

気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた
社会システムの改革 事後評価
「森と人が共生するSMART工場モデル実証」

中核機関名：岡山県

総括責任者名：岡山県知事 伊原木隆太

研究期間：平成 22 年度～平成 26 年度

目次

I. 研究計画の概要	1
1. プロジェクトの目的・内容・目標	1
2. 研究の趣旨	1
3. 実施計画	1
4. 実施体制	2
5. 地域の特性と自治体の役割	2
6. 社会システムとの関連性	2
7. 採択時コメント	2
8. 中間評価コメント	3
II. ミッションステートメント	3
III. 所要経費	5
1. プロジェクト全体の所要経費	5
2. 研究グループ別の使用区分	5
IV. 自己評価	7
1. 目標達成度	7
2. 技術開発内容の妥当性	7
3. 社会実証の妥当性と社会システム改革の具体性	7
4. 実施体制等の有効性	11
5. 実施期間終了後の継続性・発展性	12
6. 中間評価への反映	12
V. 成果	13
1. 目標達成度	13
(1) ミッションステートメントに対する達成度	13
(2) 当初計画どおりに進捗しなかった理由	13
(3) 研究目標の妥当性について	13
2. 技術開発内容の妥当性	14
(1) システムの全体像と開発	14
(2) 全体システムと要素技術との関係性	16
(3) 各研究グループの研究成果	19
ア 超微粉砕システムセクション	19
(ア) 木材チップからの超微粉砕、ナノファイバー化連続処理装置開発	20
(イ) 超微粉砕物の特性評価及び複合化技術に関する研究	23
(ウ) 超微粉砕装置の摩耗評価法と耐摩耗表面改質法の開発	26

(エ) 化学処理によるプロセスの省コスト、省エネルギー化技術の開発	28
(オ) 化学的処理による粉砕促進技術、有機化学的修飾プロセスの開発	29
(カ) 超微粉砕木粉の特性評価に関する研究	30
(キ) ナノファイバーを用いた高機能性材料化プロセスの検討	32
(ク) メカニカルアロイナノファイバーを利用した迅速コンパウンド化技術の実用化	36
(ケ) 県産ヒノキ・スギ間伐材を用いた高規格木粉製造技術に関する研究	39
イ 新エネルギー複合利用システムセクション	44
(ア) 地域に応じたコンパクトな自然エネルギー複合利用技術の開発	44
(イ) 地域特性を生かす新エネルギー導入のためのエネルギー需給マネジメントの研究	49
(ウ) 有機薄膜太陽電池実証実験	56
ウ 地域基盤形成セクション	58
(ア) 「環境先進杜市」を目指したまちづくり計画策定、地域人材の育成、普及啓発	58
(イ) SMART 工場の社会実装へ向けた原料調達、生産管理手法の研究	61
エ ビジネスモデル構築、LCA 評価	66
(ア) ビジネスモデル	66
(イ) LCA 評価の実施	76
3. 社会実証の妥当性と社会システム改革の具体性	79
(1) 社会システム改革の実現性	79
(2) 地方公共団体等と実施対象地域	79
(3) 制度的隘路	79
4. 実施体制等の有効性	82
(1) 実施体制	82
ア 研究体制(技術開発・社会改革推進チーム)	82
イ 研究運営委員会等会議の開催状況	82
(2) 広報普及	85
ア 情報発信(アウトリーチ活動等)について	85
イ 研究成果の発表状況	86
5. 中間評価の反映	89
VI. 実施期間終了後の継続性・発展性	90
1. 実施期間終了後の継続・発展	90
2. 波及効果と普及発展	94
VII. 付録(非公開)	95
中核機関、参画機関、協力機関の参画者リスト(所属、役割分担)	95

I. 研究計画の概要

- プログラム名： 気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革
- プロジェクト名：「森と人が共生する SMART 工場モデル実証」
- 中核機関名： 岡山県
- 総括責任者名(役職)：岡山県知事 石井正弘(平成 22 年 4 月～平成 24 年 10 月)
岡山県知事 伊原木隆太(平成 24 年 10 月～平成 27 年 3 月)
- 研究代表者名(所属・役職)：
岡山県産業労働部グリーンバイオプロジェクトマネージャー 小田喜一
- 研究実施期間：平成 22 年度～26 年度(5 年間)
- 研究総経費：総額 801.6 百万円（間接経費、環境改善費込み）
- 参画機関名：岡山県、(独)産業技術総合研究所、岡山大学、倉敷芸術科学大学、
岡山県立大学、岡山県工業技術センター、モリマシナリー(株)、
トクラス(株)※、コアテック(株)、三菱化学(株)、
真庭木材事業協同組合、真庭市、岡山県農林水産総合センター森林研究所
※平成 25 年 10 月ヤマハリビングテック(株)から社名変更
- 協力機関名：農山村支援センター、岡山大学農学部、真庭森林組合
- 社会実証対象地域名：岡山県真庭市

1. プロジェクトの目的・内容・目標

間伐推進・林地残材利用拡大・バイオマス製品の社会普及により、森林の CO2 吸収源機能の保全・強化を図ることを目的として、地域特性に応じた新エネルギーを利用して林地残材から革新的新素材「ナノファイバー」(注)を製造する技術を開発し、サステナブルな林工一体型 SMART 工場のビジネスモデルを構築する。

課題実施期間内に、林地残材の本格的利用につながる材料化技術を実用化するとともに、林工一体型ビジネスモデルの構築や真庭市での環境先進都市モデルとしての地域基盤を形成する。

注：本評価書においては、セルロースをナノレベルまで(繊維幅 20～500 ナノメートル程度)微粉砕して製造したナノファイバーを「ナノファイバー」と表記する。(1 ナノメートルは 100 万分の1ミリメートル)

2. 研究の趣旨

太陽光や風力、バイオマス等、地域に適した新エネルギー利用による革新的新素材ナノファイバーの製造技術開発

3. 実施計画

(1) 初年度

テスト粉碎機製造、材料化予備試験、エネルギー需給調査、装置基本設計、生産管理手法検討、集材システム検討、普及啓発

(2) 2、3 年度

プロトタイプ粉碎機による粉碎試験、メカニカルアロイ法等による複合化、複合システムの FS・詳

細設計、個別装置の開発、最適配分手法の研究、環境先進杜市計画策定

(3)4、5 年度

真庭バイオマス集積基地での統合実証、生産管理手法確立、最適ビジネスモデル構築

4. 実施体制

各機関に課題目標達成に必要な専門的知見、開発実務等経験を有する研究者を配置するとともに、研究が細分化される微粉砕、新エネルギーシステムの開発においては、領域を総括するセクションリーダーを置き、目標達成に必要な整合性確保と進捗管理を行う。

5. 地域の特性と自治体の役割

環境・バイオマス産業を新たな産業機軸に育成することを目指す岡山県が中核機関として全体を統括し、総面積の約 8 割が森林で、林業・製材業を主要な産業とする真庭市において集材システム構築、まちづくり計画策定、人材育成、普及啓発等の地域基盤形成を図る。

6. 社会システムとの関連性

社会実装に向けては、先進的バイオマスタウン真庭市をモデルとし、本課題で開発する技術を核とする林工一体型ビジネスモデルの構築を図る。一方で、構築されるビジネスモデルを全国に普及するに当たり、技術革新や集材の効率化等、企業、地域住民の自助努力では克服できない社会制度的課題や事業化の課題を整理し、国の関係府省との連携を図りながら、その課題解決を図るために必要な社会制度改革等を検討し、国に提案する。

7. 採択時コメント

本提案は、間伐材を活用し、付加価値の高い工業用材料の開発やエネルギーへの転換を促し、CO₂ の吸収源としての森林の利活用を推進するものであり、開発すべき技術と、それが地域にもたらす利益を実証できるなど具体的であり、高く評価できる。自然エネルギー複合利用を県が主導して関係機関と連携して技術開発することを目指し、持続可能な森林管理や地方産業育成により、新たな雇用創出に資する提案である。実施に際しては、採算性も考慮した実証可能な自然エネルギー利用技術や間伐材活用技術を選定し、ナノファイバーの開発の経済性の視点とその活用方法についての具体策を明確にすることが前提であり、本研究期間内での開発は、課題のプライオリティをつけて行うことを期待する。

【採択条件】

ナノバイオファイバーの製造に関する研究開発に関しては、予め十分な LCA(ライフサイクルアセスメント)を実施し、適切な見通しが得られるまでは事業計画に含めないものとする。

【採択条件に係る確認事項】

- (1) 本テーマの推進に当たっては、LCA やコスト計算の評価を、より十分に行うこと。特に、社会実証に向け、既存製品との CO₂ 削減効果の比較や、集荷における輸送費・人件費やエネルギー消費量などを含め、バウンダリーを見直し、林業を含むプロセス全体について行うこと。
- (2) ナノファイバーにかかる要素技術の開発に偏重することなく、特に地域振興の観点から岡山県真庭市の林業関係者等と十分な連携を図ること。

- (3) 知的財産の取得や管理については、個々の技術を組み合わせたパッケージとして普及が見込まれることにかんがみ、参画機関が個々に行うのではなく、特定機関(一つの機関)を中心に行うこと。

8. 中間評価コメント

本プロジェクトは、間伐材を利用した新素材「ナノファイバー」の製造技術を開発し、その生産システムを地域と連携して構築することで、環境性と経済性のバランスがとれた新しいビジネスモデルを確立することを目指す取組である。林地残材を利活用したセルロースナノファイバー等の技術開発は目標を達成していると評価できる。今後、技術開発によって生まれる製品市場の開拓やその経済性を十分に考慮するとともに、地域社会の振興と森林管理に貢献する林工一体型の社会システム改革にどのようにつなげるかを明確にする必要がある。

・**進捗状況:** ナノファイバー製造技術、樹脂複合化技術および新エネルギー複合システム技術の開発は、製品コストを除いて所期の目標に達していると評価できる。今後、森林ビジネス全体を俯瞰し、企業ニーズに対応した経済性と森林管理に還元できる環境性を満たす生産システムの構築を期待する。

・**研究プログラムの有効性:** 高付加価値のナノファイバー製造だけでなく新たに高規格木粉の開発に取り組むことは実用性の観点から妥当であると評価できる。しかし、間伐材の利活用を核とする「SMART 工場」モデルの見通しが明確でないことから、本モデルの全体的な物質・エネルギー収支、ユーザー及び製品市場の開拓などについて検討する必要がある。その際、独自に新エネルギー複合システムを研究する必要性についても再検討が必要である。

・**実施体制等の有効性:** 岡山県が統括的役割を担い、各機関の役割分担が明確となっていることは評価できる。今後、新たなビジネスモデルを構築するにあたって、参画機関などに加えて関連事業者との連携も強めて、実施していくことを期待する。

・**継続性・発展性**の見通し: ナノファイバー製造の要素技術の開発は順調に進んでいることから、間伐材利活用とその継続的な展開については評価できる。しかし、事業展開するに当たっては、特にナノファイバー、高規格木粉の用途・市場性・経済性を明確にするなど具体的な事業計画の立案が必要である。

II. ミッションステートメント

(1) 課題の概要

気候変動に適応した新たな社会創出に向けては、森林のCO₂吸収源機能の保全・強化や、真に環境負荷が小さく実用的なバイオマス製品の社会普及が不可欠である。本課題では、太陽光や風力、バイオマス等、地域の特性に応じたクリーンな新エネルギーを利用して、林地残材等から革新的新素材「ナノファイバー」を製造する技術を開発する。

また、その経済性や環境、社会への影響評価や新旧技術の結集による生産システム化、集材など林業者や住民等との一体的な地域システム化を図る実証等を通じ、環境性と経済性のバランスが取れたサステナブルな林工一体型「SMART工場」モデルを構築する。

また、その全国普及の加速化に向け、間伐材の搬出促進施策や、カーボンクレジット、RPS法等、関連する諸制度の拡充等を通じて、森林や新エネルギーの環境性に対し、積極的に経済価値を与える社会制度改革を国へ提案する。これにより、森林・林業の再生を促し、豊かな緑環境と経済活動が調和した

「森と人が共生する社会」への変革を図る。

(2) 実施期間終了時における具体的な目標

① 3年目終了時

- ・1 μm 以下のナノファイバー含有量を80%以上とする微粉碎・分級システム確立
- ・メカニカルアロイナノファイバーを用いた汎用樹脂(25MPa以上)の強度を有する複合化技術の確立
- ・リチウムイオン電池とコンバータ・インバータ制御による充放電効率85%以上の技術確立
- ・「真庭市環境杜市(とし)計画」(仮称)の策定

※ μm (マイクロメートル):1/1000ミリメートル,1 μm =1,000nm(ナノメートル),MPa:メガパスカル

② 事業終了時

- 木材チップから一貫連続処理でのナノファイバー製造と樹脂混練技術の確立

※微粉碎・分級処理による微粉碎物(500nm以下)回収量10kg/h以上の新システム開発

※高強度樹脂以上(強度40MPa以上)となるナノファイバー混練技術の確立

※年産200トン以上を達成可能なナノファイバー樹脂複合ペレット製造技術の提示

- 地域特性に応じたコンパクトで安定的な新エネルギー複合システム技術の確立

※微粉碎連続処理システムの負荷変動対応、消費電力の100%供給技術の確立

※真庭バイオマス集積基地全体(約300kW)の消費エネルギー(電力、蒸気など)の25%以上を太陽光、風力、バイオマスの新エネルギーで供給する複合システム技術の確立

- 全国の林地残材の活用拡大につながる持続可能な事業モデルの構築

※「真庭システム」確立、間伐材の搬出量倍増(3,000t/年→6,000t/年)

(3) 実施期間終了後の取組

- ・参画機関及び協力企業による製品応用や、真庭市での民間主導のバイオマス利活用推進の取組
- 岡山県及び真庭市の継続的なバイオマス産業振興施策、また、それらの取組の全国への情報発信、普及により社会システム改革の定着を図る。

(4) 期待される波及効果

- ・本提案で開発する技術、ビジネスモデルは、全国の森林資源の活用、森林・林業の再生に活かされ、水源のかん養、流木被害防止や中山間地域への定住促進、環境技術としての国際的産業競争力強化等、波及効果が大きい。

Ⅲ. 所要経費

1. プロジェクト全体の所要経費

(単位:百万円)

補助対象経費	22 年度	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	備考
1. 設備備品費	58.0	71.2	52.1	80.1	23.2	
2. 人件費	23.2	40.7	45.1	41.2	38.3	
(1)事業担当職員	14.7	26.2	22.7	21.6	23.7	
	(13 名)	(11 名)	(9 名)	(8 名)	(8 名)	
(2)補助者	8.6	14.5	22.4	19.6	14.6	
	(8 名)	(19 名)	(20 名)	(24 名)	(17 名)	
3. 事業実施費	35.0	54.6	80.4	64.2	40.8	
(1)消耗品費	25.2	37.4	50.8	35.3	17.1	
(2)旅費	2.8	5.1	6.5	6.5	7.0	
(3)その他	6.9	12.1	23.2	22.3	16.6	
4. 間接経費	34.9	—	—	—	—	
5.環境改善費	—	11.5	3.5	2.2	1.3	
計	151.1	178.0	181.1	187.7	103.6	総計
(内、自己資金)	(2.4)	(8.0)	(4.6)	(3.5)	(6.5)	801.6
						(25.0)

補助対象外経費	70.7	70.7	56.1	46.5	40.8	総計
						284.8

2. 研究グループ別の使用区分

補助対象経費

(単位:百万円)

	超微粉碎 システム	新エネルギー 複合システム	地域基盤形成	計
設備備品費	110.2	91.5	82.9	284.6
人件費	139.3	44.9	4.3	188.5
事業実施費	156.7	94.1	24.1	274.9
間接経費、 環境改善費	46.2	5.4	1.9	53.5
計	452.5	235.8	113.3	801.6

【設備備品名:購入期日、購入金額、設備備品を購入した研究セクション】

- ①マイクロスコープ:2010年8月16日, 8.2百万円, 超微粉碎システム
- ②電子顕微鏡:2010年8月16日, 18.0百万円, 超微粉碎システム
- ③微粉碎テスト機:2010年11月12日, 5.1百万円, 超微粉碎システム
- ④サイドオープンドラフトチャンパー:2011年2月10日, 5.3百万円, 超微粉碎システム
- ⑤一軸押出機:2011年2月18日, 6.9百万円, 超微粉碎システム
- ⑥水熱処理装置:2011年9月29日, 6.3百万円, 超微粉碎システム
- ⑦微粉碎装置:2012年1月31日, 12.2百万円, 超微粉碎システム
- ⑧粗粉碎装置:2012年3月19日, 5.4百万円, 超微粉碎システム
- ⑨粒子系分布測定装置:2013年10月18日, 5.2百万円, 超微粉碎システム
- ⑩リチウムイオン電池蓄電システム:2012年1月31日, 23.1百万円, 新エネルギー複合システム
- ⑪太陽光発電データ収集システム:2013年3月25日, 7.0百万円, 新エネルギー複合システム
- ⑫オガ粉乾燥装置:2013年3月25日, 16.1百万円, 新エネルギー複合システム
- ⑬フォークリフト向けリチウムイオン電池:2014年2月25日, 7.5百万円, 新エネルギー複合システム
- ⑭充電コントローラ:2014年2月25日, 7.0百万円, 新エネルギー複合システム
- ⑮オガ粉乾燥機:2013年3月29日, 12.4百万円, 地域基盤形成セクション
- ⑯オガ粉乾燥付帯設備:2013年5月30日, 12.4百万円, 地域基盤形成セクション
- ⑰木粉粉碎機:2013年9月15日, 13.7百万円, 地域基盤形成セクション
- ⑱木粉製造分級ライン:2013年9月28日, 22.8百万円, 地域基盤形成セクション
- ⑲ミクロシフター及び粉碎品回収機:2014年6月30日, 14.0百万円, 地域基盤形成セクション

IV. 自己評価

1. 目標達成度

真庭市においては、「真庭市バイオマス活用推進計画」を定め、バイオマス産業都市の実現に向けた普及啓発、人材育成や研究開発支援等を進めており、本研究の実証の舞台としてふさわしい地域基盤を形成している。

その真庭市の地域資源である木質バイオマスを活用したナノファイバー製造と樹脂との複合化技術を開発するとともに、木材の端材利用、カスケード利用をさらに進めるため、高規格木粉の販売実証を行った。

また、実証拠点において太陽光発電と場内移動機器の組合せにより、事業実施に係るエネルギーを大幅に削減するシステムを確立した。

これらの実証結果を基に、環境に配慮した林工一体型 SMART 工場モデルを提示しており、目標を達成している。

2. 技術開発内容の妥当性

本研究で取り組んだ木質バイオマスからの工業用材料の製造技術開発は、従来付加価値が低いとされていた林地残材等に新たな付加価値を与えるものであり、森林の適正な管理による CO₂ 吸収源機能の保全・強化につながるものである。

これらの技術と、新素材の製造に伴う CO₂ 排出量を削減できるシステムの開発を合わせることであり、持続可能な資源とエネルギーを活用した SMART 工場モデルの構築が可能となった。

3. 社会実証の妥当性と社会システム改革の具体性

(1) 社会システム改革の実現性と社会実証から得た改善策等

本プロジェクトは、地域森林が持つ地球温暖化防止を含む多面的機能の保全・強化を目的とし、森林資源を「伐って・使って・植えて・育てる」というサイクル確立の鍵となる「カスケード利用」を推進するための施策の一つであり、林地残材等から高付加価値な工業材料を製造する技術を確立し、これらを利用したバイオマス製品を普及させることにより、林地残材等の利用価値を高め、上記サイクルの確立を促すものである。

このサイクルを回すためのエンジンとなるバイオマス製品の実用化、製品化を実現するため、岡山県では、本プロジェクトと並行して、ナノファイバー等の実用化に向けた取組を県独自財源により行ってきたところである。(IV.4(1)参照)

市場投入・市場拡大につながる用途開発を一層進めるとともに、バイオマス製品が市場に受容され、普及するための施策等を推進することにより、本プロジェクトによる社会システム改革を継続的に実施することとしている。(VI.1.(2)イ(本県の取組)参照)

(2)制度的隘路の抽出と克服

プロジェクトの全国展開時に支障となる制度的な隘路について、次のア、イの観点に分けて整理した。

ア 森林資源を原料とした高付加価値な製品(ナノファイバー等)製造システムに関わる問題

(ア)森林管理

・林地保有細分化

(課題)

相続等による土地所有の細分化、所有者不明の森林の増加が間伐や作業道敷設の妨げとなっている。また、間伐や作業道敷設を効率的に行うには、小規模で分散している森林に係る施業の集約化が必要である。

(課題解決に向けての状況)

森林所有者情報の把握に関する制度や森林所有者が不明の場合でも、行政の裁定により間伐を行うことができる制度、路網等の設置に係る土地所有権の設定手続きの改善など、解決に向けて制度が充実してきている。

また、施業の集約化についても、取組の促進に向けた制度が充実してきている。

※平成 24 年度から、新たに森林の所有者となった者に対して、市町村への届出を義務づける制度が開始された。

※平成 24 年度から、早急に間伐が必要な森林について、所有者が不明であっても行政の裁定により施業代行者が間伐を行うことが可能となり、また、路網等の設置のため必要な他人の土地について、土地所有者等が不明でも、使用権の設定を可能にするための制度が開始された。

※平成 23 年度から、施業の集約化に必要な調査、合意形成活動等が、国の「森林整備地域活動支援交付金」の対象となった。

・造林施策の充実(遊休農地を利用した造林の推進)

(課題)

遊休農地に造林を行うことで、高齢化等の問題により増加する遊休農地の解消や、森林のCO2 削減機能強化にもつながると見込まれるが、農業委員会の転用許可が得られない場合がある。

(課題解決に向けての状況)

平成 25 年の農地法の改正により再生困難な遊休農地については、「農地以外の利用の促進」が図られることとなり、課題解決に向けて制度が充実してきている。

(イ)採取・調達

・建築材の需要の拡大

(課題)

本プロジェクトで目指す製品の原料となる林地残材等の価値向上のみならず、トータルとしての森林資源の価値の向上のためには木材の本来の目的である建築材の需要拡大が不可欠である。中大規模木造建築物の普及が進むことで需要は大きくなるが、建築関係基準の整備が必要となる。

(課題解決に向けての状況)

中大規模木造建築においては、CLT(直行集成材)の活用が有効であり、欧米を中心に中高

層建築物等に利用されている。

我が国においても、平成 26 年に CLT の普及に向けたロードマップが作成され、実証的建築の積み重ね等により施工ノウハウが蓄積されつつある。

・バイオマス資源の有効活用

(課題)

電力会社等の支障木は、現在産業廃棄物として処理されている、

SMART 工場において受け入れることができれば、支障木の有効活用につながるが、産業廃棄物処理業の許可が必要となる場合がある。

(課題解決に向けての状況)

SMART 工場において、支障木を活用するには廃棄物処理の許可を取得すれば可能となる。

電力会社においては、社会的責務、コンプライアンスの重視から廃棄物の処理に関しては、一般廃棄物、産業廃棄物ともに厳重な処理を行っており、処分される支障木は、チップやたい肥への有効活用が既に進んでいる。

・路網整備率の向上

(課題)

間伐材を効率的に集材するためには、林道、作業道の整備が必要である。そのため、急傾斜地、材積が少ないなど作業道新設コストが見合わない地区においても作業道が新設・維持できる仕組みが必要である。

(解決に向けての状況)

当プロジェクトによる社会システムは、林地残材等の付加価値を高め、森林資源のトータルでの価値を向上させ、そこで得られる利益を、適切な価格で買い取る仕組みを構築するものであり、林業者等に利益を還元することで作業道の整備にもつながるものと考えられる。

(ウ)製造プロセス

・農地転用・林地開発

(課題)

SMART 工場として林地残材等の集材に便利な中山間地域は、農地法・森林法等により開発が規制されている。

(解決に向けての状況)

SMART 工場の開発整備は、地域における都市計画マスタープラン等に位置づけることで開発促進を図ることが可能であり、制度的な課題ではないものと考えられる。

・再生可能エネルギーに関わる電気主任技術者、ボイラー取扱作業主任者の選任

(課題)

ナノファイバー等の製造においては、自然エネルギーを活用することとしているが、出力 20kw 以上の発電設備に電気主任技術者の選任が義務づけられている。

(解決に向けての状況)

電気主任技術者の選任要件については、平成 23 年に 20kw 以上から 50kw 以上に緩和された。

また、一定の要件を満たす法人等による委託が可能であり委託可能要件も平成 25 年に 1,000kw 未満から 2,000kw 未満に緩和されたところである。

そのため、委託制度を活用すれば、課題は回避できる。

・再生可能エネルギーの有効活用

(課題)

再生可能エネルギーによる発電した電力は、原則として SMART 工場内で消費するが、工場が操業していないときに発電した蓄電池の容量を上回る電力についても、エネルギーの有効活用、事業性確保を図るため、余剰電力を買い取る制度が必要である。

(解決に向けての状況)

平成 24 年 7 月から開始されている固定価格買取制度においては、10kW 以上の太陽光発電設備について余剰電力買取制度を選択することもできることから、制度的課題は回避できるが、固定価格買取制度の今後が不透明な状況でもあり、さらなる有効活用のためには、売電ではなく、蓄電池の増設等、発電した電力を工場内で効率的に活用するシステムの導入を検討することを考えたい。

イ 製品の普及に関わる問題

・ナノファイバー等の JIS、ISO 等による標準化

(課題)

ナノファイバー等が市場に普及し工業的に利用されるには、標準化が必要であるが、現時点で定められておらず、早急に定められる必要がある。

(解決に向けての状況)

海外ではカナダから ISO に働きかけが行われているところであるが、国内では、(独)産業技術総合研究所を事務局に経済産業省、文部科学省など関係省庁や企業、大学等によるオールジャパン体制によるコンソーシアム「ナノセルロースフォーラム」が立ち上げられ、その中に、製紙メーカー・化学メーカー、大学等がメンバーとなっている国際標準化タスクチームを設置し、国際標準化に対応しているところである。

・バイオマス製品のインセンティブの創出

(課題)

バイオマス製品の持つ高い環境性を考慮すれば、再生可能エネルギーの固定価格買取制度のように、制度面での普及を後押しすることが重要である。

(解決に向けての状況)

バイオマス製品の環境性の PR をはじめ、J-クレジット制度の活用などの後押しが必要である。

上記のとおり、アの製造システムに関わる問題については、ほぼ制度的な課題は解消している。

一方、イの製品の普及に関する問題について、ナノファイバー等の標準化については国において、積極的な取組が進められているが、バイオマス製品へのインセンティブについては、ナノファイバー等の標準化ほどの取組が進められていない。

また、このプロジェクトにおいて目指す社会システムは、バイオマス製品の社会普及により向上した森林資源の利益の還元を目指すものである。

そのため、バイオマス製品のインセンティブの創出を中心的隘路として重点的に取組を行った。

(詳細については V.3.を参照)

4. 実施体制等の有効性

(1) 研究体制

確実に目標を達成するため、課題責任者に包括的な権限と責任を持たせるとともに、岡山県が有する産学官の連携基盤、組織的な総合調整機能を活かして、参画機関を有機的に結束した。また、各機関に課目標達成に必要な専門的知見、開発実務等の経験を有する研究者を配置し、1名をその責任者とした。研究が細分化されている微粉碎、新エネルギーシステムの開発においては、領域を総括するセクションリーダーを置き、全体としての目標達成に必要な整合性の確保と進捗管理を行いながら実施した。

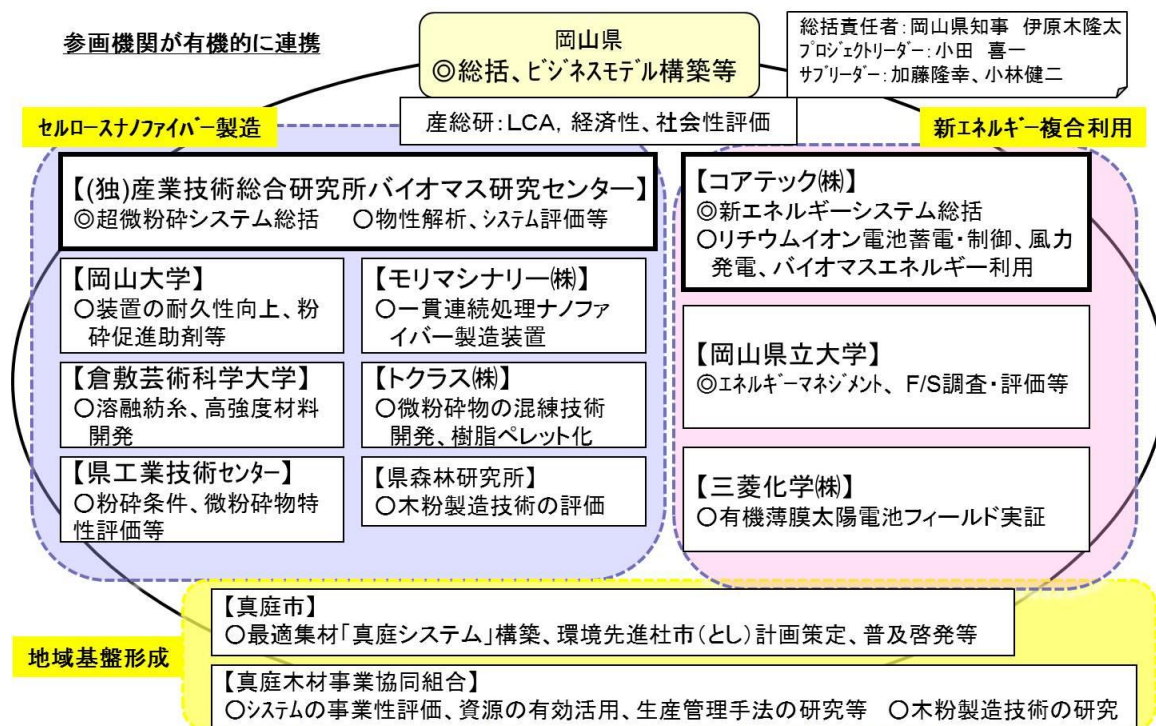


図.IV-1 研究体制

また、岡山県は本事業と並行して、独自の財源で県内外の企業や大学等と連携して、用途開発に係る先導的研究、製品開発等を実施し、相乗効果による本課題成果の最大化とその活用に取り組んだ。

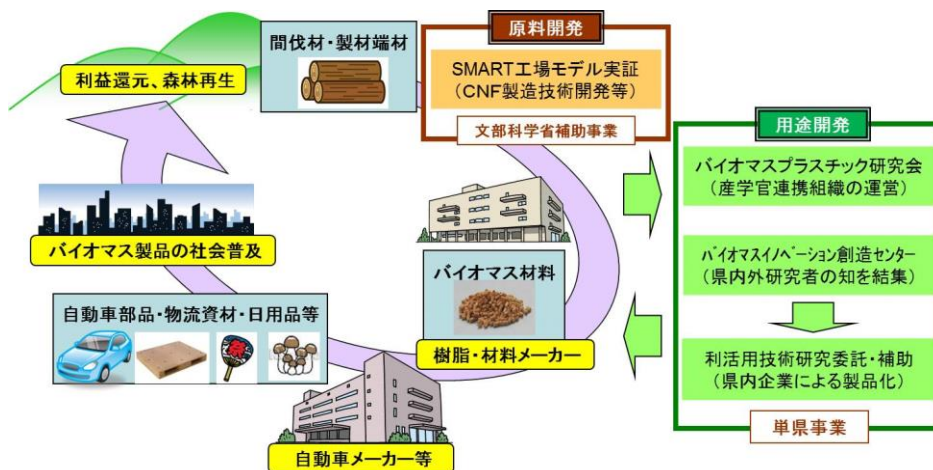


図.IV-2 本プロジェクトと岡山県独自財源事業との関連性

(2) 運営委員会等

参画機関、外部有識者、関係行政機関からなる運営委員会を設置し、事業方針等の協議、確認、進捗状況の把握を行うとともに、外部有識者等からの意見、助言等を受けながら進めた。

また、事業最終年度である平成 26 年 12 月には実証拠点である真庭バイオマス集積基地において、各セクションから実証状況について互いに報告を行った。

(3) 所要経費の使途

補助対象経費の合計は、802 百万円となっており、費目別では施設整備費 285 百万円(35.5%)、人件費 189 百万円(23.5%)、事業実施費 275 百万円(34.3%)、間接経費と環境改善費合わせて 53 百万円(6.7%)となっている。事業実施費の内訳は、消耗品 166 百万円(20.7%)、旅費 28 百万円(3.5%)、その他 81 百万円(10.1%)となっている。

(4) 情報発信

岡山県では、「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」(注)のウェブサイトにおいて、SMART 工場実証について PR するとともに、プロジェクトの開始時点、中間報告時点、実証終了時点においてそれぞれセミナーを開催して取組内容を広く周知することにより、バイオマスの利活用推進、地球温暖化防止に向けた意識の醸成を図った。

注:「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」とは、県土の約7割を占める森林の持つ多面的な機能の維持・向上と、森林資源の活用による地域の活性化を目的に、木の特長を踏まえた新たな工業材料の開発等により付加価値の高い新産業を創出することを目指す取組。

⇒URL: <http://www.pref.okayama.jp/sangyo/sangyo/greenbio/>

5. 実施期間終了後の継続性・発展性

VI. を参照。

6. 中間評価への反映

V. 5. を参照。

V. 成果

1. 目標達成度

(1) ミッションステートメントに対する達成度

次のとおり、すべての項目について達成済みである。

ア 木材チップから一貫連続処理でのナノファイバー製造と樹脂混練技術の確立

※微粉碎・分級処理による微粉碎物(500nm 以下)回収量 10kg/h 以上の新システム開発

※高強度樹脂以上(強度 40MPa 以上)となるナノファイバー混練技術の確立

※年産 200 トン以上を達成可能なナノファイバー樹脂複合ペレット製造技術の提示

・水熱処理装置、粉碎装置、微粉碎装置、分級装置、脱水装置を組み合わせ、500nm 以下のナノファイバーを 10kg/h 以上製造するシステムを開発した。

・メカニカルアロイ及び迅速化コンパウンド法により、ナノファイバーを 10% 添加した複合材料ペレットを量産(年産 200t)するシステムを実証し、そのペレットを用いたナノファイバー1%添加成型試作品で 40.3MPa の引張強度を達成した。

イ 地域特性に応じたコンパクトで安定的な新エネルギー複合システム技術の確立

※微粉碎連続処理システムの負荷変動対応、消費電力の 100% 供給技術の確立

※真庭バイオマス集積基地全体(約 300kW)の消費エネルギー(電力、蒸気など)の 25% 以上を太陽光、風力、バイオマスの新エネルギーで供給する複合システム技術の確立

・設置した PV(太陽光発電)の平成 26 年の発電量は 105MWh/年であり、ナノファイバー製造に係る年間電力需要 30MWh/年(予測値)を賄うことが可能である。

・太陽光発電と移動機器の電動化を組み合わせ、PV 電力を電動移動機器と微粉碎システムへ配分し、各必要電力量を賄うことが可能なエネルギーシステムのモデルを構築し、このシステムの導入により 38% のエネルギー消費量を削減することが可能である。

ウ 全国の林地残材の活用拡大につながる持続可能な事業モデルの構築

※「真庭システム」確立、林地残材等の搬出量倍増(3,000t/年→12,000t/年)

・ア、イの要素技術を基に、林業への利益の還元を可能とするビジネスモデルを構築した。

・林地残材等を製材用丸太と合わせて搬出する仕組みが地域関係者の連携により真庭システムとして確立し、人材育成や、普及啓発活動等により、資源のカスケード利用が浸透した結果、平成 22 年度に 8,500t であった真庭バイオマス集積基地への林地残材等の搬入量は平成 25 年度には 21,000t となっており大幅に増加している。

(2) 当初計画どおりに進捗しなかった理由

該当なし

(3) 研究目標の妥当性について

事業終了時点においても妥当である。

なお、上記(1)ウの林地残材等の搬出量については、当初目標は 3,000t/年→6,000t/年であったが、平成 21 年度実績が既に 6,500t であったため、6,000t/年から 12,000t/年に上方修正していた。

2. 技術開発内容の妥当性

(1) システムの全体像と開発

ア システムの基本的考え方

本プロジェクトは、気候変動の緩和策として、CO₂ 吸収源としての森林機能の保全・強化や、真に環境負荷が低く、実用的なバイオマス製品の社会普及を以下により目指すものである。

