

6.4 効果的な広報の実施

CNFの有用性を広く社会に認知・啓発することを目的に、CNFの基本的特性とこれまでの環境省事業の成果等について、展示会等で広報を行った。また、広報資料を作成し、展示会会場等で配布した。

6.4.1 広報計画の策定

CNFの有用性を広く社会に認知・啓発することを目的に広報計画を策定した(表6-8)。

広報計画の策定にあたっては、対象を一般消費者向けの基本的なCNFの認知度向上と実際にCNF材料を使用する事業者に向けた具体的な用途提案とした。

表 6-8 広報計画

目的	対象	広報計画/広報資料作成
基本的なCNFの認知度向上	一般消費者	<ul style="list-style-type: none">一般消費者が多く集まる場におけるイベント開催基本的なCNFとCNFの用途に関する説明展示一般向け広報資料の作成、配布
具体的な用途提案	部品・製品メーカー等の素材ユーザー(事業者)	<ul style="list-style-type: none">素材ユーザーの多く集まる場におけるイベント開催環境省が実施したモデル事業に関する成果の発表事業者向け広報資料の作成、配布

6.4.2 一般消費者を対象とした広報活動

(1) 展示会・イベントの選定

一般消費者を対象とした広報活動の場として、環境省が主催する環境イベントであり、環境に関心の高い層が多く訪れる「エコライフ・フェア」を選定した。今年度開催された「エコライフ・フェア 2017」の概要を表 6-9 に示す。

表 6-9 エコライフ・フェア 2017 の概要

項目	概要
名称	エコライフ・フェア 2017
テーマ	パリ協定発効！ キミの「賢い選択」が地球の未来を切り拓く！！
イベント概要	毎年6月の環境月間に全国各地で展開される様々な行事の中の主たる行事の一つとして、平成2年以来、環境省、関係地方公共団体、関連法人、団体、企業、NGO等が連携し、環境保全全般にわたる普及啓発活動を実施。近年は、環境の日（6月5日）前後の土曜日、日曜日の2日間、東京・渋谷の代々木公園ケヤキ並木・イベント広場を会場に開催している。
開催期日	平成29年6月3日（土） 11：00～17：00 平成29年6月4日（日） 10：00～17：00
会場・出展場所	代々木公園 ケヤキ並木（NHKホール前）/イベント広場
主催	環境省
共催	渋谷区
協力	エコ・ファースト推進協議会、グリーン購入ネットワーク、京王電鉄(株)、東京都生活協同組合連合会、日本生活協同組合連合会、日本チェーンストア協会、日本百貨店協会、東日本旅客鉄道(株)
後援	復興庁、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、観光庁、（一社）地球温暖化防止全国ネット、（一社）日本新聞協会、（一社）日本民間放送連盟、渋谷区教育委員会、東京都
参加団体数	企業団体（23団体）、NGO・NPO（14団体）、エコ・フードコート（9団体）、復興支援マルシェ（4団体）、エコマルシェ（2団体）、ワークショップ（7団体）、環境省（14団体）、その他（7団体） 合計（80団体）
来場者数	6月3日（土） 13,210人 6月4日（日） 27,386人 合計 40,596人

(2) 出展概要

エコライフ・フェア 2017 への出展概要を表 6-10 に示す。出展にあたっては環境省モデル事業受託者より、説明パネル、展示サンプル、映像提供等の協力を得た。出展状況を表 6-11 に示す。

表 6-10 エコライフ・フェア 2017 への出展概要

項目	概要
名称	エコライフ・フェア 2017
ブース名	植物由来の新素材 セルロースナノファイバー展
出展場所	代々木公園イベント広場 エコビレッジ (ブース番号: G-7)
出展小間	企業出展【Aパターン】1小間 25.92m ² (ロイヤルテント 間口 7.2m×奥行 3.6m)
出展目的	エコライフ・フェアには、環境に関心の高い層の来場が期待され、小中高大学生を含め比較的若年層が多く訪れるイベントとなっている。将来を担う次世代の環境教育の側面を含めた一般市民への訴求の場として優れた土壌を有することから、出展を通じて、そのような層へのCNFの普及・啓発を促すことを目的とする。
ターゲット層	来場者のうち、10代～30代が半数を占めているため、ターゲットは親子連れ、中高大学生とする。
展示方針	一般消費者のCNF認知度向上 <ul style="list-style-type: none"> ・ CNFとは何か: CNFの強みをサンプルで体験 ・ 日本に豊富な原料: 現物展示 ・ CNFによる新しい技術の紹介: タペストリー、ポスター等の展示 ・ 子どもへの啓発: クイズ、うちわ、サンプル体験
展示物	《タペストリー》 <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF紹介タペストリー① (1m×3.4m) 「CNFを用いた低炭素で循環型の社会の実現」 ・ CNF紹介タペストリー② (1m×2.5m) 「CNFの原料は木材などの植物バイオマス」 ・ CNF紹介タペストリー③ (1m×2.5m) 「セルロースナノファイバーの特徴と応用分野」 《サンプル展示》 <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF原料 (木材チップ、竹チップ、パルプ) ・ 企業・研究機関紹介コーナー 北越紀州製紙 (株)、産業技術総合研究所、第一工業製薬 (株)、三菱鉛筆 (株) 京都市産業技術研究所、利昌工業 (株)、昭和丸筒 (株) 《映像紹介》※協力: 京都大学矢野研究室 「未来を拓くナノファイバー」「溶けないソフトクリーム」 <ul style="list-style-type: none"> 《CNFクイズ》 ○×形式のクイズを3問作成、全問正解者に賞品を進呈
広報資料	<ul style="list-style-type: none"> ・ うちわ (CNF添加WPC軸を使用し、CNFの特徴と応用分野を説明) 1,000部 ・ A4サイズチラシ (タペストリーの内容を反映) 1,500部
説明員の配置	6月3日 (土): 産環協3名、EX2名、学生アルバイト4名、産総研2名 6月4日 (日): 産環協3名、EX2名、学生アルバイト4名、産総研2名

表 6-11 エコライフ・フェア 2017 出展状況 (1/2)

	
<p>当日の様子 (6/3)</p>	<p>当日の様子 (6/4)</p>
	
<p>左側面：タペストリー①</p>	<p>正面左：タペストリー②、材料展示</p>
	
<p>正面右中央：タペストリー②、映像紹介</p>	<p>正面左：CNFの材料サンプル（京都大学提供）</p>

表 6-11 エコライフ・フェア 2017 出展状況 (2/2)

 <p>広報資料：うちわ</p>	 <p>クイズ商品：CNF配合ゲルインキボールペン</p>
 <p>広報資料：A4 チラシ (表)</p>	 <p>広報資料：A4 チラシ (裏)</p>

(3) 出展の成果

開催した2日とも天候に恵まれ、延べ4万人の来場があった。主な成果を以下に示す。

- ・ これまでCNFを一般向けに説明するコンテンツは少なかったが、本展への出展を通じて一般消費者がCNFに興味を持つきっかけを提供することができた。
- ・ モデル事業者他、関係機関の協力を得て、非常に充実したCNFのサンプル展示をすることができ、多くの来場者にCNFを手にとって体感していただくことができた。
- ・ 1日目に環境副大臣が来場し、サンプル展示も手にとっていただきながらご視察いただき、事業の内容をアピールすることができた。
- ・ メディアの取材が数社入り、環境省事業の内容を広く発信することができた。

6.4.3 事業者を対象とした広報活動

(1) 展示会・イベントの選定

部品・製品メーカー等の素材ユーザーを対象とした広報活動の場として、日本経済新聞社・産業環境管理協会が共催する日本最大の環境イベントであり、アジアを代表する環境とエネルギーの総合展示会である「エコプロ～環境とエネルギーの未来展」を選定した。今年度開催された「エコプロ 2017」の概要を表 6-12 に示す。

表 6-12 エコプロ 2017 の概要

項目	概要
名称	エコプロ 2017～環境とエネルギーの未来展 [第 19 回]
イベント概要	毎年 6 月の環境月間に全国各地で展開される様々な行事の中の主たる行事の一つとして、平成 2 年以来、環境省、関係地方公共団体、関連法人、団体、企業、NGO 等が連携し、環境保全全般にわたる普及啓発活動を実施。近年は、環境の日（6 月 5 日）前後の土曜日、日曜日の 2 日間、東京・渋谷の代々木公園ケヤキ並木・イベント広場を会場に開催している。
開催期日	2017 年 12 月 7 日(木)～9 日(土) 10:00～17:00
会場	東京ビッグサイト [東ホール]
主催	(一社) 産業環境管理協会、日本経済新聞社
後援	内閣府、外務省、経済産業省、環境省、文部科学省、国土交通省、農林水産省、厚生労働省、消費者庁、(一社) 日本経済団体連合会、(公社) 経済同友会、日本商工会議所、東京商工会議所、(国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本貿易振興機構(ジェトロ)、東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県、埼玉県教育委員会、神奈川県教育委員会、千葉県教育委員会 [順不同] 委員会、東京都
協力	(公社) 日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会、グリーン購入ネットワーク、(公財) 日本環境協会、全国連合小学校長会、日本私立小学校連合会、全日本中学校長会、全国高等学校長協会、全国国立大学附属学校連盟、全国小中学校環境教育研究会、私立大学環境保全協議会、(公社) 全国工業高等学校長協会、全国商業高等学校長協会、全国農業高等学校長協会、(公財) 日本適合性認定協会、(一社) 情報通信技術委員会、グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン [順不同]
参加団体数	616 社・団体 / 1,414 小間 [2016 年出展実績: 705 社・団体 / 1,527 小間]
来場者数	160,091 人 [2016 年度来場実績: 167,093 人]

(2) 出展概要

エコプロ 2017 への出展概要を表 6-13、展示物の一部を表 6-14、出展状況を表 6-15 に示す。

表 6-13 エコプロ 2017 への出展概要

項目	概要案
イベント名	エコプロ 2017～環境とエネルギーの未来展
ブース名	環境省 セルロースナノファイバーの社会実装に向けた取組
出展場所	東京ビッグサイト 東4ホール (小間番号：4-048)
出展小間	第2回ナノセルロース展に隣接した2小間 (3m×6m)
出展目的	エコプロ展は日本で最大規模の環境とエネルギーの総合展示会であり、幅広い業界の関係者と環境に関心の高い一般の来場者双方の来場が見込める貴重な場である。環境省関連事業におけるCNFの取組状況及びCNFの良さをパネル展示やサンプル展示を通じて広くアピールすることを目的とする。
ターゲット層	CNFに関心のあるビジネスパーソン
展示方針	CNFに関心のある事業者に対し、環境省CNF関連事業のアピール
展示物	<p>《LEDパネル (A0 サイズ)》※エコライフ・フェアにて作成のものを改変</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「CNFを活用して低炭素で循環型の社会へ」 ・ 「CNFの製造プロセス」 <p>《A1 パネル》：計10枚</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「CNFの社会実装に向けた環境省の取組」 (1枚) ・ 「地域におけるCNF用途開発FS委託業務」 (1枚) ・ 「CNF製品製造工程の低炭素化対策の実証事業」 (2枚) ・ 「CNF活用製品の性能評価モデル事業」 (6枚) <p>《サンプル展示》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ トクラス・静岡大コンソーシアム (断熱材、自動車用部品) ・ 愛媛大学 (CNFフィルム) ・ 九州大学コンソーシアム (中越パルプ：CNF粉末、懸濁液)
広報資料	・ 「CNFの社会実装に向けた環境省の取組」A3二つ折りリーフレット2,000部
説明員の配置	モデル事業受託者 (静岡大青木氏、トクラス大峠氏、静岡大院生各日1名)、受託者 (産環協3名、EX1名、DTC1名)

