

脱炭素・循環経済の実現に向けた
セルロースナノファイバー
利活用ガイドライン

令和3年3月
環境省

はじめに

セルロースナノファイバー（以下、CNF）は、植物由来のカーボンニュートラルな材料で、高い比表面積を有していることから、軽量でありながら高い強度や弾性率を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待され、精力的な開発が進められています。

特に、高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、軽量化や高効率化等によるエネルギー消費の削減に繋がることから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されています。

環境省では、省庁連携の枠組みの中で、社会実装に関する事業を担当し、2015 年度から各種委託事業を通じて、CNF 製造工程の低炭素化、CNF 活用製品の性能評価、リサイクル工程の検証等を行ってきており、それぞれ単体では一定の成果を上げています。しかし、CNF はまだまだ新しい素材であるため、CNF 製造～CNF 活用製品製造～利用～廃棄の工程において、その性能を十分発揮させるための適正な処理方法や保管方法は公知となっていません。加えて、市場には CNF と称する材料は数多く存在していますが、その精度（解繊度、解繊の均一性、CNF の直径及び長さの分布、化学修飾による置換度など）によって発現する性質が異なります。したがって、用途に応じた CNF の選択をユーザーが適切に行い、効率的に CNF 活用製品の開発・製造が行えるようにするためには、CNF の選定のポイントや、加工段階の注意点などをまとめて公知のものとし、利活用の障壁を下げ、可能な限り迅速に結果へ導く必要があります。

また、脱炭素化が強く望まれる昨今において、植物由来の材料である CNF の利活用による LCCO₂（ライフサイクル CO₂）削減効果が明確になれば、利活用の促進に繋がりますが、現在市場に流通している CNF は製造方法も製造規模も多種多様であり、製造時の CO₂ 排出原単位には大きな開きがあります。

LCCO₂ 算出の信頼性を担保するためには、主要な CNF それぞれの製造段階の CO₂ 排出原単位について、一定の公平性を持った第三者の支援を入れて、精査する必要があります。加えて、まだ製造規模が小さいことから、現在の値だけでなく将来の増産により現実的に達成し得る値を推定しておくことが望まれます。

加えて、令和2年度調査においては、これまでの環境省委託事業「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」による CNF の社会実装の進捗度を調査し、CNF 利活用による CO₂ 削減効果の見通しを更新するとともに、環境省事業に限らない CNF 利活用情報をまとめ、ニーズが高い分野、速やかに実用化に向かっている分野、ニーズとシーズの乖離が起きており支援の必要な分野などを明らかにしました。

以上を踏まえ、本ガイドラインでは、様々な分野における CNF 活用製品の社会実装を加速化させるために、環境省 CNF 事業の集大成としてこれまでのモデル事業の成果と CNF の最新の社会実装状況などを取りまとめるとともに、LCCO₂ を考慮して製品の検討を行うための主要な CNF 及び CNF 二次製品の製造時 CO₂ 排出原単位をとりまとめました。

目次

序章 1 セルロースナノファイバー(CNF)の特徴.....	4
序章 2 環境省が描く CNF を活用した脱炭素社会像.....	5
序章 3 対象とする読者層.....	7
序章 4 適用範囲.....	8
序章 5 ガイドラインの構成と内容.....	9
序章 6 用語の定義.....	13
第 1 章 セルロースナノファイバー (CNF) の概要.....	18
1.1 CNF とは.....	18
1.1.1 CNF の定義と種類.....	18
1.1.2 CNF の製造方法.....	19
1.1.3 CNF の特性.....	21
1.2 CNF 利活用に関する各省庁の取組.....	24
1.2.1 環境省における取組.....	25
1.2.2 経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) における取組.....	26
1.2.3 その他省庁等の取組.....	26
1.3 CNF の用途.....	28
1.3.1 用途の全体像.....	28
1.3.2 環境省が着目する分野用途.....	29
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.....	30
2.1 CNF の普及状況と今後の市場見込み.....	30
2.1.1 CNF の普及状況.....	30
2.1.2 CNF の今後の市場見込み.....	32
2.1.3 海外動向.....	33
2.2 CNF の技術開発のロードマップ.....	47
2.3 CNF 原材料の生産状況・生産体制.....	50
第 3 章 環境省による CNF 社会実装の取組内容.....	52
3.1 環境省による CNF 社会実装に向けた取組の全体像.....	52
3.2 CNF 関連事業の概要.....	52
3.2.1 CNF 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業.....	52
3.2.2 CNF 活用製品の性能評価事業.....	53
3.2.3 CNF の現状供給価格と将来の目標価格.....	56
3.3 CNF による地域産業の創出.....	64
3.3.1 CNF による地域産業創出の目的と考え方.....	64
3.3.2 CNF による地域産業創出に向けた検討事例紹介.....	66
3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と解決のポイント.....	67
3.3.4 CNF による地域産業創出 地域経済効果試算のケーススタディ.....	76

第4章 CNFのリサイクル	81
4.1 循環経済に関するCNFの有用性	81
4.1.1 循環経済に関する社会動向	81
4.1.2 循環経済に有用なCNFの特性	82
4.2 CNF製品・素材のリサイクルの可能性	82
4.2.1 想定可能なCNF製品・素材のリサイクル	82
4.2.2 CNF複合材に活用可能と考えられるリサイクル技術	83
4.3 環境省のCNFリサイクルの性能評価等事業の概要と成果	85
4.3.1 環境省のCNFリサイクルの性能評価等事業の概要	85
4.3.2 CNFリサイクルの評価等事業の成果のまとめ	88
4.4 CNFリサイクルの推進に向けて	89
4.4.1 CNFリサイクルの課題・留意点	89
4.4.2 CNFリサイクルの推進に向けて	90
第5章 CNFのCO ₂ 削減効果の算定	91
5.1 CNFのCO ₂ 削減効果の算定方法	92
5.1.1 CO ₂ 削減効果の算定の流れ	92
5.1.2 算定を行う上で設定すべき条件項目	92
5.1.3 算定の概要	92
5.1.4 算定結果のレビュー	93
5.2 CO ₂ 削減効果量およびCO ₂ 削減ポテンシャル量の算定事例	94
第6章 今後のCNFの利活用に向けて	96
6.1 CNFの新たな分野への利活用に向けて	96
6.2 新たな分野での利活用を想定する製品群に係る課題及び解決策	100
6.3 まとめと今後の展望	105
おわりに	107

<コラム>

コラム1：CNFの材料特性等を整理するQFD（品質機能展開）の活用	23
コラム2：世界初！セルロースナノファイバーから車を作る～NCV（Nano Celluloce Vehicle）プロジェクト～	59
コラム3：CNFの環境価値について	80
コラム4：分野横断的な課題と対応の方向性	103

<別冊>

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	
別冊2 環境省事業で使用したCNF性能整理	
別冊3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCAガイドラン）	

序章 1 セルロースナノファイバー (CNF) の特徴

セルロースナノファイバー（以下、CNF）は、植物を原料とする素材であり、木材などから化学的・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で、高い比表面積を有しており、軽量でありながら高い強度や弾性率を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待される素材です。

特に、高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、軽量化や高効率化等によるエネルギー消費の削減に繋がることから、CO₂ 削減への多大なる貢献が期待されています。

また、植物由来でカーボンニュートラル¹であることから従来素材（プラスチック等）の代替によるCO₂削減への貢献、高いリサイクル性²を有することから多くのCNF含有材料でリサイクル性の向上による循環経済の実現への貢献、原料を国内の間伐材等の森林資源から調達することによる森林保全やCO₂吸収源対策への貢献³など、様々な環境側面の効果が期待されるとともに、地域産業の創出としても期待されている素材です。

CNFの特徴と環境側面等で期待される効果

- 軽量・高強度 : 構造材用途への利用によるエネルギー消費・CO₂の削減
- 植物由来 : 従来素材（プラスチック等）の代替によるCO₂削減
- 高リサイクル性 : リサイクル性の向上による循環経済の実現への貢献
- 国内森林資源から調達 : 国内の森林保全・CO₂吸収源対策への貢献
- 新素材 : 設備、人材、技術等を活用した地域産業の創出が可能



図 P-1 セルロースナノファイバー製造の概要図

¹ 持続可能な植物資源管理の元でカーボンニュートラルが実現されます

² 単体分離した多くのCNF複合材料をマテリアルリサイクルした場合、物性が下がりにくい

³ 未利用の間伐材等を利用することで、適切な森林整備が促進され、CO₂吸収源対策に貢献します

序章 2 環境省が描く CNF を活用した脱炭素社会像

気候変動問題の解決は、従来の取組の延長では実現することが困難であり、これまでの延長線上にない非連続なイノベーションが不可欠です。実現に向けては、多くの資金や技術力を有するビジネス主導による取組の拡大が必要となります。そのため、環境省では CNF を活用した“脱炭素化・循環経済”の将来の社会像を明確に掲げ、実現に向けた施策等の方向性を示すことで、CNF に関する取組や投資を拡大していく基盤となることを期待します。

将来の社会では、CNF の“高強度・軽量”や“断熱等の高機能性”、“植物由来で高い再利用性”という性質を活かし、あらゆるモビリティや住宅建材等において製品ライフサイクルでの低炭素・脱炭素化の実現が想定されています。また、環境負荷の低い素材として、従来素材（プラスチック等）の代替による循環経済や、地域の森林資源活用による分散型社会の実現も期待されます。あわせて、地域循環共生圏の考え方も踏まえ、“都市部”と“地域”がそれぞれの強みを活かし、環境と経済の好循環を実現します。

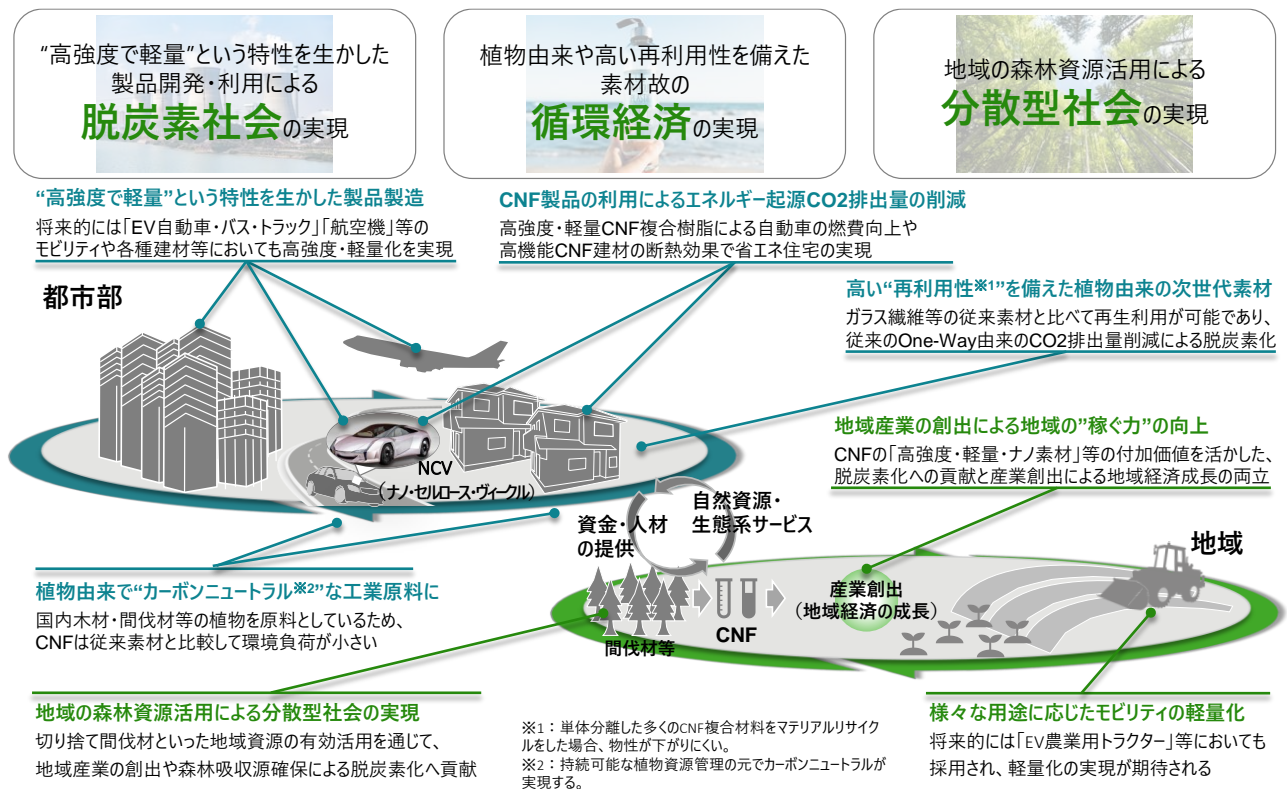


図 P-2 CNF を活用した“脱炭素・循環経済・分散型社会”の将来像

環境省では、過年度より様々な製品等の基盤となる樹脂材料を CNF で補強した製品・部材（複合樹脂等）を使用することで、特に、地球温暖化対策に貢献が期待されるモビリティ、住宅建材・家電の各分野に注目をして、CO₂ 削減を目的とした CNF 性能評価モデル事業を推進してきました。