○地域の木質資源を原料とし環境負荷が低く高付加価値なバイオマス製品の社会普及により森林資源のトータルでの価値を向上させる。

○そこで得られる利益を林業者等へ還元されるシステムを構築し、森林の適正管理「伐って・使って・植えて・育てる」というサイクルの確立を推進する。

イ システムを実現するための機能

アを実現するための機能として、以下のものを設定している。

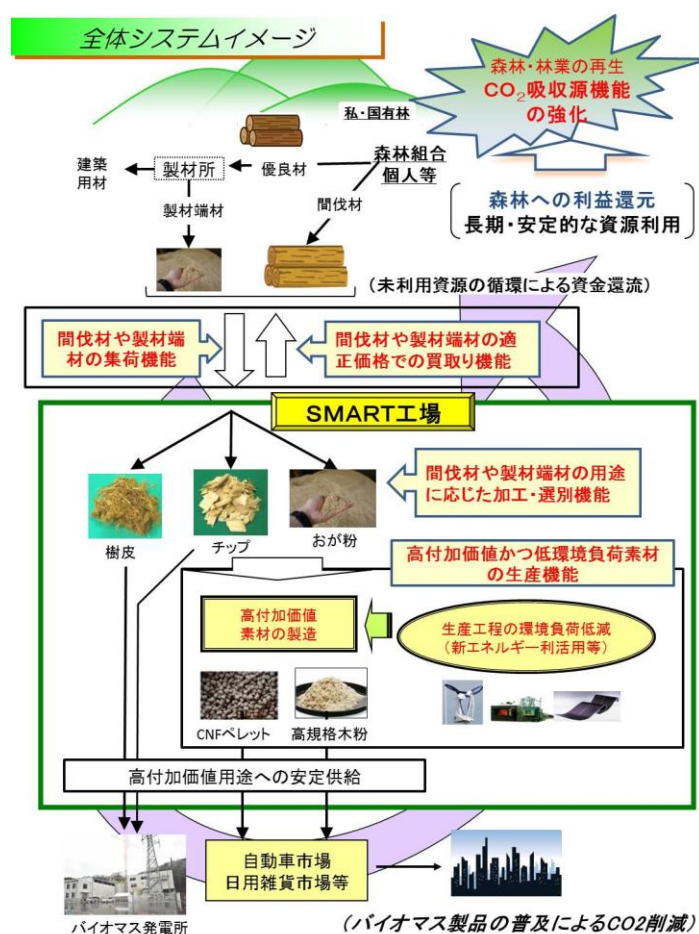


図.V-1 全体システムイメージ

(ア) SMART 工場に必要となる機能

a 林地残材等の用途に応じた加工・選別機能

集荷された林地残材等の付加価値の高い用途(ナノファイバー、木粉、燃料等)に応じたチップ加工、選別する機能

b 高付加価値かつ低環境負荷な工業用素材の生産機能

- ・ 林地残材等を原料とする木材チップからのナノファイバー製造及びナノファイバーとプラスチックとの複合化による汎用工業用素材を生産する機能

- ・ オガ粉を原料とする木材プラスチック原料に適した高規格木粉の製造

c 自然エネルギー利用等による生産工程の環境負荷低減機能

地域の特性に応じたクリーンな新エネルギー(太陽光、風力等)の利用等による、(ウ)における低環境負荷化機能

(イ) SMART 工場を支える地域基盤として必要となる機能(資源の循環による資金還流機能)

- ・ 地域自治体(市町村)や森林組合等の地域関係者の連携により、林地残材等を SMART 工場に集約する機能
- ・ ナノファイバー等の付加価値の高い素材の生産につながる木質資源を適切な価格で買い取る機能

ウ 必要となる技術開発

イの機能を実現するための技術開発は、以下のとおりである。なお、イ(ア)a(林地残材等の用途に応じた加工・選別機能)については、実証拠点である真庭バイオマス集積基地がその機能を有していることから、これを活用した。

(ア) 森林資源からの高付加価値かつ低環境負荷な工業用素材の開発

イ(ア)bに対応するものであり、ナノファイバー及びナノファイバー複合材料の開発、並びに木材プラスチックの原料となる高規格木粉の開発である。

(イ) 自然エネルギー利用システム開発

イ(ア)cに対応するものであり、上記(ア)の生産工程を低環境負荷なものとするための開発である。

(ウ) 地域基盤の形成

イ(イ)に対応するものであり、いわゆる「技術」開発ではないが、本プロジェクトが提案する全体システムに必要となる社会機能の開発である。

本プロジェクトにおいては、実証拠点である真庭バイオマス集積基地が有する木質資源の集約及び適正価格での買取りの仕組みをベースとして、真庭市や森林組合等の地域関係者との連携体制を構築した。

エ 全体システムの評価

各機能については、前ページ記載のとおり、各ミッションステートメントが達成されていることにより評価されているが、全体システムとしては、各機能を組み合わせて行った社会実証の結果を基に、環境性と経済性が両立するビジネスモデルが以下の2点により成立することをもってその有効性を評価している。

- ・ 開発したナノファイバー等の社会普及によりトータルでの価値が向上した森林資源が適切な価格で買い取られ、林業者への利益の還元が発生し持続可能なビジネスを展開できること。
- ・ SMART 工場の稼働及び開発したナノファイバー等の社会普及により、CO2 排出量が現状より削減されること。

(2) 全体システムと要素技術の関係性

(1)ウの技術開発における各要素技術を以下により設定し、各研究セクションにより研究開発を行い、それぞれのミッションステートメントを達成した。

ア 森林資源からの高付加価値かつ低環境負荷な工業用素材の開発

(超微粉碎システムセクション)

(ア) ナノファイバーの連続一貫処理技術の開発

パルプから化学処理を用いてのナノファイバー製造技術は、京都大学や東京大学等で行われているが、本プロジェクトにおいては、地域森林資源の有効活用、低環境負荷、工業的大量生産等の観点から、木材チップを原料とし、化学処理を用いない機械的連続一貫処理による製造技術の開発を以下により行った。

- ・ 産業技術総合研究所において、ボールミル、ディスクミルを用いた湿式粉碎試験を行い 20nm 以下の超微細繊維が製造可能であること。また粗粉碎と水熱処理を組み合わせ、ディスクミル処理することで、ナノファイバー生産性向上につながることを確認しモリマシナリー㈱における微粉碎装置の開発及び、前処理工程の確立に活用した。
- ・ 岡山大学において、回転刃や臼の耐摩耗性を向上させるため、岡山大学において微粉碎機の想定稼働環境における各種金属材の摩耗性を評価し、粉碎機材質の耐摩耗性向上につなげた。
- ・ モリマシナリー㈱において、産業技術総合研究所及び岡山大学の研究成果を基に微粉碎装置を開発し、これを利用した木材チップから製造した 500nm 以下の微粉碎物を連続的に 10kg/h 生産可能なシステムの開発を完成させた。
- ・ 岡山県工業技術センターにおいて、モリマシナリー㈱が作成したナノファイバーの特性評価を行い、結果をナノファイバー製造システムの運転条件に反映させた。

(イ) ナノファイバーの樹脂複合化技術

(ア)で製造されたナノファイバーを工業用材料として利用するため、汎用樹脂であるポリプロピレンへの複合材料化開発を以下により行った。

- ・ 産業技術総合研究所において、汎用樹脂であるポリプロピレンへのナノファイバーの複合化方法の開発を行った。
- ・ トクラス㈱においては、産業技術総合研究所での上記開発結果を基に、メカニカルアロイによるナノファイバーの改質及び迅速化コンパウンド手法を確立した。

この結果、含水状態のナノファイバーを樹脂複合化させ、ナノファイバー1%添加で 40.3MPa の引張強度を達成した。

(ウ) ナノファイバーの応用技術、高付加価値化

ナノファイバーの(イ)以外の用途展開の可能性について以下により研究した。

- ・ 倉敷芸術科学大学において、ヒノキ微粉碎物を原料として得られた精製セルロースを用いて、熔融紡糸法による高強度セルロース誘導体繊維の開発を行った。
- ・ 岡山大学においてナノファイバーの化学処理による架橋構造の導入を行い、ナノファイバーをエンジニアリングプラスチック等高付加価値材量に転換するための基盤技術を確立した。

(エ) 高規格木粉の製造

森林資源のトータルでの価値向上の観点から、以下により製材端材であるオガ粉から木材プラ

スティック複合材料に適した高規格木粉の開発を行った。

- ・ 岡山県農林水産総合センター森林研究所において、高規格木粉の製造ラインの機種選定、製品製造テストを行った。
- ・ 真庭木材事業協同組合において、上記製造ラインを導入し、高規格木粉の自動車内装材用途への販売実証を行った。

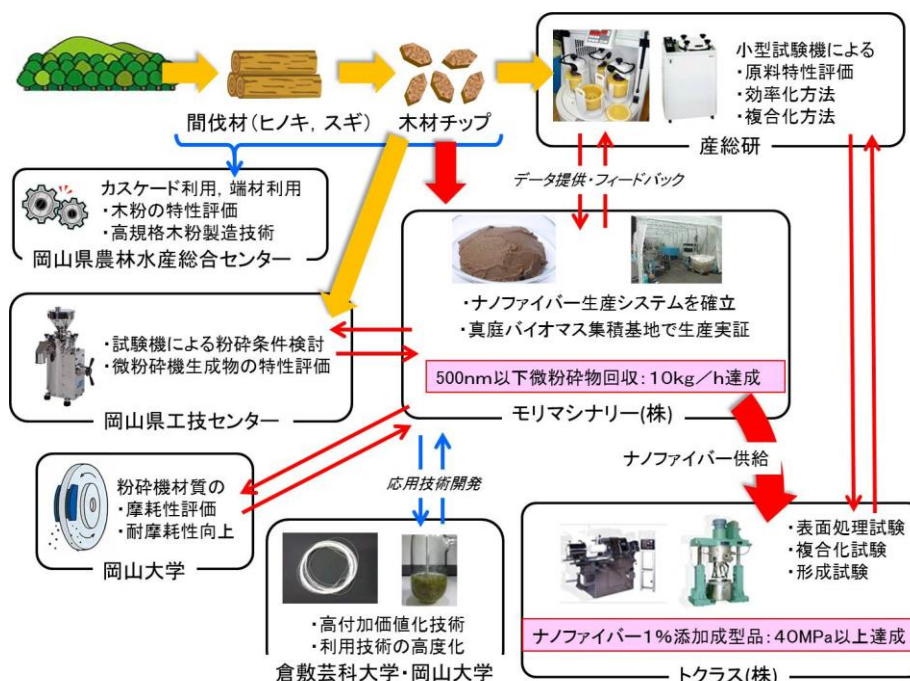


図.V-2 微粉碎セクション成果概要

イ 自然エネルギー利用システム開発(新エネルギー複合利用システムセクション)

アにおける開発素材等の生産工程を低環境負荷なものとするため、地域の特性に応じたコンパクトで安定的な新エネルギー(太陽光、風力等)の利用方法及び既存設備からのCO₂排出量の削減方法の開発を以下により行った。

- ・ コアテック(株)と三菱化学(株)において、耐荷重性が高くない箇所や工場壁面、周辺法面等への多様な設置が期待される薄膜系太陽電池につき、それぞれの方式による開発及び実証試験を行った。
- ・ コアテック(株)と岡山県立大学において、バイオマス集積基地の消費電力、未利用木質資源の収集量、日射量を測定したうえで、SMART工場への新エネルギーの導入検討を行った結果、太陽光発電により得られた電力を効率的に活用するための蓄電池の設置や、電力負荷平準化の役割を果たすスマートコントローラの設置を組み合わせることにより、新設されるナノファイバー生産工程で必要となる電力を太陽光発電により賄うことを可能とした。

併せて、これまで軽油を利用するエンジン式であったフォークリフト等の移動機器についての電動化を行い、上記太陽光発電と移動機器の電動化を組合せにより、CO2 排出量の大幅削減を可能とした。

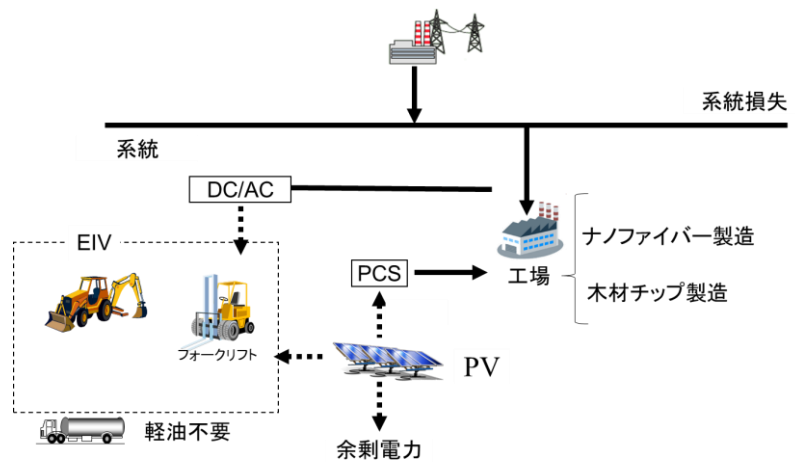


図.V-3 新エネルギー複合利用セクション成果概要

ウ 地域基盤の形成(地域基盤形成セクション)

上記ア、イにより森林資源から低環境負荷で高付加価値な製品の製造が可能となり、これらの社会普及により利益が生み出されるが、これが地域林業に還元されるためには、これまで森林に放置されてきた林地残材等が一元的に集約され、適切な価格で買い取られる仕組みが必要である。

真庭市や真庭木材事業協同組合をはじめとする地域の林業者の連携により、森林へ放置されていた森林資源が真庭バイオマス集積基地に集まる仕組みが確立され、林地残材等の搬入量は、大幅に増加した。(真庭バイオマス集積基地への林地残材等の搬入量:H22 年度 8,500t→H25 年度 21,000t)

(3)各研究グループ(サブテーマ)の研究成果

ア 超微粉碎システムセクション

◆セクションリーダー

(独)産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター

セルロース利用チーム 研究チーム長 遠藤 貴士

◆参画機関、協力機関

(独)産業技術総合研究所、モリマシナリー(株)、岡山大学、倉敷芸術科学大学、トクラス(株)、岡山県工業技術センター、岡山県農林水産総合センター森林研究所

◆テーマ

超微粉碎システムセクションにおいては、ナノファイバーを効率的に製造する超微粉碎装置の開発及び迅速コンパウンド手法によるナノファイバーと樹脂の複合化技術・高強度複合材料開発をメインテーマとしている。さらに、それらの開発を推進するためのサブテーマとして、基盤試験による微粉碎技術及び複合化技術、ナノファイバー評価技術の構築、開発した超微粉碎機により製造された超微粉碎物の形状等の特性評価、超微粉碎機の耐摩耗表面改質法の開発を進めた。

また、ナノファイバーの応用技術開発として粉碎促進技術、高強度セルロース誘導体繊維の開発に取り組んだ。

さらに、平成 24 年度から真庭木材事業協同組合が行う木材プラスチック複合材料(混練型 WPC)に適応可能な高規格木粉の生産実証について、木粉の製造条件、特性評価等を行った。

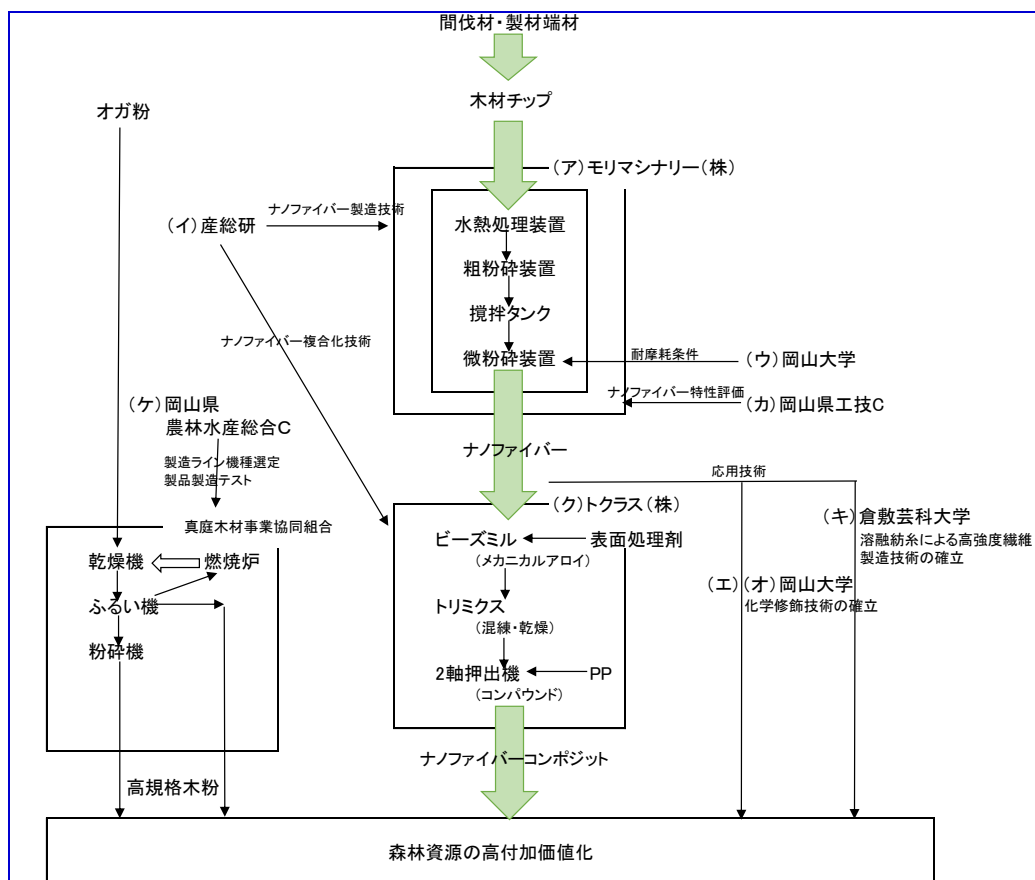


図.V-4 微粉碎セクション研究体制

(ア) 木材チップからの超微粉砕、ナノファイバー化連続処理装置開発 (モリマシナリー(株))

(目標)

微粉砕・分級処理による微粉砕物(500nm 以下)回収量 10kg/h 以上の新システム開発

(成果の概要)

微粉砕装置を開発し、これを利用した木材チップから製造した 500nm 以下の微粉砕物を連続的に 10kg/h 製造可能なシステムの開発を完成させた。

(成果の詳細内容)

a 粉砕装置の開発

木材チップから従来技術により製造した3mm以下の木粉を原料とした木材の微粉砕装置を開発するに当たり、微粉砕テスト装置を設計、製作した。製作した微粉砕テスト装置は1軸横型で、スクリューにて粉砕物を送る構造であり0～1800RPMで運転できた。

微粉砕テスト装置は処理室を1室のみ保有しており、この処理室内の構造(スクリュー、回転刃、固定刃、臼、プレート)を組み替えることにより、1室目、2室目、3室目・・・と様々な組合せのテストが実施可能な構造となっている。

産業技術総合研究所バイオマスリファイナリーセンター及び岡山県工業技術センターの微粉砕テストデータから複数の粉砕構造をテスト装置に適用し最適化を行った。

テストの結果、6室処理後の詳しい状態を凍結乾燥して走査型電子顕微鏡写真にて観察したところ繊維幅500nm以下の繊維が観察された。回転数については1350RPMを超えると未粉砕物が多くなることが分かったので回転数は定格の半分である900RPMで実施した。

以上により、900RPMで6室処理を行えば目標である繊維幅500nmが達成できることが分かった。この微粉砕テスト装置の運転結果より得られたデータを元に微粉砕装置を設計、製造した。図V-5が製造した微粉砕装置(C22)である。

この微粉砕装置は、1本の軸上にスクリュー、回転刃、臼を持っており、ケースに固定されている固定刃、プレートに対して、回転刃と固定刃及び臼とプレートがそれぞれセットで粉砕する構造となっている。回転刃は軸に対して放射状の羽根を持っており、固定刃の対応する羽根との間でせん断される。臼及びプレートは円周上に中心線から角度を持った溝が掘られており、原料はこの溝に送り込まれ、お互いの溝が交差する際にせん断、もみほぐし、すり潰しを行い、粉砕する。これらの効果による粉砕を6室の処理室に分かれて行う構造となっている。投入された原料は1室目で粉砕されて2室目へ、2室目で粉砕され3室目へ、と順次粉砕されていき、6室処理されて装置から排出される。



図.V-5 開発した微粉砕装置(C22)

木材チップを微粉砕して得られるナノファイバーのサイズや形状の評価方法には、電子顕微鏡による観察があるが、部分的な評価となりやすいため、平均値が得られる粒度分布と比表面積測定も併せて行った。粒度分布測定は、簡便ではあるがナノファイバーのような微細な繊維状物ではその形状情報は原理的に得られない。しかし、生成物の均一性や未粉砕物の有無とそのサイズの評価を行うことができ品質管理にも役立てることができる。比表面積測定は煩雑な作業が必要であるが、微細化による比表面積の増大の程度を数値化して評価で

きる。理論的に、幅20nm・長さ100nmのナノファイバーが得られた場合、比表面積は147m²/gとなる。

粉碎物の特性評価として、粒度分布と比表面積測定を岡山県工業技術センターにて実施した。その結果、各室にて段階的に粉碎できていることが分かった。最終的な開発した微粉碎装置での処理物は平均粒径30.5μm、比表面積92.7m²/gとなっており、市販の高価なナノファイバーの平均粒径35.7μm、比表面積102m²/gとほぼ同等であった。また、走査型電子顕微鏡による観察により、繊維幅500nm以下の粉碎を確認した。

微粉細装置の摩耗部の改善については岡山大学からのデータによりダイヤモンドライクカーボン(DLC)を試したが、DLC施工の際の熱による歪みで剥離が起こった。これを解決するために溶射(膜厚150μm)に変更し、施工後の研磨により歪みを除去した。溶射は岡山大学の選定したトーカロ(株)のトーカロ1305を採用した。相手の回転体については焼き付き防止の観点から別素材を選択しSUS420J2焼入とした。テスト運転では、溶射表面の微細剥離が起こったため、改善として硬度の低いトーカロ1305改を試した。その結果、1280分運転でも軽微な傷はあるものの剥離や割れはなかった。このため、消耗部の組合せを固定プレートは溶射トーカロ1305改、回転臼はSUS420J2焼入に決定した。

b 微粉碎システムの開発

開発した微粉碎装置を軸に微粉碎システムを構築するために微粉碎処理の前後処理について検証した。木材の主成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンであるが、製造したいナノファイバーはヘミセルロースとリグニンによって固められた状態にある。そこで前処理として水熱処理及びアルカリ添加処理を実施した。効果は粗粉碎処理後に目開き500μmの網を通過した重量で効果を確認した。結果は図V-

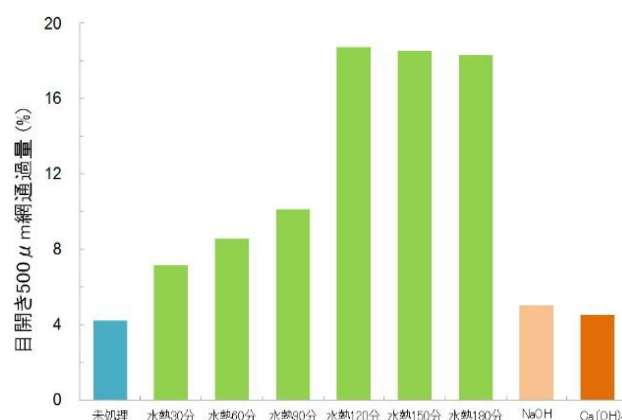


図.V-6 前処理の効果

6のとおりである。水熱処理は150℃で120分間水熱処理すれば4倍以上効率が上がることが分かった。

次に、微粉細装置への投入原料濃度を0.5%~5.0%に調整して処理テストを行った。その結果、濃度増加につれ処理量は増加したが粘度も増加し、3.0%で処理量は最大となり、5.0%では低下した。この結果より適正な濃度は3.0%であることが分かった。更なる処理量の増加のためにオゾン処理を試した結果、処理量が1.1~1.5倍に増加した。

また、製造したファイバーには幅約10μmの末粉碎物が混入していたが、分級装置の導入により除去することができた。分級は振動ふるいを使用し、2段の網にて実施した。テストの結果、最も効果の高かった1段目75μm、2段目45μmの組合せを選定した。以上のテストによりナノファイバーの製造速度を向上することができ、生産量は約1.5倍に増加した。

また、脱水工程のテストを産業技術総合研究所バイオマスリファイナリー研究センターにて

フィルタープレスを用いて実施した。その結果、90%～95%水分までの脱水が最適であることが分かった。

これらの研究により、図V-7に示す微粉碎システムを構築できた。本微粉碎システムのテストでは、装置の処理量は、水熱処理装置 90 $\frac{\text{リットル}}{\text{時間}}$ /h、粉碎装置B22 150 $\frac{\text{リットル}}{\text{時間}}$ /h(水分65%)、微粉碎装置C22 400 $\frac{\text{リットル}}{\text{時間}}$ /h(水分97%)、分級装置 400 $\frac{\text{リットル}}{\text{時間}}$ /h(水分99%)であった。

各処理装置の処理能力差は装置間のタンクにより吸収し連続連動運転を達成でき、目標とする繊維幅500nm以下のナノファイバーを安定的に10kg/h製造できた。

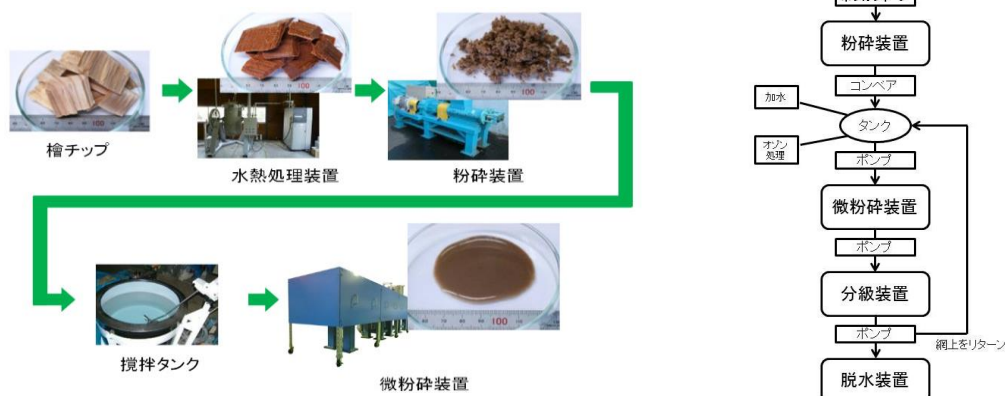


図.V-7 システム工程及び装置・処理状況

c 実証実験

完成したナノファイバー製造システムは、原料の木材チップを製造しており当該プロジェクトの実証拠点である真庭バイオマス集積基地へ移設し、コアテック(株)が整備している発電施設と連動運転実証を行った(図.V-8)。

装置間の原料・処理物の搬送は1カ所を除きポンプを使用しているためホース接続とした。このため容易に運搬後のレイアウトができ、運転実証に入ることができた。



図.V-8 真庭実証現場

すべての装置を運転し、消費電力測定から発電にて運転可能なことを実証した。運転は問題なく人員1名で操業し、実証地にて10kg/hの製造能力でナノファイバーを製造できた。

d その他～事業化に向けて

事業化に向けて、各業界へのサンプル出荷を行っており、フィードバックされた評価結果をもとに、機能性や生産性の向上に向けた取組を行っていく予定である。

モリマシナリーのセルロースナノファイバー

当社の製造するセルロースナノファイバーは複数種あり木材チップを原料としているものは、リグニンを含有したリグノセルロースナノファイバーです。90%～95%水分で、クリーム状の形態となりますが、短繊維と長繊維で含水、粘度、形態が異なります。

- ・パルプを原料としたセルロースナノファイバーは繊維長が長く、また繊維幅が小さくっておりアスペクト比が大きい。
- ・樟チップを原料としたリグノセルロースナノファイバーは繊維長が短く、また繊維幅が若干大きくなっておりアスペクト比が小さい。

リグノセルロースナノファイバー

水分約 90%
繊維幅 50 ～ 300nm
比表面積 90m²/g

セルロースナノファイバー

水分約 95%
繊維幅 30 ～ 200nm
比表面積 150m²/g

図.V-9 モリマシナリー(株)のナノファイバー

(イ) 超微粉碎物の特性評価及び複合化技術に関する研究((独)産業技術総合研究所)

(目標)

ヒノキ等の間伐材から複合材料等の強化素材として利活用できるナノファイバーの効率的かつ経済的な製造技術及び樹脂複合材料化技術の確立を目的とし、500nm 以下のナノファイバー製造技術及び 40MPa 以上の強度物性を発現できるナノファイバー複合材料化技術を確立させるための基盤技術の開発を目標とする。得られた知見及び成果については、ナノファイバー製造装置開発及びナノファイバー複合材料開発の担当機関にフィードバックさせる。

(成果の概要)

ナノファイバー製造技術に関しては、微粉碎プロセスの効率化及び微粉碎機開発を促進させるために、真庭産ヒノキ及びスギを原料として湿式粉碎試験を行った。装置としては、ボールミル及びディスクミルを用いた。その結果、ヒノキからは 20nm 以下の超微細繊維が製造可能であることを確認した。また、粗粉碎処理と水熱処理を組み合わせ、ディスクミル処理することで、ナノファイバーの製造効率が向上できることが分かった。これらの結果は微粉碎機開発にフィードバックし、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機において繊維幅 60~300nm の超微細なナノファイバーを 90%以上、1 時間 10kg 以上の収率で製造することができた。

高含水状態のナノファイバー複合材料化技術に関しては、汎用樹脂であるポリプロピレンへのナノファイバー複合化方法の開発を行った。複合化の高効率化方法として、低融点樹脂を用いたマスターバッチ法、樹脂粉末に直接的に複合化させる固相せん断法の開発を行った。その結果、少量のナノファイバー添加で引張強度及び弾性率を向上でき、さらに高い伸び特性を発揮できた。これらの成果は迅速コンパウンド化技術の実用化へフィードバックし、トクラス(株)においてナノファイバーの複合化手法の効率化及び試作製品製造を達成することができた。

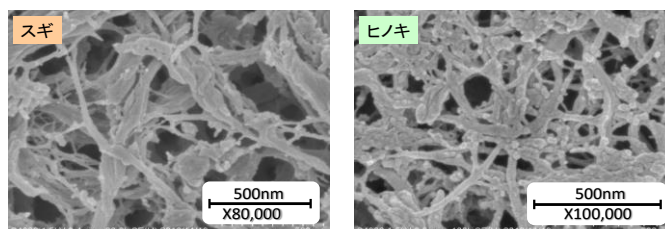
(成果の詳細内容)

a ナノファイバー製造技術の構築

ヒノキ、スギ等からのナノファイバーが製造可能を確認する目的で、小型遊星型ボールミルを用いて湿式粉碎処理を行った。得られた生成物については、電子顕微鏡を用いた形状・形態評価、酵素分解特性による微細化度合い評価を行った。また、複合処理によるナノファイバー製造効率の向上効果について検討を行った。さらに、実際の製造方法として、ディスクミルを用いた連続処理についても検討を行った。

(a) 湿式ボールミル処理によるナノファイバー製造試験

基盤試験では、0.2mm ヒノキ・スギ木粉を用いた。小型遊星ボールミル(フリッチュ社、P-7 型)を用い、木粉固形分濃度 7wt%で湿式粉碎した。その結果、クリーム状生成物が得られ、



走査型電子顕微鏡で観察した結果、図.V-10 湿式粉碎生成物の走査型電子顕微鏡
ヒノキでは全体的に幅 20nm 程度のナノファイバーが生成していたが、スギでは幅 100nm 程度の比較的太い繊維が多数存在していることが分かった(図 V-10)。このことから、ナノファイバー製造原料としては、ヒノキの方が適していることが示された。

(b) 湿式ディスクミル処理・複合処理によるナノファイバー製造試験

実地的なナノファイバー製造プロセスとして、ディスクミル(増幸産業(株)、スーパーマスコロイダーMKCA6-2 型)を用いた湿式粉碎試験を行った。また、予備処理として水熱処理と湿式カッターミル処理(増幸産業(株)、マイクロマイスター3M7-40 型)を行い、最終段階でディスクミル処理を行う複合処理の効果について検討した。ナノファイバーの収率評価方法として、微細化度合いと相関がある酵素分解性による評価手法も併用した。

処理の組合せを変えて試験した結果、水熱処理→湿式カッターミル処理→ディスクミル処理と行うことで、著しくナノファイバー製造効率が向上した(単純なディスクミル処理のみと比較して、4倍以上)。生成物の酵素分解性評価から、15~20nm 程度のほぼ均一なナノファイバーが得られることが分かった。

以上のように処理を組み合わせることで効率的にナノファイバーが製造できることを明らかにした。これらを基盤として、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機において繊維幅 60~300nm の超微細なナノファイバーを 90%以上、1 時間 10kg 以上の収率で製造することができた。

b ナノファイバー複合化技術の構築

ヒノキ木粉のディスクミル処理で得られた高含水ナノファイバーを用いて汎用樹脂であるポリプロピレン(PP)と複合化試験を行った。以下に得られた結果を示す。

(a) マスターバッチ法によるナノファイバー複合化試験

高含水ナノファイバーの樹脂複合化では凍結乾燥法がよく用いられているが、より低コストな方法とし、高含水ナノファイバーの直接的複合化方法について検討した。マスターバッチ法は、複合材料などの製造プロセスでは一般的であるが、樹脂種類の選択が重要となる。そこで、融点が 100℃以下の低融点樹脂として、PP 改質樹脂(三井化学(株)

製、タフマー)を用いた。高含水ナノファイバーを溶解させた低融点樹脂に少しずつ添

加して、ナノファイバー含有量 50wt%のマスターバッチを製造した。このマスターバッチを PP(日本ポリプロ、MA3)と混合して溶解混練することで最終的なナノファイバー含有量1~10wt%の複合体を製造した。得られた複合体の強度物性を図 V-11 に示した。

マスターバッチ法による複合体強度は、PP 単独よりも向上し、凍結乾燥法とマスターバッチ法を比較すると、伸び率は大きな違いがあった。凍結乾燥法では 60%(5wt%ナノファイバー複合化)まで低下したが、マスターバッチ法では 400%以上の伸び率を示し、1wt%ナノファイバー複合化では、600%以上の伸び率を維持しながら強度物性も向上した。多くのセルロース系複合材料の伸び物性が低い、本手法によるナノファイバー複合材料が 高い伸び物性を維持した。これは PP 中にナノファイバーを高分散できたことを示している。さらに、わずか1wt%のナノファイバー複合化で強度物性が向上できたことの意義は大きい。

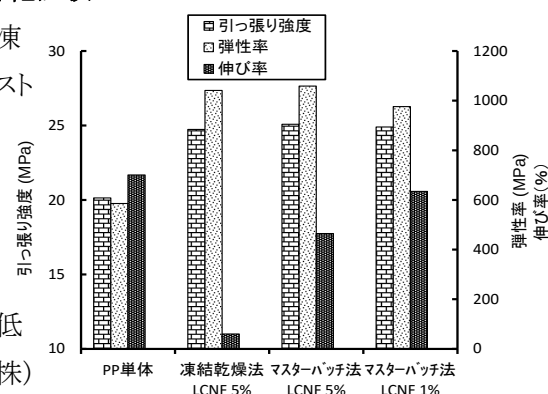


図.V-11 マスターバッチ法によるナノファイバー複合材料の機械的物性

(b) 固相せん断法によるナノファイバー複合化試験

マスターバッチ法では、ナノファイバー添加量を増加させても、複合体の強度向上効果は大きくない。その原因として、マスターバッチ作製に用いた低融点樹脂の影響が考えられた。そこで、目的とする PP に直接的に複合化する手法について検討を行った。

ナノ材料の樹脂複合化方法として、樹脂が溶融しない温度でせん断力を印加する「固相せん断法」が知られている。そこで本手法のナノファイバーへの適応性について検討を行った。ヒノキ由来ナノファイバーを、粉末状 PP(日本ポリプロ、MA3 粉末化物)に相容化剤(マレイン酸グラフト化 PP)とともに混練装置を用いて固相せん断処理を行った。次いで、溶融混練操作を行い、複合材料を作製した。得られた複合材料はシート成形し、機械的強度の評価を行った。組成比を PP-相容化剤-凍結乾燥ナノファイバー=90:5:5 として、固相せん断処理を行って得られた複合材料シートでは、強度向上とともに高い伸び物性を示した。単純溶融混練では、伸び率はわずか 6.7%であったが、固相せん断処理物では、556%となった。これは、マトリックス樹脂中でのナノファイバーの分散性が高いことを示しており、本手法は高い含水ナノファイバーの直接的な複合化も可能であったことから、有効性は高い。