表 6-14 エコプロ 2017 展示物の一部 (LED パネル)

セルロースナノファイバー
CNF を活用して **低炭素で循環型の社会へ**

環境省
Ministry of the Environment

CNFの特徴

- 木材など、植物を原料とする新素材
- 植物から取れるセルロース（パルプなど）を化学的・機械的処理により数〜数十ナノメートルに繊維化したナノ繊維
- 軽くて強い（鋼鉄の1/5の軽さで5倍の強度）
- 大きな比表面積（250m²/g以上）
- 熱変形が少ない（ガラスの1/50程度）

CNFでCO₂排出量を削減し地球温暖化対策を推進

原料調達
CNFの原料は、国内に豊富にあるカーボンニュートラルな森林や植物バイオマス
*原料の生産や加工にCO₂を発生してもセルロースを多く含むため、最終的には地上にCO₂を吸収する。

製造
軽量、高強度、低熱膨張というCNFの特性を生かし、様々な製品を製造
「セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務」を実施中

利用
CO₂排出量の少ないCNF製品を多く利用するほど、日本のCO₂排出量削減に貢献
CNF製品による自動車部品などの軽量化により、化石燃料使用量の削減
「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務」にて評価中

リサイクル
CNFはガラス繊維と異なり、リサイクルの可能性が高い
「セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務」にて検討中

LED パネル（左側） A0 サイズ

CNF 植物由来の次世代素材
セルロースナノファイバーの製造プロセス

環境省
Ministry of the Environment

植物バイオマス (約20m)

1,000 → **木材チップ** (約20mm) → **パルプ化** (1,000) → **パルプ** (繊維 約30μm) → **ナノ化** (1,000) → **セルロースナノファイバー** (繊維 約3~20nm)

- ・ 枝葉や果実
- ・ 食品残渣 (ジュースの絞りかす、コーヒーがらなど)
- ・ 未利用バイオマス (稲わら、落ち葉、雑草)
- ・ 古紙・パルプ

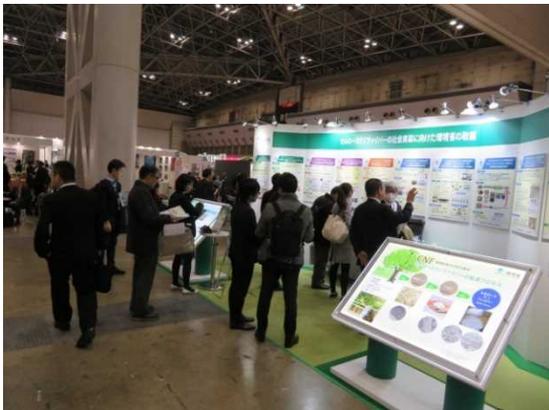
20mm (木材チップ) | 30μm (パルプ) | 3~20nm (セルロースナノファイバー)

機械紡織 CNF (20nm) | TEMPO酸化 CNF (3nm)

© 京大 京大大学院生命科学研究科 先端研究室
© 京大 京大大学院工学部 繊維学教授
© 日本製紙 日本製紙株式会社
© 北越製紙 北越製紙株式会社

LED パネル（右側） A0 サイズ

表 6-15 エコプロ 2017 出展状況

 <p>展示ブース</p>	 <p>LED パネルとサンプル展示</p>
 <p>説明の様子</p>	 <p>ブースの様子 (12/8)</p>

(3) 出展の成果

ブースが「第2回ナノセルローズ展」に面し、環境省モデル事業の一つである NCV プロジェクトに隣接して配置されたこともあり、非常に高い注目を受けた。主な成果を以下に示す。

- 様々な業種の来場者が訪れ、環境省事業への関心の高さが感じられた。ナノセルローズ展にて環境省による講演があったことも大きく影響したと思われる。作成した広報資料は3日目の15時頃配布を終了した。
- 環境副大臣、環境政務官が視察され、高い関心を集めている環境省事業についてサンプルを手にとっていただきながら説明を聞いて頂くことができた。
- モデル事業受託者によりサンプルの展示と説明員の派遣をしていただいた。来場者には、ブースの内にて実物を手に取って十分な説明を聞いて頂くことができた。

第7章 本年度業務のまとめと課題の整理

本章では、本年度の業務を総括するとともに、課題と対応方針案を提示する。

7.1 本年度業務のまとめ（主な成果）

（1）CNFのリサイクルモデル事業の推進計画の策定

推進計画の策定にあたり、2020年及び2030年のCNFリサイクルの実現目標（案）、CNFリサイクルの具体的な評価項目・評価方法を設定し、CNF製品のリサイクルによるCO₂削減効果の評価方法及びCO₂削減量の推計を行った。また、CNFリサイクルにおける技術的・経済的・社会的・法的課題を抽出し、リサイクルプロセス別・実証ニーズ別に対応策をまとめた。これらの結果を基に、CNFリサイクル事業の普及促進方策を検討し、CNFリサイクルに関する新規モデル事業の具体案を提案するとともに、モデル事業の費用対効果及び事業実現性の評価を行い、モデル事業の推進計画を策定した。

これらの成果を基に環境省では、「平成29年度セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価等事業委託業務」の公募を行い、平成29年12月リサイクルモデル事業が3件採択され、スタートした。

（2）CNF活用製品の開発・商用化状況調査

環境省が実施しているモデル事業（計8事業）について、報告書や提案書等の文献から基本的な情報を整理した上で、各モデル事業者へのアンケート及びヒアリング調査を行い、「各事業の実施計画等に対する達成状況」、「CO₂削減効果（検証方法含む）」、「技術熟度」の評価を行った。

「各事業の実施計画等に対する達成状況」の評価から、全ての事業者について、事業の進捗・達成見込み、各課題、評価項目には特段問題がないことが確認された。一方、実現目標については特に環境省が設定した実現目標について、全ての事業者が十分に理解していない状況であることが把握された。この結果を踏まえ、実現目標の周知や情報共有のあり方などを中心に、課題及び改善策を整理した。

「CO₂削減効果（検証方法含む）」の評価から、「マネジメント」、「ガイドラインとの不整合」、「データ収集」に関連する共通的な課題が把握された。この結果を踏まえ、資本財評価に関する検討・提案、簡易算定手法に関する検討・提案、CNFの提供データに関する検討を行った。

「技術熟度」は、技術熟度評価制度（TRA）に基づいて評価を行った。その結果、技術熟度が事業終了時想定「TRL4」レベルに達している事業者が、調査時点で存在しない状況が把握された。この結果を踏まえ、「TRL4」段階及び「TRL6（フィールド実証フェーズ）」段階に到達するための改善案を提示した。

(3) CNF最新動向調査

国内外の政策・プロジェクト動向、標準化動向、特許動向、CNF原材料等の生産状況・生産体制など、国内外の最新動向について、文献や関係者へのヒアリングから整理した。政策・プロジェクト動向については海外（欧州）ヒアリング調査を実施した。

また、これらの調査結果を踏まえ、CNF早期社会実装に向けた課題と対応策を検討した。普及に向けての課題への対応策として、標準化の方向性討議、事業結果の省庁間での共有、将来製造価格の精緻化、標準化内容の検討、官民連携による製品原料提供等の方策を提示した。

(4) 平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討

上記(2)の結果を基に、環境省CNF事業全体としての評価を行い、共通的な課題を抽出・整理し、解決策・改善策を提示した。

その上で、平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方として、情報共有・連携のため場づくりの方向性を検討するとともに、環境省CNF関連事業のロードマップを策定した（ロードマップは平成29年6月にたたき台を、同12月に中間案を、平成30年3月に見直し案を策定した）。

情報共有・連携のため場づくりについては、環境省事業から民間主体へ円滑な移行を図っていくことを想定した、受託者意見交換会の方向性、ナノセルロースフォーラムなど既存プラットフォームへの情報共有・連携の方向性を提案した。

環境省CNF関連事業のロードマップ策定については、2030年目標までを想定した全体ロードマップの他、自動車分野に特化したロードマップを策定した。

また、広報として、平成29年6月に開催された「エコライフフェア2017」及び同12月に開催された「エコプロ2017」に出展し、パネル等の展示等を通じて広く周知を行った。これらの広報に際しては、環境省CNF事業のパンフレット及びチラシ、及びCNF素材を用いた団扇などを作成し、活用した。

7.2 今後の課題と対応方針案

(1) 各モデル事業の確実な工程管理

今年度、開発・商用化状況調査を実施した結果、環境省が設定した実現目標の共有、LCAガイドラインなどの共有が十分でないこと、各事業の進捗状況・技術熟度・LCAなど評価を行う上で、各事業者の情報管理がネックとなり、評価するのに十分な情報が得られなかったことなどの課題が把握された。また、LCAについては、事業者の知識不足といった問題だけでなく、環境省モデル事業全体の中で効果を横並びで比較するためにも、適切なベースライン情報やそれを踏まえた評価方法の検討及び提供が必要であることが分かった。

今年度の結果を踏まえると、情報管理には課題が残るが、モデル事業受託者に適切な情報提供や周知を行うことで、工程管理の確実性を高めることが可能と考えられる。

今年度スタートしたりサイクルモデル事業も含め、各モデル事業受託者に対し、事業の早期・途中段階で、これまでの環境省事業の成果を適宜共有・理解させ、環境省が設定した実現目標達成に繋がるよう、誘導していくことや、LCA等の適切な効果検証ができるように、引き続き支援していく必要がある。

(2) 情報共有・連携のための実践的な「場づくり」

環境省が設定した2030年（平成42年）の実現目標を念頭に置き、「低炭素・社会実装」の推進力となる主体の参画及び連携を促進していく必要がある。このため、今年度検討した「場づくり」について、環境省事業の成果を活用しつつ、より多くの主体にとって有益な情報提供を行い、着実に進めていく必要がある。

また、CNF原料のサプライヤーは増え、安定供給が図られる基盤が整いつつあるが、中間メーカーの参画が少なく、サプライチェーンの構築には課題が残る。このため、川上から川下まで、CNFに関わる多様な主体の参画・連携、特に中間材メーカーの参画が望まれる。情報共有・連携のための「場づくり」を実効性・持続性の高いものとするためには、場をつくるだけでなく、こうした主体の参画・連携を促進させる取組を併せて検討していくことも一案である。

(3) 日本の優位性を確保する戦略検討のための国内外の動向把握

国内外の最新動向調査の結果、諸外国に対する日本のポジションや、優位性を確認できた一方で、脅威となる欧州や中国の動きについて、より詳細に確認するとともに、広がりつつある民間の参画をより推進する体制と取組、広報を検討する必要があることがわかった。

また、特許に関する調査等を中心に諸外国の動向調査を引き続き行い、日本の優位性を確保する戦略検討に繋げることが求められる。

(4) 効果的・継続的な広報

CNFという名前の認知度は高まってきており、エコライフフェア・エコプロ展での広報を行う中で、関心を持つ企業や市民が増えていることが把握された。一方、CNFが低炭素化に寄与する効果などがイメージできる状況とはなっていない。結果として、エンドユーザーが、CNFの価値をイメージできない状況のままでは、企業が具体の素材・製品を開発・上市する動機にも繋がっていかない。

そのため、引き続きCNFの特性や付加価値等をステークホルダーに広く周知し、商品開発・上市意欲を向上させる必要がある。

(5) 産官学の連携によるCNFロードマップの策定

本業務で、2030年目標までを想定した環境省CNF関連事業の全体ロードマップ及び自動車分野に特化したロードマップを策定したが、あくまでも環境省事業として策定したものである。ロードマップが実効性の高いものとなるためには、環境省事業に関連する主体だけでなく、他省庁や関連企業、研究者など、CNFに関わる多様な主体による議論を深めていくことが必要である。

