

大王製紙の戦略的賭け：ELLEX-R67の商用化がバイオ複合材料市場をどう変えるか

Gemini Deep Research

Executive Summary

本レポートは、大王製紙株式会社によるセルロースナノファイバー（CNF）複合樹脂「ELLEX-R67」の商用生産開始に関する包括的な分析を提供する。この動きは、単なる新製品の市場投入に留まらず、日本の製紙業界が直面する構造的課題への対応、国の新素材戦略の試金石、そして持続可能な材料への世界的な移行を象徴する重要な戦略的賭けである。

分析の結果、大王製紙の戦略は、CNF普及における長年の課題であった「コスト」と「樹脂への分散性」という供給側の障壁を、技術革新と大規模投資によって正面から打破しようとする極めて合理的なものであることが明らかになった。セルロース濃度を67%まで高めたマスターバッチという製品形態は、ユーザー側の加工容易性を劇的に改善し、商用化へのハードルを大きく引き下げる。また、自社の製紙工場に併設された年産2,000トンのプラントは、原料調達から生産までの一貫体制によるコスト競争力と安定供給能力を確立し、これまで市場を停滞させてきた「高コストと少量生産の悪循環」を断ち切る可能性を秘めている。

しかし、商業的成功への道筋は未だ確実ではない。最大の課題は、特に主要ターゲットである自動車部品市場で要求される「衝撃強度」の確保である。CNFは剛性を高める一方で材料を脆くする傾向があり、この技術的トレードオフを克服できるかが、本格採用の鍵を握る。この「最後の1マイル」の問題を解決するためには、大王製紙が単なる材料供給者から、顧客と密に連携して用途開発を主導するソリューションプロバイダーへと変貌を遂げる必要がある。

競合他社が機能性材料や多角化戦略を追求する中、大王製紙は構造材料という最大市場に照準を合わせ、先行投資によって市場標準を確立しようとしている。本事業の成否は、同社の長期ビジョン「Daio Group Transformation 2035」の達成を左右するだけでなく、日本が国策として推進するCNF産業の未来、ひいてはバイオ複合材料が石油由来プラスチックの代替となり得るかを占う重要な指標となるだろう。

第1章 ポスト・プラスチック時代の到来：セルロースナノファイバー（CNF）の可能性

1.1 「スーパー繊維」の定義：核となる特性と本質的優位性

セルロースナノファイバー（CNF）は、木材パルプなどの植物バイオマスをナノレベルまで解きほぐして得られる次世代のバイオマス素材である¹。その最大の特徴は、既存の工業材料の常識を覆すほどの卓越した物理的特性にある。特筆すべきは、「鉄の5分の1の軽さで5倍の強度」としばしば表現される、その驚異的な比強度である²。この特性は、あらゆる製品の軽量化に直接的に貢献し、エネルギー効率の向上という現代社会の至上命題に応えるものである。

CNFの優位性は強度と軽さだけに留まらない。高い弾性率（変形のしにくさ）を持ち、ガラス繊維（約74 GPa）やアラミド繊維（約112 GPa）を上回る約140 GPaに達する⁴。さらに、温度変化による寸法変化が極めて小さい「低線熱膨張率」という特性も有しており、ガラスの数十分の一レベルである⁴。これは精密さが求められる電子部品や、過酷な温度環境に晒される自動車部材において、極めて重要な利点となる。

これらの特性を従来の強化繊維と比較すると、CNFのユニークなポジションがより明確になる（表1参照）。炭素繊維は強度と弾性率で優れるものの、コストが高く、リサイクル性に課題がある。一方、安価で広く使われているガラス繊維は、重量があり、リサイクルが困難で、表面平滑性にも劣る⁴。CNFは、これらの材料が持つ利点の一部を兼ね備えつつ、軽量性、リサイクル性、表面平滑性といった点で明確な優位性を示す。

加えて、CNFはナノサイズ繊維であることに由来する特異な機能も併せ持つ。繊維径が可視光の波長より短いため、光を乱反射せず、高い透明性を実現できる³。また、ナノ繊維が緻密なネットワークを形成することで、酸素などのガスを通しにくい「ガスバリア性」を発揮する¹。さらに、力を加えると粘度が下がり、静置すると元に戻る「チキソ性」という性質は、インクや化粧品、塗料などの粘度調整剤として優れた機能を発揮する¹。これらの多面的な特性こそが、CNFを単なる強化材に留まらない「スーパー

繊維」たらしめているのである。

表 1 : CNF と主要な強化繊維の物性比較

特性項目	セルロースナノ ファイバー (CNF)	ガラス繊維 (GF)	炭素繊維 (CF)	アラミド繊維
密度 (g/cm ³)	1.5	2.55	1.62	1.44
引張強度 (GPa)	3 (推定値)	3.4	3.5	3
弾性率 (GPa)	140	74	230	112
線膨張率 (ppm/K)	0.1	5	-0.5	-2
参考価格 (円/kg)	3,000 - 10,000	200 - 300	3,000	5,000
リサイクル性	高	難	可	可
表面平滑性	良	課題あり	課題あり	課題あり

出典: 4 のデータを基に作成

1.2 サステナビリティという要請：循環経済における CNF の役割

CNF が次世代素材として注目される背景には、その卓越した物理特性だけでなく、現代社会が直面する環境問題への解決策としての強い期待がある。CNF は、持続可能な

循環型社会（サーキュラーエコノミー）を実現するための鍵となる可能性を秘めている。

その根幹にあるのは、CNF が再生可能な植物バイオマスを原料としている点である²。木材は成長過程で光合成により大気中の二酸化炭素（

CO₂）を吸収・固定する。この木材から作られる CNF を工業製品に利用することは、炭素を長期間製品内に固定化する「炭素固定」効果をもたらし、カーボンニュートラル社会の実現に貢献する³。化石資源に依存する従来のプラスチックや合成繊維とは、そのライフサイクルにおける環境負荷の考え方が根本的に異なる。

さらに、CNF は生分解性を有しており、自然環境中での分解が可能であるため、廃棄後の環境負荷が低い²。これは、近年深刻化している海洋マイクロプラスチック問題への対策としても非常に重要である¹⁰。石油由来プラスチックの使用量を削減（減プラ）し、CNF 複合材料に置き換えることは、プラスチックごみの総量削減と環境流出リスクの低減に直結する。

また、CNF の生産は、国内の森林資源の有効活用という側面も持つ。日本の豊富な森林資源、特に間伐材などを CNF の原料として活用することは、林業の活性化と適切な森林管理を促し、国土保全にも繋がる³。放置された森林が引き起こす問題を解決し、持続可能な林業サイクルを構築する上で、CNF は新たな需要を創出する起爆剤となり得るのである。このように、CNF の活用は、製品のライフサイクル全体を通じて、

CO₂ 排出削減、廃棄物問題の解決、資源の持続的利用という、循環経済の核となる三つの要素に貢献するポテンシャルを秘めている。

1.3 普及への障壁：CNF 実用化における主要な課題

CNF が持つ輝かしい可能性とは裏腹に、その商業化への道のりは決して平坦ではなかった。長年にわたり、研究開発段階から量産・普及段階への移行を阻んできた、いくつかの根深い課題が存在する。