今後の CNF が活用される領域として、こうした実績や獲得した知見を活かし、規制基準が比較的に低い“超小型モビリティ”や“電動モビリティ”等への普及を目指します。加えて、住宅建材や家電分野においても、CNF を活用した製品群の拡充を図り、民間企業を含むオールジャパンで“脱炭素社会”、“循環経済”の実現を目指します。

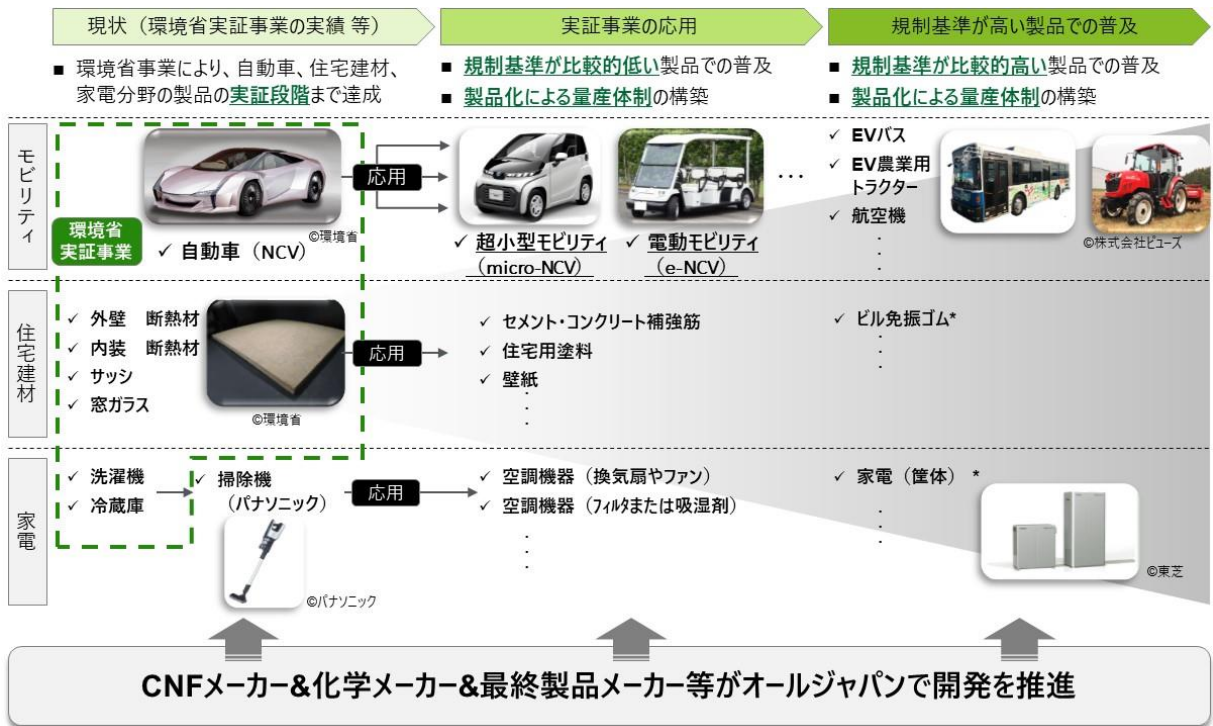


図 P-3 環境省の実績と今後の CNF 利活用の方向性

序章 3 対象とする読者層

本ガイドラインは、CNF の製造、製品の研究開発・利活用に携わる全ての関係者を読者層と想定し
 P^ています。具体的な読者（関係者）を以下に、各読者が本ガイドラインで主に参照とする箇所を表
 P- 1 に示します。

【想定する読者】

- CNF の原料供給事業者
- CNF 製造事業者
- CNF 製品製造事業者
- CNF 製品のリサイクル・廃棄事業者
- 地方公共団体

表 P- 1 想定される読者と検討熟度における主なガイドラインの参照箇所

検討熟度 業種	低 CNF を初めて扱う、社内説 明したい	中 CNF を扱っている（扱ってい た）が課題解決に苦慮して いる	高 既に CNF を扱って商品化ま でしており今後更に拡大して いきたい
CNF の原料供給事業者	第 1 章 第 1 節 (C N F の 概 要)	第 1 章 CNF の概要 (第 2 ~ 4 節)	第 5 章 CNF の CO ₂ 削減効果の算定
CNF 製造事業者		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	
CNF 製品製造事業者		第 3 章 環境省による CNF 社会実装の取組内容	
CNF 製品のリサイクル・廃棄事業者		第 4 章 CNF のリサイクル	
地方公共団体		第 6 章 今後の CNF の利活用に向けて	
		第 3 章 第 3 節 (CNF による地域産業創出)	

序章 4 適用範囲

本ガイドラインで扱う CNF は、幅 3-100 nm、長さ 5 μm 以上、高アスペクト比を有し、機械解繊等で製造されているものとします。本ガイドラインで取扱う内容（CNF の原料、サプライチェーン、地理的範囲）を表 P-2 に示します。また、CNF のサプライチェーンのイメージを図 P-4 に示します。

表 P-2 本ガイドラインが取扱う内容の整理

	適用範囲
CNF の原料	木材等の植物由来の原料
サプライチェーン	CNF 製造と CNF 製品製造を中心としたサプライチェーン全体
地理的範囲	国内（※海外情報は参考程度に取り扱う）

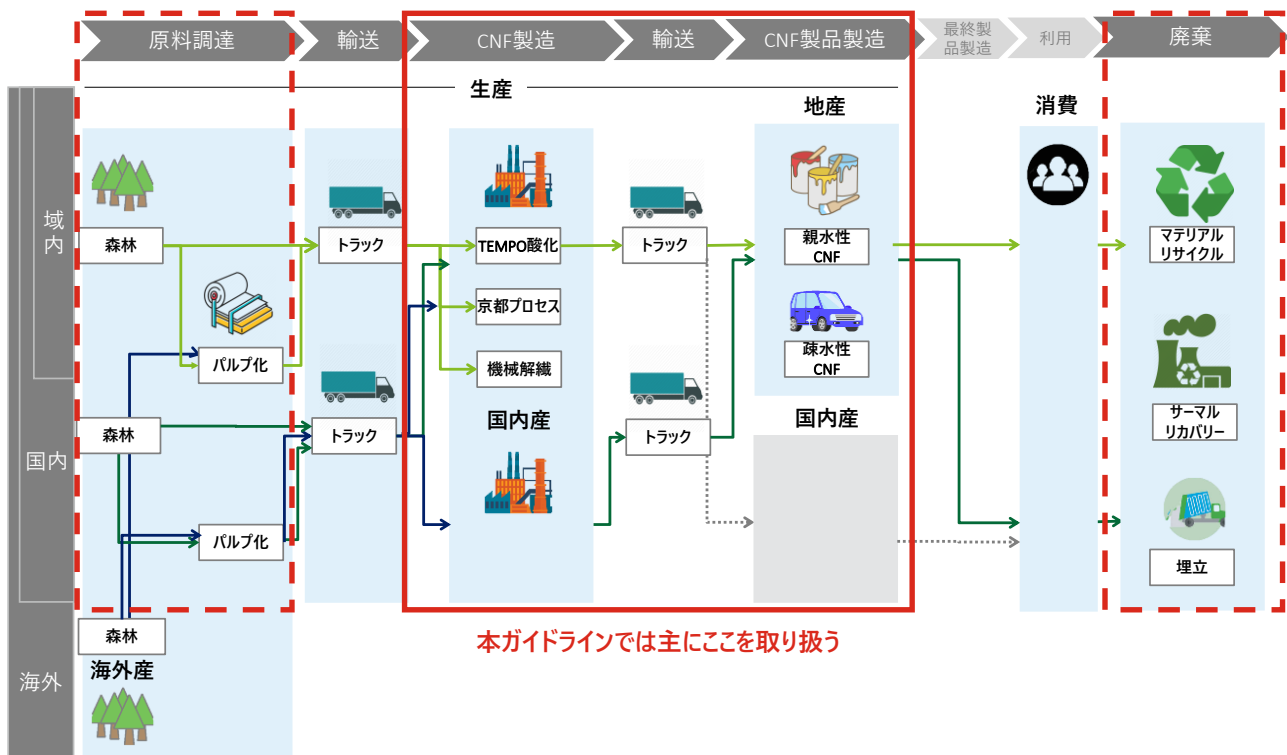


図 P-4 CNF のサプライチェーンのイメージ

序章 5 ガイドラインの構成と内容

本ガイドラインの構成を表 P-3 に、目的別の参照箇所を表 P-4 に示します。

序章では、本ガイドライン作成の背景としての CNF の特徴、対象読者、適用範囲等について記載しています。第 1 章では CNF の概要として、一般的な種類や特性、各省庁の取組、用途等について整理しています。第 2 章では CNF の技術開発及び製造、製品化の動向について整理しています。第 3 章では、環境省による CNF 社会実装の取組内容と地域産業の創出について整理しています。なお、第 3 章と連動して、別冊 1 環境省事業の成果まとめ、別冊 2 環境省事業で使用した CNF 性能整理をとりまとめています。第 4 章では CNF のリサイクルについて整理しています。第 5 章では、CNF の製品利用による CO₂ 削減効果の算定について整理しています。また、第 5 章と連動して、別冊 3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）を整理しています。第 6 章では、今後 CNF の利活用に向けた課題、解決方法等について整理しています。

表 P-3 ガイドラインの構成

目次構成	内容
はじめに	
序章	
序章 1 セルロースナノファイバー（CNF）の特徴 序章 2 環境省が描く CNF を活用した脱炭素社会像 序章 3 対象とする読者層 序章 4 適用範囲 序章 5 ガイドラインの構成と内容 序章 6 用語の定義	本ガイドライン作成の背景として、CNF の特徴、環境省が描く CNF を活用した脱炭素社会像、対象読者、適用範囲、内容・構成、用語等について記述。
第 1 章 セルロースナノファイバー（CNF）の概要	
1.1 CNF とは 1.1.1 CNF の定義と種類 1.1.2 CNF の製造方法 1.1.3 CNF の特性 <コラム 1：CNF の材料特性等を整理する QFD（品質機能展開）の活用>	一般的な CNF の種類や特性について記述。
1.2 CNF 利活用に関する各省庁の取組 1.2.1 環境省における取組 1.2.2 経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における取組 1.2.3 その他省庁等の取組	環境省、経済産業省／新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）およびその他各省庁が実施しているもしくは過去に実施した取組について整理。
1.3 CNF の用途 1.3.1 用途の全体像 1.3.2 環境省が着目する分野用途	多岐にわたる CNF の用途と環境省が着目する分野別用途について整理。
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	
2.1 CNF の普及状況と市場見込み 2.1.1 CNF の普及状況 2.1.2 CNF の今後の市場見込み 2.1.3 海外動向 (参考) 国際標準化に向けた動き	CNF の普及状況や今後の市場見込み、海外動向について整理。
2.2 CNF の技術開発のロードマップ	技術開発動向について整理。
2.3 CNF 原材料の生産状況・生産体制	CNF の生産状況・生産プラントについて記述。