(c) 高せん断溶融混練によるナノファイバー複合化効果

実践的な2軸エクストルーダー等を用いた溶融混練複合化工程では、せん断力が重要とされている。そこで、連続的に混練が進行する2軸エクストルーダーとバッチ式で十分にせん断力が印加できる高せん断型ニーダーとを用いて、ナノファイバーを複合化し、複合体の強度物性比較を行った(図.V-12)。その結果、ニーダー

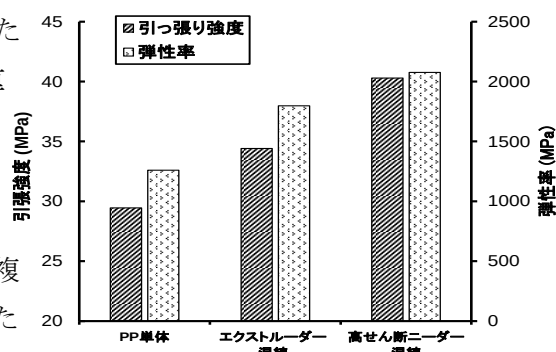


図.V-12 せん断力のナノファイバー複合材料物性への影響

混練では、引張強度及び弾性率が向上したことから、ナノファイバーの樹脂複合化では適切なせん断力印加が重要であることが示された。

この複合体の引張強度は 40MPa 以上となり、本事業の最終目標値を達成するための最終目標値を達成するための基盤技術を確立することができた。

c ナノファイバー複合化材料の製品試作

ナノファイバー製造及び複合化に関する知見・成果を基にして、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機によりヒノキからナノファイバーを製造し、トクラス(株)(旧 ヤマハリビングテック(株))において、コンパウンド化処理



図.V-13 ナノファイバー複合材

を行った。得られたナノファイバー複合材料については、射出成形品製造メーカーにて既存金型で製品試作を行った。図 V-13 に試作製品の写真を示す。

d まとめ

効率的なナノファイバー製造を構築し、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機を用いて繊維幅 60～300nm の超微細なナノファイバーを 90%以上の収率で製造することができた。また、ナノファイバー複合材料化技術では、わずか 1wt%のナノファイバー複合化で強度物性を向上させ、引張強度 40MPa 以上のナノファイバー複合材料を製造するための基盤技術を確立することができた。さらに、トクラス(株)にて複合材料を用いた実際の製品試作を達成した。

(ウ) 超微粉碎装置の摩耗評価法と耐摩耗表面改質法の開発（岡山大学）

（目標）

有機酸等の木材成分や粉碎促進触媒等を含む溶液中はコロージョン環境(装置劣化が進みやすい状態)下であり、機械装置部品の耐摩耗技術は粉碎装置の実用化の鍵となる。超微粉碎装置の設計開発・改良のため、メカノケミカル的負荷下における摩耗評価法を開発するとともに、実用に耐えうる耐摩耗表面改質法を開発する。

（成果の概要）

低摩擦と低摩耗を同時に実現できるダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜及び各種溶射被膜の水潤滑下でのトライボロジー特性評価試験を実施した。これら試験結果に基づいて、実機開発担当(モリマシナリー(株))において、実機へ適用可能な条件を示した。

（成果の詳細内容）

a 試験方法及び表面改質

試験片には直径 40mm のディスクと外径 25.6mm、内径 20mm のリングを用い、リングオンディスク方式により試験を行った。母材にはすべて SUS440C 製で焼入れ焼戻し後、研削仕上げした。試験条件はすべり速度 $V_s=0.02\text{m/s}$ 及び $V_s=0.10\text{m/s}$ 、平均面圧 $p_m=10\text{MPa}$ とし、水潤滑下で試験した。 $L=2500\text{m}$ 毎に表面観察及び断面曲線を測定し、 $L=10000\text{m}$ まで試験を行った。

表 V-1は、供試した主要な DLC 膜及び溶射被膜の一覧を示す。DLC 膜として成膜法及び構造の異なる素材、溶射被膜は耐腐食性と耐摩耗性を持つ素材とした。

表.V-1 DLC 膜

Specimen	Structure	Process	Hardness HV	Thickness μm
DLC ①	a-C:H	PVD	2000	1
DLC ②	a-C:H:W	PVD	1500	3
DLC ③	a-C:H:Si	PlasmaCVD+PVD	2000	1
DLC ④	ta-C	Cathode arc ion	3000	1
DLC ⑤	a-C:H	Plasma CVD	1200	10
DLC ⑥	a-C:H	PVD	1500	2
DLC ⑦	a-C:H	Plasma CVD	1200	3
DLC ⑧	a-C:H	Plasma CVD	1200	10

b 試験結果(DLC 膜)

図 V-14 は、DLC 膜の摩擦係数と摩耗量(リング側)を示す。いずれの DLC 被膜でも SUS440C バルク材に比べて低い摩擦係数を示し、かつ、比摩耗量も小さく、DLC 膜は水潤滑下で有効である。中でも、 $V_s=0.02$ m/s では DLC⑤が最も優れた摩擦特性を示し、一方、 $V_s=0.10$ m/s では DLC⑦が優れており、寿命も長い。DLC⑤と DLC⑦は成膜条件を変えた同種の DLC 膜である。この被膜の最適成膜条件を訴求することにより、長寿命と低摩擦を示す可能性が示されている。

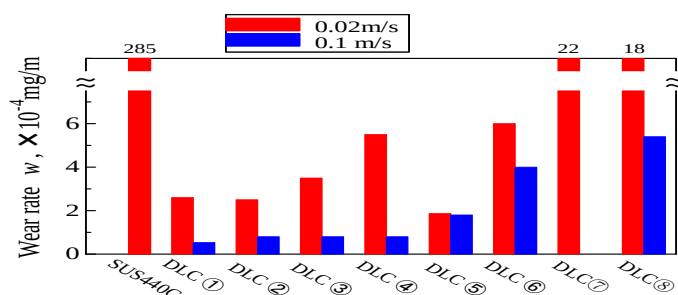


図.V-14 DLC 膜の摩耗(リング)

c 試験結果(溶射被膜)

図 V-15 は、溶射被膜の摩擦係数と摩耗深さ量(ディスク側)を示す。いずれの溶射被膜でも摩擦係数は、SUS440C バルク材と同程度又はそれより大きい値である。WC-NiCr-I 及び WC-NiCr-II では摩擦係数の変動が小さい。一方、Ni-spraying では WC-NiCr 溶射と比較して平均摩擦係数は同程度又は少し小さい値を推移したが、摩擦係数の変動幅が比較的大きい。ディスクの摩耗深さを見ると、いずれの場合も SUS440C バルク材よりも摩耗量は小さい。WC-NiCr 溶射の摩耗が比較的小さく、中でも高硬度の WC-NiCr-I の耐摩耗性が優れている。

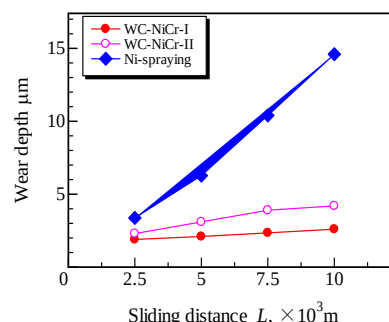


図.V-15 溶射被膜の摩耗深さ

図 V-16 は WC-NiCr 溶射被膜断面の SEM 観察を示す。硬度の小さい(Ni 含有量の大きい) WC-NiCr-II では比較的大きな Ni リッチな部分が存在している。一方、WC-NiCr-I ではこのような箇所は見られず、図 V-15 に示したように耐摩耗性も優れていた。

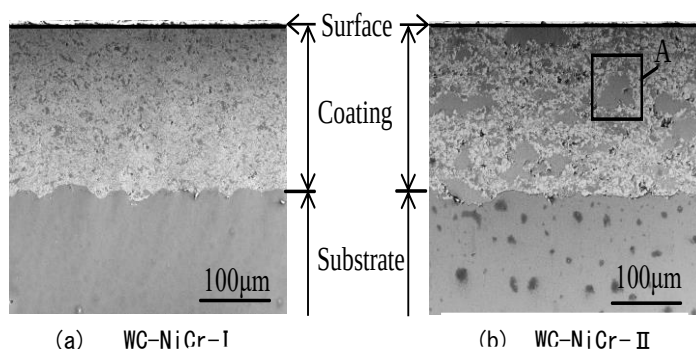


図.V-16 溶射被膜の断面観察

d まとめ

超微粉碎装置の摩砕部要素の長寿命化と摩擦損失の低減のため、溶射皮膜の水潤滑下での摩擦摩耗挙動を調べた。その結果、DLC 膜では十分な低摩擦特性が得られた。また、溶射被膜では、WC-NiCr で優れた耐摩耗性が得られた。成膜条件の制御により DLC 膜の耐摩耗性(耐剥離性)を向上させることにより、耐摩耗性と低摩擦の両立ができ得ることが示された。しかしなが

ら、実際にモリマシナリー(株)開発の微粉碎機部材に応用したところ、加工時の歪みにより剥離が起こったため、DLC 膜と同等の性能が期待できる溶射による部材表面の耐摩耗・低摩擦処理を提案した。

(エ)化学処理によるプロセスの省コスト、省エネルギー化技術の開発 (岡山大学)

(目標)

微粉碎を効率化するための粉碎促進剤の開発を進めるとともに、ナノファイバーの高付加価値化を目的として微粉碎物に、ラジカルによる短鎖導入の検討をする。ナノファイバーは固形分数%の非常に希薄な水分散状態で得られたため、水中でラジカル重合を行うことにより、短鎖のグラフト重合体を作製し、脱水と複合化を同時に実施するプロセスの開発を目標とする。

(成果の概要)

微粉碎するために、クエン酸等の有機酸やプルランを添加することにより、粉碎が促進されることが分かった。

ナノファイバー分散液について、水溶液のまま、過酸化水素(H_2O_2)及び硫酸鉄(FeSO_4)を用いてレドックスラジカル重合を行い、スチレン、メタクリル酸メチル、アクリロニトリルの懸濁重合を行った。生成物の赤外分光分析等から、それぞれの高分子がセルロースに対してグラフト重合していることが分かった。

DMT-MM(トリジアン系脱水縮合剤)による官能基導入を試みた結果、TEMPO(有機フリーラジカル触媒)酸化及び DMT-MM によるアミド化により、水溶性化合物の導入がナノファイバーの水分散状態のまま可能となり、有機溶媒にのみ溶解する分子においても、DMT-MM による化合物修飾が可能となった。

(成果の詳細内容)

粉碎促進としてプルランを添加すると、セルロースの粉碎時の平均粒径が $54.9\ \mu\text{m}$ から $35.3\ \mu\text{m}$ になることが分かった。多糖を添加することにより粉碎を促進可能であることが分かった。

水 1.5 リットルに対してナノファイバーを固形分として 0.5%をホモジナイザーを用いて分散させ、かつ、窒素を導入することにより、水中の酸素を除去した。次に、セルロースの 1.2 倍量に相当するモノマー(スチレン、メタクリル酸メチル、アクリロニトリル)を加えて、硫化鉄と過酸化水素水を加えてラジカル重合を行った。その後、水をろ過により除去することによりグラフト化セルロースを得た。

DMT-MM によるアミド形成反応を利用することにより、水溶性のアミド化合物は容易にセルロースに付加できることが分かった。さらに、水に対して不溶性の化合物においても、有機溶媒との界面で反応させることが可能であることから、導入することができた。

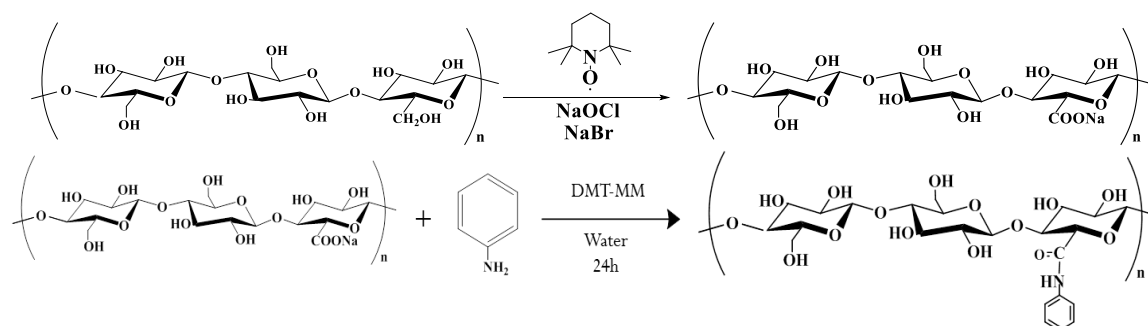


図.V-17 TEMPO 酸化及び DMT-MM による化合物導入

これらの反応により、短鎖グラフトの導入は、微粉碎物の濃縮や加温等の必要がほぼなく、省エネルギーでの脱水と複合化を同時に実現できるプロセスである。また、DMT-MM による水に分散させたままでの化合物修飾が可能となった。また、後述のクリック反応と組み合わせて機能材料化への反応を、水系での反応のみで構築することが可能となった。

以上の大量の水に分散しているナノファイバーの化学的処理による誘導体化技術の構築は、ナノファイバーを特殊分離膜や機能性材料へ転換して高付加価値化するために重要となる。

(オ) 化学的処理による粉碎促進技術、有機化学的修飾プロセスの開発（岡山大学）

(目標)

ナノファイバーの高付加価値化を目的として、セルロースや木材微粉碎物に対して、クリック反応を中心に化学修飾の検討を進め、架橋構造物の合成を行う。架橋物は、解析手法が限られているが、キャラクタリゼーションは岡山大学保有の先端機器を利用して解決する。これらを通じて、セルロースの修飾技術を完成させる。

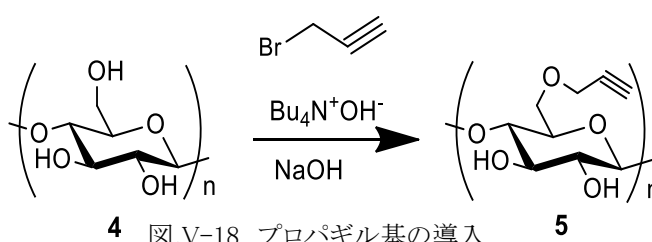
(成果の概要)

ナノファイバーの化学処理は水中で行うことが必要であるため、アミン触媒によるプロパギル化を実施した。次いでアジド化合物との反応によるクリック反応で化学修飾が可能となった。

(成果の詳細内容)

水共存系での反応として、塩基性条件で、アミンを触媒としてプロパギルブロマイドを用いて、三重結合を持つプロパギル基を導入した。

(図 V-18)



4 図.V-18 プロパギル基の導入 5

このプロパギルセルロースを利

用し、アジド基を持つ化合物(水溶性アジド化合物)とのクリック反応により、水中での化学修飾が可能となった(図 V-19)。これらにより、有機溶媒を用いずにナノファイバーの水中での化学処理が可能となった。また、両末端にアジド基を持つ化合物を用いれば、架橋構造をつくり、片末端の場合は架橋しないセルロース複合体が得られることが分かった。

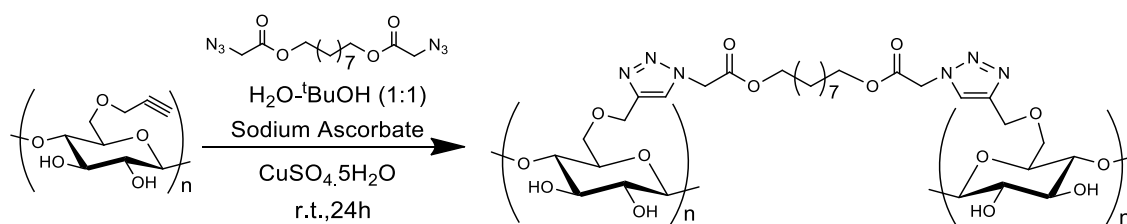


図.V-19 クリック反応による架橋反応の一例

以上の水中でのナノファイバーの化学処理による架橋構造の導入技術は、ナノファイバー同士を架橋結合させて、従来になかった高分子材料へつながる技術であり、ナノファイバーをエンジニアリングプラスチック等高付加価値材料に転換するための基盤技術となる。

(カ) 超微粉碎木粉の特性評価に関する研究(岡山県工業技術センター)

(目標)

木質バイオマスの微粉碎工程では、各種処理条件で得られた生成物の特性評価が重要である。そのため、物性評価試験として真庭産ヒノキを用いて評価用のナノファイバーを製造し、粒度分布、比表面積、走査型電子顕微鏡(FE-SEM)観察による評価手法の構築を行うことで、微粉碎機開発を促進させる。これらの結果は、開発する木質バイオマス用微粉碎システムの運転条件設定に反映させる。

(成果の概要)

評価試験用のナノファイバー製造方法としては、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機と類似プロセスであるディスクミルを用いた。また、更に微細で均一なナノファイバーは高圧ホモジナイザーを用いて製造した。原料としては、試薬のセルロース粉末をモデル原料として製造条件を構築し、実際に真庭産ヒノキを用いて評価用のナノファイバーを製造した。得られたナノファイバーを基準試料として粒度分布、比表面積、走査型電子顕微鏡(FE-SEM)観察による評価手法の構築及び粉碎条件との関連について明らかにすることができた。得られた結果は、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機の運転条件設定にフィードバックさせ微粉碎機開発を促進させることができた。また、微粉碎試料の比表面積測定及びFE-SEM観察のための試料乾燥方法として、溶媒置換ー凍結乾燥法の効果を確認した。これら手法を、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機により得られた生成物に適用し、新規開発した粉碎機を用いた微粉碎システムは、評価試験の場合と同等の微細なナノファイバーが製造できることを確認できた。

(成果の詳細内容)

a ナノファイバー評価技術

セルロース粉末(Whatman 製、CF11)を対象に、ディスクミル(増幸産業(株)製、MKCA6-2)運転条件の影響を検討した(セルロース水懸濁液:1wt%)。

図 V-20 に、ディスク回転数と粉碎物の比表面積の関係を示す。1 回目の通過(パス)では、回転数の増加とともに比表面積が減少する傾向が見られたが、各回転数においてパス回数の増加とともに比表面積が増加した。最大の比表面積を示した回転数 1000 rpm、パス回数 10 回が微細化に最も適していた。これらの結果は、モリマシナリー(株)開発の微粉碎機の機構等が完全には同一ではないため、そのまま適用できないが、運転条件の設定には有効で

あった。

ナノファイバーは極めて凝集力が強いので、一般的な凍結乾燥では不十分である。そこで、紙パルプ分野で用いられている溶媒置換—凍結乾燥法の適応性を調べた。遠心分離機を用いて、tert-ブチルアルコール(t-BuOH)で溶媒置換を数回行い凍結乾燥した。図 V-21 に、溶媒置換の有無によるセルロース粉砕物の FE-SEM 観察像の差異を示す。置換なしの場合、脱水時に繊維物の凝集が起こり 100 nm 以下のナノファイバーが確認されないのに対して、置換ありの場合は数十 nm の微細なナノファイバーが明確に観察された。比表面積値は置換なしの場合 $16.0 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ であるのに対して、置換ありの場合は $170 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ となり、溶媒置換によって、より正しく比表面積が測定できた。

これから試料乾燥方法を確立することができた。

次に、真庭産ヒノキの湿式粉砕条件を調べた。まず、ヒノキチップ(真庭バイオマス集積基地製、数 cm 角)をカッターミル(3M7-40;増幸産業(株))粉砕し、次に、ディスクミルを用いて接触回転させながら粉砕(固形分濃度 1 wt%)を行った。

さらに、高圧ホモジナイザー(MMX-L200-D10;増幸産業(株))を用いて湿式粉砕(固形分濃度 0.5 wt%)を行った。ディスクミル粉砕試料の FE-SEM 観察の結果、一部に凝集塊や幅 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度の带状粉砕物も確認されたが、高圧ホモジナイザー処理を行うことで、繊維幅が $50 \sim 200 \text{ nm}$ 程度のナノファイバーが得られ、評価試験用ナノファイバーの調製方法を構築することができた。

b 開発粉砕機による生成物評価

モリマシナリー(株)が開発した粉砕機による生成物の評価を行った。ヒノキチップの水熱処理(150°C 、2h)後、2軸型粉砕機(B22;モリマシナリー(株))を用いて粗粉砕(約 60wt% 水分に調整)を行い、続いて、1軸型粉砕機(C22;モリマシナリー(株)が開発した粉砕機)を用いて粉砕(固形分 1wt%に調整)を行った。生成物は振動ふるい機にて湿式分級を行い、ふるい下回収物を、ディスクミル処理(固形分 5wt%に調整、1800 rpm、3 回通過)した。FE-SEM 観察の結果、分級

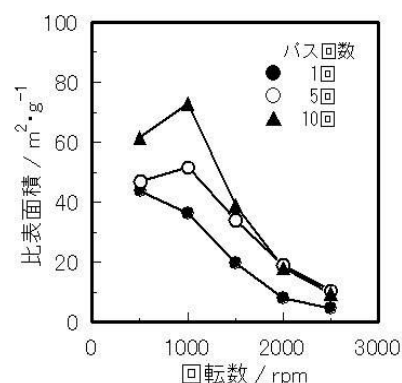


図.V-20 ディスク回転数と粉砕物の比表面積

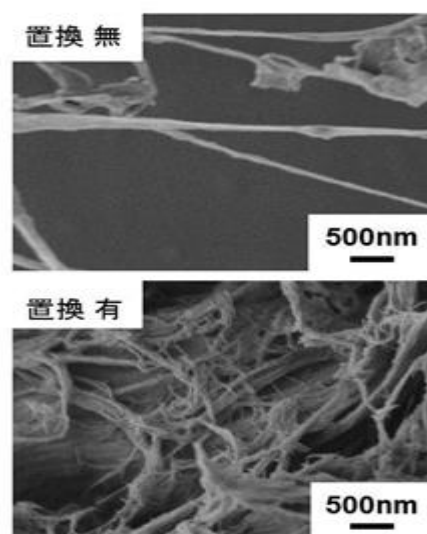


図.V-21 溶媒置換の有無で観察試料を作成した粉砕物の FE-SEM 写真

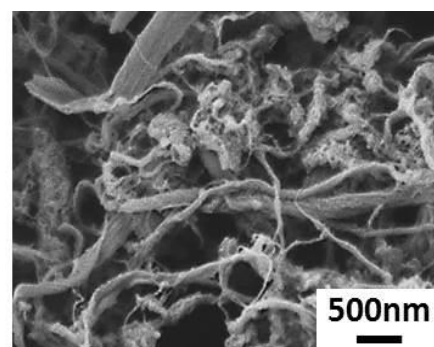


図.V-22 新規開発した粉砕機を用いた湿式微粉砕システムで得られた粉砕物の FE-SEM 写真

前にはナノファイバーとともに繊維幅が数 μm 程度の帯状形態のファイバーが見られたが、分級後の粉砕物は繊維幅 500 nm 以下のナノファイバーが主に確認された。ディスクミル粉砕物の FE-SEM 写真を図 V-22 に示す。FE-SEM 観察の結果、繊維幅 50~200 nm 程度のナノファイバーが観察され、評価試験の場合と同様に、ナノ繊維化した微粉砕物が得られることが実証できた。これらの結果より、モリマシナリー(株)が新規開発した粉砕機を用いた湿式微粉砕システムによって、ヒノキチップを原料として、繊維幅 500 nm 以下のナノファイバーが得られることが実証された。

(キ)ナノファイバーを用いた高機能性材料化プロセスの検討(倉敷芸術科学大学)

(目標)

ナノファイバーあるいは木質原料の高付加価値化を目的として、熔融紡糸法による高強度セルロース繊維の生産技術開発を進める。微粉砕物からセルロース、ヘミセルロース、リグニンを分別し、分別したセルロースを原料として高強度セルロース繊維の開発を行う。高強度セルロース繊維は化学合成したセルロース誘導体を熔融紡糸することにより製造する。主要な用途は自動車用樹脂製品の繊維強化材を目指す。

(成果の概要)

ヒノキ微粉砕物を原料として得られた精製セルロースを用いて、導入する官能基を変えてセルロース誘導体を合成した。シリル基やエステル基など極性を持つ官能基を導入した高置換度セルロース誘導体を熔融紡糸することができた。このうちシリル基を持つトリメチルシリルセルロース誘導体(TMSC)は 200°C以上の耐熱性を持つサーモトロピック液晶性を示す高強度・高弾性が期待できる素材であることが分かった。熔融紡糸装置を用いて繊維径が約 20 μm の繊維を連続生産することができた。T 重合度が大きいセルロース誘導体 TMSC を紡糸して得られた繊維の強度は同じセルロース系で高強度繊維と言われているテンセル®よりも 20%大きな値を示した。また弾性率はエンジニアプラスチック系のナイロン 6 の 2 倍以上の値を示すことが分かった。

TMSC 繊維強化 PP 樹脂材料の熱変形温度は 152°Cを示し、自動車内装部材に要求される耐熱性の仕様温度をクリアした。耐衝撃値は 5.5kJ/m²を示し PP 樹脂単体に比べて 30%増加した。これらのことから、ヒノキ微粉砕物を原料として樹脂補強材に利用できる高強度セルロース誘導体繊維を製造できることを明らかにした。

(成果の詳細)

a 微粉砕物からセルロース分別の研究

はじめに原料ヒノキ微粉砕物の組成を Wise 法によって分析した。木質成分はリグニン 26.3%、ヘミセルロース 23.3%、 α -セルロース 50.3%であった。次にクラフト蒸解法により微粉砕物からセルロースを分別した。得られたセルロースの重合度は銅エチレンジアミン溶液法による粘度測定から重合度の値は 1896 であり、通常の木材パルプの重合度 1500~2000 内であった。また X 線回折の結果から結晶形態は I 型を示しクラフト処理により結晶構造の変化を起こしていないことを確かめた。

b セルロース系樹脂の化学合成研究

熔融紡糸により製造したセルロース繊維は PP 樹脂と熔融混練して複合化するので PP の融点 180℃以上の耐熱性が必要である。したがって耐熱性が期待できる芳香族の官能基を導入したベンジルセルロース誘導体(BnC)と有機ケイ素化合物の官能基を導入したトリメチルシリルセルロース誘導体(TMSC)に

ついて検討した。これら誘導体の化学構造式を図 V-23 に示す。

次に、示差走査熱量測定 DSC (SII, 6200 型)によるセルロース誘導体の熱特性を調べた。市販のエチルセルロース誘導体(EtC)の T_g は 130℃、BnC の T_g は 100℃であったが、TMSC のガラス転移温度 T_g は 200℃を示したことから、TMSC を熔融紡糸用原料に選んだ。

TMSC の合成に関しては既往の合成法に比べて安価で、高置換度の TMSC が得られる合成法を新規に見出したため特許出願した(特願 2014-479)。TMSC を用いた最適な熔融紡糸プロセスの条件を探索するために TMSC の熱特性及び熔融粘度特性を詳細に調べた。図 V-24 に TMSC の熱重量測定 TG の測定結果を示す。TMSC の熱分解温度は 340℃(図 A 点)を示し耐熱性に優れていることが分かった。TMSC の熔融粘度特性を図 V-25 に示す。ガラス転移温度 T_g を過ぎると粘度は急激に減少するが、210℃付近から勾配は緩やかになり 260℃以上で再び粘度が減少する。これらの温度上昇に伴うサンプルの状態を偏光顕微鏡下で観察した結果を図 V-25 に示している。100℃ではサンプル全体は明視野を示し結晶状態にあるが、230℃を越えると次第に暗い領域が増し、280℃では完全に暗視野となり非晶の等方性流体になっていると考えられる。これらの結果から TMSC はサーモトロピック液晶を示すことが分かった。したがって、熔融紡糸の加熱温度は 260℃以上の等方相状態で紡糸すれば高強度、高弾性の繊維製造が期待できることが分かった。

セルロース樹脂(セルロース誘導体)の化学構造式

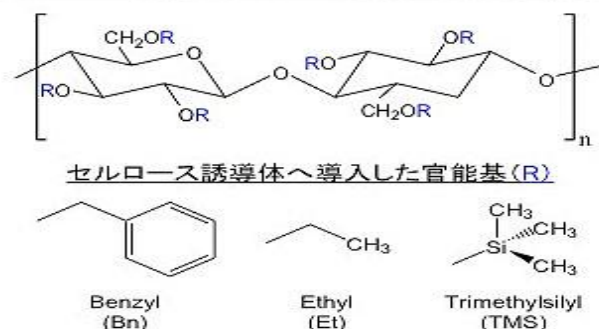


図.V-23 導入したセルロース誘導体の官能基

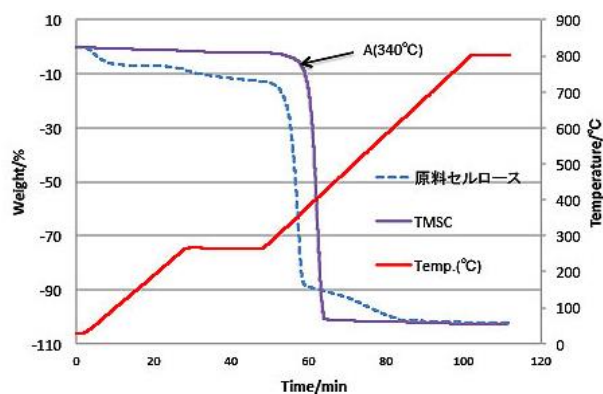


図 V.-24 セルロース誘導体 TMSC の熱分解特性

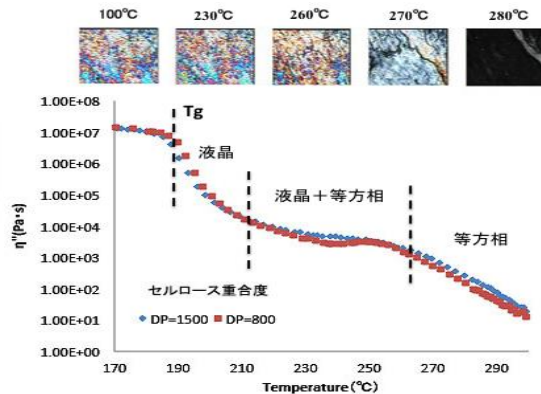


図.V-25 セルロース誘導体 TMSC の熔融粘度特性

c 溶融紡糸法によるセルロース系樹脂の繊維化研究

溶融紡糸装置には一軸押出機(東洋精機製作所、D2025 型)を用いた。セルロース繊維の溶融紡糸工程を図 V-26 に示す。写真(Ⅰ)は一軸押出機(溶融混練部)、写真(Ⅱ)はオリフィスから吐出した直後の溶融紡糸セルロース繊維、写真(Ⅲ)は繊維の巻取工程を示している。口径 1mm~0.4mm のオリフィスを用いて繊維約 20 μ m のセルロースファイバーを連続生産することができた。紡糸条件は一軸押出機温度 260℃~270℃、スクリュウ回転数 10rpm~30rpm、巻取速度は 20~200m/min の範囲で行った。

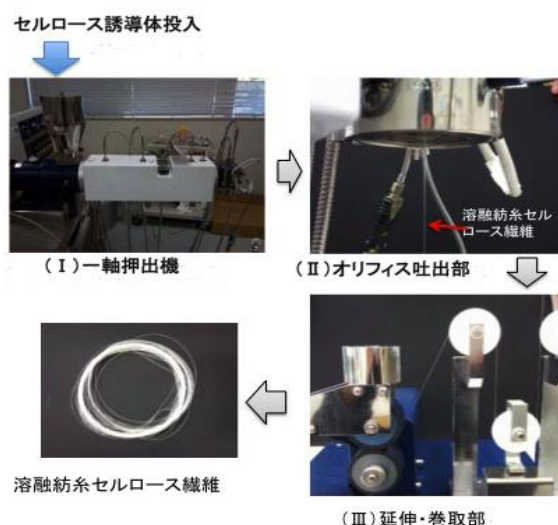


図.V-26 セルロース繊維の溶融紡糸工程

d 溶融紡糸したセルロースファイバーの物性、溶融紡糸条件等研究

溶融紡糸したセルロース繊維の引張強度を測定した。引張強度試験は顕微鏡用加熱冷却延伸装置(ジャパンハイテック、10073B 型)を用いて行った。溶融紡糸したセルロース誘導体(TMSC、EtC、BnC)の結晶状態を X 線回折装置(Rigaku, Rint-2000)を用いて解析した結果、得られたセルロース繊維は I 型、II 型と異なる結晶構造の

強度比較		密度 (g/cm ³)	引張強度 (MPa)	比強度 (MPa)	弾性率 (GPa)	比弾性率 (GPa)
セルロース系繊維	* TMSC*	1.13	696	616	9.4	8.3
	* 脱シリルTMSC	1.5	725	483	24.6	16.4
	テンセル®	1.5	570	380	10-15	6.7-10
	フォレッセ®	1.3	255	196	5	3.8
高強度繊維	ケブラー®	1.43	2793	1953	127	88.8
	ベクトラン®	1.41	2840	2014	104	74.3
	炭素繊維	1.8	4116	2287	235	130.5
	スチール	7.85	2352	300	196	25
エンジニアリングプラスチック	E-ガラス	2.54	2156	849	69	27.2
	ポリエステル(PET)	1.38	930	674	20	14.5
	ナイロン6	1.13	640	566	4.5	4

* 本実験結果

表.V-2 TMSC 繊維と他の高強度繊維との強度

形態を示した。また、引張強度はセルロース重合度の増加とともに増加した。また、TMSC 繊維の延伸による配向状態の変化を、X 線結晶構造解析装置(Rigaku Rapid- II with VariMa-Cu)を用いて解析した結果、配向度は 78.1%から 79%の値を示した。引張強度及び弾性率は延伸倍率の増加とともに増加した。

TMSC 繊維と他の高度繊維との比較を表 V-2 に示す。TMSC 繊維の強度は同じセルロース系で高強度繊維と言われているテンセルよりも 20%大きな値を示し、弾性率はエンジニアプラスチック系のナイロン 6 の 2 倍以上の値を示した。

e セルロース繊維と PP 樹脂の複合化研究

溶融紡糸した TMSC 繊維と PP 樹脂を溶融混練してセルロース繊維強化 PP 樹脂材料を作製した。繊維充填率は 30%一定で行い、PP 樹脂とセルロース繊維界面の接着性を上げるために変性 PP(MPP)を 5%添加した。セルロース繊維強化 PP 材料の物性評価には耐熱試験と耐衝撃試験を行った。耐熱試験は荷重たわみ温度試験 HDT(JIS K7191)を実施した。PP 樹脂単体の熱変形温度は 113℃を示した。一方、セルロース繊維を 30%充填したセルロース繊維強化 PP 樹脂材料の熱変形温度は 152℃を示した。この値は自動車内装部材に要

求される耐熱性の仕様温度をクリアしている。耐衝撃値試験はアイゾット衝撃試験 (JIS K7110 ノッチ付き) を実施した。セルローズ繊維強化 PP 樹脂材料の耐衝撃値は 5.5kJ/m^2 を示し PP 樹脂単体に比べて 30% 増加した。

以上のようにヒノキ等の木質中の主成分であるセルローズ成分を化学処理で誘導体化して製造されたトリメチルシリルセルローズ誘導体 (TMSC) は高い強度物性を示し、樹脂に複合化することで高性能な繊維補強材料が製造できることを明らかにした。本技術は、ヒノキ等の間伐材を高性能材料へ転換して高度利用するために重要となる。

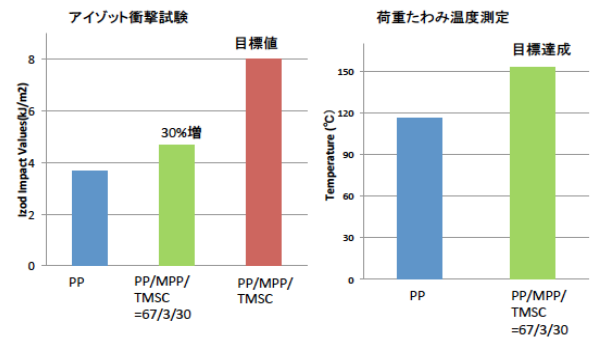


図.V-27 TMSC 繊維強化 PP コンポジットの衝撃強度と熱変形温度

(ク)メカニカルアロイナノファイバーを利用した迅速コンパウンド化技術の実用化(トクラス(株))