第一にして最大の障壁は「コスト」である²。CNF の製造、特にパルプ繊維をナノレベルまで解きほぐす解繊工程には多くのエネルギーが必要であり、これが製造コストを押し上げている。その結果、CNF の価格は汎用的な強化材であるガラス繊維などに比べて桁違いに高価となり、価格競争力が著しく低い⁹。この高コストが、需要の拡大を妨

げ、需要が伸びないために量産化によるスケールメリット（コストダウン）も享受できないという、典型的な「鶏と卵」のジレンマに陥っていた⁷。

第二の課題は、技術的な「分散性」の問題である。CNF はセルロース由来であるため、本質的に水と馴染みやすい「親水性」の性質を持つ。一方で、CNF の主要な複合化対象であるポリプロピレン（PP）やポリエチレン（PE）といった汎用プラスチックは、水と反発する「疎水性」である⁷。この「水と油」のような関係性のため、CNF を疎水性樹脂の中に均一に分散させることは極めて困難である。分散が不十分だと、CNF が凝集して塊となり、それが欠陥となって逆に製品の強度を低下させてしまう¹³。この問題を解決するためには、CNF の表面を化学的に改質するなどの複雑な工程が必要となり、さらなるコスト増の要因となっていた。

第三に、「性能のトレードオフ」が挙げられる。CNF を樹脂に添加すると、剛性（弾性率）は飛躍的に向上するが、その一方で衝撃に対する脆さが増す、すなわち「衝撃強度」が低下する傾向がある¹⁵。これは、衝突安全性などが厳しく問われる自動車部品などへの適用において、致命的な欠点となり得る¹⁷。剛性と衝撃強度の両立は、CNF 複合材料の実用化における重要な技術的ハードルである。

最後に、メーカーや製造ロットによる「品質のばらつき」も、ユーザー企業にとっては大きな懸念材料であった¹⁴。CNF の品質（繊維径、繊維長、分散性など）が安定しないと、最終製品の性能も安定せず、量産品への採用は難しい。これらの経済的・技術的障壁が複合的に絡み合い、CNF の「夢の素材」としてのポテンシャルと、「工業材料」としての現実との間に大きなギャップを生み出してきたのである。

第 2 章 技術分析：大王製紙「ELLEX-R67」の解剖

大王製紙が市場に投入した「ELLEX-R67」は、前述の CNF 普及における課題群を、製品設計と製造プロセスの両面から解決しようとする戦略的な製品である。その技術的詳細を分析することで、同社の狙いと競争優位性の源泉が明らかになる。

2.1 製品アーキテクチャ：セルロース濃度 67%が持つ意味

ELLEX-R67 の最も際立った特徴は、その製品形態にある。これは、最終製品そのものではなく、樹脂に高濃度のセルロースを予め混ぜ込んだ「マスターバッチ」と呼ばれるペレット状の中間材料である¹⁹。そして、そのセルロース濃度は 67 重量%という極めて高い水準に達している²¹。

この「高濃度マスターバッチ」という戦略には、ユーザー側の障壁を取り除くための明確な意図がある。従来、樹脂部品メーカーが CNF を利用しようとする場合、自社で CNF を樹脂に均一に分散させるという、最も困難でノウハウを要する工程を担う必要があった。しかし、ELLEX-R67 を使用すれば、ユーザーはこの困難な工程を省略し、通常のプラスチックペレットと同様に、自社の成形機で任意の樹脂と混ぜ合わせる（希釈する）だけで、CNF 複合材料を製造できる¹⁹。このユーザーフレンドリーな設計は、CNF 導入の技術的ハードルを劇的に下げ、普及を加速させる上で極めて重要である。

また、67%という高濃度化は、輸送コストの削減にも貢献する。より少ない量のマスターバッチを輸送するだけで、多くの最終製品を製造できるため、サプライチェーン全体の効率が向上する。なお、この 67%という数値は、完全にナノ化された CNF だけでなく、一部ミクロンサイズのパルプ繊維も含む「総セルロース量」を指している点には留意が必要である²³。これは、コストと性能のバランスを最適化するための意図的な設計思想の表れと考えられる。大王製紙が以前供給していたサンプルのセルロース濃度が 55%であったことから、67%への向上は、同社の技術が着実に進歩していることを示している²⁰。

2.2 製造プロセスの優位性：省エネ・高生産性プロセスの内実

ELLEX-R67 の競争力を支えるもう一つの柱は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業を通じて開発された、独自の革新的な製造プロセスである¹。このプロセスは、CNF の二大課題である「分散性」と「コスト」を根本から解決することを目指している。

第一の核心技術は、CNF の前処理プロセスにおける「カルバメート化変性」である²⁰。これは、尿素を用いてセルロース繊維の表面を化学的に改質する技術であり、これにより繊維の親水性を緩和し、疎水性の樹脂との親和性を大幅に向上させる。この化学的アプローチによって、「水と油」の問題を克服し、樹脂中での均一な分散を可能にしている。大王製紙が長年培ってきた製紙技術、特にパルプの化学的処理に関する知見が

この技術の基盤にあることは想像に難くない。

第二の核心技術は、芝浦機械株式会社と共同開発した「高効率複合化技術」である²⁰。水分を含みやすく凝集しやすいCNFを、樹脂と均一かつ高効率に混ぜ合わせる（混練する）ための特殊な装置とプロセスを開発した。これにより、複合樹脂の生産性が飛躍的に向上し、製造コストの大幅な削減を実現した。

これらの技術革新は、大王製紙が長年にわたり追求してきた「省エネルギーな製造プロセス」という企業文化の延長線上にある¹。エネルギー多消費型である製紙業で培われたコスト意識と生産性向上のノウハウが、CNFという新素材の製造プロセス開発においても遺憾なく発揮されている。この独自の製造プロセスこそが、ELLEX-R67に価格競争力と安定した品質をもたらす源泉となっている。

2.3 性能プロファイルとユーザー側の利点

ELLEX-R67を導入することで、最終製品メーカーは多岐にわたる利点を享受できる。まず、顕著な物性向上が挙げられる。例えば、樹脂に対してCNFを10%複合化するだけで、弾性率（剛性）は1.3~1.4倍、強度も1.1~1.2倍に向上するというデータが示されている¹。

この物性向上は、具体的な製品設計において二つの大きなメリットをもたらす。一つは「薄肉化による軽量化」である。同じ強度を維持したまま部品の肉厚を薄くできるため、製品全体の重量を削減できる²⁰。これは燃費や電費の向上が求められる自動車や、携帯性が重視される家電製品において極めて価値が高い。もう一つは「減プラスチック」である。製品に使用するプラスチックの絶対量を減らすことができるため、コスト削減と環境負荷低減の両方に貢献する。