巻末資料1

「エコライフ・フェア 2017」及び「エコプロ 2017」の展示パネル

(1) エコライフ・フェア 2017 の展示パネル

**特性がいっぱい
応用範囲も
多様な
未来の素材**

[セルロースナノファイバーの特長と応用分野]

**植物
バイオマス素材**
プラスチックなどの石油由来製品
に比べ、CO₂排出量が少ない

**軽くて
強い**

1本が細い

熱膨張が少ない

**保水性
に優れる**

**透明フィルム
になる**

包装・容器材料、建築材料、自動車部材、繊維、断熱・防音材、フィルター、テレビ、食品保存フィルム、化粧品、食品、ディスプレイ

**みんなで推進、
多利用化!**

**低炭素社会の
カギを握る
CNF**

環境省は、他の省庁とも連携し、自治体、大学、研究機関、企業など、産学官連携によるCNF実証事業を実施中

CNFの社会実装に向けた環境省の取組

CNF素材で自動車を軽量化!
ナノセルロース・ピーグル・プロジェクト
CNF素材を利用することにより、自動車の10%程度の軽量化を目標

建材やバッテリーにも拡大中
CNF活用製品の性能評価事業

製造工程も低炭素に!
CNF製品製造工程の
低炭素化対策の立案事業

CNF製品の積極的利用

利用する
CNF
製品化
みんなで使って
低炭素社会を実現

**ココが
セルロースナノファイバー(CNF)の スゴイ!**

植物由来の次世代素材

**植物
バイオマス**

リンゴ、イネ

どうやって
つくるの?
飲料は木材を
はじめとした植物

約20m

約20mm

約30μm

約20nm

1/1,000

1/1,000

1/1,000

バルバ化
木材繊維を取り出す

ナノ化
微細化

セルロース
ナノ
ファイバー

繊維ですりつぶす、または
高圧でバルブ以外を溶かす

表面酸化処理、または
漂白(すりつぶす)

枝葉や果実、食品残渣、未利用バイオマス(薪、草、葉、果実)、古紙・パルプ

大きさの領域

1m、1mm、1μm、nm

**CNFを用いた低炭素で
循環型の社会の実現**

CNF(セルロースナノファイバー)とは?

- 木材など、植物を原料とする新素材
- 植物から取れるセルロース(パルプなど)を化学的・機械的処理により数〜数十ナノメートルに微細化したナノ繊維
- 軽くて強い(繊維の1/5の軽さで5倍の強度)
- 大きな比表面積(250m²/g以上)
- 熱膨張が少ない(ガラスの1/50程度)

原料調達

CNFの原料は、国内に豊富にあるカーボニュートラルな森林や植物バイオマス

**CNFを産業や生活に活かすことで
三酸化炭素(CO₂)排出量を削減し
地球温暖化対策を推進**

製造

軽量、高強度、低熱膨張というCNFの特性を生かし、様々な製品を製造
CNF製造工程の低炭素化対策事業を推進中

リサイクル

CNFはガラス繊維と異なり、リサイクルの可能性が高い
CNFのリサイクル性も評価検証中

利用

- CO₂排出量の少ないCNF製品を多く利用すれば、日本のCO₂排出量を削減に貢献
- CNF製品による自動車部品などの軽量化により、化石燃料使用量の削減
- CNF活用製品の性能評価事業を実施中

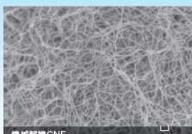
(2) エコプロ 2017 の展示パネル

セルロースナノファイバー
CNF を活用して
低炭素で循環型の社会へ

環境省
Ministry of the Environment

CNFの特徴

- 木材など、植物を原料とする新素材
- 植物から取れるセルロース（パルプなど）を化学的・機械的処理により数～数十ナノメートルに微細化したナノ繊維
- 軽くて強い（鋼鉄の1/5の軽さで5倍の強度）
- 大きな比表面積（250m²/g以上）
- 熱変形が少ない（ガラスの1/50程度）



機械解繊CNF
写真提供：京大大学院存続研究所 矢野研究室

二酸化炭素
CNFでCO₂排出量を削減し地球温暖化対策を推進

原料調達

CNFの原料は、国内に豊富にあるカーボンニュートラルな森林や植物バイオマス

※ 植物は成長中のCO₂を吸収してセルロースを作り出すため、植物材料は地球上のCO₂を増加させない。

製造

軽量、高強度、低熱膨張というCNFの特性を生かし、様々な製品を製造

「セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務」を実施中

利用

CO₂排出量の少ないCNF製品を多く利用するほど、日本のCO₂排出量削減に貢献

CNF製品による自動車部品などの軽量化により、化石燃料使用量の削減

「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務」にて評価中

リサイクル

CNFはガラス繊維と異なり、リサイクルの可能性が高い

「セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務」にて検討中

自動車
(内装材や外板など)

家電
(送風ファンなど)

住宅・建材
(窓枠・断熱材など)

業務・産業機械
(空調プレードなど)

再生可能エネルギー
(風車のプレードなど)

環境省
Ministry of the Environment

CNF 植物由来の次世代素材
セルロースナノファイバーの製造プロセス

植物
バイオマス

約20m



1/1,000

→

木材チップ
約20mm



20mm

© 日本製紙

パルプ化

1/1,000

→

パルプ
幅 約30μm



© 北越製紙

ナノ化

1/1,000

→

セルロース
ナノ
ファイバー
幅 約3~20nm



© 京大

・ 枝葉や果実
・ 食品残渣
(ジュースの絞りかす、コーヒーがらなど)

・ 未利用バイオマス
(稲わら、落ち葉、雑草)

・ 古紙・パルプ



機械解繊 CNF

幅 20nm

© 京大



TEMPO酸化 CNF

幅 3nm

© 京大



©京大：京大大学院存続研究所 矢野研究室
 ©京大：東京大学農学部 青藤昌教授
 ©日本製紙：日本製紙株式会社
 ©北越製紙：北越製紙株式会社



環境省の事業の内容

セルロースナノファイバーの 社会実装にむけた環境省の取組

環境政策における位置づけ



大幅なCO₂の削減

自動車部材、発電機、家電製品等の軽量化により燃費・効率が改善
→地球温暖化対策への多大なる貢献が期待できる。



リサイクル技術の確立

普及した場合、リサイクル時（自動車・家電等）の技術的課題の検討が必要。



循環型社会の実現

森林資源の活用による循環型社会の実現への貢献が期待できる。



セルロースナノファイバー (CNF) 等の次世代素材活用推進事業

様々な製品等の基礎となる素材にまで立ち回り、自動車部材、発電機、家電製品等の軽量化や燃費・効率改善による地球温暖化対策への多大なる貢献が期待できるCNF等の次世代素材について、メーカ等と連携し以下の取組等を実施しています。

[平成27～28年度] セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務

[平成27年度] 地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発FS委託業務

- 1) 静岡県エリア：静岡大学、 2) 三重県エリア：三重県産業支援センター、 3) 岡山県エリア：岡山県

[平成27～29年度] セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務
(自動車関連最終製品の製造工程)

- 1) プラスチック製品の製造工程：パナソニック株式会社 3) ゴム製品の製造工程：大王製紙株式会社 (28年7月完了)
- 2) 透明樹脂製品の製造工程：愛媛大学紙産業イノベーションセンター

[平成27～31年度] セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務

- 1) インパネ周辺の内装材：トクラス株式会社 (平成27～29年度)
- 2) 自動車用金属部品の樹脂代替：トヨタ車体株式会社 (平成27～29年度)
- 3) ドアパネルの内側や天井パネルとなる内装材：九州大学大学院 (平成27～29年度)
- 4) 自動車用バッテリー：第一工業製薬株式会社 (平成27～29年度)
- 5) NCVプロジェクト：京都大学 (平成28～31年度)
- 6) 家電用断熱材、構造部材：パナソニック株式会社 (平成28～29年度)
- 7) COOL RUNプロジェクト：静岡大学 (平成28～30年度)
- 8) 住宅用サッシ、窓ガラス：株式会社日建ハウジングシステム (平成29～31年度)



[平成29年度] セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務

国家戦略、産官学の連携の動き

平成26年6月1日：「ナノセルロースフォーラム」設立。
ナノセルロースの研究開発、事業化、標準化を加速するための、オールジャパン体制での産学官のコンソーシアム。
平成26年8月1日：「ナノセルロース推進関係省庁連絡会議」、環境省（地球環境局）により創設。定期的に開催中。
平成29年6月9日：「未来投資戦略2017」（中略）セルロースナノファイバーやリグニン等について、国際標準化や製品化等に向けた研究開発を進める。

上流

↓

↓

↓

↓

下流

関係省庁	主な役割分担
農林水産省	農林業や食品産業からの国産セルロース原料の供給
文部科学省	セルロースナノファイバーに関する基礎研究
経済産業省	セルロースナノファイバーの製造（技術の研究開発等）
環境省	地球温暖化対策に資する分野への具体的な展開

※国土交通省（オプジーバーとして参加）

環境省

巻末資料2

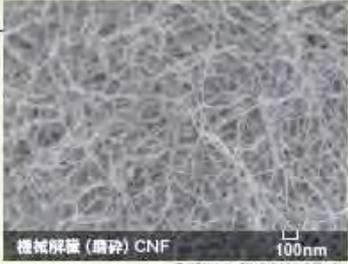
平成29年度広報資料（チラシ、リーフレット）

(1) チラシ

CNF を活用して低炭素で循環型の社会へ

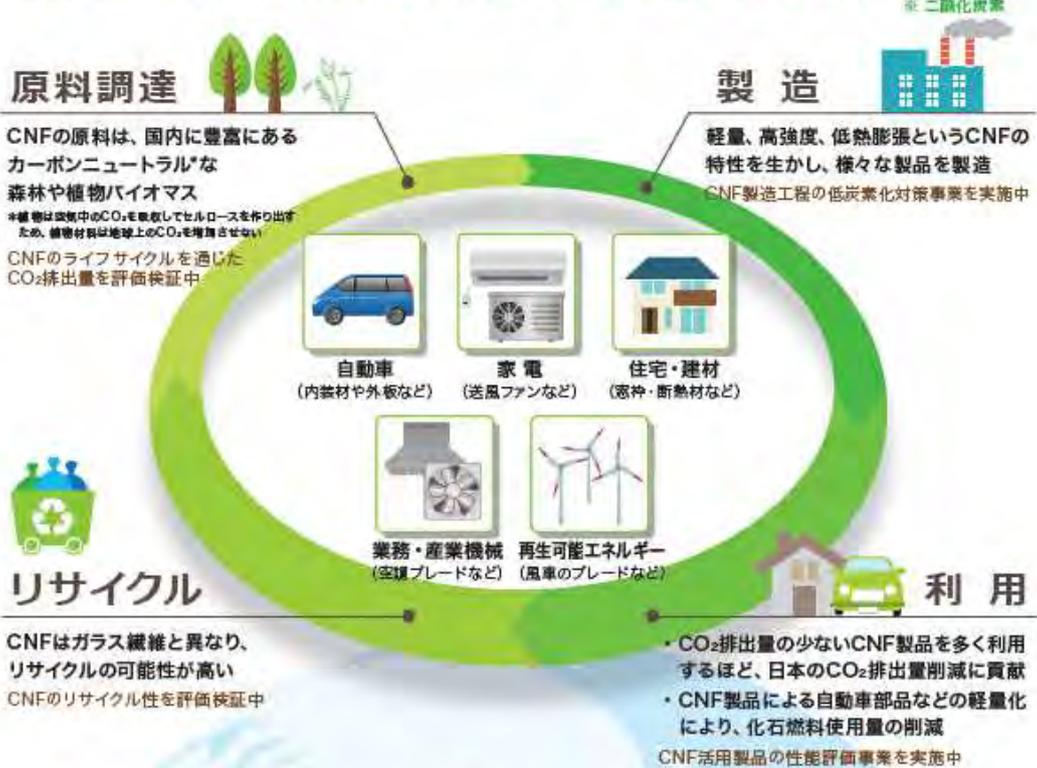
CNF (セルロースナノファイバー) とは？

- 木材など、植物を原料とする新素材
- 植物から取れるセルロース (パルプなど) を化学的・機械的処理により数~数十ナノメートルに微細化したナノ繊維
- 軽くて強い (鋼鉄の1/5の軽さで5倍の強度)
- 大きな比表面積 (250m²/g以上)
- 熱変形が少ない (ガラスの1/50程度)



