

「炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術
開発」

事業原簿【公開】

| | |
|-----|-------------------------------------------|
| 担当部 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部 |
|-----|-------------------------------------------|

—目次—

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. 概要 | |
| 2. プロジェクト用語集 | |
| | |
| I. 事業の位置付け・必要性について | |
| 1. 事業の背景・目的・位置付け | |
| 1.1 事業の背景 | I-1 |
| 1.2 事業の目的及び意義 | I-3 |
| 1.3 事業の位置付け | I-4 |
| 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 | |
| 2.1 NEDO が関与することの意義 | I-8 |
| 2.2 実施の効果（費用対効果） | I-8 |
| | |
| II. 研究開発マネジメントについて | |
| 1. 事業の目標 | II-1 |
| 2. 事業の計画内容 | II-4 |
| 2.1 研究開発の内容 | II-4 |
| 2.1.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」 （助成事業） | II-4 |
| 2.1.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」 （委託事業、及び助成事業） | II-4 |
| 2.2 研究開発の実施体制 | II-5 |
| 2.3 研究開発の運営管理 | II-5 |
| 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性 | II-5 |
| 3. 情勢変化への対応 | II-7 |
| 4. 評価に関する事項 | II-8 |
| | |
| III. 研究開発成果について | |
| 1. 事業全体の成果 | III-1-1 |
| 2. テーマ毎の成果 | |
| 2.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造技術の開発」（助成事業） | |
| 2.1.1 テーマ1「疎水化 TOCN(TEMPO 酸化セルロースナノファイバー)及び樹脂複合化の製造プロセス技術の開発」（花王株式会社） | III-2-1-1-1 |
| 2.1.2 テーマ2「CNF/塩化ビニル系樹脂複合体の低コスト化技術の確立」（大洋塩ビ株式会社/プラス・テク株式会社） | III-2-1-2-1 |
| 2.1.3 テーマ3「CNF 強化樹脂 (PA6、PP)の低コスト製造プロセス技術の開発」（日本製紙株式会社/UBE 株式会社） | III-2-1-3-1 |

- 2.1.4 テーマ4「伝動ベルトをターゲットとした CNF 複合化クロロプレンゴムの低コスト製造技術開発」(東ソー株式会社/バンドー化学株式会社)
Ⅲ-2-1-4-1
- 2.1.5 テーマ5「革新的 CNF 複合樹脂ペレットの製造プロセスの開発」(大王製紙株式会社/芝浦機械株式会社)
Ⅲ-2-1-5-1
- 2.1.6 テーマ6「高性能、高生産性セルロースナノファイバー複合材料の革新的製造プロセスの開発」(星光 PMC 株式会社)
Ⅲ-2-1-6-1
- 2.1.7 テーマ7「ウォータージェット技術を用いた革新的 CNF 製造プロセス技術の開発および乾燥技術の開発」(株式会社スギノマシン)
Ⅲ-2-1-7-1
- 2.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」(助成事業/委託事業)
- 2.2.1 テーマ1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」(助成事業)
- 2.2.1.1 サブテーマ1「CNF 技術を利用した住宅・非住宅用内装建材の開発」(大建工業株式会社/利昌工業株式会社)
Ⅲ-2-2-1-1-1
- 2.2.1.2 サブテーマ2「自動車部品実装に向けた CNF 複合材料開発、成形・加工技術開発」(ダイキョーニシカワ株式会社)
Ⅲ-2-2-1-2-1
- 2.2.1.3 サブテーマ3「革新的ガス吸着再生 CNF 複合フィルタを用いた多機能型デシカントフィルタシステムの開発」(進和テック株式会社)
Ⅲ-2-2-1-3-1
- 2.2.1.4 サブテーマ4「炭素循環社会に貢献するセルロースエコマテリアル開発および商品適用検証」(パナソニック HD 株式会社)
Ⅲ-2-2-1-4-1
- 2.2.1.5 サブテーマ5「CNF 配合エラストマーの製造プロセス低コスト化による製品実装技術開発」(住友ゴム工業株式会社/日本製紙株式会社)
Ⅲ-2-2-1-5-1
- 2.2.1.6 サブテーマ6「水性樹脂を用いた環境適合型 CNF 複合樹脂の製法開発と CFRP への適用」(美津濃株式会社/第一工業製薬株式会社)
Ⅲ-2-2-1-6-1
- 2.2.1.7 サブテーマ7「CNF を使用したゴム製靴底及びゴムタイヤの量産化技術の開発」(株式会社ニチマンラバーテック)
Ⅲ-2-2-1-7-1
- 2.2.2 テーマ1「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」(委託事業)(国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人福井大学)
Ⅲ-2-2-2-1

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

1. 事業全体の取り組み及び見通し…………… IV-1-1
2. テーマ毎の取り組み及び見通し
 - 2.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造技術の開発」(助成事業)
 - 2.1.1 テーマ 1「疎水化 TOCN(TEMPO 酸化セルロースナノファイバー)及び樹脂複合化の製造プロセス技術の開発」(花王株式会社)…………… IV-2-1-1-1
 - 2.1.2 テーマ 2「CNF/塩化ビニル系樹脂複合体の低コスト化技術の確立」(大洋塩ビ株式会社/プラス・テック株式会社)…………… IV-2-1-2-1
 - 2.1.3 テーマ 3「CNF 強化樹脂(PA6、PP)の低コスト製造プロセス技術の開発」(日本製紙株式会社/UBE 株式会社)…………… IV-2-1-3-1
 - 2.1.4 テーマ 4「伝動ベルトをターゲットとした CNF 複合化クロロプレンゴムの低コスト製造技術開発」(東ソー株式会社/バンドー化学株式会社)…………… IV-2-1-4-1
 - 2.1.5 テーマ 5「革新的 CNF 複合樹脂ペレットの製造プロセスの開発」(大王製紙株式会社/芝浦機械株式会社)…………… IV-2-1-5-1
 - 2.1.6 テーマ 6「高性能、高生産性セルロースナノファイバー複合材料の革新的製造プロセスの開発」(星光 PMC 株式会社)…………… IV-2-1-6-1
 - 2.1.7 テーマ 7「ウォータージェット技術を用いた革新的 CNF 製造プロセス技術の開発および乾燥技術の開発」(株式会社スギノマシン)…………… IV-2-1-7-1
 - 2.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」(助成事業/委託事業)
 - 2.2.1 テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」(助成事業)
 - 2.2.1.1 サブテーマ 1「CNF 技術を利用した住宅・非住宅用内装建材の開発」(大建工業株式会社/利昌工業株式会社)…………… IV-2-2-1-1-1
 - 2.2.1.2 サブテーマ 2「自動車部品実装に向けた CNF 複合材料開発、成形・加工技術開発」(ダイキョーニシカワ株式会社)…………… IV-2-2-1-2-1
 - 2.2.1.3 サブテーマ 3「革新的ガス吸着再生 CNF 複合フィルタを用いた多機能型デシカントフィルタシステムの開発」(進和テック株式会社)…………… IV-2-2-1-3-1
 - 2.2.1.4 サブテーマ 4「炭素循環社会に貢献するセルロースエコマテリアル開発および商品適用検証」(パナソニック HD 株式会社)…………… IV-2-2-1-4-1
 - 2.2.1.5 サブテーマ 5「CNF 配合エラストマーの製造プロセス低コスト化による製品実装技術開発」(住友ゴム工業株式会社/日本製紙株式会社)…………… IV-2-2-1-5-1
 - 2.2.1.6 サブテーマ 6「水性樹脂を用いた環境適合型 CNF 複合樹脂の製法開発と CFRP への適用」(美津濃株式会社/第一工業製薬株式会社)…………… IV-2-2-1-6-1
 - 2.2.1.7 サブテーマ 7「CNF を使用したゴム製靴底及びゴムタイルの量産化技術の開発」(株式会社ニチマンラバーテック)…………… IV-2-2-1-7-1
 - 2.2.2 テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」(委託事業)(産業技術総合研究所/福井大学)…………… IV-2-2-2-1

V. 添付資料

| | |
|---------------|-------|
| プロジェクト基本計画 | V-1-1 |
| プロジェクト開始時関連資料 | V-1-7 |
| 特許論文等リスト | V-1-8 |

概要

| | | | |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| | | 最終更新日 | 2022年7月4日 |
| プログラム（又は施策）名 | 科学技術・イノベーション | | |
| プロジェクト名 | 炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発 | プロジェクト番号 | P20009 |
| 担当推進部/ PM、担当者 | 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 山本 教勝 (2020年4月～2022年3月) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 丸岡 啓子 (2022年4月～現在、 2021年10月～2022年3月まで担当者) 材料・ナノテクノロジー部 担当者 氏名 沖 和宏 (2020年4月～2021年6月) 材料・ナノテクノロジー部 担当者 氏名 松永 啓之 (2020年4月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者 氏名 服部 隼人 (2022年4月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者 氏名 小野 幸胤 (2022年7月～現在) | | |
| 0. 事業の概要 | 研究開発項目①「革新的CNF製造プロセス技術の開発」 CNFの製造コストを低減させるためには、①生産性の大幅な向上による労務費、原動費の削減、 ②樹脂との相溶性を高めるための化学処理での薬品コストの低減等を含む製造プロセスの見直しが必要であり、コスト目標を実現するために、従来の技術の延長ではなく、抜本的な見直しを行った新しい製造プロセス技術の開発を行う。 研究開発項目②「CNF利用技術の開発」 (1)「量産効果が期待されるCNF利用技術の開発」 樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化材料を、広く普及出来る可能性のある自動車、建築資材、土木資材、家電分野等に適用させていくため、各種用途に適した製造技術の開発、成形・加工技術の開発等を行う。 (2)「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」 多様な用途への拡大が見込まれることから、それら用途に対する安全性評価、及び企業が製品化の際に、各自で簡易的に評価可能な有害性評価手法の開発を行う。 | | |
| I. 事業の位置付け・必要性について | 【背景】 セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）は、鋼鉄の1/5の軽さで鋼鉄の5倍以上の強度を有するバイオマス由来の高性能素材である。CNF複合樹脂を既存の繊維強化樹脂並みのコストまで低減出来れば、軽量・高強度の特性から、幅広い分野へのCNFの活用が加速することが見込まれ、既存の石油由来の素材の代替となることが可能となる。さらに、大気中の二酸化炭素を植物が吸収・固着して得られるセルロースを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資するものとなる。 【目的】 前プロジェクトの成果を踏まえ、CNFの実用化、用途拡大のためには、CNFの製造コスト低減が重要であるとともに、各製品用途に応じたCNFの利用拡大への加速が必要である。製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・市場拡大を早期に実現することは、二酸化炭素の排出量削減につながり、エネルギー転換・脱炭素化社会を実現するために、重要である。CNFは新しい材料として多様な応用が期待されているが、実用化や普及を加速するためには、CNFの利用にあたっての安全性の確認を強化する必要があるため、安全性評価も実施する。 | | |
| II. 研究開発マネジメントについて | | | |
| 事業の目標 | 【アウトプット目標】 ・高コストの原因となっている生産性や化学処理のプロセスの飛躍的な改良により、大幅にコストを削減する開発項目①「革新的CNF製造プロセス技術の開発」を行ない、ベンチスケールでのコスト削減効果の検証を3件実施する。 ・樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化材料を広く普及させていくために、市場の比較的大きい建築、家電等の分野での用途拡大に向けて開発項目②-1「量産効果が期待されるCNF利用技術の開発」を行い、5件の実用化の目途をつける。 ・実用化や普及を加速するとともに、長期的な利用における信頼性向上のため、開発項目②-2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」を実施し、安全性評価書を作成する。 【アウトカム目標】 CNF複合樹脂の世界的な利用拡大や、CNFと複合化する石油由来の樹脂をバイオマス由来に置き換えも行うことで、2030年には373万トン-CO2/年の削減を目指し、その結果、石油資源の枯渇リスクを大幅に減少させ、持続可能な低炭素社会の実現に大きく貢献する。 【2022年度末目標】 1. CNF複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、CNF複合樹脂の製造コスト（ペレット価格）を1,000円/kgまで低減するとともに、プロ | | |

プロジェクト終了時(2024年)に700円/kg程度(樹脂により500円~900円)まで低減する技術見通しを得る。

2.高機能性 CNF 材料製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、従来コストの1/2以下まで低減するとともに、サンプル提供可能なコストまで低減する技術見通しを得る。

3.有害性評価手法を確立し、代表的なCNFの用途に対して、有害性評価及び排出・暴露評価を行い、短期の安全性評価結果をまとめる。

【最終目標】

1.CNF複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、CNF複合樹脂の製造コスト(ペレット価格)を、プロジェクト終了時(2024年)に700円/kg程度(樹脂により500円~900円)まで低減する。

2.高機能性 CNF 材料製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、従来コストの1/4以下で、サンプル提供可能なコストまで低減する。

3.自動車、建築資材、土木資材、家電分野等の用途で新たに開発したCNF製品が、競合品に比べ、コスト、性能等の面で総合的に競争力があることを示す。

4.CNFの多様な用途拡大に対応した有害性評価手法の開発と評価、及び排出・暴露評価を行い、安全性評価書をまとめる。

事業の計画内容

| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|---------------------------------------------------------|------------|------|------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| 開発項目① 革新的CNF 製造プロセス技術の開発 【助成】 | [Redacted] | | 中間評価 ゲート | ・製造プロセスの統合、簡素化のための技術開発 ・用途に合ったCNFの原料、触媒等の技術開発 | [Redacted] | [Redacted] |
| 開発項目②-1 量産効果が期待される CNF利用技術の開発 【助成】 | [Redacted] | | 中間評価 | ・樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化技術の開発 ・CNF複合材の成形・加工技術の開発 ・用途に合ったCNF製造技術の研究 | [Redacted] | [Redacted] |
| 開発項目②-2 多様な製品用途に対応した 有害性評価手法の開発と 安全性評価 【委託】 | [Redacted] | | 中間評価 | ・CNF多様性や特異性に応じた有害性評価 ・CNFの多様性や特異性に応じた排出、暴露評価 ・安全性評価書の作成と公開 | [Redacted] | [Redacted] |
| 評価時期 | | | 中間評価/ステージ ゲート | | | 事後 評価 |

開発予算

(単位：百万円)

| 研究開発項目 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 (予定) | 2023 年度 | 2024 年度 | 合計 |
|---------------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|-------|
| 開発項目① 革新的CNF 製造プロセス技術の開発 【助成】 | 121 | 559 | 456 | - | - | 1,136 |
| 開発項目②-1 量産効果が期待される CNF利用技術の開発 【助成】 | 171 | 192 | 194 | - | - | 557 |
| 開発項目②-2 多様な製品用途に対応した 有害性評価手法の開発と 安全性評価 【委託】 | 150 | 150 | 150 | - | - | 450 |
| 合計 | 442 | 901 | 800 | - | - | 2,143 |

※加速含む

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 開発体制① | 経産省担当原課 | 製造産業局素材産業課 |
| | プロジェクトリーダー | 学校法人福岡大学 教授 八尾 滋 |
| | 委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載） | A: 花王(株) B: 大洋塩ビ(株)/プラス・テック(株) C: 日本製紙(株)/UBE(株) D: 東ソー(株)/バンドー化学(株) E: 大王製紙(株)/芝浦機械(株) F: 星光 PMC(株) G: (株)スギノマシン |
| 開発体制②(1) | 経産省担当原課 | 製造産業局素材産業課（旧化学課、旧紙業服飾品課） |
| | プロジェクトリーダー | 学校法人福岡大学 教授 八尾 滋 |
| | 委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載） | A: 大建工業(株)/利昌工業(株) B: ダイキョーニシカワ(株) C: 進和テック(株) D: パナソニック HD(株) E: 住友ゴム工業(株)/日本製紙(株) F: 美津濃(株)/第一工業製薬(株) G: (株)ニチマンラバーテック H: (国研)産業技術総合研究所/(国大)福井大学 |
| 情勢変化への対応 | <p>○産業界の課題検討会合への参加による情報収集。政策動向の把握。</p> <p>○NEDO 調査事業により、国外政策動向・技術動向などを把握（2022 年度後半に予定）</p> <p>○コロナ禍の対応（外出制限と大幅納期遅延）</p> <p>コロナ禍における外出・出張制限の影響を受け、制限期間中は、進捗会議や技術推進会議など原則オンラインで実施、期間中以外は対面・オンラインのハイブリッド開催とした。全体会議は対面で実施できるよう開催時期を対面可能な日時を優先して決定。</p> <p>また、納期遅延に対しては、執行調査を行い、早期に設備導入時期を把握し、必要に応じ、目標達成時期に影響が出ないように後倒しの計画変更を行うことで対応した。</p> <p>○計画変更申請に対する対応（提案時の計画からの大幅な変更に対する対応）</p> <p>設備導入に関して変更申請があり、当初の変更案は、本事業の要である製造装置の導入を取り止める内容であった。設備導入後の材料や製造条件検討を既存装置で行う計画であり、採択時のコスト低減を目的としたスケールアップ検討のための装置導入、材料・条件検討であった事業計画の根本に係わるため、変更内容を見直し、導入時期を遅らせる計画とし、技術推進委員会にて計画変更の妥当性について審議してもらうこととした。導入が遅れる間に、既存装置で検討できる部分を先に行うなど、最終目標の達成時期に影響がないように留意し、その後の計画と実績について定期的に進捗会議など実施して確認した。</p> | |
| 中間評価結果への対応 | — | |
| 評価に関する事項 | 事前評価 | 2019 年度実施（担当部） 材料・ナノテクノロジー部 |
| | 中間評価 | 【委託/助成】2022 年 08 月実施予定 |
| | 事後評価 | 【委託/助成】2025 年実施予定 |

研究開発項目①

研究開発項目①「革新的CNF製造プロセス技術開発」【助成事業】

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 花王株式会社 | TEMPO酸化CNFを独自の疎水化変性技術により、樹脂モノマー中に完全ナノ分散させ、超高信頼性が要求される半導体封止樹脂等のエレクトロニクス分野や自動車用構造接着剤、CFRP材料等のモビリティ分野へ適用する。 | ・開発法の適用により、大幅な工程短縮と反応率・収率の向上を達成。 ・樹脂塗膜の靱性はBlankに対して約4倍向上し、目標 (> 3倍) を達成。 ・TOCNの樹脂中分散状態の観察に成功。(物性との紐づけを検討中) | ○ |
| 大洋塩ビ株式会社 | 変性バルブのCNFへの解繊性が期待されるPVC (極性樹脂)へ適用。大洋塩ビとプラス・テックの配合技術を活用しCNF強化PVCコンパウンドの配合を設計する。上記2社に加えて樹脂サツシメーカーのYKKAP、京都大学、京都市産技研が共同で取り組むことで原料・加工メーカーまで一丸となつて低コスト量産化技術確立し事業化を目指す。 | ・ターゲットとする建材分野で求められる2021年度目標物性 (難燃性、曲げ弾性率、軟化点温度、線熱膨張係数) は達成。 ・CNF/PVCコンパウンド成形加工性評価と低コスト量産化技術を検討中。 | ○ |
| 日本製紙株式会社 | 再生可能な天然素材を強化材として用いるCNF強化PA6について、京都プロセスをベースに、それを改良・進化させながら、低コスト製造プロセス技術を開発することであり、異業種であるCNFの最大供給メーカーである日本製紙と、ナイロン分野の大手樹脂メーカーであるUBEが協業し、これを実施する。 | ・製造プロセスの条件最適化を図り、強度品質向上と工程最適化が可能。 ・CNFへ解繊促進する手法を探索し、強度物性・解繊性が向上する手法を見出した。 ・ベース樹脂の選定等により、2021年度目標物性を達成。 | ○ |
| 東ソー株式会社 | 東ソーは本技術を量産スケールに拡大し事業として継続可能な価格となる量産化プロセスを開発する。バンドー化学は、東ソーが提供するCNF複合化CRを伝動ベルトの原料に適用するため、保有するCR製伝動ベルト製造技術に応用し、高効率伝動ベルトの製品化を達成する。更に、完成したCNF複合化CRは、伝動ベルト以外にも適用する事で、さらなる使用数量増を目指す。 | ・CNF複合化CRの実用量産化について、ラボ品同等品質を確認。 ・CNF複合化CRを用いた高効率ベルトの実用量産化について、CNF量許容範囲を確認。 ・伝動ベルト以外の用途への適用検討について、候補を選定。 | ○ |

研究開発項目①「革新的CNF製造プロセス技術開発」【助成事業】

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 大王製紙株式会社 | 省エネルギー型でコスト優位性のあるCNF水分散液製造プロセスと、大きなマーケットである樹脂用途への展開を目指すためのCNF複合樹脂製造プロセスを、製紙会社の工場内に併設してCNF複合樹脂ベルトを一貫製造することにより、CNFメーカーとしての優位性を確保して、事業化を進めていくことができる。 | ・一貫製造プロセスで製造した変性バルブの導入量は目標値の71%を達成。 ・CNF複合樹脂(10%濃度)CO ₂ 排出源単位が計画通りできる技術を確認。 ・導入したφ48mmの二軸押出機で、運転条件や原料条件を最適化し、CNF複合樹脂生産量250kg/hと曲げ弾性率1.6倍を達成。 | ○ |
| 芝浦機械株式会社 | | | |
| 星光PMC株式会社 | CNF研究の世界的トップランナーの京都大学と星光PMCが連携することで京都プロセスのさらなる生産性向上、複合材料の物性向上に取り組む。植物由来材料を自動車に搭載した実績を有し、自動車部材に求められる性能を熟知しているトヨタ車体株式会社との連携により、CNF複合材料の特性を活かせる自動車部品設計や利活用方法の開発が実現できる。 | ・従来の疎水変性よりも物性向上効果に優れる新規疎水剤を選定し、変性プロセスの生産速度を向上させられる新規疎水化バルブを開発。 ・自動車材料に必要な基礎物性評価を実施し、目標をクリア。 | ○ |
| 株式会社スギノマン | 独自のウォータージェット技術を進化させ、均一な機械解繊高濃度CNF水分散液を高効率で製造し、低価格化を実現する。独自技術によりCNF水分散液を乾燥させ、樹脂へ少量添加で他にはないユニークな特性を発現する高付加価値CNFドライパウダーの商業化と低価格化を実現する。 | ・原料を最適化することで、細くて長いCNFの製造に成功し、衝突回数削減の目標は達成済み。 ・中型機レベルの乾燥設備も導入し、乾燥条件を最適化により、生産量は従来の約12倍(乾燥初期濃度2倍、処理量6倍)、従来同等の品質を達成。 | ○ |

III. 研究開発成果について

研究開発項目②
テーマ 1)

研究開発項目②「CNF利用技術の開発」／（１）「量産効果が期待されるCNF利用技術の開発」
【助成事業】

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 大建工業株式会社 利昌工業株式会社 | CNF大量需要創出のための内装建材開発において、建材・素材メーカーである大建工業の様々な素材に関する知見、建材への二次加工技術によりCNFに最適な用途と要求品質を見出すと共に、利昌工業のCNF成形技術と電子材料で培った樹脂設計技術により要求品質を満たすCNF成形板の組成を短期間で見出すことができた。 | ・内製フェノール樹脂をCNF成形体に含浸、吸水性が著しく低減し寸法安定性が向上。樹脂含浸条件を制御し、内装建材として使える等級達成。 ・建材アイテム抽出、小片試作を実施。フェノール含浸CNFを表面材とした基材は表面硬度が非常に高い特性を活かした「土足用床材」の開発に着手。 | ○ |
| ダイキョーニシカワ株式会社 | 京都プロセスをベースに、ダイキョーニシカワ独自の材料設計、コンパウンド技術を適用し、自動車の内外装製品に必要な性能を実現する。 | ・材料の基礎物性向上を狙い、CNFと樹脂の界面強度向上、CNFの均一分散について取組みを実施し材料改良により衝撃性が向上する傾向を確認。 ・自動車部品向け環境性能評価として、耐湿後の物性評価で課題抽出中。 | ○ |
| 進和テック株式会社 | 進和テックがこれまでに持つフィルタ製作のノウハウと、共同研究先の産総研・東工大の持つCNF選定・評価のノウハウを融合させ、従来の除湿材料よりも低温再生・長期間使用可能で、省エネを実現できるEV車載用デシカントフィルタを開発する。 | ・車載を想定したユニット寸法でフィルタ質量を換算し、ハニカム型において目標値である水分吸着量50g/hを達成。 ・400時間連続使用に問題がないこと、性能バラつきが10%以内を確認。 | ○ |
| パナソニックHD株式会社 | パナソニック独自の乾式プロセスにより、セルロースファイバーの高濃度複合化が可能であり、高強度、高意匠、高バイオ度の樹脂成型品の提供が可能である。 | ・高濃度（PP+セルロース70%材料）にて、強度と成形性を確保。 ・完全バイオ化（バイオ比率95%以上、バイオPEベースおよびPLAベース（セルロース55%））材料にて、強度と成形性を確保。 ・天井扇ブレード製品評価を実施して、耐候性を除き、製品評価をクリア。 | ○ |

研究開発項目②「CNF利用技術の開発」／（１）「量産効果が期待されるCNF利用技術の開発」
【助成事業】

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 住友ゴム工業株式会社 日本製紙株式会社 | エナセーブNEXTⅢで開発したエラストマーとCNFとの複合化技術の乾燥工程を大幅短縮し、コスト半減化したCNF配合エラストマーを一般タイヤへ展開する。 | ・大径化CNFを共同で開発、表面積減少により脱水性を改良、高濃度（低水分率）CNFを希釈せず使用するMB製法を開発し乾燥時間を改良し、2021年度目標コスト達成。 ・製品検証は、22年度の計画。検証に向けた必要生産能力確保と試作準備は完了。スポーツ用品など他部材への拡大検討を開始。 | ○ |
| 美津濃株式会社 第一工業製薬株式会社 | 第一工業製薬のTEMPO酸化法によりCNFを均一分散させる技術を用いて、水性樹脂とCNFを均一分散させて、ミスノと共同でCNF複合樹脂をシート化する技術を確立する。ミスノが蓄積したCFRP成形技術を活用し、CNF複合樹脂を用いたCFRP構造体を成形し、スポーツ製品への応用を進めていく。 | ・PU樹脂エマルジョンで、CFRPの製造が可能であることを確認。CNFを付着させないCFRTPに比べ、曲げ弾性率は約7%向上。 ・TPU樹脂エマルジョンを炭素繊維シートに含浸させることにより、CFRTPを作製できることを確認。 | △ ○ |
| 株式会社 ニチマンラバーテック | CNFをゴムに分散する技術を確立し、靴底の耐摩耗性40%アップが可能となった。スニーカーのブランド「スピングルムーヴ」を活用し、「ルベアソール」として靴底をブランド化し展開する予定。また、靴底で得た知見をゴムタイルに応用し、耐摩耗性、防滑性の高い床材「アストロフェース」としてブランド化し展開する予定。 | ・ゴム製靴底（ソリッド・軽量化）およびゴムタイルの耐摩耗性は目標値を達成。ゴム製靴底（軽量化）フィールドテストでは現行の靴底よりも摩耗が悪いことを確認。 | ○ |

テーマ 2)

研究開発項目②「CNF利用技術の開発」／（２）「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」【委託事業】

| 分野 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 国立大学法人福井大学 | これまでCNFの安全性情報が少ない中、多様な種類のCNFを対象にした有害性試験や排出暴露の手法開発と評価を行い、安全性評価書にとりまとめて事業者のCNF材料および応用製品の開発と普及を支援することがポイントである。 | ・4種類のCNFに対して培養細胞試験、3種類のCNFの遺伝毒性試験、肺疾患モデル動物を使ったCNFの気管内投与試験を実施。 ・中皮腫発生の検証として、2種類のCNFについて腹腔内投与試験を実施し、短期影響(1ヶ月、3ヶ月および6ヶ月)を評価。 ・生態影響の評価として、1種類のCNF(TEMPO酸化CNF)について、試験方法を確立。 ・8種類のCNF等について乾燥粉体の取り扱いを模擬した移し替え試験を実施し、飛散量、粒径分布、形態などの情報を取得。 ・生体安全性（動物実験）評価として、CNF粉じん発生法を確立し、肺および細気管支内のCNFの取り込みを可視化する検出法を開発。 ・研究は順調に進捗しており、安全性評価書暫定版の作成を行い、2023年3月までに達成できる見込み。 | ○ |

| | | |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|
| | 投稿論文 | 8 件 |
| | 特 許 | 37 件 |
| | その他の外部発表 (プレス発表等) | 「研究発表・講演」49 件 「新聞・雑誌等への掲載」208 件 「展示会への出展」41 件 |
| IV. 実用化・事業化の見通しについて | 非公開版のみの記載とする。 | |
| V. 基本計画に関する事項 | 作成時期 | 2020 年 2 月 作成 |
| | 変更履歴 | 2020 年 8 月 改訂 |

プロジェクト用語集

| 索引 | 項目 | 解説 |
|----|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 | 2-PEt | 2-フェノキシエタノール |
| A | A C C法 | 水中対抗衝突法 (Aqueous Counter Collision) 。 サンプルタンクに投入したパルプ懸濁水をプランジャーで加圧し、チャンバー内の相対するノズルより高速で噴射、衝突させることにより微細化を行う方法。 |
| A | ASA | Alkenyl Succinic Anhydride (アルケニル無水コハク酸) |
| A | A練り | A練りは、配合ゴムを作っていく1つの製造過程の呼び方。 A練りは混練りともいい、加硫系の配合剤 (硫黄などの加硫剤、加硫促進剤) を除く配合剤をゴムに練り込む工程。 |
| B | B練り | B練りは、配合ゴムを作っていく1つの製造過程の呼び方。 B練りは、A練りが終わった状態のゴムに、加硫系の配合剤 (硫黄などの加硫剤、加硫促進剤) を投入していく工程。B練り後、配合ゴムが完成。 |
| C | CB | カーボンブラックの略称 |
| C | CFRP | Carbon Fiber Reinforced Plastics の略で炭素繊維を強化材として樹脂に複合 |
| C | CFRTP | CFRPの樹脂に、熱可塑樹脂 (Thermoplastic) を用いるものをいう。 |
| C | CNC | セルロースナノクリスタル (cellulose nanocrystal) |
| C | CNF | セルロースナノファイバー (cellulose nanofiber) |
| C | CR | クロロプレンゴム。合成ゴムの一種。 |
| F | F☆☆☆☆ | Fフォースター JIS工場で生産されるJIS製品に表示することが義務づけられている、ホルムアルデヒド等級の最上位規格を示すマーク。 |
| F | Fine率A | 繊維長0.2mm以下かつ繊維幅が7.5μm以下の繊維の割合。繊維水分散体を用いて光学的分析法により測定可能 |
| F | Fine率B | 繊維長0.2mm以上かつ繊維幅10μm以下の繊維の割合。繊維水分散体を用いて光学的分析法により測定可能 |
| K | kinari | パナソニックのセルロースファイバー複合材料の商標 |
| L | LVL | Laminated Veneer Lumber: 単板 (Veneer) 積層板。 単板を繊維方向を揃えて積層、接着した軸材料の木質ボードの一種 |
| M | MDF | Medium density fiberboard: 中密度繊維板。 木材を繊維状にほぐし、接着剤などを配合して成形した木質ボードの一種 |
| N | NBKP | 針葉樹漂白クラフト (化学) パルプ (needle bleached kraft pulp) |
| N | NMR | Nuclear Magnetic Resonance の略 核磁気共鳴装置 |
| N | Nominal concentration | 設定濃度 |
| N | NR | 天然ゴムの略称 |
| N | NRラテックス | 天然ゴムの原料となるゴムの木から採取する乳白色の樹液 |
| N | NUKP | 針葉樹未漂白クラフト (化学) パルプ (needle unbleached kraft pulp) |

| | | |
|---|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O | OA フロア | 床の上にネットワーク配線などのための一定の高さの空間をとり、その上の別の床を設け二重化したもの |
| O | OECD | 経済協力開発機構 |
| O | OECD テストガイドライン | 化学物質等の安全性評価を行なうために国際的に合意された試験方法。OECD により定められ公表されている。 |
| O | OMB | オイルマスターバッチの略称 |
| P | PLA | ポリ乳酸（植物由来・生分解性樹脂材料） |
| S | SDGs | Sustainable Development Goals（持続可能な開発目標） |
| T | TEM | Transmission Electron Microscope の略 透過型電子顕微鏡 |
| T | TOCN | TEMPO-Oxidized Cellulose Nano Fiber の略 TEMPO 酸化型のセルロースナノファイバー |
| U | USEPA | 米国の環境庁 |
| W | WMB | ウエットマスターバッチの略称 |
| あ | アスペクト比 | 繊維の長さとの比率 |
| あ | 圧力損失 | フィルタの上流側と下流側との全差圧 |
| い | 印刷用紙 | 印刷用に製造された紙のことで、紙の表面に白い塗料を塗布した「塗工紙」と、塗布をしない「非塗工紙」に大別される。 |
| い | インターロイキン | リンパ球が産生する、免疫応答の調節に関与する物質。サイトカインと呼ばれる物質の一種。 |
| い | インパネ | インストルメントパネル（自動車のコックピット） |
| う | ウリアム摩擦試験 V1000 | ウリアム摩擦試験は、JIS K 6264-2 に規定されている加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの摩擦試験方法の 1 つで、試験片を摩擦輪に一定の荷重を加えて押し付けて摩擦量を測定する。V1000 は摩擦輪が 1000 回転した時の摩擦体積を示し、この数字が小さいと耐摩擦性が良いと判断できる。 |
| う | ウエットマスターバッチ | 水中で複数の材料を混合し、脱水、乾燥化させ複合化した材料 |
| う | ウォータージェット | 超高圧まで加圧した水をノズルの細穴に通して得られる細く高速な噴流のこと |
| え | 衛生用紙 | トイレットペーパーティッシュペーパー、紙おむつや生理用品に使用されている紙のこと。 |
| え | エコマテリアル | 石油使用量の削減、CO2 排出量削減、リサイクル性向上などが可能な材料 |
| え | エラストマー | 常温で非常に弾性に富む高分子化合物の総称。 |
| え | エッチング | 化学薬品などの腐食作用を利用した塑性ないし表面加工技法 |
| え | エネルギー損失 | 動力などのエネルギーが有効に利用されず、不要な熱などの形で失われること。 |
| え | エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 | 試料に X 線を照射して発生する蛍光 X 線のエネルギー（波長）や強度を解析することにより試料を構成する元素の種類や含有量を調べる装置 |
| え | エラストマー | 柔軟性のある樹脂材料 |
| お | オイルマスターバッチ | CNF とオイルを共溶媒中で混合し、乾燥させ複合化した材料 |
| お | オープンベント | 二軸押出機のパレル上部に設けられている脱揮口 |
| か | カーボンブラック | 石油を原料とするエラストマー用の一般的な補強材 |
| か | 解繊 | 通常、植物体は植物繊維（パルプ）が規則正しく配向した集合体であるが、これをまずは径数十 μm レベルの繊維体にしたものがパルプである。本 P J では、セルロースナノファイバーにするために、このパルプをさらにサブミクロン以下のナノレベルまで細くすることや、そのための操 |

| | | |
|---|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 作を解繊と呼ぶ。解繊には、パルプ化とナノレベルへの解繊の操作の両方を指すことがあるが、狭義では特にナノレベルに細く操作を解繊とする。 |
| か | 解繊促進混練 | 本 P J ではナノレベルの解繊を、二軸混練押し出し機を用いた混練によって行うため、この操作を解繊促進混練と呼ぶ。 |
| か | 可塑剤 | 樹脂材料の流動性を向上させる添加剤 |
| か | 可溶化剤 | セルロースと樹脂材料のなじみを良くし、強度を向上させる添加剤 |
| か | ガラス繊維 | 樹脂材料を強化するためのフィラー |
| か | 乾式プロセス | 水や溶剤を用いず、溶融した樹脂材料内での複合化を行うプロセス |
| か | 完全バイオ化 | バイオマス樹脂とセルロースの複合化 |
| き | 気管内投与試験 | 試験物質の懸濁液を直接、ラットやマウスなどの実験動物の気管内に投与器具を使って投与し、その後飼育して呼吸器を中心にその影響を評価する試験。 |
| き | キャビテーション | 液体の流れの中で圧力差により短時間に泡の発生と消滅が起きる物理現象のこと |
| き | 吸入暴露試験 | ラットやマウスなどの実験動物に気中に飛散させた試験物質を吸入させ、呼吸器を中心にその影響を評価する試験。 |
| き | 魚類急性毒性試験 | メダカ等の魚類の稚魚を対象に、化学物質を暴露して、生存や行動異常等を指標に化学物質の短期的な影響を調査する生態毒性試験。OECD のテストガイドライン No.203 では魚類の稚魚に化学物質を 96 時間暴露する。 |
| き | 魚類初期生活段階毒性試験 | メダカ等の魚類を対象に、受精卵から孵化して自発的な摂餌が可能になる期間に化学物質を暴露して、化学物質の長期的な影響を調査する生態毒性試験。OECD のテストガイドライン No. 210 ではメダカを用いた場合、化学物質の暴露期間は約 40 日程度とされる。 |
| き | 強化材 | 強化プラスチックにおいて、主に強度向上を目的で添加する素材を指す。ガラス繊維や炭素繊維などの繊維系や、タルクや酸化チタンなどの鉱物系があり、フィラーとも呼ばれる。 |
| き | 京都プロセス | 京都大学が開発した C N F 複合材料の製造プロセス。まず、木材パルプに疎水変性を施して変性セルロースパウダーとし、続いてポリエチレンやポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂と熔融混練することでミクロン単位であったセルロース繊維をナノレベルまでに解繊すると同時に C N F を均一分散させることを可能とする技術。 |
| き | 京都プロセス | 当社も参加した京都大学矢野教授をリーダーとする N E D O 委託事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」にて開発された、木材パルプを化学修飾（疎水化）し、樹脂と混合して、二軸押し出し機中で高温にて混練することにより、パルプが樹脂中で解繊してナノ化し、そのナノファイバーが樹脂中に均一に分散して、高強度の C N F 含有樹脂を製造するプロセスを、京都プロセス（Kyoto Process®）と呼ぶ。 |
| く | クラム | 天然ゴム凝固時に生成した凝固した天然ゴムの粒 |
| け | 化粧面材 | 家具や内装建材等のシートや板等を貼る部分。 |
| け | 原子間力顕微鏡 | 走査型プローブ顕微鏡の一種であり、試料の表面と探針の原子間にはたらく力を検出して画像を得る顕微鏡。 |
| こ | 硬度 | JIS K 6253 で規定され、デュロメーター硬さ試験機を使用して、既定の形状の押針を試験片表面に押し付けたときに得られる硬さ。デュロメーターは、硬さの範囲の異なるゴム材料を測定するため数種類の形式があり、一般的な中硬さゴム材料としてタイプ A を規定し、高硬さゴム材料用としてはタイプ D が規定されている。同じデュロメーターで測定した場合、数値が高いと硬い材料と判断できる。 |

| | | |
|---|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| こ | 黒化 | 樹脂材料が炭化して黒くなること |
| こ | 叩解 | パルプの繊維を機械的に切りほぐしたり押しつぶしたりする作業。 |
| こ | ゴム製鞋底 | 天然ゴム、合成ゴムを原料として使用して作られた鞋底の総称で、靴の底面に張り付けて使用される。 |
| こ | ゴムタイル | 天然ゴム、合成ゴムを原料として使用して作られたタイルの総称で、建物の床の仕上げ材として使用される。床材としては、高分子張り床材に分類される。 |
| さ | 細菌復帰突然変異試験 | 化学物質等の変異原性を評価する試験。ヒスチジンやトリプトファン等の必須アミノ酸の要求性突然変異を持つ微生物（ネズミチフス菌、大腸菌）を用いる。 |
| さ | サイトカイン | 細胞から分泌される低分子のタンパク質。生理活性を示し、細胞間の情報伝達を担う。 |
| さ | 作業環境測定 | 作業環境中に存在する有害要因(粉じん、有機溶剤、騒音等)を取り除き、適正な作業環境を確保し維持する作業環境管理を適切に行うための情報を得るために行う測定のこと。労働安全衛生法において、事業者には作業所内や事務所内で働く方の安全と健康を守るために、作業環境測定が義務付けられている。 |
| さ | 酸価 | 酸性物質を中和するのに要する水酸化カリウムの質量 |
| し | 色差 | 色の成分と明度を測定し、差異に換算したもの |
| し | シャルピー衝撃強度 | 一般的に使われる耐衝撃性を評価する試験の |
| し | 情報用紙 | 圧着ハガキやクレジットカードの利用明細書等に用いられるフォーム用紙、コピー用紙（PPC用紙）、オンデマンド印刷向けの高機能プリンター用紙に使用されている紙のこと。 |
| し | ショート | 成形品に未充填部分が残ること |
| し | 射出成形 | 金型を用いた成形法の一つで、合成樹脂（プラスチック）などの材料を加熱して溶かして金型に送り込み、冷やす成形方法。 |
| し | シリカ | 二酸化ケイ素を主成分とするエラストマー用の一般的な補強材 |
| し | 親和促進混練 | 解繊促進混練によってナノ化、もしくはナノ化のきっかけができた繊維を、用途に応じて、ベース樹脂中に分散させることを目的とする混練。 |
| し | 親水性 | 水に対する親和性が高い性質のこと。特に物質の表面状態については、水に濡れやすいこと。すなわち水滴の接触角が 0 度に近い状態を、親水性が高いという。 |
| す | スクリューパターン | スクリューピースは二軸混練機で使用するブレード部品であり、二軸混練機は複数の役割の異なるスクリューピースを組み合わせで使用される。スクリューピースの組み合わせを「スクリューパターン」、各混練部位での温度やブレードの回転数、材料の吐出速度などの設定を「混練条件」ということがある。 |
| す | スラリー | 液体と固体粒子との懸濁液 |
| せ | 石油由来樹脂 | 石油から作られた樹脂材料 |
| せ | 赤血球小核試験 | 化学物質等の染色体異常誘発性を評価する試験。ほ乳動物の骨髄または末梢血中の幼若赤血球における小核形成を指標とする。 |
| せ | セルロースファイバー（CeF） | 部分的にナノ化し、主にマイクロオーダーに解繊されたセルロース繊維 |
| せ | 繊維浮き | 樹脂材料のフィラーが表面に残り、外観が変化すること |
| せ | 染色体異常試験 | 化学物質等による染色体の構造異常および数的異常を評価する試験。ほ乳類の培養細胞の染色体標本を用いる。 |
| せ | 線膨張係数 | 温度上昇によって物体の長さや体積が膨張する割合を温度あたりで示したもの |
| そ | 増圧機 | プランジャとピストンの受圧面積比によって 2 次圧を 1 次圧の比例倍に昇圧する機器のこと |
| そ | 相溶化剤 | 混練工程でマトリックス樹脂（本事業ではポリプロピレン、P P）中にフィラーを均一に分散させたり、フィラーと樹脂の相溶性を向上させるために用いられる化学品で一般的にはベレット |

| | | |
|---|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 状や粉末状である。パルプと樹脂の相溶性を上げる目的で使用される意味では疎水化剤に似ているが、使用方法が異なるため、分子設計は異なる。 |
| そ | 相溶化剤 | ペースト状のCNFをそのまま乾燥させると硬い凝集体となるが、ペースト状のCNFに相溶化剤を添加し、水と相溶化剤を置換するような形で乾燥させることで粉末状のCNFを得ることができる。 |
| そ | 相溶化樹脂 | セルロース繊維とベース樹脂との均一混合や密着性を高める働きをする樹脂のこと。 |
| そ | 藻類生長阻害試験 | ムレミカツキモ等の藻類を対象に、化学物質を暴露して、藻類の生長速度を指標に化学物質の影響を調査する生態毒性試験。OECDのテストガイドライン No. 201では藻類に化学物質を72時間暴露する。 |
| そ | 疎水化剤 | パルプの特性を親水性から疎水性に変える化学品。疎水変性は化学結合を伴う変性（誘導体化）と吸着変性に大別される。誘導体化の一例としては、無水酢酸の様にセルロース繊維とエステル結合により反応するタイプがある。吸着変性としては、親水性基と疎水性基を持つ高分子による疎水化がある。 |
| そ | 疎水性 | 水に対する親和性が低く水に溶けにくい、あるいは水と混じりにくい性質のことを指す。 |
| そ | ソリ | 成形品に発生するそりソリ変形 |
| た | 耐候性 | 主に太陽光や降雨による材料の劣化度合 |
| た | 耐滑試験 ISO13287 | ISO 13287に規定された靴底の滑り抵抗試験で、靴をラスト（靴型）に装着して試験体とし、試験機に取付け、試験体の上方から所定の荷重を加えた状態で床面を動かし、靴底に発生する摩擦係数を測定。数字が大きいと、耐滑性が良いと判断できる。 |
| た | 耐滑試験 JIS A 1454 | JIS A 1454 高分子張り床材試験方法で規定された、滑り性試験。試験片に一定の荷重を加えた滑り片を押し当て、斜め 18°に引っ張ったときの引張荷重の最大値(最大引張荷重)を測定する。 滑り抵抗係数 C.S.R は、最大引張荷重を滑り片の荷重で除した値で、C.S.R 値が大きいと滑りにくいと判断できる。試験片の表面を、清掃乾燥状態、ダスト散布状態、水+ダスト散布状態から選択し測定するが、本試験では最も条件的に厳しい、水+ダスト散布状態での滑り抵抗係数 C.S.R を目標値とする。 |
| た | ダンベル形状 | 樹脂材料の曲げ、引張試験を行うための試験片形状 |
| ち | チェックバルブ | 方向制御弁の一つで、逆流を防止するバルブのこと |
| ち | チキソ性 | ゲルのような塑性個体とゾルのような非ニュートン液体の中間的な物質が示す性質、年度が時間経過とともに変化するものである |
| ち | 中空成形 | 熔融樹脂の内側から空気を吹き込み、膨らませる成形方法で、空洞の樹脂（プラスチック）成形品の製造に適しており、「ブロー成形」、「吹込み成形」とも呼ばれる。 |
| ち | 中皮細胞 | 胸膜や腹膜などの表面をおおう薄い細胞 |
| ち | 中皮腫 | アスベスト（石綿）が原因で主に胸膜の中皮細胞に発生する悪性の腫瘍 |
| て | ティア1 | 自動車業界において、メーカーに直接納入する一次サプライヤーのこと |
| て | ディスクミル | 機械内で回転する一連の鋼板またはディスクで構成される臼式高速粉碎装置 |
| て | ディスパー | 攪拌する治具で円盤の外周上の上下をノコギリ歯状に加工したもの |
| て | 低燃費性 | タイヤ転動時の抵抗を示しており、低燃費性がよいと自動車燃費が良い。 |
| と | 動物試験に関する 3Rs 原則 | 1959年に提唱された世界的な動物実験の基準理念 |
| に | 乳化 | 乳化（エマルジョン：Emulsion）とは、油や水分のように本来混ざり合わないものが均一に混ざり合う状態のこと。 |
| は | バイオ PE | 植物由来のポリエチレン |

| | | |
|---|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| は | バイオマス樹脂 | 植物由来材料で作られた樹脂材料 |
| は | バイオマス度 | 植物由来材料の使用率 |
| は | 培養細胞試験 | 培養液中で、生物個体から切り離して分裂増殖する細胞を用いた試験 |
| は | バウンドラバー | ゴムはトルエンなどの有機溶媒に良く溶ける。タイヤなど、ゴムにカーボンブラックを加えて練り混ぜると、有機溶媒に長時間浸けてもゴムの一部が溶けなくなる。カーボンブラックの粒子の表面に密着したゴムの一部が溶けずに残る。このゴムの不溶成分はバウンドラバーと呼ばれ、ゴムの力学物性と密接に関係すると言われている。 |
| は | 破断点伸度 | 破壊試験時に破壊した時点の伸び率 |
| は | パーティクルボード | 木材の小片を接着剤と混合し熱圧成型した木質ボードの一種。 |
| は | バリ | 金型中の隙間に樹脂が流れ込み、成形品に残る欠陥 |
| は | パルプ | 木質材料を漂白し、リグニンやヘミセルロースを除去し、主にセルロースのみにしたもの |
| は | パルプ | 紙を製造するために、木材や非木材の植物より取り出した植物繊維。主な成分としてはセルロース、ヘミセルロース、リグニンからなる。 |
| は | 半数影響濃度 | 生態毒性試験において、化学物質を暴露した試験個体の半数が試験終了までに悪影響を被る暴露濃度を示す。 |
| は | 半数致死濃度 | 生態毒性試験において、化学物質を暴露した試験個体の半数が試験終了までに死亡する暴露濃度を示す。 |
| は | ハンセン溶解度パラメータ (H S P) | ハンセンにより提唱された物質の溶解性を評価するために用いられる指数。 |
| ひ | ビカット軟化温度 | 温度上昇によって物体が急速に軟化を開始する温度 |
| ひ | ヒケ | 成形品の表面に発生する凹み等の欠陥 |
| ひ | ビーズミル | ビーズ (media) を使って粉体をナノ分散・微粉碎する媒体攪拌粉碎機 |
| ひ | 引張弾性率 | 引張試験時の変形しにくさ |
| ひ | 引張強度 | 引張試験時の破壊時点の強度 |
| ひ | ヒトパッチテスト | 物質をヒトの背中や上腕に貼って、化学物質、化粧品や薬剤などに対するアレルギーの有無を、調べる試験のこと。 |
| ひ | 皮膚一次刺激性試験 | 化学物質を1回、皮膚に接触した場合、その局所に湿疹あるいは接触性皮膚障害などの刺激作用を与える可能性を評価する試験のこと。 |
| ふ | ファイラー | 樹脂材料に複合化し、強度を向上させるもの |
| ふ | フラッシュ構造 | 材料を軽量化するために、角材や厚い板で枠組みを作って、その裏と表にベニヤ板などの合板を貼り中を空洞とする構造 |
| ふ | プリプレグ | CFRPを作るためのカーボンなどの繊維に、前もって樹脂を含浸させた中間材料で、積層して使用することが多い。 |
| ふ | プリネル硬度 | 工業材料の硬さを表す尺度の一つであり、押し込み硬さの一種 |
| ふ | プレプリグ | 繊維をシート状にしたものに樹脂を含浸させて作る複合材料。 |
| ふ | ブロッキング | 塗工した紙同士が乾燥不良で互いに接着する現象 |
| ふ | 粉じん捕集効率 | フィルタを通過する気体中の粒子を捕集する効率 |
| ぶ | 分散 | 溶媒に不溶の顔料やファイラーなどを樹脂溶液の中でせん断力などの物理的な力を用いて一定の粒度まで解凝集させ、粒子が均一で安定的な状態すること。なお、本PJでは繊維をナノレベルに解繊することや、その操作は分散に含めない。 |
| へ | ペレット | 樹脂材料を粒上にしたもの |

| | | |
|---|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| へ | ペレット | プラスチックの成形原料で、小さな球状や円柱状である。 |
| へ | 変異原性試験（AmeS試験） | 化学物質が細胞の持つ DNA に作用して、その塩基配列に損傷を引き起こす性質（変異原性）を調べる試験のこと。 |
| へ | 偏光顕微鏡 | 2枚の偏光板が備わっている光学顕微鏡であり、試料に直線偏光を入射した際の分子配向や結晶構造により生じる偏光状態の変化を光の明暗や色として観察できる。 |
| へ | 変性 | セルロース繊維に疎水性を付与する官能基を付加することやその操作。 |
| へ | ベントアップ | 熔融混練時にオープンベントから樹脂片等が外部に排出される現象 |
| へ | ベントスタッフ | 二軸押出機のパレルに横付けした押出機類似の装置で、ベントアップしやすい材料の熔融混練時に、材料を押し戻しながらガスのみを排出する用途で使用する |
| ま | マウスリンフォーマ TK 試験 | 化学物質等による遺伝子突然変異を評価する試験。マウスリンパ腫細胞株の内因性の薬剤耐性遺伝子マーカー（TK 遺伝子）を用いた劣性型突然変異を指標とする。 |
| ま | マクロファージ | 白血球の1種で、細菌、異物、細胞の残骸などを捕食して消化する。 |
| ま | 曲げ弾性率 | 曲げ試験時の変形しにくさ |
| ま | 曲げ弾性率 | 二つの支点到試験片を水平に乗せ、中央上部よりクサビで曲げ荷重を与える曲げ試験で求めた弾性率 |
| ま | 曲げ強度 | 曲げ試験時の破壊時点の強度 |
| ま | 曲げ強度 | 材料の外力に対する強さの一つ。曲げ荷重に対して亀裂や破壊が生じる力・応力のこと。 |
| ま | マスターバッチ | 一般に、樹脂におけるマスターバッチとは、着色やその他の特性の付与に使用される樹脂用の固体添加剤を指すが、本PJではCNF濃度が高い樹脂複合物を指し、用途に応じてこれを所定の濃度に分散させて使用する。 |
| ま | 慢性閉塞性肺疾患 | タバコ煙などの有害物質を長期間吸入することにより、肺に持続的な炎症が生じる病気 |
| み | マイクローム | 顕微鏡での観察等に用いるため、試料を極薄の切片に加工する器具 |
| み | ミジンコ遊泳阻害試験 | オオミジンコ等のミジンコ類の仔虫を対象に、化学物質を暴露して、遊泳行動を指標に化学物質の短期的な影響を調査する生態毒性試験。OECDのテストガイドライン No.202では24時間以内に産まれた仔虫に化学物質を48時間暴露する。 |
| み | ミジンコ繁殖試験 | オオミジンコ等のミジンコ類を対象に、化学物質を暴露して、試験個体が産んだ仔虫の数を指標に化学物質の長期的な影響を調査する生態毒性試験。OECDのテストガイドライン No.211では試験個体に化学物質を21日間暴露する。 |
| む | ムーニー粘度 | 生ゴムや未加硫ゴムの、可塑性を計るための単位。 可塑性は、回転式粘度計の一種であるムーニー粘度計で測定され、試料を100℃に加熱し、この中で毎分2回転する円板にかかるトルクより求める。予備加熱1分間の後、回転開始後4分経過後の値をムーニー粘度値とする。数値が大きいと、硬いゴム材料と判断できる。 |
| む | 無影響濃度 | 生態毒性試験において、対照区と比較して、統計学的に有意な悪影響がみられない最大の暴露濃度を示す。 |
| め | 眼粘膜刺激性試験 | 誤って眼に入れた場合に生じる結膜、虹彩及び角膜に対する傷害を予測するために実施する、ヒトに被験物質を粘膜に適用する試験のこと。 |
| も | 網羅的遺伝子発現解析 | 外部刺激等により転写されるRNAを分析し、数千から数万個の遺伝子の発現変動を網羅的に解析する技術 |
| も | 木質感 | 木材に見える外観 |
| や | 焼け | 樹脂材料に過剰に熱がかかり、褐色化や炭化が発生すること |
| や | ヤング率 | 弾性範囲における応力とひずみの比例関係を表す比例係数。 |

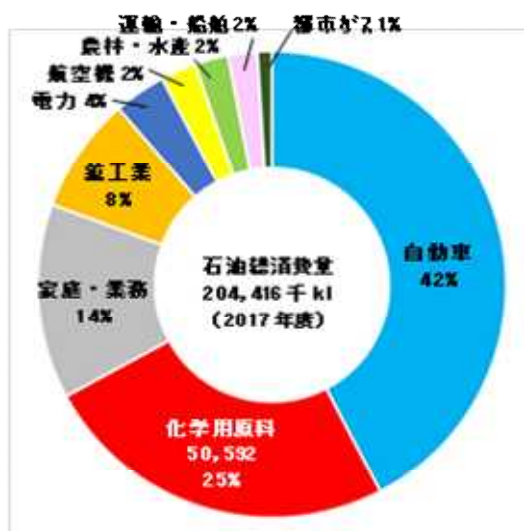
| | | |
|---|----------------------|------------------------------------------------------------|
| り | 離解パルパー | 紙あるいは乾燥パルプシートから繊維を個々に分離し、パルプの水懸濁液を作る工程および、懸濁液にする機械 |
| り | リグニン | 木材等の植物中にセルロースなどと結合して存在する高分子化合物で、パルプ製造の際においては不要成分。 |
| り | 流動性 | 射出成型時の材料の流れやすさ |
| る | 累積刺激および感作試験（R I P T） | 肌に接触する可能性がある製品が対象となる、製品を長期間使用した際にアレルギーが起こらないかどうかを確認する試験のこと |

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業の背景

我が国の化学品の多くは石油由来の原料から製造され、現状では石油消費量の約24%を化学用原料として使用しており、依然として化学産業では化石資源を大量に消費している（石油連盟「今日の石油産業 2019」）。



出典：石油連盟
「石油製品の用途別国内需要（2017年度）」より作成

図 I - 1 - 1 石油製品の用途別消費量

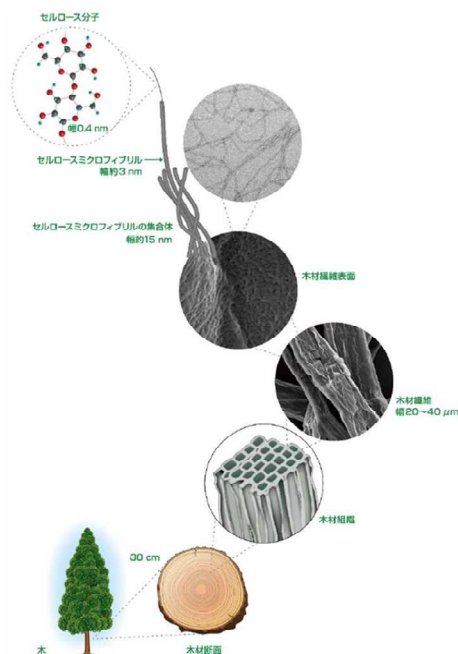
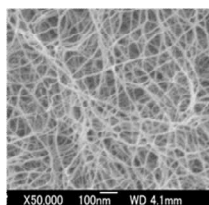
一方、世界的に石油消費量が拡大する中、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスク、CO₂ 排出量の増大に伴う温暖化問題に直面しており、化学品製造の革新的イノベーションの実現により、こうした課題を乗り越えていくことが急務となっている。将来的に石油資源の供給リスクを克服し、かつ持続可能な低炭素社会を実現していくためには、バイオマスなど様々な非石油由来原料への転換が必要である。

このような背景から、第5次エネルギー基本計画においても2050年に向けた対応として、温室効果ガス80%削減を目指し、エネルギー転換・脱炭素化への挑戦を謳っており、2050年に向けて化石燃料の利用に伴う二酸化炭素の排出量を大幅に削減する必要があり、あらゆる技術的な選択肢を追求する必要がある。

セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）は、鋼鉄の1/5の軽さで鋼鉄の5倍以上の強度を有するバイオマス由来の高性能素材である。CNF複合樹脂を既存の繊維強化樹脂並みのコストまで低減出来れば、軽量・高強度の特性から、幅広い分野へのCNFの活用が加速することが見込まれ、既存の石油由来の素材の代替となることが可能となる。さらに、大気中の二酸化炭素を植物が吸収・固着して得られるセルロー

スを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資するものとなる。

- ・軽くて強い（鋼鉄の1/5の軽さで5倍以上の強度）
- ・大きな比表面積（250m²/g以上）
- ・低線熱膨張率
- ・植物由来
⇒持続型資源、環境負荷少



優れた補強繊維として利用可能

補強用繊維としての比較

| 補強用繊維 | セルロース ナノファイバー | 炭素繊維 (PAN系) | アラミド繊維 (Kevlar®49) | ガラス 繊維 |
|------------------------|------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| 密度(g/cm ³) | 1.5 | 1.82 | 1.45 | 2.55 |
| 弾性率(GPa) | 140 | 230 | 112 | 74 |
| 強度(GPa) | 3(推定値) | 3.5 | 3 | 3.4 |
| 持続型資源 | ◎ | — | — | — |

出典：京大生生存圏研究所 生物機能材料分野 資料集
<https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labm/cnf/downloads>

図 I -1-2 セルロースナノファイバーの特徴

1.2 事業の目的及び意義

国内においては、CNFの製造プロセス、及び用途開発は進められているものの、実用化に達しているものは未だ多くない状況である。CNFの実用化、用途拡大のためには、CNFの製造コスト低減が重要であるとともに、各製品用途に応じたCNFの利用拡大への加速が必要である。そして、製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・市場拡大を早期に実現することは、二酸化炭素の排出量削減につながり、エネルギー転換・脱炭素化社会を実現するために、重要である。また、CNFは新しい材料として多様な応用が期待されているが、実用化や普及を加速するためには、CNFの利用にあたっての安全性の確認を強化する必要があるので、安全性評価も実施する。

プロジェクトの事業全体イメージ図を下に示す。

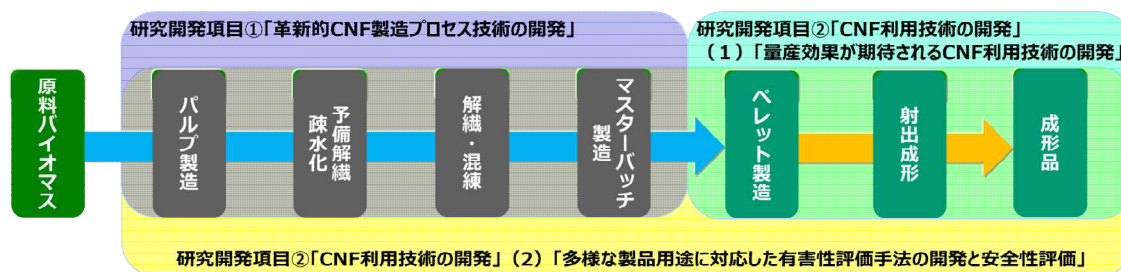


図 I -1-4 事業全体イメージ図

1.3 事業の位置付け

1.3.1 政策的位置付け

2019年6月11日に内閣府 統合イノベーション戦略推進会議で決定された「バイオ戦略2019」では、それまでのバイオテクノロジーを活用するという戦略から、持続可能な新たな社会経済システムの要素として欠かすことができないバイオエコノミーをいかに実現するかという戦略へと転換している。全体目標として「2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現」を掲げ、我が国の特徴（強み）と世界の潮流を踏まえつつ、市場の成長性を十分に考慮して、内外から大きな投資を呼び込むことが見込まれる以下9つの市場領域を設定している。



図 I-1-5 バイオ戦略 2019 9つの市場領域

このなかで CNF は、軽量強靱なバイオ素材として①高機能バイオ素材（軽量性、耐久性、安全性）に位置づけられ、我が国が素材技術及びその利用領域（車など）に強みがあるとされている。

これまでの CNF 複合樹脂開発と、本プロジェクトの関係を以下に示す。

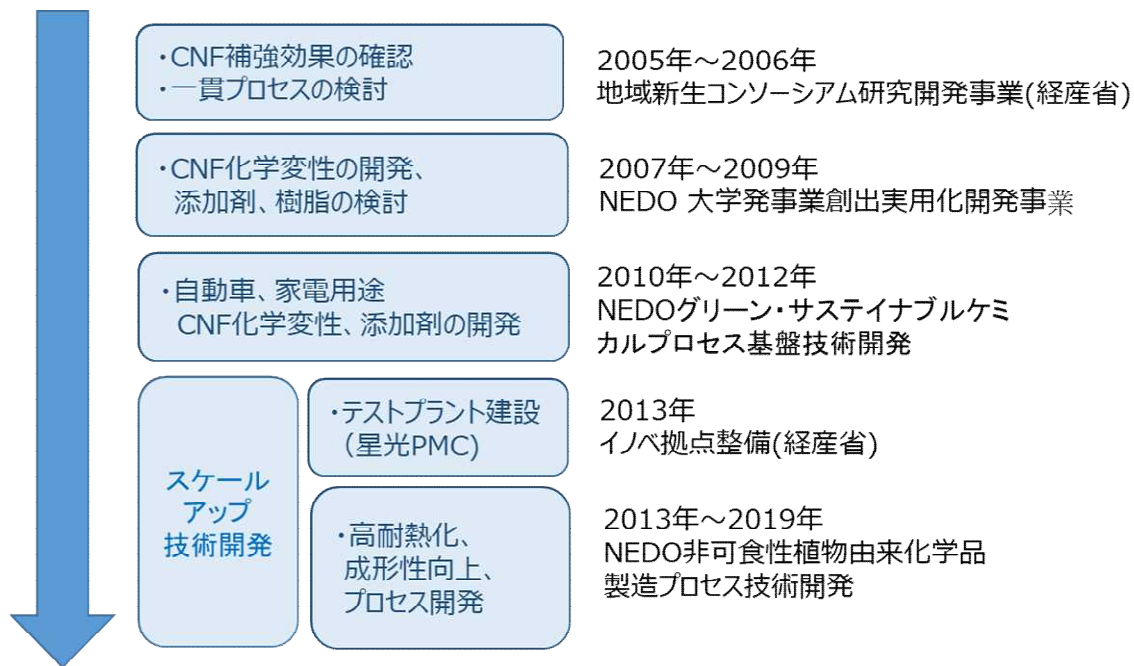


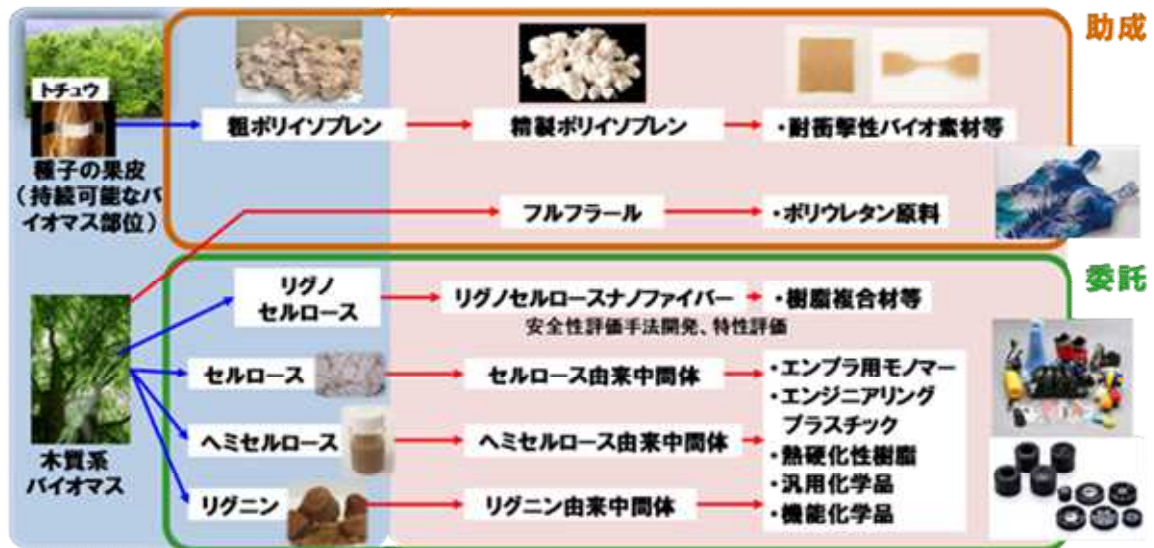
図 I -1-6 これまでの CNF 複合樹脂開発

我が国では、2005 年～2006 年経済産業省「地域新生コンソーシアム研究開発事業」、2007 年～2009 年国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）「大学発事業創出実用化開発事業」等のなかで CNF の基礎、応用研究の支援を行っている。「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」において 2013 年度から 2019 年度まで、非可食性バイオマスから得られるセルロースナノファイバーを活用するための一貫製造プロセス技術を開発した。（プロジェクト名称「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発／高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」）。このプロジェクトにおいては、木質系バイオマスから抽出したリグニンを活用したリグニン樹脂の開発等、非可食性バイオマスから得られるセルロース、ヘミセルロース、リグニン等を個別に活用する化学品製造プロセスの基盤技術開発を推進した。

1.3.2 国内外の研究開発の動向と比較

(1) 国内外の研究開発動向

国内では、NEDO において 2013 年度より前述の「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」において、木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスとして、「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」、「CNF 安全性評価手法の開発」、「木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価」を行い、非可食系バイオマスから得られる CNF を活用するための技術開発を行っている。



有効成分分離技術開発 有効成分からの中間体・最終化学品製造技術開発
(触媒技術、発酵技術等)

原料から最終化学品までの一貫製造プロセスの開発

図 I -1-6 「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」全体像

海外では、非石油由来原料として、非可食性バイオマスを活用したセルロースナノファイバーを含む化学品製造プロセス開発が世界的に活発化してきている。

(2) 開発状況

国内では、2013年度より実施している「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術の開発事業」（以下、「前事業」）は2019年度で終了し、この事業が終了する2019年度末でのCNF複合樹脂の製造コストは1,300円/kgが見込まれている。

海外では、2011年にスウェーデンにてパイロットプラントでセルロースナノファイバーの生産が始まって以来、米国、カナダ、欧州で本格量産化の前段階のデモンストレーションプラントの建設が進んでいる。

(3) 研究開発・実用化の動向

国内においては、CNFの製造プロセス、及び用途開発は進められているものの、実用化に達しているものは未だ多くない状況である。実用化に向けては更なる製造コスト削減、利用用途の拡大が必要である。

海外では、フィンランド、ノルウェーの企業が商業化に向けた投資を行っている状況である。

また、2021年11月現在の海外の研究開発状況等について以下に示す。

| 国・地域 | プロジェクト/団体名 | 研究開発費 | 研究内容 |
|--------|---------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 米 | P3Nano プロジェクト | 約2.6億円 (2012～) | ナノセルロース強化コンクリート、CNCを複合化したポリ乳酸の生分解性スナック包装容器、コンピューターチップなどの技術開発を検討。 |
| EU | Scaling-Up Nanoparticles in modern PAPermaking | 約13.2億円 (2009～ 2013) | 川上から川下までの一貫した研究開発の連携が取れておらず、製紙産業が中心となって生産しているCNF、MFCの用途は、自社の事業内での実用化を目指すレベルで、長期的なリスクを取らない。 |
| フィンランド | FinnCERES 「高機能バイオ系材料によるバイオコミの精密化」 | 約30.9億円 (2018～ 2025) | CNFの実用化・製品化よりも先端的な材料研究を進めることで、世界のトップクラスの研究機関を目指す。CNF、CNCに大きな投資をしない傾向であり、研究成果(高IF雑誌への掲載が目的)で勝負。 |
| スウェーデン | Wallenberg Wood Science Center (WWSC)大学中心 | 約57億円 (2009～ 2018) | 木材資源の高度利用と世界トップの大学研究機関を目指して、多くの論文が報告されている。実用化とスピノフに至った例は少ない。 |
| | Digital Cellulose Center (DCC) RISE (国研) 中心 | 約28億円 (2017～ 2027) | CNFを含む木材成分の高度利用(エネルギー、エレクトロニクス、デジタル通信等)を目指す。今年、5年の追加予算が認められた。 |
| 中国 | - | - | 国内製紙産業が盛況なので、ナノセルロース関係の企業の事業化に関する情報なし。一方、大学・研究所ではナノセルロース関連の論文多数。 |
| カナダ | - | - | CNCのパイロット生産を世界に先駆けて、2012年から複数の企業が開始したが、現在では縮小傾向。ブラジルに生産拠点を移転。CNC、MFCのセメント添加剤への適用のベンチャーが活動。 |

出典：「セルロースナノファイバー研究と実用化の最前線」2021年11月及びヒアリング調査による

図 I -1-7 海外の研究と実用化動向

(4) まとめ

海外では大学、国研での研究開発が活発に行われているが、短期的な実用化、事業化のめどが立っている国は少なく、民間企業の参入が遅れている。国からの、大学、国研、民間企業への支援が継続している日本は海外に比べ実用化・事業化に向けた開発支援環境が整っている。本事業においても幅広い企業の研究開発を支援している。また、川上から川下までの連携という視点で研究開発テーマを選定、支援することで、海外に先んじて早期の実用化・事業化をめざしている。

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

バイオマス由来の高性能素材である CNF の製造コスト低減、利用用途拡大、安全性の確認を強化する研究開発は、製紙産業の競争力強化、既存の石油由来の素材の代替となることが可能になるなど、セルロースを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資する社会的必要性が大きい。一方で、実用化に向けた研究開発の難易度が高く、実用化に向けた投資規模も大きいため、N E D O がもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業である。

また、C N F 複合樹脂は新しい素材であるため、サプライチェーンを構成する川上から川下までの企業間の連携が重要となってくる。N E D O は、多くの企業の参入が活発に行われるように、オールジャパン体制の産学連携組織であるコンソーシアム等と連携し、プロジェクト成果の普及を行う。また、C N F を安心して利用できるよう、安全性や品質管理の強化を目的とした安全性評価を行い、プロジェクト成果を社会実装に取り組む企業に提供する。

2.2 実施の効果（費用対効果）

プロジェクトの総費用 約 32 億円

新規市場創造目標 2030 年 2 兆円/年 ※CNF 市場全体の目標値

C O 2 削減効果 2030 年 373 万トン - CO2/年

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

【アウトプット目標】

2013年度～2019年度に実施した「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術の開発事業」では主に家電筐体や自動車用部材をターゲットとするCNF複合樹脂の製造コスト1,300円/kg(2019年度末)を達成したが、これらの分野で、CNFを本格的に普及させるため、本事業終了時には工業化スケールでの製造が検討可能なコストである700円/kgを目標とし、2030年度末での事業化レベル相当である500円/kg以下までの低減を目指す。また、CNFのなかでも構造部材等において高機能、高付加価値化の領域を狙う高機能性CNF材料は、2019年度末においてCNF複合樹脂に比してはるかに高コストであり、事業化、普及のための技術的課題が多く残されている。そのため本事業終了時には事業化の見通しを得るために、サンプル提供可能とされるコストである従来コストの1/4以下を目標とし、2030年度末までの事業化を可能とするコスト削減を目指す。本プロジェクトでは、高コストの原因となっている生産性や化学処理のプロセスの飛躍的な改良により、大幅にコストを削減する革新的CNF製造プロセス技術の開発を行う。

また、樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化材料を、広く普及させていくために市場の比較的大きい分野での用途開発を促進する、量産効果が期待されるCNF利用技術の開発を行う。新しい複合材料の実用化や普及を加速し支援するため、長期的な利用における信頼性向上や品質管理強化を目的に安全性評価を実施し、多様なCNF製品用途に対する有害性評価手法と評価結果、及び排出・暴露評価結果をまとめた安全性評価書を作成する。

【アウトカム目標】

CNF複合樹脂の世界的な利用拡大や、CNFと複合化する石油由来の樹脂をバイオマス由来に置き換えも行うことで、2030年には373万トン-CO₂/年の削減を目指し、その結果、石油資源の枯渇リスクを大幅に減少させ、持続可能な低炭素社会の実現に大きく貢献する

研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」（助成事業）の達成目標は、以下の通り。

【中間目標】（2022年度）

【中間目標】（2022年度）

1. CNF複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コ

スト低減により、CNF 複合樹脂の製造コスト（ペレット価格）を 1,000 円/kg まで低減するとともに、プロジェクト終了時（2024 年）に 700 円/kg 程度（樹脂により 500 円～900 円）まで低減する技術見通しを得る。

2. 高機能性 CNF 材料製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、従来コストの 1/2 以下まで低減するとともに、サンプル提供可能なコストまで低減する技術見通しを得る。

【最終目標】（2024 年度）

1. CNF 複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、CNF 複合樹脂の製造コスト（ペレット価格）を、プロジェクト終了時（2024 年）に 700 円/kg 程度（樹脂により 500 円～900 円）まで低減する。

2. 高機能性 CNF 材料製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、従来コストの 1/4 以下で、サンプル提供可能なコストまで低減する。

研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」（1）「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」（助成事業）の達成目標は、以下の通り。

【中間目標】（2022 年度）

自動車、建築資材、土木資材、家電分野等の用途で新たに開発した CNF 製品が、競合品に比べ、コスト、性能等の面で総合的に競争力があることを示す。

【最終目標】（2024 年度）

自動車、建築資材、土木資材、家電分野等の用途で新たに開発した CNF 製品が、競合品に比べ、コスト、性能等の面で総合的に競争力があることを示す。

研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」（2）「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」（委託事業）の達成目標は、以下の通り。

【中間目標】（2022 年度）

有害性評価手法を確立し、代表的な CNF の用途に対して、有害性評価及び排出・暴露評価を行い、短期の安全性評価の結果をまとめる。

【最終目標】（2024 年度）

CNF の多様な用途拡大に対応した有害性評価手法の開発と評価、及び排出・暴露評価を行い、安全性評価書をまとめる。

これらの事業目標に従い設定したテーマ毎の研究開発目標と根拠を表 II-1 に示す。テーマ内の更に具体的な研究開発項目および目標は、非公開資料の中で示す。

表Ⅱ-1-1 テーマ毎の研究開発目標と根拠（委託事業、及び助成事業）

| | 中間目標（2022年度） | 最終目標（2024年度） | 根拠 |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 【研究開発項目】(1)「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」【助成】 | | | <p>国内においては、CNFの製造プロセス、及び用途開発は進められているものの、実用化に達しているものは未だ多くない状況である。 CNFの実用化、用途拡大のためには、CNFの製造コスト低減が重要であるとともに、各製品用途に応じたCNFの利用拡大への加速が必要である。</p> |
| | <p>1. CNF 複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、するCNF 複合樹脂の製造コスト（ペレット価格）を1,000円/kgまで低減する。 1.-2最終目標を達成する技術見通しを得る。</p> <p>2. 高機能性CNF材料として、従来コストの1/2以下まで低減するとともに、サンプル提供可能なコストまで低減する技術見通しを得る。</p> | <p>1. CNF 複合樹脂製造プロセスの抜本的見直し、及び生産性の向上、及び薬品コスト低減により、CNF 複合樹脂の製造コスト（ペレット価格）を、プロジェクト終了時(2024年)に700円/kg程度（樹脂により500円～900円）まで低減する。</p> <p>2. 高機能性CNF材料として、従来コストの1/4以下で、かつ、サンプル提供可能なコストまで低減する。</p> | |
| 【研究開発項目】(2)「CNF 利用技術の開発」【助成】【委託】 | | | <p>そして、製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・市場拡大を早期に実現することは、二酸化炭素の排出量削減につながり、エネルギー転換・脱炭素化社会を実現するために、重要である。</p> <p>また、CNFは新しい材料として多様な応用が期待されているが、実用化や普及を加速するためには、CNFの利用にあたっての安全性の確認を強化する必要がある</p> |
| ①量産効果が期待されるCNF 利用技術の開発【助成】 | ※3年間の事業を年度を分けて実施 | <ul style="list-style-type: none"> 自動車、建築資材、土木資材、家電分野等の用途で新たに開発したCNF製品が、競合品に比べ、コスト、性能等の面で総合的に競争力があることを示す。 | |
| ②多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価【委託】 | <ul style="list-style-type: none"> 有害性評価手法を確立し、代表的なCNFの用途に対して、有害性評価及び排出・暴露評価を行い、短期の安全性評価結果をまとめる。 | <ul style="list-style-type: none"> CNFの多様な用途拡大に対応した有害性評価手法の開発と評価、及び排出・暴露評価を行い、安全性評価書をまとめる。 | |

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」(助成事業)

CNFの製造コストを低減させるためには、①生産性の大幅な向上による労務費、原動費の削減、②樹脂との相溶性を高めるための化学処理での薬品コストの低減等を含む製造プロセスの見直しが必要であり、コスト目標を実現するために、従来の技術の延長ではなく、抜本的な見直しを行った新しい製造プロセス技術の開発を行う。

2.1.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」(委託事業、及び助成事業)

(1) テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」(助成事業)

広く普及出来る可能性のある自動車、建築資材、土木資材、家電分野等に適用させていくため、各種用途に適した製造技術の開発、成形・加工技術の開発等を行う。

(2) テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」(委託事業)

多様な用途への拡大が見込まれることから、それら用途に対する安全性評価、及び企業が製品化の際に、各自で簡易的に評価可能な有害性評価手法の開発を行い、事業化支援につなげる。

表Ⅱ-2 に事業全体およびテーマ毎の予算を示す。

表Ⅱ-2 プロジェクト概要および費用 (単位：億円)

| | <研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模> | | | | | |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|--------------|------|------|------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 開発項目① 革新的CNF製造プロセス技術の開発 【助成】 | ・製造プロセスの統合、簡素化のための技術開発 ・用途に合ったCNFの原料、触媒等の技術開発 | | | | | 等 |
| 開発項目②-1 量産効果が期待されるCNF利用技術の開発 【助成】 | ・樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化技術の開発 ・CNF複合材の成形・加工技術の開発 ・用途に合ったCNF製造技術の研究 | | | | | 等 |
| 開発項目②-2 多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価 【委託】 | ・CNF多様性や特異性に応じた有害性評価 ・CNFの多様性や特異性に応じた排出、暴露評価 ・安全性評価書の作成と公開 | | | | | 等 |
| 評価時期 | | | 中間評価/ステージゲート | | | 事後評価 |
| 予算 (億円) | 6.55 | 6.32 | 6.42 | 6.42 | 6.42 | - |

2.2 研究開発の実施体制

本事業は、NEDO が本邦の企業、研究組合、大学、公益法人等の研究機関から公募によって、研究開発実施者を選定した。

図 II -2-6 に実施体制を示す。

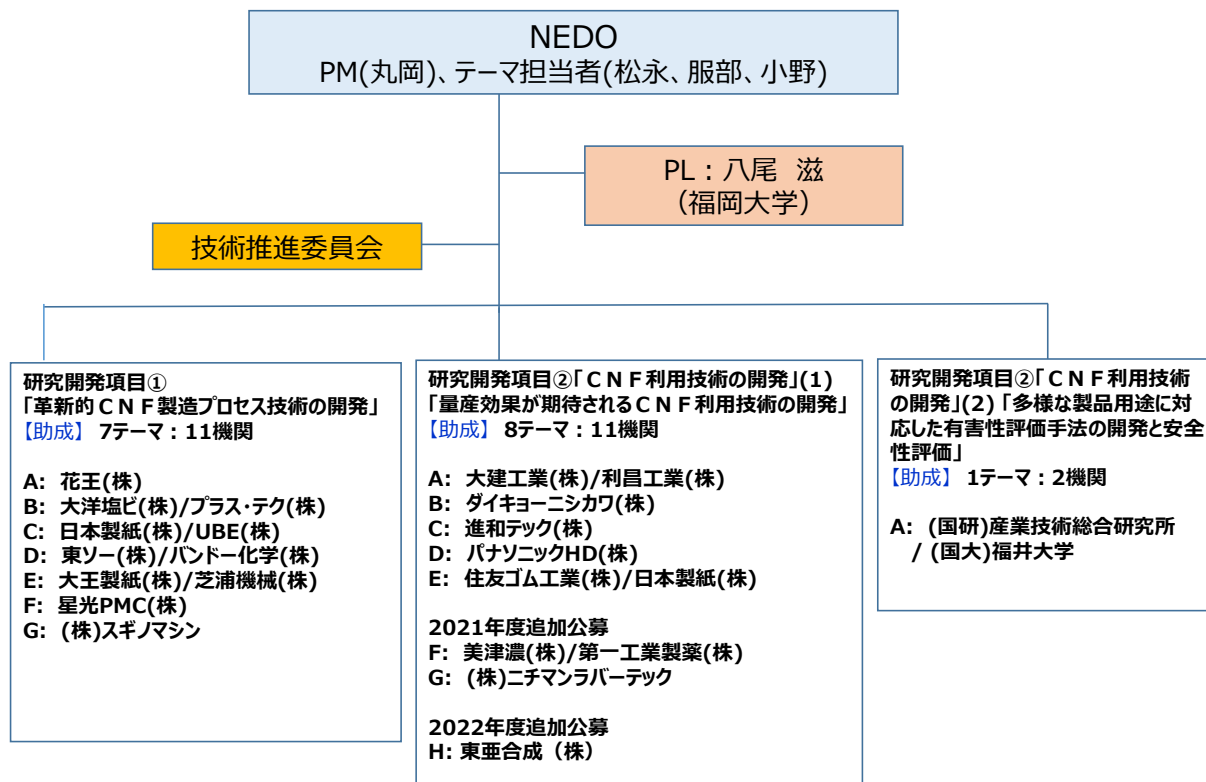


図 II -2-6 研究開発項目の実施体制

2.3 研究開発の運営管理

事業全体の管理・執行に決定権を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施した。また、2020 年度に広範囲にわたる研究開発に対して、俯瞰的な立場で事業全体を指示、指導、調整するためのプロジェクトリーダー（PL）を設置した。

PL : 福岡大学 教授 八尾 滋

PM : NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査 丸岡 啓子

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

表 II -3 に運営管理に関する会議体等の実績を示す。会議体での進捗確認や成果の評価は勿論だが、プロジェクトリーダーや NEDO プロジェクトマネージャー（PM）らによる実施者ヒヤリングを適宜行い、個別の実施者に対する進捗確認、技術指導をきめ細かく実施した。

表 II-3 会議体等による運営管理の実績

| 方法 | 概要 | 頻度 | 備考 |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 研究開発目標の見える化 (達成指標の作成) | 中間目標、最終目標に関して各研究開発テーマごとに具体的な達成指標を作成。 | 都度 | 研究開発15テーマについて2020年まで(追加2テーマは2021年まで)に達成指標を作成し、NEDOと事業者で共有。 |
| 実務者会議 (個別テーマ/チーム単位) | PM/PLによるテーマ/チーム単位での研究進捗確認、研究計画の軌道修正指示等。 | 1-2回/年度 | 毎年、各テーマについて進捗確認と軌道修正を実施。 |
| 個別ヒアリング | 個々の検討課題に応じて、PM/PLによる個別ヒアリングを実施。研究現場確認、課題解決に向けた協議・指導等。 | 随時 | 2021年度までに全委託と助成の23機関とTeams会議を2~4回実施。うち、1回以上はPLミーティング。 (コロナ禍により現地訪問は自粛) |
| 技術推進委員会 | 外部有識者による研究進捗確認及び委員コメントを受けて次年度計画に反映。 | 1回/年度 | プロセスPJ技術推進委員：4名 利用PJ技術推進委員：4名 安全性PJ他技術推進委員：4名 (複合材料設計および成形技術、バイオマス素材、高分子化学、バイオマス変換工学などに知見がある企業・アカデミアの外部有識者で構成) |

毎年度 NEDO が主催する技術推進委員会で外部有識者の意見をマネジメントに反映し、目標値の追加・見直しや追加予算（加速予算）の投入を行うことで、研究開発を促進し、実用化・事業化の早期実現に繋げている。

表 II-4 技術推進委員会 外部有識者コメント

| 研究開発項目 | 技術推進委員 | 委員からのアドバイス例 |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 開発項目① 革新的CNF製造プロセス技術の開発 【助成】 | 影山 裕史 委員 (学校法人金沢工業大学) | ・CNFを樹脂に混ぜて補強性を出す事業が主だが、出口を狭めずに自由に考えてもらい各社の特徴が出る展開を |
| 開発項目②-1 量産効果が期待されるCNF利用技術の開発 【助成】 | 中村 嘉利 委員 (国立大学法人徳島大学) 西野 孝 委員 (国立大学法人神戸大学) | ・本事業は事業化がテーマなので、出口側（ユーザー）の存在、要求仕様についてしっかり各社の動向の確認を |
| 開発項目②-2 多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と全性評価 【委託】 | 松村 晴雄 委員 (株式会社旭リサーチセンター) | ・「安全」ということはもちろん良いが、それだけではなく、こういう使い方は良くない、といった視点での評価も必要では |

3.情勢変化への対応

○コロナ禍の対応（外出制限と大幅納期遅延）

コロナ禍における外出・出張制限の影響を受け、制限期間中は、進捗会議や技術推進会議など原則オンラインで実施、期間中以外は対面・オンラインのハイブリッド開催とした。全体会議は対面で実施できるよう開催時期を対面可能な日時を優先して決定した。また、納期遅延に対しては、執行調査を行い、早期に設備導入時期を把握し、必要に応じ、目標達成時期に影響が出ないように後倒しの計画変更を行うことで対応した。

○計画変更申請に対する対応（提案時の計画からの大幅な変更に対する対応）

設備導入に関して変更申請があり、当初の変更案は、本事業の要である製造装置の導入を取り止める内容であった。設備導入後の材料や製造条件検討を既存装置で行う計画であり、採択時のコスト低減を目的としたスケールアップ検討のための装置導入、材料・条件検討であった事業計画の根本に係わるため、変更内容を見直し、導入時期を遅らせる計画とし、技術推進委員会にて計画変更の妥当性について審議してもらうこととした。導入が遅れる間に、既存装置で検討できる部分を先に行うなど、最終目標の達成時期に影響がないように留意し、その後の計画と実績について定期的に進捗会議など実施して確認した。

4.評価に関する事項

NEDO は、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、5年間の事業においては、中間評価を2022年度、事後評価を2025年度とし、3年間の事業については、中間評価を2022年度、2024年度に事後評価を行うこととし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しするなど、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」（助成事業）

(1) 中間目標（最終目標）達成状況

研究開発項目①助成事業の中間目標達成状況を表Ⅲ-1-1 に示す。詳細はテーマ毎に後述する。

表Ⅲ-1-1 研究開発項目①助成事業の中間目標達成状況

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 花王株式会社 | TEMPO 酸化 CNF を独自の疎水化変性技術により、樹脂モノマー中に完全ナノ分散させ、超高信頼性が要求される半導体封止樹脂等のエレクトロニクス分野や自動車用構造接着剤、CFRP 材料等のモビリティ分野へ適用する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・開発法の適用により、大幅な工程短縮と反応率・収率の向上を達成。 ・樹脂塗膜の靱性は Blank に対して約 4 倍向上し、目標 (> 3 倍) を達成。 ・TOCN の樹脂中分散状態の観察に成功。(物性との紐づけを検討中) | ○ |
| 大洋塩ビ株式会社 プラス・テック株式会社 | 変性パルプの CNF への解繊性が期待される PVC（極性樹脂）へ適用。大洋塩ビとプラス・テックの配合技術を活用し CNF 強化 PVC コンパウンドの配合を設計する。上記 2 社に加えて樹脂サッシメーカーの YKKAP、京都大学、京都市産技研が共同で取り組むことで原料・加工メーカーまで一丸となって低コスト量産化技術を確立し事業化を目指す。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ターゲットとする建材分野で求められる 2021 年度目標物性（難燃性、曲げ弾性率、軟化点温度、線熱膨張係数）は達成。 ・CNF/PVC コンパウンド成形加工性評価と低コスト量産化技術を検討中。 | ○ |
| 日本製紙株式会社 UBE 株式会社 | 再生可能な天然素材を強化材として用いる CNF 強化 PA6 について、京都プロセスをベースに、それを改良・進化させながら、低コスト製造プロセス技術を開発することであり、異業種である CNF の最大供給メーカーである日本製紙と、ナイロン分野の大手樹脂メーカーである UBE が協業し、これを実施する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・製造プロセスの条件最適化を図り、強度品質向上と工程最適化が可能。 ・CNF へ解繊促進する手法を探索し、強度物性・解繊性が向上する手法を見出した。 ・ベース樹脂の選定等により、2021 年度目標物性を達成。 | ○ |

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 東ソー株式会社 バンドー化学株式会社 | 東ソーは本技術を量産スケールに拡大し事業として継続可能な価格となる量産化プロセスを開発する。バンドー化学は、東ソーが提供する CNF 複合化 CR を伝動ベルトの原料に適用するため、保有する CR 製伝動ベルト製造技術を応用し、高効率伝動ベルトの製品化を達成する。更に、完成した CNF 複合化 CR は、伝動ベルト以外にも適用する事で、さらなる使用数量増を目指す。 | <ul style="list-style-type: none"> ・CNF 複合化 CR の実用量産化について、ラボ品同等品質を確認。 ・CNF 複合化 CR を用いた高効率ベルトの実用量産化について、CNF 量許容範囲を確認。 ・伝動ベルト以外の用途への適用検討について、候補を選定。 | ○ |
| 大王製紙株式会社 芝浦機械株式会社 | 省エネルギー型でコスト優位性のある CNF 水分散液製造プロセスと、大きなマーケットである樹脂用途への展開を目指すための CNF 複合樹脂製造プロセスを、製紙会社の工場内に併設して CNF 複合樹脂ペレットを一貫製造することにより、CNF メーカーとしての優位性を確保して、事業化を進めていくことができる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・一貫製造プロセスで製造した変性パルプの導入量は目標値の 71% を達成。 ・CNF 複合樹脂(10%濃度)CO₂ 排出源単位が計画通りできる技術を確立。 ・導入したΦ48mmの二軸押出機で、運転条件や原料条件を最適化し、CNF 複合樹脂生産量 250kg/h と曲げ弾性率 1.6 倍を達成。 | ○ |
| 星光 PMC 株式会社 | CNF 研究の世界的トップランナーの京都大学と星光 PMC が連携することで京都プロセスのさらなる生産性向上、複合材料の物性向上に取り組む。植物由来材料を自動車に搭載した実績を有し、自動車部材に求められる性能を熟知しているトヨタ車体株式会社との連携により、CNF 複合材料の特性が活きる自動車部品設計や利活用方法の開発が実現できる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・従来の疎水変性よりも物性向上効果に優れる新規疎水化剤を選定し、変性プロセスの生産速度を向上させられる新規疎水化パルプを開発。 ・自動車材料に必要な基礎物性評価を実施し、目標をクリア。 | ○ |
| 株式会社スギノマシン | 独自のウォータージェット技術を進化させ、均一な機械解繊高濃度 CNF 水分散液を高効率で製造し、低価格化を実現する。独自技術により CNF 水分 | <ul style="list-style-type: none"> ・原料を最適化することで、細くて長い CNF の製造に成功し、衝突回数削減の目標は達成済み。 ・中型機レベルの乾燥設備も導入し、乾燥条件を最適化により、生産 | ○ |

| | | | |
|--|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--|
| | <p>散液を乾燥させ、樹脂へ少量添加で他にはないユニークな特性を発現する高付加価値 CNF ドライパウダーの商業化と低価格化を実現する。</p> | <p>量は従来約 12 倍(乾燥初期濃度 2 倍、処理量 6 倍)、従来同等の品質を達成。</p> | |
|--|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--|

1.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」（委託事業、及び助成事業）

1.2.1 テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」（助成事業）

(1) 中間目標（最終目標）達成状況

研究開発項目②助成事業の中間目標達成状況を表Ⅲ-1-2に示す。詳細はテーマ毎に後述する。

表Ⅲ-1-2 研究開発項目②助成事業の中間目標達成状況

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 大建工業株式会社 利昌工業株式会社 | CNF 大量需要創出のための内装建材開発において、建材・素材メーカーである大建工業の様々な素材に関する知見、建材への二次加工技術により CNF に最適な用途と要求品質を見出すと共に、利昌工業の CNF 成形技術と電子材料で培った樹脂設計技術により要求品質を満たす CNF 成形板の組成を短期間で見出すことができた。 | <ul style="list-style-type: none"> ・内製フェノール樹脂を CNF 成形体に含浸、吸水性が著しく低減し寸法安定性が向上。樹脂含浸条件を制御し、内装建材として使える等級達成。 ・建材アイテム抽出、小片試作を実施。フェノール含浸 CNF を表面材とした基材は表面硬度が非常に高い特性を活かし「土足用床材」の開発に着手。 | ○ |
| ダイキョーニシカワ株式会社 | 京都プロセスをベースに、ダイキョーニシカワ独自の材料設計、コンパウンド技術を適用し、自動車の内外装製品に必要な性能を実現する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・材料の基礎物性向上を狙い、CNF と樹脂の界面強度向上、CNF の均一分散について取組みを実施し材料改良により衝撃性が向上する傾向を確認 ・自動車部品向け環境性能評価として、耐湿後の物性評価で課題抽出中。 | ○ |
| 進和テック株式会社 | 進和テックがこれまでに持つフィルタ製作のノウハウと、共同研究先の産総研・東工大の持つ CNF 選定・評価のノウハウを融合させ、従来の除湿材料よりも低温再生・長期間使用可能で、省エネを実現できる EV 車載用デシカントフィルタを開発する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・車載を想定したユニット寸法でフィルタ質量を換算し、ハニカム型において目標値である水分吸着量 50g/h を達成。 ・400 時間連続使用に問題がないこと、性能バラつきが 10%以内を確認。 | ○ |
| パナソニック株式会社 | パナソニック独自の乾式プロセスにより、セルローズファイバーの高濃度複合化が可能であり、高強 | <ul style="list-style-type: none"> ・高濃度（PP + セルローズ 70% 材料）にて、強度と成形性を確保。 ・完全バイオ化（バイオ比率 | ○ |

| | | | |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| | 度、高意匠、高バイオ度の樹脂成型品の提供が可能である。 | 95%以上、バイオ PE ベースおよび PLA ベース（セルロース 55%）材料にて、強度と成形性を確保。 ・天井扇ブレード製品評価を実施して、耐候性を除き、製品評価をクリア。 | |
| 住友ゴム工業株式会社 日本製紙株式会社 | エナセーブ NEXTⅢで開発したエラストマーと CNF との複合化技術の乾燥工程を大幅短縮し、コスト半減化した CNF 配合エラストマーを一般タイヤへ展開する。 | ・大径化 CNF を共同で開発、表面積減少により脱水性を改良、高濃度(低水分率)CNF を希釈せず使用する MB 製法を開発し乾燥時間を改良し、2021 年度目標コスト達成。 ・製品検証は、22 年度の計画。検証に向けた必要生産能力確保と試作準備は完了。スポーツ用品など他部材への拡大検討を開始。 | ○ |
| 美津濃株式会社 第一工業製薬株式会社 | 第一工業製薬の TEMPO 酸化法により CNF を均一に分散させる技術を用いて、水性樹脂と CNF を均一に分散させて、ミズノと共同で CNF 複合樹脂をシート化する技術を確立する。ミズノが蓄積した CFRP 成形技術を応用し、CNF 複合樹脂を用いた CFRP 構造体を成形し、スポーツ製品への応用を進めていく。 | ・PU 樹脂エマルジョンで、CFRP の製造が可能であることを確認。CNF を付着させない CFRTP に比べ、曲げ弾性率は約 7% 向上。 ・TPU 樹脂エマルジョンを炭素繊維シートに含浸させることにより、CFRTP を作製できることを確認。 | △ ○ |
| 株式会社ニチマンラ バーテック | CNF をゴムに分散する技術を確立し、靴底の耐摩耗性 40% アップが可能となった。スニーカーのブランド「スピングルムーヴ」を活用し、「ルベアソール」として靴底をブランド化し展開する予定。また、靴底で得た知見をゴムタイルに応用し、耐摩耗性、防滑性の高い床材「アストロフェース」としてブランド化し展開する予定。 | ・ゴム製靴底（ソリッド・軽量化）およびゴムタイルの耐摩耗性は目標値を達成。ゴム製靴底（軽量化）フィールドテストでは現行の靴底よりも摩耗が悪いことを確認。 | ○ |

1.2.2 テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」 (委託事業)

(1) 中間目標（最終目標）達成状況

研究開発項目②委託事業の中間目標達成状況を表Ⅲ-1-3に示す。詳細は後述する。

表Ⅲ-1-3 研究開発項目②委託事業の中間目標達成状況

| 助成先 | アピールポイント | 成果 | 達成度 |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 国立研究開発法 産業技術総合研 究所 国立大学法人福 井大学 | これまで CNF の安全性情報が少ない中、多様な種類の CNF を対象にした有害性試験や排出暴露の手法開発と評価を行い、安全性評価書にとりまとめて事業者の CNF 材料および応用製品の開発と普及を支援することがポイントである。 | <ul style="list-style-type: none"> ・4 種類の CNF に対して培養細胞試験、3 種類の CNF の遺伝毒性試験、肺疾患モデル動物を使った CNF の気管内投与試験を実施。 ・中皮腫発生の検証として、2 種類の CNF について腹腔内投与試験を実施し、短期影響(1 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月)を評価。 ・生態影響の評価として、1 種類の CNF(TEMPO 酸化 CNF)について、試験方法を確立。 ・8 種類の CNF 等について乾燥粉体の取り扱いを模擬した移し替え試験を実施し、飛散量、粒径分布、形態などの情報を取得。 ・生体安全性（動物実験）評価として、CNF 粉じん発生法を確立し、肺および細気管支内の CNF の取り込みを可視化する検出法を開発。 ・研究は順調に進捗しており、安全性評価書暫定版の作成を行い、2023 年 3 月までに達成できる見込み。 | ○ |

1.3 成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-1-4 論文、外部発表等の件数（内訳）【2022年4月末現在】

| 区分 年度 | 論文 | | その他外部発表 | | | | 展示 会へ の出 展 | 受賞 | フォー ラム等 ※ |
|----------|----------|-----|-----------------|----------------------------|-----------|-----|---------------------|----|-----------------|
| | 査読 付き | その他 | 学会 発表・ 講演 | 新聞・ 雑誌 等へ の掲 載 | プレス 発表 | その他 | | | |
| 2020 | 0 | 0 | 19 | 49 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 2021 | 7 | 0 | 28 | 157 | 10 | 0 | 29 | 0 | 0 |
| 2022 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 合計 | 8 | 0 | 49 | 208 | 15 | 0 | 41 | 0 | 0 |

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

1.4 知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-1-5 特許の件数（内訳）【2022年4月末現在】

| 区分 年度 | 特許出願 | | |
|----------|------|----|---------|
| | 国内 | 外国 | PCT 出願※ |
| 2020 | 8 | 1 | 0 |
| 2021 | 17 | 0 | 0 |
| 2022 | 11 | 0 | 0 |
| 合計 | 36 | 1 | 0 |

2. 事業全体の成果

2.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」(助成事業)

2.1.1 テーマ 1「疎水化 TOCN(TEMPO 酸化セルロースナノファイバー)及び樹脂複合化の製造プロセス技術の開発」 (花王株式会社)

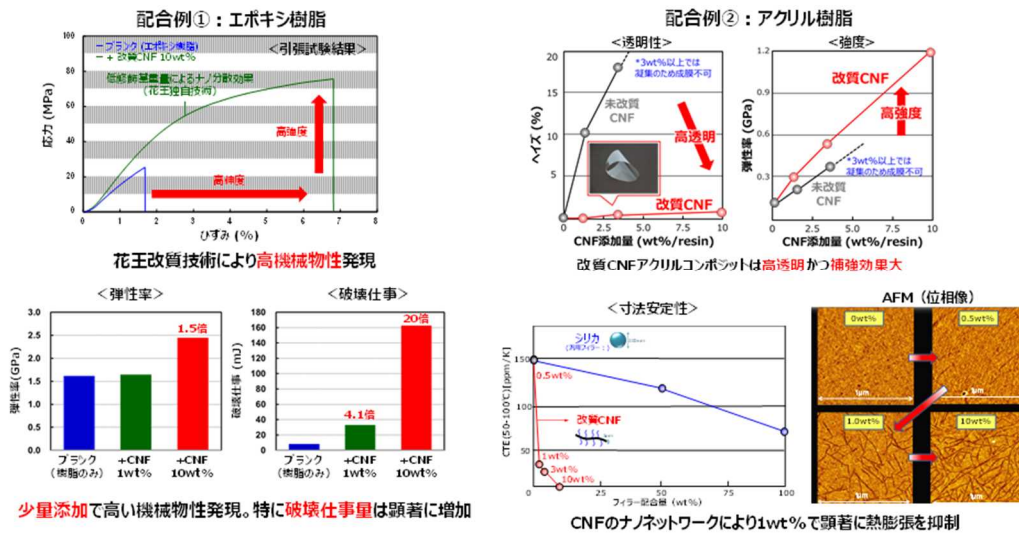
<テーマの概要>

(1) 背景と目的

国の戦略素材 iCNF (individualized Cellulose Nano Fibril) の代表格である TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) は約 3nm の均一な繊維径を有する高アスペクト比の CNF である。我々は TOCN を疎水化する事で樹脂などへ均一ナノ分散し、物性向上などの効果を付与する技術を開発してきた (図Ⅲ-2.1.1-1、1-2、1-3)。本事業では更なる市場展開を図るため、熱的・化学的安定性に優れ、より高物性を発現可能な疎水化 TOCN 及び樹脂複合化の製造プロセス技術を確立する。それにより、更なる用途拡大が見込めると同時に、顧客にとっての適正なパフォーマンス/コストが実現できると考えている。今後、市場伸長が見込めるモビリティ用の構造部材、電子材料をターゲットに選定し用途展開を検討する。