(目標)

微粉碎機により製造されたナノファイバーを樹脂と複合化することにより、ナノファイバーの特性を生かした高強度複合材料を開発する。複合化プロセスではナノファイバー表面を改質するためのメカニカルアロイ技術及び樹脂と複合化させるための迅速化コンパウンド手法を確立する。

(成果の概要)

機械的な粉碎時に発生するエネルギーを利用し、ナノファイバーをプラスチックと複合化しやすい形へ効率的に変換するメカニカルアロイ技術を確立し、さらに量産化を実現した。また、ナノファイバーの流動特性(チキソ性)を利用し、含水状態のメカニカルアロイしたナノファイバーを直接プラスチックに混合する新たなコンパウンド手法(迅速コンパウンド化法)を確立し、さらに量産化を実現した。

迅速コンパウンド化法による量産物を用いて成形性評価を実施し、目標とする成形材料の性能を発揮させた。また、汎用成形設備による製品製造を実証した。さらにこれら開発技術を基盤として市場要求(供給量、コスト等)に対応できる生産システムを構築できた。

(成果の詳細内容)

a メカニカルアロイ条件の検討

(a)遊星型ボールミルを利用したメカニカルアロイナノファイバーの合成

木粉と表面処理剤を同時に添加し、遊星型ボールミル(フリッチュ社、クラシックライン P-5)でナノファイバー化と同時に表面処理が実現できるメカニカルアロイ手法を検証した。その結果、表面処理剤後添加(ナノファイバー化後、表面処理剤を添加した場合)と比べ、少量の表面処理剤で表面改質が実現できることが明らかになった(図 V-28)。これは、粉碎時に、木粉表面が活性化(ラジカル状態になり)されることで、表面処理剤と木粉との反応性が高まったことが予想される。以上より、木材から前処理なしでダイレクトに ナノファイバー化と表面処理が実現するメカニカルアロイ手法を実現した。

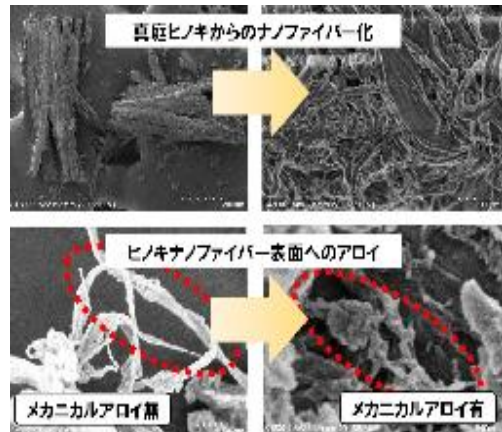


図.V-28 遊星型ボールミルによるナノファイバー化及びアロイ検証

(b)メカニカルアロイナノファイバーの改質レベル評価

メカニカルアロイ時の表面処理剤とプラスチックの界面強度の関係を評価した。親水性のナノファイバーと疎水性のプラスチックの界面強度を向上させるためには、両極性を有した素材が有効であることが分かり、ウッドプラスチック等で用いているマレイン酸変性の樹脂が有効であることが確認された。

(c)量産設備を利用したメカニカルアロイナノファイバーの合成

量産想定設備としてビーズミルをテストした。メカニカルアロイのメカニズムは遊星 BM

もビーズミルも変わらないため、表面処理性能は同等であった。量産性においては、モリマシナリー(株)が製造したナノファイバーを利用し、表面処理剤と 1:1 となる配合で本プロジェクトの目標生産能力である 20t/年の生産に対応できる量産性の確保を実現した。

b メカニカルアロイナノファイバーのコンパウンド特性及び成形評価

(a) ホモミキサを利用したコンパウンド化評価及び成形体の評価

後述する迅速コンパウンド化法で、メカニカルアロイナノファイバーとポリプロピレンをコンパウンド化し、50t 射出成形機でダンベル形状に成形した成形体で引張強度を測定した。少量のナノファイバー添加量で高い補強効果を発現した(ナノファイバー添加量 0.5%で、一次目標とする成形体強度を達成した)。(図 V-29)

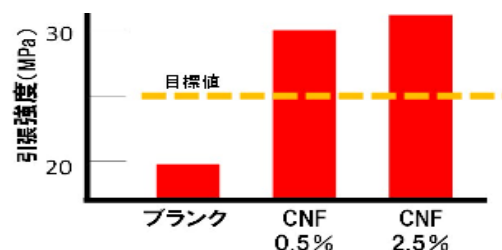


図.V-29 メカニカルアロイナノファイバーの強度特性

(b) メカニカルアロイナノファイバーによる成形体評価

本プロジェクトでは、マスターバッチ状態で製品化するため、成形時の分散性(マスターバッチ性)は重要である。マスターバッチ性は、コンパウンドベース樹脂に影響することが確認され、ベース樹脂の融点、改質レベルを制御し、後述



図.V-30 メカニカルアロイナノファイバーの強度特性

する迅速コンパウンド化法を用いることで、従来手法では実現できなかった、マスターバッチ性が確保できた(図 V-30)。また、この配合における流動性は通常の射出成形機、金型で生産できる流動を確保した(MFR=26.9g/10min)。

c 新規迅速コンパウンド化検証

(a) 迅速コンパウンド化手法に適合する装置の検証

含水ナノファイバーをプラスチックに直接的に混合するためには、混練時に強いせん断力が重要である。ナノファイバーはせん断時に配向することで粘度が下がる特性(チキン性)を有していることから、図 V-31 左に示すメカニズムを構築した。このメカニズムでは、水の沸点以下の低融点樹脂、高せん断、かつ真空で含水を除去できる機構の混練機が必要となる。各種市販の装置で検証した結果、図 V-31 右に示すインク等を混合する遊星回転型のミキサが最適であることを確認した。

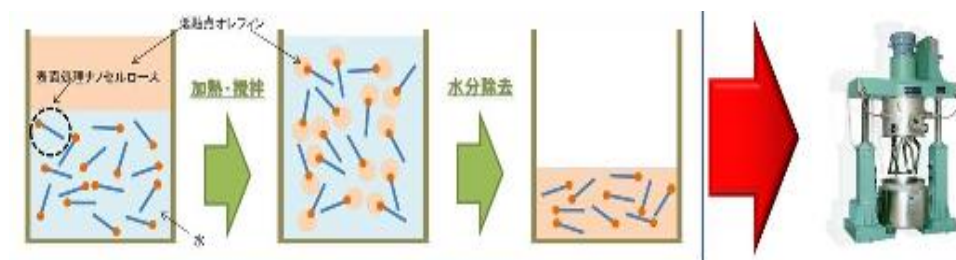


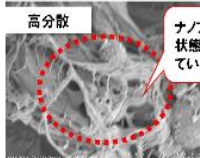
図.V-31 迅速化コンパウンド法モデル及びこのモデルに対応する生産装置

(b) 生産性の評価及びコンパウンド生産条件が性能に及ぼす影響の検証

遊星回転型のミキサを用い、生産条件（水除去のための真空ポンプ運転条件、コンパウンドの壁面付着を防止するディスペルサーの有無）がコンパウンドに及ぼす影響を評価した。図 V-32 には、コンパウンド生産条件と生産性、分散性の関係を示す。真空ポンプの影響は生産性に現れ、分散性は、ディスペルサー設置で制御できることが確認された。

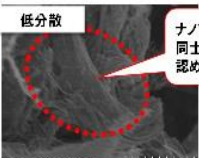
真空ポンプ	ディスペルサー	混練時間	分散性	コンパウンド条件 ◆設備: 5L 遊星回転ミキサ ◆混練温度: 100℃ ◆回転数: 50rpm ◆ディスペルサー: 6800rpm ◆仕込み量: 1.375kg
無し	有り	6時間	○	
小型ポンプ	有り	2時間	○	
小型ポンプ	無し	2時間	×	
大型ポンプ	有り	1時間	○	

高分散



ナノファイバー状態で分散している

低分散



ナノファイバー同士の凝集が認められる

図.V-32 迅速化コンパウンド法モデル及びこのモデルに対応する生産装置

d コンパウンド量産化及び成形評価

量産化設備スペック、レイアウト構築及び量産試作の実施では、各種実証結果を基に、コンパウンド生産量として 200t/年に対応できる設備の選定、生産レイアウトを構築した(図 V-33)。迅速コンパウンド化手法等通常のコンパウンドに比べ新規の手法を用いてはいるが、生産設備に関しては市販の装置を用いているため、投資負荷は汎用のコンパウンド設備と変わらない結果となっている。

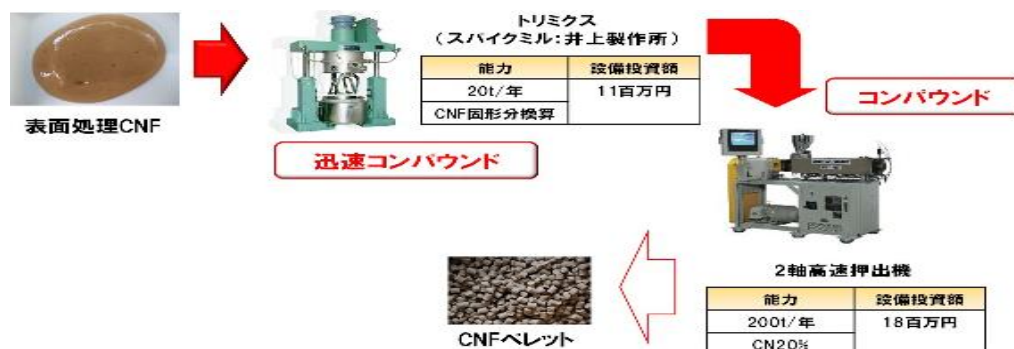


図.V-33 コンパウンド量産システムのレイアウト

e 量産コンパウンドの性能確認と原価計算

図 V-34 には、前述した量産装置で製造したナノファイバーマスターバッチを用いた成形体の性能評価を示す。ナノファイバー1%添加にて、汎用の射出成形機で成形試験を実施、目標とする機械的性能を確保し、高分散性(マスターバッチ性能)を確保した。これらのデータは、ビジネスモデルへ反映させた。

	引張強度	引張弾性率	 量産試作品にても高い分散性を確保
ブランク	28.9MPa	1.73GPa	
1%CNF複合材	40.3MPa	2.30GPa	

量産品コンパウンドを用いた成形体にて目標性能を達成

図.V-34 量産コンパウンドの評価

f ユーザーワーク

量産試作したコンパウンドにて、自動車部品製造メーカーの実ラインを使用し、大型成形部材であるラジエーターシュラウドを問題なく製造できることを立証し、セルロース学会等の公的な場を利用した普及啓発活動にて配布したノベルティ用ナノファイバー用コンパウンドを量産提供した。

(ケ) 県産ヒノキ・スギ間伐材を用いた高規格木粉製造技術に関する研究

(岡山県農林水産総合センター森林研究所)

(目標)

真庭木材事業協同組合における高規格木粉製造開発に資するため、実証試験に基づき製造方法を検討し、製造ライン及び事業モデルを提案する。また安定的な木粉生産及び事業展開に資するため、品質管理及び付加価値向上につなげる。

(成果の概要)

a-1 製造ライン機種選定に関する支援

木粉製造ラインの主要装置となる原料乾燥機及び粉砕機について情報収集を行い、それぞれ 5 機種の候補選定を行い、各メーカー工場において、実生産規模を想定した性能実証試験を実施した。処理能力・コスト等を総合的に評価した結果それぞれ最良と判断された乾燥機及び粉砕機が、真庭木材事業協同組合において導入された。

a-2 WPC メーカーへの納品(実用化)のための製品製造テスト

木粉製造ラインへ導入される装置から得られた2種類の製法による木粉を、WPC メーカーの実製品製造ラインへ供し、製品製造及び性能テストを実施した。両者とも、問題なく製品製造が可能であった。また、WPC 製品の納品先企業における製品性能テストにも合格した。この結果により、真庭木材事業協同組合の WPC メーカーへの販売実証が可能となった。

a-3 事業モデルの提案及びコスト計算

製造ラインへ導入される各装置の特性及び各種試験結果を考慮した木粉生産事業モデルを提案し、これに基づく事業コスト試算を行いビジネスモデルへ反映させた。

b 高規格木粉品質管理に関する研究

木粉の製造条件(粉砕方法、粒度、形状特性)が WPC の物性に及ぼす影響について、基礎的な調査を行った結果、品質管理において有益な木粉特性評価指標を見出した。

(成果の詳細内容)

a-1 製造ライン機種選定に関する支援

(a)粉砕機選定のためのテスト

①各粉砕機メーカーにおける木粉の試作

事前の情報収集により表 V-3 に示す 5 機種を選定し、ヒノキオガ粉を原料とし、一定の粒度(500 μ m $\sim$ 150 μ m)を目標に各メーカーにおいて、実機を用いた粉砕テストを行った。分級機能のない機種においては未粉砕や過粉砕の発生が多く、粉砕後、ふるい機を用いて別途粒度調整が必要があるため、そうした工程・付帯設備を省略できる分級機能内蔵型が、イニシャル及びランニングコスト面から望ましいと考えられた。

表.V-3 各種木粉の製造

粉砕機	粒度調整処理方法	木粉記号
機種A	別途、篩いを利用	A
機種B	分級機能(スクリーンメッシュ)を内蔵	B
機種C	分級機能(気流分級装置)を内蔵	C
機種D	別途、篩いを利用	D
機種E	分級機能(スクリーンメッシュ)を内蔵	E

②各種粉碎機で試作した木粉の評価

各種粉碎機で試作した木粉をマイクロスコープで観察し、形状特性評価を行った結果を表 V-4 に示す。凹凸度(=周囲長²/面積/4 π)は 1.0 に近いほど、嵩密度は大きいほど、安息角は小さいほど、WPC (混練型ウッドプラスチック) 製品メーカーにとって木粉の扱いが容易となる。また、粒度分布は目標粒径範囲内の割合が大きいほど、製造工程におけるトラブルを回避できる。これらの観点から、木粉 B が最良であると考えられた。

木粉 記号	面積 (mm ²)	周囲長 (mm)	凹凸度	嵩密度 (g/cm ³)	安息角 (度)	粒度分布(μ m、%)		
						500以上	500～100	100未満
A	0.11	1.45	1.87	0.17	44	1.9	95.1	3.0
B	0.09	1.18	1.54	0.18	45	0.0	99.1	0.9
C	0.07	1.12	2.41	0.16	50	1.6	85.8	12.5
D	0.10	1.42	2.50	0.15	55	7.2	90.6	2.2
E	0.11	1.48	2.43	0.14	58	0.7	98.6	0.8

表.V-4 得られた木粉の特性

③WPC の押出特性評価

県内の WPC メーカー(日本ジー・オー・アール(株))の試験機(2 軸押出)により、木粉とポリプロピレン粉末を押出機内部で加熱・混練しながらシート状に押出成形した。木粉とポリプロピレン粉末の配合比は 1:1 とし、添加剤等は使用していない。押出時の状況について複数の観点から評価を行った結果を表 V-5 に示す。ホッパー、サージング、ファイラー、シート表面の状況が良好であることが品質を確保するため必須である。また、ロール速度(押出速度)が早くなるほど WPC 製造効率が高く、WPC の強度も大きくなるので望ましい。これらの観点から木粉 B が最良であると考えられた。

木粉 No.	押し出し状況(3:良、2:可、1:不可)				ロール速度 m/min	【用語解説】	
	ホッパー	サージング	ファイラー	表面			
A	3	3	3	3	0.60	ホッパー	投入ホッパーで詰まりが生じないか
B	3	3	3	3	0.66	サージング	WPCシートが安定して押し出されているか
C	3	3	3	3	0.57	ファイラー	プラスチックと木粉の混ざり具合
D	2	3	3	2	0.57	表面	WPCシートの表面性状に問題はないか
E	3	3	3	3	0.50	ロール速度	WPCシートの巻き取り速度＝押出速度

表.V-5 WPC の押出試験の状況

④WPC の基礎物性評価

県内の WPC メーカーで試作した WPC シートの各種物性について試験した。表 V-6 はメーカーの社内基準値に対する比(物性値/基準値)である。各物性評価要素欄の「最小値」及び「平均値」がいずれも大きいほど望ましく、木粉 B が最良である。

原料 木粉 記号	比重	曲げ強さ (Mpa)		曲げヤング (Mpa)		引張り強さ (Mpa)		引張り伸び (%)		熱たわみ特性 (℃)		衝撃曲げ強度 (kJ/M ²)		物性評価要素	
		縦	横	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横	最小値	平均値
A	0.97	0.95	1.14	0.91	1.23	1.05	0.86	1.36	0.64	1.03	1.21	2.70	3.33	0.64	1.34
B	0.98	0.90	1.14	0.91	1.05	0.89	0.93	1.43	0.86	1.04	1.20	2.75	3.40	0.86	1.34
C	0.94	0.87	1.03	0.69	0.93	0.89	0.86	1.29	0.71	0.92	1.13	2.50	3.33	0.69	1.24
D	0.95	0.90	1.10	0.70	0.93	1.00	0.93	1.43	0.79	0.96	1.18	2.20	3.27	0.70	1.26
E	0.95	0.82	1.03	0.76	1.12	0.84	0.79	1.43	0.71	0.89	1.18	2.45	2.47	0.71	1.19

表.V-6 各種木粉を用いた WPC の基準値に対する物性

(b)乾燥機選定のためのテスト

熱源として木質燃焼炉の利用が可能な連続式乾燥機であり、真庭バイオマス集積基地のサイロ棟の指定区域(W×L×H = 9m×15m×8m)に収まること等を条件とした事前の情報収集により表 V-7 に示す 5 機種を選定し、各メーカーにおいて実機を用いた乾燥テストを行った。連続的にヒノキオガ粉(含水率 40～50%、粒度 150 μm～3mm)を連続投入(500kg/hr)し、仕上がり含水率

乾燥機	検討項目および評価					
	①	②	③	④	⑤	⑥
機種F	◎	○	○	○	-	排風機 集塵機
機種G	○	△	△	○	フレキシブル ルシュート	送風機 排風機 集塵機
機種H	○	○	△	△	-	-
機種I	△	○	○	△	フレキシブル ルシュート	送風機 排風機 集塵機
機種J	×	○	△	○	-	-

表.V-7 乾燥機の総合評価

6%を目標とした性能実証を行った。総合的な評価項目として下記の 6 点を確認した。

- ① 求められる乾燥能力(生産量、含水率調整)を有するか
- ② 乾燥機の操作性は良いか
- ③ 機械立ち上がり(原料投入が可能な状態)までの時間が短い
- ④ 粉塵爆発、乾燥物引火への対応等、安全装置の充実度
- ⑤ 取替を要する比較的高額な消耗品があるか
- ⑥ 原料供給機以外に送・排風機、集塵機など、付帯設備の必要性

以上の性能、作業性、安全性、イニシャル・ランニングコストを総合的に勘案して、機種 F のロータリー式ドライヤーが最善機種と考えられた。

a-2 WPC メーカーへの納品(実用化)のための製品製造テスト

木粉製造ラインへ導入が決定した装置を用いて製造した木粉による WPC 自動車部品(リアパッケージトレイ及びトランクサイドトリム)製造テストを、県内 WPC メーカーの実生産ラインを用いて実施した。粉碎木粉及びオガ粉から目標粒度区分を分級した「篩い木粉」を供した結果、両者とも問題なく製品製造が可能であった。また、製造されたリアパッケージトレイ及びトランクサイドトリムは、納品予定先の企業において、それぞれ 18 項目及び 16 項目からなる性能テストに供されたが、いずれにおいても合格した。また、木粉製造ラインの完成後、実ラインにより製造された各種木粉について再度同様のテストを実施し、合格した。

a-3 事業モデルの提案及びコスト計算

オガ粉から目標粒度区分を分級した「篩い木粉」を用いても、WPC 製品製造及び製品性能テストをクリアできたため、製造コストの小さい「篩い木粉」生産を軸とした事業モデルを提案し、真庭木材事業協同組合に採択された。図 V-35 に事業モデルの概略図を

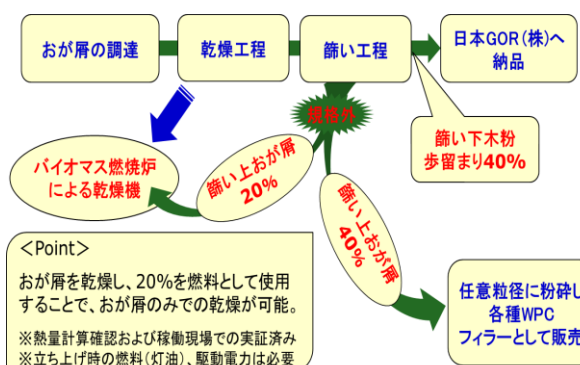


図.V-35 木粉事業モデル

示す。熱量計算の結果、乾燥後のオガ粉の中、約 20%を燃料として使用することで、オガ粉のみによる乾燥が可能となる。残りの約 40%のオガ粉を粉砕機で任意粒径に粉砕し、様々な需要に対応する木粉を生産可能である。この事業モデルを用い、種々の条件設定におけるコスト計算を行い、ビジネスモデルに反映させた。

b 高規格木粉品質管理

【実践方法】

(a) 木粉の製造方法

ヒノキオガ粉(含水率約 40%)を連続式熱風ロータリードライヤー(出口側熱風温度約 90℃)で含水率約 8%まで乾燥し、開口 808 μm 及び開口 490 μm の網を用いた多段振動ふるいにより分級した。開口 490 μm の網を通過したオガ粉をそのまま切削式粉砕木粉として用いた。開口 808 μm の網を通過し、開口 490 μm の網に残ったオガ粉は、ハンマーミル及びディスクミルを用い、上限粒径 500 μm を目標として粉砕し、それぞれ衝撃式・磨砕式粉砕木粉として用いた。これら 3 種の木粉を更に振動ふるいにより 3 水準に粒度分級することにより、計 9 種の木粉を製造した。

(b) WPC 試験片の製造方法

表.V-8 各種試験片の記号及び製造条件

試験片記号 (種別)(粒度)		原料木粉製造条件		原材料配合割合(重量比)
		粉砕条件	粒度調整	木粉 : PP : MAPP
SD	L	おが屑 (切削式粉砕)	#40(目開き0.425mm) on	50 : 48 : 2
	M		#40 pass、#80(目開き0.180mm) on	
	S		#80 pass	
HM	L	ハンマーミル (衝撃式粉砕)	#40 on	
	M		#40 pass、#80 on	
	S		#80 pass	
DM	L	ディスクミル (磨砕式粉砕)	#40 on	
	M		#40 pass、#80 on	
	S		#80 pass	

真空乾燥機を用い、60℃で含水率約 3%に調整した各種木粉とポリプロピレン(PP)及び相溶化剤(MAPP)の粉末を攪拌混合し、2 軸混練装置((株)東洋精機製作所製ラボプラストミル 4C150)を用い、170℃・ブレード回転数 60rpm で 20 分間混練した。各種コンパウンドを粗粉砕し、180℃のホットプレスと 20℃のコールドプレスを用いて、厚さ約 0.5mm のシートに成形した。各種シートから、引張試験片(JIS K 6251 ダンベル状 3 号形)を 8 体～10 体ずつ切り出した。各種試験片の記号及び製造条件を表 V-8 に示す。なお、得られた試験片の密度は、種類に関わらず 1.13～1.16g/cm³ の範囲内にあった。

(c) 各種木粉の粒度測定及び特性値評価

レーザー回折式測定装置(堀場製作所(株)製 LA-950V2)を用い、平均粒径及び分布形状の指標となる「均一度(60%累積頻度径÷10%累積頻度径)」を測定した。次に、パウダテスト(ホソカワミクロン(株)製 PT-X)を用い、安息角、嵩密度(ゆるめ・固め)、「圧縮度(1-ゆるめかさ密度÷固めかさ密度)」を測定した。

(d) 各種コンパウンド特性値評価及び試験片の引張強度試験

ラボプラストミルによる各種コンパウンドの混練トルク及び各種コンパウンドの MFR(メルトインデクサー((株)タカラ・サーミスタ製、L240)JIS K 7210 A 法準拠)を測定した。

次に、これらコンパウンドより作製された試験片の引張強度試験を、卓上強度試験機((株)エー・アンド・デイ製、RTG-1250)を用い、クロスヘッド速度 0.5mm/min にて行った。

【結果及び考察】

(a) 各種試験片の引張強度

各種試験片の引張強度(σ_t)を図 V-36 に示す。また分散分析による多重比較検定の結果を表 V-9 に示す。いずれの木粉種別においても、木粉粒度が最も小さい区分(S)を用いた試験片が、その他粒度区分の試験体に比較して σ_t が有意に向上した。また、木粉粒度区分が同じ場合、ディスクミルにより製造した木粉(DM)を用いた場合に、その他木粉種別の試験体に比較して σ_t が向上する傾向が認められ、一部で有意差が認められた。ディスクミル等で木粉表面を毛羽立たせたほど、WPC の強度が向上する報告があり、本結果も同様の変化に起因したものと考えられる。

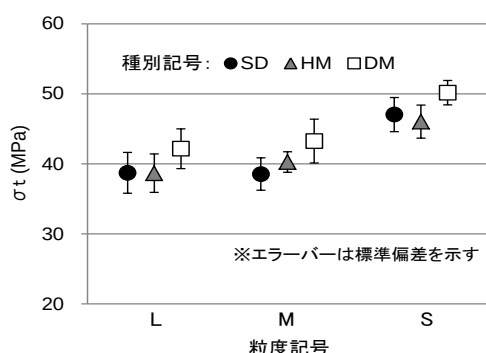


図.V-36 各種試験片の引張強度

表.V-9 各種引張強度の多重比較検定結果

記号		SD			HM			DM		
		L	M	S	L	M	S	L	M	S
SD	L			**			**		**	**
	M	1.00		**			**		**	**
	S	0.00	0.00		**	**		**	**	**
HM	L	1.00	1.00	0.00			**		**	**
	M	0.89	0.84	0.00	0.89		**		**	**
	S	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00		**		**
DM	L	0.06	0.05	0.00	0.07	0.74	0.02			**
	M	0.01	0.01	0.06	0.01	0.23	0.32	0.99		**
	S	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	

※表中の数値はp値を、**は有意水準(1%)を示す。

(b) 木粉及びコンパウンドの特性と試験片引張強度との関係

各種試験片引張強度(σ_t)の平均値及び原料木粉とコンパウンドの特性値を表 V-10 に示す。これらの値について無相関検定を行った結果、 σ_t 平均値に対し、MFR・安息角・固め嵩密度については帰無仮説($r=0$)が棄却されない一方、混練トルク平均値・平均粒径・ゆるめ嵩密度・圧縮度・均一度については棄却され(いずれも $p<0.01$)、相関係数も十分大きい(いずれも $r>0.8$)。すなわち、強度に影響を及ぼす原料特性指標として、木粉粒度に関しては平均径及び均一度が、木粉形状に関してはゆるめ嵩密度及び圧縮度が、コンパウンドに関しては混練トルクがそれぞれ有用である可能性が示唆された。

表.V-10 試験片の引張強度平均値及び原料木粉とコンパウンドの特性値

記号		σ_t (Mpa)	MFR (g/min)	トルク 平均値 (N・m)	平均 粒径 (μ m)	安息角 (度)	かさ密度(g/cm^3)		圧縮度 (%)	均一度
							ゆるめ	固め		
SD	L	38.7	0.23	12.7	570	43.8	0.16	0.19	18.8	1.70
	M	38.5	0.40	12.9	388	49.0	0.17	0.21	18.9	1.90
	S	47.0	0.32	15.0	150	42.7	0.14	0.23	38.8	3.50
HM	L	38.7	0.14	13.2	577	45.2	0.18	0.22	20.4	1.60
	M	40.3	0.32	13.4	390	46.6	0.16	0.22	26.0	2.20
	S	46.0	0.25	17.1	95	52.6	0.08	0.17	50.8	5.90
DM	L	42.2	0.31	14.7	553	48.0	0.16	0.21	23.1	2.00
	M	43.3	0.38	13.8	398	47.8	0.17	0.24	27.1	2.30
	S	50.2	0.24	16.8	86	56.4	0.09	0.19	51.6	5.60

イ 新エネルギー複合利用システムセクション

- ◆セクションリーダー コアテック(株) エコロジー事業部・取締役事業部長 光畑共久
- ◆参画機関、協力機関 コアテック(株)、岡山県立大学、三菱化学(株)
- ◆テーマ 地域特性を生かす新エネルギー導入のためのエネルギー需給マネジメントの研究

(ア) 地域に応じたコンパクトな自然エネルギー複合利用技術の開発(コアテック㈱)

(目標)

発生が不安定な新エネルギーを有効に利用するために、二次電池を活用した蓄電・制御技術及び独自開発の負荷追従発電技術などを一体化した高効率自立型電力供給システムを開発する。具体的には、リチウムイオン電池を用いて 85%以上の高効率充放電の検証、薄膜を含む太陽電池の開発と設置及び小型風力発電設備の開発と設置を行い、ナノファイバーの製造に必要な全エネルギーを新エネルギーで供給するとともに、バイオマス集積基地における全消費エネルギーの 25%以上を新エネルギーで供給するシステムを導入し、構築する。

(成果の概要)

バイオマス集積基地のエネルギー附存量調査を岡山県立大学と共同で行った。また、軽量の薄膜太陽電池モジュールの開発を行い、ロール成形機を導入し量産化を図った。系統連系可能な小型風力発電の設計を行い、運転試験を経て小型風力発電機を完成させた。木質バイオマス発電装置の調査、基礎実験を行い小規模バイオマス発電の導入性について検討を行った。リチウムイオン蓄電池システムを構成し、太陽光の電力を充電し、直流放電する間の充放電効率 $\geq 90\%$ を達成し、直流放電後の交流変換を含む充放電効率 $\geq 85\%$ を達成した。フォークリフト搭載型リチウム電池を開発し、太陽光発電から余った電力を充電させる構造を完成させた。毎年、製作・設置を行い最終的に定格容量110kWの太陽光発電を設置した。



図.V-37 真庭バイオマス集積基地 太陽電池設置状況

(成果の詳細内容)

a バイオマス集積基地のエネルギー附存量調査

バイオマス集積基地の消費電力、未利用木質資源の収集量、日射量・風力量の調査及び評価を岡山県立大学と共同で実施した。その結果、チップ平均生産量480t/月(2010年度)ベースでの使用電力量は、年間161,000kWh、ピーク(2月)16,920kWh、契約容量147kW、工場運転時定常負荷平均約70kW、5分間値ピーク270kW、工場停止時負荷10kW(待機電力)というデータを得た。なお、未利用材・樹皮2,000t(倒木、チップ生成時に発生する樹皮バークを含む)が収集されていることが分かった。また、日射量は年平均3.2kW/m²、風速は平均0.83m/sであった。

なお、2011年度から、チップの生産量は大幅に増加(最大825t/月、平均700t/月)している。

b 薄膜系太陽電池モジュールの製作

軽量で施工が容易、かつ安価な薄膜系太陽電池モジュールの開発を行うとともに、壁面やカーポート等の従来は設置が困難であった場所へ容易に設置できる太陽電池の検討を行い、屋根以外へも多くの太陽電池を設置する方法を検討した。さらに太陽電池パネルと屋根の設置空間を利用した空気集熱の実験を行い、木質資源の乾燥用熱としての利用の可能性について検討した。

薄膜太陽電池モジュールでは、「板金加工をする場合の折曲げ工程のスピードアップ」、「接着技術の確立と接着工程のスピードアップ」が製作上の課題であった。折曲げ工程のスピードアップについては、専用のロール成形機を開発し、導入した。これにより2分かかっていた折曲げ工程が10秒(ロール通過時間)と劇的に短縮された。また、接着方法についても、さまざまな接着剤を試した結果、耐候性テープとシーリング接着材の組合せによる接着が最も優れていることが分かった。



図.V-38 ロール成形機と太陽電池モジュール加工二次製品

薄膜(アモルファス)太陽電池を42m²の住宅屋根に設置して実験を行った結果、冬の晴天時の集熱量550kcal/h、集熱効率4~5%、発電効率は5.5%程度という結果が得られ、集熱については期待したほどの効果が得られなかった。よって、太陽熱を利用したチップ・木材の乾燥については、本研究では行わない方向で進めていく。また、耐久性を検討するため、カーポートに太陽電池を貼り付けて暴露試験を行い、表面シートに白濁や劣化のないことが検証できた。

以上の結果に基づき、防草シートと組み合わせた薄膜太陽光モジュールを真庭バイオマス集積基地の未利用地を利用して最終的に定格容量110kWの太陽光発電を設置した。

c 小型分散型風力発電の開発

自社で開発した独立電源用小型風力発電機(翼直径1.5m出力500W)を元に翼直径2m、出力1.5kWの系統連系が可能な系統連系型小型風力発電機の設計の最適化と試作を行い、かつ、部品コストの大幅な低減を図った。その結果、出力500Wタイプに比べて発電能力を3倍に増加させるとともに、コストを1.5倍に抑えた風力発電機を開発した。完成した風力発電機は自社敷地内に設置し、運転状況を引き続き観測を行う。



図.V-39 500W機イメージと2kW機翼加工試験状況

d バイオマス発電設備導入の可能性検討

真庭バイオマス集積基地に集められる木質資源、中でも用途が望めないバーク(樹皮)を燃料にしたバイオマス発電設備導入の可能性について検討を行った。バイオマス発電は、バイオマスをガス化してガスエンジンなどで燃焼させるガス化発電方式、バイオマスをそのまま燃焼して排熱を蒸気で回収して蒸気タービン発電する蒸気発電方式、燃焼熱を直接加熱源として用いピストンを回すスターリングエンジン発電方式、熱電素子を利用して発電を行う熱電素子利用発電方式の4つの方式がある。この内、ガス化発電はガスの発酵設備又はガス化炉の設備が必要であり、また、蒸気タービン発電も純水設備や冷却水などの水処理設備が必要であることなどから小規模の発電装置では経済性が極めて悪く、真庭では導入が困難と考えられる。そこで、スターリングエンジン方式と熱電素子利用発電について導入の可能性を検討した。

スターリングエンジン方式は古くからある技術だが、エンジンの構造上高温化が難しいため、発電効率に限界があること、最新の設備でも発電出力当たりの設備費が200万円/kWであり、太陽光発電の3～4倍と極めて高価である。このため真庭の集積基地への導入には向かない。

熱電素子利用発電方式は熱電素子(ゼーベック効果)を利用した発電方式で、近年、研究が進み優れた製品ができてきたことと素子の値段が下がってきたことから注目を集めるようになってきた。発電効率は低いが、木粉乾燥装置から排出される排熱をいづらかでも電気エネルギーとして回収することができれば、工場の省エネとCO₂排出量の抑制に貢献できるということから、木粉乾燥装置の燃焼炉と排煙搭表面の温度を測定したが、ダクトの表面は断熱素材でしっかり断熱が施されており、表面の温度差を利用した発電は困難と判断され、排煙ダクトに熱交換器を取り付ける等の構造が必要であると判断されここで排熱利用の検討を終了とした。

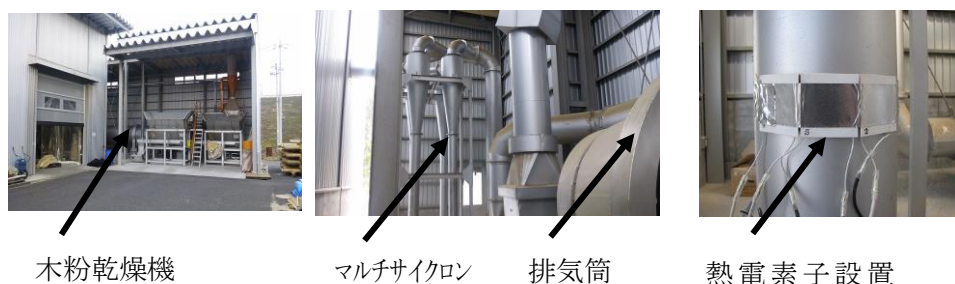


図.V-40 木粉乾燥装置の排熱調査と熱電素子取付状況

e 二次電池の調査研究

太陽電池によって発電された電力は天候によって出力が変化するため変動が激しい。バイオマス集積基地の負荷へ安定的に電力を供給するためのバッファとして二次電池の設置を行う。使用する二次電池として、今後普及拡大とコスト低減が期待されるリチウムイオン電池の製品調査と充放電制御の調査検討を行った。その結果、リチウムイオン電池を従来の定置型蓄電装置に利用されている双方向インバータ方式による充放電装置と組み合わせ、バイオマス集積基地で使用可能な負荷電力に対する電力安定制御を付加したシステムとして開発を進めており、リチウムイオン電池を利用した蓄電装置と充放電を制御するコントローラの設計を行った。実験用簡易型コントローラを試作し、蓄電池の充放電実験と効率の検証を行った。交流から直流への変換は双方向インバータを利用し、リチウムイオン電池への効率は90%以上、交流・直流・交流での充放電効率85%以上が確認できた。