機械解繊 (磨砕) CNF 100nm

CNFでCO₂排出量を削減し地球温暖化対策を推進



(2) リーフレット

地域における低炭素なCNF用途開発FS委託業務 (平成27年度)

自治体、メーカー、研究機関の連携のもと、地球温暖化対策につながる用途について、サプライチェーンを含めた地域における低炭素なCNF用途開発にむけた事業計画づくりを実施しています。

代表事業者	事業内容
国立大学法人 静岡大学	静岡県内産業を利用し「原料調達、製品製造、製品使用、廃棄」の一貫した事業性のある地域モデルを構築
公益財団法人 三重県産業支援センター	地域資源から特徴のある物性を有するCNFの製造、活用を検討、地域モデルとしての妥当性を検証 CNFのサプライチェーン、地域内企業連携の可能性について検討
岡山県	自動車部材への適用を提案し、CNF製造から部品製造までの工程を本県内産業で一貫して行う地域モデルを構築

セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務

地球温暖化対策につながり、エネルギー起源CO₂削減が期待できる自動車軽量化に重点を置き、CNFの特性を活かした用途(部材や部品)の性能評価や活用時のCO₂削減効果の検証を実施しています。

分野	代表事業者	検討対象
自動車	トクラス株式会社 (平成27~29年度)	インパネ周辺の内装材による軽量化
自動車	第一工業製薬株式会社 (平成27~29年度)	自動車用バッテリーの軽量化
自動車	国立大学法人九州大学大学院農学研究院 (平成27~29年度)	ドアパネル内側や天井パネルとなる内装材
自動車	トヨタ車体株式会社 (平成27~29年度)	自動車用金属部品の樹脂代替
自動車	国立大学法人京都大学 (平成28~31年度)	CNF複合材料を用いて材料~最終製品までの流れを俯瞰した評価
家電	パナソニック株式会社 (平成28~29年度)	家電用断熱材、構造部材の軽量化
住宅部材	国立大学法人静岡大学 (平成28~30年度)	住宅部品の断熱性能向上
住宅部材	株式会社日建ハウジングシステム (平成29~31年度)	住宅用サッシ、窓ガラスの断熱性能向上

セルロースナノファイバー製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務

将来的なCNF活用製品の普及にむけて、CNF複合樹脂製品の製品製造工程についてCO₂排出量を評価するとともに、CO₂削減対策を立案し、低炭素なCNF活用製品製造工程の検証を実施しています。

代表事業者	事業内容
パナソニック株式会社 (平成27~29年度)	プラスチック製品の製造工程について検討
国立大学法人愛媛大学紙産学イノベーションセンター (平成27~29年度)	透明樹脂製品の製造工程について検討
大王製紙株式会社 (平成27~28年度)	ゴム製品の製造工程について検討 (平成28年7月完了)

セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務 (平成29年度)

CNF市場の拡大が進んだ後の、CNFのリサイクル時の課題・解決策の検討を行う事業計画の策定をしています。

セルロースナノファイバーの社会実装に向けた環境省の取組 (2017年12月発行)

- 発行 環境省 地球環境局地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室
〒100-8975 東京都千代田区霞が関1-2-2
TEL: 03-5521-8339 (代) <http://www.env.go.jp/>
- 制作 一般社団法人産業環境管理協会 地域・産業支援センター
TEL: 03-5209-7825
デロイトトーマツコンサルティング合同会社 パブリックセクター
TEL: 03-6867-8916
株式会社エックス都市研究所 サスティナビリティ・デザイン事業本部
TEL: 03-5956-7518



リサイクル産品の発生、消費の順にリサイクルされます。
この産物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「国産」に係る判断の基準に準じ、国産品の
新へのリサイクルに準じた材料 (Aランク) のみを用いて作製しています。
©2017 Ministry of the Environment, Government of Japan. All rights reserved.

地球温暖化対策
×
植物由来
セルロースナノファイバー
(CNF)

環境省では、様々な製品の基盤となる“素材”にまで立ち返り、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待できる次世代素材CNFについて、大学やメーカー、自治体等と連携し、製品等活用時の削減効果検証、製造プロセスの低炭素化の検証、リサイクル時の課題・解決策検討、早期社会実装を推進しています。

環境省
Ministry of the Environment

植物由来の次世代素材セルロースナノファイバー (CNF)

セルロースナノファイバー (CNF) とは

- 木材から化学的・機械的処理により取り出した直径数〜数十ナノメートルの繊維状物質。
- 鋼鉄の1/5の軽さで5倍以上の強度を持ち、熱による膨張・収縮が少なく、環境負荷の少ない植物由来の素材。

セルロースナノファイバーの製造工程と主な用途

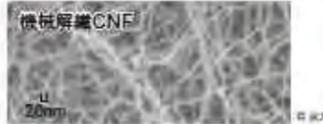
- 製造工程は、木材をチップ化・パルプ化するところまでは紙と同じ工程であり、パルプをナノ化するところに特徴がある。
- 高強度やガスバリア性等、様々な特性を活かした応用が研究されている。

【製造工程の概要】



CNFの特徴

- 鋼鉄の5倍の強度、5分の1の軽さ
- 低線膨張 (石英ガラス並)
- 可視光の波長より微細
- 高リサイクル性
- 再生可能資源
- 植物由来でカーボンニュートラル



国家戦略・産学官の動き

「ナノセルロースフォーラム」設立 (平成26年6月)

ナノセルロースの研究開発、事業化、標準化を加速するための、オールジャパン体制での産学官のコンソーシアムを設立しました。

ナノセルロース推進関係省庁連絡会議創設・開催 (平成26年8月)

CNFに関する政策連携のため、農水省(農林水産技術会議・林野庁)、文部科学省(研究開発局)、経済産業省(製造産業局)、環境省(地球環境局)により連絡会議を創設し、定期的に関係している。

関係省庁	主な役割分担
農水省	農林業や食品産業からの国産セルロース原料の供給
文部科学省	セルロースナノファイバーに関する基礎研究
経済産業省	セルロースナノファイバーの製造(技術の研究開発等)
環境省	地球温暖化対策に資する分野への具体的な展開

※国土交通省(オプジーバーとして参加)

「地球温暖化対策計画」閣議決定 (平成28年5月)

自動車部材等の軽量化が期待できるCNF等の社会実装に向けた技術開発を進めることとしている。

「未来投資戦略2017」(平成29年6月)

「(中略)セルロースナノファイバーやリグニン等について、国際標準化や製品化等に向けた研究開発を進める」こととなっている。

CNFを用いた低炭素で循環型の社会の実現



環境政策における位置づけ

大幅なCO₂の削減

自動車部材、発電機、家電製品等の軽量化により燃費・効率が改善し、地球温暖化対策への多大な貢献が期待できます。

リサイクル技術の確立

普及した場合、リサイクル時(自動車・家電等)の技術的課題の検討が必要です。

循環型社会の実現

森林資源の活用による循環型社会の実現への貢献が期待できます。

CNFを活用した地球温暖化対策

CNFは、木材や野菜のくずなどから取り出したパルプを原料として作られたナノサイズ(100万分の1mm)の繊維で、鋼鉄の5分の1の軽さでありながら5倍の強さを持っています。CNFを練り込み強化された樹脂材(プラスチック等)を、ドアやフェンダーなど自動車の様々な部品に活用することで、軽量化できれば、燃費が上がり、結果としてCO₂排出量を削減することで、地球温暖化対策への貢献が期待されています。



資料提供：自動車用部品開発のための軽量化対策、自動車用部品開発局

環境省 CNF等の次世代素材活用推進事業

【主要な事業】

社会実装に向けたCNF活用製品の性能評価モデル事業

国内事業規模が大きく、CO₂削減ポテンシャルの大きい自動車(内装、外板等)、家電(送風ファン等)、住宅・建材(窓枠、断熱材、構造材等)、再生エネ(風力ブレード等)、業務・産業機械等(空調ブレード等)においてメーカーと連携し、CNF複合樹脂等の用途開発を実施するとともに、社会実装にむけて実際にCNF製品を搭載し活用時のCO₂削減効果を評価・検証します。

CNF複合・成形加工プロセスの低炭素化対策の実証事業

CNF樹脂複合材(材料)を製造する段階でのCO₂排出量を評価し、その削減対策を実施します(乾式製法)。CNF樹脂複合材(材料)を、部材・部品へと成形する段階でのCO₂排出量を評価し、その削減対策を実施します。

リサイクル時の課題・解決策検討の実証事業

CNF樹脂複合材(材料)を製造する段階での易リサイクル性、リサイクル材料の性能評価等を行い、解決策について実証します。

環境省の取組

卷末資料3

CNFの物性・特徴等の整理結果

CNFの物性・特徴等の整理結果

CNF及び複合材の形状別（単体、フィルム、シート、ペレット等、ゲル等）に、その物性・特徴を表1～5のとおり整理した。各形状の定義は以下のとおりとした。同表中では、各形状においてキーとなる物性を下線で、今後の研究課題として、現段階で物性値が入手できない物性を「？」で示している。

<各形状の定義>

- ・単体：CNFフィブリル1本の物性・特徴
- ・フィルム：主に包装材料に用いられる、薄い膜状に成形したもの
- ・シート：主に電子・光学材料に用いられる、薄く成形したもの
- ・ペレット等：プラスチックの成形原料として、主に構造材料用途を想定し、小さな球状、円柱状に成形したもの。
- ・ゲル等：主に増粘剤用途を想定し、高い粘性を持つ液体分散媒のコロイドとしたもの。

表1 CNFの物性・特徴（単体）

物性	物性値	特徴	出典
密度	1.3~1.5 g/cm ³	軽量である。鋼鉄7.8の1/5以下	京都大学新技術発表会配布資料, 2009年9月18日 http://www.jstshingi.jp/abstract/p/09/921/kyoto10.pdf
引張強度	2~6GPa 平均3GPa	高強度、代表的鋼材SS400の引張強度0.4GPaの5倍以上である。セルロースのマイクロフィブリル1本単位の強度をキャピテーション法と統計的手法で解析した。	東京大学大学院農学生命科学研究科研究成果トピックス, 2012年12月22日 http://www.a.utokyo.ac.jp/topics/2012/20121220-3.html
弾性率	138 GPa	鋼鉄SS400の弾性率206GPa曲げ剛性部材の軽量化指標である比剛性（弾性率の3乗根を密度で割ったもの）はSS400の4.5倍である。	京都大学新技術発表会配布資料, 2009年9月18日 http://www.jstshingi.jp/abstract/p/09/921/kyoto10.pdf
弾性率 格子力学法による計算値	160 GPa	分子鎖軸方向の格子力学法による計算値 X線回折に基づく結晶弾性率は120~140GPa	田代考二, セルロースの辞典, P221, 朝倉書店2000年11月10日
弾性率 マイクロフィブリル1本	145 GPa	TEMPO酸化セルロースマイクロフィブリル1本の弾性率を原子間力顕微鏡(AFM)を用いて測定した。ホヤのマイクロフィブリルの弾性率を同様の方法で測定した結果は150GPaであった。	東京大学大学院農学生命科学研究科, 「原子間力顕微鏡を用いたセルロースマイクロフィブリル1本の弾性率測定」, Cellulose Commun., 17巻3号P111-115, 2010年
屈折率(CNF単独)	1.58	CNFと樹脂をコンポジット化した時、樹脂の屈折率との差が少ないほどに光散乱が起きにくい。	日立製作所, 京都大学Polyfile, 48巻9号P.22-25, 2011年

