

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費補助金 終了研究成果報告書

容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の開発

(3J173002)

平成 29 年度～令和元年度

Development of surface treated wood powder for WPC using recycled plastic containers and packaging

トクラス株式会社 大峠 慎二

令和 2 年 5 月

目 次

I．成果の概要	・ ・ ・ ・ ・ 1
1．はじめに（研究背景等）	・ ・ ・ ・ ・ 2
2．研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・ 2
3．研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・ 3
4．結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・ 4
5．本研究により得られた主な成果	・ ・ ・ ・ ・ 11
6．研究成果の主な発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 12
7．研究者略歴	・ ・ ・ ・ ・ 12
II．成果の詳細	・ ・ ・ ・ ・ 13
要旨	・ ・ ・ ・ ・ 13
1．はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 14
2．研究開発目的	・ ・ ・ ・ ・ 14
3．研究開発方法	・ ・ ・ ・ ・ 15
4．結果及び考察	・ ・ ・ ・ ・ 16
5．本研究により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・ 45
6．国際共同研究等の状況	・ ・ ・ ・ ・ 46
7．研究成果の発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 47
8．引用文献	・ ・ ・ ・ ・ 48
III．英文 Abstract	・ ・ ・ ・ ・ 49

I. 成果の概要

補助事業名 環境研究総合推進費補助金 次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業
(平成 29 年度～令和元年度)

所管 独立行政法人 環境再生保全機構

研究課題名 容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の開発

課題番号 3J173002

研究代表者名 大峠 慎二 (トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室)

累計国庫補助金額 15,750 千円
(平成 29 年度 : 5,610 千円、平成 30 年度 : 4,940 千円、令和元年度 : 5,200 千円)

研究期間 平成 29 年 4 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日

本研究のキーワード 容器リサイクル樹脂、木粉、WPC、表面処理、酸変性

研究分担者	岡本 真樹 (トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室 社員)
	香川 恵子 (トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室 契約社員)
	江間 友幸 (トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室 社員)

1. はじめに（研究背景等）

近年、環境に対する国民意識の高まりから、プラスチックごみの分別回収は定着してきた。この内（一般廃棄物）、再生利用は 65 万 t で、総排出量の 15%となっている。このような背景の中、容器リサイクル樹脂に代表されるリサイクルプラスチックは、パレット、プラスチック製擬木等への利用に留まり、安価な原料だけの位置づけとなっているが、マテリアル利用するための回収・分別コストは課題となっており、付加価値の高い新たな用途展開が求められている。一方、ウッドプラスチックは、バイオマス資源の有効利用方法として注目され、自動車用途の展開も始まり、今後の拡大が見込まれている。これら、容器リサイクル樹脂の活用、バイオマス資源の有効利用の両課題を解決する一つの手法として取り組んだ。

2. 研究開発目的

本課題では、容器リサイクル樹脂の特性を最大限に活用し、ウッドプラスチックの機能性を高めることが可能で、かつ、産業界における、使い勝手、経済性が確保できるウッドプラスチック用表面処理木粉製造技術の確立である。従来のウッドプラスチックにおいて、添加剤として使用する相容化剤（マレイン酸変性樹脂）は酸変性処理の工程を経た後、木粉、樹脂とともに熔融混練され使用してきた。一方、自動車等新たな市場への拡大が見込まれるウッドプラスチック分野において、コンパウンドメーカーの参入が不可欠であるが、木粉の嵩比重が小さいこと、また相容化には特殊な知見が必要であることから、未処理木粉での利用はハンドリングが悪く、普及を遅らせることとなる。

本課題がフォーカスしているポイントは、容器リサイクル樹脂の持つ PP/PE の混在や低分子化の性質を利用し、相容化剤としての酸変性処理と表面処理としての界面補強と嵩比重のアップを行い、コンパウンド産業に対応できる表面処理木粉の製造を目的としている。事業終了後、3 年以内には、エクステリアも含むウッドプラスチック市場が 20 万 t/年になると想定しており、その内 5 万 t/年の処理木粉（容器リサイクル樹脂使用量 5 千 t/年）を市場展開する予定である。

自動車用途の拡大に伴い、5 年後には、10 倍の処理木粉 50 万 t（容器リサイクル樹脂使用量 5 万 t/年）の市場が見込まれる。50 万 t 市場になれば、事業提案者ら単独ではなく、容器リサイクル樹脂メーカーとタイアップした事業展開を視野に入れている。

本課題では、容リ樹脂の有する特性を生かし、汎用のコンパウンドメーカーにてハンドリングでき、かつ機能性を付与できる木粉フィラーの表面処理製造技術の確立である。したがって、達成目標としては、「性能目標」に加え、使い勝手、経済性から見た「実用性目標」の両面の確立を目指した。

【性能目標】

■容リ樹脂表面処理木粉を 25%添加した WPC にて、バージン樹脂に対し、曲げ強度で 30%以上、引張強度で 20%以上、弾性率で 50%以上の高強度化を実現すること

【実用性目標】

■変性+表面処理工程を同時に実施する合理化生産方式を確立することで、処理木粉販売単価として、市販未処理木粉同等（100 円/kg以下）の供給を可能とすること

■容リ樹脂表面処理木粉 25%の WPC コンパウンドにて、汎用の押出成形機で実用性の生産能力を確保できること（φ 70 mm二軸押出機で 100 kg/hr 以上の生産能力確保）

3. 研究開発方法

本課題で確立しようとする技術概要を図 1.1 に示す。

■表面処理及び酸変性プロセス概要

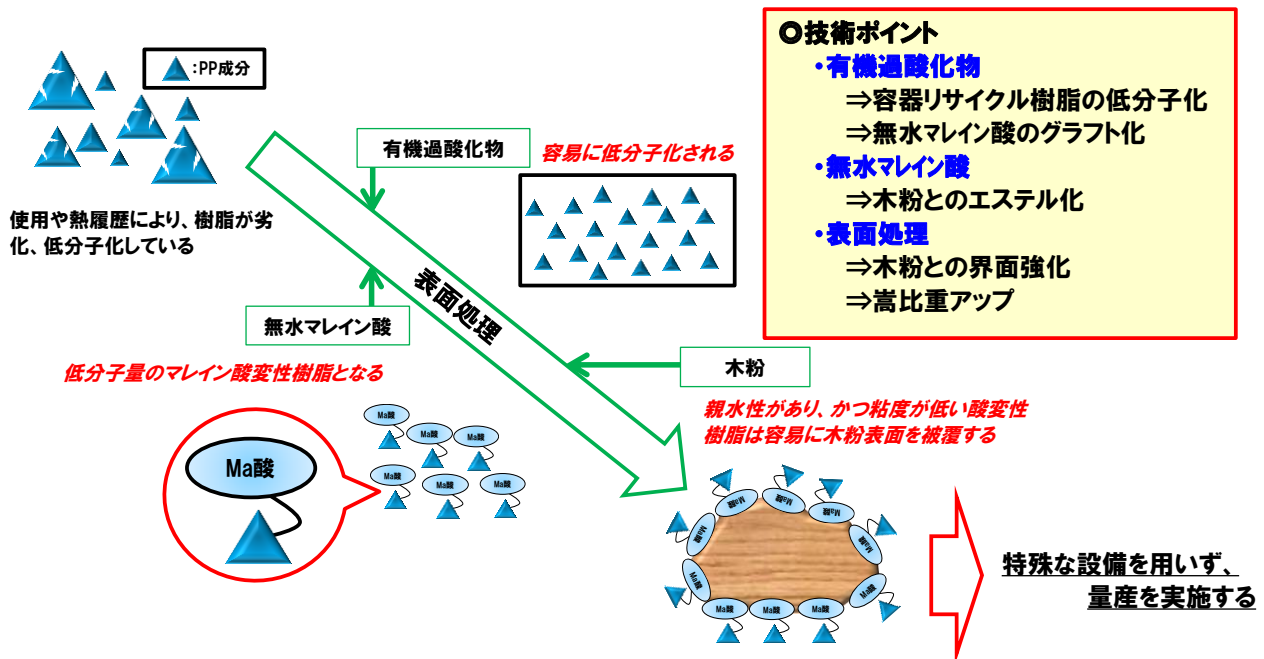


図 1.1 本課題の技術概要

容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の技術確立に向けて以下の課題に取り組んだ。

●容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

本課題において、容器リサイクル樹脂を木粉の表面処理材として用いるが、事業化を視野に入れるにあたり、その品質のバラつきは重要な因子として把握する必要があるとあり、その機械特性について評価を実施した。

●表面処理方法の検討

表面処理木粉の生産性を確認し、製造プロセスの検討を実施する。本検討においては特注となるような設備ではなく、過去の知見によりスケールアップが容易に類推できる設備を用い処理テストを実施した。

●表面処理配合・条件の検討

木粉表面処理設備を用いて、コーティングする樹脂量（木粉量比率）、容器リサイクル樹脂の低分子化、並びに無水マレイン酸のグラフト処理に必要な有機過酸化化物量、無水マレイン酸量、処理条件について試作を実施した。得られた表面処理木粉を利用し、木粉 25%に希釈されたコンパウンドを作製し、射出成型品にて、バージン樹脂に対する曲げ強度、弾性率、引張強度の機械特性の上昇率を用いて性能評価を実施した。

●表面処理木粉の実用性評価

得られた表面処理木粉をバージン樹脂 PP にて希釈配合し、φ 30mm 小型二軸押出機、φ 70mm 二軸押出機を用いて木粉 25%コンパウンドにおける生産能力の調査を実施した。また、製品化検討にあたり、サンプルを提供し、ユーザーでのテストを実施した。

4. 結果及び考察

4.1. 容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

使用する容器リサイクル樹脂のバラつきについて調査を実施した。容器リサイクル法の制定により、各家庭で分別されたプラスチック系廃材を分別し、ポリプロピレン（PP）やポリエチレン（PE）といったオレフィン系樹脂を主成分とし、マテリアルリサイクルされた熱可塑性樹脂である。国民の分別意識の向上や、比重分離、光学選別法といった分別の技術も高まってきている。

容器リサイクル樹脂を表面処理材として使用するため、そのバラつきを含む特性を把握しておくことは、必要不可欠である。

今回、課題遂行にあたり容器リサイクル樹脂として広島リサイクルセンター製樹脂で PP を主成分としてマテリアルリサイクルされたものを採用し、その機械特性、バラつきについて調査を実施した。

調査は熔融粘度の指標として MFR（メルトフローレート）、機械特性として曲げ強度、曲げ弾性率、アイゾット衝撃強度の調査を実施した。代表的な指標となる MFR の調査結果を図 1.2 に示す。

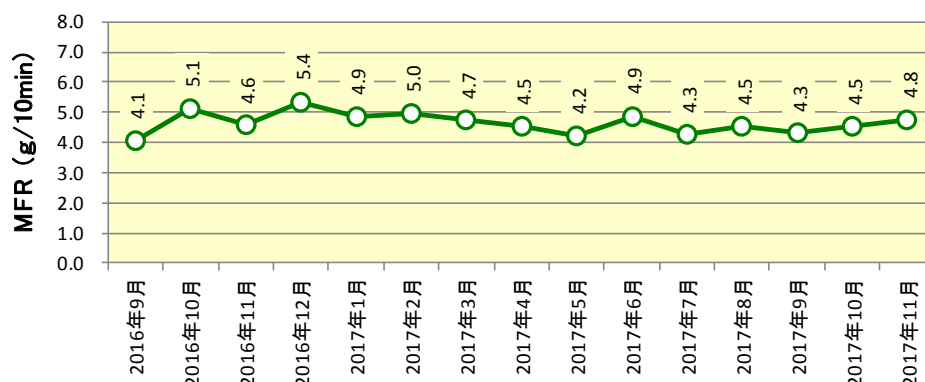


図 1.2 容器リサイクル樹脂の熔融粘度（MFR）測定結果

上記の結果から、リサイクル品としては機械特性は安定化しており、本事業への工業的利用は十分可能であると判断した。容器リサイクル樹脂メーカーでの廃材分別技術が高度化しており、品質の安定化が図られていると考える。本リサイクル樹脂に付加価値を与えることができれば、リサイクル材の高付加価値利用としてリサイクル産業の拡大に寄与できるものと考えられる。

4.2. 表面処理配合・条件の検討

容器リサイクル樹脂を用いた木粉の表面処理性能として、以下の【性能目標】に取り組んだ。

【性能目標】

■容リ樹脂表面処理木粉を 25% 添加した WPC にて、バージン樹脂に対し、曲げ強度で 30% 以上、引張強度で 20% 以上、弾性率で 50% 以上の高強度化を実現すること

4.2.1. 表面処理方法とその評価手順

表面処理方法とその評価手順を図 1.3 に示す。

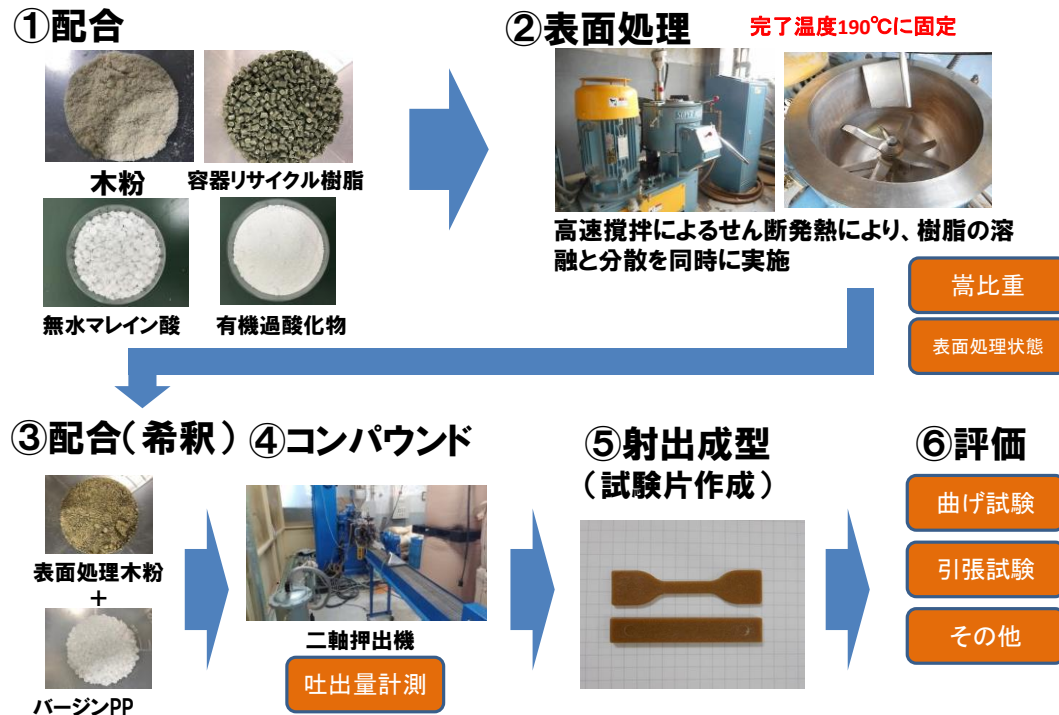


図 1.3 表面処理木粉の評価手順

表面処理に用いる材料を計量し、高速攪拌ミキサー（タンク容量 20L）によるせん断発熱により、樹脂の溶融と分散を同時に実施し、表面処理を行う。表面処理の完了温度は木粉が 200℃程度から熱分解することと、樹脂の溶融温度を考慮し 190℃とした。ここでは、出来上がった木粉表面処理品の嵩比重の測定と表面処理状態の確認を行う。表面処理木粉はバージン樹脂により木粉量が 25%となるように希釈を行い、φ 30mm 小型二軸押出機を用いてコンパウンドをおこなった。ここでは、押出機のスクルー回転数を固定し吐出量評価を行った。次に得られたコンパウンドを基に射出成型による試験片作成をおこない、48 時間 恒温恒湿状況にて静置したのち、曲げ試験、引張試験により機械特性評価を行った。

4.2.2. マレイン酸変性処理と表面処理の同時処理

有機過酸化化物を用いる木粉表面処理プロセスは、無水マレイン酸を容器リサイクル樹脂にグラフト化させる処理を同時に行うことで、工程短縮化による製造エネルギーの削減と表面処理性能の向上につながる。有機過酸化化物量、無水マレイン酸量について表 1.1 に示す配合にて実験を実施した。木粉が介在していることから、表面処理時の加熱工程で木粉から発生した水分により無水マレイン酸が容器リサイクル樹脂成分とグラフト反応を起こす前に開環してマレイン酸となってしまう、グラフト化を阻害することが考えられる。

木粉の水分による影響を確認する為に、高速攪拌ミキサーに有機過酸化化物と無水マレイン酸を投入するタイミングを変化させて実験をおこなった。投入タイミングは材料温度が 120℃、140℃、160℃、180℃の時点での添加とした。上記条件により得られた、曲げ強度・弾性率、引張強度の試験結果をもとに、バージン樹脂に対する物性上昇率をプロットしたデータを図 1.4 に示す。

表 1.1 表面処理配合 I

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉			
		配合			
		木粉	HRCPP	無水マレイン酸	有機過酸化物
ST-A	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.1%	90.0%	9.72%	0.18%	0.10%
ST-B	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.2%	90.0%	9.62%	0.18%	0.20%
ST-C	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.4%	90.0%	9.42%	0.18%	0.40%
ST-D	木粉90% 無水マレイン酸0.4%、過酸化物0.1%	90.0%	9.50%	0.40%	0.10%
ST-E	木粉90% 無水マレイン酸0.6%、過酸化物0.1%	90.0%	9.30%	0.60%	0.10%
ST-F	木粉90% 無水マレイン酸1.0%、過酸化物1.0%	90.0%	8.00%	1.00%	1.00%

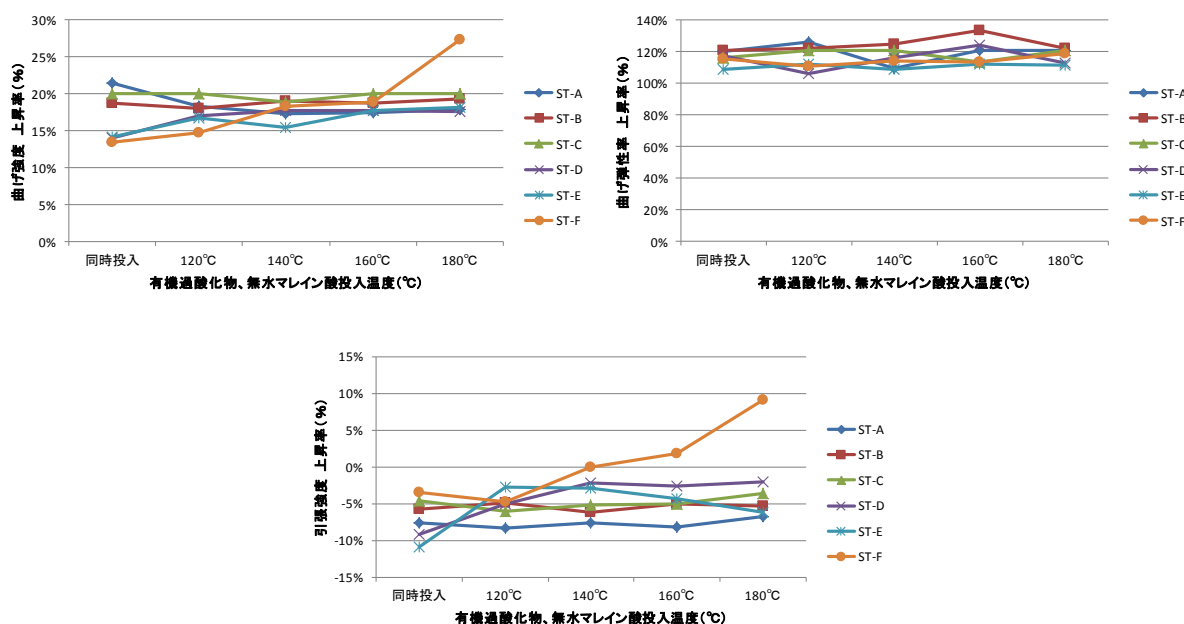


図 1.4 表面処理配合 I における有機過酸化物、無水マレイン酸投入温度と WPC 成型体の強度測定結果

有機過酸化物、無水マレイン酸の投入温度別の試験片を測定した結果、無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量が比較的小さい ST-A～ST-E の配合については投入温度における影響は少なかったものの、添加量のもっとも多い、ST-F 配合において、投入温度の上昇とともに、曲げ強度、引張強度の向上が得られ、180°C 投入において最も良い結果が得られた。このことから、材料中の水分が反応を阻害していたこと並びに、高温時での反応開始が効果的であること、無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量が比較的多い必要があることがわかった。

