

平成29年度 環境省委託事業

平成29年度セルロースナノファイバー活用製品の
性能評価事業委託業務

セルロースナノファイバー添加ウッドプラスチックによる
自動車内装部品の軽量化

成果報告書

2018年3月16日

事業代表者
トクラス株式会社

共同実施者
国立大学法人 山口大学
国立大学法人 静岡大学
岡山県森林研究所
イオインダストリー株式会社

目次

要旨	1
Summary	2
1. 業務の概要	4
1. 1 業務テーマ	4
1. 2 事業の目的	4
1. 3 本業務の実施期間	4
1. 4 本業務に至った背景	4
(1) 技術的意義	5
(2) 政策的意義	5
(3) 本業務の展望	5
1. 5 業務の内容	6
(1) CNF 添加 WPC の設計・製造	6
(2) CNF 添加 WPC 製品の設計・製造	6
(3) CNF 活用製品の性能評価	7
(4) CNF 活用製品の活用時の CO2 排出削減効果の検証	8
1. 6 事業実施体制	9
1. 7 本業務終了後の計画	10
(1) システムフロー	10
(2) 事業化に向けたマイルストーン及びその事業意志判断ポイント	10
(3) 地域モデルとの統合	10
(4) 事業化	11
(5) 普及に向けた取組	11
2. 業務成果報告	
(1) CNF 添加 WPC の設計・製造	20
(2) CNF 添加 WPC 製品の設計・製造	46
(3) CNF 活用製品の性能評価	69
(4) CNF 活用製品の活用時の CO2 排出削減効果の検証	77
3. 総括	97

要旨

本業務では、主にインパネ周辺の内装材について、間伐材から発生する木粉等バイオマスファイバーを添加したウッドプラスチック（以下「WPC」という。）にセルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）を添加材利用することで補強し軽量の製品を製造し、CNF 活用製品の性能評価を行うとともに、インパネ周辺部材の軽量化による自動車の燃費向上効果や CO2 削減効果の検証を行った。

(1) CNF 添加 WPC の設計・製造

ディスクミルを利用した量産設備において状態の異なる CNF 入り木粉の製造を実現。生産能力として 100 t/月の CNF 添加 WPC コンパウンドの製造に対応できる木粉生産能力を確保と生産安定性の評価と作業基準、品質管理手法を確立した。状態の異なる CNF 入り木粉を用い、コンパウンドの評価を実施した。コンパウンド化においては、汎用の量産設備を用い、目標生産能力（100 kg/h）を確保するとともに流動性（MFR で 5g/10min 以上）、製造原価 300 円/kg以下となるコンパウンド量産を実証した。

(2) CNF 添加 WPC 製品の設計・製造

(1) で量産した CNF 添加 WPC コンパウンドを用い、汎用の射出成形機で自動車内装部品の試作を実施した。また強度アップによる軽量化と成型体の構造面からの機能アップにより自動車内装部品として 25%以上の軽量化を実現した。

ヒアリング用サンプルとして各種意匠サンプルの作製、ヒアリングを実施し社会実装に向けた課題を抽出した。また、CNF 添加 WPC 部品のリサイクル評価としてエクステリア用 WPC 材料に配合し活用できることを見出した。

(3) CNF 活用製品の性能評価

CNF 入り木粉製造から成型までの量産結果を通じ、経済性の評価を実施。目標とする木粉コスト、コンパウンドコストで製造できることを立証、部品成型段階においては軽量化による材料コスト削減が可能となることを立証した。また量産した CNF 添加 WPC コンパウンドの部品における信頼性評価を実施し、その性能を明らかにした。また本事業で得られた情報をもとに、ユーザー向け技術資料の作製を実施した。

(4) CNF 活用製品の活用時の CO2 排出削減効果の検証

各生産工程の量産における製造エネルギーを実測し、CO2 排出量を算出。CNF 添加 WPC を活用した内装部品にて軽量化を図り、目標値である 30 kg-CO2e/台以上の削減可能であることを明らかにした。また CO2 排出量削減に向けた事業計画を策定した。

Summary

A commissioned project on the performance evaluation of the Products using Cellulose nanofiber (2017)

Weight saving for the instrument panel of automobile by using cellulose nanofiber added wood plastic composite (CNF-WPC)

In this task, wood plastic composite (WPC) composed of forest thinnings as a biomass filler which was reinforced and reduced in weight by the addition of cellulose nano fiber (CNF) was produced. The performance of CNF-WPC was evaluated. Also reduction of fuel consumption and CO₂ emission by using CNF added WPC as instrument panels were estimated.

(1) Design and production of CNF-WPC

Simultaneous production of wide variety of wood flour and CNF in the mass production facility equipped with disc mill was achieved. Mass production of wood flour which covers the amount of 100t/month for CNF-WPC compound production was developed and its production stability, operating instruction and quality control were established. Different types of CNF added wood flour were applied for the investigation of compound. Mass production of compound which fulfills the production capacity (100 kg/h), MFR (over 5 g/10 min) and manufacturing costs (less than 300 JPY/kg) was demonstrated by commodity type of production line.

(2) Design and production of CNF-WPC products

Prototype of instrument panels for automobile were experimentally made by using CNF-WPC compound. As an instrument panels for automobile, over 25% of weight reduction was achieved by the enhancement of mechanical strength of raw material and morphological improvement of panel product.

Hearings with several samples were held to extract the issues for a market introduction. It is found that the CNF-WPC waste could be used as a raw material for an exterior use of WPC product.

(3) Performance evaluation of CNF-WPC products

The result of economical assessment for the mass production procedure of CNF-WPC (from wood flour production through injection molding) proved that the production of CNF-WPC could accomplish the required cost. Furthermore a potential cost saving is suggested by the weight reduction of panel products. Reliability assessment of

mass-produced CNF-WPC products was performed and technical data sheets of CNF-WPC products for users were summarized.

(4) Effect of the usage of CNF-WPC on the reduction of CO₂ emission

Energy consumption during the mass production of CNF-WPC products was measured to calculate CO₂ emission. It is found that more than 30 kg-CO₂e/unit of reduction will be available by the weight reduction of panel product using CNF-WPC. Business plan for the purpose of CO₂ reduction was defined.

1. 業務の概要

1. 1 業務テーマ

セルロースナノファイバー添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化

1. 2 事業の目的

セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）は、木材等の植物を原料とし、高い比表面積と空孔率を有していることから、軽量でありながら高い強度や弾性を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待され、精力的な開発が進められている。特に、高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。しかしながら CNF は、製品への適用初期段階にあるため、今後 CNF の適用範囲が拡大していく段階には様々な課題が発生することが想定される。

本業務では、将来的な地球温暖化対策につながり、エネルギー起源 CO2 削減が期待できる自動車軽量化に重点を置き、自動車を構成する 2～3 万の部品の中から、2～3 年で実現でき、CNF の特性を活かした用途（部材や部品）を提案し、CNF 活用製品の性能評価や活用時の CO2 削減効果の検証することを目的とする。

1. 3 本業務の実施期間

平成 29 年 4 月 3 日から平成 30 年 3 月 16 日

1. 4 本業務に至った背景

インパネ等の自動車内装材は、「自動車部品としての機能」と「インテリアとしての意匠」の双方を兼ね備える必要がある。そのため、機能としては、プラスチックに無機フィラーを添加し、意匠としては、塗装、木目シート（あるいは突板）貼り等の加飾で対応している。しかしながら、近年の自動車における環境意識向上から、無機フィラー添加は、部品重量の増加、加飾は、素材や加工数の増加となり、これらの改善が急務となってきた。このような背景の中、木粉等バイオマスフィラーをプラスチックに添加したウッドプラスチック（以下「WPC」という。）が注目されている。WPC は、木粉が無機フィラーに比べ軽量である点から軽量化につながるとともに、簡易な加飾で高い意匠性を付与できる。しかしながら、自動車内装部品としての機能に関しては、既存の無機フィラー充填プラスチックに比べ、不足している性能もある。一方、バイオマス素材である CNF は、その高いパフォーマンスから、自動車部品としても期待されているが、CNF 自体のコストや使い勝手（CNF は含水状態）の問題から実用化するためには、多くの時間を要する。そこで、本業務では、木粉と CNF を同時に製造する手法から得られた CNF 添加木粉を利用し、WPC と CNF 双方が有する特性を兼ね備

えた自動車内装材部品用 CNF 添加 WPC の実用化を図る。

(1) 技術的意義

WPC はエクステリア用途を中心に国内外広く利用されている実績のある素材であり、高い機能を必要としない自動車部品の一部に利用されている。また、自動車用途は、実績が認められれば、短期間に供給量の増大が求められる。したがって、利用側（自動車メーカー）にとっては、本事業提案は、実用化が容易でかつ品質及び供給面が安心な技術である点から、使い手側にとって導入しやすい技術である。また、CNF が添加剤用途であるため、そのスペック（添加量や粒度等）を制御するだけで、WPC が自動車だけではなく、家電や機械部品、建材等幅広く展開も可能で、波及効果が高い。

(2) 政策的意義

木粉製造時に CNF も同時に製造したものを利用するため、原材料コストが安い点、WPC への添加であることから、自動車内装部品を製造しているメーカー（成形メーカー）で保有している設備で製造できる点から、現状の産業界に負荷なく啓発が可能である。また、付加価値の高い木粉利用が促進することで、森林政策への提言（自然共生）、再利用において、既存のエクステリア用途への展開が可能であることから循環型モデルまで踏まえた提案となる。

(3) 本業務の展望

本事業は、自動車内装部品向け WPC 製品に CNF を添加剤利用することで、自動車の軽量化による燃費向上と部品生産における工程削減による製造エネルギー削減に加え、使用后、再利用でもスペックが合致するエクステリア用途向け WPC へ利用することで、エクステリア用途 WPC 製造エネルギーの削減から CO2 削減として地球温暖化へ貢献することを目的としている。実用化に向けては、後述する業務の内容に示す通り、使い手側が利用しやすい環境整備と作り手側が供給しやすい体制作りがポイントとなるが、中長期的には、形状デザインに合わせた機能制御とトレンドに合わせたデザインバリエーションへの対応が必要となる。中長期課題に関しては、デザイン課題であり、予測は困難とはなるが、本事業内で、ある程度の自由性は提示するところまで実施する。想定されるユーザーは自動車メーカーであるが、実際にターゲットとする自動車（車種）は、燃費等を重視する軽自動車を含むコンパクトカー、ハイブリッド車と本木のウッドパネルは利用できないが、あるレベルの質感は必要な中級グレード車が対象となる。

1. 5 業務の内容

本業務では、主にインパネ周辺の内装材について、間伐材から発生する木粉等バイオマスフィラーを添加したウッドプラスチック（以下「WPC」という。）に CNF を添加材利用することで補強し軽量の製品を製造し、CNF 活用製品の性能評価を行うとともに、インパネ周辺部材の軽量化による自動車の燃費向上効果や CO₂ 削減効果の検証を行うため、以下（1）～（4）に示す内容を実施する。

（1）CNF 添加 WPC の設計・製造

①CNF 入り木粉材料の量産実証

ア. CNF 入り木粉の品質管理手法の確立（岡山県森林研究所）

量産品における安定性（ばらつき等の制御及びその制御因子）を明らかにし、現場に導入できる作業基準を策定するとともに現場でも容易に導入できる品質評価試験手法を確立すること。

イ. 部品スペックに対応できる CNF 入り木粉製造のカスタマイズ量産手法確立（トクラス）

実ラインを利用して、各種部品スペックに対応できる CNF 入り木粉製造（CNF 含有量だけでなくベース木粉の制御も含め）の量産実証すること。なお、ここで製造する CNF 入り木粉の性状評価は、特殊設備を有している機関に外注しても差し支えない。

②CNF 添加 WPC コンパウンドの量産検証

ア. 100 kg/hr 以上の生産能力を確保するコンパウンドの量産実証（トクラス）

汎用の量産設備を用いて、各種 CNF 入り木粉を用い目標能力を確保できるコンパウンドの量産を実証するとともに、製造原価 300 円/kg以下となるコンパウンド生産システムを構築すること。

イ. 各種量産コンパウンドの性能評価（山口大学）

量産した各種コンパウンドの評価を実施するとともに、汎用射出成形機にて成形できる流動性を確保できる（MFR=5g/10min 以上）レシピ条件をフィードバックすること。

（2）CNF 添加 WPC 製品の設計・製造

①実用途に対応できかつ、既存製品より、15%以上軽量化が図れる自動車内装部品の試作

ア. 各種スペックに合うカスタマイズレシピ技術の確立（トクラス）

各種 CNF 木粉と CNF 添加 WPC に利用する CNF 入り木粉以外の原料材料側で各種

部品のスペック可否に対して、部品製造からのアプローチによる手法を提案し、25%以上軽量化を実現する部品の試作を実施すること。なお、ここで製造する CNF 添加コンパウンドの化学的相容等解析評価は、特殊設備を有している機関に外注しても差し支えない。

イ. 各種スペックに合う部品加工の製造（イオインダストリー）

材料側で各種部品のスペック可否に対して、部品製造からのアプローチによる手法を提案し、25%以上軽量化を実現する部品の試作を実施すること。

ウ. 各種量産 CNF 添加 WPC コンパウンドを用い成形した成形体の評価（山口大学）

各種量産 CNF 添加コンパウンドにて汎用射出成形機で試作した成形体を用い機械的特性の評価を実施すること。

②ユーザーワーク用に向けたサンプル等の制作

ア. 成形体サンプルの試作（イオインダストリー）

各種 CNF 添加 WPC において、その機能効果を最大限に利用し、形状面からさらなる利用促進が可能な成形体試作を実施すること。

イ. 加飾サンプル作成及びヒアリング（トクラス）

普及に向け、自動車内装材に合致した意匠的な付加価値面（木質感、本革感、ファブリック感等）を提案できるサンプル及び加飾手法を提案するとともに、これらサンプルを利用し、事業計画の確度を高くできるユーザーヒアリングを実施すること。

③リサイクル用途の検証

ア. 再利用成形におけるリサイクル性評価（トクラス）

エクステリア用途 WPC 配合において、CNF 添加 WPC 廃材を添加し、実際に成形体を試作、廃材利用におけるエクステリア用途への適合性（適合するための方法）を明らかにすること。

イ. リサイクル利用のリスク評価（静岡大学）

実際に量産した各種 CNF 添加 WPC を用い、多回リサイクルにおける課題点を明らかにするとともにエクステリア利用の適合性テーマへフィードバックすること。

(3) CNF 活用製品の性能評価

①各種自動車部品利用における経済性評価

ア. 各種 CNF 入り木粉量産製造における経済性評価（岡山県森林研究所）

実際の製造ラインにて100円/kg以下の製造コストでの各種 CNF 入り木粉が生産できることを実証すること。

イ. 各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産製造における経済性評価（トクラス）

既存設備を用い各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産を実施し、300 円/kg以下の製造コストで生産できることを実証すること。

ウ. 各種 CNF 添加 WPC 部品量産製造における経済性評価（イオインダストリー）

各種自動車部品を実ラインにて量産試作し、既存素材であるタルク充填プラスチック等と同等以下の製造コストで生産できることを実証すること。

エ. 各種 CNF 添加 WPC 部品利用における経済性評価（イオインダストリー）

既存部品を CNF 添加 WPC 部品に仕様変更する際の作り手側、使い手側双方の経済性負荷を評価するとともに、この結果を事業性評価にフィードバックすること。

②量産試作で得られた各種 CNF 添加 WPC 部品の普及に向けた性能評価

ア. 安全性、信頼性の評価（山口大学）

安全性、信頼性の観点から、スペックの異なる各種 CNF 添加 WPC 部品の耐久性評価を実施するとともに、課題点があればそれを抽出し対策案を提示、各種課題へフィードバックする。なお安全性、信頼性評価の一部について専門知識を有する外部機関に外注しても差し支えない。

イ. ユーザーヒアリングに向けた技術資料の作成（トクラス）

各種テーマ成果から、使い手側が活用できる技術情報を取りまとめるとともにユーザーヒアリングで活用できる技術データ集を作成すること。

（４）CNF 活用製品の活用時の CO2 排出削減効果の検証

①生産エネルギーの実測

ア. 各種 CNF 入り木粉量産時における生産エネルギーの検証（岡山県森林研究所）

各種 CNF 入り木粉量産を通じ、出荷ベースまで想定した製造に必要とするエネルギー使用量を実測するとともに、さらなる省エネルギー化可能な手法を提示すること。

イ. 各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産時における生産エネルギーの検証（トクラス）

各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産を通じ、出荷ベースまで想定した製造に必要とするエネルギー使用量を実測するとともに、さらなる省エネルギー化可能な手法を提示すること。

ウ. 各種 CNF 添加 WPC 部品量産時における生産エネルギーの検証（イオインダストリー）

各種 CNF 添加 WPC 部品量産を通じ、出荷ベースまで想定した製造に必要とするエネルギー使用量を実測するとともに、さらなる省エネルギー化可能な手法を提

示すること。

②CO2 排出量の評価

ア. 各種 CNF 添加 WPC 部品の利用における CO2 排出量の評価（トクラス）

実測データをもとに、CO2 排出量を算出するとともに、30 kg/台以上の効果の確認を実証すること。なお、CO2 排出計算においては、専門評価機関に外注しても差し支えない。

イ. CO2 削減効果を前提とした事業計画の策定（トクラス）

各種部品機能としての評価結果、経済性に関する評価結果及び CO2 削減に関する評価結果をベースに体系的な事業計画を策定すること。

1. 6 事業実施体制

トクラス株式会社が事業代表機関で、山口大学、静岡大学、岡山県森林研究所及びイオインダストリー株式会社が共同研究機関として参画した。図 1-1 には、実施体制図を示す。

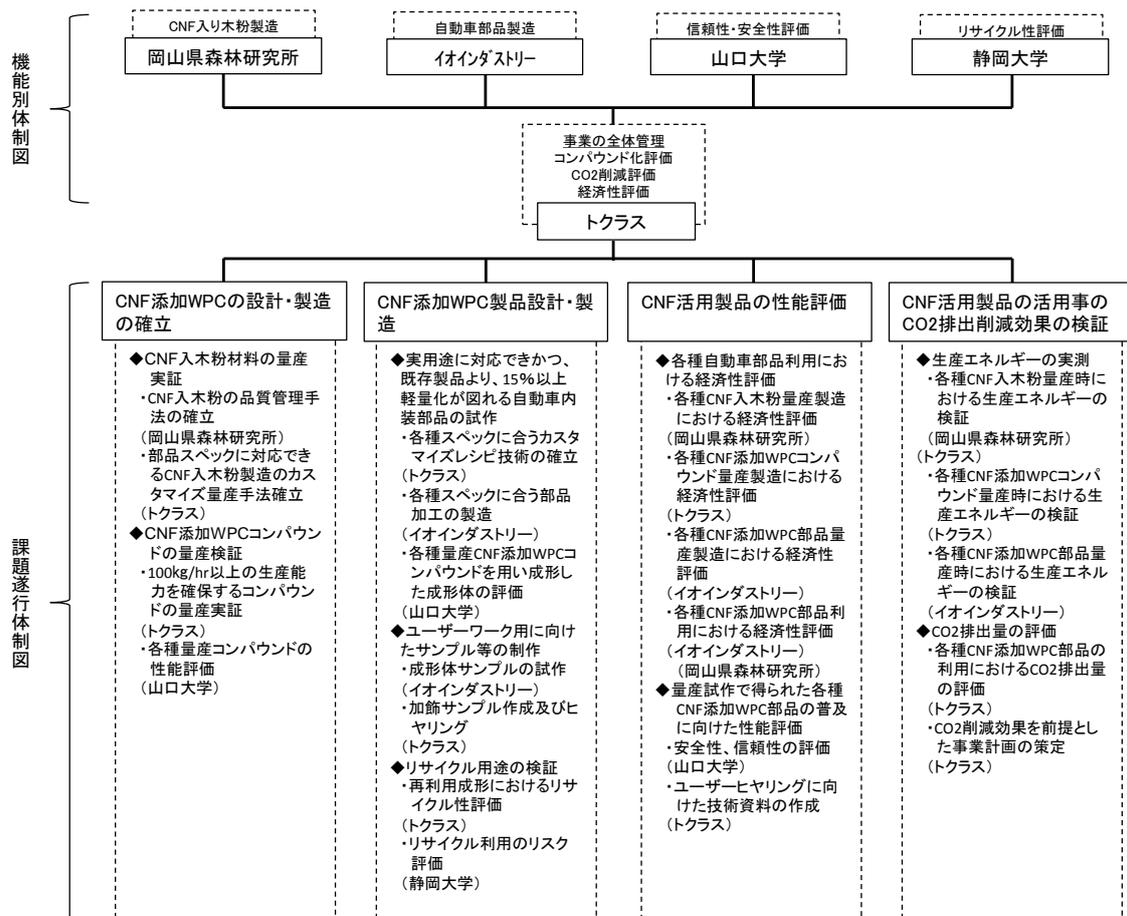


図 1-1 事業実施体制図

1. 7 本業務終了後の計画

(1) システムフロー

本業務成果は、軽量化につながる WPC 自動車内装部品に CNF を添加することで、実用化速度の加速化を図ることを目的としており、その実現には、単に部品開発だけでなく、川上から川下までトータルで検証する。その結果、森林資源利活用の自然共生への貢献から、本主目的である自動車の軽量化に伴う低酸素社会実現（CO2削減）、さらには、リサイクル用途まで踏まえた循環型社会形成への貢献まで含んだ事業フローとなる。図1-2には、産業フローと本業務成果及び成果のポイントを示す。

(2) 事業化に向けたマイルストーン及びその事業意志判断ポイント

本業務完了後、1年半後には、初期製品を立ち上げ、2年半後には、本格事業展開を目指している。そのためには、事業終了後直ちに、サンプルワークが開始されなければならない。これは、自動車メーカーでの評価が、最低でも1年以上は必要とするためである。一方、新規素材であるため、利用する側のリスクもあり、事業拡大は、段階的なステージを経ることが必要となる。そこで、分かりやすい（＝エンドユーザーにも受け入れられやすい）インパネ用途からスタートする。インパネ用途は、機能だけでなく意匠も重要視され、ベースが WPC である特徴を最も活かせる用途である。加えて、利用する自動車も、軽量化の効果が最も必要とする電気自動車、ハイブリッド車、軽自動車向けを最初のステップに設定する。さらに、自動車用の素材（部品）は、世界共通である場合が多く、事業終了後、3年目までには、海外供給体制も構築しておく必要がある。図1-3には、事業計画とマイルストーンを示す。

(3) 地域モデルとの統合

本業務成果の用途は、自動車であり、部品製造（成形）及びそれを自動車に組み立てる自動車利用の生産拠点は、全国及び世界各地にあり、一拠点化することは困難である。したがって、部品製造より川下では、各地域の地域性を活かした事業モデルは、構築し難い。しかしながら、本事業モデルの川上である「出発原料（調達）」、「CNF 入り木粉製造」及び「コンパウンド化」においては、同一地域で事業化することが望ましい。これは、かさ高い原料のおが粉や、含水状態の CNF 入り木粉の移動（物流）にはロスが大きいことが要因となる。さらに、本事業提案技術や品質の多くは、「CNF 入り木粉製造」及び「コンパウンド化」で決まることから、品質管理や研究開発も生産拠点に近隣に設置されていることが望ましい。これらの面を踏まえ、本事業では、「コンパウンド化」までの生産拠点及び「技術開発・技術サポート」拠点は、同一（近隣）の地域で実施する方向で進める。具体的には、岡山県

の美作地域を想定している。この地域は、森林資源が豊富にあるだけでなく、製材業、バイオマス発電等バイオマス利用が盛んな地域であり、産業だけでなく、行政におけるバイオマス事業の取組も先進的な地域である。この美作地域で本事業提案の事業化を実現することで、同地域が取組んでいる地域モデルの一助となる。図1-4には本地域モデルのイメージ図を示す。

(4) 事業化

本業務成果により、内装部品スペック、意匠性及び品質も含めた安定供給の課題がクリアされれば、自動車メーカーによる安全性の評価試験に移行する。安全性評価には、1年以上要するため、当社としては、事業終了後、直ちにサンプルワークを実施し、イオインダストリーと共同で製品開発を実施し、2019年度10月には、特定部品（インパネを予定）、特定車種（電気自動車、ハイブリッド車、軽自動車のいずれかを予定）による試験導入を図る（事業開始）。この成果を踏まえ、2020年度10月より、特定部品を利用する車種を随時拡大する（事業拡大）。一方、水平展開として、2019年度よりイオインダストリー等自動車内装部品メーカーと共同でインパネ以外の内装部品に展開する製品開発を実施し、2020年度4月には、特定車種への試験導入、2021年度4月より利用する車種の拡大を図る。図1-5には事業化に向けたロードマップを示す。

また、最終利用者は自動車メーカーであり、求められる特性は、燃費向上につながる軽量化に加え、安定供給、高意匠となる。しかしながら、実際に本技術成果を自動車メーカーに提案するのは、本業務に参画しているイオインダストリーのような成形メーカーである。したがって、自動車メーカーへの特性に加え、提案する成形メーカーにメリットがある特性を提示しなければならない。成形メーカーから求められる特性としては、設備投資リスクがない素材、即ち既存の製造設備で利用できるコンパウンドであること、成形サイクル等生産性が向上するコンパウンドであること、シート貼りや塗装等の加飾に関するコストが軽減できるコンパウンドであることが挙げられる。図1-6には業界の川上から川下に向かいPRできるポイントを示す。

(5) 普及に向けた取り組み

本業務で取り組む課題は、既存素材（タルク等無機フィラー充填プラスチック）の代替であり、これらを利用しているメーカーの販売チャンネルをそのまま利用し、自動車メーカーに供給する。したがって、販売チャンネルはできているものの、利用するメーカーにとっては、代替であるため、売上増大にはつながらない。つまり、普及における第一のハードルは、自動車メーカーに提案する部品メーカーのメリットを提示することとなる。そのためには、前述した技術的な対応も重要であるが、

バイオマスを利用することによる政策面でのサポートも重要となる。現在、建築で用いられている国産木材利用促進、北米の自動車産業で検討されている使用材料のバイオマス由来度による縛り、バイオマス利用による炭素固定等、これらの観点から国内自動車メーカーではあまり政策支援対象（ex. エコカー減税の対象）になっていない。これら行政サポートを充実することは、成形メーカー、自動車メーカーにとって大きなメリットとなり、本技術成果の利用拡大につながると考えられる。普及に向けた、第二のハードルは、技術的サポートの充実である。CNFを含むプラスチック製品へのバイオマス利用は、エクステリア用途のウッドプラスチックを中心に普及はしているものの、実績は少ない。したがって、利用する成形メーカー、自動車メーカーにとって、開発リスクは大きい。前述した通り、成形メーカーにとっては、代替素材であり、売り上げ拡大にはつながらず、公的な技術サポートがない限り、開発リスクは乗り越えることは困難である。欧州では、フィンランド、スウェーデン、ドイツ等で、天然繊維、木粉等バイオマスファイラーを利用したプラスチックの公的な研究機関は多く、既に多くの欧州自動車メーカーにてCNFではないが、バイオマス素材を利用したプラスチック製品は普及している。これは、成形メーカーが技術サポートを受けられることが大きなメリットである。国内でも大学を中心にCNF研究をしている機関はある。しかしながら、CNFを製造するメーカーはサポートが得られるが、成形メーカーがサポートを得られる機関ではない。したがって、成形メーカーの技術サポートができる機関の設立が望まれる。第三のハードルは、自動車メーカーにとっての調達リスクである。自動車メーカーにとって、素材は基本的に複数社購買となる。したがって、CNF利用において、どこか1社だけが、全てのニーズに対応できる製品を確立しても、自動車メーカーによる本格採用には至らない。このハードルにおいても、第二のハードルで提示した公的なサポート機関による技術普及の役割が必要となる。本スキームでは、第一のハードルに対しては、ウッドプラスチック業界からの政策提案、第二、第三のハードルに対し、真庭バイオマスラボを事業終了後、公的なサポート機関として充実させることを視野に入れている。以上の課題を乗り越えることで、2025年には、タルク充填プラスチックを使用している自動車内装部品の50%以上を、CNF入りウッドプラスチック素材に代替することを目標とする。図1-7には普及に向けたハードルと取組及びその展望を示す。

一方、販売手法は、代替素材であり、既存のタルク充填プラスチックと同じであるが、本事業成果の大きなポイントは、CNF添加量のコントロール、粒度制御等ファイラー側にも新たな機能付与が可能となるため、利用者ニーズに対応するマーケティング手法は異なる（図1-8）。即ち、従来の素材にはないファイラー側でも機能付与が可能となるため、従来、成形体の形状設計以外では提案できなかった素材軸の

機能提案営業が可能となる。したがって、本技術成果を、より普及拡大するためには、提案営業が必要となってくるが、現状の成形メーカーで、素材まで含めた提案営業できるメーカーは少ない。そこで、前述した成形メーカーに対する技術サポートは重要な課題となってくる。成形メーカーでの技術提案力が高くなれば、本技術成果を自動車用途だけでなく、家電、機械部品、建材等の分野にも進出が可能となる。これにより、本業務成果である CNF 添加 WPC 成型品の市場は国内だけで 500 万 t/年以上の需要が見込める。



図1-2 産業フローと本業務成果及び成果のポイント

	2015～2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
事業計画	<p>←-----</p> <p>本事業) 自動車内装部品 向け部材の開発</p>	<p>サンプルワーク</p> <p>ユーザー評価⇔フィードバック検証</p> <p>利用箇所増加による拡大</p>	<p>特定部品／特定車種への実用化</p> <p>ユーザー増加による拡大①</p> <p>ユーザー評価⇔フィードバック検証</p>	<p>特定部品／汎用車種への拡大</p> <p>適応メーカー拡大① (特定部品／特定車種)</p> <p>汎用部品／特定車種への実用化</p> <p>ユーザー増加による拡大②</p>	<p>適応メーカー拡大② (特定部品／汎用車種)</p> <p>汎用部品／汎用車種への拡大</p> <p>適応メーカー拡大① (汎用部品／特定車種)</p>
※特定部品は、意匠性を重視するインパネを想定					
マイルストーン	<p>本事業完了 ○</p>	<p>★パイロットプラントによる供給開始</p> <p>★木粉量産設備導入</p>	<p>★コンパウンド量産設備導入</p> <p>○事業開始</p>	<p>★木粉・コンパウンド増産設備導入</p> <p>○本格事業展開</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ・事業目標が達成されているか？ ・事業化構想(立地場所も含め)が確立されているか？ ・自動車メーカーとの調整が開始されているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質保証体制が構築できているか？ ・自動車メーカー及びエンドユーザーへの価値提供が立証されているか？ ・パイロットプラントによる生産安定性は立証できているか？ ・人員確保ができているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車用途での安全性、長期耐久性が確保できているか？ ・品質は確保できているか？ ・量産設備で計画通りのコスト体制になっているか？ ・供給量の増減に対応できる仕組みを構築できているか？ ・機能対応力ができているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・初期自動車メーカーとの間に縛りを設けていないか？ ・多品種対応による安価生産の仕組が構築できているか？ ・さらなる付加価値の提案ができていないか？ ・増産計画が構築されているか(拠点も含め)？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・競合素材に対する対抗策はできているか？ ・海外供給に対応できるか？ ・量産対応以外でのコストダウン対策はあるのか？ ・トレンドに対応できているか(特に意匠面)？

図1-3 事業計画とマイルストーン

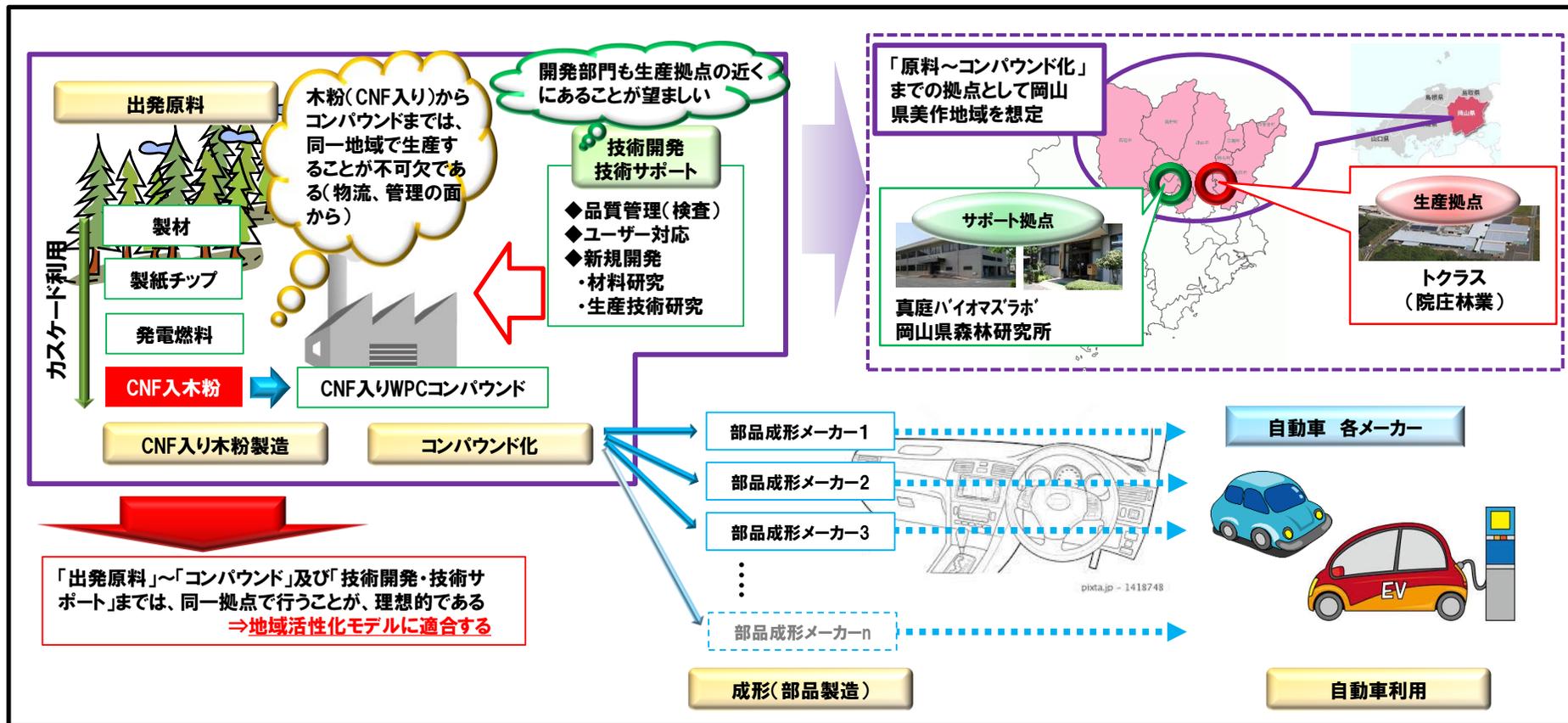


図1-4 本地域モデルのイメージ

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
ロードマップ		★ 事業開始	★ 事業拡大(拠点の生産量増強)		★ 事業拡大(拠点数の拡大)
		① 特定メーカー電気自動車等へインパネ部材実用化	② インパネ部材の適応車種拡大		
		展開するメーカーの拡大	展開するメーカーの拡大	展開するメーカーの拡大	展開するメーカーの拡大
	トクラス+イオインダストリー共同で製品開発		インパネ以外の内装部品への水平展開開始	水平展開拡大(適応車種拡大)	