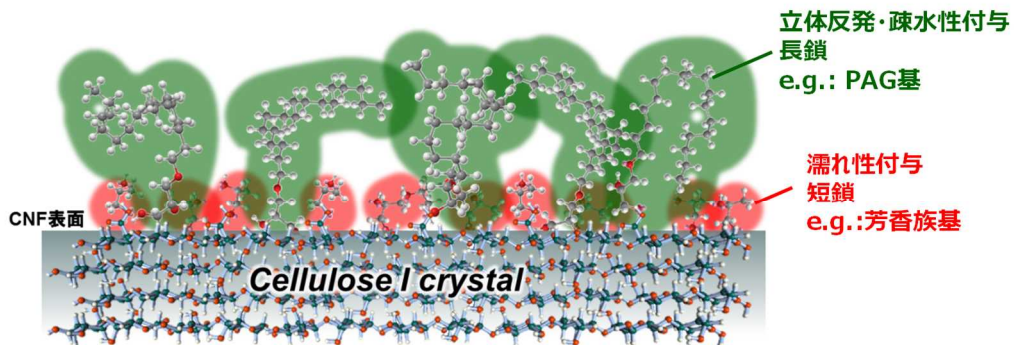


図Ⅲ-2.1.1-1 花王の CNF 配合高機能性樹脂



図Ⅲ-2.1.1-2. CNF 配合高機能性樹脂の物性

短鎖と長鎖のデュアルグラフトCNF



花王独自のCNF分散法として『デュアルグラフト法』を提案
少ない修飾基重量での分散→ CNF本来の物性発現

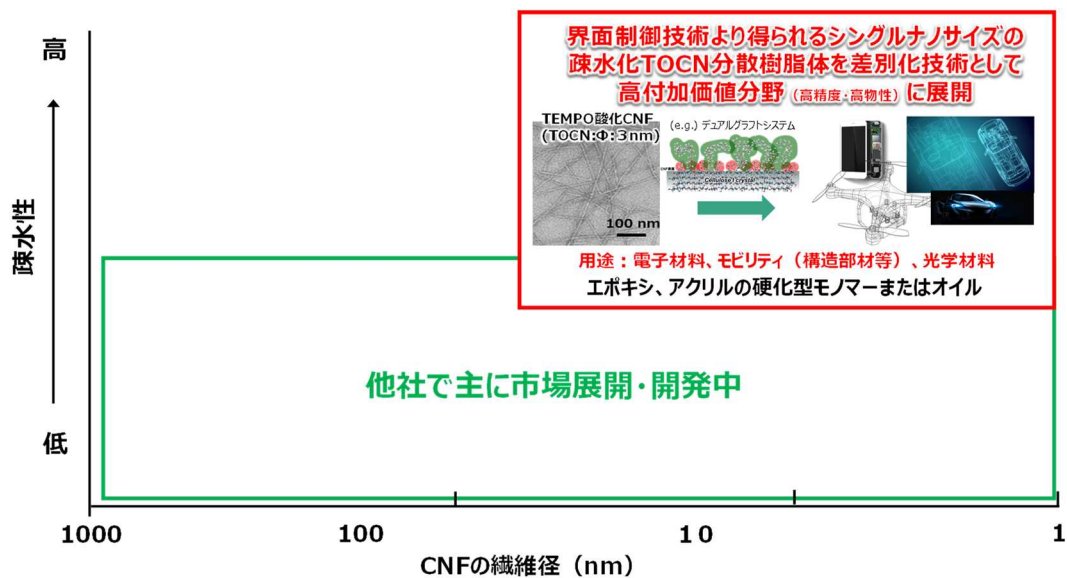
図Ⅲ-2.1.1-3 花王の TOCN 界面制御の一例

(2) 位置づけ、目標値

対象市場、製品：

高い疎水性とシングルナノサイズの均一ナノネットワークによる緻密な物性制御が要求される電子材料・モビリティ・光学材料などの領域をターゲットとして展開している（図Ⅲ-2.1.1-4）。

TEMPO 酸化 CNF を独自の疎水化変性技術により、樹脂モノマー中に完全ナノ分散させ、超高信頼性が要求される半導体封止樹脂等のエレクトロニクス分野や自動車用構造接着剤、CFRP 材料等のモビリティ分野への適用がポイント。



図Ⅲ-2.1.1-4 花王の TOCN の展開領域

競合技術との対比：

競合技術よりも高パフォーマンス/コストで靱性や耐疲労性、低熱膨張性など顧客ニーズにマッチした性能を発揮可能なシングルナノ分散 CNF 複合樹脂を開発する。

表Ⅲ-2.1.1-1 他社にて展開・開発中の CNF に対する花王の開発 CNF (左) の特徴

| | 本開発TOCN分散体 | 機械処理CNF分散体 | 化学変性CNF分散体 | CNF粉体 |
|---------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 調製方法 | TEMPO酸化 + 化学変性 | 機械処理のみ | TEMPO酸化、リン酸化 etc. | 機械処理、溶融混練、化学変性 etc. |
| ファイバー形状 (分散後) | 幅：3nm 長さ：数百nm～ | 幅：10nm～ 長さ：数μm～ | 幅：3nm 長さ：数百nm～ | 幅：サブミクロン～ 長さ：数μm～ |
| 分散対象 | 任意の樹脂、モノマー、有機溶媒 | 水 | 水 | 任意の樹脂 |
| 顧客のハンドリング | 容易 | 困難 | 困難 | 容易 |

本プロジェクトにおける目標とその解決手段について下記に示す。

表Ⅲ-2.1.1-2 各研究項目における課題と解決手段と目標

| 研究開発項目 | 課題 | 中間目標 (2022年度) | 最終目標 (2024年度) |
|--------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| ①TOCNの疎水化の最適条件検討 | 疎水化に必要な薬剤が高価かつ反応率が低いため、実機生産は困難 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・疎水化剤コスト 1/5 ・疎水化率 1.2倍 ・反応率 1.4倍 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・疎水化剤コスト 1/10 ・疎水化率 1.3倍 ・反応率 1.8倍 |
| ②疎水化TOCNと樹脂の複合化検討 | 疎水化TOCNでの複合材料製造の実機生産レベルでの技術未達 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・ナノ分散度 1.2倍 ・TOCN濃度 1.5倍 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・ナノ分散度 1.3倍 ・TOCN濃度 2.5倍 |
| ③疎水化TOCNの製造プロセス検討 | ハンドリング、熱効率、濾過効率等のスケールアップ | パイロット生産レベルでの疎水化技術達成 | 実機製造レベルでの疎水化技術達成 |
| ④複合材料の評価検討 | 実使用条件における物性の安定性、耐久性、安全性を保证する評価系の構築 | *比較対象：Blank樹脂 ・靱性 3.0倍 | *比較対象：Blank樹脂 ・靱性 5.0倍 |
| ⑤疎水化TOCNの構造解析 | パイロット生産条件で製造した疎水化反応機構や樹脂中での構造解析の事例なし | パイロット生産条件で製造した疎水化TOCNの反応機構解析と上記①の物性達成 | 実機製造条件で製造した疎水化TOCNの反応機構解析と上記①の物性達成 |
| ⑥TOCN複合樹脂の構造解析 | TOCNの分散、配向、ネットワーク、樹脂との界面状態の解析が不十分 | パイロット生産条件で製造した複合材料の構造解明と上記②と④の物性達成 | 実使用条件を考慮した強制劣化処理試料における構造解明と上記②と④の物性達成 |
| ⑦TOCN複合樹脂の機能発現機構解析 | 疎水化TOCNと樹脂界面の相互作用や架橋構造に及ぼす影響など機能発現機構が不明 | パイロット生産条件で製造した複合材料の機能発現機構解明と上記②と④の物性達成 | ターゲット製品における機能発現機構の解明と上記②と④の物性達成 |

(3) 全体計画

TOCN 複合化技術をキーテクノロジーとして、低コスト化と機能最大化の両立を達成する。

目標：新規疎水化 TOCN の低コスト製造プロセスの構築と市場受け入れ性のある価格での革新的複合材料の創出。

【課題①】 疎水化 TOCN 及び複合材料の低コスト製造プロセスの構築。

【課題②】 疎水化 TOCN 及びその複合材料の構造解析と機能最大化。

(4) 実施体制

基礎的な製造技術（TOCN 表面改質、疎水化製造プロセス、複合材料の評価検討）について花王で実施し、それらと並行して共同研究先である東京大学にて構造・メカニズム解析（疎水化 TOCN およびその複合材料の構造解析、機能発現機構解析）を実施する。このような体制にて樹脂と TOCN の界面状態、ナノ分散状態等定量的なデータをもとに製造技術の改良にフィードバックする事によって円滑に技術開発を推進する。また、花王と東大間にて進捗報告会議を 3 か月に 1 度のペースで開催する。

(5) 実施の効果

各製品の用途に応じた TOCN 複合材料の開発により、自動車、航空機等のモビリティ分野の構造部材において、部材の軽量化、高品質、生産安定化等が実現し、二酸化炭素の排出量削減につながり、脱炭素化社会実現に大きく貢献できる。電子・光学部品等エレクトロニクス分野においては、低熱膨張、高耐熱性、高強度・高靱性などの高機能部材提供が可能となる。

<研究開発成果>

(1) 目標の達成度、達成可能性、課題

表Ⅲ-2.1.1-3 目標に対する成果および達成度

| 研究開発項目 | 中間目標 (2022年度末) | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決 方針 |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| ①TOCNの疎水化の最適条件 検討 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・疎水化剤コスト 1/5 ・疎水化率 1.2倍 ・反応率 1.4倍 | ・疎水化剤コスト 1/8以下 ・疎水化率 1.2倍 ・反応率 1.4倍 | ◎ (コスト：目標値より大きく 上回って達成) | |
| ②疎水化TOCNと樹脂の複合 化検討 | *比較対象：プロジェクト開始前の値 ・ナノ分散度 1.2倍 ・TOCN濃度 1.5倍 | ・ナノ分散度 1.3倍 ・TOCN濃度 1.5倍 | ○ | |
| ③疎水化TOCNの製造プロセス 検討 | パイロット生産レベルでの疎水化技術 達成 | ・パイロット生産可能なレベルまで工程 短縮した改良プロセスをラボにて構築 ・導入装置を選定し発注完了 ・実機想定装置にてパイロット生産条件 での反応条件スクリーニングを実施 | ○ | パイロット生産条件の 更なるブラッシュアップ |
| ④複合材料の評価検討 | *比較対象：Blank樹脂 ・靱性 3.0倍 | ・靱性 4.0倍 (樹脂塗膜) ・物性評価装置の導入を完了 | ○ | |
| ⑤疎水化TOCNの構造解析 | パイロット生産条件で製造した疎水 化TOCNの反応機構解析と上記① の物性達成 | ・固体NMRによる構造解析より得られ た疎水化TOCNが目的構造であることを 確認 | ○ | |
| ⑥TOCN複合樹脂の構造解析 | パイロット生産条件で製造した複合 材料の構造解析と上記②と④の物 性達成 | ・TEMを用いた疎水化TOCNの樹脂中 分散状態の観察に成功 →物性との紐づけを検討中 | ○ | |
| ⑦TOCN複合樹脂の機能発現 機構解析 | パイロット生産条件で製造した複合 材料の機能発現機構解析と上記② と④の物性達成 | | ○ | |

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（達成予定時期）、×未達

研究開発項目 [1] 「TOCN の表面改質の最適化の検討」

研究開発項目 [2] 「疎水化 TOCN と樹脂の複合化検討」

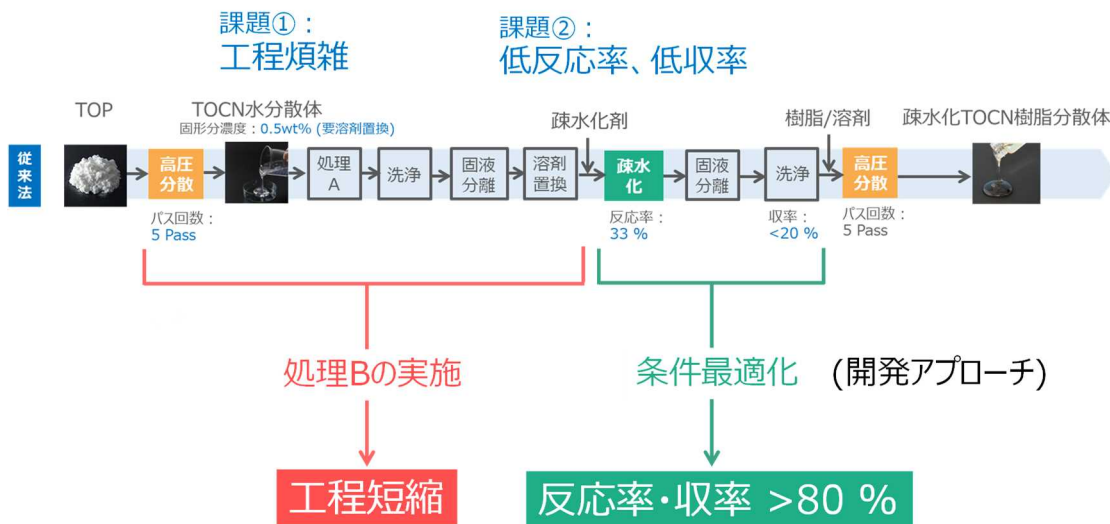
研究開発項目 [3] 「疎水化 TOCN の製造プロセス検討」 (実施先：花王株式会社)

従来の TOCN 疎水化プロセスは処理工程が多く煩雑であったが、処理 B の開発によってそれら工程をパイロット生産可能なレベルまで大きく短縮できる事がラボにて確認できた (図Ⅲ-2.1.1-5)。さらに疎水化反応条件を最適化する事によって反応率・収率を向上する事ができた。また、反応率や収率を改善したことにより、疎水化剤コストも大幅に削減する事ができ、コスト・疎水化率・反応率のいずれの観点においても中間目標を達成できた。

この開発プロセスで得られた疎水化 TOCN を樹脂モノマーへ分散させ分散性を評価した結果、高濃度に濃縮しても高いナノ分散度を実現でき、中間目標を達成できた。

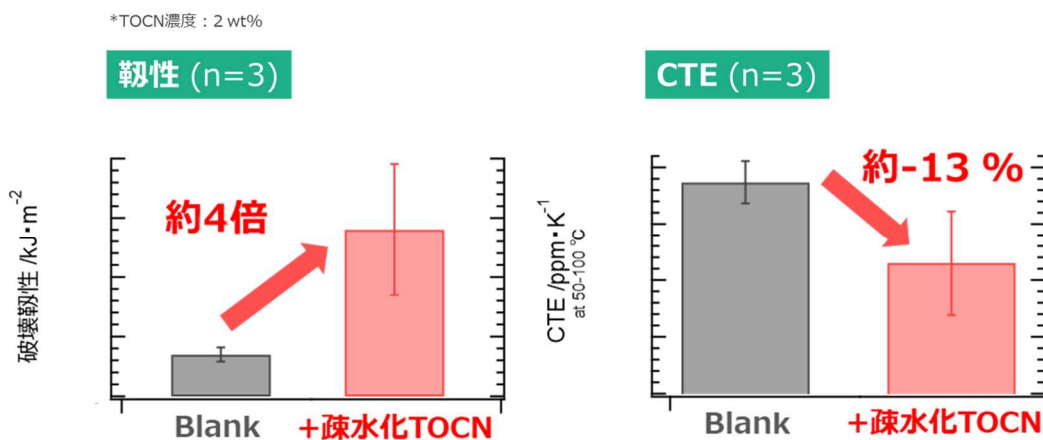
現在は試作へ向けて実機想定装置を用いたパイロット製造条件における反応条件最適化を実施しており、今後はそれら条件の更なるブラッシュアップを実施していく予定である。

*TOP…TEMPO酸化パルプ、TOCN…TEMPO酸化CNF



図Ⅲ-2.1.1-5 疎水化条件最適化・樹脂との複合化・製造プロセス検討

研究開発項目 [4] 「TOCN 複合材料の評価検討」 (実施先：花王株式会社)
 開発プロセスにて得られた疎水化 TOCN 複合化樹脂を硬化して得られた樹脂塗膜の物性を評価した。
 その結果、疎水化 TOCN 複合化樹脂塗膜の靱性は TOCN の添加量 2wt%において、Blank 樹脂に対して 4 倍向上、CTE は-13 %まで低減でき中間目標を達成した (図Ⅲ-2.1.1-6)。



図Ⅲ-2.1.1-6 TOCN 複合化エポキシ樹脂の物性評価

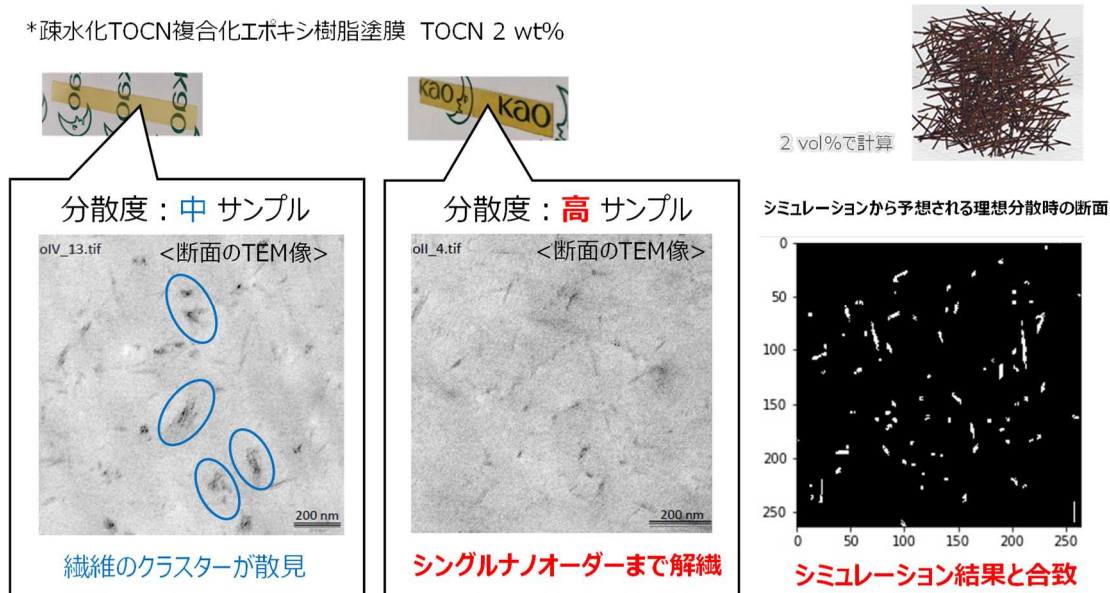
研究開発項目 [5] 「疎水化 TOCN の構造解析」

研究開発項目 [6] 「TOCN 複合材料の構造解析」

研究開発項目 [7] 「TOCN 複合材料の機能発現機構解析」 (実施先：東京大学)

東京大学による固体 NMR を用いた疎水化 TOCN の構造解析および TEM を用いた樹脂中の TOCN 分散状態の観察を実施した。

その結果、固体 NMR による疎水化 TOCN の構造解析では目的の疎水化構造を確認する事ができた。また、TEM を用いた樹脂中の疎水化 TOCN 分散状態の観察では、樹脂塗膜中に分散する TOCN のモルフォロジーを観察することができた (図Ⅲ-2.1.1-7)。TOCN 複合化樹脂の更なる物性向上へ向け、観察結果と物性発現因子との紐づけを検討している。



図Ⅲ-2.1.1-7 TEM を用いた樹脂塗膜中の疎水化 TOCN 分散状態の解析

(2) 研究開発の成果と意義

本検討において、花王独自の前処理技術により TOCN の疎水化プロセスを大幅に簡略化できる見込みを得た。さらに反応率の向上や汎用試薬の適用によってコストの中間目標値を達成することができた。TOCN の疎水化技術において、本開発法ほどの簡易かつ高反応率なプロセスを実現できる知見は世界的に例を見ず、唯一の工業化可能なレベルの技術といえる。また、製造時の溶剤使用量や消費電力の削減によって LCA の観点からも革新的製造プロセスといえる。これら開発プロセスによって得られた疎水化 TOCN は樹脂中にシングルナノレベルの高い分散性で複合化が可能であり、樹脂の靱性も中間目標を達成することができた。また、得られた疎水化 TOCN は熱的・化学的安定である事を確認済みで、より多様な市場・用途に展開できる見込みを得た。

(3) 知的財産などの確保に向けた取り組み

表Ⅲ-2.1.1-4 知的財産に関する取り組み状況

| | 2020年度 | 2021年度 | 計 |
|---------------|--------|--------|----|
| 論文 | 0 | 3 | 3件 |
| 研究発表・講演 | 1 | 8 | 9件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 5 | 1 | 6件 |
| 自社HP ニュースリリース | 1 | 0 | 1件 |
| 展示会への出展 | 0 | 3 | 3件 |

2.1.2 テーマ 2「CNF/塩化ビニル系樹脂複合体の低コスト化技術の確立」

(大洋塩ビ株式会社、プラス・テク株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

本事業で開発を目指す技術の全体像

CNF/PVC コンパウンドは PVC コンパウンドと比べて高い耐熱性・低い線膨張性を示すことが判明したことから、低コストで生産出来れば、建材分野での活用が期待される。

そこで、CNF の実用化、用途拡大のために、まず樹脂サッシ部材をターゲットとして CNF/PVC コンパウンドの設計、及び製造プロセスの簡略化を図り、低コストの CNF/PVC コンパウンドの量産化技術を確立することを目的とする。

具体的には、大洋塩ビ株式会社は樹脂サッシメーカーである YKK AP 株式会社を共同研究先として、樹脂サッシ部材向け CNF 強化 PVC コンパウンドの開発に最適な実用配合を設計する。

プラス・テク株式会社は京都市産業技術研究所、京都大学を共同研究先として同コンパウンドの低コスト量産化の基本工程技術や製品品質評価技術の開発を進めると共に、工業化に向けた量産試作、物性評価を繰り返し CNF/PVC コンパウンドの低コスト量産化技術を確立する。両社が共同で本事業に取り組むことで CNF の製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・市場拡大の早期実現を図る。

技術的な重要性

塩化ビニル系樹脂 (PVC) について

塩化ビニル系樹脂は、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンと並ぶ 4 大汎用樹脂の 1 つで、全世界で約 4,500 万 t / 年、国内で約 170 万 t / 年が生産されている合成樹脂である。

PVC は、石油由来であるナフサと、海水由来の工業塩が出発原料となる。ナフサはクラッカーで分解されエチレンが製造される。一方、工業塩は電気分解され、苛性ソーダと塩素が製造される。得られたエチレンと塩素が合成され、塩化ビニルモノマーが製造される。得られた塩化ビニルモノマーがラジカル重合され、PVC が製造される。

つまり、他の汎用樹脂は枯渇資源である石油由来の原料 (炭化水素) に 100% 依存しているのに対して、PVC の石油依存度は約 40% であり、低炭素化社会の実現にも合致する合成樹脂といえる。

主鎖骨格を構成する塩素原子の存在により、PVC 分子鎖は分極化されており、分子鎖同士が強い電氣的凝集力で結合されている。

その為、PVC には他の汎用樹脂とは異なる以下の特徴を有している。

- a)難燃性に優れる。
- b)可塑剤添加により柔軟性を自由に調整できる。(PVC の最大の特徴)
- c)耐久性、耐候性に優れる。酸化劣化が生じにくい。
- d)耐薬品性に優れる。酸、アルカリ薬品に侵されない。
- e)耐クリープ性に優れる。長時間負荷がかかっても変形しない。
- f)成形加工時のダイスウェル比が小さく、押出加工性に優れる。

これらの特徴並びに工業的に比較的安価で提供できる為、PVC は、これまで 50 年以上に亘り、全世界において、上下水道管、電線被覆材、窓枠、雨樋、サイディング（外壁材）、波板、レザー（人工皮革）、床材、壁紙等 長期耐久性が必要で社会インフラ整備に不可欠な建材・耐久消費材に使用され続けている。

塩化ビニル樹脂とリグノセルロースナノファイバーの複合化技術

国立大学法人京都大学を主体とする産学連携グループは、より低コストでの樹脂と CNF の複合化製造技術として、パルプを樹脂と直接混練させる際の剪断力の最適化により、混練過程でパルプをナノファイバー化する京都プロセス(パルプ直接混練法)を開発した 5)。セルロースとの相溶性良好な樹脂マトリックスであれば、パルプを混練押出で 1 パスするだけで直径数十ミクロンのパルプを数十 nm～数百 nm の CNF に解繊することが可能である。

我々は、NEDO 前身事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」に参画し、耐熱性に優れたリグニン被覆 CNF(リグノ CNF)と PVC の複合化技術を開発し、機械的特性や耐熱性に優れた CNF 強化 PVC を得た。

京都プロセスを用いた PVC と CNF の複合体の繊維観察写真を図 1 に示す。偏光顕微鏡写真では、樹脂中の繊維の分散状態が確認できる。条件適正化前ではパルプが解れず、短繊維化していたが、条件適正化により樹脂中で繊維長を保ちながらパルプが解れていることが確認された。溶媒により樹脂を除去した後の SEM 写真からも条件適正化によりパルプが千切れることなく解繊されていることがより明瞭に確認された。

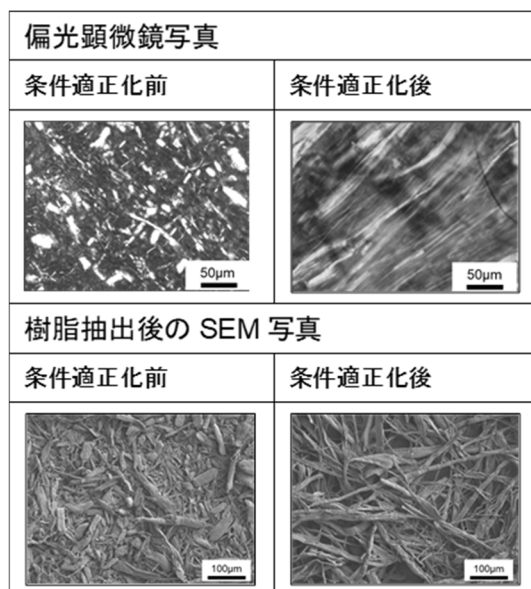


図 1 CNF 強化 PVC の繊維観察写真

CNF 強化 PVC の性能

本手法により得られた CNF 強化 PVC は種々の性能向上を示した。尚、以降のデータは CNF 濃度 10wt% の材料についての記載である。

[曲げ特性、引張特性]

曲げ特性について、CNF 強化 PVC は非強化 PVC と比較して約 1.2 倍の曲げ強度、約 1.8 倍の曲げ弾性率を示した（図 2）。

引張特性についても同様に、CNF 強化 PVC は非強化 PVC と比較して約 1.4 倍の引張強度、約 1.6 倍の引張弾性率を示した（図 3）。

これらの結果から、京都プロセスを PVC に適用することで高強度、高剛性の材料が得られることが確認された。

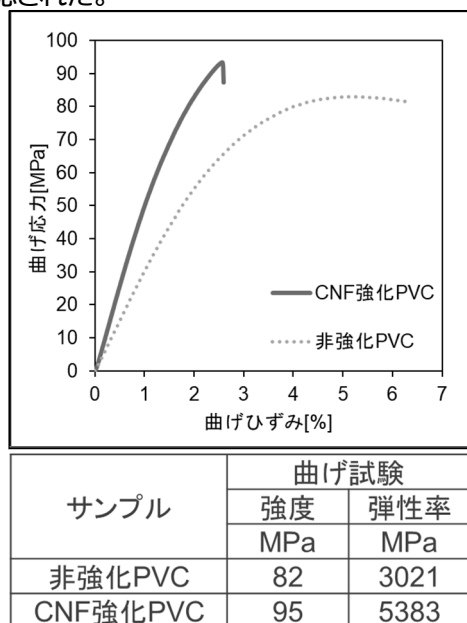


図 2 CNF 強化 PVC の曲げ特性

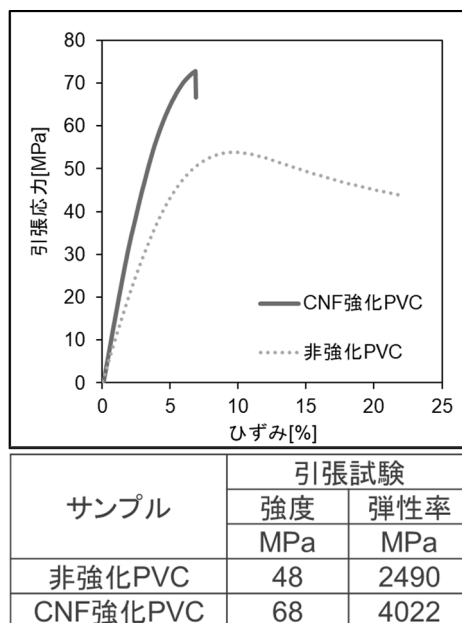


図 3 CNF 強化 PVC の引張特性

[熱特性]

材料の耐熱性の指標であるビカット軟化温度について、CNF 強化 PVC は非強化 PVC と比較して約 30℃向上した（図 4）。材料の温度変化に対する長さ方向の寸法変化を表す線膨張係数について、温度範囲 0℃～60℃の平均線膨張係数は、CNF 強化 PVC は非強化 PVC と比較して約 1/2 倍となった（図 5）。すなわち、本材料は熱変形温度、形状安定性が向上すると言える。

また、CNF 強化 PVC の動的粘弾性は特徴的な挙動を示す。PVC のガラス転移温度（T_g）以上である 100℃以上のゴム状領域において、非強化 PVC と比較して CNF 強化 PVC は貯蔵弾性率が飛躍的に向上した（図 6）。これは高剛性、低線膨張の CNF 特有の補強効果であり、京都プロセスによりパルプが繊維長を維持して高分散した結果だと考えられる。一方で、PVC が従来有する低い熱伝導率、高い難燃性について、CNF 強化 PVC は非強化 PVC と比較して同等であり、PVC が有する優れた熱特性は維持されることを確認した（表 1）。

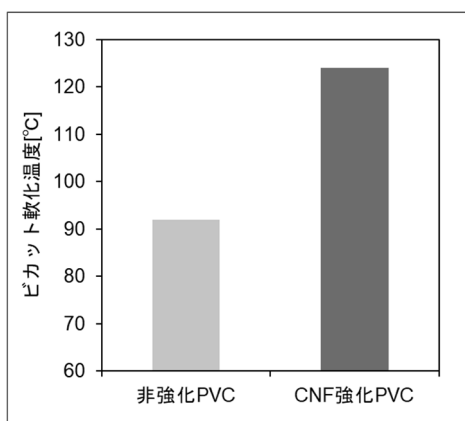


図 4 CNF 強化 PVC のビカット軟化温度

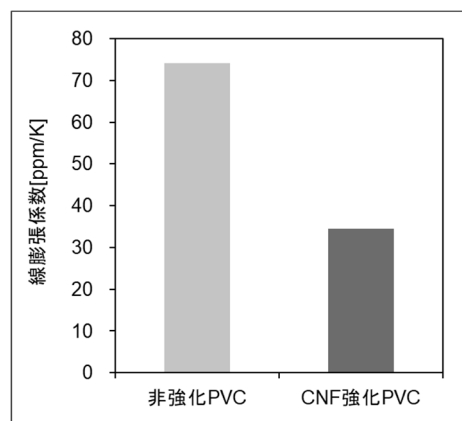


図 5 CNF 強化 PVC の線膨張係数

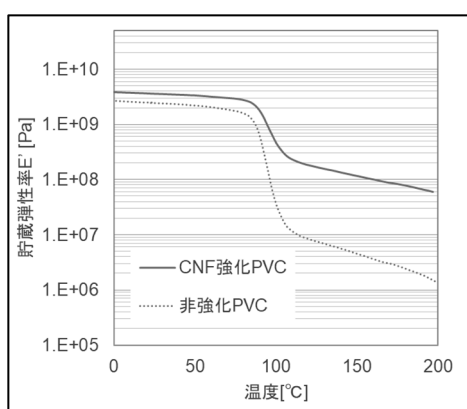


図 6 CNF 強化 PVC の貯蔵弾性率

表 1 CNF 強化 PVC の熱伝導率、難燃性

| サンプル | 熱伝導率λ[W/(m・K)] | 難燃性UL94規格 |
|----------|----------------|-----------|
| 非強化PVC | 0.163 | V-0 |
| CNF強化PVC | 0.209 | V-0 |

CNF/PVC コンパウンドは PVC コンパウンドと比べて高い耐熱性・低い線膨張性を示すことから、本事業では CNF の実用化、用途拡大のため、まず樹脂サッシ部材をターゲットとした。

(2) 研究開発成果

樹脂サッシ部材用途に最適な塩化ビニル系樹脂を抽出し、CNF/PVC コンパウンドの低コスト化のための基本実用配合の検討をラボスケールにて実施した。

また、既存のコンパウンド製造技術に京都プロセスの適用するための混練方法や混練条件等の検討を実施した。

また、コンパウンド製造技術のスケールアップに向けて、膨潤剤の探索や最適化などの複合化プロセスの検討や製品評価方法などの検討を実施した。

CNF/PVC コンパウンドの配合の評価・分析結果を基に、ラボスケールで基本実用配合の最適化を検討した。

一方で、実用配合の検討では、ターゲットとする用途での成形加工性の評価や CNF/PVC コンパウンドの低コスト化技術の確立に向けた検討を行った。

これまでの検討で得られた混練技術に関する知見を既存設備に適用しコンパウンド材料の試作や試作材料の物性等の評価を行った。

また、コンパウンド製造技術のスケールアップは、既存設備での検証結果や膨潤剤等の複合化基本工程の検討結果を元にスケールアップ設備の選定を行った。

さらに、製品評価方法等の検討結果を元に評価方法を確立し、データを蓄積することで物性等の検証を行った。

また、解繊性の向上及び分散状態の改良のため、CNF 原料の選定・パルプの前処理工程の最適化、混練助剤の使用条件最適化、混練条件の最適化等を行い、物性向上を図る。

また、スケールアップ装置を使用し、品質向上やコストダウンの検討を実施した。

実施体制：大洋塩ビ株式会社、プラス・テク株式会社

共同研究：YKK AP 株式会社、京都大学、京都市産業技術研究所

(3) 実施の効果

大気中の二酸化炭素を植物が吸収・固着して得られるセルロースを PVC コンパウンドの原料に用いることで、カーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策に資するとともに、従来の PVC では得られなかった新たな物性改質が見られた。

樹脂サッシ部材等への用途展開が図られ、樹脂サッシが今後更に普及されれば、住宅等の省エネ化にも寄与し、更なる二酸化炭素の排出量削減にもつながり、エネルギー転換・脱炭素化社会の実現への貢献が期待できる。

2.1.3 テーマ3「CNF強化樹脂（PA6、PP）の低コスト製造プロセス技術の開発」 （日本製紙株式会社、UBE 株式会社）

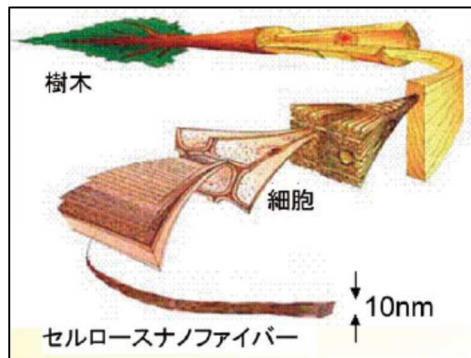
<テーマの概要>

（1）背景と目的

■ 本事業で開発を目指す技術の全体像

環境問題は世界的に非常に重要な位置を占めている。近年は、投資や経済とも結びつくようになってきており、人間社会の成長にも影響を与える重要な課題になりつつある。現在の環境問題には主に2つの課題があり、地球温暖化と海洋プラスチック汚染問題である。どちらも石油を主とした化石資源が起因となっているが、産業革命以降の世界の近代化においては化石資源の利用を拡大することで人類社会が成長してきた側面がある。しかし近年は、負の側面として地球環境の悪化が危機感を持って叫ばれており、そのため、化石資源の使用量を抑制する、あるいは使わなくすることが必要であると考えられてきた。また、化石資源は一部の地域に偏って分布しており、また有限であり使い切ったら無くなってしまいうという不安も持っている。一部の地域でシェールオイルやシェールガスが採掘できるようになり寿命は延びたとはいえものの、限りある資源であるということは変わらない。このようなことから、19～20世紀は化石資源を利用した成長であったが、これからの21世紀は非化石資源を利用した成長へと転換する必要がある。この非化石資源の候補として、地球上や国内に広く存在しているのがバイオマスである。バイオマスは、大気中のCO₂固定ができる、再生可能（持続可能）な資源である、世界の広範囲に分布しているといった特徴を持つことから、21世紀ではバイオマスを活用することで、環境問題対策すなわちCO₂排出を削減するとともに、世界の持続的な成長に繋がることを期待される。

さて、セルロースナノファイバー（CNF）は、植物の細胞壁を構成している物質で、細胞壁中では、結晶性CNFの集合体として存在している（図Ⅲ-2.1.3-1）。このCNFは、軽量、高強度、高比表面積、低線熱膨張、高透明といった物理的性質に加えて、再生可能な植物由来の物質であることから、次世代の高機能材料として近年非常に注目を集めている。木材パルプなど植物系繊維材料からのCNFの製造については、種々の方法が開発されている。化学的にナノ化を促進する方法として、TEMPO（2, 2, 6, 6-tetra methyl-1-piperidinyloxy radical）を触媒に用い、水系で非晶領域にある6位のセルロース水酸基を選択的にカルボキシル化すると、セルロース相互間の反発性が高まりナノファイバー化することが明らかにされている。また機械的にナノ化する方法として、数%濃度のパルプスラリーを、高圧ホモジナイザー、マイクロフレイダイザー、グラインダー、凍結乾燥粉碎、超音波解繊等がある。これらの方法を使って均一なナノファイバーを得るためには、低濃度で解繊せざるを得ず、そのため解繊効率やその後の脱水プロセスに起因してコスト高となる等の課題がある。また性能に関しては、CNF自体が親水性であるため、吸湿性の問題や、疎水性である樹脂との相溶性などの課題があり、これまでは主に水系の用途で使用されてきている。



図Ⅲ-2.1.3-1. 植物の繊維構造

■ 技術的な重要性

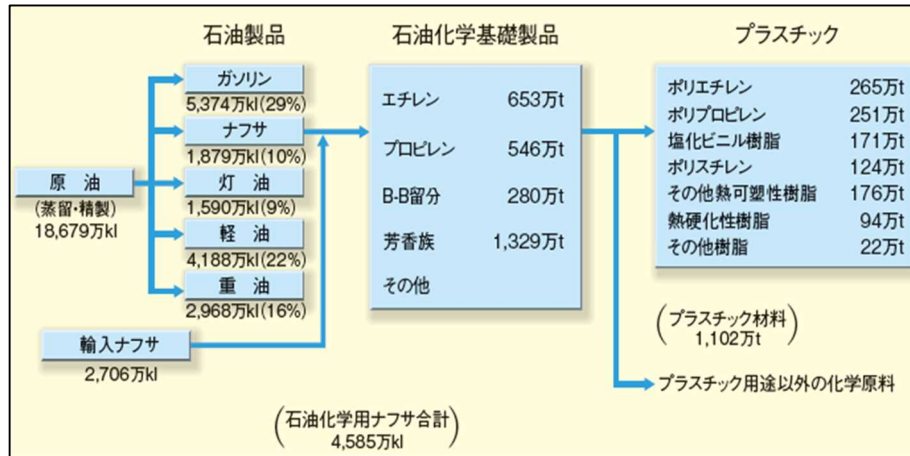
日本製紙は、このCNFを樹脂（プラスチック）の補強に適用することを目指して、2013年度から京都大学矢野教授をリーダーとするNEDO委託事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」に参画し共同研究を行ってきた。その結果、木材パルプを化学修飾（疎水化）し、樹脂と混合して、二軸押出機中で混練することにより、パルプが樹脂中で解繊してナノ化し、そのナノファイバーが樹脂中に均一に分散して、高強度のCNF含有樹脂を製造する京都プロセス（Kyoto Process®）を使って、高温での混練が必要なナイロン樹脂（PA6）と疎水化パルプによる高強度CNF含有PA6の開発に成功した。また、ポリプロピレン（PP）樹脂についても、同様にCNF補強による高強度化に目途を得つつある。更に、実用化に向けての取り組みとしては、NEDOプロジェクトで開発した技術を展開して、2017年にCNF強化樹脂製造の実証設備を建設して生産を開始している（図Ⅲ-2.1.3-2）。実証設備のキャパシティとしては年間10トンのCNF強化PA6の製造が可能であり、これまでにNEDOプロジェクトや、2017年度から始まった環境省のNCV（Nano Cellulose Vehicle）プロジェクトに対して各種材料を提供してきた。



図Ⅲ-2.1.3-2. CNF強化樹脂製造工程と実証設備

■市場規模と開発技術の利用イメージ

さて、プラスチックの市場については、現在国内のプラスチック材料の生産量は年間1、102万トンである（図Ⅲ-2.1.3-3）。そのうち、PEが265万トン、PP251万トン、塩ビ樹脂171万トン、PS124万トン、その他の熱可塑性樹脂176万トンである。



図Ⅲ-2.1.3-3 原油製造量と製品物生産量（2017年実績）

出典：プラスチックリサイクルの基礎知識2019より

この樹脂の市場のうちで、特に自動車の場合を考えてみると、図Ⅲ-2.1.3-4に示すように自動車1台あたり樹脂の使用量は180kg、国内の年間生産台数約973万台であるので、樹脂の合計としては175万トン/年である。そのうち、フィラー（タルク、ガラス繊維（GF））入りPP+PAは68.4kg/台なので、年間使用量は67万トンとなる。それをすべてCNF配合割合が10%のCNF強化PP及びPAに置き換えるとすると、国内の自動車用途へのCNFの需要は6.7万トン/年と算出できる。

①内装中CNF使用量 (t/年) = 自動車生産台数 (台) × 1台当り樹脂使用量 (t/台) × 樹脂中フィラー比率 (%) × 比重換算
 = 9,729,594 (台) [1] × 68.4 / 1,000 (t/台) [2] × 14 (%) [2] × 1.5 / (2.5+2.7) / 2 [2]
 = 5.38万t/年

②外板中CNF使用量 (t/年) = 自動車生産台数 (台) × 1台当り外板使用量 (t/台) × 樹脂中CNF比率 (%) × 比重換算
 = 9,729,594 (台) [1] × 180 / 1,000 (t/台) [2] × 10 (%) × 0.96 / 7.8 [2]
 = 2.15万t/年

■ 車輦1台(1,500kg) あたりの材料量

| 材料 | 比(%) | 重量(kg) |
|-----|------|--------|
| 鉄 | 60 | 900 |
| 樹脂 | 12 | 180 |
| ゴム | 7 | 105 |
| 非鉄 | 14 | 210 |
| その他 | 9 | 135 |

※鉄(鋼板)の20%(180kg)が外板

| 樹脂材料 | 構成比(%) | 重量(kg) |
|-----------|--------|--------|
| PP | 25 | 45 |
| PP (Talc) | 34 | 61.2 |
| PA | 4 | 7.2 |
| PUR | 13 | 23.4 |
| PE | 6 | 10.8 |
| ABS | 5 | 9 |
| その他 | 13 | 23.4 |

※内装用にフィラーを使用した樹脂合計68.4kg
うち14%がフィラー（タルク、GF）

■ 材料の比重

| | |
|---------|------|
| タルク | 2.5 |
| GF | 2.7 |
| CNF | 1.5 |
| CNF強化PP | 0.96 |
| PP | 0.9 |
| 鋼板 | 7.8 |

参考：【1】自動車生産台数：一般社団法人日本自動車工業会 自動車統計月報2019年3月号
 【2】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）報告書
 平成26年3月21日 株式会社三菱化学テクノリサーチ

図Ⅲ-2.1.3-4. 自動車用途に使用されるCNFの推定量

(2) 位置づけ、目標値

■位置づけ

本事業の目的は、再生可能な天然素材を強化材として用いるCNF強化PA6について、上記京都プロセスをベースに、それを改良・進化させながら、低コスト製造プロセス技術を開発することであり、異業種であるCNFの最大供給メーカーである日本製紙と、ナイロン分野の大手樹脂メーカーであるUBEが協業し、これを実施する。また大学や研究機関のパルプ・CNFに関する要素技術の検討成果、混練・装置に関する要素技術の検討成果を取り入れ、低コスト製造プロセスにおける課題解決を図る。さらには樹脂メーカーの技術や経験と組み合わせることで、早期事業化に向け、検討を加速させる。

■目標値

将来的には国内だけでも上記のような大きな市場が期待でき、国内自動車用・強化材入りPP、PA6樹脂の30%を代替して、CNF強化PP、PA6の販売量20万トン/年（=CNF量2万トン/年）を目指す。本事業中には、それを可能とする低コスト製造プロセス技術に目途をつける。目的・目標とする物性、コストは以下の通りである。

表Ⅲ-2.1.3-1 物性・コスト目標値

| | 物性（現行 → 目標） | | コスト目標（本事業中） CNF強化PA6・PP （円/kg） | コスト目標（将） CNF強化PA6・PP （円/kg） |
|-----|----------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | 曲げ弾性率 （GPa） | 衝撃強度 （kJ/m ² ） | | |
| PA6 | 3.5 → 4.0 | 2.0 → 4.0 | 30,000 以上→1,000 | 700 以下 |
| PP | 3.0 →1.0~2.0 | 2.0 → 15 ~10 | 20,000 以上→500 | 300 以下 |

日本製紙実証プラントにおける製造コストの実状は20,000～30,000円/kgであるため、上記の目標はかなり高いハードルである。しかしながら、図Ⅲ-2.1.3-5に示したCNF強化樹脂製造プロセスの、各プロセスにおけるターゲット箇所を明確にし、それぞれについて各種技術開発及びスケールアップを実施することにより、低コスト化を図りたいと考えている。本事業中に500～1,000円/kgに低下させる目途を得ることを目標とする。

(3) 全体計画

表Ⅲ-2.1.3-2 実施計画（赤線部は、2021年度までの進捗）

| 事業項目 | 2020年度 | | | | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | | 2023年度 | | | | 2024年度 | | | |
|---------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 第1 四半 期 | 第2 四半 期 | 第3 四半 期 | 第4 四半 期 | 第1 四半 期 | 第2 四半 期 | 第3 四半 期 | 第4 四半 期 | 第1 四半 期 | 第2 四半 期 | 第3 四半 期 | 第4 四半 期 | 第1 四半 期 | 第2 四半 期 | 第3 四半 期 | 第4 四半 期 | 第1 四半 期 | 第2 四半 期 | 第3 四半 期 | 第4 四半 期 |
| ①④原料パルプの選定と前処理法の検討 | | | | | ■パルプ選定 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①⑤パルプ疎水化法の検討 | | | | | ■疎水化条件 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①⑥解繊促進混練によるMB製造の検討 | | | | | | ■前処理 | | | | | | | | | | | | | | |
| ①⑦スケールアップ（コストダウン）の検討 | | | | | | ■後処理 | | | | | | | | | | | | | | |
| ② CNF強化PA6の低コスト製造プロセス技術の開発 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事業化準備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①⑧ユーザー開拓 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①⑨CNF強化PP用各種材料の開発及び③CNF強化PPの低コスト製造プロセス技術の開発 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④京都プロセス用変性パルプの改良 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤CNF解繊混練技術の改良 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

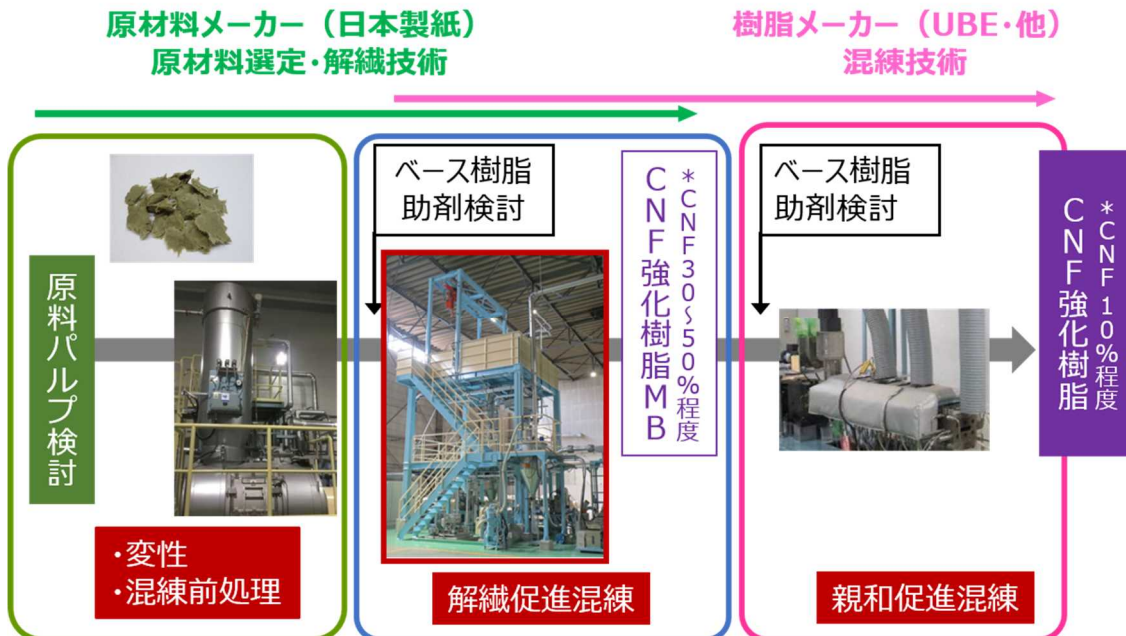
(4) 実施体制

■研究開発担当者

- ・助成先名：日本製紙株式会社、UBE 株式会社
- ・研究開発担当者、実施場所は非公開

(5) 運営管理

- ・日本製紙株式会社
- ・研究体制

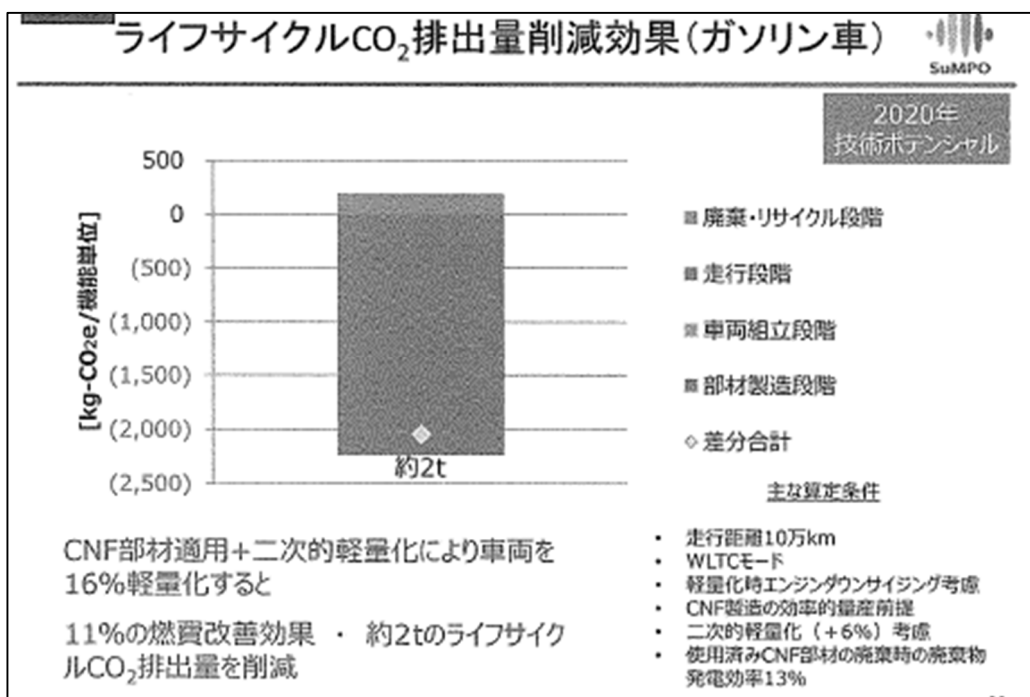


図Ⅲ-2.1.3-5 原材料メーカーと樹脂メーカーの協働による研究体制

(6) 実施の効果

再生可能な天然素材であるCNFを化石資源から得られている樹脂（PA6、PP）の一部に強化材として利用されることにより、化石資源の使用量抑制、CO₂の固定化、マテリアルリサイクル推進等々の効果を発現するとともに、バイオマス資源の本格使用の先鞭をつける事象となる。以下にCO₂排出削減について述べる。

環境省NCVプロジェクトのフイージビリティスタディによると、自動車にCNF部材適用で10%の軽量化+二次軽量化（+6%）により車両を16%軽量化すると、11%の燃費改善効果、約2tのライフサイクルCO₂排出削減効果があると試算されている（図Ⅲ-2.1.3-6）。これは、走行距離10万kmでのデータなので、平均して年間1万km走行すると仮定すると10年間の使用になるので、1台あたり年間のCO₂排出削減効果は、2トン/10年間=200kg（0.2トン）/台/年となる。



図Ⅲ-2.1.3-6 ガソリン車のCO₂削減効果
(出典：ナノセルローズシンポジウム2020 要旨集より)

これに対して、事業目標の項に記載している自動車モデルにおいて、自動車1台(1,500kg)中の部材の10%(150kg)を軽量化には、1台あたりのCNF強化樹脂使用量は95kgとなる。2029年度の強化樹脂生産量が10万トン(CNF量1万トン)となった場合、それを自動車用に使えば、10万トン/95kg=105万台(総生産量983万台の10%にあたる)の車体を10%軽量化できることになる。強化樹脂を使って車体重量10%軽量化するときのCO₂排出削減効果は125kg/台/年(←16%軽量で200kg/台/年より)、なので、105万台×125kg/年/台=13.1万トン/年となる。

CNF強化樹脂は、ガラス繊維強化樹脂と異なり、成形品を一度粉砕して再度成形しても強度低下が起こらず、これを何回か繰り返しても大きく強度が落ちることはない(4回まで確認)。従って、CNF強化樹脂で成形した部品を再利用することで使用するプラスチックの量が減り、CO₂排出削減につながる。

自動車用CNF強化樹脂で作った成形品(部品)のリサイクルによるCO₂排出削減効果を、リサイクルを1回行うこととして計算した。その結果、自動車95万台/年(総生産量の約10%)におけるCO₂排出削減は14.7万トン/年になることがわかった。

表Ⅲ-2.1.3-3 自動車用C N F強化樹脂のリサイクルによる石油削減量、CO₂削減量（自動車95万台／年）

| プラスチック | 石油使用量 ⁽³⁾ (t/樹脂t) | CO ₂ 排出量 (t/樹脂t) | リサイクルによる 樹脂削減量(t) | 石油削減量(kl) | CO ₂ 削減量(t) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------|------------------------|
| PP ⁽¹⁾ | 0.971 | 1.483 | 84550 | 117283 | 125388 |
| HDPE ⁽¹⁾ | 0.979 | 1.326 | 6650 | 9301 | 8818 |
| PA ⁽²⁾ | 1.07 | 2.64 | 4750 | 7261 | 12540 |
| 合計 | | | 95950 | 133844 | 146746 |

注(1): 「石油化学製品のLCIデータ調査報告書」(プラスチック処理促進協会、2009)

注(2): 「LCA日本フォーラム、化学繊維のLCIデータの概要」(日本化学繊維協会、2004)

注(3): 原料としての石油使用量(ナフサ換算)

※我が国の林業再生への貢献

ガラス繊維や炭素繊維による補強と異なりマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルが容易であることから、本技術により高性能化したプラスチックはグリーン素材として循環型社会に受け入れられる。このことから、本技術は、現在我が国で生産されている汎用プラスチック(800万トン)の約50%を占める構造用途プラスチック(400万トン)への応用が期待される。全構造用プラスチック400万トンの半分に10%CNF補強を行うにあたり必要なCNF量は16万トン(20%の重量減)。さらに、すべての新車の自動車外板(ドア、フェンダー、バックドア、等)に50%CNF補強材を使用する場合、必要なCNF量は30万トン。これらは、生産性、原料の安定確保の観点から木材パルプからの製造がもっとも理にかなっている。木材パルプからナノファイバーへの機械的解繊過程では材料損失がないので、ナノファイバー製造に必要な木材パルプ量は46万トンとなる。これは我が国が年間に使用する木材パルプ使用量、2,600万トンの2%弱に相当する。

林野庁は、2016年に策定された森林・林業基本計画(5年ごとに見直し)の中で、本格的な利用期を迎えた森林資源を活かし、需要面においては、CLTや非住宅分野等における新たな木材需要の創出と、「林産物の供給及び利用」の目標については、10年後(2025年)における総需要量を79百万m³と見通し、国産材の供給量及び利用量の目標として40百万m³(60百万トン)を提示している。46万トンのパルプ製造に必要な木材量は92万トン(パルプの2倍量)であり、目標値の達成に一定の貢献ができる。

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

表Ⅲ-2.1.3-4 研究開発項目毎の目標と達成状況

| 研究開発テーマ | 中間目標 2021年度 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解 決方針 |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------|
| CNF強化樹脂(PA6)の低コスト製造プロセス技術の開発 (研究開発項目①②④⑤) | 曲げ弾性率 3.7GPa 衝撃強度 3.0kJ/m2 コスト: >3万円/kg | 曲げ弾性率 4.0GPa 衝撃強度 3.3kJ/m2 コスト:> 1.5 万円/kg | ○ | ・品質向上(2022目標) ・サンプルワークの推進 |
| CNF強化樹脂(PP)の低コスト製造プロセス技術の開発 (研究開発項目①③④⑤) | 曲げ弾性率 1.5GPa 衝撃強度 6.0kJ/m2 コスト: >2万円/kg | 曲げ弾性率 1.5GPa 衝撃強度 6.0kJ/m2 コスト: >2万円/kg | ○ | ・品質向上(2022目標) ・装置導入 ・サンプルワークの推進 |

(2) 研究開発の成果と意義

- 原材料メーカー（日本製紙）や樹脂メーカー（UBE、他）と豊富な知見を持つ、大学・研究機関との協業による、物性目標やコストダウンの課題達成を見込む
- 導入設備による製造量拡大により、需要家による大規模な試作への対応が可能
- 事業性判断についての情報量が増え、精度ある検討が可能
- 本PJによるGHG排出量は評価中
(製造工程を検討中のため、現時点ではCO2データを算定できない)

(2) 最終目標の達成可能性と課題

■ CNF強化樹脂（PA6）の低コスト製造プロセス技術の開発
(研究開発項目 [1] [2] [4] [5])

・最終目標の達成可能性

使用材料（パルプ・添加剤・樹脂）の選定により、品質目標を達成見込む
工程最適化により、コスト目標を達成見込む

・課題

早期の事業化の推進

■ CNF強化樹脂（PP）の低コスト製造プロセス技術の開発
(研究開発項目 [1] [3] [4] [5])

・最終目標の達成可能性

使用材料の選定（パルプ・助剤・樹脂）選定、設備増強を中心とした工程最適化により、目標品質に到達見込む

設備増強を中心に製造量増大と省工程化を図り、コスト目標達成を見込む

・課題

半導体不足等による、中型二軸機設備導入の遅れ。早期の事業化の推進

表Ⅲ-2.1.3-5 最終目標の達成可能性と課題

| 研究開発テーマ | 現状 | 最終目標 (2024年度末) | 達成見通し |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|
| CNF強化樹脂(PA6)の低コスト製造プロセス技術の開発 (研究開発項目①②④⑤) | 曲げ弾性率4.0GPa 衝撃強度3.3kJ/m ² コスト:>15000円/kg | 曲げ弾性率4.0GPa 衝撃強度4.0kJ/m ² コスト:1000円/kg | 達成見込 |
| CNF強化樹脂(PP)の低コスト製造プロセス技術の開発 (研究開発項目①③④⑤) | 曲げ弾性率1.5GPa 衝撃強度6.0kJ/m ² コスト:>20000円/kg | 曲げ弾性率1～2 GPa 衝撃強度10～15kJ/m ² コスト:500円/kg | 達成見込 |

(3) 知的財産などの確保に向けた取り組み

○汎用的であり鍵となる技術について、特許出願を予定

・パルプについての出願

・分散技術についての出願

○用途特許については需要家の意向を確認の後、対応を判断

2.1.4 テーマ 4「伝動ベルトをターゲットとした CNF 複合化クロロプレンゴムの低コスト製造技術開発」

(東ソー株式会社、バンドー化学株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

近年、ゴム材料を使用した各種の自動車部品においては、製品の長寿命化、高性能化への要求特性が高まっている。この要求に対応する手法の一つとして、複合化するゴム以外の材料のナノ化が研究開発のトレンドとして挙げられる。しかし、ナノ材料を配合して高機能を発現するためには、基材となるゴム中での分散が非常に重要であり、ナノ材料の凝集などを抑制できなければ、物性の向上はおろか低下さえも引き起こす。

セルロースナノファイバー(CNF)は近年注目されているナノ材料の一つであるが、その強い親水性のため疎水性である樹脂中でのナノ分散に長年課題を有していた。東ソー株式会社ではクロロプレンゴム(CR)製造時に CNF を分散することで、従来技術では困難であった CR への CNF ナノ分散を可能としたが、その工業化、量産化におけるナノ分散維持に課題があった。

伝動ベルトは二輪自動車の駆動力伝達を行う機能部品であり、省燃費化による環境性能の向上が強く求められている。バンドー化学株式会社では、この市場の要求に対応するための技術開発を独自に行ってきた結果、CNF 複合化 CR をベルト用材料に応用することで従来技術に比べてエネルギー損失を大幅に低減でき、主に燃費向上による CO₂ 削減効果として 1 本あたり約 4%が見込める伝動ベルトを開発することができた。

低炭素化社会を実現するためには、CNF 複合化 CR の伝動ベルト市場、およびその他用途への水平展開が必要である。そのためには、量産プロセスの構築と、コストダウンが必要である。そこで、東ソー株式会社では、CNF 複合化 CR の製造プロセスの技術開発と、量産化技術の確立によるコストダウンを担当し、バンドー化学株式会社では、スケールアップによる伝動ベルトの品質の安定性を評価し、燃費向上技術の信頼性を確認する。

(2) 位置づけ、目標値

東ソーでは、保有する CR 製造技術を進化させ、CR 中への CNF の凝集を防止したナノ分散をラボスケールでは構築している。しかし、事業として継続可能な価格で大量に CNF 複合化 CR を提供できなければ事業化は進まない。同様に、バンドー化学では、保有する伝動ベルト製造技術を応用し、CNF 複合化 CR を伝動ベルトの原料に適用することで、従来 CR では達成不可能な高効率伝動ベルトが製造できることをラボスケールで実証しているが、事業として継続可能な価格で大量に伝動ベルトとして提供できなければ事業化は進まない。

そこで、事業化のため、東ソーでは本技術を量産スケールに拡大し、かつ、事業として継続可能な価格となる量産化プロセスを開発する。バンドー化学では、東ソーが提供する CNF 複合化 CR を伝動ベルトの原料に適用するため、保有する CR 製伝動ベルト製造技術を応用し、設計から製造までのあらゆる工程を最適化し、高効率伝動ベルトの製品化を達成する。更に、完成した CNF 複合化 CR は、伝動ベルト以外にも適用する事で、さらなる使用数量増を目指す。

CNF 複合化 CR の低コスト製造技術開発のためには、既存設備を最大限に活用したプロセスの設計、ラボスケール品の性能を維持したままのスケールアップ、品質評価方法の確立、他用途への展開によるスケールメリットの拡大が必須である。また、伝動ベルト用途における実装のためには、スケールアップによる伝動ベルトの品質の安定性を評価し、燃費向上技術の信頼性を確認する必要がある。これらを達成するための中間目標(2022 年度末)および最終目標(2023 年度末)を以下の通り設定した。

【中間目標】

- ・省コスト生産：分散度の数値化と、品質管理用の工程分析データ蓄積、中試作で、ラボスケール同等品質かつ低コストの製造プロセス構築
- ・伝動ベルト用途：排気量に応じたベルト構成の最適化、適合設計
中試作品がラボスケール品と同等のベルト性能を有する
- ・他用途展開：CNF 複合化 CR の物理特性把握とターゲット用途選定

【最終目標】



- ・省コスト生産：大試作でラボスケール同等品質かつ低コストの製造プロセス構築
- ・伝動ベルト用途：大試作品がラボスケール品と同等のベルト性能を有する
- ・他用途展開：選定用途においてプラントスケール品で顧客評価実施

(3) 全体計画

| | 2020年度 | | | | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | | 2023年度 | | | |
|---------|----------------|----|----|----|-------------|----|----|----|------------|----|----|----|--------|----|----|----|
| | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q |
| 省コスト生産 | 品質評価方法確立、データ蓄積 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 小試作 | | | | 中試作 | | | | 大試作 | | | | | | | |
| | 製造条件最適化 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 伝動ベルト用途 | ベルト構成最適化 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 製品評価(小試作品) | | | | 製品評価(中試作品) | | | | 製品評価(大試作品) | | | | | | | |
| 他用途展開 | | | | | 用途選定、サンプル作製 | | | | | | | | 大試作品評価 | | | |

図Ⅲ-2.1.4-1 全体計画

(4) 実施体制

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>【助成先】</p> <p> 東ソー株式会社 TOYOCH</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究実施場所 : 四日市事業所 高分子材料研究所 ・主席研究員 : 齋藤俊裕 ・役割 : CNF複合化CR量産化技術の確立 <p> バンドー化学株式会社 BANDO</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究実施場所 : 伝動技術研究所 ・主席研究員 : 松尾圭一郎 ・役割 : CNF複合化CRを使用したベルトの評価および最適化 <p style="text-align: right;">※共同研究、委託先なし</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

図Ⅲ-2.1.4-2 実施体制

(5) 運営管理

CR メーカーである東ソー株式会社と、そのサプライチェーンを構成するバンドー化学株式会社の2社で参画することで、商業化実現に必要なコストレベル、評価技術や品質目標を明確化でき、CNF複合化CRの量産化と伝動ベルトの市場展開までを継ぎ目なく実行できる体制としている。

(6) 実施の効果

<直接的効果>

- ・市場ニーズに受け入れられる価格設定が可能。
- ・CNF 複合化 CR およびそれを原料に用いた伝動ベルトの商業化実現。
- ・市場拡大に伴う CNF 需要創出。
- ・国内設備投資における直接雇用および、土建・工事業等者等の新規雇用機会創出。

<副次的効果>

- ・CNF 複合化 CR の適用製品による CO₂ 削減効果
伝動ベルトの高伝達効率達成による燃費向上による CO₂ ▲約 4 %/ 1 台目標

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

①中間目標達成度

- ・省コスト生産：分散度の数値化と、品質管理用の工程分析データ蓄積実施。
中試作で、ラボスケール同等品質かつ低コストの製造プロセス構築済み。
- ・伝動ベルト用途：排気量に応じたベルト構成の最適化、適合設計を実施。
中試作品がラボスケール品と同等のベルト性能を有する事を確認中。
- ・他用途展開：CNF 複合化 CR の物理特性把握とターゲット用途選定。
顧客へのデータ紹介、サンプル提供を実施中。

②課題と達成の可能性

- ・省コスト生産における生産速度向上 → 条件最適化により達成可能との見通し。
- ・伝動ベルト用途：中試作品の評価 → 予定通り終了見込み。

(2) 研究開発の成果と意義

ゴム/樹脂への CNF 複合化は、疎水性のポリマーに親水性の CNF を後から分散させるために多くのコストと労力が費やされ技術開発がなされている。

本件では、CR 製造時に CNF をナノ分散させることで、コストと労力削減している。これにより、製造コスト高騰を抑制し、汎用品との価格乖離差を少なくすることで、顧客採用におけるハードルが低減でき、普及促進が期待できる。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

①省コスト生産

大試作でラボスケールと同等品質かつ低コストで量産できるプロセス構築を最終目標に設定。スケールアップ、設備仕様検討継続により達成見込み。

②伝動ベルト用途

大試作品を用いた伝動ベルトがラボスケール品と同等のベルト性能を有することを最終目標に設定。生産が完了し次第、ベルト評価を予定。予定通り終了見込み。

③他用途展開

大試作品での顧客評価を最終目標に設定。顧客評価のフィードバックを基に用途別にポリマー/CNF の最適化を実施し対応予定。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

知的財産権の出願・審査請求・登録等を実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に実施中。2022 年 3 月末までに 2 社で 20 件以上の特許出願を実施済み。

2.1.5 テーマ 5「革新的 C N F 複合樹脂ペレットの製造プロセスの開発」

(大王製紙株式会社、芝浦機械株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

1) 本事業で開発を目指す技術の全体像

セルロースナノファイバー (C N F) は、植物の基本骨格であるセルロースを主体としたナノ材料であり、軽量・高強度・低線熱膨張・高粘性・透明性・ガスバリア性等、紙パルプにはないさまざまな特異的性質を有し、かつ、植物由来のため原料が豊富にあること、環境負荷がとて低い環境配慮型材料であることから、低炭素社会の実現に貢献する素材であるため、近年注目を集めている次世代バイオマス先端素材である。C N F のさまざまな特異的性質を利用し、自動車部材、家電筐体、建材、化粧品、塗料、食品、紙製品等への用途展開が提案されているが、中でも軽量・高強度の特性を活かして、樹脂やゴム材料等と複合化し、自動車部材や家電筐体等の構造材料として活用が期待されている。一方で、さらなる製造コストや C O₂ 削減が求められており、各社がその技術開発に取り組んでいる。

製紙会社の持つパルプ一貫工場は、C N F の原料でもあるパルプ製造工程で発生するリグニン等の副産物をサーマルリサイクルして電力・蒸気を産み出し、工場内自家発電でエネルギーを賄う、エネルギー競争力にも長けた工場となっている。省エネルギー型でコスト優位性のある C N F 水分散液製造プロセスと、大きなマーケットである樹脂用途への展開を目指すための C N F 複合樹脂製造プロセスを、製紙会社の工場内に併設して C N F 複合樹脂ペレットを一貫製造することにより、C N F メーカーとしての優位性を確保して、事業化を進めていくことができる。

本技術開発では、①安価な薬液を用いたパルプを変性する技術、②部分的に C N F 化する程度にまで解繊する技術、③ C N F の凝集を防止する乾燥技術の開発は大王製紙株式会社が、④二軸押出機によるスケールアップ可能な条件で複合樹脂を製造する技術の開発は、大王製紙株式会社と芝浦機械株式会社が共同で取り組む。原料から C N F 複合樹脂ペレットまでを一貫生産することで、従来の方法よりも中間品製造やその移動時に発生するコストと C O₂ を削減できる技術開発を行う。

2) 技術的な重要性

国内においては、C N F の製造プロセス、及び用途開発は進められているものの、実用化に達しているものは未だ多くない状況である。C N F の実用化、用途拡大のためには、C N F の製造コスト低減が重要であるとともに、各製品用途に応じた C N F の利用拡大への加速が必要である。そして、製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・

市場拡大を早期に実現することは、二酸化炭素の排出量削減につながり、エネルギー転換・脱炭素化社会を実現するために、重要である。

3) 最終的な仕上がりイメージ

本事業で実用化したC N F 複合樹脂ペレットの普及およびスケールアップの効果により、数年後に原料から複合樹脂ペレットまで一貫製造する商用プラントを立ち上げて量産を開始し、事業拡大により2030年度末にC N Fを10%配合した時のC N F 複合樹脂の製造コスト目標以下での供給を達成する。

また、これにより、C O₂削減は製造工程およびC N F 複合樹脂の強度向上による自動車の軽量化による燃費向上や家電筐体等に使用される樹脂削減等により、2030年度には従来の樹脂に比べ相当数量を削減できるプロセスを完成させることを目指している。

4) 開発する技術の利用されるイメージ

アベノミクス第3矢「日本再興戦略における戦略市場創造プラン」では、2014年にC N Fのマテリアル利用の促進に向けた取り組みの推進が明記され、関係省庁（経済産業省、農林水産省、文部科学省、環境省、国土交通省）連絡会議が設置されるとともに、経済産業省主導でC N Fの実用化に向けたロードマップが策定、ナノセルロースフォーラムが設立され、製造コストの低減や用途開発が進められてきた。NEDO 2019年成果報告書「セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査」によれば、C N F強化樹脂価格を2024年に700円/kg以下、2030年に500円/kg以下にすることにより年間2兆円の市場規模に、さらに2050年には300円/kgにすることにより、年間6兆円の市場規模になると見込んでいる。

本技術開発で得られたC N F 複合樹脂ペレットは、C N Fが有する軽量・高強度の特性を活かして、既存の樹脂をC N F 複合樹脂で置き換えることで、従来の部材を薄肉化し、軽量化する。大王製紙株式会社がこれまで複合樹脂関連のサンプル評価で連携してきた自動車向け、および家電メーカーへの展開を進めていく。また、四国地域等の産学官連携やナノセルロースジャパンに属する川下産業メーカーに、本技術開発で得られたC N F 複合樹脂ペレットを提供することにより普及を広め、実用化を加速する。

(2) 位置づけ、目標値

1) 位置づけ

C N Fは、軽くて強いバイオマス由来の高性能素材であるため、C N F 複合樹脂を既存の繊維強化樹脂並みのコストまで低減出来れば、軽量・高強度の特性から、幅広い分野へのC N Fの活用が加速することが見込まれ、既存の石油由来の素材の代替となることが可能となる。さらに、大気中のC O₂を植物が吸収・固着して得られるセルロースを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資するものとなる。

2) 目標値

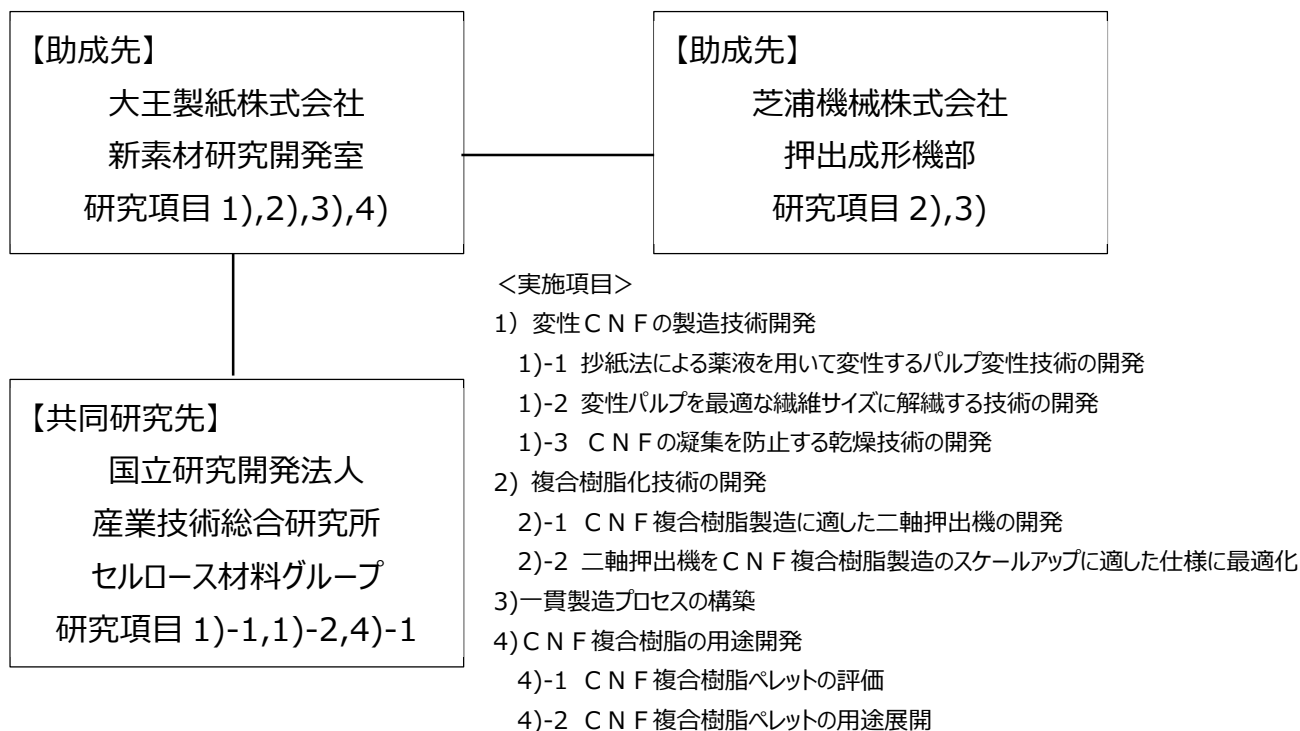
本事業で実用化したC N F 複合樹脂ペレットの普及およびスケールアップの効果により、数年後に原料から複合樹脂ペレットまで一貫製造する商用プラントを立ち上げて量産を開始し、事業拡大により 2030 年度末にC N F を 10%配合した時のC N F 複合樹脂の製造コスト目標以下での供給を達成する。

また、これにより、C O₂ 削減は製造工程およびC N F 複合樹脂の強度向上による自動車の軽量化による燃費向上や家電筐体等に使われる樹脂削減等により、2030 年度には従来の樹脂に比べ相当数量を削減できるプロセスを完成させることを目指している。

(3) 全体計画

| 事業項目 | 2020年度 | | | | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | |
|--------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| 1)変性CNFの製造技術開発 | | | | | | | | | | | | |
| 1)-1 抄紙法による薬液を用いて変性するパルプ変性技術の開発 | | | ①基本技術の確立 | | | | | | | | | |
| | | | ②反応性の確認 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1)-2 変性パルプを最適な繊維サイズに解繊する技術の開発 | | | ①解繊機での評価 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 1)-3 CNFの凝集を防止する乾燥技術の開発 | | | ①ドライヤーAでの乾燥評価 | | | | | | | | | |
| | | | ②効率の良い乾燥プロセスの検討 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2)複合樹脂化技術の開発 | | | | | | | | | | | | |
| 2)-1 CNF複合樹脂製造に適した二軸押出機の開発 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2)-2 二軸押出機をCNF複合樹脂のスケールアップに適した仕様に最適化 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 3)一貫製造プロセスの構築 | | | | | | | | | | | | |
| 3)-1 一貫製造のための設備仕様と運転条件の開発 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 3)-2 開発した各工程のコストの算出と最適な一貫プロセスの選定 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 3)-3 開発した各工程のCO ₂ 排出量の算出と最適な一貫プロセスの選定 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 4)CNF複合樹脂の用途開発 | | | | | | | | | | | | |
| 4)-1 CNF複合樹脂ペレットの評価 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 4)-2 CNF複合樹脂ペレットの用途展開 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

(4) 実施体制



(5) 運営管理

大王製紙株式会社は、①安価な薬液を用いたパルプを変性する技術、②部分的にCNF化する程度にまで解繊する技術、③CNFの凝集を防止する乾燥技術の開発を単独（一部産業技術総合研究所と共同）で実施し、④二軸押出機によるスケールアップ可能な条件で複合樹脂を製造する技術の開発は芝浦機械株式会社と共同で取り組んでいる。同社とは、1回/月程度の共同開発ミーティングを開催し、開発課題と解決策について議論し、CNF複合樹脂一貫製造プロセス開発を進めている。

NEDOが主催する委員会やセミナーに出席し、PLからの指導を踏まえた開発方針の軌道修正と他の事業者との意見交換、サンプル評価を通じた取組みとしている。

(6) 実施の効果

実施の効果の概要は下記の通りである。

- ・薬液を紙に塗工する開発において、次工程の変性を均一に進行させるため、大王製紙は、製紙会社が持つ抄紙技術を応用しつつ、様々な塗工方式を検討し、薬液が均一に浸込む紙設計を過去の知見や様々な紙物性の調査から完成させた。
- ・薬液塗工した紙の変性技術の開発において、これまで変性に長時間要していたため、バッチ方式での検討を進めていたが、大王製紙は、連続的かつ一貫的に製造可能な変性技術を確立するため、数十秒で変性できる条件を見出し、製紙技術を応用したロール to ロール方式による変性技術を確立した。
- ・二軸押出機によるCNF複合樹脂ペレットの生産において、これまで生産性が低いことが課題であったが、大王製紙による原料形態の見直しと、芝浦機械と大王製紙によるスクリュ許

容トルクの高い二軸押出機での条件調整により、C N F の凝集、着色を防ぎつつ、高濃度 C N F マスターバッチを高い生産性で製造できる技術を見出した（φ48mm 装置で C N F 66%マスターバッチを 250kg/h 生産）。

- ・大王製紙は産業技術総合研究所の協力を得て、複合樹脂中の繊維形態の確認や C N F 化率の確認、ペレット着色度合いの数値化、C N F 複合樹脂のリサイクル性評価といった分析を行い、開発を加速させた。

詳細を「研究開発成果」の項にて後述する。

<研究開発成果>

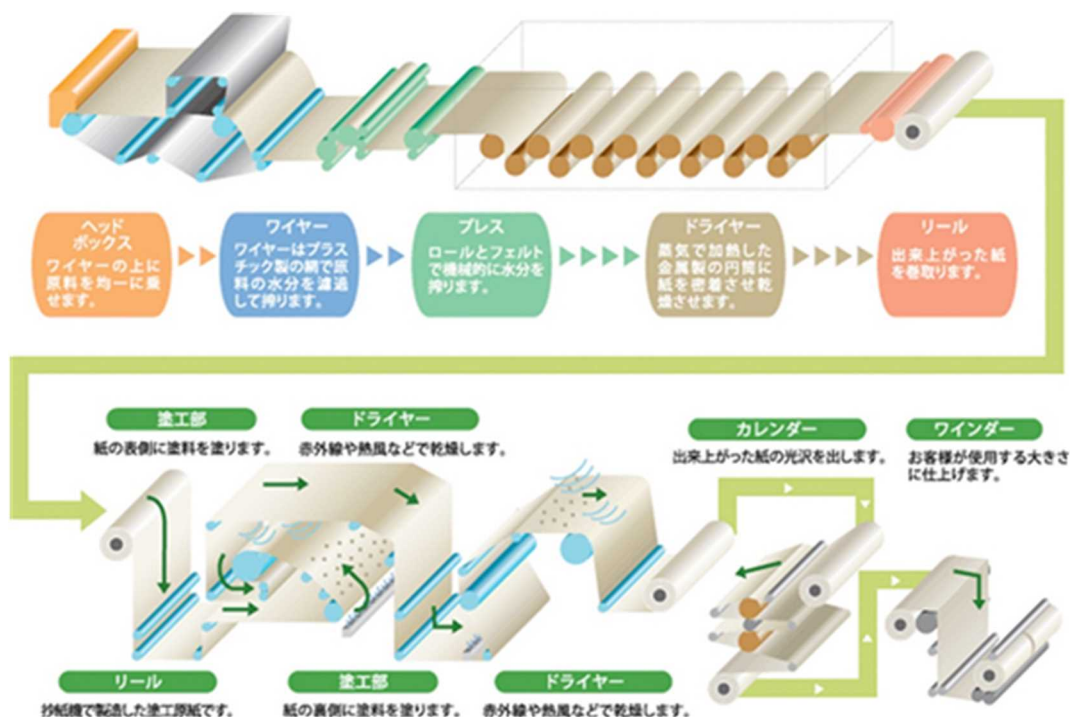
(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

1)変性CNFの製造技術開発 (担当：大王製紙株式会社、国立研究開発法人 産業技術総合研究所)

1)-1 抄紙法による薬液を用いたパルプ変性技術の開発 (担当：大王製紙株式会社、国立研究開発法人 産業技術総合研究所)

①基本技術の確立

本開発項目では、抄紙設備等を使用して、薬液塗工原反を得るための最適な原紙条件および塗工条件を見出すため、愛媛県紙産業技術センターの抄紙機およびマルチコーターを使用して薬液塗工紙を作製した (図Ⅲ-2.1.5-1 参照)。



図Ⅲ-2.1.5-1 抄紙法による薬液塗工紙の製造プロセス

原紙は、(ア) パルプ配合比、(イ) 坪量、(ウ) 浸透・吸水性の条件を変更し、テストを行った。

(ア) パルプ配合は、大王製紙株式会社で使用しているパルプシート (針葉樹晒クラフトパルプ：以下NBKPおよび、広葉樹晒クラフトパルプ：以下LBKP) を用いて、NBKP 100%、LBKP 100%、となる条件で抄紙した。NBKPはパルプ繊維が太く長いいため、抄紙した際に紙の強度が向上するが、地合いが悪化する。一方でLBKPはパルプ繊維が細く短いため、抄紙した際に紙の強度は低下するが地合いが改善される。抄紙した原料を用いて薬液塗工した結果、目標とする薬液塗工量や導入量については、パルプ配合による違いは見られず、同程度の値となった (表Ⅲ-2.1.5-1 参照)。LBKP 100%の原紙では、紙質強度 (引張強度や引裂強度) 不足が原因と考えられる紙切れが抄紙・塗工時に発生した。

表Ⅲ－２．１．５－１ パルプの種類による薬液塗工量と導入量の違い

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | NBKP | LBKP |
|--------|------------------|------------|------|------|
| 坪量 | g/m ² | JIS P 8124 | 95 | 93 |
| 薬液塗工量 | kg/pt | - | 314 | 329 |
| 導入量達成率 | % | - | 74 | 78 |

(イ) 坪量は、LBKP 100%もしくは、NBKP 50% : LBKP 50%となる原紙を使用し、それぞれの坪量が50 g/m²、100 g/m²となる条件（JIS P 8124）で抄紙および薬液塗工を行った。NBKP 50% : LBKP 50%では問題なく薬液塗工を行えたが、LBKP 100%の原紙を使用した場合、湿潤引張強度不足が原因と考えられる紙切れが塗工時に発生し、50 g/m²の原紙では薬液塗工が出来なかった。

(ウ) 浸透・吸水性の影響については、薬液の塗工量の増減に関わることから、それらの指標となるステキヒトサイズ度（JIS P 8122）およびコップサイズ度（JIS P 8140）に着目し、それらの影響を確認した。ステキヒトサイズ度とは、薬液が紙に浸透し呈色するまでに要する時間を測定する試験で、数値が低いほど浸透性が高い。コップサイズ度とは、紙の片面が一定時間、水に接触する場合の吸水量（重量）を計測する試験で、数値が高いほど吸水性が高い。浸透・吸水性については、大王製紙株式会社三島工場で抄紙している製品で、パルプの配合がNBKP 50% : LBKP 50%となるサイズ剤を含む原紙を使用してテストを実施した。それと同じパルプ配合でサイズ剤を含んでいない紙を愛媛県紙産業技術センターで抄紙した結果、浸透性の指標となるステキヒトサイズ度、および吸水性の指標となるコップサイズ度が大きく異なることを確認した。それら2種類の原紙を使用して薬液塗工を行った結果、サイズ剤を含む原紙（ステキヒトサイズ度80秒以上、コップサイズ度10 g/m²以下）を用いた場合には、紙の内部に薬液が吸水・浸透する前に塗工工程を通過するため、サイズ剤を含んでいない原紙（ステキヒトサイズ度1秒以下、コップサイズ度450 g以上）と比較して薬液添加量が著しく低下し、薬液塗工量および導入量が半分以下となった（表Ⅲ－２．１．５－２参照）。

表Ⅲ－２．１．５－２ コップサイズ度による薬液塗工量と導入量の違い

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | サイズ剤有 | サイズ剤無 |
|-----------|------------------|------------|-------|-------|
| 坪量 | g/m ² | JIS P 8124 | 97 | 112 |
| 薬液塗工量 | kg/pt | - | 53 | 206 |
| 導入量達成率 | % | - | 44 | 83 |
| ステキヒトサイズ度 | 秒 | JIS P 8122 | 81 | 1秒以下 |
| コップサイズ度 | g/m ² | JIS P 8140 | 8 | 467 |

(ア)～(ウ)のことから、塗工巻取原紙はNBKPが配合されていることや、坪量が100g/m²が好ましいと考えられた。しかし、サイズ剤の量が少なすぎると湿潤強度低下による紙切れの恐れがあり、薬液塗工に最適なステキヒトサイズ度やコップサイズ度については、別の原紙を用いてさらなるテストを行った。原紙は、大王製紙株式会社三島工場で抄紙している製品で、コップサイズ度が約150g/m²（原紙B）となる原紙を使用してテストを実施した。一般的に抄紙機で紙を抄造する場合、強度や地合いの問題から針葉樹や広葉樹を混合しており、本テストで使用した原紙も広葉樹パルプと針葉樹パルプの混合品で、原紙A、原紙Bはパルプ配合比が異なっている。これらパルプ配合比とコップサイズ度が異なる2種類の原紙を使用して薬液塗工を行った結果、コップサイズ度が150g/m²の原紙を用いた場合では、コップサイズ度が8g/m²の原紙と比較して、薬液塗工量および、導入量は2倍以上となった（表Ⅲ-2.1.5-3参照）。

表Ⅲ-2.1.5-3ステキヒトサイズ度、コップサイズ度による薬液塗工量と導入量の違い

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | 原紙A | 原紙B |
|---------|------------------|------------|-----|-----|
| 坪量 | g/m ² | JIS P 8124 | 97 | 96 |
| コップサイズ度 | g/m ² | JIS P 8140 | 8 | 148 |
| 薬液塗工量 | kg/pt | - | 43 | 123 |
| 導入量達成率 | % | - | 44 | 114 |

薬液塗工テストについては、(エ)塗工方式、(オ)薬液濃度、(カ)乾燥条件（温度、時間）の条件を変更し、実施した。

(エ)塗工方式は、愛媛県紙産業技術センターのマルチコーターを使用して、含浸方式（塗工液が入った容器内を基材が走行することで塗工を行う方式）、およびコンマ方式（2本のロールとブレードの間に液だまりを作り、塗工量を調整するクリアランスの間を基材が走行することで塗工を行う方式）を用いて塗工を行った。含浸方式では、両面塗工および全幅での塗工可能で、紙切れも生じず塗工でき、薬液塗工量を増やすことができた。一方、コンマ方式では、全幅での塗工が出来ず、また、原紙に含まれていた結束繊維（凝集もしくは未叩解の繊維）によって、力が一点に加わるのが原因と考えられる紙切れが頻発した。

(オ) 薬液濃度は、NBKP100%の原紙に、薬液濃度が50%～20%となるように塗工液を調製し塗工した。薬液濃度が20%の場合、薬液塗工量および導入量が低下した（表Ⅲ－2.1.5－4参照）。また、塗工液の水分量が多くなったことから乾燥不足が発生した。

表Ⅲ－2.1.5－4 薬液濃度による塗工量と導入量および乾燥度合の違い

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | 薬液濃度50% | 薬液濃度20% |
|--------|------------------|------------|---------|---------|
| 坪量 | g/m ² | JIS P 8124 | 95 | 95 |
| 薬液塗工量 | kg/pt | - | 300～400 | 100～200 |
| 導入量達成率 | % | - | 0 | 0 |

(カ) 乾燥条件（温度、時間）は、乾燥温度を130℃または110℃、乾燥時間を約54、27、14秒となる条件でテストを行った。坪量100g/m²のとき、乾燥温度が130℃では、乾燥時間に関わらず乾燥に問題ないことを確認した。一方で、乾燥温度が110℃の条件では、乾燥時間が14秒の時に塗工後の乾燥が不十分となった。

②反応性の確認

量産化につなげるための課題であるパルプを熱処理することで変性する工程について、ラボテストにて従来通りの反応方法と短時間で反応する方法2種類、合計3種類の方法を用いて薬液塗工紙の導入量を確認した。

従来通りの反応方法では、導入量が目標とする値となることを確認した。量産化に向けて、短時間の処理で変性できるプロセスを見出すため、2種類の熱処理方法について検討した。結果、反応温度を上げることで、短時間で目標とする導入量を達成できることを確認した。その上で、ラボテストで得た知見から、様々な反応設備メーカー（7社）にてテストを実施した。今回、反応設備の選定において、大きく分けて2種類の方式（バッチ式、連続式）を検討した。バッチ式では、一度に多量のサンプルを反応できる設備として、2種類の方式での検討を3社（A社、B社、C社）で行った。

さらに、薬液塗工紙の状態連続して反応できるよう、5種類の方式での検討を5社（D社、E社、F社、G社、H社）で行った。

上記7社の反応設備を用いてテストを行った結果、D社製やE社製の反応設備では、短時間で変性が進行することを確認した。なお、E社製に比べて、反応効率やエネルギー効率

が良い、D社製の反応設備が好ましいと考える。一方でバッチ式での加熱では、多量のサンプルを一度に加熱することから、反応ムラが発生し均一な変性が出来なかった。D社製やE社製以外の連続式の加熱では、加熱方法が異なることから、反応温度を高くしないと変性が進まないことがわかった。

最適なで変性反応が進行することを確認した、D社製の連続式の反応設備を選定し、テスト機を用いて連続反応テストを実施した。連続反応した結果、一度も紙切れすることなく長さ3,000m反応できることを確認した。

③抄紙設備等実機でのスケールアップテスト

愛媛県紙産業センターの薬液塗工テストで得られた結果をもとに、大王製紙の抄紙・塗工機により薬液塗工出来るかテストを実施した。なお、テストに用いた原紙は、当社製造の原紙の中から、コップサイズ度が低く、紙切れの恐れが少ない原紙Aを使用することとした。テストの結果、愛媛県紙産業技術センターのマルチコーターの結果と同様に、サイズ剤の影響によりステキヒトサイズ度が高く（80秒以上）、コップサイズ度が低い（8g/m²）ことから、薬液が浸込み難く、塗工量4.2g/m²、導入量達成率43%と目標未達成となったが、薬液塗工できた。さらなる塗工量増加のため、コップサイズ度が高い原紙を選定して再テストを実施した。テストに用いた原紙は、愛媛県紙産業技術センターのマルチコーターを用いたテストで10.0g/m²以上薬液塗工出来ることを確認済の原紙Bを使用した。原紙Aを用いた場合より薬液の塗工量が増加し、乾燥が不十分になることが想定されるため、塗工機では熱風式の乾燥炉と赤外線乾燥炉を併用してテストを実施した。結果、薬液塗工量10.3g/m²、導入量達成率101%となり、薬液塗工量、導入量共に目標達成した（表Ⅲ-2.1.5-5参照）。しかし、塗工機の乾燥出口付近で薬液由来物の飛散が発生すること及び、紙の中方向での塗工ムラが生じることがわかった。薬液由来物の飛散の発生は、乾燥出口の紙面温度を下げた際に緩和したことから、赤外線乾燥炉の出力を調整し、紙の中方向での塗工ムラを安定させるために、塗工条件の見直しを行い、テストを実施した。

表Ⅲ-2.1.5-5 抄紙・塗工機による薬液塗工テスト結果

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | 目標 | 実績 |
|--------|------------------|------|------|------|
| 薬液塗工量 | g/m ² | - | 10.0 | 10.3 |
| 導入量達成率 | % | - | 100 | 101 |

原紙は、前回テストで薬液塗工できることがわかっているコップサイズ度150g/m²の物を使用した。まず、乾燥出口紙面温度を上げすぎないために、赤外線乾燥炉を使用せず塗工できないか確認したが、乾燥後の水分率が6.0%を超えており、紙切れやブロッキング（塗工した紙同士が乾燥不良で互いに接着する現象）の恐れが生じたため、赤外線乾燥炉の出力を40%以下で使用した。その結果、水分率5.5%以下かつ、薬液由来物の飛散

の発生を抑制できることがわかった。また、塗工条件の調整により、紙の中方向の塗工ムラが改善し、コップサイズ度 150 g/m² の原紙を使用して 20,000 m 以上連続で薬液塗工できることも確認した。

紙の厚み方向に対して、薬液が均一に浸透しているか確認するために、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (SEM-EDX) を用いて薬液に含まれる元素のマッピングを行った。SEM-EDX の結果、原紙 B を用いた場合、SEM 画像で確認できる紙の厚み中全てにおいて、EDX 画像の青色の点で示す薬液に含まれる元素が分布していることが観察できた。なお、未塗工の紙では、薬液に含まれる元素の分布が見られないことから、大王製紙株式会社の抄紙塗工設備による薬液塗工によって紙の内部まで目標通り薬液が含浸していることがわかった (図 III-2.1.5-2 参照)。

今後はさらなる品質向上に向けて、薬液塗工量の増加及び、安定した連続塗工を達成するため、原紙のコップサイズ度の調整による塗工量の増加及び、さらなる塗工条件の見直しにより操業性改善のテストを行う。

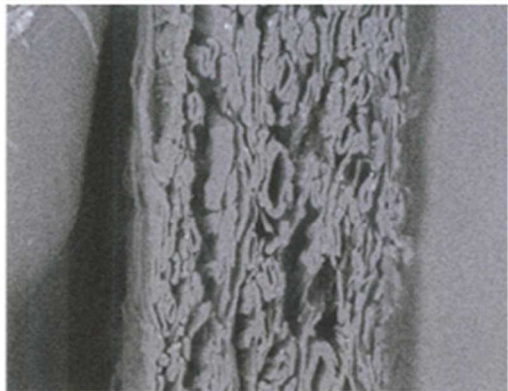
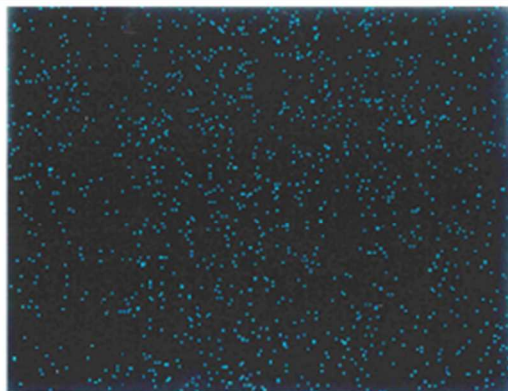

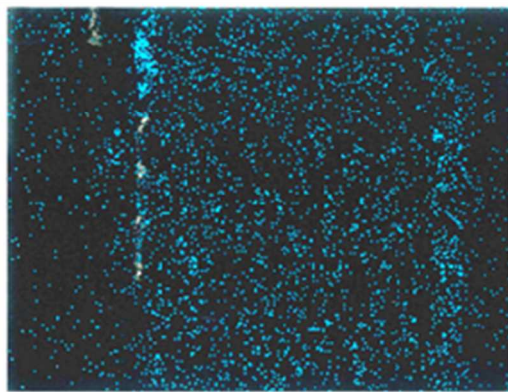
| | SEM画像 | EDX画像 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 未塗工 |  |  |
| 塗工 |  |  |

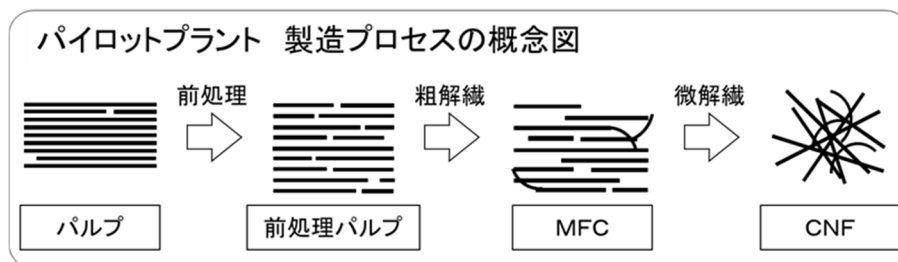
図 III-2.1.5-2 SEM-EDX を用いた元素分布観察

大王製紙株式会社三島工場に連続的に反応できる反応設備を 2021 年 12 月に導入し、導入した機械を活用して条件検討テストを行った。テストの結果、当社に導入した連続式の反応設備を用いて、最適な条件を見出したことから、おおむね目標は達成できた。なお、実用化・事業化に向けた具体的な取り組みは事業原簿 (非公開版) に記載。

1)-2 変性パルプを最適な繊維サイズに解繊する技術の開発（担当：大王製紙株式会社、
国立研究開発法人 産業技術総合研究所）

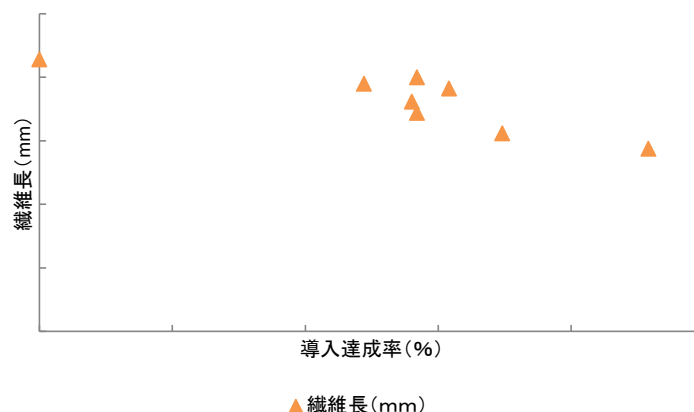
①解繊機での評価

変性CNFを樹脂に混練した際、Fine率A（繊維長0.2mm以下の割合）の違いが樹脂物性に影響を与えることを確認した。様々なFine率Aや繊維長分布の異なる変性CNFを作製し、樹脂に複合化するテストを実施した。Fine率Aや繊維長分布の測定は繊維画像分析計を用いて測定した。樹脂補強に最適なサイズまでの解繊技術は、すでに大王製紙三島工場に導入している解繊機を用いて検討した（図Ⅲ－2.1.5－3参照）。



図Ⅲ－2.1.5－3. CNF解繊プロセス

初めに、変性処理が進むことによる繊維長への影響を調査するため、導入量達成率が0～150%程度のサンプルについて繊維長分布を測定した。測定の結果、変性処理が進んだサンプルでは、繊維長が30%程度短くなることを確認した（図Ⅲ－2.1.5－4参照）。変性が進むことにより繊維長が短くなることで、樹脂に混練した際の物性等へ影響については今後検討する。