4.2.3. 木粉量と無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の検討

無水マレイン酸量、有機過酸化物量が比較的多い方が良好であったことから、増量効果について、木粉配合量とあわせて調査を実施した。材料の投入温度は「4.3.2. 有機過酸化物、無水マレイン酸の投入温度」にて性能の高かった 180℃にて実施した。表面処理配合を表 1.2 に、曲げ強度・弾性率、引張強度測定を行った結果を図 1.5 に示す。

表 1.2 表面処理配合Ⅱと処理後の嵩比重・コンパウンド吐出量測定結果

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉				コンパウンド				
		配合				嵩比重 g/cm ³	配合			
		木粉	HRCPP	木粉 マレイン酸 無水	有機 過酸化物		木粉	高変性 MAPP	木粉 無水マレイン酸	PP
ST-0	ブランク 表面処理なし 高変性MAPP	表面処理木粉なし				0.12	25.0%	1.0%		74.0%
ST-19	木粉90%HRCP 無水マレイン酸 1% 過酸化物 1%	90.0%	8.0%	1.0%	1.0%	0.22			27.8%	72.2%
ST-20	木粉90%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	90.0%	6.0%	2.0%	2.0%	0.24			27.8%	72.2%
ST-21	木粉80%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	80.0%	16.0%	2.0%	2.0%	0.27			31.3%	68.8%
ST-22	木粉70%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	70.0%	26.0%	2.0%	2.0%	0.34			35.7%	64.3%
ST-23	木粉90%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	90.0%	4.0%	2.0%	4.0%	0.21			27.8%	72.2%
ST-24	木粉80%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	80.0%	14.0%	2.0%	4.0%	0.26			31.3%	68.8%
ST-25	木粉70%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	70.0%	24.0%	2.0%	4.0%	0.35			35.7%	64.3%
ST-26	木粉80%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 8%	80.0%	10.0%	2.0%	8.0%	0.23			31.3%	68.8%
ST-27	木粉70%HRCP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 8%	70.0%	20.0%	2.0%	8.0%	0.32			35.7%	64.3%

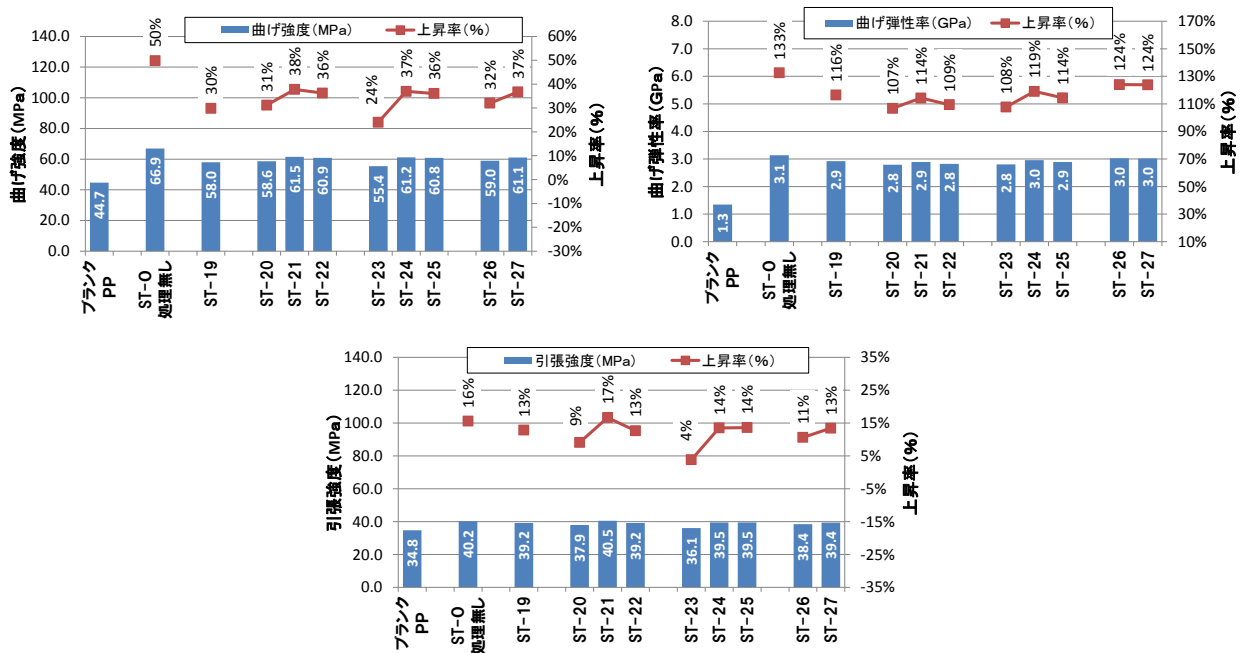


図 1.5 表面処理配合Ⅱにおける各物性とその上昇率

機械特性評価の結果、木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化物 2% (ST-21) にて引張強度が最大化し、市販のマレイン酸変性 PP を用いたコンパウンド（表面処理無し）と比較しても同等程度の引張強度性能を得ることができた。

4.2.4. 木粉種類・サイズの影響調査

木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過氧化物 2%の表面配合にて、木粉種類・サイズの影響を調査した。木粉はこれまで検討してきた「欧州赤松」に加え、間伐材等を利用した市販されている「スギ」「ヒノキ」「トウヒ」を用いた各種木粉毎の影響を調査した。図 1.6 に木粉種類別における各物性とその上昇率、図 1.7 に木粉種類別における嵩比重と各強度の関係を示す。

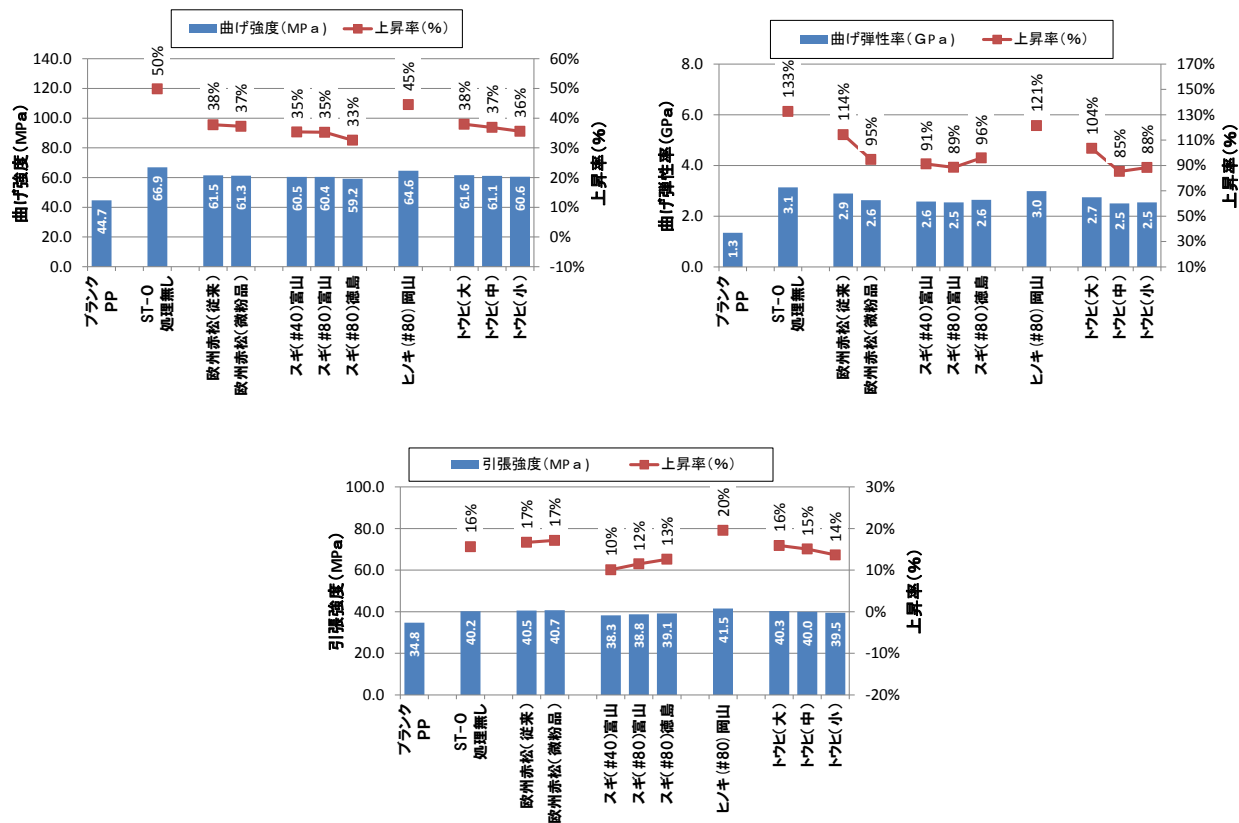


図 1.6 木粉種類別における各物性とその上昇率

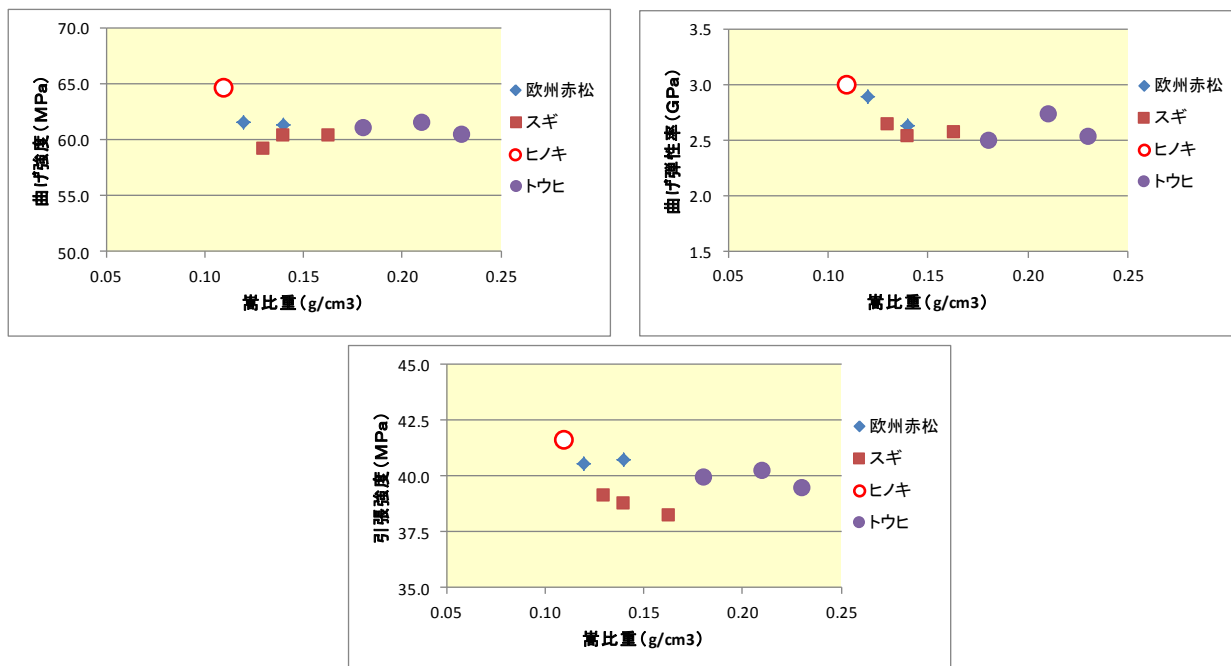


図 1.7 木粉種類別における嵩比重と各強度の関係

各種木粉にて調査した結果、木粉の種類について差がみられ、全般的にヒノキ木粉を使用したものが、最も高い強度を示した。また、ヒノキ木粉を利用することでバージン樹脂に対し、曲げ強度で 45%、引張強度で 20%、弾性率で 121%の強度上昇率を得ることができ【性能目標】を達成することができた。

木粉の平均粒径による影響は比較的小さかったが、嵩比重を元にプロットした結果（図 1.6）では、物性値の高かったヒノキ木粉は嵩比重が小さく、トウヒ木粉を除けば、強度物性に嵩比重の影響が強く表れていると思われる。今後、多種多様な木粉の調査から更なる傾向を把握する必要があるが、嵩比重は強度に影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。

4.3. 表面処理木粉の実用性評価

物理特性のみならず、表面処理木粉の使いやすさ、経済性を考慮し以下に示す【実用性目標】を設定し取り組んだ結果を示す。

【実用性目標】

■変性+表面処理工程を同時に実施する合理化生産方式を確立することで、処理木粉販売単価として、市販未処理木粉同等（100 円/kg以下）の供給を可能とすること

■容り樹脂表面処理木粉 25%の WPC コンパウンドにて、汎用の押出成形機で実用性の生産能力を確保できること（ $\phi 70$ mm二軸押出機で 100 kg/hr 以上の生産能力確保）

4.3.1. 表面処理による嵩比重効果

今回検討に使用した欧州赤松の木粉の嵩比重は 0.12 と嵩高く、汎用の押出機において利用する際にはハンドリングの悪さが課題となり、コンパウンド時の生産能力に大きく影響を及ぼす。表面処理のプロセスを得ることで、嵩比重を大きくすることが可能であり、「4.3.2. 木粉量とマレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の増量」において良好な性能を示した木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化物 2%(ST-21)において嵩比重は 0.27 となり、約 2 倍以上のアップさせることができた。

生産性の及ぼす影響として、 $\phi 30$ mm 小型二軸押出機を用いて、吐出量計測を行った結果、未処理木粉を使用した木粉 25%コンパウンドにおいては 4.8kg/hr の吐出量に対して、嵩比重 0.27 の表面処理を用いた場合 11.6kg/hr 大きく生産性向上に寄与できた。

4.3.2. スケールアップテスト

ラボスケールでは、表面処理工程において「タンク容量 20L の高速攪拌ミキサー」、コンパウンド工程において「 $\phi 30$ mm 小型二軸押出機」を用いたが、通常量産に用いられている最小スケールの設備として、図 1.8 に示す「タンク容量 100L の高速攪拌ミキサー」、「 $\phi 70$ mm 二軸押出機」の組み合わせを用いて、スケールアップテストを実施した。



高速攪拌ミキサー



$\phi 70$ mm 二軸押出機

図 1.8 表面処理工程に使用した設備

上記設備を用いたスケールアップテストの結果、「4.2.3. 木粉量と無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の検討」における ST-21 の配合にて吐出量は 117 kg/hr の結果が得られ、【実用性目標】を達成することができた。

4.3.3. コスト試算

得られた結果をもとに表面処理木粉のコスト試算を実施した。材料費において、容器リサイクル樹脂、無水マレイン酸、有機過酸化物、木材チップ（おが粉）については弊社購買実績にもとづく推定値を用いて材料費試算を行った。また、コスト試算は 200 kg/hr の粉砕能力を有する木粉粉砕設備（衝撃粉砕機、分級機）と、表面処理木粉用に 650L タイプの高速攪拌ミキサーを用いることを前提に、本課題での各装置の生産能力を加味して稼働率 100%における製造原価試算を行った。

この試算の結果、表面処理木粉の製造コストは 86.0 円/kg となり、市販木粉同等の 100 円の販売単価とすると、本モデルでの損益分岐点の 54 トン/月（稼働率 67%）以上で事業採算を確保できる試算結果となった。

4.3.4. ユーザーテストの実施

開発した表面処理木粉を利用した成型（押出・射出、コンパウンド）についてユーザー（3 社）に表面処理木粉を提供し、サンプル作製を頂いた。



図 1.9 ユーザーテストによって得たサンプル（エクステリアデッキ、コンパウンド、自動車部品）

いずれのユーザーでも良好な成形性との回答を頂いている。容器包装リサイクル樹脂はパッケージ内の汚れを主要因とした独特のにおいがあるが、木粉を一定量以上加えることで木粉由来の「木」のにおいが優位となり、容器包装リサイクル樹脂特有のにおいを打ち消す機能も期待でき、木粉のにおいが問題にならない用途については利用可能と考えられる。自動車部品においては、現状タルクやガラス繊維を利用した PP を用いているが、木粉の利用は部品の軽量化に繋がる手段である。色調等の外観上の課題があり成形プロセスの改善や塗装による検証等を実施する必要がある。物性面については耐衝撃性に課題があり、エラストマー等の成型時添加等、各製品の要求物性に合わせた添加剤等の処方が必要である。本表面処理は容器包装リサイクル樹脂を低分子化させ、均質化していると考えているが、ロットごとの製品にばらつきが少ないことが望まれるといったコメントがあった。容器リサイクル樹脂の安定性については工業利用できるレベルと判断しているが、表面処理における安定性についても今後の量産にて確認していく必要がある。コンパウンド事業への適用について、表面処理による嵩比重アップは生産面において効果的であるとのコメントもあったが、木粉を利用した製品市場の拡大が今後の事業のポイントであり、普及に向けた取り組みを継続して実施していく。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

●容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

容器リサイクル樹脂の MFR（溶融粘度）、曲げ強度・弾性率、衝撃強度についてその性能値とバラつきの範囲を確認することができ、工業利用可能なバラつきであると判断できた。

●表面処理方法の検討

嵩高い木粉の容器リサイクル樹脂による表面処理方法として、二軸押出機と高速攪拌ミキサーの処理能力を比較し、高速攪拌ミキサーの処理能力が高いことを見出した。

●表面処理配合・条件の検討

有機過酸化物を用いることで、容器リサイクル樹脂中の PP 成分が低分子化し、木粉を均一にコーティングできることが示された。また容器リサイクル樹脂と無水マレイン酸、有機過酸化物により表面処理された木粉の複合材の物性はバージン樹脂を使用した一般的な処方の複合材と同等レベルの物性を示すことがわかった。

●表面処理木粉の実用性評価

得られた表面処理木粉をバージン樹脂 PP にて木粉 25% となるように希釈配合し、φ 30mm 小型二軸押出機、φ 70mm 二軸押出機を用いてコンパウンドにおける生産能力の調査を実施した。また、製品化検討にあたり、サンプルを提供し、ユーザーでのテストを実施し、既存の樹脂加工メーカーでも容易に導入できることを実証した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