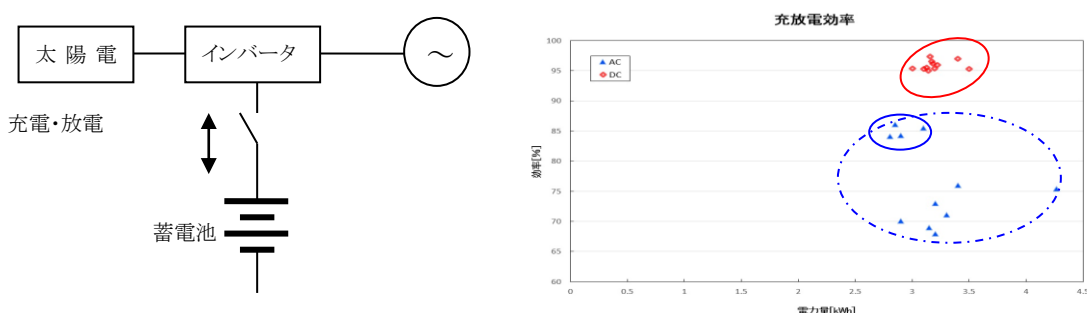
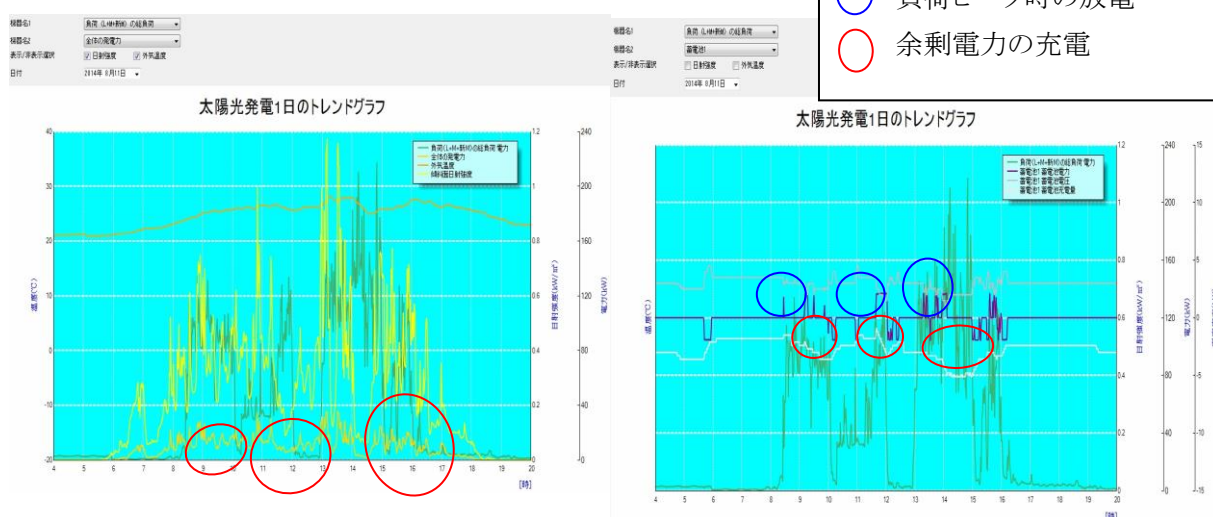


図.V-41 蓄電池の充放電方式と充放電効率の測定結果

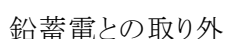
次に定置型リチウムイオン蓄電装置を真庭バイオマス集積基地へ移設し、既に設置を行った太陽光発電装置と負荷電力を監視しながら充放電を制御させるスマートコントローラを組合せ試験運転を行った。工場の負荷電力と発電量を計測しながら、負荷が少なく太陽光発電の電力が余るときには、蓄電池へ充電を行い、負荷電力が多いときには蓄電池に貯めた電力を放電させる制御を確立させ、自動運転が可能になった。このことにより、太陽光発電で余った電力を捨てることなく有効に充電し利用できるようになり、また、負荷電力の多いときにはそのピーク電力をカバーする効果が生まれ、ピークを下げるデマンド効果につながった。

次に太陽電池の発電電力とバイオマス集積基地内の電力需給を昼夜又は日々の単位で

図.V-42 負荷電力と発電量の変化と充放電の様子



開発の手法としては、鉛蓄電池を搭載した標準的な電動式フォークリフトから鉛蓄電池を取り外し、代わりに同じ電力容量のリチウムイオン電池に載せ替えるというものである。しかし、単に載せ替えれば良いというものではなく、リチウムイオン蓄電池は個々の電池セルの充放電を監視し制御する必要があることから、フォークリフトと一緒に搭載するバッテリー・マネージメント・システム(BMS)の開発も行った。図V-43はリチウムイオン電池を搭載するまでの様子である。リチウム電池に変わったことにより車体が軽量になったため、重り(ウエイト)も中に取り付けた。



リチウム電池/BMS の搭載

フォークリフトの試験運

図.V-43 フォークリフトへのリチウムイオン電池搭載

[illegible]

図.V-44 商用電力と太陽電池による蓄電池の充電

ている。更にリチウム電池から負荷である商用電力に向けて放電を行っている。

これら真庭バイオマス集積基地に設置した110kWの太陽光発電設備、蓄電装置、スマートコントローラを利用した新エネルギー複合利用発電装置を完成させた。

(イ) 地域特性を生かす新エネルギー導入のためのエネルギー需給マネジメントの研究

(岡山県立大学)

(目標)

地域や工場におけるエネルギー需要(消費)と太陽光発電・風力発電やバイオマスエネルギーなどの自然エネルギーの供給可能量を基に、これらの自然エネルギーを地域や工場で使用する電力や熱などのエネルギー源として変換・活用する方法とその可能性を見極める。そして、その結果を基に、真庭において自然エネルギーを高効率に利用する「SMART 工場」モデルを構築し、その効果と他の地域への適用の可能性について評価することが目的である。

具体的な目標としては、

- (1) 数学モデルの開発に基づく太陽光発電(以下「PV」という。)と電動式の移動機器を組み合わせた複合エネルギーシステム設計手法の開発。
- (2) 太陽光発電設備と電動式移動機器(フォークリフト 1 台)を組み合わせたエネルギーシステムの導入。
- (3) 真庭バイオマス集積基地(以下「基地」という。)に複合エネルギーシステムを導入(移動機器 5 台を電動化)した場合、チップ生産量 400t/月ベース(平成 21 年度)における CO₂ 排出量を 25%以上削減する。
- (4) 新設するナノファイバーの消費エネルギーを自然エネルギーで賄う。

(成果の概要)

- (1) 基地のエネルギー消費(電力と燃料)と PV の発電量に基づき、1 時間毎の基地のエネルギー需給を予測する数学モデルを構築した。本モデルは 1 年間の季節、昼夜、平日と休日などの需給変化を反映できる。このモデルを用いて基地の複合エネルギーシステムを評価した。
- (2) 太陽光発電設備と電動式フォークリフト 1 台を組み合わせたエネルギーシステムを導入した。
- (3) (2)の実証結果から、複合システムの導入により、チップ生産量 900t/月ベース(平成 25 年度)における基地の CO₂ 排出量は 38%削減できることを明らかにした。なお、複合システムの経済性は設備償却を 14 年とすると、IRR=6.4%と試算される。
- (4) 設置した PV の平成 26 年の実績発電量は 105MWh/年であり、CNF 工場の年間電力需要 30MWh/年(予測値)を賄うことができる。

(成果の詳細内容)

a 真庭バイオマス基地の概略

(a) 物流とエネルギー消費機器

基地内の工場は、図 V-45 に示すように、木材チップを製造するチッププラント棟、パークを粉砕する機械・パークヤード棟、できたチップをためるサイロ棟の設備より構成されている。各棟間の物流には、フォークリフト 2 台、グラブプル 2 台、ショベルローダ 1 台の移動機器が使用されている。

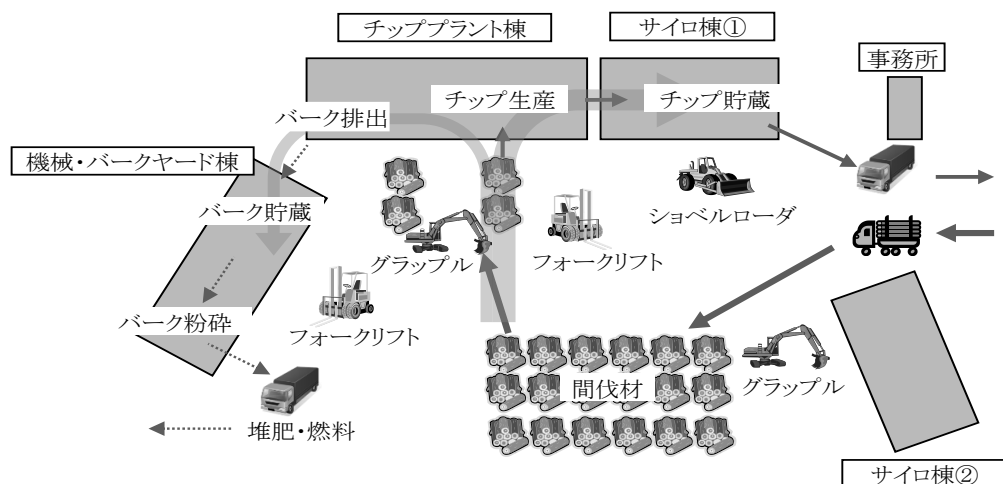


図.V-45 真庭バイオマス集積基地の概要

(b) エネルギー消費とエネルギー消費に伴う CO₂ 排出量の現状

基地で消費されるエネルギーは、木材を処理する機械で消費される電力と、移動機器で消費される軽油である。電力は系統から購入し、基地内のチッププラント棟、機械・バークヤード棟、サイロ棟、事務所等に供給されている。図 V-46 に平成 25 年度の木質チップ生産量 900t/月ベースにおける基地のエネルギー消費に伴う CO₂ 排出量とエネルギー支出の比率を示す。

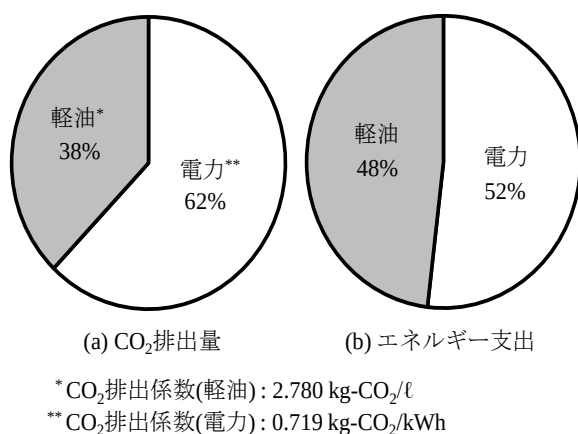


図.V-46 CO₂排出量とエネルギー費用の内訳
(チップ生産量 900t/月ベース)

図 V-46(a)より、基地の CO₂ 排出量の 38%は移動機器が消費する軽油燃料に起因しており、62%は電力の消費に伴い排出されている。これより、基地全体の CO₂ 排出量を削減するためには、電力だけでなく軽油の削減も重要になる。また、図 V-46(b)より、エネルギー支出では、化石燃料の占める割合は 48%である。このことから、単位 CO₂ 排出量当たりのエネルギー単価に着目すると、軽油は電力の 1.5 倍になる。したがって、CO₂ 排出量を経済的に削減するためには、単位 CO₂ 排出量当たりの単価が高い軽油から削減することが重要になる。

(c) チップ生産量当たりのエネルギー消費量

基地における月別の電力消費量とチップ生産量の関係と、月別の軽油消費量とチップ生産量の関係を示したものをそれぞれ図 V-47 に示す。図 V-47(a)より、チップ生産量の増加に比例して電力消費量が増加することが分かる。図 V-47(b)より電力消費量と同様にチップ生産量の増加に比例して軽油消費量も増加することが分かる。したがって、バイオマス集積基地のエネルギーシステムは、将来のチップ生産量を考慮し、それに応じた設計をする必要がある。

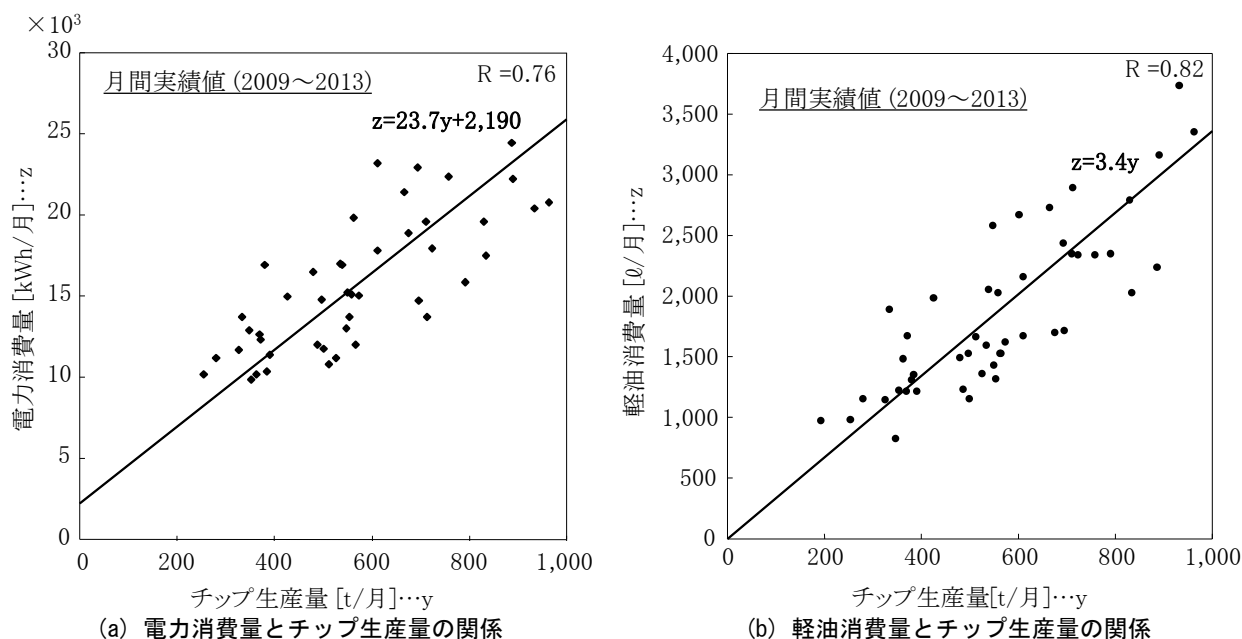


図.V-47 チップ生産量に伴う電力と軽油の消費量

b PVと移動機器を組み合わせた複合エネルギーシステム

再生可能エネルギーを経済的に普及させる方法として、PV と電気自動車を組み合わせた研究があり、CO₂ 排出量を約 20%以上削減できることが明らかにされている。この方法では、電気自動車が PV 電力を動力源にするとともに、電力の需給変動を調整する役割を果たしている。この電気自動車の役割を基地内の移動機器に持たせることができれば、同様の効果が得られると考えられる。つまり、基地内の移動機器を電動化し、PV と組み合わせ、図 V-48 に示すような複合システムを構築することが重要である。

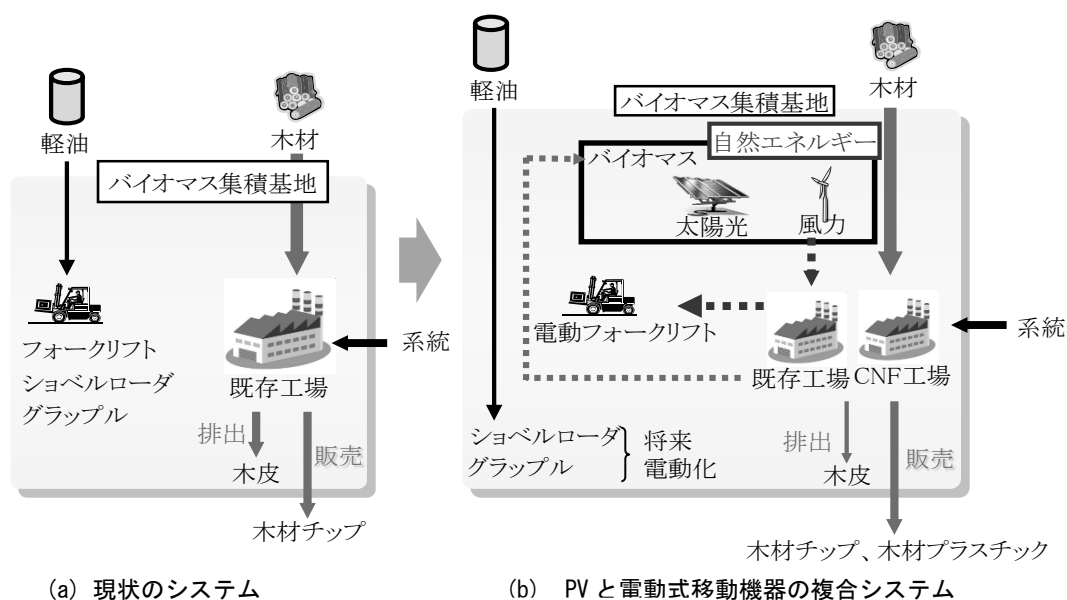


図.V-48 エネルギーシステムの比較

c エネルギー需給モデル

チップ生産量に伴う基地の電力消費量は、式(1)を用いて、1 時間毎のエネルギー需要を時系列に 1 年間分(8,760h)計算できる。これより、既存の電力系統からの供給電力 α_i は、PV 発電量 β_i が分かれば算出できる。

$$\alpha_i + \beta_i = \frac{\sum_{j=1}^5 X_{ij}}{\eta_c} \cdot m_i + E_i \cdot m_i + N_i \quad (1)$$

ただし、

i : 時間[h] ($i=1-8,760$)、 j : 移動機器の機種[-] ($j=1-5$)、 α_i : 既存の電力系統から供給される電力量[kWh/h]、 β_i : PV 発電量[kWh/h]、 m_i : 時刻 i におけるチップ生産量[t/h]、 X_i : チップ生産量当たりの電動移動機器電力消費量[kWh/t]、 E_i : チップ生産量当たりの既存工場の電力消費量[kWh/t]、 N_i : CNF 工場の電力消費量[kWh/h]、 η_c : 充放電効率(0.94)[-]

式(1)において、移動機器の電動化に伴う電力消費量 X_i は式(2)で求められる。

$$X_i = C \cdot Y_i \quad (2)$$

ただし、

Y_i : チップ生産量当たりの軽油消費量[l/t]、 C : 軽油から電力への換算係数[kWh/l]

式(2)より、 C が求めれば、電動フォークリフトの電力消費量が算出できる。この C は実験により求めた。

d 複合エネルギーシステムの導入効果

(a) PV 発電量

真庭基地の屋根と敷地土手に、表 V-11 に示す富士電機製アモルファス薄膜型(面積 1,893m²、出力 110kW)を設置し、平成 26 年 1 月～12 月の 1 時間毎の発電積算実績値を用いた。

図 V-49 に季節毎の時間帯別発電例を示す。また、表 V-12 に月間の実績発電量を示す。図 V-49、表 V-12 より、真庭地域での月間発電量は、冬季の 12 月には、5 月の 20%程度に減少することが分かった。なお、平成 26 年の年間発電量は 105MWh/年であった。

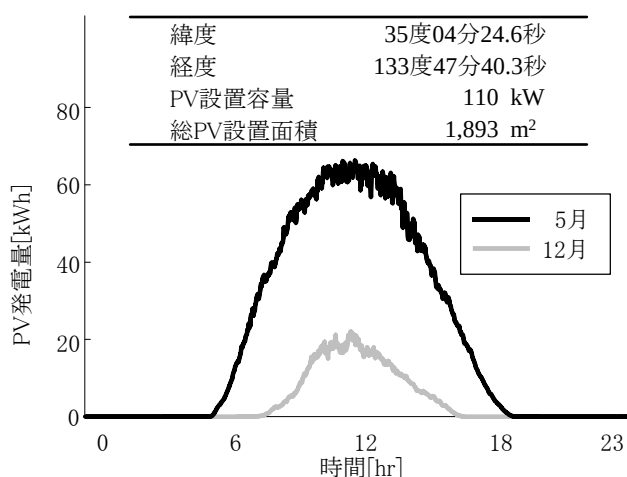


図.V-49 季節毎の時間帯別発

最大出力	90.00 W
単位面積当たりの出力	58.10 W/m ²
モジュール面積	1.55 m ²

表.V-11 PV仕様

(単位; kWh/年)			
1月	3,858	7月	12,968
2月	4,971	8月	8,656
3月	9,205	9月	11,428
4月	11,937	10月	7,103
5月	15,479	11月	4,512
6月	12,296	12月	2,802
年間		105,215	

表.V-12 月間の実績発電量

(b) 電動フォークリフトの電力消費

先の、式(2)の換算係数 C は、同じ性能を持つエンジン式フォークリフトと電動式フォークリフトに全く同じ動作をさせ、両車の軽油と電力の消費量を比較することにより求めた。

フォークリフトの動作には、昇降と走行があり、実験Ⅰは荷物の昇降と走行が混在する場合で、具体的には、1 時間中で可能な動作として、荷物 600kg の昇降 100 回と走行 3km を組み合わせた。実験Ⅱは昇降のみを 144 回、実験Ⅲは走行のみを 12km 行った。これらは各実験Ⅰ～Ⅲにおいて、5 回ずつ実施し、平均値を求めた。

その結果を表 V-13 に示す。これより、各ケースの間に差は小さく、平均 $C=1.38$ が得られた。

表.V-13 換算係数 C の実験結果

	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ	Average
電動式 X_H [kWh/h]	3.33	3.22	3.87	3.47
エンジン式 Y_H [ℓ/h]	2.45	2.35	2.74	2.51
C [kWh/ℓ]	1.36	1.37	1.41	1.38

(c) 既存工場と新設ナノファイバー工場の電力消費

既存工場の 1 時間毎の電力消費の変化を図 V-50 に示す。図 V-50 より、工場の稼働日において、工場の始業時と終業時の電力消費量は、それぞれピークの半分又は半分以上となっている。PV 発電量が 1 日の中で最大になる 12:00～13:00 は昼休みで減少し、また、15 分間の休憩時間にも、電力消費量は減少する。一方、工場が停止する休日は、電力消費は保安用に必要の 2～3 kW まで低下する。PV 電力を有効に使うためには、稼働日と休日での電力消費量の変化を考慮する必要がある。

基地では、既存工場に加えてナノファイバーを製造するナノファイバー工場の新設を考えており、その電力消費量を測定した結果を図 V-51 に示す。図 V-51 より、ナノファイバー工場では、ポンプやモータの起動と停止が図中に示した①～③の形態で繰り返される。

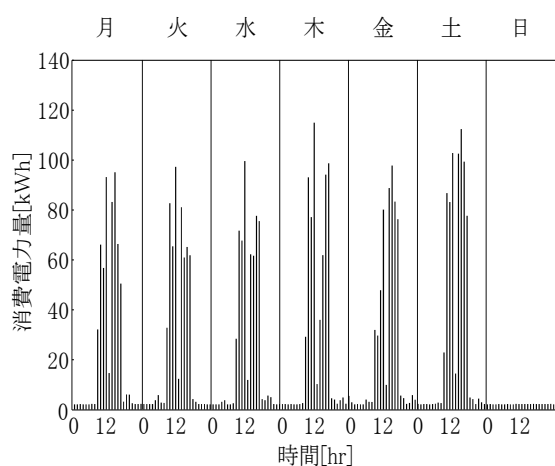


図.V-50 既存工場の 1 時間毎の電力消費例

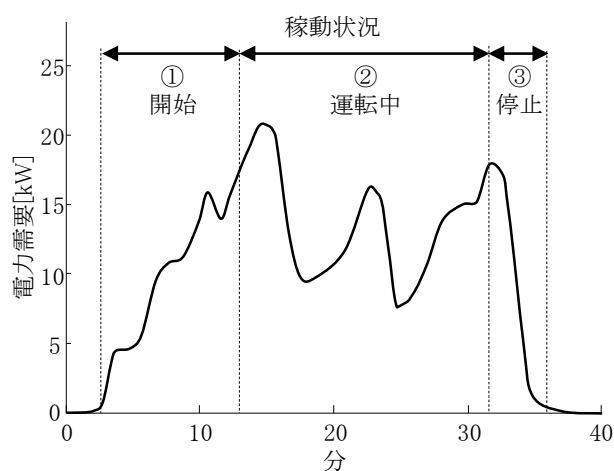


図.V-51 CNF 工場の電力消費例

e 複合エネルギーシステムの評価

先の c 章で述べたモデルと d 章で測定した PV 発電量、既存工場とナノファイバー工場の電力消費量、及び換算係数 C を用いて予測した電動フォークリフトの電力消費量に基づき、提案する複合システムを真庭基地に導入した場合のエネルギー消費の変化を求めた。また、

その結果から、CO₂ 排出量及び複合システムの経済性を評価した。

(a) 基地のエネルギー消費形態の変化

各ケースでの年間に亘るエネルギーバランスを積算した結果を示す。図 V-52(a)に示す現状のエネルギーシステムでは、チップ生産量 900t/月ベースにおいて既存工場では 276MWh/年の電力消費がある。このとき、ナノファイバー工場と合計したエネルギーシステム全体での電力需要は 306MWh/年となる。移動機器は合計で 37kℓ/年の軽油消費量がある。

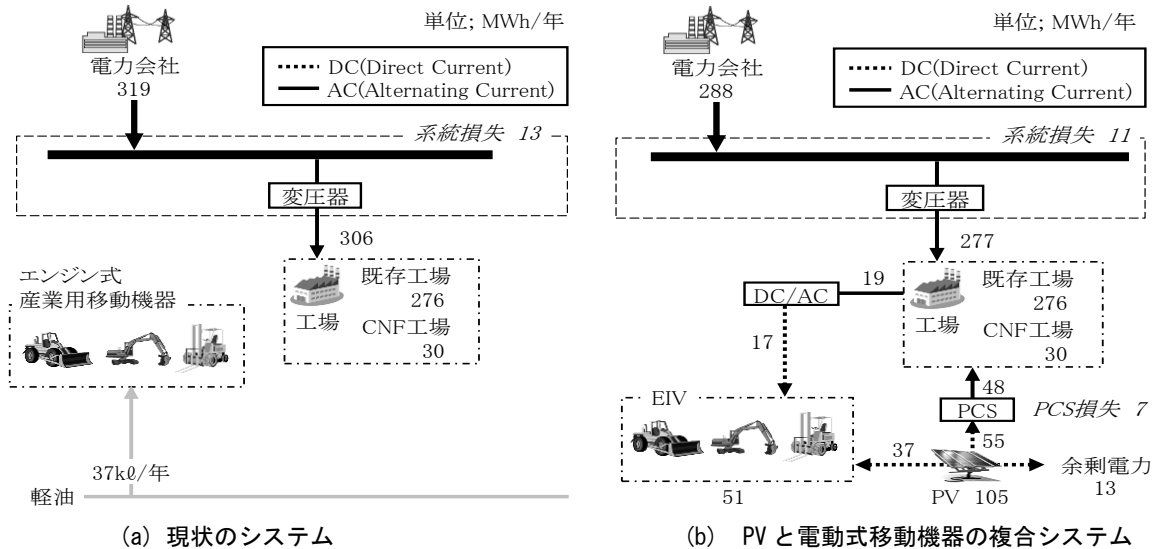


図.V-52 エネルギー収支の比較

図 V-52(b)より、PV 発電量 105MWh/年は、工場へ 48MWh/年、電動移動機器へ 37MWh/年分配される。ナノファイバー工場の電力消費量は 30MWh/年であり、複合システムはナノファイバー工場の電力を賄えることが分かる。

(b) CO₂ 排出量の削減効果

現状システムと提案する複合システムのエネルギー消費と CO₂ 排出量を比較した結果を図 V-53 に示す。

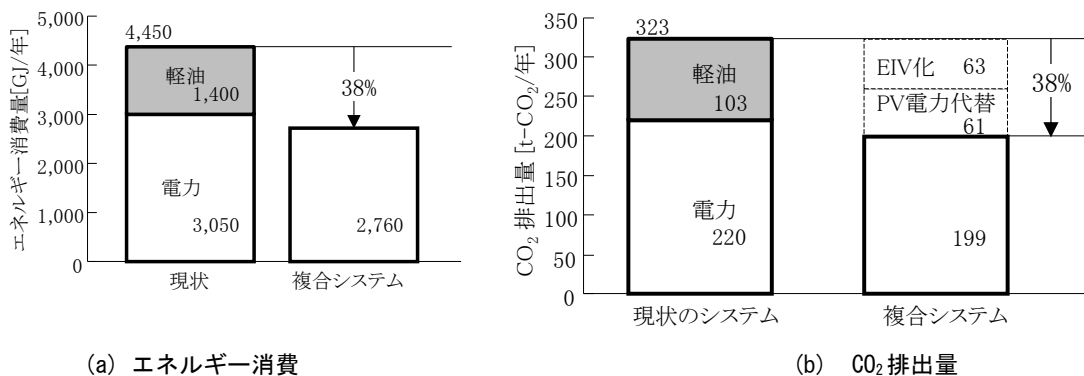


図.V-53 現状システムと提案する複合システムの比較

図 V-53 より、PV と電動移動機器を組み合わせた複合システムの導入により、現状に比べて 38%の CO₂ 排出量の削減が可能であることが分かった。

(c) 経済性の評価

① 検討条件

評価に用いたエネルギー単価、設備投資単価を表 V-14 に示す。表 V-14 の値は平成 26 年の実勢価格を用いた。

表.V-14 経済性評価に用いたエネルギー単価と設備費用

(a) エネルギー単価		(b) 設備投資単価	
軽油	130 円/ℓ	リチウムイオン蓄電池	50 千円/kWh
電力料金	22 円/kWh	PV+設置料金	200 千円/kW
		DC - AC インバーター	40 千円/kW
		充放電制御装置	1,000 千円/台 ×5台

② 評価結果

表.V-15 エネルギー費用と投資費用

(a) エネルギー費用			(b) 投資費用	
	単位; 千円/年			単位; 千円
現状のシステム	PVとEIVを組み合わせた複合システム		PVとEIVを組み合わせた複合システム	
軽油	4,810	0	PV設置費用	26,400
電力	6,730	6,090	充放電制御装置	5,000
支出	11,540	6,090	EIV更新費用	18,000
利益		5,450	合計	49,400

結果を表 V-15 に示す。なお、表 V-15 において移動機器は電動式とエンジン式で蓄電池を除く本体価格は同じとして評価した。表 V-15 より、現状のシステムでは、電力と軽油合計で 11,540 千円/年が支払われている。一方、提案する複合システムでは軽油代が削減されるとともに、系統電力が PV 電力で代替されるため、合計で 5,450 千円/年のコストが削減される。PV と移動機器の初期投資 49,400 千円が必要となり、設備償却を 14 年とすると、IRR=6.4%と試算される。

(ウ)有機薄膜太陽電池実証実験(三菱化学株式会社)

(目標)

機薄膜太陽電池(OPV)モジュールの設計、試作を行い、実証実験を実施し、得られた評価結果より実用化における課題を明らかにする。

(成果の概要)

両面受光タイプの有機薄膜太陽電池モジュールを垂直設置し、実証実験を実施した。

発電量の解析を実施し、周囲の影響(受光面、地面等)を検証し、積雪地域においても有用であることを確認した。今後、有機薄膜太陽電池の更なる性能アップを目指す。

(成果の詳細内容)

a 検査方法及び設計指針

検証方法は

- ・雪地に適した垂直設置とし、積雪時の効果も検証する。
- ・モジュールについては
 - ・外部設置に対応可能な両面ガラス封止モジュールとする。
 - ・意匠性を重視したシースルータイプとし、両面受光の効果もする。

設計指針は

- ・外力(風・地震)に対し、必要最低限の強度を保有する。
- ・発電状況をリアルタイムで監視できるシステムとする。
- ・実証実験を見学者にアピールできる見せ方とする。

b 発電システム概要

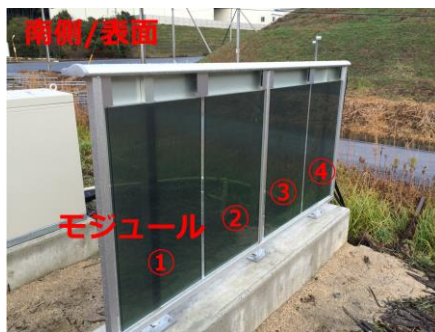


図.V-54 モジュール及び計測装置の設置状況

c 実験の目的と検証方法

(1)基本データ取得



12/4 : 設置工事

(2)両面受光の効果検証



1/14 : モジュール①②の
裏面に遮蔽板設置

(3)積雪による効果検証



2/18 : 南面地面に積雪を模した
反射シートを設置

(4)両面受光の効果検証 2



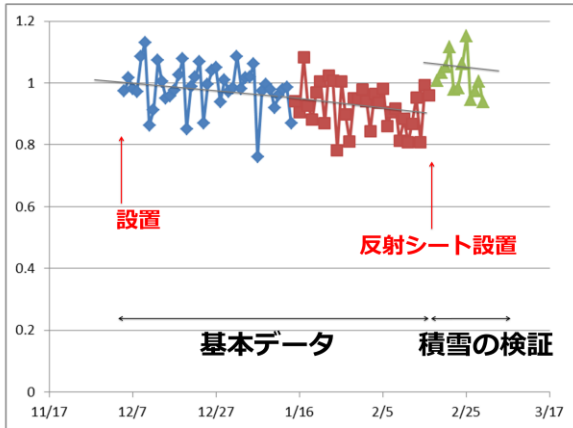
2/27 : 遮蔽板を裏から
表面に変更

図.V-55 各検証項目の状況

d 検証結果

- ・反射シート設置により、約1～2割発電量が増加した。
- ・南面(表面)約8割、北面(裏面)約2割の発電量となった。

モジュール③データ



モジュール②のデータ

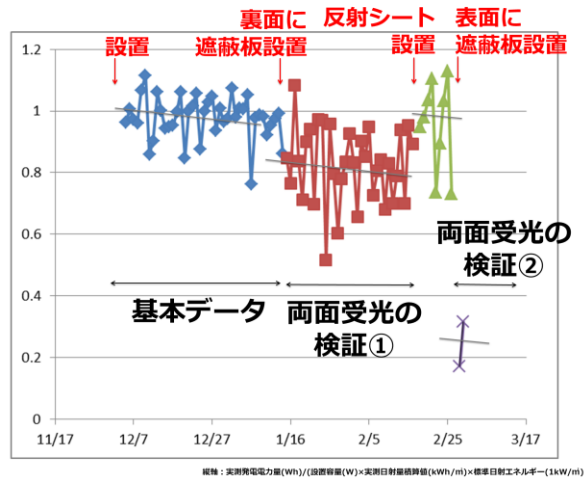


図.V-56 発電量データ

e まとめ

- ・積雪を模した反射シート設置の検証により、約1～2割の発電量の増加が見られ、積雪時に有効であることが確認できた。
- ・今回の設置条件において、両面受光モジュールは、南面(表面)約8割、北面(裏面)約2割の発電量となり裏面の効果が顕著に見られた。

f 今後の課題

- ・データ収集&解析を継続し、年間データを取得する。
- ・両面受光の季節変動を検証する。
- ・集積基地設置の外構設置による効果を試算する。

ウ 地域基盤形成セッション

- ◆セッションリーダー プロジェクトリーダー 小田喜一
- ◆参画機関、協力機関 真庭木材事業協同組合、真庭市
- ◆テーマ SMART 工場の社会実装に向けた原料調達、生産管理手法の研究