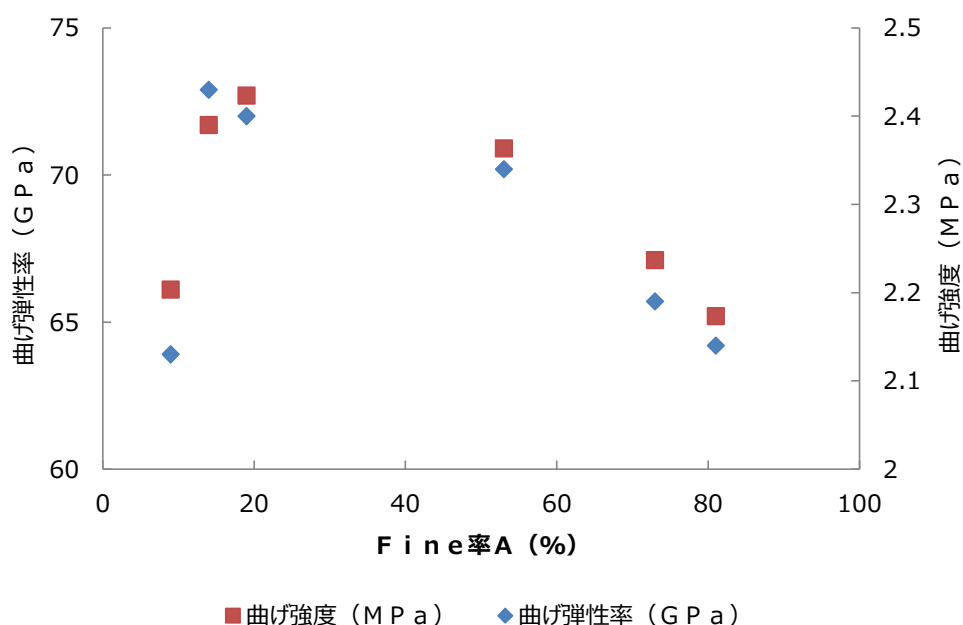


図Ⅲ－2.1.5－4. 導入量による繊維長

解繊機でパルプの解繊度合いを調整するため、パルプ処理濃度が2.4～3.2%となるサンプルを用いて、変性CNFのFine率Aを10～80%程度の繊維サイズになるように解繊機で処理し、樹脂に混練した。その際に使用した解繊機は、平成27年度から29年度にNEDO助成事業として行った『省エネルギー型ナノセルロースの製造プロセスの開

発』より得た知見から、最適な条件で解繊テストを実施した。F i n e 率 A が 3 0 % 程度での解繊の時間は、L B K P を解繊する場合、パルプ繊維が短いため、低エネルギーで解繊できると考えられた。

なお、F i n e 率 A が 2 0 ~ 5 0 % 程度のサンプルを樹脂に混練した場合、曲げ強度が向上し（図Ⅲ-2.1.5-5 参照）、分散性が最も良好であった。ただし、F i n e 率 A を 5 0 % 以上となるように解繊する場合、F i n e 率 A が 4 0 % 以下と比較して、より多くのエネルギーが必要となることを確認した。しかし、F i n e 率 A を 2 7 % 程度まで低下させた場合、分散性は良好となるが、二軸押出機での製造において、嵩が高いことから原料フィードが安定しないことがわかった。



図Ⅲ-2.1.5-5 F i n e 率 A による強度物性

実際に、パルプ配合比が L B K P 5 0 % : N B K P 5 0 % となる原紙 A を用いて、大王製紙株式会社の抄紙・塗工機により薬液塗工し、連続式で反応できる反応設備で変性した紙を、F i n e 率 A が 2 8 % になるように解繊した C N F では、芝浦機械株式会社のテスト機で、大王製紙株式会社に導入する二軸押出機で混練出来ないことがわかった。

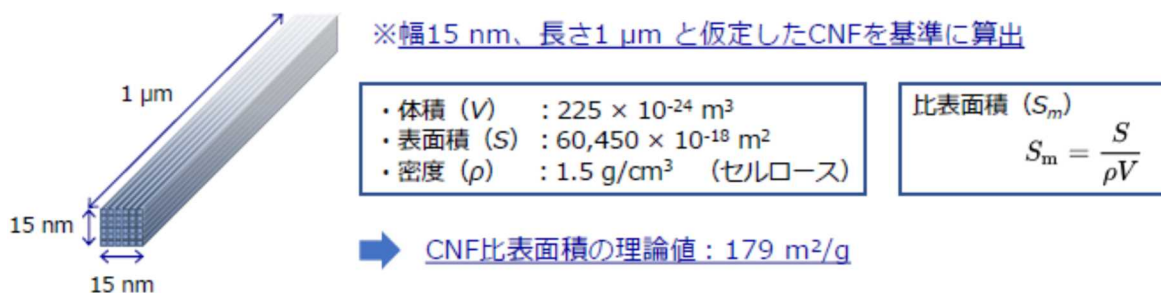
一方で、パルプ配合比が L B K P 8 0 % : N B K P 2 0 % となる原紙 B を用いて、大王製紙株式会社の抄紙・塗工機により薬液塗工し、連続式で反応できる反応設備で変性した紙を、F i n e 率 A が 4 0 % になるように解繊した C N F では、大王製紙株式会社に導入した二軸押出機で混練できることを確認した。

F i n e 率 A の違いが樹脂物性に影響を与えることがわかったため、比表面積率測定を用いた C N F 化率で解繊度合の評価を産業技術総合研究所と共同で実施した。C N F 化率は、産業技術総合研究所セルロース材料グループで使用している方法を元に、機械処

理のみで得られる標準的なCNFの形状を、幅15nm、長さ1 μ m、比重1.5とした場合、材料の全てがこのサイズまで解繊されると理論表面積179m²/g = CNF化率100%、未解繊のパルプの比表面積の実測値 = CNF化率0%として、(測定サンプルの比表面積 - 未解繊パルプの比表面積) / (理論表面積 (179m²/g) - 未解繊パルプの比表面積) から算出した (図III - 2.1.5 - 6 参照)。比表面積の測定は、産業技術総合研究所中国センターの比表面積・細孔分析測定装置 (BELSORP MAX) を使用して測定した。評価は未解繊からFine率Aが84%まで解繊した4サンプルを用いた。測定の結果、CNF化率は最大で81%となった (表III - 2.1.5 - 6)。

表III - 2.1.5 - 6 Fine率AとCNF化率の相関

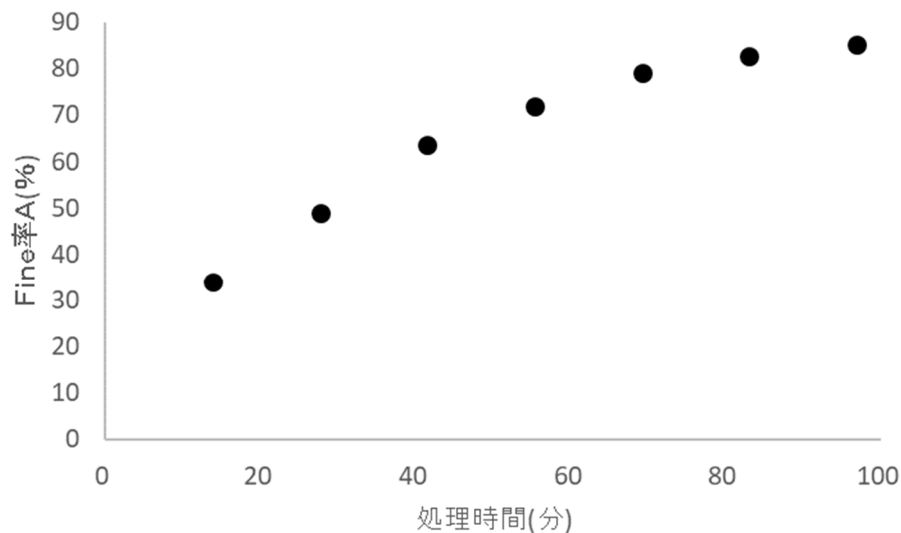
| Fine率A (%) | 比表面積 (m ² /g) | CNF化率 (%) |
|------------|--------------------------|-----------|
| - | 20 | 0 |
| 28 | 45 | 16 |
| 41 | 75 | 35 |
| 84 | 149 | 81 |



図III - 2.1.5 - 6 CNF化率の算出方法

②最適な製造条件の検討

CNF複合樹脂に適した繊維サイズを調査するため、変性した原紙BのFine率Aが85%になるまで解繊し、処理時間とFine率Aとの相関を確認した。処理時間に伴い、図III - 2.1.5 - 7のようにFine率Aが増加することが確認でき、処理時間を変えることにより最適な繊維サイズのCNFを製造できることがわかった。



図Ⅲ－２．１．５－７ 解繊時間によるF i n e率Aの違い

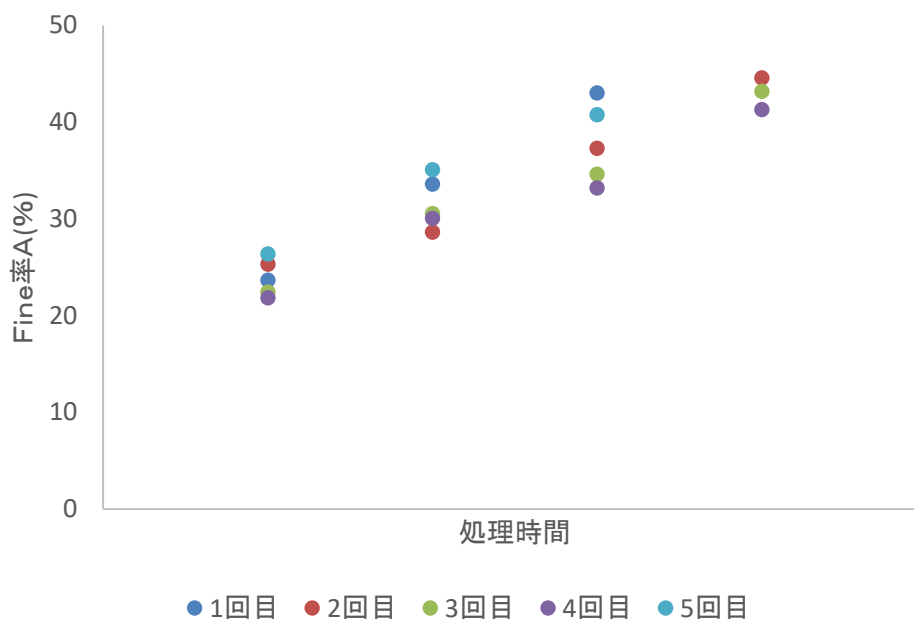
なお、C N F 複合樹脂に適した変性C N F の最適な繊維サイズを検討する中で、N B K P 1 0 0 %となる原料を用いて、F i n e率Aが4 0 %となるように解繊したC N F において解繊条件を調整することによって、F i n e率B（繊維長0.2mm以上かつ繊維幅10μm以下の割合）が異なることがわかった。さらに、F i n e率Aが一定となる場合でもF i n e率Bの違いにより樹脂に複合化した際の物性が異なることも確認した。また、解繊条件だけでなく、パルプ配合比を変更することで、F i n e率Aが一定の値においても、F i n e率Bを調整でき、樹脂強度が向上することがわかった（表Ⅲ－２．１．５－７）。

表Ⅲ－２．１．５－７ 解繊条件およびパルプ配合比によるF i n e率Bの調整

| | パルプ配合比(%) | | Fine率(%) | | 解繊条件 | 曲げ弾性率(倍) |
|---|-----------|------|----------|-------|------|----------|
| | LBKP | NBKP | A | B | | |
| a | 0 | 100 | 44.96 | 31.16 | - | 1.4 |
| b | 0 | 100 | 44.14 | 20.54 | 調整 | 1.5 |
| c | 25 | 75 | 31.63 | 11.45 | - | 1.6 |
| d | 50 | 50 | 31.27 | 6.58 | - | 1.6 |
| e | 75 | 25 | 31.06 | 4.84 | - | 1.7 |

大王製紙株式会社の抄紙・塗工機により薬液を塗工した原紙Bを当社に導入した反応設備で変性させ、離解・洗浄した変性パルプを用いて解繊テストを行った。本プロセスを使用して変性させた原料では、手作業での薬液含浸およびバッチ式で変性させた原料に比べて、処理時間及び、電力原単位ともに30%程度削減できることがわかった。さらに、同様の処理方法で解繊を行った結果、テストを行った5回全てにおいて同程度の処理時間でF i n e率Aが40%になることを確認した（図Ⅲ－２．１．５－８参照）。なお、解繊機の負荷

を調整することによって解繊時間が短くなることもわかっており、今後も解繊条件と F i n e 率 A との評価を進め、データを集積する。また、ロット間のバラツキにより同じ F i n e 率 A となるように解繊した C N F を用いて樹脂に混練した際の物性に異常がないことも確認する。これらのことから、1) -2 変性パルプを最適な繊維サイズに解繊する技術の開発については、F i n e 率 A が 40%以上かつ、F i n e 率 B を調整することで樹脂物性が向上することがわかった。また、解繊機の条件を調整することで、安定して解繊できることもわかったことから、おおむね目標は達成できた。



図Ⅲ－2.1.5－8 2022年2月度の解繊テスト（ロット毎の処理時間と F i n e 率 A）

1)-3 C N F の凝集を防止する乾燥技術の開発（担当：大王製紙株式会社）

①乾燥評価

（ア）処方の検討

まず、C N F 配合率 5 5 % の複合樹脂をターゲットに、処方の検討を行った。

本研究開始以前の研究では、C N F の凝集を防ぐ目的で使用している薬品 X は薬品 a を使用しており、C N F 水分散液の乾燥時に上記薬品 X が存在すると、操業不良が発生するため、まずは操業不良が発生せず乾燥可能な薬品 X への見直しを行った。薬品 X 4 種類を用いて、乾燥時の連続生産性、複合樹脂の曲げ弾性率を評価した結果、表Ⅲ－2.1.5－8 の通り、連続生産性と複合樹脂物性を両立できる薬品 X である薬品 d を見出した。なお、複合樹脂の物性は、C N F 5 5 % 乾燥体を溶融混練してペレット状に加工後、C N F 配合率が 1 0 % となるようにベース P P を添加して再度溶融混練し、試験片に射出成形した上で J I S K 7 1 7 1 : 2 0 1 6 に準拠して曲げ弾性率を測定した。

表Ⅲ－２．１．５－８ 薬品 X の選定結果

| 品名 | ① 薬品 a | ② 薬品 b | ③ 薬品 c | ④ 薬品 d | ⑤ 薬品 e |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ドライヤーの連続生産性 | × | ○ | △ | ○ | ○ |
| 曲げ弾性率 (GPa) | 1.96 | 2.11 | 2.23 | 2.24 | 1.95 |
| 曲げ弾性率 | △ | △ | ○ | ○ | △ |
| 総合評価 | × | △ | △ | ○ | △ |

次に、CNFの自己凝集を緩和しつつ微細繊維としての樹脂の補強性を発揮できる適正な繊維サイズへの調整を試みた結果、Fine率Aが14～53%の間に複合樹脂中のCNF分散性と複合樹脂物性が両立可能な条件が存在することを見出した。なお、分散性は、CNF55%複合樹脂をベースPPでCNF配合率10%となるように混練希釈後、射出成形した曲げ試験片の表面を目視確認し、長径1mm以上の凝集塊が多く存在する場合を×、数個を△、0個を○として評価した。

表Ⅲ－２．１．５－９ 繊維サイズの調整結果

| | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| Fine 率 A (%) | 9 | 14 | 19 | 53 | 73 | 81 |
| 分散性 (目視評価) | × | △ | ○ | △ | × | × |
| 曲げ弾性率 (GPa) | 2.13 | 2.43 | 2.40 | 2.34 | 2.19 | 2.14 |
| 曲げ弾性率 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ |
| 総合評価 | × | ○ | ◎ | ○ | × | △ |

CNF配合率55%の複合樹脂において、CNFの凝集を緩和しつつ樹脂補強性を発揮できる薬品Xと繊維サイズを見出したため、CNF配合率を66%の複合樹脂の作製を試みた。

CNF66%乾燥体を熔融混練してペレット状に加工後、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して再度熔融混練し、試験片に射出成形した上でJISK7171：2016に準拠して曲げ弾性率を測定した。結果、CNF配合率55%の複合樹脂を希釈した場合とほぼ同等のCNF分散性および曲げ弾性率となることが確認でき、CNF配合率を66%まで高めることができると確認した。

表Ⅲ－２．１．５－１０ CNF配合率アップの影響（５５→６６％）

| | 55%→10%希釈品 | 66%→10%希釈品 |
|--------------|------------|------------|
| CNF分散性(目視評価) | ○ | ○ |
| 曲げ弾性率 (GPa) | 2.40 | 2.36 |

また、乾燥後の原料は粉末状で嵩高いため、二軸押出機のフィード能力が不足し生産ペースを上げられない懸念解消のため、粉末状形態の原料の形態の見直しを試みた。結果、形態の見直しが、二軸押出機のフィード能力不足解消に有効であることがわかった。



図Ⅲ－２．１．５－９ 粉末状原料の形態の見直し


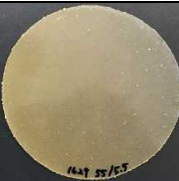
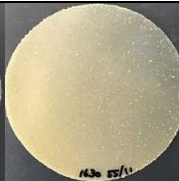



(イ) CNFの凝集防止処方の見出し

CNFの凝集を防止できる条件の見出しに向け、まずは、ラボベースにて薬品Xの配合率を検討した。針葉樹晒クラフトパルプ（NBKP）を原料に作製した変性CNFと薬品X等の配合比率を変えて混合乾燥体を作製し、混合乾燥体を二軸押出機（ラボ機）にて熔融混練してペレット状に加工後、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して再度熔融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、CNFの配合率が低いほど分散性が良好となることがわかり、特にCNF配合率が66%以下において目視で確認可能な凝集塊がほぼ見られなかった。


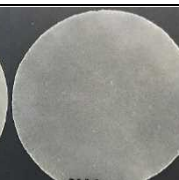


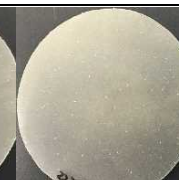
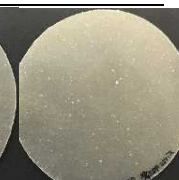
なお、目視での分散度合いの評価について、数値化を検討するため、紙の夾雑物試験に用いられる手法を用いて上記CNF10%複合樹脂シートを測定して得たダート面積率※を確認した。

※ダート面積率 (mm²/m²) = ダート面積 (mm²) ÷ 測定領域面積 (m²)

表Ⅲ－２．１．５－１１ CNFと薬品X等の配合比率を変えて作製したCNF複合樹脂の分散性（ラボ品）



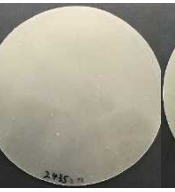

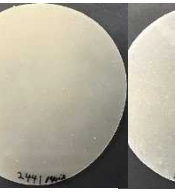

| CNF 配合率 | 100% | 90% | 80% | 71% | 66% | 50% |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| シート 写真 |  |  |  |  |  |  |
| 分散性 (目視) | × | × | × | △ | ○ | ○ |
| ターゲット面積率 (mm ² /m ²) | 651 | 361 | 198 | 16 | 4 | 0 |

表Ⅲ－２．１．５－１２ CNFの解繊度合いを変えて作製したCNF複合樹脂の分散性（ラボ品）

| Fine 率 A (%) | — | 19 | 28 | 34 | 37 | 40 |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| シート 写真 |  |  |  |  |  |  |
| 分散性 (目視) | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ |
| ターゲット面積率 (mm ² /m ²) | 8 | 2 | 12 | 12 | 30 | 50 |

次に、一貫製造プロセスで作製した変性CNF（一貫製造品）を用いて、CNFの解繊度合いによる分散性への影響を確認した。CNFの解繊度合いを変えて、CNF配合率が66%となるように混合乾燥体を作製し、混合乾燥体を二軸押出機（ラボ機）にて熔融混練してペレット状に加工後、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して再度熔融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、Fine率Aが60%以下であれば、CNFの解繊度合いに関わらず分散性が良好となることがわかった。

表Ⅲ－2.1.5－13 CNFの解繊度合いを変えて作製したCNF複合樹脂の分散性（一貫製造品）

| Fine 率 A (%) | — | 34 | 41 | 51 | 60 | 85 |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| シート 写真 |  |  |  |  |  |  |
| 分散性 (目視) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ |
| ターゲット面積率 (mm ² /m ²) | 4 | 6 | 5 | 2 | 2 | 18 |

表Ⅲ－2.1.5－14 ラボ品と一貫製造品の繊維サイズの違い

| | ラボ品 | 一貫製造品 |
|--------------|-------|-------|
| LBKP/NBKP | 0/100 | 80/20 |
| Fine 率 A (%) | 40 | 40 |
| 平均繊維長 (mm) | 0.5 | 0.3 |

以上のように、薬品 X の配合比率の調整により分散性を改善した。また、ラボ品から一貫製造品へ移行しても問題ないことを確認した。

(ウ) CNFの高濃度化処方の見出し

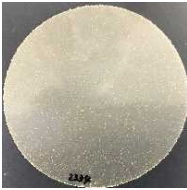

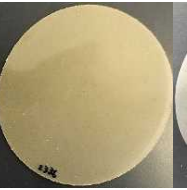
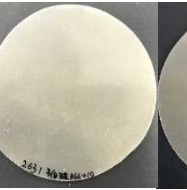
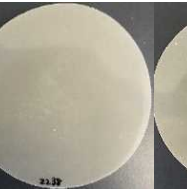
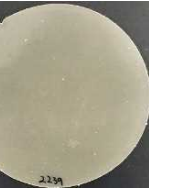
複合樹脂中のCNFを高濃度化できる処方について、CNF配合率55%以上の高濃度化（CNF66%）を達成したため、薬品Xの種類を変えた場合でもCNF配合率を55%以上とすることが可能か調査した。

薬品Xは、製法Aと、製法Bが存在し、製法Bの方が一般的に安価である。薬品Xとして用いてきた製法Aの薬品Xを製法Bの薬品Xに置き換えた場合でのCNFの分散性への影響を確認した。

一貫製造プロセスで作製した変性CNFを用いて、CNF配合率を変えて混合乾燥体を作製し、混合乾燥体を二軸押出機（ラボ機）にて溶融混練してペレット状に加工後、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して再度溶融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、製法Bの薬品Xも、製法Aの薬品Xと同様に、CNF配合率66%以下とすることで、CNF分散性が良好となった。製法Bの薬品Xであっても、


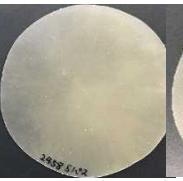
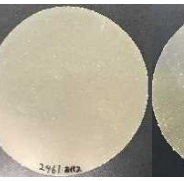


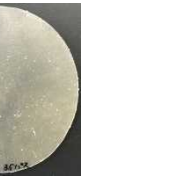
CNF 配合率 66% の複合樹脂とすることで、分散性良好な複合樹脂を作製可能とわかった。

表Ⅲ－2.1.5－15 製法 B の薬品 X での CNF 複合樹脂の分散性（一貫製造品）

| CNF 配合率 | 90% | 80% | 71% | 66% | 62% | 50% |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| シート 写真 |  |  |  |  |  |  |
| 分散性 (目視) | × | × | × | ○ | ○ | ○ |
| ダート面積率 (mm ² /m ²) | 131 | 1,049 | 904 | 0 | 0 | 0 |

次に、一貫製造プロセスで作製した変性 CNF を用いて、製法 B の薬品 X を用いた場合での CNF の解繊度合いによる分散性への影響を確認した。CNF の解繊度合いを変えて、CNF 配合率が 62% となるように混合乾燥体を作製し、混合乾燥体を二軸押出機（ラボ機）にて熔融混練してペレット状に加工後、CNF 配合率が 10% となるようにベース PP を添加して再度熔融混練し、CNF 10% 複合樹脂を得た。CNF 10% 複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、製法 B の薬品 X を用いた場合でも、CNF の解繊度合いに関わらず分散性が良好となることがわかった。

表Ⅲ－2.1.5－16 CNF の解繊度合いを変えて作製した CNF 複合樹脂の分散性（一貫製造品、製法 B の薬品 X）

| Fine 率 A (%) | — | 34 | 41 | 51 | 60 | 85 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| シート 写真 |  |  |  |  |  |  |
| 分散性 (目視) | ○ | ○ | ○ | △ | △ | △ |
| ダート面積率 (mm ² /m ²) | 0 | 6 | 10 | 22 | 22 | 39 |

ドライヤー A より効率が良い乾燥プロセスに関する情報収集を行うとともに、効率の良い乾燥プロセスにおけるエネルギー消費量や分散性について評価した。

本研究開始時点で、乾燥工程では、固形分濃度が約 4 % の水分散液を直接乾燥しており、水分散液に含まれる約 96 % の水分全量を熱で除去するため多大なエネルギーを要する。水分散液を乾燥させる前に脱水等で機械的に固形分濃度を上げる工程を設けることで、熱により水分を蒸発乾燥させるためのエネルギーを大幅に抑えることができる（図 III - 2.1.5 - 10）。乾燥負荷の低減に向け、乾燥に供する水分散液の固形分濃度を引き上げる方法を検討から着手した。

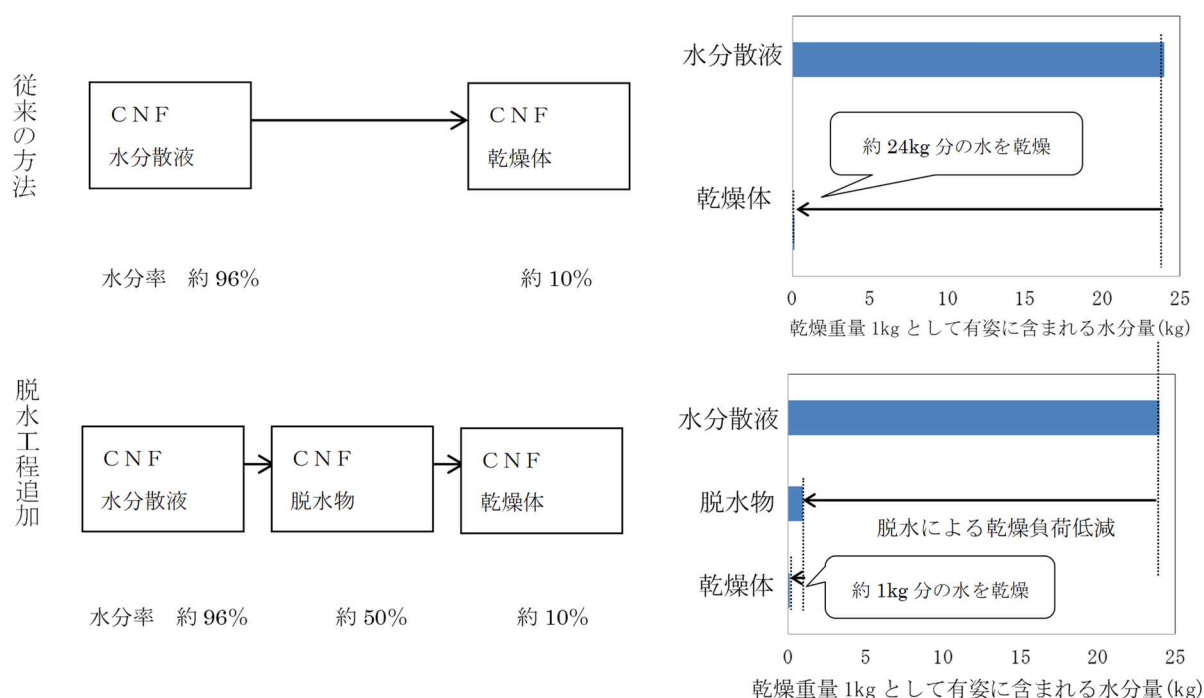
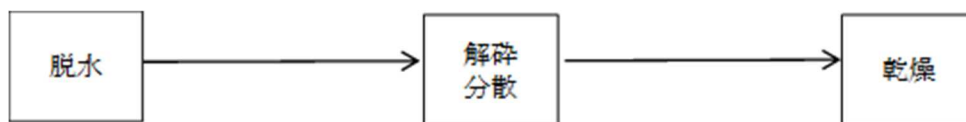


図 III - 2.1.5 - 10 脱水工程追加による乾燥負荷低減のイメージ

本研究開始以前の CNF 水分散液の脱水テスト、乾燥テストの経験を踏まえ、CNF と薬品 X 等を混合した水分散液のスケールアップに対応可能な候補として、脱水機 A、脱水機 B、脱水機 C を抽出し、脱水テストを実施した。

脱水機 A は、脱水機 A メーカーの J 社製のテスト機を用いて、濃縮可能かテストを行った。結果、脱水ろ液への原料流出を抑えつつ、固形分濃度 4.5 % → 約 50 % に脱水可能であることが確認出来た。一方、製紙工場のパルプ設備で一般的に使用される脱水機 B と脱水機 C を、および脱水機 B と脱水機 C を組み合わせた 2 段脱水を想定し、L 社で評価をしたが、テーブルテストの評価で原料のろ水性が低く、同社の脱水機では脱水困難な結果となった。脱水機 C については、製紙工場の汚泥等の脱水にも使われており、脱水機 D と脱水機 C について、M 社でのテストを計画した。

脱水機の調査と並行して、脱水・乾燥工程の調査のため、当社のC N Fでの脱水・乾燥テスト経験を踏まえC N F 複合樹脂向けに検討した脱水・解砕・乾燥の設備フローをベースに、脱水設備、乾燥設備を取り扱うメーカーから情報収集を行い、エネルギー効率を改善する脱水後原料の乾燥方法を含めた一連プロセスの妥当性の確認を行うとともに、スケールアップ可能な設備の候補を選定した（図Ⅲ－2.1.5－11）。



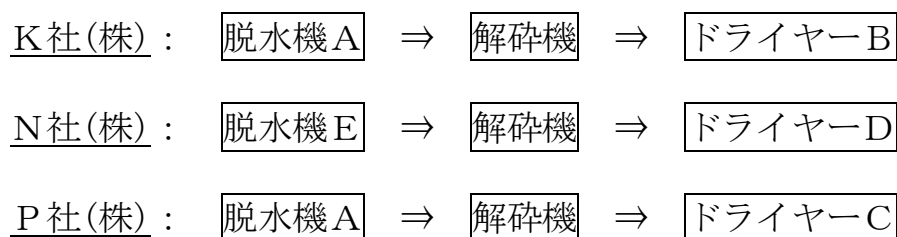
図Ⅲ－2.1.5－11 脱水後工程のプロセス案の例

脱水・解砕・乾燥の設備フロー案をベースに、設備フロー案の妥当性、機械の候補の調査を以下のように進めた。

（ア）脱水・乾燥をトータルコーディネートできるメーカー3社と、水分散液を効率良く（生産性、エネルギー）乾燥させる製法と具体的な機械の候補を抽出した（図Ⅲ－2.1.5－12）。

乾燥機の方式としては、エネルギー消費が大きな直接加熱方式ではなく、間接加熱方式を選定した。間接加熱方式の乾燥機として提案を受けた機械のテストを各社1回以上実施し、課題の抽出と課題解決の追加テストおよび設備設計を進めた。

脱水・乾燥テスト時の水分率の目標は、脱水後50%程度、乾燥後5%程度を目安とした。



図Ⅲ－2.1.5－12 各社と協議して抽出した設備フロー

（イ）脱水機の選定テストは、K社・P社の2社が提案し当社で先行して調査していた脱水機A、N社が提案してきた脱水機Eに、当社が抽出したM社の脱水機D、脱水機Cで評価した。

脱水機の各機種種のテストは、脱水機AはJ社とP社の2社、脱水機EはN社、2段脱水はM社で実施した。

テスト結果、脱水機Aと脱水機Cの1段脱水で目的の濃度50%の脱水ケーキを得られることが分かった。

a) 脱水機 A (J社、P社)

2社でのテスト結果、目標濃度50%に対し濃度52～53%の脱水ケーキを得ることが出来た。

表Ⅲ－2.1.5－17 脱水機 A 能力評価

| | 脱水ケーキ濃度 % |
|----|--------------|
| J社 | 53 |
| P社 | 52 |

b) 脱水機 E (N社)

テストの結果、目標濃度50%に対し、23%程度に留まり、困難であるとの結果になった。

表Ⅲ－2.1.5－18 脱水機 E 能力評価

| | 脱水濃度 % |
|-------|-----------|
| 脱水機 E | 23 |

c) 脱水機 D、脱水機 C (M社)

テストの結果、脱水機 Dでの脱水は7%程度に留まった。一方、脱水機 Cの条件調整により、目標濃度50%に対し56%程度の脱水ケーキが得られることが分った。

表Ⅲ－2.1.5－19 脱水機 D、脱水機 C 能力評価

| | 脱水ケーキ濃度 % |
|-------|--------------|
| 脱水機 D | 7 |
| 脱水機 C | 56 |

(ウ) 解砕・乾燥機のテストは、K社、N社、P社の3社で実施した。

解砕・乾燥テストでは、脱水機の選定テストで作った脱水機 A および脱水機 C のテストで得られた脱水ケーキを使用して、一貫製造プロセスを想定したテストとした。

a) ドライヤー B (K社)

1回目の乾燥テストでは、脱水ケーキ（脱水機A、脱水機C）を使用し、同社の解砕機Aと、ドライヤーBテスト機で乾燥させた。

ドライヤーBでの乾燥では、脱水機A品、脱水機C品のどちらとも、水分率3～5%程度の粉体を得ることが出来た。脱水ケーキの脱水機A品と脱水機C品の違いとしては、脱水機A品の方が脱水ケーキの解砕時間が長く解砕粒度は大きかったものの、乾燥効率に大差は無かった。

表Ⅲ－2.1.5－20 ドライヤーB乾燥能力評価

| | 水分率 % |
|-------|----------|
| 脱水機A品 | 5 |
| 脱水機C品 | 3 |

b) ドライヤーD（N社）

1回目の乾燥テストでは脱水ケーキ（脱水機A、脱水機C）を解砕し、ドライヤーDテスト機で乾燥させた。

テストの結果、脱水ケーキは、脱水機A品、脱水機C品のどちらとも、水分率1～3%程度の粉体を得ることが出来た。脱水ケーキの脱水機A品と脱水機C品の違いとしては、脱水機A品は脱水機C品に対し処理量が低かった。

表Ⅲ－2.1.5－21 ドライヤーD能力評価

| | 水分率 % |
|-------|----------|
| 脱水機A品 | 3 |
| 脱水機C品 | 1 |

c) ドライヤーC（P社）

1回目のテストでは、P社の脱水機A品脱水ケーキを使用し、手解砕した上で、ドライヤーCのテスト機で乾燥させた。

テストの結果、ドライヤーC内で十分に解砕がされず、粒度大きめの粉状の乾燥物に大きめの塊（内部が乾燥していない）が残る状態となった。

表Ⅲ－２．１．５－２２ ドライヤーC能力評価

| | 水分率 % |
|-------|-------------|
| 脱水機A品 | 10以下 塊除く |

メーカーと協議してもっと小さいレベルに解砕できる解砕機を調査・選定した上で、解砕および乾燥テストを再度実施することにした。

(工) 脱水・乾燥のプロセスについて、消費エネルギーおよび得られた粉体を樹脂混練して分散性、強度物性について調査し、現状のドライヤーAで得られた粉体と比較した。

a) エネルギーの比較

想定通り乾燥前に原料を脱水し熱により水分を蒸発乾燥させるエネルギーを抑えることで、電力原単位、蒸気原単位を90%程度削減できる結果を得られた。

表Ⅲ－２．１．５－２３ ドライヤーA方式と脱水・乾燥方式の性能比較

| | ドライヤーA 方式 | 脱水・乾燥 方式 |
|-------|--------------|-------------|
| 電力原単位 | 100 | 8 |
| 蒸気原単位 | 100 | 7 |

※ドライヤーA方式を100とした時の比率で算出

※脱水・乾燥方式は、脱水・乾燥テストの1回目のテストデータ

※乾燥工程エネルギーは付帯機器も含む

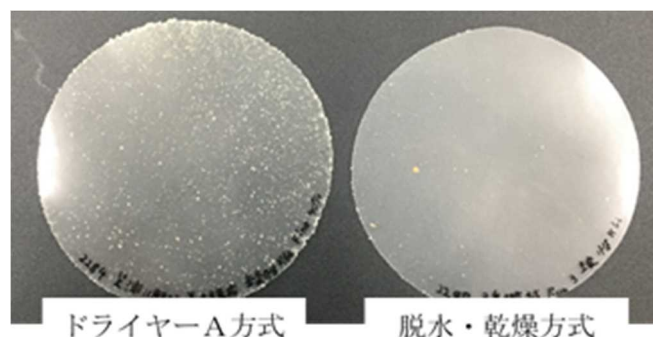
b) CNF複合樹脂の品質比較（分散性、強度）

脱水・乾燥させたCNFと薬品X等を、当社ラボ混練機にてCNF複合樹脂化後、さらにポリプロピレンにて10%に希釈して曲げ弾性率、曲げ強度、および分散性を比較した。結果、曲げ弾性率、曲げ強度ともに平均値より低めではあるものの標準偏差の2倍の範囲内の数値が得られた。また、分散性は、脱水・乾燥方式の方が凝集物が少なかった。

表Ⅲ－２．１．５－２４ ドライヤー A 方式と脱水・乾燥方式の品質比較

| | | ドライヤー A 方式 | | 脱水・乾燥 方式 |
|-----------|--------|-----------------|------------|-------------|
| | | 平均値 (n : 20) | 範囲 (2σ) | (n : 1) |
| 曲げ弾性率 | GPa | 2.26 | ±0.24 | 2.17 |
| 曲げ強度 | MPa | 68.6 | ±5.7 | 65.8 |
| 分散性 (凝集物) | シート見た目 | 多 | | 少 |

※ドライヤー A 方式のデータは、ドライヤー A で乾燥させたものを当社ラボ混練機または芝浦機械の混練機で混練したもの



図Ⅲ－２．１．５－１３ ドライヤー A 方式と脱水・乾燥方式の分散性比較

③スケールアップの検討

CNF 乾燥プロセスにおける乾燥条件の評価と、スケールアップに向けた乾燥プロセスの課題を抽出した。

スケールアップでは、機械の生産性、エネルギー効率、メンテナンス性、コスト優位性、操作性、設置面積などを総合的に評価して選定を進める。

現在、脱水・乾燥テストで選定可能な候補として脱水設備で 2 機種、乾燥設備で 2 機種を候補として見出した。2021 年度はテストの結果を踏まえて、脱水設備、乾燥設備の各機種について、スケールアップした際の課題の抽出と対策、評価を進めた。

(ア) 脱水設備の選定と課題

脱水設備は 4 機種 (脱水機 A、脱水機 E、脱水機 D、脱水機 C) でテストした結果、脱水機 A と脱水機 C の 2 機種を候補として見出すことが出来た。この 2 機種について、生産性、エネルギー効率、コスト、メンテナンス性を比較した。

図Ⅲ－2.1.5－14 脱水設備の優位性比較

| 機種 | 脱水機A | | 脱水機C | |
|----------|------------------------|-----------------------|---------|------------------------|
| 設備フロー | | | | |
| 脱水テスト | 脱水濃度 (テスト結果) 5%→50% | テスト機 52% | テスト機 | 56% |
| 原単位 | 電力原単位 | 100 | 脱水機Aに対し | 40 |
| エネルギーコスト | | 100 | 脱水機Aに対し | 40 |
| 設置面積 | | 大 | | 小 |
| メンテナンス性 | | ①消耗品多い ②損傷リカバリー所多い | | ①消耗品少ない ②部品交換コストが高い |

(イ) 乾燥設備の選定と課題

乾燥設備は3機種（ドライヤーB、ドライヤーD、ドライヤーC）でテストした結果、ドライヤーBとドライヤーDの2機種を候補として見出すことが出来た。

図Ⅲ－2.1.5－15 乾燥設備の優位性比較

| 機種 | ドライヤーB | | ドライヤーD | |
|----------|--------|-----------|-----------|------|
| 設備フロー | | | | |
| 運転方式 | 連続式 | | 連続式 | |
| 乾燥テスト | 水分率 | テスト機 3~5% | テスト機 | 1~3% |
| 原単位 | 電力原単位 | 100 | ドライヤーBに対し | 115 |
| | 蒸気原単位 | 100 | ドライヤーBに対し | 95 |
| エネルギーコスト | | | ドライヤーBに対し | 101 |
| 設置面積 | | 大 | | 小 |

a) 現時点で候補から外したもののドライヤーCについても課題解決が可能かテストを実施した上で、候補として加えることが可能か判断する。

b) 確認したエネルギーコストや設置コストだけでなく、設備の拡張性、メンテナンス性、ハンドリング性、設置面積なども考慮して、優位性を判断して、スケールアップした際に優位な設備およびプロセスを構築する。

2)複合樹脂化技術の開発（担当：大王製紙株式会社、芝浦機械株式会社）

2)－1 CNF複合樹脂製造に適した二軸押出機の開発

①原料配合条件の検討

(ア) 生産性、着色抑制、凝集防止を両立する原料配合条件の課題抽出

まずは生産性向上における課題抽出のため、未変性CNFの配合率が55%となるように粉末状原料を調製し、二軸押出機A（φ26mm）で混練テストを行った。メインフィードとサイドフィードに分けて原料投入することで、未変性原料であるものの、2020年度の目標生産ペースであるφ26mmで30kg/hを達成可能であることを確認した（水準①②）。なお、メインフィードを繊維のみで投入した場合は、二軸押出機のオープンバントから原料が吹き出すため、最大生産ペースが下がることがわかった（水準③④）。

課題として、現行装置および粉末状原料では、二軸押出機への原料飲み込み不良により投入ペースを上げることが難しく、最終目標であるφ48mmで250kg/h（φ26mmで60kg/h相当）を実現するには、原料面と装置面で改善が必要とわかった。

表Ⅲ－2.1.5－25 未変性CNF55%原料での混練テスト条件（二軸押出機A φ26mm）

| 水準 | 合計 | 生産ペース | 回転速度 | 色 | 分散性 |
|----|-----|-------|------|---|-----|
| | % | kg/h | rpm | — | — |
| ① | 100 | 30 | 900 | × | × |
| ② | 100 | 30 | 900 | × | × |
| ③ | 100 | 26 | 900 | × | × |

※未変性NBKP－CNFを使用

原料面では、粉末状原料での混練テストの結果を踏まえ、原料形態を見直して二軸押出機へのフィード不良の改善を試みた。装置面では、形態見直し後の原料を用いて、生産性、着色抑制、凝集防止を両立する条件の見出しのため、二軸押出機A（φ26mm）で混練テストを行った。

また、55%からさらに高濃度化に対応することを目標として、CNF66%品での混練が可能となるように、スクリュ構成等の条件を検討した。

結果、CNF66%粉末状原料では、a) 二軸押出機出口から安定してストランドを吐出する条件と、b) 樹脂の着色を抑制する条件の両立が難しいものの、形態見直し後の原料を用いることで、スクリュ構成と運転条件の調整によりa) とb) を両立可能である

と見出した。しかしながら、a) に関しては、吐出されたストランドが脆く、安定して引き取ることは不可能であった。

形態見直し後の原料で60kg/hの生産を試みた結果、真空ベントからの蒸気突沸多発により中断したものの、以下の課題3点、c) 混練時のトルクが二軸押出機Aでは上限に近く運転範囲が狭いこと、d) 樹脂ストランドの搬送およびペレタイズ方法を検討する必要があること、e) 真空ベントからの蒸気突沸多発および出口樹脂温度上昇（低生産時227℃、60kg/h時280℃）を抽出できた。

なお、テストで試作したCNF66%複合樹脂について、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して熔融混練し、試験片に射出成形した上でJIS K7171:2016に準拠して曲げ弾性率を測定した。結果、スクリュ構成や原料形態によって曲げ弾性率に大きな差は生じないことを確認した。

表Ⅲ－2.1.5－26 変性CNF66%原料での混練テスト原料処方
(二軸押出機A φ26mm)

| 水準 | パルプ | 形態 | CNF 配合率 % |
|----|---------|---------|--------------|
| ⑤ | 変性 LBKP | 粉末 | 66.6 |
| ⑥ | 変性 NBKP | 粉末 | 66.6 |
| ⑦ | 変性 NBKP | 見直し後の形態 | 66.6 |

表Ⅲ－2.1.5－27 スクリュ構成による影響 (二軸押出機A φ26mm)

| スクリュ構成 | A | B | G | H | F | K | J |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 練り強さ | 強 | | | | | | 弱 |
| 原料 | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ |
| トルク(%) | 85 | 80 | 83 | 87 | 85 | 87 | 74 |
| (a)ストランド可否 | × | × | × | × | × | ○ | × |
| (b)色 | × | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ |
| 曲げ弾性率(GPa) | 1.92 | 1.90 | 1.88 | 1.90 | 2.00 | 1.96 | 1.85 |

表Ⅲ－２．１．５－２８ 原料による影響（二軸押出機 A φ26mm）

| スクリュー構成 | B | | |
|---------------------------|------|------|------|
| 原料 | ⑤ | ⑥ | ⑦ |
| トルク(%) | 28 | 35 | 80 |
| (a) ストランド ^o 可否 | × | × | × |
| (b) 色 | ○ | ○ | ○ |
| 曲げ弾性率(GPa) | 1.93 | 2.05 | 1.90 |

(イ) 生産性

上記の通り、粉末状原料の形態を見直すことで、φ26mmの二軸押出機で60kg/h（φ48mm装置では250kg/h相当）の原料投入ペースで混練可能であることを見出した。2021年3月に、形態見直し後の原料を用いて大王製紙

（株）に導入予定のφ48mmの二軸押出機Bでの混練テストを行った。30kg/hで運転開始した後、押出機ノズルから樹脂が吐出されず、樹脂圧力上限に達し、押出機が停止した。ノズルを外した状態で運転を行い、φ48mmでの運転に適したスクリュー・バレル構成に見直すことで、ノズルを開放した状態で原料投入ペース250kg/hで運転可能と確認した。

2021年4月に芝浦機械（株）にて、ノズル穴を増加した上で、未変性CNF66%原料（形態見直し後）を用いて混練テストを行った。結果、ノズルを装着した状態で、原料投入ペース250kg/hで運転可能と確認した。なお、ストランドが脆く折れやすいため、ペレット化方式は、通常のストランドカットではなく、ノズルから排出された直後に回転式カッターで切り落としてペレット化するホットカット方式で進めることとした。なお、カットした直後は、ペレットの自熱により焦げるため、急冷が必要となることも分かった。

2021年7月に芝浦機械（株）にて、ノズル穴を増加した上で、未変性CNF66%原料（形態見直し後）を用いて混練テストを行った。結果、原料投入ペース250kg/hで混練ペレットを作製可能であることを確認した。一方で、変性品のCNF66%原料（形態見直し後）を用いた結果、スクリュートルク上限を超え、停止した。未変性品原料のFine率Aが40%であったのに対し、変性品原料のFine率Aが28%であり、原料のFine率Aが、混練性に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

次に、2021年11月に芝浦機械（株）にて、ノズル穴を増加した上で、混練テストを行い、変性CNF66%原料（形態見直し後、Fine率A 40%品）を用いて、原料投入ペース250kg/hで混練ペレットを作製可能であることを確認し、CNF複合樹脂の生産性250kg/hを達成した。なお、変性CNF66%原料（形態見直し後、Fine率A 60%品）を用いた場合は、ベントアップ多発により

運転が困難であったため、生産性の面では、Fine率Aを40%とする変性CNF 66%原料（形態見直し後）を用いることで、250kg/hを達成可能と確認した。（表Ⅲ－2.1.5－29）


表Ⅲ－2.1.5－29 芝浦機械株式会社での混練テスト結果概要

| 年度 | 実施年月 | 原料 | Fine 率 A | 結果 |
|--------|---------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 2020 | 21年3月 | 未変性66%原料 (形態見直し後) | 27% | ・樹脂圧力上限に達し、押出機が停止 ・ノズル外した状態で250kg/h運転可と確認 |
| 2021 | 21年4月 | 未変性66%原料 (形態見直し後) | 41% | ・ノズル装着状態で250kg/h運転可と確認 ・ペレット化条件の検討が必要 |
| | 21年7月 | 未変性66%原料 (形態見直し後) | 40% | ・変性品(Fine率A 28%)スクリュルク上限停止 ・原料のFine率Aが混練性に影響する 可能性があることがわかった |
| | | 変性66%原料 (形態見直し後) | 28% | |
| 21年11月 | 変性66%原料 (形態見直し後) | 60% 40% | ・変性品(Fine率A 60%)ベントアップ多発 ・変性品(Fine率A 40%)で250kg/h 運転可と確認 | |

(ウ) 着色抑制

本研究開発開始前より、混練後の着色を防ぐため、変性反応後に、ろ液の色が無色透明になるまでパルプを洗浄することで、複合樹脂への極端な着色を防いでいる。（図Ⅲ－2.1.5－16）

ろ液が無色透明となるまで洗浄して調製した変性CNFを用いて、変性CNF 66%原料（形態見直し後、Fine率A 40%品）を作製し、2021年11月に芝浦機械（株）にて、250kg/hのペースでの混練テストを行った。混練したCNF 66%複合樹脂に顕著な着色は見られず、着色を防ぎつつ生産性の良好なペレットを製造可能と確認した。

| ろ液中の X の濃度 (mg/L) | 170 | 81 | 41 | 33 |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
| ろ液の色 (目視) |  | | | |


図Ⅲ－2.1.5－16 変性パルプの洗浄ろ液の一例

(工) 凝集防止

1) - 3に記載の通り、変性CNFと薬品Xの配合比率の調整と、CNFの解繊度合いの調整と、一貫製造プロセス方式に変更することで、分散性良好な複合樹脂を作製可能とわかった。一貫製造プロセスで作製した原料を用いて混練テストを下記の通り行った。

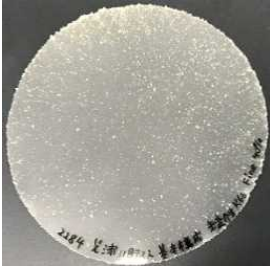

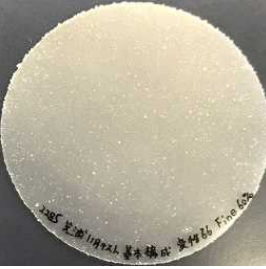



2021年7月に芝浦機械(株)にて行った混練テストでは、スクリュトルク上限を超え、停止したものの、変性CNF66%複合樹脂の混練物を得た。混練物を用いて、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して二軸押出機(ラボ機)にて熔融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、同装置で混練した未変性品と比較してダート面積率が低く、CNFの分散性が良好であると確認した。なお、ペレットの過度な着色は見られなかった。

表Ⅲ－2.1.5－30 2021年7月混練テスト品（未変性品と変性品）

| | 未変性品 | 変性品 |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Fine 率 A | 40% | 27% |
| 生産ペース | 250kg/h | 樹脂圧力上限停止、原料条件調整後、再トライ予定 |
| CNF10%に希釈したフィルム |  |  |
| 分散性(目視) | × | △ |
| ターゲット面積率(mm ² /m ²) | 834 | 381 |
| CNF66%複合樹脂ペレット |  |  |
| 色(目視) | ○ | ○ |
| 10%希釈後の 曲げ弾性率(GPa) | 2.08 | 2.33 |
| 対ベースPP | 1.4倍 | 1.6倍 |

次に、2021年11月に芝浦機械（株）にて行った混練テストでは、Fine率Aの異なる変性品原料を用いて混練テストを行い、Fine率Aが40%品、60%品の混練ペレットサンプルを得た。ペレットサンプルを用いて、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して二軸押出機（ラボ機）にて熔融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、同装置で混練した未変性品と比較して変性品（Fine率A 40%品）はCNFの分散性が良好であった。Fine率Aを40%に調整した変性CNF66%原料（形態見直し後）を用いることで、過度な凝集を防止しつつ、生産性、着色防止を両立可能であることを確認した。

表Ⅲ－2.1.5－31 2021年11月混練テスト品（未変性品と変性品）

| | 未変性品 | 変性品 | 変性品 |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Fine 率 A | 40% | 40% | 60% |
| 生産ペース | 250kg/h | 250kg/h | ベントアップ 停止 |
| CNF10%に 希釈したフィルム |  |  |  |
| 分散性(目視) | × | △ | △ |
| ダート面積率(mm ² /m ²) | 1,023 | 94 | 113 |
| CNF66% 複合樹脂ペレット |  |  |  |
| 色(目視) | ○ | ○ | △ |
| 10%希釈後の 曲げ弾性率(GPa) | 2.26 | 2.26 | 2.46 |
| 対ベースPP | 1.5倍 | 1.5倍 | 1.7倍 |

②装置の基本仕様の決定

(ア) テスト設備(φ26mm)での生産ペース引き上げ(30kg/h)と二軸押出機の基本仕様決定

形態見直し後の原料を用いた二軸押出機A(φ26mm)における混練テストでは、混練時のトルクが上限に近く、樹脂温度に直接的に影響するスクリュ回転速度の低速化が困難なため、スクリュ許容トルクの高い二軸押出機B(φ26mm)で混練テストを行った。

CNF66%形態見直し後の原料(水準⑧)を用いて混練試作を行った結果、a) 混練時のトルクに問題なく、b) ホットカット方式であれば安定して造粒可能であると確認でき、c) ベントスタフアの3か所取付により、60kg/hでもベント噴き出しを抑制可能であり、φ26mmで30kg/h以上での運転が可能と確認できた。

以上より、二軸押出機の基本仕様として、二軸押出機 B でホットカット方式でのペレタイズが可能であり、ベントスタッファを取付可能とする必要があることがわかった。

新たな課題として、d) 形態見直し後の原料要因でフィードやトルクが変動すること、e) ベントスタッファから原料流出することを抽出した。d) は調整で、e) はベントスタッファの位置およびバレル温度の適正化により改善を考えている。今後、φ 4 8 mmの装置を用いて連続試作テストを行い、装置仕様を決定する。

これまでのテストでは、短時間での運転条件やスクリュ構成の変更が多く、バレル内の樹脂温度や樹脂圧力のセンサを適切な位置に設置しモニタすることが困難であったが、二軸押出機 B (φ 4 8 mm) のテストに移行するにあたり、これまでのテスト結果を基に、安定運転条件の模索の為、各モニタを行ない、スクリュ回転速度、バレルの温度設定等の適正化を目指す。

表Ⅲ－2.1.5－3.2 変性CNF 6.6%原料での混練テスト原料（二軸押出機 B φ 2.6 mm）

| 水準 | パルプ | 形態 | 原料配合 | | | 合計 |
|----|---------|---------|----------|-----------|---------|-----|
| | | | CNF % | 薬品 X % | PP % | |
| ⑧ | 変性 LBKP | 見直し後の形態 | 66.6 | 33.4 | 0.0 | 100 |

表Ⅲ－2.1.5－3.3 混練テスト結果（二軸押出機 B φ 2.6 mm）

| 生産ペース | 10 kg/h | 60 kg/h |
|----------------|---------|---------|
| スクリュ回転速度 (rpm) | 200 | 530 |
| トルク (%) | 45 | 88 |
| 色 | ○ | ○ |

※二軸押出機の吐出口より混練物が押し出されることは確認済み

(イ) 装置仕様の決定

2021年3月～11月に実施した芝浦機械（株）の二軸押出機での混練テストにより、CNF 6.6%原料（形態見直し後）を用いて、二軸押出機 B で、原料投入ペース 250 kg/h で運転可能であること確認し、大王製紙に導入する装置の仕様は二軸押出機 B φ 4 8 mm で決定した。2022年1月に導入し、運転を開始している。

2) - 2 二軸押出機をC N F 複合樹脂製造のスケールアップに適した仕様に最適化

①装置仕様の最適化

(ア) 課題抽出

2021年1月に、二軸押出機Bφ26mmで60kg/h（φ48mmで250kg/h相当）が達成できたため、2021年3月にφ48mm二軸押出機Bでテストを行った結果、下記の課題を抽出した。

a) C N F 複合樹脂の流動性が低く、ノズル出口で樹脂圧力上限オーバーで押出機が停止した

b) フレークアップが発生する。バレル、スクリュ構成を見直す必要あり

c) スtrandカット方式ではstrandを引き取る際に折れる。安定生産にはペレタイズ方式の工夫が必要、ホットカット方式で試みる必要あり

さらに、2021年4月にφ48mmの同装置で行った混練テストで下記の課題を抽出した。

d) ペレットの形状が不均一のため、ペレタイズ条件を最適化する必要あり

e) ペレットを連続して冷却する方法を検討する必要あり

これらの課題に対し、2021年7月にφ48mmの同装置で混練テストを行った結果、原料投入ペース250kg/hで、未変性品C N F 66%原料（形態見直し後）を用いて、連続して冷却可能かつ均一な形状のペレットを作製可能な条件を見出した。課題は下記のみとなった。

f) 変性品C N F 66%原料（形態見直し後）での生産性を確認する必要あり

2021年11月にφ48mmの同装置で混練テストを行った結果、変性C N F 66%原料（形態見直し後、F i n e率A 40%品）を用いて、原料投入ペース250kg/hで混練ペレットを作製可能であることを確認した。

(イ) 改良部品等による対策

2021年3月の混練テストで抽出した課題に対し、下記の対策を行った上で、2021年4月にφ48mmでテストを行った結果、未変性品であるものの、原料投入ペース250kg/hを達成した。

a) C N F 解繊度合いの調整（F i n e率A 27→40%）と、出口ノズルの穴数の増加による混練物へのシェア低減により樹脂温度上昇の抑制

b) バレル、スクリュ構成の見直し実施、ベントスタッファ-の導入

c) ペレタイズ加工方式の変更（strandカット方式→ホットカット方式）

2021年4月の混練テスト抽出した課題に対し、下記の対策を行った上で、2021年7月に混練テストを行った結果、原料投入ペース250kg/hで、連続して冷却可能かつ均一な形状のペレットを作製可能な条件を見出した。

d) 出口ノズルの穴数増加および内部流路形状の変更によるペレット形状の均一化とホットカット切粉の抑制

e) ペレットの連続冷却処理の検証

未変性CNF66%複合樹脂の原料（形態見直し後）を用いて、原料投入ペース250kg/hの運転条件を見出したため、11月に変性品原料を用いて同様の条件で運転可能か確認した結果、原料投入ペース250kg/hで、連続して冷却可能かつ均一な形状のペレットを作製可能な条件を見出した。

d) 出口ノズルの穴数増加による吐出ムラ抑制と、吐出速度減に伴う切粉の抑制

f) Fine率Aを40%に調整することで、変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて、原料投入ペース250kg/hで運転可能であることを確認

②運転条件

2) - 1に記載の通り、着色抑制し、過度な凝集を防止しつつ生産性の良好な条件を見出した。芝浦機械（株）での混練テストにおいて、着色抑制、凝集防止しつつ、生産ペース100kg/h以上とできる運転条件を下記の通り見出した。まずは、未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて、2021年3月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。混練テストでは、ノズル出口詰まりに伴う樹脂圧力上限オーバーで押出機が停止したため、ノズルを外した状態で運転を行った。φ26mm→φ48mmのスケールアップにおいて、φ26mm装置での運転条件を基に原料投入ペースを調整した結果、125kg/hでスクリュトルク80%程度まで上昇し、250kg/hまで上げられないことがわかった。スクリュ回転速度を上げると内部発熱により着色が顕著となる恐れがあるため、スクリュ・バレル構成を変更した上で、スクリュ回転速度を下げた結果、ノズルを外した状態であるものの、250rpmで250kg/hの運転が可能であると確認した。

2021年4月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。3月テスト時のスクリュ・バレル構成を基に、ノズル穴を増やして行った結果、未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて240rpmで250kg/hの運転が可能であると確認した。

2021年7月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。3月、4月テストと同様のスクリュ・バレル構成にて、ノズル穴をさらに増やして行った結果、未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて240rpmで250kg/hの運転が可能であると確認した。

2021年11月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。ヘッド部内部流路拡大することにより、ノズル穴をさらに増やして、変性品CNF複合樹脂原料（形態見直し後、Fine率A 40%品）を用いて、240rpmで250kg/hの運転が可能であると確認した。目標である着色抑制、凝集防止しつつ、生産ペース100kg/h以上とできる運転条件を見出した。

③原料条件

2) - 1に記載の通り、着色抑制、凝集防止しつつ生産性の良好な条件を見出した。芝浦機械（株）での混練テストにおいて、着色抑制、凝集防止しつつ、生産ペース100kg/h以上とできる原料条件を下記の通り見出した。まずは、未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて、2021年3月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。混練テストでは、ノズル出口詰まりに伴う樹脂圧力上限オーバーで押出機が停止したため、ノズルを外した状態で運転を行った。CNF配合率を66%まで高めた原料（形態見直し後）を用いることで、ペレット形状への加工はできていないが原料投入ペース250kg/hで運転可能であることを確認した。

2021年4月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて、原料の事前乾燥による影響を確認した。

表Ⅲ-2.1.5-34 2021年4月混練テスト品（事前乾燥有無の影響）

| 事前乾燥 | 有 | 無 |
|----------|-------|-------|
| 水分率 | 2% | 3~5% |
| スクリュトルク | 72% | 81% |
| 樹脂温度(°C) | 247°C | 230°C |

105°C2時間、原料の乾燥を行い混練した結果、未乾燥品（水分率3~5%）と比較して、スクリュトルクは減少したものの、樹脂温度が上昇した。乾燥過多では、混練時の樹脂温度上昇に伴う着色や熱劣化の恐れがあるため、原料は乾燥しすぎない方が良かった。

2021年7月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。穴数を増やしたノズルを設置した状態で、未変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて（水分率4%）、原料投入ペース250kg/hで運転可能と確認した。変性品CNF66%原料（形態見直し後）では、トルクオーバーにより押出機が停止した。未変性品原料のFine率Aが40%であったのに対し、変性品原料のFine率Aが28%であり、原料のFine率Aが、混練性に影響を及ぼす可能性があることがわかった。


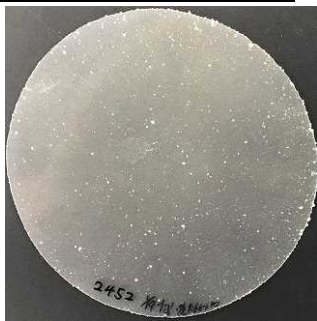


次に、2021年11月に芝浦機械（株）にて混練テストを行った。ノズル穴をさらに増やして、変性品CNF複合樹脂原料（形態見直し後、Fine率A40%品）を用いて、240rpmで250kg/hの運転が可能であると確認した。なお、Fine率A60%品を用いた場合はベントアップを抑制しきれず、吐出物に着色が見られた。二軸押出機でのテストに適する原料条件として、変性品CNF複合樹脂原料（形態見直し後、Fine率A40%品）が適することがわかった。目標である着色抑制、凝集防止しつつ、生産ペース100kg/h以上とできる原料条件を見出した。

<大王製紙に導入した押出機を用いた混練テスト結果>

2022年1月にφ48mmの二軸押出機Bを大王製紙（株）に導入し、運転を開始した。まずは、変性品CNF66%原料（形態見直し後）を用いて、CNF66%混練（形態見直し後）が作製可能か混練テストを行った。結果、芝浦機械（株）にて行った条件と同様の条件で混練可能であることを確認し、二軸押出機吐出後の工程も含めて、原料投入ペース250kg/hで運転可能であることを確認した。

作製したCNF66%混練（形態見直し後）を用いて、CNF配合率が10%となるようにベースPPを添加して二軸押出機（ラボ機）にて熔融混練し、CNF10%複合樹脂を得た。CNF10%複合樹脂の曲げ弾性率は2.36GPaとなり、目標であるベースPPの1.6倍を達成した。CNF10%複合樹脂を熱プレスでシート状に加工し、目視による確認を行った結果、未変性品と比較して、変性品は明確に分散性が良好となった。今後、さらなる分散性アップに向けて、条件調査を進める。

表Ⅲ－2.1.5－35 2022年1月混練テスト品（未変性品と変性品）

| | 未変性品 | 変性品 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Fine 率 A | 40% | 40% |
| 生産ペース | 250kg/h | 250kg/h |
| CNF10% に希釈したフィルム |  |  |
| 分散性(目視) | × | △ |
| ダート面積率(mm ² /m ²) | 2,518 | 271 |
| CNF66% 複合樹脂ペレット |  |  |
| 色(目視) | ○ | ○ |
| 10%希釈後の 曲げ弾性率(GPa) | 2.39 | 2.36 |
| 対ベースPP | 1.6倍 | 1.6倍 |

3)一貫製造プロセスの構築（担当：大王製紙株式会社、芝浦機械株式会社）

3)－1 一貫製造のための設備仕様と運転条件の開発

①離解、洗浄プロセスの仕様選定

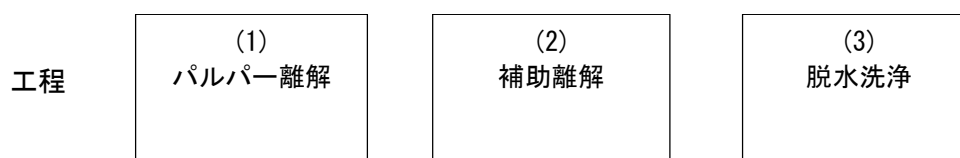
CNF複合樹脂を製造するパイロットプラントの設備フローで、変性した紙の離解・洗浄プロセス検証のため、パルパーを新設した。

(ア)パルパー選定後、変性した紙の溶解テスト結果、連続疎水化した紙は溶解しにくく、未離解片が残ることが分った。対策として、補助離解を導入することを決定し調査を開始した。

(イ)変性時に未反応で残った薬液分の洗浄方法は、製紙工程でも一般的に行われている水置換洗浄を用いた。

②離解、洗浄プロセスの製造条件の検討

抄紙塗工設備で薬液塗工した紙を、連続方式で変性し、S社にて離解および洗浄テストを行った（図Ⅲ－2.1.5－17）。



図Ⅲ－2.1.5－17 S社での変性した紙の離解・洗浄フロー

(ア)パルパー離解工程では、パルプ濃度約4.5%で離解処理を行った。結果、未離解が7.5%残り、8カット残渣率約53%と離解し難いことがわかったため、追加で補助離解機での処理を行った。

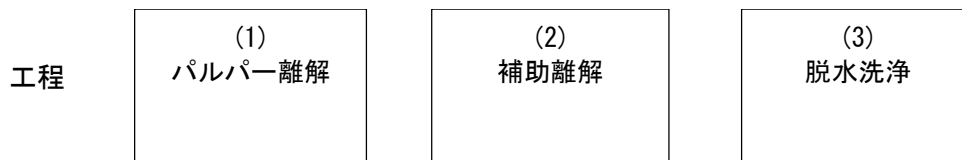
※8カット残渣率とは、8カットプレート板（スリット幅0.2mm）のフラットスクリーンを用いて、スクリーンを通過しなかった残渣の割合。

(イ)補助離解では、パルプ濃度約4.5%で補助離解処理を行った結果、8カット残渣率約53%から約16%まで離解できることがわかった。

(ウ)脱水洗浄では、パルプ濃度約26%まで脱水し、その後パルプ濃度2.5%まで水で希釈した。これを2回実施した。

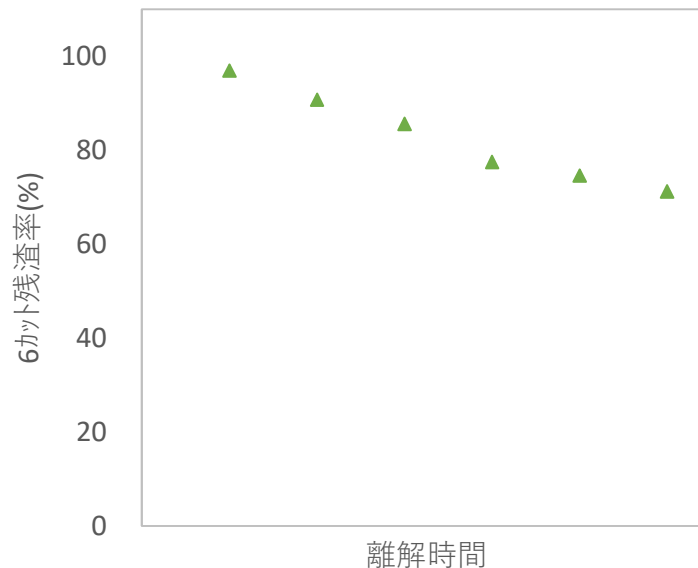
パルパー離解と補助離解を行うことで、変性した紙を離解できることを確認した。

前述した抄紙塗工設備で薬液塗工した紙を、連続で変性し、大王製紙パイロットプラントの離解、洗浄工程にて、離解および洗浄テストを実施した（図Ⅲ－2.1.5－18）。



図Ⅲ－２．１．５－１８ パイロットプラントでの変性した紙の離解・洗浄フロー

(工)パルパー離解工程では、6 時間離解処理を行った。結果、6 カット残渣率約 7 1 % となった。※6 カット残渣率とは、6 カットプレート板（スリット幅 0. 1 5 mm）のフラットスクリーンを用いて、スクリーンを通過しなかった残渣の割合。



図Ⅲ－２．１．５－１９ パルパー離解処理による変性した紙の 6 カット残渣率

(オ)補助離解では、同じパルパー離解した原料(6 カット残渣率約 7 1 %)を用いて、離解処理を行った。

(カ)洗浄工程では、ろ液の濃度を測定した。結果、4 回洗浄脱水を実施し、ろ液の濃度が変わらなくなるまで洗浄した。そのときの水置換率は 8 5 %であった。

パルパー離解と補助離解を行うことで、変性した紙を離解できることを確認した。

一貫製造できるフローとして離解、洗浄プロセスの仕様を決定し、パイロットプラントの立案、設置した。設置した離解、洗浄プロセスの最適な操業条件を見出すことができ、目標を 1 0 0 % 達成することができた。

3)－2 開発した各工程のコストの算出と最適な一貫プロセスの選定

①各工程の想定コスト算出と一貫プロセスの設計

(ア) 各工程のコスト試算に際し、以下の取組みを進めてコスト低減を図った。

a) 薬液原単位 60%低減

紙パルプへの薬液添加量を、pH調整や原料をパルプから紙にすることで変性時の熱効率を向上させ、薬液原単位を60%低減し、これにより当初計画値から1%のコスト低減が図れることを確認した。

b) CNFの繊維サイズ最適化による解繊機の電力原単位削減

1-2) に前述のとおり、最適なCNFの繊維サイズを調査した結果、Fine率を77%→50%以下にすることで、解繊機の電力原単位を当初計画値より69%削減できることを確認した。

c) 処方の見直し

1-3) に前述のとおり、薬品Xの大きさや添加位置を変えることで、CNFの分散性を向上させ、PPを添加しない処方を見出した。これにより当初計画値から39%のコスト低減が図れることを確認した。

2020年度までの結果を元に、想定するコストを試算した。

CNF複合樹脂(10%濃度)当初計画時のコストに対して、上記a)とb)の見直しにより約13%低減できる見込みである。

CNF複合樹脂(55%濃度)当初計画時のコストをに対して、上記a)とb)の見直しにより想定コストは約17%増加する見込みである。また、CNF複合樹脂のCNF濃度が66%に高めることで、上記a)とb)に加えc)の効果により想定するコストが約38%低減できる見込みである。さらに2021年度の結果を加味して、CNF複合樹脂一貫製造するパイロットプラントを設置・稼働し、各工程(抄紙工程、薬液塗工工程、変性工程、CNF化工程、乾燥工程、複合化工程)の2030年時点の製造コストを、パイロットプラントでの実績値を基に算出した。CNF複合樹脂(10%濃度)の実績値を基に算出した製造コストは計画値に対して、約13%低減できる結果となった。CNF複合樹脂(55%濃度)の場合、計画値に対して実績値を基に算出したコストは約12%増加となった。想定値と実績値の差異の主な要因は、乾燥工程の熱回収や加工前に粉碎工程を加えたことによるエネルギー費増加である。1)-3)で前述したとおり、脱水・乾燥工程とすることで想定値を上回るコストの削減を見込める。

(イ) CNF複合樹脂を製造するパイロットプラントは、抄紙技術、既存のCNF製造化技術を活用し、効率よく変性する設備、混練設備の基本設計を行った。

一貫製造するパイロットプラントは2022年1月までに稼働させ、パイロットプラントベースでの開発を開始した。

(ウ)各工程のコスト、CO₂排出原単位、スケールアップの可能性を勘案し、新設機器の設計、選定して導入するとともに、生産性およびエネルギー原単位の改善の検証を進めた。

a) 抄紙・塗工工程

薬液を効率よくパルプに浸透させる方法として、浸漬法やパルプの薬品反応方など検討したが生産性や反応効率の面からスケールアップを想定した際に現実的ではなく、製紙技術の塗工紙の製造法を活用して薬液塗工紙を製造する方法に着目した。本研究 1)－1 抄紙法による薬液を用いて変性するパルプ変性技術の開発にて記載の通り、最適な薬液塗工技術の研究を進め、塗工紙の技術を用いて薬液を塗布した薬液塗工紙を製造できることを確認した。

b) 変性工程

ラボ研究での薬液を浸漬させたパルプシートを百数十℃数時間の反応条件で繊維を変性する方法を、さらに効率よく反応させる方法、スケールアップできる設備について研究、テストを行った。

本研究 1)－1 抄紙法による薬液を用いて変性するパルプ変性技術の開発にて記載の通り、変性工程は、薬液塗布した紙を A 方式・B 方式・C 方式・D 方式・E 方式・F 方式で、反応性・エネルギー・スケールアップ性を評価した結果、連続 C 方式の反応装置の開発するに至った。2021 年 12 月に設置工事を完了して実機での研究を開始した。

実機での研究の進捗については、「1)－1 抄紙法による薬液を用いて変性するパルプ変性技術の開発 ②反応性の選択を元に反応設備を選定し、変性評価のために導入して評価する。」に記載した。

c) 解繊工程

変性後に残存する薬液の除去と C N F 化の前処理をする工程で、離解工程には製紙工程で使用する離解機（パルパー）の滞留時間やストレナーの仕様などの条件を最適化すること適用可能であることが分かり 2021 年 11 月に設置工事を完了し実機での研究を開始した。洗浄工程は、脱水、希釈を複数回繰り返す、残留する薬液の洗浄の最適化を進めた。解繊は解繊機で最適化を進めた。

解繊工程の研究の進捗については、「3)－1 一貫製造のための設備仕様と運転条件の開発」、「1)－2 変性パルプを最適な繊維サイズに解繊する技術の開発」に記載した。

d) 乾燥工程

C N F の乾燥設備であるドライヤー A を活用した。乾燥プロセスの開発の進捗については、「1)－3 C N F の凝集を防止する乾燥技術の開発 ②効率の良い乾燥プロセスの検討」に記載した。

e) 混練工程

芝浦機械株式会社と共同で二軸押出機および二軸押出機の付帯設備の改良、最適化を進め、2022 年 1 月に設置工事を完了し実機での研究を開始した。

2020年度の混練テストの結果を元に、ドライバーAで乾燥した原料では、二軸押出機へのフィード量をアップできないことが分った。二軸押出機へのフィード不良を改善する手段として、原料形態を見直すことで二軸押出機のフィード不良を解消できることが分かった。

二軸押出機本体は芝浦機械でのテストを繰り返し、押出機内のフリーボリュームの大きな二軸押出機Aより、高い混練エネルギーを与えられる高トルクタイプの二軸押出機Bを選定し、スクリュ構成やベント設備などの機械条件の最適化および温度や回転数の操業条の最適化をできる機械仕様として導入した。CNF複合樹脂混練工程の進捗については、「2) 複合樹脂化技術の開発」に記載した。

各工程の製造コストを想定し、CO₂排出原単位他の条件も勘案し、パイロットプラントにおける最適な一貫製造プロセスを設計し、想定していた製造コストと実績コストを比較し、想定と実績の差異の要因について抽出する目標を100%達成することができた。

3) - 3 開発した各工程のCO₂排出量の算出と最適な一貫プロセスの選定

①各工程の想定CO₂排出原単位試算と一貫プロセスの設計

(ア) 各工程のCO₂排出原単位の試算

様々な方式の反応設備で変性のテストを実施し、エネルギー原単位(電力原単位または蒸気原単位)およびCO₂排出原単位を表Ⅲ-2.1.5-49のとおり試算した。※CO₂排出係数は0.488CO₂kg/kwh および60CO₂kg/GJを用いて、各工程のCO₂排出原単位を試算した。

表Ⅲ-2.1.5-36 各反応設備の電力原単位とCO₂排出原単位

| | A方式 | B方式 | C方式 | D方式 | E方式 | F方式 |
|-----------------------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|-----|
| 電力原単位 (KWh/CNFkg) | 0.7 | 16.7 | 1.4 | 31.9 | 1.3 | 2.0 |
| CO ₂ 排出原単位 (CO ₂ kg/CNFkg) | 0.4 | 8.2 | 0.7 | 15.6 | 0.6 | 1.0 |

2020年度の結果を踏まえ、変性工程のCO₂排出原単位の試算結果から連続式反応設備を選択し、最適な一貫製造プロセスの設計を進めるため、想定される各工程(抄紙工程、薬液塗工工程、変性工程、CNF化工程、乾燥工程、複合化工程)のエネルギー原単位(電力原単位または蒸気原単位)およびCO₂排出原単位を試算した。CNF複合樹脂(10%濃度)当初計画時のCO₂排出原単位に対して、上記の見直しにより想定するCO₂排出原単位は43%増加となった。

さらに 2021 年度の結果を加味して、C N F 複合樹脂一貫製造するパイロットプラントを設置・稼働し、各工程(抄紙工程、薬液塗工工程、変性工程、C N F 化工程、乾燥工程、複合化工程)のエネルギー原単位(電力原単位または蒸気原単位)およびC O₂ 排出原単位の実績値を算出した。計画していたC N F 複合樹脂(10%濃度)のC O₂ 排出原単位に対して、実績値は65%増加となった。差異の主な要因は乾燥工程において、想定していた熱回収の未達や加工前に粉碎工程を加えたため、粉碎および粉碎物のサイクロン回収に伴うブロー運転により必要なエネルギー量が増加し、C O₂ 排出原単位が0.54ポイント増加した。

乾燥工程については、1)–3で前述したとおり、脱水・乾燥工程とすることで大幅なC O₂ 排出原単位の削減を見込める。また、変性した紙を離解する工程でも、パルパー処理に補助離解を併用することでC O₂ 排出原単位のさらなる低減が可能である。上記のとおり、脱水・乾燥工程とすること、パルパー処理と補助離解処理を併用することでC N F 複合樹脂(10%濃度)のC O₂ 排出原単位は計画値通りとなる見込みである。

(イ) 最適な一貫製造プロセスの設計

C N F 複合樹脂製造パイロットプラントの設計および実操業のデータと経験をもとに、量産プラントへのスケールアップの検討を進めている。

本研究で設計、設置したパイロットプラントは工程毎にバッチ生産の一貫製造プロセスとなっていることから開発テストは可能なものの、量産化に対応していない。量産化する場合には、製造コスト・C O₂ 排出量も勘案しながら連続生産できるラインの構築、およびパイロットプラントでの開発・製造の知見を活かした設備の最適化をする検討を進めた。

その他、量産プラントの設備フロー、設備選定においては、品質安定と品質異常の回避や機械のメンテナンス性、設置スペース等も考慮して機械選定、プラント設計を行う。

各工程のC O₂ 排出原単位を想定し、製造コスト他の条件も勘案し、パイロットプラントにおける最適な一貫製造プロセスを設計し、想定していたC O₂ 排出原単位と実績C O₂ 排出原単位を比較し、想定と実績の差異の要因について抽出する目標を100%達成することができた。

4) CNF複合樹脂の用途開発（担当：大王製紙株式会社、国立研究開発法人 産業技術総合研究所）

4) - 1 CNF複合樹脂ペレットの評価

① CNF複合樹脂（CNF 10%配合）の物性評価

(ア) CNF（10%配合）複合樹脂の各物性を評価

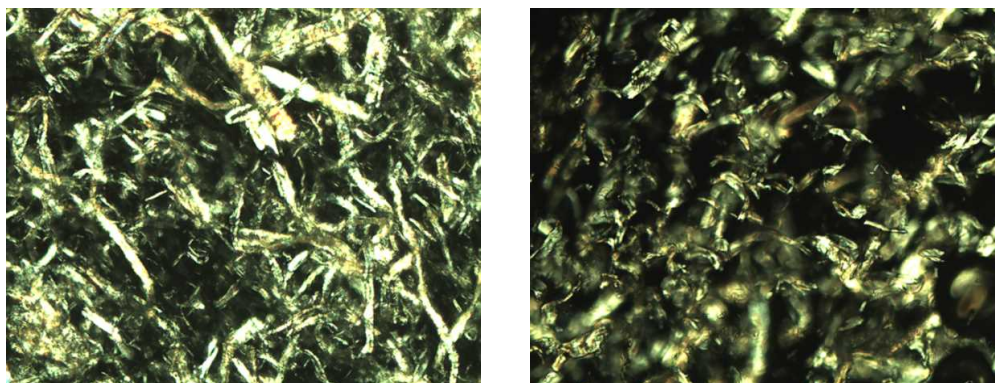
| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | ニトPP | CNF複合PP |
|-----------------------|-------------------|-----------|------|---------|
| セルロース量 | wt% | - | 0.00 | 10.0 |
| 希釈用樹脂 | - | - | - | - |
| 密度 | kg/m ³ | JIS K7112 | 0.90 | 0.94 |
| 曲げ弾性率 | GPa | JIS K7171 | 1.5 | 2.1 |
| 曲げ強度 | MPa | JIS K7171 | 54.0 | 65.3 |
| 引張破壊応力 | MPa | JIS K7161 | 17.5 | 37.3 |
| 引張破壊ひずみ | % | JIS K7162 | 78 | 9.5 |
| マルチロール(190℃) | g/10min | JIS K7210 | 4.1 | 4.4 |
| マルチロール(230℃、参考値) | g/10min | JIS K7210 | 10.3 | 11.2 |
| シャルピー-衝撃強さ 23℃ (ノッチ付) | kJ/m ² | JIS K7111 | 1.77 | 2.10 |
| 荷重たわみ温度 | ℃ | JIS K7191 | 109 | 121 |

表Ⅲ - 2.1.5 - 37の結果から、曲げ弾性率が1.4倍となっており、分散性が低く、より分散性を改善することで強度向上できると考える。一方で、シャルピー-衝撃強度については一般的にセルロース繊維を樹脂に配合すると低下する傾向がみられるが、変性CNFを配合しても低下しないことを確認した。

(イ) 偏光顕微鏡によるCNF（10%配合）複合樹脂の観察

CNF（10%配合）複合樹脂ペレットをホットプレス180℃3分でフィルムにしたサンプルと曲げ試験片からマイクロームでフィルムにしたサンプルを180℃で熱溶融した偏光顕微鏡で観察した。結果、ホットプレスで作製したフィルムよりもマイクロームで作製したフィルムの方が明瞭に繊維のサイズを観察することができた(図Ⅲ - 2.1.5 - 20)。要因として、ホットプレスではフィルム厚さ100μm以上に対して、マイクロームではフィルム厚さ20μmと薄いため、繊維の重なりが少ないことから、明瞭に観察できたと考える。なお、本実

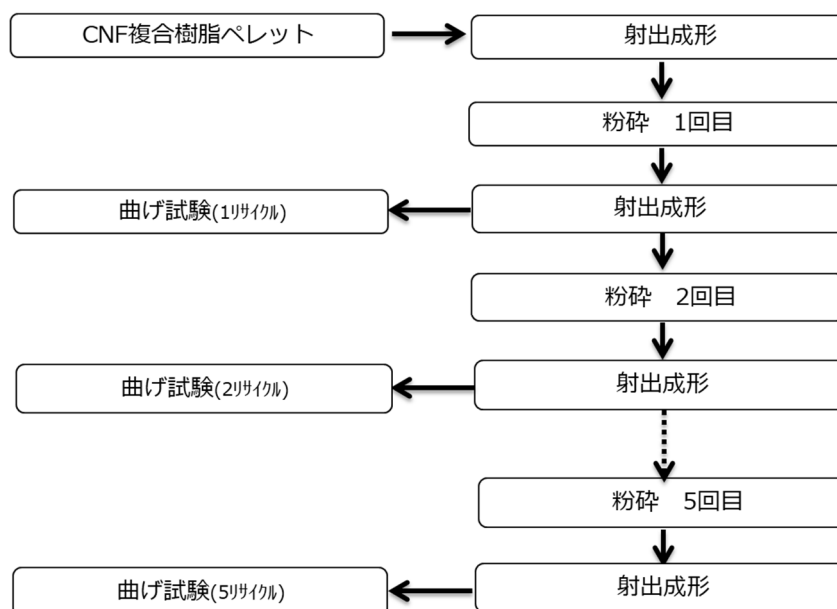
験は国立研究開発法人 産業技術総合研究所 中国センター セルロース材料グループと共同で実施した。



図Ⅲ－2.1.5－20 CNF(10%配合)複合樹脂をホットプレスで作製したフィルム(左図)とミクロトームで作製したフィルム(右図)の偏光顕微鏡観察画像

(ウ) リサイクル性評価

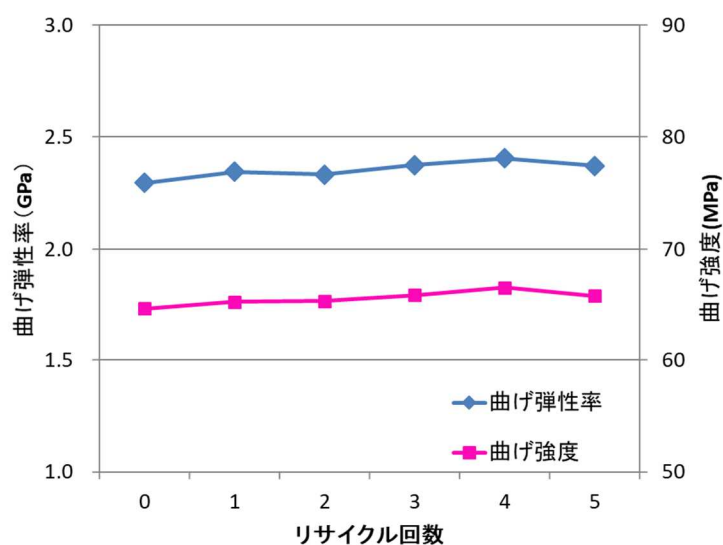
カーボンニュートラルな社会実現のための重要な特性として、マテリアルリサイクルが可能かどうか、CNF(10%配合)複合樹脂を図Ⅲ－2.1.5－21に示すフロー手順で、射出成型→粉砕を5回繰り返し、射出成型品の曲げ物性を測定、リサイクル評価した。



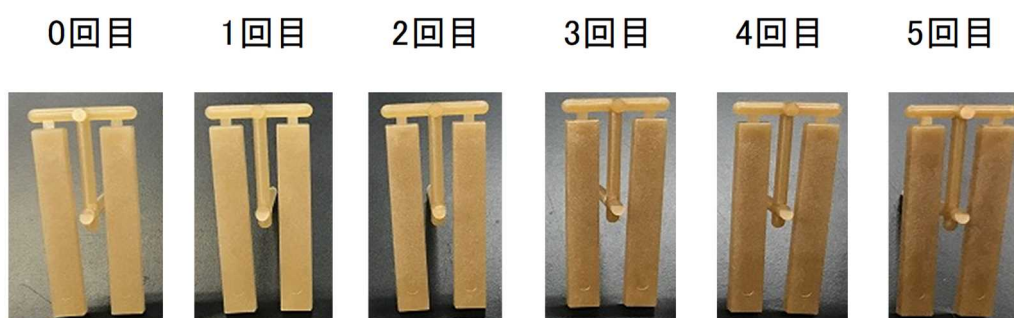
図Ⅲ－2.1.5－21 CNF複合樹脂のリサイクル評価フロー

リサイクル評価を行った結果、図Ⅲ－2.1.5－22のとおりCNF複合樹脂を5回リサイクルしても強度低下はなかったが、リサイクルを繰り返す程、CNF複合樹脂が茶色に着色する傾向が見られた(図Ⅲ－2.1.5－23)。

なお、本実験は国立研究開発法人 産業技術総合研究所 中国センター セルロース材料グループの装置を利用し、大王製紙株式会社が実施した。



図Ⅲ－2.1.5－2.2 リサイクルしたCNF複合樹脂の曲げ物性



図Ⅲ－2.1.5－2.3 リサイクルしたCNF複合樹脂の試験片

(エ) CNF複合樹脂の耐薬品性について

前述の一貫製造プロセスで作製したCNF(10%配合)複合樹脂の化学安定性試験をJIS K 7114:2001に準じて行った。PPとCNF(10%配合)複合樹脂を射出成型により試験片を作製し、試験条件は表Ⅲ－2.1.5－5.1に示すとおり、薬品浸漬試験と各種物性試験を実施した。

表Ⅲ－２．１．５－３８ CNF複合樹脂の化学安定性試験の条件

| 薬品 | 測定項目 |
|----------------------|--------------|
| 1)酸(塩酸, 硫酸, 硝酸混合pH3) | 1)寸法変化率(長さ) |
| 2)10%水酸化ナトリウム水溶液 | 2)質量変化率 |
| 3)メタノール(濃度99.8%) | 3)粗さ測定 |
| 4)エチレングリコール | 4)外観観察(色の変化) |
| 5)食塩水(濃度10%) | 5)引張試験 |
| 6)マシンオイル(鉱油) | 6)曲げ試験 |
| 7)ジクロロメタン | |
| 8)トルエン(濃度99.5%) | |

※試験条件：23°C、168時間、試験数3

CNF(10%配合)複合樹脂の化学安定試験の結果を図Ⅲ－２．１．５－２４に示す。曲げ試験や引張り試験、質量変化や寸法変化から、CNF(10%配合)複合樹脂はジクロロメタンとトルエンに対して耐薬品性が低い結果となったが、CNFを配合していないPPも同様の結果であったことから、CNF配合による耐薬品性の劣化ではないことが示唆された。CNFを配合したことによって、酸、10%水酸化ナトリウム水溶液、メタノール、エチレングリコール、食塩水、マシンオイルに対する耐薬品性の低下が見られなかった。また、算術平均粗さでは、CNF(10%配合)複合樹脂もPPと同様に各薬品において粗さが増す結果となった。ただし、浸漬前後の色差 ΔE^* においては、PPに比べてCNF(10%配合)複合樹脂の方が着色し易いことが明らかとなった。



図Ⅲ-2.1.5-24 CNF複合樹脂の化学安定性試験の結果

②一貫製造プロセスにおける品質管理体制の構築

(ア) CNF 複合樹脂の力学物性について

前述した一貫製造プロセスで作製した CNF (10%配合) 複合樹脂の表Ⅲ-2.1.5-39のとおり各物性の評価を行った。表Ⅲ-2.1.5-39の結果から、ラボベースで作製した CNF (配合 10%) 複合樹脂の物性と一貫製造プロセスで製造した CNF (配合 10%) 複合樹脂の物性を比較すると、前述のとおり一貫製造プロセスで製造した CNF 複合樹脂は分散性が向上するため、曲げ弾性率やシャルピー衝撃強さが改善するが、流動性が低下することがわかった。

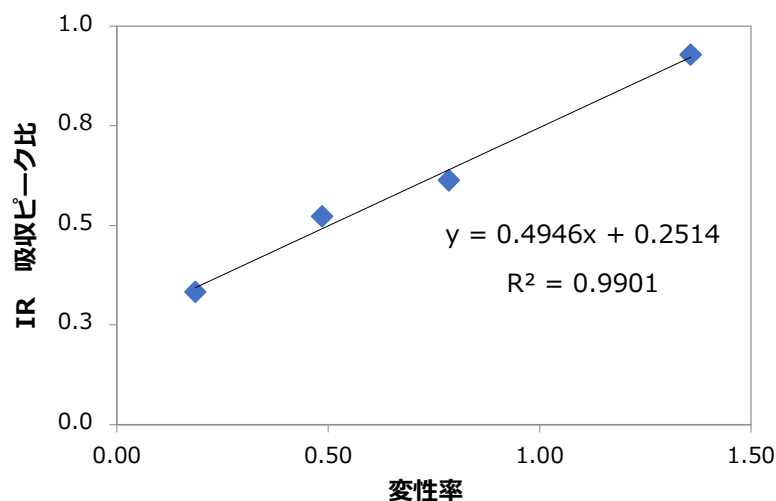
表Ⅲ-2.1.5-39 一貫製造プロセスで製造した CNF 複合樹脂の各物性

| 試験項目 | 単位 | 試験方法 | ニートPP | CNF 複合樹脂 | |
|------------------------|-------------------|-----------|-------|----------|------|
| | | | | ラボベース | 一貫製造 |
| セルロース量 | wt% | - | 0.0 | 10.0 | 10.0 |
| 密度 | kg/m ³ | JIS K7112 | 0.90 | 0.94 | 0.94 |
| 曲げ弾性率 | GPa | JIS K7171 | 1.5 | 2.1 | 2.4 |
| 曲げ強度 | MPa | JIS K7171 | 54.0 | 65.3 | 68.3 |
| 引張破壊応力 | MPa | JIS K7161 | 17.5 | 37.3 | 36.6 |
| 引張破壊ひずみ | % | JIS K7162 | 78.0 | 9.5 | 13.5 |
| メルトフロレート (190℃) | g/10min | JIS K7210 | 4.1 | 4.4 | 2.9 |
| メルトフロレート (230℃、参考値) | g/10min | JIS K7210 | 10.3 | 11.2 | 9.2 |
| シャルピー衝撃強さ 23℃(ノッチ付) | kJ/m ² | JIS K7111 | 1.8 | 2.1 | 2.9 |
| 荷重たわみ温度 | ℃ | JIS K7191 | 109 | 121 | 122 |

(イ) フーリエ変換赤外分光法による変性率の評価手法の開発

CNF の変性率については、既存手法を用いて定量し、セルロース 1 g 当たりの変性率を算出した。一方、フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) を用いて変性パルプの評価を行った。結果、セルロースの水酸基に由来する吸収ピークと変性基に由来する吸収ピーク比に対して、既存手法を用いて定量し変性率との相関関係を確認できた(図Ⅲ-2.1.5-25)。これにより、既存手法では、数時間を要していましたが、FT-IR で変性パ

ルプを評価することで、変性率を数分で定量できることを確認した。この結果から、2020年度にFT-IRを導入した。



図Ⅲ－2.1.5－25 変性率とのFT-IRピーク比

(ウ) マイクロスコープによるCNF複合樹脂の分散性評価

CNF複合樹脂ペレットのCNF分散性評価について、各CNF複合樹脂ペレットを試験片(60mm×10mm×4mm)に射出成形して、その表面をマイクロスコープ(キーエンス社製VHX-6000)で観察した。観察した画像は画像解析により、異物のカウント数と異物の面積率を測定した(表Ⅲ－2.1.5－40)。結果、表面のキズやCNF複合樹脂の着色具合が、異物のカウント数と異物の面積率に影響を及ぼすことがわかった。

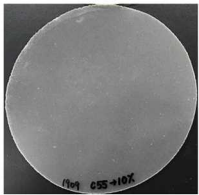
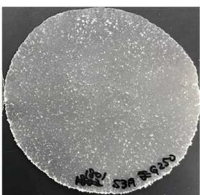

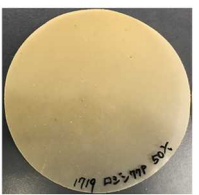
表Ⅲ－2.1.5－40 CNF複合樹脂ペレットのCNF分散性評価

| サンプルNo. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|------|------|-------|------|
| 試験片写真 | | | | |
| 目視分散判定 | ○ | × | ○ | × |
| 着色 | 薄い茶 | 薄い茶 | 薄い茶 | 濃い茶 |
| 試験片表面 | キズ無し | キズ無し | キズ有り | キズ無し |
| 異物カウント数 | 個 | 7 | 29999 | 11 |
| 異物面積率 | % | 0.4 | 5.1 | 0.0 |
| マイクロスコープ撮影画像 ×50 | | | | |
| マイクロスコープ解析画像 ×50 | | | | |

(エ) 夾雑物評価によるCNF複合樹脂の分散性評価

CNF (10%配合)複合樹脂ペレットをホットプレス180℃3分でフィルムにしたサンプルを紙中の異物を数値化するために測定する夾雑物評価(JIS P 8208)を用いて、CNFが均一分散せず、凝集物を評価できないか検討した。結果、夾雑物(夾雑面積0.02mm以上)個数と夾雑物面積が目視によるCNFの分散性と相関があることがわかった(表Ⅲ-2.1.5-41)。しかし、CNFの着色により上記夾雑物の数値との相関性が低くなるため、夾雑物を測定する際のフィルムの背景色を変えることで、CNFが着色しても夾雑物の数値とCNFの分散性との相関が維持できるよう今後検討する。






表Ⅲ-2.1.5-41 各CNF複合樹脂フィルムの夾雑物評価

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |  |  |  |
| 個数(個) | 3 | 119 | 265 | 743 |
| 面積(mm ² /m ²) | 6 | 2138 | 13161 | 3140 |

(オ) 分光測色計によるCNF複合樹脂の着色評価

次に分光測色計(コニカミルタジャパン社製CM-5)によるCNF複合樹脂の着色具合を評価することを検討した。サンプルとして、目視で着色具合の異なるCNF(55%配合)複合樹脂のペレットを分光測色計で明度(L値)と色度(a値、b値)を測定した。結果、各CNF(55%配合)複合樹脂ペレットの明度L値に大きな差でていることがわかった(表Ⅲ-2.1.5-42)。

表Ⅲ-2.1.5-42 各CNF複合樹脂ペレットの明度と色度

| サンプル | A | B | C | D | E |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |  |  |  |  |
| L値 | 64 | 62 | 65 | 71 | 69 |
| a値 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 |
| b値 | 25 | 24 | 24 | 21 | 21 |

(カ) パルスNMRによるCNF複合樹脂の水分測定

CNF複合樹脂や原料中に含まれる水分を簡易に測定する手法として、パルスNMR(ブルカージャパン社製minispec mq20)を用いることを検討した。CNF原料やパルプ原料を用いて、パルスNMRおよびハロゲン水分計(メトラー・トレード社製HX204)で水分率測定を行った。結果、パルスNMRにより測定した水分率がハロゲン水分計で測定した水分率よりもセルロース当たり4~5%低くなった(表Ⅲ-2.1.5-43)。考察として、パルスNMRでは自由水は測定可能であるが、セルロースの水酸基に結合する結合水は測定が困難であると考え。今後、低水分率の測定に適した商用装置の調査を進める。なお、本実験は国立研究開発法人 産業技術総合研究所 中国センター セルロース材料グループと共同で実施した。

表Ⅲ-2.1.5-43 パルスNMRおよびハロゲン水分計による各原料の水分率

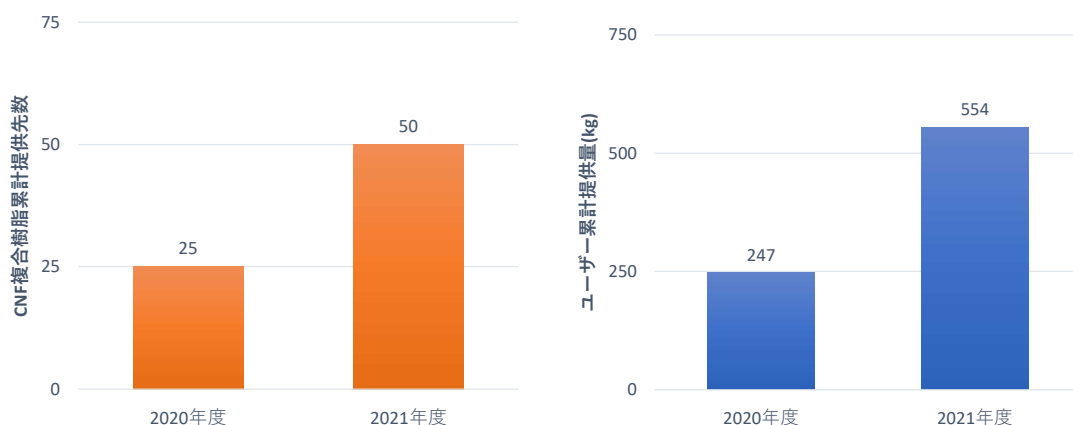
| | 水分率 | | 差異 (セルロース当り) |
|--------|--------|----------|-----------------|
| | パルスNMR | ハロゲンヒーター | |
| 変性CNF | 1.0% | 3.4% | 4.3% |
| 変性パルプ | 1.7% | 6.6% | 5.0% |
| 未変性パルプ | 2.1% | 6.4% | 4.3% |

改良点を見出すために、CNF複合樹脂(CNF10%配合)の力学物性、耐熱性、耐薬品性等の評価を行って課題と訴求点を抽出することはできたが、CNF複合樹脂品質項目として、強度や耐衝撃性、流動性、分散性、着色度に対して、変動値として、CNF化率や水分率の相関を確認する計画であったが、コロナ禍の影響により産総研での実験が行えなかったため、2022年度に実施できるよう計画する。

4) - 2 C N F 複合樹脂ペレットの用途展開

①加工性を含めた展開可能な用途の見極め

大王製紙株式会社はC N F 複合樹脂ペレットを 50 の企業または機関に 554kg を提供して評価を受けた(図Ⅲ - 2.1.5 - 26)。サンプルワークを広げて行い、必要な改善項目を抽出することができ、自動車用途や日用雑貨用途への展開を進める目標は達成できたが、電気電子用途への用途展開が未達であった。今後、展示会を通じて電気電子用途への展開を模索する。



図Ⅲ - 2.1.5 - 26 C N F 複合樹脂の累計提供先数と累計提供量

②各用途への展開

用途展開先としては、日用雑貨や自動車部品が多く、その他に食品用途や建材用途があった。今後の課題として家電用途への展開を進めていく必要がある。ユーザー評価の結果、抽出された課題として分散性、成形性、着色性があり、今後、分散性や強度の改善を進める。

2020年10月から2022年4月末の期間で、実用化に向けて、学会発表・講演を3件、新聞・雑誌等への掲載5件、書籍・プレスリリース・展示会への出展を14件行った。本研究成果について、社会に情報発信していくことで、CNF 複合樹脂の早期事業化を進める。

表Ⅲ－2.1.5－44 学会発表・講演

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 会議名 | 発表年月 |
|----|------|----------|----------------------------------|----------------------|------------|
| 1 | 玉城道彦 | 大王製紙株式会社 | レーサーへのCNF材料の応用事例 | ナノセルロースシンポジウム2021 | 2021年3月9日 |
| 2 | 山本満昭 | 大王製紙株式会社 | セルロースナノファイバー（CNF）『ELLE X』シリーズの開発 | 第1回PE研究会 | 2021年5月14日 |
| 3 | 今井貴章 | 大王製紙株式会社 | CNF 複合樹脂の開発 | プラスチック成形加工学会第32回年次大会 | 2021年6月17日 |

表Ⅲ－2.1.5－45 新聞・雑誌等への掲載

| 番号 | 所属 | タイトル | 掲載誌名 | 発表年月 |
|----|----------------------|----------------------------------------|-------------|------------|
| 1 | 大王製紙株式会社 | CNF 複合樹脂実証工場稼働 | 愛媛新聞, P16 | 2022年3月30日 |
| 2 | 大王製紙株式会社 | CNF 複合樹脂実証 大王製紙三島工場で能力年100トン | 日刊工業新聞, P12 | 2022年3月30日 |
| 3 | 大王製紙株式会社 芝浦機械株式会社 | CNF 複合樹脂実証工場稼働 | 静岡新聞, P7 | 2022年3月30日 |
| 4 | 大王製紙株式会社 | 大王製紙、プラント稼働 CNF 使い複合樹脂 愛媛の工場で | 日本経済新聞, P39 | 2022年3月31日 |
| 5 | 大王製紙株式会社 | 大王製紙、新プロセス確立へ セルロース複合材 普及のカギ「高濃度 MB 化」 | 化学工業日報, P3 | 2022年4月18日 |

表Ⅲ－2.1.5－46 プレスリリース

| 番号 | 所属 | タイトル | 発表年月 |
|----|----------|---------------------------|------------|
| 0 | 大王製紙株式会社 | セルロース濃度を高めた CNF 複合樹脂開発に成功 | 2020年8月20日 |
| 1 | 大王製紙株式会社 | CNF 複合樹脂パイロットプラント稼働 | 2022年3月29日 |