目次構成	内容
第3章 環境省によるCNF社会実装の取組内容	
3.1 環境省によるCNF社会実装に向けた取組の全体像	環境省事業の概要について記載。
3.2 CNF関連事業の概要 3.2.1 CNF製品製造工程の低炭素化対策の立案事業 3.2.2 CNF活用製品の性能評価事業 3.2.3 CNFの現状供給価格と将来の目標価格 ＜コラム2：世界初！セルロースナノファイバーから車を作る ～NCV（Nano Celluloce Vehicle）プロジェクト～＞	環境省事業の各個別事業の概要について整理。 詳細については、別冊1で整理。
3.3 CNFによる地域産業の創出 3.3.1 CNFによる地域産業創出の目的と考え方 3.3.2 CNFによる地域産業創出に向けた検討事例紹介 3.3.3 CNFによる地域産業創出に向けた課題と成立のポイント 3.3.4 CNFによる地域産業創出 地域経済効果試算のケーススタディ ＜コラム3：CNFの環境価値について＞	CNFを地域産業創出といった観点から整理。
第4章 CNFのリサイクル	
4.1 循環経済に関するCNFの有用性 4.2.1 循環経済に関する社会動向 4.2.2 循環経済に有用なCNFの特性	CNFのリサイクルについて整理。
4.2 CNF製品・素材のリサイクルの可能性 4.2.1 想定可能なCNF製品・素材のリサイクル 4.2.2 CNF複合材に活用可能と考えられるリサイクル技術	
4.3 環境省のCNFリサイクルの性能評価等事業の概要と成果 4.3.1 環境省のCNFリサイクルの性能評価等事業の概要 4.3.2 CNFリサイクルの評価等事業の成果のまとめ	
4.4 CNFリサイクルの推進に向けて 4.4.1 CNFリサイクルの課題・留意点 4.4.2 CNFリサイクルの推進に向けて	
4.1 循環経済に関するCNFの有用性	
第5章 CNFのCO₂削減効果の算定	
5.1 CNFのCO ₂ 削減効果の算定方法 5.1.1 CO ₂ 削減効果の算定の流れ 5.1.2 算定を行う上で設定すべき条件項目 5.1.3 算定の概要 5.1.4 算定結果のレビュー	CNFのCO ₂ 削減効果の点から整理。LCCO ₂ の算定についても記述。 具体的な算定方法については、別冊3参照。
5.2 CO ₂ 削減効果およびCO ₂ 削減ポテンシャル量の算定事例	
第6章 今後のCNFの利活用に向けて	
6.1 CNFの新たな分野への利活用に向けて	今後のCNFの今後の利活用に向けた課題、解決方法等について整理。
6.2 新たな分野での利活用を想定する製品群に係る課題及び解決策 ＜コラム4：分野横断的な課題と対応の方向性 ～CNF選択の目安となる表示・測定基準の整備と情報開示について～＞	
6.3 まとめと今後の展望	
おわりに	

別冊資料

項目	内容
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	
<ul style="list-style-type: none"> 1. 事業の概要 2. 各事業者の事業成果 	環境省各個別事業について整理。
別冊 2 環境省事業で使用了 CNF 性能整理	
	各環境省事業で使用了 CNF の性能について整理。
別冊 3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス排出量削減効果算定ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）	
<ul style="list-style-type: none"> 別冊 3-1 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス排出量削減効果算定ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）（本編） 別冊 3-2 CNF-LCA ガイドライン 算定条件宣言シート作成ガイダンス 別冊 3-3 CNF-LCA ガイドライン 算定手順および算定例 別冊 3 別添（エクセルファイル） CNF-LCA ガイドライン CNF の温室効果ガス排出原単位表示ツール 	CNF の LCA ガイドライン。 別添のエクセルファイルは製造時の温室効果ガス排出原単位をまとめている。

表 P-4 目的別の参照箇所

目的	記載箇所	ページ番号
CNF が何か 知りたい	1.1 CNF とは	18
CNF の特性 を知りたい	1.1.3 CNF の特性	21
CNF に関する 各省庁の動き を知りたい	1.2 CNF 利活用に関する各省庁の取組	24
CNF が どんな用途 に使えるか知りたい	1.3 CNF の用途 2.1.1 CNF の普及状況	28、 30
CNF の 海外の動向 を知りたい	2.1.3 海外動向	33
どの企業がどこで CNF を製造 しているか知りたい	2.3 CNF 原材料の生産状況・生産体制	50
環境省事業の内容（成果） を知りたい	3.2 CNF 関連事業の概要 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 別冊 2 環境省事業で使用した CNF 性能整理	52 別冊 1 別冊 2
CNF の 現在の供給価格と目標価格 を知りたい	3.2.3 CNF の現状供給価格と将来の目標価格	56
CNF でできた自動車 はどんなものか知りたい	コラム 2: NCV プロジェクト	59
CNF を 地域産業の創出 に活かせないか検討したい	3.3 CNF による地域産業の創出	64
CNF を活用している地域の実施事例 を知りたい	3.3.2 CNF による地域産業創出に向けた検討事例紹介	66
CNF のリサイクル を検討したい	第 4 章 CNF のリサイクル	81
CNF を含む製品の CO₂削減効果 を計算したい	第 5 章 CNF の CO ₂ 削減効果の算定 別冊 3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）	91 別冊 3
CNF を含む製品の製造時の 温室効果ガス排出原単位 を知りたい	別冊 3 別添（エクセルファイル） CNF の温室効果ガス排出原単位表示ツール	別冊 3 別添
CNF を利活用する上での 留意点や課題 について知りたい	第 6 章 今後の CNF の利活用に向けて	96
CNF を利活用する上で どんな分野が有望か 知りたい	1.3 CNF の用途 2.1 CNF の普及状況と今後の市場見込み 6.2 新たな分野での利活用を想定する製品群に係る課題及び解決策	28 30 100
CNF の 今後の展望 を知りたい	2.2 CNF の技術開発のロードマップ 6.3 まとめと今後の展望	47 105

序章 6 用語の定義

用語		定義と解説
ア	アラミド繊維	Aramid Fiber 芳香族ポリアミド繊維。脂肪族ポリアミド（ナイロン）と区別するために名づけられた。耐熱性・引っ張り強度に優れ、弾性率が高い。防弾衣類・海中ケーブルなどに使われる。
	ウォータージェット法	Water Jet Process CNF 製造方法の一つ。表 1-2 参照。
カ	化学修飾	Chemical Modification セルロースの 3 つの水酸基を無水酢酸などの化学的処理によりアセチル基などに変化させる。
	ガラス繊維	Glass Fiber ガラスを引き伸ばしてきわめて細くした人造繊維。熔融ガラスを多数の細孔から高速で引いて作る。耐熱性・耐食性・耐湿性が高い。断熱材・防音材・絶縁材・濾過材・光通信用材などに用いるほか、強化プラスチック（FRP）の補強材に使われる。
	カーボンニュートラル	Carbon Neutral 植物の成長過程における光合成による二酸化炭素の吸収量と、植物の焼却による二酸化炭素の排出量が相殺され、実際に大気中の二酸化炭素の増減に影響を与えないことを意味する。
	機械解繊	Mechanical Process セルロース繊維をほぐして CNF を精製するための機械的処理の方法。表 1-2 参照。
	筐体（きょうたい）	Case 機械や電気機器の外側の箱。
	京都プロセス	Kyoto Process CNF 製造方法の一つ。変性パルプ直接混練法。パルプを未乾燥の状態ですべて樹脂と相溶する化学構造に変え、溶けた樹脂の中で混練する。これにより、高性能の CNF 強化樹脂が得られる。表 1-2 参照。
	グラインダー法	Grinders CNF 製造方法の一つ。表 1-2 参照。
サ	サーマルリカバリー	Thermal Recycle 廃棄物等から熱エネルギーを回収すること。循環型社会基本法では、原則としてリユース、マテリアルリサイクルがサーマルリカバリーに優先することとされている。
	サプライチェーン	Supply Chain 製品の原材料・部品の調達から、製造、在庫管理、配送、販売までの全体の一連の流れのことをいう。
	湿式解繊法	Wet dispersion セルロース繊維に対し水中で物理的（機械的）な力を加えて解繊する方法。

用語		定義と解説
	親水性 CNF	Hydrophilic CNF 水溶液中に創製された濃度 1~2%の CNF で、増粘剤などの用途に、そのままの濃度で使用される CNF のこと。
	セルロース	Cellulose 植物細胞壁を構成する天然高分子。グルコースが直鎖状に連結している。
	セルロースマイクロフィブリル	Cellulose Micro Fibril 3~4nm 幅に十~数十本のセルロース分子鎖が束になったもの。シングルナノファイバーまたは繊維素。
	疎水性 CNF	Hydrophobic CNF 樹脂に分散しやすくなるアセチル基などの化学修飾を施した CNF のこと。
タ	タルク	Talc 含水ケイ酸マグネシウムを主成分とする白色粉末で、滑石（かっせき）を微粉碎し、精製したもの。PP などの補強材料として使用されている。
	炭素繊維	Carbon Fiber アクリル繊維などを原料に高温で炭化して作った繊維。
	置換度	Degree of Substitution (DS) アセチル化などの化学修飾において、セルロース分子の繰り返し単位に含まれる 3 つの水酸基の置換されている程度。最大 DS=3。
	ディスクミル	Disc Mill 石臼式粉碎機 グライNDERと同じ 湿式で使用されることが多い。 CNF 製造方法の一つ。別冊 2 参照。
ナ	ナノセルロース	Nanocellulose 外形寸法に 1-100nm のナノスケール部を含むセルロース。
	熱可塑性樹脂	Thermoplastic Resin 熱を加えると柔らかくなり、冷やすとまた硬くなる樹脂。ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ABS 樹脂が生産量の多い代表的な樹脂である。
	熱硬化性樹脂	Thermosetting Resin 熱を加えると硬化し、再成形ができない樹脂。エポキシ樹脂、フェノール樹脂が代表的な樹脂である。
ハ	バイオマス	Biomass 再生可能な生物由来の有機性資源。CNF の原料となる。
	パルプ直接混練法	→京都プロセス
	ビーズミル	Bead Mill セラミックスなどのビーズと粉碎対象物を液体中で高速攪拌する微粉碎機。金属ボールより、細くなる。
	比表面積	Specific Surface Area 単位質量当たりの表面積。
	変性パルプ直接混練法	→京都プロセス

用語		定義と解説
	ボールミル	Ball Mill 金属ボールと粉砕対象物を液体中で高速攪拌する微粉砕機。ビーズミルより、粗くなる。
マ	マスターバッチ	Masterbatch 所定の割合で強化材料、繊維、顔料などを練りこんだ樹脂材料。希釈して使用する。
	マテリアルリサイクル	Material Recycle 廃棄物を再資源化すること。ペットボトルの再資源化では、選別、粉砕・破碎、洗浄、ペレット化により、再生 PET 樹脂がえられる。
	マイクロフィブリル	→セルロースマイクロフィブリル
	モビリティ	Mobility 乗り物、移動手段。
ラ	ライフサイクル	Life Cycle 資源の採取から、加工・販売・消費を経て廃棄にいたるまでの各過程。
	リグニン	Lignin 植物細胞壁を構成する芳香族高分子。セルロースマイクロフィブリルのまわりを覆うように存在する。
	レビュー	Review 外部の専門家による検証あるいは評価を行うこと。
A	ABS 樹脂	Acrylonitrile, Butadiene, Styrene 熱可塑性プラスチックの一つ。アクリロニトリル (Acrylonitrile)、ブタジエン (Butadiene)、スチレン (Styrene) 共重合合成樹脂の総称。
	ACC 法	Aqueous Counter Collision 水中カウンターコリジョン法。加圧水を対向衝突させる。CNF 製造方法の一つ。表 1-2 参照。
	AIST	The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology 産業技術総合研究所。
C	CFRP	Carbon-Fiber Reinforced Plastic 炭素繊維強化プラスチック。
	CNF 二次製品	CNF Secondary Product CNF を強化材とする複合材料およびその成形品。
	CNC	Cellulose Nano Crystals セルロースナノクリスタル。針 (ひげ) 状結晶 幅 10~50nm 長さ 100~500nm 酸加水分解により製造する。非晶部がなく、結晶部と准結晶部だけからなる。
	CNT	Carbon Nanotube カーボンナノチューブ。直径は数ナノメートルの炭素原子同士が蜂の巣状に結合し、チューブ (筒) 状になった繊維状炭素である。
E	EP	Epoxy Resin エポキシ樹脂。熱硬化性樹脂のひとつである。