さらに、ELLEX-R67はサステナビリティの観点からも優れた特性を持つ。ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）などでは、リサイクルプロセスで繊維が破断し、物性が著しく低下することが課題であった。しかし、CNFは繊維が破断しにくいいため、マテリアルリサイクル後も物性の低下が比較的小さく、リサイクル性に優れている⁴。この特性は、近年注目されている「水平リサイクル（使用済み製品を再び同じ製品の原料として利用すること）」の実現可能性を高める。

また、品質が劣化した再生プラスチックにELLEX-R67を添加することで、その物性を

向上させる「アップサイクル」用途も期待されている²⁵。これは、再生材の利用を促進し、循環経済を構築する上で非常に有望なアプローチである。このように、ELLEX-R67は単なる性能向上材に留まらず、軽量化、減プラ、リサイクル性向上という、現代の製品開発が求める複数の要求を同時に満たすソリューションを提供している。

第3章 市場のダイナミクスと応用分野の最前線

ELLEX-R67の商業的成功は、その技術的優位性だけでなく、市場の需要を的確に捉えられるかにかかっている。ここでは、CNF およびバイオ複合材料市場の規模と成長性を評価し、主要なターゲットアプリケーションと、市場特有の経済的課題について分析する。

3.1 機会の規模：CNF およびバイオ複合材料市場の予測

CNF 複合材料が属する市場のポテンシャルを評価する際、複数の異なる視点からの予測が存在する。これらを統合的に解釈することで、市場の現在地と将来像が浮かび上がる。

まず、最も広範な「バイオ複合材料」市場は、世界的に力強い成長が見込まれている。ある調査では、市場規模は2022年の192億米ドルから年平均成長率（CAGR）16%で成長し、2028年には468億米ドル以上に達すると予測されている²⁷。これは、持続可能性への関心の高まりを背景に、自動車、建設、包装など幅広い産業で、環境配慮型材料への置き換えが加速していることを示している。

より焦点を絞った「CNF 樹脂複合材料」市場についても、年率6.1%の安定した成長が予測されている²⁸。しかし、現状の市場規模はまだ非常に小さい。矢野経済研究所の調査によれば、2024年のCNF世界生産量（試作品等を含む）はわずか132トン、出荷金額も62.9億円に留まる見込みである²⁵。この数値は、CNFがまだ化粧品やインクの機能性添加剤といった、少量で高付加価値を生むニッチな用途に主に使用されている現状を反映している。

この小さな現状と、巨大な将来予測との間には大きな隔たりがある。このギャップこそ

が、CNF 産業が直面する課題と機会を象徴している。日本政府（環境省など）は、CNF が本格的に普及する 2030 年以降には、世界で数兆円規模の巨大市場が形成される可能性がある」と指摘しており、この壮大なビジョンが、大王製紙をはじめとする企業の大規模投資の原動力となっている²⁹。

この一見矛盾する市場データは、市場がまさに転換点（インフレーション・ポイント）にあることを示唆している。現在のニッチな「機能性添加剤」市場から、将来の巨大な「構造材料」市場へといかに移行させるか。大王製紙が新設した年産 2,000 トンのプラントは、現在の 132 トンの市場をターゲットにしたものではない。それは、数兆円規模の市場を自らの手で創出し、その黎明期において圧倒的なリーダーシップを確立するための、未来に向けた戦略的投資なのである。

3.2 主要ターゲット：自動車の軽量化と燃費向上の追求

CNF 複合材料の応用先として、最も大きな期待が寄せられているのが自動車産業である²⁶。自動車業界では、地球温暖化対策としての

CO2 排出規制の強化や、電気自動車（EV）の航続距離伸長といった課題に対応するため、「車体の軽量化」が最重要課題の一つとなっている¹⁸。

この文脈において、CNF は理想的な解決策となり得る。鉄やアルミニウム、あるいはガラス繊維強化プラスチック（GFRP）といった従来の材料を CNF 複合材料に置き換えることで、十分な強度と剛性を維持しながら、部品的大幅な軽量化が可能になる。

その可能性を具体的に示したのが、環境省が主導した国家プロジェクト「ナノセルロースヴィークル（NCV）プロジェクト」である³⁴。このプロジェクトでは、大学、研究機関、自動車部品メーカーなど 22 の組織が連携し、ボンネット、ドア、内装パネルなど、車体の多くの部品に CNF 複合材料を適用したコンセプトカーを製作した。その結果、従来の鋼板製車両と比較して最大 16%の車体軽量化を達成し、それに伴い燃費が 11%向上するというシミュレーション結果が得られた¹⁸。これは、CNF が自動車の環境性能向上に大きく貢献できることを実証した画期的な成果である。

具体的なターゲット部品としては、エンジンフードやルーフパネルといった外装部品、ドアトリムやインパネといった内装部品が挙げられる⁹。実際に、大王製紙は自動車部品金型メーカーと共同で CNF を用いたバス用フロントバンパーを開発・実用化してお

り、これは公道を走る車両への実装例として注目される³⁶。自動車産業という巨大な市場で採用が始まれば、CNF の需要は爆発的に増加する可能性を秘めている。

3.3 自動車を越えて：エレクトロニクス、建材、包装分野への展開

自動車産業が最大のターゲットであることは間違いないが、CNF 複合材料の応用範囲はそれだけに留まらない。多様な産業分野で、そのユニークな特性を活かした用途開発が進められている。

家電・エレクトロニクス分野では、製品の筐体（ハウジング）への適用が期待される²²。CNF を配合することで、プラスチック筐体の剛性を高め、薄肉化による軽量化やデザイン性の向上を図ることができる。また、リサイクル性の高さも、環境規制が厳しくなる家電製品において大きなアピールポイントとなる。

建材分野も有望な市場の一つである。CNF を添加した断熱材は、高い断熱性能と軽量性を両立できる可能性がある³⁸。また、塗料に添加すれば、耐久性や遮熱性を向上させる効果も期待できる。鹿児島県薩摩川内市では、地域の竹を原料とする CNF を用いた遮熱塗料が商業施設に採用された事例もあり、省エネや CO2 削減に貢献している³⁸。

包装材料分野では、CNF の持つ高いガスバリア性が注目されている¹。食品の鮮度を保つためには、酸素の透過を防ぐバリアフィルムが不可欠だが、現在主流のものは石油由来の多層フィルムである。CNF を塗工したフィルムは高い酸素バリア性を発揮するため、これを実用化できれば、バイオマス由来の環境配慮型包装材への転換が可能となる。

こうした大規模な産業用途だけでなく、より身近な製品での採用も始まっている。特筆すべきは、大王製紙のお膝元である愛媛県四国中央市で、ELLEX-R67 が地域の回覧板の材料として採用されたことである²¹。これは、CNF 複合材料が日常生活の中で実際に利用される初のケースの一つであり、素材の信頼性や実用性を地域社会に示す象徴的な取り組みと言える。このような地道な実績の積み重ねが、将来の大きな市場開拓へと繋がっていく。