(ア)「環境先進都市」を目指したまちづくり計画策定、地域人材の育成、普及啓発（真庭市）

（目標）

地域の林業、製造業との連携、高齢者労働力の活用等による集材・利用の適正化、気候変動への適応と地域活性化に向けたまちづくり計画策定、真庭バイオマスラボや私有林を活用した人材育成、バイオマスツアー真庭等を通じた普及啓発等。

（成果の概要）

a 「環境先進都市（とし）」を目指したまちづくり（計画策定）

既存のバイオマスタウン構想等の計画や、民間事業者等を中心に取り組む真庭システム（生産から流通）との整合を図り、今後の展開に向けた方向性を取りまとめた計画を平成 24 年 3 月に策定した。また、計画策定後もこれらの成果を踏まえ、平成 26 年 3 月に真庭市のバイオマス利活用の推進方策を取りまとめた「真庭バイオマス産業杜市構想」を掲げ、同年 7 月には普及啓発等ソフト面の取組まで広げた「真庭市バイオマス活用推進計画」を策定するなど、新たな展開に向けた取組を始めている。

b 地域人材の育成（人材育成講座の実施）

バイオマス産業創出を図るための地域研究施設「真庭バイオマスラボ」を拠点に、ラボ入所事業者や地域内外の実践者を講師として、近隣大学生や地域内事業者等向けに山林管理や林業施業の事態、体験セミナー、バイオマス資源の活用事例等の紹介・解説などによる人材育成を図った（年間 5 回程度の講座を継続開催）。

c バイオマスの普及啓発（バイオマスツアー真庭や視察等を通じた啓発活動）

県外を中心に年間 2,000 人以上のバイオマスツアー参加者があり、また市民向け講座も年間 20 回程度開催している。加えて、視察も年間 100 件程度あり、これらの機会を活用して真庭市の取組の PR や情報交換等を行っている。

（成果の詳細内容）

a 「環境先進都市（とし）」を目指したまちづくり（計画策定）

(a)「気候変動への適応と地域活性化に向けたまちづくり計画－木質バイオマス利活用推進プラン－」策定（平成 24 年 3 月）

この計画は、既存のバイオマスタウン構想等の計画書や、地域の木材事業者等を中心に取りまとめている真庭システム（生産から流通）との整合性を諮り、地域の特色である木質バイオマス資源を工業原料等に利用することで、これまでの利活用に合わせてより高付加価値化を目指した、住民参加による原料の調達から生産までの一体的な地域システム化を図ることを目的として策定した。

地域の特色や背景、主産業の林業・木材産業における真庭システムに関連する業態ごとの強みと課題を把握し、将来へ向けた展開方向を描き、次のステージとして、SMART 工場（真庭バイオマス集積基地）を核とした、産学官連携による付加価値の高いバイオマスリファイナリー事業の

展開を中心とした新産業創出を重点施策として取り組むこととしている。

また、行政の具体的な取組として「普及啓発・人材育成」の継続的な実施を位置付けている。

(b)「真庭バイオマス産業都市構想」策定(平成 26 年1月)、「バイオマス産業都市」に選定(平成 26 年 3 月)

真庭市では、「真庭市バイオマスタウン構想(計画期間:平成 20 年度～24 年度の 5 年間。平成 21 年 3 月改訂)」及び「真庭市バイオマス利活用計画(計画期間:平成 18 年度～27 年度の 10 年間。平成 21 年 3 月改訂)」に基づいた取組を実践していたが、木質バイオマス発電事業やバイオマスリファイナリー事業など、当該計画には盛り込まれていなかった新たな事業展開が急速に進み、時代に即した実効性のある計画作成(見直し)が必要となった。このため、昨今の社会情勢を踏まえた、市・事業関係者の役割やロードマップ等を盛り込んだ、バイオマス推進の新しい将来ビジョンとして「真庭バイオマス産業都市構想」(計画期間は 2014(平成 26)年度から 2023(平成 35)年度までの 10 年間)を掲げ、構想書を取りまとめた。

構想では、地域全体の活性化につながる理念として次の 5 つのキーワード(自然、連携、交流、循環、協働)を掲げ、「バイオマス産業都市‘真庭’」の構築を目指し、事業推進の柱となる具体的な 4 つのプロジェクト(真庭バイオマス発電事業、木質バイオマスリファイナリー事業、有機廃棄物資源化事業、産業観光拡大事業)を中心に事業展開を図ることとし、より事業性・継続性を重視した構想となっている。

(c)「真庭市バイオマス活用推進計画」策定(平成 26 年 7 月)

上記構想の策定に伴い、行政としての役割や将来展開、可能性も含めた幅広い行政計画とするため、構想の内容に加えて、本業との密接なつながりを持った林業・木材産業等の活性化、農業分野におけるバイオマス利活用の展開、普及啓発、人材育成などソフト事業の重要性などを盛り込んだ地域計画として「真庭市バイオマス活用推進計画」を策定した。

本計画は、真庭市総合計画におけるまちづくりの基本的方向に則り、多様なバイオマスの活用を産業、住民、行政が連携し推進するものである(計画期間等は、真庭バイオマス産業都市構想と同様)。

b 地域人材の育成(人材育成講座の実施)

「バイオマス産業人材育成講座」を県内等の大学や地域関係者等を対象に実施(年間5回程度)。

表.V-16 「バイオマス産業人材育成講座」開催状況

年度	人材育成講座 開催数	備考
22	○県内大学生向け(1 回)岡山大学農学部 ○市内企業向け(1 回)	合計参加者数 25 人
23	○県内大学生向け(4 回)岡山大学農学部、倉敷芸術科学大学、勝山高校、岡山県立大学 ○市内企業向け(1 回)	合計参加者数 103 人
24	○市内親子向け(1 回) ○県内大学生向け(4 回)鳥取環境大学、岡山大学、倉敷芸術科学大学、岡山県立大学	合計参加者数 262 人

	○市内企業向け(1 回) 現地見学研修	
25	○市内親子向け(1 回) ○県内大学生向け(4 回)岡山大学農学部、岡山大学グローバル人材育成特別コース、倉敷芸術科学大学、岡山県立大学 ○市内企業向け(1 回)	合計参加者数 69 人
26	○県内大学生向け(3 回)岡山県高校農業教育協会、岡山大学農学部、岡山大学経済学部(計 72 名参加) ○市内企業向け(1 回)	合計参加者数 (見込み) 92 人

c バイオマスの普及啓発(バイオマスツアー真庭や視察等を通じた啓発活動)

「バイオマスツアー真庭」参加者は年間 2,000 名を超え、平成 18 年度のツアー開始当初からの累計数は 15,742 名を数える。加えて、行政視察への対応(年間平均 80 件以上)や市内小中学生、市民団体等を対象とした出前講座(年間約 20 校・団体以上)の実施など、継続した普及啓発を図っている。詳細の実施状況等は表 V-17 のとおりである。

表.V-17「バイオマス普及啓発活動」の開催状況

年度	バイオマスツアー真庭 参加者数／回数	視察対応 件数	普及啓発活動 開催数
H22	1,298 名／61 回	42 件	小学校;7 校、中学校;1 校 高校;1 校 2 学科、市民団体等;5 団体
H23	1,611 名／89 回	70 件	小学校;9 校、中学校;1 校 高校;1 校 2 学科、市民団体等;4 団体
H24	2,587 名／110 回	82 件	小学校;11 校、中学校;1 校 高校;2 校 3 学科、市民団体等;5 団体
H25	2,236 名／97 回開催	94 件	小学校;9 校、中学校;2 校 高校;2 校 2 学科、市民団体等;11 団体
H26 (12 月末現在)	2,441 名／108 回開催	86 件	小学校;10 校、中学校;1 校 高校;2 校学科、市民団体等;9 団体

図.V-57 バイオマスツアー真庭、普及啓発活動の状況



(イ) SMART 工場の社会実装へ向けた原料調達、生産管理手法の研究

(真庭木材事業協同組合)

(目標)

SMART 工場実現に必要な資源調達・用途配分、安定生産計画等、生産管理手法の調査研究及び高規格木粉製造技術の研究開発

(成果の概要)

SMART 工場実現に必要な資源調達・用途配分、安定生産計画等、生産管理手法の調査研究
安定的な資源調達、効率的な生産体制を検討するため、素材生産・製材の一体化など真庭バイオマス集積基地を拠点とした情報管理による経営合理化に向けたデータ収集・分析を行った。

年間 18,000t 以上の未利用資源(間伐由来の丸太)、製材端材及び樹皮については、それぞれ 3,000t 以上の資源が安定的に集まっており、平成 26 年度からは、発電事業の稼働の関係もあり、資源収集量も急増している。

また、平成 24 年度からは高規格木粉の製造技術の研究・実証を行い、実証ラインの整備、サンプル提供から始め、平成 26 年度からは、自動車部材の原料としてプラスチック成型メーカーへの製品販売を本格的に開始した。

以上の成果を合わせて、今後の安定的な高付加価値な木質資源の収集・供給・生産を目指し、これまでの真庭バイオマス集積基地における収集・供給データ等を基に、生産管理手法、トレーサビリティ方策など、より付加価値が高く資源を調達提供できる仕組みについて調査・分析し林工一体型ビジネスモデルにつなげた。

(成果の詳細内容)

a SMART工場の社会実装に向けた原料調達、生産管理手法の研究

林地残材等の木質資源の原料調達・生産管理計画について検討・実施を行うとともに、真庭市や森林組合等の地域関係者との連携体制の構築を行った。また、高規格木粉の生産実証も含めて、新たな資源の生産管理システムの構築を図るため、これまでの資源データに加えてオガ粉の性状のデータ収集を行うとともに、生産管理手法を検討し、既存生産管理システムの改善による、全木質資源のトータル管理システムの調査・検討を行った。

詳細は以下実証項目のとおり。

(a) 生産管理システムの導入・改善

これまで、未利用木材の取引は、搬入者単位、搬出者単位となっていたため、搬入元、搬出先が必ずしも明確でないケースが含まれており、搬入物の素性や搬出先での利用用途が不明になる場合があった。また、出荷物の品質保証に関する取組がなかった。

これらを改善するため、取引管理・集計処理システムとして、搬入・搬出のデータ化等のシステム開発・導入を行い、真庭バイオマス集積基地に搬入されるバイオマス資源の搬入から保管、加工、搬出に至る一連の業務を「見える化」し、物流・生産体制の効率化を図るとともに、トレーサビリティ手法の確立のための基礎情報のデータ収集を行った。

実用性の検証によるシステム改善部分は以下のとおり。

■搬入者区分の細分化 ■搬出物種類の細分化 ■データ取込時の誤操作防止の確認システム追加 ■計量単位に「立米(m³)」換算を追加 ■取込済みデータの修正範囲拡大。 ■その他領収書発行機能等の改善など

また、木粉などの新たな資源管理も含めた、木質資源のトータル管理システムの検討を行った。具体的には計測データの必要可否の評価を行い、製品管理、経営管理に必要なデータへの絞り込みにより、作業負荷の軽減を図ることが望ましいことが分かった。

(b) 安定的な資源調達、効率的な生産体制の検討

これまで明確な仕組がなかった木質バイオマスの資源調達、生産体制の課題解決に向け、素材生産・製材の一体化など、真庭バイオマス集積基地を拠点としたデータ収集・分析を行い情報管理による経営合理化に向けた情報整理・分析を行った。

明確なデータ把握により、岡山県が構築するビジネスモデルや産業技術総合研究所が行うLCAの根拠となるデータの蓄積・提供が図れた。

また、これまで把握できていなかった搬入バイオマスの搬出地点の調査により、バイオマス集積基地への搬入は、特殊なケース(域外からの搬入: 帰りのトラックの有効利用によるもの)を除き、市内の20km程度の範囲内からなされていることが判明した。

さらに、取扱量等は年々増加しており、安定的な生産等ができていますが、発電事業等の開始に係る業務増大による体制強化、見直し等の必要性もあったため、平成26年度まで継続的な木質資源収集・供給体制の調査検討を行った。また、平成26年10月からは、木質バイオマス発電事業に係る、産地認証システムを活用した収集が本格的に開始されるとともに、集積基地も別途第2工場が新たに整備され、月別収集・加工・供給量が大幅に増加し、産地認証も含めた効率的な資源調達・管理の仕組及び体制ができた。

(c) 品質管理の最適化手法、製品の低コスト生産方法、高付加価値化の検討

各種木質資源(丸太、オガ粉等)の搬入から製品生産、出荷までの各段階における重量・含水率データの収集・分析を行い、製品及び製品製造時の副産物の性状を把握するとともに、品質管理技術のノウハウを蓄積し、チップ製造時のチップダスト、オガ粉、樹皮などの効率的な集積、品質管理手法を研究し、高規格木粉も含めた、生産管理収益手法(入出量管理、運転管理、水分管理、形状管理など)の構築のためのポイント及び課題の整理を行った。

また、これらの各種木質資源を高付加価値化し、販売促進効果を生み出すトレーサビリティ確保の手法を検討するとともに、高規格木粉の販売開始に合わせて、トレーサビリティカルテを作成した。

詳細は以下のとおり。

①各種木質資源(チップ、樹皮等)の性状分析

生産から出荷時までの各種木質資源(チップ、チップダスト、樹皮)の含水率変化データ把握・分析を実施し、製品及び製品製造時の副産物における性状を把握した。

また、各種木質資源の高付加価値化の検討のため、オガ粉の性状分析、粒径選別調査等を実施した。

これまでは、主要な出荷先が製紙会社であったため、問題は生じていなかったが、今後は、真庭バイオマス発電用の燃料チップが増大することになり、発電側のチップ価格は水分率により変動することから、水分率の低減化は重要なポイントになる。

一般的に、チップ状態での乾燥よりも原木状態での乾燥の方がより進むと言われていることから、原木状態での乾燥のための時間確保や堆積方法の工夫が求められる。

また、乾燥期間中の水分量のチェックが必要であり、他の業務と併行しての水分率計測は可能な限り簡便で時間を要しないものであることが求められる。そのため、現行作業体制の中での、堆積している原木の水分率計測手法を検討する必要があるとあり、一つの方法としては、堆積木材の内からサンプルを選び、定時間隔で自動的に水分率を計測し記録するための機器の導入である。現状では、当該用途に使用可能な機器がないため、水分計メーカーとの共同開発も視野に入れる必要があることが分かった。

②トレーサビリティ管理手法の検討

バイオマス資源を含めた各種木質資源に高付加価値化、販売促進効果を生み出すトレーサビリティ確保の手法を調査検討した。

丸太等搬入バイオマスをベースにチップ生産及びオガ粉をベースとする木粉製造の工程がほぼ確定し、その管理項目(量、水分、粒度、運転状況など)の掘起し及び改善策等を整理し、チップ用と木粉用のトレースカルテを分離し、産地保証も含めたカルテ案を作成した。

③高規格木粉生産管理収益手法の評価

地域内外での波及のため、モデル構築に必要な、各種ポイント、課題、解決策などを取りまとめ、以下のとおり評価を行った。

1)製造工程の合理化

現行の工程では、分粒工程1でアンダー品となったものに、分粒工程2のアンダー品を戻して袋詰めするようになっている。

また、分粒工程1においてオーバー品は、燃料の水分調整用に使用されている。装置の流れでみると、分粒工程2から戻すラインよりも、分粒工程1のアンダー品を、分粒工程2の空送ファンに送り、最終の分粒によるアンダー品抽出の流れの方が合理的である。

さらに、分粒工程1のオーバー品規格は、現行の処理量のバランスを確認したうえで、メッシュサイズを変更し、製品化へのウエイトを増やす工夫が必要であることが分かった。

2)計測データ類

現在、計測しているデータの中で、生産性を評価するために活用できると思われるデータは少ない。データ同士の関係性が最も顕著であったデータは、乾燥機の実運転時間と電力消費量であったが、電力消費量は自動計測されているため、実運転時間からの推計の必要性は低い。したがって、本実証事業におけるデータ収集をこれまで行ってきたが、今後は、製品管理、経営管理に係るデータに絞り込むことで、作業負荷の軽減を図ることが望ましいことが分かった。

3)水分管理

水分率については、特に雨天時の高湿度状態では、乾燥させた木粉が再び大気中の水分を吸い込み、水分率が高まることが確認された。

ラインの密閉性との兼ね合いになるが、良質の木粉製品を供給するためには、これに関する対策が必要である。

4)トレーサビリティ

実証事業では、木粉の搬入者から出荷先までの管理が可能となっているが、木粉の付加価値を高めるには、そもそもの木の由来や関係者の情報も同時に収集することで、どこから誰がどのような加工経路をたどったオガ粉を、どのように処理して木粉として提供するかまでの情報整

理が重要であり、そのためのトレーサビリティの仕組みを地域内の関係者ともに整備することが必要である。

5) 収益性評価

これまでのデータを基に、資源収集～加工～販売におけるトータルコストの調査分析を行い効率的なビジネスモデルとしての可能性を評価した。これは、実証事業の中で確認された値から、1年間、定常的に稼働したとする場合の値を求め、事業性が確保できる、仮想値としての「粉碎品」単価の推計ができた。

b 木粉生産実証の分析・評価

木質資源の有効活用と配分最適化の観点から、地域から集積される木質資源から付加価値のある高規格木粉を製造するための生産ライン(図V-58,61)を整備し、木粉の低コスト製造技術や品質管理手法の実証を行い、実際に自動車部材(図V-59)の原料としてプラスチック成型メーカーへの製品販売(平成26年度には本格的に高規格木粉製品を8t/月前後納品)を行いながら(図V-60)、実証内容の分析・評価を行い、林工一体型ビジネスモデルにつなげた。

図.V-58 高規格木粉製造ライン



図.V-60 平成26年木粉出荷量推移

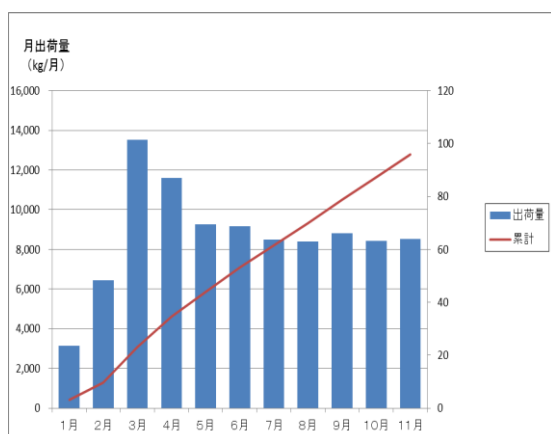


図.V-59 木粉を活用した自動車部材



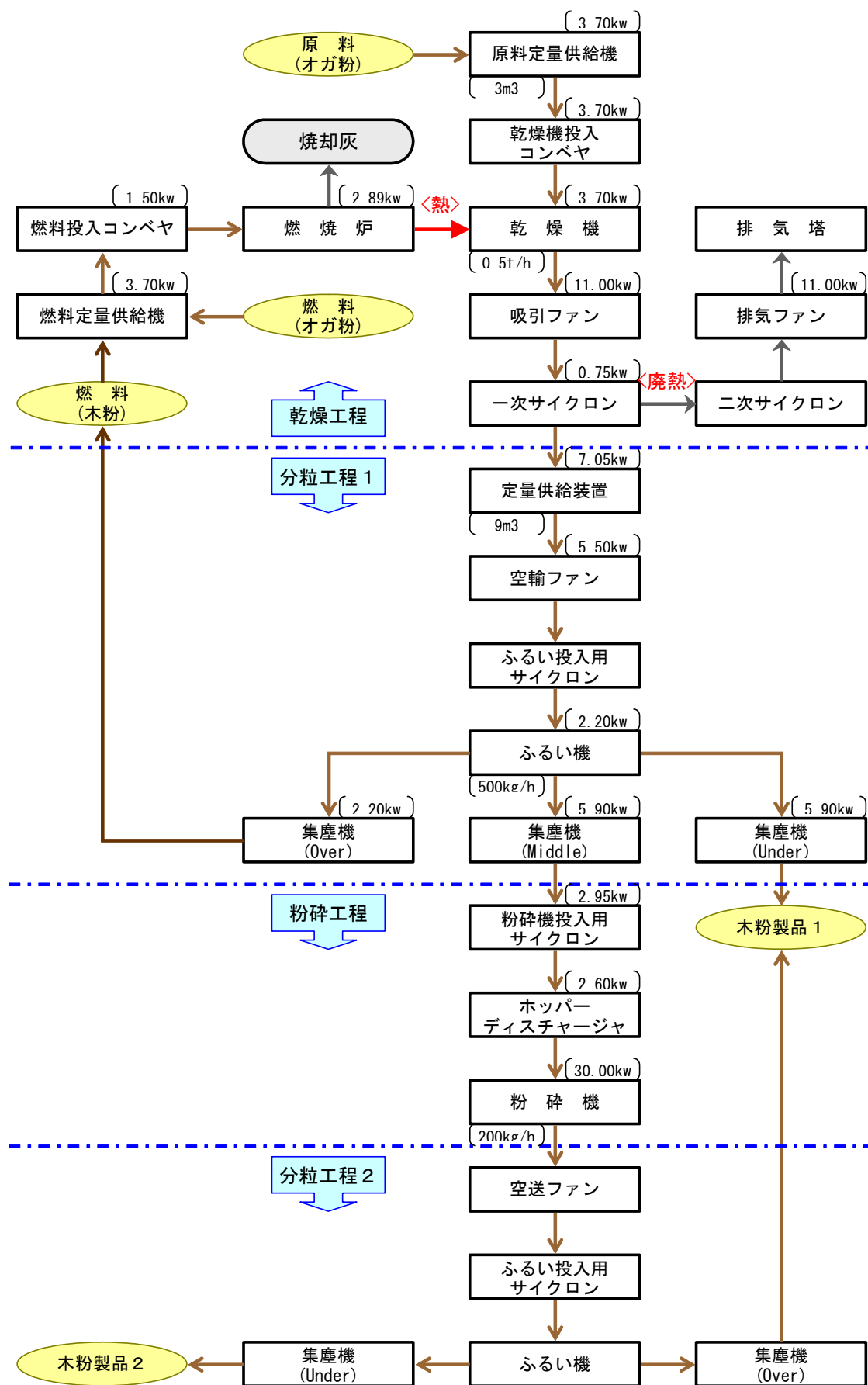


図.V-61 木粉製造の全体フロー

エ ビジネスモデル構築、LCA(Life Cycle Assessment)評価

◆参画機関、協力機関

(独)産業技術総合研究所、岡山県

◆テーマ

ビジネスモデルの構築、LCA評価の実施

(目標)

本プロジェクトは、気候変動の緩和策として、CO₂ 吸収源としての森林機能の保全・強化や、真に環境負荷が低く、実用的なバイオマス製品の社会普及を以下により目指すものである。

○地域の木質資源を原料とし環境負荷が低く高付加価値なバイオマス製品の社会普及により、森林資源のトータルでの価値を向上させる。

○そこで得られる利益を林業者へ還元されるシステムを構築し、森林の適正管理「伐って・使って・植えて・育てる」というサイクルの確立を推進する。

これらを全国に展開可能な、環境性と経済性が両立するビジネスモデルを構築する。

(ビジネスモデルの評価)

経済性と環境性が両立するためには、以下の2点で評価する必要がある。

(経済性について)

森林から集積基地へ搬入する経費を考慮して設定した買取額で、林地残材等を買取り(林業者へ利益を還元)、それらを原料としたナノファイバーや木粉など高付加価値な製品を市場投入するシステムが持続可能であるか。

(環境性について)

提示するビジネスモデルの規模で SMART 工場を稼働及び開発したナノファイバー等の社会普及により、CO₂ 排出量が現状より削減されるか。

(成果の概要)

森林から集積基地へ搬入する経費(集材、搬出、輸送など)を基に設定された買取額により、林地残材等を林業者から林地残材等を買取り、それらを原料として木材チップやナノファイバー、木粉などの高付加価値製品を製造し市場へと投入するビジネスモデルを構築した。

構築したビジネスモデルでは、木材チップ事業、ナノファイバー事業、木粉事業それぞれで利益を確保し、集積基地における林地残材等の買取額を増加させることが可能であることを確認した。(図.V-70参照)

合わせて、提示するビジネスモデル規模における、ナノファイバー等の製造に係るCO₂排出量の検証を行い、炭素固定や、石油由来汎用性樹脂の使用量の減により、CO₂削減効果が期待されることが分かった。(図.V-71、表.V-25、26参照)

(ア)ビジネスモデル

a 木材チップ事業

(a)プロジェクト実証に係る成果

集積された林地残材等から、製紙用チップを年間 10,800d-t(絶乾)(19,637w-t(水分を45%含有))製造する実証を行った。

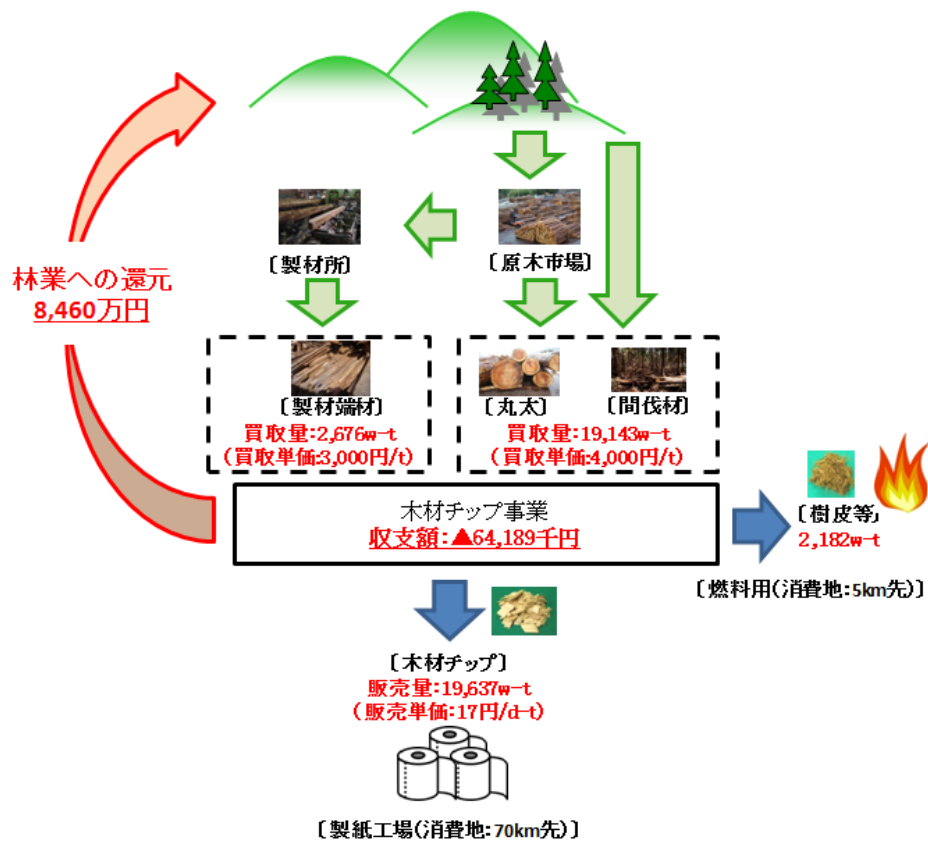


図.V-62 木材チップ事業に係るプロジェクト実証

このとき、設備に必要な投資額は3億2,000万円、原料の購入費や製品の輸送費などの経費(以下「変動費」という。)は年間約2億5,303万円と予想されることから、製紙用チップの製造原価は23円43銭/d-kg(12円89銭/w-kg)となり、製紙会社への販売単価を大きく上回る結果となった。

したがって、製紙用チップや燃料用樹皮などの販売による収入が年間約1億8,884万円、林業への利益還元額が約8,460万円となるものの、収支額は▲6,419万円となり収支が大きくマイナスとなった(表V-18)。

区 分	木材チップ事業に係るプロジェクト実証内容とその成果
原料価格	間伐材(丸太):4,000円/w-kg、製材端材(背板):3,000円/w-kg
生産量	10,800d-t/年(絶乾)(19,637w-t/年(水分を45%含有))
販 売 先	製紙会社(製紙用)／製品輸送距離70km/輸送費:3,500円/t
製品販売価格	製紙用:17円/d-kg、燃料用:3円/d-kg
設備投資費	3億2,000万円
変動費(年間)	253,032千円(うち消費地までの製品輸送経費:70,912千円(28.0%))
収入(年間)	188,843千円
収支額	▲64,189千円
チップ製造コスト	23円43銭/d-kg(12円89銭/w-kg)

表.V-18 木材チップに係るプロジェクト実証内容とその成果

(b)木材チップ事業に係るビジネスモデル構築に向けた検討

健全な事業経営の下、林業への利益還元が促進されるモデルの構築に向け、プロジェクト実証の成果からその諸条件(製品販売単価、製品の運搬コスト)を検討した(図.V-63)。

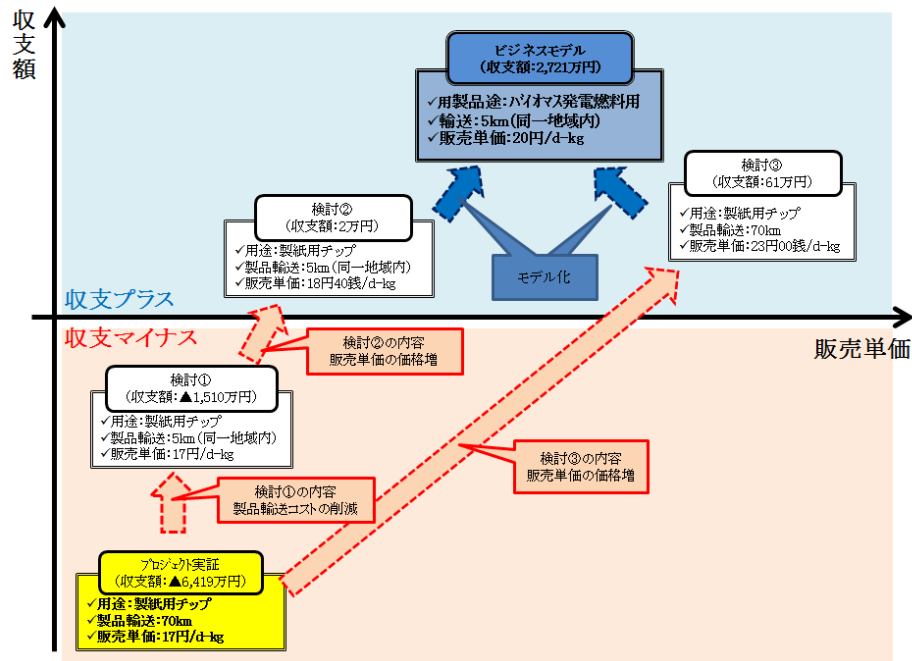


図.V-63 木材チップに係るビジネスモデル構築に向けた検証イメージ

検討① プロジェクト実証について製品輸送距離の検討

【検討内容】

プロジェクト実証の成果から、事業収支の改善に向け製紙会社の立地条件(製品の消費地)を「同一地域内(5km)」として検討を行った。

【検討結果】

製品の消費地を木材チップ工場と同一地域内(5km)とした場合、製品の輸送コストが3,500 円/tから 1,000 円/tへと削減されることから、事業収支は改善されるものの、依然として収支はマイナス(▲1,510 万円)となった。

検討② 検討①について販売単価の検討

【検討内容】

上記検討①の結果から、さらなる事業収支の改善に向け、収支額がプラスとなるための木材チップの販売単価について検討を行った。

【検討結果】

製品の消費地が木材チップ工場と同一地域内(5km)とした場合、事業収支がプラスとなるためには、木材チップの販売単価を 18 円 40 銭/d-kg とする必要がある。

検討③ プロジェクト実証について販売単価の検討

【検討内容】

プロジェクト実証の成果から、事業収支の改善に向け、製品の消費地が木材チップ工場から半径 70km に在する場合について、事業の収支額がプラスとなるための木材チップの販売単価の検討を行った。

【検討結果】

製品の消費地が木材チップ工場から半径 70km とした場合、事業収支がプラスとなるためには、木材チップの販売単価を 23 円 00 銭/d-kg とする必要がある。

(c)木材チップ事業に係るビジネスモデルの提示

現在、日本各地でバイオマス発電所が設置されているところであるが、通常は発電用原料(木材チップ等)の供給地である中山間地に整備されているところである。

前述のビジネスモデルの構築に向けた検討の結果及び全国での現状を踏まえ、健全な事業経営の下、林業への利益還元が促進されるビジネスモデルを次のとおり提示する(図 V-64、表 V-19)。

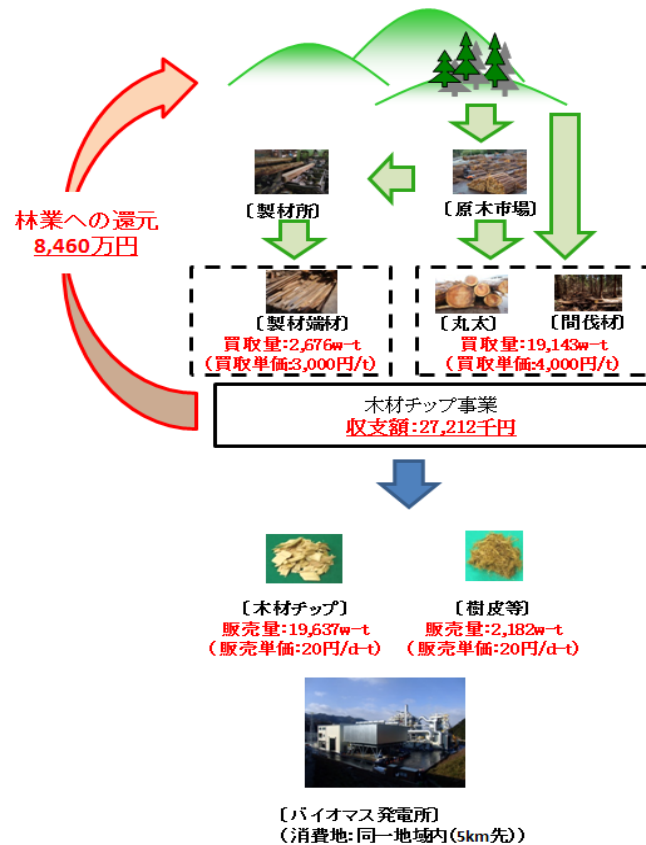


図.V-64 木材チップ事業に係るビジネスモデル

区 分	プロジェクト実証ベース	ビジネスモデル
販売先	製紙会社（製紙用）	バイオマス発電所（燃料用）
製品輸送距離	70km/片道	5km/片道
製品価格	17円/d-kg	20円/d-kg
原料買取価格	丸太：4,000円/w-t 背板：3,000円/w-t	丸太：4,000円/w-t 背板：3,000円/w-t
変動費（年間）	253,032千円	203,940千円
収入（年間）	188,843千円	231,152千円
収支額（年間）	△64,189千円	+27,212千円

表.V-19 ビジネスモデル

前述のとおり、健全な事業経営の下、林業への利益還元を図るビジネスモデルを提示したところであるが、より林業への利益還元を促進する観点から、間伐材（丸太）の買取価格を、これまでの「4,000 円/t」から「5, 400 円/t」へと増額したビジネスモデルをさらに提示する（図V-65、表V-20）。