用語		定義と解説
F	FRP	Fiber Reinforced Plastics 繊維強化プラスチック。
G	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastics ガラス繊維強化プラスチック。
I	ISO	International Organization for Standardization 国際標準化機構。
L	LCA	Life Cycle Assessment ライフサイクルアセスメント、製品やサービスのライフサイクルを通じた環境への影響を評価する手法。 参考： https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/
	LCCO ₂	Life Cycle CO ₂ ライフサイクル CO ₂ ：製品やサービスの原料調達から廃棄までのライフサイクルを通じた CO ₂ 排出量。
M	MB	→マスターバッチ
N	NCJ	Nano Cellulose Japan ナノセルロースジャパン。産官学連携によるナノセルロースの技術開発・普及を行い、また会員企業間の協業による事業化を推進することでナノセルロースの実用化・産業規模の拡大を図り、さらに国際標準化を進めて日本の産業競争力を高めることを目的としている。
	NCV	Nano Cellulose Vehicle ナノ・セルロース・ヴィークル。次世代素材 CNF を活用し、軽量化による燃費向上を実証した環境省プロジェクトで試作された乗用車。2019 年 10 月東京モーターショーに出展。コラム 2：NCV プロジェクト参照。 参考： http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/
	NEDO	New Energy and Industrial Development Organization 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構。
P	PA6	Polyamide6 ナイロン 6。熱可塑性樹脂のひとつ。カプロラクタムを開環重縮合したポリアミド樹脂。
	PAN	Polyacrylonitrile アクリル繊維を使った炭素繊維は PAN 系炭素繊維と呼ばれる。
	PC	Polycarbonate ポリカーボネート。熱可塑性樹脂のひとつ。
	PE	Polyethylene ポリエチレン。熱可塑性樹脂のひとつ。
	PP	Polypropylene ポリプロピレン。代表的な熱可塑性樹脂であり、軽量で比較的強度を必要とするプラスチック製品に用いられている。
R	RTM	Resin Transfer Molding 樹脂注入成形法。

用語		定義と解説
T	TC	Technical Committee ISO の専門委員会。CNF は TC229（2005 年設置）ナノテクノロジー及び TC6 紙、板紙、パルプで審議されている。
	TEMPO 酸化	TEMPO Oxidation Process CNF 製造方法の一つ。表 1-2 参照。
W	WPC	Wood Plastic Composite 木材・プラスチック複合材。

第1章 セルロースナノファイバー（CNF）の概要

1.1 CNFとは

1.1.1 CNFの定義と種類

セルロースは、植物細胞の細胞壁や繊維の主成分であり地球上で最も多く存在する炭水化物（多糖類）であり、人類が摂取する食物繊維の多くもセルロースです。植物中でセルロースは繊維状に存在しており、セルロース繊維は古くから紙、綿として利用されています。

セルロース（分子）は、グルコースが直鎖状に結合⁴した天然高分子です。植物由来のセルロース分子鎖が束になったものはセルロースマイクロフィブリル（シングルナノファイバー）と呼ばれ、幅は3~4nmであり、結晶部、准結晶部、非晶部からなります。植物組織内では、セルロースマイクロフィブリルはさらに束になり、20~40 μ mのセルロース繊維として存在しています。セルロース繊維をナノスケールである幅100nm以下にほぐしたものは、ナノセルロースと呼ばれます。ISO⁵の定義において、CNF（セルロースナノファイバー）は、植物素材を機械的に解繊したもので、結晶部、准結晶部、非晶部からなるセルロースマイクロフィブリル（シングルナノファイバー）単独または、縦に引き裂かれたもの、もつれたもの、または網目状の構造を持つその集合体からなり、幅3-100nm・アスペクト比10以上・長さ100 μ mまでのものとしています。CNFを機械解繊する前に、しばしば、化学処理または酵素による前処理を経ることがあります。濃硫酸などで非晶部を加水分解させたものはCNC（セルロースナノクリスタル）と呼ばれ、CNFよりも短く、紡錘状（針状）となった物質です。その他、微生物が生成するバクテリアナノセルロースなどが存在します。

植物由来のCNFは、主に木材を原料としますが、木材のほかにも、竹、稲わら・麦わら・もみ殻、農業残渣（野菜くず、茶殻、みかん皮など）、草本類（ススキなど）、海藻といった原料からも生成することができます。

表1-1にナノセルロースの分類を示します。

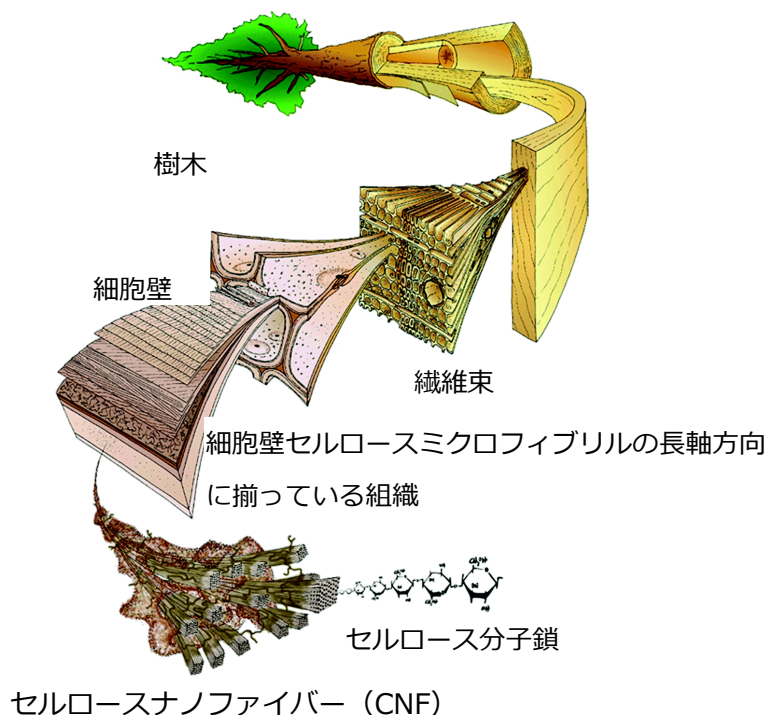
表 1-1 ナノセルロースの分類

種類	ナノセルロース			[参考ナノ物質]
	セルロースナノファイバー（CNF）	セルロースナノクリスタル（CNC）	バクテリアナノセルロース	カーボンナノチューブ（CNT）
幅	3-100nm	10-50nm	20-100nm	数~100nm
長さ	100 μ m未満	100-500nm	1.5-5.0 μ m	1~20mm
非結晶	あり	なし	あり	あり

（出典）公益財団法人ちゅうごく産業創造センター「中国地域におけるセルロースナノファイバー関連産業創出可能性調査報告書」（平成28年）をもとに、本調査において一部追記

⁴ セルロースは、 β -D-グルコースが α -1,4グリコシド結合（糖と別の糖、または、糖と糖以外の分子から脱水縮合して形成する共有結合）で直鎖状に結合している。

⁵ ISO_TS_20477_2017



(出典) M. Mitov in Soft Matter 2013, 13, 4176-4206, the original artwork by Mark Harrington, Copyright University of Canterbury, 1996 をもとに日本語を追加

図 1-1 樹木からセルロース分子鎖までの階層構造

1.1.2 CNF の製造方法

セルロース繊維をナノサイズまで細かく解きほぐす際、理想的にはマイクロフィブリル（セルロース分子が十～数十本束になったもの）を損傷なくそのまま取り出すことが望ましいです。しかし、マイクロフィブリルはヘミセルロースやリグニン等の他の細胞壁成分とともに複雑な多層構造を有する繊維壁を形成しているため、CNF を単離するためには、まずセルロースの精製処理（化学的または酵素的な前処理）を行い、その後、機械装置等を用いた解繊処理を行う必要があります。

表 1-2 に様々な解繊処理方法（CNF の製造方法）を示します。解繊処理には大きく分けて、機械的（物理的）処理（機械解繊処理）と化学的処理を伴うものの2種類があるため、それらに大きく分けて記述します。

なお、上記した機械的（物理的）処理と化学的処理のほか、酢酸菌等のバクテリアを用いて生物的にセルロースを合成する生物的合成手法があるため、参考までに併記します。

また、いくつかのCNF製造方法の詳細および各製造方法により得られるCNFの特徴については、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価報告書」においてまとめられていますので、そちらを活用ください。

表 1-2 CNF の主な製造方法（解繊処理方法）

製造方法		解繊・処理機構	繊維径	
変性パルプ直接混練法（京都プロセス）		パルプを未乾燥の状態で薬品処理し、CNFの表面をすべて樹脂と相溶する化学構造に変え、溶けた樹脂の中で混練するもの	3-100nm	
機械的処理 （物理的処理）	低濃度処理	高圧ホモジナイザー法	衝突力、圧力差、マイクロキャビテーションによる解繊	10nm-数 μm
		マイクロフルイダイザー法（対向噴流衝突法）	加圧した原料同士を高速衝突させ、衝突力、圧力差、マイクロキャビテーションにより解繊。加圧水を対向衝突させる水中カウンターコリジョン法（ACC）法と斜向衝突させるウォータージェット（WJ）法がある。	10nm-数 10nm
		グラインダー法	数%水溶液を砥石により解繊	10nm-数 10nm
		ボールミル粉砕法	金属ボール等との衝突により解繊	100nm-数 μm
		ビーズミル粉砕法	ガラス等との衝突により解繊	10nm-数 μm
		凍結粉砕法	凍結状態でボールミルを用いて解繊	10nm-数 10nm
	高濃度処理	2軸混練法	溶媒を用いず、植物繊維を直接樹脂中に混練することでせん断・分散を同時に進行	10-100nm
化学的処理		TEMPO 酸化法	TEMPO 酸化でカルボキシ基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		リン酸エステル化法	リン酸基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		亜リン酸エステル化法	亜リン酸基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		カルボキシメチル化法	カルボキシメチル基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		ザンデート化法	ザンデート基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		スルホン化法	スルホ基を導入し、分子鎖反発により高分散液を得るもの	3-5nm
		酵素加水分解法	物理的粉砕後、酵素を作用して解繊	—
		酸加水分解法	濃硫酸などで、セルロース結晶部をとりだす CNC の製造方法。	3-50nm
		イオン液体選択溶解法	イオン液体中にセルロース繊維を浸漬することにより解繊	—
（参考：生物的合成）		バクテリア等を用いた生物的合成法	バクテリア（酢酸菌等）により CNF を産生する	50-100nm

（出典）公益財団法人ちゅうごく産業創造センター「中国地域におけるセルロースナノファイバー関連産業創出可能性調査報告書」

（平成 28 年）をもとに、本調査において一部追記

1.1.3 CNF の特性

CNF は、軽量、高強度、高弾性率、低線膨張率といった特徴のほか、セルロースそのものの特徴である再生可能資源、生分解性、生体適合性、有機溶剤耐性などの特徴を有しています。

CNF をセルロース分子が束になったマイクロフィブリルと比較すると比表面積が約 1,000 倍になり、分子認識性や吸着性が著しく向上します。ナノサイズであることにより気体等の流体と接した場合の圧力損失が極めて小さいといった流体力学特性を有し、繊維径が可視光の波長よりも短いため光が乱反射しにくくなっています。また、高分子がー列に配列していることから電気的特性や力学的特性、熱的特性に優れています。更に、植物由来の CNF は、木材等の植物資源の約 50%を占めることから、ほぼ無尽蔵の持続型資源であると言えます⁶。表 1-3 に CNF の主な特性を整理したものを示します。

表 1-3 CNF の主な特性

区分	主な特性
機械特性	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量 ・高強度性 ・高弾性率 ・耐摩擦性／耐擦過性 ・弾性率安定性 (-200℃-200℃) ・表面平滑性 ・チキソトロピー性 (粘性変化)
化学／生物特性	<ul style="list-style-type: none"> ・吸着性、分子認識性 ・ガスバリア性 ・保水性 ・撥水性 ・透過性 (圧力損失が極めて小さいなどの流体力学特性) ・生分解性 ・低環境毒性 ・生体適合性
その他 (光学特性、熱特性、電気特性)	<ul style="list-style-type: none"> ・透明性 ・紫外線吸収性 ・寸法安定性 (低線膨張率性) ・高熱伝導性／電気絶縁性

注：CNF に含まれるリグニンの含有量によっても物質特性が異なる。

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) /みずほ情報総研「セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査 2019 年度成果報告書」をもとに、

本調査において一部追記

⁶ 2030 年の世界全体での CNF 需要予測に対し、国産木材による原料供給のみで十分に賅うことが出来るポテンシャルを有する。これを定量的に説明する。「セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査に関する調査報告書」によると、CNF の需要予測は 3.4 万トンとされる。これを木材 (針葉樹) の比重を 0.4g/cm³、CNF の原料となるセルロース含有量が木材の 40%とすると、木材 21 万 m³に相当する。一方、日本の人工林の年生長量を 7,000 万 m³、このうち伐採・搬出可能な量を半分と仮定すると、持続性を担保した国産材の生産量は最大で 3,500 万 m³になる。日本の木材需要をパルプ用として 620 万 m³、用材と合板用を需要量から 2,800 万 m³と仮定すると、合わせて 3420 万 m³となる。両者の差分が 80 万 m³であり、これを CNF 用途に使うとして、21 万 m³分は毎年 CNF に向けることが出来る。世界全体で CNF 製品の社会的ストックが増えるとその分の炭素貯蔵効果が期待できる。