3.4 「鶏と卵」のジレンマ：価格、生産量、そして普及

CNF 産業の黎明期から現在に至るまで、その発展を常に制約してきた根源的な経済的課題が、「鶏と卵」のジレンマである¹⁾。この構造は、需要と供給の関係が互いに足を引っ張り合い、市場の成長を停滞させる悪循環を生み出してきた。

具体的には、以下のような構図である。

1. **供給側（素材メーカー）の論理**：CNF の製造コストは高く、価格を大幅に下げるためには、大規模な生産設備を建設し、量産効果によってスケールメリットを追求する必要がある。しかし、そのためには巨額の設備投資が必要であり、その投資を正当化できるだけの確実な大口需要（大量注文）がなければ、リスクが大きすぎて踏み切れない。
2. **需要側（最終製品メーカー）の論理**：CNF 複合材料は性能的に魅力的だが、既存の材料（ガラス繊維など）に比べて価格が高すぎる。製品のコスト競争力を維持するためには、CNF の価格がもっと安くない限り、本格的な大量採用には踏み切れない。

この結果、素材メーカーは「価格が下がれば採用する」という最終製品メーカーに対し、「大量に採用してくれるなら安くできる」と応酬する状況が続き、両者が互いに相手の出方を待つことで、市場全体が停滞してきた。実用化事例は、コストの壁を越えられる一部の高付加価値な機能性材料に限定され、CNF が持つ最大のポテンシャルである構造材料としての大量消費には至っていなかった。

この長年の膠着状態を打ち破るべく、大王製紙が投じた一手こそが、約 40 億円を投じて建設した年産 2,000 トンの商用プラントである²⁾。これは、確実な需要が見えない段階で、供給側の生産能力を先行して一気に引き上げるといって、極めて大胆な戦略的決断である。大王製紙は、使いやすく、価格競争力のある材料を安定的に大量供給できる体制を先に構築することで、需要を喚起し、市場そのものを創造しようとしている。この賭けが成功すれば、CNF 産業はようやく「鶏と卵」の殻を破り、本格的な成長軌道に乗ることができるだろう。

第 4 章 競争環境：CNF エコシステムにおける大王製紙のポジショニング

大王製紙の ELLEX-R67 は、真空の市場に投入されるわけではない。日本国内には、製紙会社や化学メーカーを中心に、独自の技術と戦略で CNF 事業に取り組む競合企業が多数存在する。これらの競合他社の動向を分析することで、大王製紙の戦略の独自性と市場におけるポジショニングがより鮮明になる。

4.1 転換期の製紙大手：王子ホールディングスと日本製紙の戦略

国内製紙業界のトップを走る王子ホールディングスと日本製紙も、CNF を重要な成長事業と位置づけているが、そのアプローチは大王製紙とは異なる様相を呈している。

王子ホールディングス：同社の CNF 戦略は、「リン酸エステル化法」という独自の製造技術を核に、高機能・高付加価値なニッチ市場を狙うことに特徴がある⁶。主力製品は、ガラス並みの透明性と寸法安定性を誇る CNF シート「AUROVEIL (アウロ・ヴェール)」と、高粘度・高透明な水分散液 (スラリー) 「AUROVISCO (アウロ・ヴィスコ)」である⁶。これらの製品は、透明性が求められる電子ディスプレイ部材、使用感が重視される化粧品、あるいは特殊な性能が要求される卓球のラケットといった、価格よりも機能が優先される市場をターゲットとしている⁶。自動車のようなバルクの構造材料市場を大規模に狙うというよりは、高度な技術力を活かしたスペシャリティ材料としての地位確立を目指していると言える。

日本製紙：日本製紙は、複数の技術を並行して開発・事業化する「ポートフォリオ戦略」を採用している³⁹。これは、技術や市場の不確実性に対応するためのリスク分散戦略と見ることができる。具体的には、東京大学で開発された「TEMPO 酸化法」による高品質 CNF を、大人用紙おむつの超強力脱臭シートといった機能性材料に活用⁴⁶。一方で、自動車部材などの構造材料向けには、より低コストな機械解繊による「リグノ CNF」を用いた複合樹脂「cellenpia PLAS (セレンピアプラス)」を展開している³⁹。さらに、食品添加物としても利用可能な「カルボキシメチル化 (CM 化) CNF」もラインナップに加えており、3D プリンター用材料の開発にも着手するなど、幅広い市場セグメントをカバーしようとしている³⁹。

4.2 化学のスペシャリスト：星光 PMC とその他主要プレイヤーの分析

製紙会社だけでなく、化学メーカーも CNF 市場における重要なプレイヤーである。中でも星光 PMC は、独自のプロセスで存在感を示している。

星光 PMC：製紙用薬品で培った技術を持つ化学メーカーである同社は、京都大学と共同で開発した「京都プロセス」と呼ばれる革新的な製造方法を実用化している⁴⁹。このプロセスの最大の特徴は、パルプの化学変性と樹脂との混練、そしてナノ解繊を、二軸混練押出機の中で一気通貫で行う点にある。これにより、極めて効率的に CNF 複合樹脂を製造することが可能となる。同社の CNF 複合材料は、株式会社アシックスのランニングシューズのミッドソール部材に採用され、累計 1,000 万足以上を売り上げる商業的成功を収めており、これは CNF 業界全体にとっても画期的な事例である⁴⁹。星光 PMC は、大王製紙と同様に自動車部品市場を主要ターゲットとしており、直接的な競合相手と見なすことができる。

その他のプレイヤー：日本の CNF エコシステムは、これら大手以外にも多様な企業によって支えられている。中越パルプ工業、ダイセル、スギノマシンといった企業も、それぞれ独自の製造技術や製品で市場に参入しており、活発な開発競争が繰り広げられている⁵²。この層の厚さが、日本の CNF 技術が世界をリードする原動力となっている。

4.3 比較分析：ELLEX-R67 の差別化要因

競合がひしめく中で、大王製紙の **ELLEX-R67** が持つ最大の差別化要因は、その圧倒的な「スケール（規模）」にある。新設された年産 2,000 トンの生産能力は、競合他社がこれまで発表してきたパイロットプラント（例えば、日本製紙が 2017 年に稼働させた年産 10 トンの CNF 配合強化樹脂製造装置）とは比較にならない規模である²¹。この規模は、単に生産量が多いというだけでなく、コスト競争力と安定供給能力において決定的な優位性をもたらす。

技術面では、星光 PMC の「京都プロセス」が一貫生産による効率性を誇る一方で、大王製紙が提供する「高濃度マスターバッチ」は、ユーザーにとっての加工の自由度や汎用性の高さで優位に立つ可能性がある。様々な種類の樹脂を扱う最終製品メーカーにとって、自社の既存の設備やノウハウを活かしやすいマスターバッチ形式は、導入のハードルが低いというメリットがある。

戦略的な観点から見ると、大王製紙のアプローチは、新興の巨大市場である「構造材料」分野に経営資源を集中投下し、市場の黎明期にデファクトスタンダード（事実上の

標準) を確立しようとする、明確な焦点を持ったハイリスク・ハイリターンな賭けである。これに対し、王子ホールディングスはニッチ市場での高収益性を、日本製紙はポートフォリオによるリスク分散を志向しており、各社の戦略的方向性には明確な違いが見られる。この「規模と集中」こそが、競争環境における大王製紙の最もユニークなポジショニングである。