図1-5 事業化に向けたロードマップ

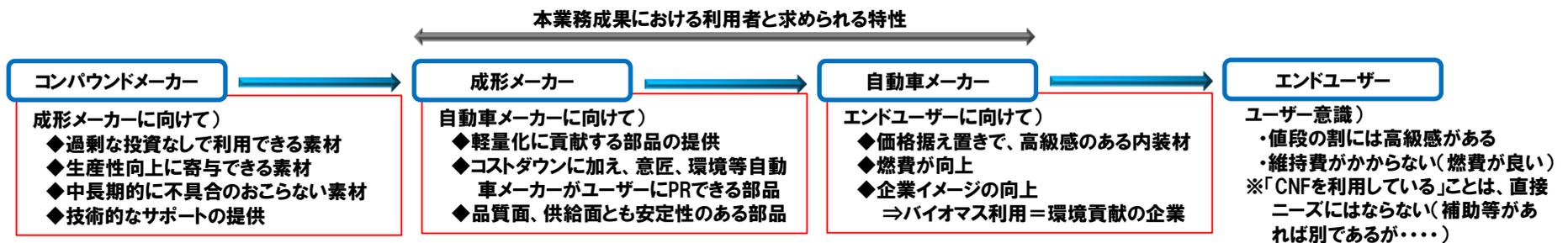


図1-6 業界の川上から川下に向かいPRできるポイント

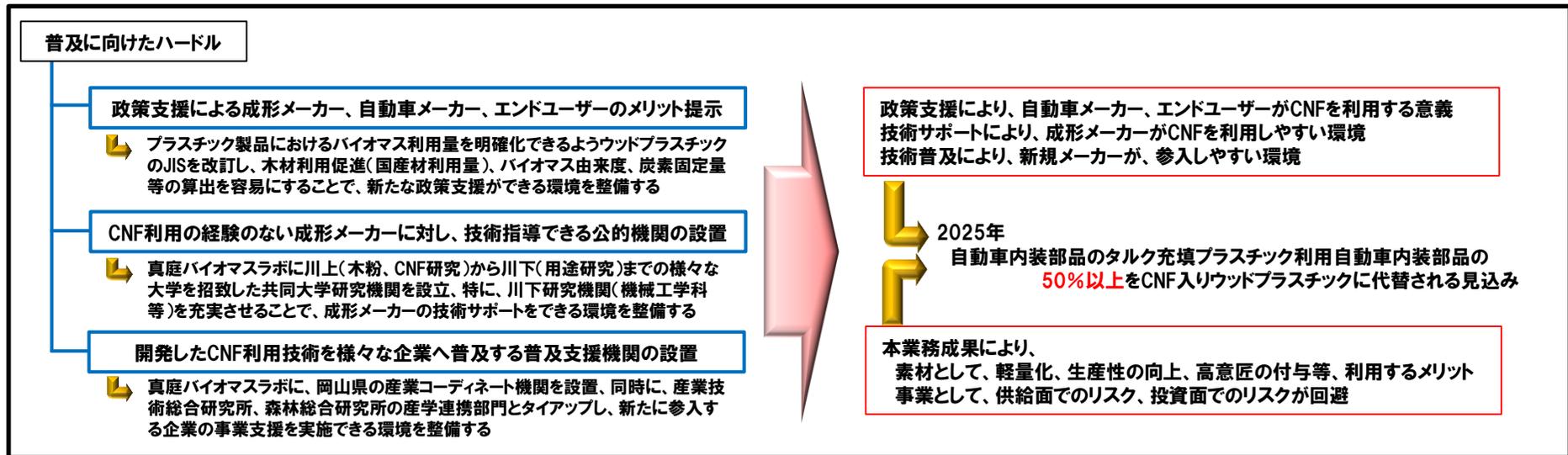


図 1-7 普及に向けたハードルと取組及びその展望

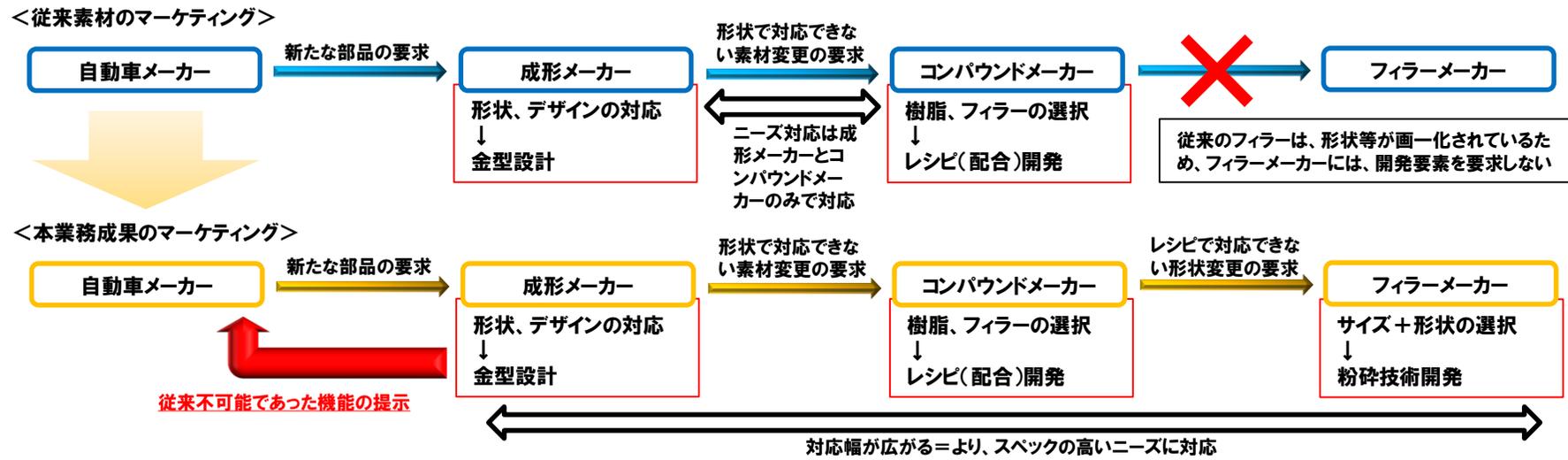


図1-8 本業務成果のマーケティングスキーム

2. 業務成果報告

(1) CNF 添加 WPC の設計・製造

①CNF 入り木粉材料の量産実証

ア. CNF 入り木粉の品質管理手法の確立

本事業で提案する CNF 入り木粉製造は、木粉の表面を解繊することで、ナノサイズの木粉を剥離（あるいはナノフィブリルの形成）させる手法である。即ち、木粉に CNF を添加して製造する手法に比べ、安価に製造できることが特徴である。しかしながら、製造した CNF 入り木粉から、CNF 量だけを定量することは困難である。したがって、本製造手法を実用化するためには、工程管理による品質の安定化が不可欠となる。

本年度事業では、工程管理における品質の安定性に影響する因子を明らかにした。さらに、この結果を踏まえ、実際の製造現場にて活用できる作業基準と品質試験手法を確立した。

1) 品質に影響する因子の検証

表 2-1 には、CNF 入り木粉の品質に影響する因子の一覧を示す。水分量の調整に関しては、含水率と添加水の 2 段階の工程にまたがっており、エラーが発生する確率が高い。さらに、影響は CNF 状態に限定されるため、製品での検査も困難である。その他は、木粉自体のサイズにも影響するため、製品検査での不具合発覚も容易である。加えて、2 段階以上管理可能工程があることから、作業基準と検査基準を定めることで品質管理の対応ができる。そこで、水分量にフォーカスを絞り、品質への影響を評価した。

表 2-1 安定性に影響を及ぼす因子

工程	安定性に影響を及ぼす因子	エラーの発生源	管理可能工程		
			受入検査	工程管理	製品検査
原料	樹種	受発注時のミス	○	○	○
	木粉サイズ	受発注時のミス	○	○	○
	含水率	サプライヤーの保管状況	○	×	×
受入側の保管状況		×			
製造	添加する水の量	初期含水率異常	—	○	×
		作業者のミス	—		
	ディスククリアランス	装置のトラブル	—	○	○
		作業者のミス	—		
	ディスク回転数	装置のトラブル	—	○	○
		作業者のミス	—		
ディスクの摩耗	作業者のミス	—	○	○	
保管	消費期限	作業者のミス	連続工程のため、保管は原則発生しない		
	温湿度の管理	保管場所の不具合			
		作業者のミス			

表 2-2 には、水分量の影響評価を検証した変動条件を示す。粉碎に用いたディスクミルは、増幸産業社製マスコロイダーを用いた。

表 2-2 評価条件

No.	粉碎前原料		粉碎条件			
	樹種	サイズ(μm)	含水調整	使用ディスク	ディスク間隔	ディスク回転数
L10	ヒノキ	200~500	10%	—	—	—
L10-m	↓	↓	↓	MEK10-80	300 μm	1800rpm
L25-m	↓	↓	25%	↓	↓	↓
L40-m	↓	↓	40%	↓	↓	↓
S10	↓	200 ↓	10%	—	—	—
S10-m	↓	↓	↓	MEK10-80	200 μm	1800rpm
S25-m	↓	↓	25%	↓	↓	↓
S40-m	↓	↓	40%	↓	↓	↓

図 2-1 には、各条件で粉碎した CNF 入り木粉の平均粒子径を示す。平均粒径は、堀場製作所社製 Partica LA-960 を用いた。粉碎前原料が 200~500 μm では、含水量による木粉の平均粒径差は僅かである。また 200 μm 以下でも、含水が 25%以上では、差が小さい。ディスクミル処理は、木粉表面のみを解繊する目的で処理しているので、当然の結果ではある。後述するが、これら各処理で製造した CNF 入り木粉は、すべて性状が異なっている。ここで、重要なのは、粒度分布では、安定性を管理できないという点である。

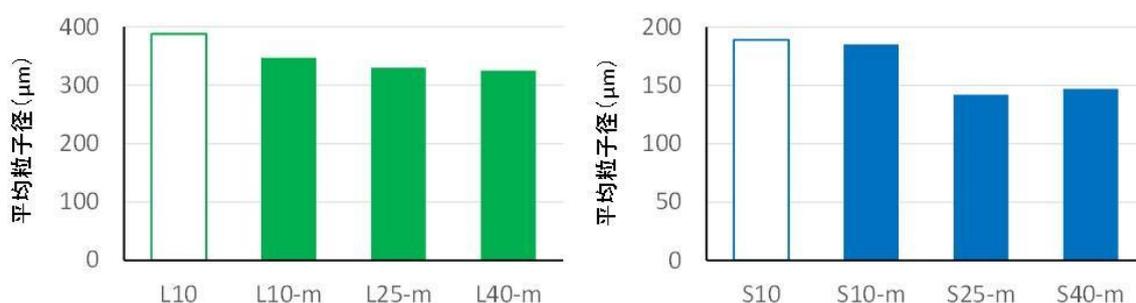


図 2-1 各含水条件で粉碎した CNF 入り木粉の平均粒径

図 2-2 には、各条件で粉碎した CNF 入り木粉の比表面積を示す。粉碎前原料のサイズに問わず、含水の増加に伴い、比表面積が小さくなっている。平均粒径が小さくなっているにもかかわらず比表面積が小さくなっている要因としては、CNF 入り木粉同士の凝集が考えられる。含水が増えることで、CNF 由来成分は増加するが、これらが、乾燥時に CNF 入り木粉同士を凝集させる方向に働いたと考えられる。

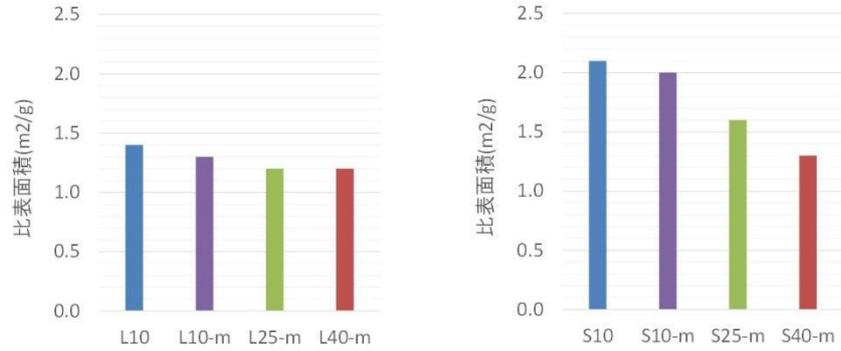


図2-2 各含水条件で粉碎したCNF入り木粉の比表面積

図2-3には、各条件で粉碎したCNF入り木粉の沈降速度を示す。沈降速度は、ストークスの式に従うため、本来粒子径の大きい木粉が早く沈降する。しかしながら、今回は同じ木粉サイズであるにもかかわらず、沈降速度に差が生じた。これは、木粉表面に生じたCNF由来のナノフィブリルが、抵抗となっているため沈降速度に差が生じた。後述するが、沈降速度は、CNFの状態を評価できる手法である。

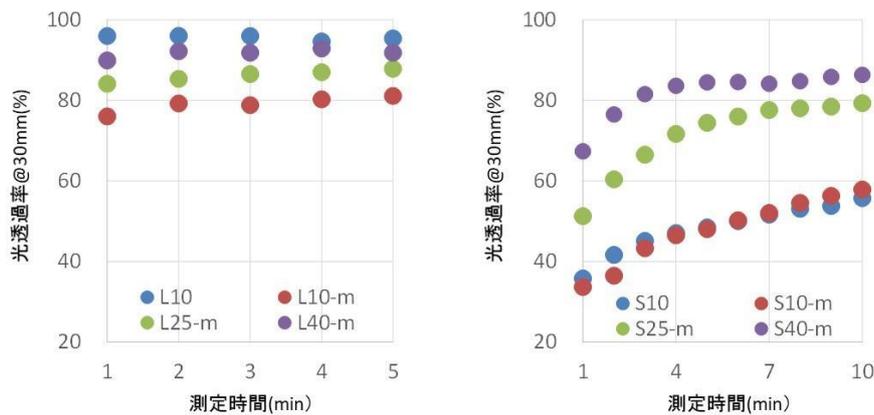


図2-3 各含水条件で粉碎したCNF入り木粉の沈降速度

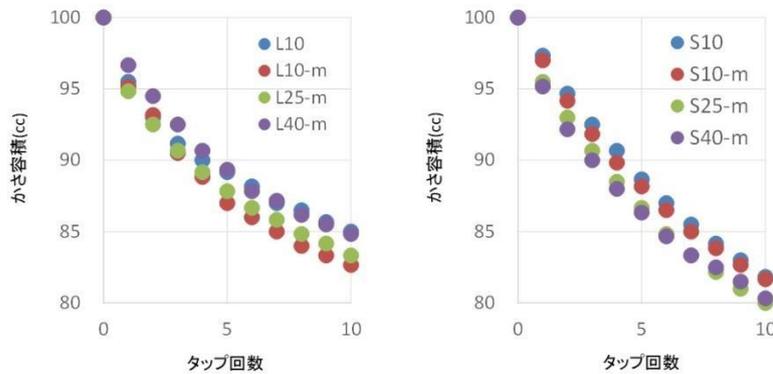


図2-4 各含水条件で粉碎したCNF入り木粉のタップ試験

図2-4には、各条件で粉砕した CNF 入り木粉のタップ試験結果を示す。タップ試験は協同精機製作所社製のタップ試験機を用いた。沈降試験と同じく、木粉由来の形状における違いを確認することができた。

以上の結果より、含水量により、CNF 入り木粉の性状が異なることが明らかとなった。実際の製造で、含水量 25%以上で製造するケースは無い(経済性の面からも)。しかしながら、木粉は自重以上の吸水をするため、原料の管理状態や添加水量のミスにより想定しておかなければならない事象である。製品検査にここで用いた比表面積や SEM 観察が使用できれば、品質管理は可能となるが、これら装置は、高額であり、かつ、特殊な技術を要するため、現場管理に導入することは困難である。そこで、沈降試験やタップ試験等簡易な評価を導入することで、現場での管理も容易になる。これら試験は代替評価のため、検量線等の評価指針は必要となる。

2) 作業基準の策定

図2-7 (P24) には、含水による影響および前述した表2-3を踏まえた工程図とこのラインを利用した生産の作業基準を策定した(図2-8、P24)。作業工程は、通常の木粉生産に加えて、ディスクミルを用いるだけなので、煩雑ではない。重要なのは、安定した品質の CNF 入り木粉を製造するための工程管理ポイントである。設備点検、設定を正しく行えば、ディスクミルの稼働状態を確認(トルクや吐出量)することで、管理ができる点は、従来の CNF 製造にはない、現場導入を容易にする大きな成果であると言える。一方、製造エラーは必ず起きることを想定し、図2-9 (P25) に示す QC 工程表も策定した。

表2-3には、品質試験の一覧を示す。試験は、大きくベースの木粉の評価、CNF 状態の評価に分かれる。評価装置は新設しても約 100 万円程度、作業時間も 1 時間以内に完了するため、製造現場に即導入できる品質試験である。また、工程管理で、品質を担保しているので、定期的な依頼分析は必要となる。年間 50 万円程度となるが、成形評価まで実施しておけば、安心である。ベースの木粉評価は、通常の木粉評価と変わらないので、ここでの詳細は割愛するが、CNF 状態評価の試験方法に関して、解説を加える。

表2-3 品質試験一覧

	試験項目	装置	装置価格	作業の所用時間
ベースの木粉評価	粒度分布試験	振動ふるい	200千円	15分
	かさ比重	かさ比重計	5千円	2分
	含水率	水分計	150千円	10分
CNF状態の評価	沈降試験	分光光度計	500千円	15分
	タップ試験	タップ装置	200千円	15分
依頼分析	SEM観察	FE-SEM	15千円	半年に1回程度
	比表面積	比表面積計	10千円	半年に1回程度
	混練評価	成形機	50千円	半年に1回程度
	流動性評価	MFR装置	10千円	半年に1回程度
	成形評価	成形機・強度試験機	150千円	半年に1回程度

沈降試験は、前述したとおり、CNF 入り木粉の状態の違いが評価できる方法である点は確認された。図 2-5 には、含水量が 5%と 20%で粉砕した CNF 入り木粉の粒度分布を示す。含水量が異なるので、CNF 状態は違っていることが予想されるが、粒度分布では、ほぼ同じグラフとなっている。これは、CNF 量が少ないので（あるいはフィブリル状態）、検出されないためである。一方、図 2-6 には、含水量が 5%と 20%で粉砕した CNF 入り木粉の沈降速度を示す。沈降速度（透過率変化）には、明らかな違いがあり、この違いを評価できている。実際の現場では、この範囲を定めることで、管理が可能となる。

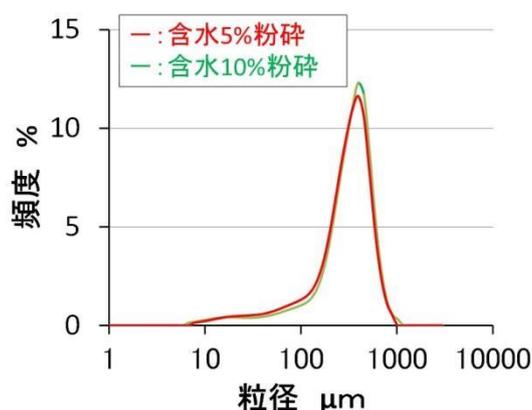


図 2-5 含水量が 5%と 20%で粉砕した CNF 入り木粉の粒度分布

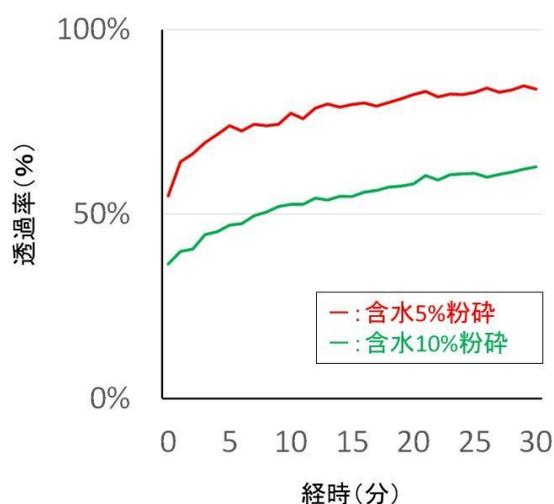


図 2-6 含水量が 5%と 20%で粉砕した CNF 入り木粉の沈降速度

CNF の状態を評価（数値化）することは困難であるが、以上のような試験方法の組合せによる総合判断で品質評価は可能となる。これら評価方法は、製造現場にて容易に実践ができる手法である。

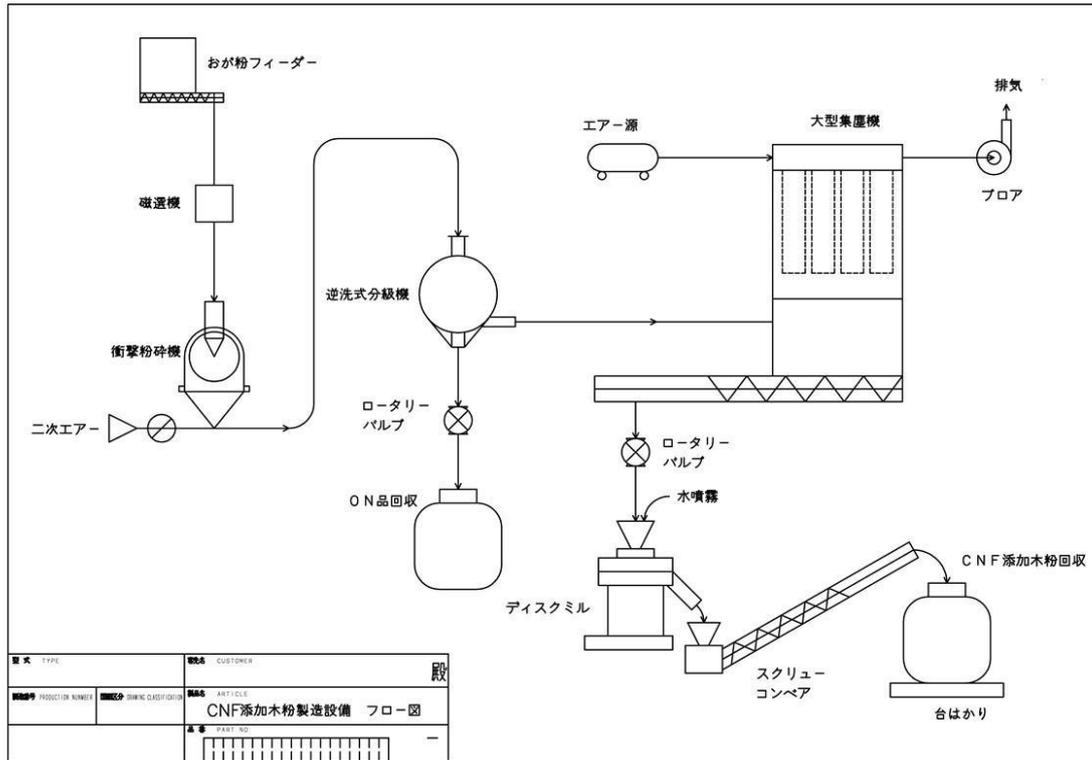


図 2-7 CNF 添加木粉生産工程図

作業手順書

作業名	設備名
木粉生産 粉量調整	木粉生産ライン

【粉砕機】

1. 粉砕機のハンドルを回し、ふたを開ける



メッシュに確認し、破れがあるか確認
破れがある場合はメッシュを交換する
(交換のやり方は操縦産業HPで確認)

【ミクロシフター】

1. 本体4か所のハンドルを回し、ふたを開ける



2. 触ってメッシュに破れがないか確認する
所定のメッシュサイズか確認。(メッシュサイズが違う場合は取り替
換品を必ず確認し、4か所ハンドルをしっかりと閉めてミキサーに搭



作業手順書

作業名	設備名
木粉生産 IT	木粉生産ライン

【木粉粉砕ライン】

1. 本体のブレーカーを入れる
制御盤を開けて、赤緑の差所のメインブレーカーをONにする



2. 配電盤のタッチパネルの背面のスイッチをすべて「切」にする

3. タッチパネルが表示される

「木粉粉砕設備フローシート」	設備のフロー
「操作スイッチ」	操作設備の
「故障表示・設定」	設備の変更
「運転停止タイマー設定」	タイマーの設
「アラーム表示」	設備のアラ

「操作スイッチ」を押し、「運転」→「運転」を押す
(予警・運転状態を解除する場合は「切」を押しする)



作業手順書

作業名	設備名
ディスクの乳白量	ディスクスクリーン

3. 左右のクリアランスを0セットしてから1mm以上クリアランスを取る
- ハンドルが動かなくなるまで閉めた位置を「0」とする



4. 上蓋をロックさせる



5. 運転運転を開始する
 - ① 運転スイッチをON(回転数1000~2000)
 - ② 回転数を1000rpmにする
 ・空回しを15~20分間する事



図 2-8 CNF 添加木粉製造作業手順書

製品名		CNF添加木粉		QC工程表			工程名	粉砕・分級・フィブリル化	部署名	技術開発G		確認		
部品名							ページ		文書番号					
小 工 程				要求品質			管理方法					不良処理		
No.	工程名	材料 部品	設備/ 治工具	管理点(結果系)	点検点(原因系)	規格・基準	頻度	時期	計測器	チェック 方法	担当	記録帳票	工程不良の 処理方法	備考
1	受入	おが粉		ロット	排出日	所定おが粉排出場所	ロット毎	粉砕前		目視	作業者	木粉製造管理表	廃却	保管は室内
2	粉砕	おが粉	衝撃粉砕機 分級機	ロット メッシュ破損	粉砕日 ふるいの通過 (1mm)	現物確認	ロット毎 始業毎	分級前 分級後		目視 目視	作業者 作業者	木粉製造管理表 木粉製造管理表	設備点検 再検査	
3	中間検査①	木粉		分級ロット	含水率	原材料規格による	ロット毎 (N=3)	分級後	赤外線 水分計	計測	作業者	木粉製造管理表		
				分級ロット	かさ比重	原材料規格による	ロット毎 (N=3)	分級後	かさ比重 測定器	計測	作業者	木粉製造管理表	廃却	
4	計量	木粉		重量 ロット	はかり数値 出来高	200(+2,-0)kg	全数 終了時	作業時	はかり	計測 目視	作業者 作業者	木粉製造管理表		
5	含水処理	木粉 水	ブレンダー	ロット	含水率 加水率(量)	原材料規格による	ロット毎	作業時	はかり 赤外線 水分計	計測 目視	作業者	フィブリル化管理表		
6	フィブリル化	含水木粉	ディスクミル	ロット	負荷電流	作業手順書による	ロット毎	作業時		目視	作業者	フィブリル化管理表	廃却 設備点検	
				ロット	含水率	原材料規格による	ロット毎	処理後	赤外線 水分計	計測	作業者	フィブリル化管理表	廃却 設備点検	
				ロット	かさ比重	原材料規格による	ロット毎	処理後		計測	作業者	フィブリル化管理表	廃却 設備点検	
7	保管	木粉		ロット	保管場所 保管状況	先入先出 取り扱い	ロット毎 ロット毎	作業時 作業時		目視 目視	作業者 作業者			保管は室内
8	出荷	木粉		ロット	出荷量		ロット毎	出荷前		目視	作業者	出荷管理表		

図2-9 CNF添加木粉製造 QC工程図

イ. 部品スペックに対応できるCNF入り木粉製造のカスタマイズ量産手法確立

自動車部品は、使用部位により要求される性能が異なってくる。これに対応するためには、フィルターの種類、フィルターの添加量、使用する樹脂の系列、添加剤等による方法が用いられる。ここでは、CNF添加量、即ちCNF入り木粉の性状を変えることでの対応を採用することを想定したカスタマイズ木粉を検証した。本検証では、実ラインを利用して、各種部品スペックに対応できるCNF入り木粉製造（CNF含有量だけでなくベース木粉の制御も含め）の量産を行った。

1) 評価条件

CNF入り木粉をカスタマイズするためには、初期原料となる木粉種類、サイズ、粉砕条件が変動因子となる。表2-4には、原料となる木粉のスペックおよび粉砕条件を示す。原料は、調達面から、国産針葉樹あるヒノキおよび輸入材の欧州アカマツを用いた。初期サイズに関しては、経済性も考慮し、汎用の木粉をベースにしている。粉砕は、機能と量産性で昨年度事業にて実績のあるディスクミル（増幸産業社製：マスコロイダー）を用いた。粉砕条件としては、CNFフィブリルの形成に影響する含水処理とCNFフィブリル形態に影響するディスククリアランスとした。

カスタマイズの評価としては、コスト面から原材料として安価な、ヒノキ木粉200~300 μ m、処理工程が簡易な、追加含水処理なし/ディスククリアランス350 μ mをスタンダードとし、このスタンダードに対する評価を行った。

表2-4 カスタマイズ条件

No.	粉碎前原料		粉碎条件	
	樹種	初期サイズ(μm)	追加含水	ディスククリアランス(μm)
A	ヒノキ	200~500	無(10%含水)	350
B	↓	↓	↓	200
C	↓	↓	有(20%含水)	350
D	↓	↓	↓	200
E	↓	200μm以下	無(10%含水)	350
F	↓	↓	↓	200
G	↓	↓	有(20%含水)	350
H	↓	↓	↓	200
I	欧州アカマツ	300μm以下	無(10%含水)	350
J	↓	↓	↓	200
K	↓	↓	有(20%含水)	350
L	↓	↓	↓	200

← スタンダード品

2) 評価結果

評価は、CNF 入り木粉自体の性状評価を実施し、これら木粉を用い、複合化したときの性能から、どのようなカスタマイズが可能であるかを評価した。

◆生産性の確認

図2-10には、出発原料に用いた木粉の粒度分布を示す。ヒノキ 200~500 μm は、394 μm にシャープなピークが存在し、分布幅も狭い。これは、200 μm 以下の微粒子を除去しているためである。一方、ヒノキ 200 μm 以下および欧州アカマツ 300 μm 以下は、各々最大ピークが、262 μm、229 μm であるが、ブロードな粒度分布を示している。

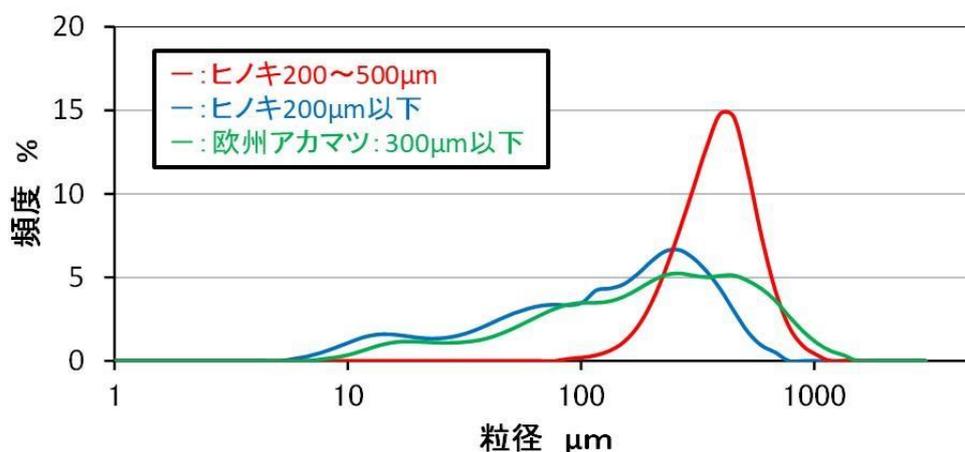


図2-10 出発原料に用いた木粉の粒度分布

図2-11には、出発原料に用いた木粉のSEM画像を示す。ヒノキ 200~500 μm は、粒子が揃っており、アスペクト比の小さいキューブ状である。一方、ヒノキ 200 μm は、アスペクト比の大きい繊維状の木粉である。欧州アカマツ 300 μm 以下もヒノキ