CNFの用途の一つとして、複合樹脂への添加による樹脂材料強化が挙げられます。表1-4はCNFと他の繊維材料との比較を行ったものです。ガラス繊維は価格、製造までの温室効果ガス排出の観点で他の繊維材料より有利ですが、不燃性であり、サーマルリカバリーが困難であるなど、リサイクル性に課題があります。また、炭素繊維、アラミド繊維は表面平滑性に課題が残ります。一方、CNFは他の繊維材料に比べてリサイクル性が高く、表面平滑性が良好であるため、補強用繊維としての有用な可能性があります。

表 1-4 CNF と複合樹脂に用いられる他の繊維材料との比較

補強用繊維	CNF	炭素繊維 (PAN系)	アラミド繊維	ガラス繊維	(参考) 鉄
密度 (g/cm ³)	1.5	1.62	1.46	2.55	7.67
弾性率(GPa)	140	230	112	74	206
強度 (GPa)	3 (推定値)	3.5	3	3.4	0.4
線膨張率 (ppm/K)	0.1	0	-5	5	12.1
価格 (円/kg)	×~△ (現状)	3,000	5,000	200-300	100
リサイクル性	○	△ (難燃)	○	× (不燃)	△
表面平滑性	○	×	×	×	△
資源採取から素材製造までの温室効果ガス排出原単位 (kg-CO ₂ e/kg)	△~○ (CNFの種類に依存)	△	△	○	○

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発報告書」
2013年をもとに、本調査において追記

コラム 1 : CNF の材料特性等を整理する QFD (品質機能展開) の活用

CNF には多様な製造方法があり、製造方法によって異なる材料特性が発現するため、様々な材料特性を持つ複数種類の CNF があります。目的とする用途に対し、どの種類の CNF を使うことが適当なのかを検討する際のツールとして、QFD : (Quality Function Deployment : 品質機能展開) を応用することが有効と考えられます。この QFD の手法を応用することにより、CNF 研究者・専門家が暗黙的に把握している品質・機能・特性の連関を明示的に整理することが可能です。

ここでは QFD を応用した具体事例として自動車部材の要求品質と、変性パルプ直接混練法 (京都プロセス) の製法における CNF 材料特性、CNF 製法の関連の特定を行いました (図 1-2)。

この事例のように、他の種類の CNF 複合材・CNF 素材や他の最終製品においても同様に取り組むことが可能です。CNF ユーザーによる CNF 材料特性の理解や、CNF サプライヤーによる最終製品の要求事項の理解が進むことで、CNF サプライチェーン間でのマッチングがより効率的に実施できることが期待されます。

また、QFD に関する情報は本ガイドライン別冊 3-1「セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス排出量削減効果算定ガイドライン (CNF-LCA ガイドライン)」に詳細な記載がありますので、興味のある方は御覧ください。

CNF材料	アセチル化CNF強化ナイロン6
製法	変性パルプ直接混練法
適用先	自動車用 インテークマニホールド、エンジンカバー
比較対象	ガラス繊維強化ナイロン6

- ◎ : 比較対象よりも向上する
- : 要求を満たすことができる
- ※ : 条件により性能が異なる
- × : 比較対象よりも劣る

		材料特性																			
		樹脂・分散液特性							素材特性												
		力学特性		熱特性	化学特性		他			物理特性		化学特性		他							
弾性率	曲げ強度	比重	耐衝撃性	寸法安定性 (CTE・線膨張係数)	荷重たわみ温度 (HDT)	成形性 (MFR)	耐水性	難燃性	リサイクル耐性	発泡性	透明度	チキソ性	繊維サイズ (nm)	比表面積	粘度	疎水性/親水性	耐熱性	液体への分散性	樹脂への分散性	透明度	
																					共通
要求品質 (最終製品)	自動車 インテークマニホールド																				
	運転時に変形しない	○	○			○	○														
	高温でも変形しない	○	○			○	◎														
	軽量化できる			◎																	
	要求形状に成形できる					◎		○ ¹					○ ¹								
	衝撃に耐えることができる			○																	
	リサイクルできる									◎											
	自動車 エンジンカバー																				
	運転時に変形しない	○	○			○	○														
	高温でも変形しない	○	○			○	◎														
軽量化できる			◎								◎										
微細発砲できる											◎										
要求形状に成形できる					◎		○ ¹					○ ¹									
衝撃に耐えることができる			○																		
リサイクルできる									◎												
要素技術																					
CNF製法	蒸解																				
	叩解																				
	リファイナー																				
	多輪混練機	◎	◎										10-500								
	アセチル化 ²	◎	◎		◎	◎	◎	◎	○	◎	◎			◎		疎水	◎			◎	
ASA変性 ³																					

例えば、要求品質のひとつである「高温でも変形しない」については、材料特性として樹脂・分散液特性の「弾性率」、「曲げ強度」、「寸法安定性」、「荷重たわみ温度」と関連があり、すべての項目が要求品質を満たしており、特に「荷重たわみ温度」については比較対象 (従来品) よりも向上が見込まれること (◎) が示されています。

1. MFRの数値としては成形性が低下する方向になるが、チキソ性が付与されるため、混練においては問題ない。
 2. 未変性パルプとの比較によるスコア付けをしている。
 3. ASA変性はナイロン6との混練では一般的に使用しないためここでは除外。

図 1-2 変性パルプ直接混練法 (京都プロセス) の QFD (品質機能展開)

1.2 CNF 利活用に関する各省庁の取組⁷

CNF に関する国家戦略、関係省庁の連携、産官学の連携に関する主な動きは以下のとおりです。

- ・ 2014 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。
- ・ 2014 年 6 月 24 日：「日本再興戦略」改訂 2014-未来への挑戦-セルロースナノファイバー（超微細植物結晶繊維）の研究開発等によるマテリアル利用の促進に向けた取組を推進する。
- ・ 2014 年 8 月 1 日：ナノセルロースに関係する政策連携のため、農林水産省（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「ナノセルロース推進関係省庁連絡会議」を創設し、第 1 回会合、その後、定期的を開催している。
- ・ 2016 年 5 月 13 日：「地球温暖化対策計画」（中略）自動車部材等の軽量化が期待できるセルロースナノファイバー等の社会実装に向けた技術開発を進める。
- ・ 2018 年 4 月 17 日：「第五次環境基本計画」（中略）セルロースナノファイバーやバイオマスプラスチック等の次世代素材について、社会実装に向けて、用途開発の実施や搭載時の性能評価、複合・形成プロセスの低炭素化の実証、リサイクル時の課題解決策検討のための実証を進める。また、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。
- ・ 2019 年 6 月 11 日：「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（中略）非可食性バイオマス原料から各種プラスチック、セルロースナノファイバー製品等までを一気通貫で製造するプロセス技術を開発し、製造及び使用段階の省エネルギーを実現する。
- ・ 2020 年 4 月 1 日：「ナノセルロースジャパン (NCJ)」設立。2020 年 3 月末に発展的解消となった「ナノセルロースフォーラム」の後継として、ナノセルロースの実用化および産業規模の拡大を図るために設立。

（出典）環境省資料「国家戦略・関係省庁の連携・産官学の連携の動き」より抜粋
http://www.env.go.jp/earth/mat59_CNFcooperation.pdf

また、各省庁は分担して CNF の利活用に取り組んでいます。関係省庁と主な役割分担を表 1-5 に示します。本節では、各省庁の取組について記述します。

⁷ 本節で記載している CNF 情報については、下記ウェブサイトにおいて情報をとりまとめている。

環境省ウェブサイト：セルロースナノファイバー

<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf.html>

表 1-5 関係省庁と主な役割分担

	関係省庁	主な役割分担
上流 ↑	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	CNF に関する基礎研究
	経済産業省	CNF の製造（技術の研究開発等）
下流 ↓	環境省	地球温暖化対策に資する分野への具体的な展開

※国交省はオブザーバーとして参加

（出典）環境省資料「国家戦略・関係省庁の連携・産官学の連携の動き」より抜粋

http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf/Cooperations_for_CNF_practicalization.pdf

1.2.1 環境省における取組

環境省は下流にあたる「地球温暖化対策に資する分野への具体的な展開」について取り組んでおり、本事業を含め、下記に示す事業を実施しています（実施済含む）。

表 1-6 環境省が実施している事業（実施済を含む）

事業名	内容	実施年度
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（経済産業省・農林水産省連携事業）※本事業含む	社会実装にむけて、自動車、家電、住宅・建材等の各分野においてモデル事業を実施し、CO ₂ 削減効果の評価・検証、関連する課題の解決策について実証を行う。	2015～ 2020 年度
NCV（Nano Cellulose Vehicle）プロジェクト	CNF を用いた各種部品を搭載した軽量化自動車「Nano Cellulose Vehicle（NCV）」を開発するプロジェクト。 環境省「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」の一つとして実施。 CNF を活用し、16%の軽量化と 11%の燃費向上を実証。2019 年 10 月東京モーターショーに出展。 ※「コラム 2：NCV プロジェクト」参照 NCV プロジェクトウェブサイト http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/	2016～ 2019 年度
革新的な省 CO ₂ 実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業	窒化ガリウム（GaN）や CNF といった省 CO ₂ 性能の高い革新的な部材や素材を活用した製品の早期商用化に向けた支援を行う。 実際の製品への導入を図る事業者が商用規模生産のための設備投資等を行う事業に要する経費の一部を補助。	2020～ 2024 年度
脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業	15 件の実証事業のうち、京都プロセスなど CNF 関連が 3 件採択されている。	2019～ 2023 年度

1.2.2 経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における取組

経済産業省は「セルロースナノファイバーの製造（技術の研究開発等）」について取り組んでおり、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や産業技術総合研究所における取組も含めて、下記に示す事業を実施しています（実施済含む）。

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発（2013～2019年度）
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：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（2020～2024年度）
- ・近畿経済産業局：部素材産業－CNF（セルロースナノファイバー）実用化への取組み
- ・（国研）産業技術総合研究所(AIST)安全科学研究部門(RISS)：セルロースナノファイバー(CNF)の安全性評価手法及び評価事例に関する文書類
(<https://www.aist-riss.jp/assessment/45276/>)

1.2.3 その他省庁等の取組

（1）農林水産省

農林水産省は上流にあたる「農林業や食品産業からの国産セルロース原料の供給」について取り組んでおり、下記に示す事業を実施しています（実施済含む）。

- ・農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター：「知」の集積と活用による革新的技術創造促進事業(異分野融合発展研究)
- ・農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター：「知」の集積と活用による研究開発・モデル事業
- ・林野庁：木材の新たなマテリアル利用技術開発

（2）文部科学省

文部科学省は「セルロースナノファイバーに関する基礎研究」の役割を担っており、下記に示す事業を実施しています。

- ・科学技術振興機構（JST）：未来社会創造事業 探索加速型「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域

(3) その他

関係省庁以外の日本全体の事業・活動としては、下記に示すものが実施されています。

なお、地域におけるネットワーク等については「図 3-9 全国の地域コンソーシアム」を参照ください。

- ・京都市産業技術研究所：ナショナルプラットフォーム事業
<http://tc-kyoto.or.jp/about/organization/planning/cnf.html>
(「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧」についてもとりまとめている)
- ・ナノセルロースジャパン (NCJ) <https://www.nanocellulosejapan.com/>
ナノセルロースの実用化および産業規模の拡大を図る目的で設立した民間企業を主体とした組織。産官学連携による技術開発、会員企業間の協業推進、ナノセルロースの国際標準化活動を行っています。

また、上記以外にも、CNF に関連する研究課題はこれまでに、環境省「環境研究総合推進費」、科学技術振興機構「戦略的創造研究推進事業先端的低炭素化技術開発 (ALCA)」、科学技術振興機構「ムーンショット型研究開発事業」、日本学術振興会「科学研究費助成事業」、等で採択されています。

1.3 CNF の用途

1.3.1 用途の全体像

CNF の特性と期待される主な用途を表 1-7 に示します。

CNF の用途は主に水系用途と複合材料用途に分類されます。水系用途は化粧品、食品、医療品といった粘弾性の改良や分散材料としての用途のほか、フィルター、セパレーターといった分離材料、担持材料としての用途が期待されます。複合材料用途としては、ガスバリア性を活かしたバリアフィルム、バリアシートといった用途、透明性を活かした光学材料用途、耐熱性・寸法安定性を活かした電子材料用途、軽量・高強度の性質を活かした自動車内外装材、ゴム、建材、家電等における構造材料の用途が期待されています。