物性	物性値	特徴	出典
熱伝導率 (CNF 単独)	2.8W/m・K	エポキシ樹脂やアクリル樹脂の 20 倍。電子部品は高温環境に長期間晒されると本来の機能が低下し、寿命も低下するため、従来の放熱材より放熱効率の高い材料が期待されている。	KRI プレスリリース、2014 年 10 月 16 日 http://www.kriinc.jp/aboutkri/news/2014/1016.html
融点 (熱分解開始温度)	290 °C	天然繊維である綿と同様、プラスチックのような液状化開始の融点をもたない。CNF の熱質量分析 (TGA) では 290°C 以上で熱分解による重量減少が開始する。	繊維「3 改訂」P. 189, 東京電気大学出版局, 1998 年 王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014 年 3 月 25 日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf 京都大学ほか, 「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書, P. 27, 2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
溶解度	? g/100g-H2O	製剤に使用される結晶性セルロース粉末は水には溶けない。湿式ジェットミル (ウォータージェット) で 10 回処理すると半透明ゲル状となった。TEMPO 酸化で処理した場合は透明なゲルとなる。TEMPO 酸化による CNF の幅が 4 nm と可視光波長より少ないためである。2%CNF が増粘剤として販売されている。	(株)スギノマシン, 「ウォータージェットを利用したセルロースのナノファイバー化」, Cellulose Commun., 17 巻 3 号 P106-110, 2010 年 第一工業薬品, 「セルロースシングルファイバーの増粘剤・ゲル化剤への応用」, JETI62 巻 7 号 P. 49-53, 2014 年 7 月
粘度	10,000 以上 Pa・s (CNF 濃度 0.5%)	CNF は静置時にはゲル状である。流動時には粘度が低下する性質があり、スプレーできるゲルができる。	第一工業薬品, 「セルロースシングルファイバーの増粘剤・ゲル化剤への応用」, JETI62 巻 7 号 P. 49-53, 2014 年 7 月
体積抵抗率	? Ω・m	CNF の体積抵抗率の測定事例が見当たらない。セルロース繊維は体積抵抗率 $10^7 \sim 10^9 \Omega \cdot m$ の絶縁体である。	安田武夫, プラスティック 52 巻 4 月号 P158-163 http://www.m-kagaku.co.jp/products/business/corp/cmd/operation/details/plastics_15.pdf

表2 CNFの物性・特徴（フィルム）

物性	物性値	特徴	出典
水蒸気透過度	50g/m ² ·24hr at 40°C, 90% RH (最終開発目標は 10g/m ²)	水蒸気バリアー性が高い。 TEMP 酸化 CNF 分散液より厚さ 1μ以下の CNF 薄膜フィルムを製造して、厚さ 25μの PLA フィルムにコーティングした。アルミ蒸着フィルムとちがい、透明である。	NEDO, 花王, 日本製紙, 東京大学, Nano Tech2009 記者説明会資料, 2009年2月8日 http://www.nedo.go.jp/content/100080315.pdf
酸素透過度	10L/m ² .24hr.atm at20 °C , 90% RH (最終開発目標は 1L/m ²)	酸素バリアー性が高い。 TEMP 酸化 CNF 分散液より厚さ 1μ以下の CNF 薄膜フィルムを製造して、厚さ 25μの PLA フィルムにコーティングした。アルミ蒸着フィルムとちがい、透明である。	NEDO, 花王, 日本製紙, 東京大学, Nano Tech2009 記者説明会資料, 2009年2月8日 http://www.nedo.go.jp/content/100080315.pdf
引張強度 (CNF 透明シート)	223MPa	汎用熱可塑性プラスチック PP の引張強度 20MPa の 10 倍以上の強度がある。抄紙による連続シート成形では CNF 単体同士の界面強度が CNF 単体強度より劣るため、CNF 単体での強度の 1/10 以下である。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
引張強度 (TOCN+モンモリナイト) 比重 1.99 弾性率 18GPa	509MPa	TEMPOセルロースナノファイバーとナノクレイ(粘土の一種モンモリナイト)複合フィルムはCNFフィルムの2.5倍の引っ張り強度を示した。透明性、ガスバリアー性がある。	Wu, 斎藤、磯貝(東大)、 「Ultrastrong and High Gas-Barrier Nanocellulose/Clay-Layered Composites」, Biomacromolecules, 2012, 13 (6), pp 1927-1932
引張強度 0.1%PVA 被覆 CNF+PVA) 弾性率 1.83GPa	121.7MPa	CNF を PVA 結晶で被覆させ、PVA フィルムに 0.1%分散させたところ、引張強度が 71,1MPa から 121.7MPa に向上した。	内田哲也(岡山大学)ほか、 「セルロースナノファイバーの高分子結晶での被覆と複合体への応用」, 加工技術 Vol. 52, No. 2(2017) P. 7-P. 13
押し込み弾性率 疎水変性 CNF5%配合 DPHA 塗膜	770MPa	TEMPOセルロースナノファイバーを DPHA (硬化皮膜が耐摩擦性に優れている)に分散させた。CNF なしの押し込み弾性率は 690MPa であった。	難波達也(第一工業製薬)、 「疎水変性セルロースナノファイバーの開発」, JETI Vol. 65No. 2(2017) P. 85-88
耐スクラッチ性 PVA+40%TEMPO 酸化 CNF	7H JIS K5600-4:1999 引っ掻き硬度評価法の鉛筆硬度	PVA (ポリビニルアルコール) は自動車フロントガラス中間膜の原料である。CNF 添加なしの場合の耐スクラッチ性は 3H であった。	小長谷重次(名古屋大学)ほか、 「セルロースナノファイバー(CeNF)の耐スクラッチ性向上効果」, 成形加工シンポジウム 2016, 2016年11月2日, 福岡

物性	物性値	特徴	出典
熱膨張係数(CNF透明シート)	7.2 ppm/k	プラスチックの熱膨張の1/10程度である。 タルク強化PP材の場合、 $42 \sim 80 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ PP単独の場合、 $81 \sim 100 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	王子ホールディングス新技術情報VOL.15 http://www.ojiholdings.co.jp/r_d/tech_news/015.html PP樹脂物性表(プラスチック読本(株)プラスチックエージェンシー社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
引張弾性率 25 μm 厚透明CNFシート	11.6GPa	透明樹脂シートの中でかなり高い。PETフィルムの弾性率は4GPaである。	野口裕一(王子ホールディングス), 「リン酸エステル化セルロースナノファイバー分散液、透明シートの特長と用途開発」, 化学工学, 81巻4号(2017) P324-P333
全光線透過率 25 μm 厚透明CNFシート	91.4%	透明樹脂シートの中でかなり高い。	
ヘイズ 25 μm 厚透明CNFシート	0.5%	透明樹脂シートの中でかなり高い。	
ガラス転移温度 25-200 $^{\circ}\text{C}$	ガラス転移なし	熱分解温度が高く、電子デバイス成膜時温度に耐えられる。	
表面粗さ Rmax(原子間力顕微鏡(AFM))	18nm	電子デバイス成膜に必要な水準である。(要確認)	
フレキシブル性 ϕ 1mmシャフト巻付け	割れなし	折り曲げても白化しない。	

表3 CNF複合材の物性・特徴（シート）

物性	物性値	特徴	出典
密度 (CNF 透明シート)	1,5 g/cm ³ 空隙部を含まない実密度	CNF 分散液から 20~100 μ 厚の透明な連続シートが抄紙により製造できた。透明な不織布であり、包装材、電子部品に使用できる。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
密度 (CNF 多孔シート)	? g/cm ³	CNF 分散液から平均細孔径 8~46nm の多孔連続シートが抄紙により製造できた。透明な不織布であり、フィルターなどに使用できる。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
引張強度 (CNF 透明シート)	223MPa	汎用熱可塑性プラスチック PP の引張強度 20MPa の 10 倍以上の強度がある。抄紙による連続シート成形では CNF 単体同士の界面強度が CNF 単体強度より劣るため、CNF 単体での強度の 1/10 以下である。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
引張強度 (CNF 透明シート)	150MPa	リン酸化 CNF シート (アウロ・ヴェール 25 μ m 厚) の引張強度は 150MPa, 弾性率 10GPa, ヘイズ値 0.5%, 全光線透過率 91.4% である。	本間 郁絵 (王子ホールディングス), 「リン酸エステル化セルロースナノファイバーの製造と用途展開」, 工業材料 Vol. 65 No. 8 P68-69, 2017年8月
曲げ強度 (CNF シート)	200MPa	JIS K7017 に準じて測定 繊維径 10~100nm 高アスペクト比 (2000 以上) の商品名「ナノセリッシュ」から作成された 100%CNF シートは繊維径数 100nm の従来製品「セリッシュ」より曲げ強度が増した。	ダイセル, 「シート化できるセルロースナノファイバー「ナノセリッシュ」」, コンバーテック, P76-79, 2013年6月号
曲げ弾性率 変性リグノ CNF100% 密度 1.36 g/cm ³	8,900 MPa	変性リグノ CNF を 170℃ 熱圧形成した。線熱膨張率 14.9ppm/K の透明シートがえられた。同一剛性を得るための重量は鋼鉄の半分。	山田修平 (星光 PMC 株), 「高植物度熱可塑性リグノナノファイバー材料の開発」, Nanocellulose Symposium P27-30、

物性	物性値	特徴	出典
			2015年3月20日
曲げ弾性率 ケミサーモメカニカルパ ルプ CNF100% 密度 1.4 g/cm ³	9.6 GPa 曲げ強度 210MPa	リグニンを含んだパルプを 機械解繊、乾燥後、170℃熱 圧形成した。試料表面はプラ スチック状の光沢を示し、厚 さ1mmで光透過性を示した。	阿部健太郎(京都大学)ほか、 「サーモメカニカルパルプ のナノ解繊と熱圧成形」、成 形加工シンポジア 2015, 2015 年11月2日福岡
突刺強度 (CNF強化PEセパレータ)	1.057 kgf	リチウム電池内部のフィル ム(セパレータ)や、ペット ボトル、薬剤パッケージをピン で突き刺し、その強度を測 定する試験 CNF強化PEセパレータは従 来品より耐熱性と機械的強 度が向上した。市販品の厚み が20μに対して開発品は8 μの厚みである。CNFとPE の重量比は不明。	日本製鋼所、京都大学、産総 研、「セルロースナノファイ バー複合材料を用いた セパレータ製造プロセス の開発」、日本製鋼技報 NO. 64P. 28-36, 2013年10月
比表面積	39~148m ² /g	CNFを使用した多孔連続シー トの比表面積、空隙率、平均 細孔径細孔制御が可能であ る。	王子ホールディングス新技 術情報 VOL. 15 http://www.ojiholdings.co.jp/r_d/tech_news/015.html
空隙率	35~62%		
平均細孔径	8~46nm		
全光線透過率 (CNF透明シート)	90.1%	可視光波長(400~800nm)に 比べ十分に細いセルロース ナノファイバーは可視光の 散乱を生じないため、透明な シートがえられる。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資 料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
全光線透過率 (樹脂複合化時)	89%以上	CNF多孔シートに透明樹脂 (エポキシ、ポリカーボネ イトなど)を含浸させること により、複合シートがえられ る。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資 料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
ヘイズ (CNF透明シート)	0.5%	フィルムの透明性に関する 指標で、濁度(曇度)を表す。 拡散透過光の全光線透過光 に対する割合から求められる もので、表面の粗さに影響 を受ける。ディスプレイ用途 のヘイズ値は1%以下が求め られる。ガラスのヘイズ値は 0%、PETフィルムは約4%である。	王子ホールディングス Nanocellulose Symposium2014 配布資 料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf

