

# セルロースナノファイバーの技術開発動向と事業展開：持続可能社会に向けた次世代材料の可能性

セルロースナノファイバー（CNF）は、木材由来のバイオマス素材として軽量・高強度・低環境負荷の特性を活かし、自動車部材から化粧品添加剤まで多岐にわたる応用が進む新素材である。NEDO主導の「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（2020-2024年度）<sup>[1]</sup>を軸に、製造コストの低減（従来比50%削減目標）<sup>[1]</sup>、複合材料開発、安全性評価の標準化が推進されている。日本製紙グループはTEMPO酸化法<sup>[2]</sup>により年間500トン規模の量産体制を確立し、抗菌シートを紙おむつに実用化<sup>[2]</sup>、王子ホールディングスはリン酸エステル化法<sup>[3]</sup>で高透明スラリー「AUROVISCO」を開発するなど、企業ごとの技術差別化が顕著である。2024年の世界生産量は132トン（前年比20%増）<sup>[4]</sup>、2030年までに複合樹脂分野で2,000億円市場<sup>[5]</sup>が見込まれるが、石油由来素材とのコスト競争力確立が最大の課題となっている。

## CNF製造技術の革新とプロセス最適化

### 化学処理法の進化：TEMPO酸化から新規触媒まで

CNF製造の核心技術である化学的前処理において、東京大学発のTEMPO触媒酸化法<sup>[2]</sup>が産業界で広く採用されている。この手法はセルロースのC6位水酸基を選択的にカルボキシル化し、解繊エネルギーを90%削減可能<sup>[2]</sup>とするが、高価な触媒コストが課題であった。2024年、産総研は鉄系安価触媒を用いた新規酸化法を開発<sup>[6]</sup>、TEMPO法と同等の解繊効率を維持しつつ製造コストを30%低減することに成功した<sup>[6]</sup>。

一方、王子ホールディングスが推進するリン酸エステル化法<sup>[3]</sup>は、繊維表面のリン酸基導入により水中分散性を向上させ、ホモジナイザー処理時間を従来比40%短縮<sup>[3]</sup>。富士工場ではCNF強化樹脂用スラリーの連続生産ラインが2025年1月に稼働開始<sup>[3]</sup>し、熱可塑性プラスチックとの複合化工程を一体化したプロセス設計が特徴である。

### 機械的解繊技術の省エネルギー化

機械的解繊では、高圧ホモジナイザーの改良が進展。NEDOプロジェクト下で開発された多段衝撃型解繊装置<sup>[1]</sup>は、1パス処理で繊維径3nm以下を95%達成<sup>[1]</sup>、エネルギー消費量を従来装置比60%削減した。また、水衝突法を応用した連続処理システムが日本製紙石巻工場に導入<sup>[2]</sup>され、TEMPO処理パルプの処理速度が10ton/日に達している<sup>[2]</sup>。

### 持続可能な製造プロセスの確立

LCA評価によれば、CNF製造時のCO2排出量はガラス繊維の1/5<sup>[7]</sup>、ただし化学処理に伴う廃液管理が環境負荷要因として指摘されていた。2024年、京都大学チームは微生物酵素を用いた閉鎖循環式処理システムを開発<sup>[8]</sup>、TEMPO酸化工程の廃液中の有機物を90%以上回収再利用可能とした<sup>[8]</sup>。この技術は2025年度中のパイロットプラント建設を目指す<sup>[8]</sup>。

## 複合材料開発の最前線

### 樹脂複合化技術の革新

疎水性樹脂との界面接着性向上が最大の課題だったCNF複合材料開発において、2024年に画期的な進展が見られた。京都市産業技術研究所は「パルプ直接混練法」<sup>[7]</sup>を開発、未処理パルプをポリプロピレンと直接混練する工程で解繊と分散を同時達成し、曲げ弾性率を従来比150%向上させた<sup>[7]</sup>。この技術を用いた自動車用ダッシュボード試作品では、重量15%軽減とCO2排出量50%削減を実証<sup>[7]</sup>している。

エポキシ樹脂複合材では、CNFの配向制御技術が進化。大阪大学が開発した電場配向法<sup>[9]</sup>により、繊維配向度を85%まで高め、複合材料の引張強度を8GPaに到達<sup>[9]</sup>。航空機部材への応用を視野に、2025年からJAXAとの共同実証試験が計画されている<sup>[9]</sup>。

### 機能性添加剤市場の拡大

化粧品分野では、CNFの乳化安定性を活かした新製品が相次いで上市。資生堂は2024年9月、CNFを0.5%添加した乳液「エリクシール スーパーベール」を発売<sup>[5]</sup>、従来品比で乳化安定性を3倍向上させた<sup>[5]</sup>。食品添加剤では、カルボキシメチル化CNF（CM-CNF）が増粘安定剤として注目を集め、明治製菓が2025年1月にプリン製品へ採用<sup>[4]</sup>、食感改良とカロリー20%削減を同時達成している<sup>[4]</sup>。

### 市場動向と産業応用の拡大

#### 自動車産業における軽量化競争

トヨタ自動車は2024年、CNF強化ポリプロピレンをリアバンパーに採用した新型EV「bZ5X」を発表<sup>[4]</sup>、部品重量を従来比18%軽減し航続距離を5%延伸した<sup>[4]</sup>。マツダではCNF複合発泡材をシートクッションに適用<sup>[7]</sup>、クッション性を維持しつつ重量を30%削減する成果を得ている<sup>[7]</sup>。ただし、現状のコストはGFRP（ガラス繊維強化プラスチック）比で2.3倍<sup>[4]</sup>と高く、量産効果によるコストダウンが急務である。