表 1-7 CNF の特性と期待される主な用途

区分	機能化指標	機能材料	用途
水系用途	粘弾性制御	増粘材料 分散材料	化粧品用、医薬品用、食品用増粘剤、創傷医被覆材、細胞培養基材など
	細孔制御	分離材料 担持材料	フィルター、セパレーター、特殊紙など
複合材料用途	ガスバリア性	包装材料	バリアフィルム、バリアシートなど
	透明性	光学材料	透明ディスプレイ、透明カラーフィルター、有機 EL 基板、太陽電池基板など
	耐熱性、寸法安定性	電子材料	半導体封止材、フレキシブルプリント基板、絶縁材料など
	軽量、高強度	構造材料	自動車内装材、自動車外装材、タイヤ強化材、建材、家電の筐体、ケーシングなど

(出典) 経済産業省「平成 25 年度委託調査（製紙産業の将来展望と課題に関する調査）報告書」

1.3.2 環境省が着目する分野用途

環境省では、CNF のなかでも高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、軽量化や高効率化等によるエネルギー消費の削減に繋がることから、地球温暖化対策への多大なる貢献を期待しています。これまでの調査により、自動車・家電・住宅建材の各分野において、CNF への展開の可能性がある用途を表 1-8 に示します。

表 1-8 自動車・家電・住宅建材分野のうち CNF 素材を活かせる可能性がある対象製品・部位

分野	対象製品・部位	主な代替 CNF 素材
自動車	メインボディ	CNF + PA6（6 ナイロン）、
	サイドドア	CNF + PP（ポリプロピレン）、
	バックドア	CNF + PC（ポリカーボネート）、
	サブフレーム	CNF + PE（ポリエチレン）、
	ボンネット	CNF + EP（エポキシ樹脂）
	ルーフ	※注 1
	インストルメントパネル	
	タイヤ	CNF + ゴム
	窓ガラス	CNF + PC
家電	エアコン（室外ファン）	CNF + PP、
	冷蔵庫（筐体（板金））	CNF + ABS
	洗濯機（洗濯槽・パルセータ）	
	テレビ・PC（ディスプレイ）	CNF シート
	照明（面発光 LED の拡散シート）	
	太陽電池（モジュール）	
	センサー（基板）	CNF フィルム
	蓄電池（電極に塗布するスラリーの増粘剤）	CNF ゲル
住宅 建材	窓枠	CNF + PVC（ポリ塩化ビニル）
	窓ガラス（ガラス断熱）	CNF + PC
	エアロゲル断熱材（超臨界乾燥由来）	CNF エアロゲル
	エアロゲル断熱材（常圧乾燥由来）	
	発泡断熱材（工場成形、現場施工）	CNF を発泡材に添加
	給湯配管断熱材	CNF を断熱材に添加

※注 1：NCV プロジェクトでは、ボンネットなどに CNF100%材が利用された（詳細は「コラム 2：NCV プロジェクト」参照）。

（出典）環境省「平成 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 報告書」をもとに、令和 2 年度調査において作成

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

2.1 CNFの普及状況と今後の市場見込み

2.1.1 CNFの普及状況

表 2-1 に CNF の実用化事例を示します。

2020 年時点において、水系用途（親水性）CNF の用途では、複数の用途が製品・実用化されています。一方で、プラスチックへの添加など CO₂ 削減効果の高いと考えられる複合材料用途（自動車、家電、住宅建材、等）においては、実用化に向けて実証等が進められている段階のものが多いです。

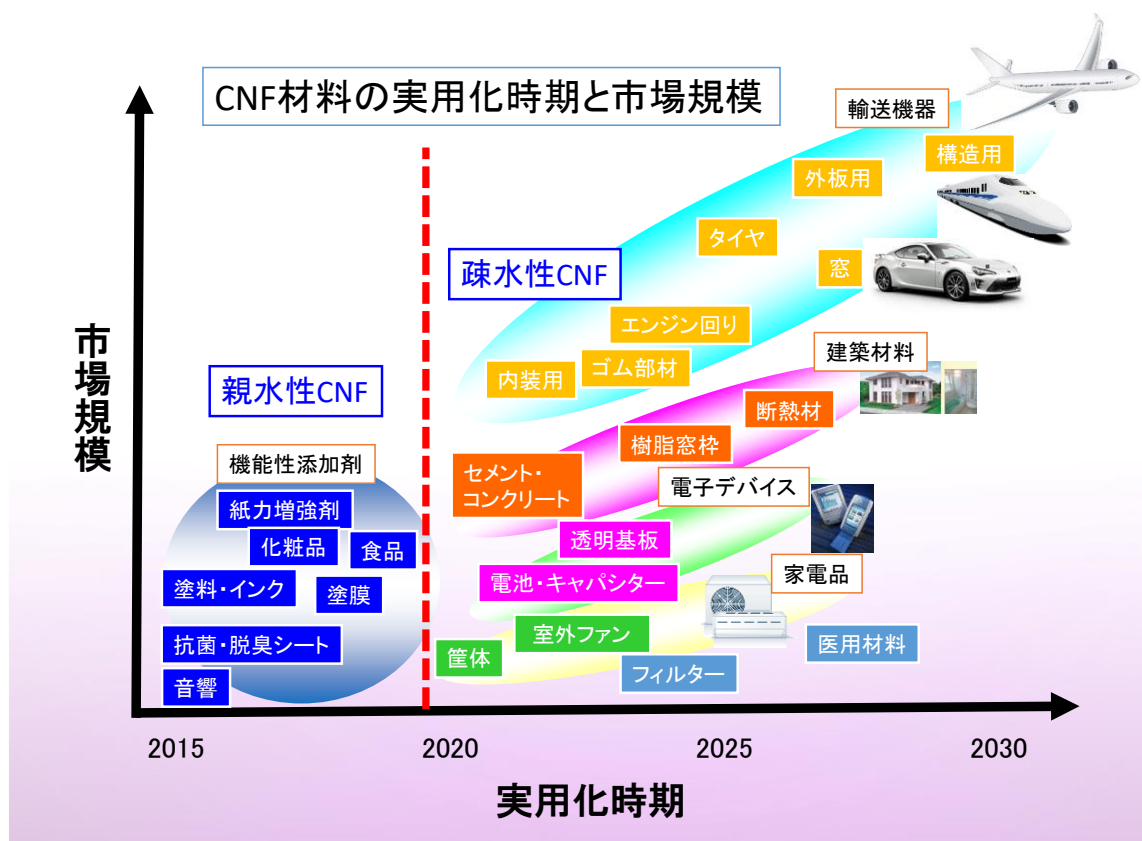
表 2-1 CNF の実用化事例

用途	商品
自動車	※NCV（「コラム2：NCVプロジェクト」参照）、本環境省事業（3.2「CNF 関連事業の概要」参照）等において、内装部品、外装部品などとして実証事業を実施。
航空機部材	—
ゴム製品（タイヤなど）	タイヤ 【操縦安定性向上】 住友ゴム工業(株) 
住宅・建設	漆喰壁材 ※本環境省事業（3.2「CNF 関連事業の概要」参照）等において、樹脂サッシ、断熱材料などとして実証事業を実施。
家電	掃除機の構造部品 【軽量化】 パナソニック(株) 
容器・包装材	飲料向け紙容器
嗜好品・スポーツ用品・工芸品	シューズの靴底 【クッション性、耐久性】 (株)アシックス 
	卓球ラケット用素材、スピーカー・ヘッドフォンの振動盤
塗料・コーティング剤	インキ（ボールペン） 【増粘剤】 三菱鉛筆(株) 
	塗料
医療・ヘルスケア・美容	マウスウォッシュ、化粧品
膜・フィルター	—

用途	商品	
電子デバイス・エネルギーデバイス	ソルダペーストの添加剤（はんだ付け材料）	
食品	どら焼き 【食品用増粘剤】 (株) 田子の月 	さくらもち 【食品用増粘剤】 (有) 坂根屋 
紙類	トイレクリーナー 【表面強度向】 大王製紙(株) 	
	芯なしトイレトーパー、紙おむつ	
その他	接着剤、京焼・清水焼	

(出典) 各社ホームページ、CNF 提供元ホームページ等をもとに作成

また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）/京都大学「平成 30 年度 CNF 補強樹脂複合体と直接的に競合すると考えられる繊維補強樹脂材料に関する国際的動向調査業務報告書」では、CNF 適用先として有望と考えられる用途として、プリント基板、ロボットアーム、医用材料、風力発電ブレード・ナセル、コンクリート補強筋、下水パイプ、ボートが挙げられており、今後技術開発が進み実用化が期待されています。



(出典) 京都大学矢野教授提供資料

図 2-1 CNF の実用化段階別用途 (例)

2.1.2 CNF の今後の市場見込み

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）報告書では、経済産業省は、2030 年の CNF 関連材料の市場創造目標として、国内全体で年間 1 兆円を掲げています⁸。

また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）/京都大学「平成 30 年度 CNF 補強樹脂複合体と直接的に競合すると考えられる繊維補強樹脂材料に関する国際的動向調査 報告書」によると、CNF 複合樹脂の主要な導入先となる繊維複合材料の世界市場は、輸送（自動車）、建設、電気・電子、パイプ・タンク、消費財、風力、航空・宇宙、マリン・その他といった用途を想定しており、総額は 2016 年時点で 8.6 兆円と見積もっています。これらの市場に CNF 複合樹脂が導入されると推定すると、世界市場において、CNF 複合樹脂で数兆円規模の市場が見込まれることとなります。なお、ここでは複合材樹脂以外の用途（水系用途 CNF）を含んでいないことに留意が必要です。

表 2-2 繊維強化複合材料市場（億円、2016 年）

用途	ガラス繊維成形品	炭素繊維成形品	合計
輸送	17,881	948	18,829
建設	10,882	1,746	12,628
電気/電子	12,459	169	12,628
パイプ/タンク	8,647	373	9,020
消費財	5,994	1,149	7,143
風力	5,390	1,826	7,216
航空・宇宙	382	5,030	5,412
マリンその他	12,511	1,019	13,530
合計	74,145	12,260	86,406

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）/京都大学「平成 30 年度 CNF 補強樹脂複合体と直接的に競合すると考えられる繊維補強樹脂材料に関する国際的動向調査 報告書」をもとに作成

⁸ 用途としては、自動車部材、情報電子材料、包装材料、建築材料、食品用増粘剤、高性能フィルターなどを想定。

2.1.3 海外動向

世界各国においても、CNF の利用促進に向けた政策が推進されています。以下に、米国、カナダ、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、欧州連合、韓国の CNF 関連の政策動向を紹介します。

(1) 米国

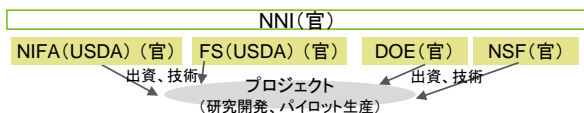
米国は、国家ナノテクノロジーイニシアティブ（ NNI : National Nanotechnology Initiative）がナノテクノロジー開発に関する方針を取りまとめています。そのうち、アメリカ農務省（ USDA : United States department of Agriculture）と NNI が主催したワークショップにおいて、乾燥・脱水、相溶化といった技術力向上が、商用化に向けた課題として挙げられています

2021 年には、ナノセルロースを含むナノテクノロジーの普及促進に向けた共通目標を掲げる「2016NNI Strategic Plan」の再構築の検討に向けて、5 つのテーマの下、省庁間の協力チームが組成されました。出口候補には医薬品、建築、自動車産業等、様々な分野が検討されています。

米国におけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- ナノテクノロジー全般に関するNNI(National Nanotechnology Initiative, 国家ナノテクノロジーイニシアティブ)を推進する小委員会に20の連邦機関が加盟している。
- そのうち、USDA(United States Department of Agriculture、農務省)の下部機関であるNIFA(The National Institute of Food and Agriculture、食糧農業研究所)とFS(Forest Service、森林局)、DOE(U.S. Department of Energy、エネルギー省)、NSF(National Science Foundation、米国立科学財団)がナノセルロースに関連する具体的なPJへの支援を実施している。



<商用化に向けた課題>

- 2019年5月、APPTI(the Alliance for Pulp and Paper Technology and Innovation, 紙パルプ技術革新のための同盟)は、USDA/FS等と協力し、ナノセルロースワークショップ「ナノセルロースの商用化の促進: 重大な課題」を開催した。ワークショップでは、以下の2つが重要課題として議論された。
 - 乾燥と脱水(drying/dewatering)
 - 相溶化(compatibilization)

米国におけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

- 2021年には、ナノセルロースを含むナノテクノロジーの普及推進にける共通目標を掲げた「2016NNI戦略計画」に新たな考慮事項を追加したNNI戦略計画の再構築が検討されており、以下の各テーマについて焦点を当てた5つの省庁間協力チームが結成された。
 - 世界クラスの研究
 - 商業化
 - 研究インフラストラクチャ
 - 教育・労働力の開発
 - 責任ある開発