物性	物性値	特徴	出典
熱膨張係数(CNF透明シート)	7.2 ppm/k	プラスチックの熱膨張の1/10程度である。 タルク強化PP材の場合、42~80 ×10 ⁻⁶ K ⁻¹ PP単独の場合、81~100 ×10 ⁻⁶ K ⁻¹	王子ホールディングス新技術情報VOL.15 http://www.ojiholdings.co.jp/r_d/tech_news/015.html PP樹脂物性表(プラスチック読本(株)プラスチックエージェンシー社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
熱膨張係数(CNF+無機粒子放熱材)	5.0 ppm/k	基盤材の寸法変化と同レベルのため、基盤からの放熱材の剥離がない。	KRIプレスリリース、2014年10月16日 http://www.kri-inc.jp/aboutkri/news/2014/1016.html
熱伝導率(CNF+無機粒子複合放熱材)	6W/m・K	シリコン系放熱材の2~4倍	KRIプレスリリース、2014年10月16日 http://www.kriinc.jp/aboutkri/news/2014/1016.html
熱伝導率(CNF樹脂複合透明放熱材)	1.1W/m・K	従来透明樹脂(エポキシ、ポリカーボネイトなど)の2~5倍	日立製作所、京都大学、Polyfile, 48巻9号P.22-25, 2011年
熱伝導率(面方向)	最大2.5W/m・K	ホヤ、バクテリアセルロースなど7種類のCNF不織シートの面方向の熱伝導率の最大値は通常のプラスチックの3~10倍であった。厚み方向の熱伝導率は0.2W/m・Kで通常のプラスチックと同程度であった。	上谷 幸治郎(立教大学), 「セルロースナノファイバーによる伝熱材料」工業材料Vol.65 No.8 P80-81, 2017年8月
吸水率 TOCN-CNF+ 湿潤紙力増強剤20%	71%(12h)	TOCN液を乾燥させただけのCNFフィルムの吸水率は3,100%であるが、耐水ダンボールなどに使用されている湿潤紙力増強剤を混合させることにより、CNFフィルムの吸水性が抑制される。	星光PMC(株), 「変性・改質によるセルロースナノファイバーの高機能化」, 紙パルプ技術タイムズ2014年6月号P.43-46
吸水率 CNF10%+POM(ポリアセタール)	0.6%(45h23°C65%RH)	POM(ポリアセタール)は成形加工温度が190°C以下でCNFの耐熱温度以下で加工できる熱可塑性エンブレである。POM単独での吸水率(重量変化)は0.15%であった。JIS K7209では23°Cの水に試験片を浸し、重量変化を求める。	京都大学、三菱エンジニアリングプラスチック(株), 「変性セルロースナノファイバーによるポリアセタールの補強」, ナノセルロースフォーラム第1回技術セミナー資料集P.141, 2014年6月9日
固定化触媒フローリアクター合成効率 (CNF透明シート)	1.4~9.2倍	CNFシートに貴金属を担持させた反応器は従来反応器より、高い合成効率を示した。	古賀 大尚(大阪大学), 「有用分子をつくる紙の触媒反応器「ペーパーリアクター」の開発」, ケミカルエンジニアリングVol.62No.6 P.8-15, 2017年6月

表4 CNF複合材の物性・特徴（ペレット等）

物性	物性値	特徴	出典
密度 (MDPEにCNFを3~10%混練した樹脂ペレット)	0.94~0.97g/cm ³	PEの密度は0.93	中越パルプ工業, CNF サンプル販売資料 2014年10月31日 http://www.chuetsu-pulp.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2013/03/20130301CeNF01.pdf
密度 CNF10%+HDPE 発泡体	0.5 g/cm ³	一般的な自動車用材料であるタルク 10wt%含有 PP の弾性率は 2GPa、密度 1.05g/cm ³ である。CNF 強化 HDPE 発泡体は同等の弾性率でありながら、密度が 0.5 g/cm ³ であるため、53%の軽量化が可能となる。	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書, P. 54, 2013年2月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/ABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
曲げ弾性率 CNF10%+HDPE 発泡体	2 GPa		
密度 CNF40%+エポキシ樹脂	1.4 g/cm ³	一般的なガラス繊維強化プラスチックの密度は 1.8 g/cm ³ である。CNF 強化エポキシ樹脂はガラス繊維強化プラスチックと同等の曲げ強度 200MPa、曲げ弾性率 10GPa をもつので、23%の軽量化が可能となる。ただし、炭素繊維 60%強化エポキシ樹脂の密度 1.52g/cm ³ 、引張強度 1,230MPa には劣る。CNF 強化エポキシ樹脂の強度が炭素繊維強化エポキシ樹脂と同等となるためには強化材 CNF 強度を炭素繊維並みにする必要がある。	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書, P. 46, 2013年2月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/ABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf (地独)大阪市立工業研究所編、「プラスチック読本第 20 版」, P230, 2014年1月
曲げ強度 CNF40%+エポキシ樹脂	200 MPa		
曲げ弾性率 CNF40%+エポキシ樹脂	10 GPa		
引張強度 CNF10%+HDPE	57 MPa	化学変性パルプの解繊と樹脂の混合を二軸押出機で同時におこなう。解繊性と分散性が向上、HDPE 単体の 2.5 倍の強度が得られた。 CNF 10% HDPE 77% ASA (アルケニル無水コハク酸) 7.4% パルプ変性剤 MAPP (無水マレイン酸変性ポリプロピレン) 4.3% 高分子分散剤 (炭酸カルシウム) 1.3% 変性パルプ、高分子分散剤、HDPE 樹脂をエタノール中で攪拌混合し、減圧乾燥して、マスターバッチを得る。マスターバッチ 1 に対して、HDPE 樹脂 2 の割合で二軸混練機に 140℃ で 1 パスさせたペレットを射出成形した試験片の引張強度は 54MPa であった。	京都大学 Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/ABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf 京都大学ほか、「変性マイクロフィブリル化植物繊維を含む樹脂組成物の製造方法、及びその樹脂組成物」, 特許公報 W02013133093A1, P11, 2013年9月12日 http://www.google.com/patents/WO2013133093A1?cl=ja

物性	物性値	特徴	出典
引張強度 CNF10%+ナイロン6	94 MPa	化学変性パルプの解繊と樹脂の混合を二軸押出機で同時におこなう。解繊性と分散性が向上、ナイロン6単体の2.0倍の強度が得られた。	京都大学 Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
引張強度 表面改質リグノ CNF0.5%+PP	30 MPa	PP ポリプロピレン 80%、タルク 20%の場合 30.5MPa 木粉を微粉碎したリグノ CNF0.5%を PP にホモミキサーで 17 分間攪拌して、従来タルク強化 PP と同等の引張強度 30MPa が得られた。母材 PP の強度は 20MPa	ハリマ化成技術資料 http://www.harima.co.jp/randd/technology_report/pdf/techrepo0801_1.pdf ヤマハリビングテック (現在の社名はトクラス), 気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革中間評価「人と森 SMART 工場モデル実証」, P33-35, 2012年4月 http://sefdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20101700/2012/201017002012rr.pdf
引張強度 CNF10%+PP	58.1 MPa	PP ポリプロピレン 90%、変性 CNF10%の場合 母材 PP の強度は 45.1MPa	京都大学 Nanocellulose Symposium2014 配布資料, 2014年3月25日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/04/nanocellulosesymposium2014abstract.pdf
引張強度 CNF5%+MDPE	18 MPa	母材 (マトリックス) 中密度 PE の強度は 14MPa	中越パルプ工業, 「PE/ナノセルロースコンポジットの力学特性, 成形加工シンポジウム 2014, P97-98, 2014年11月
引張強度 リグノ CNF5%+PP	35 MPa	木粉を微粉碎したリグノセルロースナノファイバー, PP, 相溶剤 MAPP を固相せん断処理により混練した。母材 PP 強度は 24Pa であった。	産総研, 「ポリプロピレン複合材料におけるセルロースおよびリグノセルロースナノファイバー分散方法の検討」, Cellulose Commun., 21 巻 1 号 P21-24, 2014年
引張強度 CNO.05%+PP30%+でんぷん 70%	31.1 MPa	古米の活用のため、古米 70% PP30%のごみ袋用ベレットを混練機で製造した。CNF を 0.05% 加えることで強度が上がった。	吉岡 まり子 (京都大学), 「セルロースナノファイバーの複合化技術」, ケミカルエンジニアリング Vol.62No.6 P.16-24, 2017年6月

物性	物性値	特徴	出典
引張強度 ラミー繊維+パルプ繊維複合材	480 MPa	東洋紡の精製ラミー繊維 80%と王子製紙のパルプ繊維 20%を混合乾燥させて、40 x 30 x 1 mm の試験片をつくった。島津製作所の引張試験機で平均480MPa の引張強度を得た。ラミーは天然繊維中、最大の強度をもつ。セルロース繊維同士の複合材を試作したものだが、CNF に加工したものを使用したものではない。パルプを原料とするより重合度の高いラミーを原料とした方が強度がであることを示唆している。	神戸大学, Macromolecules 誌 37 巻 20 号, P7683-7687 2004 年
引張強度 TEMPO 酸化 CNF2.5%プラスチック (種類不明)	120 MPa (図より読み取り)	TEMPO 酸化 CNF を界面活性剤 (ポリエチレングリコール) で改質し、プラスチック (種類不明) に 2.5%混ぜたところ、引張強さは 80MPa から 120Mpa になった。藤沢秀次 (森林総合研究所) との共同研究である。	斎藤継之 (東京大学), 「セルロースナノファイバー-木材屋さんのナノマテリアル」, 応用物理, 第 81 巻第 2 号 (2017), P. 144-P. 147
引張強度 フルレオン処理 CNF1.1%+PLA	0.6 MPa (図より読み取り)	高温領域 80℃における PLA フィルムの強度がフルレオン処理したものは未処理のものとの 3 倍となった。	桂田慎也 (滋賀県立大学), 「カルド修飾 CNF/PLA コンポジット材料の力学的・熱的特性評価研究 (II)」, 日本レオロジー学会誌 Vol. 45, No. 1, 2017 P. 26-P. 31, 2017 年 1 月
発泡体曲げ強度 変性 CNF8%+PE	90 MPa (図より読み取り)	結晶核剤 5%添付のコアバック発泡体の曲げ強度は 65MPa であった。	佐藤 明弘 (星光 PMC), 「変性セルロースナノファイバー強化樹脂の開発状況」, N 工業材料 Vol. 65 No. 8 P64-65, 2017 年 8 月
曲げ強度 変性 CNF10%+PE+HDPE+添加剤	39.5 MPa	衝撃強さを母材並にするために添加剤をいれている。	京都大学ほか, 「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」 NEDO 成果報告書, P. 27, 2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
曲げ強度 変性 CNF10%+PA11 (バイオポリアミド)	72.7 MPa	PA11 (バイオポリアミド) 単独の 49.6MPa に対して 46%曲げ強度が増した。 曲げ弾性率 2060MPa、曲げ強度 72.7MPa→ニート PA11 材料に対して+78%, +47%の補強効果あり。 荷重たわみ温度は、低応力 (0.45MPa) 試験および高応力 (1.8MPa) 試験において 164℃ および 109℃→ニート PA11 材料に対して +53℃及び+62℃向上	京都市産業技術研究所ほか, 「セルロースナノファイバーとバイオポリアミドの複合化」, 成形加工 26 巻 7 号, P355-358, 2014 年 7 月 今回ヒアリング調査結果