表Ⅲ－２.１.５－４７ 展示会

| 番号 | 所属 | 展示会名 | 展示物 | 発表年月 |
|----|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | 大王製紙株式会社 | 京都グリーンネットワーク | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2020年10月21日－ 31日 |
| 2 | 大王製紙株式会社 | ふじのくに CNF 総合展示会 | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2020年11月24日－ 2021年3月31日 |
| 3 | 大王製紙株式会社 | エコプロ 2020 | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2020年11月25日－ 12月25日 |
| 4 | 大王製紙株式会社 | nano tech展 | CNF 複合樹脂ペレットおよび 説明用パネル展示 | 2020年12月9日－ 11日 |
| 5 | 大王製紙株式会社 | 京都ケミカルネットワーク | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2021年11月2日 |
| 6 | 大王製紙株式会社 | 四国 CNF 体験セミナー | CNF 複合樹脂ペレットおよび 説明用パネル展示 | 2021年11月15日 |
| 7 | 大王製紙株式会社 | Global Bioeconomy Summit 2020 | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2021年11月16日－ 20日 |
| 8 | 大王製紙株式会社 | 第 60 回機能紙研究発表・講演 会オンデマンド展示会 | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレットの説明動画 | 2021年11月25日－ 12月25日 |
| 9 | 大王製紙株式会社 | ふじのくに CNF 総合展示会 | (オンライン) CNF 複合樹脂 ペレット説明用パネル | 2021年12月1日～ 2022年2月28日 |
| 10 | 大王製紙株式会社 | サステナブルマテリアル展 | CNF 複合樹脂ペレットおよび 説明用パネル展示 | 2021年12月8日－ 10日 |
| 11 | 大王製紙株式会社 | エコプロ 2021 | CNF 複合樹脂ペレットおよび 説明用パネル展示 | 2021年12月8日－ 10日 |
| 12 | 大王製紙株式会社 芝浦機械株式会社 | nano tech展 | CNF 複合樹脂ペレットおよび 説明用パネル展示 | 2022年1月26日～ 28日 |

1) 変性 CNF の製造技術開発

1)－1 抄紙法による薬液を用いて変性するパルプ変性技術の開発

スケールアップを見据え、薬液塗工巻取原反を得るための操業条件、および変性するための反応設備における運転条件を見出す。

原紙条件の変更、塗工条件を変更することで、さらなる薬液塗工量増加できる見込みである。当社に導入した連続反応設備で、おおむね最適な条件を見出したため、原紙の薬液塗工量の違い、パルプ配合比、原紙の水分率等の違いによる変性率を確認し、反応条件を確立する見込みである。

1)－2 変性パルプを最適な繊維サイズに解繊する技術の開発

抄紙設備等および反応設備を使用し、変性パルプを目的の繊維サイズに安定して解繊できる運転条件を見出す。

最適な電力負荷を設定することで、安定して解繊できる運転条件を確立できる見込みである。抄紙設備および反応設備を使用し、製造した変性パルプは離解し難く、補助離解機が必要なことから、離解設備メーカーでテストを実施して、最適な補助離解機を選定する見込みである。

1) - 3 C N F の凝集を防止する乾燥技術の開発

ドライヤー A より効率の良い乾燥プロセスを見出す。スケールアップに向けた乾燥プロセスフロー案を策定する。という最終目標に対して、脱水、乾燥プロセスの組み合わせにより、ドライヤー A より効率の良い乾燥プロセスの見通しが立った。C N F 複合樹脂の分散性は未確認のため、C N F 複合樹脂の分散性が良好となる脱水、乾燥プロセスを見出した上で、スケールアップに向けた乾燥プロセスフロー案を策定する。

2) 複合樹脂化技術の開発

2) - 1 C N F 複合樹脂製造に適した二軸押出機の開発

生産性、着色抑制、凝集防止を両立する原料配合条件を見出す。装置仕様を決定し、二軸押出機を大王製紙株式会社に導入する。という最終目標に対して、2021年度に生産性、着色抑制、凝集防止を両立する原料配合条件を見出し、仕様決定した上で、二軸押出機を導入し、目標を達成した。2022年1月より運転を開始している。

2) - 2 二軸押出機をC N F 複合樹脂製造のスケールアップに適した仕様に最適化

二軸押出機 (φ48mm) にて、250kg/h が可能な装置仕様となる改造を行い、運転条件、原料条件に最適化する。という最終目標に対して、芝浦機械株式会社での混練テストを経て、C N F 濃度66%の原料ペレットを用いて250kg/hの原料投入ペースで運転可能であることを確認している。また、大王製紙株式会社に導入した二軸押出機を用いて原料投入ペース250kg/hで運転可能であることを確認し、目標を達成した。

3) 一貫製造プロセスの構築

3) - 1 一貫製造のための設備仕様と運転条件の開発

離解、洗浄プロセスの操業における指標および基準を制定し、量産化一貫製造プロセスとして最適なフローを立案する。

離解・洗浄プロセスのテストデータから、最適な操業条件および基準を確立しながら、量産化プロセスフローに反映できる見込みである。

3) - 2 開発した各工程のコストの算出と最適な一貫プロセスの選定

事業化した際に、C N F を 50%以上配合する C N F 複合樹脂ペレットコスト目標を実現できる量産化ベースの改善案を提案する。

乾燥プロセスに脱水プロセスを加えることで大幅な生産性改善によるコスト低減を進め、C N F 複合樹脂ペレット目標コストとする技術や設備フローを提案できる見込みである。

3)－3 開発した各工程のCO₂排出量の算出と最適な一貫プロセスの選定

想定と実績の差異の要因について抽出し、量産化した場合の、従来の樹脂に比べ約 16 万 CO₂t/年削減できる一貫製造プロセスを立案し、さらなる改善案を提案する。

想定値と実績値の差異要因だけでなく、16 万 CO₂t/年削減できる一貫製造プロセスフロー及び改善案として脱水乾燥プロセスを提案できる見込みである。

4) C N F 複合樹脂の用途開発

4)－1 C N F 複合樹脂ペレットの評価

C N F 複合樹脂 (C N F 10%配合) の力学物性に加え、その他の機械的特性を含めた性能評価を行い、各用途の適性評価から、実採用に必要な改善項目を抽出する。想定される配合率 5%や 20%等の機械的特性試験を実施し、用途展開に向けた機械的強度の物性挙動を評価する。量産する際に必要となる品質管理体制の目途をつける。

様々な PP に C N F を複合化して機械特性を評価し、各用途展開に適する物性と比較することで、改善項目を抽出する見込みである。

また、量産化プロセスに応じた品質評価項目や評価頻度、品質管理工程を作成し、品質管理体制を確立する見込みである。

4)－2 C N F 複合樹脂ペレットの用途展開

サンプルワークの範囲をさらに広げ、直ちに展開できる用途に必要な品質情報から、懸案となる品質を明らかにして改善の目途をつける。サンプルワークで見出した展開可能先について、今後の展開計画案を完成させる。自動車用途への展開に向けて自動車メーカー、ティア 1 メーカーの協力を得て継続して試作を行い、加工性の評価、課題を発掘する。電気電子用途への展開に向けて家電メーカー等の協力を得て、加工性の評価等から課題を発掘する。その他、日用品雑貨用途への展開に向けて、自社製品で使用する容器、自社の取引先メーカーで製品化を視野に加工性の評価、課題を発掘する。

展示会やプレス発表で C N F 複合樹脂をアピールし、サンプルワークの範囲を広げ、抽出した課題に対する改善案を立案することで、事業化に関する計画を提案できる見込みである。自動車用途や日雑用途では評価が進み、課題を抽出できている。電気電子用途へ積極的にサンプルワークを進め、課題を抽出する。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

2020年10月から2022年4月末の期間で、知的財産等の確保に向けて特許を10件出願した。引き続き、知的財産の確保および本技術の実用化に向けた取り組みを進める。

表Ⅲ－2.1.5－48 特許出願・論文・外部発表の件数

| 年度 | 特許出願 | 論文 | 外部発表 | | |
|------|------|----|-------------|----------------|-----------------------------|
| | | | 学会発表 ・講演 | 新聞・雑誌等 への掲載 | その他 (書籍・プレス リリース・展示会) |
| 2020 | 3 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| 2021 | 7 | 0 | 2 | 4 | 10 |
| 2022 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 計 | 10 | 0 | 3 | 5 | 14 |

2.1.6 テーマ 6「高性能、高生産性セルロースナノファイバー複合材料の革新的製造プロセスの開発」

(星光PMC株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

本事業で開発を目指す技術の全体像

本事業では、セルロースナノファイバー（CNF）の構造材料分野での実用化に向けて、CNF 複合材料の製造プロセスについて、①原料パルプの「前処理プロセス」、②パルプを疎水化剤で処理して変性パルプを得る「変性プロセス」、③変性パルプと樹脂を混練してCNF 複合材料を得る「複合化プロセス」それぞれについて抜本的見直しを行い、製造コストの大幅な低減を目指す。

技術的な重要性

CNF は木材や草本、農業廃棄物など地球上に豊富に存在する非可食性バイオマス为原料とし、軽量、高強度、高弾性、高比表面積、低線熱膨張、 $-200^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ まで弾性率が殆ど変化しないなどの優れた特性から、学術分野のみならず産業分野においても幅広く研究・開発が進められており、既にボールペンのインク・化粧品・食品等の粘度調整剤として、あるいは、ランニングシューズ・卓球ラケット等のスポーツ用品の部材原料として、実使用が始まっている。

その一方で、産業界より幅広いニーズがある自動車部材、住宅部材、家電筐体の樹脂部品の補強、即ち構造材料分野においてはCNFの普及は殆ど進んでいない。その理由として、CNFが非常に水に馴染みやすい親水性材料であるため、構造材料分野において多用されるポリエチレン（PE）やポリプロピレン（PP）など、疎水性の高いポリオレフィン樹脂と混ざりにくく、均一な複合材料を得るためには複雑な工程を導入したり、多量の薬剤を併用する必要があり、生産性、コスト、あるいは性能面で構造材料として幅広く使用できるレベルに至っていないことが挙げられる。

CNF 複合材料を構造材料分野で幅広く普及、実用化させるためには、同分野で許容できる価格までコストダウンすることと、構造材料に求められる物性の確保が必要である。

最終的な仕上がりイメージ

変性パルプ、及びCNF 複合材料の高性能、高生産性プロセスを確立する。

開発する技術の利用されるイメージ

本事業で開発した技術を活用したC N F 複合材料を、本事業の共同研究先であるトヨタ車体にて自動車部品としての実用化を目指す。得られたC N F 複合材料を様々な自動車部品、住宅部材、家電筐体など幅広い用途に展開し、C N F の普及に貢献する。

(2) 位置づけ、目標値

位置づけ

経済産業省による「平成25年度製造基盤技術実態等調査」では2020年度のC N F 製造コストイメージとして1,000円/kgの目標が示されているが、本事業開始前のC N F 複合材料の製造コストはこの目標とは乖離がある。

さらに構造材料分野で現在使われている樹脂材料として、タルクやガラス繊維等の無機材料で補強されたポリオレフィン樹脂があり、実価格は500～600円/kgである。そのため、C N F 複合材料を構造材料分野で使用するためには、C N F 複合材料の製造コストを大幅に低減する必要がある。

目標値

2024年度末までにC N F 複合材料製造コストを¥700/kg以下が見通せる基盤技術を確立し、構造材料分野においてC N F 複合材料の実用化への道筋を立てる。

事業者の独自性、優位性

事業者である星光PMC株式会社は製紙用薬品事業で培った種々のセルロース変性・改質技術を有している。また、2007年度より京都大学・矢野教授をリーダーとしたC N F 複合材料に関する複数のN E D Oプロジェクトに参画し、樹脂中でパルプ繊維を直接ナノ解繊させる「京都プロセス」の開発に貢献するなどC N F 複合材料の開発においても多くの知見を有する。さらに、保有するセルロースの変性・改質技術やプロジェクト成果の実証・評価を進める目的で、2013年度に経済産業省イノベーション拠点立地推進事業を活用して星光PMC亀ヶ崎工場内にパイロットプラントを開発・設置した。これまでに培ったセルロース改質技術、N E D Oプロジェクトの成果、そしてパイロットプラントを活用することで、京都プロセスをベースとした星光PMC独自のC N F 複合材料の開発を進め、2018年に他社に先駆けてC N F 樹脂複合材料の商用生産を開始。同年、ランニングシューズのクッション材に採用された。

本事業においては、C N F 研究の世界的トップランナーで高度な分析、解析技術を持つ京都大学と星光PMCが連携することで京都プロセスのさらなる生産性向上、複合材料の物性向上に取り組むことが可能となる。また、植物由来材料を自動車に搭載した実績を有し、自動車部材に求められる性能を熟知しているトヨタ車体株式会社との連携により、C N F 複合材料の特性が活きる自動車部品設計や利活用方法の開発が実現できる。

(3) 全体計画

本事業では、構造材料分野にてCNFを幅広く普及させるために、CNF複合材料の各製造プロセス、①前処理プロセス、②変性プロセス、③複合化プロセスについて抜本的見直しを行い、製造コストの低減と物性の向上を達成する（表Ⅲ—2. 1. 6—1）。また、④得られたCNF複合材料を用いて自動車部材としての実用物性を行うと同時に、⑤CNF複合材料の特性を活かせる部品形状の設計や利用法の開発を行う。

表Ⅲ—2. 1. 6—1：各研究開発項目で行う内容と2024年度末の達成目標

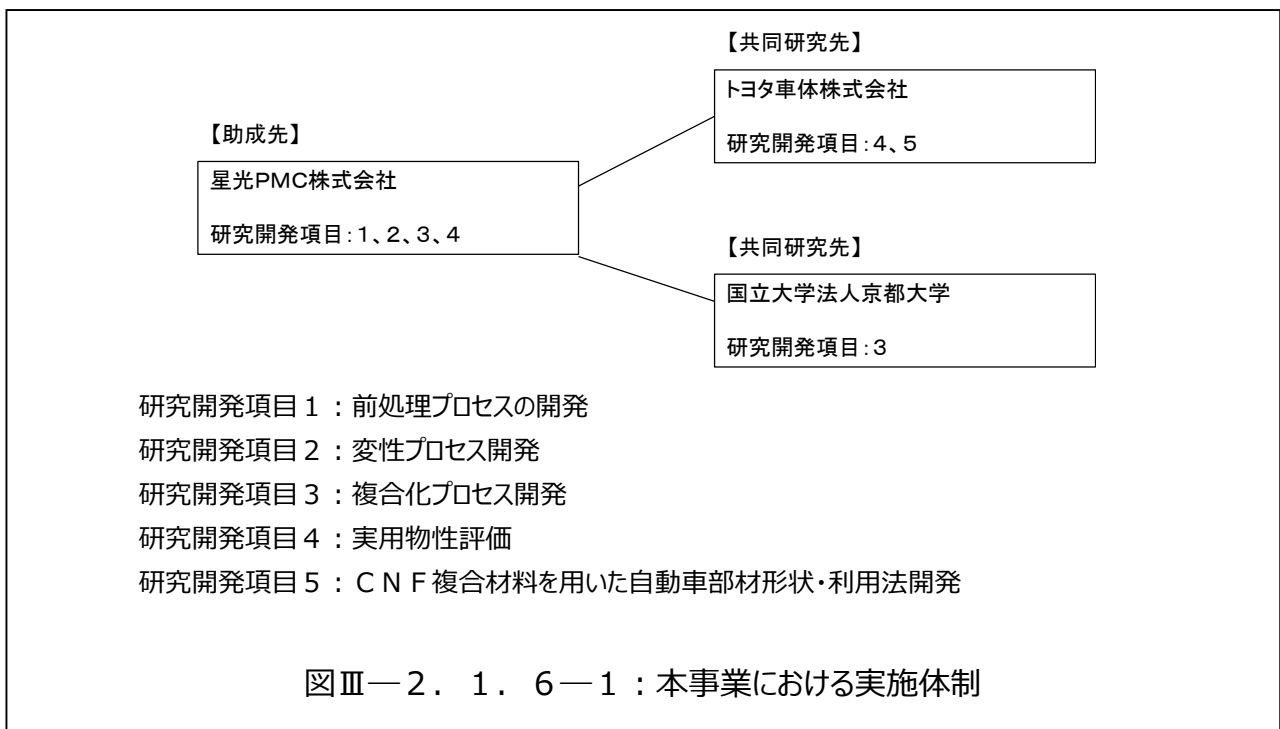
| 研究開発項目 | 概要 | 2024年度末目標 |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ①前処理プロセスの開発 (担当：星光PMC) | ・CNF複合材料に適した安価な汎用パルプを選定、また新プロセス向け設備を選定、導入、運用することで効果的な前処理方法・技術を確立する | ・汎用パルプを原料に使用して従来と同等の材料物性を確保する ・前処理プロセスの生産速度を向上させる |
| ②変性プロセス開発 (担当：星光PMC) | ・従来の疎水化剤よりもCNF複合材料の物性が向上できる新規疎水化剤の開発を進めると同時に、新疎水化剤に適した設備を選定、導入、運用することで変性プロセスを改良する | ・変性プロセスの生産速度を向上させる ・複合材料物性を向上させる新規疎水化パルプを開発する |
| ③複合化プロセス開発 (担当：星光PMC/ 京都大学) | ・設備拡充でCNF複合材料の生産性を向上させる ・生産性向上と物性向上を目的として混練条件の基礎検討を行う ・新規相溶化剤を設計、開発、適用することで物性向上、混練時の処理速度を高めても物性を維持させることで、CNF複合材料の生産性の向上を図る | ・設備の拡充、混練条件の最適化、新規相溶化剤の導入により生産性と複合材料物性の両立を達成する |
| ④実用物性評価/ ⑤CNF複合材料を用いた自動車部材形状・利用法開発 (担当：トヨタ車体) | ・CNF複合材料の物性評価を行う ・CNF複合材料の特性を活かせる部品形状の設計や、利用法の開発を行う | ・複合材料の基礎物性の向上 ・CNF複合材料に適した部材形状、成形法の確立 |

(4) 実施体制

星光PMC株式会社（助成先）：研究開発項目1～3を担当。製造コストの低減ができる製造プロセスを開発する。加えて、実用物性評価のためのサンプルを作成し、共同研究先に提供する。

国立大学法人京都大学（共同研究先）：研究開発項目3において、得られたCNF複合材料についての高度な評価・解析を行い、解析結果に基づいたCNFに最適な相溶化剤の設計および開発を行う。

トヨタ車体株式会社（共同研究先）：研究開発項目4, 5を担当。CNF複合材料の評価結果をフィードバックし、製造プロセス開発に活かす。これと並行して、CNF複合材料の特性を活かせる部品形状の設計や、利用法の開発を行う。（図Ⅲ—2. 1. 6—1）



(5) 運営管理

助成先内での運営管理：事業全体及び研究開発項目ごとの打ち合わせを週1～2回実施。
共同研究先との打ち合わせ：京都大学、トヨタ車体とは研究の進捗、評価状況に応じて技術的内容の打ち合わせ（WEB会議含む）を実施。メール／TELも活用した積極的な議論を交えて開発を進める。

(6) 実施の効果

自動車部品用途でCNF複合材料の実用化が達成されると共に、住宅、建材、家電筐体など幅広い用途への展開が可能となる。

<研究開発成果>

(1) 中間目標（2021年度）の達成度、達成可能性、課題

2020年度から2021年度においては各研究開発項目について、設備面、ケミカル面の各要素技術について開発を行った。設備面においては各製造プロセスに必要な設備の選定、仕様決定を行った。また、設備が納品されるまでの間にメーカー所有のテスト機を試用して先行開発を行った。加えて、各製造プロセスにおいて使用する各種化学薬品の開発を行い、開発した化学薬品を上記テストに持ち込み、試験を行った。そして、一連の開発で得られたCNF複合材料について試験片での基礎物性評価、自動車部材成型品での実用物性評価を行い、開発を進めた。

これらの取り組みにより、表Ⅲ-2. 1. 6-2に示すようにいずれの研究開発項目においても2021年度末の中間目標を達成した。

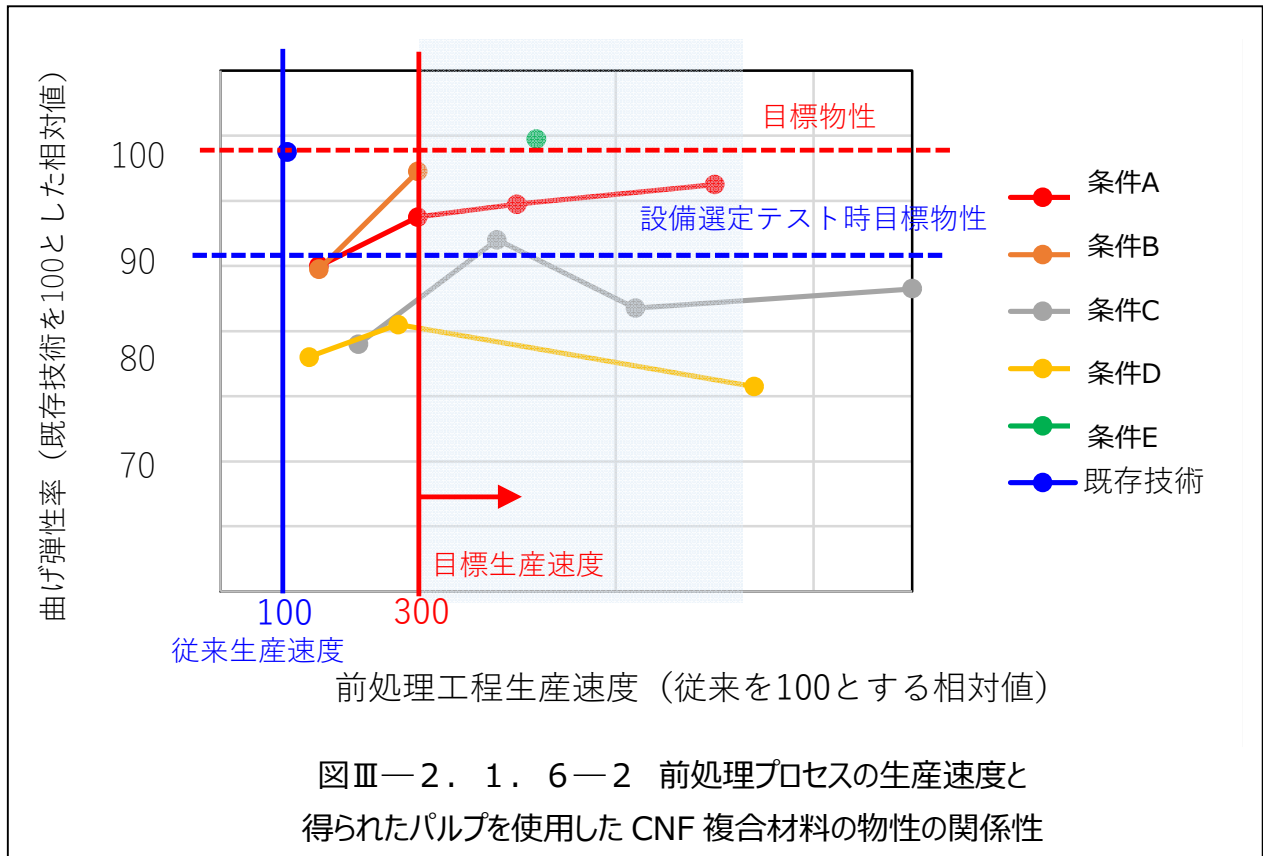
表Ⅲ-2. 1. 6-2：2021年度末時点での成果と達成状況

| 研究開発項目 | 2021年度末目標 | 研究開発成果（2021年度末） | 達成度 | 原因・課題と 解決方針 ※未達の場合のみ |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------|
| ①前処理プロセスの開発 (担当：星光PMC) | ・生産速度を向上させられる新プロセス、設備の仕様を決定する | ・メーカー所有設備にて汎用パルプを使用して前処理を実施。処理後のパルプを変性、樹脂と複合化したところ、既存技術の9割以上の物性が得られた。 ・装置運転条件の最適化により既存技術と同等以上の物性で生産速度を上げる前処理方法を見出した。 | ○ | - |
| ②変性プロセス開発 (担当：星光PMC) | ・生産速度を向上させられる設備の仕様を決定する ・従来の疎水化パルプよりもCNF複合材料の物性が向上させられる新規疎水化パルプを見出す | ・各種の疎水化方法を検討し、従来の疎水変性よりも物性向上効果に優れる新規疎水化剤を選定した。 ・この新規疎水化剤をメーカー所有のテスト機と組み合わせることで開発テストを実施したところ、既存の疎水化パルプと同等あるいはそれ以上の材料物性を有し、かつ変性プロセスの生産速度を向上させられる新規疎水化パルプを開発できた。 | ○ | - |
| ③複合化プロセス開発 (担当：星光PMC/ 京都大学) | ・混練条件の最適化により、生産速度を上げても従来と同等の材料物性を確保する | ・設備メーカーでテストを実施。拡充設備の仕様を決定し、設備導入に向けた準備を進めた。 ・混練時のスクリーパターンを最適化することで生産速度を上げても未分散物が発生し難く、曲げ弾性率を維持することができるようになった。 | ○ | - |
| | ・標準品より物性向上に優れる新規相溶化剤を見出す | ・標準品より物性向上に優れる新規相溶化剤を見出した。 | ○ | - |
| ④自動車部材としての実用物性評価/ ⑤CNF複合材料を用いた自動車部材形状・利用法開発 (担当：トヨタ車体) | ・自動車部品用金型作成のための成形試験を実施する ・CNF複合材料に適したデザインの金型を設計、製作し、実用物性評価を行う | ・自動車材料に必要な基礎物性評価を実施し、2021年度末時点で翌2022年度末に達成すべき物性目標をクリアした。 ・基礎物性評価の結果をもとに自動車部品用の金型を製作し、実用物性を評価したところ、いくつかの課題があることがわかった。2022年度に引き続き試作開発を進める。 | ○ | - |

(2) 研究開発の成果と意義

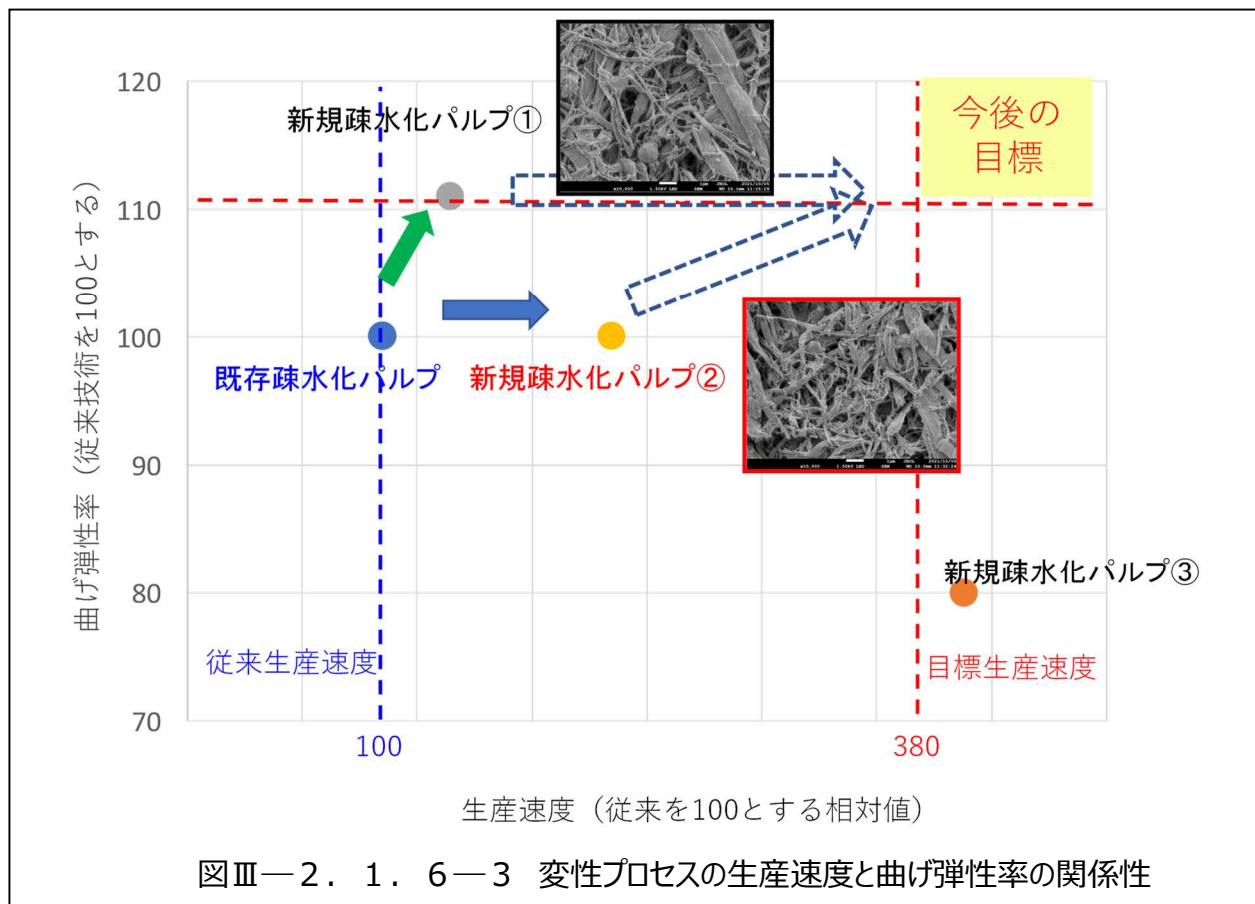
研究開発項目 1 : C N F 原料の前処理プロセスの開発

汎用パルプを使用して前処理を実施。処理後のパルプを変性、樹脂と複合化したところ、既存技術の9割以上の物性が得られた（図Ⅲ—2. 1. 6—2の条件A、B）。また、装置運転条件の最適化により既存技術と同等以上の物性を維持し、かつ生産速度を3倍以上に高められる前処理方法を見出した（条件E）。今後、導入される設備でさらに改良を進める。



研究開発項目 2 : 高性能・高生産性変性プロセス開発

各種の疎水化方法を検討し、従来の疎水変性よりも物性向上効果に優れる新規疎水化剤を選定した。この新規疎水化剤と新たに開発した疎水化プロセスを組み合わせることでテストを実施したところ、既存の疎水化パルプと同等あるいはそれ以上の材料物性を有し、かつ変性プロセスの生産速度を向上させられる新規疎水化パルプを開発できた。(図Ⅲ—2. 1. 6—3)。今後、プロセスの改良を進め、物性と生産速度のさらなる向上を図る。

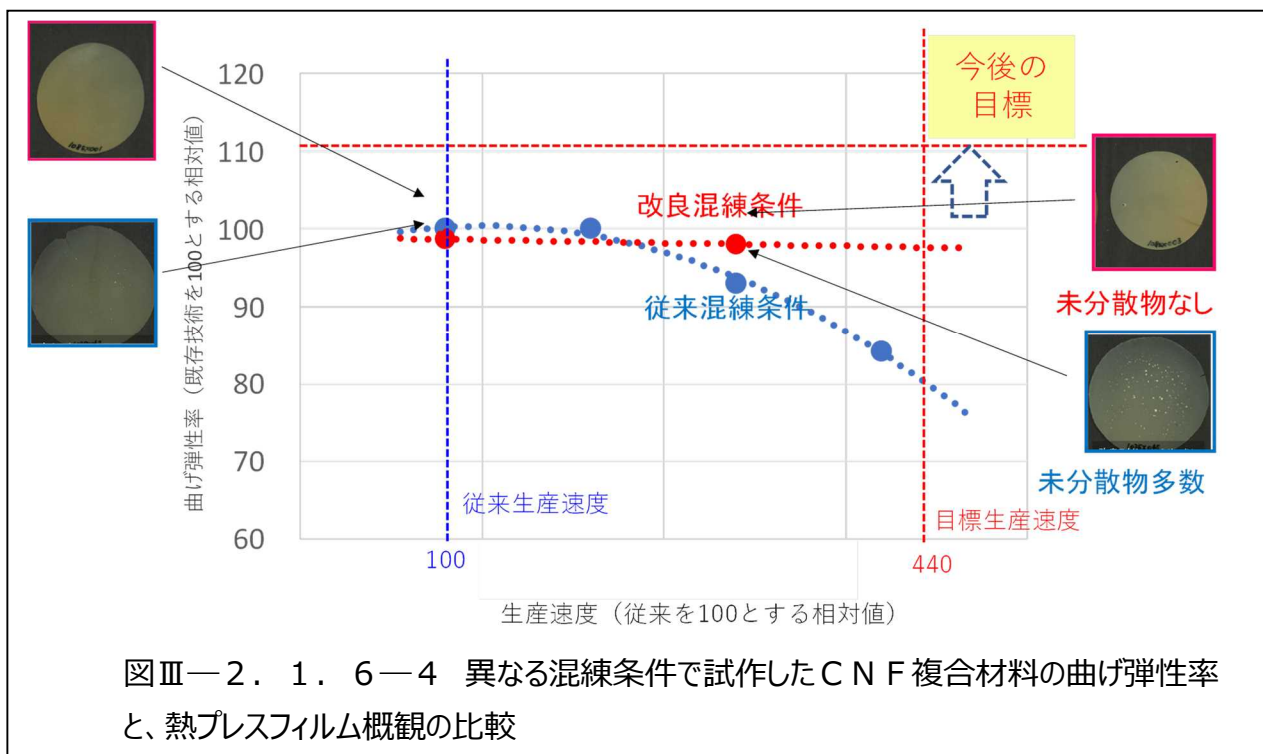


研究開発項目 3 : 高性能・高生産性複合化プロセス開発

<混練>

設備メーカーでテストを実施。拡充設備の仕様を決定し、設備導入に向けた準備を進めた。

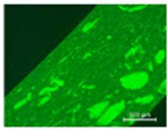
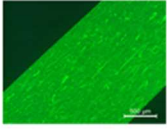
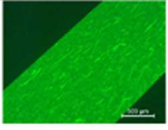
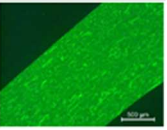
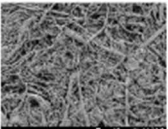
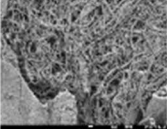
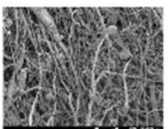
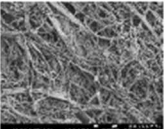
従来の混練条件では生産速度を上げると未分散物が発生して、曲げ弾性率が低下してしまうが（図Ⅲ-2. 1. 6-4の青プロット）、混練機のスクリーパターンを最適化することで生産速度を上げて未分散物が発生し難く、かつ曲げ弾性率を維持できる製造条件を見出した（図Ⅲ-2. 1. 6-4の赤プロット）。



<相溶化剤（京都大学と共同研究）>

ハンセン溶解度パラメータ（HSP）を用いて新規相溶化剤を設計、合成し、評価を行った。その結果、曲げ物性向上効果の高い新規疎水化剤 B、衝撃特性向上効果の高い新規相溶化剤 C を見出した（表Ⅲ－2. 1. 6－3）。

表Ⅲ－2. 1. 6－3 各種複合材料の物性と繊維の分散状態

| | 新規相溶化剤A | 新規相溶化剤B | 新規相溶化剤C | 標準品 |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 変性セルロースとのHSP距離 | 7.2 | 9.1 | 12.5 | 13.8 |
| 複合材料弾性率 （標準品使用時を100とする） | 96 | 106 | 101 | 100 |
| 複合材料シャルピー 衝撃強度（標準品使用時を100とする） | 93 | 90 | 120 | 100 |
| 蛍光顕微鏡 （50倍） |  |  |  |  |
| SEM （3000倍） |  |  |  |  |

研究開発項目4 / 研究開発項目5：自動車用部材としての実用物性評価 / CNF 複合材料を用いた自動車部材形状・利用法開発（トヨタ車体と共同研究）

星光PMCより提供したCNF複合材料を用いて、基礎物性評価を実施し、2021年度末時点で2022年度末に達成すべき物性目標をクリアした。

基礎物性評価で得られた知見をもとに自動車部品用の金型を製作し、2021年度末に実用物性を評価したところ、いくつかの課題があることがわかった。2022年度に引き続き試作開発を進め、克服を目指す。

テーマ間連携に向けた取り組み

本事業においてはCNF複合材料の一連の製造プロセス開発を星光PMCで実施している。得られたCNF複合材料の分析は共同研究先である京都大学で、実用物性評価はトヨタ車体で行い、それぞれの評価結果を開発にフィードバックすることで開発をスムーズに進めている。

(3) 最終目標（2024年度）の達成可能性と課題

各研究開発項目の目標と、達成見通しを表Ⅲ—2. 1. 6—4に示す。

表Ⅲ—2. 1. 6—4 2024年度末目標の達成見通し

| 研究開発項目 | 2024年度末目標 | 研究開発成果（2021年度末） | 達成見通し |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ①前処理プロセスの開発 （担当：星光PMC） | ・汎用パルプを原料に使用して従来と同等の材料物性を確保する ・前処理プロセスの生産速度を向上させる | ・メーカー所有設備にて汎用パルプを使用して前処理を実施。処理後のパルプを変性、樹脂と複合化したところ、既存技術の9割以上の物性が得られた。 ・装置運転条件の最適化により既存技術と同等以上の物性で生産速度を上げる前処理方法を見出した。 | ・現時点においては、各研究開発項目で得られた要素技術を組み合わせ、2022年度に導入する設備を運用することにより最終目標を達成できる試算結果。 |
| ②変性プロセス開発 （担当：星光PMC） | ・変性プロセスの生産速度を向上させる ・複合材料物性を向上させる新規疎水化パルプを開発する | ・各種の疎水化方法を検討し、従来の疎水変性よりも物性向上効果に優れる新規疎水化剤を選定した。 ・この新規疎水化剤をメーカー所有のテスト機と組み合わせ、開発テストを実施したところ、既存の疎水化パルプと同等あるいはそれ以上の材料物性を有し、かつ変性プロセスの生産速度を向上させられる新規疎水化パルプを開発できた。 | |
| ③複合化プロセス開発 （担当：星光PMC/ 京都大学） | ・設備の拡充、混練条件の最適化、新規相溶化剤の導入により生産性と複合材料物性の両立を達成する | ・設備メーカーでテストを実施。拡充設備の仕様を決定し、設備導入に向けた準備を進めた。 ・混練時のスクルーパターンを最適化することで生産速度を上げて未分散物が発生し難く、曲げ弾性率を維持することができるようになった。 | |
| | | ・標準品より物性向上に優れる新規相溶化剤を見出した。 | |
| ④自動車部材としての実用物性評価/ ⑤CNF複合材料を用いた自動車部材形状・利用法開発 （担当：トヨタ車体） | ・複合材料の基礎物性の向上 ・CNF複合材料に適した部材形状、成形法の確立 | ・自動車材料に必要な基礎物性評価を実施し、2021年度末時点で翌2022年度末に達成すべき物性目標をクリアした。 ・基礎物性評価の結果をもとに自動車部品用の金型を製作し、実用物性を評価したところ、いくつかの課題があることがわかった。2022年度に引き続き試作開発を進める。 | 左記の通り2022年に実施する実用物性評価結果も踏まえ、2024年度末に達成する基礎物性目標などの適宜見直しを行う。 |

<製造コストについて>

各研究開発項目で得られた要素技術を組み合わせ、各設備を導入・運用することにより、最終目標を達成できる試算結果である。

<物性について>

前述の通り、2021年度末の時点で2022年度末の物性目標は達成できた。一方、実用物性評価においてはいくつかの課題があることがわかってきた。2022年に実施する実用物性評価結果も踏まえ、2024年度末に達成する基礎物性目標などの適宜見直しを行う。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

本事業で得られた成果について順次特許出願を行い権利を確保するよう進めている。

2.1.7 テーマ 7「ウォータージェット技術を用いた革新的 CNF 製造プロセス技術の開発および乾燥技術の開発」 (株式会社スギノマシン)

<2.1.7.1 テーマの概要>

(1) 背景と目的

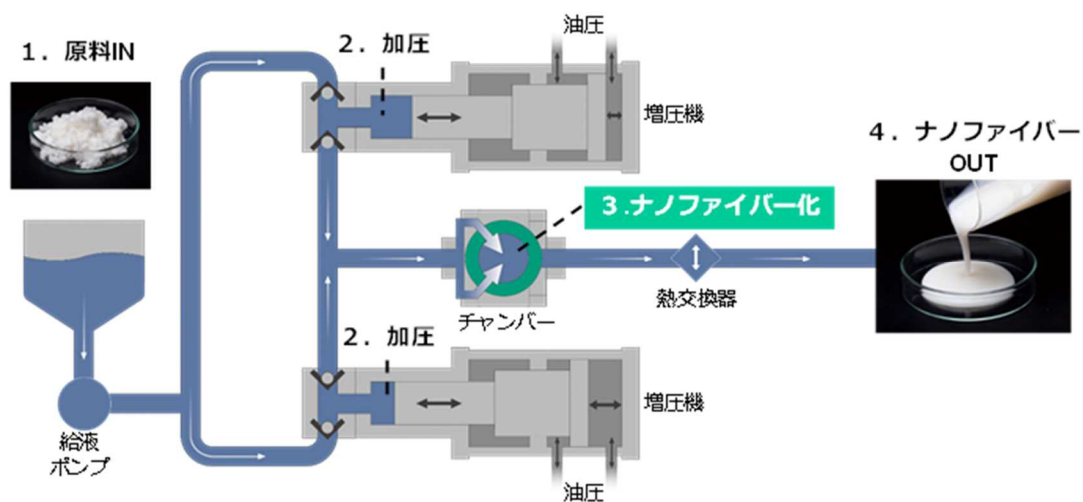
セルロースナノファイバー (CNF) は、自然界に存在する再生可能資源でありながら、高強度・低熱膨張・軽量・高比表面積などの優れた特性を有しているため、世界中で注目されている。しかしながら、植物中で CNF 同士は、分子間水素結合を形成し強固に結合しているため、それらを切断し CNF を製造することは容易ではない。そのため、効率良く分子間水素結合を切断して CNF を製造する手法が化学的 (化学修飾)、物理的 (機械処理) に開発、実用化されており、現在多種多様な種類が存在している。

その機械処理方法の代表格の一つは、当社が開発し、CNF 製造に活用している「ウォータージェット法」である。ウォータージェット法の模式図を図Ⅲ-2.1.7-1 に示す。ウォータージェット法は、セルロース水分散液を高圧まで加圧し、ダイヤモンドノズルから噴射、セルロース水分散液同士もしくは硬質体に衝突させることで、高速によるせん断力、衝突時の衝突力、そしてキャビテーション気泡の消滅時の衝撃力でセルロース中の分子間水素結合を効率的に切断し、CNF を製造する手法である。本ウォータージェット法の特徴 (優位性) は下記の通りである。

- a) 水と原料のみで CNF 化が可能のため、環境・人体に優しい。
- b) 粉碎媒体を使用していないため、コンタミネーションが極めて少ない。
- c) エネルギー密度が高いため、短時間・高効率で CNF 化が可能である。
- d) 連続処理が可能であり、装置のスケールアップ・ナンバリングアップで大量製造も容易である。
- e) 高濃度・高粘度な原料の処理も可能である。
- f) 過度な力を用いた強引な CNF 化でないため、原料のファイバー形状を壊さない。
- g) 噴射圧力や衝突回数を制御することで、得られる CNF の物性を制御できる。

ウォータージェット法は、現在の機械処理による CNF 製造方法の中で最も高効率で低コストな手法の一つではあるが、まだまだ高コストであり、経済産業省がロードマップとして示した、「2030 年に 500 円/kg」を達成するためには、ブレイクスルーが必要である。当社では、2011 年 10 月より CNF を「BiNF-i-s (ビンフィス)」の商品名で製造・販売している¹⁾。納入業界としては、化学・自動車・電気電子部品・建築・化粧品・食品など様々であり、着実に売上を伸ばしているが、実製品に採用されたものは少量利用の用途が多く、CNF のマーケット規模は決して大きくないと理解している。そのマーケット規模を爆発的に拡大させるためには、コスト低減は重要課題の一つである。

また、用途によっては、微細 CNF（高解繊）までは必要とせず、若干粗めの CNF（低解繊）で十分に効果を発揮している例もある。そのため、用途に適した CNF を生産することも重要である。ウォータージェット技術を応用することで、CNF の微細化度合い（解繊度合い）の制御も容易である（もちろん、低解繊にすることで一定のコスト低減効果も見込まれる）。



図Ⅲ-2.1.7-1 ウォータージェット法の模式図

乾燥技術および樹脂との複合化技術については、NEDO「平成 28 年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で富山県立大学と共同で開発を行った。その開発のコンセプトは、セルロースの化学修飾は行わず、CNF 水分散液への疎水化剤（凝集抑制剤）の添加のみで CNF 乾燥時の凝集を抑制し、樹脂への分散性も向上させるものであった。その後も富山県立大学とは共同研究を続けている。両者のこれまでの成果として、高付加価値用途向け（例えば、光学系や炭素繊維強化プラスチック（CFRP）など）には、開発した微細 CNF 乾燥粉末を 1 wt% 以下の少量添加することで「タフ化」や「寿命向上」といった他の CNF では報告事例のないユニークな効果を発揮することを見出しており、若干粗めの CNF 乾燥粉末は、補強や低熱膨張化など汎用的な効果に適していることを見出している。その成果を利用し、高付加価値用途向けの微細 CNF 乾燥粉末である「BiNF_i-s ドライパウダー」と、補強、低熱膨張用途向け（低コスト用途向け）の若干粗めの CNF 乾燥粉末である「BiNF_i-s セルロースマイクロファイバー」を商品化し、一部ではマスターバッチでの提供も行っている。しかしながら、CNF の特性を保ったままの乾燥は難しく手間がかかるため、上記の 2 品はいずれも高コスト品であり、水分散液で CNF を製造するコストよりも大幅に高くなっている。

両 CNF 乾燥粉末を合わせると既に 200 件以上の実績があり、そこから得た知見には次の様なものがある。「BiNF_i-s ドライパウダー」は少量添加で、透明性を維持した補強や発泡樹脂のセルの均一化、永久圧縮ひずみ抑制のような、微細形状だからこそ特性を出せる用途で実績を上げているが、単純な補強効果は乏しい。それに対して「BiNF_i-s セルロースマイクロファイバー」は補強と低熱膨張化の両立が可能だが、無機粒子やガラス繊維などと広い用途で競合している。

CNF 水分散液および CNF 乾燥粉末のいずれにも言える課題としては、大きく 2 つに分けられる。1 つ目は、「CNF を使いこなせない、CNF の機能を活かさない（CNF を入れても目的の機能を達しない）」ことであり、2 つ目は「コスト高」である。

そこで本研究開発では、下記の 2 点を目的に実施している。

- A) ウォータージェット技術を更に進化させ、高濃度処理化、高効率化（省エネ化）、解繊度促進そして自動化などの製造プロセスの最適化を実現することで CNF 水分散液の大幅なコスト低減を目的としている。さらには、CNF の特性を良く理解し、最適なラインアップの構築し、用途別に適した CNF を提案できるようになることを目的としている。
- B) 抜本的に疎水化剤（凝集抑制剤）や乾燥方法を見直すことで、CNF の特性を損なうことなく乾燥可能で、樹脂との相溶性も改善される乾燥方法・樹脂との複合化方法を開発し、その大幅なコスト低減を目的としている。乾燥方法は、高付加価値用途向け乾燥方法と低コスト用途向け乾燥方法の 2 パターンの開発を行っている。

CNF 水分散液および乾燥粉末のいずれも「用途にあった CNF の選定と使用方法の最適化」と「低コスト化」が重要であり、本研究開発の目的を達成し、活用することで CNF の利用が大幅に推進されると考えている。

（2）位置づけ、目標値

本研究開発の最終目標値は、NEDO 提案を考慮し、2020 年度末までに CNF 乾燥粉末の製造コストを 6,000 円/kg 以下、2024 年度末までに 3,000 円/kg 以下に低減し、得られた CNF 乾燥粉末を 10 wt% 添加した樹脂複合体の製造コストを 2020 年度末までに 1,000 円/kg 以下、2024 年度末までに 700 円/kg 以下とした（いずれも CNF および樹脂複合体の単独の製造コスト（原価）であり、設備の原価償却費、梱包輸送費などは含まない）。それらを達成するための技術開発を行っている。なお、本提案では、高付加価値用途と低コスト用途の 2 つに分けて提案する。なぜならば、CNF 添加の目的によって、必要な物性と許容コストは大きく異なるため、CNF 製造の段階でそこを意識した開発が必要なためである。

(2)-1 CNF 水分散液の製造コスト低減

まずは、CNF 水分散液の製造コストの目標を記す。現状のウォータージェット技術を利用した CNF 製造装置用いた際のコストと、本研究開発を達成した際のコスト目標の内訳を表Ⅲ-2.1.7-1 に示す（具体的な数値については、非開示とさせて頂く）。

ウォータージェット技術を利用した CNF 製造コストにおいて、最も低減に効果的な項目は、CNF 製造濃度の向上である。CNF 製造濃度を 1.5 倍にすることで、固形分換算の製造量が 1.5 倍となり、全体のコストは約 67 % に低減される。また、高濃度化すれば、乾燥時のエネルギー投入量も低減できる。しかしながら、CNF 製造の濃度向上は容易ではない。当社の代表的な CNF は、10 wt% で既に紙粘土状（150,000 mPa・s 以上、回転数 60 rpm で測定）であり、これ以上高濃度化すると粘度は更に上昇するためである。BiNF-i-s 代表例（W シリーズ）の 10 wt% 品の写真を図Ⅲ-2.1.7-

2に示す。この目標を達成するためには、給液ポンプやチェックバルブ（逆止弁）、攪拌機などを大幅に改良する必要があり、大きな研究開発要素である。また、CNFは製造時にウォータージェットの作用により高温となる。高粘度流体となったそれは冷えづらくなる。そのため、熱交換器の開発も必須となる。微細なCNFを製造するためには、複数回噴射・衝突させる必要もある。噴射・衝突回数の削減は、電力量削減（CO₂排出量削減）、消耗品の寿命向上にも繋がる。原料の種類を検討や、前処理による解繊の容易化など原料（セルロース）側を検討するとともに、ウォータージェット技術の肝である衝突部の改良も実施している。人件費の削減は、原料投入からCNF回収までを自動化・省人化する予定である。現在のCNF製造コストの内訳では、人件費が一番高いため、自動化・省人化によるコスト低減効果も大きい。なお、当社のウォータージェット技術は、噴射・衝突回数や噴射圧力の制御が容易であり、同じ装置で微細CNF（高付加価値用途）と低コスト用途CNFを生産できる。表Ⅲ-2.1.7-1は微細CNF（高付加価値用途）と低コスト用途CNFを分けて記す。技術課題と達成目標を表Ⅲ-2.1.7-2にまとめて示す。

表Ⅲ-2.1.7-1 ウォータージェット技術を利用したCNF製造のコスト目標

| | 研究開発前 | | 2022年度末目標 | | 2024年度末目標 | |
|-----------------------------------|--------|------|-----------|------|-----------|------|
| | 高付加価値 | 低コスト | 高付加価値 | 低コスト | 高付加価値 | 低コスト |
| CNF処理濃度 ^{*1} | 10 wt% | | 15 wt% | | 15 wt% | |
| 噴射・衝突回数 (省エネ) ^{*2} | 100 | 83 | 83 | 83 | 67 | 50 |
| 消耗品費 ^{*2,3} | 100 | 85 | 85 | 70 | 60 | 50 |
| 人件費 ^{*2,3} | 100 | 100 | 100 | 100 | 85 | 85 |
| 間接費 | 10 % | | | | | |
| CNF製造コスト (固形分換算) ^{*4} | 100 | 95 | 62 | 58 | 53 | 50 |

*1: BiNFi-s W シリーズ(標準繊維)使用時 *2: 現状、高付加価値用を100とした時の比率

*3: CNF水分散液を1,000 kg 製造した時の比率 *4: 乾燥費は含まない



図Ⅲ-2.1.7-2 10 wt% CNF水分散液

表Ⅲ-2.1.7-2 CNF 水分散液の技術課題と達成目標

| | 技術開発箇所 | 課題 | 技術達成目標（年度） |
|---|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 増圧機 | 省エネ | 現行増圧機効率よりも1%でも高く(2020) |
| 2 | 給液ポンプ、チェックバルブ（給液ユニット） | 高濃度化 | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に供給(2021) |
| 3 | 熱交換器 | 冷却 | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に冷却(2021) |
| 4 | 原料、衝突部 | 省エネ、消耗品 | 衝突回数17%減となる原料およびチャンバーの決定(2022) |
| 5 | 新規 CNF 製造装置 | 装置設計 (1, 2, 3, 4 統合、改良) | 1, 2, 3, 4 を総合し、新規 CNF 製造装置を設計、製造する(2022)、装置として、1, 2, 3, 4 も含めて改良する(2024) |
| 6 | 付帯設備と CNF 化装置のシステム化 | 自動化 | 原料投入から回収・搬送までの大部分の自動化(2024) |

(2)-2 乾燥および樹脂との複合化

次に、乾燥および樹脂との複合化の目標を記す。現状の高付加価値用途向け乾燥手法および低コスト向け乾燥手法における本研究開発の各コスト目標を表Ⅲ-2.1.7-3 およびⅢ-2.1.7-5 に示す。いずれも研究開発前の製造コストを100とした際に比率で示す。なお、CNFの製造コストは、上記((2)-1)の目標を達成した際の値を使用している。研究開発前的高付加価値用途向け乾燥手法および低コスト向け乾燥手法のいずれも開発して間もないため、少量生産であった。そのため、量産(大型化)することで大幅なコスト低減は見込める。しかしながら、CNF粉末を10 wt%添加した樹脂複合体の製造コストを2020年度末までに1,000円/kg以下、2024年度末までに700円/kg以下とするためには、乾燥手法から抜本的に研究開発を実施する必要がある。なお、本研究開発では、樹脂改質、相溶化剤および二軸混練技術の開発は念頭に置いていないため、樹脂はポリプロピレン(PP, 200円/kgと設定)、相溶化剤はマレイン酸変性PP(1,250円/kgと設定)、混練コスト(150円/kgと設定)とした。

なお、CNFを大きく普及させるためには、高コストでも許容可能な高付加価値用途向けCNF乾燥粉末で実績を作り、その間に、よりコストハードルの高く研究開発に時間がかかるとされる汎用的な低コスト用途向けCNF乾燥粉末の開発を実施することが得策と考えている。

(2)-2-1 高付加価値用途向けの乾燥手法の開発

高付加価値用途向けの乾燥は、微細状態を保てる乾燥方法を開発することが重要である。現状のコストの大部分は人件費であり、量産することでコストは約1/5に低減できる。その後、大型機や付帯設備導入による生産能力向上や自動化、乾燥開始濃度の高濃度化、添加剤の最適化を行うこと

で、CNF 同士の凝集を抑制し乾燥効率を向上させ、コスト低減を行っている。添加剤については、樹脂との相溶性を高め、CNF/樹脂複合体の高性能化の意味合いも大きい。例えば、ロジン系化合物など親水基と疎水基の両方を持つ化合物である。

微細 CNF 水分散液から微細 CNF 乾燥粉末を製造する方法では、NEDO の掲げる 2024 年度末目標を達成できないと考える。しかしながら、微細な CNF だからこそ効果を発揮する高付加価値用途（光学系や CFRP 向け、スポーツ用途など）が存在することも確かである。ユーザからのヒアリング結果によれば、少量添加、高付加価値用途であれば、CNF 粉末の価格として、10,000 円/kg で十分に実用化可能な用途もある。CNF の波及効果増大のためには、そのような高付加価値用途向けも視野に入れるべきであり、本研究開発を行っている。

表Ⅲ-2.1.7-4 に技術課題と達成目標をまとめて示す。高付加価値用途向けの CNF 乾燥粉末については、2022 年度までに量産化、乾燥前濃度の高濃度化、樹脂との相溶性改善などの目標を達成する。その後、CNF 水分散液からの搬入の自動化などを実施する。もちろん、量産化や高濃度化により CNF の特性が失われると本末転倒のため、現状を凌駕する特性の発現が可能な CNF 乾燥粉末であることは最も重要である。

表Ⅲ-2.1.7-3 高付加価値用途向け CNF 乾燥・樹脂複合化のコスト目標

| | 研究開発前 | 量産効果 | 2022 年度末目標 | 2024 年度末目標 |
|-----------------------|-------|------|------------|------------|
| 乾燥工程まで ^{*1} | 100 | 21 | 12 | 10 |
| 複合化工程まで ^{*2} | 100 | 26 | 16 | 15 |

* :乾燥粉末 1 kg を得るためのコスト（CNF 製造+添加剤+乾燥）

* 2:10 wt%CNF/PP 複合体 1 kg を得るためのコスト
（CNF 乾燥粉末 100 g+樹脂+相溶化剤+混練）

表Ⅲ-2.1.7-4 高付加価値用途向け CNF 乾燥・樹脂複合化の技術課題と達成目標

| | 技術開発箇所 | 課題 | 達成目標(年度) |
|---|--------------|------|-----------------------------------------|
| 7 | 装置の大型化 | 量産化 | 大型機の導入後の CNF 特性は現状を凌駕(2022) |
| | 乾燥条件、添加剤、ポンプ | 高濃度化 | 乾燥開始濃度を現行の 1.3 倍、CNF 特性は現状を凌駕(2022) |
| | 添加剤 | 相溶性 | 透明樹脂、CFRP などのさらなる高機能化が可能となる添加剤の選定(2022) |
| | 付帯設備、ソフト | 自動化 | CNF 製造装置からの供給の自動化(2024) |

(2)-2-2 低コスト向け乾燥技術の開発

NEDO2024 年度末の目標を達成する手法として、次に低コスト向け乾燥方法について記す。低コスト向け乾燥方法は、高付加価値用途向けの乾燥方法と比較して、微細な CNF 粉末を得ることには

拘らず、樹脂中で補強、低熱膨張効果といった CNF に期待されている特性を発現できれば、乾燥粉末形状は特に選ばないというコンセプトで考えている。現状の乾燥方法の延長では目標のコストを達成することは困難であり、大幅な見直し（研究開発）が必要と考えている。現状は、(a)高エネルギーおよび乾燥時間が長い、(b)乾燥後粗粉碎が必要（工程が増え、エネルギー費、人件費も増える）、といった 2 つの大きな問題点がある。下記の通りの研究開発を実施することで、2022 年度末までに各種乾燥テストを完了し、目標を達成できる見込みであれば、設備構成を決定・導入・最適化（改良）することで、2024 年度末までに NEDO の目標を達成する予定である。もちろん、目指す CNF/PP 複合体の物性は、現行よりも高みを目指す。特に衝撃強度を維持しながら補強できる材料を意識する。表Ⅲ-2.1.7-6 に技術課題と達成目標をまとめて示す。

表Ⅲ-2.1.7-5 低コスト用途向け CNF 乾燥・樹脂複合化のコスト目標

| | 研究開発前 | 量産効果 | 2022 年度末目標 | 2024 年度末目標 |
|-----------|-------|------|------------|------------|
| 乾燥工程まで* | 100 | 74 | 50 | 12 |
| 複合化工程まで*2 | 100 | 78 | 57 | 25 |

* :乾燥粉末 1 kg を得るためのコスト（CNF 製造+添加剤+乾燥）

* 2:10 wt%CNF/PP 複合体 1 kg を得るためのコスト
（CNF 乾燥粉末 100 g+樹脂+相溶化剤+混練）

表Ⅲ-2.1.7-6 低コスト用途向け CNF 乾燥・樹脂複合化の技術課題と達成目標

| | 技術開発箇所 | 課題 | 達成目標(年度) |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8 | 低コストであり、粗粉碎の必要がなく、且つ補強や低熱膨張化、衝撃強度向上などを達成可能な CNF 粉末用の新規乾燥方法の開発（マイクロ波利用など、添加剤、プレマスターバッチ化） | 省エネ | 乾燥方法の予備テスト終了(2022) |
| | | 工程削減 | 装置の導入、稼働、改良(2024) |
| | 添加剤 | 相溶性 | 現行 CNF/PP 複合体の物性以上の CNF/PP 複合体の製造(2024) 補強や低熱膨張化、衝撃強度向上などを達成可能な CNF 粉末となる添加剤の選定(2024) |
| | 付帯設備、ソフト | 自動化 | CNF 製造装置からの供給の自動化(2024) |

(3) 全体計画

ウォータージェット技術を進化させ、低コストで CNF 水分散液を製造する研究開発を行っている。例えば、給液ポンプや攪拌機などの給液ユニットの開発による高濃度化や製造工程の自動化、原料セルロースの最適化や衝突方法の開発による解繊効率の向上である。それぞれは省エネ、CO₂ 排出量の

低減に繋がる。同時に、CNF の特性を損なうことなく乾燥する手法の研究開発を行っている。乾燥手法としては、高付加価値用途向けと低コスト向けの 2 パターンの研究開発を行っている。研究開発項目は①～⑧を設けており、全体計画を表Ⅲ-2.1.7-7 に示す。

表Ⅲ-2.1.7-7 全体化計画

| 事業項目 | 2020年度 | | | | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | | 2023年度 | | | | 2024年度 | | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 第1 四 半 期 | 第2 四 半 期 | 第3 四 半 期 | 第4 四 半 期 | 第1 四 半 期 | 第2 四 半 期 | 第3 四 半 期 | 第4 四 半 期 | 第1 四 半 期 | 第2 四 半 期 | 第3 四 半 期 | 第4 四 半 期 | 第1 四 半 期 | 第2 四 半 期 | 第3 四 半 期 | 第4 四 半 期 | 第1 四 半 期 | 第2 四 半 期 | 第3 四 半 期 | 第4 四 半 期 |
| ①増圧機の最適化 | | | 増圧機効率検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②チェックバルブ(逆止弁)、給液ポンプの試作・テスト | | | 給液ポンプテスト | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③熱交換器の設計 | | | 給液コックの検討・テスト | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ④原料検討、衝突方式検討による噴射・衝突回数の削減 | | | 熱交換器設計・製造・テスト | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良 | | | 衝突方式構想 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 原料入手、解繊テスト | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 新規 CNF 製造装置設計・製造 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑥付帯設備の最適化、CNF 製造工程の自動化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑦高付加価値用途向け乾燥手法の検討、開発 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑧低コスト用途向け乾燥手法の検討、開発 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[1] 増圧機の最適化（担当：株式会社スギノマシン）

現在の CNF 製造装置の増圧機は、油圧を利用したタイプである。当社の高圧発生機構は、この油圧を利用したタイプの他に、サーボモータを利用したタイプもある。油圧は、電気⇒油圧⇒水圧とエネルギーを変換しているため、効率は低めである。それに対してサーボモータは電気を直接水圧にしているため、効率は比較的良い。しかしながら、サーボモータを利用することで部品の構成要素は大幅に変更されるため、イニシャルコストが大幅に増大することが予想される。また、ウォータージェットカッターの高圧発生機構は、油圧とサーボモータの 2 種類を製造・販売しているが、最終的な効率に大きな差は無いとのデータもある。そのため、サーボモータを利用するメリット・デメリットを検討し、効果的であった場合は、それを採用する計画であった。表Ⅲ-2.1.7-8 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-8 「[1]増圧機の最適化」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 2020 年度目標 |
|-----|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 増圧機 | 消費電力が大きい (エネルギー効率が悪い) | 消費電力と機能を鑑みて、油圧タイプかサーボタイプを選択する。 | 最適な増圧機構を選定する (現行増圧機効率よりも 1 %でも高く)。 |

[2] チェックバルブ（逆止弁）、給液ポンプの試作・テスト（担当：株式会社スギノマシン）

高濃度の CNF を製造するためには、増圧機に高濃度（高粘度）の CNF を給液する必要がある。そこには (a)高圧で送り出す、(b)経路を短く広くする（狭いところをなくす）の 2 つのポイントがある。下記の通り開発し、目標は 15 wt%とした。高濃度化（目標達成）のためには、(a) (b) の項目が重要なファクターとなってくる。既存の 10 wt%でも世界的に見て一番の高濃度製造だと思われるが、それを 15 wt%にすることでより競争力をつける。ここには大きな研究開発要素が存在するが、これを実現できるのはウォータージェットで国内外を問わず大きなシェアを持つ当社のみである。

(a)高圧で送り出す

高粘度流体用のポンプはいくつか市販されている。その中で最も高濃度 CNF の送液に適したポンプを選定し、導入する。その後、導入したポンプを改良することでより効果的な給液を実現する。

(b)経路を短く広くする（狭いところをなくす）

既存のチェックバルブは、セラミックスの分散・粉砕や乳液の製造などを主目的にしているため、低粘度流体では長時間安定的に使用できる構造になっている（逆止弁 特許第 3611982 号）。しかしながら、CNF のように高アスペクト比、高粘度流体には適していない。そこで社内で CNF 向けに改良を進め、現在では原料の繊維長にもよるが概ね 10 wt%まで処理可能としたが、未だに 10 wt%以上の粘度になると、シール不良を起こしたり、経路が狭いため圧力損失を招き、給液不良を起こしたりして処理できなくなる。

そこで、研究開発開始当初は、チェックバルブの構造を現在の構造にとらわれることなく、抜本的に見直し、新規のチェックバルブを開発する計画であった。表Ⅲ-2.1.7-9 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-9 「[2]チェックバルブ（逆止弁）、給液ポンプの試作・テスト」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 2021 年度目標 |
|---------|-------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| チェックバルブ | 流路が狭く、高粘度流体には不向き（圧損大きい） | 流路が大きな新規構造のチェックバルブを開発する（案：エア駆動強制開閉システムなど） | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に CNF 製造装置に供給できる。 |
| 給液ポンプ | 高粘度流体を送液できない。 | CNF に適した高粘度流体用ポンプを検討する。 | |

研究開発を進めていくと、給液ポンプおよび原料タンク、攪拌機を開発することで、チェックバルブは現時点の仕様で十分に機能を満たすことが判明した。そのため、本研究開発項目は、目標は変えず計画を一部変更し、給液ポンプおよび原料タンク、攪拌機を主な研究開発対象とし、研究開発資源（ヒト、カネ）を投入することとした。

[3] 熱交換器の設計（担当：株式会社スギノマシン）

ウォータージェットで解繊する際に、200 MPa で噴射・衝突させると、CNF 水分散液の温度は約 50 °C 上昇する。CNF 製造のためには複数回噴射・衝突する必要があるため、熱交換器は必須である。高濃度 CNF は高粘度流体であり、さらに熱伝導率も低いいため、熱交換器の構造は耐圧と高伝熱面積を両立させる必要がある。市販のプレート式熱交換器などでは仕様を満足することができず、社内で新規熱交換器を開発した（三重管式熱交換器 特許第 6568464 号）。本熱交換器は、多品種な BiNF_i-s の製造に特化させるため、分解洗浄性を高めている。本研究開発では、1 品種のみの製造に限定することを前提に、一定の分解洗浄性を確保しつつ、耐圧にも優れ、冷却効率や部品製造の低コスト化、消耗品費の低減などに重点を置いた、より優れた構造の熱交換器の開発を行う。表Ⅲ-2.1.7-10 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-10 「[3]熱交換器の設計」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 2021 年度目標 |
|------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| 熱交換器 | 高濃度 CNF 水分散液が冷えない。 | 分解洗浄性よりも、冷却効率と低コスト化を両立した構造を開発・設計する。 | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に冷却（最低 50 °C 以下）できる。 |

[4] 原料検討、衝突方式検討による噴射・衝突回数の削減（担当：株式会社スギノマシン）

NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／研究開発項目②「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発」／(1)セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発／「3 木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価」プロジェクト」で、ウォーター

ジェット法で解繊しやすいパルプの特性が概ね把握できた²⁾。本研究開発では、それを実用化レベルで検証を行う。また、産業技術総合研究所の木粉グラインダー法では、前処理としてオートクレーブ処理をすることで解繊度が著しく向上したと報告している²⁾。ウォータージェット技術の場合、オートクレーブが適しているかは不明であり、また、オートクレーブ処理はコスト的に採用が難しいと考えている。そのため、コスト増大要素が小さい前処理方法を開発する。

衝突方式の検討は大きなハードルがある。現在の衝突方式（前記 NEDO プロジェクトのボール衝突法）は、ウォータージェットによる微細化技術について当社が鋭意改良を積み上げてきたノウハウを活かしたメカニズムとなっており、一定の投入エネルギーのもとでは限界値ともいえる程までに微細化の基本性能が高められているためである。しかしながら、噴射・衝突回数は 1 回削減するだけでも、投入エネルギー削減（CO₂ 排出量の削減）、消耗品費削減につながるため、コスト低減効果は大きい。また、ボール衝突法は消耗品費が高いことも課題となっている。そこで、衝突方法や各種部品の材質の検討を行っている。

表Ⅲ-2.1.7-11 に課題と解決手段、目標を示す。原料の前処理方法および衝突方式の検討により、噴射・衝突回数を 2022 年度末で約 17 %低減させる。

表Ⅲ-2.1.7-11 「[4]原料検討、衝突方式検討による噴射・衝突回数の削減」の
課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 2022 年度目標 |
|------|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|
| 原料 | 解繊しにくいセルロースを使用（省エネ、消耗品） | 解繊しやすいパルプを入手し、使用する（前処理の検討・開発が必須） | 衝突回数 17 %減となる原料およびチャンバーの決定 |
| 衝突方式 | 解繊効率のさらなる向上 消耗品費が高い | 新方式の開発（ハードルは高い、2022 年度で区切り。不可の場合は、現行衝突方式の低コスト化） | |

[5] 新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良（担当：株式会社スギノマシン）

[1], [2], [3], [4]で最適化した構成機器を搭載した新規 CNF 製造装置を設計・製造する。2021 年度末までに設計・製造を完了させる。経験上、[1], [2], [3], [4]で最適化したものを組み合わせた場合でも、システムとして一つのプロセスに最適化するには、研究開発要素があるのは明確であり、2022 年度に実施する。それ以降は、より高い完成度となるように改善を行うと同時に、消耗品の製造低コスト化、長寿命化も行う。表Ⅲ-2.1.7-12 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-12 「[5]新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 目標（年度） |
|-------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 新規 CNF 製造装置 | [1], [2], [3], [4]の各種構成要素を統合した新規 CNF 製造装置の設計・製造 | [1], [2], [3], [4]の解決 新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良 | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に製造できる装置とする(2022)。構築後は装置として[1], [2], [3], [4]も含めて改良（低コスト化）(2024) |

[6] 付帯設備の最適化、CNF 製造工程の自動化（担当：株式会社スギノマシン）

現在の CNF 製造装置は、CNF 水分散液製造のための複数回噴射・衝突部分については完全自動化を実現しているが、原料の計量・投入、CNF の回収、乾燥設備への輸送部分については人の手が介在している。ここを自動化することによるコスト低減効果は大きいため、付帯設備を含めた自動化を行う。2022 年度末までに付帯設備およびソフトの設計・製造・選定や予備テストを終了し、目標達成の目処を確認後、2024 年度末までに商業ベースで大部分の自動化を行う。それにより、人件費の 15 %削減を目指す。

将来的には、CNF 製造部分（水分散液まで）に関してはユニット化し、様々な場所で生産できる仕組みを開発し、大量消費が必要な顧客の場合、現地で CNF を製造するオンサイト方式を確立したいと考えている。これにより、輸送費はもちろんのこと、様々な間接費なども削減され、大きなメリットが見込める。そのためにも、本項は必要な研究開発項目である。表Ⅲ-2.1.7-13 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-13 「[6]付帯設備の最適化、CNF 製造工程の自動化」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 目標(年度) |
|-----|------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 自動化 | 原料の投入や CNF の回収、乾燥機への輸送などは自動化できていない | 原料投入から回収・搬送までの大部分の自動化が可能な付帯設備の設計や製造、導入 ソフト改良 | 選定、予備テスト終了(2022) 装置やソフトの導入により、最終的に、CNF 水分散液の製造コスト目標の達成(数値は表 1 参照, 2024) |

[7] 高付加価値用途向け乾燥手法の検討、開発

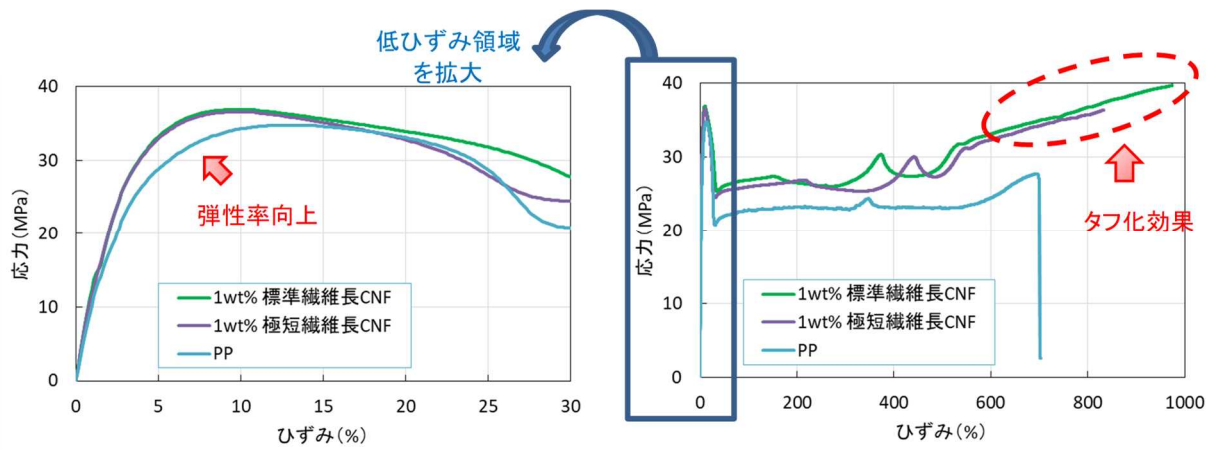
(担当：株式会社スギノマシン、公立大学法人富山県立大学)

NEDO「平成 28 年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で富山県立大学と共同で「環境配慮型低コスト疎水化セルロースナノファイバーの開発」を行った。その開発のコンセプトは、セルロースの化学修飾は行わず、CNF 水分散液への疎水化剤（凝集抑制剤）添加のみで CNF 乾燥時の凝集を抑制し、樹脂への分散性も向上させるものであった。その後も富山県立大学とは共同研究を続けている。この成果として「BiNFi-s ドライパウダー（BFDP）」を商品化している。この BFDP は、PP へわずか 1 wt%という少量を添加するだけで、樹脂の引張り伸びと破断時の引張り応力が未添加品に比べて大幅に向上する（図Ⅲ-2.1.7-3 参照）³⁻⁵⁾。この現象を CNF による樹脂の“タフ化効果”として、特に樹脂を延伸して使用するフィルム材や糸状に成形された樹脂（フラットヤーン）の機能性向上や、複合体の耐衝撃性向上についてアプリケーション開発を進めている。また、CFRP の母材であるエポキシ樹脂にわずか 0.3 wt%添加することで、CFRP の疲労寿命が 20 倍以上（図Ⅲ-2.1.7-4 参照）、振動減衰効果が 1.2 倍に向上することも明らかにしている^{6, 7)}。高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末のメインターゲットとして、スポーツ用品や水素タンクなど CFRP の疲労寿命向上や振動減衰が求められている用途や、ランニングシューズのミッドソールなどの発泡樹脂用途、高速車両や高層ビル用合わせガラスの中間膜用途など、CNF だからこそ達成できる高付加価値な用途向けに開発を進めている 2029 年度末の販売量目標は約 10 t/年である。

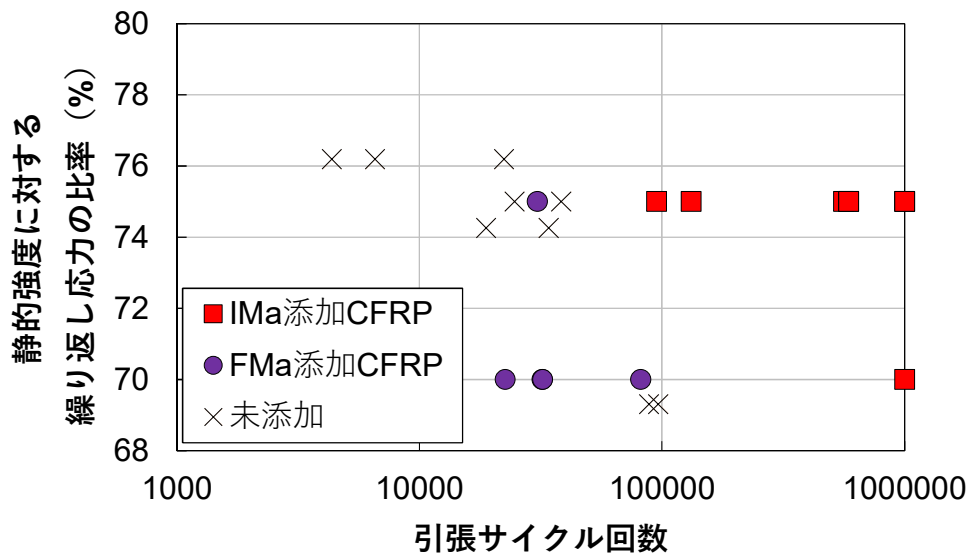
本研究開発前の BFDP 製造コスト大部分は人件費であり、量産することでコストは約 1/5 に低減できるが、まだ製造コストは高い。そのため、大型機導入による生産能力向上や自動化、乾燥開始濃度の高濃度化、乾燥時の凝集を防ぐ添加剤の最適化などの研究開発を行うことで乾燥効率を向上させ、コスト低減を行っている。もちろん、量産化や高濃度化により CNF の特性が失われると本末転倒のため、現状を凌駕する特性の発現が可能な CNF 乾燥粉末であることは最も重要である。添加剤については、樹脂との相溶性を高め、CNF/樹脂複合体の高性能化の意味合いも大きい。例えば、ロジン系化合物など親水基と疎水基の両方を持つ化合物である。

富山県立大学とは、添加剤の選定、乾燥方法や樹脂複合化技術の開発および得られた複合体の分析そして機能向上のメカニズム解明に関して共同研究を実施している。富山県立大学の永田特別研究教授および真田教授は、ファイラー研究会の会長、副会長を務めるファイラー業界の権威であり、ファイラーの乾燥から複合化まで幅広い知識を有している。また、コンピュータシミュレーションにより、添加濃度等の配合条件や成型条件の最適化の指針を打ち出せるため、研究開発はよりスムーズに進んでいる。

表Ⅲ-2.1.7-14 に課題と解決手段、目標を示す。



図Ⅲ-2.1.7-3 PPに対するCNFの添加効果



図Ⅲ-2.1.7-4 CFRPに対するCNFの添加効果

表Ⅲ-2.1.7-14 「[7]高付加価値用途向け乾燥手法の検討、開発」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 目標(年度) |
|---------------|-----------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 高付加価値用途向け乾燥方法 | 生産量不足 | 装置の大型化 乾燥時の初期濃度高 濃度化(乾燥条件、添加剤、ポンプなど) | 大型機の導入後のCNF特性は現状を凌駕(2022) 乾燥開始濃度は現行の1.3倍、CNF特性は現状を凌駕(2022) |
| | 樹脂との相溶性不足 | 添加剤の最適化 | 透明樹脂、CFRPなどのさらなる高機能化が可能となる添加剤の選定(2022) |
| | 自動化できていない | 付帯設備、ソフト改良 | CNF製造装置からの供給の自動化(2024) 最終的にコスト目標の達成(2024) |

[8] 低コスト用途向け乾燥手法の検討、開発

(担当：株式会社スギノマシン、公立大学法人富山県立大学)

低コスト向け乾燥は、高付加価値用途向けの乾燥方法と比較して、微細な CNF 乾燥粉末を得ることには拘らず、樹脂中で補強、低熱膨張効果といった CNF に期待されている特性を発現できれば、乾燥粉末形状は特に選ばないと考えている。そのため、低コスト用途向け CNF 乾燥粉末は、特定のターゲットは決めず、「補強」「低熱膨張化」「マテリアル・サーマルリサイクル」「カーボンニュートラル」をキーワードに幅広い分野での普及を目指している。2029 年度末の販売量目標は約 14 t/年である。こちら富山県立大学と共同研究をしており、補強に関して他の機関の CNF/PP 複合樹脂の物性と比較しても遜色のない CNF/PP 複合体を開発している（表Ⅲ-2.1.7-15 参照）^{8, 9)}。しかしながら、現状の乾燥方法の延長では目標のコストを達成することは困難であり、大幅な見直し、新規開発が必要と考えている。

現状は、(a)高エネルギーおよび乾燥時間が長い、(b)乾燥後粗粉砕が必要（工程が増え、エネルギー費、人件費も増える）、といった 2 つの大きな問題点がある。下記の通りの研究開発を実施し、2022 年度末までに各種乾燥テストを終了し、目標を達成できる見込みであれば、設備構成を決定・導入・最適化（改良）することで、2024 年度末までに NEDO の目標を達成する予定である。もちろん、目指す CNF/PP 複合体の物性は、表Ⅲ-2.1.7-15 よりも高みを目指す。特に衝撃強度を維持しながら補強できる材料を意識する。

[7]同様、富山県立大学とは、添加剤の選定、乾燥方法や樹脂複合化の開発および複合体の分析そして機能向上のメカニズム解明に関して共同研究を実施する。

(a)の改良点

現状の乾燥方法に拘らず、複数検討し、最適な乾燥方法を見出す。例えば、マイクロ波を利用した、高効率乾燥を検討する。マイクロ波を利用した加熱の工業利用はかなり進んでおり、最近では CFRP の成形加工工程での使用などが検討されている。ベルトコンベヤーなどの搬送工程と組み合わせることで、連続処理・自動化も可能であり、人件費の削減にも繋がる。その他の候補として、振動乾燥、スピン乾燥などを考えている。

(b)の改良点

CNF 水分散液と添加剤と樹脂を混合後に乾燥することによるプレマスターバッチ化などの手法を検討する予定である。添加剤を最適化することで乾燥時の CNF 凝集の抑制、樹脂との相溶性を向上させ、CNF、添加剤、樹脂を一緒に乾燥させることで、樹脂の周りに CNF がコーティングされた状態のプレマスターバッチを製造できると考えており、それを粗粉砕することなく、そのまま二軸混練することなどを検討している。

表Ⅲ-2.1.7-16 に課題と解決手段、目標を示す。

表Ⅲ-2.1.7-15 PP/CNF 複合体の物性表

| メーカー | SML | | | 星光PMC | | | 京都プロセス | | トヨタ車体 | 三菱製紙 | | | |
|---------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------|------|------|------------------------|------|---------|---------------|-----|------|------|
| 名称 | 開発中CNF | | | STARCEL T-NC611 | | | PP/解繊促進成分/多段混練+膨潤材 | | | セルロミックス | | | |
| 実測値 | 配合量 (wt%) | 0 | 10(9) | 20(18) | 0 | 13 | 25 | 0 | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 |
| | 密度 (g/cm ³) | | | | 0.91 | 0.95 | 1.00 | | | 1 | 0.9 | 0.95 | 1 |
| | 引張弾性率 (GPa) | 1.78 | 2.49 | 3.02 | 1.93 | 2.53 | 3.11 | | | 3.84 | | | |
| | 引張強度 (MPa) | 38.77 | 47.45 | 51.29 | 33.8 | 35.6 | 36.7 | | | 47.3 | 32 | 36 | 45 |
| | 曲げ弾性率 (GPa) | 1.34 | 2.08 | 2.61 | 1.95 | 2.73 | 3.53 | 2.26 | 3.74 | 3.92 | 1.7 | 2.03 | 2.68 |
| | 曲げ強度 (MPa) | 41.07 | 51.24 | 58.96 | 56.4 | 62.6 | 67.7 | 58.4 | 75.7 | 70.5 | 45 | 50 | 60 |
| | シャルピー衝撃強度 (kJ/m ²) | 1.93 | 2.12 | 2.31 | 1.9 | 1.3 | 1.2 | | | 1.3 | 3.5 | 3.7 | 4.4 |
| 備考 | ()内は添加剤を差し引いたセルロース濃度 | | | リーフレット情報より(2018/4) | | | 2018年生産権シンポジウム仙波さん発表資料 | | 環境省資料より | リーフレットより(開発品) | | | |
| 未添加を1とした時の向上比 | 引張弾性率 | 1 | 1.40 | 1.70 | 1 | 1.31 | 1.61 | | | | | | |
| | 引張強度 | 1 | 1.22 | 1.32 | 1 | 1.05 | 1.09 | | | | 1 | 1.13 | 1.41 |
| | 曲げ弾性率 | 1 | 1.55 | 1.95 | 1 | 1.40 | 1.81 | 1 | 1.65 | | 1 | 1.19 | 1.58 |
| | 曲げ強度 | 1 | 1.25 | 1.44 | 1 | 1.11 | 1.20 | 1 | 1.30 | | 1 | 1.11 | 1.33 |
| | シャルピー衝撃強度 | 1 | 1.10 | 1.20 | 1 | 0.68 | 0.63 | | | | 1 | 1.06 | 1.26 |

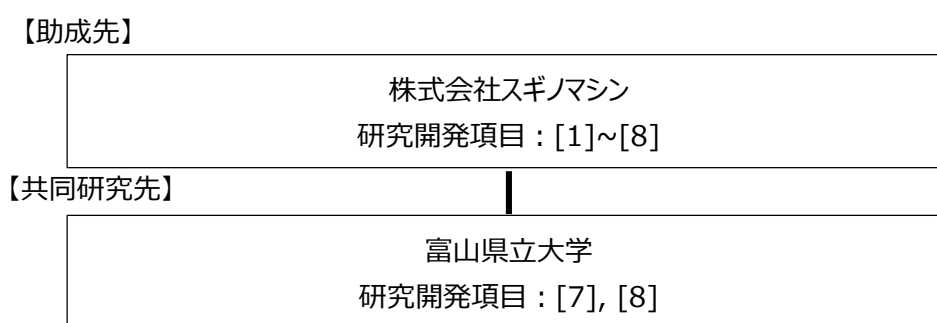
表Ⅲ-2.1.7-16 「[8]低コスト用途向け乾燥手法の検討、開発」の課題と解決手段と目標

| | 課題 | 解決手段 | 目標(年度) |
|--------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 低コスト用途向け乾燥方法 | 乾燥時のエネルギー費の削減 工程の削減 | 低コストであり、粗粉砕の必要がなく、且つ補強や低熱膨張化、衝撃強度向上などを達成可能な CNF 粉末用の新規乾燥方法の開発(マイクロ波利用など、添加剤、プレマスターバッチ化) | 乾燥方法の予備テスト終了(2022) 装置の導入、稼働、改良(2024) 表 16 の物性以上の CNF/PP 複合体の製造(2024) |
| | 樹脂との相溶性不足 | 添加剤の最適化 | 補強や低熱膨張化、衝撃強度向上などを達成可能な(表 16 の物性以上) CNF 粉末となる添加剤の選定 |
| | 自動化できていない | 付帯設備、ソフト改良 | CNF 製造装置からの供給の自動化(2024) 最終的にコスト目標の達成(2024) |

(4) 実施体制

本プロジェクトの実施体制を図Ⅲ-2.1.7-5に示す。株式会社スギノマシンと富山県立大学（真田研究室）とは、2016年度からCNFと樹脂の複合化をテーマに共同研究を実施している。真田研究室の永田特別研究教授、真田教授はファイラー研究会の会長、副会長を務めるファイラー業界の権威であり、CNFに代表されるナノファイラーの扱い方に長けている。

株式会社スギノマシンでは、高効率でCNF水分散液を製造できる技術・設備の構築およびCNF水分散液からCNFの特性を損なうことなく乾燥可能な技術・設備の構築を実施している。富山県立大学では、株式会社スギノマシンから提供されたCNF乾燥粉末を用いた樹脂複合体の分析・評価や、CNF/樹脂複合体の応用展開検討などを実施している。また、CNFの乾燥技術についても株式会社スギノマシンに対してアドバイスを実施している。



(CNFの乾燥および樹脂複合化について共同研究)

図Ⅲ-2.1.7-5 実施体制

(5) 運営管理

CNFの利用は広範囲に渡っており、それぞれ求められている機能やコスト、需要量そして必要性（緊急性）が異なる。そのため、研究開発を進めるうえで、市場調査から得た情報を基に、複数の目標を立て、それらを優先順位を決めて実施する必要がある。当社はCNFビジネスを10年以上に渡って実施しており、また、市場開発グループという市場調査専任部署も有している。それらの情報を基に研究開発を進めている。

そのため、本研究開発では、自動車部品や家電部品といった汎用的な樹脂製品を補強するためのCNFの開発よりも、CFRP添加用やスポーツ用品、光学系用途向けといった高付加価値な製品に対して、CNFならではの特徴的な効果を発揮する用途向けのCNFの開発を優先している。そのような高付加価値用途向けCNFでCNFの市場を広げ、一定のビジネスを展開した（CNFビジネスの足場を構築した）うえで、汎用的な用途向けの低コストCNFの開発を進める予定である。

共同研究先の富山県立大学の真田研究室の真田教授、永田特別研究教授とは密に連携し、CNFと樹脂の複合化に対する技術的課題を克服に向けて共同で取り組んでいる。また、真田教授、永田特別研究教授は、複数の化学メーカーや成形メーカーと共同研究を実施しており、企業との繋がりも深い。本研究開発で得た成果を波及させるため、それらの企業との打合せも実施している。

(6) 実施の効果

ウォータージェット技術は、高い生産効率で、コンタミネーションをほぼ発生させることなく、セルロースの特性を損なうこともなく細く均一な CNF を得ることができる。さらには、ウォータージェットの条件を変えることで CNF のアスペクト比などの物性も制御することができる。そのため、ウォータージェット技術は、CNF を製造する機械解繊方式としては最も優れた技術の一つと言っても過言ではない。そのウォータージェット技術を、より高効率で CNF を製造可能な技術へと進化させる研究開発を実施することで、CNF の生産量向上、コスト低減に大きな効果をもたらす。

当社は、CNF 製造技術の基礎となるウォータージェット技術を応用した湿式微細化装置を開発・製品化して 25 年以上の経過し、高圧ホモジナイザーとしては国内のトップシェアを誇っている。また、そのウォータージェット技術を利用して CNF を開発し、10 年以上に渡り製造・販売を実施してきた。納入先は 1000 機関を超えている。これまで得た情報や人脈も当社の優位性の一つである。

しかしながら、現在、当社で製造・販売している CNF の生産量、売上額はまだまだ大きくない。その要因として、(a)用途が広がらない（ユーザが上手く扱えていない、メーカーが使用方法をしっかりと把握していない、適正な CNF を製造・販売していない）、(b)価格が高い、の 2 点が挙げられる。(a)については、NEDO の協力を得ながら、研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」のプロジェクトとコラボレーションすることで解決できると考え、(b)については、目標を達成することで解決し、市場拡大効果が見込まれる。

CNF 水分散液の大口用途例としては、天然ゴムラテックスへの添加、塗料や研磨剤の分散剤（レオロジー調整剤）、油脂の増ちょう剤、二次電池用部材、スピーカー用コーン紙などの機能紙、CNF 成形体原料などを期待している。

独自調査の結果では、CNF／樹脂複合体が自動車に汎用的に使用されるまでには、CNF／樹脂複合体で必要スペック以上の機能を発揮したとしても安全性など様々なハードルがあり、少々時間が掛かるとしている。やはり、ここ数年は CFRP 添加用（輸送機器や風力発電など）やスポーツ用品（シューズやラケット、シャフトなど）、光学系用途向け（合わせガラスなど）などの高付加価値用途向けで着実に実績を作り、その間に低コスト向けを開発することが重要であり、これを達成することで多様な業界への経済的波及効果が見込まれる。

また、CNF ユーザの大きな特徴として、「今まで不可能だった物性を出せるようになった。」という声が多く聞こえる。つまり、性能の良い CNF を安く供給できれば、「今まで実現不可能だった製品」が多く誕生することを意味し、新規市場創出の効果も期待できる。

当社は、幅広い業界向けの商品を扱っており、今まで一度でも取引したことのある企業は 20,000 社を超え、常時 4,000 社と取引をしている。その幅広い販売ネットワークを活用できることも当社の強みである。さらに、CNF に関しては大手総合商社や複数の専門商社と連携していることも大きな強みである。

付帯的な効果としては、ウォータージェット技術は、木材由来パルプのみならず、ノズルを通過可能な大きさにまでプレ粉碎してあれば、コットン、稲わら、茶葉、果実の搾りかすや皮、さらには化学修飾パル

ブも処理が可能であり、それぞれの CNF を製造することができる。当社では、それら各種原料の CNF 製造の受託加工も実施しており、幅広く CNF を普及させる活動も実施している。

2021 年度末現在での本プロジェクトの具体的な成果として、CNF 固形分換算の製造コストは、事業開始前と比較して、CNF 水分散液（固形分換算）は約 38 %削減、高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末は約 91 %削減、低コスト用途向け CNF 乾燥粉末は約 54 %削減した。

(7) アピールポイント

- ① ウォータージェット技術を進化させることで、長繊維かつ繊維径が機械解繊 CNF の中ではトップクラスに細く均一な CNF 水分散液を、15 wt%という世界最高峰の高濃度での製造を可能とした（高濃度 CNF 水分散液で販売している企業は幾つかあるが、その全ては低濃度（1 wt%～5 wt%程度）で製造後、脱水し高濃度化することが一般的である）。高濃度での CNF 水分散液の製造は、CNF 全体のコストダウンに大きく寄与するので、本成果は CNF の低価格化に大いに貢献した。また、CNF 水分散液の生産量も 1.5 倍と大幅に向上した。
- ② ウォータージェット技術で製造した CNF 水分散液を当社独自の方法で乾燥させることで、CNF の凝集をなるべく抑制した。その高付加価値向け CNF 乾燥粉末は、PP やエポキシ樹脂中で容易にナノ分散し、1 wt%以下という少量添加で『タフ化』や『長寿命化』といった、従来の CNF 強化樹脂複合体には見られなかったユニークな機能を発現させることに成功している。1 wt%以下の添加で効果を発揮するため、CNF を活用するコスト面でのハードルは低くなる。また、スリット加工引張試験という、『タフ化』を明確に発現する CNF 樹脂複合体の製造条件を見出すための試験方法も確立した。少量添加により樹脂の高機能化やスリット加工引張試験の確立といった成果は、機械メーカーである当社とフィルター業界の権威である富山県立大学の真田教授、永田研究特別教授との共同研究による相乗効果である。さらに、CNF 乾燥粉末として製造するため、樹脂中で解繊し CNF を製造する『京都プロセス』とは異なり、樹脂以外の分野にも使用可能な点も優位点である。これらのことにより、本成果は CNF の市場拡大、普及に大いに貢献した。

<2.1.7.2 研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

研究開発項目 [1] 増圧機の最適化（中間目標の達成度：100 %）

従来の増圧機は、1 台の電導機を搭載した油圧ポンプ駆動式であり、1 台の油圧ポンプで、2 本の増圧機を稼働させている。本研究開発で使用を検討した増圧機に油圧サーボ駆動式がある。これは、1 台のサーボモータ搭載油圧ポンプで、1 本の増圧機を稼働させるタイプである（つまり、サーボモータ搭載油圧ポンプは 2 台）。この仕様で、従来の増圧機と同等の生産性を確保した際の消費電力を従来を 100 として計算した結果を表Ⅲ-2.1.7-17 に示す。従来の増圧機を使用した場合と比較すると、消費電力は約 33 %削減できることが分かった。しかしながら、油圧サーボ駆動式に変更した場合の製造原価を試算すると、従来の 2 倍となることも分かった。

それらの結果から総合的に判断し、従来の油圧ポンプ駆動式を本研究開発で構築する高濃度 CNF 製造設備の増圧機として採用することとした。省エネ効果については得られない結果となったが、増圧機の最適化という 2020 年度末の目標は達成した。

表Ⅲ-2.1.7-17 消費電力の比較

| | 駆動方式 | 噴射圧力(MPa) | 消費電力 |
|------------|----------|-----------|------|
| 従来 (実測) | 油圧ポンプ駆動式 | 245 | 100 |
| 本研究開発 (計算) | 油圧サーボ駆動式 | 245 | 67 |

研究開発項目 [2] チェックバルブ (逆止弁)、給液ポンプの試作・テスト
(中間目標の達成度: 100%)

高濃度 CNF を増圧機 (CNF 製造装置) に送液する必要があり、その要素として、原料タンク、攪拌機、給液ポンプ、チェックバルブが挙げられる。中でも給液ポンプの最適化が最も大きな要素である。高粘度対応給液ポンプとして、3 社の給液ポンプを調査した。それぞれの給液ポンプの仕様を表Ⅲ-2.1.7-18 に示す。特に CNF を処理した実績が全くなかった B 社の給液ポンプについては、入念にテストを実行した。その結果、他の 2 社に勝るとも劣らない処理能力を確認できた。実際に 15 wt% 長繊維 CNF 水分散液の製造に使用した結果、トラブルが起きることなく製造を完了することができた。その結果およびメンテナンス性や想定ランニングコストを総合的に判断し、B 社の給液ポンプを本研究開発で構築する高濃度 CNF 製造設備の給液ポンプとして採用することとした。

表Ⅲ-2.1.7-18 高粘度対応給液ポンプ比較表

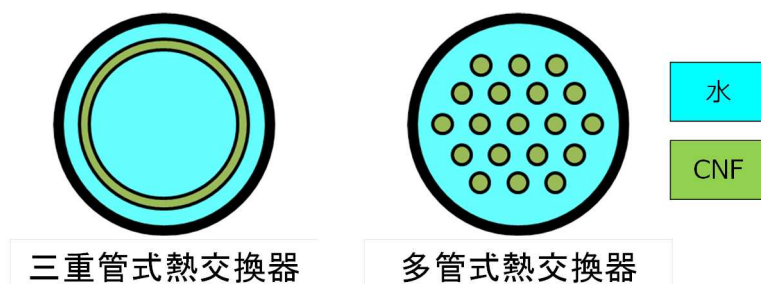
| No. | 1 | 2 | 3 |
|----------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| メーカー名 | A社 | B社 | C社 |
| 寸法 (架台含まず) | W310×D942×H228 | W420×D1200×H365 | W362×D1500×H315 |
| 質量 (kg) | 150 (架台含む) | ? | 133 (架台含む) |
| 動力 (kW) | 3.7 | 3.7 | 2.2 |
| 最大吐出量 (L/min,) | 91 | 180 | 76 |
| 最大吐出圧力 (MPa) | 1 | 2.1 | 1.96 |
| 最大吐出量 (0.5~1MPa@高粘度) | 約56~46 L/min | 約22~20 L/min | ? |
| 吸入口/排出口 | 3S/2S | 50A/50A | 200A/2.5S |
| 液温範囲 | ~150 °C | -30 ~ +280 °C | 5 ~ 100 °C |
| シール方式 | 非接触 (液膜シール) | 非接触 (液膜シール) | 非接触 (液膜シール) |
| 接液部のサニタリー性 | サニタリー | サニタリー | サニタリー |
| 外周部のサニタリー性 | 拭きにくい | 拭きにくい | 比較的拭きやすい |
| メンテナンス性 | △ | × (メーカーへの送付) | △ |
| 消耗品数 (主要部品のみ) | 概ね3点 | 1, 2点 | 2点 |
| 消耗品金額 | 高 | ? | 超高 |
| 消耗品交換頻度 *1 | 多 | ? | ? |
| 既存タンクへの取り付け | 可能 | 可能 | 吸入口大、タンク改善可能 |
| 本体価格 (概算見積時) | | 一番安価 | 一番高価 |
| 特徴など | 現在の設備で使用中 (実績あり)。 現行以上の高濃度 CNF となると送液に不安が残る。 消耗品も多く、価格も高い。 | CNF の実績なし。 消耗品点数は少ない。しかしながら、メイン部分が破損した場合はメーカーに送付する必要あり。 | CNF の実績あり。 知名度の高いポンプ。 投入口を大きくできるメリットもある。 高価。 |

原料タンクについては、ホッパー型でその角度が鋭角であることが重要と分かっている。攪拌機については、CNFを「混ぜる」作用よりも「中心部に寄せる」、「給液ポンプに押し込む」作用が重要と分かっている。原料タンク、攪拌機、給液ポンプを最適化したことで、チェックバルブについては従来の仕様でも十分に機能を満たすことが判明した。そのため、限られた研究開発資源（ヒト、カネ）を給液ポンプおよび原料タンク、攪拌機を含めた研究開発項目[5]である新規高濃度 CNF 製造設備の設計に投入するため、チェックバルブの仕様は変更せず使用することとした。2021 年度末までの目標は達成した。

研究開発項目 [3] 熱交換器の最適化（中間目標の達成度：60 %）

高濃度 CNF は高粘度で低熱伝導率のため、耐圧性と高伝熱面積を兼ね備えた熱交換器の構造が必須となる。そこで、本研究開発では三重管式熱交換器と多管式熱交換器の 2 種類をベースに検討した。三重管式熱交換器は、必要最低限の伝熱面積ではあるが、洗浄箇所は少ない。そのため、ある程度頑丈な組立方式にしても分解洗浄・再組立が比較的容易な構造であり、耐圧は高くできる。それに対して多管式熱交換器は、細い管を複数使用するため、伝熱面積は増やせるものの、洗浄箇所が多くなってしまふ。そのため、メンテナンス性を考慮すると簡易的な組立方式としたいが、シール面積（原料が流れる面積）も自ずと大きくなっているため、簡易的な組立方式では耐圧が低くなってしまふ。

それぞれの熱交換器の断面模式図を図Ⅲ-2.1.7-6 に示し、それぞれの熱交換器を使用して 10 wt% CNF 水分散液を製造した際に一番高温になったタイミングの冷却効果および耐圧、メンテナンス性を表Ⅲ-2.1.7-19 に示す。今回のテスト条件では、多管式熱交換器の方が伝熱面積は大きいため、冷却効率では優れていた。しかしながら、簡易的な組立方式としているため、耐圧性に乏しく、10 wt% CNF 水分散液のような高粘度流体を製造する際の配管抵抗（背圧）に耐えられず、漏れが発生していた。洗浄箇所も多く、さらには高粘度な CNF 水分散液が細い管に詰まるため洗浄するのに時間を要した。それに対して、三重管式熱交換器では、伝熱面積は比較的小さいため冷却効率は乏しいものの、漏れは発生することなく 10 wt% CNF 水分散液の製造が可能であり、分解洗浄・再組立も比較的容易であった。



図Ⅲ-2.1.7-6 各熱交換器の断面模式図

表Ⅲ-2.1.7-19 熱交換器の冷却効率および使い勝手

| | 伝熱面積 (m ²) | 熱交換器前 温度(°C) | 熱交換器後 温度(°C) | 耐圧 (漏れにくさ) | メンテナンス性 (使いやすさ) |
|----------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|
| 三重管式熱交換器 | 約 0.45 | 約 130 | 約 90 | ○ | ○ |
| 多管式熱交換器 | 約 1.08 | 約 95 | 約 40 | △ | △ |

それらを総合的に判断し、三重管式熱交換器を基本構造にすることとした。しかしながら、冷却効率はまだ改善の余地がある。そこで、現状の耐圧、メンテナンス性を損なうことなく、現状の熱交換器自体の大きさもほぼ変えることなく、冷却効率を高めるための伝熱面積および放熱面積を増やせる構造を鋭意検討中である。研究開発開始当初に設定した 2021 年度末目標に達してはいないが、2022 年度末には完成させる予定である。

研究開発項目 [4] 原料検討、衝突方式検討による噴射・衝突回数の削減 (中間目標の達成度：100%)