容器包装リサイクル樹脂は樹脂単体の機械特性レベルが低いこと、並びに廃棄物由来であるマイナスイメージから、工業品としての利用は限られてきた。しかしながら昨今のリサイクル品の分別技術の向上により、工業で利用できるレベルのバラつきにまで品質安定性を向上させてきている。本技術は、この貴重な資源を木粉の表面処理材料として付加価値アップを図る利用法であり、既存製品（WPC 製品）と同等以上の性能を確保できる技術である。さらに、活用する製品は、国内で 4 万 t、海外で 500 万 t を超えるマーケットを有している WPC 用途であることから、使用量だけでなく、実用化速度も速い。

また、国内森林資源の観点から、従来のバイオマス製品に比べ、高付加価値の製品（5～10 倍）となるだけでなく、製造方法がシンプルであるため、山側での事業化、即ち、山間地域の活性化にもつながる。一方、WPC 製品は、自動車用途において、無機フィラープラスチックより軽量かつ高強度であるが、コスト面に課題がある。本成果は、機械特性の向上、生産能力アップにつながる技術であり、通常のウッドプラスチック製品に対し、コストダウンが期待される。よって、自動車用途での普及拡大も加速化され、部品の軽量化により、CO2 排出量削減効果も期待される。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付論文>

特に記載すべき事項はない

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

(2) 主な口頭発表 (学会等)

1) 大峠 慎二、第 22 回定期講演会「WPC の持つ多面性, それぞれのビジョン」

「トクラスにおけるウッドプラスチック技術の展開」

(公社) 日本木材加工技術協会 木材・プラスチック複合材部会、東京都、2018 年 11 月 2 日

2) 大峠 慎二、平成 30 年度第 1 回 CNF 技術講演会

「CNF-木粉ハイブリッド WPC 「ウッドナノプラス」について」

静岡県経済産業部商工業局新産業集積課、静岡県、2018 年 11 月 28 日

3) 大峠 慎二、平成 30 年度 環境研究総合推進費研究成果発表会

「容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の開発」

独立行政法人 環境再生保全機構、東京都、2019 年 3 月 14 日

7. 研究者略歴

研究代表者：大峠 慎二

大阪大学工学部卒業、学士、現在、トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室 室長

研究分担者

1) 岡本 真樹

近畿大学工学部卒業、学士、現在、トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室に所属

2) 香川 恵子

沼津工業高等専門学校卒業、準学士、現在、トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室に所属

3) 江間 友幸

豊橋技術科学大学 大学院卒業、修士、現在、トクラス株式会社 新規事業推進部 WPC 開発室に所属

Ⅱ．成果の詳細

[要旨]

本研究では、容器リサイクル樹脂の特性を活用し、ウッドプラスチック（WPC）の機能性を高めることが可能で、かつ、経済性が確保できる WPC 用表面処理木粉の製造技術を開発し、容器リサイクル樹脂のマテリアルリサイクルの拡大、バイオマス利用の拡大に寄与できる技術を検証した。

表面処理プロセスは容器リサイクル樹脂を木粉の表面処理材として利用し、添加剤として無水マレイン酸と有機過酸化物を用い、木粉の表面コーティングと容器リサイクル樹脂の酸変性処理を同時に行うプロセスを用いた。表面処理設備には生産能力を考慮し、せん断発熱により木粉と樹脂との熔融混合、表面処理が可能な高速攪拌ミキサーを使用した。有機過酸化物を用いることにより、容器リサイクル樹脂を低分子化し、樹脂成分の均質化を行うと共に、木粉を樹脂でコーティングすることで、WPC コンパウンド時の生産性向上に寄与する嵩比重の上昇効果が得られた。また、酸変性処理においては、添加剤である有機過酸化物と無水マレイン酸、木粉、容器リサイクル樹脂等の配合比率並びに処理条件の最適化により、木粉と容器リサイクル樹脂の相容性が向上し、木粉充填による補強効果を発現させることを可能とした。開発した容器リサイクル樹脂を利用した表面処理木粉は、既存の成形装置を用いた製造方法にて、コンパウンド（ペレット化）、建材部品、自動車部品の成型試作を実施した結果、既存の樹脂加工メーカーでも容易に導入できることを実証した。

本研究は、容器リサイクル樹脂、木粉の材料解決課題に加え、既存産業利用における実用性を高める技術を確認し、容器リサイクル樹脂の付加価値向上、マテリアルリサイクルの拡大、バイオマス利用の拡大に貢献できる成果を得ることができた。

1. はじめに

近年、環境に対する国民意識の高まりから、プラスチックごみの分別回収は定着してきた。この内（一般廃棄物）、再生利用は 65 万 t で、総排出量の 15%となっている。このような背景の中、容器リサイクル樹脂に代表されるリサイクルプラスチックは、パレット、プラスチック製擬木等への利用に留まり、安価な原料だけの位置づけとなっているが、マテリアル利用するための回収・分別コストは課題となっており、付加価値の高い新たな用途展開が求められている。一方、ウッドプラスチックは、バイオマス資源の有効利用方法として注目され、自動車用途の展開も始まり、今後の拡大が見込まれている。これら、容器リサイクル樹脂の活用、バイオマス資源の有効利用の両課題を解決する一つの手法として取り組んだ。

2. 研究開発目的

本課題では、容器リサイクル樹脂の特性を最大限に活用し、ウッドプラスチックの機能性を高めることが可能で、かつ、産業界における、使い勝手、経済性が確保できるウッドプラスチック用表面処理木粉製造技術の確立である。従来のウッドプラスチックにおいて、添加剤として使用する相容化剤（マレイン酸変性樹脂）は酸変性処理の工程を経た後、木粉、樹脂とともに熔融混練され使用してきた。一方、自動車等新たな市場への拡大が見込まれるウッドプラスチック分野において、コンパウンドメーカーの参入が不可欠であるが、木粉の嵩比重が小さいこと、また相容化には特殊な知見が必要であることから、未処理木粉での利用はハンドリングが悪く、普及を遅らせることとなる。

本課題がフォーカスしているポイントは、容器リサイクル樹脂の持つ PP/PE の混在や低分子化の性質を利用し、相容化剤としての酸変性処理と表面処理としての界面補強と嵩比重のアップを行い、コンパウンド産業に対応できる表面処理木粉の製造を目的としている。事業終了後、3 年以内には、エクステリアも含むウッドプラスチック市場が 20 万 t/年になると想定しており、その内 5 万 t/年の処理木粉（容器リサイクル樹脂使用量 5 千 t/年）を市場展開する予定である。

自動車用途の拡大に伴い、5 年後には、10 倍の処理木粉 50 万 t（容器リサイクル樹脂使用量 5 万 t/年）の市場が見込まれる。50 万 t 市場になれば、事業提案者ら単独ではなく、容器リサイクル樹脂メーカーとタイアップした事業展開を視野に入れている。

本課題では、容リ樹脂の有する特性を生かし、汎用のコンパウンドメーカーにてハンドリングでき、かつ機能性を付与できる木粉フィラーの表面処理製造技術の確立である。したがって、達成目標としては、「性能目標」に加え、使い勝手、経済性から見た「実用性目標」の両面の確立を目指した。

【性能目標】

■容リ樹脂表面処理木粉を 25%添加した WPC にて、バージン樹脂に対し、曲げ強度で 30%以上、引張強度で 20%以上、弾性率で 50%以上の高強度化を実現すること

【実用性目標】

■変性＋表面処理工程を同時に実施する合理化生産方式を確立することで、処理木粉販売単価として、市販未処理木粉同等（100 円/kg以下）の供給を可能とすること

■容リ樹脂表面処理木粉 25%の WPC コンパウンドにて、汎用の押出成形機で実用性の生産能力を確保できること（φ 70 mm二軸押出機で 100 kg/hr 以上の生産能力確保）

3. 研究開発方法

本課題で確立しようとする技術概要を図 2.1 に示す。

■表面処理及び酸変性プロセス概要

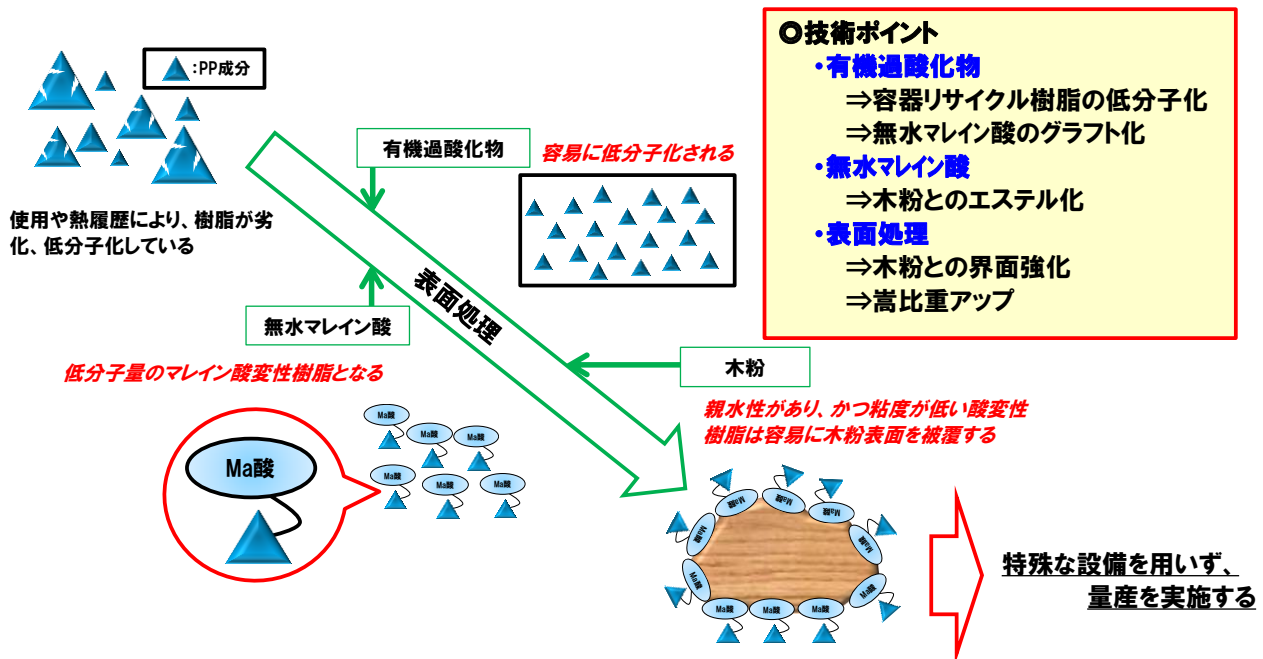


図 2.1 本課題の技術概要

容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の技術確立に向けて以下の課題に取り組んだ。

●容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

本課題において、容器リサイクル樹脂を木粉の表面処理材として用いるが、事業化を視野に入れるにあたり、その品質のバラつきは重要な因子として把握する必要がある、その機械特性について評価を実施した。

●表面処理方法の検討

表面処理木粉の生産性を確認し、製造プロセスの検討を実施する。本検討においては特注となるような設備ではなく、過去の知見によりスケールアップが容易に類推できる設備を用い処理テストを実施した。

●表面処理配合・条件の検討

木粉表面処理設備を用いて、コーティングする樹脂量（木粉量比率）、容器リサイクル樹脂の低分子化、並びに無水マレイン酸のグラフト処理に必要な有機過酸化化物量、無水マレイン酸量、処理条件について試作を実施した。得られた表面処理木粉を利用し、木粉 25%に希釈されたコンパウンドを作製し、射出成型品にて、バージン樹脂に対する曲げ強度、弾性率、引張強度の機械特性の上昇率を用いて性能評価を実施した。

●表面処理木粉の実用性評価

得られた表面処理木粉をバージン樹脂 PP にて希釈配合し、φ 30mm 小型二軸押出機、φ 70mm 二軸押出機を用いて木粉 25%コンパウンドにおける生産能力の調査を実施した。また、製品化検討にあたり、サンプルを提供し、ユーザーでのテストを実施した。

4. 結果及び考察

4.1. 容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

使用する容器リサイクル樹脂のバラつきについて調査を実施した。容器リサイクル法の制定により、各家庭で分別されたプラスチック系廃材を分別し、ポリプロピレン（PP）やポリエチレン（PE）といったオレフィン系樹脂を主成分とし、マテリアルリサイクルされた熱可塑性樹脂である。国民の分別意識の向上や、比重分離、光学選別法といった分別の技術も高まってきている。

容器リサイクル樹脂を表面処理材として使用するため、そのバラつきを含む特性を把握しておくことは、必要不可欠である。

今回、課題遂行にあたり容器リサイクル樹脂として広島リサイクルセンター製樹脂でPPを主成分としてマテリアルリサイクルされたものを採用し、その機械特性、バラつきについて調査を実施した。

調査は熔融粘度の指標としてMFR（メルトフローレート）、機械特性として曲げ強度、曲げ弾性率、アイゾット衝撃強度の調査を実施した。以下（図 2.2～図 2.5）にその結果を示す。

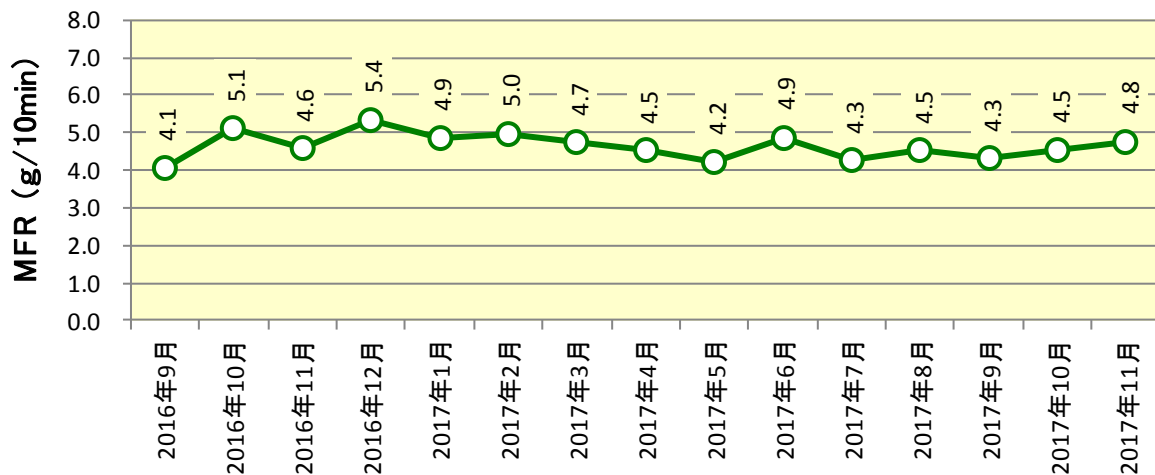


図 2.2 容器リサイクル樹脂の熔融粘度（MFR）測定結果

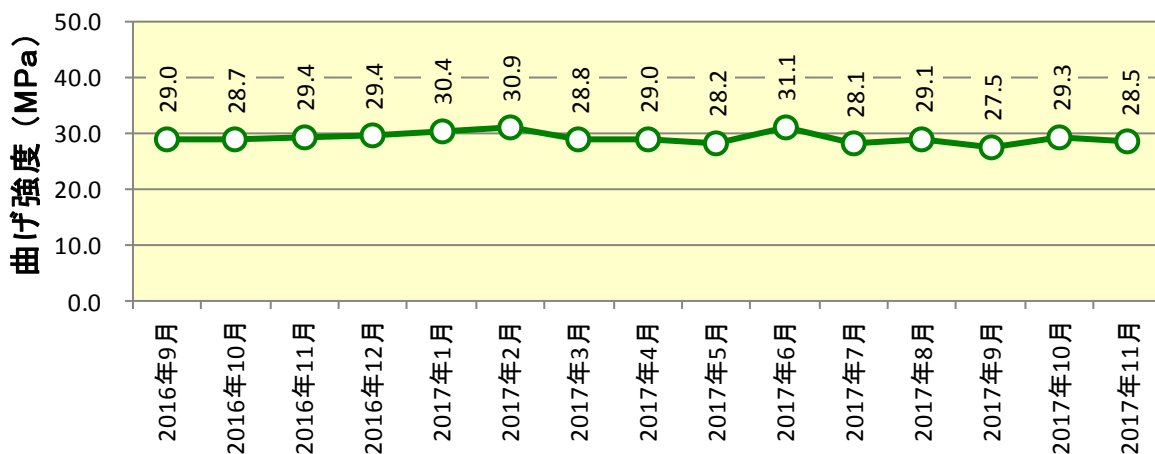


図 2.3 容器リサイクル樹脂の曲げ強度測定結果

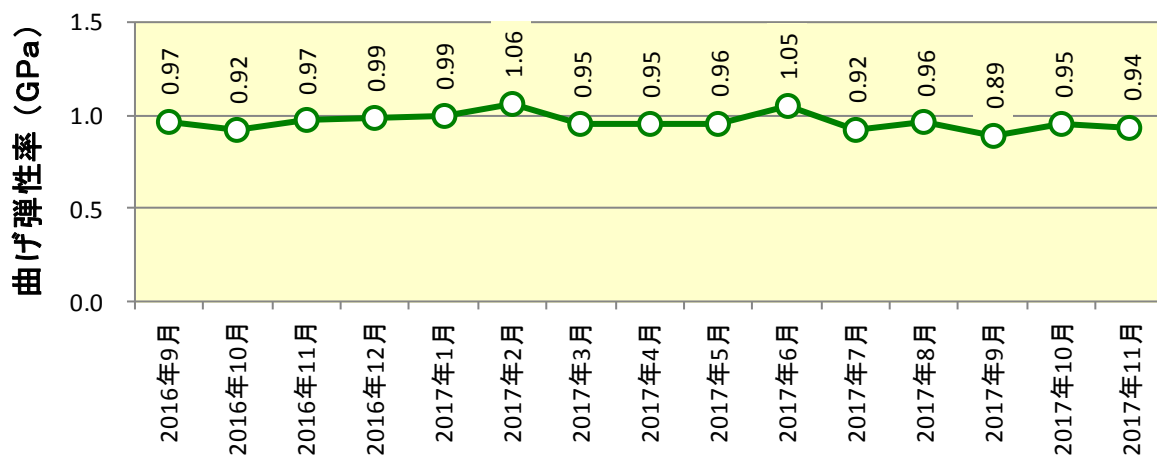


図 2.4 容器リサイクル樹脂の曲げ弾性率測定結果

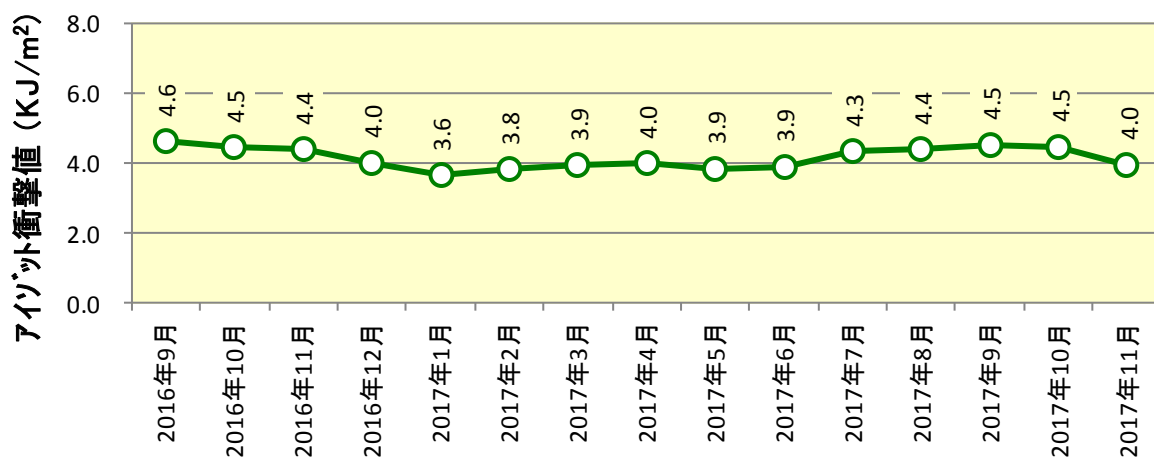


図 2.5 容器リサイクル樹脂のアイゾット衝撃値測定結果

上記の結果から、リサイクル品としては機械特性は安定化しており、本事業への工業的利用は十分可能であると判断した。

容器リサイクル樹脂メーカーでの廃材分別技術が高度化しており、品質の安定化が図られていると考える。本リサイクル樹脂に付加価値を与えることができれば、リサイクル材の高付加価値利用としてリサイクル産業の拡大に寄与できるものと考えられる。