200 μ 以下同様、繊維状の木粉が多く認められるが、幅のある木粉が少ない。以上より、出発原料のサイズ違い、樹種違いでも差がある点は、カスタマイズにおいて有効な手段であると言える。

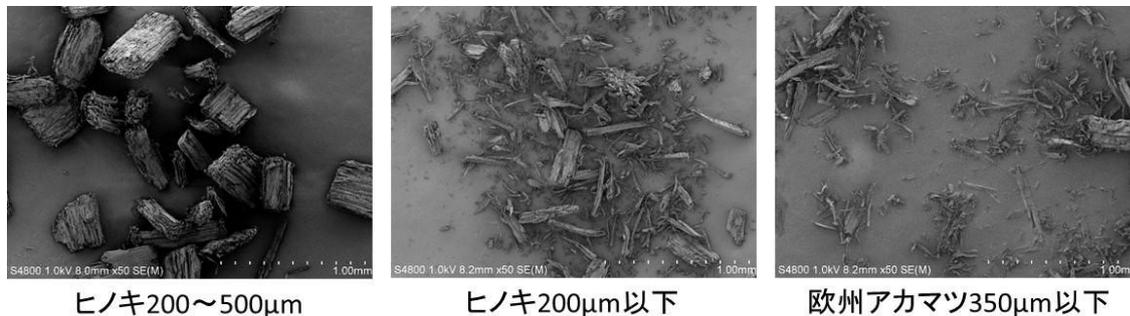


図 2-11 出発原料に用いた木粉の SEM 画像

図 2-12 には、各カスタマイズ手法における量産のディスクミル（増幸産業社製：マスコロイダーMKZA15-40）での生産能力を示す。全てのカスタマイズ手法で目標とする生産能力（100 kg/h）は達成している。全体的に含水することで、生産能力は低下している。これは、含水により木粉が膨潤し、サイズが大きくなっているためであると考えられる。また、クリアランスでは、200 μ m より 350 μ m のほうが、高い生産能力を示している。初期木粉の違いでは、ヒノキ 200~500 μ m は、クリアランスより木粉サイズが大きいため、生産能力が、他の木粉に比べ少なくなっている。ヒノキ 200 μ m 以下や欧州アカマツ 300 μ m 以下は、クリアランスよりサイズが小さいため、高い生産能力を示している。しかしながら、僅か 10% 含水量が増えることで、生産性は大きく低下している。吸水により木粉が膨潤していることが要因と考えられるが、ヒノキ 200~500 μ m に比べて、その差が大きいことから、ほかにも要因は考えられる。考察は後述するが、木粉自体に何らかの形状変化が発現している可能性は高い。

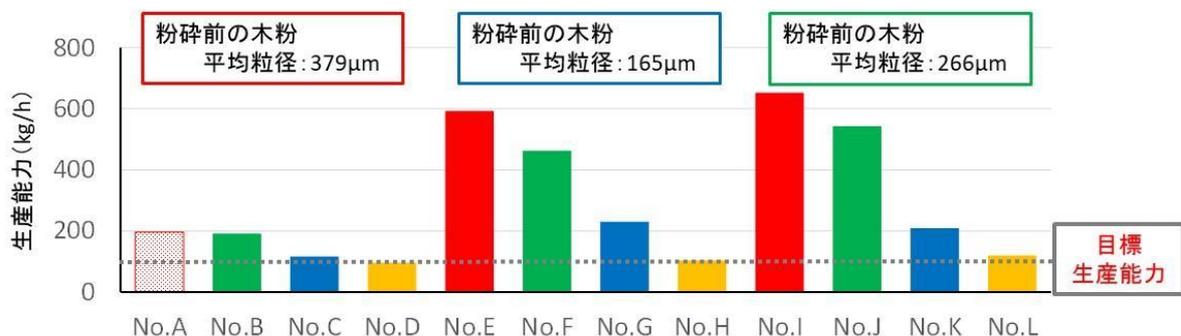


図 2-12 各カスタマイズ手法における生産能力

◆カスタマイズ木粉の評価

図2-13には、各カスタマイズ手法における CNF 入り木粉の平均粒径を示す。全体的に、追加含水無、クリアランス 200 μm 、350 μm では、大きな差は生じておらず、追加含水有、クリアランス 200 μm で粒径が小さくなっている。ヒノキ 200~500 μm では、クリアランス 350 μm では、平均粒径がクリアランス以下となっているが、クリアランス 200 μm では、平均粒径がクリアランス以上となっている。図2-14には、ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における粒度分布と SEM 画像を示す。SEM 画像から明らかなように、アスペクト比の高い木粉が増えている。粒度分布は繊維長を径とした球形で測定されているため、見かけ上の平均粒径が小さくならなかったと考えられる。また、粒度分布の結果から、クリアランス 200 μm 含水 20% では、100 μm 以下の木粉が増加しており、17 μm 付近に小さなピークが認められる。図2-15には、ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における木粉の拡大した SEM 画像を示す。含水 20% 添加することにより、細く長い形状となっている。これは、含水により、より繊維方向に解繊されやすくなったためと推察される。

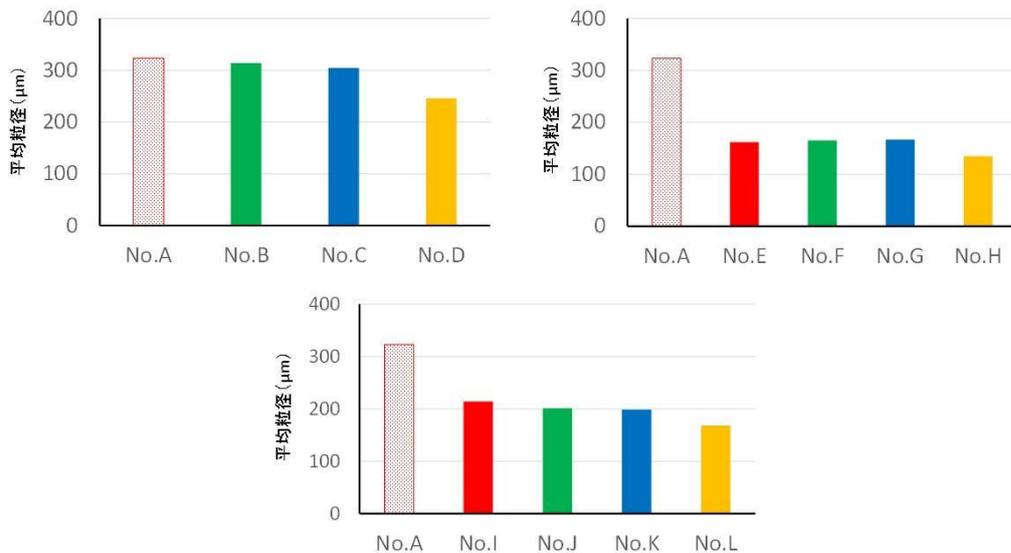


図2-13 各カスタマイズ手法における CNF 入り木粉の平均粒径

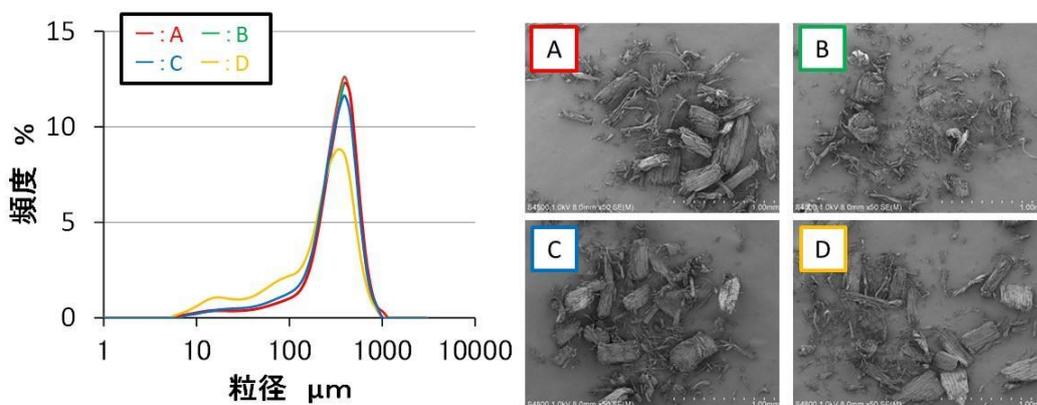


図2-14 ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における粒度分布と SEM 画像

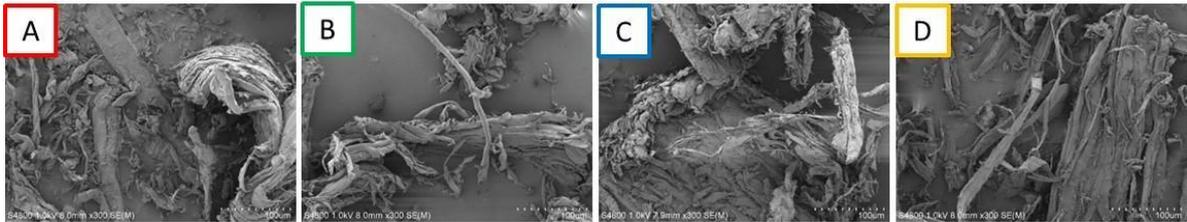


図2-15 ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における SEM 画像 (拡大)

図2-16には、ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における木粉表面の SEM 画像を示す。含水 10%では、クリアランス 350 μm 、200 μm とも木粉表面は滑らかな表面を呈しているのに対し、含水 20%では、ナノレベルで、荒れたささくれ状の形状となっている。このように、初期木粉が、ヒノキ 200~500 μm を用いた場合、CNF も含む微粒分、アスペクト比および表面性状のカスタマイズができると言える。

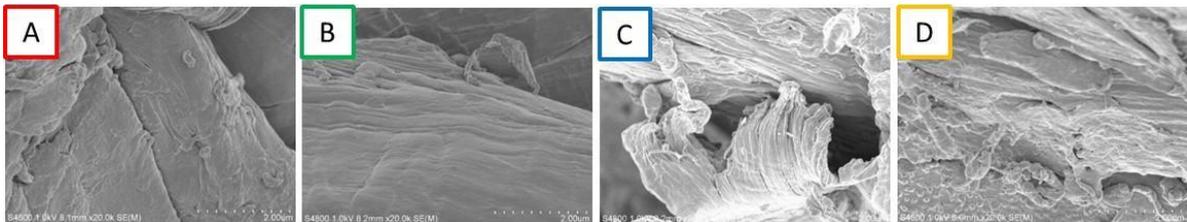


図2-16 ヒノキ 200~500 μm で各カスタマイズ手法における木粉表面の SEM 画像

ヒノキ 200 μm 以下の平均粒径では (図2-13)、クリアランス 350 μm 含水 10%と 20%、クリアランス 200 μm 含水 10%では、ほとんど同じ平均粒径を示している。初期木粉が、クリアランスよりも小さいため、ある程度予想通りの結果ではある。また、クリアランス 200 μm 含水 20%のみ平均粒径が小さくなっている。これは、前述で考察したとおり、含水による膨潤が影響していると考えられる。

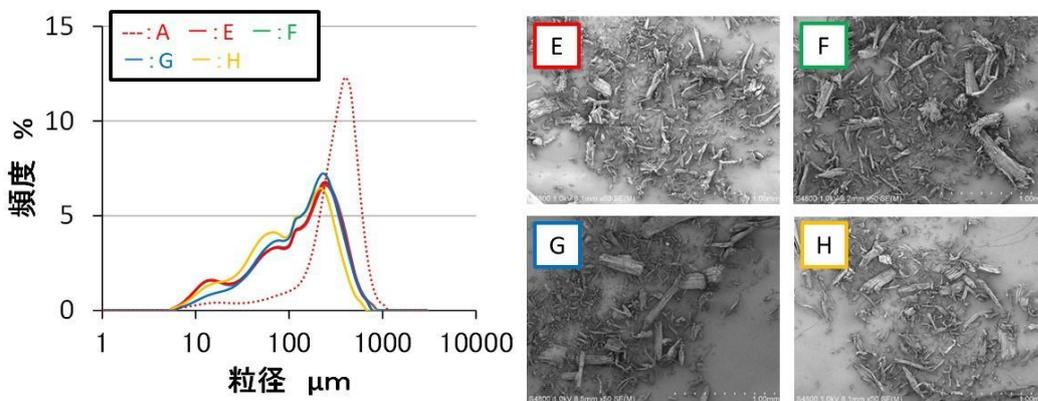


図2-17 ヒノキ 200 μm 以下で各カスタマイズ手法における粒度分布と SEM 画像

図 2-18 には、ヒノキ 200 μm 以下で各カスタマイズ手法における木粉の拡大した SEM 画像を示す。含水 20%では、アスペクト比に高い細い木粉が目立つ。粒度分布 (図 2-17) では、15 μm のピークが大きかったクリアランス 350 μm 含水 10%では、細かい木粉が凝集した塊上の微粒分が生じている。粒度分布では、アスペクト比の高い細い木粉と会場の木粉が同サイズでカウントされたと考えられる。

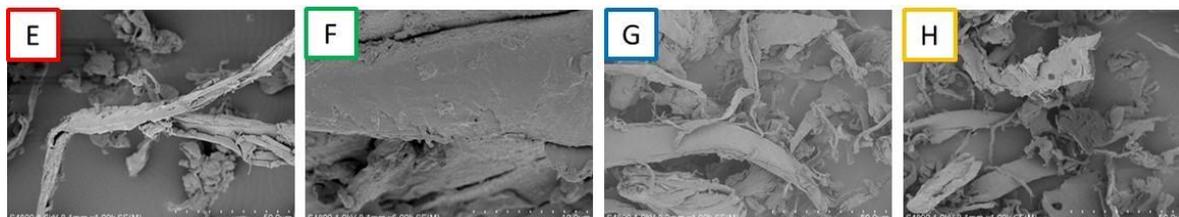


図 2-18 ヒノキ 200 μm 以下で各カスタマイズ手法における SEM 画像 (拡大)

図 2-19 には、ヒノキ 200 μm 以下で各カスタマイズ手法における木粉表面の SEM 画像を示す。含水 10%では、クリアランス 350 μm 、200 μm ともヒノキ 500~200 μm と同様、木粉表面は滑らかである。また、クリアランス 350 μm 含水 20%では、ナノサイズの毛羽立ちが観察されている。一方、クリアランス 200 μm 含水 20%では、滑らかな表面になっているように見える。これは、微細な毛羽立ちが消滅しているのか、さらなる微細分の影響であるかは定かでないが、この点は、後述する物性評価を合わせて考察する。このように、ヒノキ 200 μm 以下では、含水が少ない場合、塊状の木粉が生じる点や、含水 20%では、クリアランスによって、表面形状に違いが生じることが確認された。これらは、複合化した際、プラスに働くのかマイナスとなるのか、あるいは影響しないのかにより、カスタマイズ手法の是非を検証する。

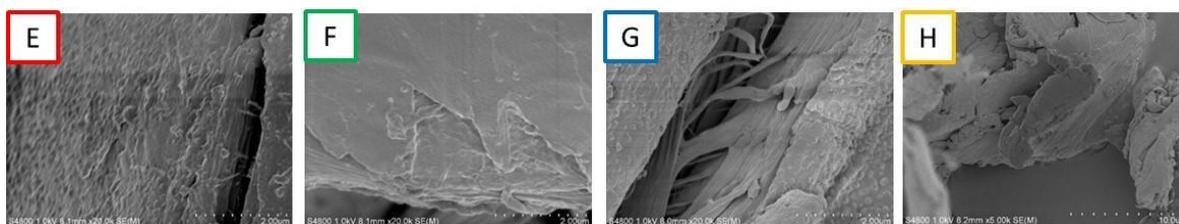


図 2-19 ヒノキ 200 μm 以下で各カスタマイズ手法における木粉表面の SEM 画像

欧州アカマツ 300 μm 以下の平均粒径では (図 2-13)、ヒノキ 500~200 μm と同様の傾向を示している。平均粒径が 300 μm 以下のため、この結果も予想通りではある。また、クリアランス 200 μm 含水 20%では、他の条件より平均粒径が小さくなっている点も含水による膨潤であると判断できる。図 2-20 には、欧州アカマツ 300 μm 以下で各カスタマイズ手法における粒度分布と SEM 画像を示す。SEM 画像から、

クリアランス 350 μm で含水量に関係なく、幅の広い木粉が目立つ。一方、クリアランス 200 μm では、幅が細い木粉が多い。これは、欧州アカマツの粉碎性が高いことが影響していると推察される。粒度分布では、ブランクに比べ小さくなっている点、微粒分が多い点は、初期木粉の性状に起因している。また、ヒノキ 200 μm 以下同様、微粒分がクリアランス 200 μm 含水 20%とクリアランス 350 μm 含水 10%に、15 μm のピークが認められる。しかしながら、図 2-21 の欧州アカマツ 300 μm 以下で各カスタマイズ手法における木粉の拡大した SEM 画像水でのクリアランス 350 μm 含水 10%では、塊状の木粉は認められない。全体的に、繊維方向で粉碎されていることが確認できる。

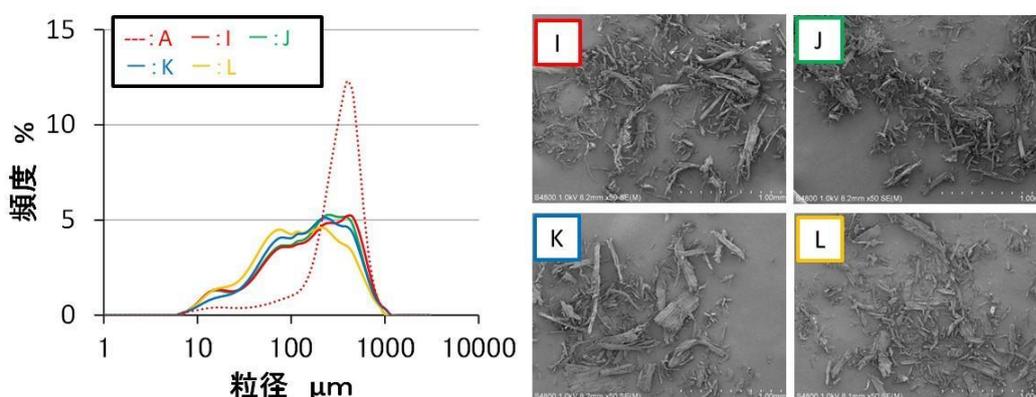


図 2-20 欧州アカマツ 300 μm 以下で各カスタマイズ手法における粒度分布と SEM 画像

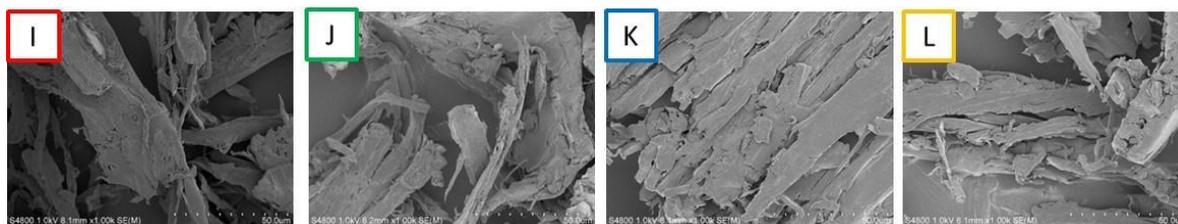


図 2-21 欧州アカマツ 300 μm 以下で各カスタマイズ手法における SEM 画像(拡大)

図 2-22 には、欧州アカマツ 300 μm 以下で各カスタマイズ手法における木粉表面の SEM 画像を示す。SEM 画像では、クリアランス 200 μm 含水 200%を除く表面は、滑らかなように見えるが、クリアランス 200 μm 含水 10%には、二桁ナノサイズの毛羽立ちが観察される。一方、クリアランス 200 μm 含水 20%は、三桁ナノサイズの毛羽立ちが生じている。これは、ヒノキには認められなかった現象で、粉碎性の違いが影響していると考えられる。この結果から、樹種を変えることでも、状態の異なるカスタマイズが可能となると判断できる。

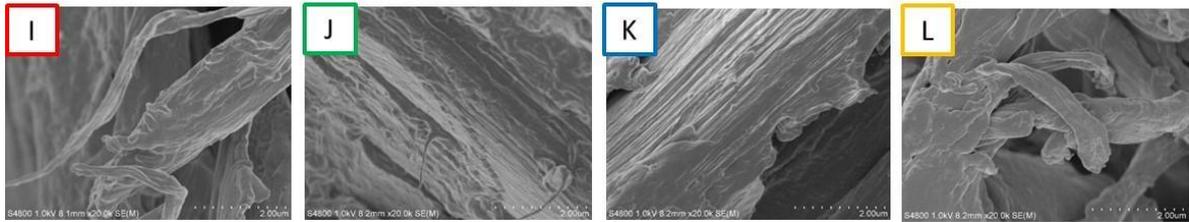


図2-22 欧州アカマツ 300 μ m 以下で各カスタマイズ手法における木粉表面のSEM画像

CNF 入り木粉製造において、初期木粉の条件と粉碎条件により状態の異なる、即ちカスタマイズできることが確認された。これら手法に関しては、製造条件を大きく変えることなく実現できていることから、現場で導入できる手法である。しかしながら、ここでのカスタマイズは、複合材としての性能に寄与できる手法の提示であることから、有効性に関しては、後述する複合材（WPC）での評価で判断する。

②CNF 添加 WPC コンパウンドの量産検証

ア. 100 kg/hr 以上の生産能力を確保するコンパウンドの量産実証

前述した(1)①イにて、各種部品ニーズに対応できる性能を実現させるために、CNF 入り木粉のカスタマイズ化を実施し、生産性の確保から、状態の異なる CNF 入り木粉の製造を実現した。ここでは、これらカスタマイズ手法で量産した木粉を用い、コンパウンドの評価を実施した。コンパウンド化においては、汎用の量産設備を用い、目標生産能力を確保するとともに、製造原価 300 円/kg以下となるコンパウンド生産システムを構築した。

1) 評価条件 (各カスタマイズ CNF 入り木粉比較)

表 2-5 には、コンパウンド化に使用した原材料を示す。樹脂に関しては射出成型グレード、相容化剤は WPC に汎用的に用いられる酸変性樹脂を使用した。即ち、経済性を考慮し、特殊な原材料は用いていない。

表 2-5 コンパウンド使用原材料

種類	名称	メーカー	詳細
木粉	CNF 添加木粉	—	各種No. A~L
ポリプロピレン(PP)	プライムポリプロ J107G	プライムポリマー(株)	MFR30、ホモタイプポリプロピレン
相容化剤	カヤブリッド006	化薬アクゾ(株)	マレイン酸変性ポリプロピレン

実用化において、CNF 入り木粉の添加量は、部品により異なる。これは、現状利用されているタルク充填プラスチックやガラス繊維プラスチックでも同じである。したがって、これら用途も見据えたコンパウンド製造を構築しなければならない。そこで、現状フィラー充填プラスチック分野で用いられているマスターバッチ手法を検証した。さらに、本カスタマイズ手法で製造した CNF 入り木粉は含水しており、乾燥工程も必要となる。ここから、乾燥とマスターバッチを同時に実施できるヘンシェル型ミキサを用いた手法で検証した。

表 2-6 には、マスターバッチの配合を示す。マスターバッチは、CNF 入り木粉量 70%とした。混練装置は、20L カワタ社製スーパーミキサを用い、回転数 2000rpm、ジャケット温度 200℃で所定トルクとなった時点を終点とした。混練後攪拌翼で冷却したものをマスターバッチとした。

表 2-6 マスターバッチ配合

No	PP	相容化剤	CNF入木粉	木粉No.	CNF添加木粉 製造時 詳細		
	プライムポリマー プライムポリプロ J107G	化薬アクゾ カヤブリッド 006	Dry重量		木粉種類	含水処理	クリアランス
①	27.2	2.8	70.0	F	ヒノキ200 μ m以下	10%	200 μ m
②	27.2	2.8	70.0	H	↓	20%	↓
③	27.2	2.8	70.0	E	↓	10%	350 μ m
④	27.2	2.8	70.0	G	↓	20%	↓
⑤	27.2	2.8	70.0	B	ヒノキ200~500 μ m	10%	200 μ m
⑥	27.2	2.8	70.0	D	↓	20%	↓
⑦	27.2	2.8	70.0	A	↓	10%	350 μ m
⑧	27.2	2.8	70.0	C	↓	20%	↓
⑨	27.2	2.8	70.0	J	欧州アカマツ300 μ m以下	10%	200 μ m
⑩	27.2	2.8	70.0	L	↓	20%	↓
⑪	27.2	2.8	70.0	I	↓	10%	350 μ m
⑫	27.2	2.8	70.0	K	↓	20%	↓

↓
ブランク

ここで得られたマスターバッチとPPをCNF入り木粉添加量が25%となるように計量し、ナカタニ機械社製異方向2軸押出機AS30にてコンパウンド化(ペレット化)した(図2-23)。



図 2-23 コンパウンド化に使用した押出成形機

2) 評価結果 (各カスタマイズ CNF 入り木粉比較)

表 2-7、図 2-24 には、20L ヘンシェル型ミキサによるマスターバッチ生産能力を示す。

表 2-7 マスターバッチ生産能力

No.	木粉No.	木粉種類	水分量	処理クリアランス	生産時間(sec)	生産能力(kg/h)
①	F	ヒノキ200 μ m以下	10%	200 μ m	575	15.7
②	H	↓	20%	↓	718	12.5
③	E	↓	10%	350 μ m	623	14.4
④	G	↓	20%	↓	845	10.7
⑤	B	ヒノキ200~500 μ m	10%	200 μ m	395	22.8
⑥	D	↓	20%	↓	538	16.7
⑦	A	↓	10%	350 μ m	400	22.5
⑧	C	↓	20%	↓	694	13.0
⑨	J	欧州アカマツ300 μ m以下	10%	200 μ m	491	18.3
⑩	L	↓	20%	↓	898	10.0
⑪	I	↓	10%	350 μ m	509	17.7
⑫	K	↓	20%	↓	955	9.4

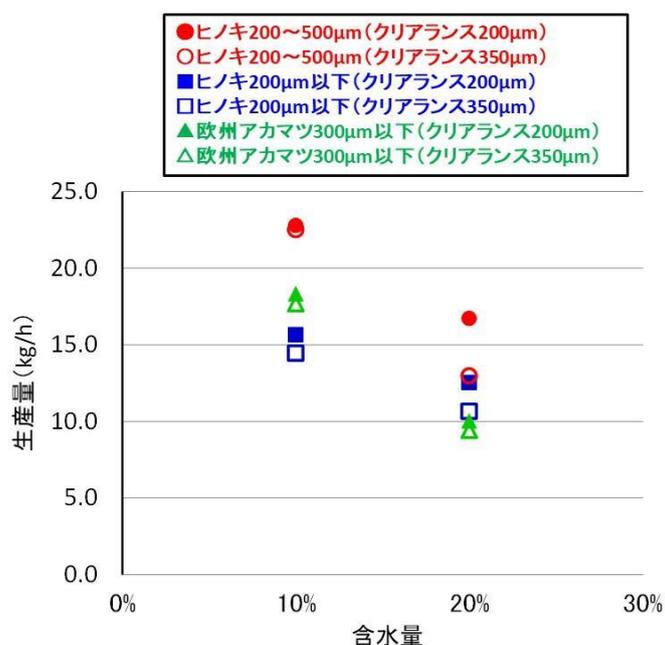


図 2-24 含水量と生産能力

初期木粉のサイズが小さくなるほど、含水量が多くなるほど生産能力は低下する。ヘンシェル型のミキサは、木粉同士の衝突のエネルギーで加温するため、木粉サイズが小さいと衝突機会が減少することから生産性が低くなっていると考えられる。また、含水が多いと乾燥に要する時間が長くなるため、生産時間は長くなる。

表 2-8 には、2 軸押出成形機における稼働状況と生産性を示す。

表2-8 2軸押出成形機における稼働状況と生産性

No.	木粉No.	木粉	含水処理 (D:10%, W:20%) クリアランス	スクローパー		フィード					押出 温度 C	押出 圧力 MPa	トルク A	真空 圧力 MPa	ダイス 穴	コンベア 速度	カッター 回転	吐出量 kg/h	
				回転	目盛	C1 C	C2 C	C3 C	C4 C	A C									D C
初期設定	-	-	-	-	-	165	200	215	200	190	190	-	-	-	-	-	-	-	
①	F		D200 μm	85.0	6.0	165	201	215	200	190	190	197	22.0	11.0	0.086	3.0	3.5	1.5	9.9
②	H	ヒノキ200 μm 以下	W200 μm	↓	↓	165	199	215	198	190	190	199	21.0	12.0	0.088	3.0	3.5	1.5	10.8
③	E		D350 μm	↓	↓	165	200	215	200	190	190	199	22.0	13.0	0.088	3.0	3.5	1.5	11.2
④	G		W350 μm	↓	↓	165	201	215	200	190	190	197	22.0	10.5	0.098	3.0	3.5	1.5	9.8
⑤	B		D200 μm	↓	↓	165	200	215	200	190	190	199	24.0	12.0	0.098	3.0	3.5	1.5	8.6
⑥	D	ヒノキ200~ 500 μm	W200 μm	↓	↓	164	199	215	200	190	190	200	23.0	10.0	0.098	3.0	3.5	1.5	11.0
⑦	A		D350 μm	↓	↓	167	201	215	199	190	190	199	20.0	13.5	0.096	3.0	3.5	1.5	9.2
⑧	C		W350 μm	↓	↓	164	199	215	199	190	190	200	18.0	14.0	0.098	3.0	3.5	1.5	12.6
⑨	J		D200 μm	↓	↓	165	200	215	200	190	190	197	18.0	11.0	0.096	3.0	3.5	1.5	9.8
⑩	L	欧州アカマツ 300 μm 以下	W200 μm	↓	↓	166	201	215	200	190	190	199	19.0	12.5	0.097	3.0	3.5	1.5	9.6
⑪	I		D350 μm	↓	↓	164	200	216	199	190	190	199	19.0	12.0	0.097	3.0	3.5	1.5	11.8
⑫	K		W350 μm	↓	↓	164	200	215	199	190	190	199	18.0	10.5	0.098	3.0	3.5	1.5	10.1

ヒノキに比べ欧州アカマツのほうが成形トルクで低い結果となっている。しかしながら、吐出においては、樹種の違いによる傾向差はない。もう少し細かく見ると、ヒノキでは、サイズ200~500 μm クリアランス350 μm 含水20%で、成形圧力が低く、吐出が高い結果となっており、サイズ200~500 μm クリアランス200 μm 含水10%で圧力が高く、吐出が低い結果となっている。連続運転時間が短いため、一概に木粉の影響と判断はできないため、後述する流動性等でこの違いを判断する。また、ヒノキ200 μm 以下では、CNF入り木粉の状態に関係なく、吐出、成形圧力とも安定している。この安定性に関しては、欧州アカマツにも同じことが言える。この考察も、性能試験や流動性の評価と照らし合わせて行わなければならないが、この両者は、平均粒径が小さいことが影響している可能性が示唆される。

図2-25には、各カスタマイズ木粉を用いたコンパウンドのMFRを示す。MFRは流動性を表す指標で、数値が大きいほど流動性が高くなることを示す。全てにおいて、MFRは目標値である5g/10min以上となっている。全体的に含水量が多い場合に流動性が低くなる傾向である。ヒノキ200~500 μmでは、ブランクであるクリアランス350 μm 含水10%が最も高い結果となった。先のCNF入り木粉評価ではクリアランスが小さいほど、含水量が多いほど、CNF成分が多くなっていると推察されるので、CNF含有量が多いほうがMFRの値が低くなるという結論になる。これは、マスターバッチ時に、大きな木粉にCNFが付着し、フィブリル構造を形成するためであると考えられる。フィブリル構造の形成は、機械的特性面でプラスであると考えられるので(詳細は後述)、流動性と機械的特性は、トレードオフの関係にあると言える。しかしながら、前述したコンパウンドの押出成形に見られたトルクと吐出量と流動性の関係には、密接な相関はない結果となった。ヒノキ200 μm 以下では、ヒノキ200~500 μmほど、傾向が少なくなっている。これは、ベース木粉のアスペクト比が高いため、流動時に配向することで、抵抗が少なくなっていることに起因すると考えられる。しかしながら、一般的にWPCでは、木粉サイズが小さくなるほど流動性が高くなることから、ブランクより流動性が低下した要因は、木粉表面に形成したフィブリルが影響していると推察される。欧州アカマツでは、ヒノキ200~500

μm と同じ傾向を示している。クリアランス 350 μm 含水 10%では、ブランクより高い流動性を示しており、流動性を高める手段としては、木粉の変更は有効的な手段であると言える。