表 2 : 国内主要 CNF メーカーの戦略比較

項目	大王製紙	王子ホールディングス	日本製紙	星光 PMC
主要 CNF 技術	カルバメート化変性、高効率複合化	リン酸エステル化法	TEMPO 酸化法、機械解繊法、CM 化法	京都プロセス (樹脂中解繊法)
主要製品形態	高濃度樹脂マスターバッチ (ELLEX-R67)	透明シート (AUROVEIL) 高透明スラリー (AUROVISCO)	多様な水分散液 (セレンピア)、複合樹脂 (セレンピアプラス)	複合樹脂ペレット (STARCEL)
ターゲット市場	自動車、家電、建材 (構造材料中心)	電子部品、化粧品、特殊スポーツ用品 (高機能材料中心)	消臭剤、食品、自動車、3D プリンター (多角化)	自動車、建材、日用品 (構造材料中心)
特筆すべき生産規模・実績	年産 2,000 トンの商用プラント稼働 (2025 年)	世界初の透明連続シート製造技術	複数の製造拠点を保有	アシックス製シューズへの採用実績

出典:⁶ のデータを基に作成

第5章 大王製紙の戦略的青写真

ELLEXR67の商用プラント稼働は、単発の事業投資ではなく、大王製紙が描く長期的な企業変革の物語における、極めて重要な一幕である。この一手は、同社の企業ビジョン、中核的能力、そして外部との連携という三つの要素が交差する戦略的な結節点に位置づけられている。

5.1 「Transformation 2035」の柱：企業ビジョンにおけるCNFの位置づけ

大王製紙のCNF事業への大規模投資は、同社が掲げる長期ビジョン「Daio Group Transformation 2035」と密接に連動している⁴⁰。このビジョンは、国内の紙・板紙市場の構造的な縮小という厳しい現実に対し、企業として持続的に成長していくための変革の方向性を示したものである。その中で、「新素材事業の創出」は事業ポートフォリオを転換するための重要な柱とされており、2035年度までに新素材事業で売上高1,000億円を達成するという野心的な目標が掲げられている⁵⁵。

ELLEXR67の商用化は、この目標を達成するための最初の、そして最大のエンジンである。これは、従来の紙事業という成熟市場から、CNFという高成長・高付加価値市場へと経営の舵を切るといふ、同社の明確な意思表示に他ならない⁵⁶。この強いコミットメントは、組織体制の変更にも表れている。研究開発を主眼としていた組織を「新素材事業推進室」へと改称し、事業化を加速させるための専門部署を新設するなど、全社を挙げてCNF事業を推進する体制を構築している⁵⁷。この投資は、単なる多角化ではなく、企業の未来を賭けた中核事業へのピボットなのである。

5.2 中核的能力の活用：パルプ・製紙事業とのシナジー

大王製紙がCNF事業で競争優位を築く上で、最大の武器となるのが、80年以上にわたって培ってきた製紙事業との強力なシナジーである。この事業は、同社の中核的能力（コア・コンピタンス）を最大限に活用できる、極めて合理的な戦略に基づいている。

第一に、原料調達における圧倒的な優位性がある。CNFの主原料は木材パルプであ

り、大王製紙は国内最大級のパルプ・紙メーカーである⁵⁸。新設された CNF プラントは、同社の主力である三島工場（愛媛県四国中央市）の敷地内に建設されており、高品質な原料を低コストかつ安定的に調達できる²¹。これは、外部からパルプを購入しなければならない非製紙系の競合他社に対する大きなアドバンテージとなる。

第二に、プロセス技術における深い知見の活用が挙げられる。CNF の製造プロセスは、パルプの化学的・物理的処理が核心であり、これは製紙技術のいわば先進的な応用形である⁶⁰。セルロースという物質を誰よりも深く理解し、繊維を自在に制御するノウハウの蓄積が、ELLEX-R67 の革新的な製造プロセスの開発を可能にした。

第三に、既存インフラの活用によるコスト効率の高さがある。巨大な製紙工場が持つ電力、用水、物流、人材といった経営資源を共有することで、CNF 事業をゼロから立ち上げる場合に比べて、はるかに低いコストで運営することが可能となる。

このように、大王製紙の CNF 事業は、投機的な新規事業ではなく、自社の伝統的な強みをテコにして、既存事業の延長線上で新たな価値を創造する、極めてシナジーの高い戦略なのである。この事業構造そのものが、同社の強力な競争力の源泉となっている。

5.3 パートナシップの力：NEDO、大学、産業界との連携

大王製紙の CNF 事業開発は、自社単独の取り組みではなく、日本の産学官が連携するオープンイノベーションのエコシステムの中で推進されてきた。この外部との連携が、開発のスピードと成功確率を大きく高めている。

その中心的な役割を果たしたのが、国の研究開発機関である NEDO である。ELLEX-R67 の核心となる製造プロセス技術は、NEDO の助成事業の成果として開発されたものであり、公的な支援が民間企業の技術革新と大規模投資を後押しした典型的な成功例と言える²⁰。

大学との連携も不可欠であった。特に、地元である愛媛大学との共同研究は、初期の技術開発において重要な役割を果たした¹⁹。アカデミアが持つ基礎的な知見と、企業が持つ実用化へのニーズが結びつくことで、研究開発が加速された。

さらに、異業種の民間企業との協業も、技術を製品へと昇華させる上で決定的な意味を持った。高効率な複合化技術は、樹脂機械の専門メーカーである芝浦機械との共同開発によって実現した²⁰。また、開発初期の段階から、自動車部品金型メーカーのヤマセイ

と連携し、バス用バンパーという具体的な製品を共同で開発することで、市場のニーズを的確に捉え、実用化に向けた課題を早期に洗い出すことができた³⁶。

このように、大王製紙は自社の強みを核としながらも、国、大学、他産業のパートナーが持つ知識や技術を積極的に取り込むことで、単独では成し得なかったであろう革新的な製品と製造プロセスを確立した。この協調的なアプローチは、今後の事業展開においても重要な成功要因となるだろう。

第6章 批判的評価：業界の反応と成功の可能性

大王製紙が描いた壮大な戦略的青写真は、市場に受け入れられて初めて価値を持つ。ここでは、主要な顧客となりうる自動車業界や化学業界からの評価を分析し、残されたリスクを洗い出し、最終的に ELLEX-R67 の商業的成功の可能性を多角的に評価する。

6.1 顧客の声：自動車・化学業界からの視点

CNF 複合材料に対する潜在的な顧客、特に自動車業界からの評価は、期待と懸念が入り混じった複雑なものである。

肯定的な側面として、業界は CNF がもたらす高い剛性（弾性率）と、それによる軽量化効果を高く評価している¹⁶。NCV プロジェクトなどで実証されたように、車体重量を削減できるポテンシャルは、燃費・電費改善という業界全体の目標に合致するため、非常に魅力的である。また、従来 of 射出成形機で加工できる成形性の良さや、ガラス繊維に比べて優れたリサイクル性も、実用化に向けた利点として認識されている⁹。