4.2. 表面処理方法の検討

ウッドプラスチックで用いられる木粉は通常、 $100\mu\text{m}$ ～ $500\mu\text{m}$ の粒径でありその嵩比重は0.1程度で非常に嵩高いと言える。このような木粉を少量の樹脂でコーティングする（表面処理する）為には、樹脂の溶解とともに、処理に偏りが出ないように、高速で溶解攪拌する必要がある。

上記を満たす設備として、本課題においては連続式として $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機、バッチ処理方式として高速攪拌ミキサーを用いて処理能力に関するテストを実施した。 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機は東芝機械製の同方向二押出機（図 2.6 TEM-70BH、同方向回転、口径 $\phi 70\text{mm}$ L/D=32）、高速攪拌ミキサーとしてはカワタ製スーパーミキサー（SMV20）を用いて行った。

表面処理の樹脂としては市販のマレイン酸変性ポリプロピレンを用いて 木粉：マレイン酸変性ポリプロピレン=100：4の割合となるように配合し、実験を行った。木粉は院庄林業（株）製木粉（樹種：欧州赤松）を用いて実験を実施した。 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機での処理テスト状況を図 2.7 に示す。



図 2.6 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機 TEM-70BH



図 2.7 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機による表面処理能力テスト状況

今回使用した $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機は口径が $\phi 70\text{mm}$ と比較的大型機であるにもかかわらず、処理能力としては $5\sim 7\text{kg/hr}$ となり、また吐出状態も不安定であった。材料投入口においてスクリーに対する食い込み状況が不安定であったことも確認された。これは嵩高い（低嵩比重）が影響しており、このような木粉量の多い表面処理には不向きであると判断した。

次にバッチ処理となる高速攪拌ミキサーを用いた処理テストを実施した。1 バッチの数量は 20 L のタンク容量に対して、木粉 2.5 k g / バッチとした。攪拌完了は樹脂の熔融温度と木粉の熱劣化を考慮し、材料温度で 190℃とした。

配合は前述と同様に木粉 100 に対し、マレイン酸変性ポリプロピレンを 4 の重量比率で投入した。実験結果を図 2.8 に示す。

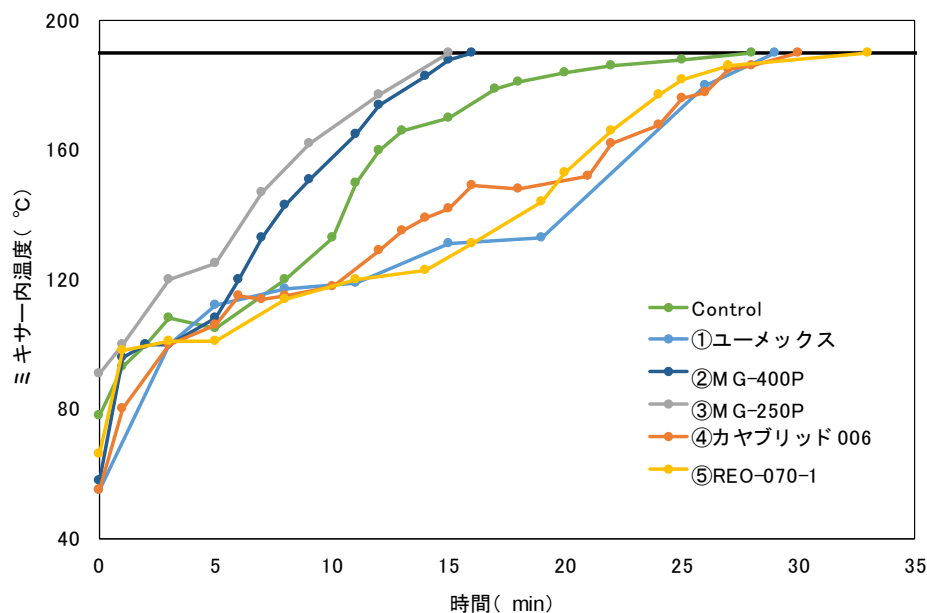


図 2.8 高速攪拌ミキサー（20L）による表面処理能力テスト結果

マレイン酸変性ポリプロピレンの種類によって差はみられるものの、最長で約 30 分/バッチ、最短で約 15 分/バッチ程度の処理が可能であることが分かった。今回使用した高速攪拌ミキサーは $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機と比較し、かなり小規模なものであるにもかかわらず、時間当たり処理能力は約 5kg/hr となり、量産機として想定される 650 L のタンク容量にて換算すると時間当たり処理能力は約 160kg/hr となり、 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機と比較すると生産性に大きく差があることが確認された。

上記の検証結果をもとに、本課題においては高速攪拌ミキサーでの表面処理方法を採用することとした。

4.3. 表面処理配合・条件の検討

容器リサイクル樹脂を用いた木粉の表面処理性能として、以下の【性能目標】に取り組んだ。

【性能目標】

■ 容リ樹脂表面処理木粉を 25% 添加した WPC にて、バージン樹脂に対し、曲げ強度で 30% 以上、引張強度で 20% 以上、弾性率で 50% 以上の高強度化を実現すること

4.3.1. 表面処理方法とその評価手順

「4.2. 表面処理方法の検討」にて選定した設備を用いた表面処理方法とその評価手順を図 2.9 に示す。

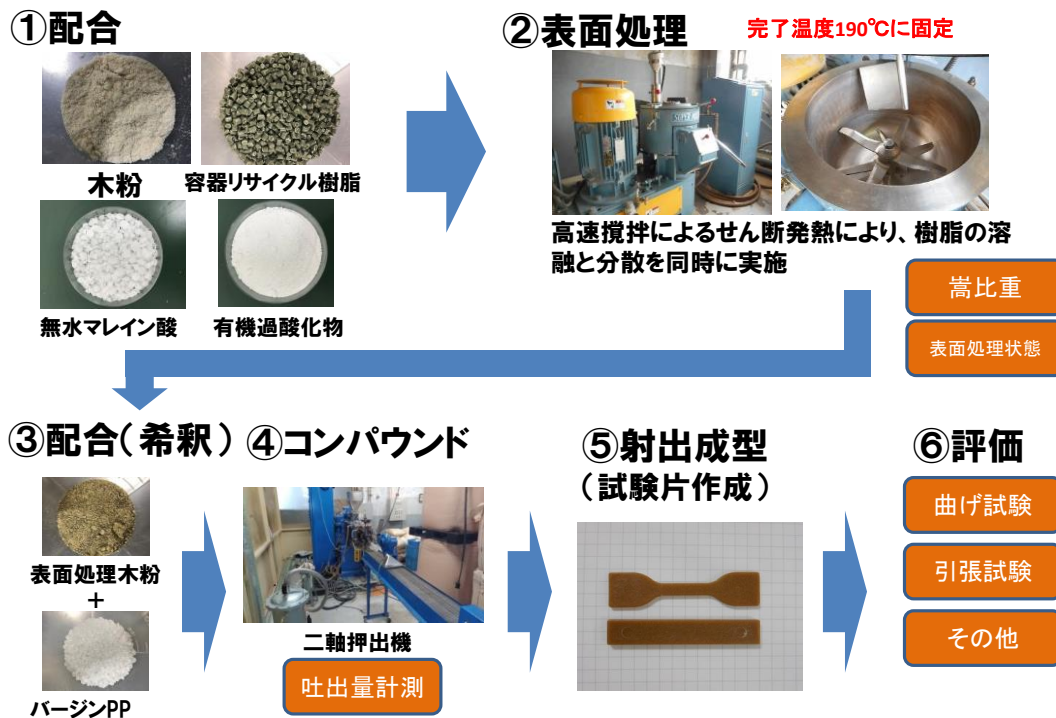


図 2.9 表面処理木粉の評価手順

表面処理に用いる材料を計量し、高速攪拌ミキサー（タンク容量 20L）によるせん断発熱により、樹脂の溶融と分散を同時に実施し、表面処理を行う。表面処理の完了温度は木粉が 200℃程度から熱分解することと、樹脂の溶融温度を考慮し 190℃とした。ここでは、出来上がった木粉表面処理品の嵩比重の測定と表面処理状態の確認を行う。表面処理木粉はバージン樹脂により木粉量が 25%となるように希釈を行い、φ 30mm 小型二軸押出機を用いてコンパウンドをおこなった。ここでは、押出機のスクリー回転数を固定し吐出量評価を行った。次に得られたコンパウンドを基に射出成型による試験片作成をおこない、48 時間 恒温恒湿状況にて静置したのち、曲げ試験、引張試験により機械特性評価を行った。

4.3.2. 容器リサイクル樹脂の低粘度化検討

表面処理レシピの検討にあたり、バージン樹脂（PP、プライムポリプロ J107G、MFR30）と容器リサイクル樹脂（広島リサイクル製容器リサイクル樹脂 以下 HRCPP とする）に変性処理度の高いマレイン酸変性ポリプロピレン（カヤブリッド 002PP-NW、以下 高変性 MAPP）を用いて表面処理テストを実施した。実施した表面処理配合①と処理後の嵩比重測定結果を表 2.1 に示す。

表 2.1 表面処理配合①と処理後の嵩比重測定結果

試作 番号	配合内容概略	表面处理木粉				
		配合				嵩比重
		木粉	PP	HRCPP	高変性 MAPP	g/cm ³
ST-1	木粉90% PP	90.0%	6.4%		3.6%	0.17
ST-2	木粉80% PP	80.0%	16.8%		3.2%	0.19
ST-3	木粉70% PP	70.0%	27.2%		2.8%	0.25
ST-4	木粉90% HRCPP	90.0%		6.4%	3.6%	0.17
ST-5	木粉80% HRCPP	80.0%		16.8%	3.2%	0.19
ST-6	木粉70% HRCPP	70.0%		27.2%	2.8%	0.23

樹脂量の増加とともに嵩比重の増加が確認されたが、PP と容器リサイクル樹脂では表面処理状態に差異が発生した。表面処理する樹脂種類による処理状況の違いを図 2.10 に示す。



ST-2: バージン樹脂(PP)利用(木粉80%)



ST-5: 容器リサイクル樹脂利用(木粉80%)

図 2.10 樹脂種類の違いによる木粉表面処理状態

バージン樹脂（PP、MFR:30）を利用したものにおいては表面処理が可能であったが、容器リサイクル樹脂を利用した場合は、未溶融の粒が残っており、表面処理が十分だとは言えない結果となった。「4.1. 容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査」にて示されたように、容器リサイクル樹脂の MFR4～6 程度である。

今回使用したバージン樹脂と比較し、熔融粘度が高いことが影響しており、容器リサイクル樹脂を表面処理に利用するためには「熔融粘度の低下」＝「低分子化」が必須要件であることが確認できた。

容器リサイクル樹脂を低粘度化するべく、有機過酸化物添加について検討を行った。有機過酸化物はジクミルパーオキサイド・純度 40%品（無機系充填材にて希釈）を用いた。添加量は HRCPP に対して有機過酸化物が 100 : 0、100 : 1 と 100 : 2 の 3 パターン、熱履歴による影響を確認する為に混練時間を 5、10、15 分となるサンプルを作成した。混練にはバッチ式混練機ラボプラスミルを用い、設定温度 190℃、混練用のローター回転数を 30rpm とした。熔融粘度測定には広範囲の粘度測定ができることから、キャピラリーレオメーターを用いて測定を行った。図 2.11～図 2.13 に測定結果を示す。

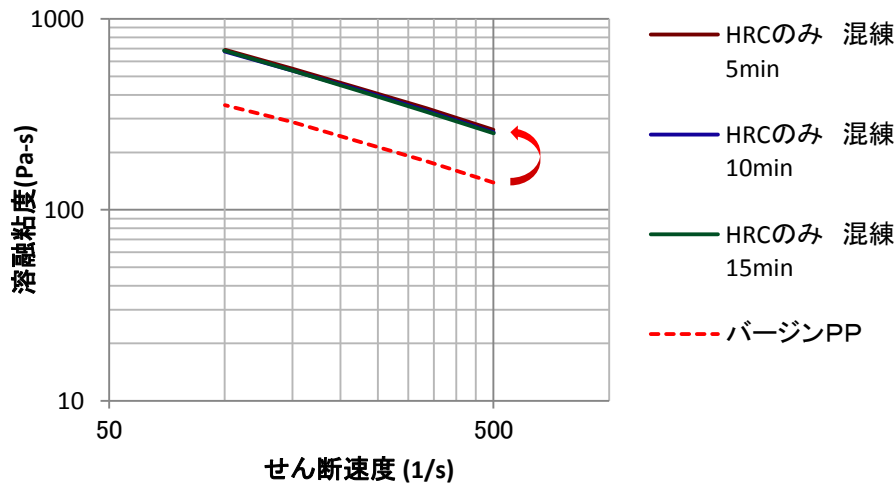


図 2.11 容器リサイクル樹脂の加工時間別 熔融粘度

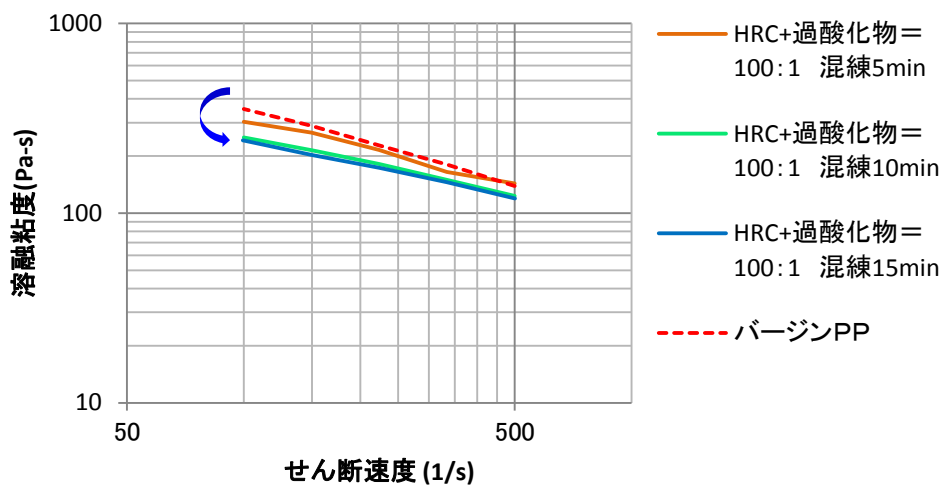


図 2.12 有機過酸化物を 1% 添加した容器リサイクル樹脂の加工時間別 熔融粘度

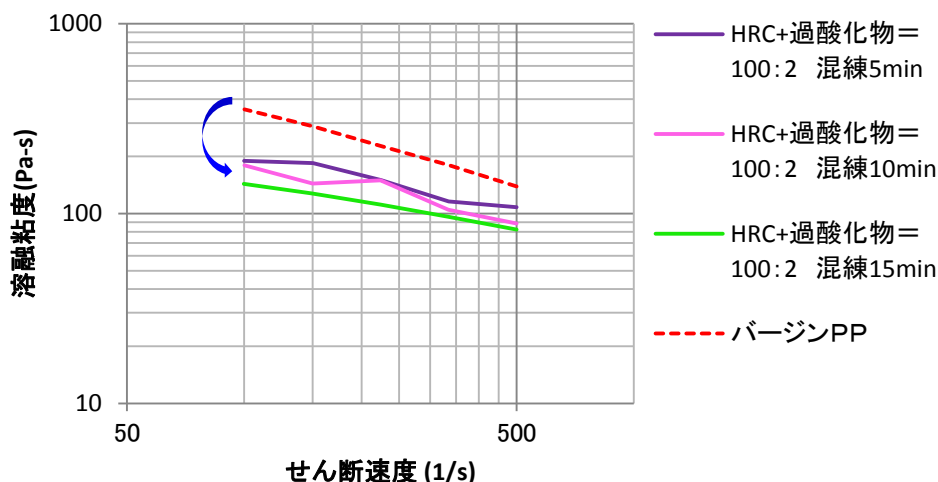


図 2.13 有機過酸化物を 2%添加した容器リサイクル樹脂の加工時間別 溶融粘度

上記の結果から、有機過酸化物 1%以上の添加、5 分以上の加熱溶融混練によってバージン樹脂 (PP、MFR:30) 以下の溶融粘度になることを確認した。

4.3.3. 高変性 MAPP を用いた表面処理

ラボプラスミルによる容器リサイクル樹脂の低粘度化結果を基に市販の高変性 MAPP (カヤブリッド 002PP-NW) を用い表面処理テスト、コンパウンドテストを行った。表面処理配合②と処理後の嵩比重、コンパウンド吐出量測定結果を表 2.2 に示す。また、表面処理後の試作品の状態写真を図 2.14 (ST-8) に示す。

表 2.2 表面処理配合②と処理後の嵩比重・コンパウンド吐出量測定結果

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉					嵩比重 g/cm ³	コンパウンド				φ 30mm 二軸押出機 吐出量 (kg/hr)
		配合				木粉		配合				
		木粉	HRCPP	高変性 MAPP	有機 過酸化物			木粉	高変性 MAPP	表面処理 木粉	PP	
ST-0	ブランク 表面処理なし 高変性MAPP	表面処理木粉なし				0.12	25%	1%		74%	4.8	
ST-7	木粉90%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 高変性MAPP	90.0%	6.3%	3.6%	0.1%	0.18			27.8%	72.2%	11.8	
ST-8	木粉80%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 高変性MAPP	80.0%	16.6%	3.2%	0.2%	0.22			31.3%	68.8%	11.8	
ST-9	木粉70%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 高変性MAPP	70.0%	26.9%	2.8%	0.3%	0.27			35.7%	64.3%	10.9	
ST-10	木粉90%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 高変性MAPP	90.0%	6.2%	3.6%	0.2%	0.18			27.8%	72.2%	11.3	
ST-11	木粉80%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 高変性MAPP	80.0%	16.4%	3.2%	0.4%	0.22			31.3%	68.8%	12.2	
ST-12	木粉70%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 高変性MAPP	70.0%	26.6%	2.8%	0.6%	0.28			35.7%	64.3%	10.7	



図 2.14 有機過酸化物を使用した容器リサイクル樹脂による木粉表面処理状態（ST-8）

有機過酸化物を用いて処理を行った結果、取得した表面処理木粉サンプルにおいて容器リサイクル樹脂の未熔融物はみられず、木粉全体がグレー色に着色した様子が見られた。容器リサイクル樹脂が低粘度化したことにより、均一に木粉をコーティングできたものと考えられ、有機過酸化物の有効性が確認された。

コンパウンド時における押出吐出量については、表面処理の樹脂量増加にともない吐出量が若干減少している。これはバージン樹脂と表面処理木粉の嵩比重差が影響し、嵩比重が増加した表面処理木粉よりも、バージン樹脂（PP、ペレット状、嵩比重 0.55）の嵩比重が大きいことが影響していると考ええる。