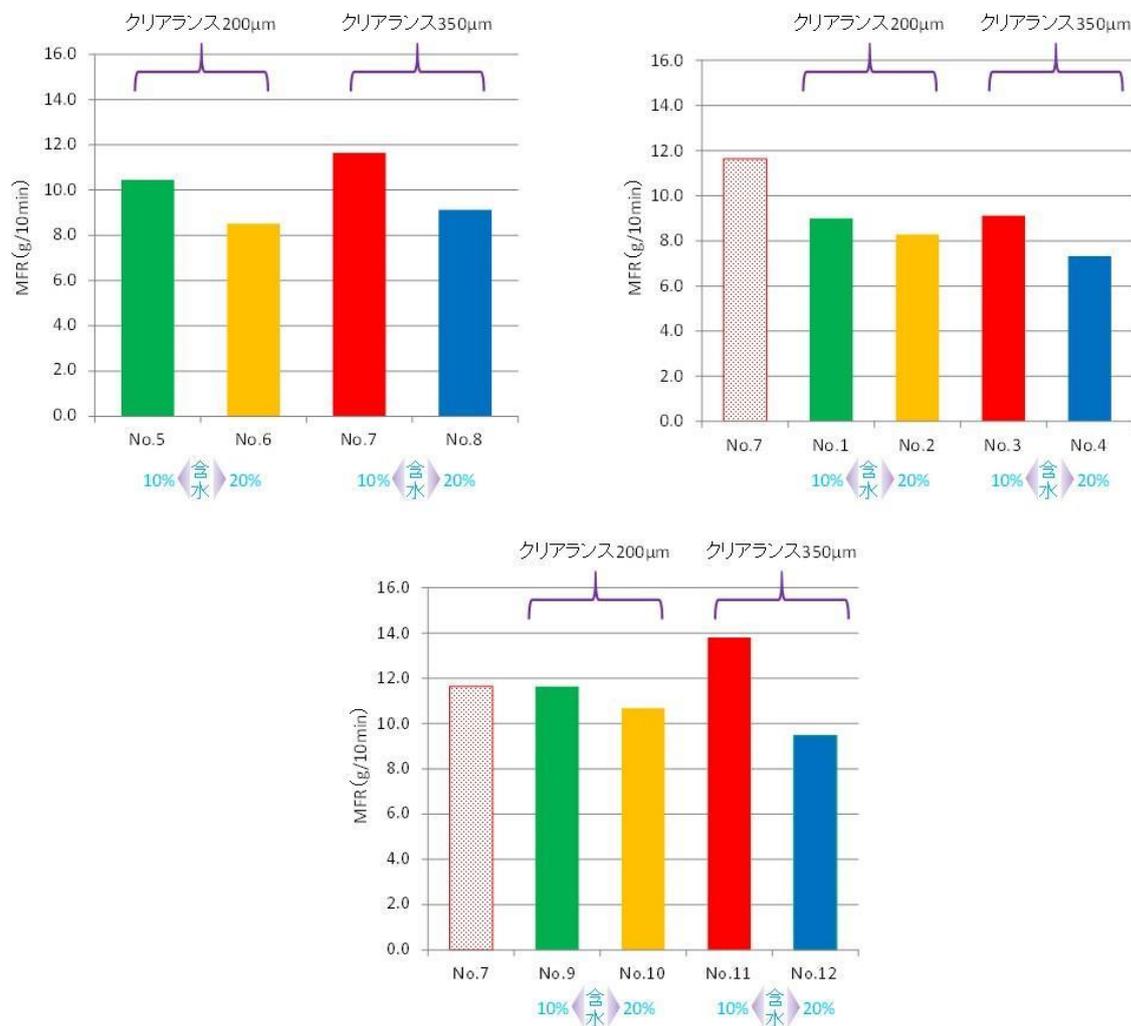


図2-25 各カスタマイズ木粉を用いたコンパウンドのMFR

図2-26には、各カスタマイズ木粉を用いたコンパウンドのキャピラリーレオメータ評価結果を示す。キャピラリーレオメータも流動性を評価する試験であるが、低せん断から高せん断まで連続した粘度を測定できるので、実際の成形においては、参考になる値が得られる。結論から言えば、MFRの結果とほぼ同じ傾向を示している。言い換えると、顕著なせん断依存性が生じるCNF入り木粉は無かったことになる。これは、実生産においては、扱いやすい結果である。また、MFR同様欧州アカマツは、カスタマイズ手法による大きな粘度差が少ない原料であると言える。

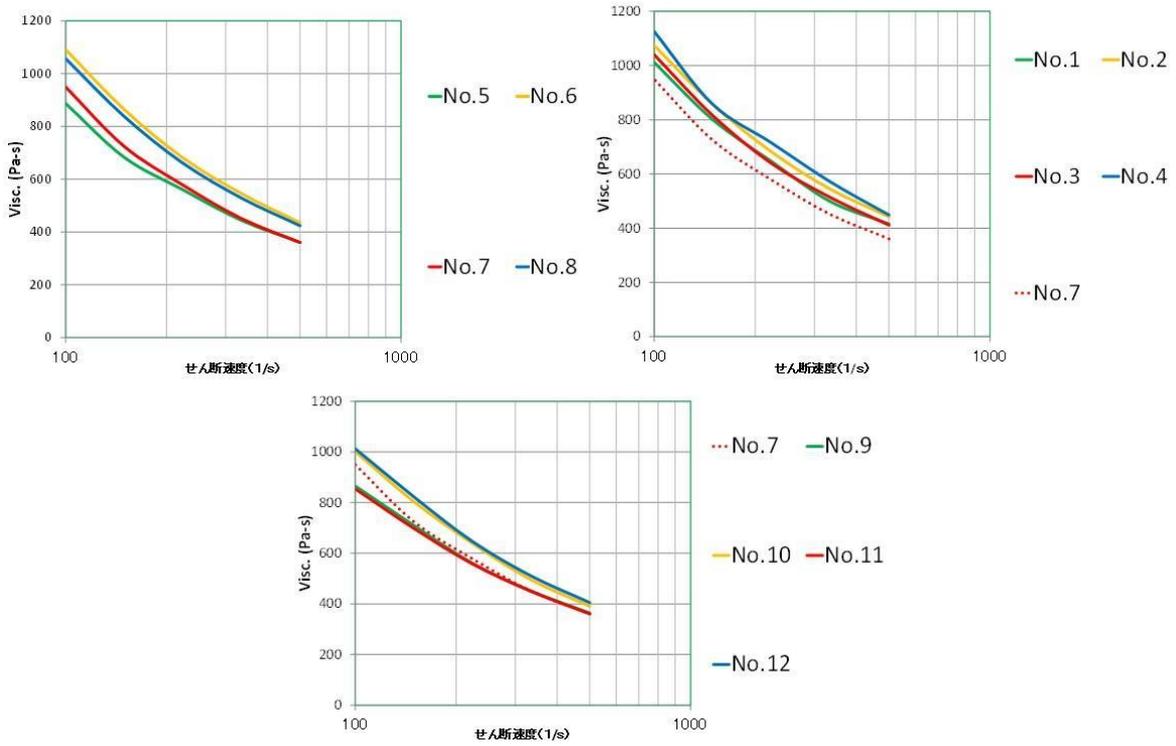


図 2-26 各カスタマイズ木粉を用いたコンパウンドのキャピラリーレオメータ評価

	含水10%	含水20%	含水10%	含水20%
	ディスクミル クリアランス200 μm	ディスクミル クリアランス200 μm	ディスクミル クリアランス350 μm	ディスクミル クリアランス350 μm
ヒノキ 200 μm 以下	 ①	 ②	 ③	 ④
ヒノキ 200~ 500 μm	 ⑤	 ⑥	 ⑦	 ⑧
欧州アカ マン300 μm 以下	 ⑨	 ⑩	 ⑪	 ⑫

図 2-27 コンパウンドの分散シート写真

図2-27には、コンパウンドの分散シート写真を示す。全てのカスタマイズ条件のCNF入り木粉においても均一分散が確保できている。今回比較はしていないが、マスターバッチ手法を取り入れたことにより、分散性が向上していると判断する。

3) 評価条件（量産性の評価と目標原価の算出）

前述CNF入り木粉を使用し同一配合にて、生産実機を用いた能力評価を実施した。マスターバッチは、東芝機械製IS-80Sを用い、コンパウンドは、東芝機械製TEM75BS（同方向2軸押出機）を用いた。この量産結果を用い、コンパウンドの原価を計算した。

4) 評価結果（量産性の評価と目標原価の算出）

表2-9には、マスターバッチ量産時の処理量と処理能力を示す。各種工程で能力差があるので、最も生産量の少ない工程に合わせると、生産能力は、200 kg/hとなる。マスターバッチは、CNF入り木粉充填率70%であるので、コンパウンド（CNF入り木粉充填率25%として）目標生産能力100 kg/hに対応するためには、35.7kg/h以上のマスターバッチ生産能力が必要となる。したがって、本量産結果は、目標生産能力に対応できる生産量以上を確保している。また、LCA評価のための電力測定も実施した。電力に関する考察は省略するが、このマスターバッチ工程には、木粉を乾燥するエネルギー使用量も含まれている。また、図2-31（P44）には、マスターバッチの工程図を示す。

表2-9 マスターバッチ量産時の処理量と処理能力

装置	処理量(kg/バッチ)	処理能力(kg/h)	電力量(kWh/バッチ)	原単位電力(kWh/kg)
高速ミキサー	100	258.8	12.40	0.124
冷却ミキサー	100	210.9	3.13	0.031
温調機	100	200.0	8.58	0.086
粉碎機	100	814.5	0.18	0.002
計		200.0		0.243

また、表2-10には、2軸押出成形によるコンパウンドの処理能力と電力量を示す。

表2-10 2軸押出成形によるコンパウンドの処理能力と電力量

装置	生産能力(kg/h)	電力量(kWh)	原単位電力(kWh/kg)
押出機モーター	177.5	28.13	0.158
押出機ヒーター	177.5	9.06	0.051
搬送ライン(冷却搬送ライン+選別機+原料搬送ライン)	177.5	4.21	0.024
小計			0.233

コンパウンドの目標生産能力 100 kg/h 以上に対して、177.5 kg/h の生産量を確保した。マスターバッチ同様、LCA 評価向けの電力の実測も行った。

表 2-11 には、本量産結果（生産量、電力地等の実測データを代入）をベースとした各素材のコスト一覧を示す。コスト詳細は、後述する経済性のところで示すので、ここでは、合計値のみ示している。昨年までの製法では、マスターバッチ工程を入れておらず工程自体は増えているが、製造原価において、目標となる 300 円/kg より約 50 円/kg 安価に製造できることが確認された。また、図 2-32 (P 44) には、生産工程図を示す。原価計算上は、新規設備導入で算出しているが、既存のコンパウンド設備を利用できる生産工程で実現している点は、事業リスクの軽減にも寄与している。

表 2-11 各素材のコスト一覧

	原価	売価	備考
CNF入り木粉	29 円/kg	33 円/kg	販売利益15%
マスターバッチ	134 円/kg	154 円/kg	販売利益15%
コンパウンド	248 円/kg	285 円/kg	販売利益15%

イ. 各種量産コンパウンドの性能評価

前述した (1) ①イの木粉を用い (1) ②アにてコンパウンドした各種カスタマイズ CNF 入り木粉コンパウンドの成形評価から、各種部品ニーズに対応できる性能確保の検証を実施した。また、流動性目標に関しては、前述 (1) ①イで評価、全ての使用で達成できているので、ここでは割愛する。

1) 評価条件

前述した (1) ②アのコンパウンドを用い、Rambaldi 社製 BabyPlast6/10 にて射出成型を実施、その性能を評価した。

2) 評価結果

図 2-28 には、各種カスタマイズ CNF 入り木粉 WPC の引張試験結果を示す。ヒノキ 200~500 μm では、各種カスタマイズ手法は、引張強度に大きな影響を与えていない。これは、ベースとなる木粉のサイズの影響あるいは、粒度分布差が無いことが影響していると考えられる。引張弾性率においては、僅かにクリアランス 350 μm 含水 20%で高い値を示しているが、ヒノキ 200~500 μm で引張強度のカスタマイズは困難であると判断できる。一方、ヒノキ 200 μm 以下、欧州アカマツ 300 μm 以下では、ブランク（ヒノキ 200~500 μm クリアランス 350 μm 含水 10%）より、引張強度、弾性率とも高い結果を示した。ヒノキ 200 μm 以下では、クリアランス 200 μm 含水 10%で高い引張強度を示しており、弾性率の傾向も類似している。CNF 入り木

粉と樹脂との界面強度に影響していると推察される。また、欧州アカマツ 300 μm 以下では、ブランクに対して高い値は示しているものの、各種カスタマイズ手法は、引張強度に大きな影響を与えていない。SEM 画像からは、アスペクト比が高い結果を得ているが、これらはマスターバッチ時に、欧州アカマツは粉碎性が良いので、断裂等のアスペクト比に影響を及ぼした可能性が考えられる。

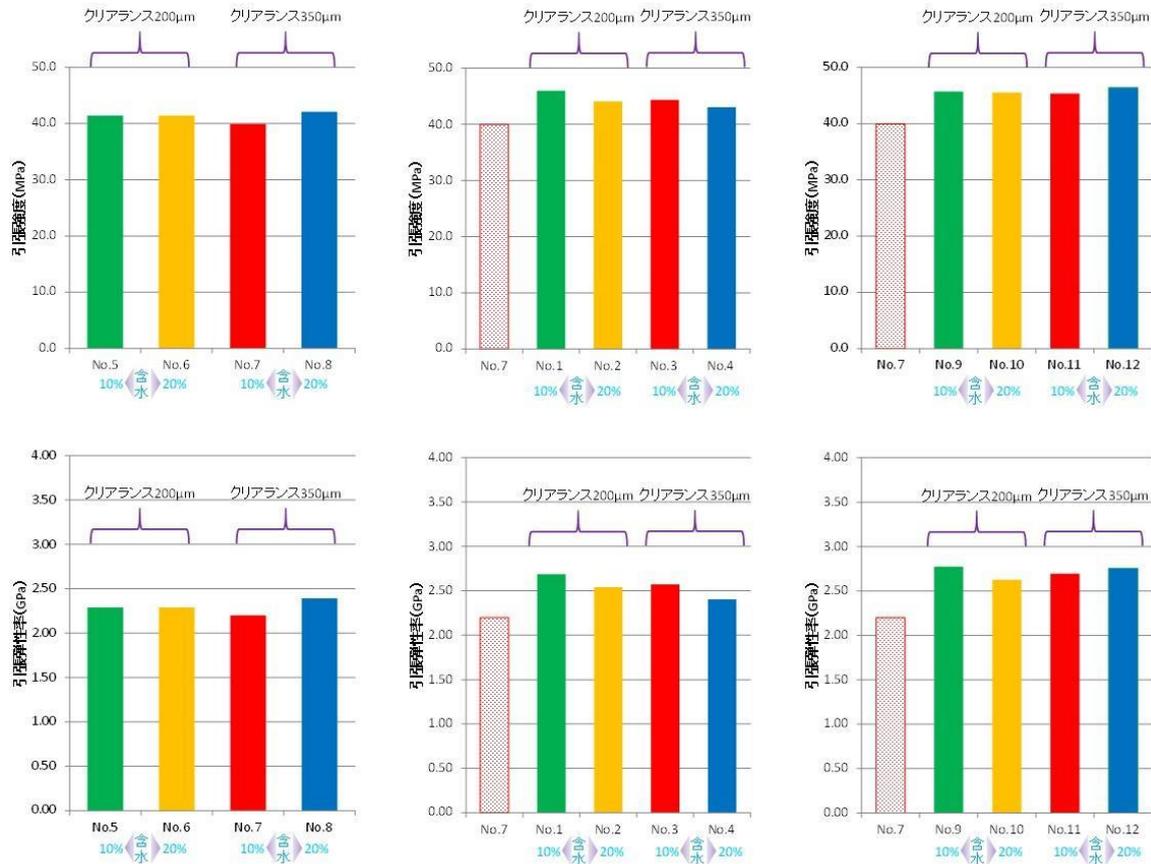


図2-28 各種カスタマイズCNF入り木粉WPCの引張試験結果

図2-29には、各種カスタマイズCNF入り木粉WPCの曲げ試験結果を示す。ヒノキ 200~500 μm では、クリアランスが大きいほど、含水が大きいほど曲げ強度が高くなる傾向となっている。これは、サイズの大きい木粉のアスペクト比に起因していると考えられる。弾性率においては、クリアランス 200 μm では、含水により、低下している。CNF等サイズの小さい木粉の増加が影響していると考えられる。クリアランス 350 μm では、逆に含水により弾性率が向上している。これは、サイズの大きい木粉のアスペクト比が影響していると考えられる。ヒノキ 200 μm 以下では、曲げ強度において、クリアランスの影響は認められないが、含水により曲げ強度が低下している。ブランクに比べても、引張強度の時に見られた強度アップは発現しなかった。これは、ベース木粉サイズが小さいことが要因であると予想される。弾性率も同様の傾向である。しかしながら、弾性率に関しては、含水量が少ない場

合、ブランクより高い結果を示している。欧州アカマツ 300 μm 以下においては、ヒノキ 200~500 μm 同様、クリアランスが大きいほど、含水が大きいほど曲げ強度が高くなる傾向となっているが、ブランクよりは、強度がアップしている。弾性率においても、すべてでブランクより高い数値を示している。このあたり、樹種の違いか木粉サイズかはさらなる検証が必要であるが、曲げにおいては、各カスタマイズ手法は有効であると考えられる。

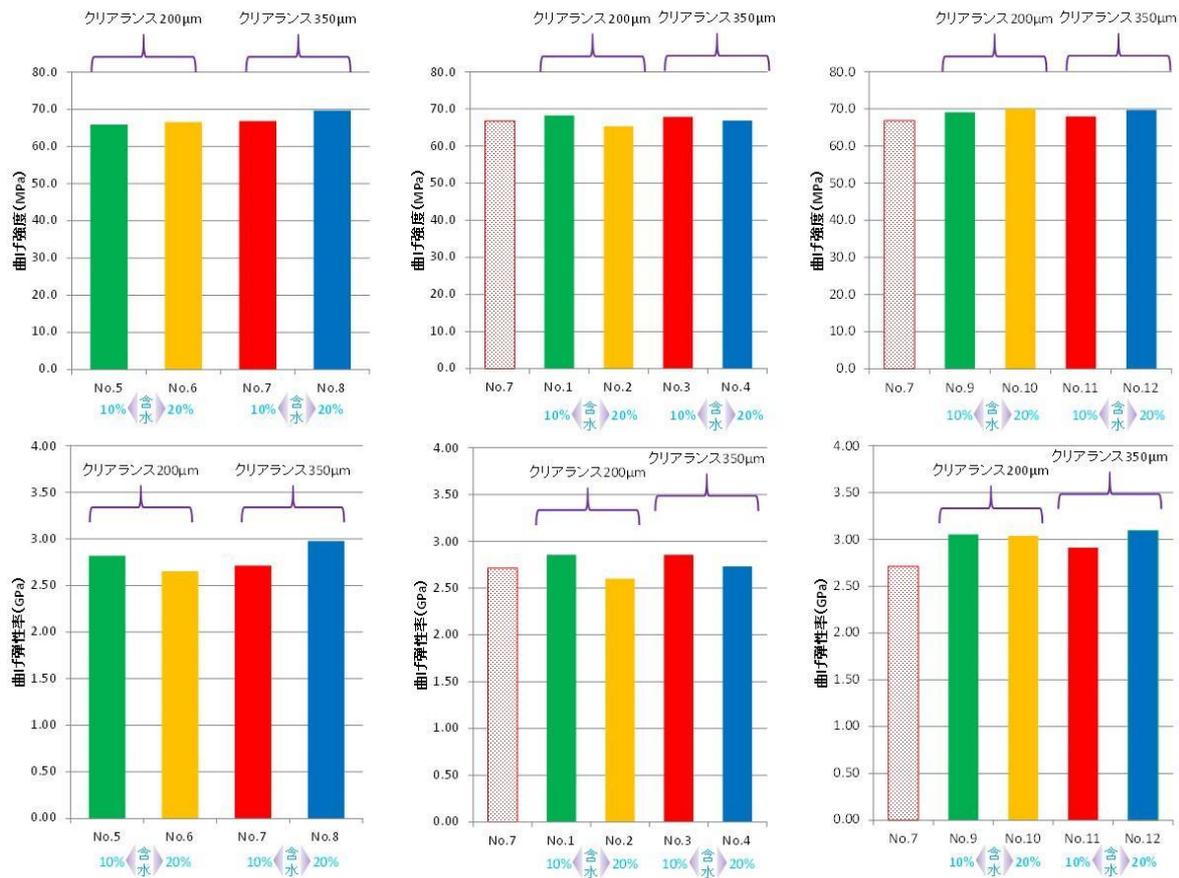


図2-29 各種カスタマイズCNF入り木粉WPCの曲げ試験結果

図2-30には、各種カスタマイズCNF入り木粉WPCの衝撃試験結果を示す。全ての木粉で類似の傾向が認められ、クリアランス200 μm 含水20%が最も高い衝撃強度を示した。本手法では、粉碎で生じるCNF量を定量できないが、この条件のCNF量が多くなると予想されるので、衝撃強度においては、CNF効果が強く発現していると考えられる。また、初期木粉サイズが小さいほど、衝撃強度は高くなっている。ただし、ヒノキと欧州アカマツの違いは、サイズであるか樹種であるかは、現時点では断言できない。一方、ブランクと比べると、ヒノキ200 μm 以下、欧州アカマツ300 μm 以下は高い結果となっている。衝撃強度のアップを図るのであれば、初期木粉サイズも重要なカスタマイズ因子となる。

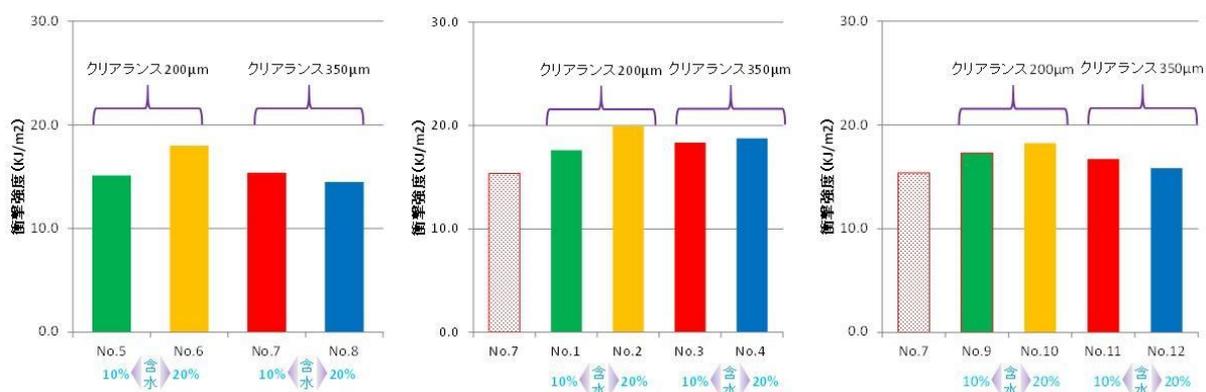


図 2-30 各種カスタマイズ CNF 入り木粉 WPC の衝撃試験結果

以上の結果より、各種粉砕条件を変動因子とすることで、各種部品に対応できるカスタマイズが可能であることが実証された。表 2-12 には、要求性能に対するカスタマイズ方法をまとめた。

表 2-12 要求性能に対するカスタマイズ手法

要求性能	利用例	手法
流動性の向上	バンパー等の大型成形品、稼働部品等の複雑形状品	樹種の変更
引張強度の向上	取っ手等の力のかかる部品、勘合の多い部品	初期木粉のサイズ
曲げ強度の向上	エアコン吹き出し口等の薄い部品	粉砕時のクリアランス
曲げ弾性率	電装部品等重量物を支える部品	含水、粉砕時のクリアランス、樹種
衝撃強度の向上	インパネ等衝突した際の危険性を配慮する部品	含水と粉砕時のクリアランス

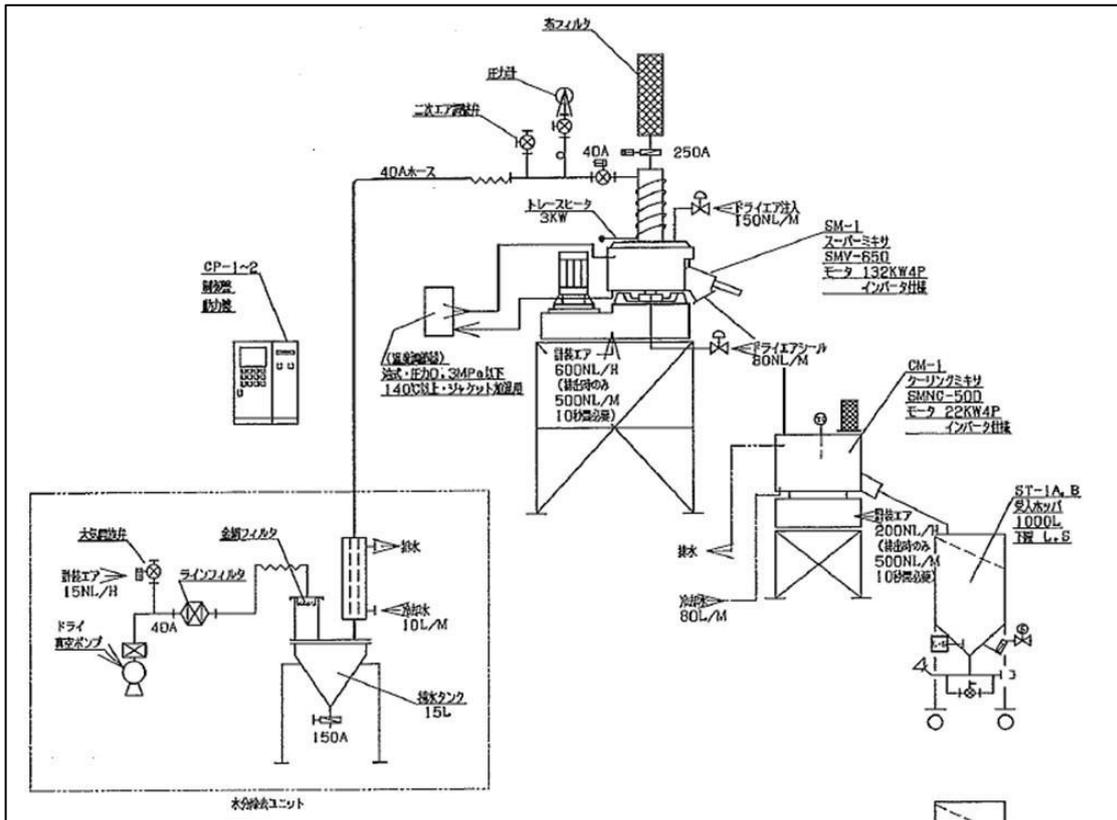


図2-31 マスターバッチの工程図

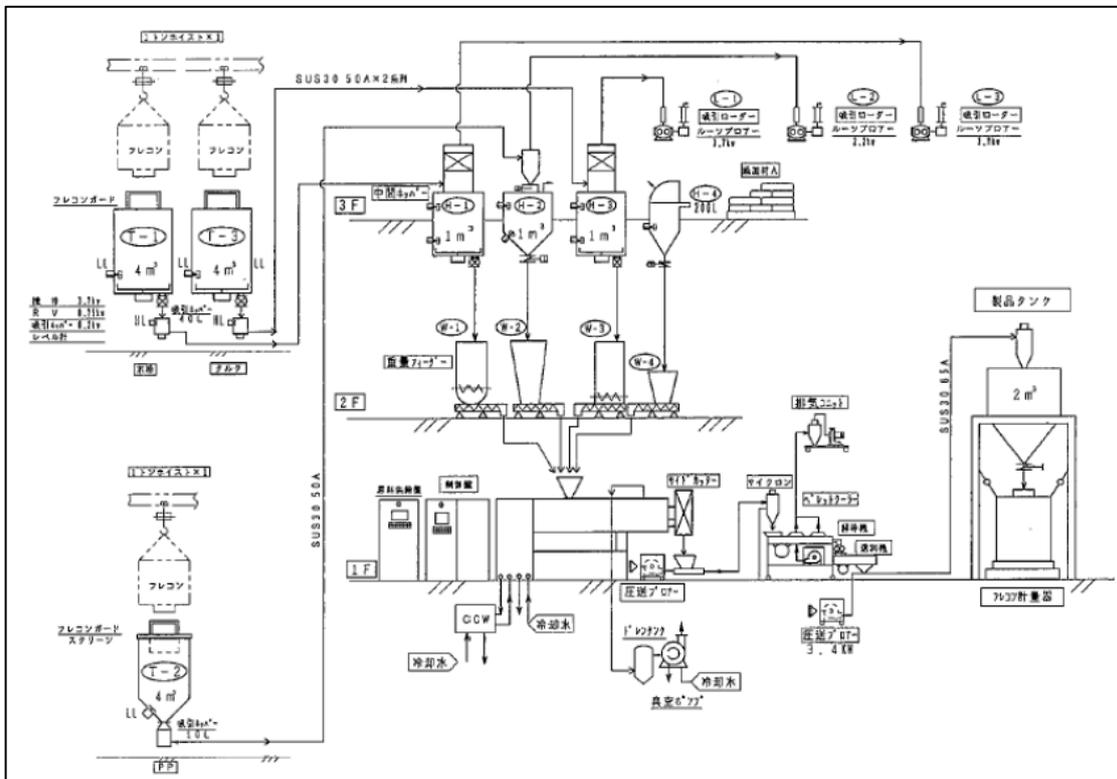


図2-32 コンパウンド生産工程図

(2) CNF 添加 WPC 製品の設計・製造

①実用途に対応できかつ、既存製品より、15%以上軽量化が図れる自動車内装部品の試作

ア. 各種スペックに合うカスタマイズレシピ技術の確立

前述(1)では、CNF 入り木粉でのカスタマイズ評価を実施したが、ここでは、以下に示すレシピによる各種機能化を検証した。化学発泡材添加の系にて 25%以上の軽量化が実現したが、マスターバッチ法を確立したことで、新たに実現できる軽量化、機能化技術に関しても合わせて報告する。

1)発泡による軽量化

図2-33には、CNF 入り木粉 30%PP 系 WPC における発泡倍率と曲げ強度の関係を示す。ターゲットとなるタルク充填プラスチックの比重が 1.08 で、25%軽量化するためには、比重が 0.81 となる。この時の発泡 WPC の強度は、44.9MPa となり、タルク充填プラスチックの曲げ強度 43.9MPa より大きくなる。この発泡手法は汎用技術を利用しているため、実用は容易となる。通常 WPC の発泡では、強度低下が大きいいため、発泡による軽量化は採用しない。今回、WPC の発泡が実現した要因は、CNF のネットワーク構造により、木粉同士にも何らかの結合状態が形成され、強度低下を抑制したと考えられる。

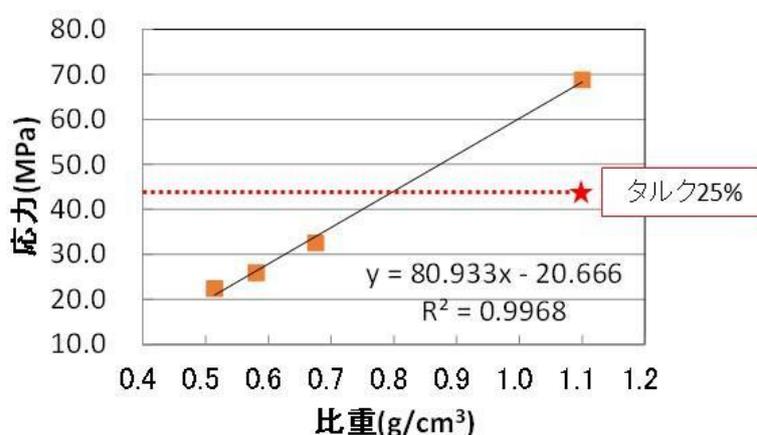


図2-33 CNF 入り木粉 30%PP 系 WPC における発泡倍率と曲げ強度の関係

2)曲げ弾性率の向上による薄肉化 (木粉充填量による効果)

一般的にフィラー充填プラスチックでフィラー充填量を増加させれば、弾性率は高くなる。ここで、CNF 入り木粉とタルクの比重差から、タルク 25%充填プラスチックと同等となる CNF 入り木粉添加量は 35%となる。図2-34には、木粉添加量と曲げ弾性率の関係を示す。マスターバッチ法を活用すれば、CNF 入り木粉充填量が最大 70%まで、変動できる。この手法により、CNF 入り木粉充填量 35%の WPC で、8%の軽量化が実現する。

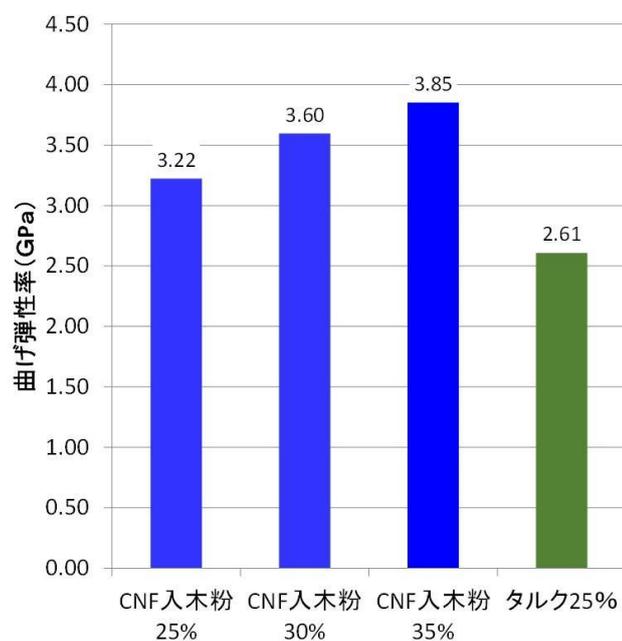


図 2-34 木粉添加量と曲げ弾性率の関係

3) 曲げ強度の向上による薄肉化 (核剤利用による効果)

PP は、結晶性の樹脂である点に注目し、結晶核剤添加による曲げ強度向上の検証を実施した。図 2-35 に核剤有無による曲げ強度の結果を示す。核剤の効果により、10MPa 程度強度アップをしている。これにより、3%程度の軽量化が図れる。この手法のポイントはコンパウンド時に添加するだけで高強度化が図れるため、製造が容易である。これも、マスターバッチ方式を用いることで、実現できる手法である。