一方で、実用化に向けては、依然として深刻な懸念点が複数存在する。その筆頭が、繰り返し指摘される「衝撃強度の低さ（脆さ）」である¹⁶。特に、衝突時のエネルギー吸収が求められる安全関連部品への適用は、現状の物性のままでは極めて難しい。この剛性と衝撃強度のトレードオフは、CNF 複合材料が越えなければならない最大の技術的ハードルである。

その他の課題としては、自動車部品として求められる「意匠性（着色性）」、車内環境

に影響を与える「揮発性有機化合物（VOC）の管理」、そして長期間の使用に耐える「耐久性・信頼性」の検証が挙げられる⁹。また、化学業界からは、大王製紙が提供するマスターバッチを、ユーザーがさらに別の樹脂とブレンドした際に、物性がどのように変化し、それをどう制御するのかが不透明であるという、より専門的な指摘もなされている⁶¹。これらの声は、CNF が実験室の素材から真の工業材料へと脱皮するために、解決すべき課題がまだ多く残されていることを示している。

6.2 リスク分析：衝撃強度とコストというアキレス腱

ELLEX-R67 の事業が直面するリスクを突き詰めると、二つの核心的な課題に行き着く。それは「衝撃強度」という技術的なアキレス腱と、「コスト」という経済的なアキレス腱である。

衝撃強度：この問題は、自動車部品への採用可否を決定づける文字通りの「ディールブレーカー（取引を破談させる要因）」となり得る。この課題に対し、業界も手をこまねいているわけではない。例えば、自動車部品大手の豊田合成は、ゴムなどのエラストマー成分を配合する材料設計や、高度な混練技術によって、CNF 複合材料の衝撃強度を自動車部品に適用可能なレベルまで高めることに成功したと発表している¹⁷。大王製紙自身のデータでも、CNF を 4%程度配合することで衝撃強度が約 2 倍に向上する可能性が示唆されているが、これが多様な使用環境下で安定的に発現するかは、さらなる実証が必要である⁶²。この問題は解決不可能ではないが、一筋縄ではいかないエンジニアリング上の難題であることは間違いない。

コスト競争力：大王製紙は大規模生産によってコストダウンを図るが、最終的に市場で問われるのは、競合材料との相対的な価格である。CNF の比較対象は、高価な炭素繊維ではなく、圧倒的に安価で市場を支配しているガラス繊維（参考価格 200～300 円/kg）である⁴。業界関係者の間では、CNF 複合材料が自動車分野で広く普及するためには、価格を 1kg あたり 500 円以下まで引き下げる必要があるとの見方が強い⁹。大王製紙が、年産 2,000 トンという規模を活かしてこの価格帯を実現できるかどうか、事業の成否を分ける最大の経済的試金石となる。

6.3 強気シナリオ：なぜ大王製紙の規模拡大が市場を創るのか

数々のリスクを抱えながらも、大王製紙の戦略が成功する可能性、すなわち「強気シナリオ（ブルケース）」も十分に考えられる。その根拠は、同社の行動が、これまで誰も成し得なかった方法で市場の構造的欠陥を修正しようとしている点にある。

前述の通り、CNF 市場は長らく「高コストと少量需要の悪循環」という「鶏と卵」のジレンマに囚われてきた⁷。多くの企業がこのジレンマの前で立ち止まる中、大王製紙は巨額の先行投資によって、この循環を力づくで断ち切ろうとしている。安定供給が可能な大規模プラントを先に建設し、使いやすいマスターバッチという形で製品を提供することで、潜在的な顧客が CNF を試用・採用する際のリスクを大幅に低減している。

この動きは、市場に強力な触媒として作用する可能性がある。大王製紙が供給する低コストな材料が、いくつかの先進的な企業で採用され、成功事例が生まれれば、それが他の企業を刺激し、採用の動きが連鎖的に広がるかもしれない。そうなれば、需要の増加がさらなる生産増とコストダウンを促し、コストダウンがまた新たな需要を掘り起こすという「好循環（バーチャス・サイクル）」が生まれる。大王製紙は、この好循環の最初の引き金を自ら引くことで、市場のルールを形成し、ELLEX-R67 を業界標準の地位に押し上げることを狙っている。これは、単なる市場追随者ではなく、市場そのものを創造する「マーケットメーカー」としての戦略である。

6.4 総合評価：商業的成功の確率に関するバランスの取れた見解

以上の分析を踏まえ、大王製紙の ELLEX-R67 事業の商業的成功の可能性を総合的に評価する。

結論として、この事業は依然として高いリスクを伴うものの、成功への道筋は明確に描かれていると言える。大王製紙は、長年の課題であった供給側の障壁（製造コスト、生産量、ユーザーの使いやすさ）に対して、技術と投資の両面から見事な解決策を提示した。その戦略は論理的であり、自社の強みを最大限に活かしたものとなっている。

しかし、成功はまだ保証されていない。ボールは今、供給側から需要側へと渡された。今後の成否は、衝撃強度対剛性のトレードオフといった、個別の用途に特有の技術的ハードルを、顧客と共に乗り越えられるかにかかっている。

この事業が真に成功するためには、大王製紙が「素材メーカー」から「アプリケーション開発パートナー」へと進化することが不可欠である。ペレットを製造・販売するだけ

でなく、顧客の設計・開発プロセスに深く入り込み、部品設計の最適化や最適な樹脂ブレンドの提案などを通じて、最終製品レベルでの課題解決を支援する必要がある。この「最後の1マイル」の課題を克服できた時、ELLEX-R67は初めて真の商業的成功を収めることができるだろう。

第7章 結論と戦略的展望

大王製紙のELLEX-R67商用化は、CNF産業における画期的な出来事であり、日本の新素材戦略の未来を占う重要な試金石である。本レポートの分析を総括し、今後の動向を注視すべき重要点と、各ステークホルダーへの戦略的提言を提示する。

7.1 注視すべき重要な転換点（インフレーション・ポイント）

ELLEX-R67事業の進捗と成功の可能性を測る上で、今後、以下のマイルストーンが出現するかどうかを注意深く監視することが重要である。

- **主要自動車部品での量産採用の発表**：コンセプトカーや試作品レベルではなく、市販車に搭載される主要な部品（例：内装パネル、バンパーなど）で**ELLEX R67**が量産採用されたという最初の公式発表。これは、市場が**CNF**を本格的に受け入れたことを示す最も明確なシグナルとなる。
- **具体的な価格目標の達成**：大王製紙が、特にガラス繊維複合材料と競争可能なレベル（例：500円/kg以下）の価格目標を達成したと公表するタイミング。これは、**CNF**がニッチな高機能材料から、汎用的な工業材料へと移行する上で不可欠な条件である。
- **競合他社による大規模投資の追随**：星光PMCや日本製紙といった主要な競合企業が、大王製紙の動きに対抗して、同等規模の商用プラントへの投資を発表するかどうか。これは、市場の拡大が本物であると業界全体が認識した証拠となる。
- **衝撃強度問題の解決を示す技術データの公表**：剛性を損なうことなく、既存のエンジニアリングプラスチックと同等レベルの衝撃強度を達成したことを示す、信頼性の高い技術データや論文が発表されること。これは、**CNF**の適用範囲を飛躍的に拡大させる技術的ブレークスルーとなる。