結果としては木粉量 70%～90%の表面処理によって、未処理木粉を利用した場合（ST-0）と場合と比較しても大幅に吐出量を向上させることができた。

また、有機過酸化物添加量別の表面処理時間と材料温度を測定した結果を図 2.15 に示す。表面処理完了は材料温度 190℃、木粉量は 90%、80%、70%、有機過酸化物添加量は木粉に対して、100:2、100:1、100:0 とした。

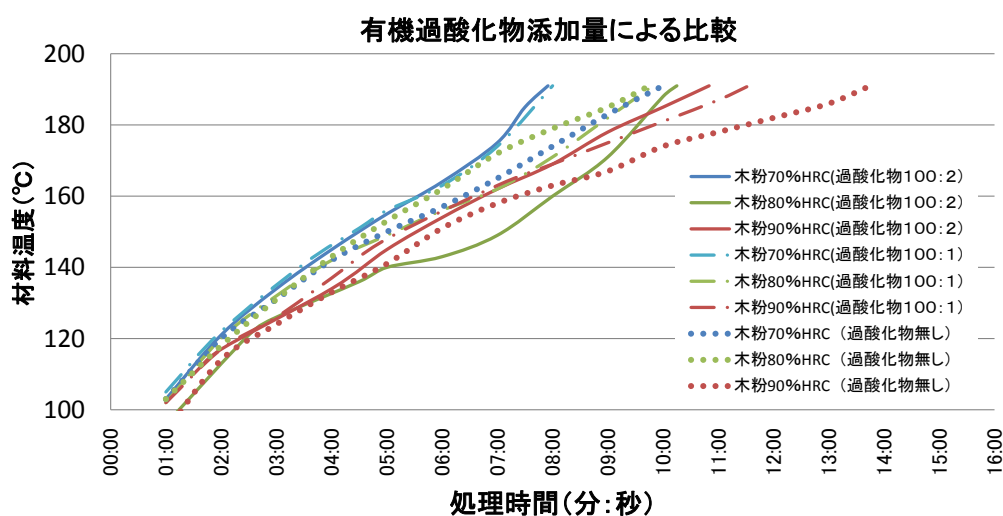


図 2.15 有機過酸化物添加量別の表面処理時間と材料温度を測定した結果

結果から樹脂量が増えるにつれて、処理能力が向上することがわかった。また有機過酸化物の添加により表面処理時間の短縮傾向が見られる結果となっており、図 2. 14 の表面処理状態結果と同様に、生産能力を向上させる意味においても有機過酸化物の添加が重要であることがわかった。

次に機械特性評価として曲げ強度・弾性率、引張強度測定を行った結果を図 2. 16～図 2. 18 に示す。

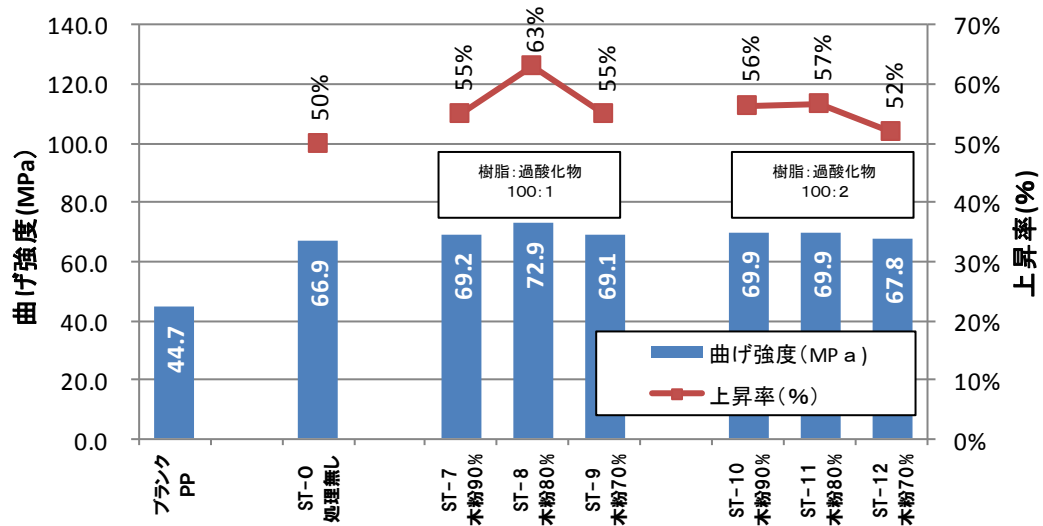


図 2. 16 表面処理配合②における曲げ強度とその物性上昇率

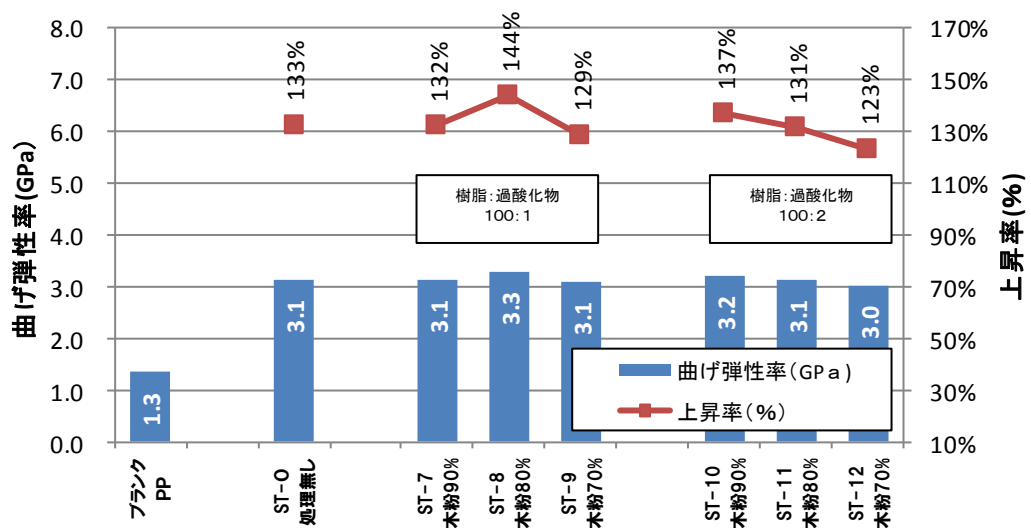


図 2. 17 表面処理配合②における曲げ弾性率とその物性上昇率

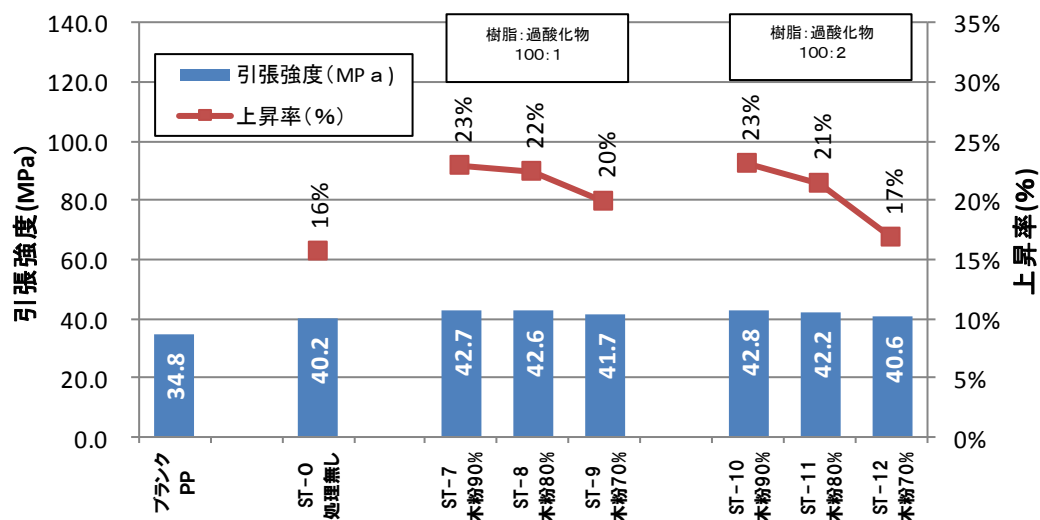


図 2.18 表面処理配合②における引張強度とその物性上昇率

上記結果より、バージン樹脂を利用している未処理木粉のコンパウンドの機械特性評価と比較しても、表面処理により曲げ強度、引張強度は向上していることがわかった。曲げ弾性率においては処理の有無にかかわらず未処理木粉と同等レベルであった。引張強度については容器リサイクル樹脂の添加量の増加に伴い強度低下が見られたが、未処理木粉以上の性能を発現することができた。また有機過酸化物の添加量 1 %、2 % では差のない結果であった。

性能目標として定めたバージン樹脂に対する機械特性の上昇率として、曲げ強度 30%以上、曲げ弾性率 50%以上、引張強度 20%以上を達成したものは表面処理配合で木粉量 80%以上であった。本手法においては容器リサイクル樹脂を用いた表面処理において、未処理木粉のコンパウンド＝一般的なウッドプラスチックと同等以上の性能を発現しており、容器リサイクル樹脂使用の付加価値利用を可能とする手法であることがわかった。

4.3.4. マレイン酸変性処理と表面処理の同時処理

「4.3.3. 高変性 MAPP を用いた表面処理」ではあらかじめ酸変性されたマレイン酸変性 PP を使用したが、有機過酸化物を用いる木粉表面処理プロセスは、無水マレイン酸を容器リサイクル樹脂にグラフト化させる処理を同時に行うことで、工程短縮化による製造エネルギーの削減と表面処理性能の向上につながる可能性があり、ここでは同時処理（酸変性＋表面処理）のテストを行った。

表面処理テスト、コンパウンドテストを行った配合とその結果（嵩比重、吐出量）を表 2.3 に示す。

表 2.3 表面処理配合③と処理後の嵩比重・コンパウンド吐出量測定結果

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉					嵩比重 g/cm ³	コンパウンド				φ 30mm 二軸押出機 吐出量 (kg/hr)
		配合				配合						
		木粉	HRCPP	無水 マレイン酸	有機 過酸化物	木粉		高変性 MAPP	表面処理 木粉	PP		
ST-0	ブランク 表面処理なし 高変性MAPP	表面処理木粉なし				0.12	25.0%	1.0%		74.0%	4.8	
ST-13	木粉90%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 無水マレイン酸	90.0%	9.7%	0.2%	0.1%	0.18			27.8%	72.2%	11.3	
ST-14	木粉80%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 無水マレイン酸	80.0%	19.6%	0.2%	0.2%	0.22			31.3%	68.8%	11.3	
ST-15	木粉70%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:1 無水マレイン酸	70.0%	29.6%	0.1%	0.3%	0.28			35.7%	64.3%	10.5	
ST-16	木粉90%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 無水マレイン酸	90.0%	9.6%	0.2%	0.2%	0.18			27.8%	72.2%	11.3	
ST-17	木粉80%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 無水マレイン酸	80.0%	19.4%	0.2%	0.4%	0.22			31.3%	68.8%	10.5	
ST-18	木粉70%HRCPP 容リ:過酸化物 ＝約100:2 無水マレイン酸	70.0%	29.3%	0.1%	0.6%	0.30			35.7%	64.3%	10.1	

上記の結果より、「4.3.3. 高変性 MAPP を用いた表面処理」の結果と同様に嵩比重の上昇、コンパウンドの吐出量アップの結果が得られた。これらの表面処理木粉を使用した成型体の曲げ強度・弾性率、引張強度の試験結果を図 2.19～図 2.21 に示す。

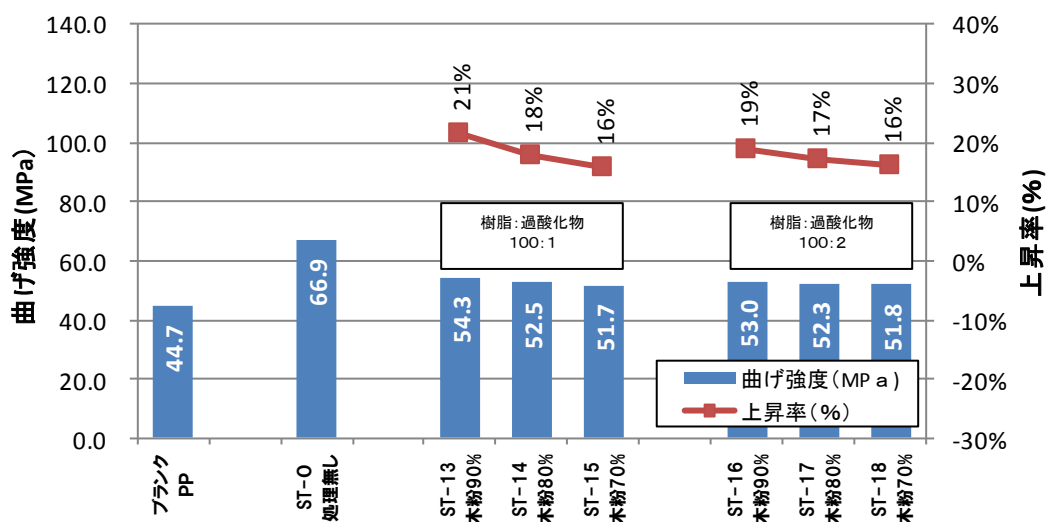


図 2.19 表面処粉配合③における曲げ強度とその物性上昇率

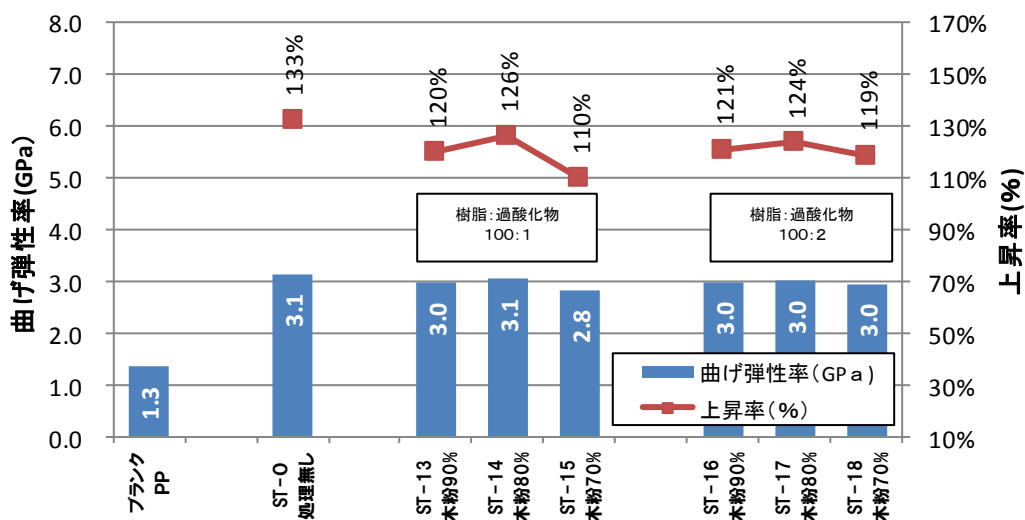


図 2.20 表面処理配合③における曲げ弾性率とその物性上昇率

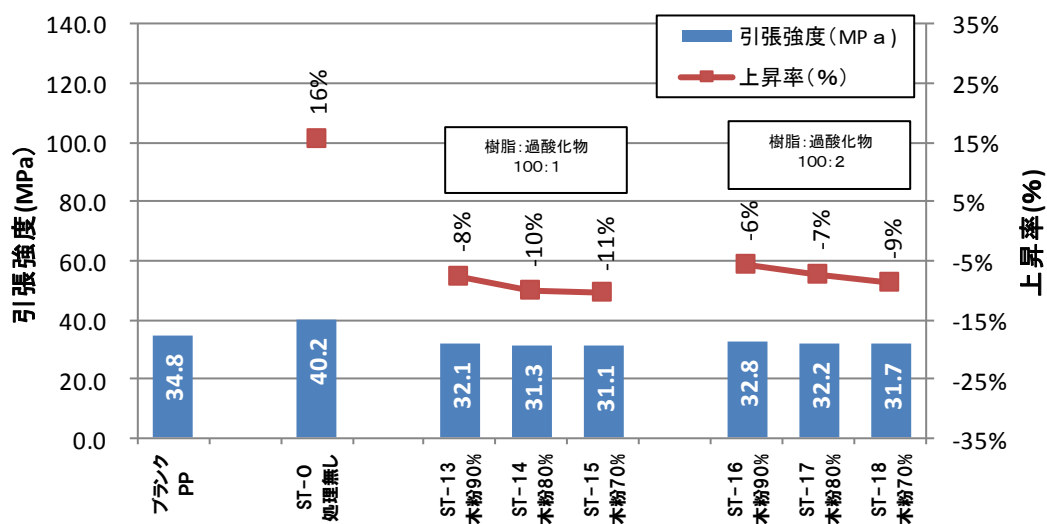


図 2.21 表面処理配合③における引張強度とその物性上昇率

機械特性評価の結果、「4.3.3. 高変性 MAPP を用いた表面処理」と比較して曲げ強度・弾性率、引張強度のすべての項目について劣る結果となった。また木粉量が少なくなる（＝容器リサイクル樹脂の配合量が多くなる）につれて性能値が下がる結果となった。「4.3.3. 高変性 MAPP を用いた表面処理」では、すでに市販のマレイン酸変性 PP を用いたのに対して、今回はマレイン酸とのグラフト処理（＝酸変性処理）を表面処理と同時に行う処理方法として実施したが、グラフト反応が十分にできていないことが予測される結果となった。

4.3.5. 有機過酸化物、無水マレイン酸の投入温度

無水マレイン酸のグラフト反応不足を解消する為に、有機過酸化物の増量、無水マレイン酸の増量について表 2.4 に示す配合にて実験を実施した。木粉量については「4.3.2. 容器リサイクル樹脂の低粘度化検討」～「4.3.4. マレイン酸変性処理と表面処理の同時処理」の結果を基に、90%に固定して実施した。

表 2.4 表面処理配合④

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉			
		配合			
		木粉	HRCPP	無水マレイン酸	有機過酸化物
ST-A	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.1%	90.0%	9.72%	0.18%	0.10%
ST-B	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.2%	90.0%	9.62%	0.18%	0.20%
ST-C	木粉90% 無水マレイン酸0.18%、過酸化物0.4%	90.0%	9.42%	0.18%	0.40%
ST-D	木粉90% 無水マレイン酸0.4%、過酸化物0.1%	90.0%	9.50%	0.40%	0.10%
ST-E	木粉90% 無水マレイン酸0.6%、過酸化物0.1%	90.0%	9.30%	0.60%	0.10%
ST-F	木粉90% 無水マレイン酸1.0%、過酸化物1.0%	90.0%	8.00%	1.00%	1.00%

グラフト反応不足として樹脂のみにグラフト反応させる従来の方法との差異は、木粉が介在している点であることから、表面処理時の加熱工程で木粉から発生した水分により無水マレイン酸と容器リサイクル樹脂成分とグラフト反応を起こす前に開環してマレイン酸となってしまう、グラフト化を阻害したことが考えられる。表面処理配合④では木粉の水分による影響を低減させる為に、高速攪拌ミキサーに有機過酸化物と無水マレイン酸を投入するタイミングを変化させて実験をおこなった。投入タイミングは材料温度が 120℃、140℃、160℃、180℃の時点での添加とした。反応過程における材料の含水率測定結果を図 2.22 に示す。