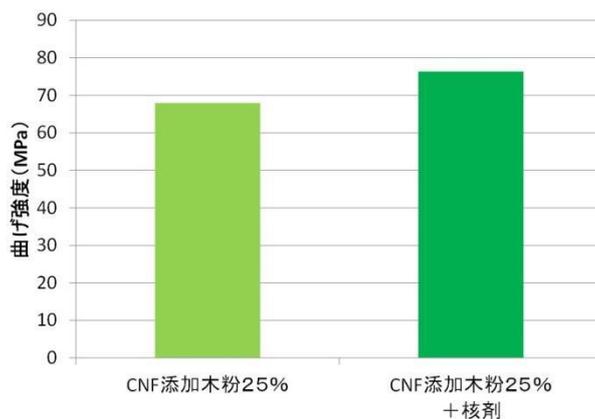


図 2-35 核剤有無による曲げ強度の結果

4) 衝撃強度の向上による薄肉化（水添スチレン系エラストマーの利用）

CNF含有量が増加することで、衝撃強度が向上することは、前述した。ここでは、さらなる向上を目指して、水添スチレン系エラストマー（SEBS）添加の検証を行った。フィラー充填プラスチックでは、ブロック系PPを使用することで、衝撃強度は、向上する。しかし、WPCでは、ブロック系PPの効果は、発現しない。そこで、木粉との相容性のあるSEBSを緩衝材として活用した。図2-36には、SEBS添加量と衝撃強度の関係を示した。ただし、本年度は、SEBS単独の効果を確認するため、CNFが存在していない通常の木粉で評価を行った。SEBS20%添加で、タルク充填プラスチックより高い衝撃強度を得ることができた。これは、SEBSによる緩衝効果が発現したと推察される。この、SEBS添加もマスターバッチ法が採用されたことで実現した手法である。

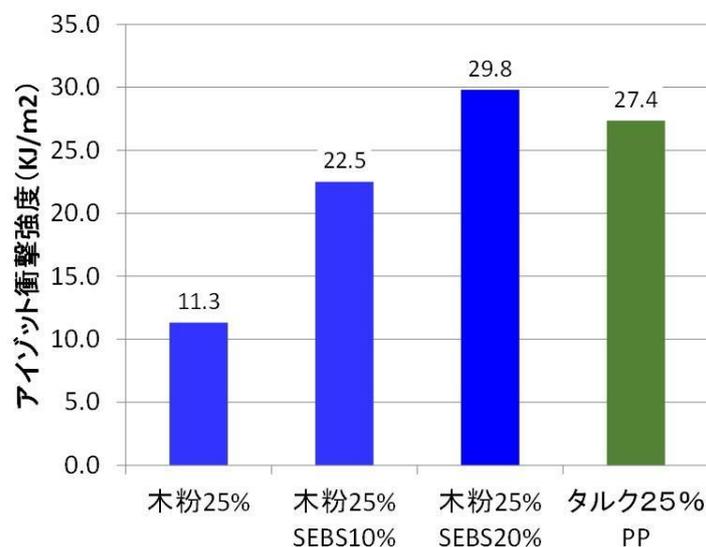


図2-36 SEBS添加量と衝撃強度の関係

5) MFRのコントロール（木粉充填率・流動性の異なる希釈樹脂の利用）

射出成型では、部品の形状、金型の設計等により、使用できるコンパウンドのMFRが異なる。そこで、様々な部品に対応するためには、MFR（流動性）のコントロールも必要となる。ここでは、木粉充填率によるMFRのコントロールと希釈樹脂の流動性によるMFRのコントロール結果を示す。図2-37には、CNF入り木粉添加量とMFRの関係を示す。前述したが、CNF入り木粉充填率は、曲げ弾性率のカスタマイズにも活用できる。CNF入り木粉充填量の増加によりMFRは直線的に低下する。直線的な変化は、現場にて、管理がしやすい。図2-38には、希釈樹脂のMFRとコンパウンドのMFRの関係を示す。樹脂のMFRは、MFRの逆数に比例するため、MFR変化は直線的ではないが、希釈樹脂でもMFRのコントロールができることが確認され

た。これらも、マスターバッチ手法を採用することで実現できるカスタマイズである。

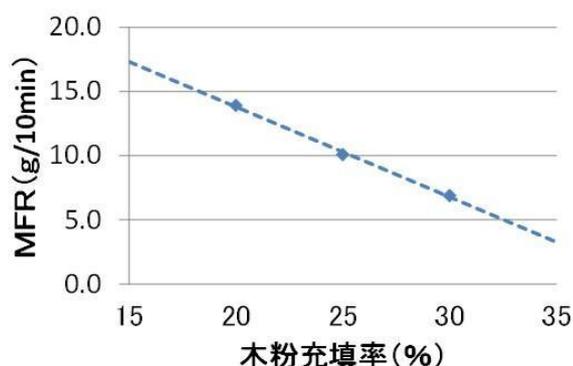


図 2-37 CNF 入り木粉添加量と MFR の関係

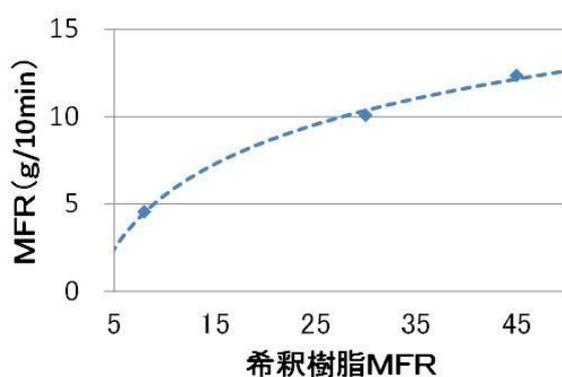


図 2-38 希釈樹脂の MFR とコンパウンドの MFR の関係

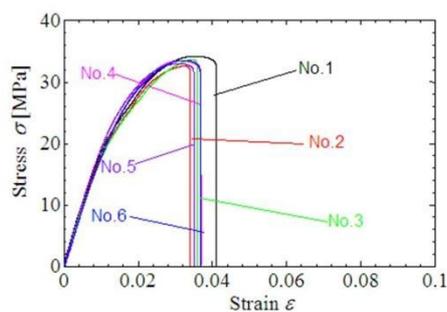
6) 混練方法の違いによる性能改善

カスタマイズとは少し異なるが、将来的にマスターバッチのカスタマイズの応用できる可能性が見いだされたため、ここでは、混練順序に関して評価した結果を報告する。表 2-13 には、原材料となる CNF 入り木粉、樹脂および酸変性樹脂の投入順序を変えた工程表を示す。酸変性樹脂には、高分子量タイプ（化薬アクゾ社製：カヤブリッド）、低分子量タイプ（三洋化成社製：ユーメックス 1010）を用いた。図 2-39 には、カヤブリッドを酸変性に用いた混練順序と引張強度の関係を示す。混練順序により、若干の違いは生じているが、破断応力、破断ひずみとも大きな差は生じていない。しかしながら、図 2-40 に示す、ユーメックス 1010 を用いた場合、破断ひずみに違いが生じた。この違いは、酸変性樹脂の融点による影響が大きいと考えられる。また、酸変性樹脂の違いにより、ひずみに影響していることも確認で

きる。部品によっては、靱性を求められる用途もあり、酸変性樹脂レシピの変更もカスタマイズ手法の一つであることが確認された。

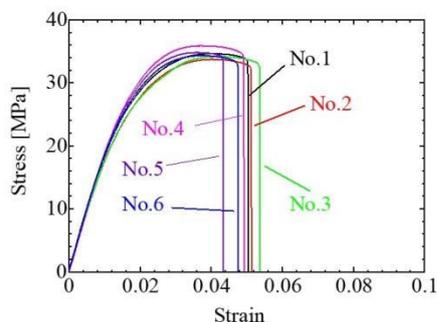
表 2-13 投入順序を変えた工程表

条件No.	第一混練	第二混練	第三混練
1	木粉 (5分間)	相溶化剤 (5分間)	樹脂 (5分間)
2	木粉 (5分間)	樹脂 (5分間)	相溶化剤 (5分間)
3	木粉 (5分間)	樹脂 相溶化剤 (10分間)	
4	木粉 相溶化剤 (10分間)	樹脂 (5分間)	
5	木粉 樹脂 (10分間)	相溶化剤 (5分間)	
6	木粉 相溶化剤 樹脂 (15分間)		



条件	1	2	3	4	5	6
破断応力 σ [MPa]	34.2	32.6	33.7	33.5	33.0	33.5
破断ひずみ ϵ	0.041	0.034	0.036	0.037	0.034	0.037

図 2-39 混練順序と引張強度 (カヤブリット)



条件	1	2	3	4	5	6
破断応力 σ [MPa]	34.6	35.0	34.2	35.9	35.0	34.3
破断ひずみ ϵ	0.050	0.051	0.054	0.049	0.043	0.048

図 2-40 混練順序と引張強度 (ユーマックス)

イ. 各種スペックに合う部品加工の製造

27年度、28年度は、WPCの外観特性を活かしてフロント周りのウッドパネルをターゲットとして試作したが、本年度は、触感の特性を活かしたグリップの軽量化を検証した。また、本年度は、素材による軽量化ではなく、成形加工による軽量化を実施した。具体的手法としては、中空構造の付与である。インナーグリップ等肉厚な素材は中空による軽量化が活用できる。尚、この評価は、実際の実機、実在金型を用いて実施しており、(2)②アの成形体サンプルのテーマと兼用した報告とする。

1) 試作概要

試作品製作の供試材料として(1)②イで量産したCNF入WPCコンパウンドと自動車内装部品製造に一般的なタルク充填PPの2種類の樹脂材料を用いた。CNF入WPCおよびタルクPPともにフィラー充填率を25wt%とした。

試作対象部品として自動車内装部品の中で強度が求められる部品の中からインナーグリップハンドルを選定した。インナーグリップハンドルは自動車のドア内側に設置され、ドア開閉時に掴んで開閉動作を行う部分である。インナーグリップハンドルの実在車両における使用例を図2-41に示す。



図2-41 インナーグリップの搭載イメージ

ドア開閉時に力点として力が加わる部品であり、握り易い形状とするため、ある程度の太さが必要となる。量産用金型の前に試作した金型を改造してWPC INNER GRIP 中空成形開発型として成形トライに供した。

試作にあたって成形前にWPC, タルクPP共に箱型乾燥炉にて120℃で5時間以上の予備乾燥を実施した。金型は「WPC INNER GRIP 中空成形開発金型」を使用した。

成形には射出成形機(日本製鋼所, JSW220AD (イオ C-1, 4214号機))を用いた。また中空成形については高圧窒素ガス発生装置((有)浦野技研, VP30-Csp)および窒素ガス注入制御装置 CINPRES ((有)浦野技研, VP30S)を用いた。成形に用いた成形システムの構成を図2-42に示す。

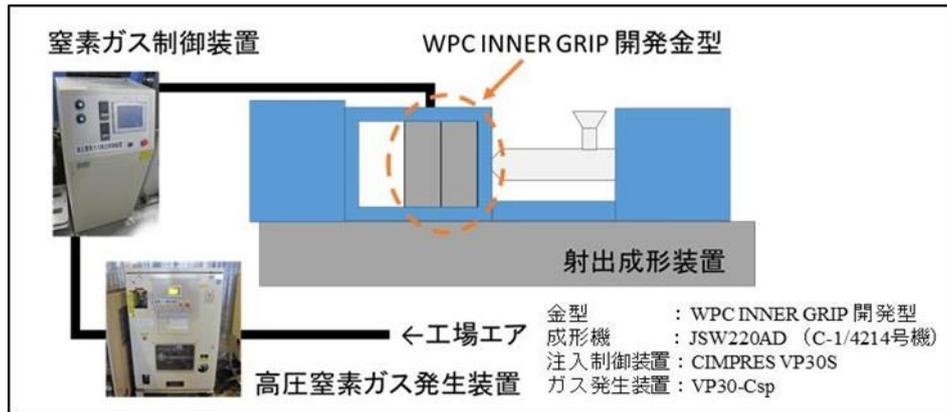


図2-42 試作に用いた成形システムの概要

試作においてグリップ部分にガスを充填した【中空成形】とガスを充填せずに樹脂を満たした【中実成形】の2成形条件を設定した。【中実成形】では製品取り出し時までに肉厚のグリップ芯部の熱が放熱しきれないため、水槽に沈めて冷却を行った。【中空成形】については製品取り出し後、特に処置を行わず雰囲気温度にて冷却した。得られた成形品の一覧を図2-43に示す。

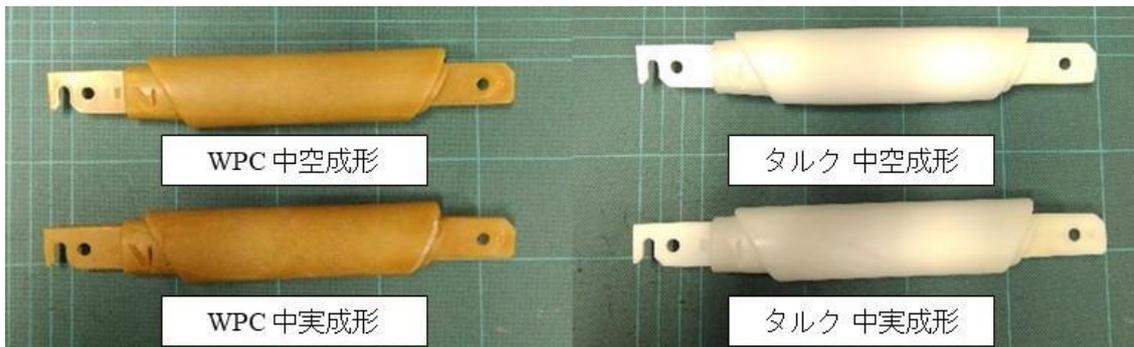


図2-43 成形した INNER GRIP 試作品

2) 試作品の評価方法

◆荷重試験

試作したグリップを用いて実際の製品での荷重試験と同様の方法で評価を行った。グリップハンドルでは実車搭載時の使用環境を想定して水平方向および垂直方向に荷重して破壊荷重を測定する。図2-44に試験方向を示す。それぞれに荷重するため図2-45に示した治具を用いて製品を固定し、荷重用のワイヤーを介してグリップ中央部にアムスラー試験機（東洋精機，V50e）にて荷重を加えた。ロードセルにて荷重を測定し、クロスヘッドの移動量を変位量として荷重変位曲線を得た。

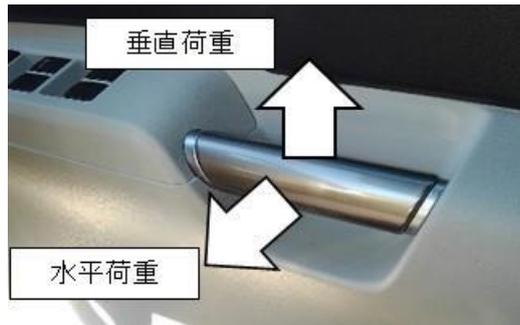


図 2-44 荷重試験方向

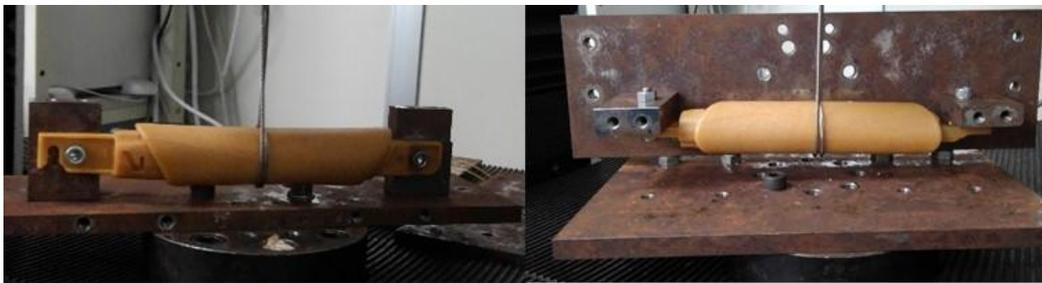


図 2-45 INNER GRIP の荷重試験

◆密度測定

試作したグリップを用いて密度の測定を行った。グリップから図 2-46 に示した 3 か所（ゲート付近、中央部、最終充填部）から測定用小片をコンターマシンおよび超音波カッターで切り出した。比重計(A&D, HR-202i および HD-1653)を用いて比重測定を行った。比重測定用の液体には無水エタノールを用いた。測定時の環境条件を表 2-14 に示す。以下に示す式によって無水エタノールおよび各測定小片の密度を測定した。なおグリップ中央部では表層部の表側と裏側の 2 ヲ所から【中空成形】では肉厚分、【中実成形】では中空成形の肉厚と同等の厚さになるよう小片を切り出した。

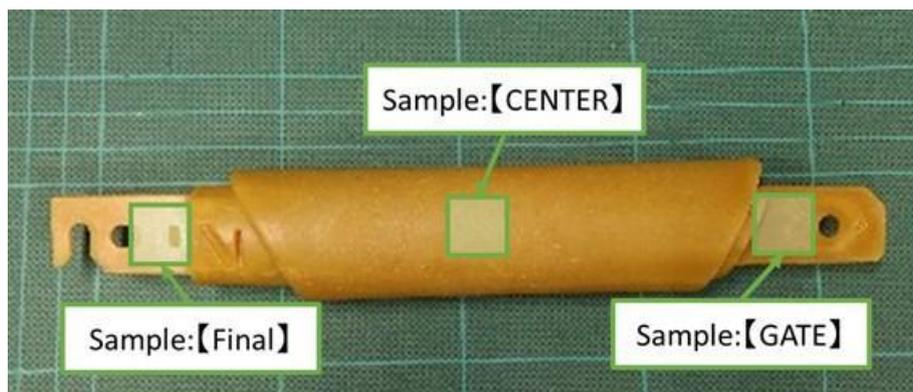


図 2-46 密度測定小片採取位置

表 2-14 密度測定環境条件

環境条件	記号	測定値
気温	Ta	17.5 °C
気圧	P	1026.9 hPa
⇒大気密度	d	0.001306 g/cm ³ ※
蒸留水温度	Td	10.5 °C
⇒蒸留水密度	ρ_d	0.999654 g/cm ³ ※
浮き子重量		
空气中		26.0494 g
蒸留水中		16.0153 g
エタノール中		18.0862 g
⇒エタノール密度	ρ_e	0.7939 g/cm ³ ※

備考

気圧は同時刻の浜松地方気象台発表値
蒸留水密度は1気圧の密度定数表より
エタノール密度は下記計算式による

※は測定値からの計算値

3) 評価結果

タルク PP および WPC で中空インナーグリップを成形することができた。【中実成形】では肉厚グリップ部の成形収縮によるヒケと反りが見られたが、荷重試験で治具への設置は可能であった。中空グリップについてコンターマシンにより断面を切断した様子を図 2-47 に示す。得られた成形品について重量測定を行った。各 5 体を測定した平均値と標準偏差を図 2-48 に示す。中空化によりタルク PP で 33.0%、WPC で 33.4%の軽量化が達成された。タルク PP と WPC で比較するとベースとなっている樹脂の比重を反映して WPC の方が軽量化されている。製品重量の標準偏差では【中空成形】【中実成形】ともに WPC の方がやや多くなる傾向にあった。



図 2-47 WPC 中空 INNER GRIP 試作品の断面

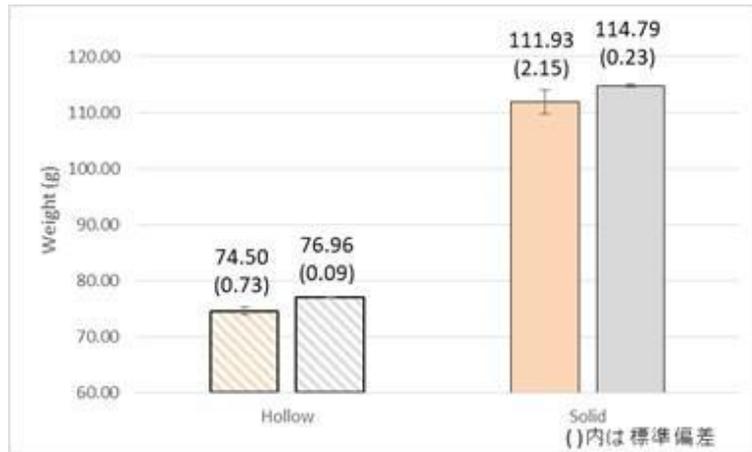


図 2-48 試作品重量

◆荷重試験

実車取付け状態を模擬した荷重試験の結果得られた荷重変位曲線（変位はクロスヘッド移動量）を図 2-49 に示す。【垂直荷重】による荷重変位曲線は WPC/タルク、中空/中実による傾きの違いはほとんどなかった。一方で降伏から破壊に至る挙動ではタルクが 1000N 程度で降伏して取付け部の変形を伴い延性的に破壊するのに対して、WPC ではタルクよりも大きな 1200N~1700N まで荷重が上昇したのち、降伏変形を示さずに脆性的に破壊した。

中空化による影響ではタルク/WPC とともに【中実】に比べて【中空】でより延性的になる傾向が見られた。WPC では特にその傾向が強く、破壊時の変位が中空化によりタルクでは 4%増加したのに対して、WPC では 35%の増加が見られた。

図 2-50 に各グリップの最大点荷重を示す。中空/中実ともに WPC はタルクより 50%程度大きな最大点荷重を示した。また中空成形とすることによる最大荷重低下は WPC、タルクともに見られなかった。

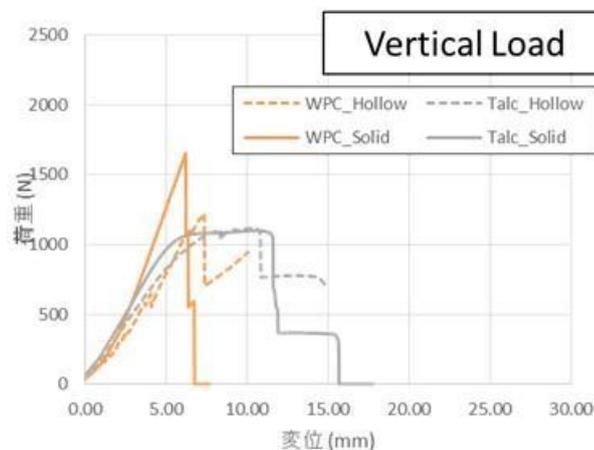


図 2-49 荷重変位曲線-垂直方向荷重

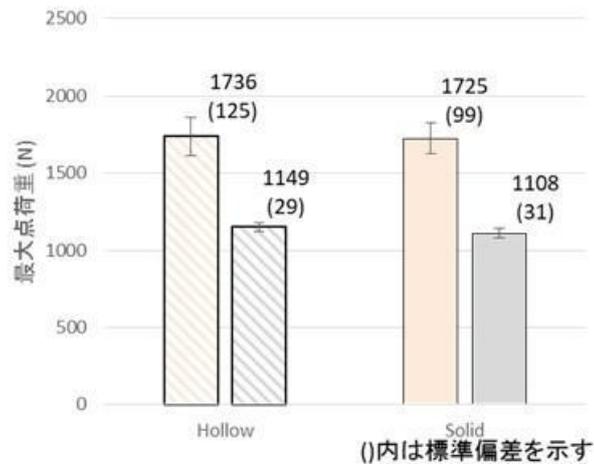


図2-50 最大点荷重-垂直方向荷重

次に【水平方向荷重】による荷重変位曲線を図2-51に示す。【水平方向荷重】でも【垂直方向荷重】と同様にタルクは降伏後に変形を伴い延性的に破壊し、WPCは大きな最大点荷重を示して脆性的に破壊する。また中空化することにより【中実成形】と比べてタルク、WPCともに破壊に至る変形量が大きくなった。図2-52に【水平方向荷重】による最大点荷重を示す。中空化による最大点荷重の変化をみると、タルクでは中空化により最大点荷重が約20%低下する結果となったが、WPCでは中空化による最大点荷重の低下は見られなかった。

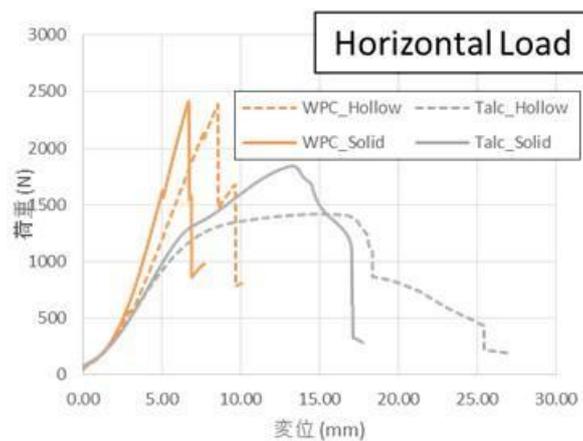


図2-51 荷重変位曲線-水平方向荷重

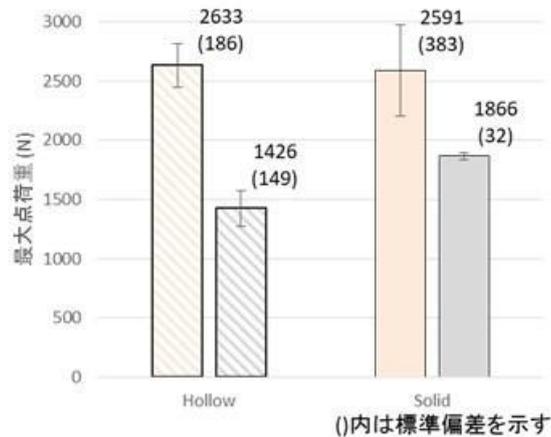


図 2-52 最大点荷重-水平方向荷重

◆密度測定

測定値より算出した密度を表 2-15 に示す。測定部位によって多少ばらつきは存在するものの、WPC では 1.00g/cm³ 付近、タルク PP は 1.05g/cm³ 付近に平均値があり、原料の密度、製品重量の差とも一致する。

WPC では【中空成形】【中実成形】ともにゲート付近でやや密度が小さくなる傾向にあった。また中央部ではタルク/WPC とともに中実成形の方が中空成形よりも密度が高くなる傾向にあった。これは中実成形時の樹脂保圧によりガスパージ部への樹脂侵入により、成形が不安定だったことが一因と考えられる。

表 2-15 最大点荷重-水平方向荷重

材質	成形条件	測定部位	Wa	We	比重	平均	SD
WPC	中空	ゲート	0.0949	0.0188	0.990	1.001	0.006
		中央1	0.2748	0.0571	1.002		
		中央2	0.3968	0.0842	1.007		
		最終部	0.1924	0.0403	1.004		
	中実	ゲート	0.1150	0.0218	0.979	0.995	0.009
		中央1	0.3986	0.0825	1.001		
		中央2	0.5466	0.1117	0.997		
Talc	中空	最終部	0.1523	0.0317	1.001	1.051	0.004
		ゲート	0.1195	0.0292	1.049		
		中央1	0.4562	0.1103	1.045		
		中央2	0.4612	0.1144	1.054		
	中実	最終部	0.1709	0.0425	1.055	1.051	0.005
		ゲート	0.0944	0.0235	1.055		
		中央1	0.4225	0.1030	1.048		
		中央2	0.5251	0.1259	1.043		
		最終部	0.1694	0.0422	1.056		

◆実用化の可能性

今回の試作試験の結果、タルクと同一形状の製品を WPC で成形することが可能であったため、タルク PP を WPC で代替するだけでも図 2-48 に示したように部品重量の 4%軽量化が可能であることが示された。また製品内部を中空化するシンプレス成

形を行うことで製品のさらなる軽量化が可能なが示された。各成形条件での製品重量に現れる通り、タルク PP (中実成形) の部品を WPC を用いて中空化することで製品重量を 114.8g から 74.5g へと 35%軽量化することが可能であると示された。

図 2-50、2-52 に示されるように強度試験についても WPC 中空成形のグリップはタルク PP 中実成形のグリップと同等以上の最大荷重性能を示した。表 2-16 に最大点荷重を製品重量で割った単位重量あたりの耐荷重を示す。WPC では中空化することで重量あたりにタルク PP の 2 倍～3 倍の耐荷重を示した。耐荷重要求をタルク PP と同等とできるならば、中空 WPC はさらなる軽量化が可能であることが示された。

表 2-16 製品の単位重量あたりの耐荷重

試験方向	成形条件		最大点荷重		重量 (g)		重量強さ N/g
			N	(SD)	平均	標準偏差	
Vertical	WPC	中空	1736	125	74.50	0.73	23.3
	タルク		1149	29	111.93	2.15	10.3
	WPC	中実	1725	99	76.96	0.09	22.4
	タルク		1108	31	114.79	0.23	9.7
Horizontal	WPC	中空	2633	186	74.50	0.73	35.3
	タルク		1426	149	111.93	2.15	12.7
	WPC	中実	2591	383	76.96	0.09	33.7
	タルク		1866	32	114.79	0.23	16.3

ウ. 各種量産 CNF 添加 WPC コンパウンドを用い成形した成形体の評価

(1) ②イで量産した CNF 添加 WPC コンパウンドを汎用の射出成型機で成形した成形体の各種評価試験を行った。短期強度試験結果 (曲げ試験結果) は、(1) ②イで報告しているのので、ここでは、ターゲットとなるタルク充填プラスチックと本事業開発量産品の比較で考察した。

各種カスタマイズ手法の木粉を利用した WPC において、ヒノキ 200 μm 以下、含水 10%、クリアランス 350 μm の CNF 添加木粉が生産能力、各種性能のバランスが良い結果であった。そこで、本実用性評価におけるスタンダード木粉と決めた。

表 2-17 には、タルク充填プラスチックと量産設備で製造した CNF 入り木粉 WPC の機械的特性比較を示す。密度は、CNF 添加木粉 WPC が 8%軽量化している。曲げ強度、引張強度とも 1.5 倍、CNF 添加木粉 WPC が向上している。衝撃強度は、タルクのほうが、1.5 倍の強度を有している。スタンダードとはいえ、万能ではないので、衝撃強度が必要な部品に関しては、前述した機能化手法を併用する必要はある。

また、各種手法によって得られた最大値を追記、記載した性能によっては、大きな効果を発現する仕様もある。

表 2-17 タルク充填プラスチックと CNF 添加木粉 WPC の機械的特性比較

	タルク充填 プラスチック	CNF 添加木粉 WPC	
		スタンダード木粉	各種手法 の最大値
フィラー充填率	25%	25%	←
密度(g/cm ³)	1.08	1.01	←
曲げ強度(MPa)	46.5	67.9	78.5
曲げ弾性率(GPa)	2.61	2.86	3.51
引張強度(MPa)	29.1	44.3	46.4
引張弾性率(GPa)	2.2	2.57	2.77
最大点伸び率(%)	3.0	4.2	4.5
衝撃強度(kJ/m ²)	27.4	18.4	20.0

CNF 添加 WPC コンパウンドの曲げ特性は、既存のタルク充填プラスチックに比べ高い強度特性を有している。したがって、成形体の構造からも軽量化が可能となる (Ex. 薄肉化等)。その効果を以下に算出した。

□ 矩形断面を有する部材の 3 点曲げ強度 σ の算出式

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

ここで、 P : 破断荷重 (もしくはピーク荷重), L : スパン間距離, b : 試験片の幅, h : 試験片の厚さ。

□ 比較する素材物性

- ・ タルク充填プラスチック 曲げ強度 = 46.5MPa
- ・ CNF 添加 WPC 曲げ強度 (最大値) = 78.5MPa

破壊荷重が同じなので、以下の等式が成り立つ。

$$P = \frac{2bh_t^2}{3L}\sigma_t = \frac{2bh_c^2}{3L}\sigma_c \quad (\text{添字 } t: \text{タルク品, } c: \text{CNF 添加 WPC})$$

ここで、 σ と h 以外は等しいので、 $h_t^2\sigma_t = h_c^2\sigma_c$

いま、タルク品の厚さを 1 とおくと、

$$\sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_c}} = \frac{h_c}{h_t} \rightarrow \sqrt{\frac{46.5}{78.5}} = \frac{h_c}{1} \quad \therefore h_c = 0.769$$

上記計算結果に加え、比重差が 6.5% あることから、強度計算上は 28.1% まで肉

厚削減が可能であることが確認された。この結果をもとに、後述する CO2 排出量計算において軽量化比率として 28.1%をシミュレーションに利用した。

図 2-53 には、タルク充填プラスチックと CNF 入り木粉 WPC の TEM 画像を示す。タルク充填プラスチックでは、PP の海（マトリックス：灰色）にタルク（黒色の板状物）が分散している状況が観察された。一方、CNF 入り木粉 WPC でも、PP の海（マトリックス：濃い灰色）に木粉の島（ドメイン：灰色）が分散する海島構造が観察された。観察された木粉は不定形状をしており、サブ μm ～数十 μm の大きさで不均一に分散している。また、PP と木粉の界面の多くは、黒く染色されてみえる（概ね数十 nm～100nm の厚み、中には 200 nm を超えるところもあり）ことから、この部分は酸変性樹脂の可能性が考えられる。木粉表面に酸変性樹脂が均一に配されている点もマスターバッチ効果であると判断できる。また、木粉界面に PP ラメラ晶が存在している様子も観察された。このことから、木粉表面にある CNF が結晶核剤的効果を発現している可能性が推察される。界面評価においても、CNF 入り木粉 WPC は、安定した構造を呈していると言える。

