重10kg	45回
	分散解析	コンパウンドをシート化し、凝集物の有無を確認	45回
	置換度解析	FT-IRによる差スペクトルの評価	4回
	熱分析	DSCを利用した結晶化変化の評価	3回
成形体	曲げ強度	JIS K 7171に準拠	30回
	曲げ弾性率	同上	30回
	吸水試験	60℃温水浸漬(吸水試験体にて、寸法変化、吸水強度測定)	30回
	クリープ性能	コーンレオメーターを用い、せん断強度変化で定量	4回

表 1-8 には、コスト評価における分析項目・回数を示す。コスト評価においては、選定した設備において、目標性能を確保する条件で稼働した際に対応できるかをトルク等で確認し、生産性の評価を実施した。

表 1-8 コスト評価における分析項目・回数

試験項目		試験方法	試験回数
設備能力評価	フィブリル処理	回転数及びクリアランスによる影響をトルクで評価	10回
	一次コンパウンド	ヘンシェル型ミキサによるコンパウンド特性を電流値で評価	10回
	コンパウンドトルク	配合、フィブリル化の影響による能力特性をトルクで評価	10回
	コンパウンド圧力	アダプター部分のコンパウンド圧を圧力ゲージにて測定	10回
生産性評価	フィブリル処理	フィブリル化における処理時間を吐出量にて評価	10回
	吐出能力	コンパウンドにおける単位時間あたりのペレット吐出量を測定	10回
	成形温度	せん断による材料温度変化をダイス部分のコンパウンド温度で測定	10回