本研究開発項目は、大きく分けて 2 つのテーマとなる。①原料検討、②衝突方式検討であり、いずれも CNF 製造のための解繊効率に関係するテーマである。ウォータージェット技術によって細く均一な CNF を製造するためには、複数回の噴射・衝突を繰り返す必要がある。そのため、解繊しやすい原料、解繊力が高い衝突方式の開発は、生産量向上、コストダウン、省エネ (CO₂ 排出量削減) の観点から大きな意義を持つ。

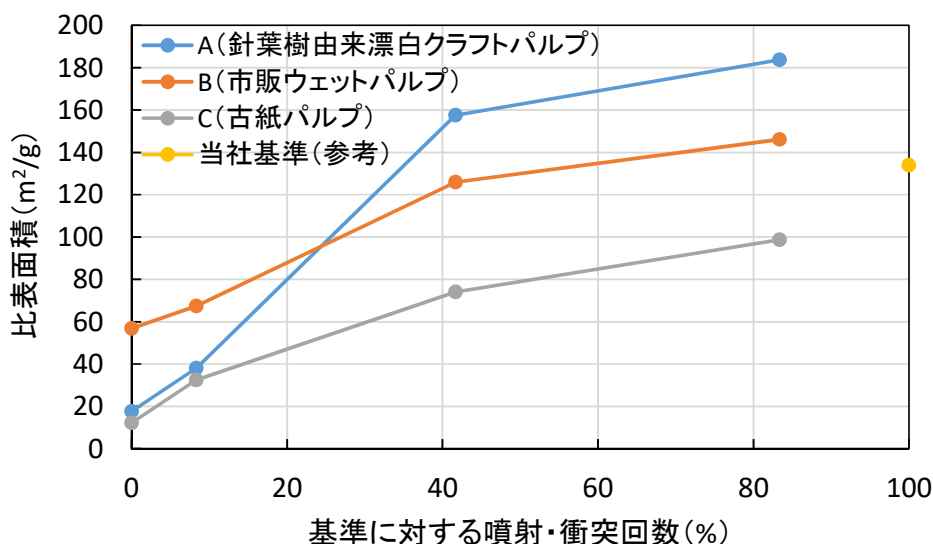
[4]-1. 原料検討

[4]-1-1. 各種パルプの評価

原料の選定にあたり、2017 年度～2019 年度で実施され、当社も参画していた NEDO「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／研究開発項目②「木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発」／(1)セルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発／「3 木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価」プロジェクト」の成果を参考にした²⁾。

さらに、価格や入手性を考慮し、針葉樹由来漂白クラフトパルプ、古紙パルプなどを複数入手し、それぞれを 1 wt%水分散液とした後、ウォータージェット技術にて CNF 化処理を行った。それぞれ得られた CNF の比表面積の変化を図Ⅲ-2.1.7-7 に示す。比表面積が高いほど、解繊され細くなっていることを示している。解繊度 (解繊しやすさ) は、A (針葉樹由来漂白クラフトパルプ) > B (市販ウエットパルプ) > 当社基準品 > C (古紙パルプ) の順で高くなることが分かった。これは、セルロース表面のヘミセルロース量に依存していると考えられ、上記の NEDO プロジェクトの結果と一致している。ウエットとドライの乾燥状態やバージンと古紙の使用状態よりもヘミセルロース量が解繊度に大きな影響を与えることが分かった。また、針葉樹と広葉樹を比較すると、針葉樹の方が繊維が長いため、細くて長

い CNF を生産するには適している。そのため、A を本命のパルプ原料とした。これは、当社が長年にわたり CNF の研究開発に携わってきたため導き出せた結論であり、大きな成果である。なお、図Ⅲ-2.1.7-7 中には当社標準ラインアップの中で一番繊維長の長い BiNFi-s 極長繊維 (IMa-10002) の比表面積も同時に示しており、その比表面積を A 由来 CNF の比表面積は約 42 %の噴射・衝突回数で上回っている (削減率：約 58 %)。削減率は、2021 年度目標の 17 %を大幅に達成している。



図Ⅲ-2.1.7-7 各パルプ由来 CNF の比表面積の変化

[4]-1-2. 選定したパルプ A の詳細評価

次に 2 wt%および 5 wt% A 由来 CNF の粘度と重合度について評価した結果を表Ⅲ-2.1.7-20 に示し、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) で観察した像を図Ⅲ-2.1.7-8 に示す。粘度は、B 型粘度計 (ブルックフィールド製、HBDV-I Prime) を用いて 5 番もしくは 7 番スピンドル、25 °C、3 min 後の測定データを取得した。重合度は、パルプ粘度法によって求めた。具体的には、得られた CNF 水分散液を凍結乾燥後、銅エチレンジアミンで溶解させ、オストワルト粘度計を用いて粘度を求め、その値から分子量を算出した。SPM は、イオン交換水を用いて希薄分散液にした後、マイカ上に滴下し、乾燥後、SPM (島津製作所製、SPM-7000) を用いて、ダイナミックモードで観察を行った。

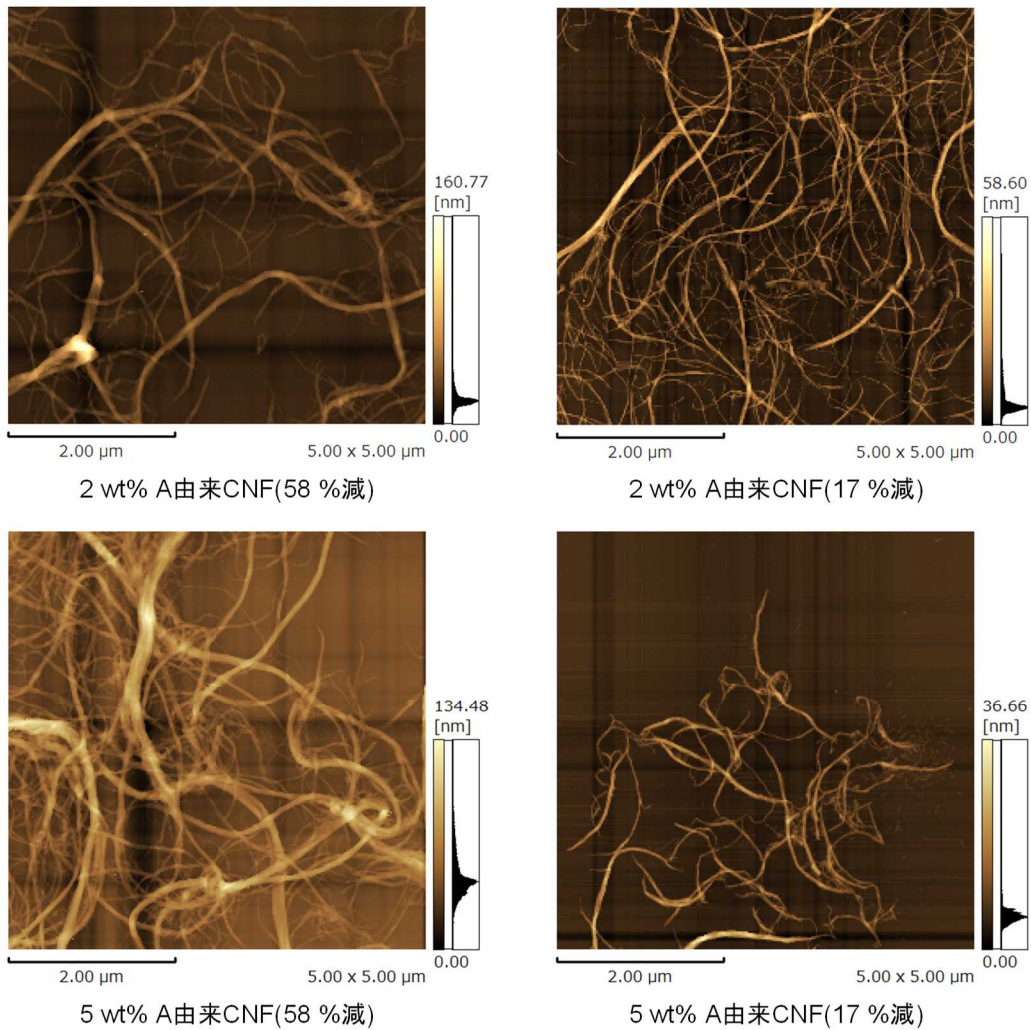
A 由来 CNF 水分散液の粘度は、同様の濃度の BiNFi-s セルロース極長繊維タイプ (IMa-10002, IMa-10005) と比較しても高い粘度を 58 %削減した噴射・衝突回数で達成している。CNF 水分散液の増粘は、CNF が水中で三次元ネットワークを形成することで発生するため、細く長い CNF がより高い粘度となる。このことから A 由来 CNF は、少ない噴射・衝突回数で、細く長い CNF になっていることが分かる。重合度は、繊維長と相関があり、大きいほど繊維長は長い傾向がある。2 wt%時は IMa-10002 と比較すると若干小さい値を示しているが、5 wt%時は大きな値を示している。このことから A 由来 CNF は長い CNF であることが分かる。また、SPM 像からも細く長い CNF であることが確認できる。ここで注意が必要な点がある。A 由来 CNF の噴射・衝突回数 58 %減でも当社基準品よりも大きな粘度と比表面積となっているが、17 %減を見ると更に高い値を示している点で

ある。つまり、噴射・衝突回数を重ねるごとに更に解繊度が進んでいることを示している。用途によっては、高解繊品が適していることがあるため、生産時の生産性のみには捕らわれることなく、必要とされる CNF を生産することが重要である。

また、この A 由来 CNF は当社の従来の CNF よりも、細く長いため、対象物の増粘や補強には適している。その特性を利用して、現在秘密保持契約を締結している 2 社に提供し、実用化に向けたテストを実施して頂いている。いずれも良好な結果であり、実用化に向けて共同で開発を進めている。

表Ⅲ-2.1.7-20 A 由来 CNF の物性

| | 粘度 (mPa・s) | 重合度 | 比表面積 (m ² /g) |
|-----------------------|---------------|-----|-----------------------------|
| 2 wt% A 由来 CNF(58 %減) | 8,680 | 821 | 139.70 |
| 2 wt% A 由来 CNF(17 %減) | 8,800 | 678 | 167.69 |
| 5 wt% A 由来 CNF(58 %減) | 47,156 | 939 | 105.88 |
| 5 wt% A 由来 CNF(17 %減) | 58,444 | 829 | 135.99 |
| IMa-10002(2 wt%参考) | 6,293 | 758 | 133.91 |
| IMa-10005(5 wt%参考) | 44,311 | - | - |



図Ⅲ-2.1.7-8 A由来CNFのSPM像

[4]-2. 衝突方式検討

ウォータージェット技術を利用した当社の湿式微粒化装置（スターバースト）の特徴の一つに、衝突方式を選択できる点がある。同じ圧力で噴射しても、衝突方式によって対象物へのエネルギーの掛り方が異なってくるため、得られる処理品の形状も異なってくる。スターバーストの代表的な衝突方式を図Ⅲ-2.1.7-9に示す。それぞれに特徴があり、対象物および目的に応じて適した衝突方式を選択することができる¹⁰⁾。

■ 多彩な衝突方式



図Ⅲ-2.1.7-9 スターバーストの標準衝突方式

当社の CNF である BiNF_i-s の生産には、図Ⅲ-2.1.7-9 に示した標準衝突方式ではなく、CNF 生産に適した特殊な衝突方式を使用している。この衝突方式は、一定の投入エネルギーのもとでは限界値ともいえる程までに微細化の基本性能が高めているため、これを凌駕する CNF 生産用衝突方式の開発には高いハードルがある。そのため、当社の今までの衝突方式の概念に捕らわれることなく、根本から見直し、研究開発を実施している。

残念ながら、未だに大きな成果を得てはいないが、構想、試験は進んでおり、2022 年度末までには、一定の成果を得る予定である。

研究開発項目 [5] 新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良（中間目標の達成度：70 %）

研究開発項目 [1] ～ [4] までの成果を組み合わせ、新規 CNF 製造設備を構築することを目標としている。

研究開発項目 [1] を考慮して、ウォータージェット技術による増圧機を含めた CNF 製造設備（スターバースト）を製造した。研究開発項目 [2] を考慮して、原料タンク・攪拌機は、社内で設計・製造した。また、給液ポンプ、原料タンク、攪拌機を効率良く安全に使用できるように専用架台も設計し、給液ユニットを構築した。研究開発項目 [3] の熱交換器は、鋭意開発中のため、従来の三重管式熱交換器を使用している。研究開発項目 [4] の衝突方式は、鋭意開発中のため、従来の CNF 生産用の特殊衝突方式を使用している。これらは、当社が長年に渡りウォータージェット技術の開発を実施してきたからこそその成果であり、高濃度（高粘度）CNF 製造設備としては、他に類を見ない装置となっている。

熱交換器、衝突方式の以外は 2021 年度末の目標を達成しており、残りの要素も 2022 年度末までには達成する予定である。

研究開発項目 [6] 付帯設備の最適化、CNF 製造工程の自動化

(中間目標の達成度：30%)

現在の CNF 製造原価における人件費の割合は比較的高い。大幅な CNF コストダウンのためには、原料投入から乾燥・回収までの大部分を自動化する必要がある。原料投入後から CNF 化までの自動化はほぼ完成しているため、2022 年度末までには、原料投入の自動化を達成するための設備を調査中である。

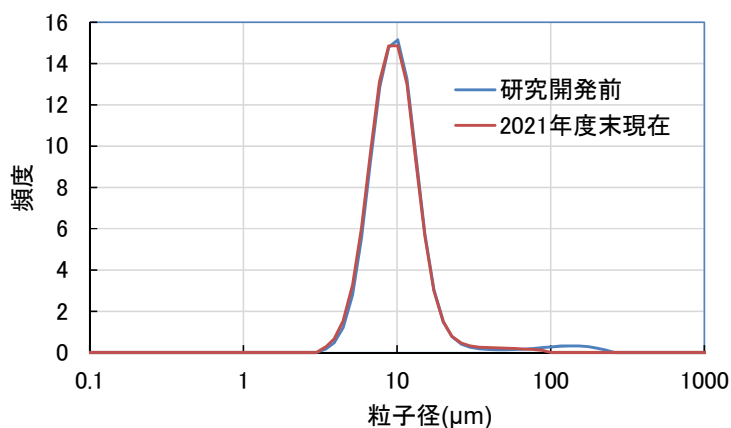
研究開発項目 [7] 高付加価値用途向け乾燥手法の検討、開発

(中間目標の達成度：100%)

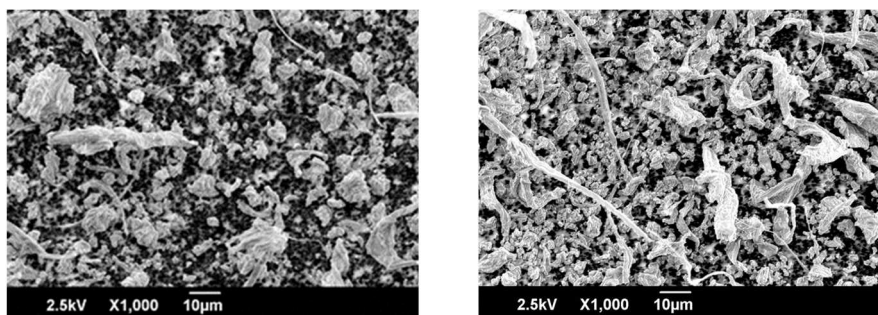
[7]-1. 高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末 (BFDP) の生産

高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末 (BFDP) の製造方法は、研究開発前までは、希薄分散液から製造する必要があった。本研究開発によって、当社の機械メーカーとしての技術を活かし、乾燥前の濃度を 2 倍の高濃度化に成功した。また、今までの CNF 乾燥に関するノウハウを活かし、中型機レベルの乾燥設備も導入し、乾燥条件を最適化することで、研究開発前のラボ機レベルの約 6 倍の生産量を達成した。つまり、研究開発前と比較すると、生産量は約 12 倍となった。

生産量が増えても、BFDP の性能が落ちては研究開発の意味はない。研究開発前および 2021 年度末現在の BFDP の粒度分布の比較を図Ⅲ-2.1.7-10 に、走査型電子顕微鏡 (SEM) 像を図Ⅲ-2.1.7-11 に示す。いずれの結果からも、生産量を向上させても、得られる BFDP の形状に違いがないことが分かる。



図Ⅲ-2.1.7-10 BFDP の粒度分布



研究開発前

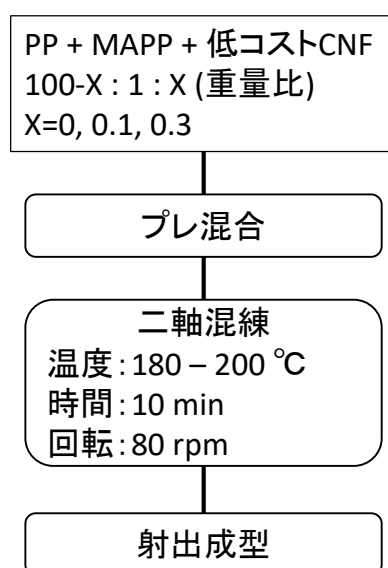
2021年度末現在

図Ⅲ-2.1.7-11 BFDP 乾燥粉末の SEM 像

[7]-2. BFDP の特性評価

[7]-2-1. PP/BFDP 複合体の製造

次に、得られた BFDP の樹脂に対する効果を確認するため、PP との複合化を検討した。工程を図Ⅲ-2.1.7-12 に示す。PP（サンアロマー製、PX-600N）に、所定量の BFDP（標準繊維長、WFO-UNDP）と 1 wt% のマレイン酸変性ポリプロピレン（MAPP、三洋化成工業製、ユーメックス 1010）、極少量の安定化剤を混ぜ、ブレンダーを用いてプレ混合を行った。その後、二軸混練機（Xplore Instruments BV 社製、MC15）を用いて 180～200 °C で 10 min 溶融混練を行った。混練後、射出成型機（Xplore Instruments BV 社製、MC15）を用いて、JIS K7161 に準拠したダンベル試験片を作製した。

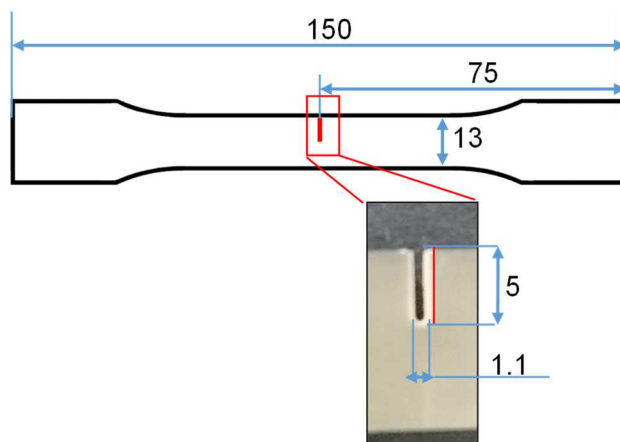


図Ⅲ-2.1.7-12 PP/BFDP 複合体の製造工程

[7]-2-2. PP/BFDP 複合体のスリット加工引張試験方法の確立

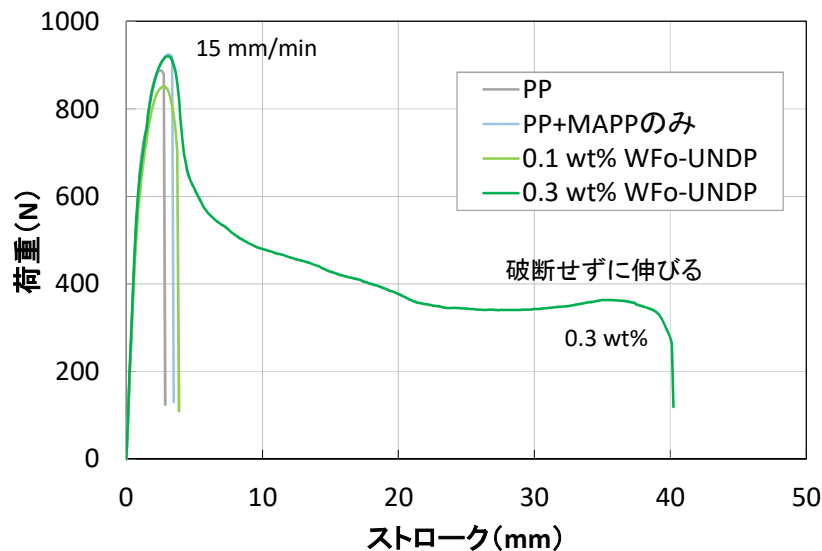
前述の通り、PP に BFDP を少量添加すると、「タフ化」というユニークな現象が見られる。それをより明確に発現させ、より正確な発現条件を見出すため、富山県立大学の真田教授が以前研究開発した先行文献¹¹⁾を参考にしてダンベル試験片にスリット加工を施した「スリット加工引張試験法」を独自に

開発し、評価に用いた。本手法は、ダンベル試験片の中心部にスリットを入れ、そこに応力を集中させることで、破断の容易化且つ必ず全ての試験片が同一箇所破断するようにした。スリット加工したダンベル試験片の模式図を図Ⅲ-2.1.7-13に示す。



図Ⅲ-2.1.7-13 スリット加工ダンベル試験片

PP/WFo-UNDP 複合体 (0, 0.1, 0.3 wt% WFo-UNDP) のスリット加工引張試験は、精密万能試験装置 (島津製作所製、オートグラフ AG-50KNXD) を用いて、引張速度 15 mm/min で実施した。得られた S-S カーブを図Ⅲ-2.1.7-14に示す。PP のみ、PP+MAPP のみ、PP/WFo-UNDP 複合体 (0.1 wt%) の 3 者はいずれも降伏点を向かえることなく破断していることが分かる。それに対して、PP/WFo-UNDP 複合体 (0.3 wt%) は、弾性率がわずかに向上しつつ、更に降伏点を過ぎて伸び続けており、大幅に靱性が高まっていることが分かる。これにより、WFo-UNDP 添加によって、PP が「タフ化」されたことが明確に証明された。この結果とこれまでの経験を踏まえて考えると、WFo-UNDP (BFDP) 添加による PP のタフ化効果は 0.3 wt%~1.0 wt% の範囲で特に発現することが明らかとなった。

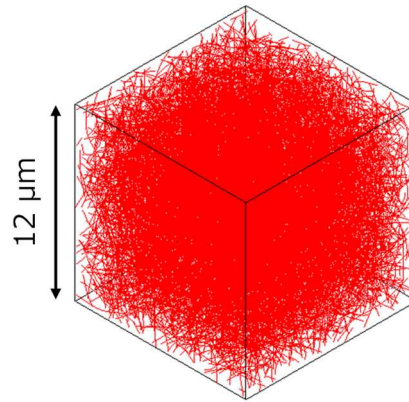


図Ⅲ-2.1.7-14 BFDP 添加 PP 複合体のスリット加工引張試験結果

[7]-2-3. PP/BFDP 複合体の特性の考察

破断挙動や破断後の試験片形状などから「タフ化」のメカニズムについて考察した。まず、BFDP の添加により PP の球晶が小さくなっていることは既に判明しており、これが 1 つ目の要因と考えられる。樹脂は応力を受けると細かいひび割れであるクレーズが発生する。このクレーズが伸展すると樹脂内でボイド（空隙）が大きくなり、クラックへと成長してしまい、その後、破断する。BFDP を添加することで、このクレーズの伸展を CNF によって抑制している挙動が観察されており、これが 2 つ目の要因と考えられる。これら 2 つが主な要因により、BFDP の添加によって樹脂は「タフ化」したと考察している。

次に、1 wt%以下の少量添加が適している要因について解説する。富山県立大学の真田研究室で実施した樹脂中の CNF 配置をコンピュータシミュレーションによって調査した結果を図Ⅲ-2.1.7-15 に示す。本シミュレーションは、繊維径 20 nm、繊維長 10 μm と仮定し、湾曲も想定した CNF を 1 本 1 本重ならないように 12 μm 角の立方体（樹脂）に配置し、独立した CNF の最密充填容量を求めたものである。本シミュレーション結果では、0.4 vol% (=0.7 wt%) で CNF は最密充填された状態となっている。つまり、CNF のフィラー効果を得るためには、理論上、0.4 vol% で十分であり、それ以上の添加は CNF の凝集を助長することになる。当社の BFDP による「タフ化」が 1 wt%以下で発現している結果と一致している。言い換えると、BFDP は樹脂内でほぼナノ分散していることも意味している。



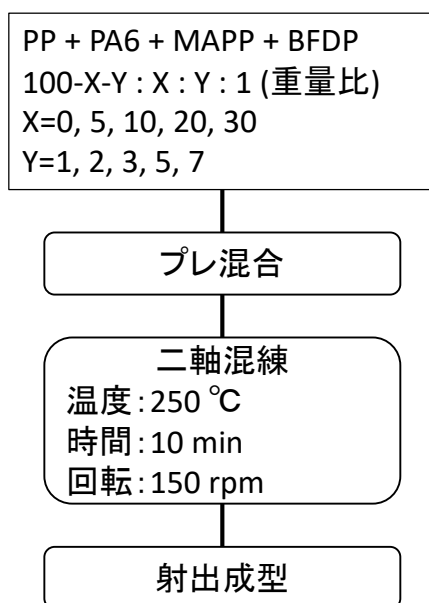
図Ⅲ-2.1.7-15 CNFの配置シミュレーション結果

[7]-3. BFDPの応用展開

[7]-3-1. PP/PA6/BFDP複合体の製造

BFDPの応用展開の一例として、富山県立大学の永田特別研究教授を中心にPPとポリアミド6 (PA6)のポリマーアロイとの複合化を検討した。上述した通り、PPにBFDPを添加すると「タフ化」というユニークな高機能化は発現するものの、強度アップはほぼ期待できない。そこで、BFDPとPA6による相乗効果による強度アップを期待した事例である。コンセプトは、PPよりもCNFとの親和性が高いPA6がCNF表面に存在することで、PA6で界面形成したCNFのネットワーク構造によってPPの補強と低熱膨張化を図ることである。

PPとPA6とBFDPの複合化工程を図Ⅲ-2.1.7-16に示す。PPとPA6（東レ製、CM1017）、BFDP（WFO-UNDP）、マレイン酸変性ポリプロピレン、極少量の安定化剤を所定の割合で混ぜ、ブレンダーを用いてプレ混合を行った。その後、二軸混練機を用いて250℃で10min溶融混練を行った。混練後、射出成型機を用いて、PP/PA6/BFDP複合体の種々の試験片を作製した。



図Ⅲ-2.1.7-16 PP/PA6/BFDP 複合体の製造工程

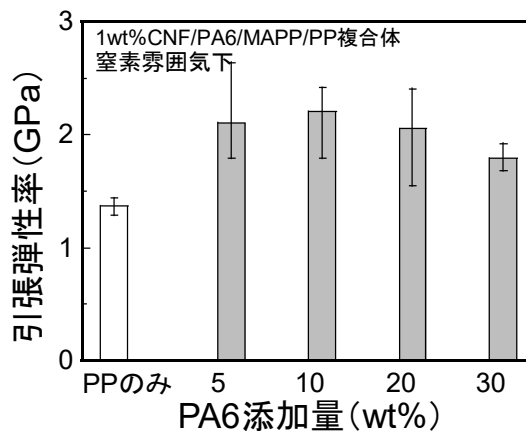
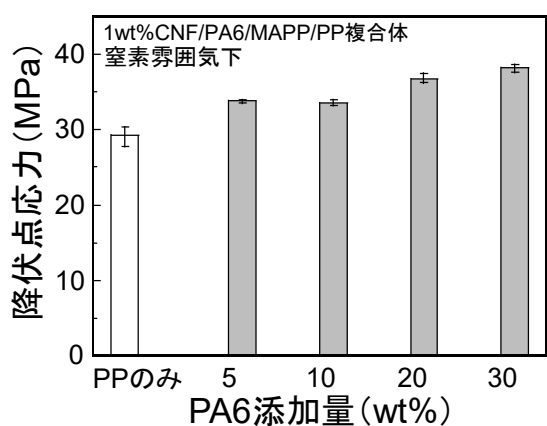
[7]-3-2. PP/PA6/BFDP 複合体の物性評価

得られた PP/PA6/BFDP 複合体を JIS K7161 に準拠して引張試験を行った。引張速度 20 mm/min で実施した。それぞれの降伏点応力および弾性率を図Ⅲ-2.1.7-17 に示す。PA6 と BFDP を添加することで、降伏点応力、弾性率のいずれも向上していることが分かる。これは、PA6 のみを添加した際も発現するが、BFDP と併用することで、より効果を発現する。CNF のネットワークが寄与していると考えられる。

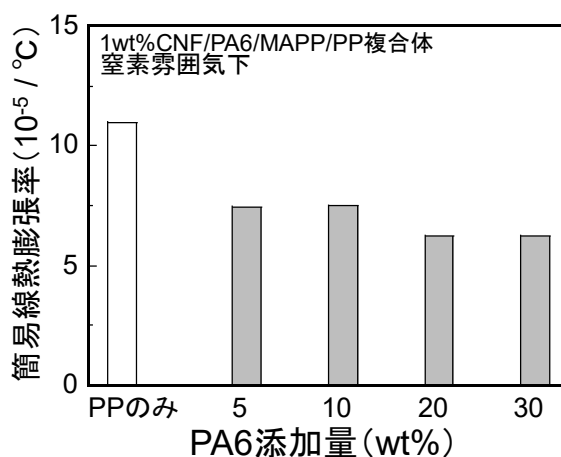
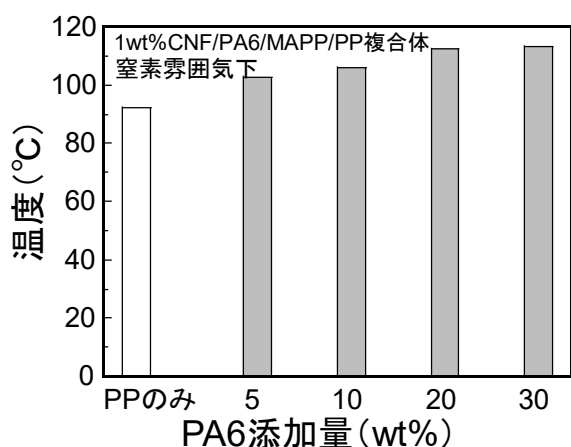
次に、得られた PP/PA6/BFDP 複合体の曲げ試験片を用いて、JIS K7191 に準拠して荷重たわみ温度の計測を熱変形温度測定装置（安田精機製、HD-500）を用いて行った。試験開始温度 50 °C、昇温速度 120 °C/h、最高試験温度 200 °C、荷重 0.45 MPa とした。得られた結果を図Ⅲ-2.1.7-18 に示す。BFDP を添加し、PA6 の添加量の増加に伴い、荷重たわみ温度は上昇しており、耐熱性が向上したことが分かる。PA6 のみを添加した際も上昇は見られるが、PA6 の添加量に対する影響は見られなかったことから荷重たわみ温度の上昇にも CNF のネットワークが寄与していると考えられる。さらに、同様の試験片および装置を用いて、簡易的に線熱膨張係数も計測した。試験開始温度 50 °C、昇温速度 120 °C/h、最高試験温度 120 °C、T1 温度 50 °C、T2 温度 60 °C、荷重 100 g とした。得られた結果を図Ⅲ-2.1.7-19 に示す。PA6 と BFDP を添加することで、線熱膨張率は低下することが分かる。PA6 のみの添加では、線熱膨張率はほぼ変化なかったことから、線熱膨張率の低下にも CNF のネットワークが寄与していると考えられる。

次に、得られた PP/PA6/BFDP 複合体を JIS K7111 に準拠してシャルピー衝撃試験を行った。デジタル衝撃試験機（東洋精機製作所製、DG-UB）を用いて、衝撃速度は 2.9 m/s とし、公称振り子エネルギーは 2 J 又は 4 J とし、評価項目は吸収エネルギーとした。得られた結果を図Ⅲ-2.1.7-20 に示す。一般的に PP にフィラーを添加し弾性率が向上すると耐衝撃性は低下する傾向があるが、

PA6とBFDPを添加した際は、弾性率が向上しているにもかかわらず、耐衝撃性は維持していることが分かる。こちらもPA6とCNFの併用の効果と考えられる。

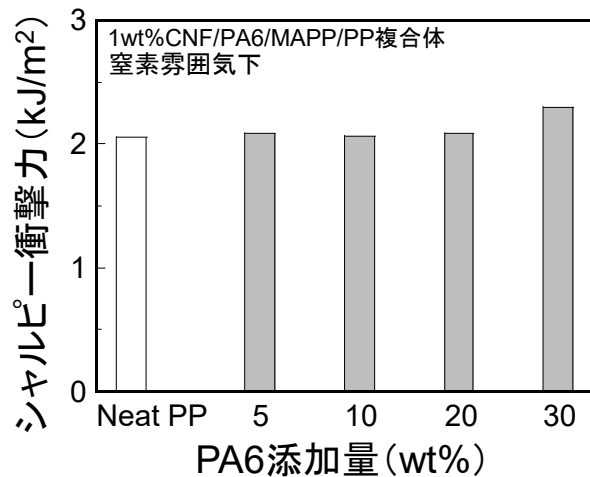


図Ⅲ-2.1.7-17 PP/PA6/BFDP 複合体の引張試験結果



図Ⅲ-2.1.7-18 PP/PA6/BFDP 複合体の荷重たわみ温度

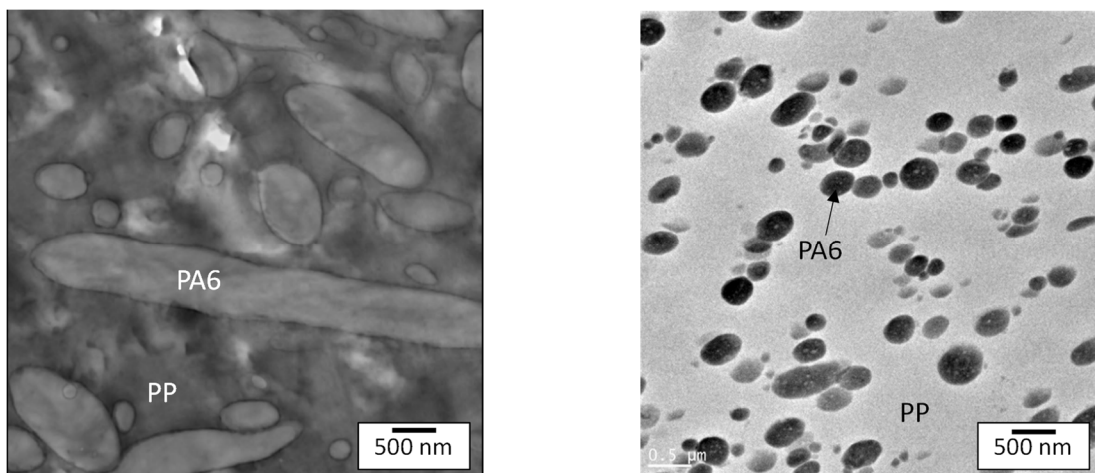
図Ⅲ-2.1.7-19 PP/PA6/BFDP 複合体の線熱膨張率



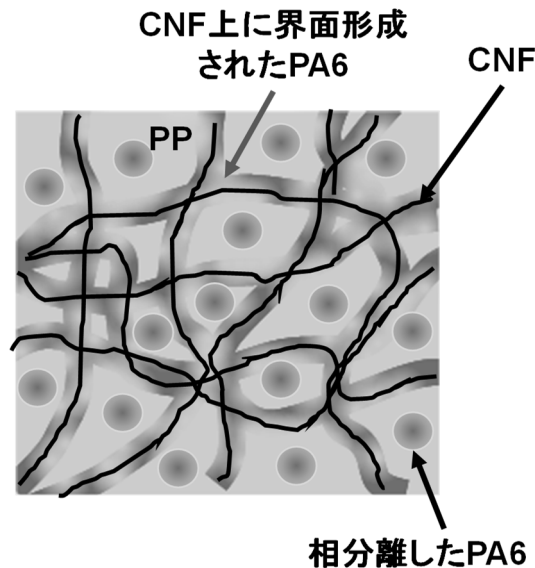
図Ⅲ-2.1.7-20 PP/PA6/BFDP 複合体のシャルピー衝撃試験結果

[7]-3-3. PP/PA6/BFDP 複合体の考察

PP/30 wt%PA6 複合体と PP/20 wt%PA6/1 wt%BFDP 複合体の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像を図Ⅲ-2.1.7-21 に示す。PP/30 wt%PA6 複合体の場合、PP 中の PA6 層分離構造は 1 つ 1 つが 500 nm 以上のかかなり大きな層分離構造を取っているのに対して、PP/20 wt%PA6/1 wt%BFDP 複合体の場合、PP 中の PA6 層分離構造は 100 nm 程度の微細な構造が確認できる。これは、PA6 で界面形成された CNF が PP 中に緻密なネットワーク構造を作ること、余剰の PA6 も大きな層分離構造を取れなかったためと考えている。構造イメージ図を図Ⅲ-2.1.7-22 に示す。このように、ナノ分散した PA6 界面形成 CNF と余剰 PA6 のナノアロイ化によって、ユニークな力学特性、熱特性を有する複合体を得ることができたと考えている。



図Ⅲ-2.1.7-21 各複合体の TEM 像 (左 : PP/PA6, 右 : PP/PA6/BFDP)



図Ⅲ-2.1.7-22 PP/PA6/BFDP 複合体の構造イメージ図

研究開発項目 [8] 低コスト用途向け乾燥手法の検討、開発（中間目標の達成度：50 %）

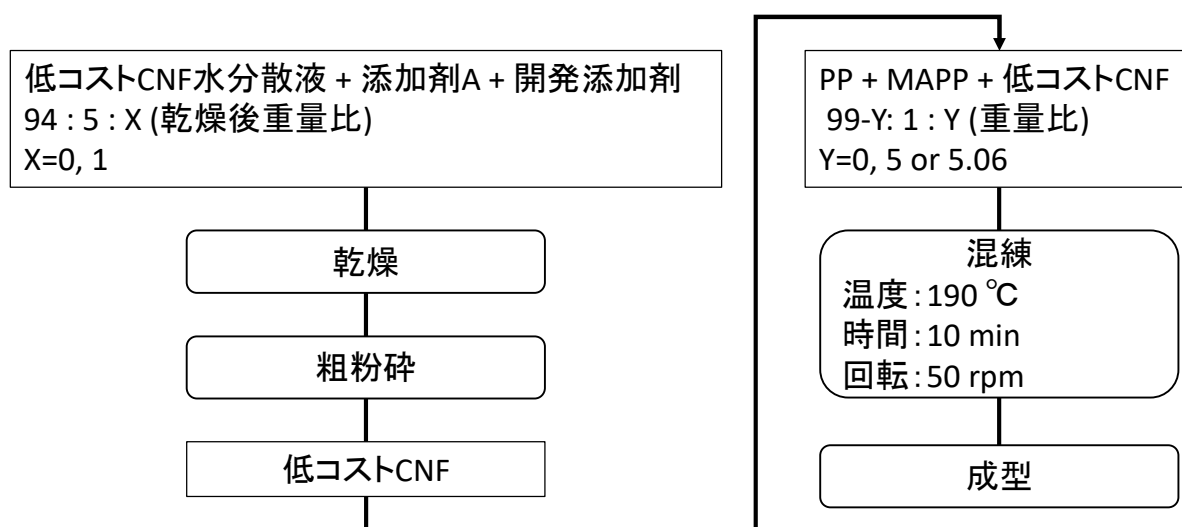
[8]-1. 乾燥方法の検討

低コスト用途向け CNF 乾燥粉末の生産方法は、現在、乾燥方法を調査、テスト中であり、まずは現状の乾燥方法にマイクロ波を組み合わせた乾燥方法をテストした。結果としては、課題であった、(a) 高エネルギーおよび乾燥時間が長い、(b) 乾燥後粗粉砕が必要（工程が増え、エネルギー費、人件費も増える）のうち、(a)については現状のマイクロ波無しに比べると、乾燥時間は短縮されたため、改善された。しかしながら、(b)については、粗粉砕工程を省けるような乾燥物を得ることはできなかった。そのため、別の乾燥方法を継続して調査中である。

[8]-2. PP/低コスト用途 CNF 乾燥粉末の特性評価

[8]-2-1. 低コスト用途向け CNF の乾燥と PP/低コスト用途 CNF 複合体の製造

CNF の凝集を抑制したり、樹脂との相溶性を改善したりするための添加剤の選定は、秘密保持契約を締結している化学メーカーと共同で、低コスト用途向け CNF 乾燥粉末をターゲットに進めている。開発中の添加剤を使用した際の PP/低コスト CNF 乾燥粉末複合体の製造方法を図Ⅲ-2.1.7-23 に示す。低コスト CNF 水分散液に添加剤 A、今回開発中の開発添加剤を所定量添加し、乾燥、粗粉砕を行った。PP に MAPP、得られた低コスト CNF を所定量添加し複合化を行った。低コスト CNF は、添加剤の重量を除き、5 wt%で統一している。



図Ⅲ-2.1.7-23 PP/低コスト用途 CNF 乾燥粉末複合体の製造工程

[8]-2-2. PP/低コスト用途 CNF 複合体の特性評価

得られた PP/低コスト CNF 複合体を用いて、曲げ試験、アイゾット衝撃試験、荷重たわみ温度測定を実施した結果を表Ⅲ-2.1.7-21 に示す。開発添加剤を使用することで、未使用よりもいずれの物性値も向上している。これは、開発添加剤によって、樹脂と低コスト CNF の親和性が改善され、樹脂-低コスト CNF 間の界面形成ができたためと考えられる。しかしながら、耐衝撃性については、PP のみよりも大幅に低下している。弾性率が約 1.3 倍向上しているため、耐衝撃性の維持は困難ではあるが、できる限り維持する手法を検討する必要がある。添加剤の化学メーカーのみならず、成型メーカーともデータを共有しつつ、開発を進めている。

表Ⅲ-2.1.7-21 PP/低コスト CNF 複合体の物性測定結果

| | | ① | ② | ③ |
|----|-------------------------------|------|-----------------------------|-------------------------------|
| | | PP | 5 wt% 低コスト CNF (開発添加剤なし) | 5 wt% 低コスト CNF (開発添加剤 1 部) |
| 試験 | 曲げ弾性率 (MPa) | 1403 | 1612 | 1822 |
| | 曲げ強度 (MPa) | 47.9 | 47.8 | 53.8 |
| | アイゾット衝撃強度(kJ/m ²) | 86.5 | 40.1 | 45.6 |
| | 荷重たわみ温度(°C) | 62.6 | 65.6 | 70.4 |

(2) 研究開発の成果と意義

研究開発項目 [1] ~ [6] における成果を基に算出した CNF のコスト試算を表Ⅲ-2.1.7-22 に示す。CNF 処理濃度を 15 wt%に向上させられる用途はついていないが、まだ実証できていないため、2021 年度末としては、10 wt%とした。しかしながら、それを可能とする新規 CNF 製造設備は完成し

ているため、2022 年度中には実証生産も完了し、目標を達成する予定である。それ以外の項目については、既に 2022 年度目標を達成している。

CNF 水分散液の大口の需要先としては、天然ゴムラテックスの添加剤、塗料や研磨剤の分散剤（レオロジー調整剤）、油脂の増ちよう剤、二次電池用部材、スピーカー用コーン紙などの機能紙、CNF 成形体原料などを期待している。中には高価なものも存在するが、比較的安価なものも多く、CNF の大きな市場を形成するためには、低コスト化が必要不可欠である。本研究開発の成果によって低価格化が進み、市場の拡大が期待できる。

CNF 水分散液の低コスト化は、CNF 水分散液のみならず、CNF 乾燥粉末そして CNF/樹脂複合体のコストに直結する大元である。そのため、CNF 水分散液の生産コストを大幅に下げる意義は大きい。

表Ⅲ-2.1.7-22 2021 年度末 CNF 水分散液のコスト試算

| | 研究開発前 | | 2021 年度末実績 | | 2022 年度末目標 | |
|--------------------------------|-----------|------|------------|------|------------|------|
| | 高付加 価値 | 低コスト | 高付加 価値 | 低コスト | 高付加 価値 | 低コスト |
| CNF 処理濃度 ^{*1} | 10 wt% | | 10 wt% | | 15 wt% | |
| 噴射・衝突回数 (省エネ) ^{*2} | 100 | 83 | 83 | 50 | 83 | 83 |
| 消耗品費 ^{*2,3} | 100 | 85 | 83 | 50 | 85 | 70 |
| 人件費 ^{*2,3} | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 間接費 | 10 % | | | | | |

次に上記の CNF 水分散液の成果を利用し、更に研究開発項目 [7] における成果を基に算出した高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末のコスト試算を表Ⅲ-2.1.7-23 に示す。CNF 初期濃度の高濃度化そして処理量の増加が目標よりも遥かに上回ったため、既に 2022 年度末目標を達成している。本研究開発を行い、大幅に高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末のコストを下げられたため、大きな引き合いを得るチャンスが広がったため、本研究開発の意義は大きい。

表Ⅲ-2.1.7-23 高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末コスト内訳

| | 研究開発前 | 2021 年度末現在 | 2022 年度末目標 |
|----------------|------------|------------|------------|
| CNF 水分散液 + 添加剤 | 100 | 95 | 62 |
| エネルギー費 | 100 | 16 | 14 |
| 人件費 | 100 | 1 | 1 |
| 間接費 | 乾燥部分の 10 % | | |

次に上記の CNF 水分散液の成果を利用し、更に研究開発項目 [8] における成果を基に算出した低コスト化用途向け CNF 乾燥粉末のコスト試算を表Ⅲ-2.1.7-24 に示す。現時点では、調査・テストの段階であり、コストへの影響はまだ得られていないが、2022 年度末、2024 年度末の目標に向かって足固めをしている。

表Ⅲ-2.1.7-24 低コスト用途向け CNF 乾燥粉末コスト内訳

| | 研究開発前 | 2022 年度末目標 | 2024 年度末目標 |
|----------------|------------|------------|------------|
| CNF 水分散液 + 添加剤 | 100 | 100 | 62 |
| エネルギー費 | 100 | 100 | 45 |
| 人件費 | 100 | 100 | 49 |
| 間接費 | 乾燥部分の 10 % | | |

上述したように、コストが下がってきている。それによって、使用可能な用途も広がってきていると考えている。研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」のプロジェクトの事業者との繋がりは、研究開発前から幾つか存在していたが、2021 年 12 月 24 日に開催された CNF 全体会議によって、新たな繋がりを得ることができた。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

各研究開発項目の 2022 年度末目標と 2021 年度末の達成度、最終（2024 年度末）目標の達成の可能性を一覧で表Ⅲ-2.1.7-25 に示す。

表Ⅲ-2.1.7-25 各研究開発項目の達成度

| 研究開発項目 | 最終（2022 年度末）目標 | 2021 年度末 | 2024 年度末見込み |
|--------|----------------------------------------|--------------------|--------------------|
| [1] | 最適な増圧機構を選定する(現行増圧機効率よりも 1 %でも高く) | ◎ (ただし、効率は変化なし) | ◎ (ただし、効率は変化なし) |
| [2] | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に CNF 製造装置に供給できる。 | ◎ | ◎ |
| [3] | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に冷却（最低 50 °C以下）できる。 | △ | ○ |
| [4] | 衝突回数 17 %減となる原料およびチャンバーの決定 | ◎ △ | ○ |
| [5] | 15 wt% CNF 水分散液を安定的に製造可能な設備とする。 | △ | ○ |

| | | | |
|-----|--------------------------------------------------------|---|---|
| [6] | 選定、予備テスト終了 | △ | ○ |
| [7] | ・大型機の導入後の CNF 特性は現状を凌駕 ・乾燥開始濃度は現行の 1.3 倍 ・添加剤の選定 | ◎ | ○ |
| [8] | ・乾燥方法の調査、予備テスト終了 ・添加剤の選定 | △ | ○ |

◎：達成済み、○：達成予定、△：30%以上～100%未満、×：30%未満

それぞれの項目については、以下に示す。

研究開発項目 [1] 増圧機の最適化

2020 年度で完了済みである。運用していく中で何か問題が発生した場合は、研究開発項目 [5] で対応していく。

研究開発項目 [2] チェックバルブ（逆止弁）、給液ポンプの試作・テスト

2021 年度で完了済みである。運用していく中で何か問題が発生した場合は、研究開発項目 [5] で対応していく。

研究開発項目 [3] 熱交換器の設計

2021 年度末までの成果として、熱交換器の基本構造を三重管式熱交換器とすることとした。2022 年度中に現状の耐圧、メンテナンス性を損なうことなく、現状の熱交換器自体の大きさもほぼ変えることなく、冷却効率を高めるための伝熱面積および放熱面積を増やせる構造を設計・製作し、活用することで、目標を達成できる予定である。

研究開発項目 [4] 原料検討、衝突方式検討による噴射・衝突回数の削減

[4]-1. 原料検討

2021 年度末までの成果で、解繊しやすい原料（A）は入手済みである。今後は、CNF 生産の自動化に向けて効率的な前処理方法などを検討する必要がある。これは、研究開発項目 [6] にも繋がる課題であるが、既に A の特性は理解しており、十分に達成可能である。

また、A 由来 CNF を更に今までのラインアップでは性能が不足していたユーザに向けて提供を進め、CNF の市場拡大を目指す。

[4]-2. 衝突方式検討

残念ながら、未だに大きな成果を得てはいないが、構想、試作、試験は進んでいる。2022 年度末までには、一定の成果を得る予定である。それによって、更に噴射・衝突回数を削減することで、省エネ、消耗品費削減も実施できる。そのため、目標は達成できる予定である。

研究開発項目〔5〕 新規 CNF 製造装置の設計・製造・改良

2021 年度末までに一連のシステムは構築済みである。残りは、研究開発項目〔3〕 熱交換器、研究開発項目〔4〕 衝突方式を完成させ、実運用していく中で、改良を進める。そのため、2022 年度末目標は達成できる予定である。さらに、2024 年度末の目標に向けて CNF 製造のコストダウンを図るため改善を続けていく。

研究開発項目〔6〕 付帯設備の最適化、CNF 製造工程の自動化

CNF 製造工程の自動化を行うためには、原料の自動投入装置（前処理装置）や CNF 完成後の回収システム（次工程輸送システム）が必要となる。自動投入装置は現在調査中であり、CNF 回収システム（次工程輸送システム）については、新たな高額設備は必要ではなく、現装置のソフト変更および軽微な設備投資で可能と考えている。2024 年度末までには完成できる予定である。

研究開発項目〔7〕 高付加価値用途向け乾燥手法の検討、開発

2021 年度末までに大幅な生産性向上、コストダウンに成功しており、当初の 2022 年度末の目標は既に達成している。しかしながら、より精度の高い CNF 乾燥粉末にするため、粗大物を取り除く工程の効率化を 2022 年度末までに実施する。また、ユーザからの細かい仕様に対応するためには、添加剤の検討も必要になってくると考えられるため、2022 年度末までに目的別の添加剤の選定も行う。そして、CNF 製造装置から乾燥機までの工程の省人化や梱包など後工程の自動化も検討し、高品質・低コスト化を進めるための技術開発も 2024 年度末の目標を達成するため、実施していく。

PP/PA6/BFDP 複合体については、詳細な分析を重ねるとともに、ユーザへの PR を加速させ、実用化に向けた取り組みを強化する。

研究開発項目〔8〕 低コスト用途向け乾燥手法の検討、開発

大幅なコストダウンのためには、乾燥方法のみならず、原料の再選定の必要性も感じている。そのため、2022 年度は乾燥方法の調査、試験と並行し、精製度が低く比較的安価で樹脂との相溶性も高まるリグニンを含んだリグノセルロースなども検討していく予定である。添加剤についても、引き続き化学メーカーや成型メーカーと協力し、開発を進めていき、現時点でも性能は他社に劣らないが、より高い性能を目指す。

2024 年度末までには、乾燥方法、原料、添加剤の最適値を見出し、性能・コストの目標値を達成する予定である。

（4）知的財産などの確保に向けた取り組み

本研究開発の成果により、出願した特許一覧を表Ⅲ-2.1.7-26 に示す。CNF 生産（水分散液、乾燥粉末）の基本特許はすでに取得済みであり、その CNF の特性を活かした応用特許（樹脂、ゴム

など) を順次出願している。また、新しい特徴を有した CNF の生産方法を見出したので、その物質特許および製造方法特許も出願済みである。

表Ⅲ-2.1.7-26 出願特許一覧

| | 名称 | 出願番号 | 出願日 | 発明者 |
|---|---------------------------------------------------|----------------|------------|------------------------------|
| 1 | バイオマスナノファイバー添加剤及び樹脂組成物 | 特願 2021-125029 | 2021/7/30 | 永田員也 真田和昭 森本裕輝 小倉孝太 |
| 2 | ゴム複合化物、ゴム複合化物の製造方法、ゴム-バイオマスナノファイバーマスタバッチ | 特願 2021-190513 | 2021/11/24 | 小倉孝太 |
| 3 | セルロース粒子、セルロース粒子含有水分散スラリー、樹脂複合体、粒子混合体、セルロース粒子の製造方法 | 特願 2022-039696 | 2022/3/14 | 森本裕輝 小倉孝太 近藤兼司 峯村淳 |

参考文献

- 1) 株式会社スギノマシン, BiNF-i-s カタログ
- 2) セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価書
<https://www.aist.go.jp/chugoku/ja/event/2020fy/0326.html>
- 3) K. Ogura, *Cellulose Communications*, **25(2)**, 61-64 (2018).
- 4) 特許第 7034748 号
- 5) 特許第 6889358 号
- 6) 特許第 7007630 号
- 7) 特開 2021-138888
- 8) 特開 2020-125417
- 9) 特開 2020-125563
- 10) 株式会社スギノマシン, スターバースト カタログ
- 11) K. Sanada, *et al*, *Journal of composite materials*, **46(12)**, 1431-1438 (2011).

2.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」(委託事業、及び助成事業)

2.2.1 テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」(助成事業)

2.2.1.1 サブテーマ 1「CNF 技術を利用した住宅・非住宅用内装建材の開発」

(大建工業株式会社、利昌工業株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

① 本事業で開発を目指す技術の全体像

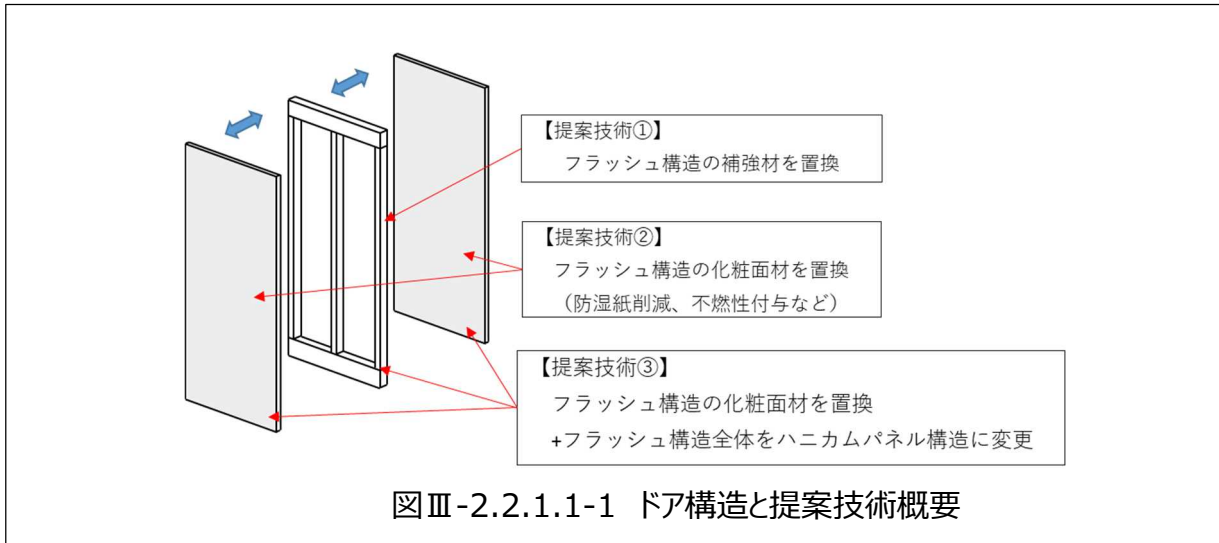
セルロースナノファイバー(以下 CNF)を主成分とした、軽量で高強度の CNF 成形体を用い、内装建材分野での新規用途の開拓と従来材の置換により、CNF の大量需要を創出するだけでなく、建材製造時や資材運搬並びに施工を含めた CO₂ 排出量の総合的な削減を目的とした実証評価と、CNF の社会実装を目指す。

② 技術的な重要性

CNF はバイオマス由来の持続可能、循環可能な低環境負荷素材であり、従来の木質系材料では実現できなかった高い剛性、強度を有することで、建築資材としても新しい付加価値を創出する可能性を秘めた素材である。一方で、住宅用建材の原材料として見た場合、価格が 1 kg あたり数千～数万円と非常に高価であり、CNF の低価格化とともに、コストに見合った付加価値の創出が本事業の成果の企業化に向けた課題となる。今回、利昌工業株式会社が開発する比較的廉価な CNF のみ、もしくは CNF を主成分とする成形体、つまり樹脂を必要としない高強度を有する材料を活用することの実現が可能であれば、従来の建材と同程度の価格を維持した上で、高強度、軽量化など、これまでにない付加価値をつくることができる。

③ 最終的な仕上がりイメージ・開発する技術の利用されるイメージ

本技術の活用例について以下に示す。CNF 成形板を建材の補強材や化粧面材と置換することで高強度化、軽量化を実現し、CNF の大量需要の創出ができる。



(2) 位置づけ、目標値

① 事業のアピールポイント

CNFの製板・含浸・積層・複合要素技術を応用した低コストのCNF内装建材を社会実装し、CNFの大量需要の創出を図る。

② 位置づけ

CNFの活用方法は現在多く検討されているが、その多くは添加剤や樹脂フィラー等の助剤として基材に少量添加するのに対し、本事業で活用するCNF成形板は基材の主原料として大量のCNFを用いるため、CNFの大量需要の創出に貢献しうる技術として位置づけられる。

③ 目標値

表Ⅲ-2.2.1.1-1 各項目の課題と達成レベル

| | 番号 | 課題 | 手段 | 達成レベル |
|----------|-----|-------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| CNF成形体検討 | ①-1 | 製造コスト低減 | 原材料の評価と選定 前処理の最適化 製造、物性などの基本仕様検討 | ●2022年度まで 成形体コスト = 600円/kg を目標として原料価格ロードマップの見極めと、目標価格を達成できる原料の選定。 |
| | ①-2 | 実機での試作仕様の確立 | 工場設備の設計、改良検討 連続成形など生産効率化検討 実証試作、評価、妥当性の検証 | ●2022年度まで 数量、コストに見合った試作製造仕様の確立 |
| | ①-3 | 複合化技術確立 | 接着、印刷適性の評価 プリプレグ化、ラミネート手法等の検討 切断・切削加工性の評価と手段の選定 | ●2021年度まで 既存設備で加工可能できること。 (積層成形、NC加工機等) |
| | ①- | 目標物性の | JIS等の試験規格に基づいた材料物 | ●2022年度まで |

| | | | | |
|-----------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 4 | 設定 | 性の測定。剛性や耐水性の向上、難燃性の付与、レオロジー測定。 ビーズミルによるCNFの前処理、成形条件の最適化の検討 | 既存の内装建材用材料に求められる難燃性や耐久性を示す軽量のCNF材料の創製。比弾性率として1.5以上を目指す。 |
| | ②-1 | 基礎物性解析 | CNFの微細構造解析 (レオロジー解析、微細構造観察等の考察と助言) | ●2022年度まで CNF材料の物性発現の機構解明 |
| CNF 建材検 討 | ③-1 | 複合化(建材作製) | 建材適用への成形体の要求性能抽出 小片試作による物性評価 | ●2022年度まで 強度、乾湿伸縮率など内装建材の品質基準を満足する室内ドア、床材の製品仕様を決定 例) 住宅用室内ドア <乾湿による反り量> 基準値: 4mm以下 <製品重量> 現行品10%軽量化 |
| | ③-2 | 付加価値の明確化 | 検討アイテムの選定と見極め 高強度、軽量などの性能付与技術検討 CNF成形体、適用建材単体CO2削減効果の試算製品ライフサイクル全体でのLCA評価 | ●2022年度まで 実製品同等の製造コスト、強度や軽量性などの付加価値、CO2削減効果などの環境負荷削減を満足する事業化製品の確定 |
| | ③-3 | 事業性評価 | 対象アイテムの市場性評価・競合調査 (製造コストを踏まえた) 製造コストの精査(加工、材料費) CNF原材料供給の可否判断 販売量、CNF使用量の試算 | ●2022年度まで 事業としての採算性、規模を踏まえた計画の策定 例) 住宅用室内ドア <製造コスト> 製造原価が現行品同等 <製品品質> 当社室内ドア品質基準をクリア <製品重量> 現行品10%軽量化 |
| | ④-1 | 試作品性能検証 | 実寸サイズでの試作、性能検証 実住宅での施工検証 | ●2022年度まで 強度や乾湿伸縮率などの品質目標値を満足することを確認 例) 住宅用室内ドア <乾湿による反り量> 基準値: 4mm以下 |
| | ④-2 | 複合部材の基礎物性解析 | CNF適用部材の物性発現機構の解析 (強度、乾湿収縮率など) 複合素材の部材構成設計指針検討 | ●2022年度まで CNF適用部材の物性発現機構の解明 |
| | ④-3 | 新規部材構成の基礎検討 | 床材、室内ドアの新規部材構成・新加工方法の検討 | ●2022年度まで 新規部材構成の基本技術・仕様の確立 例) OAフロア |

| | | | | |
|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | <耐荷重性能> 基準値：所定荷重5000N、 3000N載荷時の変形量： 5.0mm以下、残留変形：3. 0mm以下 <製品重量> 所定荷重5000N：14k g/m ² 所定荷重3000N：12k g/m ² |
|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

④ 目標値の根拠

CNF部材コストが600円/kg（内、CNF原料コスト=300円/kg）とできた場合、本事業で検討を予定している①芯材補強材代替、②面材代替については、現行製造仕様と比較してコストは同等以下とすることが可能である。また、③芯材+面材代替については、コストアップという課題は残るが、軽量化という新たな付加価値につながるものと考えられる。

⑤ 事業の全体の目標（値）

表Ⅲ-2.2.1.1-2 ドア製品の現状、事業目標

| 品目 | | 現状 | 2031年度の目標 |
|----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ドア | 住宅用ドア （木質系） | <ul style="list-style-type: none"> ・CNFを板状に成形する基本技術は利昌工業㈱により確立されている。 ・ドアの反りを抑制するために芯材に鉄芯が用いられている。 ・ドア全体を軽量化するために、内部をフラッシュ構造とし、パーティクルボード、LVL等が構成部材として用いられている。 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄心を代替する、反りの小さいCNFによる芯材仕様の確立。 ・フラッシュ構造全体を軽量化できるCNFドア構成部材仕様の確立。 ・現行製品と同等の性能、耐久性を有している。 ・現行製品に比べて約50%の軽量化、CO₂排出削減量457t-CO₂を達成。 |
| | 非住宅用ドア （鋼製） | <ul style="list-style-type: none"> ・耐火性能、強度が必要なため、主に金属材料が利用されている。 | <ul style="list-style-type: none"> ・CNFによる表面材含めた耐火ドア仕様確立。 ・現行製品と同等の性能、耐久性を有している。 ・現行製品に比べて約50%の軽量化、輸送部門におけるCO₂排出削減量125t-CO₂を達成。 |

表. 床材製品の現状、事業目標

| 品目 | | 現状 | 2031年度の目標 |
|----|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 床 | 住宅用床 (木質系) | <ul style="list-style-type: none"> ・CNFを板状に成形する基本技術は利昌工業(株)により確立されている。 ・ラワン等、調達に難しい南洋材が基材に用いられている。 ・床として表面性、硬度、耐水性を保持するために、MDF、含浸紙等が強化層として利用されている。 | <ul style="list-style-type: none"> ・南洋材を必要としない表面性、硬度、耐水性を発現する、CNF床材強化層の仕様確立。 ・現行製品と同等の性能、耐久性を有している ・現行製品に比べて約60%の軽量化、輸送部門におけるCO₂削減量2,949t-CO₂を達成。 |
| | 非住宅用床 (OAFフロア) | <ul style="list-style-type: none"> ・防音性能を持たせるために、重量のあるスチール系、コンクリート系材料が用いられている。 | <ul style="list-style-type: none"> ・現行製品と同等の強度性能、耐久性を有するOAFフロアの仕様確立。 ・現行製品に比べて約80%の軽量化、輸送部門におけるCO₂削減量21,816t-CO₂を達成。 |

(3) 全体計画

3-1 CNF成形体の検討 (利昌工業・筑波大学)

2020年度、2021年度は、①-1 製造コスト低減、①-2 量産仕様の確立、①-3 複合化技術の確立、①-4 目標物性の設定、②-1 基礎物性解析、ならびに②-2 塑性加工技術について検討した。

①-1 製造コストの低減では、市販されているCNFの価格調査を実施し、本事業に適用できるCNFの候補を見出すに至っている。

①-2 量産使用の確立では、安価なCNF原料を見出したことにより、これまでに市販されていたCNFと同等以上の物性を有するCNF成形体が製造できることが分かった。

①-4 目標物性の設定は、CNF成形体の耐水性と寸法安定性の改善を目的としてCNFにフェノール樹脂を少量含浸させる手法を見出し、樹脂含浸CNFは耐水性、寸法安定性、力学特性のほか、ホルムアルデヒド放散量など、建材としての要求特性を満たす材料となった。

2022年度前半は、CNF製板材を内装建材として適用するために実大の試作を実施し、大建工業にてCNFの特徴を活かした内装建材を試作し実証評価する。後半はCNF製板材の性能を向上させる基礎検討を継続するとともに、廉価なCNF原料の実用化に向けた基礎検討を完了させ、本事業の最終目標である安価なCNF製板材の可能性の可否について検証する。

3-2 CNF建材検討（大建工業・秋田県立大学）

CNF 利用内装建材の評価と実装については、2020、2021 年度は③-1 複合化（建材作製）、③-2 付加価値の明確化、③-3 事業性評価を実施した。

③-1 では、まずは CNF 製板材が内装建材に適用可能か小片試作にて基本物性を検証した。比較として一般的な内装建材に用いられる MDF を使用したが、強度面では MDF の 3~4 倍であったが、吸湿・吸水時の寸法安定性に大きな課題があった。①-4 にて確立したフェノール含浸手法により内装建材に適用可能な CNF 製板材を見出すことが出来た。

③-2、③-3 ではフェノール含浸 CNF 製板材を用いて小片複合化（建材作製）し品質評価、展示会などで市場性の評価を実施した。

さらに、適用可能な内装建材アイテムの抽出、要求品質調査により非住宅用床材が付加価値の明確化につながることから優先開発アイテムとして取り上げることとした。

CNF 建材の物性評価、製造効率化の研究については、2020、2021 年度は④-1 では試作品性能評価、④-2 では複合部材の基礎物性解析、④-3 では新規部材構成の基礎検討を実施した。

④-1 では③-1 にて検討した CNF 製板材を実大試作にて検証、品質評価を 2 回実施した。安価な CNF 原料の自家加工品を用いた実大試作では製造、品質共に安定性が低い結果となった。実大試作における CNF 抄造時の CNF 解繊不足、スラリー分散不良など課題を抽出することが出来た。

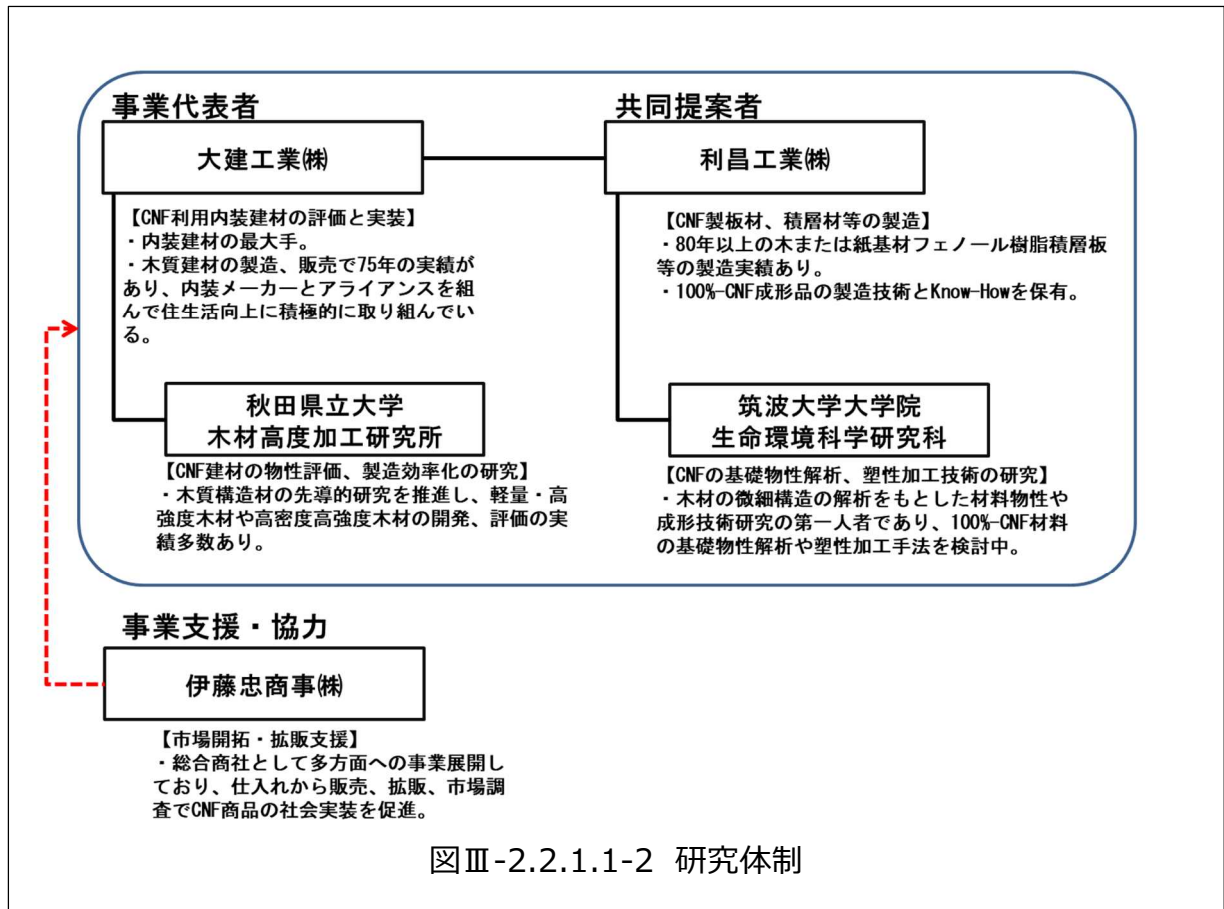
④-2 では複合化（建材製作）後の製品品質を検証することにより、CNF 建材の物性発現挙動を確認することが出来、品質設計につなげることが出来た。

④-3 では建材アイテム抽出により最適複合化技術の検証を実施、非住宅用床材の製品化の為の複合台板の開発を推進した。

これまでの研究開発の成果から、内装建材として要求される品質項目にて CNF 製板材を耐水化処理することにより満足することが確認できた。また、CNF の低価格化の為に、安価な CNF 原料の自家加工品の使用を試み、小片試作においては想定通りの結果となったが、量産化に向けたスケールアップ・実大試作における品質安定化に課題を残す結果となった。

2022 年度は本技術検討の最終年度となる為、最重要課題となる低価格化と量産体制の確立、品質安定化を早急に確立し、内装建材実装に向けた付加価値の明確化、市場評価、LCA 評価など実用化・事業化を見据えた検討を推進していく。

(4) 実施体制



(5) 運営管理

事業参画者全員参加による技術連絡会議を原則2ヶ月毎に1回開催している。外部有識者として京都市産業技術研究所の戦略フェロー北川和夫氏を招へいしている。

(6) 実施の効果

本事業によるドア製品、床製品を通じ、販売開始5年目で、それぞれ4,196百万円2,297百万円の売り上げ効果が期待される。製品軽量化に伴う輸送効率の向上によるCO₂削減効果は、約25千t-CO₂/年となる見込である。

また本事業実現時(2031年度)のCNF必要量は年間約4,900tと推定され、これは現在、国内にある各社のCNF実証プラントの生産能力を上回るものであり、新たなCNF需要、引いては雇用創出につながるものと考えられる。

さらに、CNFの建材への応用で得た知見をもとにして、電気・電子材料や航空機、輸送機などを対象とした高付加価値なCNF材料の展開が期待できる。

表Ⅲ-2.2.1.1-4 売上予測、CO2削減効果（2031年度、販売開始5年目想定）

| | 住宅ドア | 非住宅ドア | 住宅用床 | 非住宅用床 |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| 数量(ドア：千本、床：千坪) | 93 | 20.8 | 133 | 63 |
| 売上(百万円) | 2,325 | 1,871 | 1,668 | 629 |
| CNF 使用量(t) | 397 | 167 | 1,084 | 3,218 |
| CO ₂ 削減効果(t-CO ₂ /年) | 457 | 125 | 2,949 | 21,816 |

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題、研究開発の成果と意義

表Ⅲ-2.2.1.1-5 中間目標に対する研究成果

| 研究開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①CNF製板材、積層材の製造 (利昌工業) | 内装建材に適合するCNF成形体の創成、社会実装のための安価なCNF原料の選出と実用化。 | 耐水性はCNFへの少量の樹脂の導入で達成。 CNF原料は安価な原料候補の入手経路確保。 | ◎ | 安価なCNF原料からのCNF生成方法の確立。 CNF製板材、耐水性処理の連続生産ラインへの適用の検討。 生産設備の導入 |
| ③CNF利用内装建材の評価と実装 (大建工業) | 内装建材に適合するCNF成形体の要求性能抽出と内装建材アイテムの付加価値創出と事業性の評価を実施する。 | ①成果により建材アイテム抽出、小片試作を実施。CNFの特性を活かした建材アイテムの開発に着手。 | ○ | 廉価なCNFを用いたCNF製板材の品質安定性向上、それを用いた内装建材の商品企画を実施すると共に、適用建材製造におけるコスト試算、CO ₂ 削減効果、LCA評価を早急に実施し、事業性を評価する。 |
| ④CNF建材の物性評価、製造効率化 (秋田県立大学) | CNF内装建材試作品の性能検証、実使用上の課題抽出など実用化に向けた検証を実施する。 | CNF成形体の実大サイズでの試作及びそれを用いた建材アイテムの試作を実施。 | ○ | 実大製品の量産試作を実施し、施工評価、環境試験など実用化に課題抽出を行い、最適複合化技術の検証を実施する。 |

(2) 最終目標の達成可能性と課題

表Ⅲ-2.2.1.1-6 最終目標に対する達成見通し

| 研究開発項目 | 現状 | 最終目標 (2022年度末) | 達成見通し |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ①CNF 製板材、積層材の製造 (利昌工業) | 廉価 CNF の前処理(離解)と成形条件の最適化を検討中。 CNF への含浸処理と連続成形工法の基礎検討を継続中。 | ①CNF の建材への適用のための廉価 CNF の選定、製造技術に見通しを立てて、CNF 建材のプロトタイプを試作・評価を完了する。 ②事業化に向けた課題を抽出し、製造設備の導入につなげる。 | ①市販の廉価 CNF の価格に一部依存するが達成は可能見込み。 ②連続的な CNF の抄造、含浸工程の見通しがあり、達成可能の見込み。 |
| ②CNF の基礎物性解析、塑性加工技術の研究 (筑波大学) | CNF の基礎物性解析を継続し、CNF 成形体に好適な CNF の粒度分布の検討中。 | CNF 成形体の物性発現の機構を解明し、CNF の物性向上のための指標を明確にする。 | 達成可能。 |
| ③CNF 利用内装建材の評価と実装 (大建工業) | 小片試作における CNF 成形体製品設計完了。 内装建材適用アイテムとして「土足用耐傷性床材」の製品化を検討中。 | CNF 成形体を用いた内装建材の製品仕様を確定させ、対象アイテムの付加価値の明確化、コスト試算、CO2 削減効果、LCA 評価を行い実用化、事業化の判断を実施する。 | CNF 内装建材の製品仕様確定によりコスト試算、CO2 削減効果、LCA 評価は達成可能。 実用化判断を早急を実施する必要がある。 |
| ④CNF 建材の物性評価、製造効率化 (秋田県立大学) | 実大によるプロトタイプ試作を実施済み。実大 CNF 成形体の製造、品質安定化に課題があり、内装建材として製造適性、品質評価、施工検証を早急に実施したい。 | CNF 成形体の実大サイズでの試作及びそれを用いて内装建材アイテムの試作を実施。 | 技術確立については量産試作の実施にて達成可能と判断。 |

(3) 知的財産などの確保に向けた取り組み

CNF 成形体の製造方法と3次元成形ならびに、フェノール樹脂等と複合した成形体の基本特許は利昌工業が2016年に特許出願し権利化済みとなっている。

2.2.1.2 サブテーマ2 「自動車部品実装に向けた CNF 複合材料開発、成形・加工技術開発」

(ダイキョーニシカワ株式会社)

(1) 背景と目的

世界的に地球環境保護が大きく叫ばれている中、自動車を含む運輸部門からの CO₂ 排出量は、全排出量の約 20%を占め、自動車業界にとって CO₂ 削減は非常に大きな課題となっている。CO₂ はガソリンの燃焼により発生する燃焼ガスの主成分であり、ガソリン消費量の低減が CO₂ 排出量低減に直結する。そのため、燃費向上や電動化が進んでおり、ダイキョーニシカワも双方に共通するニーズとして部品の軽量化開発を進めている。CNF は木材などから採れる天然由来のグリーン材料であり、軽くて強い（鋼鉄の 1/5 の軽さで 5 倍の強度）特徴を有している事で、以前より有効的な素材として着目していたが、耐熱性と樹脂との相溶性に優れた材料、高効率で連続的に製造する安価な革新技術（京都プロセス）が開発された事をきっかけに、環境省のセルロースナノファイバー活用に関する委託事業への参画で、研究開発を実施した。CNF の樹脂複合材への適用について、2015～2017 年初頭にかけて、各社とも小規模なラボ、パイロットプラントで検討する状況であったが、2017 年度に入ると各種生産プロセスによるプラントを立上げ、生産能力は 700t/年（固形分換算）に達している。自動車業界では車両重量▲10%軽量化を目指した環境省主導の NCV（Nano Cellulose Vehicle）プロジェクトが発足し（ダイキョーニシカワも所属）、各社、部品毎への検討も加速している。2030 年の国内 CNF 市場は、出荷ベースで、出荷数量 5 万（t/年）、出荷金額 600 億（円）まで、拡大するとの予測もある。

但し、車両搭載を実現するには、大幅物性向上、寸法や外観品質安定性、安全性、生産性の改良が必要な状況で、各社、実装に向けて、利用技術の開発を実施している状況である。ダイキョーニシカワとしては、競合他社に対して一早く実装に向けた技術確立を目指し、今まで培ってきた、エンジン部品（オイルストレーナー、インテークマニホールド）やボディ部品（フェンダー、バックドア）の樹脂化開発、内製複合材料設計、コンパウンド技術、成形技術を基に、部品や自動車としての性能評価を実施し、自動車部品への課題解決、早期実装と採用拡大を実現させる。

(2) 位置づけ、目標値

位置づけ

自動車の CO₂ 削減に向けて、電気自動車・燃料電池自動車の開発が加速してきているが、低コスト化や充電装置インフラ整備などの課題は多く、当面、内燃機関の燃費向上が急務となっており、強くて軽い特徴を兼ね備えたセルロースナノファイバーによる軽量化効果に期待が出来る。

自動車部品の軽量化を狙い、従来複合材料（タルク・ガラス繊維）、樹脂補強材として、軽くて高強度な CNF 複合材の材料設計、成形・加工技術の開発を実施し、自動車部品への課題解決、早期実装と採用拡大を実現させる。

京都プロセスをベースに、ダイキョーニシカワ独自の材料設計、コンパウンド技術を適用し、自動車の内外装製品に必要な性能を実現する。

目標値

自動車部品の軽量化による CO₂ を削減するため、物性向上を狙い、2020 年度から 2022 年度の 3 年間で、材料、コンパウンドの両面で開発を実施し、基礎開発を完了させる

（中間目標）

- ・PP/CNF 複合材の物性向上について、CNF 均一分散狙いで CNF の疎水変性、スクリュ形状、コンパウンド工程、材料処方などを検証する。又、耐衝撃性向上狙いで、ゴムの種類、変性を検討する。

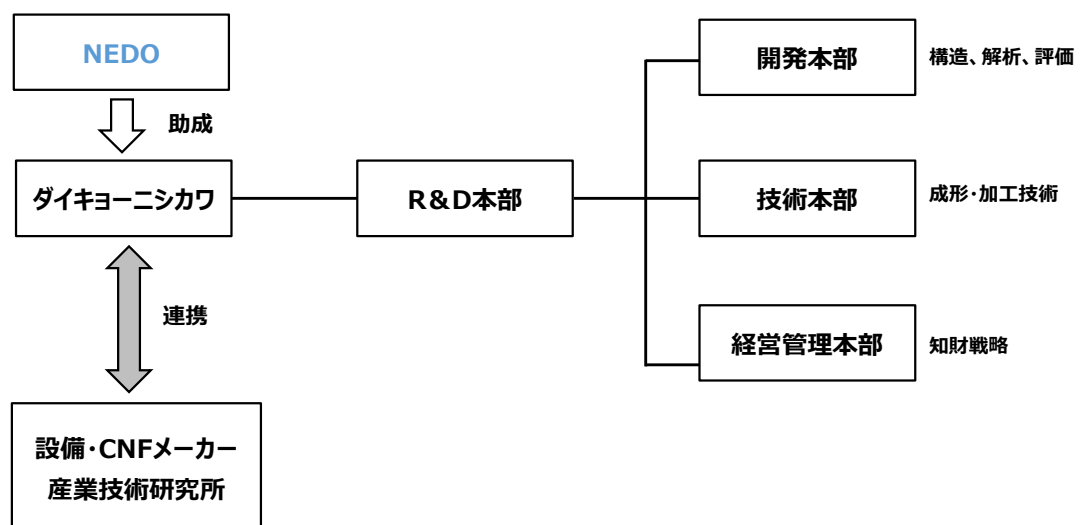
（最終目標）

- ・PP/CNF 材の基礎物性向上を狙い、材料配合、スクリュ選定などのコンパウンド技術を確立する。
- ・PP/CNF 材の実装に向けて、実機でのトライ、成形、加工、評価などを検証し、課題抽出と対策を立案する。

（3）全体計画

事業期間（2020～2022 年度）の 3 年間で、自動車部品へ適用可能なレベルまでの物性向上を狙った CNF の変性改良、コンパウンド技術開発、材料設計を実施する。

（4）実施体制



図Ⅲ-2.2.1.2-1 実施体制

(5) 運営管理

本研究テーマの運営に当たっては、グループ内においては実施項目ごとに、1週間に1回、と実施内容の進捗の報告や問題点などについて、情報共有を定期的に行っている。又、助成事業に従事する研究員も含めて、1年に1回、成果報告の機会を設けている。

年に1回開催の NEDO 主催の技術推進委員会に、開発進捗及び課題について報告を行い、外部有識者によるアドバイスを受け、研究開発の推進に役立てている。

(6) 実施の効果 (CO2 削減、売り上げ)

CNF 強化複合材料による従来複合材料 (タルク・ガラス繊維) からの材料置換で、目標物性、製品スペックの難易度ごとに、内装部品、外装部品などに分類し、Step 毎に実装を狙う計画である。

売上予測

年間売上額:試算中

CO2 削減効果

試算中

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

研究開発項目 [1] …基礎物性向上

材料の基礎物性向上を狙い、CNF と樹脂の界面強度向上、CNF の均一分散について取組みを実施した (PP~ゴム分散、CNF とゴムの界面結合、コンパウンド工程の最適化) 。

CNF の均一分散

CNF の分散向上による物性向上を狙い、CNF の変性違い、分散助剤、膨潤剤、材料の投入位置、スクリュ形状などについて検証を行った。

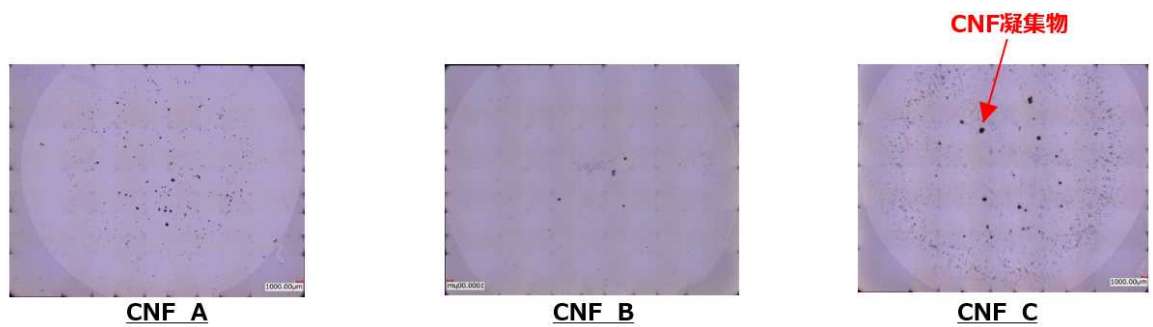
・CNF の変性方法検討

表Ⅲ-2.2.1.2-1 で示す 3 社のパルプを用いて、変性違いによる分散と物性の効果について、2 軸押出機でコンパウンドし、評価を行った。

表Ⅲ-2.2.1.2-1 CNF メーカーと変性

| メーカー | 疎水変性 |
|------|--------|
| A | 変性剤：無し |
| B | 変性剤：① |
| C | 変性剤：② |

CNF の分散性評価として、CNF 凝集物の径、個数について評価を行った。CNF C に対して、CNF A、B は凝集が小さく、疎水変性剤によって分散が異なることが分かった (図Ⅲ-2.2.1.2-2) 。



図Ⅲ-2.2.1.2-2 CNF メーカーの分散性（プレスシート）

次に、基礎物性の曲げ弾性率、Izod 衝撃について評価を行った。

分散性評価で高分散の CNF A、B が CNF C に対して、曲げ弾性率、Izod 衝撃ともに向上し、特に曲げ弾性率が大きく向上した。

・分散助剤

パルプ間に浸透し濡れ性向上による解繊狙いで、分散助剤の分子量、添加量の変更による検証を実施した。

分子量と分散、物性への効果については、分子量が小さい程、分散が良くなることが分かった。

曲げ弾性率は、分子量が小さい方が向上するが、Izod 衝撃の変化がなかった。

分散助剤の添加量については、無添加に対して分散性は向上するが、添加量が増えるにつれて悪化することが分かった。

・膨潤剤

水添加でセルロース繊維の膨潤、繊維への過度な負荷（スクリュのせん断力、熱など）を低減させる狙いで検証を行った。水の添加量については 3 水準設定し、2 軸押出機でコンパウンドを実施した。

水添加量による分散性と曲げ弾性率、Izod 衝撃を評価した結果、水添加量とともに分散、物性が低下した。要因としては、水添加によりスクリュせん断力がかかりにくく（スリップ）、分散が悪化したことで低下したと考えられる。

・スクリュの形状検証

熔融せん断部のスクリュ形状について、異なる形状にて材料試作を実施した。結果、スクリュの形状／能力によって CNF の分散に違いが見られ、スクリュ形状の選定も重要である事が分かった。

耐衝撃性の向上

PP/CNF 材の物性面での課題である耐衝撃性の向上について、ゴムの種類と変性、ゴムの添加方法、変性 PP の添加量などについて検証を行った。

・ゴム種類の検証（ベース PP の衝撃性能の向上）

PP/CNF 複合材においては衝撃、靱性の向上が課題となっている。耐衝撃性の向上の為に、ベース PP の衝撃性能の改良が不可欠であり、PP と相溶性の異なる 2 種類のゴムを用いて、2 軸押出機でコンパウンドを実施し評価を行った。相溶性の良いゴムが、Izod 衝撃が向上する結果が得られたが、背反として曲げ弾性率が低下した。

・相溶化材

CNF と PP の界面密着により物性を向上させる狙いで、相溶化材を添加した。その添加量を変更し、2 軸押出機で混練後、物性への効果について検証を行った。

その結果、相溶化材の添加量が増えると曲げ弾性率はやや向上するが、Izod 衝撃は低下した。要因としては、添加量が増えるにつれて、CNF と PP の界面密着強度が向上し、樹脂の動きを抑制することで曲げ弾性率は向上した反面、衝撃を受けた際、応力が集中しクラック伝播を止めることが困難で、衝撃が低下した為と考えられる。

研究開発項目 [2] …耐湿下の物性向上

CNF は吸水性が高い材料である。自動車部品向けの環境性能評価として、耐湿後の物性評価を行った。曲げ弾性率について、PP/タルク材は低下しないが、PP/CNF 材は、CNF 添加量の増加とともに、大きく低下した。要因として、CNF の加水分解及び PP の劣化が考えられるため、分子量の測定を実施した。結果、吸水による分子量の低下は確認されず、物性低下の要因は PP 及び CNF 劣化ではないことが分かった。

(2) 研究開発の成果と意義

- ・基礎物性向上については、CNF の均一分散を狙った CNF の疎水変性、分散助剤、膨潤剤の検討、スクリュ形状などの検証を行った。又、衝撃性向上として、PP 樹脂へのゴム分散、CNF とゴムの界面結合、相溶化材、ゴム添加方法などを検証した。開発の当初より、繊維の分散、基礎物性は向上しつつあるが、曲げ弾性率と衝撃の両立することは困難であった。
- ・耐湿時の物性確保については、物性低下に関する分析を行い、PP 及び CNF の劣化がその要因ではないことが分かった。製品評価においても本現象を考慮していく。
- ・また、自動車部品への実装を加速させるため、基礎開発と並行して、新たに部品選定を追加し製品開発を進めた。

以上で得られた結果を基に、実用化・事業化を今後進めることで、カーボンニュートラル推進、SDGs への貢献を通して、当初目標としていた内装、外装部品市場のシェア獲得を目指す。

テーマ間連携に向けた取り組み

CNF 複合材の自動車部品への適用するためには、部品の要求性能を満足した上で、製造コストの低減が必須不可欠である。プロセス技術開発グループで開発した CNF 複合材について、基礎物性及び製品スペック評価を実施してフィードバックを行い、材料改良及びコスト目標を明確にする。また、CNF 複合材の自動車部品への適用にあたり、人体への影響を確認するため、安全性評価グループと有害性評価手法について支援を強化していく。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

研究開発項目 [1] …基礎物性向上

CNF の均一分散、界面の制御、材料設計（CNF とゴム量）、コンパウンド技術の開発で、目標物性は達成する見込みである。課題としては CNF 複合材の流動性低下（チキソ性）、シリンドラ温度の制限（CNF の熱劣化）が挙げられる。また、本複合材を PP/タルク材、PP/GF 材の代替として活用する為には、更なる製造コストの低減が必要である。

研究開発項目 [2] …耐湿下の物性向上

製品のスペックにて評価を行い、課題と対策を明確にする。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

これまでの取り組みで得られた知見（材料設計、コンパウンド技術）を効果的に権利化する為、各要素技術の開発に関する技術調査について当社の担当部署へ依頼を行った。また、他社で行われている研究開発について、競合特許調査などを実施し、研究開発成果の効果的な知財化を推進した。現在、1 件の特許出願を検討中である。

2.2.1.3 サブテーマ 3「革新的ガス吸着再生 CNF 複合フィルタを用いたデシカントフィルタシステムの開発」

(進和テック株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

本事業で開発を目指す技術の全体像

技術的な重要性

最終的な仕上がりイメージ

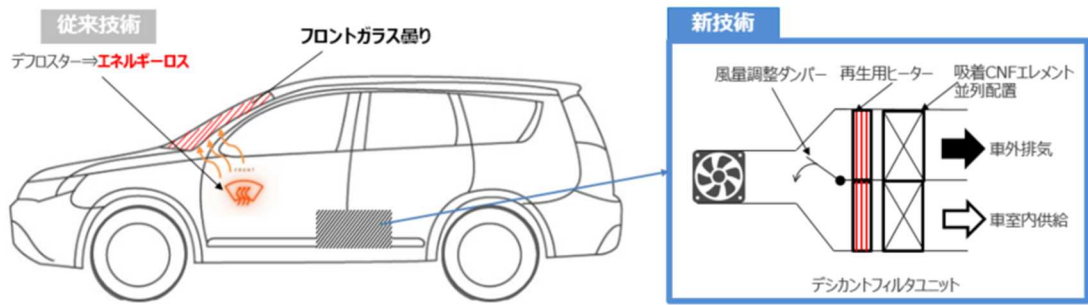
開発する技術の利用されるイメージ

本研究開発では、CNF の高い比表面積と吸湿性の特性を湿度管理に活用する、デシカントフィルタシステムの製品化を目指す。主要ターゲットは車載用デシカントフィルタであり、車内の快適空間の維持、フロントガラスの曇り防止に必要な電気エネルギーの省エネ化を目的とする。現状、フロントガラスの曇り防止方法としては、車内への外気の導入、カーエアコン（デフロスター）によるフロントガラスへの熱風の吹き付け等が行われている。しかしながら、いずれの方法もエネルギーのロスが大きく、密閉された車内で長時間運転する際は不向きである。

そこで、CNF を活用したデシカントフィルタを車に搭載し、車内で当該フィルタを経由しての空気循環を行うことで湿度管理を行える空調システムを提供する。従来法によって得られる分散液状の CNF は凍結乾燥等の処理が必要でありコスト高で市場での拡販に欠点を持っていたが、特殊な解繊処理を用いて市場に受け入れられるものにする。また、CNF は表面に水分を保持できるため、より微細化することで表面積を増やし、水分保持量の増大を目指す。

また、本開発品の技術を応用し、密閉空間内で湿度管理が必要となる飛行機内や船舶内、美術館や博物館などの収蔵庫、紙類や薬品などの保管庫での利用展開も目指す。

進和テックがこれまでに持つフィルタ製作のノウハウと、共同研究先の産総研・東工大の持つ CNF 選定・評価のノウハウを融合させ、従来の除湿材料よりも低温再生・長期間使用可能で、省エネを実現できる EV 車載用デシカントフィルタを開発する。



図Ⅲ-2.2.1.3-1 車載用デシカントフィルタシステムの概要

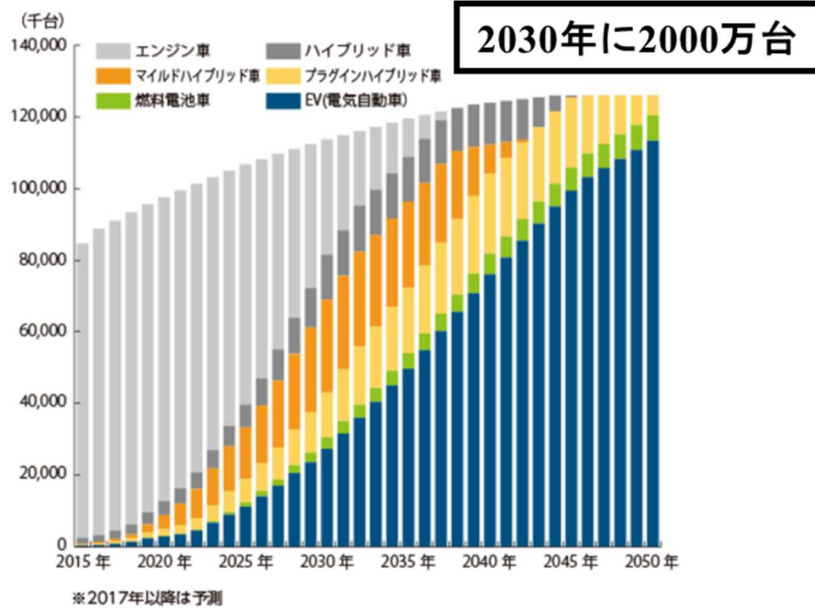
(2) 位置づけ、目標値
位置づけ
目標値

車内空間をおよそ 4 m³、温度 23℃、相対湿度 50%、車外温度を 0℃とした場合、フロントガラスの曇り防止のためには室内の水分を 50gH₂O/h 削減する必要がある。

それを達成するため、研究開発の第一段階として、CNF 素材ベースで 250mg/g(30min) の除湿効果の達成を目標とする。第二段階として、得られた CNF 素材をもとに形状等を検討し、フィルタエレメントを成型して評価する。その後、フィルタエレメントを組み込んだデシカントフィルタシステムを設計試作し、400 時間の連続使用後に 50gH₂O/h の吸水機能を満たすことを目指す。第三段階として、量産化を想定して除湿性能の均一性が 10%の範囲内であるデシカントフィルタエレメントの製造工程を確立する。対象市場である自動車は今後 EV へのシフトが進む見込みで、航続距離を延ばすためにより省エネ化が求められている。本開発品を EV へ搭載することで省エネに寄与でき、大きな市場形成が期待できる。

競合技術である活性炭、シリカゲルは水分吸着量が CNF の 1/4～1/2 程度であり、CNF と同等の性能を得るには 2～4 倍の量が必要となる。車載用としてコンパクト化が必要であり、コストと性能のトータルバランスは CNF が最も優れている。

世界の自動車販売台数の見通し



引用：https://www.daiwa.jp/products/fund/201802_ev/change.html

図Ⅲ-2.2.1.3-2 対象市場の見通し

表Ⅲ-2.2.1.3-1 競合技術との対比（目標値）

| | CNF | 活性炭 | シリカゲル |
|-------|-----------------|--------------|---------------|
| 水分吸着量 | ◎ 250mg/g | △ 65mg/g | ○ 120mg/g |
| コスト | ○ ¥2000/kg目標 | ◎ ¥850/kg | △ ¥3000/kg |
| 生産性 | ◎ | ◎ | ○ |

(3) 全体計画

表Ⅲ-2.2.1.3-2 研究開発の日程（計画、実績）

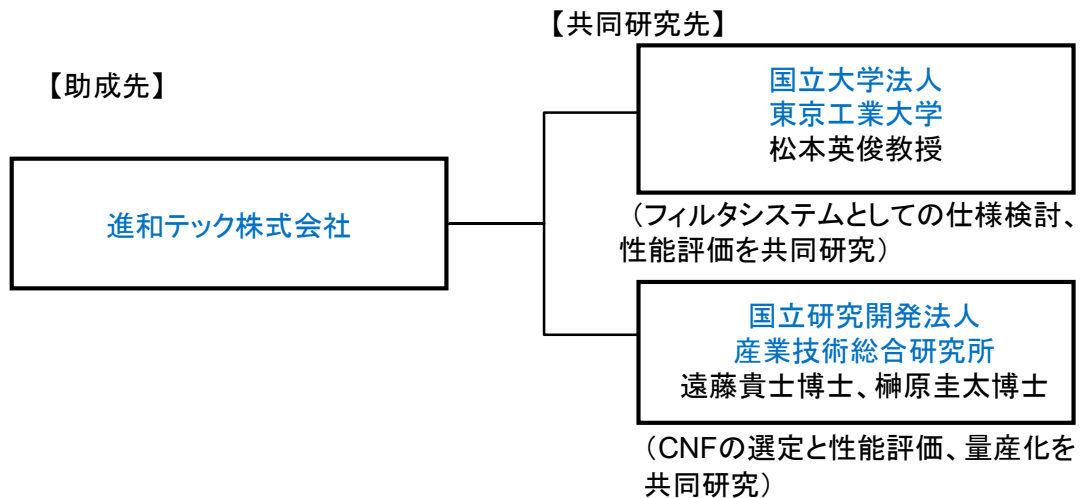
| 事業項目 | 2020 年度 | | | | 2021 年度 | | | |
|-------------------------|---------|----|----|----|---------|----|----|----|
| | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q |
| ① CNF 素材、各種基材の選定と性能評価 | | | | | | | | |
| 最適基材の選定 | | | — | — | | | | |
| 基材性能評価 | | | — | — | — | | | |
| ② フィルタエレメントの形状検討、加工評価 | | | | | | | | |
| フィルタ形状検討 | | | — | — | — | — | | |
| フィルタ加工試作 | | | — | — | — | — | | |
| ③ デシカントフィルタシステムとしての性能評価 | | | | | | | | |
| デシカントフィルタシステム性能評価 | | | | — | — | — | — | |
| 加熱再生評価 | | | | — | — | — | — | |
| ④ 実寸大デモ機での実働評価 | | | | | | | | |
| デモ評価機検討、設計製作 | | | | | — | — | — | |
| デモ機での長期実働試験 | | | | | — | — | — | — |
| ⑤ 本空調システムの量産化検討 | | | | | | | | |
| CNF 安定供給元の選定 | | | — | — | — | — | — | — |
| エレメント量産設備の検討、導入 | | | | | — | — | — | — |

本研究開発では、CNF を活用したフィルタエレメントの開発、除湿及び除湿再生機能を有するデシカントフィルタシステムの開発、製品化を想定したデシカントフィルタ量産体制の確立、の3点が軸となる。解決すべき課題ごとに開発項目を設定し、解決手段を検討して開発を進めた。

表Ⅲ-2.2.1.3-3 研究開発の課題

| 課題 | 詳細説明 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ①CNFの素材強度向上 | 400時間の連続使用を可能とする除湿機能の再生、振動に耐えうる強度の付与 |
| ②CNF素材のフィルタエレメント最適化 | CNF積層密度、繊維量が過剰 ⇒通風時抵抗が増えて送風機の消費エネルギー増 CNFの量が少なすぎる ⇒十分な除湿機能を発揮できない、エレメント破損の原因 |
| ③加熱再生による長寿命化 | 製品として長期的な使用を可能にするためには、一度吸着した水分を加熱再生により脱離させ連続的に機能を回復させることが必須 |
| ④実使用環境による連続吸着再生 | 長期的に連続使用するには、システムを2系統準備し、流路を切り替えながら除湿と加熱再生を同時に行う必要がある |
| ⑤量産化体制の確立 | 量産化にあたり、フィルタエレメントの効率的な生産と性能の均一性の制御が課題 |

(4) 実施体制



図Ⅲ-2.2.1.3-3 実施体制

(5) 運営管理

これらの課題を解決するために、共同研究先となる産業技術総合研究所（産総研）、東京工業大学（東工大）と三者キックオフミーティングを開催し、役割分担と目標値を明確にした。産総研では、各種素材を用いた CNF の加工技術を有しており、本事業においては必要な吸湿性を有する CNF 素材の選定および CNF 加工を担当することとした。東工大では、産総研より提供された CNF 素材の基礎物性測定を行い、本事業の要求事項を満足できる CNF 素材の各種パラメータと吸湿性能の相関を目指すこととした。事業開始後も、2 か月に 1 回程度定期的に進捗会議を開催し、各機関での進捗状況、検討内容などを共有して進めた。

(6) 実施の効果

フロントガラスの曇り防止のために一般的なカーエアコン（デフロスター）では、1時間あたり2.25kWの電力消費が見込まれる。本開発品の利用を電気自動車で想定した場合、消費電力量の削減はそのまま省エネルギー化すなわち走行距離向上に繋がり、電気自動車の普及に一役買うことが期待できる。