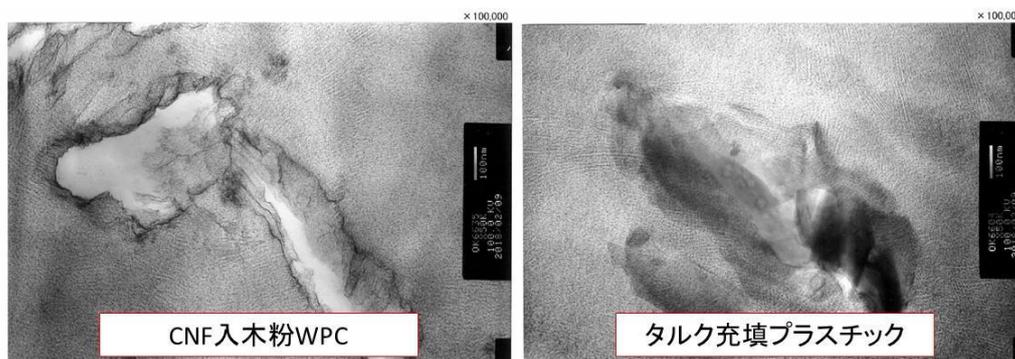


図 2-53 タルク充填プラスチックと CNF 入り木粉 WPC の TEM 画像

②ユーザーワーク用に向けたサンプル等の制作

ア. 成形体サンプルの試作

CNF 入り木粉 WPC にて、ユーザーワーク向け各種サンプルを実生産機で試作した。図 2-54 には、試作した成形体サンプルを示す（インナーグリップの写真は、図 2-43 を参照）。この試作で重要なポイントは、ユーザーメリットを提示できるサンプルの実現であるが、既存の金型で成形できている点も重要である。実用化において、特殊な設備を利用することは、投資リスクが伴う。既存の金型利用であれば、仕様変更レベルで、実用化できる点は大きな成果である（現時点では、成形収縮等による多部材との取り合いの課題は残るが）。前述した試験体では、タルク充填プラスチックに対し、CNF 入り木粉 WPC は 6.5%であったが、タルク 30%品と比較成形したピラートリムは、10%以上の軽量化が実現できている。



図2-54 試作した成形体サンプル

イ. 加飾サンプル作成及びヒアリング

ここまでは、CNF入り木粉WPCの機能性面での特徴を示してきたが、木粉を使用するメリットの一つに、高い木質意匠が得られる点にある。自動車の内装部品は、木質感を呈したものも多く、高級車は突板（本物の木）を使用しており、大衆車は木目シートを使用している。図2-55には、木質感を付与した成形体サンプルを示す。前述したピラートリムに対し、カラークリア塗装をするだけで、本物の木材と遜色のない仕上がりになっている。



図2-55 カラークリア塗装したピラートリム

また、金型成型であるため、表面にエンボス等の立体的質感も付与できる。図2-56には、木目エンボスを付与した成形サンプル、図2-57には、立体的な木目（浮造り）、本革調の意匠を付与した成形体サンプルの写真を示す。

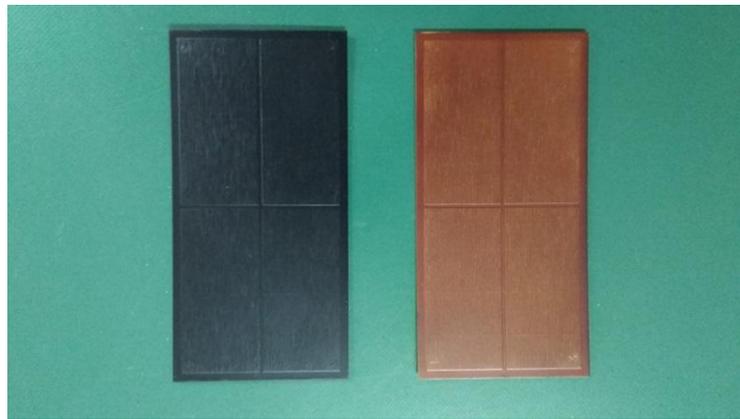


図2-56 木目エンボスを付与した成形サンプル



図2-57 立体的な木目（浮造り）、本革調の意匠を付与した成形体サンプル

一方、自動車内装部品の中には、触れる部品も多い。高級車のハンドルやシフトレバー等は、本物の木を使用している。木の良いところは質感である。CNF入り木粉 WPC は、木粉添加量を高くすることができる。木粉添加量が高くなれば、質感も向上する。図 2-58 には、木粉充填率を変えた成形サンプルの写真を示す。また、カラークリア塗装の顔料を調整することで、色調の濃淡への対応も実現している。

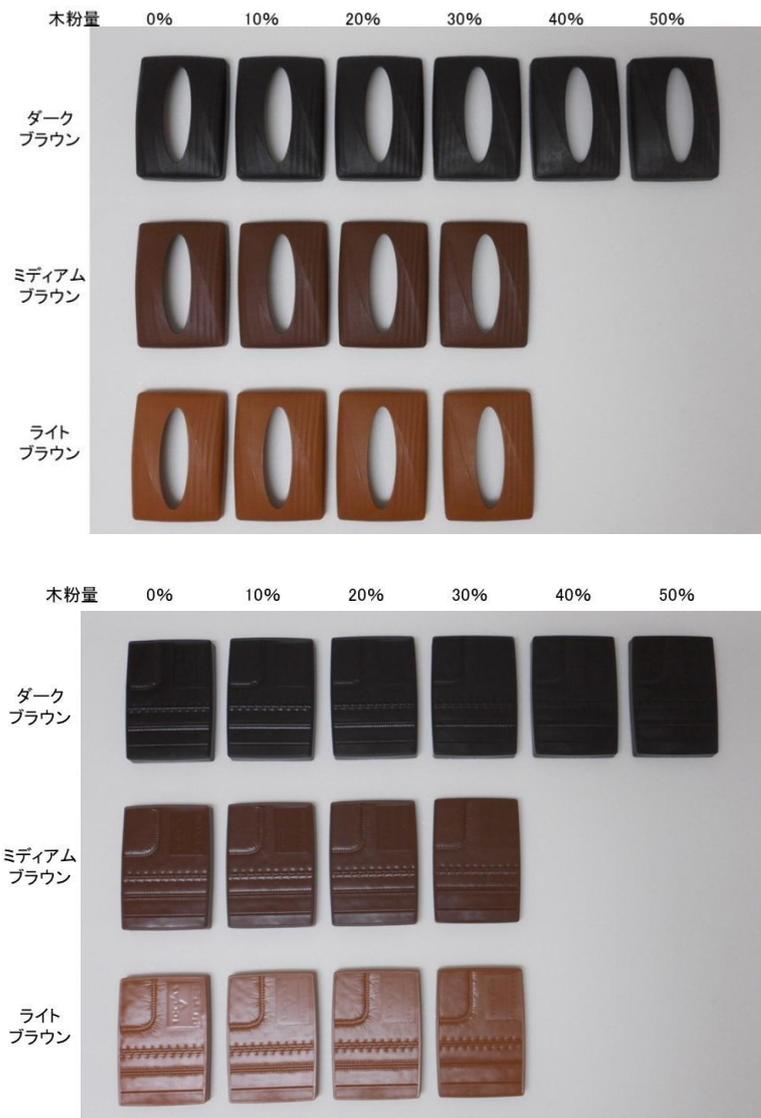


図 2-58 木粉添加量を変えた成形体サンプル

既存の木質内装部品で、突板仕様は、突板を貼り付ける（実際には金型にインサートする）工程、塗装する工程が成形以外にもある。シート貼りも成形品に水添等の後加工が必要となる。したがって、本サンプルの塗装品においても、加工手間としては同じ程度である。さらに塗装のため、色の自由度も高くなる。一方、

小型備品や複雑形状の部品では、シート貼りは手間がかかり（コストが高い）、突板では、形状に追従しないため、実用化ができていない。本サンプルであれば、これら今まで木質意匠を付与できなかった部分にも使用が可能となる。

表2-18 自動車関連メーカーヒアリング結果

	業態	ヒアリング結果概要
A社	自動車メーカー	採用するに当たりポイントとなるメリットは軽量化とデザインである。木調も興味あるが、皮シボの感触も良く、質感としてのメリットを感じる。 線膨張率、吸水による体積膨張率等も、内装部品のクリアランス設計に必要なファクターとなるため、重要視する。
B社	部品メーカー	タルク PP は高剛性を品質のポイントとして採用している。剛性が維持できたまま、軽量化につながればメリットは高い。EV化の波が来ており、今後自動車部品メーカーとして軽量化技術は重要となってきた。
C社	部品メーカー	各自動車メーカーが軽量化のビジョンを掲げており、軽量化アイテムの提案が部品メーカーに課せられている。機械特性、成形性維持、コスト維持が理想。 採用に向けては新規材料となるため、自動車部品メーカーが安心して使えるように、多岐にわたる検証が必要となる。
D社	部品メーカー	意匠面での提案の可能性がある。社内検討と自動車メーカーへヒアリング用に塗装品サンプルの提供をお願いしたい。
E社	商社	自動車部品に使われているタルク PP は、タルク配合量、機械特性、コスト含めて様々な種類がある。その対応方法としてマスターバッチでの提案に可能性があると考える。特性をカスタマイズ化する為には、技術的協力をお願いしたい。
F社	部品メーカー	木粉系の材料を使うにあたり、淡色系、白色への展開方法があると良い。
G社	自動車メーカー	軽量化用途の可能性はたくさんある。 内装とは少し離れるが耐熱性が十分であれば、その他の物性面含めエンジンカバー等はハードルが低い。タルク PP 同等のコストが必要。 内装部品として新規意匠材料として付加価値が認められればとは考える。
H社	部品メーカー	比重差、強度差だけで、製品形状を変えずにトライしてみたい。 タルクより添加量を減らすことで同等強度が確保でき、軽量化に繋がれば検討が早い。

表2-18には、CNF入り木粉WPCの機能的効果と意匠的效果を提示し、各種自動車関連メーカーにヒアリングした結果を示す。軽量化のニーズは、当然高い。加えて、サンプルを提示した効果もあるが、意匠面に対しての関心が高いこともわかる。一方、天然物故の品質への不安、耐熱に対する限界など課題も提示された。ただし、本来セルロース系素材を使用するにあたり、エンジン部品等耐熱性を要求される部位は不向きであり、実用化の課題は、品質の担保をどのように定めるかである。現在、WPCは、軽量化目的で、自動車部品に採用され始めている。即ち、ある程度の

品質は認められてきたということである。したがって、CNF という点で、どのように安心して使用できる環境を整備するかが、今後のポイントとなる。

③リサイクル用途の検証

ア. 再利用成形におけるリサイクル性評価

WPC は現在エクステリア用途で広く使用されている。国内需要で、4 万 t/年で、国外需要も合わせると、500 万 t/年以上となる。現在、国内 WPC メーカーの一部は、この海外市場進出も視野に入れている。日本の WPC 品質は世界トップレベルで、ホテルや商業施設等物件物では、すでに海外で多く採用されている。しかしながら、課題は、コストである。容器リサイクル樹脂等リサイクル樹脂を利用すれば、コスト面ではクリアできるものの、品質面に問題があり、使用には特殊な技術を要する。ここで、注目されるのが、自動車用途の WPC リサイクル製品となる。エクステリア用 WPC のコンパウンド樹脂コストは、200 円/kg 程度であるため、これより安価に調達できれば、win/win の関係となる。ここでポイントとなるのが、エクステリア用 WPC の生産方法である。多くの WPC メーカーでは、コンパウンドにヘンシェル型ミキサーを使用している。このミキサーの場合、樹脂原料は破碎物で良い。即ち、WPC 製品への品質低下を招かなければ、WPC 製品を粉碎しただけのものが上限 200 円/kg で取引できる。コスト面では、アップグレード型のリサイクルである。一方、エクステリア用 WPC はグリーン購入対象商品となり、原料へのリサイクル材利用が促進される。即ち、国内需要も拡大することから、自動車用途 WPC リサイクル材は、必要不可欠な素材となってくる。本事業成果の CNF 入り木粉も、WPC 製品であるため、リサイクル需要面では、問題ない。したがって、性能面が重要な課題となる。

そこで、まず、CNF 単体のリサイクルにおける確認を実施した。図 2-59 には、リサイクルによる熱履歴での劣化を評価するため、添加量の異なる PP (ポリプロピレン) -CNF 複合材の混練回数 (混練回数) と曲げ強度・弾性率の関係を各々示す。

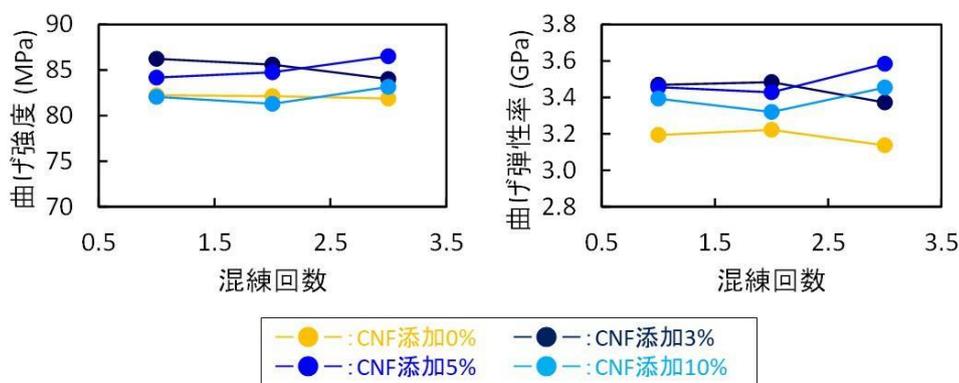


図 2-59 添加量の異なる CNF 複合材の混練回数 (混練回数) と曲げ強度

CNF 無添加、3%添加は、熱履歴により横ばいからわずかに曲げ強度、曲げ弾性率とも低下する傾向であったが、CNF 添加量が増えることで、逆に増加する傾向となっている。熱履歴により、ベースの PP は熱劣化 (=低分子化) するが、CNF 自体が核剤効果の働きをすることで、物性が向上したと考えられる。

次に CNF 入り木粉 WPC (CNF 入り木粉充填率 25%、PP 樹脂はエクステリア用樹脂相当) のリサイクル性に関して評価した曲げ強度試験結果を図 2-60 に示す。曲げ強度、曲げ弾性率ともバージン品とリサイクル品で曲げ強度、弾性率とも低下が認められなかった。一般的に WPC の場合、工場内リサイクルでも、樹脂劣化と木粉の分解物の影響で、10~20%程度強度低下が認められる。これは、CNF 単体での評価同様、CNF の核剤効果であると考えられる。

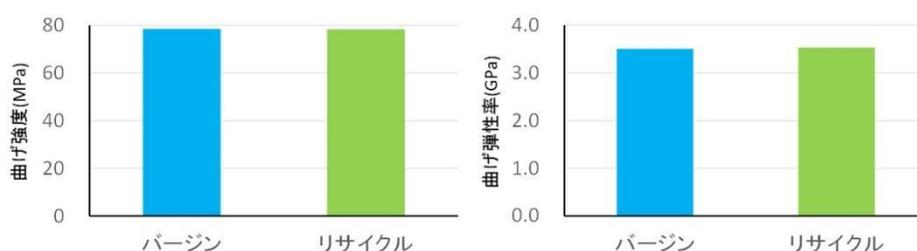


図 2-60 CNF 入り木粉 WPC のリサイクル性評価

図 2-61 には、バージン品、リサイクル品の TEM 画像を示す。リサイクル品は、樹脂層の結晶性が低い箇所が多く認められる。しかしながら、木粉界面部分の非晶質部分がリサイクル品で狭くなっている。このことから、核剤効果が発現したのは、木粉と樹脂の界面部分で、この界面強度が向上したことから、リサイクルによる高度低下がなくなったと考えられる。

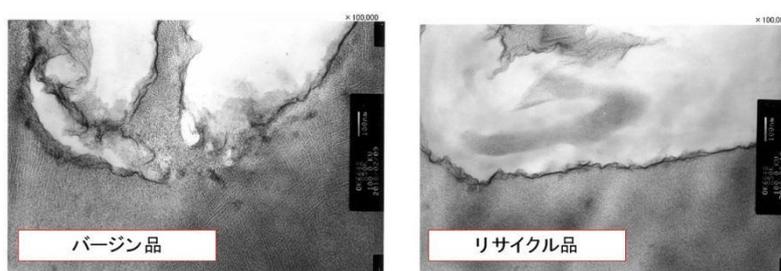


図 2-61 バージン品、リサイクル品の TEM 画像

CNF 入り木粉 WPC は、CNF 添加効果により、リサイクルでの強度低下が抑制されることが確認された。以上の結果より、エクステリア用 WPC への利用において、粉碎だけで利用できるリサイクル樹脂と言う利点を活かしたコスト面、核剤効果によ

る機械的強度低下抑制の機能面両面で、CNF 入り木粉 WPC リサイクル品は、活用できる素材である。

イ. リサイクル利用のリスク評価

実際に量産した CNF 木粉入 WPC を用い、エクステリア配合の WPC への添加における特性評価とその課題点を評価した。

図 2-62 には、エクステリア配合（木粉充填率 55%、PP 樹脂はエクステリア用樹脂相当）の WPC に CNF 入り木粉 WPC リサイクル材を添加したときの添加量と粘度の関係を示す。CNF 入り木粉 WPC リサイクル材添加量が増えるほど、粘度が低下している。この主たる要因は、流動性の高い CNF 入り木粉 WPC リサイクル材が増えたためであると考えられる。

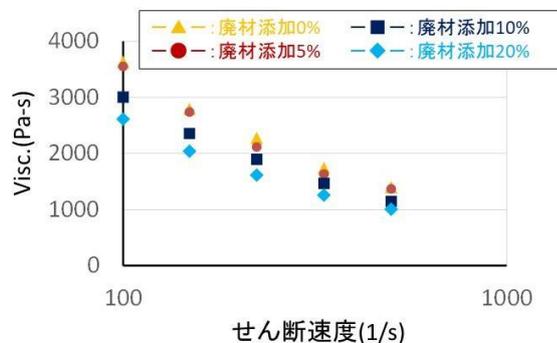


図 2-62 CNF 入り木粉 WPC リサイクル材を添加したときの添加量と粘度

図 2-63 には、エクステリア配合の WPC に CNF 入り木粉 WPC リサイクル材を添加したときの添加量と曲げ強度の関係を示す。CNF 入り木粉 WPC リサイクル品添加量が多くなるほど、曲げ強度、曲げ弾性率とも向上している。これは、前述したとおり、CNF 入り木粉の核剤効果による影響と考えられる。粘度が下がる配合にもかかわらず曲げ特性が向上する結果は、エクステリア用 WPC で該当する添加剤はない。

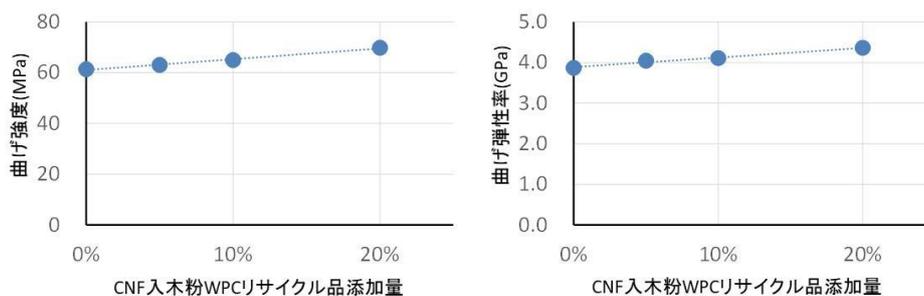


図 2-63 CNF 入り木粉 WPC リサイクル材を添加したときの添加量と曲げ強度

図2-64には、エクステリア配合のWPCにCNF入り木粉WPCリサイクル材を添加したときの添加量と衝撃強度の関係を示す。CNF入り木粉WPCリサイクル品添加量が多くなるほど、衝撃強度は低下している。これは、図2-61のTEM写真からも明らかのように、樹脂部分に非晶質が点在しているためであると考えられる。

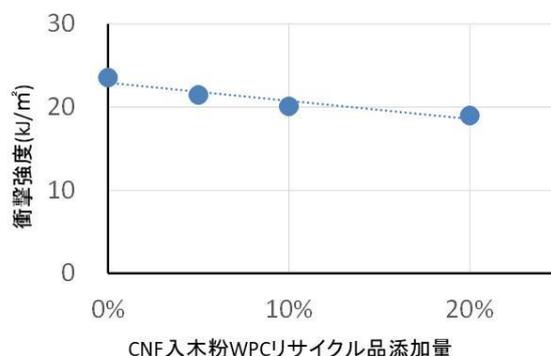


図2-64 CNF入り木粉WPCリサイクル材を添加したときの添加量と衝撃強度

エクステリア用WPCにおいて、生産性向上や複雑形状への対応のために流動性の高い（粘度の低い）樹脂を使用することはあるが、実際には、流動性の低い樹脂は機械的特性も低いので、適した手法ではない。特にエクステリア用WPCの主たる用途は曲げ弾性率を必要とするデッキ材で、今回の結果は、曲げ弾性率を低下させることなく流動性を向上できている点は、興味深い。CNF入り木粉WPCリサイクル材は、増量コストダウン効果を図る廃材利用ではなく、機能添加剤利用という位置づけになる。一方、衝撃強度の低下は、改善すべきである。この結果をフィードバックし、(2)①④のテーマで、改善方法を実現している。

(3) CNF 活用製品の性能評価

①各種自動車部品利用における経済性評価

ア. 各種 CNF 入り木粉量産製造における経済性評価

代替するタルクが 60～80 円/kg であることから、軽量化等の効果を加味しても、CNF 入り木粉の製造コストは 100 円/kg 以下にする必要がある。昨年度、量産を想定できる装置にてこのコスト目標は達成している。本年度は、実際の生産結果を踏まえ、コスト試算を実施した。

表 2-19 には、今回の量産結果実績をもとに算出した原価計算表を示す。目標製造コストに対し、大幅な削減が実現している。低含水量での粉砕が実現したため、生産量が高くなり、固定費負荷が軽減したためと考えられる。もう一つのポイントは、出発原料をおが粉とし、木粉製造とディスクミル処理までを連続ラインにできた点である。含水が低いので、通常のおが粉がもつ含水量でディスクミル処理ができる、即ち、含水工程が軽減されたためである。本原価計算では、設備は新規に導入するとして試算しているが、実際には、既存設備にディスクミルを設置するだけであるので、投資リスクも低い（約 500 万円）。さらに、品質評価法として、簡易な試験手法を確立したことで、評価試験に対する投資も低くなっている（約 200 万円）。

表 2-19 CNF 入り木粉の製造原価

CNF入木粉生産量(量産実績より)		597 kgh	ブランクとしたCNF入木粉	
工程	項目	単価	備考	
木粉	変動費	おが粉	10 円/kg	
		水	0 円/kg	木粉に対し10%添加(0.2円/ℓ)
		副資材	1 円/kg	フレコン等(実績値)
		運賃	5 円/kg	県内輸送想定
		電力費	2 円/kg	0.14kwh/kg
		計	18 円/kg	
	固定費	人件費	5 円/kg	600万円/人
		償却費	2 円/kg	設備費用(2000万円)
		計	7 円/kg	
	管理費		4 円/kg	原価×15%
	計		29 円/kg	
販売利益		4 円/kg	粗利率15%	
計		33 円/kg		

イ. 各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産製造における経済性評価

今年度の素材検証から、性能面の向上、各種カスタマイズにおける汎用性の観点で、マスターバッチ法を採用した。表 2-20 には、実際に量産したマスターバッチ製造の実績データをもとに原価計算した結果を示す。マスターバッチにおいては、木粉乾燥、混練、冷却の工程があり、この工程で最も時間のかかる冷却が律速となっている。また、木粉は、前述した木粉を購入した形で計算（木粉製造原価に販売

利益を加えた価格) している。マスターバッチは汎用性が高い (品種が少ない) ため、木粉製造者で製造することが望ましい。これは、含水状態の品質管理面もあるが、工程も簡易であり、利益も大きいので、山側産業の活性化の観点も含んでいる。

表 2-20 マスターバッチの製造原価

マスターバッチ生産量(量産実績より)		200 kgh		
工程	項目	単価	備考	
マスター バッチ	変動費	CNF入木粉	23 円/kg	70%添加(@33円/kg)
		ポリプロピレン	49 円/kg	24%添加(@180円/kg)
		添加剤	22 円/kg	1%添加(@800円/kg)
		副資材	2 円/kg	フレコン等(実績値)
		運賃	5 円/kg	県内輸送想定
		電力費	4 円/kg	0.24kwh/kg
		計	106 円/kg	
	固定費	人件費	7 円/kg	600万円/0.5人
		償却費	3 円/kg	設備費用(1000万円)
		計	11 円/kg	
	管理費		17 円/kg	原価×15%
	計		134 円/kg	
	販売利益		20 円/kg	粗利率15%
	計		154 円/kg	

表 2-21 には、実際に量産したコンパウンド製造の実績データをもとに原価計算した結果を示す。マスターバッチは、前述したマスターバッチを購入したと想定して計算している。コンパウンドには、様々な種類が想定されるが、ここでは、CNF 入り木粉 25%配合での計算を行った。性能面から CNF 入り木粉 25%以下の配合は無いと予想され、木粉量が増えれば原料コストは下がるため、この配合が最も高いコストとなる。また、本来は、マスターバッチにて各種添加剤を加えているので、コンパウンド化工程で添加する添加剤は無いが (本評価でも後添加はしていない)、意匠性を求められることも多く、着色等の添加剤も原価に加えた。原価計算の結果、コンパウンドの製造コストは、300 円/kg を大きく下回るコストで製造できることを実証した。

表 2-22 コンパウンドの製造原価

コンパウンド生産量(量産実績より)		178 kgh		
工程	項目	単価	備考	
コンパウンド	変動費	マスターバッチ	55 円/kg	35.7%添加(@154円/kg)
		ポリプロピレン	116 円/kg	64.3%添加(@180円/kg)
		添加剤	22 円/kg	1%添加(@800円/kg)
		副資材	2 円/kg	フレコン等(実績値)
		運賃	5 円/kg	県内輸送想定
		電力費	4 円/kg	0.23kwh/kg
		計	204 円/kg	
	固定費	人件費	8 円/kg	600万円/0.5人
		償却費	3 円/kg	設備費用(1000万円)
		計	12 円/kg	
	管理費		32 円/kg	原価×15%
	計		248 円/kg	
	販売利益		37 円/kg	粗利率15%
計		285 円/kg		

ウ. 各種 CNF 添加 WPC 部品量産製造における経済性評価

部品においては、射出成型機のサイズ、金型形状により製造コストは変動するが、量産評価にてタルク充填プラスチックと同じ条件で量産を実現したので、同等の製造コストで生産できることは明らかである。ここでは、インナーグリップの量産結果を踏まえ、機能化や軽量化に伴うさらなるコストダウンの可能性を検証した。

表 2-23 には、インナーグリップの量産試作における実績値および物性試験から強度効果を加味した計算値を示す。前述したが、CNF 入り木粉 WPC の成形性から、中空仕様も通常の条件（タルクソリッドと同じ）で成形が可能となった。ここから、コストダウンのポイントとなる点は、使用する原材料の削減、電力使用量の削減となる。前述するコンパウンドを購入したとして、中空仕様で約 100 円/kg、強度比合わせ仕様で約 80 円/kg のコストダウン効果となる。

表 2-23 インナーグリップ成形実績データ

装置	製品重量(g)	軽量化(重量比)	積算電力量(Wh)	1サイクル時間(s)
タルクソリッド	230.3	0.0	159.9	75
CNF入木粉WPC ソリッド	225.1	2.3	146.3	75
CNF入木粉WPC 中空	146.9	36.2	134.5	75
CNF入木粉WPC 強度比による軽量化		28.1		

エ. 各種 CNF 添加 WPC 部品利用における経済性評価

タルク充填プラスチック等現状使用している素材から CNF 入り木粉 WPC に切り替えるとするると作り手側、使い手側とも材料変更の手続きを要する。この部分が、目に見えない開発投資となる。言い換えると、材料変更に伴う付加価値が、開発投資

に見合わない場合、実用化が困難となってくる。

表2-24には、作り手側に係る負荷の一覧を示す。自動車内装部品は、サイズ、形状等様々あるので、変動費部分等で流動因子はあるが、概ね人件費込みで1000千万円以下の負荷となっている。本事業成果でのポイントは、既存設備を利用できる点で、投資リスクが少ない点である。開発投資率が原価構成の5%、回収期間を3年とすると約年間7000千万円程度の売り上げがある製品への導入が必要となる。

表2-24 作り手側の負荷一覧

		変動費		人件費		投資他		計
開発に係る負荷	材料評価	500千円	実験材料等	960千円	3か月×2名(320千円/人/月)	千円		1,460千円
	現場試作	1,000千円	量産評価材料	160千円	1か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		1,160千円
	量産品評価	200千円	評価消耗品	160千円	1か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		360千円
	計	1,700千円		1,280千円		0千円		2,980千円
製造に係る負荷	立上げ調整	1,000千円	形状等により変動有	80千円	0.5か月×0.5名(320千円/人/月)	500千円	金型修正等	1,580千円
	管理手法変更	0千円		320千円	2か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		320千円
	切替ロス	1,000千円	在庫処分等	80千円	0.5か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		1,080千円
	計	2,000千円		480千円		500千円		2,980千円
運用に係る負荷	システム変更	千円		160千円	1か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		160千円
	関連周知作業	千円		160千円	1か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		160千円
	初期流動調査	500千円	抜き取り検査等	240千円	3か月×0.5名(320千円/人/月)	千円		740千円
	計	500千円		560千円		0千円		1,060千円
計	4,200千円		2,320千円		500千円		7,020千円	

一方、使い手側、いわゆる自動車メーカー側は、負荷よりは、リスクのほうが実用化に影響される。本事業で提案した部品は、現行部品コストと同等程度（部品によっては、効果金額を含む場合もある）での供給が可能となっているので、経済性面でのデメリットは少ない。表2-25には、使い手側に想定されるリスク一覧を示す。

表2-25 使い手側のリスク

リスク		対応	備考
性能面	長期耐久性	WPCでの実績、タルクとの併用	プラスチックよりは木材の耐久性
	想定外の安全性	想定できる部品からスタート	
調達面	安定調達	代替品(WPC+CNF)での提案	木粉メーカーの事業撤退
	アフターへの対応	自動車部品メーカー経由での供給	タルク品との併用も
市場効果	燃費改善の認識	別の付加価値提供(EX.意匠)	
	環境貢献への理解	同上	
	商品イメージ	関連省庁でのPR	

一番のポイントとなるのは、実績となる。これは、本事業成果品以外でも、新規素材を使用する場合はすべて同じである。このリスクにおいて、本事業成果品には2つのリスクヘッジがされている。1つは、WPCと言う既存の素材である。これは、既にいくつかの自動車部品に採用されている。この実績は大いに活用で知る。また、

マスターバッチ手法で生産するため、既存素材（タルク充填プラスチック）とのブレンドも可能となる。これは、性能評価が必要ではあるが、実績を経るごとに、CNF入り木粉WPCブレンド率を高めることで、段階的な仕様変更が可能となる。つぎに、市場イメージがポイントである。本当の使い手側（消費者）が、価値に対価を支払うかが重要である。プラスチック製品は、元来軽量であるため、自動車部品全体からしたら、単体では、燃費改善効果は小さい。したがって、プラス α の付加価値が必要である。本事業製品では、この点に関しては、高い木質感（＝高意匠でありながら、突板仕様より安価である点）を前面に押し出す必要がある。一方、自動車部品は世界共通仕様となる場合が多く、安定調達が最も重要である。そこで、今回樹種においてヨーロッパで調達可能な欧州アカマツも評価している。この点は、自動車部品メーカーの企業規模にもよるが、WPC自体は、北米、欧州、中国という自動車の大きなマーケットである地域では、100万t/年をこえており、国内よりはむしろ海外のほうが調達しやすい環境である。本事業成果品は、他の新素材同様のリスクも抱えているが、WPCと言う素材（実績、評判）を上手く活用することで、他素材よりは導入スピードは速いと考える。このあたりは後述する事業化スケジュールにも加味しておく。

②量産試作で得られた各種 CNF 添加 WPC 部品の普及に向けた性能評価

ア. 安全性、信頼性の評価

実際の製品使用環境下では、短期強度だけでなく、長期強度の評価が重要となる。特に自動車部材においては常に振動にさらされる為、繰り返し応力に対する評価は必須である。

長期安全性、信頼性として、スペックの異なる CNF 添加木粉を使用した WPC 成型体における引張疲労試験を実施した。CNF 添加 WPC 試験片の疲労寿命の常用対数を横軸に、繰り返し負荷時の最大応力を縦軸に取ってプロットした。また、静的強度比率为 100%とした疲労寿命を図 2-65、図 2-66、図 2-67 に示す。

比較対象としてはバージンの PP を用いた。

結果、同一負荷に対して CNF 添加 WPC 成型品はいずれの CNF 添加木粉を使用してもバージン樹脂に比べはるかに疲労寿命が長いことがわかる。CNF 添加木粉の種類によってみられるわずかな差は、ほぼ、静的引張応力の差と言える結果となっており、顕著な影響はみられなかった。これは複合材中に存在する CNF と樹脂の界面強度が確保されている結果と言える。

次に、縦軸に静的引張強度を 100%とし、破断に至る繰り返し負荷をプロットした結果を見ると、各種 CNF 添加木粉について大きな傾向差はみられないが、バージン PP と比較すると低下傾向（グラフの傾き）に差がみれている。これは CNF 添加 WPC の疲労に対する感度が、バージン PP に比べ鈍いことを示しており、長期耐久性部材としても優れていることを示している。