物性	物性値	特徴	出典
曲げ強度 水熱処理 CNF・シリカ粉末 +PP 配合率不明だが、少量でよい	53 MPa	ニート PP の曲げ強度は 43MPa 約 23%向上	遠藤貴士（(独)産業技術総合研究所）、「農林系廃棄物を用いたハイブリッドバイオマスファイラー製造および複合材料開発-リグノセルロースナノファイバーの応用展開-」anosellulose Symposium P49-57、2015年3月20日
曲げ強度 CNF10%PA6	159MPa	曲げ特性は DS=04~0.8 の領域においてピークとなる。置換度 DS=2.0 において 1wt%減量温度は 243℃から 293℃に向上するが、結晶性低下により強度は落ちる。	仙波健（京都市産業技術研究所）、「繊維機械学会誌」, Vol. 70, No. 4, Aipril (2017), P224-P. 227
引張弾性率 CNF10%+HDPE	5,200 MPa	低温で長時間混練したものが最も弾性率が高かった。neatHDPE の弾性率は 1,000MPa であった。	木村 敏樹（D I C）、「樹脂強化用 CNF マスターバッチの開発」, 工業材料 Vol. 65 No. 8 P66-67, 2017 年 8 月
引張弾性率 CNF10%+HDPE	2,500 MPa	高分子分散剤による補強結果である。neatHDPE の弾性率は 630MPa であった。	榊原圭太ほか（京都大学）、「高分散性セルロースナノファイバー樹脂複合材料の創製」, Cellulose Commun. Vol. 24 No. 1 P. 8-p. 11, 2018 年 1 月
曲げ弾性率 CNF10%+HDPE+添加剤	2,120 MPa	衝撃強さを母材並にするために添加剤をいれている。	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書, P. 27, 2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
曲げ弾性率 竹 CNF20%+分散剤+PP	3,280 MPa	分散剤で竹 CNF を被覆した後、PP と混練する。PP ニートの曲げ弾性率は 2,000MPa であった。	野寺明夫（出光ライオンコンポジット）、「セルロースナノファイバーと PP の複合材料開発」, プラスチックスエージ 2017 No. 4, P. 58-P. 62
曲げ弾性率 CNF10%+PP	3,505 MPa	PP の補強ファイラー混合率を 10%とした時、CNF、ガラス繊維、タルク、木粉のうち、CNF の値が一番高かった。	トヨタ車体(株)新規事業開発部、「セルロースナノファイバーを用いた機能部品の軽量化検討報告書」, H27 年度セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務研究成果報告書 P. 16, 2016 年 3 月 31 日
曲げ弾性率 CNF10%+PP	4,730 MPa	PP 単独で 1,970MPa に対して、パルプ 10%、変性処理、解繊促進剤、膨潤剤、ファイラーを加えて最適化した。	仙波健（(地独)京都市産業技術研究所）、「CNF 強化熱可塑性樹脂の製造と特性」, Nanocellulose Symposium 2018/第 365 回生存圏シンポジウム—原材料検討から自動車まで— P. 33-P. 45, 2018 年 2 月 27 日京都テルサ テルサホール

物性	物性値	特徴	出典
曲げ弾性率 CNF10%+PP	3,880 MPa	PP 単独で 1,310MPa に対して、約 3 倍になった。	鈴木俊雄 ((株)吉川国工業所), 「CNF/PP 射出成型品の商品展開について」, Nanocellulose Symposium 2018/第 365 回生存圏シンポジウム—原材料検討から自動車まで— P.115-P.121, 2018 年 2 月 27 日 京都テルサ テルサホール
曲げ弾性率 CNF10%+PP	CNF なしの 112%	3 種類のパルプのうち、機械パルプから作成した CNF が一番、弾性率が上がった。	大川淳也 (大王製紙), 「セルロースナノファイバーの製造技術および用途開発事例について」, せんい Vol. 70, No. 2 February, 2017 P.98-P.101, 2017 年 2 月
曲げ弾性率 変性リグノ CNF10%+PA6 比重 1.20	5,430 MPa	PA6 は融点 225°C の汎用エンジニアリングプラスチックであり、CNF10% 配合で曲げ剛性が向上する。自動車外板に適用された場合、一体塗装に耐える耐熱性をもつ。	仙波強 (地独) 京都市産業技術研究所), 「変性セルロースナノファイバーの熱可塑樹脂強化フィラーとしての活用」, MATERIAL STAGE Vol.15 No.5 P.15-20, 2015
曲げ弾性率 発泡変性リグノ CNF10%+PA6 比重 0.88	3,590 MPa	未発泡 PA6 の約 70% の重量で、曲げ剛性は 2 倍ある。射出発泡成形が可能である。	伊藤彰浩 (地独) 京都市産業技術研究所), 「セルロースナノファイバー強化樹脂材料の発泡成形」, Nanocellulose Symposium P19-26, 2015 年 3 月 20 日
曲げ弾性率 リグノ CNF25%+PF (フェノール)	24 GPa	均一な膜厚のリグノ CNF シートを PF のメタノール溶液を含浸させ、5 枚積層して圧縮成形した。PF-GF60% の弾性率は 12GPa	小島和重 (株デンソー)、矢野浩之 (京都大学) ほか, 「セルロースナノファイバーとフェノール樹脂複合体の開発」, 成形加工シンポジウム 2016, 2015 年 11 月 2 日, 福岡
曲げ弾性率 リグノ変性 CNF+POM (CNF 比率記載なし)	5,590 MPa	リグノ変性パルプと POM を混練し、射出成形により試験片を得た。曲げ強さは 129MPa, Izod 衝撃強さは 4.95kJ/m ² であった。ニート POM の Izod 衝撃強さは 5.38kJ/m ² であった。磨耗量は従来無機フィラーの 1/5 であった。	仙波健 (京都市産業技術研究所)、矢野浩之 (京都大学) ほか, 「セルロースナノファイバー強化ポリアセタール樹脂の力学的特性」, 成形加工シンポジウム 2016, 2015 年 11 月 2 日, 福岡
曲げ弾性率 リグノ変性 CNF+PA6 (CNF 比率記載なし)	6,760 MPa	PA6 のみの 2.6 倍 PA 曲げ弾性率を 2.6GPa と仮定した。	奥村博昭, 矢野浩之 (京都大学) ほか, 「変性ナノファイバーによる熱可塑性樹脂の補強に関する研究」, 成形加工シンポジウム 2016, 2015 年 11 月 2 日, 福岡
曲げ弾性率 CNF10%+PA11	2,060MPa	PA11 のみ 1,160MPa 約 1.8 倍になった。	仙波健 (京都市産業技術研究所), 「セルロースナノファイバーバイオコンポジットの特性」, 京都市産業技術研究所研究報告 No.4 (2014), 2014 年 4 月
比曲げ弾性率 変性 CNF10%+PA6 発泡体比重 0.7	4,080MPa	PA6 未発泡体の 2.2 倍 比弾性率は同じ重量あたりの弾性率を意味し、比重の異なる材料間で比較を行う指標となる。	伊藤 彰浩 (京都市産業技術研究所), 「セルロースナノファイバー強化樹脂材料の発泡成形」, ケミカルエンジニアリング Vol.62No.6 P.32-36, 2017 年 6 月

物性	物性値	特徴	出典
ロックウェル硬さ	? mm	CNF 強化樹脂の射出成形品での値は文献調査ではえられなかった。 HDPE の場合、ロックウェル硬さは D60~70 タルク強化 PP の場合、M85~110	機械工学便覧デザイン編 β2 材料学・工業材料 P. 141、日本機械学会、2006 年 PP 樹脂物性表 (プラスチック読本(株)プラスチックエージ社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
Izod 衝撃強さ 変性 CNF10% +HDPE+高分子添加剤	3.29 kJ/m ²	疎水変性 CNF と HDPE 複合材料には曲げ強度、曲げ弾性率は向上するが、衝撃強さが低下するという弱点がある。高分子添加剤を加えることにより、曲げ強度を 24→39.5MPa まで向上させ、Izod 衝撃強さは 3.49→3.29kJ/m ² とほぼ母材と同等とできた。	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書、P. 27、2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
Izod 衝撃強さ 変性 CNF10% +PA11 (バイオポリアミド)	4.58 kJ/m ²	Izod 衝撃強さは PA11 単独 8.04 から 4.58kJ/m ² に低下したが HDPE の Izod 衝撃強さを上回る。	京都市産業技術研究所ほか、「セルロースナノファイバーとバイオポリアミドの複合化」、成形加工 26 巻 7 号、P355-358、2014 年 7 月
熱膨張係数 CNT10%+HDPE	47 ppm/k	変性パルプ、HDPE 樹脂、高分子分散剤を二軸押出機で解繊、混練した CNF 強化 HDPE の熱膨張係数は 248 ppm/k (HDPE 単独) からアルミ合金並みの 47 ppm/k に低下した。	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書、P. 61、2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf
熱膨張係数 (ラミー繊維 80%+パルプ繊維 20%)	0.1 ppm/k	石英ガラス並み、寸法安定性が高い。 東洋紡の精製ラミー繊維 80%と王子製紙のパルプ 20%で、40 x 30 x 1 mm の試験片をつくった。ラミー繊維は天然セルロースの中で重合度が高く最大の強度を持つことと関連あるのかもしれない。	神戸大学、Macromolecules 誌 37 巻 20 号、P7683-7687 2004 年
荷重たわみ温度(熱変形温度) CNF10%PE	109 °C (荷重 1.81MPa)	熱安定性が大幅に向上した。 PE 単独の荷重たわみ温度は 78°C	京都大学ほか、「セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発」NEDO 成果報告書、2013 年 2 月 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2014/01/fd99748c35cc0315e96a856e6d8f2de3.pdf