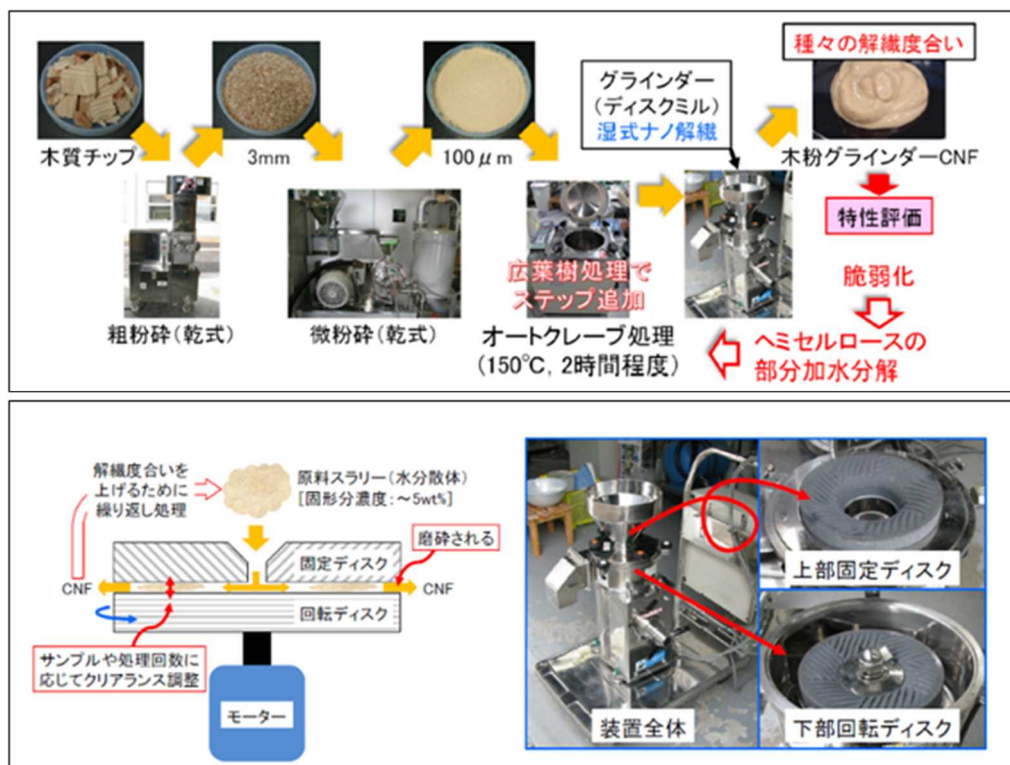
<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

研究開発項目 [1] CNF 素材、各種基材の選定と性能評価

車載用を想定した場合、400時間の連続使用に耐える性能及び強度が必要となる。そのために、CNFの高い比表面積による除湿性能に加えて、連続使用を可能とする除湿機能の再生、振動に耐える強度を付与することが求められる。ここで、課題①の達成目標として、CNF基材でのH₂O絶対吸着量250mg/g(30min)と設定した。

CNF材料は、産総研が参画していたNEDO委託事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発／木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価」（実施期間：2017年度～2019年度）での評価結果、および産総研の遠藤博士が持つノウハウより選定した。これを、産総研においてグラインダー法にてCNF化した。グラインダー法では、その回数を変えることにより異なる繊維径のCNFが得られるため、まずは数種類のサンプルを製作し水分吸着量の確認を行った。



図Ⅲ-2.2.1.3-4 産総研におけるグラインダー法によるCNFの作成

グラインダー法は、木質チップを水に溶かした状態でディスクミルを用いてグラインダー処理を行うため、完成後の CNF も水に溶けたスラリー状となっている。このスラリー状の CNF サンプルを東工大に送付し、フィルタ用素材として用いるために凍結乾燥処理を施した。サンプルを遠心分離にかけ、t-BuOH 置換を行い凍結乾燥処理した。また、サンプルの比表面積測定を実施した。

凍結乾燥したサンプルを進和テックに送付し、CNF 単体での水分吸着量を測定した。CNF は篩にて分粒して試料カップに充填し、ガスチャンバーに規定条件の温湿度に調整した空気を溜めて試料に通風して、サンプル前後の温湿度を測定することにより水分吸着量を算出した。種々の条件で選定を行い、目標値を達成した。

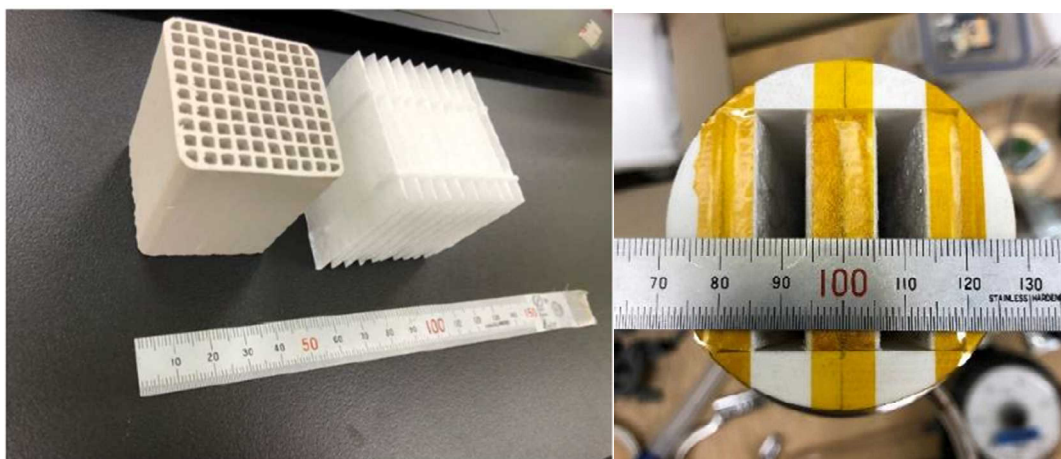


図Ⅲ-2.2.1.3-5 進和テックの水分吸着量試験装置構成

研究開発項目 [2] フィルタエレメントの形状検討、加工評価

CNF をフィルタエレメントに活用するにあたり、積層密度、あるいは繊維量が過剰である場合、通風時の抵抗が増えて車載用送風機の消費エネルギーも増すこととなる。逆に、CNF の量が少なすぎる場合、十分な除湿機能を発揮することができないだけでなく、エレメントの破損の原因にもなりうる。これらの課題を解決するために、進和テックが長年商材として扱っている空調用エアフィルタ、加湿器用エレメント、脱臭・脱ガスフィルタのノウハウをもとに、フィルタエレメントの加工試作を行った。フィルタエレメントは、ハニカム形状、素材充填式、プリーツ形状、の 3 パターンの形状を検討した。ここで、課題②の達成目標として、フィルタエレメントでの通気抵抗 100Pa 以下と設定した。

CNF 素材性能測定用のワンパス性能測定装置を用いることとし、装置に取り付け可能なサイズのサンプルを製作した。フィルタ性能を確認し、目標値を達成していることを確認した。



図Ⅲ-2.2.1.3-6 測定用フィルタ写真

研究開発項目〔3〕 デシカントフィルタシステムとしての性能評価

製品として長期的な使用を可能にするためには、フィルタエレメント自体の吸着性能の向上と合わせて、一度吸着した水分を加熱再生により脱離させ連続的に機能を回復させることが必須である。これらの課題を解決するために、進和テックにて性能評価用に模擬したデシカントフィルタシステムを設計製作し、項目②にて開発したフィルタエレメントを組み込んでシステムとしての除湿機能、加熱条件の検討、加熱時の再生機能を行った。ここで、課題③の達成目標として、400時間の連続使用後に50gH₂O/hの吸水機能維持と設定した。

ハニカム型・充填型・ブリーツ型の各々について加熱再生試験を行った。試験サンプルの寸法はΦ54mmであるが、車載を想定したユニット寸法でフィルタ質量を換算し、ハニカム型において目標値である水分吸着量50g/hを達成した。

研究開発項目〔4〕 実寸大デモ機での実働評価

長期的に連続使用するには、デシカントフィルタシステムを2系統準備し、流路を切り替えながら除湿と加熱再生を同時に行う必要がある。これらの課題を解決するために、項目③で確立したデシカントフィルタシステムの諸条件を用い、進和テックにて再生が可能となる加熱条件を設定して、流路切替弁を備えた実車への搭載を想定した実寸大でのデモ機的设计・製作を行った。ここで、課題④の達成目標として、400時間の実寸大連続自動運転試験後に50gH₂O/hの吸水機能維持と設定した。

実際に車載使用した際に2～3年分の使用期間として想定した400時間の連続試験を実施した。一時的な水分吸着量の増減は見られたものの、400時間の連続試験後においても目標値である50gH₂O/hの吸着量を維持しており、連続使用に問題がないことが確認できた。

研究開発項目〔5〕 本空調システムの量産化検討

実寸大デモ機での実働評価に目途がたった段階で、製品化を目指して量産化体制を確立していく。量産化にあたり、フィルタエレメントの効率的な生産と性能の均一性の制御が課題となってくる。そこで、課題⑤の達成目標として、100 台分のエレメントの水分吸着能力が 50gH₂O/h の 10%以内と設定した。

まず、各フィルタエレメント形状について、原材料及び製造コストの評価を行った。その結果、凍結乾燥工程が不要であるハニカム型が最もコストが安価であり、かつ製造のしやすさにおいても工数をかけずに製造可能であるので、ハニカム型にて量産化の検討を行うこととした。フィルタユニットを 100 台分製作し、それらの性能のバラつきを確認した。材料ロット各々で水分吸着量を測定し、性能のバラつきが 10%以内に入っていることを確認した。

(2) 研究開発の成果と意義

テーマ間連携に向けた取り組み

本研究において、CNF 素材の選定と性能評価、フィルタエレメントの形状検討を行い、実寸大サンプルでの長期試験及び量産試作を行って当初目標通りのデシカントフィルタユニットとして完成した。項目ごとの目標値と実績値について、次表に示す数値目標値を達成した。

表Ⅲ-2.2.1.3-4 数値目標値と実績値

| 研究項目 | 数値目標 | 実績値 |
|------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| ①CNF 素材、各種基材の選定と性能評価 | CNF 基材での H ₂ O 絶対吸着量で 250mg/g (30min) | 307.7mg/g |
| ②フィルタエレメントの形状検討、加工評価 | フィルタエレメントでの通気抵抗 100Pa 以下 | 92Pa |
| ③デシカントフィルタシステムとしての性能評価 | 400 時間の連続使用後に 50gH ₂ O/h の吸水機能を維持 | 66.3gH₂O/h |
| ④実寸大デモ機での実働評価 | 400 時間の実寸大連続実働運転試験後に 50gH ₂ O/h の吸水機能を維持 | 50gH₂O/h 以上を維持 |
| ⑤本空調システムの量産化検討 | 100 台分のエレメントの水分吸着能力が 50gH ₂ O/h の 10%以内 | 50gH₂O/h の 10%以内 |

今回開発したデシカントフィルタユニットは、車載用を想定して寸法をコンパクトにしつつ車内の水分を十分除去できる能力を有している。電気自動車はエンジンなどの熱を発する機構が無い
ため、車室内の温調・曇り除去に電気ヒーターを用いることになり、余計な電気エネルギーが必要となる。電気自動車の普及には航続距離の短さがネックとなっているが、この開発技術を用いることにより、車内の窓の曇りを低減することができ、バッテリーの電気を走行機能にフルに使うことで航続距離を延ばすことが可能となる。今後、エンジン車から電気自動車への切り替えが順調に進めば、自動車からの CO2 排出量を削減することができ、地球規模での環境改善に寄与することが可能となる。

また、再生温度を最適化するとともに、フィルタユニットを 2 系統用意して吸着と再生を交互に繰り返すことで、デシカントフィルタユニットとしての製品寿命を延ばすことが可能となった。乗用車では一般的に 2～3 年ごとの車検時に点検・部品交換を行うことが多いが、そのタイミングまでの使用に耐えうる製品寿命を確保できている。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

本事業は 2020～21 年度の 2 年間計画であり、すべての研究開発項目において最終目標値を達成した。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

産業技術総合研究所、東京工業大学、進和テックの三者共同出願にて出願準備中。

2.2.1.4 サブテーマ 4「炭素循環社会に貢献するセルロースエコマテリアル開発および適用検証」 (パナソニックホールディングス株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

本事業で開発を目指す技術の全体像

パナソニックは独自の混練方式で製作したセルロースファイバー複合材料を開発しており、「kinari」の名称で、プラスチックとして使えるサステナブル素材として市場展開している。パナソニックの製造プロセスは、水や溶剤などを使わない乾式の連続一貫処理製法であり、溶融した樹脂材料中でパルプを化学変性、解繊、混練分散させる処理を1工程のみで行い、セルロースへの熱影響を少なく抑えることができ、コストダウンが可能な工程である。こうして製造した複合樹脂中において、セルロースは部分的にナノ化した主にミクロンオーダーの繊維であり、広い意味でのセルロースナノファイバー（CNF）とは考えられるが、自社ではセルロースファイバー（CeF）と呼称している。乾式プロセスにより、製造にかかるエネルギーが少なく、従来方式に対しCO₂排出量が少ない。熱影響を抑えることで複合化したペレットの褐色化を抑制し、乳白色のペレットが実現可能である。また、セルロース濃度を高濃度化することが可能で、ペレット状態でセルロース濃度を最大85%（樹脂成分15%）が可能である。セルロース繊維と樹脂への熱影響が小さいことで、比較的高強度化が可能であり、一般的な湿式セルロースナノファイバー複合樹脂よりも弾性率が高いことを確認している。セルロース濃度が高濃度化すると流動性が低下するため、射出成型が難しくなる。パナソニックは成形技術のノウハウを蓄積し、高濃度セルロース材料の成形を実現してきた。ペレット状態で白に近く、成形時の熱履歴により白から茶色へ色変化する特徴を活かし、色調をコントロールし、木質外観を実現する成形が可能である。これらの技術を活用し、自社製品のスティック掃除機や、リユースカップ「森のタンブラー」、アパレル向けのボタン、ソープディスペンサーなどに適用し、市場展開を進めてきた。さらなる市場展開を加速するため、開発方向性を設定し、本事業をスタートしている。自然由来のセルロースファイバーを補強材料とした複合樹脂において、パナソニック独自の技術である乾式プロセス樹脂複合工法と木質感成形技術を進化させ、さらなる高濃度化による高強度化と、完全バイオ化の開発を行う。開発においては、樹脂の複合化工法開発と、高意匠成形技術の開発を行う。こうして開発した材料を、室内空間家電へと適用して、物性評価を行い、高強度・高意匠・エコ性の向上により、広く活用展開できることを見極める。

技術的な重要性

近年、世界的に石油消費量が拡大する中、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスク、CO₂排出量の増大に伴う温暖化問題に直面している。

当社もプラスチック製品を大量に使用しており、こうした課題を乗り越えていくため、非石油由来原料への転換が急務となっている。

しかし、従来のバイオマス樹脂は強度、耐久性の面で課題があり、長期使用が前提となる家電等の部材へは、適用が限定されている。

自社のセルローズファイバー複合材料は樹脂材料の高強度化が可能で、従来の石油由来樹脂の使用量を削減し、

混練工程を考慮してもCO₂排出量削減が可能な材料となっている。

最終的な仕上がりイメージ

本事業において、高性能かつ石油使用量削減可能な複合材料を開発し、家電等へ適用することで、炭素循環社会実現に貢献することを目的とする。

開発する技術の利用されるイメージ

本事業の開発により、セルローズ複合材料が天井扇ブレードに採用されることでセルローズ複合樹脂の使用量拡大、CO₂削減効果が期待できる。

自社技術のアピールポイント

パナソニック独自の乾式プロセスにより、セルローズファイバーの高濃度複合化が可能であり、高強度、高意匠、高バイオ度の樹脂成型品の提供が可能である。

(2) 位置づけ、目標値

位置づけ

本事業において以下の内容に取り組む。

<1> セルローズ濃度の高濃度化

<1-1> 高濃度セルローズ材料複合化開発

<1-2> 高濃度セルローズ材料成形開発

<2> 完全バイオ化

<2-1> 完全バイオ化材料複合化開発

<2-2> 完全バイオ化材料成形開発

<3> パイロットモデル検証

<3-1> パイロットモデル具体設計

<3-2> パイロットモデル試作評価

<3-3> 材料物性および形状最適化

目標値

本事業の目標値を以下に示す。

<1> セルローズ濃度の高濃度化

<1-1> 高濃度セルローズ材料複合化開発

表Ⅲ-2.2.1.4-1 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度） 目標 |
|--------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| セルロース濃度（現状 55%） 連続生産（現状 8 H） | 70%連続 1H生産 | 70%連続 3H生産 | 70%連続 8H生産 |
| 材料歩留まり （良品ペレット重量） ／（投入した原材料 重量の和） | 90%以上 | 92%以上 | 95%以上 |
| 強度 | 曲げ弾性率： 3,000MPa | 曲げ弾性率： 3,200MPa | 曲げ弾性率： 3,400MPa |

<1-2> 高濃度セルロース材料成形開発

表Ⅲ-2.2.1.4-2 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度） 目標 |
|-----------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 試作品形状への充填 | セルロース 55%での体積 100%充填 | セルロース 70%での体積 95%以上充填 | セルロース 70%での体積 100%充填 |
| 外観評価 | (2021 年度に評価) | ・色差 ΔE ：4 以上 ・繊維浮き：限度見本内達成 | ・色差 ΔE ：5 以上 ・繊維浮き：連続成形(1H)限度見本内達成 |

<2> 完全バイオ化

<2-1> 完全バイオ化材料複合化開発

表Ⅲ-2.2.1.4-3 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度） 目標 |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 完全バイオ化（現状 P P ベース、バイオ比率 55%） | バイオ比率 95%以上 （バイオ P E ベース） | バイオ比率 95%以上 （バイオ P E、P L A ベース） | バイオ比率 95%以上 （バイオ P E、P L A ベース） |
| セルロース濃度（現状 55wt%） | 55wt% | 55wt% | 70wt% |
| 材料歩留まり （良品ペレット重量） ／（投入した原材料 | 90%以上 | 92%以上 | 95%以上 |

| | | | |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 重量の和) | | | |
| 強度 | 曲げ弾性率： 3,000MPa | 曲げ弾性率： 3,200MPa | 曲げ弾性率： 3,400MPa |

<2-2> 完全バイオ化材料成形開発

表Ⅲ-2.2.1.4-4 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度） 目標 |
|-----------|---------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 試作品形状への充填 | ダンベル形状で体積 100%充填 | バイオ P E ベースでの 体積 100%充填 P L A ベースでの体積 95%以上充填 | バイオ P E、P L A ベースでの体積 100% 充填 |
| 外観評価 | (2021 年度に評価) | ・色差 ΔE ：4 以上 ・繊維浮き：限度見 本内達成 | ・色差 ΔE ：5 以上 ・繊維浮き：連続成 形(1H)限度見本内 達成 |

<3>パイロットモデル検証

<3-1>パイロットモデル具体設計

表Ⅲ-2.2.1.4-5 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度）目標 |
|--------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 形状設計 評価項目：耐荷重試験 | (2021 年度に評価) | 耐荷重試験： 60kgf/2 枚 | 耐荷重試験： 70kgf/2 枚 |

<3-2>パイロットモデル試作評価

表Ⅲ-2.2.1.4-6 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度）目標 |
|-----------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 試作品形状への充填 | 形状体積 100%充填 | 改善形状体積 100% 充填 | 最終形状体積 100% 充填 |
| 形状精度 評価項目：組立後ソ リ量バラつき | (2021 年度に評価) | 組立後ソリ量バラつき 2mm 以下/5 枚 | 組立後ソリ量バラつき 1mm 以下/5 枚 |

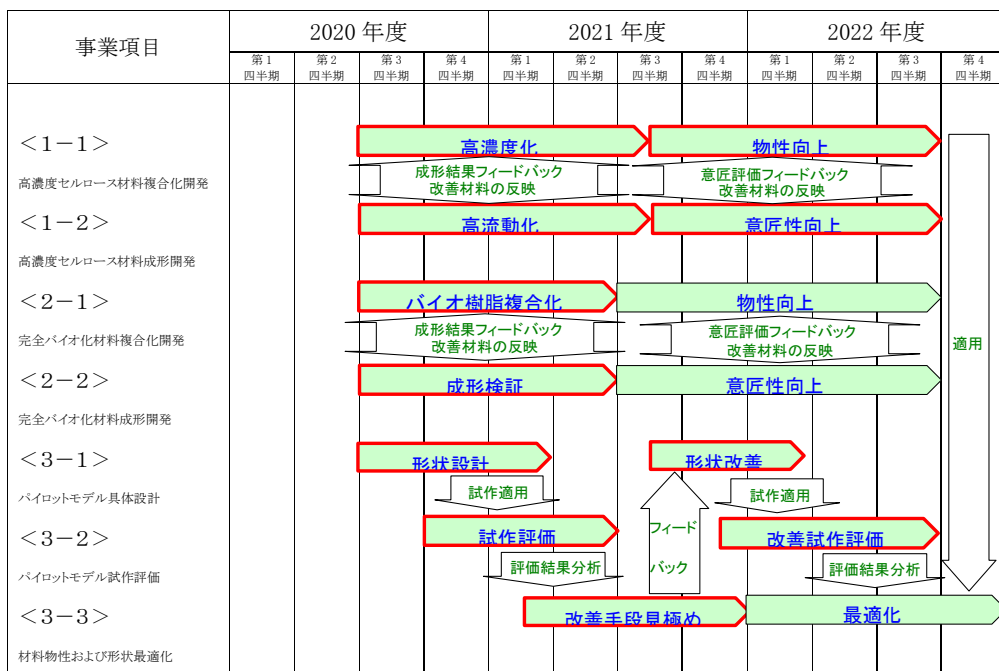
<3-3> 材料物性および形状最適化

表Ⅲ-2.2.1.4-7 開発目標

| 取組項目 | 2020 年度目標 | 2021 年度目標 | 最終（2022 年度）目標 |
|--------------------|--------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 強度評価 評価項目：耐荷重試験 | (2021 年度に評価) | 耐荷重試験： 60kgf/2 枚 | 耐荷重試験： 70kgf/2 枚 |
| 外観評価 | (2021 年度に評価) | ・色差 ΔE ：4 以上 ・繊維浮き：限度見 本内達成 | ・色差 ΔE ：5 以上 ・繊維浮き：連続成 形(1H)限度見本内 達成 |
| 信頼性評価 | (2021 年度に評価) | 耐光性試験 100H ΔE ：4 以下 | 耐光性試験 100H ΔE ：3 以下 |

(3) 全体計画

開発計画を下記に示す。



図Ⅲ-2.2.1.4-1 全体計画

(4) 実施体制

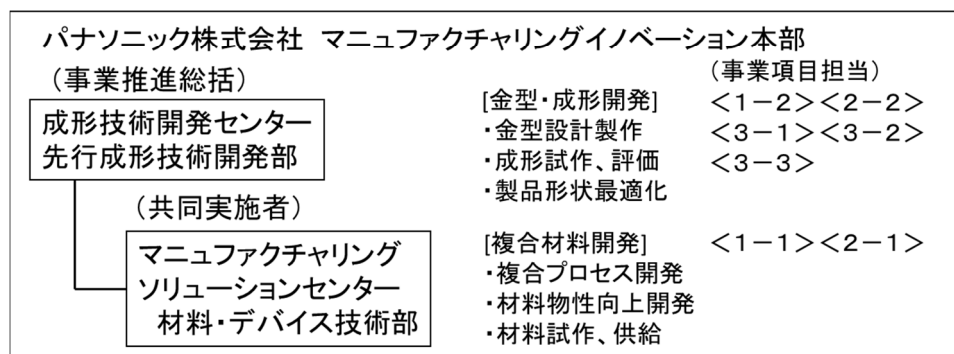
実施体制を下記に示す。

【助成先】

パナソニック株式会社

※パナソニック単独提案

【助成先の詳細体制】



図Ⅲ-2.2.1.4-2 実施体制

※上記は申請時点。社名変更により、

パナソニック株式会社 ⇒ パナソニックホールディングス株式会社
に変更済み。

(5) 運営管理

前述の詳細体制に従い、運営管理を行う。

(6) 実施の効果

本事業の開発により、セルローズ複合材料が天井扇ブレードに採用されることでセルローズ複合樹脂の使用量拡大、CO₂削減効果が期待できる。

セルローズ複合材料が自社の天井扇ブレードの上位機種に採用された場合、

販売台数：50千台／年

売上高：20億円／年

樹脂使用量：98ton／年

CO₂排出量：▲51ton／年

の効果が期待できる。

将来的には、室内空間家電である空気清浄機や換気扇、エアコンへの展開拡大が期待できる。

また、室内空間家電に親和性の高い、キッチン家電、美容家電への展開も期待できる。

材料使用量が増加することで、製造コストが低減し、汎用樹脂のコストに近づくことで、

多くの自社家電や、住宅建材、車載部品への展開を加速し、

自社の石油由来プラスチック使用量の大幅削減を目指す。

また、開発材料は他社へも展開し、社会全体での課題解決に貢献していく。

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

中間目標（2021年度末）の達成度と課題を下記に示す。

表Ⅲ-2.2.1.4-8 中間目標達成度

| 研究開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------|
| <1> 高濃度セルロース材料開発 | 高濃度（セルロース濃度70%） にて強度と成形性を確保する。 【中間目標値】曲げ弾性率3200MPa以上/製品形状95%以上充填/他 | PP+セルロース70%材料にて、 強度と成形性を確保 。 【実績】曲げ弾性率3300MPa以上/製品形状100%充填/他 | ○ | ・バイオベース樹脂へのセルロース濃度70%複合化 ・強度と流動性を両立する材料レシピ検討 ・大物製品形状での連続成形を実現する流動性確保 |
| <2> 完全バイオ化材料開発 | 完全バイオ化（バイオ比率95%以上） にて強度、成形性を確保する。 【中間目標値】曲げ弾性率3200MPa以上/製品形状95%以上充填/他 | バイオPEベースおよびPLAベース（セルロース55%）材料にて、 強度と成形性を確保 。 【実績】曲げ弾性率3900MPa以上/製品形状100%充填/他 | ○ | ・セルロース濃度70%での複合化 ・強度と流動性を両立する材料レシピ検討 ・大物製品形状での連続成形を実現する流動性確保 |
| <3> パイロットモデル検証 | パイロットモデル製品適用評価 にて製品仕様を満足する。 【中間目標値】天井扇ブレード製品評価・耐荷重60[kgf/2枚]/他 | PP+セルロース55%材料にて、天井扇ブレード製品評価を実施。 耐候性を除き、製品評価をクリア 。 【実績】耐荷重70[kgf/2枚]を達成/他 | ○ | ・天井扇耐候性試験NGに対する改善 ・高濃度70%材料、バイオベース材料での安定成形を実現する高流動化 |

(2) 研究開発の成果と意義

<1> セルロース濃度の高濃度化

セルロース濃度 70%の複合材料を開発し、強度等の物性を確保した。

また、薄肉形状での成形を実現した。

このことにより、より強度が必要とされる製品への展開が可能となる。

【高濃度化材料開発】

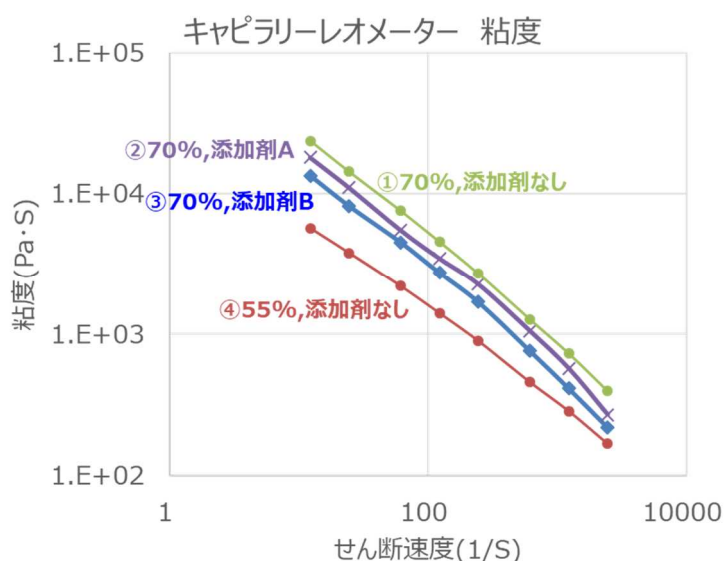
当社の独自工法において、高濃度セルロース材料の複合化を実施した。

2019年時点でPPに55%のセルロースファイバー（以下、CeF）の複合化、成形はできていたが、PP+70%CeF材料は成形できていなかった。繊維濃度が増加し、流動する樹脂成分が減少したため、複合樹脂としての粘度が増加し、流動性が悪化したためである。

流動性を改善するため、可塑剤系の添加剤2種類を検討した（添加剤A、B）。









添加剤A、Bによる流動性向上効果を確認するため、キャピラリーレオメータによる粘度測定を実施した。

リファレンスとしてPP+55%CeF材料も測定し、CeF55%、CeF70%、CeF70%+添加剤A、CeF70%+添加剤Bの4種類の測定を実施した。測定結果を図Ⅲ-2.2.1.4-3に示す。



図Ⅲ-2.2.1.4-3 キャピラリーレオメータ粘度測定

まず PP+55%CeF から PP+70%CeF とすることで、かなり粘度が増加することが分かった。PP+70%CeF に添加剤 A、添加剤 B をそれぞれ添加することにより粘度が減少する。粘度の低下効果は添加剤 B の方が大きいことが分かった。次に CeF70%、CeF70%+添加剤 A、CeF70%+添加剤 B の成形性を実際のカップ成形により確認した。結果を図Ⅲ-2.2.1.4-4 に示す。成形工法を工夫することで、下記表のとおり、最も粘度が低くなった添加剤 B 品と成形工法 2 の組み合わせにより、カップ製品の成形ができた。

| セルロースファイバー70%濃度 | | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 添加剤 | ①添加剤なし | ②添加剤A | ③添加剤B |
| 通常成形 | ×(ショート)  | — | — |
| 成形工法 1 | ×(ショート) ×(黒化)   | ×(ショート)  | — |
| 成形工法 2 | × | △(白化)   | ○   1.0mm厚 |
| 弾性率 | 5.4GPa | 5.6GPa | 6.2GPa |

図Ⅲ-2.2.1.4-4 CeF70%材料カップ成形結果

カップ成形できた材料の弾性率を測定し、6.2GPa（6200MPa）であることを確認した。しかしながら、こうして開発した高濃度材料は比較的流動性が低いため、樹脂温度を高く設定する必要がある、比較的濃色の成形品しか実現できない。また、天井扇ブレードのような大型成形品や、車載内装部品のような複雑形状部品においては、製品形状をフル充填させることが難しいことが分かってきた。そこで、こういった難成形形状に有効な成形工法の開発を行った。

【部分圧縮工法】

本検証で使用した材料は PP + 70%CeF 材料で、射出成形機シリンダ設定樹脂温度は通常よりも低めに設定し、圧縮無しでは体積 41%程度までしか充填しない条件とした。

図Ⅲ-2.2.1.4-6 に圧縮力を変化させた場合の成形結果及び高流動化率を示す。
 左枠に示す通常成形に対し、圧縮力 10MPa 以上で充填し、高流動化率 2.4 倍を達成した。
 部分圧縮成形により従来よりも 30℃低温で体積充填率 100%を実現できることを確認した。

| 成形方法 | 通常INJ | 部分圧縮成形 | | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 外観 |  |  |  |  |  |
| 圧縮 遅延時間 | | | | | |
| 圧縮力 | | | | | |
| 充填量 (流動長) | 72.7mm | 72.5mm | 157mm | 175mm | 175mm |
| 充填率 | 41% | 41% | 90% | 100% | 100% |
| 通常INJ比 | — | 1.0倍 | 2.2倍 | 2.4倍 | 2.4倍 |

図Ⅲ-2.2.1.4-6 部分圧縮成形結果

<2> 完全バイオ化

バイオ度 95%の複合材料を開発し、強度等の物性を確保した。

また、薄肉形状での成形を実現した。

このことにより、エコ性が高い材料として、高付加価値で展開することが可能となる。

【バイオ PE 複合化開発】

研究開発項目 < 1 > に記述した PP+70%CeF は、PP が石油由来樹脂であるため、バイオマス度は 70%である。

この PP をバイオ由来樹脂へ置換えることで、完全バイオ化の材料複合化開発に取り組んだ。

現状、バイオマス由来のベース樹脂は多く流通しておらず、供給安定性が高く、

融点が比較的低い材料としてバイオ PE(ポリエチレン)と PLA(ポリ乳酸)をベース樹脂として選定した。

まずバイオ PE を用いた検討結果から報告する。

バイオ PE はサトウキビの廃蜜液から得られるバイオエタノールを脱水縮合することで得られるが、

重合等に少量の石油由来の成分が必要であり、バイオ PE のメーカー公表のバイオ度は 94%である。

バイオ PE とポリプロピレンとの物性について、比較表を表Ⅲ-2.2.1.4-12 に記載する。

表Ⅲ-2.2.1.4-12 樹脂材料物性比較

| | 弾性率 | 衝撃強度 | MFR | 密度 | バイオマス度 [※] | 原料 | LCA |
|-----------|--------|-------|-----|------|---------------------|-----|------------|
| ポリプロピレン | 1.8GPa | 6.1kJ | 30g | 0.9 | 0% | 石油 | 2.0kg(排出) |
| バイオポリエチレン | 0.9GPa | 3.5kJ | 20g | 0.95 | 94% | 廃糖蜜 | -3.1kg(吸収) |

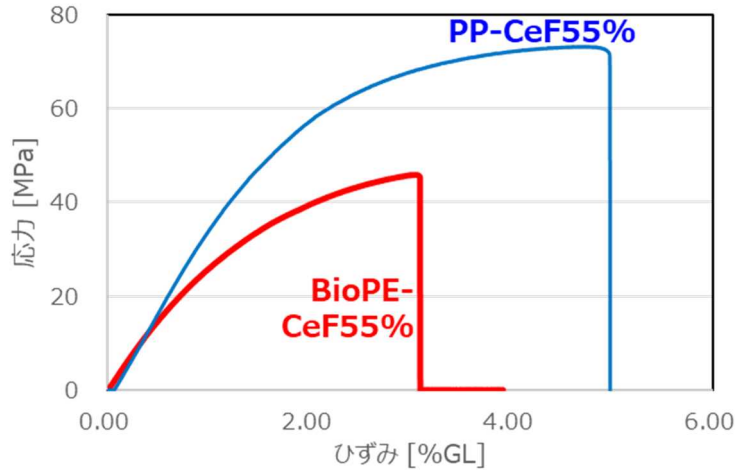
PP に比べ、バイオ PE は弾性率、衝撃強度ともに約半分の強度であり、

広く展開していくには、強度向上も必要である。

この PP とバイオ PE に CeF を 55%添加し、それらの強度評価を実施したので、

その応力-ひずみ曲線を図Ⅲ-2.2.1.4-7 に示す。ベース樹脂の強度の影響を受け

、弾性率（応力傾き）、最大応力、破壊までの伸び、いずれも低い結果となった。



図Ⅲ-2.2.1.4-7 強度測定結果

BioPE-CeF55%について、現行の PP-CeF55%同等レベルの強度達成を目指し、繊維の長繊維化、添加剤の検討を実施した。

結果、バイオマス度 90%以上で現行 PP-CeF55%同等の物性を達成した。

検討結果を表Ⅲ-2.2.1.4-13 に示す。

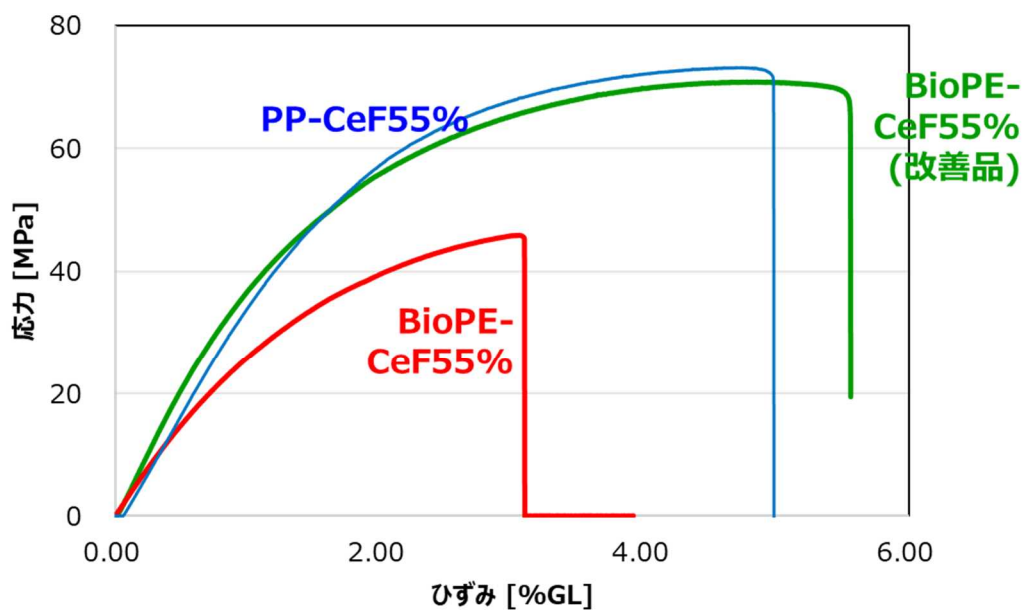
本事業の開発目標であるバイオマス度 95%以上でも、

カップ強度がやや低いが、現行の PP-CeF55%同等の弾性率、強度の基本物性を達成した。

表Ⅲ-2.2.1.4-13 物性測定結果

| | セルロース繊維 | 繊維濃度 | 相溶化剤 | エラストマー | 可塑剤 | バイオマス度 | ダンベル | | | カップ | |
|----------|---------|------|----------|--------|-----|--------|-------|------|--|-------------|------------|
| | | | | | | | 曲げ弾性率 | | | 荷重 (n=5の平均) | |
| | | | | | | | [MPa] | | | [N] | |
| PP (現行品) | 微粉 | 55% | PP系 2.1% | - | - | 55% | | 3838 | | | 30 ≤ |
| BioPE | 長繊維 | 55% | PE系 2.1% | 3% | C2% | 90% | | 3901 | | | 30.89 ○ |
| | 長繊維 | 55% | PE系 2.1% | - | - | 95% | | 4895 | | | 25.26 × |

PP-CeF55%標準品と BioPE-55%の応力－ひずみ曲線を図Ⅲ-2.2.1.4-8 に示す。



図Ⅲ-2.2.1.4-8 強度測定結果

応力－ひずみ曲線で比較しても、
PP-CeF55%標準品とほぼ同等の強度特性を達成することができた。

今回、カップ化した強度でも目標の30Nを超えたものに関して、バイオマス度90%ではあるが、2022年3月18日に技術プレスリリースを実施した。翌日以降には日本経済新聞をはじめ、いくつかのマスコミ各社に取り上げていただいた。プレスリリースの内容を図Ⅲ-2.2.1.4-9に示す。



Press Release

パナソニック株式会社

〒571-8501 大阪府門真市大字門真1006番地

2022年3月18日

天然由来の繊維を活用した環境配慮型の成形材料

バイオマス度90%以上のセルロースファイバー成形材料を開発

持続可能な社会へ向けた材料ソリューションを提供

パナソニック株式会社 マニュファクチャリングイノベーション本部は、これまでに開発してきた植物由来のセルロースファイバーを高濃度に樹脂に混ぜ込む技術を、植物由来の樹脂(バイオポリエチレン)へ展開し、バイオマス度[1]90%以上の成形材料[2]を開発しました。軟らかいバイオポリエチレンにセルロースファイバーを高濃度添加することで、従来kinari※1と同等強度の実現、また白色材料として開発することにも成功しました。

昨今の海洋プラスチック問題や石油資源の枯渇・地球温暖化といった環境問題から、天然資源の効率的な利用(SDGsゴール12)や、海洋汚染の防止および大幅な削減(SDGsゴール14)が国連の開発目標として定められ、樹脂量の削減が世界的に求められています。当社としても、2017年に「環境ビジョン2050」を策定し、「より良い暮らし」と「持続可能な地球環境」の両立に向けた開発活動を進めています。

当社は、2015年から石油由来の樹脂量を減らす研究開発活動を開始、2019年に天然由来成分であるセルロースファイバーを55%濃度で※

図Ⅲ-2.2.1.4-9 プレスリリース

【PLA 複合化開発】

次にポリ乳酸 PLA への複合化開発を実施した。

PLA は世界的な需要の増加により、供給が逼迫している。

比較的供給安定性の高い3社を選定し、それぞれで高流動タイプの PLA を調査し、入手した。

PLA 単体と、PLA+CeF55%の2種類に関して、ダンベル試験片を成形し、

シャルピー衝撃強度、曲げ弾性率、破壊点伸度、密度の物性を測定した。

結果を表Ⅲ-2.2.1.4-16 に示す

表Ⅲ-2.2.1.4-16 PLA 複合材料物性測定結果

| 樹脂 | セルロース 繊維 | 繊維 濃度 | バイオ マス度 | ダンベル | | | |
|-----|-------------|----------|------------|------|-------------|--|--|
| | | | | | 曲げ 弾性率 | | |
| | | | | | [MPa] | | |
| PLA | — | 0% | 99% | | 4096 | | |
| | 微粉 | 55% | 99% | | 6948 | | |

今期の目標である、PLA+CeF 濃度 55%、バイオマス度 95%以上で、
曲げ弾性率 3200MPa 以上を達成した。

【バイオ PE ベース樹脂成型】

開発したセルロース 55%-BioPE 材料にてカップを成形し、
本物木材のような色調及び風合いを呈する木質感成形を行い、
高品位木質外観の付与可否検証を実施した。

表Ⅲ-2.2.1.4-17 に成形結果を示す。

基準色調 L*は 60 程度であるものの、濃色部との色差は木質感成形で色差 $\Delta E=4.3$ を実現した。

目視で色の違いを認識できるレベルの色差を付与することができた。

また、繊維浮きも基準範囲内であり、良好な木質感成形品を得ることができた。

表Ⅲ-2.2.1.4-17 CeF55%-BioPE 材料木質感成形結果

| 成形条件 | 木質感成形 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 成形品外観 |  |
| 基準色調 | 59.7 |
| 色差 | 4.3 |
| 繊維浮き | なし(限度範囲内) |

【PLA ベース樹脂成型】


開発したセルロース 55%-PLA 材料（生分解）にてカップを成形し、本物木材のような色調及び風合いを呈する木質感成形を行い、高品位木質外観の付与可否検証を実施した。

表Ⅲ-2.2.1.4-18 に木質感成形結果を示す。

基準色調 L*は 75 程度であり、セルロース 70%-PP 材料やセルロース 55%-BioPE 材料よりも白色であった。

一方、色差は $\Delta E=2.4$ であり、 $\Delta E < 4.0$ のため目視で認識できるレベルには至らなかった。また、繊維浮きは基準範囲内であった。

表Ⅲ-2.2.1.4-18 CeF55%-PLA 材料木質感成形結果

| 成形条件 | 木質感成形 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 成形品外観 |  |
| 基準色調 | 75.6 |
| 色差 | 2.4 |
| 繊維浮き | なし(限度範囲内) |



<3>パイロットモデル検証

各種の製品形状での成形を行い、成形品を得ることができた。
特に天井扇ブレードにおいて、製品評価を行い、耐候性を除く強度評価等をクリアした。
耐候性に関しては 2022 年度に改善検討を進める。
このことにより、様々な製品への適用可能性が高まった。

【天井扇ブレードでの試作評価】

表Ⅲ-2.2.1.4-19 にセルローズ 55%-PP 材料による天井扇ブレードトライ結果を示す。
成形品充填率は 100%（重量）を達成した。
また、他の材料と比較して繊維浮きも非常に少なく、良好な成形品を得ることができた。

表Ⅲ-2.2.1.4-19 CeF55% – PP 材料による天井扇ブレード成形結果

| | | |
|--------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 外観 | 表 |  |
| | 裏 |  |
| 充填率(%) | 100 | |
| 繊維浮き | ほとんど発生せず | |

果

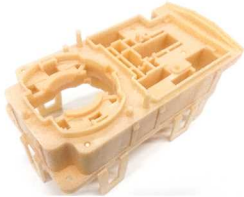


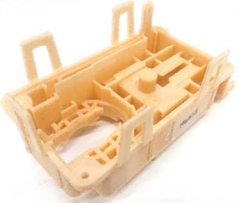
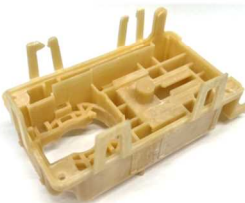

次にセルローズ 55%-PP 材料にて成形した天井扇ブレードで製品評価を実施し、
現状スペックを確認する。
合計 27 項目の試験を実施した。

目標として掲げている耐荷重試験 70kgf/2 枚は問題なく達成した。
一方で耐候性試験において基準未達となった。
屋外での使用や紫外線の影響を受ける環境で使用する製品への適用を考慮し、
耐候性能を向上させる検討を進める。

【車載内装部品での試作評価】

表Ⅲ-2.2.1.4-21 にセルローズ 55%-PP、70%-PP 材料、セルローズ 55%-BioPE 材料による車載内装部品成形結果を示す。

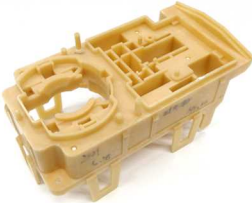





表Ⅲ-2.2.1.4-21 車載内装部品成形結果

| 材料 | セルローズ55%-PP | セルローズ55%-BioPE | セルローズ70%-PP |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| CAV側視点 |  |  |  |
| COR側視点 |  |  |  |
| 重量(g) | 61.24 | 57.94 | 63.99 |
| 充填率(%) | 100 | 93.1 | 97.0 |
| 充填 | ○ | × | × |

セルローズ 55%-PP 材料では体積充填率 100%を達成したもののセルローズ 55%-BioPE 材料及びセルローズ 70%-PP 材料ではショートショットとなった。高粘度であることが要因だと考えられる。そこで車載内装部品金型への部分圧縮成形の適用を検討する。

表Ⅲ-2.2.1.4-22 に部分圧縮成形を適用した場合の車載内装部品成形結果を示す。
 部分圧縮成形適用前は未充填であったセルローズ 55%-BioPE 材料及び
 セルローズ 70%-PP 材料いずれも体積充填率 100%を達成した。
 本取り組みにより、ボスやリブを有する複雑形状であっても部分圧縮成形により
 流動性が向上することを確認した。

表Ⅲ-2.2.1.4-22 部分圧縮成形適用での車載内装部品成形結果

| 材料 | セルローズ55%-PP | セルローズ55%-BioPE | セルローズ70%-PP |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| CAV側視点 |  |  |  |
| COR側視点 |  |  |  |
| 重量(g) | 60.50 | 61.47 | 65.17 |
| 充填率(%) | 100 | 100 | 100 |
| 充填 | ○ | ○ | ○ |

テーマ間連携に向けた取り組み

現時点では無し。

最終目標の達成可能性と課題

最終目標の達成可能性と課題を下記に示す。

表Ⅲ-2.2.1.4-23 最終目標の達成可能性と課題

| 研究開発項目 | 現状 | 最終目標 (2022年度末) | 達成見通し |
|--------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| < 1 > 高濃度セルロース材料開発 | PP+セルロース70%材料にて、 強度と成形性を確保。 | 高濃度（セルロース濃度70%） にて強度と成形性を確保する。 【最終目標】バイオPE+セルロース70%材料にて 曲げ弾性率3400MPa以上/製品形状100%充填/他 | バイオベースでの高濃度化は22年度から着手も、 達成可能見込み。 課題は混練条件の安定化、成形流動性の確保と予測される。 |
| < 2 > 完全バイオ化材料開発 | バイオPEベースおよびPLAベース（セルロース55%）材料にて、 強度と成形性を確保。 | 完全バイオ化（バイオ比率95%以上） にて強度、成形性を確保する。 【最終目標】バイオPEベースおよびPLAベース（セルロース70%）材料にて 曲げ弾性率3400MPa以上/製品形状100%充填/他 | 同上 （バイオベースでの高濃度化は22年度から着手も、 達成可能見込み。 課題は混練条件の安定化、成形流動性の確保と予測される。） |
| < 3 > パイロットモデル検証 | PP+セルロース55%材料にて、天井扇ブレード製品評価を実施。 耐候性を除き、製品評価をクリア。 | パイロットモデル製品適用評価 にて製品仕様を満足する。 【中間目標値】天井扇ブレード製品評価・耐荷重70[kgf/2枚]/他 | 製品評価の残課題である耐候性については、添加剤評価にて 達成可能見込み。 課題はバイオベース、高濃度材料での安定成形性の確保。 |

(3) 知的財産などの確保に向けた取り組み

知的財産の確保に向けて下記の取り組みを行う。

- ・材料製造（高濃度混練）と成形品としての特徴に関する基本特許を重点的に出願済み
- ・NEDO 事業にて開発した技術に関して知財化可能なものを順次出願（下記 1 件まで出願済み）
- ・製品適用決定時に、特有の技術の知財化を検討する

本事業に関する知財の出願状況を下記に示す。

表Ⅲ-2.2.1.4-24 知財出願状況

| | 2017年 度 | 2018 年度 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 計 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 特許出願（うち外国出願） | | | | | 1 (0) | 1件 (0件) |

※2022年3月31日現在

2.2.1.5 サブテーマ5「CNF 配合エラストマーの製造プロセス低コスト化による製品実装技術開発」

(住友ゴム工業株式会社、日本製紙株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

エラストマー用の補強材としては、一般にカーボンブラック（以下、CBと表記）やシリカなどナノサイズの補強材が用いられ、これらを配合することで機械強度向上や耐摩耗性の向上など優れた物性が発現する。セルロースナノファイバー（以下、CNFと表記）は微細な繊維構造から、CBなどの補強材の代用として期待できる。しかし、単純にCNFスラリーを乾熱乾燥し粉体にする乾燥工程で凝集し、マイクロサイズの補強材となってしまう機械強度向上や耐摩耗性の向上など優れた物性が発現しなくなる。そこで住友ゴム工業株式会社（以下、住友ゴムと記載）と日本製紙株式会社（以下、日本製紙と記載）は、天然ゴム(以下、NRと表記)とTEMPO酸化CNFとを水中で混合し、脱水、乾燥を経てCNFと材料を製造するウエットマスターバッチ(以下、WMBと表記)製法を開発した。



図Ⅲ-2.2.1.5- 1 WMB を用いたエラストマー配合中の CNF 分散状態

住友ゴムは、2019年12月にCNFを採用したエナセーブNEXTⅢを販売した。当時、採用したシングルナノサイズのTEMPO酸化CNFは一般的なタイヤ材料に比べ材料単価が10倍以上と高価な上、WMB作製の脱水、乾燥時間が長くWMBの生産コストも掛かってしまう。結果、CNF配合エラストマー単価でも当社実績価格上限の2倍以上と高く、コスト面から汎用タイヤへの採用の妨げとなっている。

<本事業で開発を目指す技術の全体像>

本事業では住友ゴムと日本製紙とで連携し、エラストマーへの補強性を有しつつ、CNF製造コスト削減並びにマスターバッチ（以下、MBと記載）製法での脱水処理能力を改善するCNFを開発し、2026年以降のタイヤを主とするエラストマー製品への実装を目指す。

<技術的な重要性>

汎用製品へ CNF を適用するには、CNF のコストダウンと材料品質との両立が不可欠であり、CNF 単に大径化するといったコストダウン手法では、エラストマー中に凝集塊が多数発生してしまい、強度低下するために材料品質確保を実現できない。エラストマーの補強に必要な分散性、補強性を保持する CNF を開発し、エラストマーへの分散工程でのコストダウンも同時に進めることで、製品化実現性の高いコストダウン技術を確立する。

<最終目標とその達成手段>

(最終目標)

所定の材料物性値を満たし市場品質を満たす CNF 配合エラストマーを開発する。

(達成手段)

- 1) エラストマー向け CNF 材料コスト削減技術開発 (日本製紙)
ゴム/エラストマーの補強効果に優れ、かつ事業トータルの製造コストを大幅に低減する CNF を開発する。要素技術として、解繊度（繊維径）や解繊方法（装置）の最適化や解繊前処理、CNF 高濃度化等による物流コスト削減に取組み、量産レベルで実装化する。

- 2) 高生産性 MB 条件検討 (住友ゴム)
CNF 繊維径が異なるとスラリーの粘度が変化するため、エラストマー分子との混合性が変化する。CNF と NR 分子が分散し、短時間で脱水可能な最適 MB 製造条件を開発する。また、脱水時間の抜本的な改善のために高濃度スラリーを用い、エラストマー用オイルと CNF とのオイルマスターバッチ（以下、OMB と記載）製法を技術確立する。

- 3) 製品への実装検討 (住友ゴム)
住友ゴムの製品に適用可能な CNF 配合エラストマーを開発し、市場品質評価を行う。

目標：所定の材料物性値を満たし市場品質を満たすCNF配合エラストマーを開発する。

| 【課題①】目標特性を有するCNFの開発と量産時のCNF原材料管理方法を確立する | | | |
|-----------------------------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| 研究開発項目 | | 概要, 目標 | 担当 |
| 1) エラストマー向けCNF材料コスト削減技術開発 | i. CNF最適化検討 | 目標材料特性を満たすCNFを製造 | 日本製紙 |
| | ii. 繊維形状定量評価法開発 | オンラインで繊維形状評価法を開発 | 日本製紙 東京大学 |
| | iii. 安定生産条件検討 | 開発CNFを安定生産する製造法を開発 | 日本製紙 |
| 【課題②】低コストで高生産性のウエットMB製造条件を確立する | | | |
| 研究開発項目 | | 概要, 目標 | 担当 |
| 2) 高生産性MB条件検討 | i. WMB製造条件開発 | 製造時間と材料特性を両立する条件開発 | 住友ゴム |
| | ii. OMB製造条件開発 | 製造時間と材料特性を両立する条件開発 | 住友ゴム |
| 【課題③】製品適用可能な市場品質を有するCNF配合エラストマーを開発する | | | |
| 研究開発項目 | | 概要, 目標 | 担当 |
| 3) 製品への実装検討 | i. タイヤ部品開発 | タイヤ部品での社内品質基準を満たす | 住友ゴム |
| | ii. 産業品開発 | 産業品での社内品質基準を満たす | 住友ゴム |

図Ⅲ-2.2.1.5- 2 技術課題と達成手段一覧

<開発する技術の利用されるイメージ>

開発した CNF は、WMB 或いは OMB の形態でタイヤを中心とする住友ゴムが製造するエラストマー製品へ適用する。初期採用製品は、国内向けタイヤをターゲットにする。その後、市場耐久性を確認しつつ拡大検討を進め、複数の部材、複数の製品へ用途拡大を進める。市場ニーズがあれば、WMB 及び OMB の販売や MB 製法の技術提供を進め、MB 技術の普及拡大を図る。

<事業テーマのアピールポイント>

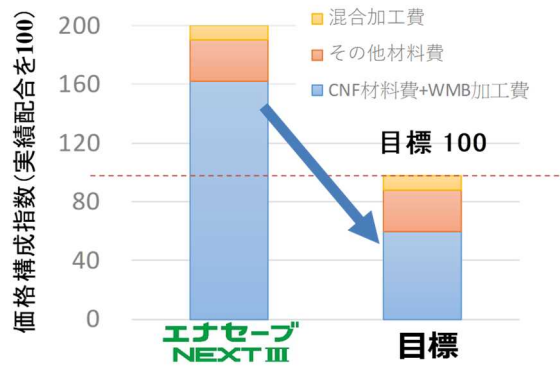
エナセーブ NEXTⅢで開発したエラストマーと CNF との複合化技術の乾燥工程を大幅短縮し、コスト半減化した CNF 配合エラストマーを一般タイヤへ展開する。

(2) 位置づけ、目標値

<位置づけ>

住友ゴムは 2019 年 12 月に世界初となる CNF を使用したタイヤ『エナセーブ NEXTⅢ』を販売した。タイヤ市場は現状、全世界で約 20 兆円規模であり、低燃費タイヤはそのうち 85% を占めると言われている。自動車の燃費規制や SDGs の環境への関心から、タイヤでの低燃費化やバイオソース材料の需要は更に拡大する見込みである。

CNF のタイヤ汎用製品への適用へ向けた課題の 1 つが高い材料コストにある。実績のあるタイヤ用エラストマー部品の上限価格を 100 とした場合、CNF 採用エラストマー部品のコストは 200 とコスト高い。エラストマー部品の内、CNF の材料コストが約 8 割を占めており、大きな課題である。



図Ⅲ-2.2.1.5- 3 CNF 配合エラストマーのコストイメージ

一方、CNF 配合エラストマーと汎用的なエラストマー用補強材である CB のみを配合したエラストマーとの材料特性値を比較すると CNF 配合エラストマーは低燃費性に優れ、タイヤ使用時の乗り心地性も良好であり、高機能材料として有望である。

表Ⅲ-2.2.1.5- 1 目標技術と既存技術の比較表

| | 目標技術 (目標値) | 保有技術 (現行品) | 比較技術 α |
|-----------|---------------|---------------|-----------|
| 使用材料 | 目標CNF | シングルナノCNF | カーボンブラック |
| マスターバッチ製法 | 適用 | 適用 | 不適用 |
| コスト指数 | 100以下 | 200 | 90 |
| 低燃費性 | 95以下 | 100 | 105 |
| 乗り心地性 | 100以上 | 100 | 95 |
| 補強性 | 90以上 | 100 | 105 |

そこで、タイヤ分野で 85%以上を占める低燃費タイヤをメインターゲットにし、日本製紙製 セレンピア TC-01A よりも低コストで且つ、CB よりも低燃費性に優れた CNF を開発する目標とし、開発目標として、下表記載の目標値を開発目標に設定した。

表Ⅲ-2.2.1.5- 2 開発技術目標一覧

| 目標値一覧 | | 現行 CNF | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 |
|-----------------------------|---------------|-----------|---------|---------|---------|
| 1) エラストマー向け CNF 材料コスト削減技術開発 | | | | | |
| 目標 1. | CNF 材料コスト | 100 | 75 | 55 | 40 |
| 目標 2. | 繊維径測定時間 | 100 | 80 | 75 | 50 |
| 2) 高生産性 WMB 条件検討 | | | | | |
| 目標 3. | MB 製造時間 | 100 | 75 | 55 | 35 |
| 目標 4. | MB エラストマー材料特性 | | | | |
| | 材料強度 | 100 | 80 | 90 | 90 |
| | 低燃費性 | 100 | 95 | 95 | 95 |
| 3) 製品への実装検討 | | | | | |
| 目標 5. | エラストマー製品コスト | | | | |
| | タイヤ製品 | 100 | - | 100 | 100 |
| | 産業用製品 | 100 | - | - | 105 |
| 目標 6. | エラストマー製品耐久性 | | | | |
| | タイヤ製品 新品耐久性 | - | - | 適合 | 適合 |
| | 劣化耐久性 | - | - | - | 適合 |

(3) 全体計画

汎用製品への CNF 実装に向け CNF 材料及びエラストマーとの WMB プロセスの低コスト技術開発を進める。日本製紙は、CNF 製造プロセスでの低コスト化開発を進め、住友ゴムは、コスト削減 CNF を用い CNF とエラストマーとの複合化プロセスの生産性向上及び、コスト削減 CNF を用いたタイヤ、産業品などの製品適用に向けた製品設計を進める。設計した CNF 配合エラストマー製品は、住友ゴム社内基準の信頼性評価を行い、市場信頼性を確認する。これらの取組みに向け、以下研究開発項目を設定した。

1) エラストマー向け CNF 製造コスト削減技術開発

研究開発項目① エラストマー向け CNF の製造コスト削減（担当：日本製紙）

CNF を配合したタイヤの社会実装を進めるためには、昨年上市した CNF 配合タイヤよりコスト削減を進める必要がある。そのために、本事業においては CNF 製造コストの低減と、WMB 製造工程での脱水加工性改善などによる CNF 配合ゴムの製造コスト低減に取り組む。

従来のシングルナノサイズ TEMPO 酸化 CNF 日本製紙製セレンピア TC-01A（以下、既存 CNF と記載）は、TEMPO 酸化パルプを高度な解繊機で解繊し製造する。TEMPO 酸化 CNF としており、繊維幅 3nm 程度で均一な形状の CNF が得られる反面、生産性が低く高コストである。また、この製法で得られる CNF は繊維径約 3nm で均一であり、保水性が高いことが特徴である反面、WMB 工程では高保水性が裏目となり、脱水加工性の低下につながる。そこで、解繊度合いを適度に粗くすることで CNF の保水性を低減し、脱水加工性の向上を図りつつ、ゴム補強効果を両立する、エラストマー向けに最適な解繊レベル（＝繊維径、繊維径分布）を確立する。そのような CNF の量産製造に適した CNF 解繊装置の選定・開発や解繊レベルの最適化、原料パルプの変性方法や変性度などの前処理において製造条件の検討を行い、製造コスト削減を図る（2020 年度）。

また、CNF は低固形分濃度の水分散体であるため、物流コスト削減も重要なテーマと位置づける。CNF 水分散体の濃縮あるいは固形化などが物流コストの削減のために有効であることは自明であるが、濃縮あるいは固形化の際に CNF 同士が強固に凝集し、再分散が困難になるため、再分散性が優れる濃縮方法あるいは固形化方法の技術開発を行う（2021 年度）。さらに、それらを組み合わせた CNF 製造プロセスを確立する（2022 年度）。CNF 製造コスト目標は、既存 CNF の価格を 100 に対する指数で評価し、2022 年には、製造コスト 60%削減のコスト指数 40 を目指す。

研究開発項目②繊維形状（径、長さ、分岐度、ネットワーク）の定量的評価方法開発
（担当：日本製紙株、東京大学）

上記の事業内容に対応させるため、TEMPO 酸化パルプから解繊度を変化させ、平均径がナノメートルレベルの CNF、平均径がマイクロレベルのマイクロフィブリル化セルロース（MFC）、および CNF 成分と MFC 成分が一定比率で含まれる CNF/MFC 混合物を安定的に製造し、ゴム複合材料製造に供する必要がある。すなわち、工業用素材として CNF、MFC、CNF/MFC 混合物の解繊度を常に一定範囲内に制御して製造する必要がある。具体的には、平均径、径の分布、平均長さ、長さの分布、平均分岐度、分岐度分布、ネットワーク構造の定量化が必要となる。これまでの学術分野では、CNF、MFC について限られた視野および試料数の電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、あるいは光学顕微鏡画像から平均径、平均長さを評価してきた。しかし、高倍率の場合はナノレベル幅の繊維しか観察できず、低倍率の場合はマイクロレベル幅の粗大繊維しか観察できない。すなわち、CNF から MFC に至るナノレベルからマイクロレベルに至る幅広い径を有する解繊 TEMPO 酸化パルプ全体の形状の定量的評価方法が確立されていない。また、従来の画像によるこれらの形状分析方法は、工場生産される CNF、MFC、CNF/MFC 混合物に対してオンラインで測定することができず、従って、得られた結果を製造条件にすぐにフィードバックして制御することができない。

本検討では、TEMPO 酸化パルプの解繊度を変化させることにより得られる、CNF、MFC、さらには平均繊維径として数ナノメートルから数ミクロンサイズまで幅広く分布を有する CNF/MFC 混合物の安定製造に対応した評価手法の構築（2021 年 9 月末）を目指し、併せて製造プロセスでのオンラインモニターリングを可能にする基本分析方法を、実験室レベルで可能にする（2022 年 9 月末）ことを目的とする。そのために、東京大学と共同で CNF、MFC、CNF/MFC 混合物の形状評価方法の開発を進める。さらに、製造現場での生産管理に対応可能な装置への発展を検討（2022 年度）し、安定的かつ効率的に一定の形状を有する CNF、MFC、CNF/MFC 混合物を製造 - 制御できる生産設備の開発を行う。

繊維径測定効率は、現在使用している顕微鏡を用いた測定時間 100 に対する指数で評価し、2022 年には測定時間 50%削減の CNF 繊維径測定時間 50 を目指す。

研究開発項目③CNF 安定生産技術の開発（担当：日本製紙）

前記研究開発項目①、②において、タイヤ用途に最適な CNF の繊維径の規格値を策定し、規格値を満たす一定品質の CNF を安定して製造し続ける製造プロセスの確立と管理技術の確立を行う。具体的には、解繊装置を連続運転して品質の再現性の確認や操業性の確認、装置の耐久性の確認などを行い、設備の最適化や作業性の改善、操業の技術確立を行う。

2) 高生産性 WMB 条件検討

研究開発項目④コスト削減 CNF の WMB 条件検討（担当：住友ゴム）

住友ゴムは、日本製紙の開発 CNF を用い WMB 条件の最適化検討に取り組む。CNF の保水性が異なると CNF スラリーの粘度が変化するため、エラストマーの水分散体との混合性が変化する。そのため混合工程の最適化は CNF スラリーの濃度を調整し、CNF とエラストマーが均一且つ短時間で分散する様に CNF とエラストマー混合水溶液の粘度調整し行う。その他、攪拌機の設定条件や CNF とエラストマーが分離せず、短時間で分散させる補助剤として最適な分散剤の選定を行う。また NR を使用する場合には、pH や使用する凝固剤の種類最適化も行う。最適化後、MB 製造工程で最も時間を有する脱水工程を WMB での製造時間とし、脱水時間を測定することで生産性を評価する。脱水時間は CNF とエラストマーとの水分散体を減圧ろ過し、単位時間でのろ過量を計測し、既存 CNF と NR との混合液で掛かる脱水時間を 100 とした指数で評価する。

目標として、MB 製造時間指数 35 を目指す。MB 製造では、脱水工程が律速となっており、製品量産化に十分な MB を供給するためには、少なくとも MB 製造時間指数 35 の達成が必要である。

研究開発項目⑤WMB 材料特性評価（担当：住友ゴム）

住友ゴムは、前記研究開発項目④にて最適化条件で製造した WMB を一般的なタイヤ用エラストマーに使用する補強剤や添加剤と住友ゴム保有の材料加工設備を用いて混合した後、成形・加硫し材料評価用の評価用試料を作製する。作製した試料にて引張強度、耐摩耗性及び粘弾性測定（低燃費性測定）を行い、CNF 配合エラストマーの材料強度と低燃費性が開発目標に達成しているか判定を行う。目標未達の場合は、CNF 及び MB 条件を見直す。

材料強度は、JIS K6251 の加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-引張特性の求め方に従い試験を行い評価する。既存 CNF を用い作製した MB を 100 とした指数で評価し、場合の切断時引張り強さ指数 80 以上を必達目標とし、90 以上を目指す。

NR と CNF とで作製した MB の切断時引張り強さは十分高く、一般的なタイヤ用エラストマー材料に比べて高い。MB の破断時引張り強さが 10%低下しても製品設計への影響は低く、切断時引張り強さ指数は 90 以上を目標に設定する。

低燃費性は、JIS K6394 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-動的性質の求め方に従い試験を行い損失正接で評価する。低燃費性は、CB を用いたエラストマー配合を 100 とした指数で評価し、95 以下を必達目標とする。低燃費性指数は、低い程低燃費化効果高く、有意差判定可能な 95 以下を目標とする。

研究開発項目⑥OMB 条件検討（担当：住友ゴム、日本製紙）

住友ゴムは、OMB 製法を検討する。WMB 製法は、水で希釈したエラストマーと CNF とを混合するため多量の水を脱水処理する必要があり生産性向上には限界がある。加えて水分散できるエラストマーのみに適用先は限られる上、NR を輸入する必要があり、調達コストが高くなってしまふ。国内調達が可能で目づ、エラストマーに幅広く使用されるオイルと CNF との OMB が製造できれば脱水処理と材料調達の両面でコストダウンできる可能性がある。OMB 製法を開発し更なる生産性向上を目指す。

住友ゴムは、OMB に最適な共溶媒、オイルを選定し、MB の製造条件を検討する。共溶媒としては安全性の比較的高いアルコールを用い、オイルには炭化水素系オイル、植物油を候補とする。材料選定後は、分散剤や混合・脱水条件を検討する。脱水と乾燥工程の簡便化のため、マスターバッチ用乾燥機を導入し、生産性の改善を検討する。

しかし、炭化水素系オイルなどエラストマー用オイルには、疎水性のものが多く、TEMPO 酸化 CNF スラリーとオイルが分散せず分離してしまう恐れがあり、製造条件だけでは OMB 製法が確立しない場合がある。日本製紙は、住友ゴムが選定した共溶媒や可塑剤の情報を受け、選定した材料と CNF とを分散させる表面疎水処理方法を必要に応じて検討する。

生産性は、既存 CNF と NR との MB 作製時に掛かる製造時間を 100 とした指数で評価し、製造時間指数 35 を目指す。研究開発項目⑤では脱水時間を製造時間としたが、WMB と OMB では製造プロセス異なるため、OMB の製造時間は全工程の製造時間で比較評価する。

研究開発項目⑦OMB 材料特性評価（担当：住友ゴム工業株式会社）

住友ゴムは、前記研究項目⑥で作製した MB を用い材料特性評価を行う。評価方法と材料特性目標値は、研究開発項目⑤と同様とする。目標未達の場合は、CNF の繊維径、変性処理条件及び OMB 製造条件を見直す。

3) 製品への実装検討

製品実装に向け、目標コストと目標材料物性を満たす製品に向けたエラストマー部品の配合設計に取り組む。タイヤ製品は多くの構成部材から成り立っており、CNF の使用自体が製品売上に直結しないと、予想している。そこでタイヤ製品価格目標は、住友ゴムで実績のある一般的な製品製造原価を 100 に対し、CNF 配合タイヤ製造原価 100 以下を目指して開発を行う。本事業での開発が成功しても CNF が既存材料に比べ高価であることに変わりはなく製造原価目標達成は困難である。製造原価達成に向け、高剛性化による軽量化、低燃費効果による他の高価な低燃費化添加剤の減量を試み、タイヤ製造原価トータルでの価格維持を目指す。また、製品評価前の事前準備として、外注先で MB 試作を行い、10kg/バッチ以上製造可能な設備体制を整える。

一方、住友ゴムが生産するタイヤ以外の産業向け商品やスポーツ商品は構成部材が比較的少なく、CNF の特性が製品性能に反映されやすいため、製品売上に直結しやすい。そこでタイヤ以外のエラストマー製品は、住友ゴムで実績のある一般的な製品価格を 100 に対し製品価格目標 105 を目指し開発に取り組む。

研究開発項目⑧CNF 配合エラストマーの開発（担当：住友ゴム）

住友ゴムは、住友ゴムが保有するエラストマー用加工機を使用し、WMB、OMB と合成ゴム、その他エラストマー用の補強剤や添加剤とを混練し、CNF 配合エラストマーを設計する。検討する製品は、特に限定しないがタイヤ、産業品、スポーツ用品など住友ゴムの事業商品を対象とする。

タイヤ部品としては特に限定はないが、タイヤのサイドウォール、トレッド、インナーライナー等への適用を目指し開発を進める。各部品の材料特性目標と価格目標を満たした CNF 配合エラストマーを開発した後は、住友ゴムの保有設備で製品を試作し、耐久規格試験の他、低燃費性

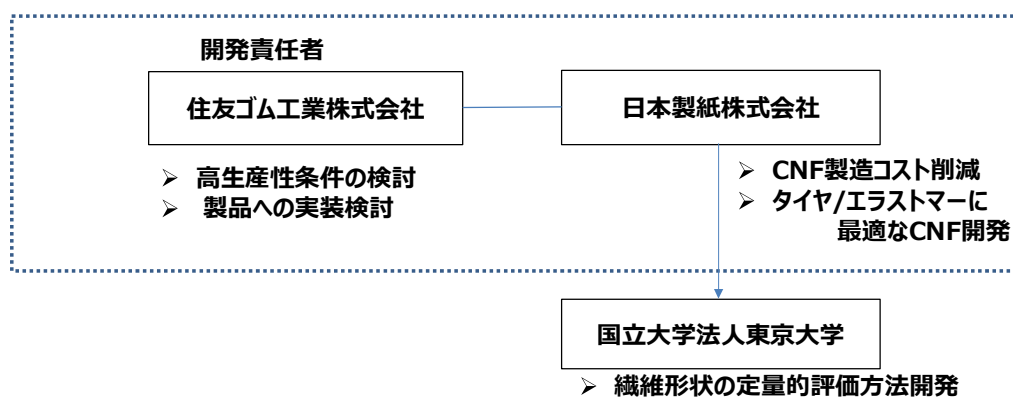
などの製品評価を実施し、商品性を確認する。同じく、産業品、スポーツ用品に関しても住友ゴム保有の設備を用いて開発を進める。試作品は、耐久評価と機能性評価を行い、商品性を確認する。

| 事業項目 | 2020年度 | | | | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| 1) エラストマー向け CNF製造コスト削減技 術開発 | ①エラストマー向けCNFの製造コスト削減 | | | | | | | | | | | |
| | CNF最適化(形状、装置など) | | | | 濃縮/固化技術検討 | | | | CNF製造プロセス確立 | | | |
| | | | | | 濃縮/固化技術検討 | | | | CNF製造プロセス確立 | | | |
| 2) 高生産性ウエット MB条件検討 | ②繊維形状の定量的評価方法開発 | | | | 実験室レベルでのオンライン 繊維形状評価方法の開発 | | | | 実機レベルでのオンライン 繊維形状評価方法の開発 | | | |
| | 実験室レベルでの繊維形状評価方法の開発 | | | | 実験室レベルでのオンライン繊維形状評価方法の開発 | | | | オンライン繊維形状評価方法の開発 | | | |
| | ③安定生産条件の検討 | | | | | | | | | | | |
| 3) 製品への実装検 討 | ④コスト削減CNFのウエットMB条件検討 | | | | | | | | | | | |
| | MB条件検討 | | | | | | | | | | | |
| | ⑤ウエットMB材料特性評価 | | | | 材料特性評価 | | | | | | | |
| | ⑥オイルMB(OMB)条件検討 | | | | MB条件検討 | | | | 化学修飾検討 | | | |
| | | | | | | | | | 材料特性評価 | | | |
| | ⑦オイルMB(OMB)材料特性評価 | | | | | | | | | | | |
| | ⑧CNF配合エラストマーの開発 | | | | タイヤ向けエラストマー配合設計 | | | | 市場品質評価 | | | |
| | | | | | | | | | 産業品向けエラストマー配合設計 | | | |
| | | | | | | | | 市場品質評価 | | | | |

図Ⅲ-2.2.1.5- 4 事業全体計画

(4) 実施体制

2026年以降のエラストマー製品（主にタイヤ）への利用を目的とした利用技術開発のため、エラストマー商品の製品化を行う住友ゴムが開発責任者を担う。エラストマーに最適なCNF仕様は現段階で未知であり、製品実装時はCNFの供給安定性や生産性も重要な研究開発テーマであることから、CNF開発能力と生産能力を有する日本製紙と共同開発体制を取り、仕様検討から量産化まで早期で対応する体制とし、繊維径の評価方法は従来にない評価技術のため、東京大学の協力を得て進める。



図Ⅲ-2.2.1.5- 5 研究体制図

(5) 運営管理

少なくとも2ヶ月に1度、成果報告会を共同提案者と開催し、研究開発進捗と検討結果につきフィードバックを行う。製品向けの仕様検討前には、現地訪問し製品規格と検査方法を確認し直接フィードバックを行う。

(6) 実施の効果

エラストマー用の補強材には石油資源由来の材料 CB を使用してきたがバイオマス由来ある CNF へ代替することで実質的に CO2 削減効果が期待できる。また、過去の研究で CB に比べ CNF は低燃費に優れることが判っておりタイヤへの実装時には、低燃費効果により更なる CO2 削減効果が期待できる。タイヤに使用される CB の一部を CNF に代替した場合、住友ゴム単独で 2026 年には約 1.2 万 t/年、2030 年には約 12 万 t/年の CO2 削減が見込んでいる。また本プロジェクトで開発する CNF をエラストマーへ混合する MB 技術は、価格と補強効果の両立を狙うものであり、他の産業にも適用可能と予測し、CNF の普及に貢献できると推察する。更に、タイヤ事業の様な材料消費の大きい製品に CNF を供給する製造技術開発を進めることで CNF の安定供給にも貢献する。

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

2021 年度終了時点での達成度は、下表の通りである。一部目標に関しては、超過達成した。但し、ラボスケールで実証検討が終了した状況であり、生産時の品質安定性や安全性リスク対応が今後必要になる。

表Ⅲ-2.2.1.5- 3 中間目標達成表

| 研究開発項目 | 目標項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------------|--------|---------|-----|------------------|-------------|
| 1)エラストマー向け CNF材料コスト削減技術開発 | 材料コスト | 55以下 | 25 | ◎ (目標超過達成のため) | 定量化手法を変更し対応 |
| | 繊維測定時間 | 75以下 | 100 | × | |
| 2)高生産性MB条件検討 | 製造時間 | 55以下 | 25 | ◎ (目標超過達成のため) | |
| | 材料強度 | 90以上 | 99 | | |
| | 低燃費性 | 95以下 | 75 | | |
| 3)製品への実装検討 | 材料試作 | 数十kg製造可 | 製造可 | ○ | |

1) エラストマー向け CNF 製造コスト削減技術開発

研究開発項目①エラストマー向け CNF の製造コスト削減 (担当: 日本製紙)

日本製紙にてパルプの変性種 (TEMPO 酸化、カルボキシメチル化、無変性)、変性度 (低～高)、解繊機の種類、解繊度 (低～高) を振った CNF を 30 種調製し、住友ゴムにてそれを用いて WMB あるいは OMB を調製、エラストマー物性を評価し、候補サンプルのスクリーニングを行った。

結果、適度に変性度・解繊度を調整した TEMPO 酸化 CNF 2 種において、従来のシングルナノサイズの既存 CNF に匹敵するゴム補強効果を有することを見出した (以下、これらを「開発 CNF」と称する)。

コストに関しては、これら開発 CNF においては解繊度を低く抑えたことで製造コスト削減につながっている。また、一般的に既存 CNF は低濃度 (3%以下) の水分散体であることから物流コストが非常に高いことが大きな課題であるが、これら 2 種の開発 CNF は「現地解繊ビジネスモデル」を視野にいれて開発したものであり、物流コストの大幅低減が可能である。「現地解繊ビジネスモデル」とは、日本製紙では高濃度で生産できる変性パルプの製造までを行い、これを高濃度でマスターバッチ製造拠点まで輸送し、現地で解繊する低コスト化のビジネスモデルである。これを実現するためには高度な取り扱い技術を必要とせず安定生産可能な CNF 解繊装置が不可欠であるが、当社では独自に新規解繊装置を開発し、その安定生産技術確立を推進 (後述) したことにより実現可能となった。

これらの技術開発の結果、エラストマー材料としての CNF コストを従来の 100 に対し 25 まで低減できる可能性を見出した (2021 年度目標の 55、2022 年度目標の 40 を達成)。

一方、別のコストダウンスキームとして検討した、「濃縮・固形化ビジネスモデル」では乾燥機の設備投資や乾燥のためのエネルギーコストがかかり低コスト化の効果は「現地解繊ビジネスモデル」より劣ることを明らかとした。

研究開発項目②繊維形状（径、長さ、分岐度、ネットワーク）の定量的評価方法開発
（担当：日本製紙、東京大学）

CNFの繊維形状評価方法として従来から用いられている方法の一つに原子間力顕微鏡や電子顕微鏡を用いて観察、繊維長や繊維径のデータを解析する方法があるが、この方法では今回のエラストマー用CNFのように幅広い繊維長/繊維径分布を有するサンプルの全体を評価することは不可能である。

文献調査などの結果、数億本レベルの以上の繊維を対象にCNF全体の繊維形状を定量的に評価できる手法として、レオロジー分析や粒度分布解繊に取組むこととした。レオロジー分析のプレテストを実施したが、この方法ではCNF全体の繊維形状を評価することは困難であることが分かり、東京大学で既に参考にできる知見のあった静的光散乱法によるナノ粒子径分布測定装置とダイナミック粒子画像解析システムによる評価方法を検討することとした。

これまでに静的光散乱法で再現性あるデータは得られたものの、得られたCNFの平均粒子径は110 μm となり、CNFの繊維形状を示すデータは得られていない。一方、従来法を用いた動的粒子画像解析システムによる測定ではCNFの微細な繊維は検出できず、平均粒子径は8 μm という報告があった。

そこで、CNF中の未解繊部分（光学顕微鏡で観察可）について、粒子画像解析システムで繊維形状を計測・評価し、解繊部分はバッチ式の静的および動的光散乱法で検出するという方針で検討を進めている。

研究開発項目③CNF安定生産技術の開発（担当：日本製紙）

エラストマー向け用途に最適なCNFの繊維形状を規格化し、その規格値を満たす一定品質のCNFを安定して生産し続ける製造プロセスを開発することが重要である。新規ノズル型解繊機を導入（2020年10月）以降、製造プロセスの確立、操業性改善、解繊条件の検討、耐久性の確認、品質再現性の確認、連続運転の確認を実施し、本装置については開発CNFを安定して生産できることを概ね確認できている。長期間連続運転した場合の耐久性に関しては、今後の事業化の際に確認、改善を進める予定。

2) 高生産性MB条件検討

日本製紙で開発したエラストマー用CNFを使用し、WMBの製造条件とWMBの材料特性評価を行い、エラストマーに適切なCNFの選定とWMB製造条件の最適化を実施した。

研究開発項目④コスト削減CNFのWMB条件検討（担当：住友ゴム）

開発したCNFは、既存CNFに比べCNF繊維径が大径化しており、表面積が低くなるため、脱水性は優位になる。しかし、大径化を進めて行くと強度面で無視できないCNFの凝集塊

が発生するため、日本製紙が開発した CNF の内、エラストマーへの補強性を有しつつ脱水性を改善する CNF の選別を行った。

WMB の製造プロセスの模式図を図 1 に示す。WMB 製造プロセスは、CNF スラリー、NR ラテックスと分散剤とを混合する混合工程、作製した混合液にギ酸を混合し NR を凝固させる凝固工程、凝固物に含まれる水を、一定基準まで脱水する脱水工程、最後に残存した水を所定の水分量まで乾燥する乾燥工程からなる。



図Ⅲ-2.2.1.5- 6 WMB 製造工程図

混合工程では NR ラテックス中に CNF を微分散させることが重要であり、攪拌条件と CNF の分散状態を維持させる分散剤の選定が重要である。凝固工程では、急速に NR を凝固させ NR に CNF を固定化させる必要があり、凝固液であるギ酸の濃度と投入速度が重要である。凝固条件により、凝固した NR サイズが決まり、脱水工程へも影響を及ぼすため、WMB では特に重要な工程になる。

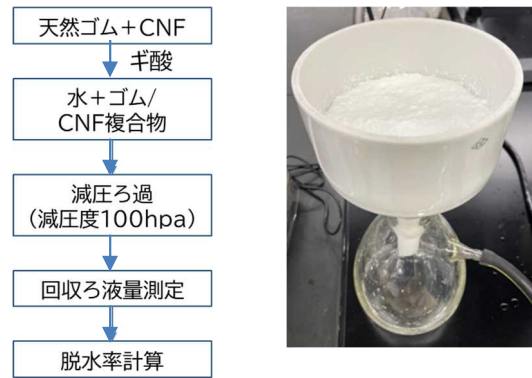
開発 CNF の様に大径化した CNF は、NR 分子との接触点が増えるため、NR の凝固物(クラム)のサイズが大きくなりやすい。分散状態や凝固速度が不適切であると凝集した凝固クラムが生成し、CNF が凝集した MB になる。そこでまず初めに、NR ラテックスと CNF スラリーとの混合液が良分散となる分散剤の選定を行った。検討方法としては、CNF スラリーと NR ラテックスとの混合液を作製し、混合液に分散剤を混合した後 1 日静置し、CNF と NR の分離度合いを基準に分散剤を選定した。結果、開発 CNF では、アニオン系界面活性剤が好適であった。

凝固工程では凝固液濃度を変更し、クラムサイズ大径化が可能で且つ、均一な形状となる様に凝固液濃度と分散剤の組み合わせを実験により求めた。結果、従来 CNF のクラムよりも、開発 CNF のクラムが大径化し、安定的に製造できる条件を見出した。検討時のクラム写真の一例を下図に示す。

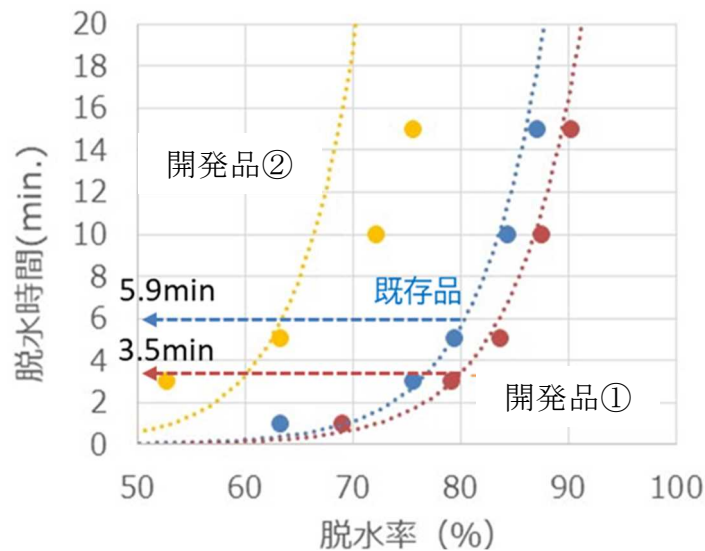


図Ⅲ-2.2.1.5- 7.凝固直後の MB クラムの写真
(左 ; 従来 CNF、中 ; 開発 CNF、右 ; 分散剤、凝固条件不適例)

脱水工程では 100hPa まで減圧した減圧ろ過機に凝固直後のクラムを 100g 投入し、一定時間毎にろ液重量（つまり、脱水重量）を測定し、ろ液重量とろ過時間から、脱水率と脱水時間との関係を示す近似関数を求めた。近似関数より、脱水率 80%に到達する時間を脱水時間とし、既存 CNF 及び開発品 CNF の脱水時間を比較評価した。結果、2 種の開発 CNF で目標を満たす混合条件を見出した。



図Ⅲ-2.2.1.5- 8 脱水性評価手順と減圧ろ過写真(右図)



図Ⅲ-2.2.1.5- 9 脱水性評価結果

WMB の製造時間は、前述の減圧ろ過による方法を用い、既存 CNF と NR 混合液での脱水工程に掛かる時間を 100 として評価した。結果、目標 3 の MB 製造時間目標 55 に対し、ベストケースで 55 となり、中間目標を達した。

研究開発項目⑤WMB 材料特性評価（担当：住友ゴム）

最適化した WMB 条件で WMB を作製し、天然ゴム 100phr、CNF20phr、カーボン 30phr となるようエラストマー配合を調整しバンバリーミキサーで 4 分混練した後、ゴム用ロールを用い混練物に所定量の加硫薬品を混練し、未加硫ゴムシートを作製した。作製した未加硫ゴムシートを 170℃で加硫し、材料強度は JIS K6251 の加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-引張特性の求め方、低燃費性は JIS K6394 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-動的性質の求め方に従い測定した。結果は、既存 CNF を用い作製した WMB を 100 とした指数で評価した。

評価の結果、材料強度は中間目標 80（高い方が優れる）に対し、95 の結果で目標達成の結果であった。低燃費性もまた、中間目標 95（低い方が優れる）に対し、93 の結果で目標達成の結果であった。

研究開発項目⑥OMB 条件検討（担当：住友ゴム、日本製紙）

WMB では CNF の分散性確保のため、NR ラテックスと均一に混合する必要があり水を多量に含む低濃度 CNF スラリーを使用するため、脱水及び乾燥工程の製造時間に課題が残る。そこで、高濃度 CNF スラリーつまり低水分率スラリーでも CNF の微分散が可能な方法として、NR に代わりエラストマー用オイルとの OMB の技術検討も進めてきた。本事業開始前の検討で OMB の作製手順は確立していたが、WMB に比べ分散性低く、材料強度低い課題があった。材料強度の改良を進めるために、OMB の各製造工程での改良に取り組んだ。

OMB の製造模式図を下図に示す。OMB 製造プロセスは、高濃度 CNF スラリー、共溶媒と疎水化分散剤とを混合する混合工程、水や共溶媒を一定量除去しながらオイルに分散する脱溶媒工程、最後に所定の水分及び溶媒量まで乾燥させる乾燥工程からなる。



図 III-2.2.1.5-10 OMB 製造工程図

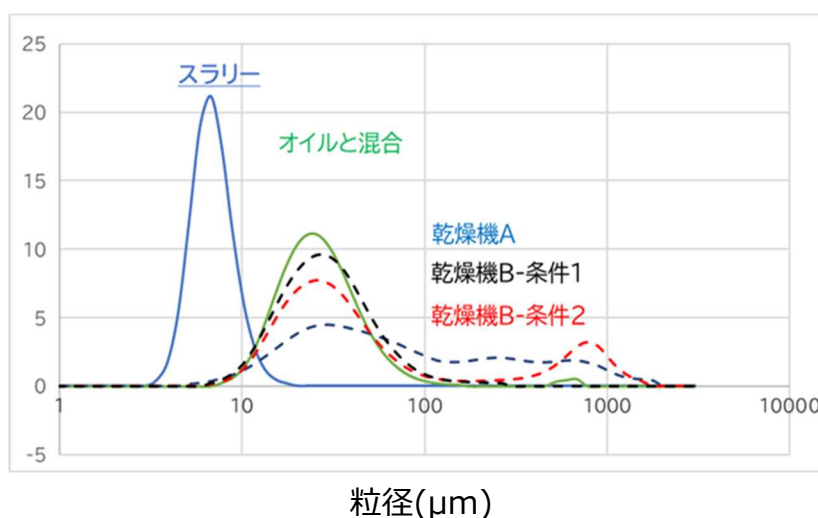
混合工程では共溶媒中に CNF を微分散させることが重要であり、WMB 同様に攪拌条件と CNF の分散状態を維持させる疎水化分散剤の選定が重要である。脱溶媒工程では、一定

基準のオイルへの可溶性を示しつつ、脱溶媒性も重要である。最後の乾燥工程では、CNF が凝集しないように攪拌しながら高速で乾燥させる乾燥条件が必要となり、OMB では共溶媒と乾燥機の選定が特に重要となる。OMB についても WMB 同様、乾燥過程で溶媒中の CNF 濃度が高くなると CNF 同士が凝集し始めるため、高濃度 CNF スラリーを用いる OMB は、より凝集しやすい傾向にあるためである。

使用する CNF は、WMB と同一の開発 CNF を用い、オイルとしてはタイヤ用材料への使用実績があり且つ、他のエラストマー可塑剤に比べて比較的水との分散性も良好な大豆油を選択した。また共溶媒としては、比較的管理しやすく水との溶解度も高いアルコールを選択した。

混合工程では、CNF と疎水化分散剤を混合した後 1 日静置し、CNF と水が分離する分散剤を適正と判断し、分散剤を選定した。結果、分散剤としてアルキル基を有する界面活性剤を選定した。脱水工程及び乾燥工程で重要となるアルコールの選定は、水よりも沸点が高く、水への溶解性があるアルコール類から、乾燥速度と乾燥後の CNF 分散性を評価し実験的に選択した。

乾燥機は、過去の検討で乾熱オープンの様な、静置乾燥では時間が掛かるため、CNF が凝集することが分かっている。そこで、攪拌しながら CNF の凝集を防ぎつつ、表面積を増やし短時間で乾燥する装置を探索した。結果、2 種類の乾燥機候補を見つけ、実験的に CNF の分散性良好な乾燥機 B を乾燥機として選定した。検討した材料、装置を用い、製造条件を最適化し、OMB 製造条件とし製造時間を評価した。



図Ⅲ-2.2.1.5- 11 乾燥機による乾燥後 CNF の粒度分布

製造時間は、既存 CNF の WMB 製造時間を 100 とし評価した。結果、製造時間は中間目標 45 に対し、25 の結果で目標超過達成の結果であった。

研究開発項目⑦OMB 材料特性評価（担当：住友ゴム）

OMB を用い NR100phr、CNF10phr、カーボン 30phr となるようエラストマー配合を調整し、材料強度と低燃費性を評価した。既存 CNF の WMB を用いた NR100phr、CNF10phr、カーボン 30phr に調整したエラストマー配合の材料特性値を 100 とし評価を行った。結果、材料強度は中間目標 90 に対し、99 の結果で目標達成の結果であった。低燃費性は、中間目標 95（低い方が優れる）に対し、75 の結果で目標超過達成の結果であった。

研究開発項目⑧CNF 配合エラストマーの開発（担当：住友ゴム）

開発した WMB、OMB で中間目標を達成したため、製品に向けたエラストマー開発の前準備として、外注先で WMB、OMB のスケールアップ検討を実施した。WMB は、過去製造実績もあり安全性も確認済の為、外注先にてスケールアップ試作を実施した。結果、数十キログラムスケールの試作ができ、狙い通り脱水性の改良を確認した。また材料物性も、100 にと同等以上の評価結果を得た。

OMB は、新規工程となり、可燃性液体であるアルコールを加熱しながら揮発させる工程となるため、スケールアップ前の設備検討を外注先にて小スケール事前試作を行い、検討した。結果、スケールアップ試作も外注先の設備対応で可能であることを確認し、22 年度に予定通り試作実施する。

（2）研究開発の成果と意義

今回の取組みでコストダウンした開発 CNF を用い、且つ MB の製造時間を短縮させることに目途がたった。コストや製品品質の精査は必要であるが、現状の結果では既存 CNF 配合エラストマー製品から製品コスト 50%削減が可能になっており、汎用製品への適用も検討可能な段階になった。

（3）最終目標の達成可能性と課題

研究開発項目①エラストマー向け CNF の製造コスト削減（担当：日本製紙）

CNF 製造コスト削減と CNF 輸送コスト削減（机上）により最終目標を達成済み（最終目標 40 に対し実績 25）。

研究開発項目②繊維形状（径、長さ、分岐度、ネットワーク）の定量的評価方法開発（担当：日本製紙、東京大学）

静的光散乱法では CNF の繊維形状を定量的に評価することはできておらず、目標未達である（繊維径測定効率：顕微鏡による CNF 繊維径測定時間 100 に対し 2021 年度目標 75、実績 100）。しかし、今後は CNF 中の未解繊部分（光学顕微鏡で観察可）は粒

子画像解析システムで繊維形状を計測・評価を評価する。一方、ナノ分散化した TEMPO-CNF 部分は、動的光散乱法によって定量性、再現性を評価することとする。

4 月末から 5 月上旬まで、Anton Paar 社から動的光散乱粒度分布およびゼータ電位測定装置（Litesizer500）を貸与していただくことになり、日本製紙で作製した TEMPO-CNF の解繊度を変えた試料、解繊方法を変えた試料、その他、東京大学で作製した TEMPO-CNF 類について、粒度分布とゼータ電位を様々な条件で測定し、再現性の良い、変動の少ない平均粒子径の測定条件の絞り込みを進めている。今後は、データを整理するとともに、装置の購入も含めて検討を進める予定であり、目標達成に向けて検討を進めている。7 月には本検討を担当する研究員（東京大学）が来日するため、研究を加速できると見込んでいる。

研究開発項目③CNF 安定生産技術の開発（担当：日本製紙）

所定の物性の開発 CNF を安定生産するためのノウハウや技術の蓄積は順調に進んでおり、残された課題は、長期間の連続運転における解繊機の耐久性の確認である。これについては、今後の各種サンプル調製などの際にあわせて引続き確認を進めていく。

研究開発項目④コスト削減 CNF の WMB 条件検討（担当：住友ゴム）

さらなる製造時間削減が必要であるが、強度低下する領域まで大径化した開発 CNF を用いても目標の製造時間に到達しておらず、MB 製造条件だけでなく目標達成には設備も合わせた検討が必要になる可能性が高く、WMB での目標達成目途は立っていない。

研究開発項目⑤WMB 材料特性評価（担当：住友ゴム）

材料特性は、既に最終目標達成済みであるが、更に大径化した CNF を使用する場合は、再度検証が必要となる。

研究開発項目⑥OMB 条件検討（担当：住友ゴム、日本製紙）

製造時間目標の超過達成をラボスケールで確認しており、目標達成する可能性高い。現状、CNF 分散良品は、共溶媒が残存しており、安全性に課題が残る。脱溶媒に向けた改善は、いくつか対策案があり、改善が期待できるため目標達成の可能性高い。

研究開発項目⑦OMB 材料特性評価（担当：住友ゴム）

材料強度の最終目標達成していないが、目標到達までわずかであり、条件改良で達成する可能性高い。

研究開発項目⑧CNF 配合エラストマーの開発（担当：住友ゴム）

WMB に関しては、19 年に商品化したエナセーブ NEXTⅢの同等特性を得られており、製品品質も目標達成できる可能性高い。OMB に関しては、新規原材料仕様となるため、評価必要だが、WMB に近い特性が得られており、製品品質目標達成可能。

表Ⅲ-2.2.1.5- 4 各研究項目での最終目標の達成見込み表

| 研究開発項目 | 目標項目 | 現状 | 最終目標 2022年度末 | 達成見通し |
|-----------------------------------|----------------------|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1) エラストマー向け CNF材料コスト削減 技術開発 | 材料コスト 繊維測定時間 | 25 100 | 40 (達成済) 50 (未達) | 達成見込み 想定通りの検討結果が得られれば達成可能 |
| 2) 高生産性MB 条件検討 | 製造時間 材料強度 低燃費性 | 25 99 75 | 35以下 (達成済) 90以上 (達成済) 95以下 (達成済) | 達成見込み 新製法の製造技術確立できれば達成見込み。 |
| 3) 製品への実装 検討 | 製品品質適合 | 製品試作 未実施 | タイヤ耐久規格適合 スポンジ製品規格適合 | 達成見込み 材料強度は採用基準を満たしており新規品質リスクなければ達成可能。 |

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

1) MB 製造方法の権利確保

生産実績のある WMB に関しては、既に権利確保済。OMB 両製造プロセスについては、本事業前に一部権利確保しており、本事業での出願を合わせ、生産計画範囲を確保できる見通し。

2) CNF 配合エラストマー及び使用製品の権利確保

本事業前から出願を進めており、生産予定範囲の権利は確保済。本事業成果で新たに権利拡大できる発明については 22 年度中に出願予定。

表Ⅲ-2.2.1.5- 5 特許出願予定表

| | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|---------------|---------|---------|---------|-----|
| 特許出願 (うち外国出願) | 0(0) | 1(0) | 4 (1)見込 | 5 件 |

2.2.1.6 サブテーマ6「水性樹脂を用いた環境適合型CNF 複合樹脂の製法開発とCFRPへの適用」

(美津濃株式会社、第一工業製薬株式会社)

<テーマの概要>

(1) 背景と目的

自動車や航空機の部材からスポーツ用品まで、軽量性と強度が求められる製品には炭素繊維強化樹脂 (CFRP) の適用例が増えている。例えばスポーツ用品では、「より軽く、強い素材」が求められ、軽量で高強度な CFRP の適用が進んでいる。しかし、バットではボールを繰り返し打撃していると CFRP の表面および内部に亀裂が発生するため、CFRP 層を厚くし、静的強度及び衝撃強度を高めている。これらの製品では、CFRP の静的強度及び衝撃強度が 20%向上すれば薄肉化でき、15~30%の軽量化が可能となるため、ユーザーはかなり軽快なスイング感を実感することができる。セルロースナノファイバー (CNF) は、木材などから精製することができる環境負荷の低いナノ繊維で、軽量であると同時に強度が高い。しかしながら、CNF の母材樹脂中での分散制御は非常に困難であり、一般的には疎水変性技術や有機溶媒の利用などが検討されている。これまで、我々は水性樹脂を用いることで CNF の疎水処理を必要としない環境適合性の高い CFRP への応用プロセスを開発した。CNF を CFRP に応用することによって、その静的強度及び衝撃強度が向上することが明らかになっている。

本事業では、この手法を発展させ、水性樹脂中に CNF を均一分散したシート (=セルロースナノファイバー複合化水性樹脂シート) の製作技術を確立し、そのシートの成形方法を検討する。さらに、CFRP の原料であるプリプレグの間にこのシートを挿入するなど、CFRP への適用方法を改良し、静強度及び衝撃強度の高い CFRP を開発する。

本事業により、2030 年に年間約 330 t の CNF の新たな市場を創製する^{*1}とともに、CNF 複合 CFRP を用いた自動車、航空機の軽量化により、二酸化炭素排出量を約 280 万 t (10 年間の LCA) 削減する^{*2}。

*1 「炭素繊維複合材料 (CFRP/CFRTP) 関連技術・用途市場の展望 2020、株式会社富士経済」の市場予測値 (2030 年に自動車用途の CFRP 販売数量が 46800t、CFRTP 販売数量が 58600 t、航空機用途の CFRP 販売数量が 35800 t) から、シェア 10%、CNF 配合量 2%として算出した値を含む。

*2 上述*1 の販売数量予測値と、東レ株式会社による試算:「自動車に炭素繊維を使用して車体構造を 30%軽量化した場合は炭素繊維 1 t 当たり 50 t、航空機で機体構造を 20%軽量化した場合は 1400 t の削減効果が 10 年間のライフサイクルで得られる」、より試算。(https://www.torayca.com/aboutus/abo_003.html)

本事業で開発を目指す技術の全体像

疎水変性や溶媒置換などを用いない水系プロセスにて、CNF を CFRP と複合化するプロセスを確立する。CNF の複合化により、炭素繊維強化樹脂の耐衝撃性を向上し、スポーツ用品、自動車、航空機産業分野に CNF を展開する。

技術的な重要性

SDGs やグリーンケミストリーの達成のため、環境に最大限配慮した水系での CNF と CFRP の複合化プロセスを確立することで、CNF の社会への適用をさらに推進することができる。

最終的な仕上がりイメージ

第一工業製薬が製造した CNF を用いて、美津濃が CNF 複合 CFRP、ならびにそれを用いたスポーツ用品を製造する。

開発する技術の利用されるイメージ

CFRP の耐衝撃性向上によって軽量化が実現されたスポーツな用品として、一般消費者への利用を推進する。また、高齢化社会に適した CFRP 製の軽量な歩行サポートシューズや装具への適用を目指す。さらに、子会社であるミズノテクニクス株式会社のカーボン事業とも連携し、CFRP における今後の成長分野である自動車、航空機産業への展開を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