<予算>

- USDA/FSのR&D部門予算は、2020年:254.5百万ドル、2021年:249.3百万ドル(要求額)で、ほぼ横ばい状態である。

<出口候補>

- USDA/FSとNNIが主催したワークショップ(2014.8実施)では、出口候補として以下が挙げられた。



(出典) NNI ウェブサイト、FS ウェブサイト、Advancing Commercialization of Nanocellulose:

Critical Challenges Workshop Report

図 2-2 米国における CNF 関連政策動向

表 2-3 米国における取組状況

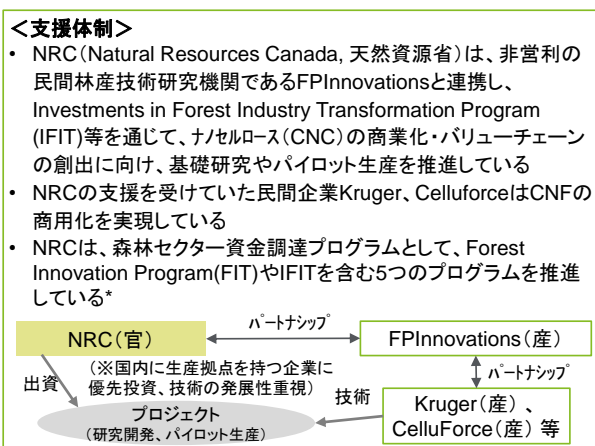
機関	方針	取組状況	期間
U.S. Department of Energy (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎研究とナノ物質、研究設備を重点的に支援する ・2021年のナノテクノロジー全般への予算要求額は352.8百万ドル 	<ul style="list-style-type: none"> ・2014年から商業化に向けた支援を行っている ・事業期間に2020年以降を含むナノセルロース関連の事業は1件 <ul style="list-style-type: none"> ➢ プロジェクト「Electro-dewatering of Cellulosic Nanomaterials」 ・参画主体：Faraday Technology ・期間：2019～2021年 ・概要：セルロースナノマテリアルの利用促進に向け、重要なコスト要因である脱水・乾燥技術について、電気化学工学を利用することで、ナノセルロースの特性を維持しながら、効率的かつ高い費用対効果で実現する方法を設計、調査、検証する。 	2014年～
National Science Foundation (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> ・上流の研究や教育を支援し、産業界とも連携しつつ技術革新を支援する ・2021年のナノテクノロジー全般への予算要求額は453.5百万ドル 	<ul style="list-style-type: none"> ・2013年開始のI-Corpsプログラムにてパイロット研究の支援が行われており、2014、2016年にナノセルロースプロジェクトも支援を受けている ・2010年開始の石油製品からの転換等持続可能な化学物質を開発するプログラムにて2014、2015年にナノセルロース開発を取り上げている ・事業期間に2020年以降を含むナノセルロース関連の事業は8件 	2007年～
The National Institute of Food and Agriculture (NIFA)	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎研究とナノ物質、ナノデバイス、環境・健康・安全を重点的に支援する ・2021年のナノテクノロジー全般への予算要求額は19.0百万ドル 	<ul style="list-style-type: none"> ・2007年よりナノセルロース関連研究（主に基礎から応用）への支援を行っており、USDA傘下で最も多くのプロジェクトを支援している ・2017年には最大百万ドル/件、総計9.6百万ドルを持続可能なバイオ素材開発に支援する公募を行っており、リグノ・ナノセルロース開発を優先課題としている ・事業期間に2020年以降を含むナノセルロース関連の事業は30件 	2007年～
Forest Service (FS)	<ul style="list-style-type: none"> ・特に木材由来のナノ物質に焦点を当てて、CNCやCNNの量産、特性、改質手法、複合手法等の研究を支援する ・2021年のナノテクノロジー全般への予算要求額は3.3百万ドル 	<ul style="list-style-type: none"> ・傘下のFPL（Forest Products Laboratory, 森林製品研究所）にて2010年よりナノセルロースに関する基礎研究を行っている ・FPLは2012年には研究者が活用可能なパイロットプラントを設立し、商業化を目指す研究者や企業の研究を支援している ・事業期間に2020年以降を含むナノセルロース関連の事業は1件 	2007年～

(出典) NNI ウェブサイト、NSF ウェブサイト、DOE ウェブサイト、NIFA ウェブサイト、FS ウェブサイト

(2) カナダ

カナダは政府組織である天然資源省（NRC : Natural Resources Canada）と、民間の研究機関 FP Innovations が連携し、5つのプログラムを通じて、研究開発を支援しています。特にNRCは、グローバルCNCリーダーを目指す方針のもと、一部ではCNC/CNFの商用化を実現しています。商用化促進に向け生産コスト低減、使用用途拡大等の課題を念頭に置いて、自動車、航空機、食品、医薬品、パッケージ、航空、エレクトロニクス、製紙、エネルギーと幅広い用途への展開を検討しています。

カナダにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)



<商用化に向けた課題>

- Nanocellulose Summit 2016 in TOKYOに参加したカナダ代表ギレス氏は、商用化に向けた課題として以下を挙げた
 - ナノセルロース(CNC)のクオリティ向上
 - 生産コスト低減
 - マーケットニース創出による、民間部門の生産設備投資促進
 - 使用用途拡大に向けた、新しい事業パートナーの発掘

* 2021年1月時点、IFIT、Indigenous Forestry Initiative以外は公募終了

カナダにおけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針・政策目標>

- NRC(天然資源省)は、Forest Innovation Program(FIP)の一環としてナノセルロースの開発・普及をとして進めている。尚、FIPの推進目標は以下の通りである
 - 林産業において、高付加価値製品及びプロセスを創出する
 - 上記を通じて、ナノセルロースのようなテクノロジー領域でカナダがグローバルリーダーになれるよう支援を行う
- 2017年、カナダ政府は針葉樹材木行動計画から3年間(2017年から2020年)にわたって6,300万CADでFIPを拡大
- NRCは、ナノセルロース(CNC)のグローバル普及に向け、国内規格の標準化をサポートする一方、カナダ国立研究機関等を通じてISOにカナダの意見を伝える

<予算>

- NRCのR&Dの実施、支援、促進を含む「科学とイノベーション」の予算は、2020年:1,077百万CAD、2021年:1,050百万CAD、2022年:1,034百万CADと微減傾向にある。

<出口候補>

- NRCの支援プロジェクトにて、以下の用途で商用化



(出典) NRC ウェブサイト、FPInnovations ウェブサイト、Canadian Council of Forest Ministers, 「Forest Sector Innovation in Canada 2015」、ナノセルロースフォーラム事務局、 「Nanocellulose Summit 2016 in TOKYO 資料集」

図 2-3 カナダにおける CNF 関連政策動向

表 2-4 カナダにおける取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
Natural Resources Canada (NRC)	Forest Innovation Program (FIP)	<ul style="list-style-type: none"> ・カナダ森林産業における、商業化前の連携を支援することを目的とする ・商業化を促進するための、国内外の基準の整備も支援対象とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・Transformative Technologies Program(TTP)として始まり、Canadian Wood Fiber Center (CWFC) などのイニシアチブを含むように成長してきた ・現在、TTP は FIP の一部であり、カナダの非営利森林研究所である FPIinnovations が研究を行う ・CWFC は、FPIinnovations やその他の主要な利害関係者と協力して、連邦政府の研究と展開の専門知識を、特定されたイノベーション指向の森林セクターのニーズに合わせることで、カナダ森林局の可視性を強化している ・TTP と中小企業向けの支援プログラム Value to Wood Program を連携させ、NCC 開発を支援している 	2012年～
	Investments in Forest Industry Transformation Program (IFIT)	<ul style="list-style-type: none"> ・森林産業における新技術開発への支援を行う ・2010 年から 43 件を支援してきた ・2020 年に更新された予算は 8,290 万カナダドル (3 か年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオエネルギー、生体材料、生化学物質、次世代建築製品などの高価値のバイオ製品を通して、林産物市場の多様化を支援している ・2013 年には、FPIinnovations と連携し、商業プラントへの支援を実施、商品化につなげる ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 1 件 <ul style="list-style-type: none"> ➢ プロジェクト「Construction of a cellulose filament plant and optimization of the paper mill」 ・参画主体：Resolute Forest Products ・期間：2020～2021 年 ・概要：セルロースフィラメントの製造に特化した、1 日あたり最大 21 トンの生産能力を有する商業プラントを建設。将来的に最大生産能力での稼働を実現する際には、23 の新たな雇用創出が可能と見込んでいる。 	2010年～

(出典) NRC ウェブサイト

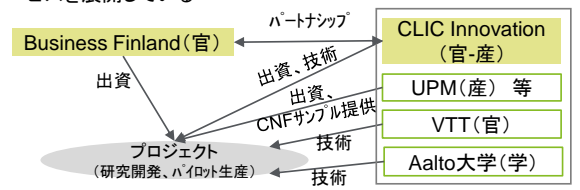
(3) フィンランド

フィンランドは、労働経産省傘下の Business Finland や研究機関の CLIC Innovation、民間の製紙会社である UPM、フィンランド国立技術研究センター（VTT）が取組を進めており、商用化・量産化に向けて乾燥・脱水等の製造工程技術力の向上が、課題として認識されています。Business Finland は科学技術への戦略的な投資にあたり、経済成長、持続可能性、競争力に焦点を当て、ナノセルロース開発を支援しており、R&D 部門の予算は 2019 年から 2020 年にかけて増加傾向にあります。出口候補として、エレクトロニクス、製紙、パッケージ、医薬品・ヘルスケア・バイオ、建設等多様な産業での適用を検討しています。

フィンランドにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- 労働経産省傘下の Business Finland は、イノベーションの資金調達と貿易、旅行、投資促進のための公的機関であり、研究機関、企業、大学によるセルロースナノテク研究開発を支援している(2018年、Tekes(技術庁)と政府所有企業を統合し、設立)
- CLIC Innovation (旧FIBIC) は、バイオ、エネルギー分野を中心にセルロースナノテク製品、製造プロセスを研究する機関である
- UPMI は、フィンランドのグローバル大手製紙会社で、GrowDex® という細胞培養用のナノセルロース製品を商品化している
- VTT(フィンランド国立技術研究センター)は、CNFの製造方法、用途開発、安全性に関する研究を行っており、設備の利用サービスを展開している



<商用化に向けた課題>

- VTT(フィンランド国立技術研究センター)は、ナノセルロース素材の商用化に向けた課題として、下記を指摘している
 - 乾燥脱水等、量産に向けた製造工程技術力の向上

フィンランドにおけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

- Business Finland は、2025年に向けた戦略として、科学技術への投資を行うにあたり、経済成長、持続可能性、競争力に焦点を当てている
- CLIC Innovation は、ナノセルロースを含む科学技術への支援において、生物経済、循環経済、エネルギーシステムを中心とした革新的なソリューション創出をミッションとしている

<予算>

- Business Finland のR&D部門予算は、2020年:477.5百万EUR(前年比26.3百万EUR増)

<出口候補>

- VTT(フィンランド国立技術研究センター)は商業化実現性の高い分野として、エレクトロニクス産業、製紙産業、食品・化粧品産業等を挙げており、医薬品・ヘルスケア・バイオにおいては具体的なプロジェクトの支援も行っている



- ナノセルロース製品を商用化しているUPMIは上記に加え、最近バイオメディカル分野への適用にも力を入れている

(出典) Business Finland ウェブサイト、CLIC Innovation ウェブサイト、UPM ウェブサイト、VTT ウェブサイト、

Aalto 大学ウェブサイト、日本政策投資銀行、「新素材として注目されるセルロースナノファイバー (2016.3.17)」

図 2-4 フィンランドにおける CNF 関連政策動向

表 2-5 フィンランドにおける取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
Business Finland	Bio& Circular Finland	<ul style="list-style-type: none"> ・フィンランドのソリューションが国際市場で採用されるために、バイオおよび循環経済ソリューション（特にプラスチックおよび包装産業）の輸出を増やすことを目指す ・循環経済のさまざまな分野での新しいイノベーション、特に繊維や建設の新しいアプリケーションを支援する ・予算は、4 年間で 300 百万ユーロ（内 150 百万ユーロは、Business Finland のイノベーション資金）となっている 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 2 件 ➤ プロジェクト「Nanocellulose as reinforcement for biobased and biodegradable materials」 ・参画主体：FineCell Sweden ・期間：2019～2020 年 ・概要：ナノセルロースとバイオプラスチックに基づく軽量バイオコンポジットを製造するための技術的・経済的に実行可能なソリューション開発を実施。 	2019 ～ 2022 年
Business Finland	BioNets	<ul style="list-style-type: none"> ・フィンランドのバイオ経済と循環経済に新たなメリットをもたらすことを目的とする ・革新的で国際的なビジネスエコシステムや R&D とビジネスをつなぐプラットフォームづくり、またパイロット設備・デモ設備への支援を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 2 件 	2016 ～ 2018 年