上記条件により得られた、曲げ強度・弾性率、引張強度の試験結果をもとに、バージン樹脂に対する物性上昇率をプロットしたデータを図 2.23～図 2.25 に示す。

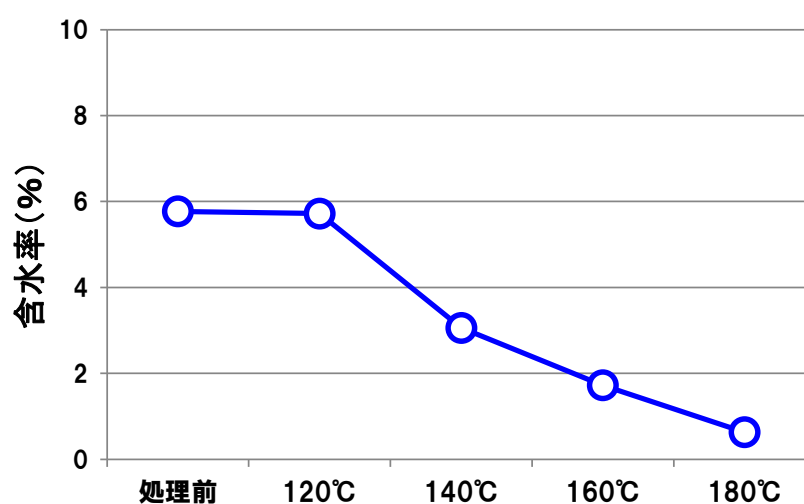


図 2.22 表面処理の反応過程における材料の含水率測定結果

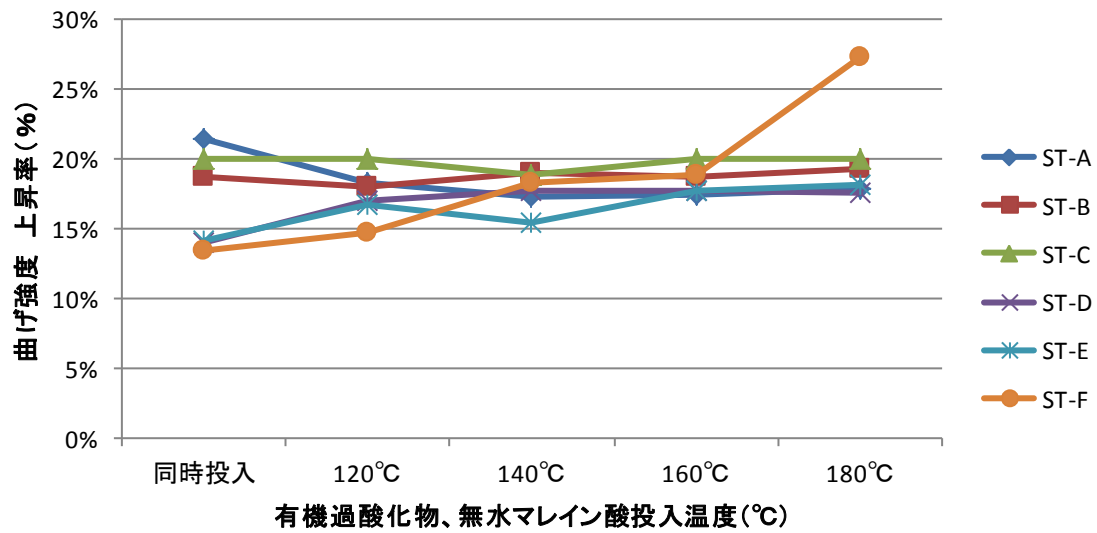


図 2.23 表面処理配合④における有機過酸化物、無水マレイン酸投入温度と WPC 成型体の曲げ強度上昇率

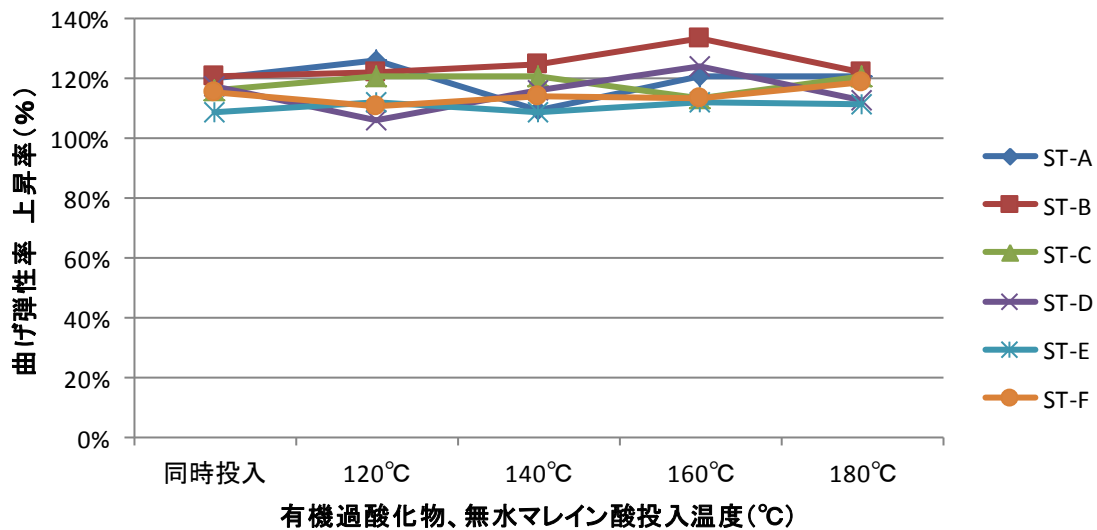


図 2.24 表面処理配合④における有機過酸化物、無水マレイン酸投入温度と WPC 成型体の曲げ弾性率上昇率

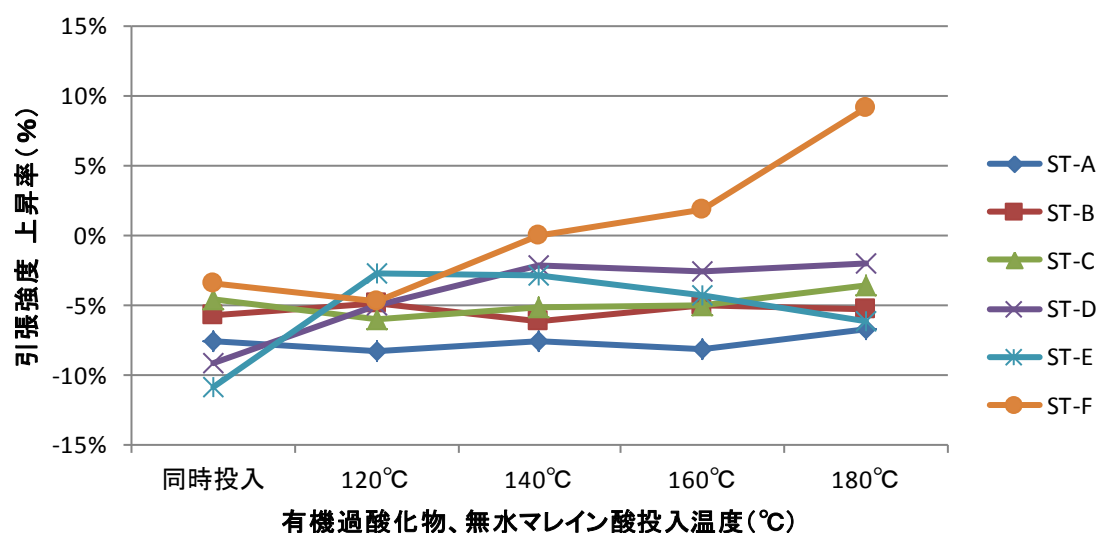


図 2.25 表面処理配合④における有機過酸化物、無水マレイン酸投入温度と WPC 成型体の引張強度上昇率

有機過酸化物、無水マレイン酸の投入温度別の試験片を測定した結果、無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量が比較的少ない ST-A～ST-E の配合については投入温度における影響は少なかったものの、添加量のもっとも多い、ST-F 配合において、投入温度の上昇とともに、曲げ強度、引張強度の向上が得られ、180°C 投入において最も良い結果が得られた。このことから、材料中の水分が反応を阻害していたこと並びに、高温時での反応開始が効果的であること、無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量が比較的多い必要があることがわかった。

4.3.6. 木粉量と無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の増量検討

無水マレイン酸量 (Ma)、有機過酸化物量 (P0) が比較的多い方が良好であったことから、増量効果について、木粉配合量とあわせて調査を実施した。材料の投入温度は「4.3.5. 有機過酸化物、無水マレイン酸の投入温度」にて性能の高かった 180℃にて実施した。表面処理配合を表 2.5 に、曲げ強度・弾性率、引張強度測定を行った結果を図 2.26～図 2.28 に示す。

表 2.5 表面処理配合⑤と処理後の嵩比重・コンパウンド吐出量測定結果

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉					コンパウンド				
		配合				嵩比重 g/cm ³	配合				φ 30mm 二軸押出機 吐出量 (kg/hr)
		木粉	HRCPP	無水 マレイン酸	有機 過酸化物		木粉	高変性 MAPP	表面処理 木粉	PP	
ST-0	ブランク 表面処理なし 高変性MAPP	表面処理木粉なし				0.12	25.0%	1.0%		74.0%	
ST-19	木粉90%HRCPP 無水マレイン酸 1% 過酸化物 1%	90.0%	8.0%	1.0%	1.0%	0.22			27.8%	72.2%	14.1
ST-20	木粉90%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	90.0%	6.0%	2.0%	2.0%	0.24			27.8%	72.2%	13.4
ST-21	木粉80%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	80.0%	16.0%	2.0%	2.0%	0.27			31.3%	68.8%	11.6
ST-22	木粉70%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	70.0%	26.0%	2.0%	2.0%	0.34			35.7%	64.3%	11.5
ST-23	木粉90%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	90.0%	4.0%	2.0%	4.0%	0.21			27.8%	72.2%	14.1
ST-24	木粉80%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	80.0%	14.0%	2.0%	4.0%	0.26			31.3%	68.8%	12.2
ST-25	木粉70%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 4%	70.0%	24.0%	2.0%	4.0%	0.35			35.7%	64.3%	11.6
ST-26	木粉80%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 8%	80.0%	10.0%	2.0%	8.0%	0.23			31.3%	68.8%	11.3
ST-27	木粉70%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 8%	70.0%	20.0%	2.0%	8.0%	0.32			35.7%	64.3%	10.9

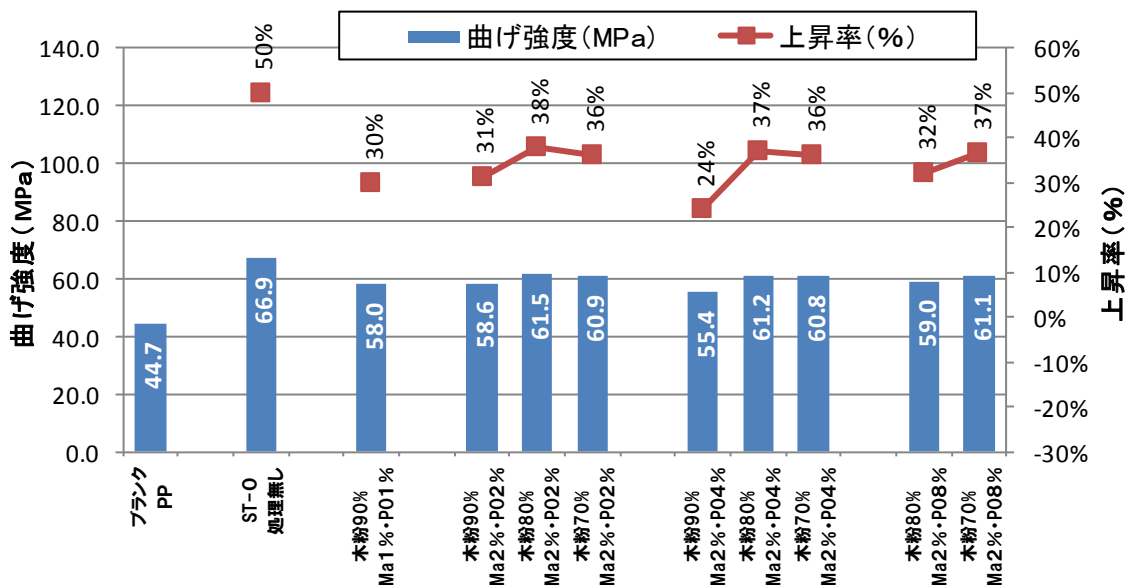


図 2.26 表面処理配合⑤における曲げ強度とその物性上昇率

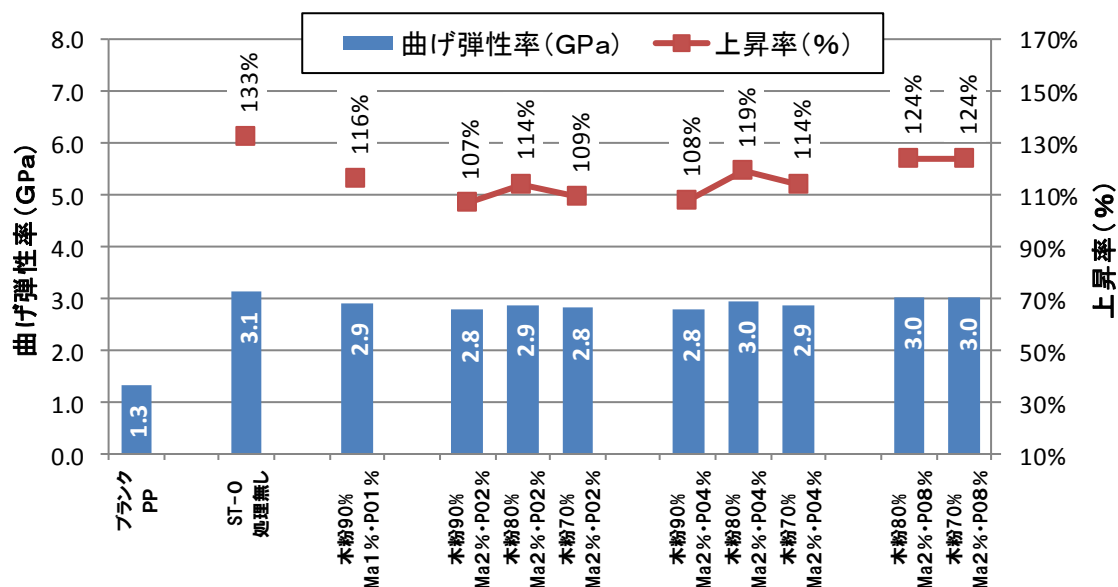


図 2.27 表面処理配合⑤における曲げ弾性率とその物性上昇率

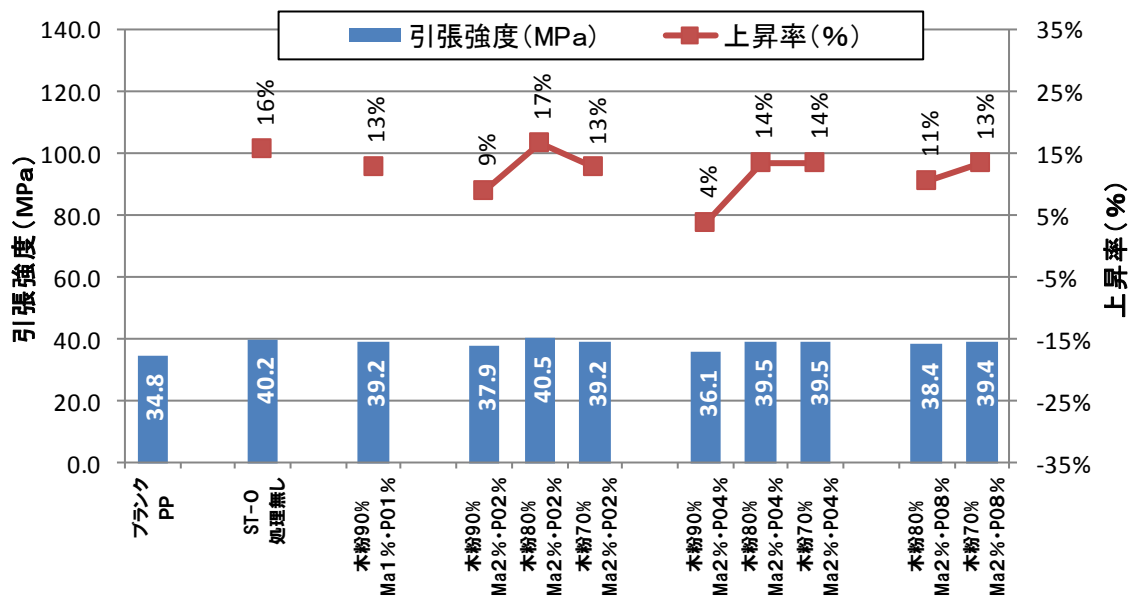


図 2.28 表面処理配合⑤における引張強度とその物性上昇率

機械特性評価の結果、木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化物 2% (ST-21) にて引張強度が最大化し、市販のマレイン酸変性 PP を用いたコンパウンド（表面処理無し）と比較しても同等程度の引張強度性能を得ることができた。

4.3.7. 無機フィラー添加による強度向上検討

「4.3.6. 木粉量とマレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の増量検討」において木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化物 2% (ST-21) が良好であった。更なる強度向上を検討するべく無機フィラー（タルク）との併用利用について検討を実施した。コンパウンド後の配合が木粉 25%、タルク 5%となるように表面処理配合を決定した。検討した配合を表 2.6 に、曲げ強度・弾性率、引張強度測定を行った結果を図 2.29～図 2.31 に示す。

表 2.6 表面処理配合⑥と処理後の嵩比重・コンパウンド吐出量測定結果

試作番号	配合内容概略	表面処理木粉					嵩比重 g/cm ³	コンパウンド					
		配合						配合				φ 30mm 二軸押出機 吐出量 (kg/hr)	
		木粉	タルク	HRCPP	無水 マレイン酸	有機 過酸化 物		木粉	高変性 MAPP	表面処理 木粉	PP		
ST-0	ブランク 表面処理なし 高変性MAPP	表面処理木粉なし					0.12	25.0%	1.0%		74.0%	4.8	
ST-20	木粉90%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	90.0%		6.0%	2.0%	2.0%	0.24				27.8%	72.2%	13.4
ST-21	木粉80%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	80.0%		16.0%	2.0%	2.0%	0.27				31.3%	68.8%	11.6
ST-22	木粉70%HRCPP 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	70.0%		26.0%	2.0%	2.0%	0.34				35.7%	64.3%	11.5
ST-28	木粉75%HRCPP、タルク15% 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	75.0%	15.0%	6.0%	2.0%	2.0%	0.27				33.3%	66.7%	13.7
ST-29	木粉67%HRCPP、タルク13% 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	66.7%	13.3%	16.0%	2.0%	2.0%	0.34				37.5%	62.5%	13.4
ST-30	木粉58%HRCPP、タルク12% 無水マレイン酸 2% 過酸化物 2%	58.3%	11.7%	26.0%	2.0%	2.0%	0.45				42.9%	57.1%	11.9