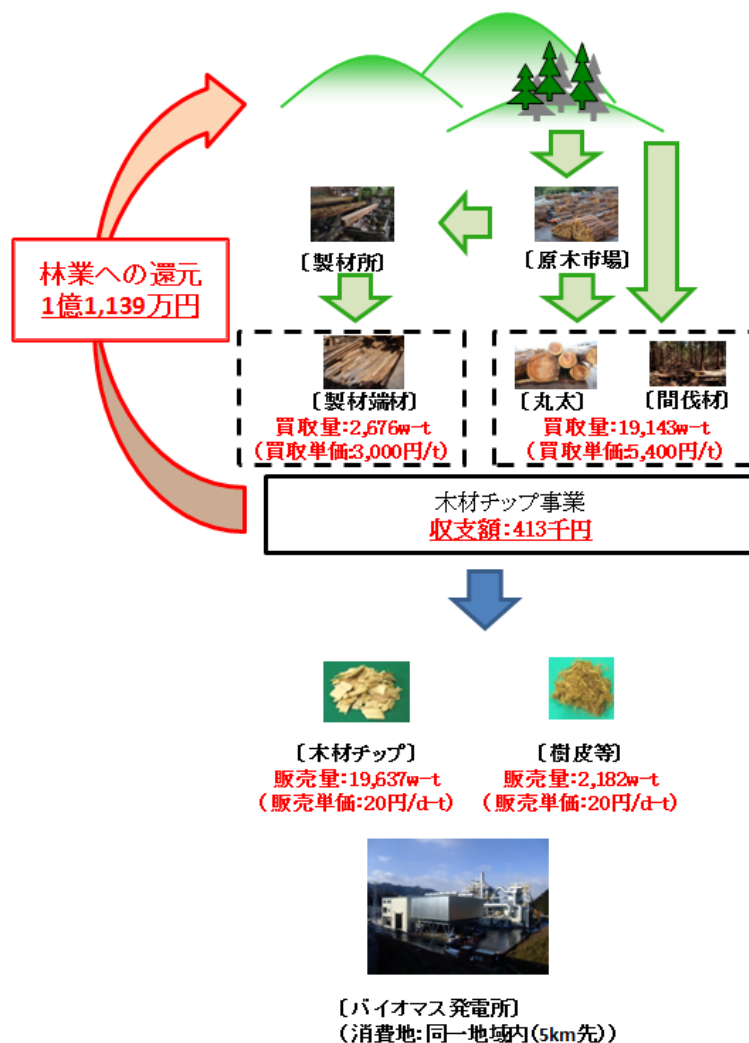


図.V-65 より林業への利益還元を目指した木材チップ事業に係るビジネスモデル

区 分	プロジェクト実証ベース	ビジネスモデル
販売先	製紙会社（製紙用）	バイオマス発電所（燃料用）
製品輸送距離	70km/片道	5km/片道
製品価格	17円/d-kg	20円/d-kg
原料買取価格	丸太：4,000円/w-t 背板：3,000円/w-t	丸太：5,400円/w-t 背板：3,000円/w-t
変動費（年間）	253,032千円	230,739千円
収入（年間）	188,843千円	231,152千円
収支額（年間）	△64,189千円	+413千円

表.V-20 より林業への利益還元を目指した木材チップ事業のビジネスモデル

b ナノファイバー事業

ナノファイバー事業は、今回のプロジェクト実証において開発された木材チップから一貫連続処理で製造されたナノファイバーと汎用性樹脂（ポリプロピレン（以下「PP」という。））からナノファイバーが 10%含まれる PP のナノファイバーコンポジット（以下「コンポジット」という。）を

量産して販売するモデルを検証する。

(a)プロジェクト実証に係る成果

ナノファイバーを製造するために用いられる微粉碎装置1台を1日8時間、年間 250 日稼働させることにより、年間 4d-t のナノファイバーを生産する実証を行った(図 V-66)。

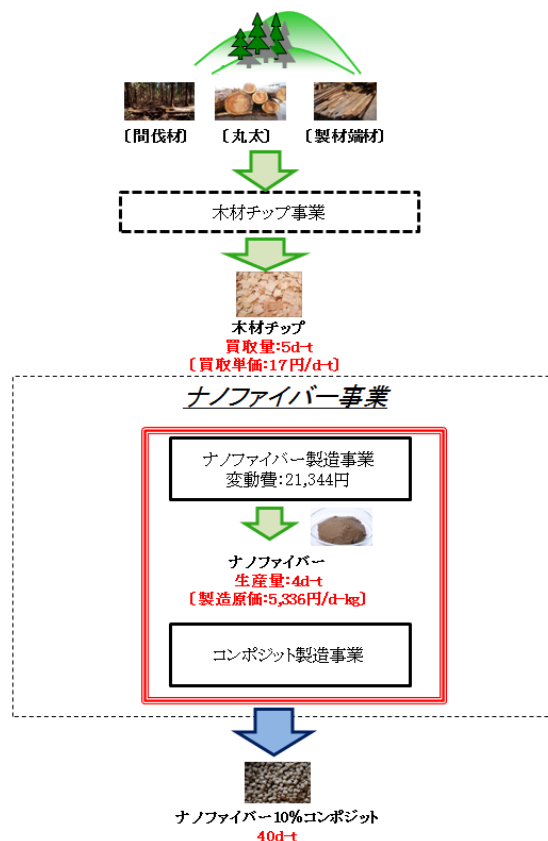


図.V-66 ナノファイバー事業

このとき、ナノファイバー製造のための設備に必要な投資額は 5,000 万円、人件費等の変動費は年間約 2,134 万円必要であると予想されることから、ナノファイバーの製造コスト(製造原価)は 5,336 円/d-kg となった。

一方、自動車部材、情報電子材料などで使われる汎用性樹脂(PP やポリアミド(以下「PA」という。))に使用される炭酸カルシウムやタルク(滑石)などの代替としてナノファイバーを使用することで軽量化となることが期待されているところであるが、これらのフィラーは比較的安価であるため、代替として使用するナノファイバーの製造コストについて、大幅な低減が望まれているところである。(注1)

注1:ナノファイバーの製造コストについて、平成 25 年度製造基盤技術実態等調査「製紙産業の将来展望と課題に関する調査」(H26.3 月:経済産業省)によると、現在の製造コストは、7,000~4,000 円/d-kg であるが、2020 年頃には 1,000 円/d-kg、2030 年頃には 500 円/d-kg を下回る目標を掲げている。

(b)ナノファイバー事業に係るビジネスモデルの提示

ナノファイバーの製造コストの削減のためには、製造工程の中でその生産量を制約している微粉碎工程における処理能力を増加する必要がある。

微粉碎装置を5台とすることで生産量を制約している製造工程中の隘路が解消され、ナノファイバーの製造コストの削減(5,336 円/d-kg→1,810 円/d-kg)が見込まれることから、年間 20d-t のナノファイバーを製造し、それを全量使用しナノファイバー10%コンポジットを年間 200d-t 製造するビジネスモデルを提示する(図V-67)

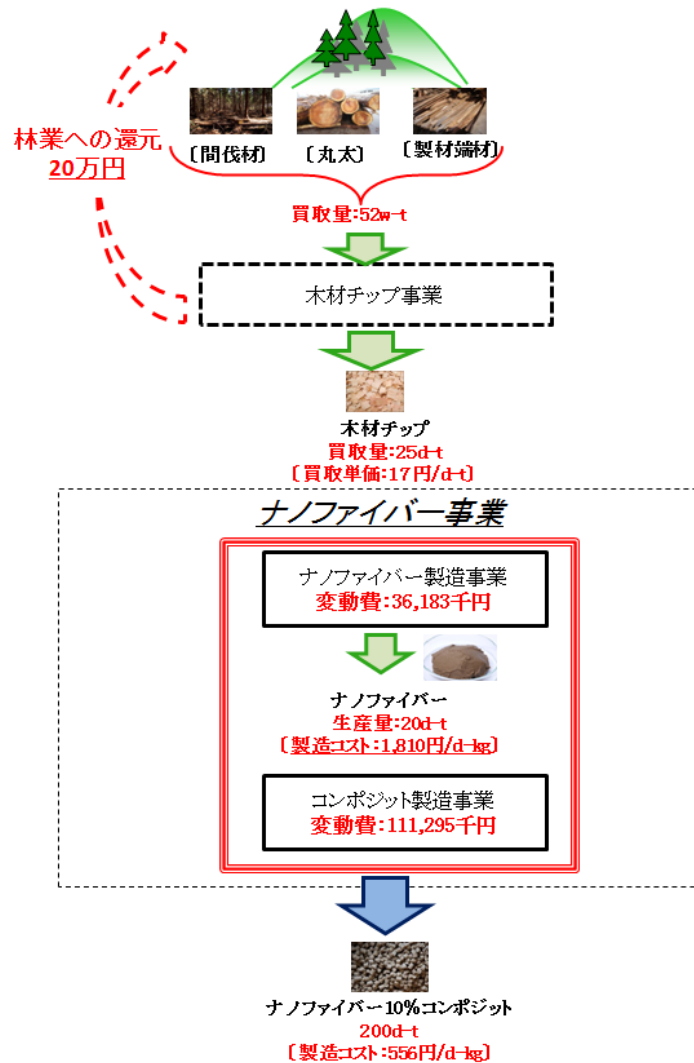


図.V-67 ナノファイバー事業に係るビジネスモデル

このとき、コンポジット製造のための設備に必要な設備投資額は、1 億 5,000 万円、原材料費などの変動費は約 1 億 1,129 万円になると予想されることから、コンポジットの製造コストは 556 円/d-kg となる。

また、20d-tのナノファイバーを製造するには、52w-t の林地残材等が必要となることから、これらを買収することによる林業への利益還元額は年間約 20 万円見込まれるところである。

c 木粉事業

(a) プロジェクト実証に係る成果

製材所から発生するオガ粉(スギ・ヒノキ)から、建築用内装材やウッドデッキ材、自動車内装材等に使用されるウッドプラスチックコンポジットに利用される $500\mu\text{m}\sim 150\mu\text{m}$ の高規格木粉を年間 120w-t 製造する実証を行った(図 V-68)。



図.V-68 木粉事業に係るプロジェクト実証

このとき、設備に必要な投資額は 9,000 万円、原料の購入費など変動費は年間約 2,806 万円になると予想されることから、高規格木粉の製造コストは 233 円 80 銭/w-t となり、販売単価(60 円/w-t)を大きく上回る結果となった。

したがって、県内自動車部材メーカー等への販売による収入が年間 720 万円、林業への利益還元が約 121 万円となるものの、収支額は▲2,086 万円となり収支が大きくマイナスとなった(表.V-21)。

区 分	木粉事業に係るプロジェクト実証内容とその成果
販 売 先	県内自動車部品メーカー等
生産量(年間)	120w-t(含水率8%)
原料価格	1,000円/フレコン袋(フレコン1袋=約141w-kg) [79円9銭/w-kg]
原料調達先	製材所(市内)等
原料量(年間)	171w-t
製品販売価格	60円/w-kg
設備投資費	9,000万円
変動費(年間)	28,056千円
収入(年間)	7,200千円
収支額	△20,856千円
木粉製造コスト	233円80銭/w-kg

表.V-21 木粉事業に係るプロジェクト実証内容とその成果

(b)木粉事業に係るビジネスモデル構築に向けた検討

木粉製造コスト(233 円 80 銭/w-kg)が製品の販売価格(60 円/w-kg)を大きく上回って

ることが事業収支の悪化要因であるため、製造コストの削減方法の検討により、ビジネスモデルの構築を目指す。

まず、プロジェクト実証における操業条件(雇用人員数(1人)や稼働時間(8 時間/日))での下で損益分岐点を検証したところ、不休操業(年間 365 日操業)により最大限木粉を製造した場合(年間:730w-t 製造)でも、変動費(年間 51, 846 千円)が収入額(年間 43,800 千円)を大きく上回り、事業収支はマイナス(▲805 万円)になることが分かった。

したがって、さらに製造コストを削減するには操業条件を変更する必要があると考えられることから、雇用人員を 2 名に増加し操業時間を 16 時間/日とすることで木粉の生産量を大幅に増加させて検討を行ったところ、損益分岐点が年間生産量 1,114w-t となることが分かった。

(C)木粉事業に係るビジネスモデルの提示

前述のビジネスモデルの構築に向けた検討の結果から、次のとおりビジネスモデルを提示する(図 V-69、表 V-22)。

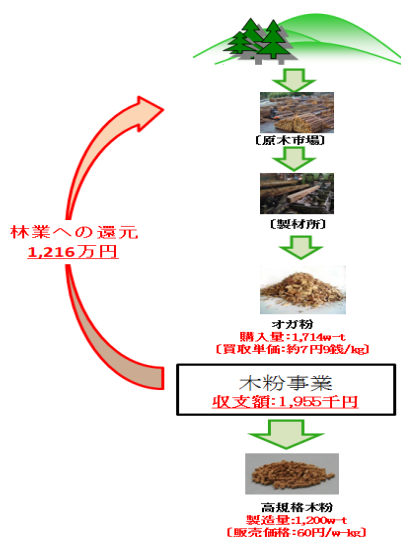


図.V-69 木粉事業に係るビジネスモデル

区 分	プロジェクト実証ベース	ビジネスモデル
木粉生産量	120w-t/年	1,200w-t/年
変動費（年間）	28,056千円	70,045千円
収入（年間）	7,200千円	72,000千円
収支額	▲20,856千円	+1,955千円
製造コスト	233円80銭/w-kg	58円37銭/w-t

表.V-22 木粉に係るビジネスモデル

提示したビジネスモデルでは、健全な事業経営の下、製造コストを約 233 円 80 銭/w-t か

ら約 58 円 37 銭/w-t へと約 75%削減できるとともに、林業への利益還元についても、121 万円から 1,216 万円へと大幅な増加が見込まれる。

d 太陽光発電及び工場内移動機器電動化(PV-EIV)システム

(a)プロジェクト実証に係る成果

工場に容量 110kW の太陽光発電設備(PV)を設置するとともに、工場内移動機器であるフォークリフトの電動化を行った。

この結果、PV の年間発電量は 105MWh であった。また、電動式フォークリフトとエンジン式フォークリフトの同じ仕事量でのエネルギー消費量を比較したところ、電力(kWh/h)と軽油(l/h)との換算係数は、1.38(kWh/l)であることが分かった。

(b)太陽光発電及び工場内移動機器電動化(PV-EIV)システムに係るビジネスモデル

実証によるデータを踏まえ、チップ生産量 900d-t/月ベースにおいて、すべての工場内移動

機器を電動化した場合の複合システム(PV-EIV システム)を検討した。PV 設置、EIV 電動化等の初期投資費用は約 4,900 万円である。このシステムの導入に伴い、系統電力 29MWh/年、軽油 37kℓ/年の削減が可能となり、年間約 500 万円のエネルギー費用が削減できる。

e まとめ

ナノファイバー事業及び木粉事業に係るビジネスモデル全体で見ると、林地残材等の利活用による林業への利益還元額が年間 1 億 1,553 万円(さらに、新エネルギーの利活用によるコスト削減効果(約 500 万円)も還元される)となり、このことにより、森林・林業の再生が図られるとともに、中山間地域の経済的活性化が期待できる(図 V-70)。

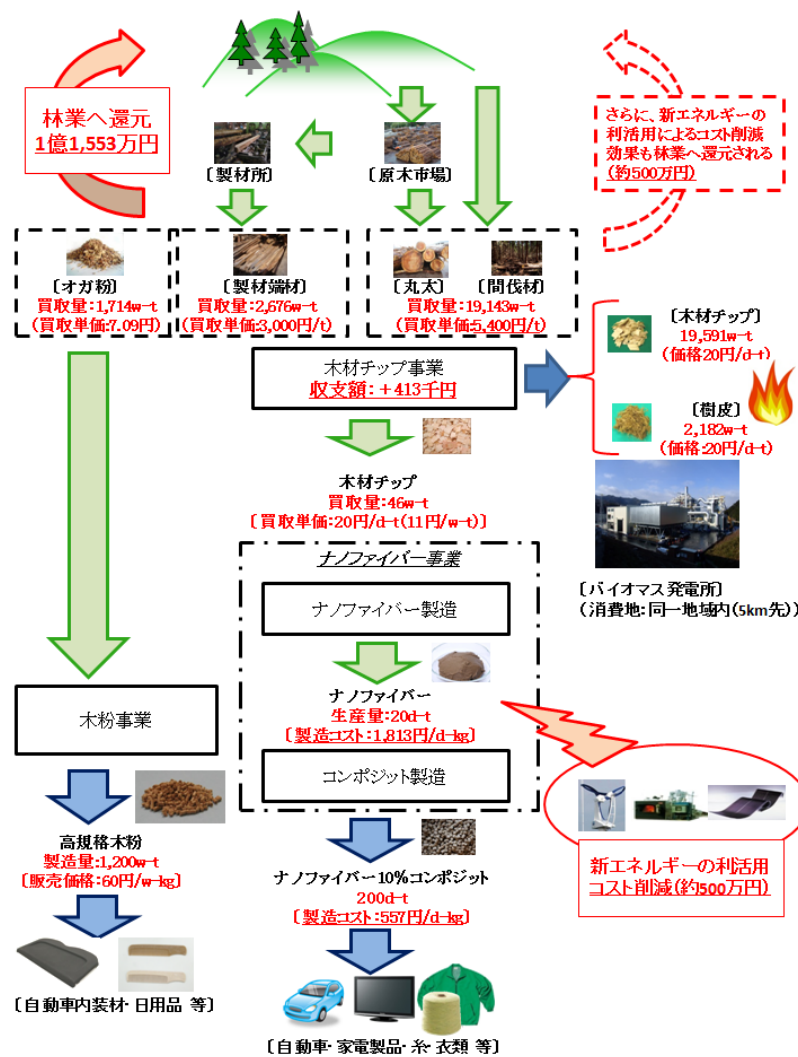


図.V-70 システム全体に係るビジネスモデル

(イ)LCA 評価の実施

a SMART 工場の実施による Greenhouse Gas(GHG)排出量

林業(森林での伐採～製材所・バイオマス集積基地への輸送)を含めた次の事業(表 V-23)に係る Greenhouse Gas(GHG)排出量の試算を行った。

なお、各事業の GHG 排出原単位は、真庭バイオマス集積基地を拠点とした実証事業から得られたデータから推算し(水の利用については評価対象)、各事業の生産量は、先に示したビジネスモデルの量とした。また、ポリプロピレンの排出源単位については、(社)産業環境課管理協会が開発された LCA ソフト Milca (ver. 1.1.2.41)の中で整備・搭載されたデータベースの値を用いた。

表.V-23 GHG 排出量試算対象事業及び生産量

区分	生産量 (ビジネスモデル)
①木材チップ事業	21,773 _W -t/年 (樹皮、チップダスト含む)
②木粉事業	1,200 _W -t/年
③ナノファイバー事業	ナノファイバー:20d-t/年、コンポジット (ナノファイバー10%) 200t/年

林業も含めた事業全体での GHG 排出量は、年間 1,538t-CO₂ となった。(表 V-24)

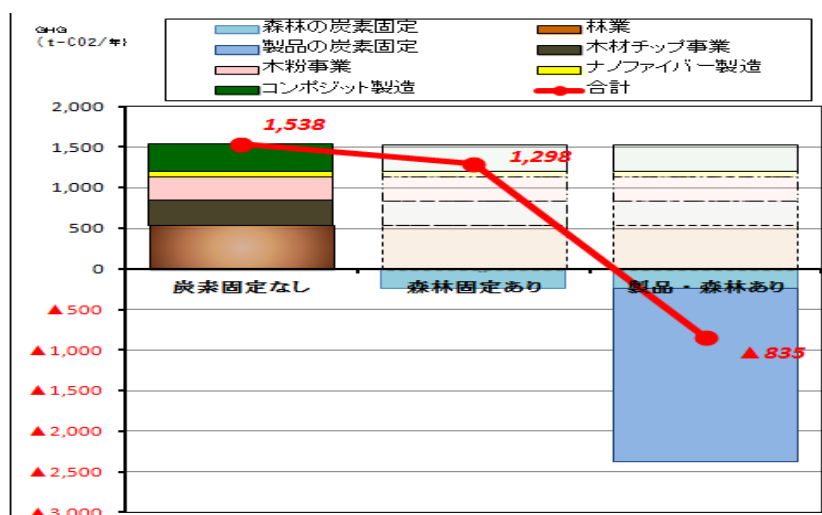
表.V-24 GHG 排出量

【単位 : t-CO₂/年】

区分	林業	木材チップ事業	木粉事業	ナノファイバー製造	コンポジット製造	合計
排出量	544	301	298	59	336	1,538

しかし、間伐による森林の炭素固定(△240 t-CO₂/年)を考慮すると年間 1,298t-CO₂ となり、さらに製品の炭素固定(△2,133 t-CO₂/年)も独自に考慮すると、GHG 排出量はマイナス(炭素を固・吸収)になり得る。(図 V-71)

図.V-71 GHG 排出量の推移



さらに、PV-EIV システムの導入により、年間 124t-CO₂ の GHG 排出量削減効果が見込まれることが明らかになった。

※森林の炭素固定：原料調達により適正な森林経営がなされた場合、炭素吸収源として計上可能となる固定量（森林総合研究所の成果報告^{*1}で整備された若齢林の炭素固定量[23 t-バイオマス/ha/35yr]とバイオマスの炭素含有率 51.8%^{*2}を引用した推算による）

※製品の炭素固定：短期間での消費による焼却処分が想定されていない製品について、その製品中に固定している炭素量から算定する固定量（製品の主な組成割合^{*2}と、木粉、セルロース、リグニンそれぞれの炭素含有率^{*2} 51.8%、44.4%、63%を引用した推算による）

*1) 平成 21 年成果報告

「森林の炭素固定量の変動予測に向けたシミュレーションモデルの開発」

*2) バイオマスハンドブック 第2版 p.18

b 既存製品との置き換えによる効果

次に、本事業で開発した木粉及びナノファイバーコンポジットを工業原料として利用した場合の GHG 排出の削減効果について試算した。

(a) 木粉事業

プロジェクト実証で生産された木粉は、既に 40%の木粉を配合したウッドプラスチック製自動車内装材に活用されている。したがって、ここでは木粉を汎用樹脂ポリプロピレン（以下「PP」という。）の代替として 40%使用した場合の PP の使用料の減少による GHG 排出量の削減効果について検証する。

木粉 40%配合した PP の GHG 排出量は 1.21kg-CO₂/kg となり、一方、PP 単体の GHG 排出量は 1.85kg-CO₂/kg となる。（表 V-25）

表.V-25 PP と木粉 40%配合

【単位：kg-CO₂/kg】

区 分	GHG排出原単位	PP (100%)		木粉 (40%) + PP (60%)	
		含有量		含有量	
①PP	1.85	100%	1.85	60%	1.11 (①1.85×0.6)
②木粉	0.25	—	—	40%	0.1 (②0.25×0.4)
GHG排出量①+②		1.85		1.21	

したがって、PP に木粉を 40%配合することにより、0.64kg-CO₂/kg の GHG 排出量削減効果が見込まれることから、今回のビジネスモデル（1,200t/年の木粉生産により 3,000tの木粉 40%配合 PP を製造）の場合、年間 1,920t-CO₂ の GHG 排出量削減効果が見込まれる。

(b) ナノファイバー事業

プロジェクト実証により、PP にナノファイバー1%を添加した複合材料を PP 単体と比較すると引張強度が 1.4 倍、弾性率が 1.3 倍に向上したとの結果が得られた。

したがって、ここでは PP にナノファイバーを 1%添加した複合材料（以下「ナノファイバー複合材料」という。）と PP 単体における GHG 排出量を比較検証する。

複合材の GHG 排出量は 2.06kg-CO₂/kg となり、PP 単体の GHG 排出量/kg より排出量が 0.21kg-CO₂/kg 多くなった。（表 V-26）

表.V-26 ナノファイバー複合体と PP

【単位：kg-CO₂/kg】

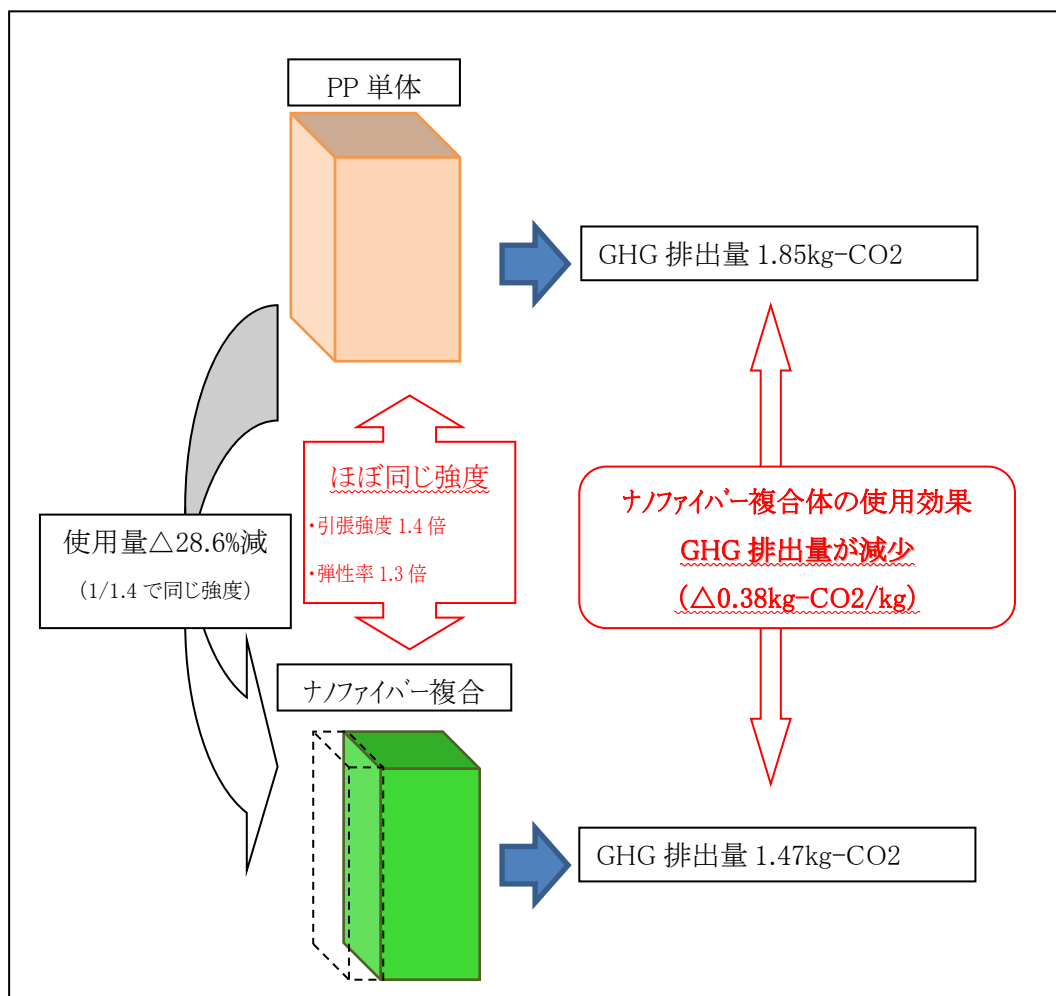
区 分	GHG排出原単位	PP (100%)		ナノファイバー複合材	
		含有量		含有量	
①PP	1.85	100%	1.85	90%	1.67 (①1.85×0.9)
②コンポジット (※1)	3.96	—	—	10%	0.39 (②3.96×0.1)
GHG排出量①+②		1.85		2.06	

(※1)コンポジットとは、ナノファイバ

ー10%含まれる PP のナノファイバーコンポジット。

一方、ナノファイバー複合体は PP 単体に比べ、引張強度が 1.4 倍、弾性率が 1.3 倍に向上することから、ナノファイバー複合体を使用することにより、PP 単体と同程度の強度を保ちながら原料そのものの使用量を抑えることができると考えられる。(図 V-72)

図.V-72 PP 単体とナノファイバー複合体の比較



したがって、PP にナノファイバーを 1%配合することにより、原料そのものの使用量が抑えられることから、0.38kg-CO₂/kg の GHG 排出量削減効果が見込まれる。

今回のビジネスモデル(コンポジット 200t/年の製造より 2,000tのナノファイバー1%配合 PP を製造)の場合、年間 1,058t-CO₂ の GHG 排出量削減効果が見込まれる。(表 V-27)

表.V-27 ビジネスモデルにおける GHG 排出削減量

区 分	PP 単体	ナノファイバー複合体	GHG 削減量
-----	-------	------------	---------

製品の生産量	2,800t	2,000t	△1,058t-CO2
GHG 排出量	5,180t-CO2	4,122t-CO2(※2)	

(※2)・PP1,800tの GHG 排出量:3,330t-CO2、

・コンボジット 200t の GHG 排出量:792t-CO2→4,122t-CO2

3. 社会実証の妥当性と社会システム改革の具体性

(1) 社会システム改革の実現性

本プロジェクトは、地域森林が持つ地球温暖化防止を含む多面的機能の保全・強化を目的とし、森林資源を「伐って・使って・植えて・育てる」というサイクル確立の鍵となる「カスケード利用」を推進するための施策の一つであり、林地残材等からナノファイバーや木材プラスチック複合材料に適した高規格木粉といった工業材料を製造する技術を確立し、これらを利用したバイオマス製品を普及させることにより、利用価値を高め、上記サイクルの確立を促すものである。

このサイクルを回すためのエンジンとなるバイオマス製品の実用化、製品化を実現するため、岡山県ではナノファイバー等の実用化に向けた支援を行っており、ナノファイバーについては、自動車用ゴム製品の薄肉化技術の開発、水性塗料の耐候性向上や消臭機能の付加の開発等、高規格木粉については、自動車内装材、流通資材、工事用資材、日用品等の開発が行われ、後者に関しては、既に市場投入が行われているものが多く、未だ市場が形成されていない前者においても、実用化に近い段階に到達している。

これらの用途開発をさらに進めるとともに、バイオマス製品が市場に受容され、普及するための施策等を推進することにより、本プロジェクトによる社会システム改革の実現につながるものとする。

(2) 地方公共団体等と実施対象地域

本研究は、岡山県真庭市を実証拠点として実施した。

真庭市は、市域の約 8 割 (652k m²) が林野であり、古くからヒノキやスギの産地として発展し、市内に原木市場が 3 市場、製材所が約 30 社、製品市場が 1 社あり、家一軒分の建築用材がすべて市内で揃うと言われてきた。

製材・木製品の市内生産額が製造業の約 1/4 を占めるなど、木材産業は市の重要な産業となっている。

また、同市は、近年では木質バイオマスの多面的な利用にも取り組んでおり、冷暖房システムや発電など官民挙げてのエネルギー利用や、企業・大学による研究・交流の拠点施設の運営や産学官連携組織を設置してのマテリアル利用の研究等にも積極的に取り組んでいる。

(3) 制度的隘路

(1) で記述したとおり、さまざまな用途開発を推進しているものの、これが製品化され、市場規模が拡大するまでの間は、再生可能エネルギーの固定価格買取制度のように、制度面で普及を後押しすることが重要であるが、現時点では普及につながるような制度が確立されているとはいえない。

当プロジェクトにおいては、バイオマス製品それ自体の持つ高い環境性に着目し、この普及面での隘路解消に向けた製品の購入や製造(消費者及び生産者)へのインセンティブ付与の取組を行った。

ア バイオマスプラスチックの環境性

(ア) CO₂ 排出量削減義務

2012 年に京都議定書第一約束期間は終了し、我が国は CO₂ 排出削減目標▲6%を達成した。2013 年～2020 年の第二約束期間においては、米国不参加、中国等新興国が削減義務を負わないことなどから我が国も不参加としているが、自主目標(2020 年に 2005 年比で▲3.8%)を定めて国連に登録しており、毎年国連への報告義務は継続される。また、2021 年以降の第三約束期間にはすべての国が参加する枠組みの構築が検討されており、それに向けて

CO₂ 排出量削減の取組を継続する必要がある。

(イ) バイオマスプラスチックの焼却に伴う CO₂ 排出量の削減

石油原料由来のプラスチックは、廃棄・焼却時に空気中の CO₂ 濃度を高めるため地球温暖化の原因となるとされ、廃プラスチックの焼却に伴い排出される CO₂ は、温室効果ガスとして排出量がナショナルインベントリにカウントされる。

一方、植物は生長時に大気中の CO₂ を吸収して固定し、焼却時には吸収した CO₂ を大気中に戻すだけであり、カーボンニュートラルの取扱いである。

植物由来原料を含むバイオマスプラスチックの廃棄・焼却に伴う CO₂ 排出量の算定について、我が国が提案した方法論が 2012 年に国連において認められたことにより、それ以後、我が国の廃プラスチックの焼却に伴う CO₂ 排出量からバイオマスプラスチック起源のものは、ナショナルインベントリから控除することが可能となっており、木粉を使用したバイオマスプラスチックも対象となっている。

また、今後木質由来のナノファイバーの製品が普及すれば、木粉同様にナショナルインベントリから控除されるものと考えられる。

よって、プラスチック製品に占めるバイオマスプラスチック由来製品の割合が高まることで、我が国の廃プラスチックの焼却に伴う CO₂ 排出量削減が可能となると言える。

イ 消費者へのインセンティブーバイオマスプラスチックの PRー

上記のとおり、バイオマスプラスチックは我が国の CO₂ 削減義務にも貢献できる高い環境性を有しているが、そのことを消費者=国民に周知されているとは言い難い。

自らの商品選択行動によって我が国の CO₂ 排出量削減に貢献できる可能性があることが浸透すればバイオマスプラスチック製品を購入する一つの動機となり得る。

また、消費者のバイオマスプラスチック製品の環境性に関する認知度の向上により、バイオマスプラスチック製品に関わる企業においても自社製品の付加価値や企業イメージを高めることができる。

このため、岡山県から、日本バイオマス製品推進協議会へ、バイオマスプラスチック製品の環境性について、国民に PR する旨の提案を行い、日本バイオマス製品推進協議会の事務局である一般社団法人日本有機資源協会からは、バイオマス製品の普及・促進に向けた事業の提案を環境省に行ったところである。

※日本バイオマス製品推進協議会：バイオマス製品の利用と普及の推進等を通じて、持続可能な循環型社会の形成と地域社会の活性化、地球温暖化防止対策等に寄与することを目的とし、メーカー、商社、大学教授、自治体等が会員となり普及啓発活動、国からの調査の受託、国への提言等の活動を行っている。事務局は一般社団法人日本有機資源協会。

さらに、岡山県においては、認定を受けた商品が通常の競争入札制度によらず随意契約により、県が調達可能となる制度にバイオマス製品を認定し、バイオマス製品の社会普及に努めている。

ウ 製造者へのインセンティブークレジット制度の検討ー

製造者へのインセンティブ付与の手段として、クレジット制度の適用について検討を行った。

検討の中で、「日本バイオマス製品推進協議会」において、バイオマスプラスチックのクレジット化について国への要望等の活動を行っていることが分かり、岡山県も平成 25 年度より同協議会に参加し、クレジット化に向けた活動をともに進めていくこととした。

表.V-28 日本バイオマス製品推進協議会において目指したクレジット化の内容

- ①海外で製造したバイオマスプラスチック(以下、「バイオ PE(ポリエチレン)という)からゴミ袋を国内で製造し、自治体の焼却施設で焼却する。
- ②バイオ PE は、ブラジルの廃糖蜜を原料としてエタノールを製造、エタノールから PE を合成し、日本に輸入する。
- ③ベースラインは、石油由来のポリエチレン(以下、「石油 PE」という)からゴミ袋を国内で製造し、自治体の焼却施設で焼却する。
- ④③から①に変更することによる温室効果ガス排出削減量にクレジットを付与

日本バイオマス製品推進協議会においては平成 22 年 7 月からバイオマス製品のクレジット化に向け、各省庁への働きかけを行い、各省庁との会合は 5 年間で 30 回以上に及んだ。

しかし以下の点が隘路となり実現には至っていない。(表 V-30)

表.V-29 クレジット化への制度的隘路

- ①活動量(ゴミ袋の使用量)モニタリングについて
 - ・実施者がきちんとモニタリングを行った上で、それに基づき推計する必要があることから、全体について推計的手法でモニタリングを行うことは認められておらず、個人のバイオ PE の廃棄量(焼却量)をいかにモニタリングするかが課題となる。
- ②バイオ PE に係る排出量の算定について
 - ・海外の原料についても、製造・運搬に係る排出量について算出する必要があり、算定のバウンダリー、排出係数の算定、活動量の計測が課題。(国内のバイオマスであっても、排出量は算定。)
 - ・例えば、製造・運搬過程における排出係数を論文等による排出係数を使う場合であっても、活動量は計測が必要。

岡山県としては、上記の状況を参考にしながら、クレジット化など、製造者へのインセンティブの付与に努めていく予定である。

4. 実施体制等の有効性

(1) 実施体制

ア 研究体制(技術開発・社会改革推進チーム)

研究内容毎に、超微粉碎システムセクション、新エネルギー複合利用システムセクション、地域基盤形成セクションを組織し、セクションリーダーをおいて研究の進捗、連携を行った。プロジェクト全体に関わる内容については、運営委員会を開催して参画機関全員の同意を得ながら進めている。