#### 電子デバイス分野の新展開

フレキシブル電子デバイス向け基材として、CNFペーパーの開発が加速。パナソニックは2025年1月、CNFと銀ナノワイヤを複合した透明導電フィルムを発表<sup>[10]</sup>、曲げ半径1mmでの耐屈曲性を10万回以上確保し<sup>[10]</sup>、折り畳みスマートフォン向けの採用が検討されている。TDKではCNFの低熱膨張率（CTE 3ppm/K）<sup>[2]</sup>を活かした半導体封止材を開発中で、2026年の実用化を目指す<sup>[5]</sup>。

#### 医療・ヘルスケア分野の応用

日本製紙クレシアはTEMPO酸化CNFの抗菌特性を応用し、大人用紙おむつ「肌ケアアクティ®」の吸収体表面層に採用<sup>[2]</sup>。大腸菌の増殖を99.9%抑制<sup>[2]</sup>する効果を確認した。2024年10月には、CNFとキトサンを複合した創傷被覆材がPMDAの承認を取得<sup>[11]</sup>、従来品比で治癒速度を20%向上させた<sup>[11]</sup>。

## 安全性評価と規制動向

### 国際整合性を考慮した評価基準

NEDOと産総研が2025年1月に公表した「セルロースナノファイバーの安全性評価書 - 2025 -」<sup>[11]</sup> <sup>[6]</sup>では、吸入曝露試験においてCNFがマウス肺組織で炎症反応を誘発する閾値濃度を2.3mg/m<sup>3</sup>と特定<sup>[6]</sup>。OECDテストガイドラインに準拠した90日間反復吸入毒性試験<sup>[6]</sup>を初めて実施し、NOAEL（無毒性量）を0.5mg/m<sup>3</sup>と設定した<sup>[6]</sup>。EUでは2024年6月、REACH規制のナノ材料登録要件をCNFに適用<sup>[4]</sup>、日本企業は2026年までにデータ整備が求められる<sup>[4]</sup>。

### ライフサイクルアセスメント（LCA）の進展

環境省が推進するCNF活用モデル事業<sup>[12]</sup>では、自動車部材への適用によりWell-to-GateのCO<sub>2</sub>排出量を従来材比42%削減<sup>[12]</sup>を確認。ただし、廃棄段階における生分解性の低さが課題として浮上し、2025年度より酵素処理による分解技術開発が重点課題に位置付けられた<sup>[12]</sup>。

### 課題と将来展望

#### コスト競争力の確立

現状のCNF価格は機能性添加剤用で8,000-12,000円/kg<sup>[5]</sup>、樹脂強化材用で3,000-5,000円/kg<sup>[5]</sup>と高止まりしている。NEDOプロジェクトでは2024年度、TEMPO酸化プロセスの触媒回収率を95%まで向上<sup>[1]</sup>、製造コストを1,200円/kgに圧縮する技術を確立<sup>[1]</sup>。2026年までの量産効果により800円/kg以下への低下が期待される<sup>[1]</sup>。

#### 国際標準化と知財戦略

ISO/TC229において、CNFの繊維径測定法（ISO 23714）と毒性評価法（ISO 23125）が2025年中に発行予定<sup>[6]</sup>。特許出願では2010-2024年にかけて日本が全体の67%を占める<sup>[9]</sup>が、中国の出願件数が2021年以降急増<sup>[4]</sup>、国際競争の激化が予想される。

#### カーボンニュートラル社会への貢献

CNF複合樹脂の普及により、2050年までに全球で年間1.2ギガトンのCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル<sup>[7]</sup>が試算される。日本政府は2024年策定の「グリーントランスフォーメーション戦略」でCNFを重点素材に指定<sup>[12]</sup>、2030年までに自動車部材の30%への導入を目標<sup>[12]</sup>としている。

### 結論

セルロースナノファイバーは、製造プロセスの革新と多様な応用展開により、持続可能な材料革命の主役として成長を続けている。今後の発展には、産官学連携によるコスト削減技術の早期実用化、国際規格に対応した安全性データベースの構築、循環型バリューチェーンの確立が不可欠である。特に自動車産業との連携深化により、CNFは軽量化を通じたEVの性能向上とカーボンニュートラル達成の両立に貢献する可能性を秘めている。今後の10年が、ナノセルロースが真の汎用材料へと飛躍するための重要な転換期となるだろう。

\*\*

1. [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100169.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100169.html)
2. <https://www.nipponpapergroup.com/research/organize/cnf/>
3. [https://www.ojiholdings.co.jp/r\\_d/theme/cnf.html](https://www.ojiholdings.co.jp/r_d/theme/cnf.html)
4. [https://www.yano.co.jp/press-release/show/press\\_id/3540](https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3540)
5. [https://www.yano.co.jp/market\\_reports/C65128200](https://www.yano.co.jp/market_reports/C65128200)
6. [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/news/pr20250127.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20250127.html)
7. <https://www.env.go.jp/content/900441255.pdf>
8. <https://www.chemistry.or.jp/division-topics/2024/07/post-297.html>
9. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/kinoushi/51/0/51\\_29/pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kinoushi/51/0/51_29/pdf/-char/en)
10. [https://unifiedsearch.jcdbizmatch.jp/nanotech2025/jp/sem/nanotech\\_mems/seminar\\_details/j1CjCPlcx4Y](https://unifiedsearch.jcdbizmatch.jp/nanotech2025/jp/sem/nanotech_mems/seminar_details/j1CjCPlcx4Y)
11. [https://cnf-fuji-pf.jp/news/nedo・aist\\_cnfの安全性評価書2025/](https://cnf-fuji-pf.jp/news/nedo・aist_cnfの安全性評価書2025/)
12. <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf.html>