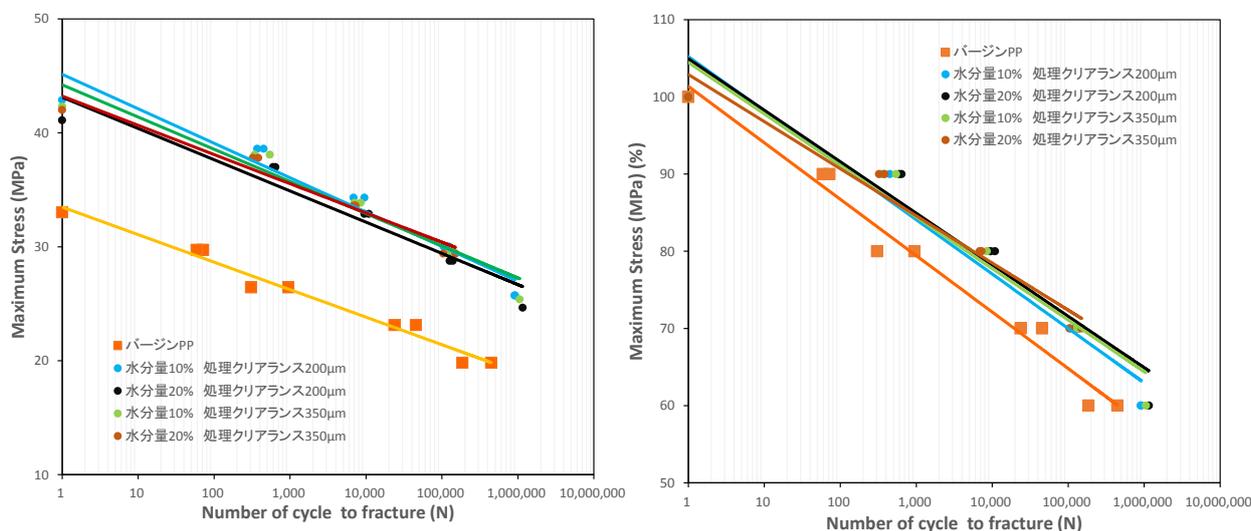


図 2-65 ヒノキ 200 μm CNF 添加 WPC の疲労試験結果

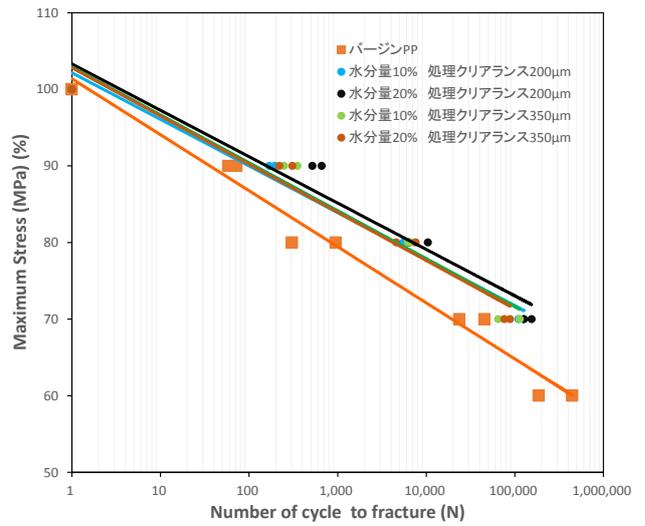
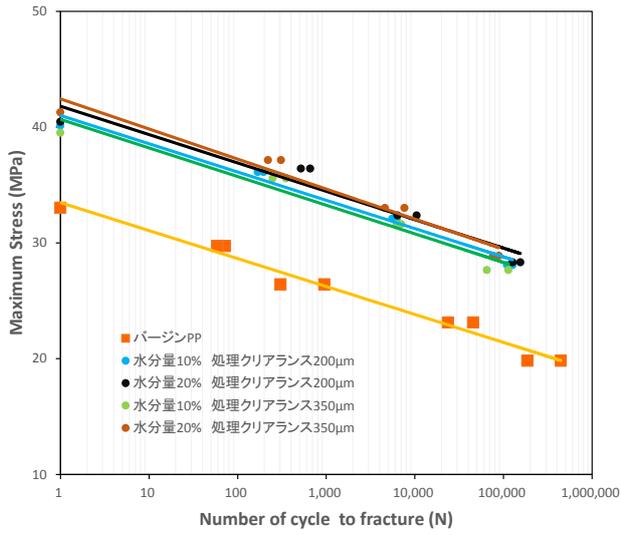


図 2-66 ヒノキ 200 μ m~500 μ mCNF 添加 WPC の疲労試験結果

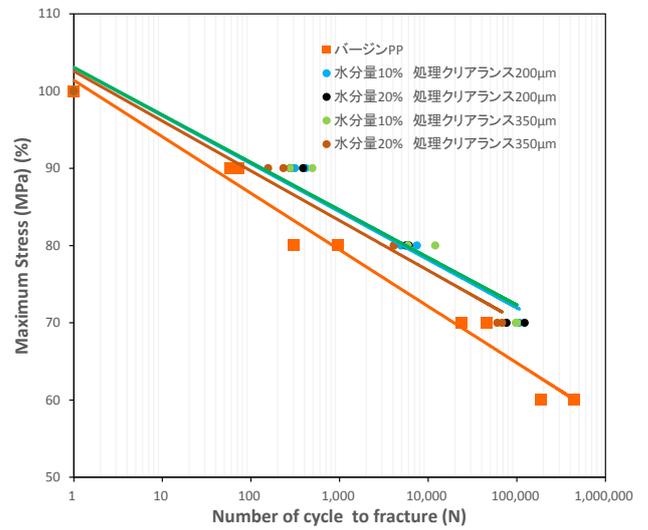
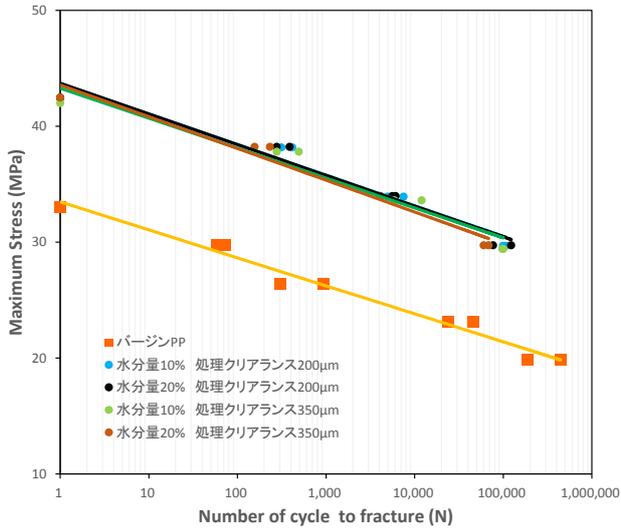


図 2-67 欧州アカマツ 300 μ mCNF 添加 WPC の疲労試験結果

イ. ユーザーヒアリングに向けた技術資料の作成

本事業で得られた技術情報を基に、ヒアリング用の技術資料（図2-68）を作成した。客先（成型機メーカー）の利便性を踏まえ、CNF 添加木粉を高濃度に配合したマスターバッチを商品とし、今後のユーザーヒアリングに活用する。

セルロースナノファイバー(CNF)添加ウッドプラスチック 技術資料①

CNF 添加ウッドプラスチックとは？

バイオマス由来である木粉にセルロースナノファイバーを添加し、熱可塑性プラスチックと複合化したフィラー充填プラスチックです。




セルロースナノファイバー(CNF)添加ウッドプラスチック 技術資料②

CNF 添加ウッドプラスチックの特長

- 炭素フィラー充填プラスチックに比べ、**軽量・高強度・高耐熱**を特長としております。
- 塗装密着性が良く、塗装することで、**意匠性が向上**します。
- 植物由来原料を含有しているため、**環境にやさしく、石油系原料の削減に貢献**できます。

軽量

高強度 高耐熱

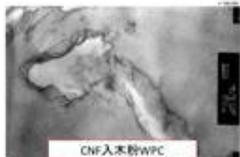
セルロースナノファイバー(CNF)添加ウッドプラスチック 技術資料③

炭素フィラー充填プラスチックとの比較

PPタイプ	成型方法	PP			
		フィラー2%	タルク25%	炭素60% シリウム25%	CNF高濃度 25%
射出成形 (20MPa)	JIS F7112 20% 20%	0.30	1.03	1.03	1.03
射出成形 (10MPa)	JIS F0101 20%	47.4	48.5	41.3	87.3
引張強度 (10MPa)	JIS F0181 20%	1.79	2.81	1.80	2.28
引張強度 (10MPa)	JIS F0181 20%	28.1	28.9	23.2	44.3
引張強度 (10MPa)	JIS F0181 20%	1.87	2.29	1.94	2.57
熱安定性 (200℃)	ISO 11358	128	143	194	149

(当社比)

◆ フィラー断面拡大写真(透過型電子顕微鏡 10万倍)




◆ 成型品事例(白炭素製品)




「CNF添加ウッドプラスチック」

多様な機能付加がCNF添加ウッド汎用成型機にて可能になります。

射出成形

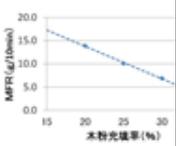
プレス成形

押出成形

ブロー成形

例えば
高級な木筒、長尺

◆ 木粉充填量、希釈樹脂の流動性 (CNF添加ウッドプラスチック)



セルロースナノファイバー(CNF)添加ウッドプラスチック 技術資料④

CNF添加ウッドプラスチックの比較

ウッドプラスチックは、コラーゲンプラスチックの相溶性を高められ変わります。

◆ CNF添加WPCマスター
セルロースナノファイバーの特長ウッドプラスチックとしてお客様利便性を達成し、CNF添加木粉マスターバッチを提供いたします

◆ CNF添加木粉とは◆

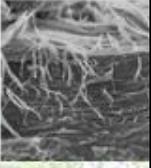


図2-68 ユーザーヒアリング用技術資料

(4) CNF 活用製品の活用時の CO2 排出削減効果の検証

①生産エネルギーの実測

ア. 各種 CNF 入り木粉量産時における生産エネルギーの検証

各種 CNF 入り木粉の量産を通じ、その実測値からエネルギー使用量を算出した。表 2-26 には、CNF 入り木粉の原料となる木粉の原単位電力を示す。ここでは、最も電力量を消費した欧州アカマツのデータを示す。

表 2-26 原料となる木粉のエネルギー使用量

生産能力(kg/h)	使用電力(kwh)	原単位電力 (kwh/kg)
204	84	0.41

表 2-27 には、各カスタマイズ手法で量産したディスクミル処理でのエネルギー使用量の実測値を示す。

表 2-27 各カスタマイズ手法で量産したディスクミル処理でのエネルギー使用量

No.	木粉種類	木粉種類	含水処理	処理クリアランス	生産能力(kg/h)	使用電力(kwh)	原単位電力 (kwh/kg)
A	ヒノキ	200-500 μm	10%	200 μm	43.8	6.32	0.144
B	↓	↓	↓	350 μm	44.8	5.70	0.127
C	↓	↓	20%	200 μm	22.0	7.08	0.322
D	↓	↓	↓	350 μm	26.7	2.29	0.086
E	↓	200 μm以下	10%	200 μm	105.9	8.56	0.081
F	↓	↓	↓	350 μm	135.5	11.80	0.087
G	↓	↓	20%	200 μm	23.7	5.80	0.245
H	↓	↓	↓	350 μm	52.7	9.02	0.171
I	欧州アカマツ	300 μm以下	10%	200 μm	124.1	12.71	0.102
J	↓	↓	↓	350 μm	149.2	13.22	0.089
K	↓	↓	20%	200 μm	27.4	5.12	0.187
L	↓	↓	↓	350 μm	47.9	6.65	0.139

全体的な傾向として、含水が多いほど、クリアランスが小さいほど消費電力は高くなる。これは、初期木粉に抵抗がかかるためである。今回最終的にスタンダードで採用した木粉は、F のヒノキ 200 μm 以下含水 10%クリアランス 350 μm で、これは、生産能力や性能から採用されているが、消費電力としても小さい組合せである。

ここで、木粉を輸送した場合、輸送に由来するエネルギーをタルクと比較した計算値を表 2-28 に示した。CNF 入り木粉は、タルクに比べ 0.12MJ/kg エネルギーを多く消費している。これは、木粉自体のかさ密度が低いため、最大積載量が多くできないことが要因となっている。経済性のところでも示したように、マスターバッチまでは、木粉製造場所を実施することが望ましい。

表 2-28 輸送に由来するエネルギー比較

10t車 輸送距離(km)	227	
	タルク	CNF入り木粉
最大積載重量(t)	10	8
エネルギー使用量(MJ)	2370	2840
単位エネルギー量(MJ/kg)	0.24	0.36

イ. 各種 CNF 添加 WPC コンパウンド量産時における生産エネルギーの検証

表 2-29 には、各種カスタマイズ手法におけるマスターバッチの製造エネルギー実測値を示す。含水が増えると製造エネルギーは高くなっている。これは、CNF 入り木粉の乾燥に要するエネルギーの違いとなっている。

表 2-29 各種カスタマイズ手法におけるマスターバッチの製造エネルギー

No.	木粉種類	含水処理	水分量	処理クリアランス	原単位電力 (kwh/kg)
A	ヒノキ	200-500 μm	10%	200 μm	0.242
B	↓	↓	↓	350 μm	0.230
C	↓	↓	20%	200 μm	0.457
D	↓	↓	↓	350 μm	0.250
E	↓	200 μm以下	10%	200 μm	0.220
F	↓	↓	↓	350 μm	0.215
G	↓	↓	20%	200 μm	0.422
H	↓	↓	↓	350 μm	0.367
I	欧州アカマツ	300 μm以下	10%	200 μm	0.224
J	↓	↓	↓	350 μm	0.218
K	↓	↓	20%	200 μm	0.375
L	↓	↓	↓	350 μm	0.340

表 2-9 (P39) には、スタンダードとした CNF 入り木粉 (F) のマスターバッチ工程での製造エネルギー内訳を示している。マスターバッチにおいて、電力負荷が大きいのは、混練工程である。次に混練のためにミキサ自体を加温する温調機となっている。この工程で、消費エネルギー全体の 80%を超えている。

表 2-10 (P39) には、スタンダードとした CNF 入り木粉 (F) のコンパウンド工程における製造エネルギーを示している。コンパウンド程においては、製造エネルギーの 70%近くが押出機モーターになっている。逆にヒーターのエネルギーは小さい。これは、せん断熱による発熱があり、実際加温エネルギーをあまり必要としないためである。

ウ. 各種 CNF 添加 WPC 部品量産時における生産エネルギーの検証

部品は様々な形状やサイズにより、製造エネルギーが異なってくる。そこで、ここでは、(2) ①イで実施したインナーグリップ量産時の各種形状における製造エネルギー比較を行った。表 2-30 には、各成形法におけるインナーグリップ成形時の製造エネルギーを示す。タルク充填プラスチックに比べ、CNF 入り木粉 WPC の製造エネルギーは低い結果となっている。MFR による流動性ではタルク充填プラスチックのほうが高く、流動性が良いと想定していたが、異なる結果となった。これは、重量が軽い点もあるが、CNF 入り木粉はアスペクト比が高く、成形時に配向することで、流動抵抗が減少したと考えられる。一方、中空形状の場合は、使用したコンパウンド重量が少ないにもかかわらず製造エネルギーはソリッドに比べ高くなっている。これは、中空中子により、金型が狭くなっているためと考えられる。

表 2-30 各成形法におけるインナーグリップ成形時の製造エネルギー

装置	製品重量	積算電力量 (Wh)	1サイクル時間 (s)	原単位電力 (kwh/kg)
タルクソリッド	230.3	159.9	75	0.694
CNF添加WPCソリッド	225.1	146.3	75	0.650
CNF添加WPC 中空	146.9	134.5	75	0.915

部品は最終的に自動車メーカー工場へ輸送されるため、軽量化されれば、積載できる部品数量も変わる。部品の形状によっては、単純な重量比にならない場合もあるが、ここでは、モデル計算として、インナーグリップにおける輸送エネルギー比較を行った (表 2-31)。

表 2-31 各種成形法の異なるインナーグリップにおける輸送エネルギー比較

10t車 輸送距離(km)	227		
	タルク充填プラスチック	CNF入木粉WPC	CNF入木粉WPC中空
最大積載重量(t)	10	10	10
エネルギー使用量(MJ)	2370	2370	2370
部品数量(個/t)	4342	4442	7435
単位エネルギー量(MJ/個)	0.55	0.53	0.32

ソリッドの場合、部品 1 個当たり 0.02MJ の削減であったが、中空にすると、0.23MJ の削減となる。

②CO₂ 排出量の評価

ア. 各種 CNF 添加 WPC 部品の利用における CO₂ 排出量の評価

CNF（セルロースナノファイバー）添加 WPC（ウッドプラスチック）を用いた新規自動車部品の製造・廃棄に係る CO₂ 排出量を算出し、既存の自動車用樹脂部品を代替することによる CO₂ 削減効果を評価する。

【方法】

1. 評価項目

- A. CNF 添加 WPC コンパウンドマスターバッチの製造に係る CO₂ 排出量に対するミキサー条件の及ぼす影響の評価（ラボスケール）
- B. CNF 添加 WPC コンパウンド生産に係る CO₂ 排出量の評価（量産スケール）
- C. CNF 添加 WPC 成形品の生産に係る CO₂ 排出量の評価
- D. 既存の自動車用タルク充填プラスチック部品を新規 CNF 添加 WPC 部品で代替した場合のライフサイクル CO₂ 排出量の評価

2. 評価範囲と評価条件

- A. CNF 添加 WPC コンパウンドマスターバッチの製造に係る CO₂ 排出量に対するミキサー条件の及ぼす影響の評価（ラボスケール）

評価範囲を図 2-69 に示す。

CNF 添加 WPC の木材原料となるおが粉を粉砕し、得られた木粉をディスクミルによりフィブリル化した後、ラボミキサーでプラスチック原料となる PP（ポリプロピレン）と混合してコンパウンド化マスターバッチを得る工程を評価範囲とした。

おが粉は、現状は木材製造現場で排出される廃棄物の有効利用であるため、負荷はゼロとして評価した。

コンパウンド化工程では、木粉と PP 以外に投入されるものは、少量の相溶化剤のみである。相溶化剤は、CO₂ 排出量ベースで 1%未満の寄与率であるため、カットオフとした。

いずれの工程でもロス分は原料として当該工程に戻されており、廃棄ロスは発生しない。また、同工程から副製品の製造はない。

機能単位は、CNF 添加 WPC コンパウンド 1kg あたりとした。

フィブリル化工程、およびミキサー工程において以下の各種条件を設定し、生産性および消費電力を実測して CO₂ 排出量への影響を評価した。評価条件は以下の通りである。

- ・木材種類
 - ヒノキ小：ヒノキ 200 μ m
 - ヒノキ大：ヒノキ 200~500 μ m
 - 欧州アカマツ：欧州アカマツ 300 μ m
- ・含水処理：有、無
- ・処理クリアランス：200 μ m、350 μ m

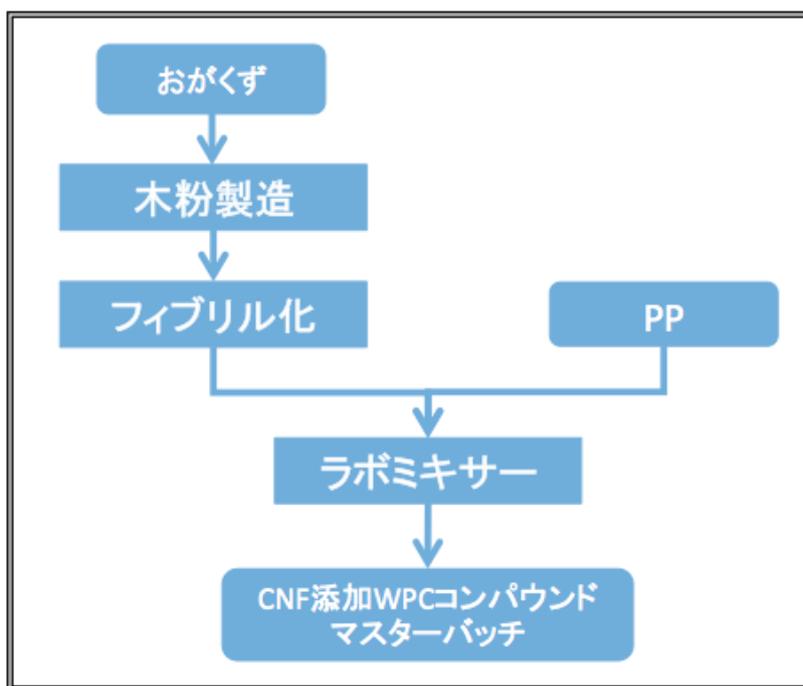


図 2-69 CNF 添加 WPC コンパウンドマスターバッチ製造に係る CO₂排出量評価範囲

B. CNF 添加 WPC コンパウンド生産に係る CO₂排出量の評価（量産スケール）

評価範囲を、図 2-70、2-71 に示す。

木材原料となるおが粉を粉碎し、得られた木粉をディスクミルによりフィブリル化した後、実機ミキサーで PP と混合し、さらにコニカル押出機処理により CNF 添加 WPC 70%コンパウンドを得る工程を、条件 B1 の評価範囲とした(図 2)。一方で、フィブリル化木粉を実機ミキサーで PP と混合した後、同方向 2 軸押出機処理により CNF 添加 WPC 25%コンパウンドを得る工程を、条件 B2 の評価範囲とした(図 3)。

実機ミキサー工程、およびコニカル押出機処理工程、同方向 2 軸押出機処理工程について、生産性および消費電力をそれぞれ実測した。

いずれも、フィブリル化した木粉をミキサー工程へ輸送するプロセス（輸送 1）、

コンパウンド化後に射出成型工程へ輸送するプロセス（輸送 2）を評価範囲に加えた。それぞれの評価条件は、以下のとおりである。輸送距離は、国交省のトラック輸送状況の実態調査結果(全体版)から、大型車の平均実車距離を抽出した。

輸送 1：木粉輸送（積載重量 8,000 kg、10t トラック輸送、272 km）

輸送 2：コンパウンド輸送（積載重量 10,000 kg、10t トラック輸送、272 km）

また、比較のために、従来の自動車部品材料として、タルク充填 PP についても同様に評価した。図 2-72 にタルク PP 70%コンパウンドの評価範囲を、図 2-73 にタルク PP 25%コンパウンドの評価範囲を示す。

条件 B3（図 2-72）では、タルクと PP を実機ミキサーで混合し、コニカル押出機処理によりタルク PP 70%コンパウンドを得る工程を、条件 B4（図 2-73）では、タルクと PP を実機ミキサーで混合した後、同方向 2 軸押出機処理によりタルク PP 25%コンパウンドを得る工程を評価範囲とした。なお、実機ミキサー工程、コニカル押出機処理工程、同方向 2 軸押出機処理工程の生産性、および消費電力量については、CNF 添加 WPC と同等と仮定して評価した。

いずれも、タルクをミキサー工程へ輸送するプロセス（輸送 3）、コンパウンド化後に射出成型工程へ輸送するプロセス（輸送 4）を評価範囲に加えた。それぞれの評価条件は、以下のとおりである。

輸送 3：タルク輸送（積載重量 10,000 kg、10t トラック輸送、272 km）

輸送 4：コンパウンド輸送（積載重量 10,000 kg、10t トラック輸送、272 km）

機能単位は、それぞれ以下の通りとした。

B1：CNF 添加 WPC 70%コンパウンド 1kg

B2：CNF 添加 WPC 25%コンパウンド 1kg

B3：タルク PP 70%コンパウンド 1kg

B4：タルク PP 25%コンパウンド 1kg

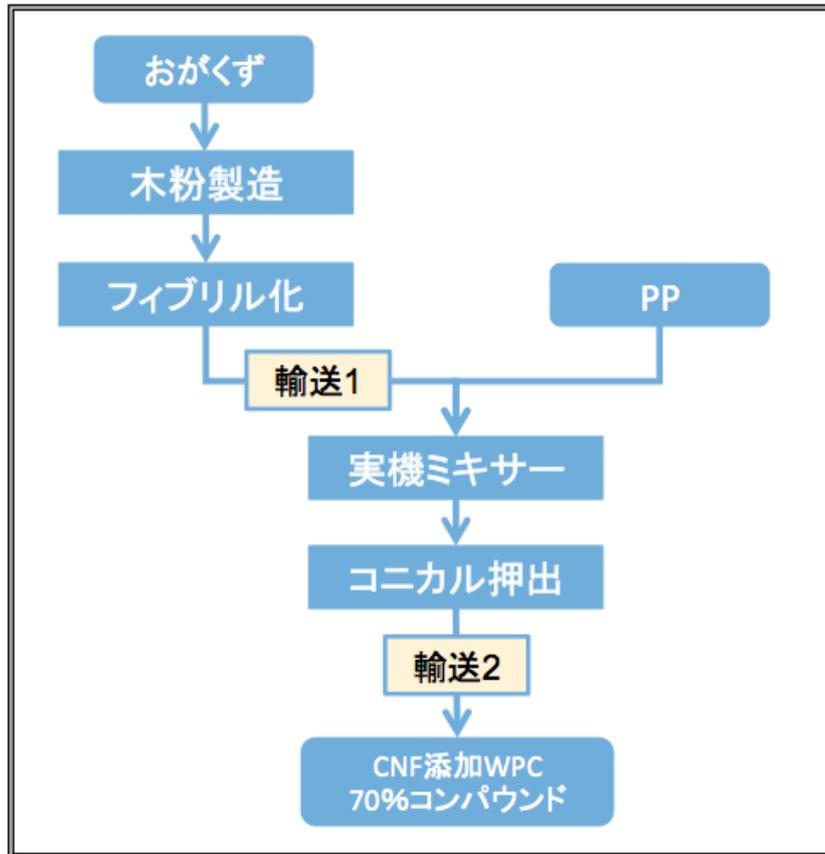


図 2-70 CNF 添加 WPC70%コンパウンド製造 (B1) に係る CO₂ 排出量評価範囲

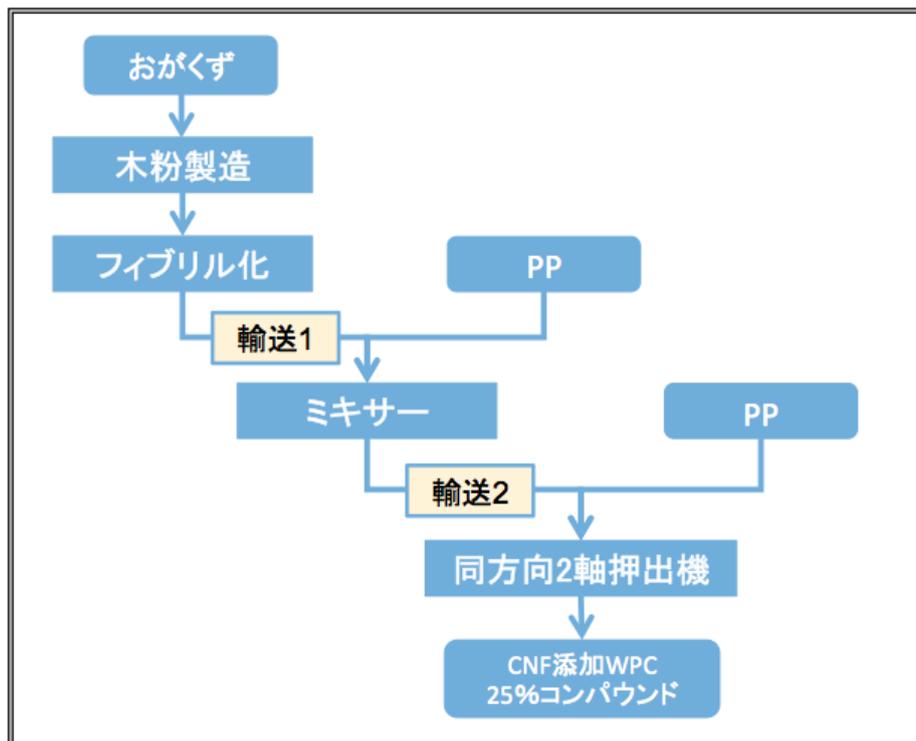


図 2-71 CNF 添加 WPC25%コンパウンド製造 (B2) に係る CO₂ 排出量評価範囲

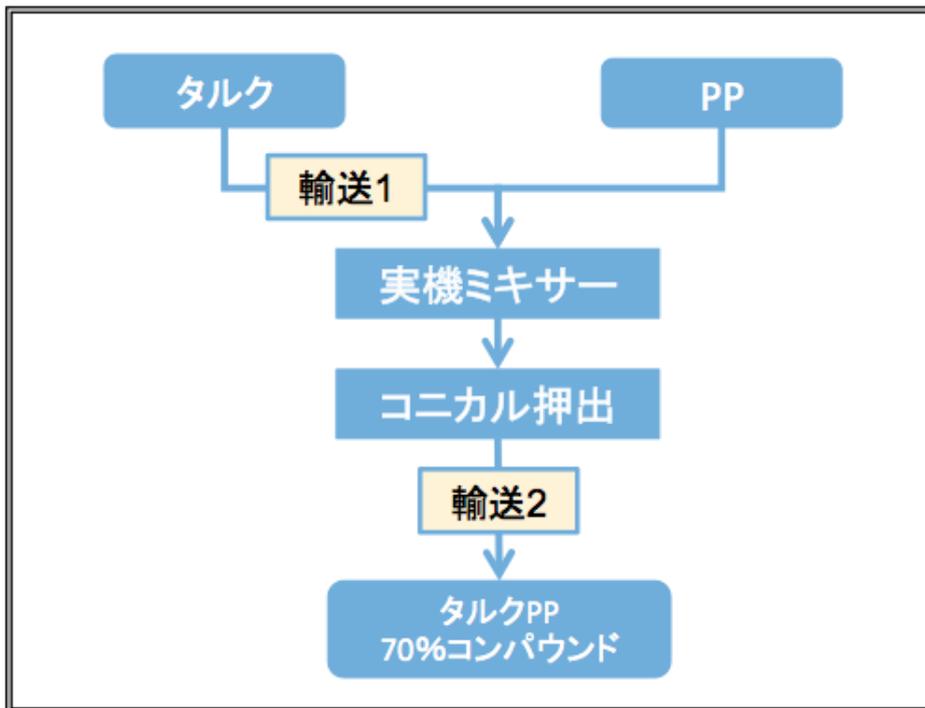


図2-72 タルクPP 70%コンパウンド製造 (B3) に係る CO₂排出量評価範囲

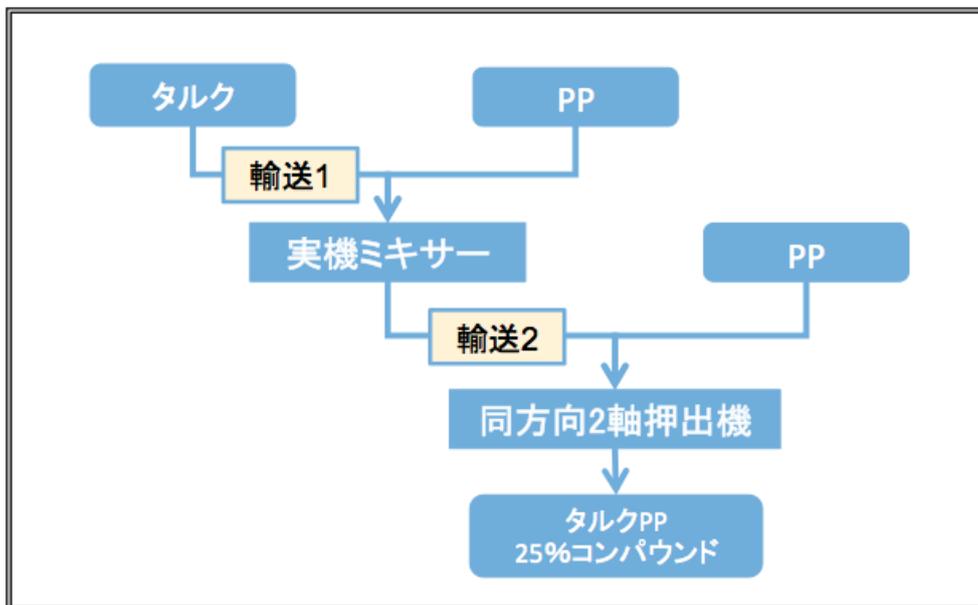


図2-73 タルクPP 25%コンパウンド製造 (B4) に係る CO₂排出量評価範囲

C. CNF 添加 WPC 成形品の生産に係る CO₂ 排出量の評価

条件 B で得られた CNF 添加 WPC のコンパウンドを、射出成型により成型品にする工程までを含め、ソリッド品と中空品、及び薄肉化品を調整した場合のそれぞれの CO₂ 排出量について評価した。

評価範囲を図 2-74, 2-75 に示す。なお、タルク PP ソリッド品についても同様に評価した (図 2-76, 2-77)。

評価は、70%コンパウンドを PP とともに射出成型機に投入して成型する場合と (図 2-74 ; C1-3、図 2-76 ; C7)、25%コンパウンドをそのまま射出成型機で成型する場合についてそれぞれ行った (図 2-75 ; C4-6、図 2-77; C8)。

射出成型機の消費電力量については、タルク PP ソリッド品、CNF 添加 WPC ソリッド品、および CNF 添加 WPC 中空品に対して実測を行い、CNF 添加 WPC 薄肉化品に関しては比例計算により算出した。