7.2 ステークホルダーへの戦略的提言

本分析に基づき、各ステークホルダーに対して以下の戦略的行動を提言する。

- **大王製紙へ：**
 - **アプリケーション・エンジニアリング体制の強化：**顧客が直面する衝撃強度や部品設計の課題を解決するため、専門的な技術サポートチームへの積極的な投資を行うべきである。
 - **「キラーアプリケーション」の創出：**自動車分野において、最も成功確率の高い部品を1〜2点に絞り込み、経営資源を集中投下して画期的な成功事例を早期に確立することが重要である。
- **潜在的顧客（自動車 OEM など）へ：**
 - **共同開発プロジェクトの開始：**先行者利益を獲得するため、大王製紙との共同開発プロジェクトを早期に立ち上げるべきである。初期のターゲットとしては、高い剛性と軽量性が最優先され、衝撃強度の要求が比較的低い部品（例：安全に直接関わらない内装部品やカバー類）から着手することが現実的である。
- **投資家へ：**
 - **重要転換点のモニタリング：**上記のインフクッション・ポイントの達成状況を継続的に監視することが求められる。この事業への投資判断は、大王製紙が生産能力を、主要な工業顧客との実際の販売契約に転換できるかどうかにかかっている。

7.3 最終的な考察：ELLEX-R67 が持つ広範な意義

大王製紙による **ELLEX-R67** の商用化は、一企業の事業戦略を超えた、より広範な意義を持つ。このプロジェクトの成否は、先進的なバイオマス素材で世界をリードしようとする日本の国家戦略全体の行方を左右する、重要な試金石となる。

これは、**CNF** という素材が、研究室で有望視される「未来の素材」から、グローバルな競争力を持つ「産業コモディティ」へと、ついに移行できるかどうかの最も重要なテストケースである。もしこの挑戦が成功すれば、それは持続可能な製造業の未来への道

を切り拓き、他の多くのバイオ由来材料の商業化を促進する強力な先例となるだろう。ELLEX-R67 のプラントから出荷されるペレットの一つ一つが、ポスト・プラスチック時代への移行の可能性を占う、重要な一票なのである。

引用文献

1. セルロースナノファイバー (CNF) | 研究・開発 | 大王製紙株式会社, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.daio-paper.co.jp/development/cnf/>
2. セルロースナノファイバーとは | デメリットや用途について解説 - eTREE, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.etree.jp/content/5889/>
3. セルロースナノファイバー (CNF) とは? デメリットと将来性・実用化に向けた課題や製品・企業事例, 8月15, 2025 にアクセス、<https://spaceshipearth.jp/cnf/>
4. 第1章セルロースナノファイバー (CNF) の概要 - 環境省, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.env.go.jp/content/900441262.pdf>
5. ナノセルロースとは, 8月15, 2025 にアクセス、<https://unit.aist.go.jp/ischem/ischem-clm/nanocellulose/nanocellulose.html>
6. セルロースナノファイバー (CNF) | テーマ | イノベーション - 王子ホールディングス, 8月15, 2025 にアクセス、https://www.ojiholdings.co.jp/r_d/theme/cnf.html
7. セルロースナノファイバーの普及に向けた課題と突破口 | MRI三菱総合研究所, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20180615.html>
8. セルロースナノファイバーを普及させるために求められること, 8月15, 2025 にアクセス、https://www.mri.co.jp/knowledge/column/i6sdu6000000vamd-att/tec_13.pdf
9. 植物由来の素材「CNF」をクルマに活用へ自動車材料のエキスパートの挑戦に迫る | RESEARCHER'S INSIGHT BackUp - 金沢工業大学, 8月15, 2025 にアクセス、<https://kitnet.jp/backup/article/11/a11.html>
10. セルロースナノファイバーの取組 - 京都市産業技術研究所, 8月15, 2025 にアクセス、<https://tc-kyoto.or.jp/cnf/>
11. 東大が画期的な CNF の製法を開発 産学連携により実用化に成功 - NEDO Web Magazine, 8月15, 2025 にアクセス、<https://webmagazine.nedo.go.jp/practical-realization/articles/201905np/>
12. ナノ繊維化と樹脂複合化を一度に CNF 複合樹脂が商品化 - NEDO Web Magazine, 8月15, 2025 にアクセス、<https://webmagazine.nedo.go.jp/practical-realization/articles/202102seikopmc/>
13. セルロースナノファイバーの評価 - 島津テクノリサーチ, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.shimadzu-techno.co.jp/annai/tes/s13.html>
14. 第6章今後の CNF の利活用に向けて - 環境省, 8月15, 2025 にアクセス、<https://www.env.go.jp/content/900441267.pdf>
15. セルロースファイバー複合樹脂の製造技術とリサイクル技術 - Panasonic, 8月15,

- 2025 にアクセス、 <https://tech.panasonic.com/jp/phd/pdf/technology-journal/v6602/p0115.pdf>
16. CNF 成果品-自動車部品_バッテリーキャリア | Nano Cellulose Promotion, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://cnf-ncp.net/deliverable2.html>
 17. 車の内外装部品向けの「CNF 強化プラスチック」を開発 | ニュースリリース・お知らせ - 豊田合成, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.toyoda-gosei.co.jp/news/details.php?id=1071>
 18. 第 3 章 環境省による CNF 社会実装の取組内容, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.env.go.jp/content/900441264.pdf>
 19. 大王製紙のセルロースナノファイバー, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.tri-step.or.jp/mng_26463/wp-content/uploads/2024/11/6c3f762e0f10705cda50522b39cb034a.pdf
 20. 植物由来 CNF 高濃度複合樹脂を商用化、大王製紙 | LOGISTICS TODAY, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.logi-today.com/822173>
 21. 大王製紙が CNF 複合樹脂「ELLEX-R67」の商用プラント設置を決定 | ニュース | NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101742.html
 22. 大王製紙 / CNF 複合樹脂商用プラントを三島工場に設置, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <http://www.st-times.co.jp/news/c/%E5%A4%A7%E7%8E%8B%E8%A3%BD%E7%B4%99%EF%BC%8F%cnf%E8%A4%87%E5%90%88%E6%A8%B9%E8%84%82%E5%95%86%E7%94%A8%E3%83%97%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%88%E3%82%92%E4%B8%89%E5%B3%B6%E5%B7%A5%E5%A0%B4%E3%81%AB/>
 23. ナノセルロース・セルロースナノファイバーに関する世界のニュース 2022 年 10 月, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://nanocellulose.biz/2022-10/>
 24. 大王製紙、高透明度の CNF 製造技術の開発に成功 | ソフトマター, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://softmatter.mechanical-tech.co.jp/node/103>
 25. セルロースナノファイバー世界市場に関する調査を実施 (2024 年) | ニュース・トピックス, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3540
 26. 大王製紙が CNF 複合樹脂「ELLEX-R67」の商用生産を開始しました - NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101870.html
 27. バイオ複合材料市場の成長縮小と機会 2028 年まで - The Insight Partners, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.theinsightpartners.com/ja/reports/biocomposites-market>
 28. CNF 樹脂複合材料の 2025 年から 2032 年までの 6.1%の CAGR での予測収益と市場成 - Pando, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://pando.life/article/1797837>
 29. セルロースナノファイバー - SVP ジャパン, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.svpjapan.com/insight/download/report_20250130_01.pdf
 30. セルロースナノファイバー (CNF) とは? - AIST: 産業技術総合研究所, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20220706.html
 31. 第 2 章 国内の CNF に関する技術開発及び製造、製品化の動向 - 環境省, 8 月 15,