位置づけ

CNF/CFRP 複合物を用いたスポーツ用品の実用化に向けた製造プロセスの検討、物性評価を行う。

目標値

CNF の添加により、CFRP の静的強度、および衝撃強度を 10%向上する。

剥離強度が高く、密着性を有する CNF/CFRP シートと CFRP の積層体を得る。

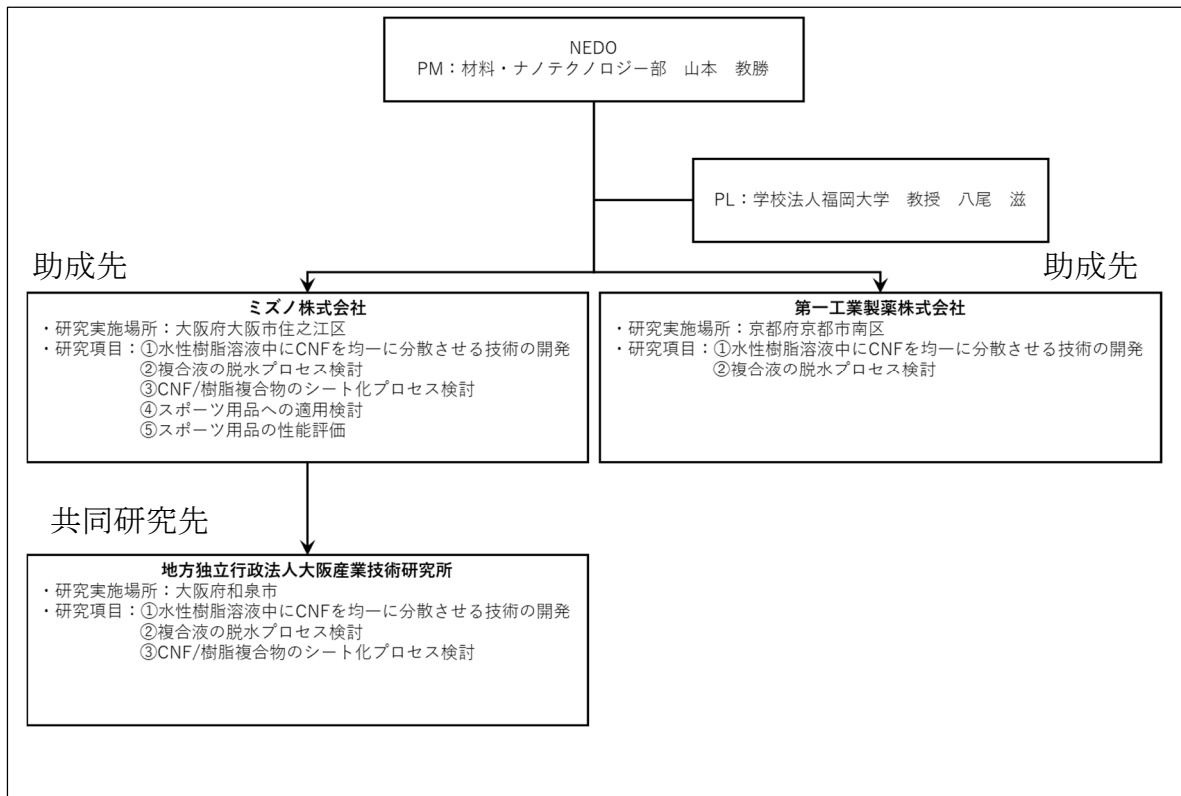
シューズなどスポーツ用品の反発性を 10%向上させる。

(3) 全体計画

| 事業項目 | 目標値 | 2021年度 | | | | 2022年度 | | | | 2023年度 | | | |
|----------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| CNFコスト | 300円/g | | | | | | | | | | | | |
| ①水性樹脂溶液中にCNFを均一に分散させる技術の開発 | CFRTPシートで静的強度、衝撃強度10%向上 | | | シート評価金型 | | | | 目標値を満たす樹脂の選定 | | | | | |
| ②複合液の脱水プロセス検討 | | | | | | | | | | | | | |
| ③CNF/樹脂複合物のシート化プロセス検討 | | | | | | | | | | シート化プロセス決定 | | | |
| ④スポーツ用品への適用検討 | 密着強度10N/cm以上 反発性能85%以上 | | | | | | | | | | | | |
| ⑤スポーツ用品の性能評価 | CFRP製品は強度10%向上 | | | | | | | | | | | | |
| | CFRTPは反発性能85%以上 | | | | | | | | | | | | |

注: 図中の矢印は、各項目の進捗とマイルストーン（シート評価金型、樹脂選定、シート化プロセス決定、反発性評価金型、目標値確認、既許金型、シューズ部品金）の発生時期を示しています。

(4) 実施体制



(5) 運営管理

実施体制に従い、運営、管理する。

(6) 実施の効果

CFRPの耐衝撃性の向上によって、軽量化が実現され、軽快なスイング感が得られることが期待される製品は、ゴルフクラブ、テニスラケット、野球およびソフトボール・バット、バドミントン・ラケットである。これらの市場規模は、2020年版スポーツ産業白書によると、2020年国内出荷額見込みで、ゴルフクラブ：913億円、テニスラケット：61億円、バドミントン・ラケット：43億円、

野球およびソフトボール・バット：50 億円である。

また、高齢化社会が到来し、高齢者の健康維持が益々重要になっているが、高齢者は徐々に筋力が低下し、移動が困難になるため、CFRP 製の軽量な歩行サポートシューズや装具が開発されている。耐衝撃性の高い CFRP はこれら商品にも極めて有効である。みずほ銀行の調査では、高齢者向け生活産業の市場規模は 2025 年には 51 兆円で、そのうち、サポートシューズや各種装具の開発から外出機会の増加による市場創出までを考慮すると約 20 兆円である。

代表提案者であるミズノ株式会社では、上述のような市場に本事業の成果を適用し、2030 年に約 60 億円の市場創製を目指す。さらに、子会社であるミズノテクニクス株式会社のカーボン事業とも連携し、CFRP における今後の成長分野である自動車、航空機産業への展開により、約 660 億円の市場創製を目指す。

共同提案者である第一工業製薬株式会社では、上述のスポーツ用品用途向けに適した CNF を約 50 t 製造、販売する。さらに、自動車、航空機産業用途にも展開することで、CNF として 330 t の製造販売を目指す。上述のように、CFRP への複合といった CNF の新たな用途を開発し、実用化することにより、低炭素社会の実現に貢献することが可能である。

本事業の成果としては、CNF の市場創製といった観点だけでなく、CFRP の今後の成長分野である自動車、航空機分野に適用することで、二酸化炭素排出量の削減が可能である。二酸化炭素の排出削減には排出量の約 20%を占める運輸部門での削減が重要であると言われている。特に航空機、自動車では機体、車体の軽量化が燃費改善に効果的であり、CFRP を適用して、機体を 20%、車体を 30%軽量化できれば、それぞれ 二酸化炭素を 7%、16%削減できると見積もられている。本事業においても、車体や機体の軽量化により、約 280 万 t の二酸化炭素が削減可能となる。

本事業は、第一工業製薬の TEMPO 酸化法により CNF を均一に分散させる技術を用いて、水性樹脂と CNF を均一に分散させて、ミズノと共同で CNF 複合樹脂をシート化する技術を確立する。ミズノが蓄積した CFRP 成形技術を応用し、CNF 複合樹脂を用いた CFRP 構造体を成形し、スポーツ製品への応用を進めていく。

<研究開発成果>

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

研究開発項目[1]水性樹脂溶液中に CNF を均一に分散させる技術の開発

特に需要の拡大が予想される熱可塑性樹脂を用いた CFRP（以下、CFRTP）への CNF の適用を目指し、熱可塑性樹脂に熱可塑性ウレタン樹脂（Thermoplastic Polyurethane、TPU）を選択し、セルロースナノファイバー（以下、CNF）分散体は、エポキシの水溶樹脂溶液に混ぜてシート化して使用することにした。まず、TPU のペレットを使う手法の検討を行った後、熱可塑性樹脂エマルジョンを使用して CNF を複合化する手法を検討した。

1. TPU ペレットの適用

1-1. 解繊強度の異なる CNF の調製

水と TEMPO 酸化パルプをホモキサーで攪拌して懸濁させ、ナトリウムで中和した。TEMPO 酸化パルプは固形分濃度 2%となるようにした。高圧分散機を用いて分散させ、CNF 分散体を調製した。このとき、分散強度を調整して解繊強度の異なる CNF を調製した。得られた 2%CNF 分散体を 75g、水 125g をとり、ホモキサーで攪拌して希釈した。希釈物を調製してから 24 時間後、粘度と透明度を測定した。粘度は、2.5rpm、3 分の条件で測定した。

表Ⅲ-2.2.1.6-1 サンプルの物性評価結果

| 解繊強度 | 弱 | 中 | 強 |
|-----------|-------|-------|-------|
| 透明度[%T] | 9 | 79 | 80 |
| 粘度[mPa・s] | 14000 | 24100 | 60000 |

1-2. エポキシの水溶樹脂溶液と CNF 分散体の混合における攪拌条件の検討

下記の異なる強度で CNF 分散体 80g、電着液 40g、水 20g を攪拌し、混合物を調製した。Run1、2 はレオクリスタと電着液固形分の凝集物が分散したような状態となった。BM 型粘度計での粘度測定を試みたが、凝集物が多いため測定値のブレが大きく、測定できなかった。Run3 は攪拌によって生じた凝集物が一体化し、分離した。

表Ⅲ-2.2.1.6-2 複合液の攪拌強度

| | 攪拌強度 | 攪拌方法 | 攪拌条件 |
|------|------|-------|--------------|
| Run1 | 弱 | 手攪拌 | |
| Run2 | 中 | ディスパー | 2000rpm、5min |
| Run3 | 強 | ホモキサー | 8000rpm、5min |



図Ⅲ-2.2.1.6-1 異なる攪拌強度で混合した複合液（左から Run1、2、3）

1-3. 異なる攪拌強度で混合した複合液のろ過検討

2で調製した混合液の吸引ろ過による、ろ過を検討した。ブフナー漏斗とろ紙を用いて得られた複合液を1時間吸引ろ過した。Run1、2の場合ろ過速度が遅く、1時間後も十分に濾別できなかった。Run3の場合は凝集物が大きいため、濾別できた。

表Ⅲ-2.2.1.6-3 複合液の攪拌強度と、ろ過の可否

| | 攪拌強度 | 攪拌方法 | 攪拌条件 | ろ過 |
|------|------|--------|--------------|--------|
| Run1 | 弱 | 手攪拌 | | 濾別できない |
| Run2 | 中 | ディスパー | 2000rpm、5min | 濾別できない |
| Run3 | 強 | ホモミキサー | 8000rpm、5min | 濾別可能 |

1-4. 凝集物のシート化

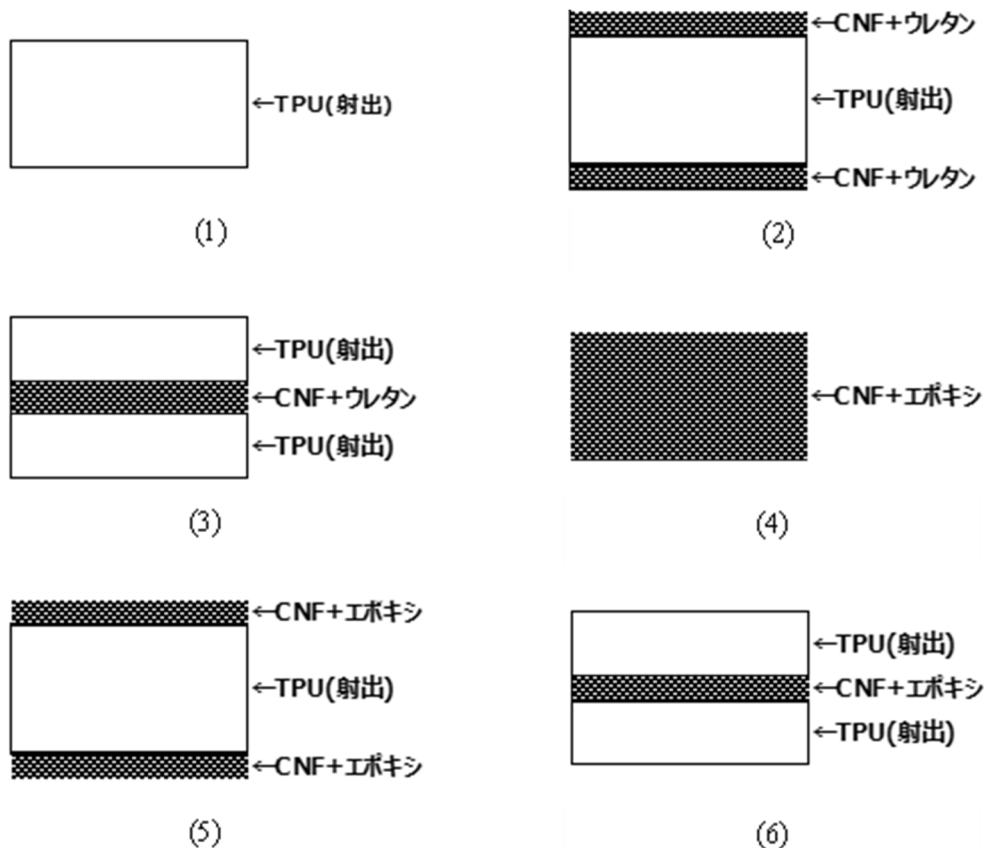
3のRun3で得られた固形物を絞り、底辺が10cmのポリ袋に入れた。ポリ袋の中で10cm角に広げながらさらに液を絞った後、ポリ袋から出して室温にて乾燥させた。乾燥後は割れが生じたが、固形物をシート状にする工程を改良すれば均一にできると考える。



図Ⅲ-2.2.1.6-2 シート化工程における固形物の様子

1 - 5. TPU ペレットと CNF とエポキシ樹脂の混合シートの評価

TPU ペレットと CNF の複合化を検討した。比較のため、この TPU ペレットを射出成形した場合についても試験片を作製し、曲げ弾性率を求めた。そして、図Ⅲ-2.2.1.6-3 に示す積層構成として、曲げ試験片を成形し、曲げ弾性率を測定した。CNF+ウレタン樹脂は、CNF 分散液とウレタン水溶液を混ぜてシート化したもので、CNF+エポキシ樹脂は、当研究所の技術により作製した CNF 分散液とエポキシの水性樹脂溶液を混ぜてシート化したものである。図Ⅲ-2.2.1.6-4 に示すように、これらを大気圧で温度 180℃、3 分で熱硬化し、別の冷却プレスで圧力を与えつつ冷却した。試験片の代表例を図Ⅲ-2.2.1.6-5 に示す。しかしながら、曲げ試験から得られた曲げ弾性率は、全ての条件において、射出成形した試験片の半分以下の極めて小さい値となり、CNF の複合化による効果を確認することはできなかった。この原因として、当初、TPU ペレットの劣化も想定したが、射出成形したものは一般的な値であり、考えにくい。おそらく、原料とした TPU ペレットが熱溶解時において、CNF 間に十分に浸潤していない可能性が大きい。つまり、TPU は熱によって溶解・流動するものの、表面張力の影響などにより、CNF と CNF 間にはほとんど入らないと推測される。なお、すべての試験片に、目視で確認できる大きさの気泡も含まれており、本製法をもとに開発を進めることは難しいと予想されることから、この製法の適用



図Ⅲ-2.2.1.6-3 TPU と CNF の積層構成

は一旦保留し、見直すこととした。



高温加熱プレス



冷却プレス

図Ⅲ-2.2.1.6-4 成形試験に利用したプレス



図Ⅲ-2.2.1.6-5 作製した試験片の例

1 - 6, TPU 樹脂エマルジョンによる CFRP の作製

TPU 樹脂エマルジョンで、CFRP の製造が可能であることを確認した。CNF を付着させることが可能であり、この場合、CNF を付着させない CFRTP に比べ、曲げ弾性率は約 7%向上した

(2) 研究開発の成果と意義

TPU ペレットを使って CNF を複合化することはできなかった。その代わりに、TPU 樹脂エマルジョンで、CFRP の製造が可能であることを確認した。CNF を付着させることが可能であり、この場合、CNF を付着させない CFRTP に比べ、曲げ弾性率は約 7%向上した。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

研究開発項目 [1] : 水性樹脂溶液中に CNF を均一に分散させる技術の開発

TPU 樹脂エマルジョンを炭素繊維シートに含浸させることにより、CFRTP を作製できることは

確認できた。また、CNF を付着させることで、曲げ弾性率は約 7%向上することも確認できた。目標である静的強度 10%向上及び衝撃強度 10%向上を達成するように進めていきたい。

研究開発項目 [2] : 複合液の脱水プロセス検討

CNF 分散液と TPU 樹脂エマルジョンを混合した時にも目視で気泡が発生していないことを確認できた。TPU 樹脂エマルジョン及び CNF 分散液と TPU 樹脂エマルジョンの混合液の水分の除去は 70℃の恒温槽に放置して、2 時間及び 4 時間で水分が除去できている。今後はさらに効率的な脱水プロセスを検討したい。

研究開発項目 [3] : CNF/樹脂複合物のシート化プロセス検討

当初は、TPU シートに CNF + ウレタン樹脂及び CNF + エポキシ樹脂を積層することを検討していたので密着強度の目標を設定していた。今後は、CNF 分散液も同じ TPU 樹脂エマルジョンに混合してシートを作製するので炭素繊維シートと CNF 樹脂シートの密着性は問題ないと考えられる。シート化の製法においては、ベルトコンベアでロールの間を通してシート化し、熱風及び赤外線で水分を除去する方法を検討したいと考えている。

研究開発項目 [4] : スポーツ用品への適用検討

TPU 樹脂エマルジョンを炭素繊維シートに含浸させることにより、CFRTP を作製できることが確認できた。この手法を利用すれば、ランニングシューズやウォーキングシューズの部品への応用が可能となる。CNF 分散液を利用すれば曲げ弾性率が 7%向上することが確認できているので、シューズに求められる軽量で反発性を高めることが可能と考えられる。性能を評価した時に、さらに高弾性の TPU 樹脂を探索する必要があるかもしれない。

研究開発項目 [5] : スポーツ用品の性能評価

ランニングシューズやウォーキングシューズの部品の応用するのであれば、下記の性能を評価する必要がある。

・ランニングシューズとウォーキングシューズの部品の反発性の確認

落下衝撃試験に反発評価する試験片を固定して、5 回落下試験を実施して評価する。

・ランニングシューズとウォーキングシューズでの反発性の体感の確認

実際にシューズを履いて、現行品との比較による感度評価にて確認する。

・ランニングシューズとウォーキングシューズでの実走による耐久性の確認

実際にシューズを履いて、ランニングやウォーキングを実施して、現行品との比較による耐久評価にて確認する。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

現在、保有している特許 6664732 号は、図 に示すように「二層の CNF 及び高分子化合物含有する層の間に一層の炭素繊維強化プラスチック層で構成せれている。」ことになる。今後は保有する特許の周辺特許を申請し補強していきたい。

2.2.1.7 サブテーマ7「CNFを使用したゴム製靴底及びゴムタイルの量産化技術の開発」 (株式会社ニチマンラバーテック)

2.2.1.7.1 サブテーマの概要

(1) 背景と目的

ゴムに CNF を配合し、従来品に比べ耐摩耗性並びに防滑性能の高い靴底及びゴムタイルの量産化技術を開発する。バイオマス原料の使用と耐摩耗性の向上による製品のロングライフ化により、CO₂ の排出量を低減するとともに、防滑性の向上により、滑りによる転倒事故等の低減を目的とする。

【ゴム製靴底】

「スニーカー通勤」の浸透などもあり、社会的にスニーカーがブームとなっている。また、「シャネル」や「エルメス」などの高級ブランドがスニーカーを取り扱うなど、スニーカー自体が高価になってきている。革靴と同様に、自分のお気に入りのスニーカーの靴底を修理しながら長く履きたい（サステナブル）という動きへと変わってきており、スニーカーの靴底修理の市場は、今後大きな成長が見込まれており、実際にスニーカー修理店は増加している。

スニーカーの補修用の靴底では、現状、海外製の比較的安価な靴底が国内で流通している。今後、ファッションブルかつ耐久性のあるスニーカー用の靴底のニーズは増加することが予想されるため、これら分野に対応した製品を投入することで新たな市場が確立できる。



【ゴムタイル】

公共性が高く、使用者の多い場所では、摩耗しても頻繁に補修ができないため、耐久性の高い床材が望まれている。安全面では、雨天時などスリップ等による転倒防止のため、防滑性の高い床材が求められている。タイル表面にエンボス（凹凸）を付けることで防滑性はある程度改善できるが、

タイル表面のエンボスはクリーニング等のメンテナンス性が低いため、表面が平滑で防滑性の高いタイルが求められている。

多数の人が利用し、公共性の高い駅舎や高速道路のサービスエリアのトイレなど、床が濡れるような場所では、管理側から非常に厳格な防滑性能が独自に設定されている。

今後さらに高齢化が進み、公共施設等での人的転倒防止事故が増えることが予測されるが、タイル表面が平滑でかつ防滑性能の高いゴムタイルが開発できれば、開発製品の認知度向上にもつながり、これまでに利用されている現場以外にも展開でき、市場が拡大できる。



図Ⅲ-2.2.1.7-2 CNF 配合ゴムタイルのイメージ

(2) 位置づけ、目標値

バイオマス原料である天然ゴムをベースとして一般的にゴム靴底・ゴムタイルに使用されている合成ゴムのスチレンブタジエンゴム、ブタジエンゴムなどをブレンドし、CNF を使用したゴム製靴底及びゴムタイルの加硫成型法において、以下の課題について検討することで、量産化技術の開発を行う。

- 課題
- (1) 靴底及びゴムタイルの性能を向上させる CNF の特長把握
 - (2) CNF のゴム原料への配合プロセス、添加剤の最適化
 - (3) 高性能靴底及びゴムタイルの製造条件確立
 - (4) 量産化プロセスの構築

課題を解決するために、以下の研究項目を実施し、表Ⅲ-2.2.1.7-1 の最終目標値を達成する。

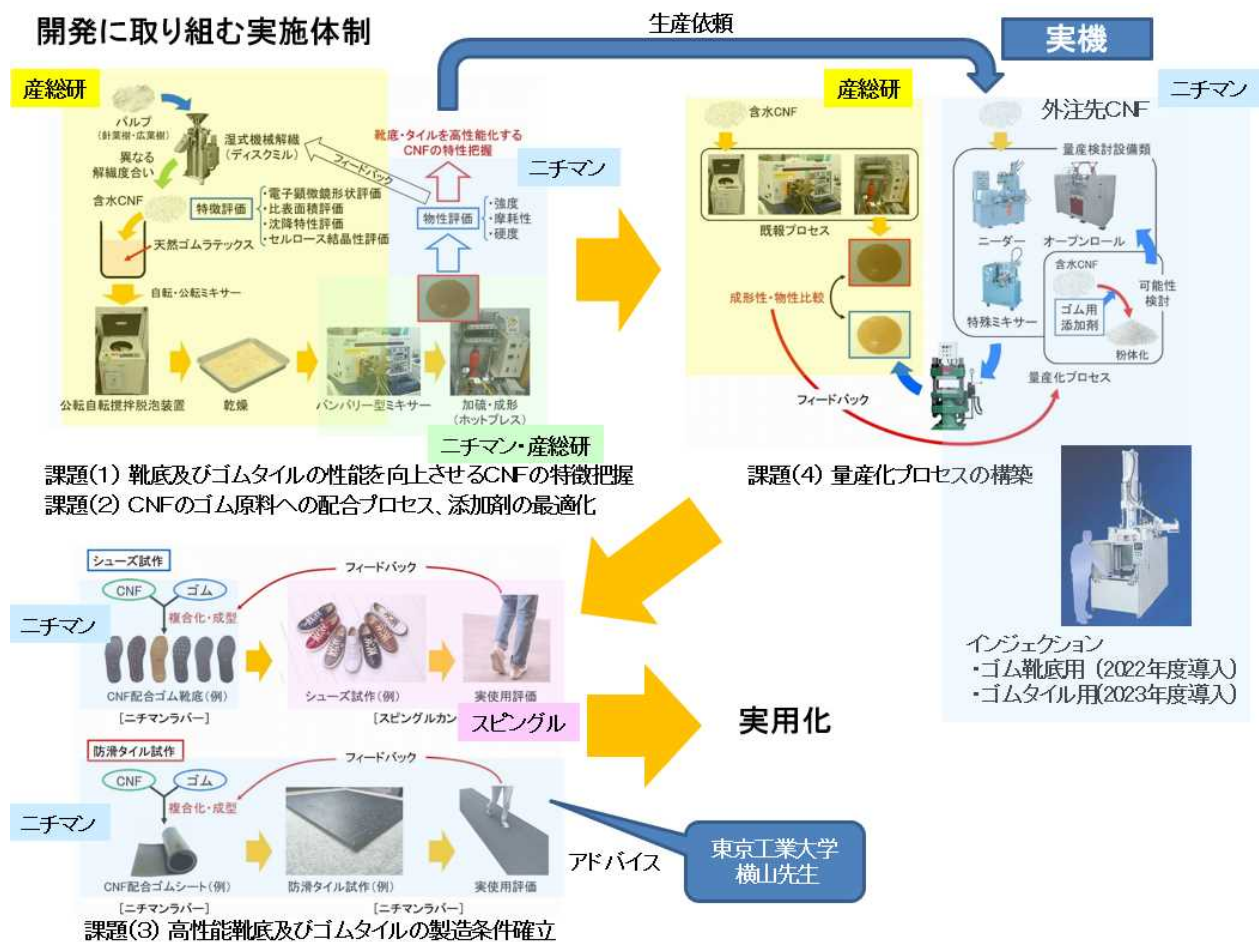
- 研究項目
- ① 靴底、ゴムタイルに適した CNF の検討
 - ② 靴底、ゴムタイルへの CNF の配合プロセスの検討
 - ③ CNF 配合ゴムの特性評価 1 (物性)
 - ④ CNF 配合ゴムの特性評価 2 (防滑性)
 - ⑤ 製品量産プロセスの検討
 - ⑥ シューズおよびタイル試作品の製作及び製品性能評価

表Ⅲ-2.2.1.7-1 研究開発対象と目標値

| 研究開発対象 | 開発項目 (目標) | 試験方法 | 中間目標 (2021年度) | 最終目標 (2022年度) | PJ 最終目標 (2023年度) |
|-----------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| ゴム製靴底 (ソリッド) | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 700mm ³ 以下 /1000回 | 500mm ³ 以下 /1000回 | 500mm ³ 以下 /1000回 |
| | 比 重 | | 1.3 以下 | 1.3 以下 | 1.3 以下 |
| | 防滑性 | 耐滑試験 ISO13287 | 0.3 以上 | 0.35 以上 | 0.4 以上 |
| | 硬 度 | JIS Aタイプ | 60~70 | 60~70 | 60~70 |
| ゴム製靴底 (軽量化) | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 1000mm ³ 以下 /1000回 | 900mm ³ 以下 /1000回 | 800mm ³ 以下 /1000回 |
| | 比 重 | | 1.2 以下 | 1.1 以下 | 1.0 以下 |
| | 防滑性 | 耐滑試験 ISO13287 | 0.3 以上 | 0.35 以上 | 0.4 以上 |
| | 硬 度 | JIS Aタイプ | 60~70 | 60~70 | 60~70 |
| | コスト (ソリッド・ 軽量化 共通) | | | | 現行の販売価格 が 10%アップ以 内になるようコスト を抑える |
| ゴムタイル | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 700mm ³ 以下 /1000回 | 600mm ³ 以下 /1000回 | 500mm ³ 以下 /1000回 |
| | 比 重 | JIS Aタイプ | 1.8 以下 | 1.8 以下 | 1.8 以下 |
| | 防滑性 | 耐滑試験 JIS A 1454 | 0.4 以上 | 0.45 以上 | 0.5 以上 |
| | 硬 度 | JIS Aタイプ JIS Dタイプ | JIS A 60~ JIS D 70 | JIS A 60~ JIS D 70 | JIS A 60~ JIS D 70 |
| | コスト | | | | 現行の販売価格 が 20%アップ以 内になるようコスト を抑える |

(4) 実施体制





図Ⅲ-2.2.1.7-3 開発に取り組む実施体制

(5) 運営管理

研究項目 ①靴底、ゴムタイヤに適した CNF の検討、③CNF 配合ゴムの特性評価 1 (物性)、⑤製品量産プロセスの検討 の 3 つのテーマについて産業技術総合研究所と共同研究を行うが、上記以外においても産業技術総合研究所の CNF や試験方法に関する豊富な知見・アドバイスを頂きながら、最終目標達成に向け進めていく。

また、ゴムタイヤについては東京工業大学 横山教授と連携し、床材としての適正な防滑性についてアドバイスを頂きながら進めていく。

(6) 実施の効果

ゴムに CNF を配合し、従来品に比べ耐摩耗性並びに防滑性能の高い靴底及びゴムタイヤの量産化技術を開発できれば、バイオマス原料の使用と耐摩耗性の向上による製品のロングライフ化により、CO₂ の排出量を低減するとともに、防滑性の向上により、滑りによる転倒事故等の低減が可能となる。

2.2.1.7.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度、達成可能性、課題

表Ⅲ-2.2.1.7-3 中間目標の達成度

| 研究開発対象 | 開発項目(目標) | 試験方法 | 中間目標(2021年度) | 成果 | 達成度 |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|
| ゴム製靴底(ソリッド) | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 700mm ³ 以下 /1000回 | 207mm ³ 以下 /1000回 | ◎ |
| | 比重 | | 1.3以下 | 1.2 | ◎ |
| | 防滑性 | 耐滑試験 ISO13287 | 0.3以上 | 未測定 | - |
| | 硬度 | JIS Aタイプ | 60~70 | 60 | ◎ |
| ゴム製靴底(軽量化) | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 1000mm ³ 以下 /1000回 | 269mm ³ 以下 /1000回 | ◎ |
| | 比重 | | 1.2以下 | 1.0 | ◎ |
| | 防滑性 | 耐滑試験 ISO13287 | 0.3以上 | 0.55 | ◎ |
| | 硬度 | JIS Aタイプ | 60~70 | 65 | ◎ |
| | コスト (ソリッド・軽量化 共通) | | | | |
| ゴムタイル | 耐摩耗性 | ウリアム摩耗試験 V1000 | 700mm ³ 以下 /1000回 | 207mm ³ 以下 /1000回 | ◎ |
| | 比重 | JIS Aタイプ | 1.8以下 | 1.2 | ◎ |
| | 防滑性 | 耐滑試験 JIS A 1454 | 0.4以上 | 未測定 | - |
| | 硬度 | JIS Aタイプ JIS Dタイプ | JIS A 60~ JIS D 70 | A 60 | ◎ |
| | コスト | | | | |

※₁ ゴムタイルの配合は、現段階ではゴム製靴底(ソリッド)と共通で実施。

※₂ コストの目標値は、装置導入後の2023年度で設定。

課題としては、耐滑性・防滑性の評価が未実施であるため、早い段階で実施し、評価していく。

(2) 研究開発の成果と意義

1) タイプの異なる CNF によるゴム靴底配合の物性への影響についての調査

研究項目①：靴底、ゴムタイルに適した CNF の検討

同じ CNF の製造方法で、CNF の原料及び相溶化剤の異なるサンプルを用いて、現行の CNF 靴底配合を使用して物性評価を行った。

CNF 原料 : 竹タイプ、針葉樹タイプ
相溶化剤 : A、B、C の 3 タイプ

表Ⅲ-2.2.1.7-4 原料及び相溶化剤の異なる CNF による摩耗測定結果

| 試験項目 | | CNF 原料 | | | |
|------|--------------------------------------------|--------|--------|------|------|
| | | 竹タイプ | 針葉樹タイプ | | |
| 相溶化剤 | | Aタイプ | Bタイプ | Aタイプ | Cタイプ |
| 硬 度 | JIS A | 65 | 65 | 66 | 65 |
| 摩 耗 | ウィリアムス式 V1000 mm ³ /1000回 | 279 | 569 | 336 | 283 |

今回の摩耗試験結果から、CNF の原料の違いよりも、相溶化剤の影響の方が大きいことが認められた。

但し、同じ A タイプの相溶化剤を使用した竹タイプと針葉樹タイプを比較すると、竹タイプの摩耗性が良いため、原料の違いの影響もあるものと思われる。

この試験結果から、ゴム製靴底、ゴムタイルに適した CNF は、CNF 自体の構造だけでなく、相溶化剤の影響があるものと考えられ、引き続き相溶化剤の影響について調査を行っていく。

2) ゴム靴底の軽量化について

研究項目②：靴底、ゴムタイルへのC N Fの配合プロセスの検討

研究項目③：C N F 配合ゴムの特性評価 1（物性）

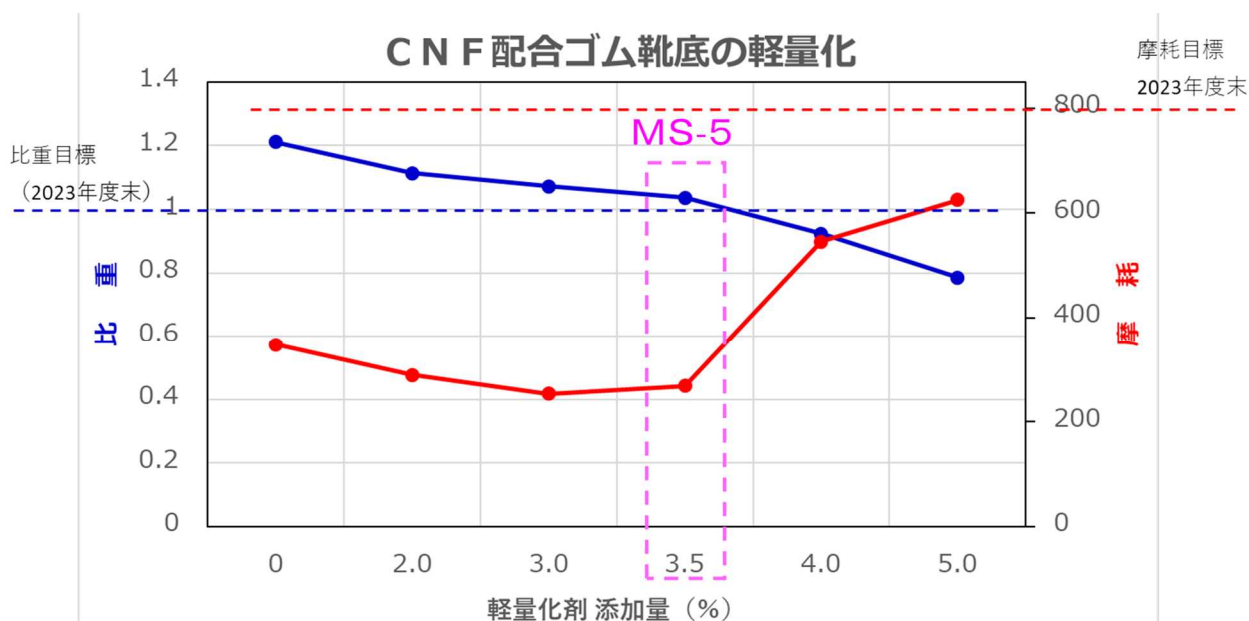
研究項目⑥：シューズおよびタイル試作品の製作及び製品性能評価

現行のC N F靴底配合（blank）に、軽量化剤を2～5%添加し、発泡倍率、物性値について調査した。

軽量化剤の添加量の増加に伴い、比重は低くなり、ゴム自体の強度（引張強度、引裂強度）が低下する傾向が認められた。軽量化剤3.5%添加時で比重1となり、摩耗量も維持できることが認められたが、添加量が4.0%を超えると摩耗量が増えることが認められた。

表Ⅲ-2.2.1.7-5 軽量化剤 添加による物性測定結果

| ゴム製靴底の軽量化 | | 底サンプル | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| サンプル名 | blank | MS-1 | MS-3 | MS-5 | MS-4 | MS-2 |
| C N F 靴底配合 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 軽量化剤 % | 0 | 2.0 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 |
| 発泡倍率 | 1.03 | 1.06 | 1.17 | 1.14 | 1.26 | 1.41 |
| | | 発泡 小 | ○ | ○ | ○ | 発泡しすぎ |
| 引張強度 Mpa | 14.4 | 10.4 | 9.29 | 7.86 | 8.53 | 5.18 |
| 伸び % | 340 | 260 | 270 | 230 | 290 | 210 |
| 引裂強度 kN/m | 43.4 | 28.2 | 33.8 | 28.0 | 27.6 | 19.0 |
| 比重 | 1.212 | 1.113 | 1.073 | 1.037 | 0.924 | 0.786 |
| 硬度 (JIS A タイプ) | 64 | 64 | 64 | 65 | 60 | 59 |
| 摩耗 V1000 mm ³ | 348 | 290 | 254 | 269 | 546 | 625 |



図Ⅲ-2.2.1.7-4 軽量化剤の添加量と比重、摩耗量の関係

軽量化靴底配合を使用したサンプルシューズの試作

現行の靴底配合に軽量化剤 3.5% 添加した MS-5 軽量配合を使用して、実際にシューズを 3 足試作し、2 足をテスト履きによる 3 か月間のフィールドテストの実施、残りの 1 足を使用して耐滑性試験を実施した。

【サンプルシューズ】 3 足 作成。
 右足：軽量ゴム靴底（MS-5 軽量配合）
 左足：現行ゴム靴底（一般ゴム靴配合）

【テスト】
 2 足：フィールドテスト（テスター：A、B）
 1 足：耐滑性試験を実施



図Ⅲ-2.2.1.7-5 軽量化靴底を使用した
 サンプルシューズ

【生産（アセンブリ）における作業性の確認】
 現行の靴底（現行配合）と作業性は同等で、問題ないことを確認した。

【耐滑性試験】 一般財団法人カケンテストセンターにて測定。
 耐滑試験：ISO 13287 準用 ラスト使用
 測定方法：平面 鉛直力：500N
 床 面：ステンレス板
 表面状態：乾燥状態と湿潤状態（イオン交換水）

品質検査報告書

| | | | | | |
|-----------------|---------|------|------|------|------|
| No.2 | 表底の耐滑試験 | No.1 | 摩擦係数 | 乾 燥 | 1.24 |
| | | | | 湿 潤 | 0.55 |
| | | No.2 | 摩擦係数 | 乾 燥 | 1.16 |
| | | | | 湿 潤 | 0.44 |
| | | | | 乾 燥 | 湿 潤 |
| No.1：右足（軽量ゴム靴底） | | | | 1.24 | 0.55 |
| No.2：左足（現行ゴム靴底） | | | | 1.16 | 0.44 |

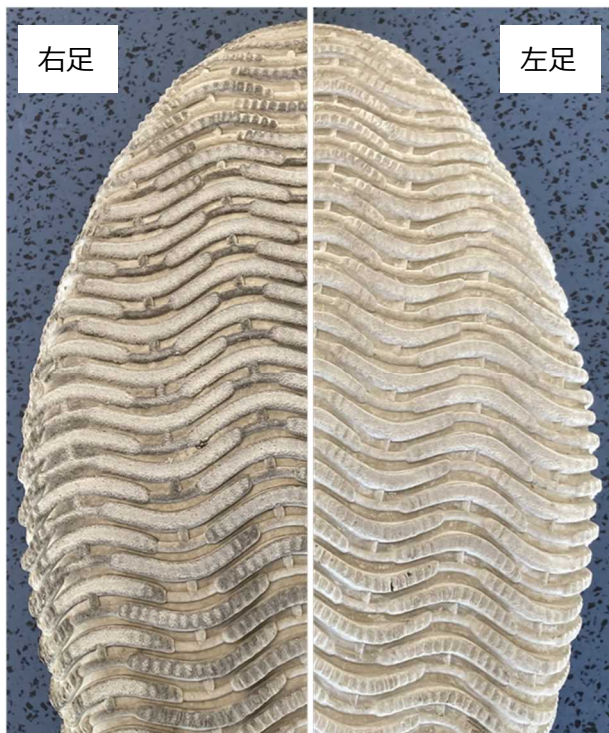
図Ⅲ-2.2.1.7-6 カケンテストセンター 耐滑性試験結果

乾燥状態及び湿潤状態いずれにおいても、軽量ゴム靴底の摩擦係数が高く、数値で滑りにくいことが確認できた。

【フィールドテスト 3 か月間（2021/12/17～2022/3/17）】 テスター：A、B

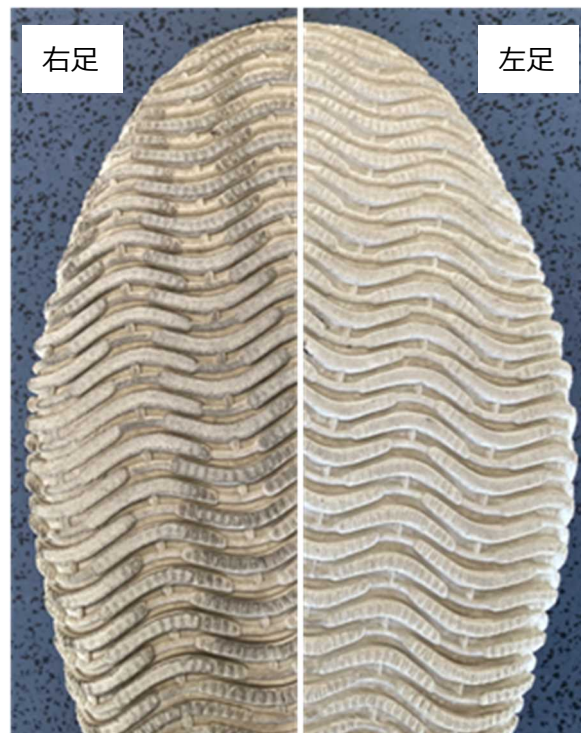
3 か月のテスト履きを実施した結果、テスター 2 名とも共通で、軽量ゴム靴底は現行ゴム靴底に比べ、滑りにくいが、汚れやすく、つま先部と踵部いずれも摩耗が悪いことが認められた。

これは摩耗データだけの問題ではなく、軽量化に伴いゴム自体の強度（引張強度、引裂強度）が低下したためと考えられ、特に踵部には歩行時に受ける強度よりもゴム強度が不足し、ゴム材料が摩耗ではなく破壊しながら減っている。



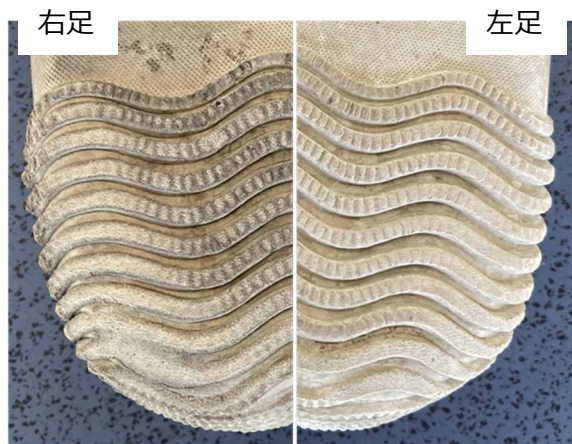
軽量ゴム靴底 現行ゴム靴底

図Ⅲ-2.2.1.7-7 3 か月後のつま先部
テスター：A



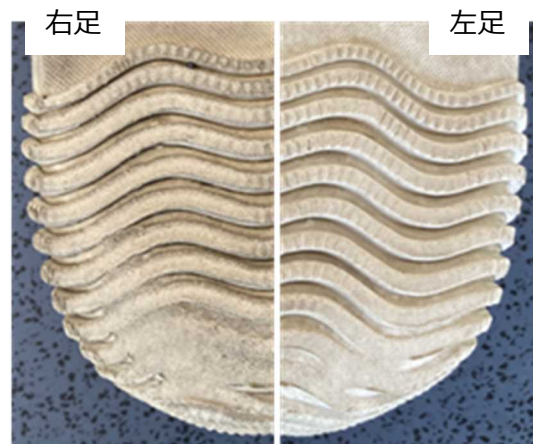
軽量ゴム靴底 現行ゴム靴底

図Ⅲ-2.2.1.7-8 3 か月後のつま先部
テスター：B



軽量ゴム靴底 現行ゴム靴底

図Ⅲ-2.2.1.7-9 3 か月後の踵部
テスター：A



軽量ゴム靴底 現行ゴム靴底

図Ⅲ-2.2.1.7-10 3 か月後の踵部
テスター：B

今回使用した軽量化剤に関しては、扱いやすく安定した発泡状態が維持できるため、引き続き使用し、今後はゴムの強度を維持しながら軽量化を進めていく。

3) プレス金型の試作

研究項目⑤ 製品量産プロセスの検討

インジェクション導入にあたり、作成する靴底用金型についてスピングルカンパニーと検討した。現在スピングルカンパニーの靴底で使用しているスペリーソールを、今後ルベアソールとして展開していくために、スペリーソール用の金型を新たに作成した。

量産機であるインジェクションが稼働するまで時間があり、それまでにスピングルブランドを使用し市場にルベアソールとしてサンプル出しし、評価してもらうために使用していく。



図Ⅲ-2.2.1.7-11 金型（メンズ）とプレス成型品



図Ⅲ-2.2.1.7-12 金型（レディース）とプレス成型品



図Ⅲ-2.2.1.7-13 金型（メンズ）と金型（レディース）のジョイント

4) C N F 靴底配合の吸水性の調査

C N F 自体吸水性が高いが、C N F を添加したゴム靴底の吸水性について、現行の C N F 靴底配合がどの程度吸水しているのか確認した。

試験方法としては、現行の C N F 靴底配合（C N F 添加サンプル）と、現行の C N F 靴底配合の C N F のみ未添加の配合を、プレス成型にてサンプル片を作成し、水道水に 24 時間浸漬し、浸漬前後での重量を測定することで吸水性について調べた。

表Ⅲ-2.2.1.7-6 現行 C N F 靴底配合の吸水測定結果

| 試験項目 | | C N F 靴底配合 | | | | | |
|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C N F | | 添加 | | | - | | |
| 重量 g | 水中浸漬前 | 1.225 | 1.208 | 1.187 | 1.112 | 1.085 | 1.059 |
| | 水中浸漬後 | 1.227 | 1.210 | 1.189 | 1.114 | 1.086 | 1.061 |
| | 差 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.002 |
| 吸水率 % | | 0.17 | | | 0.15 | | |

今回の試験結果から、C N F が入ったものと入っていないものの吸水性は同等であり、C N F 靴底配合が C N F を添加しているため吸水性が高くなっているということは認められなかった。

また、吸水率は 1 % 以下であり、靴底としての実用上は問題ないレベルである。

(3) 最終目標の達成可能性と課題

当初設定している数値目標については、十分達成可能と考えている。

課題としては、量産化がテーマであり、今後導入予定の機械を活用できるように取り組んでいく。

また、これまでの試験からC N Fの性能を引き出すファクターが、C N F自体の構造、相溶化剤など多岐に渡ることが分かってきた。そのため、研究のアプローチ（実施、検証してする試験）が想定以上に多くなってくるものと思われ、時間的な制約が出てくるものと思われる。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

出願している特許については、今年度中に審査請求を行う予定である。

また、周辺特許として特許出願できるように取り組んでいく。

2.2.2 テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」（委託事業） （国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人福井大学）

2.2.3.1 研究開発項目の概要

（1）背景と目的

セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）は、鋼鉄の 1/5 の軽さで鋼鉄の 5 倍以上の強度を有するバイオマス由来の高性能素材である。CNF 複合樹脂等を既存の繊維強化樹脂並みのコストまで低減出来れば、軽量・高強度の特性から、幅広い分野への CNF の活用が加速することが見込まれ、既存の石油由来の素材の代替となることが可能となるうえ、大気中の二酸化炭素を植物が吸収・固着して得られるセルロースを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資するものとなる。

一方、新しい材料が社会で使われていくためには、安全性を確認しておくことが重要である。特にナノ材料については、市場化にあたって安全性の確認を求める国際的な流れがある。また、実際には有害性や暴露可能性が低いとしても、情報がないことで、風評被害が起きたり、他の材料との競争で不利になったりする可能性がある。繊維状物質に関しては、安全性に関する情報が不足している場合、予防的措置として、アスベストと同様の有害性を持つ可能性を考慮した暴露管理が求められる場合がある。

本事業では、多用な CNF について各種の安全性評価を実施し、総合的な安全性評価の結果を安全性評価書として公表する。これにより、CNF の適切な安全管理やより安全な製品の開発を支援し、CNF 材料及びその応用製品の開発と普及の促進に貢献する。

(2) 位置づけ、目標

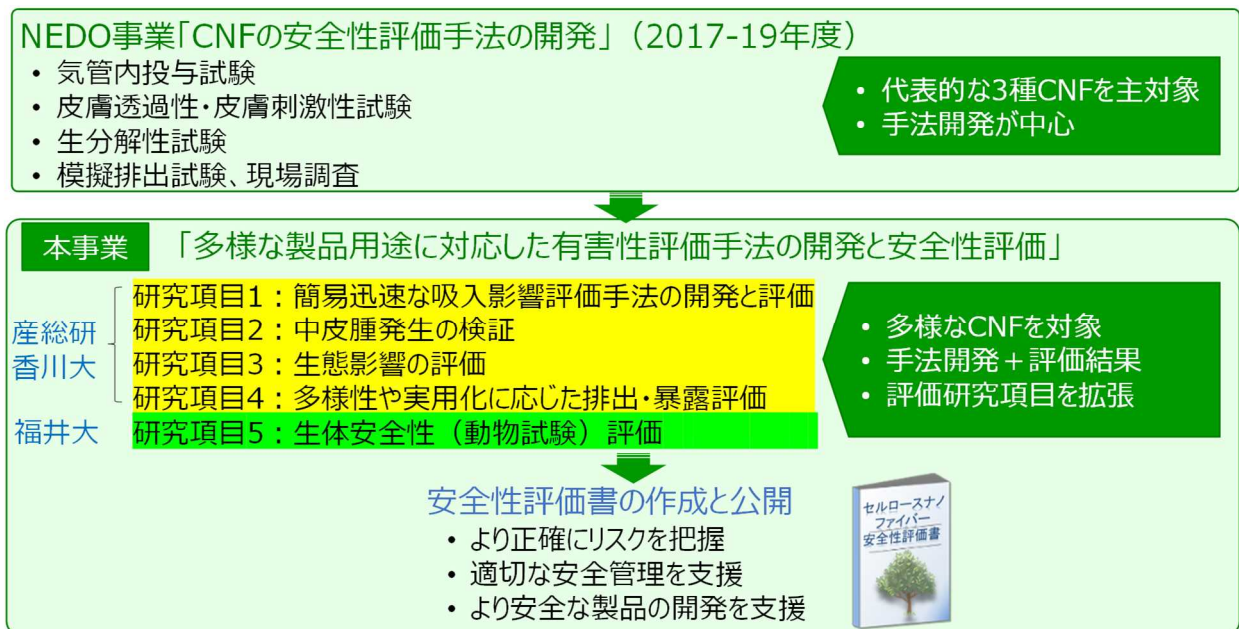
各研究開発項目の位置づけと目標を表Ⅲ-2.2.2-1 に示す。

表Ⅲ-2.2.2-1 位置づけと目標

| 研究開発項目 | 位置づけ | 目標 |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価 | すべての CNF について動物試験を行うことは現実的ではなく、世界的にもできるだけ動物試験に依存しない細胞試験での安全性評価が求められている。 | 培養細胞試験による簡易迅速な有害性評価手法を確立し、3種類以上の CNF について簡易迅速な有害性評価手法の開発と評価を行い、結果を安全性評価書にまとめ公開する。 |
| 2：中皮腫発生の検証 | 繊維状の物質については、アスベストとの類似性から、その安全性(中皮腫の可能性)が危惧されており、CNF においても、科学的な検証が求められている。 | 3種類以上の CNF について長期間(2年まで)の動物試験および培養細胞試験により、CNF の中皮腫誘発性の可能性を明らかにする。動物試験及び細胞試験の結果を安全性評価書にまとめ公開する。 |
| 3：生態影響の評価 | CNF の環境影響を評価することで、CNF が環境に出る可能性がある用途への開発や、適切な廃棄処理の設定が可能となる。化学物質及びナノ材料の環境影響を評価する上で、一般的に、藻類、甲殻類、魚類などの水生生物を用いた生態毒性試験の結果が求められる。 | 3種類以上の CNF について、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験を実施し、生態毒性データを取得する。また、CNF の魚類初期生活段階毒性試験方法を確立し、1種類以上の CNF について試験を実施し、生態毒性データを取得する。得られた結果をもとに有害性評価を実施し、結果を安全性評価書にまとめ公開する。 |
| 4：多様性や実用化に応じた排出・暴露評価 | 国内では CNF の実用化に向けて、多様な特性の CNF やその応用製品の開発が進められている。CNF の排出・暴露の実態を明らかにすることで、適切な管理が可能になる。 | 多様な CNF やその用途に対して排出・暴露評価を行い（CNFの種類×プロセスの種類＝30以上）、結果を安全性評価書にまとめ公開する。 |
| 5：生体安全性（動物実験）評価 | マウス、サルを用いた長期にわたる動物実験(吸入暴露、経口摂取に主眼を置く)による CNF の安全評価を通して得られる知見をもとに、安全評価書を策定に向けてできる限り短い期間で結果を得られる実験手法を提案し、今後、CNF に携わる作業者等が CNF やその製品を安全に取り扱うことができることを目的とする。 | マウスでの CNF の吸入暴露試験、マウスおよびマーマセットでの CNF の経口摂取試験を実施し、生体影響の評価手法の開発し、評価結果を得る。また CNF 経口摂取による継代影響および CNF コンポジット/人工血管の埋め込みによる炎症反応について、病理組織学的検査や血液検査の評価結果を得る。これらの結果を安全評価書としてまとめて公開する。 |

(3) 全体計画

研究開発の全体の概要を図Ⅲ-2.2.2-1 に示す。2017～2019 年度に産業技術総合研究所及び CNF 製造事業者 4 社で実施した NEDO 事業「CNF の安全性評価手法の開発」では、代表的な 3 種の CNF を主対象とした手法開発が中心であったが、本事業では、多様な CNF について評価結果を出すことを主目的とする。また、新たに多様な CNF に対応できる培養細胞を使った吸入影響評価、アスベストのように中皮腫を引き起こすのではないかとというリスクへの懸念を検証する中皮腫発生の検証、水生生物への影響を評価する生態影響の評価、多様性や実用化に応じた排出・暴露評価、さらに、吸入暴露、経口暴露、体内に埋め込まれた場合を想定した動物試験による生体安全性評価に取り組む。包括的に CNF の有害性情報を集約し、実用化に応じた排出・暴露の情報も踏まえて総合的に安全性を評価し、その内容を安全性評価文書としてとりまとめて、事業者等に向けて広く発信していく。



図Ⅲ-2.2.2-1 研究開発の全体の概要

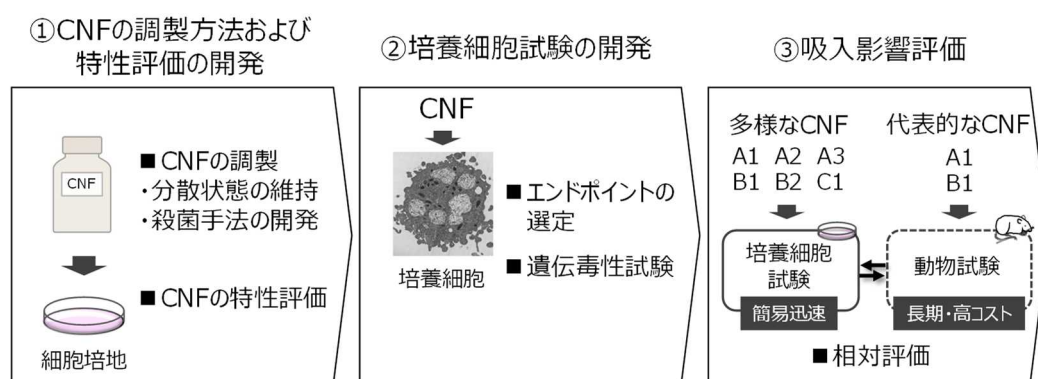
各研究開発項目の概要を以下に示す。

研究開発項目1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価

工業ナノ材料において危惧される一つは、主に作業者の吸入に伴う肺への影響と考える。NEDO 委託研究「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発/CNF 安全性評価手法の開発」(2017～2019 年度)では、吸入影響評価として動物試験のひとつである気管内投与試験の手法開発と、その評価について代表的な 3 種の CNF を対象に実施した。一方、動物試験は長期・高コストであることから、今後、実用化に伴い多様な特性を持つすべての CNF について動物試験を行うことは現実的ではないと考える。さらに、動物試験に関する 3Rs (代替：Replacement、削減：Reduction、苦痛の軽減：Refinement) 原則に基づ

き、世界的にもできるだけ動物試験に依存しない簡易な培養細胞試験での安全性評価が求められている。

培養細胞試験による簡易迅速な吸入影響評価は、動物試験と比較して小規模な実験施設や実験装置によって多くの被験材料を対象に実施が可能である。しかしながら、CNF を被験材料とした培養細胞試験による簡易迅速な吸入影響評価の報告は、国際的にも依然として少ないのが実情である。CNF は多様であり、その特性により評価結果が異なるため、評価対象とする原料 CNF の分散調製方法や、培養細胞試験で使用する CNF 分散液および CNF 培地懸濁液の物理化学的特性や生物学的特性の評価も重要である。そこで本研究では、それぞれの技術的課題を考慮しながら、①CNF の調製方法および特性評価の開発、②培養細胞試験の開発、③培養細胞試験および動物試験による吸入影響評価を行うこととした（図Ⅲ-2.2.2-2）。



図Ⅲ-2.2.2-2 簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価

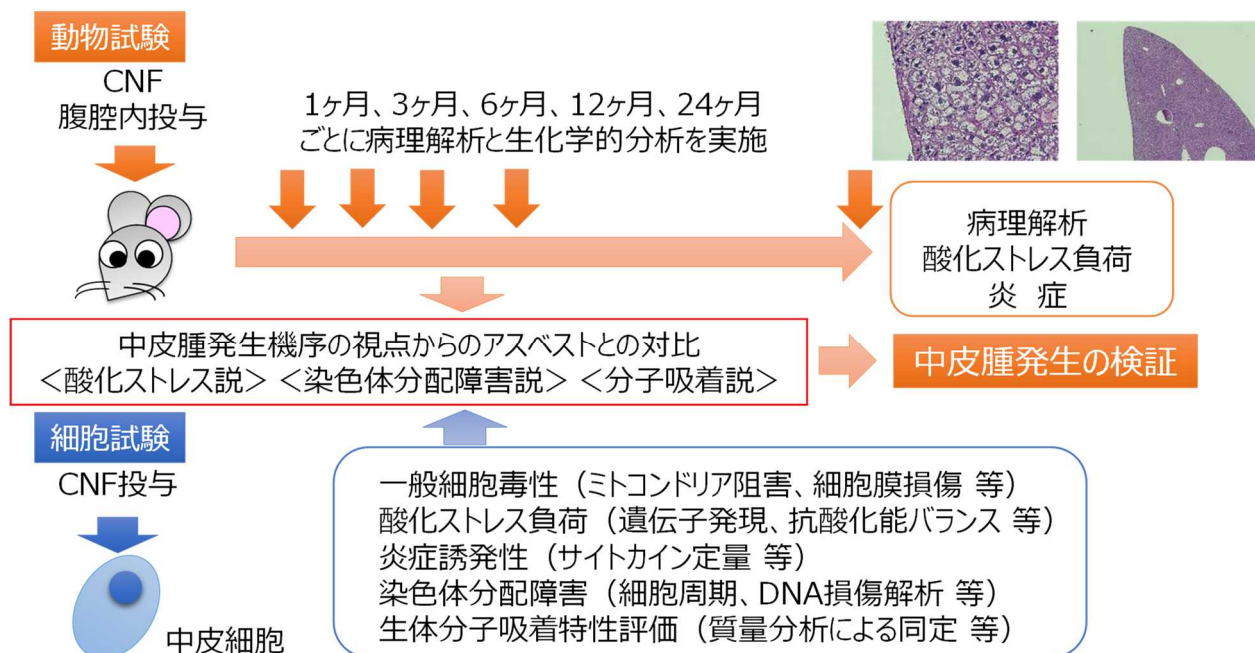
研究開発項目 2：中皮腫発生の検証

繊維状のナノ材料は、アスベストのように中皮腫を引き起こすのではないかとそのリスクが懸念されている。アスベストによる中皮腫の発生メカニズムは、大別して酸化ストレス説、染色体分配障害説および分子吸着説の 3 つの説が提唱されている。しかしながら、繊維状ナノ材料である CNF において、中皮腫の発生を検証した報告例はなく、CNF が中皮腫を引き起こす潜在的な可能性も不明である。CNF による中皮腫発生の信憑性を科学的に検証することは、作業者の健康や安全を確保し、実用化を推進するためにも重要と考える。そこで、本研究では、中皮細胞を使った培養細胞試験や動物を用いた腹腔内投与試験を実施することにより、CNF による中皮腫発生の検証を行う（図Ⅲ-2.2.2-3）。

①動物を用いた試験では、均一に分散した CNF 分散液をマウスの腹腔内に投与し、経時的に腹腔内洗浄液および肝臓、腎臓等を採取し、バイオマーカーを測定すると共に、体重の測定と病理解析を実施し、中皮腫の発生の有無を検証する。また、腹腔内洗浄液より回収した細胞を集細胞遠心装置により固定することでマクロファージおよび好中球を中心とした細胞の解析を行い、中皮腫が発生した場合に関連性の有無を検討する。観察期間は、1 ヶ月、

3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月および24ヶ月とする。同時に、アスベストによる中皮腫の発生機序として重要視されている、酸化ストレスの負荷と炎症の誘発性について生化学的な分析を行い、CNFの潜在的な中皮腫発生の可能性について明らかにする。

- ②中皮細胞を用いた培養細胞試験では、一般細胞毒性（ミトコンドリア阻害、細胞膜損傷等）の解析に加え、酸化ストレス負荷および炎症誘発性について、ケモカインや炎症性サイトカインの解析および遺伝子解析装置による遺伝子発現解析を実施し、検証を行う。さらに、アスベストの染色体分配障害説に基づき、細胞分裂に対する影響と、DNA損傷およびコロニー形成能を評価する。分子吸着説については、血清あるいは生体液とCNFとを混合後、タンパク質を分析することで吸着特性を検証する。以上の解析により、先行研究による報告との比較によりアスベストやカーボンナノチューブとCNFの類似性・相違性を明確にし、CNFの潜在的な中皮腫発生の可能性について明らかにする。



図Ⅲ-2.2.2-3 中皮腫発生の検証

研究開発項目3：生態影響の評価

CNFの実用化には、川上（製造段階、作業員）だけでなく、川下（消費・廃棄段階、環境）での安全性も担保する必要がある。CNFの環境影響を評価することで、CNFが環境に出る可能性がある用途への開発や、適切な廃棄処理の設定が可能となる。化学物質及びナノ材料の環境影響を評価する上で、一般的に、藻類、甲殻類、魚類などの水生生物を用いた生態毒性試験の結果が求められる。これらの試験は、OECDのテストガイドライン（TG）等の試験方法に準拠して実施されるが、CNFの生態毒性試験の報告例は国際的にも少ない。また、CNFは難水溶性であるため試験困難物質に該当する。そのため、試験溶液の調製方法、試

験溶液中の濃度や性状の測定方法および試験条件を確立した上で、試験期間で水生生物に暴露する試験溶液中の CNF の濃度や性状が安定した状態であることを示す必要がある。しかしながら、報告されている試験例では、試験生物に暴露する試験溶液中の CNF 濃度や性状の測定が十分に行われておらず、CNF の生態毒性が適切に評価できているかどうか不明である。このような状況を鑑みて、本研究では、試験溶液の調製方法、試験溶液中の CNF の濃度や性状の測定方法および試験期間で試験溶液中の CNF の均一性や性状が安定して保たれる試験条件を確立した上で、OECD のテストガイドラインに準拠した試験方法に基づいて、水生生物を用いた生態毒性試験を行い、取得した生態毒性データを基に水生生物に対する有害性評価を実施する。具体的には、以下の①から④に従い実施する（図Ⅲ-2.2.2-4）。有害性評価の結果を安全性評価書にまとめる。

- ①藻類生長阻害試験（OECD TG 201）、ミジンコ遊泳阻害試験（OECD TG 202）、ミジンコ繁殖試験（OECD TG 211）、魚類急性毒性試験（OECD TG 203）について、国内外の試験例について収集した情報や予備的な試験をもとに、試験溶液の調製方法、試験期間に試験溶液中の CNF の均一性や性状が安定して保たれる暴露方法、試験溶液中の CNF 濃度や性状の測定方法を確立する。
- ②確立した試験溶液の調製方法や試験条件をもとに藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験を実施し、CNF の生態毒性データを取得する。
- ③魚類初期生活段階毒性試験（OECD TG 210）は、魚類への慢性毒性を評価する上で重要な試験である。しかしながら、他の試験に比べて、試験実施の難度が高く、CNF を対象とした魚類初期生活段階毒性試験の実施例はないため、CNF に対して適切な試験方法を確立する必要がある。そのため、CNF について試験溶液の調製方法や暴露方法を検討し、実施可能な試験方法を確立する。確立した方法により生態毒性試験を実施し、生態毒性データを取得する。
- ④取得した生態毒性データを基に水生生物に対する有害性評価を実施する。

生態影響の評価

①生態毒性試験のための試験溶液の調製方法および試験条件の確立

急性/短期生態毒性試験

- 藻類生長阻害試験 (OECD TG No. 201)
- ミジンコ類急性遊泳阻害試験 (OECD TG No. 202)
- 魚類急性毒性試験 (OECD TG No. 203)

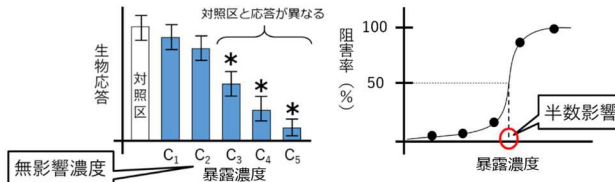
中長期生態毒性試験

- ミジンコ類繁殖試験 (OECD TG No. 211)



- 試験溶液の調製方法、暴露方法、試験溶液中のCNF濃度および性状の測定手法を確立

②生態毒性試験の実施



③魚類初期生活段階毒性試験方法 (OECD TG 210) の確立と試験の実施

- 試験溶液の調製方法や暴露方法を確立
- 試験方法の確立後、生態毒性データを収集

④有害性評価の実施

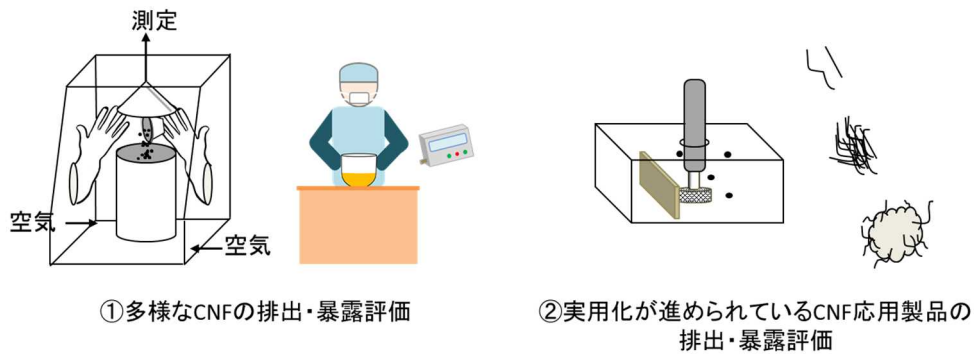
- CNFの生態影響を評価

図Ⅲ-2.2.2-4 生態影響の評価

研究開発項目 4 : 多様性や実用化に応じた排出・暴露評価

国内では CNF の実用化に向けて、多様な特性の CNF やその応用製品の開発が進められている。CNF の製造量や使用量、応用分野は増え、CNF を取り扱う事業者も、製造事業者から加工事業者、応用製品の開発事業者へと広がりつつある。そこで、CNF の多様性や実用化に応じた排出・暴露評価を実施する (図Ⅲ-2.2.2-5)。これにより、CNF の排出・暴露の実態や可能性を明らかにし、適切な排出・暴露管理やより安全な CNF の開発に貢献する。

- ① 多様な特性の CNF について、模擬試験や現場調査により排出・暴露評価を行う。模擬試験では、排出 CNF の量、サイズ、形態などの情報を得て、CNF の特性による違いを評価する。現場調査では、排出・暴露が起きやすい工程を特定し、排出・暴露の状況を把握するとともに、各現場の適切な安全管理を支援する。また、計測法の実効性について検証し、適切な排出・暴露評価手法を確立する。
- ② 実用化が進められている CNF 応用製品のうち、排出・暴露の可能性が高いものを抽出し、そのライフサイクル (製造・加工・使用・廃棄等) における排出・暴露可能性を、模擬試験や現場調査、シナリオ評価等により評価する。




図Ⅲ-2.2.2-5 多様性や実用化に応じた排出・暴露評価

研究開発項目 5：生体安全性（動物実験）評価


本研究開発項目ではマウス、ラット、サルを用いた長期にわたる動物実験による CNF の安全評価を通して得られる知見をもとに、安全評価書の策定に向けてできる限り短い期間で結果を得られる動物の種類の特定制と実験手法を提案し、今後、CNF に携わる作業等が CNF やその製品を安全に取り扱うことができることを目的とする。本事業では吸入暴露、経口暴露に主眼を置くとともに、体内に埋め込まれた状態（CNF 材料で作られた人工臓器を想定）の有害影響について評価する（図Ⅲ-2.2.2-6）。

吸入暴露による影響


① CNF 粉じんの吸入による肺での炎症の確認（マウス） 

経口暴露による影響

② CNF の経口摂取による生体への影響の確認（マウス）
 ③ CNF の経口摂取による継代影響の確認（マウス）
 ④ CNF の経口摂取による生体への影響の確認（コモンマーモセット）



体内に埋め込んだ場合の影響

⑤ 皮下に CNF コンポジットを埋め込んだ場合の炎症の確認（マウス、ラット） 
 ⑥ CNF コンポジットからなる人工血管の評価（マウス、ラット）

図Ⅲ-2.2.2-6 生体安全性（動物実験）評価

① CNF 粉じんの吸入による肺での炎症の確認（マウス）

マウスに CNF 粉じんを自然呼吸で吸入させる試験を行うためには、CNF 粉じんを気中に発生させる方法の開発が必要である。そこで、まず、吸入暴露試験のための CNF 粉じん発生法の開発を行う。開発した発生法を用いて短期の予備試験を行った後、長期の吸入暴露試験を行う。マウスは解剖により肺組織を観察し、炎症の有無を評価する。飼育時は週 1 回のマウスの体重測定、一般状態観察、摂餌量観察などを行い、終齢後に病

理組織学的検査（肺）、気管支肺胞洗浄液（BALF）検査を行い、産業技術総合研究所が行う研究開発項目 1「簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価」や研究開発項目 2「中皮腫発生の検証」の結果と相互比較を行う。対象 CNF 試料については、産業技術総合研究所が行う研究開発項目 4「多様性や実用化に応じた排出・暴露評価」で得られた知見を参考にする。

- ② CNF の経口摂取による生体への影響の確認（マウス）
経口摂取による CNF の長期に渡る内臓や血液等へ影響を確認する。この評価では CNF を含む飲水を与え、継続的に経口摂取させた時の臓器や皮膚、血管への影響を評価する。終齢後、麻酔下で開腹し、血液と組織を検査して、疾患の有無を確認する。
- ③ CNF の経口摂取による継代影響の確認（マウス）
CNF を経口摂取させたマウスの継代影響として、生殖能を測定評価する。
- ④ CNF の経口摂取による生体への影響の確認（コモンマーモセット）
マーモセットへの経口摂取による CNF の長期にわたる内臓や血液等へ影響を確認する。
②と同様に、CNF を含む飲水を長期間摂取させ、定期的な健康診断と生化学検査を行い評価する。疾患の有無を確認後、最終年度の 2024 年に解剖を行う。
- ⑤ 皮下に CNF コンポジットを埋め込んだ場合の炎症の確認（マウス）
CNF は多岐にわたる分野で活用が加速しており、複合材料における補強材としての用途に限らず、増粘性、生体適合性などの利点から医薬品としての用途に対する期待が大きい。創傷治癒のための人工皮膚用ゲル補強材や多孔質の人工骨補填材などへの利用が考えられる。CNF は生体親和性が高いといわれているがその安全性を確認するために短期の予備試験を行い、試験方法を確立する。
- ⑥ CNF コンポジットからなる人工血管による炎症の確認（マウス/ラット）
CNF の高い生体適合性などの利点と 3D プリンターにおけるエラストマーゲルの作製が可能になりつつある中で、人工臓器の補強材として今後 CNF を生体材料として使用することが予想される（秦 裕樹, “芹澤 武ナノセルロースの人工臓器への応用研究”, 人工臓器 48 巻 3 号 pp182-185 2019 年）。CNF 補強エラストマーゲルの人工血管を埋め込み、組織に与える炎症の影響を検証する。

(4) 実施体制

実施体制を図Ⅲ-2.2.2-7に示す。



図Ⅲ-2.2.2-7 実施体制

(5) 運営管理

プロジェクトの円滑で効率的な進捗管理を行うために、約 3 か月に 1 度、産業技術総合研究所と福井大と連携して合同進捗報告会を行った。加えて、八尾プロジェクトリーダーとのミーティング、「炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発」事業の事業者全体での交流・ミニ展覧会を開催し、意見交換、連携促進を行った。

<合同進捗報告会>

- ・2020年11月30日 第1回 産総研-福井大 合同進捗報告会
- ・2021年3月19日 第2回 産総研-福井大 合同進捗報告会
- ・2021年7月2日 第3回 産総研-福井大 合同進捗報告会
- ・2021年10月5日 第4回 産総研-福井大 合同進捗報告会
- ・2022年1月18日 第5回 産総研-福井大-香川大 合同進捗報告会
- ・2022年3月25日 第6回 産総研-福井大-香川大 合同進捗報告会
- ・2022年7月13日 第7回 産総研-福井大-香川大 合同進捗報告会

<その他>

- ・2021年3月17日 八尾プロジェクトリーダーミーティング
- ・2021年12月24日 「炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発」事業の事業者交流・ミニ展示会

(6) 実施の効果

本事業の成果により期待される効果として、総合的な安全性評価の結果を公表することにより、CNF の適切な安全管理やより安全な製品の開発が可能になる。安全性に関する情報を付与することにより、用途展開や顧客への説明がスムーズになる。CNF の提供元企業と提供先企業が、CNF の安全性に関する情報や自主安全管理の方法を共有することで、より円滑な用途開発とイノベーションの促進が期待される。また、まとめた安全性情報は、安全データシート (SDS) の作成時に参考となる。

日本から、そして評価の独立性や信頼性の観点から公的機関が CNF の安全性情報を発信することは、国際競争力の向上につながる。米国やカナダは、商業生産が行われているセルロースナノクリスタルの安全性評価のデータを積極的に公表しているが、その対抗となる。また、新興国の製品との差別化が図れる。

本事業で開発した CNF の安全性評価技術・手法についても公開を進める。これにより、今後、事業者が有害性試験や暴露評価を行う際に参考にすることができる。

(7) アピールポイント

これまで CNF の安全性情報が少ない中、多様な種類の CNF を対象にした有害性試験や排出暴露の手法開発と評価を行い、安全性評価書にとりまとめて事業者の CNF 材料および応用製品の開発と普及を支援することがポイントである。

2.2.3.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度、達成可能性

研究開発項目 1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価

<中間目標>

培養細胞試験による簡易迅速な有害性評価手法を確立し、3 種類の CNF に対して、有害性評価結果を安全性評価書の暫定版にまとめる。

<達成可能性>

4 種類の CNF に対して培養細胞試験を実施した。遺伝毒性試験バッテリーにより、3 種類の CNF の遺伝毒性を評価した。慢性閉塞性肺疾患モデルマウスによる CNF の気管内投与試験を実施した。安全性評価書暫定版の作成を行い、中間目標は達成の見込みである。

<達成度>

△ (2023 年 3 月達成予定)

研究開発項目 2：中皮腫発生の検証

<中間目標>

1 種類の CNF 分散液の調製と腹腔内投与試験のうち、短期影響（1 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月）を評価する。3 種類の CNF について、培養細胞試験を実施し、基礎データ（酸化ストレス負荷および炎症誘発性）を取得し、結果を安全性評価書の暫定版にまとめる。

<達成可能性>

2 種類の CNF について腹腔内投与試験を実施し、短期影響（1 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月）を評価した。3 種類の CNF について、培養細胞試験を実施し、基礎データを取得した。研究は順調に進捗しており、中間目標を達成できる見込みである。

<達成度>

△ (2023 年 3 月達成予定)

研究開発項目 3：生態影響の評価

<中間目標>

藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験について、国内外の試験例の情報収集および予備的な試験を通して、各試験の CNF の試験溶液の

調製方法や試験溶液中の CNF 濃度や性状の測定方法、および試験条件を確立する。1 種類の CNF について、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験を実施し、試験結果を取得し、結果を安全性評価書の暫定版にまとめる。

<達成可能性>

1 種類の CNF について、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験の試験方法を確立した。ミジンコ遊泳阻害試験と魚類急性毒性試験を実施し、試験結果を得た。藻類生長阻害試験とミジンコ繁殖試験は実施中である。研究は順調に進捗しており、安全性評価書暫定版の作成を行い、中間目標を達成できる見込みである。

<達成度>

△（2023 年 3 月達成予定）

研究開発項目 4：多様性や実用化に応じた排出・暴露評価

<中間目標>

代表的な CNF やその用途に対して排出・暴露評価を行い（CNF の種類×プロセスの種類 = 15 以上）、結果を安全性評価書の暫定版にまとめる。

<達成可能性>

乾燥粉体の取り扱いを模擬した移し替え試験を実施し、8 種類の CNF 等について、飛散量、粒径分布、形態などの情報を取得した。引き続き模擬試験を行い、中間目標を達成できる見込みである。

<達成度>

△（2023 年 3 月達成予定）

研究開発項目 5：生体安全性（動物実験）評価

<中間目標>

マウスの吸入暴露試験のための CNF 粉じん発生法を開発し、予備試験によりその有用性を確認する。マウスに最大 2 年間にわたり CNF および CNF コンポジット粉砕品を経口摂取させたときの内臓や血液等への影響の評価結果を得る。マウスに CNF を経口摂取させたときのマウスの継代影響について、1 年間の交配の繰り返しによる評価の結果を得る。マーモセットに 2 年間にわたり CNF を経口摂取させたときの内臓や血液等へ影響について評価結果を得る。マウス/ラットによる皮下に CNF および CNF コンポジットを埋め込んだ場合の炎症について、CNF 補強

生分解性プラスチック円板、CNF 補強エラストマーゲルを皮下に埋め込み、1 年間飼育後に埋め込んだ周りの細胞組織の炎症の評価結果を得る。ラットによる CNF コンポジットからなる人工血管による血栓やそのまわりの炎症について、予備試験による結果を得る。これらを安全評価書の暫定版としてまとめる。

<達成可能性>

マウスやマーマーセットへの経口摂取、マウスへの吸入暴露試験は予定通り進んでいる。2022 年度に CNF コンポジットの埋め込みによる予備試験を行う予定であり、中間目標は達成可能である。

<達成度>

△（2023 年 3 月達成予定）

<課題>

市場で使われている CNF のできるだけ多くの種類について動物実験により安全性を評価したいが、CNF については提供いただけるサンプルの種類と量が限られているのに対して動物実験ではかなりの量の CNF が必要であり、独自に CNF を作製できるようにしたい。企業などからの要望では人工血管に CNF を用いる用途は今のところなく、セラミック粒子と CNF の複合化による多孔質骨の体内安全性評価が切望されている。そのため、人工血管の安全性評価から、多孔質体を含む CNF コンポジットの生体安全性評価の方に今後の目標を修正する必要があると思われる。

(2) 研究開発の成果と意義

各研究開発項目の成果の意義を表Ⅲ-2.2.2-2 にまとめる。

表Ⅲ-2.2.2-2 各研究開発項目の成果の意義

| 研究開発項目 | 意義 |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・遺伝毒性試験バッテリーによる CNF の遺伝毒性評価は、世界初の報告。 ・培養細胞試験の結果の蓄積により、多くの CNF の相対的な吸入影響評価が可能となる。 |
| 2：中皮腫発生の検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF による中皮腫発生が検証可能な長期間での動物試験は本研究が初。 ・ アスベストのように中皮腫が発生する可能性を評価することで、正確なリスクの把握が可能となる。 |
| 3：生態影響の評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 試験溶液中の CNF の分散状態や濃度の測定を踏まえた適切な生態毒性試験は本研究が初。 ・ 生態影響を把握することで、環境に出る可能性がある用途への開発や適切な廃棄処理の設定が可能となる。 |
| 4：多様性や実用化に応じた排出・暴露評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF の飛散のしやすさ、飛散時のサイズや形態、計測装置の応答などの情報を得ることで、CNF を取り扱う現場での適切な暴露管理対策や測定法の策定が可能になる。 ・ 国内で開発された CNF を評価し、事業者の安全管理を支援。 |
| 5：生体安全性（動物実験）評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF の動物安全性試験の結果は作業生産者、消費者、廃棄再生者などが安心して CNF 並びにそのコンポジットを利用することにつながり CNF の将来的な市場の拡大に大きく貢献できる。 ・ げっ歯類による CNF の吸入暴露試験および霊長類を対象とした CNF の経口摂取試験は、本研究が初。 |

各研究開発項目の成果の詳細について、以下に示す。

研究開発項目 1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価

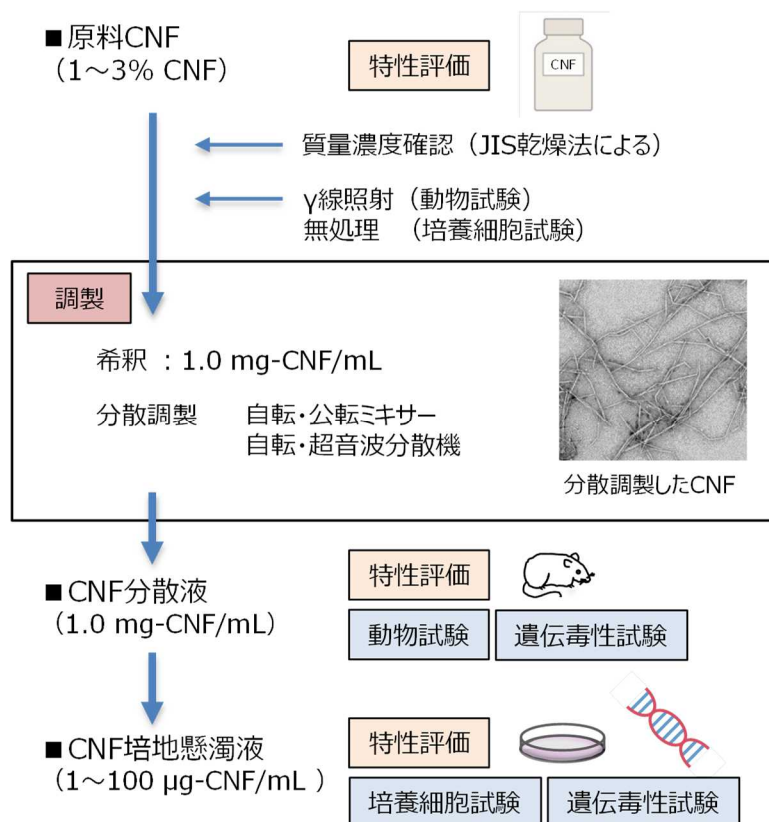
<CNF の調製方法の開発と特性評価>

細胞培地は、使用する細胞の種類によるが、一般には塩類やアミノ酸、糖、微量必須栄養素などを混合した pH 平衡溶液から成る基礎培地を基に、成長因子や補助成分としてウシ胎児血清などの血清、さらに抗生物質－抗真菌剤を混合したものである。CNF は、チキソ性などの特異的な物理化学的特性を有する上に、これら細胞培地中で凝集を引き起こし、さらに血清などに吸着される可能性がある。このため、細胞培地に CNF を分散させる適切な調製方法とその特性評価が重要と考える。

本研究では、培養細胞試験による吸入影響評価を目的に、CNF の調製方法の開発および特性評価を行った（図Ⅲ-2.2.2-8）。化学修飾および機械解繊処理により作製された各種原料 CNF を被験材料として、自転・公転ミキサーや自転・超音波分散機により CNF 分散液を調製した。さらに CNF 分散液を細胞培地に希釈して CNF 培地懸濁液を作製した。レオメーターや透過型電子顕微鏡（TEM）観察により、CNF 分散液のレオロジー特性や、CNF のサイズ分布および解繊度を評価することにより、CNF の物理化学特性を損なわない分散条件を見出すことができた。

また植物起源であるセルロースは多種の細菌および菌類の栄養源であるため、CNF は微生物の汚染を受けやすい。殺菌剤や酸化エチレンガス、放射線等の使用は微生物汚染防止として有用であるが、これらの殺滅菌処理は培養細胞そのものに強い影響を及ぼし、また CNF 本来の物理化学特性が損なわれる可能性があるため、細心の注意が必要である (Sai et al, 2020)。このため本研究では、CNF 分散液や CNF 培地懸濁液の物理化学特性の評価および微生物の測定を行い、抗生物質やγ線照射を用いた CNF の殺菌手法を開発した。これらは、培養細胞試験のみならず、遺伝毒性試験や動物試験への応用が可能な新規の微生物汚染防止技術と考える。

Sai T, Fujita K. 2020. A review of pulmonary toxicity studies of nanocellulose. Inhal Toxicol. 32:231-239.

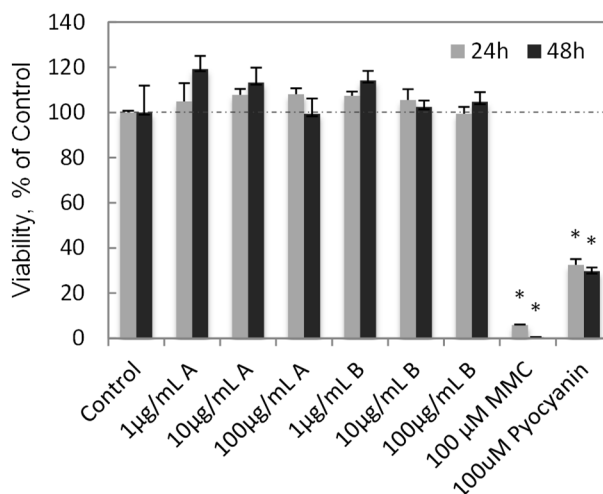


図Ⅲ-2.2.2-8 CNF の調製方法の開発と特性評価

<簡易迅速な培養細胞試験>

本研究では、異なる4種類のCNFを被験材料に、調製および特性評価したCNF培地懸濁液をそれぞれ調製し、2種類の培養細胞(ラット肺胞マクロファージ、ヒト気道上皮細胞)を使った培養細胞試験を実施した。この結果、いずれのCNFおよび細胞種において、有意な細胞生存の低下や活性酸素種(ROS)の産生は認められなかった。一例として、AとB、2種類のCNFに対する肺胞マクロファージの生存影響を図Ⅲ-2.2.2-9に示す。また、CNFの吸入影

響を反映する適切な毒性指標（エンドポイント）の選定は、動物試験で得られた知見を活用した CNF の吸入影響評価に大変に有用である。このため、今後、炎症の指標となるサイトカインの測定や、網羅的遺伝子発現解析などを行い、CNF に反応するエンドポイントを選定しながら、多様な CNF を被験材料とした培養細胞試験を実施していく予定である。

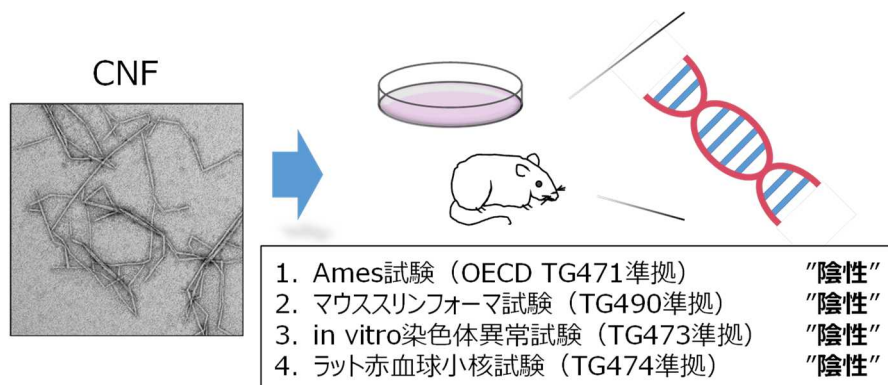


図Ⅲ-2.2.2-9 ラット肺胞マクロファージに対する CNF（A、B）の生存影響

<遺伝毒性試験>

CNF は、アスベスト（石綿）のように繊維状で超微細な特性を持つことから、発がん性のリスクが懸念されている。このため、本研究では発がん性のスクリーニングとして、OECD（経済協力開発機構）のテストガイドライン（TG）に基づき、細菌復帰突然変異試験（Ames 試験、OECD TG471 準拠）、マウスリンフォーマ TK 試験（TG490 準拠）、*in vitro* 染色体異常試験（TG473 準拠）、ラット赤血球小核試験（TG474 準拠）を実施し、3種類の CNF（リン酸エステル化 CNF、TEMPO 酸化 CNF、機械解繊 CNF）を被験材料に、これらの遺伝毒性を評価した（リン酸エステル化 CNF は、マウスリンフォーマ試験未実施）。本試験の特徴は、異なるエンドポイントである遺伝子突然変異と染色体異常を指標とした4種類の試験（遺伝毒性試験バッテリー）により、総合的に評価したことである。この結果、各遺伝毒性試験の結果は全て陰性であり、供試した3種類の CNF は、遺伝毒性を示さないと結論した（図Ⅲ-2.2.2-10）。これらの試験結果を、“Genotoxicity assessment of cellulose nanofibrils using a standard battery of *in vitro* and *in vivo* assays”と題した研究論文にまとめ、国際科学雑誌 Toxicology Reports (Elsevier) において2021年12月に発表した (Fujita et al, 2021)。遺伝毒性試験バッテリーによる CNF の遺伝毒性評価は、世界初の報告となる。

Fujita K, Obara S, Maru J, Endoh S. 2021. Genotoxicity assessment of cellulose nanofibrils using a standard battery of in vitro and in vivo assays. Toxicol Rep. 16:68-77.



図Ⅲ-2.2.2-10 遺伝毒性試験バッテリーによる CNF の遺伝毒性評価

<動物試験>

CNF の吸入影響に関する報告には、マウス咽頭吸入試験を使った動物試験の報告 (Catalan et al, 2017) などがあるが、これらは短期間での吸入影響を評価したものであり、中長期での CNF の肺への影響についての知見は少ない (Sai et al, 2020) 。このため、NEDO 委託研究「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発/CNF 安全性評価手法の開発」(2017～2019 年度) では、ラット気管内投与試験を実施し、多層カーボンナノチューブ (MWCNT) と比較しながら、CNF などの繊維状工業ナノ材料の肺組織の炎症を中心とする中長期での吸入影響評価を行い、相対的な吸入影響評価を行なう上で、気管内投与試験は有用であることが分かった (Fujita et al, 2020) 。一方、現実の作業環境を考慮すると、これまで多く行われてきた健常者の呼吸器を対象にするだけでなく、非健常者の呼吸器を対象とした工業ナノ材料の吸入影響の知見も必要と考える。

このため、本研究では有害物質に長期に暴露され呼吸器疾患を持つ生体に対する CNF の吸入影響評価を目的に、慢性閉塞性肺疾患 (COPD) モデルマウスを用い、正常マウスと比較しながら CNF および MWCNT の気管内投与試験を実施した (図Ⅲ-2.2.2-11) 。投与後 28 日間の吸入影響は、体重、一般状態の観察、肺の写真撮影、肺胞洗浄液の分析、病理観察など各試験項目により評価した。現在、これまで報告された CNF や MWCNT の気管内投与試験での結果と比較しながら、CNF の相対的な吸入影響を検討中である。

Catalán J, Rydman E, Aimonen K, Hannukainen KS, Suhonen S, Vanhala E, Moreno C, Meyer V, Perez DD, Sneek A, Forsström U, Højgaard C, Willemoes M, Winther JR, Vogel U, Wolff H, Alenius H, Savolainen KM, Norppa H. 2017. Genotoxic and inflammatory effects of nanofibrillated cellulose in murine lungs. Mutagenesis. 32:23-31.

Sai T, Maru J, Obara S, Endoh S, Kajihara H, Fujita K. 2020. Screening of preservatives and evaluation of sterilized cellulose nanofibers for toxicity studies. J Occup Health. 62:e12176.

Fujita, K, Obara, S, Maru, J, Endoh S. 2021. Pulmonary inflammation following intratracheal instillation of cellulose nanofibrils in rats: comparison with multi-walled carbon nanotubes. Cellulose 28:7143-7164.