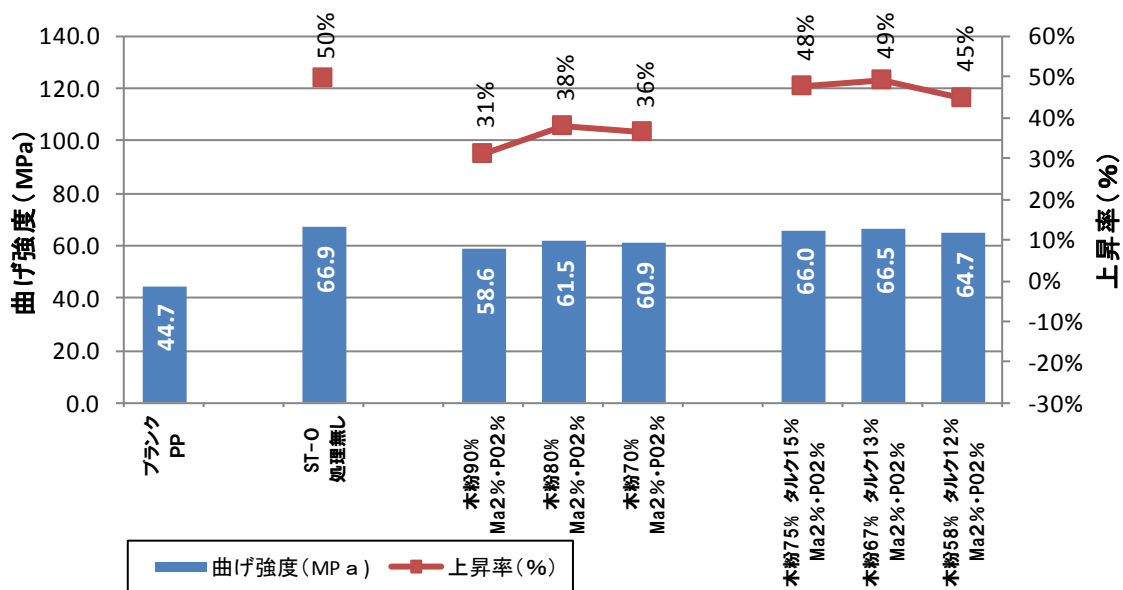


図 2.29 表面処理配合⑤における曲げ強度とその物性上昇率

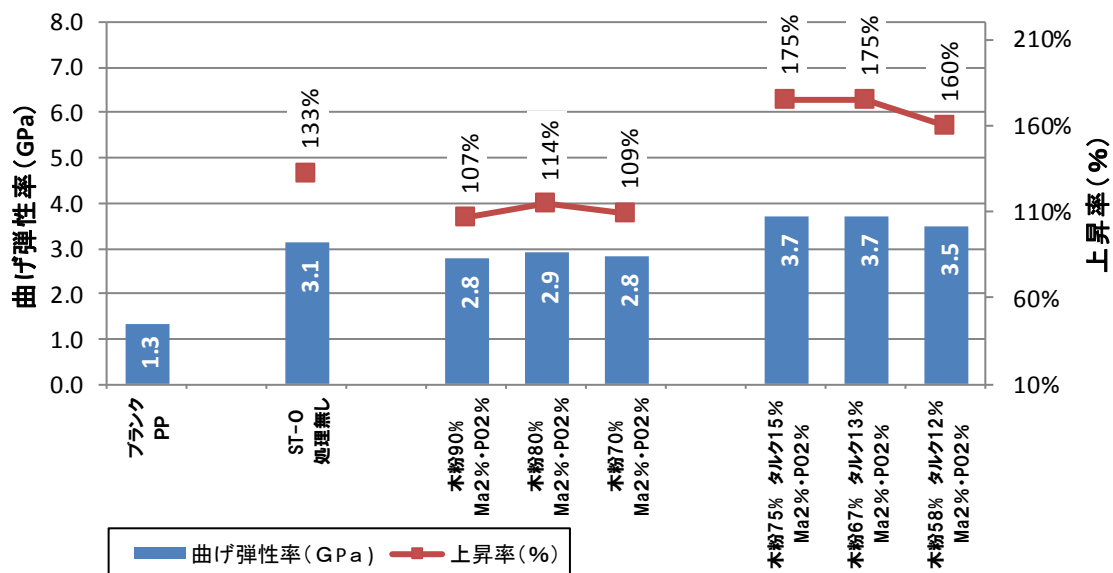


図 2.30 表面処理配合⑤における曲げ弾性率とその物性上昇率

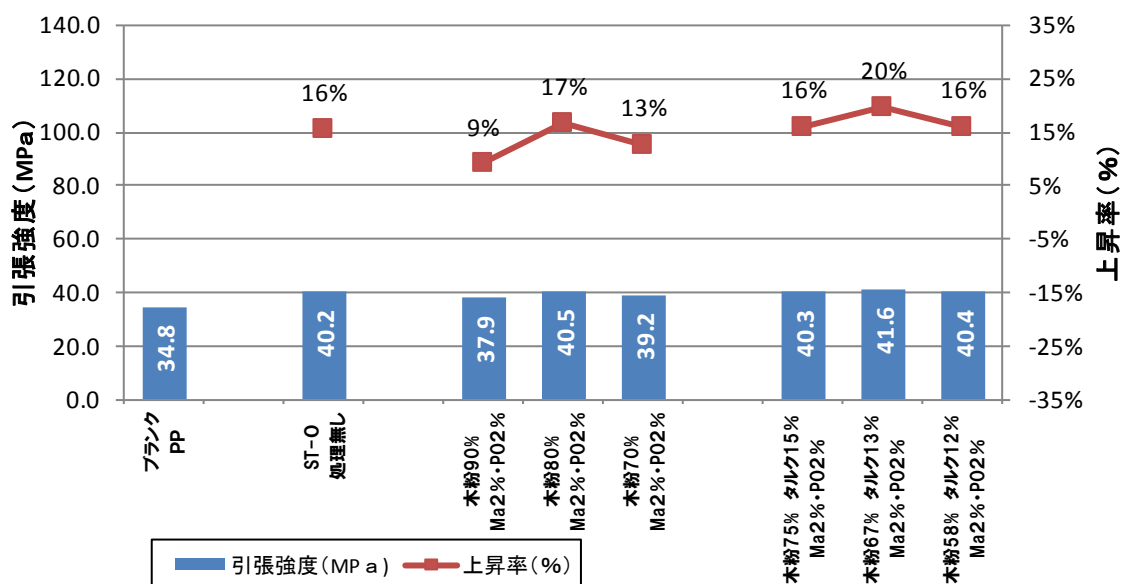


図 2.31 表面処理配合⑤における引張強度とその物性上昇率

機械特性評価の結果、木粉 67%、タルク 13% 無水マレイン酸 2%、有機過酸化化物 2%の表面処理配合にて引張強度が最大化し、無機フィラーを添加することで【性能目標】を達成することができた。

4.3.8. 木粉種類・サイズの影響調査

木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化化物 2%の表面処理配合にて、木粉種類・サイズの影響を調査した。木粉はこれまで検討してきた「欧州赤松」に加え、間伐材等を利用した市販されている「スギ」「ヒノキ」「トウヒ」を用いた各種木粉毎の影響を調査した。曲げ強度・弾性率、引張強度の結果を図 2.32～図 2.34 に示す。また、木粉粒径に対する影響を調査した結果を図 2.35 に、嵩比重に対する影響を調査した結果を図 2.36 に示す。

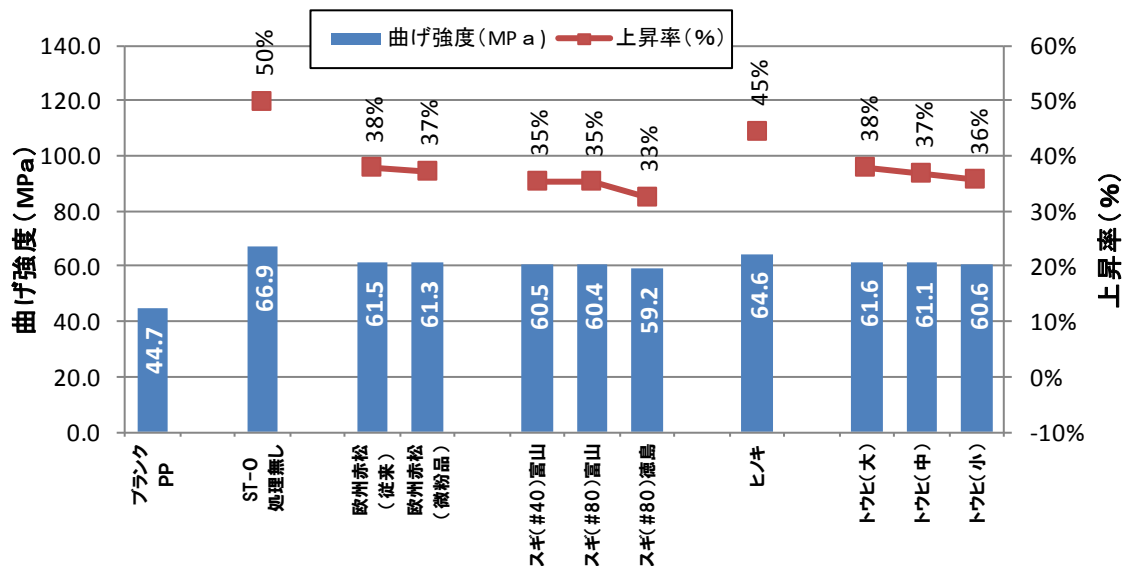


図 2.32 木粉種類別における曲げ強度とその物性上昇率

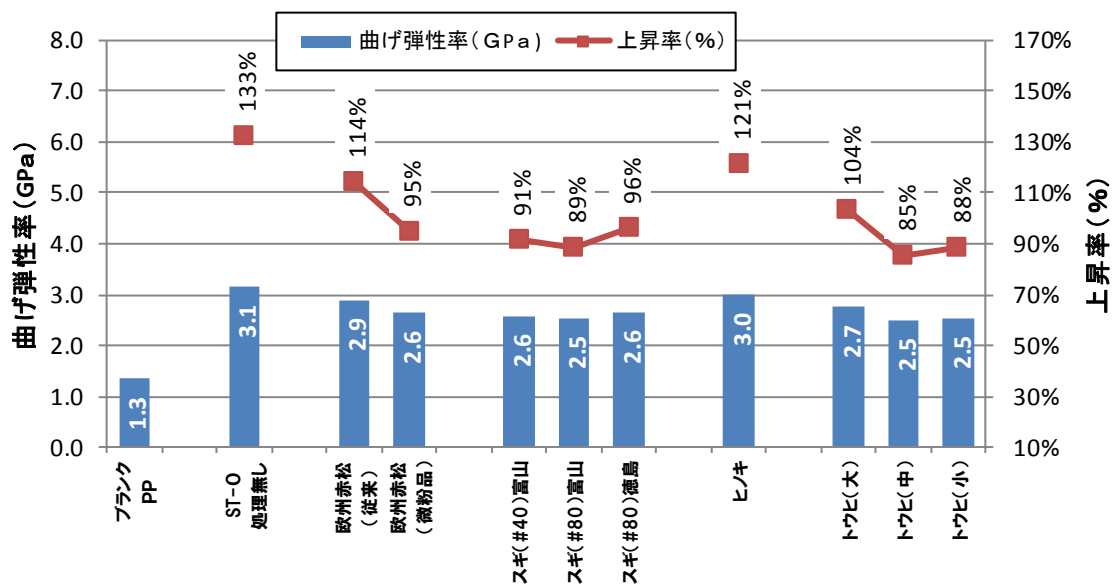


図 2.33 木粉種類別における曲げ弾性率とその物性上昇率

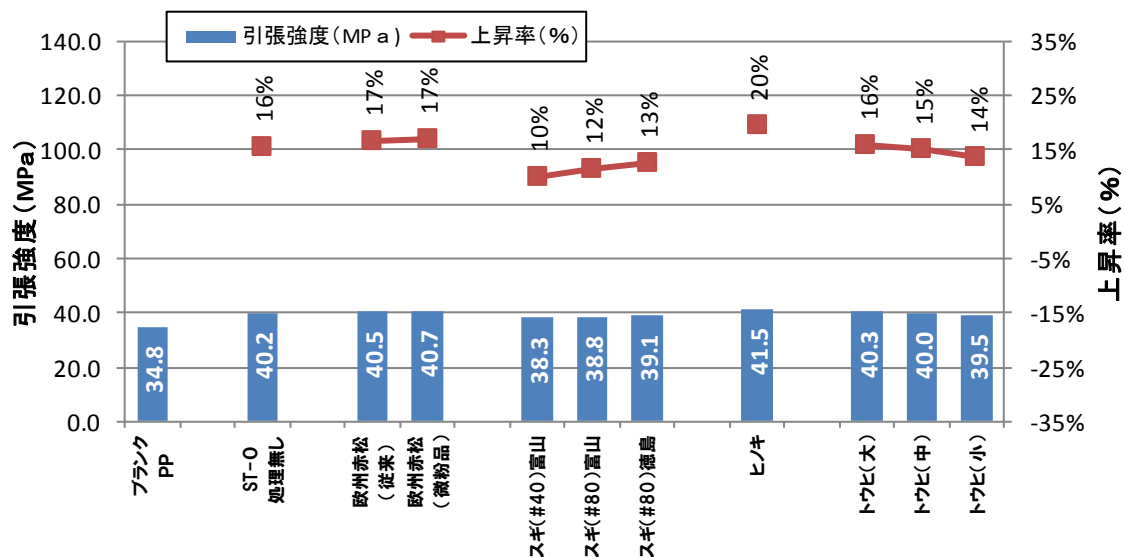


図 2.34 木粉種類別における引張強度とその物性上昇率

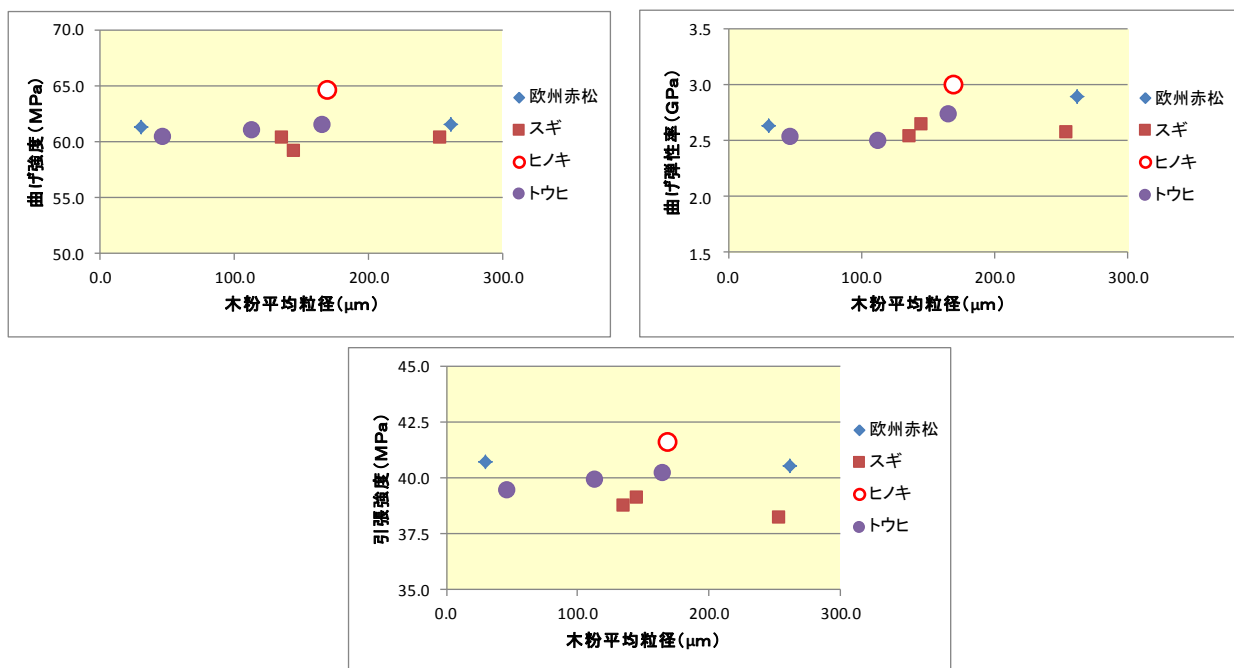


図 2.35 木粉種類別における平均粒径と各強度の関係

4.3.9. 耐候性評価

作製した表面処理木粉を用いた WPC について、耐候性試験を実施した。用いたサンプルは ST-21 の表面処理木粉を木粉量 25% にバージン PP を用いて希釈した材料にて評価を実施した。比較対象としてはバージン PP を用いた。

(1) 試験条件

J I S K 7 3 5 0 - 2

(プラスチック-実験室光源による暴露試験方法-第2部：キセノンアークランプ) 準拠

放射照度： 0.51W/m² [340nm]

水噴射サイクル： 120 分中 18 分間

ブラックパネル温度：63℃±3℃

(2) 評価方法

(1) の試験条件にてキセノン照射・水噴霧を 100、200、300、400 時間経過した試験片を表面状態の目視確認および 25℃、50%RH で 48hr 以上養生し、引張試験を行った。

(3) 結果

耐候性試験後の各時間の外観を図 2.37 に、引張強度、最大点伸び率を図 2.38 に示す。

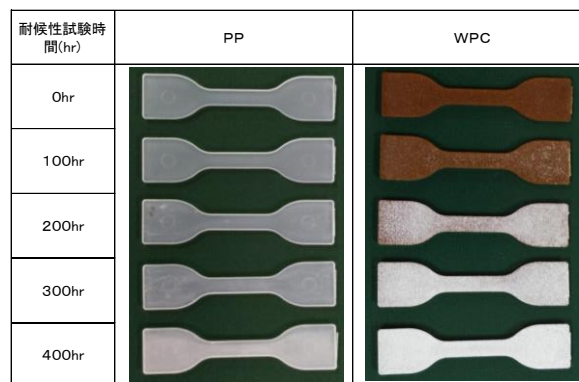


図 2.37 耐候性試験後の試験片外観

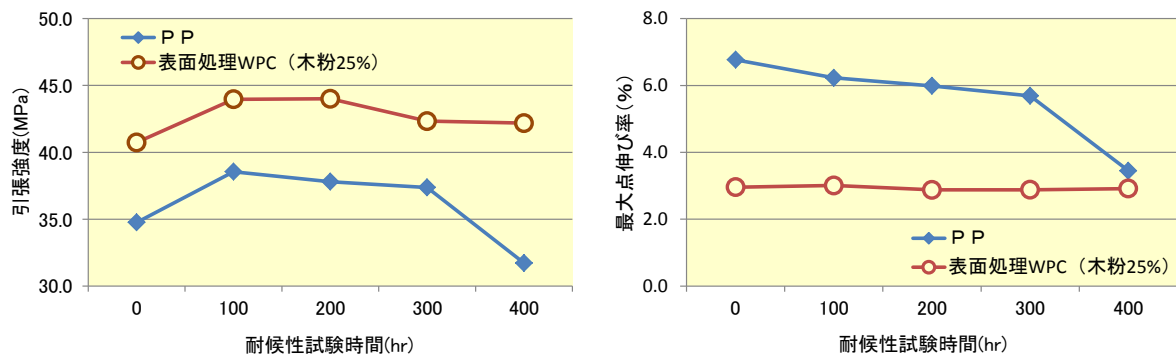


図 2.38 耐候性試験後の引張強度測定結果 (引張強度、最大点伸び率)

試験片外観については、照射時間経過とともに、PP、表面処理木粉を使用した WPC とともに白色化傾向にある結果となった。WPC については、より顕著に白色化傾向にあるが、天然木材も白色化（灰色化）するのと同様に木粉の色がぬけた為と考えられる。

引張強度試験結果については、PP、WPC とともに照射時間 100 時間にて強度上昇する傾向が見られた、これは紫外線照射により PP の結晶化が進んだ為と考えられる。照射時間 400 時間において PP については大きく強度、最大点伸び率の低下が見られているが、WPC については若干の強度低下にとどまっており、耐候性試験における強度特性については、バージン PP より優れると考えられる結果が得られた。