- 2025 にアクセス、 <https://www.env.go.jp/content/900441263.pdf>
32. セルロースナノファイバー 利活用ガイドライン - 環境省, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.env.go.jp/content/900441261.pdf>
 33. CNF が拓くカーボンニュートラルへの道 モノづくりフェア 2022, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://cnf-ncp.net/pdf/monodukuri_2022.pdf
 34. 「セルロースナノファイバー実用化フォーラム 2024 in OTEX」を開催します - 中国経済産業局, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.chugoku.meti.go.jp/r6fy/event/seisan/241016.html>
 35. 別冊 1 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の成果のまとめ, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.env.go.jp/content/900441255.pdf>
 36. =大王製紙=バスのフロントバンパーにCNF部材を実装 - Papermall (ペーパーモール) , 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.kpps.jp/papermall/knowledge/page/NEWS/KNP0011693>
 37. セルロースナノファイバー (CNF)開発 | 事業内容 - 日本製紙グループ, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.nipponpapergroup.com/about/business/cnf/>
 38. CNF 成果品-住宅建材_竹 CNF 活用-高断熱住宅部品, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://cnf-ncp.net/deliverable4.html>
 39. 東大が画期的な CNF の製法を開発 産学連携により実用化に成功 - NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.nedo.go.jp/media/practical-realization/201905np.html>
 40. 大王製紙、CNF 複合樹脂の商用生産開始。日本最大規模のプラント稼働で社会実装を加速 (2025.7) - 株式会社グリーンプロダクション, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://greenproduction.co.jp/archives/31431>
 41. 大王製紙、CNF 複合樹脂の商用プラント設置決定。2025 年度に年産 2000 トン設備稼働 (2024.5) , 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://greenproduction.co.jp/archives/22958>
 42. CNF 創造センター | 王子ホールディングス株式会社 イノベーション推進本部, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.oji-rd.jp/activity/cnf-rd-center>
 43. 王子ホールディングスのセルロースファイバー5 製品 ・人気ランキング | Metoree, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://metoree.com/categories/7355/11425/>
 44. CNF 製品開発最前線 2019 - 静岡県, 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://www.pref.shizuoka.jp/res/projects/default_project/page/001/030/558/rlnftokyusyu.pdf
 45. 王子グループのセルロースナノファイバー (CNF) - YouTube, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.youtube.com/watch?v=YsLNABu9CpM>
 46. セルロースナノファイバー (CNF) | 研究開発 - 日本製紙クレシア株式会社, 8 月 15, 2025 にアクセス、 <https://www.crecia.co.jp/safety/development/cnf/>
 47. CNF 強化樹脂 (Cellenpia Plas) , 8 月 15, 2025 にアクセス、 https://cnf-fuji-pf.jp/wordpress/wp-content/uploads/2022/10/introduction_1-2.pdf

48. 日本製紙が 3D プリンター用 CNF 強化樹脂のサンプル提供を開始 - ShareLab NEWS, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://news.sharelab.jp/3dp-news/plastic-materials/nipponpapergroup-230731/>
49. ナノ繊維化と樹脂複合化を一度に CNF 複合樹脂が商品化 | メディア - NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.nedo.go.jp/media/practical-realization/202102seikopmc.html>
50. ナノファイバー企業に進化 - 星光 PMC, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.chemipaz.com/wp-content/uploads/2023/03/7285244983c965f4ae8748bb8a027d41.pdf>
51. SPMC Technical Review - 変性セルロースナノファイバー配合樹脂「STARCEL R」の発泡材料への応用 - CHEMIPAZ, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.chemipaz.com/wp-content/uploads/2020/11/cbe0a061bcb0ab3cad616a8ff20c6939.pdf>
52. Nanocellulose Symposium final / 第 517 回生存圏シンポジウム - 「ナノセルロース Now and Then」, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/bionanomat/wp-content/uploads/2024/02/%E3%83%8A%E3%83%8E%E3%82%BB%E3%83%AB%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%82%B7%E3%83%B3%E3%83%9D%E3%82%B8%E3%82%A6%E3%83%A0%final-%E8%A6%81%E6%97%A8%E9%9B%86-%E7%B8%AE%E5%B0%8F%E7%89%88.pdf>
53. セルロースナノファイバーを製造する国内企業と製品一覧, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://nanocellulose.biz/manufacturing-jp/>
54. 大王グループの目指す姿 | 経営方針 | IR 情報 | 大王製紙株式会社, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.daio-paper.co.jp/ir/policy/aspiration/>
55. 【コスモスタイム】大王製紙の CNF 商用プラント稼働 (2025 年 7 月 29 日取材) - YouTube, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.youtube.com/watch?v=SQZZawBOAHg>
56. 大王製紙 レポート名 : 大王グループ統合レポート 2024 1. この会社が目指している将, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://tsumuraya.hub.hit-u.ac.jp/special03/2024/3880.pdf>
57. 2024 年度版 1 - NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.nedo.go.jp/content/800029663.pdf>
58. 大王製紙株式会社 | えひめバーチャル展示会 脱炭素・ESG, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://sugowaza-ehime.com/virtual/esg/company/company14.php>
59. 大王製紙、三島工場で CNF 複合樹脂の新設備稼働 - 設備投資ジャーナル, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.setsubitoushi-journal.com/article/7243>
60. 環境負荷の低減に貢献する木質由来の新素材を、世界へ供給する。一大王製紙 (株) ・溝渕氏, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.regent.jp/column/ehime/entry-548.html>
61. 「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」 中間評価報告書 - NEDO, 8 月 15, 2025 にアクセス、<https://www.nedo.go.jp/content/100964387.pdf>

62. 発展・拡張する”CN”F の世界 ～セルロースナノファイバーの社会実装を進める先
駆者たちの戦略, 8 月 15, 2025 にアクセス、
<https://m.youtube.com/watch?v=ROlf2KSXCFM>