図Ⅲ-2.2.2-11 肺疾患モデル動物を使った CNF の気管内投与試験

研究開発項目 2：中皮腫発生の検証

<動物試験>

中皮は、内臓を覆う膜の表面を構成する組織で、具体的には胸膜、心膜、腹膜の表面を覆う中皮細胞からなる薄い細胞層を指す。中皮細胞から発生する悪性の腫瘍として、中皮腫があり、多くが膜全体に広がるびまん性を示す。厚生労働省の人口動態統計による中皮腫による死亡者数は、2015 年～2020 年まで、おおよそ年 1500 人程度で推移している。男女別に見ると、男性 1250 人程度／年、女性 250 人程度／年で推移しており、男性の死亡数が圧倒的に多い。この原因の一つとして、悪性中皮腫の発症原因の一つがアスベストの吸入であり、ばく露後 30～40 年近くを経てから発症することから、過去にアスベストの製造に関与していた男性の発症が多いと考えられる。このように、当時はアスベストによる中皮腫の発症のリスクは認識されておらず、工業的な利点から多く使用されてきた。その後、長い潜伏期間を経て発症し問題となっている。アスベストは、繊維状の物質で、形状で見た場合に CNF と共通点がある。一方で、CNF はセルロースを主成分とするのに対し、アスベストはケイ素などからなる無機鉱物で、鉄を含むものは有害性が高いとされる。化学組成で見た場合には、アスベストと CNF は異なる物質であるが、CNF の生体影響は不明であり、中皮腫の発生検討もこれまで実施されたことがなく、予断を許さない。そこで、中皮（腹膜）の存在するマウスの腹腔内に CNF を投与し、長期間の観察を行う事で、CNF による中皮腫の誘導性を把握することは利用の観点からも重要である。中皮腫のみならず、炎症応答等のバイオマーカーを経時的に測定することで、万一、中皮腫を生じた場合に、さかのぼってどのような予兆があるのかを検討することが可能である。また、中皮腫を生じなかった場合でも、炎症等その他の重要な生体反応を把握することが可能であり、CNF

の利用に際し、リスク評価を行う上での重要な知見となる。これまでに、製造方法が異なる2種類のCNFを2用量でマウス腹腔内に投与し、経過を観察している。

一部非公開

<細胞試験>

中皮腫の発生や炎症応答は、組織としての生体反応であり、細胞のみで発症を評価することはできない。一方で、中皮腫の発生は総体的な生物応答のエンドポイントであり、なぜ、どのようにして起こるのかという、メカニズムの観点からは、生物の最小単位である細胞での検討が必須となる。最終的な生体応答としての動物実験と、炎症応答、酸化ストレス負荷、核酸傷害性（遺伝毒性）等、細胞によるメカニズム解析の両面からCNFの中皮腫発生の可能性を評価することで、正確なリスクの把握が可能となる。これまでに原料もしくは製造方法が異なる3種類のCNFの中皮細胞（MeT-5A細胞）に対する影響を評価した。3種類のCNFとも、細胞生存率およびインターロイキン-8（IL-8）産生誘導に対する影響は認められなかった。

一部非公開

研究開発項目3：生態影響の評価

<CNFの生態毒性および試験方法に関する情報収集>

OECDが公表した、工業用ナノ材料の生態毒性試験方法にかかるガイダンス文書（OECD Guidance No. 317）およびCNFの生態毒性試験に関する既報論文9報を収集・整理し、試験実施にかかる留意点の整理を実施した。CNFは凝集・沈降する可能性があるものの、試験分散液中のCNFの濃度を測定していた事例はこれまでになかった。より信頼性の高いCNFの生態毒性データを示すためには、経時的かつ試験容器内の空間的にCNFが安定した条件下での試験を実施し、試験中に暴露量の定量化を行うことが重要であることが分かった。

<試験溶液の調製方法（防腐剤によるCNF滅菌方法）の検討>

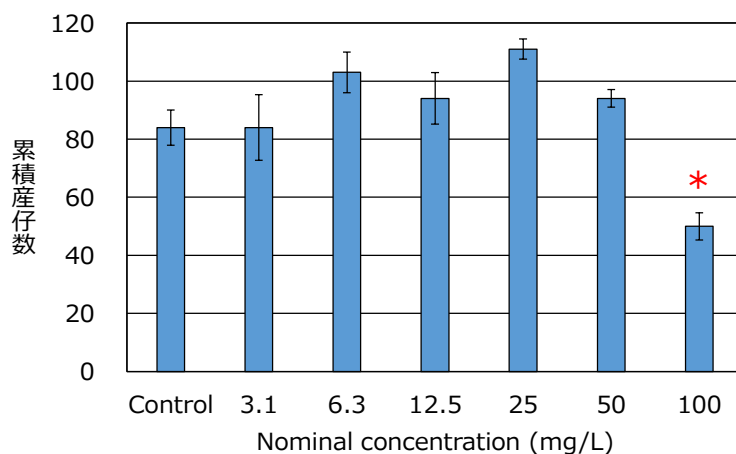
試験培地に添加するCNF調製原液を調製する際の滅菌方法として、防腐剤（2-フェノキシエタノール、2-PEt）の使用を検討した。調製原液に添加した防腐剤が試験生物に悪影響を引き起こす可能性を調査するため、既報の文献情報を収集するとともに、OECDテストガイドラインNo. 211に準拠したオオミジンコ繁殖試験により防腐剤の毒性値を取得し、試験培地に添加した際の防腐剤の有害性を評価した。表Ⅲ-2.2.2-3に既報文献から得られた2-PEtの毒性値を示す。また、オオミジンコの繁殖試験の結果から、オオミジンコの繁殖に対する無影響濃度は50 mg/Lと示され（図Ⅲ-2.2.2-14）、既報文献の測定項目の毒性値よりも低い値を示した。

一部非公開

表Ⅲ-2.2.2-3 既報文献から得られた 2-フェノキシエタノールの毒性値

| 分類群 | 試験生物種 | 毒性区分 | 測定項目 | 毒性指標 | 毒性値* (mg/L) |
|-----|---------|------|---------|--------|----------------|
| 藻類 | ムレミカツキモ | 急性 | 成長速度阻害率 | 半数影響濃度 | >130 |
| | | 慢性 | 成長速度阻害率 | 無影響濃度 | >130 |
| 甲殻類 | オオミジンコ | 急性 | 遊泳阻害率 | 半数影響濃度 | >96 |
| 魚類 | メダカ | 急性 | 死亡率 | 半数致濃度 | >123 |

* Tamura et al. (2013) Journal of Applied Toxicology, 33(11):1222-1229



図Ⅲ-2.2.2-14 対照区および 2-フェノキシエタノール暴露濃度区でのオオミジンコの累積産仔数 *は対照区に比べて累積産仔数が有意に低下した濃度

<CNF の濃度測定方法の確立>

生態毒性試験を実施する場合、複数の濃度区で、試験溶液から定期的に試料を採取し、CNF 濃度を測定する。そのため、多検体を同時に測定できる手法が求められる。また、供試生物として使用するムレミカツキモや供試生物のミジンコの餌となるクロレラ等の藻類は、セルロースを含むため、試験溶液中の CNF 濃度の測定に干渉する可能性がある。そのため、測定手法が藻類の存在する試料について適用できることを確認する必要がある。

一部非公開

<CNF の生態毒性試験の確立>

本研究では、暴露期間中に CNF が可能な限り安定して分散する条件のもとで生態毒性試験を実施し、CNF の生態毒性データを得ることを目的とする。

一部非公開

<CNF の生態毒性試験の実施>

確立した試験方法に従い、CNF について、オオミジンコを用いた遊泳阻害試験およびメダカを用いた魚類急性毒性試験を実施した。

一部非公開

研究開発項目 4：多様性や実用化に応じた排出・暴露評価

<CNF 粉体の移し替え模擬試験>

ナノセルロースのリスクを考えた場合、乾燥粉体の吸入暴露によるリスクが特に高いと考えられている (Shatkin & Kim 2015)。一般に、CNF は、乾燥させると強固に凝集してしまい、再分散できず、性能が発揮できないため、粉末化に各社独自の工夫がなされている。そのため、CNF の乾燥粉体は、CNF 自体の多様性と、粉末化技術の多様性によって、多種多様にある。本研究では、国内で開発された複数の CNF の乾燥粉体を対象に、CNF 乾燥粉体の取り扱い（袋詰め、小分け、分取、投入、混合など）に関連した模擬として、乾燥粉体の移し替えの操作を行い、乾燥粉体の飛散性（量、サイズ、形態）を評価した。また、あわせて計測技術の有用性を確認した。

一部非公開

研究開発項目 5：生体安全性（動物実験）評価

<マウス吸入暴露試験>

マウスにおける吸入試験は気管内投与試験に加えて、ストレスの少ない CNF の全身暴露試験を行っている。CNF の全身暴露試験後での解剖所見からは、異常な組織像は得られておらず CNF の毒性影響は見られていない。また CNF の蛍光染色条件を検討し、生体内での検出方法を確立した。

一部非公開

<マウス経口投与試験>

マウスにおける経口投与試験は 28 日間の反復経口投与試験と、28 日間の連続経口投与試験を行っている。マウスの健康観察、28 日後の血液検査、細胞組織検査においてコントロールと比較して差異は見られていない。

一部非公開

<マーモセット経口投与試験>

マーモセットにおける連続経口投与試験は体重推移、摂餌量、摂水量、血液検査を行いながら観察を続けている。

一部非公開

(3) 最終目標の達成可能性と課題

研究開発項目 1：簡易迅速な吸入影響評価手法の開発と評価

<最終目標>

3 種類以上の CNF について簡易迅速な有害性評価手法の開発と評価を行い、結果を安全性評価書にまとめ公開する。

<達成可能性>

CNF の吸入影響を反映するエンドポイントや培養細胞の選定を行い、簡易迅速な有害性評価手法の開発と評価を進めている。相対的な吸入影響評価としての気管内投与試験も進捗しており、最終目標を達成できる見込みである。

<課題>

なし。

研究開発項目 2：中皮腫発生の検証

<最終目標>

3 種類以上の CNF について長期間(2 年まで)の動物試験および培養細胞試験により、CNF の中皮腫誘発性の可能性を明らかにする。動物試験及び細胞試験の結果を安全性評価書にまとめ公開する。

<達成可能性>

製造方法が異なる 2 種類の CNF について動物試験（マウスへの腹腔内投与試験）を開始し、6 ヶ月後までの試料を取得した。現在、取得した試料の解析を進めているところであり、この後、1 年および 2 年後の解剖を実施する。また、1 種類の CNF について、試験を開始する予定である。細胞試験では、3 種類の CNF について基礎データを取得済みである。さらに、2 種類の CNF について試験を実施予定である。最終目標に向け、順調に進捗している。よって、最終目標は達成できる見込みである。

<課題>

なし。

研究開発項目 3 : 生態影響の評価

<最終目標>

3 種類以上の CNF について、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験を実施し、生態毒性データを取得する。また、CNF の魚類初期生活段階毒性試験方法を確立し、1 種類以上の CNF について試験を実施し、生態毒性データを取得する。得られた結果をもとに有害性評価を実施し、結果を安全性評価書にまとめ公開する。

<達成可能性>

1 種類の CNF について、ミジンコ遊泳阻害試験と魚類急性毒性試験を実施し、試験結果を得た。藻類生長阻害試験とミジンコ繁殖試験は実施中である。他の 2 種類の CNF についても、藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、ミジンコ繁殖試験、魚類急性毒性試験の方法を検討している。また、CNF の魚類初期生活段階毒性試験の実施に向けて試験方法の検討を開始した。研究は順調に進捗しており、最終目標を達成できる見込みである。

<課題>

なし。

研究開発項目 4 : 多様性や実用化に応じた排出・暴露評価

<最終目標>

多様な CNF やその用途に対して排出・暴露評価を行い（CNF の種類×プロセスの種類 = 30 以上）、結果を、安全性評価書にまとめ公開する。

<達成可能性>

模擬試験を進めると共に、現場調査や、実用化が進められている CNF 応用製品の排出・暴露評価を行うことで、最終目標は達成できる見込みである。

<課題>

コロナの影響で、現場調査を行いきにくい状況が続いている。

研究開発項目 5 : 生体安全性（動物実験）評価

<最終目標>

マウスへの CNF 粉じんの 90 日以上吸入暴露と終齢までの長期観察を行い、病理組織学的検査（肺）、気管支肺胞洗浄液（BALF）検査、細胞学検査により、肺への影響の評価結果を得る。マウスに CNF を経口摂取させたときのマウスの継代影響について、5 継代にわたる評価結果を得る。マーマセットに最大 4 年半にわたり CNF を経口摂取させたときの内臓や

血液等へ影響についての評価結果を得る。ラットによる CNF コンポジットからなる人工血管による血栓やそのまわりの炎症について、6 か月にわたる評価結果を得る。これらの結果を安全評価書としてまとめて公開する。

<達成可能性>

マウスとマーモセットによる生態安全性の動物実験の研究は順調に進捗していて、最終目標は達成できる見込みである。

<課題>

市場で使われている CNF についてできるだけ多くの種類について動物実験による安全性を評価したいが、CNF については提供いただけるサンプルの種類と量が限られているのに対して動物実験ではかなりの量の CNF が必要であり、独自に CNF を作製ができるようにしたい。企業などからの要望では人工血管に CNF を用いる用途は今のところなく、セラミック粒子と CNF の複合化による多孔質骨の体内安全性評価が切望されている。

(4) 知的財産などの確保に向けた取り組み

安全性評価は、広く共通基盤として使われることを目的としているため、基本的に知的財産権の確保は行わない方針である。

標準化・国際連携としては、ISO TC229(ナノテクノロジー) WG3(環境・健康・安全作業グループ)の国内審議委員及びエキスパート、OECD 工業ナノ材料作業部会(WPMN)のエキスパートとして活動し、関連する情報の収集及び事業の成果の発信を進めている。

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

1. 事業全体の取り組み及び見通し

1.1 本事業における「実用化・事業化」の考え方

「実用化」の考え方

研究開発項目①、②-1（助成事業）

本事業における実用化とは、当該研究開発に係る CNF 関連試作品、サービス等が、**CNF を製品や部材に使用するメーカーでの評価が完了して、製品としての価値のあることが確認されること。**

研究開発項目②-2（委託事業）

本事業における実用化とは、国内 CNF 関連事業者に対し、**製造あるいは製品の安全性情報の提供や関連する技術移転を行うこと。**

「事業化」の考え方

研究開発項目①、②-1（助成事業）

本事業における事業化とは、当該研究開発に係る CNF 関連商品、製品、サービス等の製造・販売・利用を通じて、**企業活動（売り上げ、企業価値の向上等）に貢献すること。**

研究開発項目②-2（委託事業）

本事業における事業化とは、国内 CNF 関連事業者に対し、**CNF の安全管理やより安全な製品の開発を支援し、CNF の開発と普及の促進を行うこと。**

1.2 事業全体の取り組み及び見通し

事業全体の取り組み及び見通しに関しては、コストなどどうしても非公開情報としての取り扱いとなるため、詳しくは非公開版の資料へ記載する。

2. テーマ毎の取り組み及び見通し

2.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」(助成事業)

2.1.1 テーマ 1「疎水化 TOCN(TEMPO 酸化セルロースナノファイバー)及び樹脂複合化の製造プロセス技術の開発」

(花王株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業では更なる市場展開を図るため、疎水化 TOCN 及び樹脂複合化の製造プロセス技術を確立する。それにより、更なる用途拡大が見込めると同時に、顧客にとっての適正なパフォーマンス/コストが実現できると考えている。

本事業で確立した疎水化 TOCN 複合樹脂の製造技術を主要差別化技術として、電子材料・モビリティ・構造材料分野を中心に製品展開を行う。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

下記に示すスケジュールにて、成果の実用化・事業化を実施していく予定である。

表IV-2.1.1-5 実用化・事業化に向けた具体的取組スケジュール

| | 2022年度 | | 2023年度 | | 2024年度 | | | 2025年度 | | 2026年度 | | 2027年度 | | 2028年度 | | 2029年度 | | 2030年度 | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----|---------------------------|----|--------|----|-------|---------------------|----|----------------------|----|------------|----|---------------------|----|--------|----|--------|----|
| | 1H | 2H | 1H | 2H | 1H | 2H | | 1H | 2H | 1H | 2H | 1H | 2H | 1H | 2H | 1H | 2H | 1H | 2H |
| ①TOCNのアミド化の最適条件検討 | 基礎技術確立 | | パイロット設備での実製造基本技術検証 | | | | 製品設計 | 商品設計 CFRP、構造用接着剤 | | 実用化検討 | | | | | | | | | |
| ②アミド化TOCNと樹脂の複合化検討 | 基礎技術確立 | | 各用途製品における複合化検討、用途選定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ③アミド化TOCNの製造プロセス検討 | 固液分離装置の発注・納品・工事 | | パイロット設備での実製造基本技術検証 | | | | 設備投資 | 実証設備の設計・投資 | | 着工 | | | | | | | | | |
| ④複合材料の評価検討 | 接着性・樹脂耐久性試験評価系構築 | | 実使用条件における物性の安定性・耐久性評価 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤⑥⑦アミド化TOCN、TOCN複合材料の構造解析及び機能発現機構解析 | 物性発現機構の解析 パイロット生産条件で調整した複合材料の構造解析 | | 製品の耐久性、安定性等の基本特性と構造の関係明確化 | | | | 生産・販売 | | | パイロット生産・販売 40 t/y | | 実設備 試運転 | | 実証生産・販売 1000 t/y | | | | | |
| 予算執行計画 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

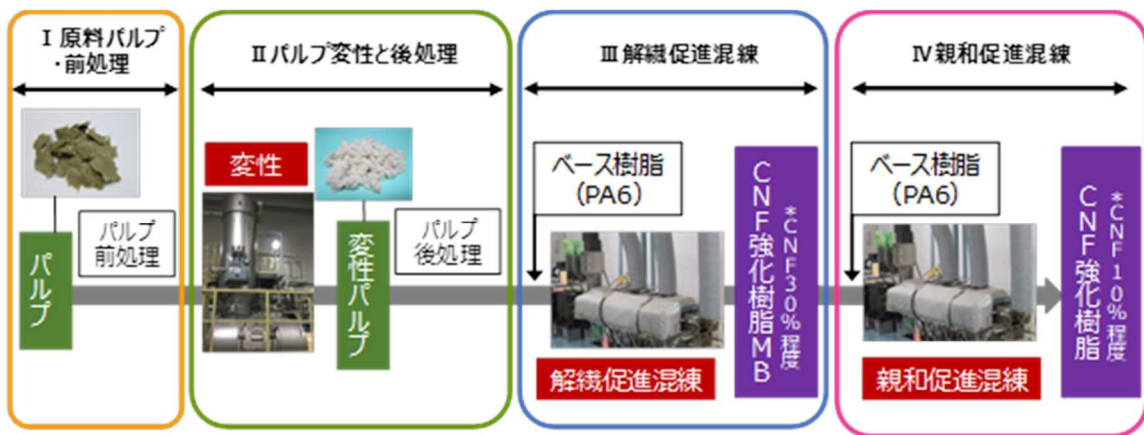
**2.1.2 テーマ 2「CNF/塩化ビニル系樹脂複合体の低コスト化技術の確立」
(大洋塩ビ株式会社、プラス・テク株式会社)**

2.1.3 テーマ3「CNF強化樹脂（PA6、PP）の低コスト製造プロセス技術の開発」（日本製紙株式会社、UBE 株式会社）

（1）成果の実用化・事業化に向けた戦略

成果の実用化・事業化には、目標レベルの物性品を安定的に低コストで生産することに加えて、将来的なさらなる物性向上と生産性アップによるコストダウンの可能性を示す必要がある。その達成のためには、原材料の選定や各製造工程の絶え間ないブラッシュアップが必要となる。よって樹脂毎に各パートの進捗や課題などを記載し、これを解決していくことを実用化・事業化に向けた戦略とする。

■ CNF強化樹脂（PA6）の低コスト製造プロセス技術の開発



図IV-2.1.3-7 CNF強化樹脂（PA6）の低コスト製造プロセス技術の開発

（I 原料パルプ・前処理工程の検討）

[現時点の進捗等]

- ・原料パルプの選定
 - 解繊度合と強度品質の関係性を確認
- ・前処理法の検討
 - 繊維の形状と強度品質の関係性を確認

[今後のポイント]

品質に有利となる原料パルプ材料や処理法の探索を継続し、ブラッシュアップを図る。

（II パルプ変性と後処理）

[現時点の進捗等]

- ・変性後処理法の検討
 - パルプ後処理工程の省工程化が可能であることを確認

[今後のポイント]

原材料の調整や混練機へ投入する方法を検討し、実証機レベルで省工程化を図る。

(Ⅲ 解織促進混練)

[現時点の進捗等]

・中型二軸混練機の導入

→ 従来機との比較で、CNF 10%/PA6の強度値120%、吐出量20～50倍を達成

[今後のポイント]

原材料の使用条件を調整し、強度品質の向上と、製造コスト圧縮の可能性を確認する

(Ⅳ 親和促進混練)

[現時点の進捗等]

・解織促進混練の影響確認

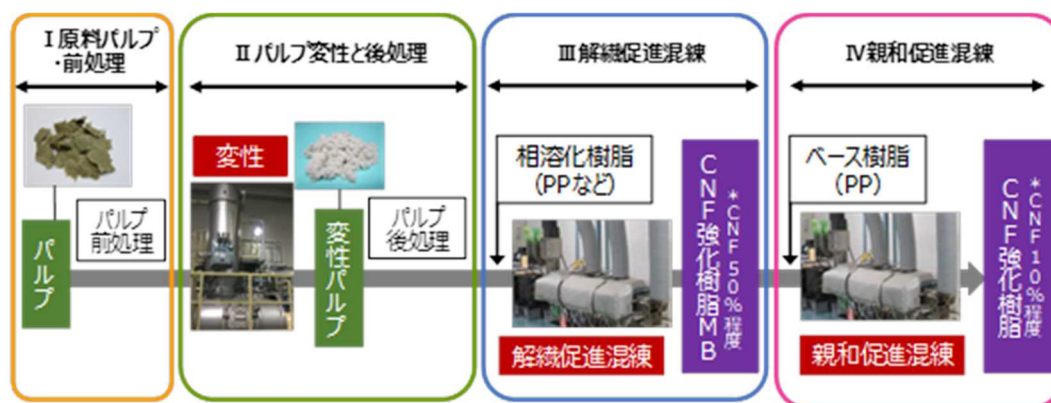
・CNF強化PA用各種材料検討

→ 解織促進する添加剤の探索を行い、強度物性・解織性が向上する添加剤を見出した。

[今後のポイント]

新規添加剤の調整法や添加法を検討し、実証機レベルでの効果発現を確認する。

◆ CNF強化樹脂（PP）用MBの低コスト製造プロセス技術の開発



図IV-2.1.3-8 CNF強化樹脂（PP）の低コスト製造プロセス技術の開発

(Ⅰ 原料パルプ・前処理工程の検討)

[現時点の進捗等]

・原料パルプの選定

→ 解織度合と強度品質の関係性を確認

・前処理法の検討

→ 繊維の形状と強度品質の関係性を確認

[今後のポイント]

品質に有利となる原料パルプ材料や処理法の探索を継続し、ブラッシュアップを図る。

※ P A 6 検討と同様の結果を確認

(Ⅱ パルプ変性と後処理)

[現時点の進捗等]

・変性法の検討

→ 独立した変性工程を省略できることを確認

[今後のポイント]

最適条件やその後処理法を検討し、実証機レベルで省工程化を図る。

(Ⅲ 解繊促進混練)

[現時点の進捗等]

・C N F 解繊混練技術の検討

→ 混練機の長軸化により多工程を混練工程に集約

[今後のポイント]

使用原材料や工程の運転条件を調整し、各種品質や製造のバランスがよい条件を見出す

(Ⅲ 解繊促進混練)

[現時点の進捗等]

・2021年度に導入した混練機にP P仕様を追加（2022年度）

→ 省工程化に対応

[今後のポイント]

実証機レベルで検討内容を検証し、サンプル製造を行う

(Ⅳ 親和促進混練)

[現時点の進捗等]

・ベース樹脂や相溶化樹脂、添加剤等の選定

→ 2021年度の目標物性を達成

[今後のポイント]

前工程で調整した原材料と組合せ、最終的な物性目標を達成する

(Ⅳ CNF 強化 PP の性能評価)

[現時点の進捗等]

・各種分析装置による分析を行い、CNF 強化樹脂の繊維形態や作用機序を調査

[今後のポイント]

強化樹脂部材のモデル化を行い、シミュレーションによる部材設計への可能性を探索

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

■ サンプルワーク先・協業先の実使用推進

- ・自動車や各種ビークル、住設機器・家電・化学メーカー・各種装置メーカー等にサンプルワークを実施して来たが、それぞれとのやりとりを加速させ、早期の採用を目指す。
- ・ 2021年度から開始している展示会出展効果もあり、新規の問い合わせも多数来ているので、サンプルワークを拡大し、早期事業化に向けた活動を加速化させる。

■ 展示会出展

サンプルワークの推進のため、自社への需要に限らず、NEDOや各自治体とも連携し、サンプルワーク網を拡大し、需要の喚起を促す。

【2021～2022上期実施】

- ・サステナブルマテリアル展 (2021年12月 8～10日)
- ・ナノテク展 (2021年 1月26～28日)
- ・サステナブルマテリアル展 (2022年 5月11～13日)
- ・ふじのくにCNFブランド認定
- ・ふじのくにCNFプラットフォーム勉強会

【今後の予定】

- ・BioJapan展 (2022年10月12日～14日)
- ・ふじのくにCNF総合展示会 (2022年11月8日)
- ・サステナブルマテリアル展 (2022年12月 7日～ 9日)
- ・nanotech展 (2023年 2月 1日～ 3日)

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

本PJ期間中に物性向上、生産性向上の検討を行いながらサンプルワークを実施し、低コスト製造方法の確立に目処を得た上で、PJ終了後の2024年度に事業化に関するGo or Notの判断を行う予定であるが、それまでにCNF強化樹脂を採用するユーザー現れることが、事業化Go判断の必須条件である。

2.1.4 テーマ 4「伝動ベルトをターゲットとした CNF 複合化クロロプレンゴムの低コスト製造技術開発」

(東ソー株式会社、バンドー化学株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

当社が製造している CR に CNF を複合化する。CR 製造工程で CNF と複合化することにより従来の混練では達成できなかった高分散化及び低コスト化が達成できる。特に伝動ベルト用途においては、省燃費及び軽量化等の環境性能の向上に寄与する製品創出が可能。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

既存の CR 生産設備を最大限利用し、設備投資費用を削減。更には製造条件最適化により、現行 CR に匹敵する生産速度での作り込み実施により、低コスト化を達成する。量産品は、伝動ベルトの社会実装に向け、ベルト性能評価により品質確認及び適用対象車両ごとのベルト構成を最適化する研究開発を行う。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

バンドー化学株式会社において、伝動ベルト用材料へ応用することで、従来技術に比べてエネルギー損失の大幅な低減を見込める開発が既に構築できており、CNF 複合化 CR が低コストで量産化され次第、市場展開できる状況にある。

2.1.5 テーマ 5「革新的 C N F 複合樹脂ペレットの製造プロセスの開発」

(大王製紙株式会社、芝浦機械株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

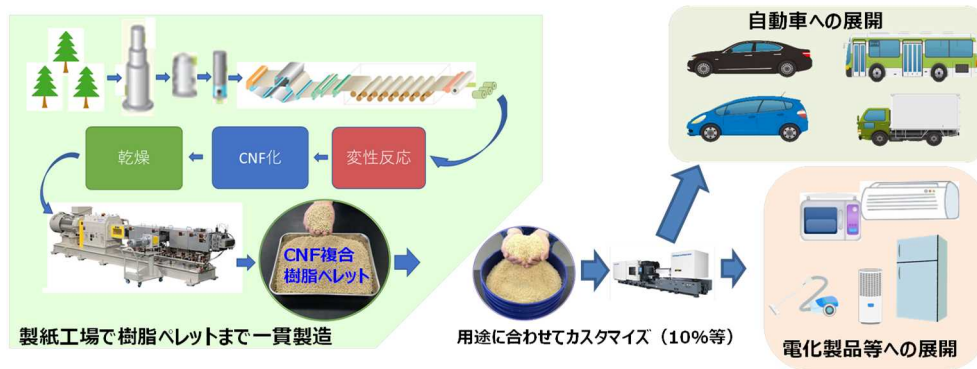
C N F は軽量・高強度・低線熱膨張・高粘性・透明性・ガスバリア性等、紙パルプにはないさまざまな特異的性質を有するため、自動車部材、家電筐体、建材、化粧品、塗料、食品、紙製品等への用途展開が提案されており、中でも軽量・高強度の特性を活かして、樹脂やゴム材料等と複合化し、自動車部材や家電筐体等の構造材料として活用が期待されている。

国内の紙需要は減少傾向にあり、特に印刷用紙・情報用紙は減産傾向が大きく、2008年は生産量1,150万トン/年に(当社シェア11.3%)あった生産量は、2013年はその25%減の860万トン/年(当社シェア12.5%)、2019年には35%減の751万トン/年(当社シェア13.0%)まで減少している。そのため、紙の原料となるパルプは余力が出ている状況である。製紙会社がC N Fの原料となるパルプを生産できることは、他の産業にはない優位点であり、当社もパルプ生産設備を有している。国内の2019年のパルプ生産量は784万トン/年(経済産業省生産動向統計)で、当社はその約16%に相当する124万トン/年を生産しており、衛生用紙分野では20~30%のシェアを獲得している。このような背景から紙パルプ業が一斉にC N F事業に参入した場合でも当社も相当のシェアを確保できると推論する。

C N F 複合樹脂の利活用において、ユーザーニーズである品質設計のバリエーション拡大や物流コスト低減等の観点から、複合樹脂中のC N Fの高濃度化が望まれている。単に高濃度化するのみでは生産性が大幅に低下するため、C N Fを高濃度に配合した複合樹脂が十分に供給できない。本研究開発により、ユーザーニーズに応える高濃度化したC N F複合樹脂の量産化技術を開発することにより、供給体制の確立を図る。

自動車用途では、軽量化による燃費向上を目的に、部材の軽量化が求められており、樹脂材料にフィラーを配合して強度物性を上げることで薄肉化し、部材を軽量化する開発が進められている。C N Fが有する軽量・高強度の特性を活かして、樹脂やゴム材料等と複合化し、自動車部材や家電筐体等の構造材料として活用が期待されている。従来のC N F複合樹脂では、C N Fの特徴を活かして樹脂を高強度化するための品質改善は各種検討されているが、社会実装するために必要である量産化のための検討は少ない。また、量産化検討が不十分であることから、コスト低減が難しく、C N F複合樹脂の実用化検討が進まない課題となっている。本研究開発によってC N F複合樹脂を安定供給できる体制を確立し、自動車業界のニーズに応えることが期待できる。

さらに、C N F複合樹脂の軽量・高強度の特性を活かして、家電筐体や日用品等の他の樹脂材料への用途展開が進むことが期待できる。



図IV-2. 1. 5-1 一貫製造プロセスと取組の全体像

自動車用途では、軽量化による燃費向上を目的に、部材の軽量化が求められており、樹脂材料にファイバーを配合して強度物性を上げることで薄肉化し、部材を軽量化する開発が進められている。CNFが有する軽量・高強度の特性を活かして、樹脂やゴム材料等と複合化することで、自動車部材や家電筐体等の構造材料として活用が期待されている。CNF複合樹脂は未だ多くの課題を抱えており、CNF自体が高価であることに加え、複数の工程における製造コストにより費用対効果が著しく低く、一部の用途を除き実用化が進んでいない。弊社はCNFサプライヤーではないが長年培った混練技術を保有しており、農学と化学を機械工学の観点から融合することで、生産性の改善に貢献できると考えている。今回の大王製紙株式会社との共同研究開発によりバイオマス由来のCNFの社会実装を推進することで、SDGsに根差した炭素循環型社会の早期実現に貢献する。

大王製紙株式会社はパルプ製造で培った技術を元にCNFの利用促進と販売拡大を見出そうとしており、先駆けてオレフィン系CNFコンポジット製品展開に向けたCNFマスターバッチ製造技術を確立して自社のCNFに付加価値をつけて拡販を目指している。

芝浦機械株式会社としても、高品質で安定生産可能なCNFマスターバッチ製造に特化した二軸押出機を開発することにより、SDGsに根差したCNF混練技術開発と設備拡販が期待できる。

『芝浦機械』脱炭素に向けた商品戦略』に関するお知らせとして、下記を公表している。

(一部を抜粋)

当社は、『芝浦機械』脱炭素に向けた商品戦略』を策定いたしました。本戦略は、当社が2020年3月5日付で公表した「新生『芝浦機械』長期ビジョン 2030」で示した社会的課題の解決と企業価値向上の両立による持続的成長を目指すなか、脱炭素に向けてライフサイクルおよびサプライチェーンの全体を通じて取り組むべく策定したものです。

<脱炭素に向けた商品戦略>

装置と技術を掛け合わせて、あらゆる社会的課題の解決に貢献してきました。これまで自動車の軽量化を通じた環境負荷の低減への貢献、ストーンペーパーやセルロースナノファイバー等

の環境負荷が小さい新素材開発への貢献、EV の普及や蓄エネに欠かせないリチウムイオン電池向けセパレータフィルム量産への貢献、いずれも装置と技術を掛け合わせた成果であり、これからの取り組みを強化する。

上記の経営方針により、CNF 混練技術に特化した開発と設備販売を促進していく。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発により、ユーザーニーズに応える高濃度化したCNF 複合樹脂の量産化技術を開発する本研究開発の成果をふまえ、数年後に商用化設備の導入を計画している。その後も継続した生産能力を向上させ、相当量生産できると見込んでいる。大王製紙株式会社の三島工場は、世界最大級であり、原料パルプのコスト競争力は非常に高いコスト競争力があり、CNF 複合樹脂の増産と生産の効率化やコストダウンの取組を進め、2030年には10%配合した時の製造コストを目標以下にできると見込んでいる。

販売ルートは、当社からコンパウンドメーカーに樹脂を供給し、コンパウンドメーカーにて要求品質に合わせた品質設計（CNFの希釈、他の成分配合等）を行い、成形加工メーカーで所定の形状に加工され、エンドユーザーに供給する形を見込んでいる。用途としては、自動車部材、家電筐体、日用品等の構造材料を想定している。本研究開発におけるCNFの高濃度化は、コンパウンドメーカーにて品質設計の自由度が増えるメリットがあり、これを生かした、用途展開および販売ルートの開拓を、パイロットプラントで製造するサンプル提供を通して進める。場合によりエンドユーザーの要求に合わせて当社で品質設計し、直接供給する対応も進めていく。



図IV-2. 1. 5-2 研究および事業終了後の実用化・事業化のスケジュール

バイオマス由来原料で優れた機械的性質を持つことで注目されているCNFの利用促進に産官学が連携して取り組んでいる。先行研究ではCNFコンポジットの一貫製造プロセスとして

京都プロセスが存在しているが、パイロットレベルの生産規模でありコスト面や安定生産性などの問題から社会実装には至っていない。

特に市場規模の大きいオレフィン系材料に関してはラポレベルでは良好な成果が報告されているものの、化学処理、各種分散材やフィラーの添加などプロセスが複雑化し実用化量産設備への展開はできていない。

今回の大王製紙株式会社との共同開発で、パイロット機を導入した。連続生産運転条件の模索を行ない、機械仕様の最適化をさらに進める。両社で十分なテスト検証と結果のフィードバックを重ねることにより、原料面、装置面でのC N F 複合樹脂製造工程の全体最適化が図れると考えられる。

他の大手C N F 製造メーカーも産官学連携にてC N F と樹脂のコンポジット化技術開発を行っていると考えられる。今回のプロジェクトでは、C N F 製造メーカーである大王製紙株式会社と二軸押出機メーカーである芝浦機械会社が共同でC N F 原料と混練設備の両面から融合技術確立を目指すことに加え、実生産機レベルのパイロット機にてサンプル量産試作の実機検証を行う。また、協力先である最終需要家にて試作したサンプルによる製品性能・品質評価をフィードバックいただく予定であり、より実用性の高いC N F 複合樹脂の開発につながれると考えられる。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

本製造プロセスではパルプ解繊、樹脂混練等で多くの電力・蒸気が必要となるが、パルプ工場に隣接してC N F 化プラントおよび樹脂複合化プラントを設置することで、原料のパルプだけでなく、パルプ工場で使用する電力・蒸気を転用することができ、安価な原料、エネルギーでC N F 複合樹脂を製造することができる。特に、大王製紙株式会社の三島工場は、世界最大級の紙パルプ製造工場であり、国内最大規模のパルプ製造能力を誇ることから、原料パルプのコスト競争力は非常に高い。また、パルプ製造工程で発生するリグニン等の副産物をサーマルリサイクルして電力・蒸気を産み出し、工場内自家発電でエネルギーを賄っており、エネルギー競争力にも長けた工場であるため、他の拠点と比較してコスト競争力があると考えられる。

また、C N F を本格的に普及させるには、2030年度末で500円/kg - C N F 以下まで低減する必要があるが、大王製紙株式会社は、省エネルギー型ナノセルロースの製造プロセスの開発を終え、すでにその目処をつけている。

従来のC N F 複合樹脂では、C N F の特徴を活かして樹脂を高強度化するための品質改善は各種検討されているが、社会実装するために必要な量産化のための検討は少なく、不十分であるためコスト低減が難しく、C N F 複合樹脂の実用化検討が進まない課題となっている。また、C N F 複合樹脂の製造では、押出機内での十分な混練が必要で、それによる生産性の低下や着色・臭いが発生する課題がある。パルプを樹脂と一緒に二軸押出機に投入し、混練中にパルプを解繊してC N F 複合樹脂を製造する「京都プロセス」にも同じ課題があると言われており、実用化の大きな課題となっている。本技術開発では、紙の製造プロセスを活

用した安価な薬液を用いた変性CNFの量産化と、大王製紙株式会社と芝浦機械株式会社が共同で二軸押出機の最適化を行うことにより、着色・臭いの問題を改善するとともに、CNFを50%以上配合するCNF複合樹脂ペレットを、CNF10%配合時のCNF複合樹脂の製造コストが目標以下で供給できる、原料からCNF複合樹脂までの一貫製造プロセスを確立する。この一貫製造プロセスにより、CNF複合樹脂の製造コストを大幅に低減できると見込んでいる。

本技術研究で開発する一貫製造プロセスの生産性の目標は達成できており、従来の5倍程度の生産性を達成できる見込みである。さらに、バイオ素材配合90%以上を目指し、本研究で開発した変性CNFとバイオマス樹脂を組み合わせた複合材料の検討も可能である。

CNFが有する軽量・高強度の特性を活かして、既存の樹脂をCNF複合樹脂で置き換えることで、従来の部材を薄肉化し、軽量化する。CNF配合率は、補強効果の発現が期待できる10%を想定している。^{※1}置き換えを行う樹脂としては、特に数量の大きい、PP、PEを想定している。生産量（年産）は、PP 2,440千トン、PE 2,284千トン、計4,724千トン^{※2}であり、そのうち約40%程度の約1,850千トンが射出成形、中空成形用途と推定される。その中の約40%がCNF複合樹脂により置き換わることを想定すると、CNF複合樹脂の使用量は約740千トンとなる。

※1 平成25年度製造基盤技術実態調査（三菱テクニサーチ）より抜粋

※2 出典：日本プラスチック工業連盟 統計資料より（2019年1月～12月）

今回の開発により、原料からCNF複合樹脂ペレットまでを一貫生産することで、課題となっている生産性を改善し、大幅に製造コストを削減することで展開ができると見込んでいる。

CNF複合樹脂により期待されるCO₂削減効果は、既存のPPとの置換え時、強度向上による使用材料の削減に加え、自動車においては軽量化に伴う燃費向上が期待できることから、相当数量のCO₂削減効果が見込めると考えている。また、安全性の調査については、本技術開発で使用する変性CNFの評価を進めた。調査項目は、作業者の安全面を優先してアレルギー反応に関する安全性試験を中心に、ヒトパッチテスト、皮膚一次刺激性試験、眼粘膜刺激性試験、累積刺激および感作試験（RIPT）、変異原性試験（Ames試験）を行い、いずれも問題ないことを確認した。更に2022年度は、急性水生有害危険性についての評価を進めており、関係機関からのアドバイス求めることも含め、引続き必要な安全性に関わる試験を進めていく予定である。

なお、当社も参画したNEDOのCNF安全性の検討「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発／CNF安全性評価手法の開発（2017～2019年度）」にも記載があるように、CNF製造現場の気中濃度を確認することは、安全性上重要なポイントとなる。先の作業環境測定において、精密なCNF濃度を測定することも重要であるが、簡易的に粉塵測定器機において、その兆候を把握できることを知見として得ており、本パイロット設備の運転環境においても、今後、測定評価を行う予定である。

再利用の面において、家電リサイクル法等の法整備が進み、自動車、電化製品等ともに、回収システムがあるものの、プラスチックはP PやP E、P S等を組み合わせて使用することもあるため、素材ごとの分別が難しく、金属類とは違いリサイクルが進んでいない。

当社グループのダイオーエンジニアリング(株)では、回収された混合プラスチックをP P、P E、P S等の種類ごとに分別できる選別機を開発し販売している。この選別機を用いて分別したP P等のプラスチックに、本技術研究で開発したC N F 複合樹脂を配合すれば、リサイクルによって低下した物性が改善でき、再び自動車等への部品に再利用することができる可能性がある。

また、本技術研究の結果でも示した通り、C N F 複合樹脂は、着色する傾向はあるものの、5 回リサイクルしても強度低下がない結果が得られている。電化製品等はリサイクル法に基づいて生産メーカーに回収されることから、C N F 複合樹脂が採用されることにより、回収したプラスチック部品を選別機でC N F 複合樹脂の部分に分別することができ、そのまま再利用できる可能性があると考えている。既に、当選別機でセルロース濃度による選別が可能である知見は得られており、大王製紙グループ内で協働し、本技術研究で開発するC N F 複合樹脂と選別機を組み合わせたプラスチックリサイクルシステムについても開発・検討を進めていく予定である。

パイロット機で獲得した技術を基に量産設備を設計・製造・販売を展開し、納入後に生ずるサービス業務からのフィードバックや、随時発生する課題を確実に解決しながら新台の仕様に反映させる。継続的な最終製品の品質改善、市場の動向（変化）や要望をフィードバックすることで、大王製紙株式会社が継続して弊社設備を導入して頂くようにフォローしていく。

また、付帯設備や調達品の繰り返し手配によるコスト低減効果（開発費の償却以降）を確実に収益確保につなげる。

大王製紙株式会社のC N F 複合樹脂生産計画に基づき、混練および造粒工程を担う二軸押出機とペレタイザの販売を計画する。混練造粒設備 1 系列当たりの押出質量を250kg/hと想定し、設備の標準的な稼働時間である年間 8000 時間生産で換算した。

C N F 複合樹脂の販売先では、P P等で希釈して射出成形に使用することになる。熔融混練するためには二軸押出機が必要であり、その分野でも販売先の開拓に努める。

2.1.6 テーマ 6「高性能、高生産性セルロースナノファイバー複合材料の革新的製造プロセスの開発」

(星光PMC株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

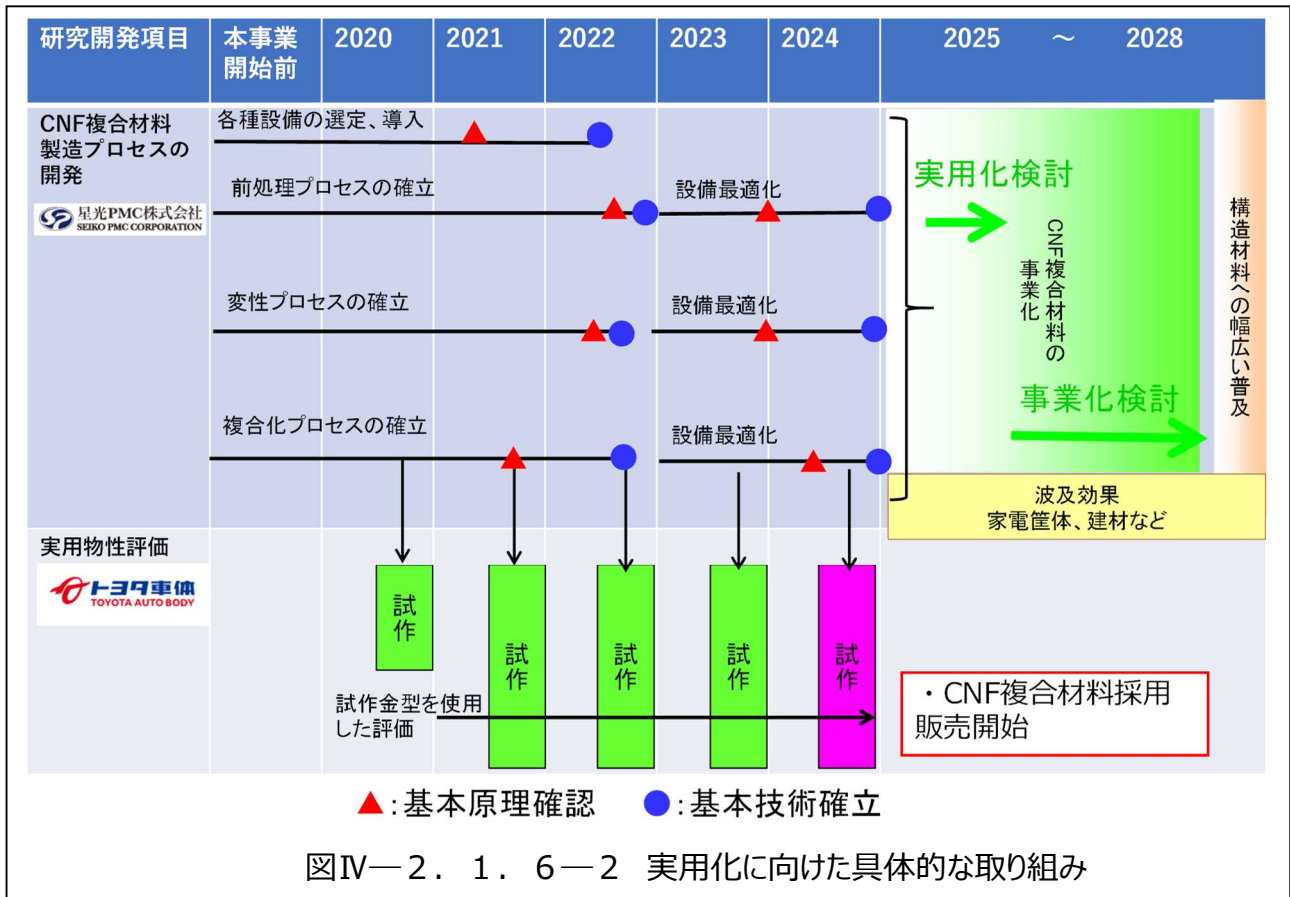
本事業では、トヨタ車体が共同研究先として参画している。トヨタ車体株式会社はトヨタ自動車株式会社ブランドの車両を製造するメーカーで、自動車、および自動車部材全般について高度な知見を有している。また、トヨタ車体では木粉とPPからなる複合材料の研究開発を盛んに行っており、2015年には自動車部材の一つであるワイヤーハーネスプロテクターに木粉/PP複合材料を採用、実用化した実績を持つ。植物由来材料を自動車に搭載した実績を有し、かつ、自動車部材に求められる性能を熟知しているトヨタ車体と本事業において連携することで、CNF複合材料の早期実用化を目指す(図IV-2.1.6-1)。



図IV-2.1.6-1 本事業における体制と連携のイメージ

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

図IV—2. 1. 6—2にCNF実用化への具体的な取り組みスケジュールを示す。まずは2022年度末までに設備を導入、製造プロセスの基本技術を確認する。星光PMCでの製造プロセスの最適化検討とトヨタ車体での自動車部品試作を繰り返し、2025年の実用化を目指す。



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

本事業開始前のサンプルワークにおいて、多くの構造材料メーカーからサンプル要望をいただいております。市場の期待は高いと感じています。前述の自動車部品への実用化を皮切りに、他の構造材料への展開も図ってまいります。

2.1.7 テーマ7「ウォータージェット技術を用いた革新的 CNF 製造プロセス技術の開発および乾燥技術の開発」

(株式会社スギノマシン)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 当社は CNF に代表されるバイオマスナノファイバーを「BiNFfi-s」の商品名で 10 年以上に渡ってビジネスを展開している。また、市場開発グループという市場調査専任部署も有している。その経験とネットワークを活かし、CNF に求められている機能、価格帯などのノウハウを有している。それらのノウハウを活かし、CNF 市場拡大を実施していく。具体的な戦略は下記の通りである。
- ・ 当社はビジョン（目指す姿）を「グローバルニッチリーダー」と定めている。これは当社にしかできない技術を基に、世の中に必要とされるものを日本の地方から世界にかけて発信し、その結果、当社が必要とされる特定のニッチ分野において、グローバル No.1 を目指すことを意味している。CNF ビジネスにおいても、この「グローバルニッチリーダー」の理念から外れることはない。つまり、CNF 製造他社である大手製紙メーカーや化学メーカーでは手が届かないところ（ニッチな分野）を中心にビジネスを進めていく。
- ・ CNF の繊維長の違いにより得られる物性が異なることは周知の事実である。当社のみ繊維長違いの CNF を商品化している。また、本研究開発によって更に繊維長が長い A 由来 CNF もラインアップすることができた。このメリットを活かし、種々の用途に対して、適した CNF を提案する。
- ・ 高濃度化に成功したため、CNF を水分散液の状態で水系の対象物に添加できる CNF の絶対量が向上した。今まで、添加量が不足していた用途に対して高濃度 CNF 水分散液を提案する。
- ・ CNF 乾燥粉末については、高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末と低コスト用途向け CNF 乾燥粉末の 2 種類を適した用途に合わせて提案していく。優先順位としては、高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末である。低コスト化が進んでいるが、未だにガラス繊維や無機粒子（シリカや炭酸カルシウム、タルクなど）に比べると遥かに高額であり、単なる補強材として使用するにはまだまだ価格競争力が低い。そのため、「CNF だからこそ出せる特性」を有している高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末の開発、実用化・事業化を先に実施し、CNF の市場を確保することが重要である。その間に、低コスト用途向け CNF 乾燥粉末の開発も進め、より低コスト化することで、将来的により汎用的な用途に CNF の市場を拡大していく戦略である。
- ・ 一番の効果は、低コスト化が進んだことである。CNF によって高機能な製品を開発可能な顧客の中に、価格がネックで開発をストップしている顧客が存在する。そこには、価格も含めて再度提案を行う。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ CNF 水分散液の大口用途としては、天然ゴムラテックスの添加剤、塗料や研磨剤の分散剤（レオロジー調整剤）、スピーカー用コーン紙などの機能紙、CNF 成形体原料などを期待している。既にいずれの用途でも有望顧客と連携を始めており、今後実用化に向けて、研究開発スピードを加速させる。また、同様な用途へ横展開を広げ、更なる実用化件数増加を図る。
- ・ 高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末の大口用途としては、CFRP 添加用途やスポーツ用品などを期待している。こちらも多くは既に有望顧客と連携を始めており、今後実用化に向けて、研究開発スピードを加速させる。また、同様な用途へ横展開を広げ、更なる実用化件数増加を図る。
- ・ 高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末については、PP/PA6 のポリマーアロイの系では、自動車部材への展開も期待できる。
- ・ 低コスト化用途向け CNF 乾燥粉末の大口用途としては、自動車部材に期待している。しかしながら、物性面のハードルも然ることながら、物性をクリアしても安全性を考慮するため、長期間に渡るテストが予想されることから、実用化・事業化のタイミングは遅いと想定している。
- ・ 本研究開発によって、設備増強も実施できた。そのため、CNF 水分散液としては約 450 t/年の生産量を確保できる見通しである。2030 年以降には、さらに設備投資が必要と考えられる。その際も当社はウォータージェット技術による CNF 製造装置のメーカーでもあるため、設備増設は容易に短期間で実施できるのも大きなメリットである。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 2025 年度の売上として、CNF 水分散液としては 4 億円、高付加価値用途向け CNF 乾燥粉末としては、3 千万円、低コスト用途向け CNF 乾燥粉末としては、1 千万円を見込んでいる。
- ・ 販売量の増加の見通しだが、現在の BiNF_i-s 顧客に加え、コストがハードルで採用に至っていない業種の取り込みを予想している。用途別数量は各種業界の顧客からの情報を基にして算出している。
- ・ 当社は、本研究開発の成果として、展示会等で大量購入時の価格を公開してきた。その反響から、他社 CNF 製造メーカーと比べても価格競争力は高いと予想される。そのため、市場を確保できる見通しである。

2.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」(委託事業、及び助成事業)

2.2.1 テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」(助成事業)

2.2.1.1 サブテーマ 1「CNF 技術を利用した住宅・非住宅用内装建材の開発」

(大建工業株式会社、利昌工業株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業の成果の実用化については、CNF 成形板を利昌工業で製造し、大建工業にて内装建材に加工販売を行う。



(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

① 実用化までのプロセス

| 年度 | 2022 | | | 2022(2023) | 2025 | 2026 | 2027 |
|------|--------------|-------------------|-------|-------------|-----------------|------|--------------|
| 月 | 4~6 | 7~9 | 10~12 | 1~3 | - | - | - |
| 全体 | 建材設計 材料準備 | 実大試作・評価 LCA評価 | | 事業性評価 総括 | 事業化判断 (継続可否) | 設備投資 | 量産開始 収益発生 |
| | | Bio Japan サスマ展 | | ナノテク展 | | | |
| 利昌工業 | 大判製造 | CNF基礎物性研究 | | 総括 | | | |
| 大建工業 | 材料評価 | 実大試作・評価 | | 総括 | | | |
| 展示会 | | Bio Japan サスマ展 | | ナノテク展 | | | |

図IV-2.2.1.1-2 実用化に向けた計画

予想される重大な障害

製品設計段階：C N F 基材をはじめとする建材製品製造コストの高額化、建材製品の品質担保、代替材料の出現など外部環境の変化

設備投資段階：C N F 基材生産性（建材生産に必要な数量の確保）

② 波及効果（人材育成）

表IV-2.2.1.1-1 CNF 活用人材の育成状況

| | 事業開始前 | 現在 (2022年4月現在) | 事業終了後の予定 |
|--------------------|-------|-------------------|----------|
| 若手（40歳以下） | 4 | 7 | 7 |
| 40歳以下のうち、 女性研究者 | 1 | 2 | 2 |
| 41歳以上 | 1 | 8 | 8 |
| 41歳以上のうち、 女性研究者 | 0 | 0 | 0 |

③ 波及効果（LCA）

表IV-2.2.1.1-2 実用化によるLCA効果

| 材料名 | | CNF (事業開始前) | | CNF (22年度終了時見込) | | MDF 既存（比較）材料 | |
|----------------|--------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| | | 原単位（CO2） 単位：kg/kg | 比率 | 原単位（CO2） 単位：kg/kg | 比率 | 原単位 （CO2） 単位：kg/kg | 比率 |
| | | CNF製板材 | | CNF製板材 | | MDF | |
| CNF 成形体 | パルプ 直接費 | 1.3 | 6.5% | 1.3 | 25.8% | - | 0 |
| | 原料輸送 の間接費 | 0.6 | 3.0% | 0.6 | 11.9% | - | 0 |
| 解繊 | | 15 | 74.9% | 0 | 0.0% | - | 0 |
| 脱水 | | 0.97 | 4.8% | 0.97 | 19.2% | - | 0 |
| 成形 | | 0.43 | 2.1% | 0.43 | 8.5% | - | 0 |
| 製板 (含浸後の成形) | | 1.74 | 8.7% | 1.74 | 34.6% | 0.50 | 1 |
| 合計 | | 20.0 | 100% | 5.0 | 100% | 0.5 | 100% |

※CNFの事業開始前後のLCAについては原料検討により解繊処理が不要となった場合を想定して算出した。

※比較対象のMDFは弊社製品の原料調達・生産・流通時の温室効果ガス排出量を算出したものを用いた。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

① ドア材

ラボレベルでの試作検証にて強度面での要求品質を満足することを確認済み。住宅用木質ドアと比較して軽量化については現状レベルで優位性なし、また非住宅市場では鋼板ドアと比較して軽量化の優位性はあるが、不燃性能、高強度については優位性が見出せていないため、優先順位を下げる。

② 床材

ラボレベルでの試作検証にて要求品質確認済み。非住宅用床材として、木質系フロアに対して強度、耐久性など優位性を見出した。実大試作における品質安定化が課題であり、実大量産試作により課題解決に向けた検討を推進する。

2.2.1.2 サブテーマ2 「自動車部品実装に向けた CNF 複合材料開発、成形・加工技術開発」

(ダイキョーニシカワ株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

自動車業界では車両重量▲10%軽量化を目指した環境省主導の NCV (Nano Cellulose Vehicle) プロジェクトの発足も含め、自動車部品への適用検討が加速している。2030 年の国内 CNF 市場は、出荷ベースで、出荷数量 5 万 (t/年)、出荷金額 600 億 (円) まで拡大するとの予測もある。CNF 技術の確立及び社会実装を他社に先行して実現する為、これまでに培った内製複合材料設計技術、コンパウンド技術、成形技術 (事例: エンジン部品の樹脂化→オイルストレーナー/インテークマニホールド、ボディ部品の樹脂化→フェンダー/バックドア) を基に、部品や自動車としての性能評価を実施し、自動車部品へ展開する上での課題解決、早期実装と採用拡大を実現させる。目標物性、製品スペックの難易度毎に、内装部品、外装部品などと開発ステップを設定し、順次、従来材から CNF 複合材への材料置換を展開していく。

主たる取引先であるマツダ・ダイハツ工業を筆頭に、国内全自動車メーカー (トヨタ、日産、ホンダ) 各社への提案を行う。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

エンジン部品やボディの樹脂化開発にて、内製材料設計、コンパウンド装置、成形技術開発を手掛けてきた実績があり、CNF の材料・コンパウンド・成形技術に関して開発/課題解決の為の体制、ノウハウ、開発設備等を保有している。また、CNF 材料及びコンパウンド装置メーカーとの共創開発を実施しており、社外との連携体制も構築している。

CNF 複合樹脂材を自動車部品へ適用する為、内外装、樹脂ボディなど幅広く用途検討を行い、基礎開発から各 OEM 様における SPEC 評価を実施し、量産化における課題に取り組む。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

カーボンニュートラル (温室効果ガス排出量: 実質ゼロ) の潮流の中で、電気自動車・燃料電池自動車の開発、自動車部品の軽量化が加速している。CNF は軽量化のみならず、サステナブル性 (植物由来の素材である事、間伐材の活用など) やリサイクル性 (リサイクルにより物性低下し難い) などが注目され、自動車メーカーからは CNF の部品展開についてニーズが高まっている。

2.2.1.3 サブテーマ 3「革新的ガス吸着再生 CNF 複合フィルタを用いたデシカントフィルタシステムの開発」

(進和テック株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

企業化にあたっては、CNF の製造コストが最大の制約となる。車載用デシカントフィルタの商流としては、CNF 及び各種基材を進和テックが購入して自社にてフィルタエレメントの製作、加工を行い、デシカントフィルタシステムに組み込む形で納入することを想定しているが、現時点でコスト的にネックとなりうる CNF グラインダー工程について、より最適化・省略化ができないか産総研・東工大と今後も討議検討していく。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

販売開始後の 5 年間は取引実績がある某自動車メーカーの電気自動車をメインとして、開発品のデシカントフィルタを納入していく。販売開始初年度は試験的な納入からスタートすると見ているが、実績を積み重ねて販売数の増加を目指す。当該フィルタ 1 ユニット当たりでおよそ 30g の CNF 使用を想定しており、現時点での CNF 素材の生産能力想定量が 1t/年であることから、販売開始 3 年後にその 1t をすべて製品化できる販売数を設定した。

販売開始 4 年目以降で当社関連会社での生産ライン構築・生産委託および CNF 素材を供給できるメーカーの確保、もしくは当社内での CNF 加工・生産方法の検討を行い、販売開始 5 年目において 2024 年度の 2 倍以上の製品販売を目指すとともに、生産コストの削減を行い収益の向上を目指す。

表IV-2.2.1.3-5 企業化スケジュール

| 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 2024 年度 | 2025 年度 | 2026 年度 |
|------|---------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 生産計画 | 自社内での生産ラインの確立 | 自社内での生産開始 0.35 万台分生産 ◇続行/中断を判断 | 生産設備の増強 3.5 万台分生産 | 関連会社での生産設備導入及び CNF 供給量確保 5 万台分生産 | 関連会社への生産委託開始 7.5 万台分生産 |
| 販売計画 | | 試作販売開始 | 商品化(収益発生) | | コストダウン検討 |
| 応用展開 | | | 自動車以外の分野検討(貯蔵庫、輸送機他) | | |

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

現在、進和テックと某自動車メーカーと共同で基礎研究に取り組んでおり、仮に量産化が実現した場合は 2024 年度において年間 3.5 万台、関連機種すべてに派生した場合は年間 400 万台に対して、開発品であるデシカントフィルタの販売が見込める。

また、本開発品の技術を応用し、密閉空間内で湿度管理が必要となる飛行機内や船舶内、美術館や博物館などの収蔵庫、紙類や薬品などの保管庫での利用展開も目指す。





2.2.1.4 サブテーマ 4「炭素循環社会に貢献するセルローズエコマテリアル開発および適用検証」 (パナソニックホールディングス株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

環境面での親和性が高い室内空間家電を皮切りに、

社内で適用を広げ、幅広く実用化を図っていく。

展開のイメージを図IV-2.2.1.4-1に示す。

| 事業化対象 | 事業化見込み | 訴求点 | 事業化への戦略 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| スティッククリーナー  | パナソニック /事業化済 | 軽量高強度 | — |
| リユースカップ  | 飲料メーカー /事業化済 | エコ性 木質感意匠 香り・泡立ち | — |
| 本取組実施後 | | | |
| 天井扇  | パナソニック | エコ性 木質感意匠 軽量高強度 | 完全バイオ化のエコ性訴求と、軽量高強度の両立により、商品価値を向上し、高級品木質意匠製品の置き換えを図る。 |
| 空気清浄機  | パナソニック | エコ性 木質感意匠 香り | エコ性と、素材特有の香りにより商品価値を向上し、木質意匠製品の置き換えを図る。 |
| エアコン | パナソニック | エコ性、木質感 | 開発素材の横展開。 |
| 美容家電(電動歯ブラシ、他) | パナソニック | エコ性、木質感 | 開発素材の横展開。 |
| 住宅建材(キッチン、洗面台、他) | パナソニック | エコ性、木質感 | 開発素材の社内横展開および、社外への部品/材料供給。 |
| 車載部品(コンソール、他) | 自動車メーカー | エコ性、木質感 軽量高強度 | 開発素材を用いた車載機器の自動車メーカーへの供給。 |

図IV-2.2.1.4-1 実用化・事業化に向けた戦略

これまでにすでに実用化しているスティッククリーナーやリユースカップについては、

今後も販売数量の拡大と、適用品種の拡大を進めていく。

材料の販売量、生産量が増えることで、コストダウンが見込め、より活用を広げることを目指す。

現状、材料コストが汎用樹脂に対してはかなり高額なため、

エコ性と意匠性を付加価値として認められる製品への展開が最も近いと考えている。

本事業で開発したバイオ度向上によるエコ性訴求により、

天井扇をはじめとした室内空間家電への適用を目論んでいる。





加えて、同様にエコ性訴求が有効な美容家電やキッチン家電への適用拡大を目指す。

適用拡大により材料コストダウンを進め、

さらに市場の大きい住宅建材や車載部品への本格導入が実現できると考える。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

以下の計画で実用化・事業化を進める。

| | ～2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 平成2023年度～2030年度 | |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| (既発売品) |  | 販売拡大／品種拡大 ★材料コストダウン | | | | |
| 天井扇ブレード パナソニック(株) |  | 試作検証 | 製品評価 | 耐久性向上 | ★'23事業化可否判断 <判断基準> ・製品評価基準達成 ・原価見極め ★'24発売 量産化 生産・販売 | |
| 車載内装部品 カーメーカー ↑ パナソニックオートモー ティブシステムズ(株) |  | 試作検証・製品評価 | | | 物性向上 | ★事業化可否判断 ★'25以降発売 量産化 生産・販売 |
| 家電部品 パナソニック(株) |  | 試作検証・製品評価 | | | 物性向上 | ★事業化可否判断 ★'25以降発売 量産化 生産・販売 |

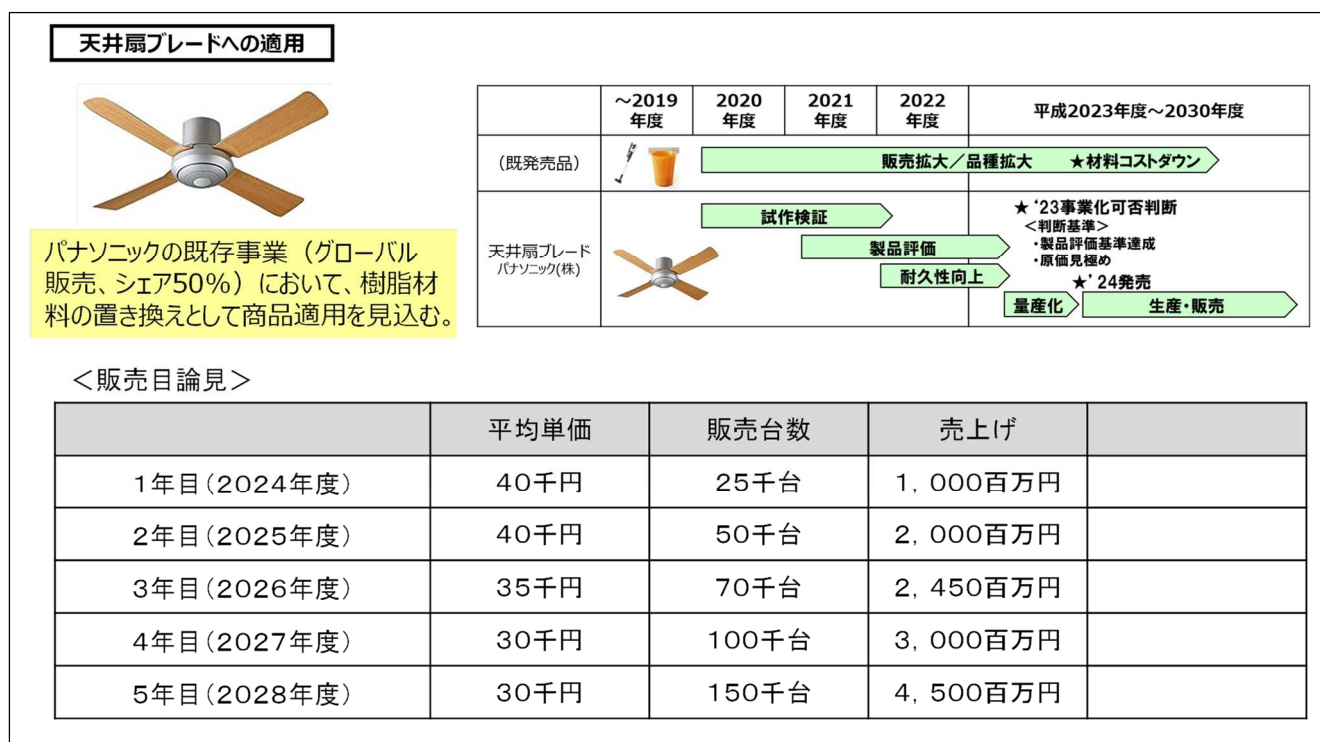
図IV-2.2.1.4-2 実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業で適用ターゲットとしている天井扇ブレードにおいては、
実製品形状での試作検証と製品評価を進めている。
製品評価において、一部の耐久性評価（耐候性）に課題があることが分かっており、
今後対策材料の開発、製品評価を進める。
一方で、強度面の物性、耐久性（クリープ性など）は基準を達成している。
事業終了後となる見込みであるが、
生産・販売を行っている事業部において事業化判断を実施する。
ここまで上記の耐久性課題を解決し、製品としての評価基準をすべて達成する。
加えて、製品としての原価見極めも判断基準となるため、事業部と連携して検討を行う。
付加価値向上（製品価格 UP）として、エコ性向上と、その消費者訴求ストーリー構築を行う。
材料価格差を吸収する手段として、現行で塗装やフィルム加飾を行っている高級機種に対し、
高意匠性の成形を実現することで、後加飾レスを実現する。
既発売品の販売拡大、品種拡大による量産効果と、
材料製造の高速化による加工費削減により、材料コストを低減し、
事業化判断可能な原価を達成する。

同様のアプローチで家電部品や車載内装部品、住宅建材での事業化検討を進めている。
 想定される課題として、耐候性以外に耐衝撃性、難燃性、耐湿性などがある。
 これらの課題に関しては、実際に製品評価を行い、課題レベルを把握していき、
 必要な物性を確保する材料開発を行っていく。
 また、事業部と連携し製品設計における検討により、材料を使いこなす検討も行っていく。

成果の実用化・事業化の見通し

以下の実用化・事業化の見通しを持っている。
 現状の自社販売のうち、初期は中級～高級機に展開。同等価格、同等販売数を目論む。
 その後、環境性の優位性からシェア拡大しつつ、
 自社の適用機種範囲を低価格機種まで拡大し、平均単価は下がるものの、
 販売台数を拡大し、売上、利益を拡大する。



図IV-2.2.1.4-3 実用化・事業化の見通し

※参考プレスリリース

- ◆70%高濃度セルロースファイバー成形材料を開発（2021年2月4日）

<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2021/02/jn210204-1/jn210204-1.html>

- ◆バイオマス度 90%以上のセルロースファイバー成形材料を開発（2022年3月18日）

<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2022/03/jn220318-2/jn220318-2.html>

- ◆高濃度セルロースファイバー成形材料『kinari』のサンプル販売開始（2021年12月1日）

<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2021/12/jn211201-2/jn211201-2.html>

- ◆三陽商会のサステナブルファッションブランド「ECOALF」との共同開発 高濃度セルロースファイバー "kinari"を使った釦とスピンドルストッパーを商品展開（2022年3月30日）

<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2022/03/jn220330-2/jn220330-2.html>

- ◆パナソニック プロダクションエンジニアリングとケーワールドismの共同開発 「ソーブディスペンサー」及び「ソーブディッシュ」発売（2022年4月19日）

<https://news.panasonic.com/jp/press/data/2022/04/jn220419-3/jn220419-3.html>

- ◆使い捨てプラスチックの削減に貢献 パンダが食べずに廃棄していた竹を活用した「パンダバンブータンブラー」を開発（2021年11月26日）

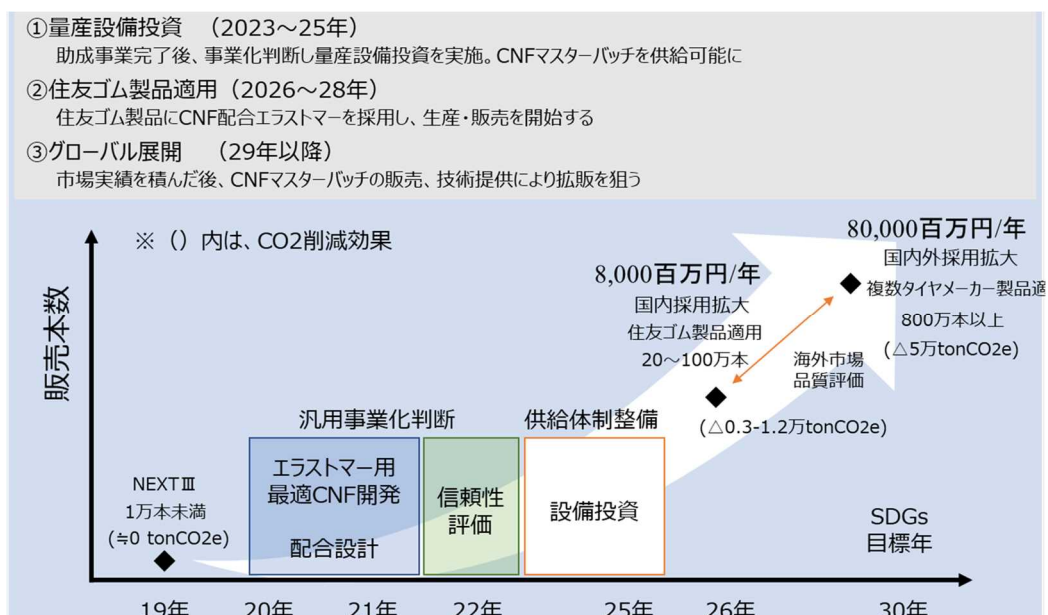
<https://news.panasonic.com/jp/topics/204477.html>

2.2.1.5 サブテーマ 5「CNF 配合エラストマーの製造プロセス低コスト化による製品実装技術開発」

(住友ゴム工業株式会社、日本製紙株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

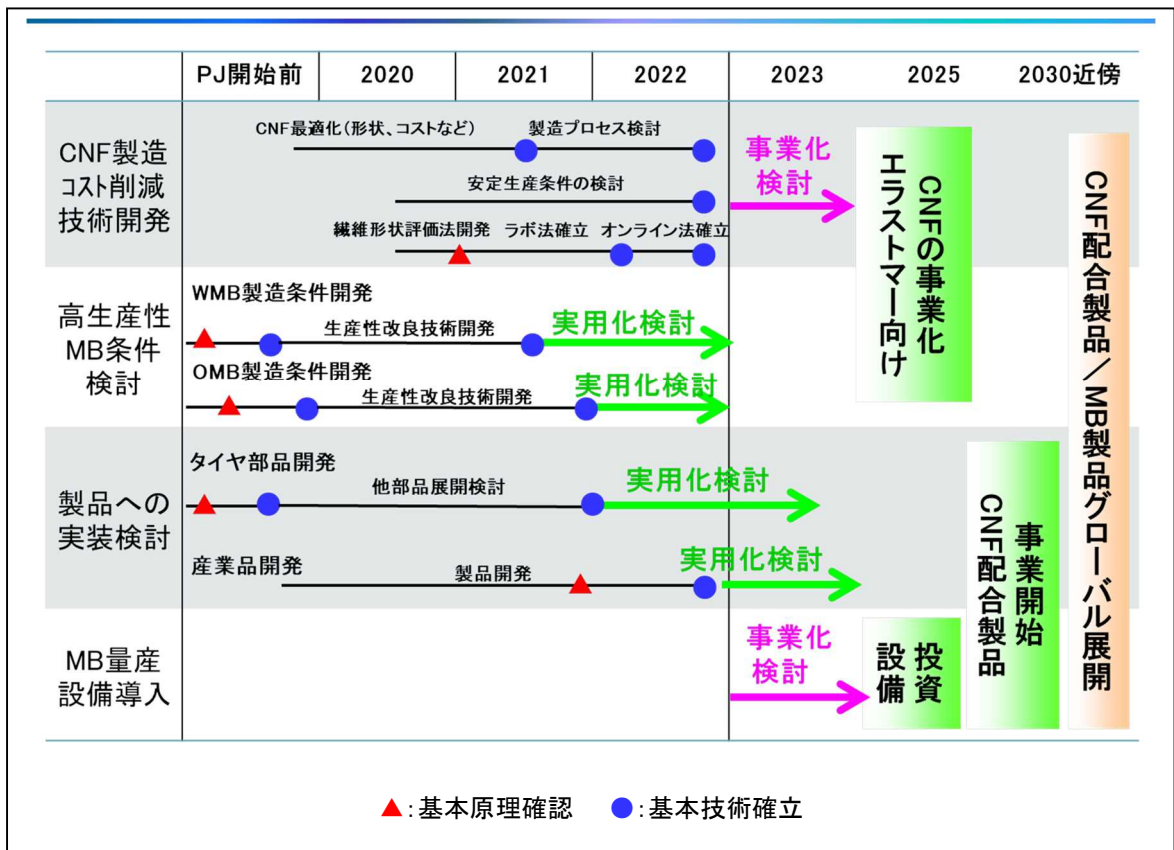
開発 CNF 及び MB を用い、本事業ないでモデル製品での市場品質評価を行う。市場品質、材料コスト、機能性の観点から、住友ゴムで事業化判断を行い、事業化判断となった場合は、MB 製造設備の投資を行う。MB の生産開始は設備導入後の早くて 25 年を想定しており、26 年に製造開始の住友ゴム製タイヤ製品に適用を開始する。初回生産は、製造の安定性市場実績が十分でないため、道路舗装率の高い日本国内製製品での限定採用とする。26 年以降は、CNF 配合エラストマー部品を増加させていき、28 年を目途に販売実績から海外製品への採用判断を行う。ニーズがあれば、MB 技術若しくは MB の販売を行い、市場拡大を進める。



図IV-2.2.1.5- 1 事業化戦略図

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化に向けては、MB 量産製造設備の導入が不可欠となる。設備導入判断のため、MB 製造設備仕様と生産場所の検討を 23 年に実施する。設備投資額と本事業での評価結果を踏まえ、最終の事業化判断を 23 年内に行う。事業化決定後は、必要に応じて日本製紙で CNF の量産能力の増強を進め、住友ゴムで MB 量産製造設備の導入を進める。



図IV-2.2.1.5- 2 事業化計画図

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

タイヤをはじめ、化成品業界では、化石資源材料から植物資源材料やリサイクル材料など、より製造過程でCO₂排出が少なく、長期的な安定調達が見込めるサステナビリティ材料への転換が始まっている。近い将来サステナビリティ材料を採用した製品の開発が激化する見込みである。タイヤに使用される既存材料の中で、製造過程でCO₂排出の少ないサステナビリティ材料は、NRとステアリン酸くらいしかなく、多くの材料を化石資源材料で調達している。補強材は、CBの使用割合が多く、CB代替となる低CO₂排出の材料の要求は業界内でも高い。

表IV-2.2.1.5- 1 一般的な乗用車タイヤにおける化石資源材料の構成比率

| | 構成比率 注1) | 代替技術 |
|--------------|-------------|-----------------|
| 合成ゴム | 42.7% | バイオナフサ由来合成ゴム |
| カーボンブラック(CB) | 32.9% | 再生CB*、植物油CB* |
| プロセスオイル | 7.6% | 植物油 |
| 有機ゴム薬 | 10.4% | 汎用化技術なし* |
| 有機繊維 | 10.4% | 再生PET、セルロース繊維など |

注1) 一般社団法人 日本自動車タイヤ協会、タイヤのLCCO2 算定ガイドライン Ver. 3.0 限定公開版, P9, 2021 (2021.8-16 参照)
https://www.jatma.or.jp/docs/environment_recycle/tire_calculation.pdf を参考

高強度部品には石油化学製品が使われており、現在代替となる候補材料がない。植物由来材料で高硬度化が可能な CNF は差別化技術になる可能性があり、業界で独占できる可能性があり、CNF 事業化への可能性は十分にある。

表IV-2.2.1.5- 2 開発技術の特性対比表

| | 材料強度 | 低燃費性 | 材料コスト | 市場供給量 | 製造時のGHG排出 |
|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| ソフトCB | ○ | ○ | ◎ | ◎ | × |
| ハードCB | ◎ | × | ○ | ◎ | × |
| 再生CB | △ | ○ | ◎ | ○ | ○ |
| 植物油CB | ◎ | × | × | × | ○ |
| CNF | ○～◎ | ◎ | × | × | ○注2) |

注2)再生エネルギー電力を使用した時の試算結果

2.2.1.6 サブテーマ 6「水性樹脂を用いた環境適合型 CNF 複合樹脂の製法開発と CFRP への適用」

(美津濃株式会社、第一工業製薬株式会社)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

スポーツ用品は、多くの CFRP 成型品や熱可塑樹脂の成型品の部品で組立てている。CNF を使用することで、静的強度や衝撃強度を高めることができれば、製造に多大なエネルギーがいるカーボン繊維や石油由来の樹脂の使用量を減らすことができる。また、CNF も分散液のまま水性樹脂と混合して使用してすることができれば、余分なエネルギーを使用することはなくなる。さらに熱可塑樹脂のエマルジョンを使用することができれば成型時のエネルギーを低減することができ、リサイクルも可能となる。そこで、CFRTP 成型品ではランニングシューズとウォーキングシューズの部品に使用することで軽量化および高弾性による反発性を高めた商品を開発し、販売提供を行う。さらに、子会社であるミズノテクニクス株式会社のカーボン事業とも連携し、CFRTP 部品における今後の成長分野である自動車、航空機産業への展開により、約 660 億円の市場創製を目指す。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

CNF を利用した TPU 樹脂の CFRTP 成型品ではランニングシューズとウォーキングシューズの部品に使用することで軽量化および高弾性による反発性を高めた付加価値の高い商品を開発し、販売提供する。2030 年に約 60 億円の市場創製を目指す。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

CNF 分散液に直接、TPU 樹脂エマルジョンを混合することで CNF 混合樹脂のシートを作製して利用できるため、コストが安くなる。また、TPU 樹脂エマルジョンで炭素繊維シートに含浸させることで CFRTP 成型品を作製することができる。成形時間が短い CFRTP 成型品で軽量化、高強度化を実現しスポーツ用品への用途拡大が可能となる。

2.2.1.7 サブテーマ7「CNFを使用したゴム製靴底及びゴムタイルの量産化技術の開発」 (株式会社ニチマンラバーテック)

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

【ゴム製靴底】

スピングルカンパニーのスニーカーは、20年前より「スピングルムーヴ」として、東京銀座など全国に直営店・FC店を15店舗展開しており、履物業界でのブランドが確立されている。

この「スピングルムーヴ」のブランドを利用して、靴底に独自の「ルベアソール」というブランドを付け、高付加価値のゴム靴底のブランドとして浸透させていく。また、靴底の補修に関しても、スピングルカンパニーのリペア（修理）部門のチャンネルを利用して、浸透させていく。

スピングルカンパニーの直営店でのお客様からのニーズ・動向を汲み取り、靴底の新規意匠パターン、靴底ゴムの機能性等、靴底のバリエーションを増やし、ラインナップを増やしていく。ルベアソールの市場への定着により、スピングルカンパニー以外の靴メーカー・修理店へのルベアソール単体での販路を開拓し、販売を増やしていく。

最終的に、靴底としてのブランド：ルベアソールとして確立し、靴底として販売できるように弊社の新しい事業の柱に育成していく。

当初事業として予定していなかったが、CNFゴム靴底のゴムコンパウンドを供給して欲しいという依頼が増えてきており、CNFゴム靴底のコンパウンドの供給の事業化も検討していく。

【ゴムタイル】

弊社の強みである公共施設などの通常の販売ルートを活用し、弊社ブランド「アストロフェース」の新商品として製品PRを行い市場に認知していく。

次のステップとして、通常の販売ルートだけではなく、防滑性が求められる工場、高齢者施設、一般住宅用への販路を開拓していき、弊社のゴムタイルの定番商品として、安定的な売り上げが見込める商材に育成していく。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

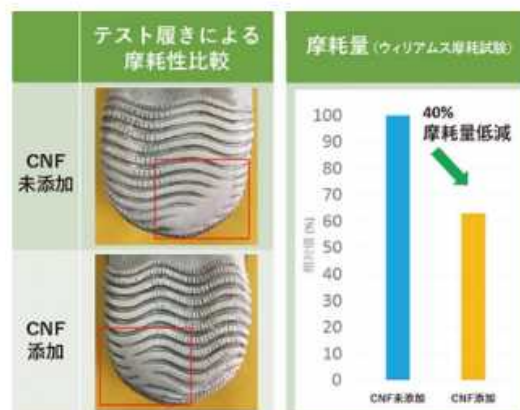
弊社の販売ツールであるホームページ、カタログなどを活用し、原料として天然由来の天然ゴムとCNFを使い、耐摩耗性、耐久性の高い商品であることをPRポイントとし、SDGs、サステナブル、カーボンニュートラルなどの市場動向にマッチしたキーワードで、ゴム製靴底及びゴムタイルをお客様にPRしていく。



RUBEAR CNF ソールとは

「RUBEAR CNF ソール」は、植物を原料とする繊維素材「セルロースナノファイバー※」をゴムに練り込むことで、従来よりも耐摩耗性を約40%向上させることに成功したソールです。同じ靴を少しでも長く使ってもらうことで、お客様の満足とサステイナブルな社会づくりの両方に貢献できると考え、試行錯誤の末、完成させました。

※中越パルプ工業株式会社製のCNFを使用



※左右同時に着用し、1年間使用後
かかと部の摩耗を確認。



RUBEAR の証

「RUBEAR CNF ソール」を使用したモデルには、その証としてソールに RUBEAR のロゴが刻印されたパッチが付けられています。さりげなく記されたパッチに、ゴムメーカーを背景に持つシングル誇りが詰まっています。また、RUBEAR シリーズには共通して、ブランドタグが付けられます。

図IV-2.2.1.7-1 スピングルカンパニー ホームページ (ルベアCNFソール)

RUBEAR CNF ソール修理 について

「RUBEAR CNF ソール」は一部のカラー&意匠限定で修理にも対応しています。RUBEAR CNF ソールのモデルはもちろん、通常のソールにも付け替え可能。お手持ちのスニーカーをより長持ちするソールへアップデートしてみませんか？

[修理依頼ページはこちら](#)



図IV-2.2.1.7-2 スピングルカンパニー ホームページ（ソールの修理）

（3）成果の実用化・事業化の見通し

ゴム製鞋底に関しては、現在販売ルートが確立されており、実用化できている。事業として確立するには、安定した売り上げが見込める商材に育てていく必要がある。当面はスピングルカンパニーが中心となるが、将来的に他の靴メーカー、靴の修理事業者に採用していただけるかがポイントなる。まずはスピングルカンパニーのルート、チャンネルを使い、鞋底のブランド：ルベアソールを浸透していくが、後発となるため他社の商材に比べ付加価値を認められ、差別化ができるようにしていくことが重要であると考えている。

ゴムタイルに関しては、防滑性の高いゴムタイルは過去からニーズがあり、実用化できれば定番の商材として定着するものとする。実用化にあたっては、機能面ではクリアできると考えているが、価格的なウェイトが高くなるものと考えている。新たに導入する機械（インジェクション）を活用し、目標とするコストにすることで、実用化できるものと考えている。

弊社の事業テーマのアピールポイントのまとめ

C N F メーカーとの研究開発により、C N F をゴムに分散させる技術を確立し、ゴム製靴底においては「ルベア C N F ソール」としてスニーカー「スピングルムーヴ」に採用されて実用化している。

【ゴム製靴底】

C N F をゴムに分散させる技術を使い C N F を添加したゴムを靴底に使用することで、靴底の耐摩耗性を自社比で 40% アップすることが可能となった。

スピングルカンパニーのスニーカーのブランドである「スピングルムーヴ」を活用し、靴底を「ルベアソール」としてブランド化して市場に投入することで、「ルベアソール」のブランドイメージを浸透し、靴底のブランドとして販売できるようにしていく。

当初事業として予定していなかったが、C N F ゴム靴底のゴムコンパウンドを供給して欲しいという依頼が増えてきており、C N F ゴム靴底のゴムコンパウンドの供給についても事業化を検討していく。

【ゴムタイル】

ゴムタイルの要求品質はゴム製靴底の要求品質とは異なるため、ゴム製靴底の配合をそのままゴムタイルに使用するという事は難しい（例えば、防汚性の付与）。ゴム製靴底で得られた耐摩耗性・防滑性についての知見はゴムタイルにも導入可能であり、ゴム製靴底の配合の延長線上にゴムタイルは間違いなくあり、最終目標値の達成は可能である。弊社のゴムタイルのブランド「アストロフェース」として、耐摩耗性、防滑性の高い床材として量産化していく。

C N F を使用したゴム製靴底として実用化しているが、C N F とゴムの混合の技術は、まだ確立されたものではない。

本補助事業を通して可能となった地理的にも近い産業技術総合研究所 中国センターとの共同研究において、豊富な C N F に関する知見、最新鋭の設備・分析装置を活用することで、今まででは得られなかった研究結果が得られるとともに、我々の有する C N F のゴムへの混合技術や配合技術を組み合わせることで、C N F の持つフィジカル的・ケミカル的な特徴を今以上に引き出せるようなゴムとの混合技術の確立と量産化が可能と考えている。

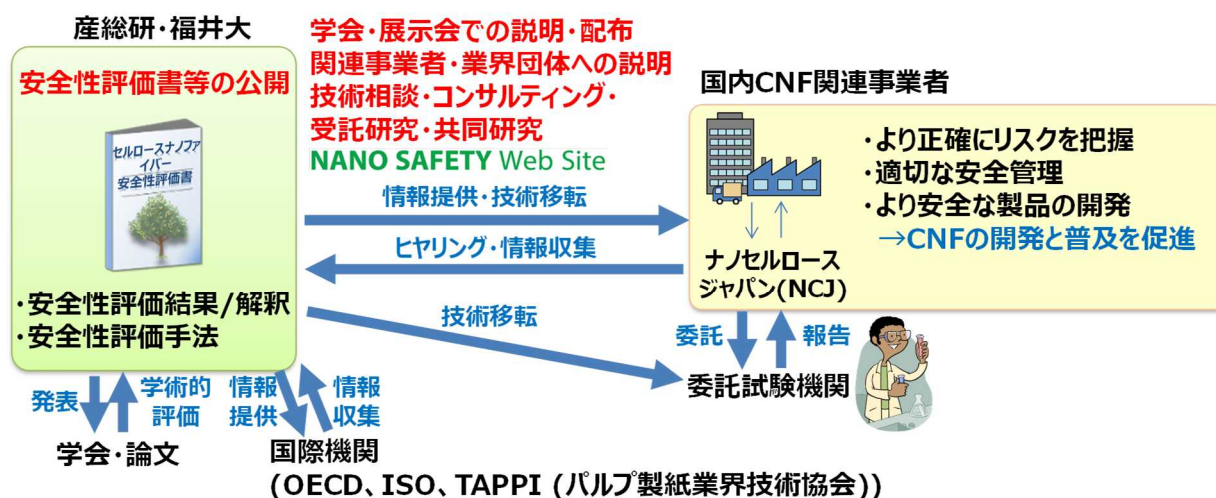
また、C N F のベンダーが 1 社のみであったが、本補助事業を通して C N F のベンダーが 2 社増えた。確立しているゴム製靴底配合を使い、それぞれの C N F を評価することで、1 社の C N F だけでは得られなかった新たな知見が得られている。

C N F を研究していくうえで、非常に恵まれた環境にあることは間違いなく、このことは他社にない優位性であり、今以上に活用することができれば、必ず良い結果が得られるものと感じている。

2.2.2 テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」（委託事業） （国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人福井大学）

（1）成果の実用化に向けた戦略

国内 CNF 関連事業者へのヒヤリングなどを通して、事業者が抱える安全性に対する懸念点や課題等を把握し、実験計画や安全性評価書の構成に反映させる。また、技術相談や、提供試料の安全性評価、作業環境計測などを通して、各事業者における CNF の安全管理や用途開発を支援する。本事業の成果とさらに既存の論文などの CNF 安全性評価情報を包括的にとりまとめた安全性評価書等を作成・公開し、国内 CNF 関連事業者に対し、安全性情報の提供を行う。事業者への配布、講演、展示会、説明会などを通して、安全性評価書等の普及を図り、また、技術相談、コンサルティング、受託研究、共同研究を受け付ける。これにより、CNF の適切な安全管理やより安全な製品の開発を支援し、CNF の開発と普及の促進に貢献する。また、国内 CNF の安全性情報を発信することで、海外のナノセルロースへの対抗、差別化を図る。



国内CNFの安全性情報の発信→海外のナノセルロースへの対抗、差別化

図IV-2.2.2-1 成果の実用化に向けた戦略

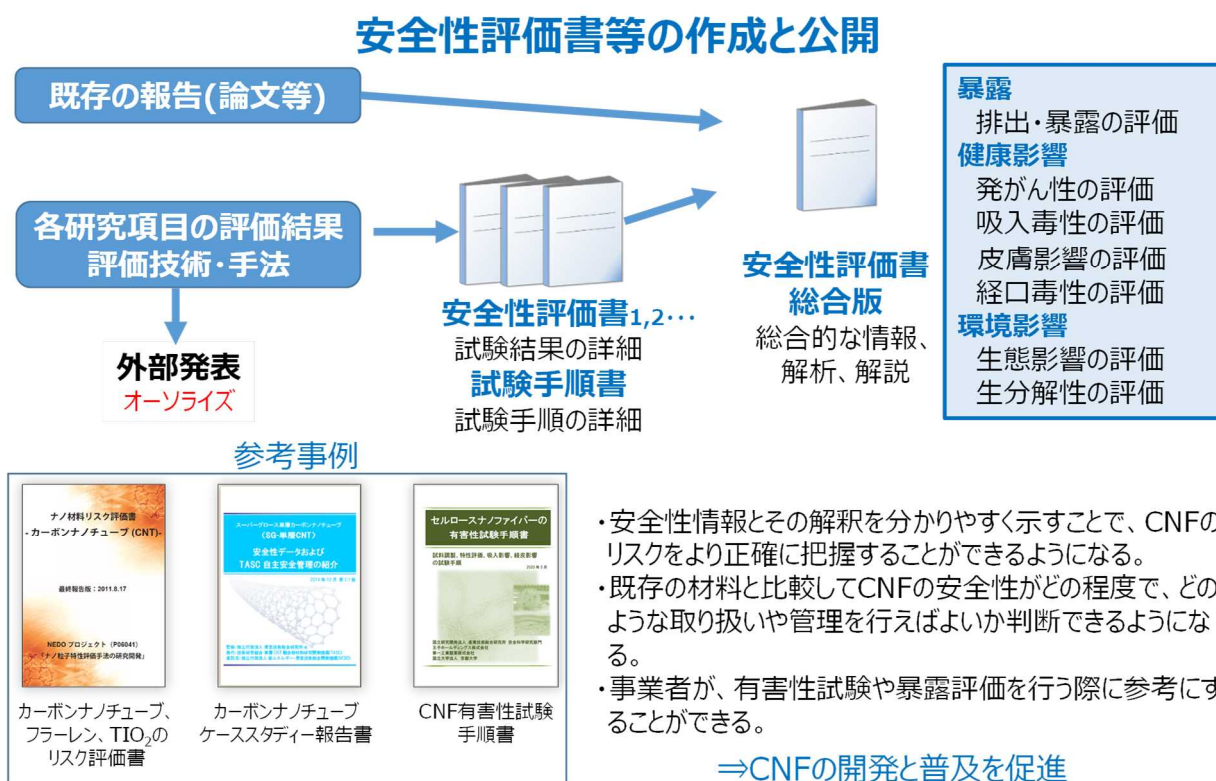
（2）成果の実用化に向けた具体的取組

2022 年度に国内 CNF 関連事業者へのヒヤリング及び 3 つの展示会（Bio Japan、サステナブルマテリアル展、nano tech 展）で展示を行い、事業者が抱える安全性に対する懸念点や課題等を把握し、実験計画や安全性評価書の構成に反映させる。また、技術相談や、提供試料の安全性評価、作業環境計測などを通して、各事業者における CNF の安全管理や用途開発を支援する。2022 年度の段階で、それまでに得られた本事業の成果とさらに既存の論

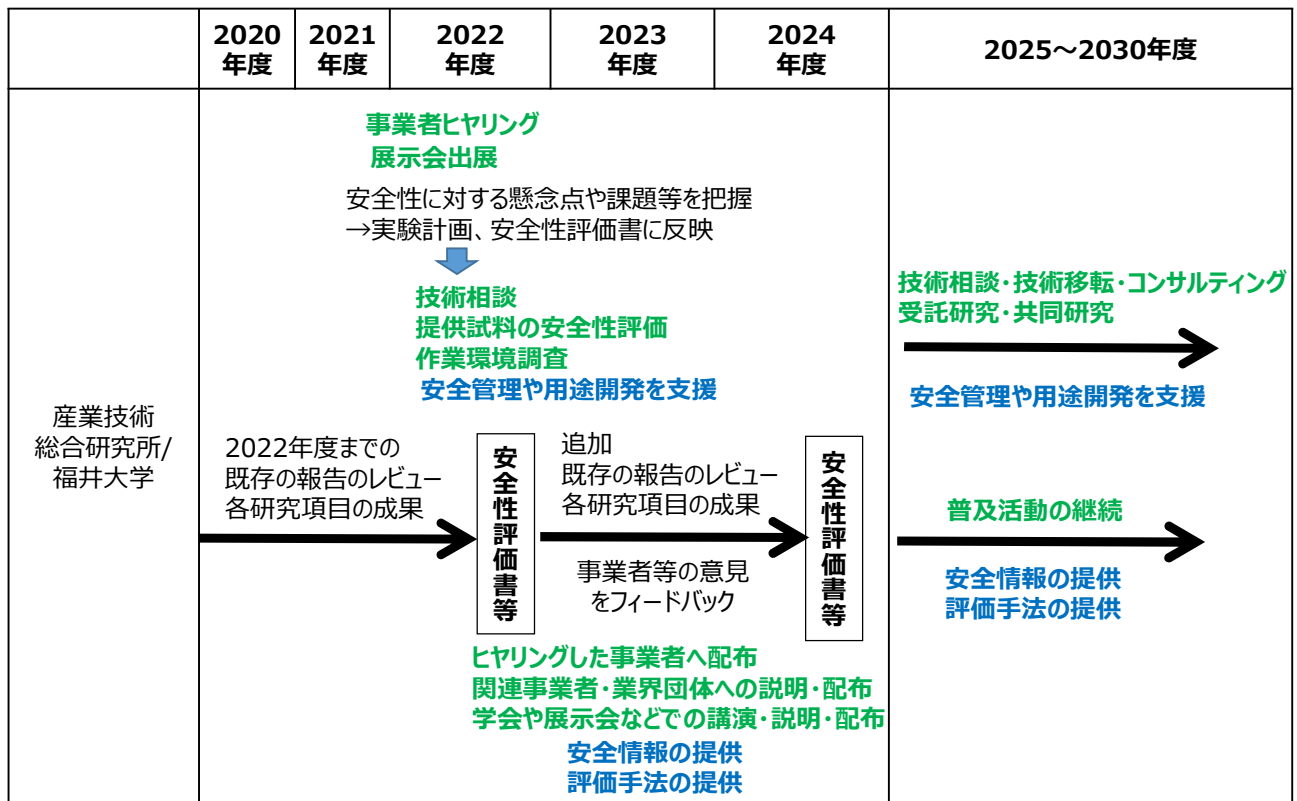
文などの CNF 安全性評価情報を包括的にとりまとめた安全性評価書を作成・公開し、国内 CNF 関連事業者に対し、安全性情報の提供を行う。安全性評価書は、ヒヤリングなどを通して知り合った事業者への配布、学会・展示会での説明・配布、関連事業者・業界団体での説明会などを通して、その普及を図る。安全性評価書の配布にあわせて、事業者からフィードバックを受けると共に、技術相談を受け付ける。

事業者からのフィードバックを踏まえて、2024 年度に、本事業の 5 年間の成果を含む安全性評価書を作成・公開する。安全性評価結果だけでなく、本事業で開発した CNF の安全性評価技術・手法についても公開を進める。公開した文書類について、事業者への配布、講演、展示会、説明会などを通して普及を図り、技術相談、コンサルティング、受託研究、共同研究を受け付ける。引き続き情報発信を進めるとともに、事業者支援を行っていく。

なお、本事業の成果については、論文や書籍、関連学会等で外部発表を行い、オーソライズを図る。また、国際誌への投稿により、海外への情報発信を行う。オーソライズされた結果をベースにして、安全性評価書を作成する。



図IV-2.2.2-2 安全性評価書の作成と公開



図IV-2.2.2-3 成果の実用化に向けた具体的取組

(3) 成果の実用化の見通し

本事業の成果により期待される効果として、総合的な安全性評価の結果を公表することにより、CNFの適切な安全管理やより安全な製品の開発が可能になる。安全性に関する情報を付与することにより、用途展開や顧客への説明がスムーズになる。CNFの提供元企業と提供先企業とが、CNFの安全性に関する情報や自主安全管理の方法を共有することで、より円滑な用途開発とイノベーションの促進が期待される。また、まとめた安全性情報は、安全データシート(SDS)の作成時に参考となる。

個別の成果については、例えば、簡易迅速な培養細胞試験の開発により、多様なCNFの相対的な吸入影響評価が可能となる。中皮腫発生の検証により、アスベストのように中皮腫が発生する可能性を評価することで、正確なリスクの把握が可能となる。生態影響の評価により、環境に出る可能性がある用途への開発や適切な廃棄処理の設定が可能になる。排出・暴露の評価により、CNFを取り扱う現場での適切な暴露管理対策や測定法の策定が可能になる。動物実験による吸入暴露評価により、作業環境におけるCNFに対する安心を与えることができる。また経口摂取の評価により、信頼性の高い情報に基づいた安全管理が可能になる。

日本から、そして評価の独立性や信頼性の観点から公的機関がCNFの安全性情報を発信することは、国際競争力の向上につながる。米国やカナダは、商業生産が行われているセルロースナノクリスタルの安全性評価のデータを積極的に公表しているが、その対抗となる。また、新興国の製品との差別化が図れる。

本事業で開発した CNF の安全性評価技術・手法についても公開を進める。これにより、今後、事業者が有害性試験や暴露評価を行う際に参考にすることができる。

添付資料

●プロジェクト基本計画：

「炭素循環社会に貢献するセルロースナノファイバー関連技術開発」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

我が国の化学品の多くは石油由来の原料から製造され、現状では石油消費量の約 24%を化学用原料として使用しており、依然として化学産業では化石資源を大量に消費している（石油連盟「今日の石油産業 2019」）。

一方、世界的に石油消費量が拡大する中、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスク、CO₂排出量の増大に伴う温暖化問題に直面しており、化学品製造の革新的イノベーションの実現により、こうした課題を乗り越えていくことが急務となっている。将来的に石油資源の供給リスクを克服し、かつ持続可能な低炭素社会を実現していくためには、バイオマスなど様々な非石油由来原料への転換が必要である。

このような背景から、第5次エネルギー基本計画においても2050年に向けた対応として、温室効果ガス80%削減を目指し、エネルギー転換・脱炭素化への挑戦を謳っており、2050年に向けて化石燃料の利用に伴う二酸化炭素の排出量を大幅に削減する必要があり、あらゆる技術的な選択肢を追求する必要がある。

セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）は、鋼鉄の1/5の軽さで鋼鉄の5倍以上の強度を有するバイオマス由来の高性能素材である。CNF複合樹脂を既存の繊維強化樹脂並みのコストまで低減出来れば、軽量・高強度の特性から、幅広い分野へのCNFの活用が加速することが見込まれ、既存の石油由来の素材の代替となることが可能となる。さらに、大気中の二酸化炭素を植物が吸収・固着して得られるセルロースを用いることでカーボンリサイクルの一端を担うことができるため、温暖化対策にも資するものとなる。

②我が国の状況

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、2013年度より「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」において、木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスとして、「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」、「CNF安全性評価手法の開発」、「木質系バイオマスの効果的利用に向けた特性評価」を行い、非可食系バイオマスから得られるCNFを活用するための技術開発を推進した。

③世界の取組状況

非石油由来原料として、非可食性バイオマスを活用したセルロースナノファイバーを含む化学品製造プロセス開発が世界的に活発化してきている。例えば、2011年にスウェーデンにてパイロットプラントでセルロースナノファイバーの生産が始まって以来、米国、カナダ、欧州で本格量産化の前段階のデモンストレーションプラントの建設が進んでおり、また、フィンランド、ノルウェーの企業が商業化に向けた投資を行っている状況である。

④本事業ねらい

国内においては、CNFの製造プロセス、及び用途開発は進められているものの、実用化に達しているものは未だ多くない状況である。CNFの実用化、用途拡大のためには、CNFの製造コスト低減が重要であるとともに、各製品用途に応じたCNFの利用拡大への加速が必要である。そして、製品用途拡大の技術開発を促進し、社会実装・市場拡大を早期に実現することは、二酸化炭素の排出量削減につながり、エネルギー転換・脱炭素化社会を実現するために、重要である。また、CNFは新しい材料として多様な応用が期待されているが、実用化や普及を加速するためには、CNFの利用にあたっての安全性の確認を強化する必要があるので、安全性評価も実施する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

2013年度より実施している「高機能ナリグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術の開発事業」は2019年度で終了する。この事業が終了する2019年度末でのCNF複合樹脂の製造コストは1,300円/kgが見込まれているが、CNFを本格的に普及させるには、2030年度末で500円/kg以下まで低減する必要がある。本プロジェクトでは、高コストの原因となっている生産性や化学処理のプロセスの飛躍的な改良により、大幅にコストを削減する革新的CNF製造プロセス技術の開発を行う。

また、樹脂、ゴム等の基材とCNFの複合化材料を、広く普及させていくために市場の比較的大きい分野での用途開発を促進する、量産効果が期待されるCNF利用技術の開発を行う。新しい複合材料の実用化や普及を加速し支援するため、長期的な利用における信頼性向上や品質管理強化を目的に安全性評価を実施し、多様なCNF製品用途に対する有害性評価手法と評価結果、及び排出・暴露評価結果をまとめた安全性評価書を作成する。

②アウトカム目標

CNF複合樹脂の世界的な利用拡大や、CNFと複合化する石油由来の樹脂をバ

イオマス由来に置き換えも行うことで、2030年には373万トン-CO₂/年の削減を目指し、その結果、石油資源の枯渇リスクを大幅に減少させ、持続可能な低炭素社会の実現に大きく貢献する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

CNF複合樹脂は新しい素材であるため、サプライチェーンを構成する川上から川下までの企業間の連携が重要となってくる。NEDOは、多くの企業の参入が活発に行われるように、オールジャパン体制の産学連携組織であるコンソーシアム等と連携し、プロジェクト成果の普及を行う。また、CNFを安心して利用できるよう、安全性や品質管理の強化を目的とした安全性評価を行い、プロジェクト成果を社会実装に取り組む企業に提供する。また、国際展開に向けて、産学連携組織であるコンソーシアム等の知財・標準化戦略分科会と連携し、当該技術の我が国の国際競争力向上を目的とした国際標準獲得に向けた戦略及び活動計画の策定を支援する。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙1の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

研究開発項目①「革新的CNF製造プロセス技術の開発」

研究開発項目②「CNF利用技術の開発」

(1)「量産効果が期待されるCNF利用技術の開発」

(2)「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」

研究開発項目①、研究開発項目②(1)ともに、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発であり、助成事業として実施する(NEDO負担率：大企業1/2助成、中堅・中小・ベンチャー企業2/3助成)が、基盤技術となる安全性評価(研究開発項目②(2))については、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）にNEDO材料・ナノテクノロジー部丸岡啓子を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理を担当させ、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは、公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー（以下、「PL」という。））を選定し、各実施者はPLの下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

①研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、PMは、経済産業省及びPLや研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置されるプロジェクト推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、必要に応じて、ユーザーとの連携を促す等、成果目標の早期達成が可能になるよう努める。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PMは、本プロジェクトで取り組む技術分野について、必要に応じて内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術開発の方向性や技術の普及方策等を分析、検討する。なお、国際標準化戦略の策定などで調査等を行う場合には、効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

2020年度～2024年度までの5年間とする。

4. 評価に関する事項

N E D Oは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2022年度、事後評価を2025年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しするなど、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。N E D Oは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

②標準化施策との連携

本研究開発で得られた成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

③知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、委託事業は委託先、助成事業は助成先に帰属させることとする。なお、プロジェクトの初期段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

④知財マネジメントに係る運用

「N E D Oプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

⑤データマネジメントに係る運用

「N E D Oプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

(2) 基本計画の変更

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直すなどの対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号二、第3号及び第9号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2020年2月制定

●プロジェクト開始時関連資料：

| ご意見の概要 | ご意見に対する考え方 | 基本計画・技術開発課題への反映 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 全体について | | |
| <p>[意見1] (1件)</p> <p>・セルロースナノファイバー（CNF）の技術開発において、鉄より5倍強くて、1/5軽い性能を活かした大量生産・大量消費の用途模索から、スマートレンズ（コンタクト）、スマートリング、スマートテキスタイル、スマートバンド、スマートウォッチ、スマートメガネ、ひずみセンサ、キャパシタ等、新たなアプリケーションへの取組みを支援して欲しい。また、ポリアニリンやカーボンナノチューブと組み合わせる特性を持たせる研究もあるので、セルロースナノファイバーに限定せず、周辺技術も含めても良い枠組みにしてほしい。</p> | <p>[考え方と対応1]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>・CNFを利用した製品の社会実装や市場拡大に向けた技術開発は、まだ課題が山積しており、本事業はCNFとCNFを利用した製品の社会実装・市場拡大を早期に実現するための課題として、コストダウンおよび用途の開拓に着目しています。</p> <p>ご提案頂いた用途や他の機能性材料とCNFの組み合わせについても、コストダウンや市場拡大に寄与するものであれば対象となります。</p> | <p>[反映の有無と反映内容1]</p> <p>・特になし。</p> |
| 1. 研究開発の目的・目標・内容 | | |
| (2) 研究開発の目標 | | |
| ①アウトプット目標 | | |
| <p>[意見1] (1件)</p> <p>・基本計画の中でのコストですが、500円/kgまで低減を目指すことについては、その通りなのですが、問題は現状購入するセルロースナノファイバー（CNF）はスラリーであったり粉体に近いものであったりまちまちで濃度がそれぞれ違っています。メーカーに作ってもらえる際も、濃度の指定で価格は変わってきますので、価格の算定には濃度の基準を決めてほしい。また、セルロースナノクリスタル（CNC）は今回のプロジェクトに入るのかどうか。似て非なる部分もあつたりますので、CNFの中に組み入れるのか、それともCNCを単独で追加するかなど教えてほしい。</p> | <p>[考え方と対応1]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>・本事業では、これまでのCNF事業においてターゲットとしていたCNF複合樹脂の製造コストについて目標コストとして設定していますが、CNFのスラリーや粉体状態のものも対象としています。この場合は、プロジェクト終了時の複合樹脂コスト目標と同程度の目標を想定しています。</p> <p>また、CNCはCNFとの併用により、コストダウンや市場拡大に寄与するのであれば、本事業の対象となります。</p> | <p>[反映の有無と反映内容1]</p> <p>・特になし。</p> |
| 1. 研究開発の目的・目標・内容 | | |
| (3) 研究開発の内容 | | |
| <p>[意見1] (1件)</p> <p>・セルロースナノファイバー（CNF）利用技術の開発での公募を検討するにあたり、金型やコンパウンド設備などが必要ですが、製品の実証検証の完了までは、製品化可否の判断ができないため、投資に対する社内理解が進まないため、委託事業にしてほしい。環境意識の高まりのなかで、本事業の取り組みには賛成です。</p> | <p>[考え方と対応1]</p> <p>貴重なご意見ありがとうございます。</p> <p>・これまでNEDOではCNF関連技術開発の委託事業を10年実施しており、CNF関連技術は大きく進展し、CNFを利用した製品も上市されるようになりました。本事業では、社会実装や市場拡大を早期に実現するため、ユーザー企業が主体的にコスト削減や用途拡大のための技術開発をして頂くことが必要と考え、助成事業としました。</p> | <p>[反映の有無と反映内容1]</p> <p>・特になし。</p> |

●特許論文等リスト

以下のフォーマット（例）を参考に、プロジェクト開始以降の特許論文等の情報を記入する。なお、評価の際は情報が最新である旨事前に確認しておくこと。

表 V-1-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分 年度 | 特許出願 | | | 論文 | | その他外部発表 | | | | 展示会への出展 | 受賞 | フォーラム等 ※2 |
|----------|------|----|-------------|------|-----|---------|------------|-------|-----|---------|----|--------------|
| | 国内 | 外国 | PCT出願※ 1 | 査読付き | その他 | 学会発表・講演 | 新聞・雑誌等への掲載 | プレス発表 | その他 | | | |
| 2020 | 4 | | | | | 9 | 28 | | 1 | 4 | | |
| 2021 | 10 | | | 4 | 1 | 29 | 8 | | 12 | 7 | | |
| 2022 | 9 | | | 1 | 1 | 11 | 8 | 1 | 2 | 1 | | |
| 合計 | 23 | 0 | 0 | 5 | 2 | 49 | 44 | 1 | 15 | 12 | 0 | 0 |

※1：Patent Cooperation Treaty：特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

1.1 研究開発項目①「革新的 CNF 製造プロセス技術の開発」(助成事業)

表 V-1-2 特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

| 区分 年度 | 特許出願 | | | 論文 | | その他外部発表 | | | | 展示会への 出展 | 受賞 | フォー ラム等 ※2 |
|----------|------|----|-----------------|----------|---------|---------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|---------|-------------|----|------------------|
| | 国内 | 外国 | PCT 出願※ 1 | 査読 付き | その 他 | 学 会 発 表 ・ 講 演 | 新 聞 ・ 雑 誌 等 へ の 掲 載 | プ レ ス 発 表 | その 他 | | | |
| 2020 | 3 | | | | | 6 | 13 | | 1 | 4 | | |
| 2021 | 10 | | | 1 | 1 | 19 | 6 | | 7 | 7 | | |
| 2022 | 7 | | | | 1 | 3 | 7 | 1 | 1 | 1 | | |
| 合計 | 20 | 0 | 0 | 1 | 2 | 28 | 26 | 1 | 9 | 12 | 0 | 0 |

※1 : Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2 : 実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)

1.2 研究開発項目②「CNF 利用技術の開発」（委託事業、及び助成事業）

1.2.1 テーマ 1「量産効果が期待される CNF 利用技術の開発」（助成事業）

表 V-1-3 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分 年度 | 特許出願 | | | 論文 | | その他外部発表 | | | | 展示会への出展 | 受賞 | フォーラム等 ※2 |
|----------|------|----|--------------|------|-----|---------|------------|-------|-----|---------|----|--------------|
| | 国内 | 外国 | PCT 出願※ 1 | 査読付き | その他 | 学会発表・講演 | 新聞・雑誌等への掲載 | プレス発表 | その他 | | | |
| 2020 | 1 | | | | | 1 | 15 | | | | | |
| 2021 | | | | | | 2 | 2 | | 2 | | | |
| 2022 | 2 | | | | | 5 | 1 | | | | | |
| 合計 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 18 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |

※1：Patent Cooperation Treaty：特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

1.2.2 テーマ 2「多様な製品用途に対応した有害性評価手法の開発と安全性評価」
(委託事業)

表V-1-4 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分 年度 | 特許出願 | | | 論文 | | その他外部発表 | | | | 展示会への出展 | 受賞 | フォーラム等 ※2 |
|----------|------|----|-------------|------|-----|---------|------------|-------|-----|---------|----|--------------|
| | 国内 | 外国 | PCT出願※ 1 | 査読付き | その他 | 学会発表・講演 | 新聞・雑誌等への掲載 | プレス発表 | その他 | | | |
| 2020 | | | | | | 2 | | | | | | |
| 2021 | | | | 3 | | 8 | | | 3 | | | |
| 2022 | | | | 1 | | 3 | | | 1 | | | |
| 合計 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 13 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 |

※1 : Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2 : 実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）