以上の結果から、屋外利用においては、色調の変化が課題となるが、市場で使用されているようなエクステリア向けの WPC については顔料、添加剤等の耐候処方をしており、屋外利用の際は同様の対応が必要であるとする。

4.4. 表面処理木粉の実用性評価

物理特性のみならず、表面処理木粉の使いやすさ、経済性を考慮し以下に示す【実用性目標】を設定し取り組んだ結果を示す。

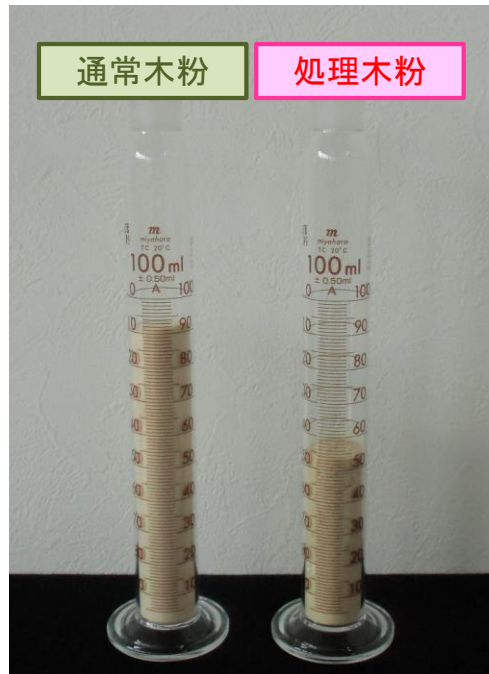
【実用性目標】

- 変性+表面処理工程を同時に実施する合理化生産方式を確立することで、処理木粉販売単価として、市販未処理木粉同等（100 円/kg以下）の供給を可能とすること
- 容り樹脂表面処理木粉 25%の WPC コンパウンドにて、汎用の押出成形機で実用性の生産能力を確保できること（φ 70 mm二軸押出機で 100 kg/hr 以上の生産能力確保）

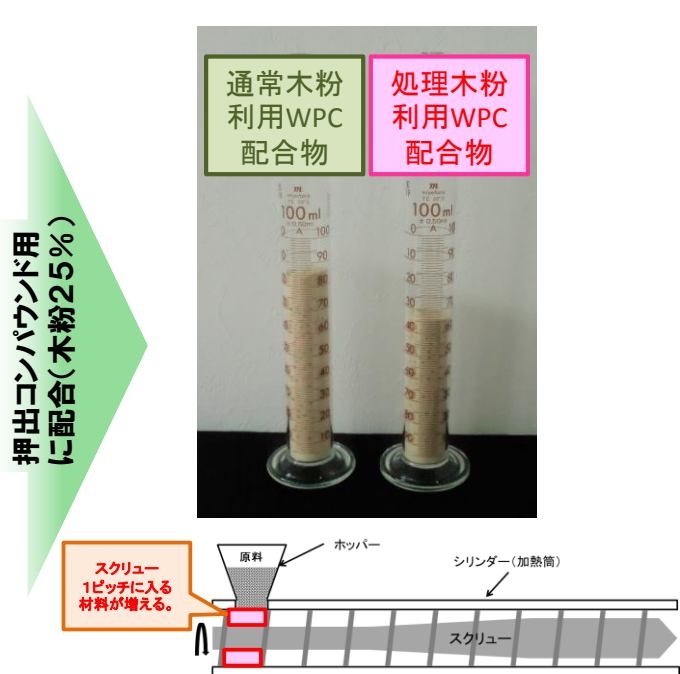
4.4.1. 表面処理による嵩比重アップ効果

今回検討に使用した欧州赤松の木粉の嵩比重は 0.12 と嵩高く、汎用の押出機において利用するにはハンドリングの悪さが課題となり、コンパウンド時の生産能力に大きく影響を及ぼす。表面処理のプロセスを得ることで、図 2.39 に示すように嵩比重を大きくすることが可能であり、「4.3.6. 木粉量とマレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の増量検討」において良好な性能を示した木粉 80%、無水マレイン酸 2%、有機過酸化物 2% (ST-21)において嵩比重は 0.27 となり、約 2 倍以上アップさせることができた。

生産性の及ぼす影響として、φ 30mm 小型二軸押出機を用いて、吐出量計測を行った結果、未処理木粉を使用した木粉 25%コンパウンドにおいては 4.8kg/hr の吐出量に対して、嵩比重 0.27 の表面処理を用いた場合 11.6kg/hr と大きく生産性向上に寄与できた。



木粉処理により嵩比重約2倍にアップ
(ハンドリング性の向上、輸送コストの削減)



処理木粉を樹脂ペレットで希釈しても嵩比重
が高く、押出スクリーンへの食い込みアップに
つながる。(生産性アップ)

図 2.39 嵩比重削減効果

4.4.2. スケールアップテスト

ラボスケールでは、表面処理工程において「タンク容量 20L の高速攪拌ミキサー」、コンパウンド工程において「 $\phi 30\text{mm}$ 小型二軸押出機」を用いたが、通常量産に用いられている最小スケールの設備として、「タンク容量 100L の高速攪拌ミキサー」、「 $\phi 70\text{mm}$ 二軸押出機」の組み合わせを用いて、スケールアップテストを実施した。表面処理工程に使用した設備と製造条件を図 2.40 に、コンパウンドに用いた設備と製造条件を図 2.41 に示す。

●表面処理工程



- ・高速攪拌ミキサー（カワタ製 SMV100、タンク容量 100L）
- 回転数：1350rpm（最大回転数）
- タンク温調：200℃
- 添加剤（Ma、PO）投入：180℃
- 材料温度上限：190℃
- 添加剤投入後反応時間：20min

図 2.40 表面処理工程に使用した設備と製造条件

●コンパウンド工程



シリンダー部位	C1	C2	C3	C4	C5	C6
設定温度(℃)	140	160	165	170	180	180
シリンダー部位	C7	C8	C9	C10	AD	D
設定温度(℃)	180	180	180	180	190	190
スクリー回転数	150rpm					

「ST-21配合」:117kg/hr
「ST-29配合」:126kg/hr

図 2.41 コンパウンドに用いた設備と製造条件

上記設備を用いたスケールアップテストの結果、「4.3.6. 木粉量と無水マレイン酸、有機過酸化物の添加量比率の検討」における ST-21 の配合にて吐出量 117kg/hr、「4.3.7. 無機フィラー添加による強度向上検討」における ST-29 の配合にて吐出量 126kg/hr の結果が得られ、【実用性目標】を達成することができた。

4.4.3. コスト試算

得られた結果をもとに表面処理木粉のコスト試算を実施した。試算した工程のプロセスを図 2.42 に、材料費の試算結果を表 2.7 に、表面処理木粉のコスト試算結果を表 2.8 に示す。

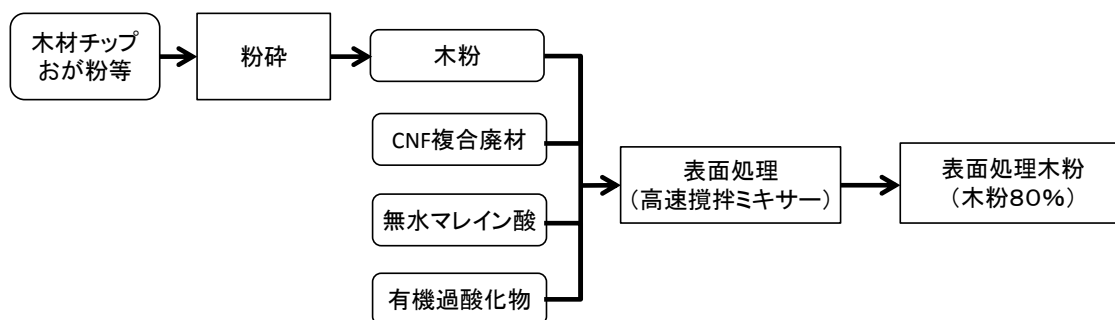


図 2.42 表面処理木粉製造の工程

表 2.7 表面処理木粉の材料費試算

材料費	単価 (円/kg)	比率	単価×比率 比率合計	備考
木材チップ・おが粉	12	80.0	9.6	トクラス購買実績による推計値
容器リサイクル樹脂	48	16.0	7.7	トクラス購買実績による推計値
無水マレイン酸	154	2.0	3.1	2018年経済産業省 生産動態統計より
有機過酸化物	1,150	2.0	23.0	トクラス購買実績による推計値
配合単価			43.4	円/kg
歩留り/ロス		95%	2.3	円/kg
材料費合計			45.6	円/kg

表 2.8 表面処理木粉のコスト試算結果

コスト試算		数量(t/月)		備考
		80.6		<木粉粉砕 生産能力> 衝撃粉砕装置 200kg/h×24h×21日/月=100.8トン <表面処理装置 生産能力> 650L 高速搅拌ミキサーを想定 160kg/h(1/バッチ80kg×2回/h)×24h×21日/月=80.6トン
		単価 円/kg	金額 千円	
変動費	材料費	45.6	3,679	材料費試算結果より
	電力料(粉砕)	3.8	310	院庄林業実績値 0.40kwh/kg × 木粉比率80% 電力単価12円/kwhで試算
	電力料(表面処理)	3.4	271	スケールアップテスト実績値 0.28kwh/kg 電力単価12円/kwhで試算
	包装費	0.3	26	リターンフレコンを想定(400kg/フレコン:リユース10回)
	運送費	4.6	369	12t/車 200km配送にて試算(@55,000円/車)
	小計	57.8	4,285	
固定費	人件費	14.9	1,200	配置人員 3名 400千円/人
	減価償却費(粉砕)	3.7	302	投資総額 29,000千円/8年/12か月の定額償却として試算
	減価償却費(表面処理)	8.4	677	投資総額 65,000千円/8年/12か月の定額償却として試算
	保守費用	1.2	98	減価償却費の10%で試算
	小計	28.3	2,277	
合計		86.0	6,562	

材料費において、容器リサイクル樹脂、有機過酸化物、木材チップ（おが粉）については弊社購買実績値、無水マレイン酸については経済産業省 生産動態統計を用いて材料費試算を行った。材料効率はテスト実績を元に 95%とした。また、生産能力は 200 kg/hr の粉碎能力を有する木粉粉碎設備（衝撃粉碎機、分級機）に

て、表面処理木粉用に 650L タイプの高速攪拌ミキサーを用いることを前提に、平日稼働の 21 日/月、24 時間の連続操業にて各装置の生産能力を加味して稼働率 100%におけるコスト試算を行った。この試算の結果、表面処理木粉の製造コストは 86.0 円/kg となり、市販木粉同等の 100 円/kg の販売単価とすると、本モデルでの損益分岐点の 53.9 トン/月（稼働率 67%）以上で事業採算を確保できると考える。

4.4.4. ユーザーテストの実施

開発した表面処理木粉を利用した成型（押出・射出、コンパウンド）についてユーザー（3 社）に表面処理木粉を提供し、サンプルを作製頂いた。

（1）エクステリア向けウッドデッキ

株式会社エコフィール様にてエクステリア向けのウッドデッキの利用テストを実施頂いた。



図 2.43 ウッドデッキ試作品

（2）押出コンパウンド

WPC の製品化において当社と協業している院庄林業株式会社様にて表面処理木粉コンパウンドの利用テストを実施していただいた。（3）にて後述する射出成型部品のテストに利用する際のコンパウンドとして木粉 70%品のコンパウンドを製造いただいた。



図 2.44 表面処理木粉利用木粉 70%コンパウンド

（３）自動車部品（射出成型品）

イオインダストリー株式会社様にて、自動車部品としてグローブボックスパネルの製造テストを実施していただいた。射出成型利用においては、表面処理の粉体状では使用できないことから、ペレット（粒状）化の要望があり、「（２）押出コンパウンド」にて利便性を高める為に、木粉 70%のペレット（マスターバッチ：希釈前提の高充填品）にて提供を実施し、バージン樹脂にて木粉 25%になるようにドライブレンドし成型テストを実施していただいた。



図 2.45 射出成型サンプル（自動車部品）

（４）ユーザーコメントと今後の課題

いずれのユーザーでも良好な成形性との回答を頂いている。課題として回答頂いた点は、容器包装リサイクル樹脂はパッケージ内の汚れを主要因とした独特のにおいがあるが、木粉を一定量以上加えることで木粉由来の「木」のにおいが優位となり、容器包装リサイクル樹脂特有のにおいを打ち消す機能も期待でき、木粉のにおいが問題にならない用途については利用可能と考えられる。自動車部品においては、現状タルクやガラス繊維を利用した PP を用いているが、木粉の利用は部品の軽量化に繋がる手段である。マスターバッチ利用でも成形性は良好な結果だったが、色調等の外観上の課題があり成形プロセスの改善や塗装による検証等を実施する必要がある。物性面については耐衝撃性に課題があり、エラストマー等の成型時添加等、各製品の要求物性に合わせた添加剤等の処方が必要である。本表面処理は容器包装リサイクル樹脂を低分子化させ、均質化していると考えているが、ロットごとの製品にばらつきが少ないことが望まれるといったコメントがあった。容器リサイクル樹脂の安定性については工業利用できるレベルと判断しているが、表面処理においても安定性については今後の量産にて確認していく必要がある。コンパウンド事業への適用について、表面処理による嵩比重アップは生産面において効果的であるとのコメントもあったが、木粉を利用した製品市場の拡大が今後の事業のポイントであり、普及に向けた取り組みを継続して実施していく。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

●容器リサイクル樹脂のロット間バラつき調査

容器リサイクル樹脂の MFR（溶融粘度）、曲げ強度・弾性率、衝撃強度についてその性能値とバラつきの範囲を確認することができ、工業利用可能なバラつきであると判断できた。

●表面処理方法の検討

嵩高い木粉の容器リサイクル樹脂による表面処理方法として、二軸押出機と高速攪拌ミキサーの処理能力を比較し、高速攪拌ミキサーの処理能力が高いことを見出した。

●表面処理配合・条件の検討

有機過酸化物を用いることで、容器リサイクル樹脂中の PP 成分が低分子化し、木粉を均一にコーティングできることが示された。また容器リサイクル樹脂と無水マレイン酸、有機過酸化物により表面処理された木粉の複合材の物性はバージン樹脂を使用した一般的な処方の複合材と同等レベルの物性を示すことがわかった。

●表面処理木粉の実用性評価

得られた表面処理木粉をバージン樹脂 PP にて木粉 25% となるように希釈配合し、φ 30mm 小型二軸押出機、φ 70mm 二軸押出機を用いてコンパウンドにおける生産能力の調査を実施した。また、製品化検討にあたり、サンプルを提供し、ユーザーでのテストを実施し、既存の樹脂加工メーカーでも容易に導入できることを実証した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

容器包装リサイクル樹脂は樹脂単体の機械特性レベルが低いこと、並びに廃棄物由来であるマイナスイメージから、工業品としての利用は限られてきた。しかしながら昨今のリサイクル品の分別技術の向上により、工業で利用できるレベルのバラつきにまで品質安定性を向上させてきている。本技術は、この貴重な資源を木粉の表面処理材料として付加価値アップを図る利用法であり、既存製品（WPC 製品）と同等以上の性能を確保できる技術である。さらに、活用する製品は、国内で 4 万 t、海外で 500 万 t を超えるマーケットを有している WPC 用途であることから、使用量だけでなく、実用化速度も速い。

また、国内森林資源の観点から、従来のバイオマス製品に比べ、高付加価値の製品（5～10 倍）となるだけでなく、製造方法がシンプルであるため、山側での事業化、即ち、山間地域の活性化にもつながる。一方、WPC 製品は、自動車用途において、無機フィラープラスチックより軽量かつ高強度であるが、コスト面に課題がある。本成果は、機械特性の向上、生産能力アップにつながる技術であり、通常のウッドプラスチック製品に対し、コストダウンが期待される。よって、自動車用途での普及拡大も加速化され、部品の軽量化により、CO2 排出量削減効果も期待される。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

1) 大峠 慎二、月刊 車載テクノロジー 2019 年 9 月号

「耐衝撃性に優れた CNF 含有ウッドプラスチックコンポジットの開発と自動車部品への適用」

株式会社技術情報協会

2) 大峠 慎二、強化プラスチック 2019 年 11 月号

「ウッドプラスチックへの応用」、一般社団法人強化プラスチック協会

(2) 口頭発表 (学会等)

1) 大峠 慎二、第 22 回定期講演会「WPC の持つ多面性, それぞれのビジョン」

「トクラスにおけるウッドプラスチック技術の展開」

(公社) 日本木材加工技術協会 木材・プラスチック複合材部会、東京都、2018 年 11 月 2 日

2) 大峠 慎二、平成 30 年度第 1 回 CNF 技術講演会

「CNF-木粉ハイブリッド WPC 「ウッドナノプラス」について」

静岡県経済産業部商工業局新産業集積課、静岡県、2018 年 11 月 28 日

3) 大峠 慎二、平成 30 年度 環境研究総合推進費研究成果発表会

「容器リサイクル樹脂を利用した WPC 用表面処理木粉の開発」

独立行政法人 環境再生保全機構、東京都、2019 年 3 月 14 日

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

1) エコプロ 2019 ポスター展示、東京ビックサイト、2019 年 12 月 5 日～2019 年 12 月 7 日

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

1) 環境研究総合推進費：総合研究報告書【3K153010】容器リサイクル樹脂特性を利用した酸変性樹脂の開発

Ⅲ. 英文 Abstract

Development of surface treated wood powder for WPC using recycled plastic containers and packaging

Principal Investigator: Shinji OGOE

Institution: Toclas Corporation
1370 Nishiyamacho, Nishi-ku, Hamamatsu-City,
Shizuoka 432-8001, JAPAN
Tel: +81-53-485-7154 / Fax: +81-53-484-0030
E-mail: shinji_ogoe@toclas.co.jp

[Abstract]

Key Words: Recycled plastic containers and packaging, Wood powder, Wood plastic composites, surface treatment, Acid modification

This study aims to develop the surface treatment of wood powder to improve the physical properties of wood plastic composites (WPC) by using recycled plastic containers and packaging. An economical efficiency during the production process was also investigated. This technique will accelerate material recycling of plastic containers and packaging and to contribute the utilization of biomass.

At the surface treatment process, recycled plastic containers and packaging was used as a surface modification agent of wood powder. Maleic anhydride and organic peroxide were also added at the process to achieve both surface coating of wood powder and acid modification of recycled plastic simultaneously. By considering the production capacity, high speed mixer was used for surface treatment since shear heat generation enables the surface treatment and melt blending of wood powder and plastic. Addition of organic peroxide homogenized recycled plastic by decomposing recycled plastic into lower molecules. Furthermore, surface coating of wood powder by the plastic increased bulk density of wood powder. This result improves the production efficiency of WPC compounding. Mixing ratio of organic peroxide, maleic anhydride, wood powder and recycled plastic and processing conditions of acid modification were optimized to improve the compatibility between wood powder and recycled plastic which resulted in the reinforce effect on WPC. Compounding (pelletization), molding of test pieces for construction and automobile parts by using conventional equipment were investigated. The result demonstrated that the developed wood powder treated by recycled plastic was easily introduced in the conventional resin company.

This study solved the problems of utilization of wood powder and recycled plastic containers and packaging. Also practicality of proposed technique was

confirmed by using conventional equipment. As a conclusion, the results of this study enhance the value of recycled plastic containers and packaging, accelerate material recycling and increase the use of biomass.