なお、必要に応じて、参画機関同士の打合せ、セクション会議を開催し、協力して研究を進めた。

イ 研究運営委員会等会議の開催状況

研究運営委員会委員一覧

氏 名	所属機関	役 職
◎小田 喜一	岡山県産業労働部産業振興課	グリーンバイオプロジェクトマネージャー
加藤 隆幸	中小企業基盤整備機構中部支部	森と人が共生する SMART 工場モデル実証技術アドバイザー
小林 健二	岡山県産業労働部産業振興課	産業振興課長
匂坂 正幸	(独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門	総括研究主幹
遠藤 貴士	(独)産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター	セルロース利用チーム研究チーム長
藤井 正浩	岡山大学大学院自然科学研究科	教授
井口 勉	岡山大学大学院自然科学研究科	准教授
沖原 巧	岡山大学大学院自然科学研究科	講師
岡田 賢治	倉敷芸術科学大学生命科学科	教授
川端 浩二	岡山県工業技術センター	研究開発部化学・新素材グループ長
山本 顕弘	モリマシナリー(株) セルロース開発室	セルロース開発室室長
伊藤 弘和	トクラス(株)事業開発推進部 WPC 事業推進グループ【※ヤマハリビン グテック(株)から社名変更】	WPC 事業推進グループグループ長
河崎 弥生	岡山県農林水産総合センター 森林研究所木材加工研究室	室長
野上 英孝	岡山県農林水産総合センター	研究員

	森林研究所木材加工研究室	
光畑 共久	コアテック(株)	常務取締役
鉄井 隆	コアテック(株)エコロジー事業部	課長
中川 二彦	岡山県立大学情報工学部情報システム工学科	教授
山岡 弘明	三菱化学(株)	理事兼 OPV 事業推進室統括部長
堀 清	真庭木材事業協同組合	専務理事
長尾 卓洋	真庭市産業観光部 バイオマス政策課	バイオマス政策課長
澁澤 寿一	農山村支援センター	副代表
嶋 一徹	岡山大学農学部	准教授
星原 達夫	真庭森林組合	代表理事組合長

◎研究運営委員長

(ア)運営委員会等の開催実績及び議題

a 運営委員会

第一回(平成22年7月30日)

- 議題: (1)運営委員会設置要綱について
(2)趣旨、実施体制、目標等の確認について
(3)事業計画について
(4)共同研究契約について
(5)経費の適正執行、証拠書類の保管について

第二回(平成22年11月29日)

- 議題: (1)平成22年度の進捗状況、平成23年度の事業計画について
(2)今後の事業の進め方について

第三回(平成23年3月16日)

- 議題: (1)平成22年度の事業成果及び平成23年度の事業計画について
(2)平成23年度の共通テーマへの取組について
(3)平成22年度事業成果の公表について

第四回(平成23年5月26日)

- 議題: (1)新エネルギー複合利用システム事業進捗状況について

- (2) 研究棟の整備について
- (3) 秘密保持、成果等の発表に関する取扱方針について
- (4) ビジネスモデル構築の基本方針について
- (5) 環境影響評価(CO2 排出量)について
- (6) 事業性評価について
- (7) 中間報告の目標設定について

第五回(平成23年11月16日)

- 議題: (1) 新エネルギー複合利用システム事業進捗状況について
- (2) 中間報告の目標の達成状況について
 - (3) GHG 原単位について(山からの搬出工程)
 - (4) セルロースナノファイバー資料提供の状況について
 - (5) 微粉碎機実機の製作状況について

第六回(平成24年3月26日)

- 議題: (1) 高規格・低コスト木粉製造技術に関する研究について
- (2) 平成23年度の事業成果及び平成24年度の事業計画について
 - (3) 中間報告の報告内容について

第七回(平成24年10月23日)

- 議題: (1) 平成24年度の事業の進捗状況について
- (2) 平成25年度事業費について
 - (3) 外部有識者の追加について
 - (4) SMART 工場啓発イベントの開催について

第八回(平成25年3月21日)

- 議題: (1) 秘密保持契約の見直しについて
- (2) 平成24年度の事業成果及び平成25年度の事業計画について

第九回(平成25年10月8日)

- 議題: (1) 事業の進捗状況並びに平成25年度及び平成26年度の事業計画等について

第十回(平成26年8月5日)

- 議題: (1) 事業のまとめ
- (2) 進捗状況及び本年度の事業計画等
 - (3) 成果報告書の作成について

第十一回(平成27年2月12日)

- 議題: (1) SMART 工場ビジネスモデル(案)について
- (2) 社会制度改革提案(案)について
 - (3) 各事業成果の概要について
 - (4) 成果報告セミナーについて

(イ) 実証拠点現地見学会

平成26年12月12日

(ウ)所要経費の使途

○人件費内訳:人件費の総額は188,548千円で全体の23.5%を占めており、事業担当職員が述べ49人で108,839千円、補助者が述べ88人で79,709千円となっている。

(岡山県)事業担当職員:延べ5名(11,130千円)
((独)産業技術総合研究所)補助者:延べ29名(47,279千円)
(岡山大学)補助者:延べ15名(2,106,388千円)
(倉敷芸術科学大学)補助者延べ:5名(14,704千円)
(モリマシナリー(株))事業担当職員:延べ15名(61,796千円)
(トクラス(株))事業担当職員:延べ2名(2,291千円)
(岡山県立大)補助者:延べ19名(4,165千円)
(コアテック(株))事業担当者:延べ21名(29,291千円)
補助者:延べ20名(11,454千円)
(真庭木材事業協同組合)事業担当者:延べ6名(4,330千円)

○設備備品費:総額は284,637千円で購入金額が500万円以上は19件となっている。

(岡山県)

- ・サイドオープンドラフトチャンパー:2011年2月10日取得、5,250千円
- ・一軸押出機:2011年2月18日取得、6,857千円

(モリマシナリー(株))

- ・マイクロスコープ:2010年8月16日取得、8,232千円
- ・電子顕微鏡:2010年8月16日取得、17,966千円
- ・微粉碎テスト機:2010年11月12日取得、5,145千円
- ・水熱処理装置:2011年9月29日取得、6,300千円
- ・微粉碎装置:2012年1月31日取得、12,223千円
- ・粗粉碎装置:2012年3月19日取得、5,356千円
- ・粒子系分布測定装置:2013年10月18日取得、5,198千円

(コアテック(株))

- ・リチウムイオン電池蓄電システム:2012年1月31日取得、23,100千円
- ・太陽光発電データ収集システム:2013年3月25日取得、7,035千円
- ・オガ粉乾燥装置:2013年3月25日取得、16,065千円
- ・フォークリフト向けリチウムイオン電池:2014年2月25日取得、7,455千円
- ・充電コントローラ:2014年2月25日取得、7,001千円

(真庭木材事業協同組合)

- ・オガ粉乾燥機:2013年3月29日取得、12,408千円
- ・オガ粉乾燥付帯設備:2013年5月30日取得、12,453千円
- ・木粉粉碎機:2013年9月15日取得、13,650千円
- ・木粉製造分級ライン:2013年9月28日取得、22,838千円
- ・マイクロシフター及び粉碎品回収機:2014年6月30日取得、14,040千円

(2)広報普及

ア 情報発信 (アウトリーチ活動等)について

岡山県のグリーンバイオ・プロジェクトのホームページにおいて、SMART 工場実証について PR している。また、プロジェクトの開始時点、中間報告時点、実証終了時点においてそれぞれセミナーを開催して取組内容を広く周知するとともに、バイオマス利活用推進、地球温暖化防止に向けた意識の醸成を図った。

- ・キックオフセミナー(平成 22 年 7 月 30 日)
- ・(中間)セミナー(平成 25 年 2 月 21 日)
- ・成果報告セミナー(平成 27 年 3 月 25 日)

イ 研究成果の発表状況

(ア)研究発表件数

	原著論文発表 (査読付き)	左記以外の紙面 発表	口頭発表	合計
国内	4	7	30	41
国外	8	0	3	11
合計	12	7	33	52

(イ)特許出願件数:国内 1 件

(ウ)受賞等:該当なし

(エ)原著論文:(査読付)

【国内誌】(国内英文誌を含む)

- ①“Regional impact by business creation of high value-added products from woody biomass with case study in Maniwa, Japan”, Dami MOON, and Yutaka GENCHI, Journal of Environmental Information Science, 掲載予定(2015).
- ②“Economic impact of utilizing woody biomass to manufacture high value-added material products: a study of Cellulose Nanofiber and High Standard Chip-dust production in Maniwa, Japan”, Dami MOON, Naomi KITAGAWA, Masayuki SAGISAKA, and Yutaka GENCHI, Journal of the Japan Institute of Energy, 掲載予定(2015).
- ③“バイオマス会計を用いたバイオマスタウン事業の波及効果分析”, 伊佐亜希子, 美濃輪智郎, 柳下立夫, 環境科学会誌 26(1), 42-48, 2013.
- ④伊藤弘和、服部英広、高谷政広、岡本忠、遠藤貴士、李承桓、藤正督、寺本好邦、吾郷万里子、今西祐志:「高充填ウッドプラスチックにおけるコンパウンドのフィブリル化処理の効果」、繊維学会誌、67(1)、1-7、(2011)

【国外誌】

- ①“CO₂ emissions and economic impacts of using logging residues and mill residues in Maniwa Japan”, Dami MOON, Naomi KITAGAWA, and Yutaka GENCHI, Forest policy and economics, 50, 163-171, Jan.2015.
- ②“The Regional economic impacts on the development of wood chip utilization in Maniwa city”, MOON Dami, ISA Akiko, YAGISHITA Tatsuo, MINOWA Tomoaki, Journal of Wood Science, 59(4), 321-330, 2013.
- ③“Evaluation of energy consumption and greenhouse gas emissions in preparation of cellulose nanofibers from woody biomass”, X. Z. Sun, D. Moon, T. Yagishita, T. Minowa, the Food & Process Engineering Institute of ASABE, 56(3), 5061-5067, 2013.
- ④SH. Lee, Y. Teramoto, T. Endo:” Cellulose nanofiber-reinforced polycaprolactone / polypropylene hybrid nanocomposite”、Composites Part A: Applied Science and Manufacturing、42(2)、151-156、(2011).
- ⑤F. Chang、SH. Lee、K. Toba、A. Nagatani、T. Endo:” Bamboo nanofiber preparation by HCW and

grinding treatment and its application for nanocomposite”、Wood Science and Technology、46、393-403、(2012)。

- ⑥Shinichiro Iwamoto, Takashi Endo:” 3nm Thick Lignocellulose Nanofibers Obtained from Esterified Wood with Maleic Anhydride”、ACS Macro letters, 4(1), 80-83 (2015),
- ⑦Shinichiro Iwamoto, Shigehiro Yamamoto, Seung-Hwan Lee, Takashi Endo:” Solid-state shear pulverization as effective treatment for dispersing lignocellulose nanofibers in polypropylene composites”、Cellulose, 21(3), 1573-1580 (2014)
- ⑧Shinichiro Iwamoto, Shigehiro Yamamoto, Seung-Hwan Lee Takashi Endo:” Mechanical properties of polypropylene composites reinforced by surface-coated microfibrillated cellulose”、Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 59, 26-29 (2014)

(オ)その他の主な情報発信(一般の公開セミナー、展示会、著書、Web 等)

- ①【口頭発表】第 15 回岡山新材料技術融合フォーラム、岡山市、2011.4.25
- ②【口頭発表】産総研オープンラボ 2011 講演会「地域におけるオープンイノベーション」、茨城県、2011.10.13
- ③【口頭発表】セルロース学会若手セミナー、呉市、2011.10.22
- ④【口頭発表】第 41 回先端繊維研究委員会 (AFMc) ミニシンポジウム、京都府、2012.6.22
- ⑤【ポスター・サンプル展示】セルロース学会第 20 回年次大会、京都府、2013.7.18-19
- ⑥【ポスター展示】プラスチック成形加工学会、倉敷市、2013.11.7
- ⑦【口頭発表・サンプル展示】セルロース学会第 21 回年次大会、2014.7.17-18
- ⑧【展示会】高機能プラスチック展 2014、大阪市、2014.9.24-26
- ⑨【口頭発表】第 22 回ファイナリーシンポジウム、静岡県、2014.11.21
- ⑩【口頭発表】B-net フォーラム 2014、岡山市、2014.11.28
- ⑪【口頭発表】セルロースナノファイバー応用セミナー、大阪市、2015.1.22
- ⑫【口頭発表】産総研本格研究ワークショップ in 岡山、岡山市、2015.2.24
- ⑬【口頭発表】平成 26 年度木質バイオマス産業人材育成講座、真庭市、2015.3.18
- ⑭【著書】セルロースナノファイバーの調整、分散・複合化と製品応用、2015.1.30 発刊
- ⑮【口頭発表・デモンストレーション・サンプル展示】産総研サイエンスカフェ in 東広島、東広島市、2014.11.21
- ⑯【口頭発表・ポスター展示】第 3 回バイオマスリファイナリーシンポジウム、東京、2014.9.8
- ⑰【口頭発表・ポスター・サンプル展示】材料フェスタ、仙台、2014.7.28-29
- ⑱【口頭発表・サンプル展示】産総研中国センター施設公開 2014、東広島、2014.8.26
- ⑲【口頭発表・ポスター・サンプル展示】第 2 回バイオマスリファイナリーシンポジウム、東広島、2013.11.13
- ⑳【口頭発表・サンプル展示】産総研中国センター施設公開、東広島 2012.10.19 東広島
- ㉑【口頭発表・サンプル展示】産総研中国センター施設公開、東広島 2013.10.25
- ㉒【口頭発表・デモンストレーション】バイオマス理科教室、真庭市、2013.8.23
- ㉓【口頭発表・デモンストレーション】親子で学ぼう！夏休み木の科学実験教室、真庭市、2012.8.1
- ㉔【ポスター展示】第 15 回岡山リサーチパーク研究展示発表会、岡山市、2010.8.31
- ㉕【口頭発表】平成 22 年度バイオマスマテリアル利用研究会講演会 in 岡山、岡山市、2010.12.14

- ②⑥【口頭発表】岡山新材料技術融合フォーラム、岡山市、2011.4.25
- ②⑦【ポスター展示】第 16 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会、岡山市、2011.9.1
- ②⑧【紙面掲載】岡山日日新聞、「バイオマス活用で新しい時代をつくる」、2011.8.27
- ②⑨【紙面掲載】セルロース学会誌、「おかやまグリーンバイオ・プロジェクトーセルロースで拓く新たな未来ー」
- ③⑩【口頭発表】岡山県アパレル加工研究会講演会、岡山市、2011.12.2
- ③⑪【口頭発表】平成 23 年度木質バイオマス産業人材育成講座 in 真庭、2012.3.3
- ③⑫【ポスター展示】第 17 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会、岡山市、2012.9.10
- ③⑬【口頭発表】第 20 回フィラシンポジウム、米原市、2012.11.15
- ③⑭【口頭発表】平成 24 年度産業技術連携推進会議 中国地域部会・四国地域部会合同 環境・エネルギー技術分科会、高松市、2012.11.29
- ③⑮【口頭発表】第 18 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会、岡山市、2014.3.4
- ③⑯【口頭発表】平成 26 年度産業技術連携推進会議 中国地域部会・四国地域部会合同 環境・エネルギー技術分科会、松山市、2014.12.11
- ③⑰【紙面掲載】山陽新聞、「プラスチック強化剤セルロースナノファイバー 木材チップから量産」、2015.3.17
- ③⑱【口頭発表・ポスター展示】岡山理科大学フォーラム、岡山市、2014.11.21
- ③⑲【口頭発表】関西ハイブリッド&インターフェース研究会、岡山市、2013.3.11
- ④⑩【口頭発表・ポスター展示】千葉科学大学フォーラム、銚子市、2012.9.10
- ④⑪【口頭発表】倉敷市民講座、「知りたい！新世代エネルギー・バイオマス」、倉敷市、2014.9.17
- ④⑫【口頭発表】岡山県森林研究所平成 26 年度研究成果発表会、真庭市、2015.2.24

5. 中間評価の反映

本プロジェクトは、林地残材利用等拡大・バイオマス製品の社会普及により、森林の CO₂ 吸収源機能の保全・強化を図ることを目的としている。

本研究での技術開発により生まれたナノファイバーや高規格木粉等は、地域の木質バイオマスを原料として製造可能な素材であり、木質資源の多角的な利用により産業振興を図る地域づくりを進める岡山県真庭市の地域基盤をベースに、新素材の製造を担う各事業主体と岡山県が連携し、県独自財源を活用しながら用途開発・製品開発を進め、環境性の高い木質バイオマス産業の創出に向けた取組を継続していくこととしている。

また、木質バイオマスのマテリアルフロー、SMART 工場で実施する事業の経済性及び CO₂ 削減効果をビジネスモデルにおいて示している。

VI 実施期間終了後の継続性・発展性

1. 実施期間終了後の継続・発展

(1) 森林資源のカスケード利用の推進

我が国は世界有数の森林国であり、森林は、国土の保全、水源の涵養、生物多様性の保全、地球温暖化の防止、林産物の供給などの多面にわたる機能を発揮しており、適正な整備・保全による機能の維持・向上が重要である。

しかし、我が国の林業産出額は、木材生産額の大幅な減少により昭和 55 年をピークに減少傾向にあり、ここから木材価格の下落、労賃等の経営コストの上昇により、林業の採算性は悪化の一途をたどっており、林業自体を成長産業に転換しなければ、地域森林の持つ多面的機能が失われてしまうおそれがある。

本プロジェクトの提案は、林業の成長産業化に向け、森林資源を「伐って・使って・植えて・育てる」というサイクル確立の鍵となる「カスケード利用」の推進施策の一つであるが、本県では、本流である製材利用から、燃料、工業材料等までバランスよく余すことなく利用されなければ十分な効果は得られないとの認識のもと、トータルで健全な森林を維持し、林業収益性を高めるための様々な取組を推進することとしている。

【主な取組】

ア 木質バイオマス資源の安定供給体制整備

平成 20 年度に、間伐材や製材端材を集積する拠点として「真庭バイオマス集積基地」を整備し、平成 26 年度には、木質バイオマス発電向けに年間約 4 万トンの燃料用チップを製造する真庭バイオマス集積基地第 2 工場を整備

イ 木質バイオマス発電

国内最大規模の木質バイオマス発電施設が平成 27 年 4 月に稼働(年間、未利用間伐材 9 万トン、製材端材等 6 万トン利用)

ウ CLT(直交集成板)等新製品の開発と普及促進

構造材として多くの用途が期待される国内初の CLT 本格製造施設の整備(平成 27 年度末に完成見込み(生産能力 4,000 m³ → 34,000 m³)等

エ 県産ヒノキ製材品の販路拡大(中国・韓国への輸出)

木材消費が増加傾向にある中国・韓国に、新たな販路開拓のため、展示会・商談会を通じたマーケティングの展開を平成 24 年度から支援

オ 木質バイオマス資源のマテリアル利用の推進

木の特長を踏まえた新たな工業材料の開発等により付加価値の高い新産業の創出を目指す取組。⇒本プロジェクトを含む「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」

※企業の社会的責任に対する意識の高まりを背景に、環境に配慮した製品を開発したいとの企業の欲求は高まっている。持続可能な地域の木質資源を原料として製造した工業用材料の製品化を目指す本プロジェクトの取組みは、そのような社会の需要に応えるものである。

(2) ナノファイバーをはじめとする木質バイオマス資源のマテリアル利用の推進

ア 国等の動向

経済産業省は、2030 年に年間1兆円規模の市場創造を目標と設定し、新たな産業としての高度バイオマス産業が生まれ、低炭素社会、循環型社会の構築に貢献をしていくことに期待することとした。(図. VI-1)

平成 26 年 6 月には、「日本再興戦略」改訂 2014 において、木質バイオマスについてエネルギー利用促進を図るとともに、セルロースナノファイバー(超微細植物結晶繊維)の研究開発等によるマテリアル利用の促進に向けた取組の推進が位置付けられた。

同じく平成 26 年 6 月には、これらの流れを受ける形で、(独)産業技術総合研究所を事務局に、研究開発、事業化、標準化に向けた、経済産業省、文部科学省など関係省庁や企業、大学等によるオールジャパン体制による

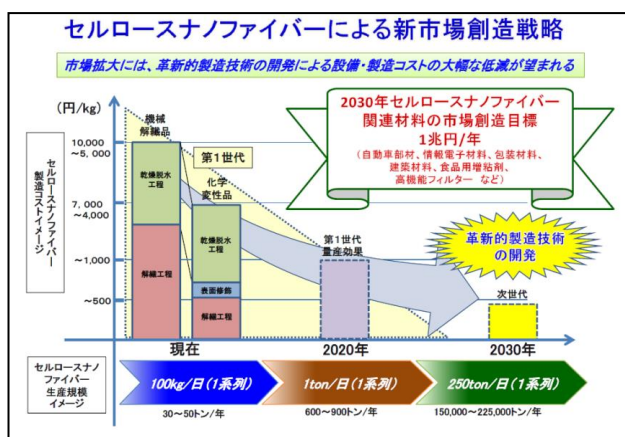


図. VI-1 セルロースナノファイバーによる新市場創造戦略
(出展:経済産業省「平成 25 年度製造基盤技術実態等調査(紙業産業の将来展望と課題に関する調査)」)

二. 戦略市場創造プラン

テーマ4：世界を惹きつける地域資源で稼ぐ地域社会の実現
テーマ4-① 世界に冠たる高品質な農林水産物・食品を生み出す豊かな農山漁村社会

(3) 新たに講ずべき具体的施策

iv) 林業・水産業の成長産業化等

① 林業の成長産業化

豊富な森林資源を循環利用し、森林の持つ多面的機能の維持・向上を図りつつ、林業の成長産業化を進める。(中略)
・木質バイオマスについて、地域密着型の小規模発電や熱利用との組み合わせ等によるエネルギー利用促進を図るとともに、セルロースナノファイバー(超微細植物結晶繊維)の研究開発等によるマテリアル利用の促進に向けた取組を推進する。

図. VI-2 「日本再興戦略」改訂 2014 P.114 から抜粋

コンソーシアム「ナノセルロースフォーラム」が立ち上げられるとともに、8 月には「関係省庁連絡会議」が設置された。

さらに、平成 27 年 4 月からは、ナノセルロースに関する地域展開を支援するため、ナノセルロースフォーラムに地域分科会が設置され、地域内・地域間の情報交換、連携が促進されこととなった。

イ 本県の取組

このように、全国的にもナノファイバーの研究開発、事業化、標準化等の取組が加速されている中、本県においては、本プロジェクトを含むこれまでの成果を基に、以下により取組を強化することにより、本県の誇る地域資源である森林資源を活かした木質バイオマス産業の創出により、地域・産業の活性化を目指す。

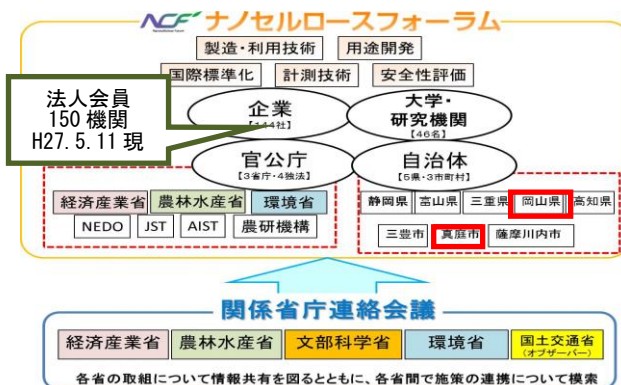


図. VI-3 ナノセルロースフォーラム及び関係省庁連絡会議の体制図 (出展:経済産業省資料)

(ア) 取組強化の視点

本プロジェクトにより、ナノファイバーを製造する技術が確立され、事業化に向け各方面へのサンプル出荷が行われているところであるが、工業材料として普及拡大されるためには、素材としての機能面や生産性の面でのさらなる改善及び用途としてのキラーアプリケーションを見出すことが必要である。

また、ナノファイバーを含む木質バイオマス製品の市場投入を推進するための販路開拓やPRに加え、地域産業として根付かせるための取組が重要となる。

本県では、これまでの取組で獲得した「強み」をさらに進化させるための取組を上記の視点により推進することとしている。

(イ) 素材開発の推進

既に知られているとおり、ナノファイバーは親水性が高いため、疎水性の高い樹脂等と均一に混合・複合化するのは大変困難であることから、現状ではこれを利用する側に、高い技術を必要とし、普及が進まない要因の一つとなっている。また、本プロジェクトにより確立したナノファイバー製造技術は、林地残材等から化学処理を用いず機械的一貫連続処理によるものであり、現在知られている他の製造方法に比べ製造コストも抑えられている等、大量生産に適した技術であるものの、本格的な工業利用の段階に移行するためには、供給技術面での改善が必要である。

本プロジェクト参画機関であるモリマシナリー株式会社においては、同じく参画機関である国立研究開発法人産業技術総合研究所や岡山県工業技術センターとの連携により、上記課題を解決するための研究開発に取り組むこととしており、本県においても、国の地域住民生活等緊急支援交付金(地方創生先行型)の活用により、支援することとしている。

(ウ) 用途・製品開発の推進

本県では、本プロジェクトと並行して、ナノファイバーや木粉等の木質バイオマス資源の用途に係る技術や製品の研究開発を推進しており、ナノファイバーについては、自動車用ゴム製品の薄肉化技術の開発、水性塗料の耐候性向上や消臭機能の付加の開発等、木粉については、自動車内装材、流通資材、工事用資材、日用品等の開発が行われ、後者に関しては、既に市場投入が行われているものが多い。

また、本プロジェクトを契機として県が設置・運営した「おかやまバイオマスイノベーション創造センター」において、企業による実用化開発につなげるための先導的研究を実施するとともに、従来から県が設置している産学官連携組織「岡山バイオマスプラスチック研究会」(平成26年度末時点会員数:96 機関(企業 70、研究機関 12、関係機関 14))における技術・市場に係る情報提供等を行うことで、木質バイオマスのマテリアル利用による新産業創出の機運を醸成している。

本格的な「木質バイオマス産業」へのステージアップを図っていくため、ナノファイバーをはじめとする木質バイオマス資源の用途に係る技術や製品の研究開発について、販路開拓までを見据えた支援を推進していくものである。

(エ) 販路開拓の推進

これらの取組により開発されたナノファイバーや木粉等に係る開発商品の市場投入を促進するため、「岡山バイオマスプラスチック研究会」等の産学官・異業種連携ネットワークを活用

した情報発信に加え、川下の各種業界団体に対するナノファイバー等に係るニーズ調査を実施する(注)とともに、そのニーズを踏まえた川上から川中・川下とのマッチングを行うコーディネーターを設置し、マッチング機能の強化及び市場開拓を行っていくこととしている。

(注) ナノファイバーについては、平成 27 年度において、公益財団法人ちゅうごく産業創造センターが、産学官の有識者による「中国地域におけるセルロースナノファイバー関連産業創出可能性調査」を実施することになっており、この調査プロジェクトに本県も参加することとしている。

(オ) 地域への取組の展開

地域資源を活かした木質バイオマス産業の創出による地域・産業の活性化のためには、これまで県が主体となり推進してきたプロジェクトの成果を、地域資源を保有する市町村自体が活用、発展させることが必要であるとの認識のもと、本県の取組と連携してバイオマスリファイナリー運営拠点、人材育成など、木質バイオマスの利活用による地域の活性化、産業の振興に取り組む市町村を支援することとしている。

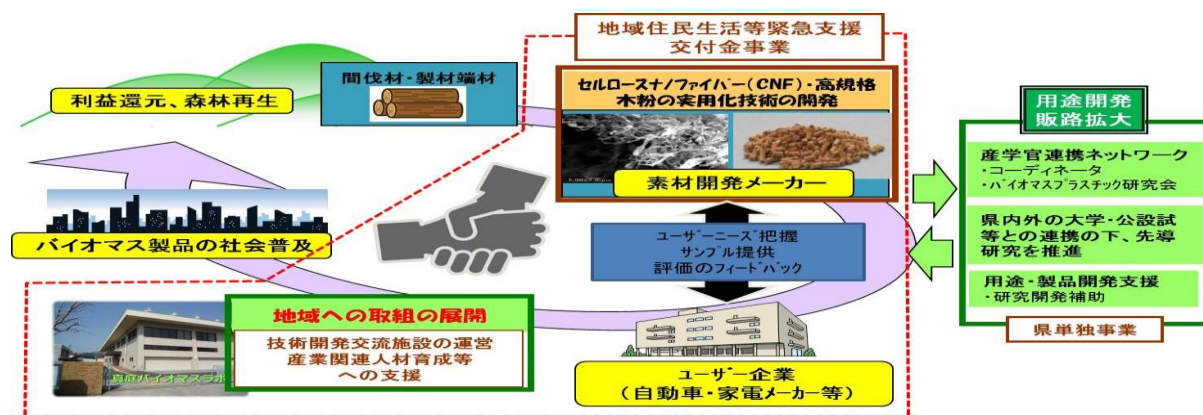


図. VI-4 本県における木質バイオマスのマテリアル利用の推進イメージ
(おかやまグリーンバイオ・プロジェクト)

(3) 新エネルギーの普及拡大

平成 24 年 7 月に導入された国の固定価格買取制度により、太陽光を中心に新エネルギーの導入は急速に進んだが、その多くは当該制度を活用した売電を目的としたものであった。しかし、電力会社が新エネルギー由来の電力を買い取る際の国民負担の増加、不安定電源である新エネルギーを系統接続することへの技術的課題の顕在化、電力システム改革の進展により、本プロジェクトで取り組んだような創エネ、蓄エネ、送エネ等の技術を複合利用するエネルギーマネジメント技術が重要となると考えられる。

本県においては、全国に先駆けて、平成 23 年 3 月に「おかやま新エネルギービジョン」を策定し、新エネルギーの普及拡大を地球温暖化防止だけでなく産業振興や地域活性化に結びつけるための各種取組を進めており、本プロジェクトでの取組は、工場における生産工程における新エネルギー活用のモデルといえる。

今後の取組の発展においても、ナノファイバー等の素材製造のみならず、これを利活用した製品等の製造工程においても、エネルギー使用量(CO₂)の抑制及び効率化は、事業化に向けてのポイントであると考えられることから、本プロジェクトでのエネルギーマネジメント技術の導入は有効であると考えられる。

(4)地域としての取組

実証の拠点であった真庭市は、本プロジェクトの取組を通じて、平成 26 年 3 月に「バイオマス産業都市」に選定され(内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省の 7 府省連携)、以下の事業に取り組んでいる。

①真庭バイオマス発電事業

- ・未利用木材を主原料とした大規模発電
(10,000kW、2万2千世帯相当)

②木質バイオマスファイナリー事業

- ・「真庭バイオマスラボ」を中心とした木質バイオ

マスの高付加価値化技術の研究開発

③有機廃棄物資源化事業

- ・生ごみ肥料化、BDF 製造等

④産業観光拡大事業

- ・バイオマスツアー等の実施

なお、県においても、(2)(オ)で記載したとおり、こうした市町村の取組を支援することとしている。

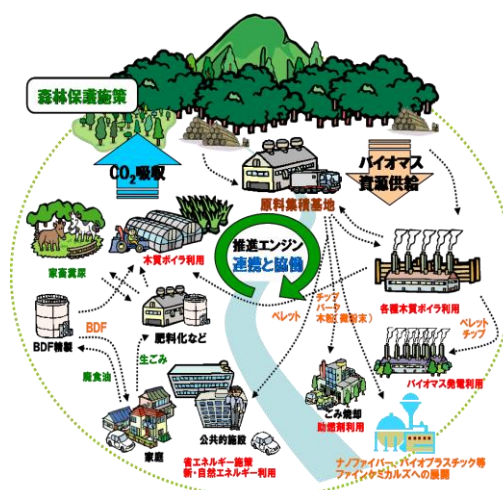


図. VI-5 「真庭バイオマス産業杜市」イメージ
(出展: 真庭市)

2. 波及効果と普及発展

地域における波及効果としては、以下のものがある。

- ・森林資源のカスケード利用の推進による地球温暖化防止を含む多面的機能の維持・向上
- ・事業化に伴う経済波及効果
- ・新事業・新産業の創出による雇用拡大
- ・研究開発型企业や研究人材の輩出・定着
- ・専門技術の蓄積による新たな地域産業構造への転換
- ・研究機関、大学等との連携による強固なネットワークの構築
- ・地域産業の活性化 など

普及発展においては、1.(4)で記述したとおり、真庭市が平成 26 年 3 月に国の「バイオマス産業都市」に選定され、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指す地域のモデルケースとなるなど注目されているところであり、この取組を通じて本プロジェクトの成果の発信を行っていくとともに、1.(2)アで記述した、ナノセルロースフォーラムの地域分科会においても、本プロジェクトの成果報告等を行っていくことで、他地域への普及が見込まれる。

VII. 付録(非公開)

中核機関、参画機関、協力機関の参画者リスト(所属、役割分担)

1. 実施体制一覧(表 11)

研 究 項 目	担当機関等	研究担当者
1. ビジネスモデル構築・社会制度提案・LCA (1) 林工一体型ビジネスモデルの構築と社会制度提案	岡山県産業労働部 産業振興課	◎小田喜一グリーンバ イオプロジェクトマネー ジャー 小林健二課長、加島 健二総括参事、雲井博 之副参事、安田良一主 幹、堀井裕二主任 勾坂正幸総括研究主 幹、玄地裕研究グルー プ長、文多美特別研究 員、北川直美テクニカ ルスタッフ
(2)経済性評価、LCA 評価、社会システム評 価	(独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門素材エ ネルギー研究グループ	
2. 超微粉碎システム		
(1) 微超微粉碎物の特性評価及び複合化 技術に関する研究	(独)産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研 究センターセルロース利用チ ーム	遠藤貴士研究チーム 長、岩本伸一朗主任研 究員、齋藤有紀テクニ カルスタッフ、大田民テ クニカルスタッフ、谷岡 拓弥テクニカルスタッフ
(2) ナノファイバーについての研究	モリマシナリー(株)セルロー ス開発室	山本顕弘室長、東山 慎吾研究員、矢代田 素己研究員
(3) ナノファイバー製造についての研究		藤井正浩教授
(4) 超微粉碎装置の摩耗評価法と耐摩耗表 面改質法の開発に関する研究	岡山大学大学院自然科学 研究科	
(5) 化学処理によるプロセスの省コスト、省エ ネルギー化技術の開発に関する研究	〃	沖原巧講師
(6) 粉碎促進触媒利用技術の開発に関す る研究		
(7) セルロースナノファイバーの化学修飾と 分析評価	〃	岡島裕樹技術補佐員、 吉実伸悟技術補佐員 渡邊俊技術補佐員、
(8)セルロースナノファイバーの特性評価に関 する研究	岡山県工業技術センター研 究開発部	川端浩二専門研究員 藤井英司研究員

(9) 高機能性材料化プロセスの研究 (8)新規迅速コンパウンド化検証に関する研究 (11)コンパウンド量産化及び成形評価に関する研究 (12)コンパウンド量産化及び成形評価に関する研究 (13)品質管理手法の確立」に関する研究 (14) 高規格木粉製造技術の評価	倉敷芸術科学大学生命科学部 トクラス(株)事業企画推進部 WPC事業推進グループ	岡田賢治教授、上本直也研究補助 伊藤弘和グループ長 樋口逸郎、牧瀬理恵、岡本真樹
3. 新エネルギー複合利用システム (1) 風力発電機、薄膜太陽電池の開発	岡山県農林水産総合センター森林研究所木材加工研究室 コアテック(株)エコロジー事業部	河崎弥生副所長、野上英孝研究員 鉄井隆部長、田中秀和副主事、合田拓朗、原芳治係長、寺田成男、中山智文、古川夢大、高田勝健
(2) エネルギーシステム設計、データ解析	岡山県立大学情報工学部	中川二彦教授、能登路裕特別研究員
(3) 有機薄膜型太陽電池の自然条件下での発電実証	三菱化学(株)OPV事業推進室	山岡弘明理事兼統括部長
4. 地域社会システム構築 (1) 原料調達から出荷までの生産管理方法手法研究 (2) 高規格木粉の特性評価技術、付加価値化、品質管理の研究 (3) 木質資源の集材、高規格木粉の低コスト製造技術の研究 (4) 環境先進杜市を目指したまちづくり計画策定	真庭木材事業協同組合 真庭市産業観光部バイオマス政策課	堀清専務理事、樋口誠一郎工場長、松崎恵子、綱島武、樋口正樹、丸下誠、大戸英之 中井統括監、長尾卓洋課長、前田健一主査、森田学主任

◎ 研究代表者

(平成 26 年度末時点)