物性	物性値	特徴	出典
連続耐熱温度	? °C	CNF10%混練樹脂ペレットの場合、母材樹脂と同等以上と思われる。 HDPE の場合、121°C	機械工学便覧デザイン編 β2 材料学・工業材料 P. 141、日本機械学会、2006 年
1%重量減少温度 変性リグノCNF	258°C	木材の 1%重量減少温度は 198°Cで変性リグノCNF は耐熱性が改善している。	五十嵐優子ほか（王子ホールディングス株）、「高耐熱リグノセルロースナノファイバーの開発」、Nanosellulose Symposium P9-12, 2015 年 3 月 20 日
1%重量減少温度 CNF10%+PA6	293°C	京都プロセス CNF10%+PA6 は水酸基置換度により、物性がちがう。置換度 2.0 の時、耐熱温度（1%重量減温度）はピークの 293°Cとなるが、強度のピーク（曲げ弾性率 5.43Gpa 曲げ強度 159MPa）は置換度 0.4~0.8 にある。	仙波健（京都市産業技術研究所）、「変性セルロースナノファイバーによる熱可塑性樹脂材料の強化」、N 繊維機械学会誌 Vol. 70No. 4(2017) P. 224-P. 227, 2017 年 4 月
<u>MFR(メルトフローインデックス)</u>	10~12.5g/10min	射出成形の成形性の指標であり、値が高いほど流動性がある。 PPに10%のCNFを混練した時の値 PPのMFRは5~60の値である。	中越パルプ工業、富山県工業技術センター研究報告, 27号 P80, 2013年
<u>MFR(メルトフローインデックス)</u>	5~6.5g/10min	PEに3~10%のCNFを混練した時の値 PEのMFR値7より低下したが、射出成形は良好であった。	中越パルプ工業, CNF サンプル販売資料 2014年10月31日 http://www.chuetsu-pulp.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2013/03/20130301CeNF01.pdf
成形収縮率	? %	CNF10%混練樹脂ペレットの場合、母材樹脂と同等と思われる。 非強化PPの場合、1.0~2.5	プラスチック読本代 20 版 付録：主要プラスチックの性能表一覧, 株プラスチック・エージ, 2009 年 10 月
体積抵抗率	? Ω・m	CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 プリント基板に使用されるエポキシ樹脂、フェノール樹脂の体積抵抗率は $1 \times 10^9 \Omega \cdot m$ 以上の絶縁物である。	安田武夫、プラスチック 52 巻 4 月号 P158-163 http://www.m-kagaku.co.jp/products/business/corp/cmd/operation/details/plastics_15.pdf
絶縁破壊強さ	? kV/mm	CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 PP タルク強化材の場合、20kV/mm PP 単独の場合、24kV/mm	PP 樹脂物性表（プラスチック読本株プラスチックエージ社） http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
比誘電率	?（無次元）	CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 PP 単独の場合、2.2~2.6 PET フィルムがコンデンサとして利用されている。	PP 樹脂物性表（プラスチック読本株プラスチックエージ社） http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm

物性	物性値	特徴	出典
静電容量 (CNF 複合材料)	300 F/g	パルプ繊維を利用する電気 2 重層キャパシタ電極材料が発表された。従来の活性炭電極の静電容量は 30F/g	大阪大学新技術発表会 2014 年 7 月 18 日「抄紙技術と光還元技術でつくる蓄電紙」、古賀大尚特任助教 http://www.jstshingi.jp/abst/p/14/1418/osaka12.pdf
耐アーク性	? sec	大電流の低電圧放電(アーク放電)による樹脂・プラスチック材質の劣化に対する耐性を示す。(JIS K691) CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 PP 単独の場合、136~185sec	PP 樹脂物性表 (プラスチック読本(株)プラスチックエージ社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
耐酸・耐アルカリ性	? % 質量変化率など	JIS K7114 プラスチックの耐薬品に対する変化の測定方法を規定している。 CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 PP 単独の場合、強酸に侵されるが、弱酸、アルカリには耐える。HDPE タンクには対薬品性資料が存在する。	PP 樹脂物性表 (プラスチック読本(株)プラスチックエージ社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm 高密度ポリエチレン容器の耐薬品性 (タンクシステム(株)) www.tanksystem.co.jp/service/pdf/taiyakuhin.pdf
耐溶剤性	? % 質量変化率など	CNF 強化材での測定事例は見当たらない。 PP 単独の場合、80℃以下では耐える。	PP 樹脂物性表 (プラスチック読本(株)プラスチックエージ社) http://www.kda1969.com/pla_material/pla_mate_pp2a1.htm
吸水率 CNF10%+POM (ポリアセタール)	0.6%(45h23℃ 65%RH)	POM (ポリアセタール) は成形加工温度が 190℃以下で CNF の耐熱温度以下で加工できる熱可塑性エンブレである。 POM 単独での吸水率 (重量変化) は 0.15%であった。 JIS K7209 では 23℃の水に試験片を浸し、重量変化を求める。	京都大学、三菱エンジニアリングプラスチック(株)、「変性セルロースナノファイバーによるポリアセタールの補強」、ナノセルロースフォーラム第 1 回技術セミナー資料集 P.141, 2014 年 6 月 9 日
吸水率 CNF10%+バイオ PE	2%(100℃ x100hr 密閉容器中)	バイオ PE はバイオ PP より低コストであり、CNF10%で強度は従来品タルク強化 PP と同等である。PE 単独の吸水率は 0.01%以下である。自動車部品に CNF 強化プラスチックを適用するには、低吸水性が必要。	デンソー(株)、「自動車部品へのセルロースナノファイバー材料適用」、京大シンポジウム P.50, 2012 年 3 月 12 日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/LABM/wp-content/uploads/2013/01/nedo-gsc2012.pdf

物性	物性値	特徴	出典
吸水寸法変化率 CNF10%+バイオPE	1%(100℃ x100hr 密閉容器中 Z 方 向)	PE 単独の吸水変化率はほぼゼ ロであった。自動車部品に CNF 強化プラスチックを適用する には、低吸水性が必要。	デンソー(株)、「自動車部品へのセルロ ースナノファイバー材料適用」、京大 シンポジウム P.50, 2012 年 3 月 12 日 http://vm.rish.kyoto-u.ac.jp/W/L ABM/wp-content/uploads/2013/01/n edo-gsc2012.pdf
比磨耗量 CNF10%+POM (ポリアセター ル)	90 x10 ⁻² mm ³ /kgf・ km 同材同士の場合	軸受部品などの磨耗量の指標 で金属との摩擦係数と関連す る。 CNF 強化材の同材同士の比磨 耗量は母材の半分程度であっ た。	京都大学、三菱エンジニアリングプ ラスチック(株)、「変性セルロースナ ノファイバーによるポリアセター ルの補強」、ナノセルロースフォー ラム第 1 回 技術セミナー資料集 P.141, 2014 年 6 月 9 日
比磨耗量 CNF10%+POM (ポリアセター ル)	4 x10 ⁻² mm ³ /kgf・km 対金属 S45C の場 合	軸受部品などの磨耗量の指標 で金属との摩擦係数と関連す る。 CNF 強化材の金属への比磨耗 量は母材の 2 倍程度であった。	京都大学、三菱エンジニアリングプ ラスチック(株)、「変性セルロースナ ノファイバーによるポリアセター ルの補強」、ナノセルロースフォー ラム第 1 回 技術セミナー資料集 P.141, 2014 年 6 月 9 日
燃焼性	? mm/min	JIS K6911 にプラスチックの燃 焼性の測定方法が規定されて いる。 PP 単独の場合、ゆっくり燃え る。 CNF 強化材での測定事例は見 当たらない。	PP 樹脂物性表 (プラスチック読本(株) プラスチックエージ社) http://www.kda1969.com/pla_mater ial/pla_mate_pp2a1.htm
耐海水性	?	通常、プラスチックは海水に腐 食しない。ガラス繊維を強化材 とする FRP でも海水には腐食 しない。 CNF 強化材での適用事例は見 当たらない。	
耐油性	?	鉱物油、植物油に対する耐性は 軸受部品などで要求される。 CNF 強化材での適用事例は見 当たらない。	
耐候性	?	FRP 風車羽根で暴露試験など の評価方法が検討されている。 FRP 試験では、10 年後にシャ ルピー衝撃値の低下が認められ る。太陽電池に CNF が適用され る場合にも耐候性評価が必要 となる。CNF 強化材での測定事 例は見当たらない。	
耐候性	強度保持率 %	耐候性試験 (Sunshine Weather meter)300hr による劣化 CNF 強化材での測定事例は見 当たらない。	
耐光性	伸度保持率 %	耐光性試験 (Fade-Ometer) CNF 強化材での測定事例は見 当たらない。	

物性	物性値	特徴	出典
加工性		切削、曲げ、溶接、接着のしやすさが母材であるプラスチックごとに示されている。たとえば、PPは切削には適しており、曲げ、溶接も可能であるが、接着には特殊な方法が必要である。 強化材にCNFを採用した場合に加工性に変化があるのか、検討事例はみあたらない。	プラスチックの加工適性 (株KDA 資料 http://www.kda1969.com/study/study_pla_cara.htm
ゴム破断伸びEb	390%	CNF とゴムの複合材料でゴム硬さ 65 (タイヤの硬さ相当) におけるゴム破断伸び Eb は 390%であった。同じ硬さのカーボンブラックのゴム破断伸びEb は 290%であった。 すなわち、CNF 複合ゴムはより大きな変形で破断し、高度な補強性を有する。 ゴム硬さは JIS K6353 : 2012 による 0~100 の数値で、100 で全くへこまない。	野口徹 (信州大学)、「ナノセルロースコンポジット材料の作製と応用」、MATERIAL STAGE Vol.15 No.5 2015, P21-27
破断伸び CNF5%+NR(天然ゴム)	600%	極短繊維、標準繊維の伸び率引張強度、弾性率も NR のみより大きい。スポーツシューズ靴底用に EVA/NR/CNF の複合体を化学発泡させたものを開発した。軽量で強度がある。	長谷朝博 (兵庫県立工業技術センター)、「セルロースナノファイバー強化ゴム材料の特徴とその応用」、日本ゴム協会誌 第90巻第2号(2017) P.30-P.35, 2017年2月
塗膜の分極抵抗 エポキシ塗料にCNF 1%と腐食抑制剤 (亜硝酸カルシウム) 4%	1MΩ (24時間)	塗膜の腐食評価試験で添加なし比べて 10 倍の値を示し、腐食防止効果が確認できた。	矢吹 彰広 (広島大学)、「セルロースナノファイバーの自己修復性防食コーティングへの応用」、ケミカルエンジニアリング Vol.62No.6 P.25-31, 2017年6月
発泡体熱伝導率 CNF5%+PPを母材としてN2発泡	0.06Wm-1K-1	発泡後、圧縮する操作を行った。	大嶋 正裕 (京都大学)、「セルロースナノファイバー樹脂コンポジットでつくる極限断熱発泡体」、工業材料 Vol.65 No.8 P57-61, 2017年8月

表5 CNFの物性・特徴（ゲル等）

物性	物性値	特徴	出典
粘度	10,000 以上 Pa·s (CNF 濃度 0.5%)	CNFは静置時にはゲル状である。流動時には粘度が低下する性質があり、スプレーできるゲルができる。	第一工業薬品, 「セルロースシングルファイバーの増粘剤・ゲル化剤への応用」, JETI62 巻7号 P. 49-53、2014年7月
粘度	10 ⁶ Pa·s (CNF 長繊維)	CNFは静置時の粘度はアスペクト比が高いほど大きい。	河崎雅行 (日本製紙) ほか, 「TEMPO 酸化 CNF の紙製品への適用」, 紙パ技協誌 第71 巻第 4 号 April 2017 P. 30-34、2017年7月
比表面積 (エアロゲルに加工した場合)	800m ² /g	エアロゲルは 1%CNF 分散液から超臨界乾燥により含まれる溶媒を気体に置換した 90%以上の高い空隙率と高い内部表面積を持つ多孔質材料の一種である。セルロースだけでなく、シリカ、炭素などの素材からもエアロゲルは製造できる。	東京大学大学院農学生命科学研究科研究成果トピックス, 2014年7月18日 http://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/2014/20140728-1.html
熱伝導率 (CNF エアロゲルの場合)	0.018W/m·K	空気の熱伝導率 0.024 W/m·K より低く、かつ透明であるため、断熱窓の高性能化、省エネに期待されている。	東京大学大学院農学生命科学研究科研究成果トピックス, 2014年7月18日 http://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/2014/20140728-1.html
エアフィルタ性能指標	2 倍以上	ガラス繊維 HEPA フィルタ濾材に CNF 分散液を付着させ、凍結乾燥するとエアフィルタの性能指標である Q 値が 2 倍以上となった。	根本 純司 (北越紀州製紙), 「セルロースナノファイバーを用いた多孔質材料」, 工業材料 Vol. 65 No. 8 P72-73、2017年8月