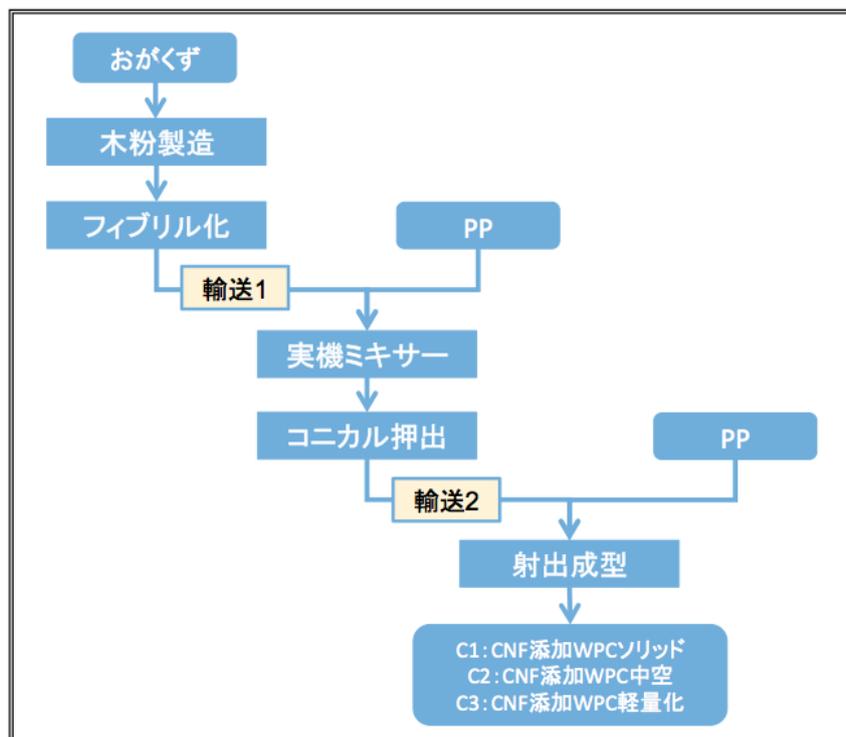


図 2-74 CNF 添加 WPC 製造 (C1-3) に係る CO₂ 排出量評価範囲

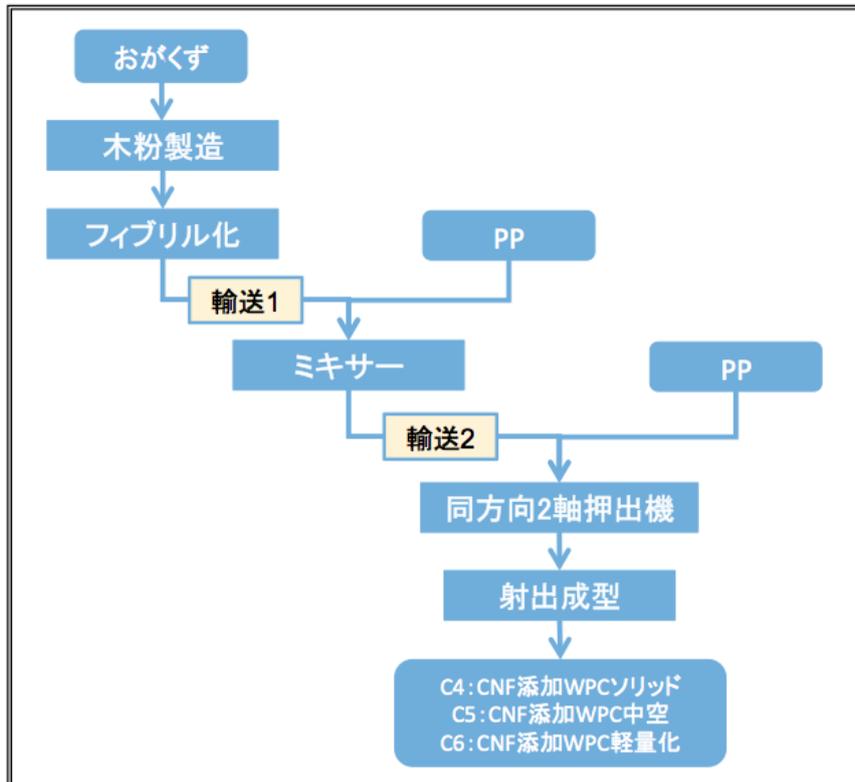


図2-75 CNF 添加 WPC 製造 (C4-6) に係る CO₂ 排出量評価範囲

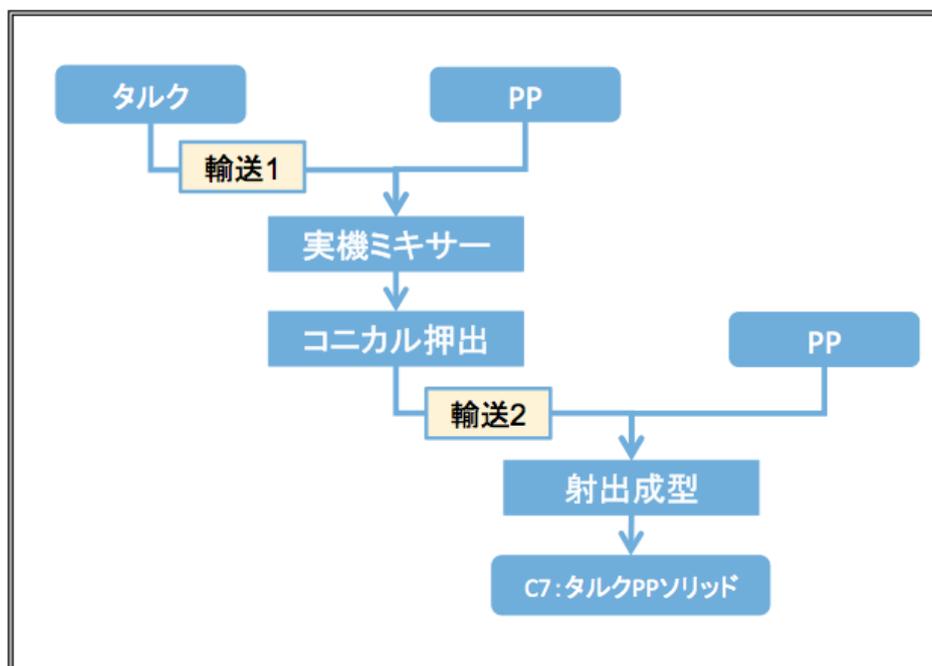


図2-76 タルク PP 製造 (C7) に係る CO₂ 排出量評価範囲

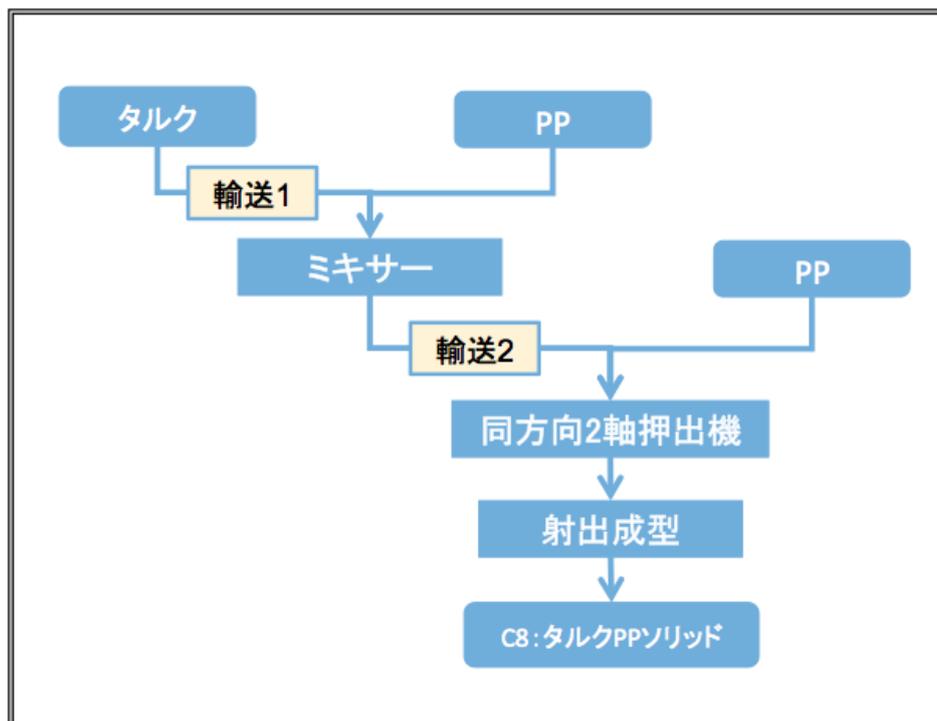


図 2-77 タルク PP 製造 (C8) に係る CO₂ 排出量評価範囲

- D. 既存の自動車用タルク充填プラスチック部品を新規 CNF 添加 WPC 部品で代替した場合のライフサイクル CO₂ 排出量の評価

CNF 自動車部品のライフサイクル評価範囲（システム境界）を図 2-80 に示す。評価範囲は、CNF 素材を製造する工程、CNF 部材（自動車部品）を製造する工程、CNF 部材を導入した自動車が行く工程、および CNF 部材を廃棄する工程とした。既存の樹脂部品の一部を新規素材で代替することの影響を評価することが目的であるため、自動車部品としては、CNF 部材のみを考慮し、その他の部品については影響がないと想定して評価範囲に含めないこととした。また、自動車の組立工程についても、新規素材に代替されることにより変化はないと想定し、評価範囲から除いた。

走行工程に関しては、既存部品が新規部品に代替されることで見込まれる軽量化分を考慮し、走行時の燃費が変化することによる影響を評価した。

廃棄工程は、自動車特有の廃棄システムを考慮せず、一般的な産業廃棄物としての廃棄物処理による負荷を計上した。

機能単位は、乗用車 1 台の 10 年間の走行とした。

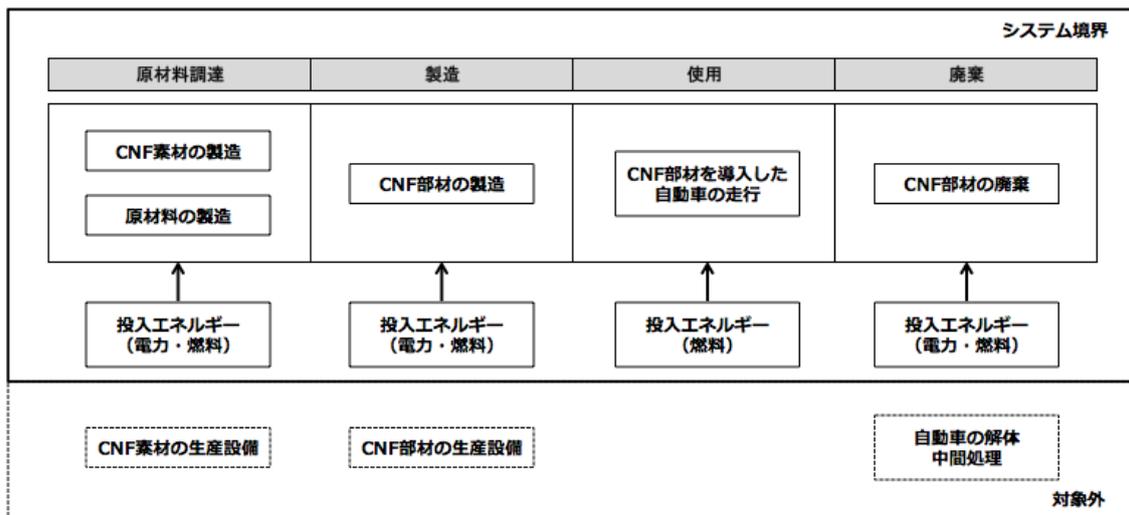


図2-78 CNF部材（自動車部品）のライフサイクル評価範囲

評価に用いたデータは、以下の通りである。

- ・自動車（軽・小型・普通乗用車）の1台あたりの平均重量
乗用車（自家用・営業用）の大型化（重量化）の推移（平成26年度、環境省）

- ・燃費平均値

ガソリン乗用車のJC08モード燃費平均値（平成28年度、国土交通省）

- ・1台あたりの対象材料の使用量

ポリプロピレンの開発と自動車材料への応用

（2008年自動車技術会春季フォーラム、日本ポリプロ（株））

- ・1台あたりのライフサイクル走行距離

1年あたり10,000km、つまりライフサイクルあたりでは100,000kmとした。

部材製造のCO₂排出量には、各種条件において実測を踏まえて評価した結果C1～C8を用いた。

車両重量による燃費の算定については、以下の算定式を使用した。

燃費（km/L） = $-0.0122 \times \text{CNF部材を導入した自動車1台の重量（kg）} + 31.852$
 （セルロースナノファイバーを用いた自動車製品に関するLCAガイドライン）

3. 原単位

PPの製造、タルクの製造、ガソリンの製造、および廃棄物処理に係るバックグラウンドデータとしては、データベース「IDEAv2」を使用した。なお、原単位としては、他の温室効果ガスの影響も合わせてCO₂に換算したGHG排出量を用いた。特性化係数には、IPCCの第5次報告書（2013年）の地球温暖化係数（100年値）を使用した。

ガソリンの使用に係るCO₂排出量は、環境省の「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における排出係数」のデータを使用した。

また、プラスチック類の焼却処理の際に当該プラスチックの燃焼により発生するCO₂量は、ポリプロピレンの分子構造(C₃H₆)_nにより算出した。

【結果】

A. CNF添加WPCコンパウンドマスターバッチの製造に係るCO₂排出量に対するミキサー条件の及ぼす影響の評価（ラボスケール）

ヒノキ大、ヒノキ小、欧州アカマツの3種の木材について、含水処理を施した場合と含水処理なしの場合で、フィブリル化までのCO₂排出量と、ラボミキサーによりCNF 70%のコンパウンドを製造するまでのCO₂排出量を評価した。結果を表2-32と図2-79にまとめた。また、タルクを同様に70%コンパウンド化した場合のCO₂排出量についても、表2-32に併記した。

水分量が高いほど、処理クリアランスが小さいほど、CO₂排出量が増加する傾向が見られた。

なお、投入する木材としてはおが粉を想定しているため、材料の負荷はいずれもゼロカウントとなっており、樹種による材料負荷の影響はこの結果には含まれていない。

表 2-32 CNF 添加 WPC コンパウンドマスターバッチの製造に係る CO₂ 排出量

No.	木粉種類	含水処理	水分量	処理クリアランス	フィブリル化木粉 GHG排出量 (kg-CO ₂ e/kg)	70%コンパウンド GHG排出量 (kg-CO ₂ e/kg)
①	ヒノキ小	含水無	10%	200μ m	0.271	0.840
②	ヒノキ小	含水無	10%	350μ m	0.275	0.836
③	ヒノキ小	含水有	20%	200μ m	0.362	0.924
④	ヒノキ小	含水有	20%	350μ m	0.321	0.906
⑤	ヒノキ大	含水無	10%	200μ m	0.306	0.841
⑥	ヒノキ大	含水無	10%	350μ m	0.297	0.838
⑦	ヒノキ大	含水有	20%	200μ m	0.404	0.930
⑧	ヒノキ大	含水有	20%	350μ m	0.274	0.856
⑨	欧州アカマツ	含水無	10%	200μ m	0.283	0.838
⑩	欧州アカマツ	含水無	10%	350μ m	0.276	0.837
⑪	欧州アカマツ	含水有	20%	200μ m	0.330	0.908
⑫	欧州アカマツ	含水有	20%	350μ m	0.303	0.896
☆	タルク				0.033	0.408

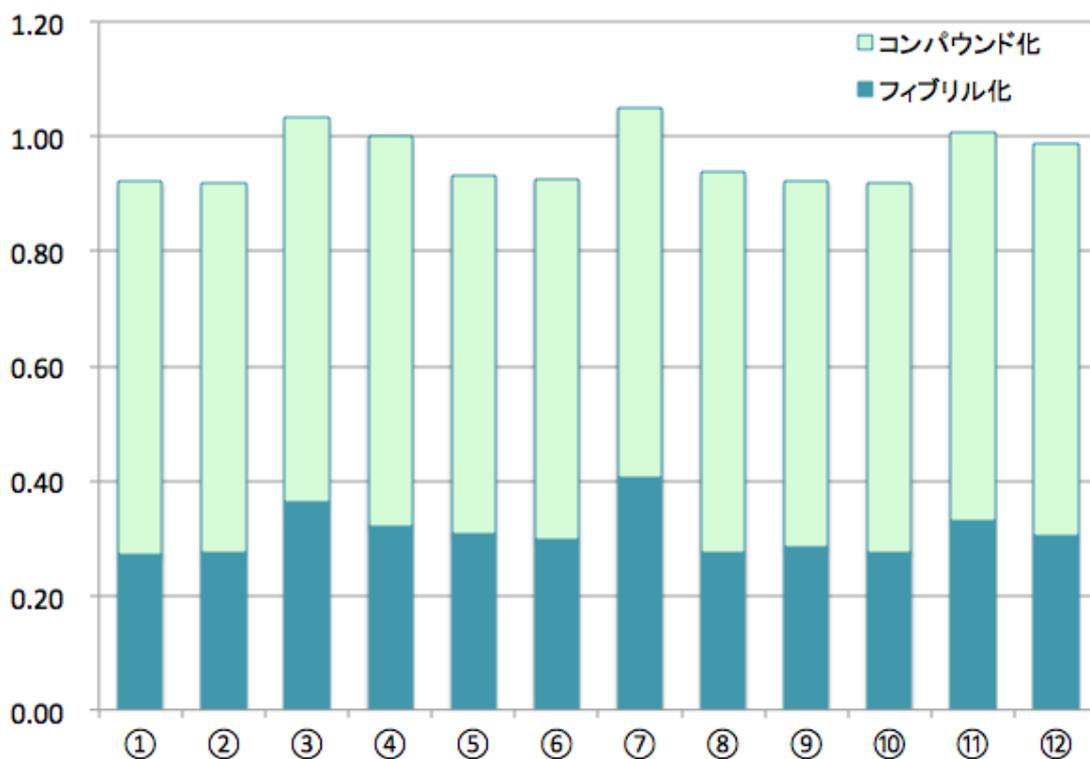


図 2-79 CNF 添加 WPC コンパウンドマスターバッチの製造に係る CO₂ 排出量

B. CNF 添加 WPC コンパウンド生産に係る CO₂ 排出量の評価 (量産スケール)

フィブリル化木材をミキサーで PP と混合した後、コニカル押出処理により生産した CNF 添加 WPC 70%コンパウンド (B1) と、ミキサー混合後に PP と共に同方向 2 軸押出機処理をすることにより生産した CNF 添加 WPC 25%コンパウンド (B2) の

CO₂排出量を評価した。結果を表 2 にまとめた。また、同様に処理したタルク PP 70%コンパウンド (B3) とタルク PP 25%コンパウンド (B4) の結果も表 2-33 に併記した。

タルク材料の製造に係る CO₂排出量のバックグラウンドデータが、フィブリル化までの処理を施した木材の負荷よりも小さいため、コンパウンドまでの負荷も同様にタルクの方がやや小さい結果となっている。

表 2-33 コンパウンド生産に係る CO₂排出量

条件	70%コンパウンド CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e/kg)	25%コンパウンド CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e/kg)
B1	1.10	-
B2	-	1.80
B3	0.92	-
B4	-	1.74

C. CNF 添加 WPC 成型品の生産に係る CO₂排出量の評価

条件 B で得られた 70%コンパウンド、および 25%コンパウンドを用いて、射出成型により成型品を生産する際の CO₂排出量を評価した。結果を表 2-34、および図 2-80 に示す。

射出成型機に投入するコンパウンドとして 70%コンパウンドを用いたほうが、最終製品の負荷は若干小さくなる傾向が見られた。

また、最終製品は、CNF を重量あたりで 25%と設定しているため、軽量化した CNF を用いた場合は、重量あたりの CO₂排出量は増える傾向にあった。

表 2-34 成型品の生産に係る CO₂ 排出量

条件	射出成型時 コンパウンド	成型品	最終製品 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e/kg)
C1	70%コンパウンド	CNF 添加 WPC ソリッド	1.98
C2	70%コンパウンド	CNF 添加 WPC 中空	2.12
C3	70%コンパウンド	CNF 添加 WPC 薄肉化	2.09
C4	25%コンパウンド	CNF 添加 WPC ソリッド	2.16
C5	25%コンパウンド	CNF 添加 WPC 中空	2.31
C6	25%コンパウンド	CNF 添加 WPC 薄肉化	2.27
C7	70%コンパウンド	タルク PP ソリッド	1.94
C8	25%コンパウンド	タルク PP ソリッド	2.12

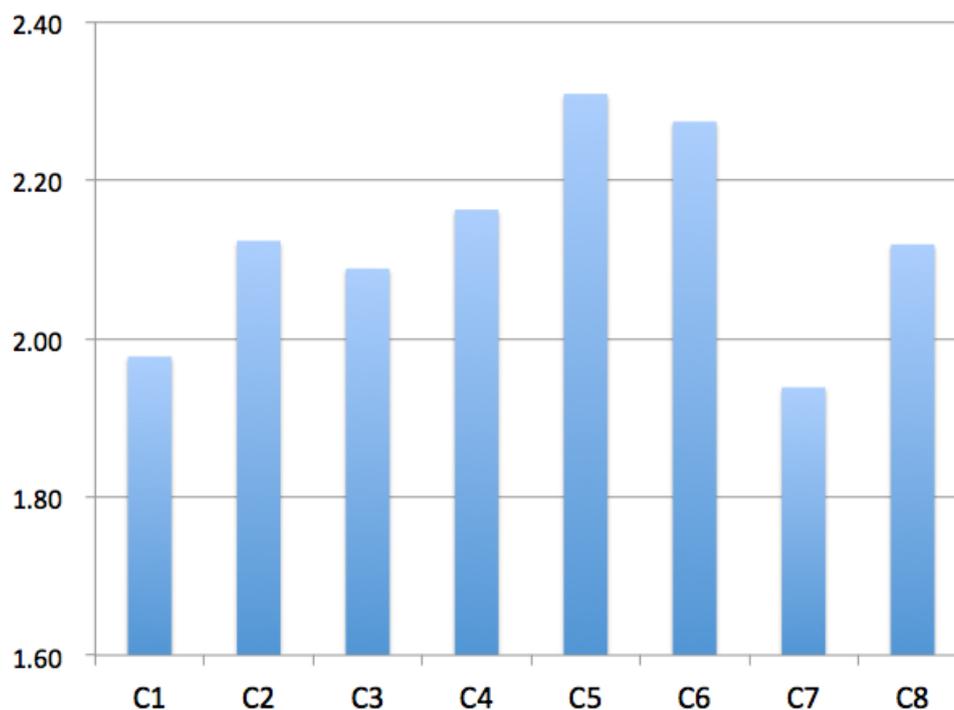


図 2-80 成型品の生産に係る CO₂ 排出量

D. 既存の自動車用タルク充填プラスチック部品を新規 CNF 添加 WPC 部品で代替した場合のライフサイクル CO₂ 排出量の評価

条件 C で得られた CNF 添加 WPC 成型品について、それぞれ同様の製造ルートにより生産されるタルク PP 成型品を想定してこれと比較し、自動車部品としてのライフサイクルを通じて排出する CO₂ の削減量を評価した。

評価に用いたデータを表 2-35 に示す。部材の軽量化割合は、C1, 4 で 2.3%、C2, 5 で 36.2%、C3, 6 で 28.1%であるが、車両全体としてはそれぞれ 0.1%、2.2%、1.7%の軽量化となる。

表 2-36 に、70%コンパウンドを用いた成型品に関する結果を、表 2-37 に、25%コンパウンドを用いた成型品に関する結果を示す。いずれも部品製造までの CO₂ 排出量原単位は、タルク PP ソリッドと比較して大きくなっているが、軽量化により素材使用量が減少したため、自動車部品としては、部品製造・廃棄においてプラスの削減量となった。

また、中空品および薄肉化品では、軽量化による走行段階の削減量が大きくなり、部品あたりで約 36%、28%の削減が見込まれることが示唆された。コンパウンド化の製造ルートの影響はほとんど見られなかった。

表 2-35 自動車部品のライフサイクル評価に用いたデータ

	データ	備考
燃費	21.6 km/L	ガソリン乗用車の JC08 モード燃費平均値の推移 (国土交通省 H29.3)
車両重量平均値	1,359 kg/台	乗用車(自家用・営業用)の大型化(軽量化)の推移(環境省)26年度
自動車1台に対する対象とする従来材料の使用率	6%	ポリプロピレンの開発と自動車材料への応用(2008年自動車技術会春季フォーラム、日本ポリプロ(株))
部材軽量化	2.3%, 36.2%, 28.1%	
1台あたりの重量減少	0.1%, 2.2%, 1.7%	
1台あたり走行距離	100,000 km	10,000 km / 1年×10年
排出係数 (GHG 排出量: IPCC2013, 100年係数)		
ガソリン	2.88 kg-CO ₂ e/L	IDEAv2 ガソリン (原料・製造) 環境省温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における排出係数 ガソリン (使用)

表2-36 CNF添加WPC部品による代替効果 (70%コンパウンドからの成型品)

	燃費 (Km/L)	ガソリン 量 (L)	部品製造 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品走行 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品廃棄 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品全体 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	1年あたり 部品全体 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品あた り 削減率
C7 : タルク PP ソリッド	15.27	6547.85	158.19	1131.07	255.22	1544.48	154.45	
C1 : CNF 添加 WPC ソリッド	15.30	6538.05	157.74	1129.38	249.35	1536.47	153.65	
削減量	0.02	9.80	0.45	1.69	5.87	8.01	0.80	0.5%
C2 : CNF 添加 WPC 中空品	15.63	6397.01	110.29	720.65	162.83	993.77	99.38	
削減量	0.36	150.84	47.90	410.42	92.39	550.71	55.07	35.7%
C3 : CNF 添加 WPC 薄肉化品	15.55	6430.15	122.53	812.32	183.50	1118.36	111.84	
削減量	0.28	117.69	35.66	318.75	71.72	426.13	42.61	27.6%

表2-37 CNF添加WPC部品による代替効果 (25%コンパウンドからの成型品)

	燃費 (Km/L)	ガソリン 量 (L)	部品製造 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品走行 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品廃棄 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品全体 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	1年あたり 部品全体 CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ e)	部品あた り 削減率
C8 : タルク PP ソリッド	15.27	6547.85	172.86	1131.07	255.22	1559.16	155.92	
C4 : CNF 添加 WPC ソリッド	15.30	6538.05	172.08	1129.38	249.35	1550.81	155.08	
削減量	0.02	9.80	0.79	1.69	5.87	8.35	0.84	0.5%
C5 : CNF 添加 WPC 中空品	15.63	6397.01	120.17	720.65	162.83	1003.66	100.37	
削減量	0.36	150.84	52.69	410.42	92.39	555.50	55.55	35.6%
C6 : CNF 添加 WPC 薄肉化品	15.55	6430.15	133.08	812.32	183.50	1128.91	112.89	
削減量	0.28	117.69	39.78	318.75	71.72	430.25	43.03	27.6%

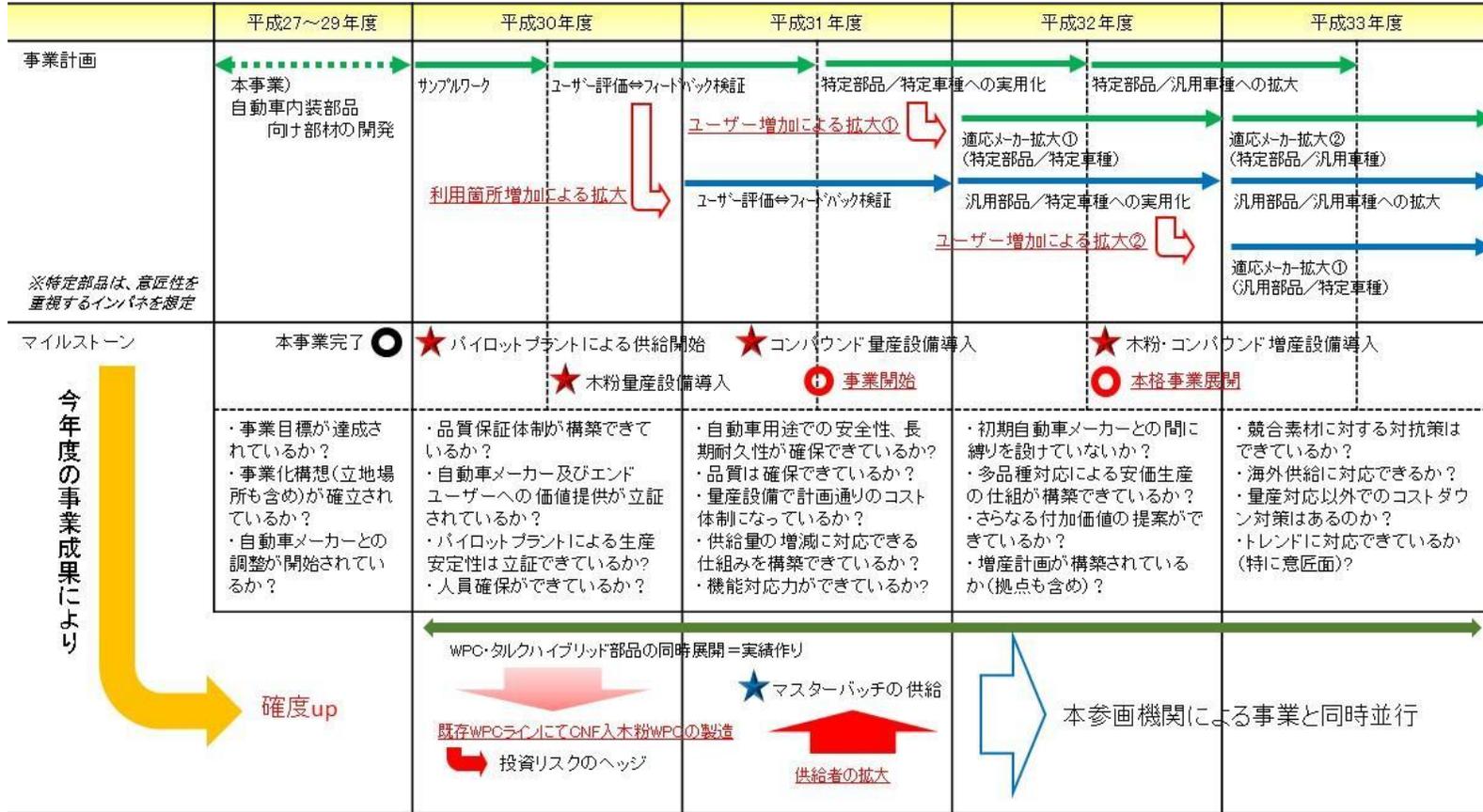
CNF 添加 WPC を用いた新規自動車部品の製造・廃棄に係る CO₂ 排出量を算出し、従来の自動車用樹脂部品を代替することによる CO₂ 排出量削減効果を評価した。

結果、CNF 添加 WPC の特性を活かし、薄肉化並びに、更に効果を最大化させる構造変更（中空化）を行うことで、30 kg-CO₂e /台以上の効果を確認した。

CNF 添加 WPC 成型品の製造に係る CO₂ 排出量は、従来品としてのタルク PP 成型品と比較すると、木粉化、フィブリル化といった工程を含むためやや増える傾向にあるが、自動車のライフサイクルで評価すると、その差の影響はほとんどなく、一方で部品自体の重量が軽量化することによる燃費改善、燃料消費量削減による効果が大きく現れることがわかった。ただし、現在の評価は、部品あたりであり、車両全体でみると 6% の重量分しか考慮していない。従って、全体としての削減量を増やすには、代替できる範囲（重量）をいかに増やすか、CNF 添加 WPC 成型品の装着する台数を如何に増やしていくかが、今後の課題となる。

イ. CO₂ 削減効果を前提とした事業計画の策定

今年度事業では、マスターバッチ方式が確立した。これにより、幅広いコンパウンドメーカーの参画が可能となった。コンパウンドメーカーの参画が増えれば、部品への対応力も高くなるので、横軸展開の前倒しが期待される。一方、実績は大きな壁であることが、ヒアリングを通じて明らかになった。そこで、実績のある WPC 素材利用、タルク充填プラスチックとのハイブリッドと言う工程を加えることで、実用化の確度を向上させる。今年度、全て既存の設備で実現できたこと、前述するマスターバッチ方式が確立したことで、ワックション入れる工程が実現する。即ち、本事業成果品の実用化を確実にするために、前駆製品の導入を図る。ここで、既存 WPC やタルクとのハイブリッドも、本事業成果品レベルの軽量化はできないものの、既存タルク充填プラスチックに比べ、軽量化になる。事業計画時は、平成 30 年～31 年は、実評価期間と定めていたが、ここに、前駆商品を導入することで、CO₂ 削減効果も前倒しされる。図 2-81 には、この点を踏まえた事業計画を示す。



前駆製品展開により、
早期よりCO2削減効果が発現

プレーヤーの拡大により、
 対応できる部品の拡大
CO2削減量の拡大

図2-81 CO2削減効果を高める事業計画

3. 総括

本事業は平成27年度より環境省委託業務「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業」として、自動車内装部品の軽量化によるCO₂排出量削減を行うべく推進した。

CNFは、その高いパフォーマンスから、自動車部品としても期待されているが、CNF自体のコストや使い勝手（CNFは含水状態）の問題から実用化するためには、多くの時間を要する。本事業ではウッドプラスチックにセルロースナノファイバーを添加材として利用するという実用化が容易な手法に着目し、機械特性向上を可能とした。

技術開発結果、自動車内装部品として採用されているタルク充填プラスチックに対して、軽量・高強度な特性を実証することができた。また、材料強度の向上に伴い、材料の強度面での軽量化に結びつけるだけでなく、強度アップを活かした部材構造の変更による軽量化も可能となることを見出せた。

本軽量化技術の確立により、自動車内装部品のライフサイクル全体におけるCO₂排出量削減にも結び付けることができた。

以上、本事業における3ヶ年の研究開発により、自動車内装部品の軽量化、CO₂排出量削減に対する重要基盤技術を開発することに成功した。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[A ランク]のみを用いて作成しています。