(出典) Business Finland ウェブサイト

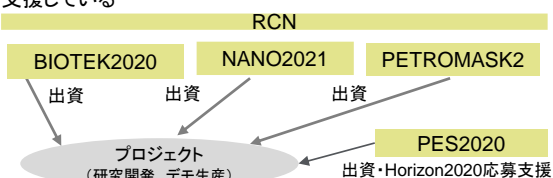
(4) ノルウェー

ノルウェーは、研究開発を金融的に支援する政府組織ノルウェー・リサーチ・カウンシル (RCN, The Research Council of Norway) が中心となり支援を行っています。イノベーションの基礎となる持続可能なソリューションを開発し、資源の持続可能な利用といった社会課題に対応することを目的とし、ナノテクノロジーや新素材の育成に取り組んでいます。RCN は医薬品、建築、パッケージ材料のほか、石油業界等をターゲットとし、各プログラムを展開しています。

ノルウェーにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- RCN(The Research Council of Norway, ノルウェー・リサーチ・カウンシル)はナノテクノロジーを含む科学技術等の研究開発を金融的に支援する政府組織である
- ナノテクノロジー全般に関連するプログラムNANO2021のみでなく、その他のプログラムにおいてもナノセルロース関連技術を支援している



<商用化に向けた課題>

- 北欧におけるナノテクノロジーの成長について考察したOECDレポート(2014.3発行)では、ノルウェー、フィンランド、スウェーデンが持つCNF商用化の共通課題として下記を指摘している
 - 生産スケールアップに適用する技術力向上
 - 商用化の潜在性より、実現性重視の適用分野模索
 - 川上から川下まで一連のバリューチェーン創出と、それに参加する企業の確保
 - 根本的な革新に向けた研究開発資金の確保

ノルウェーにおけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

- RCN(ノルウェー・リサーチ・カウンシル)は自国におけるナノテクノロジー、新素材育成の主な目的として以下を表明している
 1. イノベーションの基盤となる、持続発展可能なテクノロジーソリューションを開発する
 2. 環境調和型エネルギー開発、資源の持続可能な利用等、社会的課題へ対応する
- RCNは基礎研究を支援するとともに、商業化に近い大規模プロジェクトを支援するプログラム群(Large scale research programme)も展開している

<予算>

- RCNによるNANO2021の2020年の予算は134百万NOKであった

<出口候補>

- RCNは医薬品・ヘルスケア・バイオ、建築、石油、パッケージへの適用をめざし、具体的なプロジェクトの支援を行っている



医薬品産業



建築



パッケージ材料



エネルギー産業(石油回収剤)

(出典) RCN ウェブサイト、OECD, 「Impact of nanotechnology on green and sustainable growth: Micro- and nanofibrillated cellulose (2014.3.13)」

図 2-5 ノルウェーにおける CNF 関連政策動向

表 2-6 ノルウェーにおける取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
The Research Council of Norway (RCN)	Large-scale Programme for Bioteknologi for verdiskaping (BIOTEK2021)	<ul style="list-style-type: none"> ・環境影響を低減させ、既存油田からの回収率向上、新たな油田の開発、より費用対効果が良い採掘技術に関する、基礎・応用研究を支援する ・初年度 2013 年の予算は 239 百万ノルウェー・クローネ 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は実施なし 	2013 ～ 2022 年
	Large-scale Programme for Bioteknologi for verdiskaping (BIOTEK2021)	<ul style="list-style-type: none"> ・農業、海洋、産業、ヘルスセクターにおける研究成果をバリューチェーンの創出につなげることを目的とし、大規模で商業化における課題がより明確になった案件の支援を重点的に行う ・初年度 2012 年の予算は 145 百万ノルウェー・クローネ ・2021 年までの予定であったが、期限が延長され、特定の終了年なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 3 件 	2012 ～ 2021 年
	Large-scale Programme for Nanotechnology and Advanced Materials (NANO2021)	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎研究を行うこと、革新的な応用技術を開発し産業レベルでの問題解決の基礎を構築することを目指す ・10 年間の総額予算は 923 百万ノルウェー・クローネ ・エネルギー、気候変動、医療、天然資源、健康分野を優先分野とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 5 件 ➢ プロジェクト「3D Bioprinting of biomimetic pancreas with tunicate nanocellulose and human pancreatic islets」 ・参画主体：CELLHEAL AS ・期間：2019～2021 年 ・概要：糖尿病等の治療への活用を目的に、ナノセルロースをベースとしたバイオインクを用いて、移植可能なバイオミメティック膵臓デバイスをバイオ加工する 3D バイオプリンティング手法の研究・開発を実施 	2012 ～ 2021 年
	Project Establishment Support directed towards H2020 (PES2020)	<ul style="list-style-type: none"> ・ノルウェーからの Horizon2020 応募者を支援することが目的 ・Horizon2020 は競争の激しいプログラムであり、応募や獲得に当たってはノウハウと時間が必要となるため、その応募準備を支援する 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 1 件 	2014 ～ 2020 年

(出典) RCN ウェブサイト

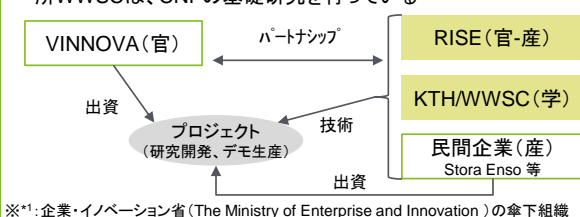
(5) スウェーデン

スウェーデンは、OECD レポートにて指摘のあった製造プロセス向上という課題がある中、政府組織 VINNOVA、国営研究機関 RISE、スウェーデン王立工科大学内部のヴァレンベリ木材科学センター（WWSC : Wallenberg Wood Science Center）が協力し、課題解決に臨んでいます。VINNOVA は持続可能な成長の牽引策として CNF を推進しており、スウェーデンの各研究機関はロードマップを作成し、普及に向けた取組を進めています。また、RISE ではパイロットプラントの建設による、ナノセルロースの大規模生産等の実証を行っています。ターゲット分野としてパッケージ、自動車、建設、情報通信産業等が想定されています。

スウェーデンにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- VINNOVA*1は科学技術を含む革新的な研究開発プロジェクトに金銭的支援を行う政府組織で、ナノセルロース関連研究開発にも出資している
- RISEは、傘下に複数の専門分野の研究所を持つ国営研究機関であり、パイロットプラントの建設によるナノセルロースの大規模生産や様々な製紙工場との製造実証をおこなっている
- KTH(スウェーデン王立工科大学)及びKTH内部の木材科学研究所WWSCは、CNFの基礎研究を行っている



<商用化に向けた課題>

- 前頁のノルウェー記載内容と同様
- InnventiaはCNF商用化に向け下記課題解決にフォーカスしている
 - 特性の評価方法 (Characterization Method) 開発
 - CNFの特性をコントロール・調整できる製造プロセス開発

スウェーデンにおけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

- VINNOVAは政府としてナノテクノロジーを含む革新的な研究開発プロジェクトに投資を行うにあたり、下記のミッションを掲げている
 - イノベーションを実現するための社会環境を構築するとともに、社会的ニーズに対応した研究を支援することで、持続可能な成長を図る

<予算>

- VINNOVAのプロジェクト総予算は2019年31.4億SEK(2021年現在、2020年以降の予算は未確認)

<ロードマップ>

- RISEは「Roadmap to 2015 to 2025 Materials from Nanocellulose」を策定し、ナノセルロースの普及に向けて目標を立てている
 - By 2018: 国内共通のテクノロジープラットフォーム確立
 - By 2020: 企業との密接な連携で効率的な製造プロセス実証
 - By 2025: ナノセルロースベースの高性能素材及び「ロダ」外生産

<出口候補>

- 上記ロードマップでCNFの活用分野は以下を言及している



(出典) RISE ウェブサイト、「Roadmap to 2015 to 2025 Materials from Nanocellulose」、Innventia ウェブサイト、VINNOVA ウェブサイト、KTH ウェブサイト

図 2-6 スウェーデンにおける CNF 関連政策動向

表 2-7 スウェーデンにおける取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
VINNOVA	-	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な社会的課題に対する新しいソリューションの開発を目的とし、リスクが大きく、プロジェクトが一般的に政府の援助なしでは軌道に乗らないイノベーションプロセスの初期段階で資金を提供する ・戦略的イニシアチブを調整し、民間部門と公共部門の両方で社会の多くの分野をカバーする 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 14 件 ➤ プロジェクト「BioCell-filament」 ・参画主体：InFold AB ・期間：2020～2021 年 ・概要：炭素繊維からパルプ由来のナノセルロースへの置き換えを目的に、出口を 3D プリンターフィラメントの炭素繊維の代替品と定め、研究・開発、実証を実施 	-
RISE	The Bioeconomy Research Programme	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノセルロース分野を含む 10 のプログラムエリアからなる ・ナノセルロース分野において、RISE は 7 社とのコンソーシアムとプロジェクトを管理しており、総予算は、現物出資を含む約 1,900 万スウェーデン・クローナとなっている 	(個別プロジェクトの詳細情報は非公開)	2021～2024 年
RISE	The Bioeconomy Programme 2018-2020	<ul style="list-style-type: none"> ・「パルプ化プロセス」・「回収サイクルと水管理」・「ナノセルロース」の 3 つのコンソーシアムからなる「パルプとセルロース」等、複数のコンソーシアムをカバーする 5 つのプログラムエリアからなる 	(個別プロジェクトの詳細情報は非公開)	2018～2020 年

(出典) VINNOVA ウェブサイト、RISE ウェブサイト

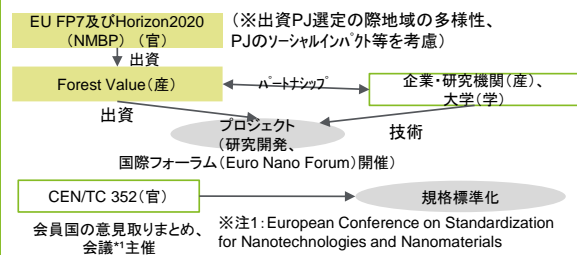
(6) 欧州連合

欧州連合は、欧州全体の研究開発プログラム Horizon2020（2014年～2020年）・HorizonEurope（2021年～2027年）や、森林分野における既存の研究コンソーシアムを基盤として、欧州委員会により設立されたコンソーシアム Forest Value を通じ、欧州のグローバル競争力強化の方針の一環として、ナノセルロース開発研究への投資・規格標準化に取り組んでいます。ターゲット用途としては、自動車、エレクトロニクス、パッケージ、航空、建築、医薬品・ヘルスケア・バイオ等が想定されています。

欧州連合におけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- Forest Valueは、森林関連の3つのERA-NET(WoodWisdom - Net、SUMFOREST、FORESTERRA)を基盤として成立し、ナノセルロースコンポジットの製造プロセス研究等、国を超えた様々な森林研究の共同プロジェクトに総額約8,600万EUR投資している
- ECはFP7の継続版としてHORIZON 2020を実施し、ナノセルロースを含む最先端技術開発研究を支援している
- CEN(欧州標準化委員会)はナノテクノロジーに特化した技術委員会TC 352を設置し、規格策定・標準化に取り組んでいる



<商用化に向けた課題>

- NMBPのワーキングパッケージはナノ材料の課題として以下に言及
 - 量産化と材料・エネルギーの効率向上による、コスト競争力強化(Circular Economyへの貢献)

欧州連合におけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

- ECは、2050年時点でEU全体のGHG排出量実質ゼロを目指す「欧州グリーンディール」に向け設置された技術開発プログラム「Horizon2020」(2014-2020)の後継として「Horizon Europe」(2021-2027)を執行。
 - 前半4年間の戦略的計画では、「バイオエコノミー、資源」もターゲットの1つに定められており、気候変動対策や循環経済への移行において果たすべき主要な役割として、バイオベースのイノベーションを推進する。

<予算>

- Horizon Europeの資金総額は1,000億EUR(予定)であり、そのうち35%以上を気候変動対策に拠出予定

<出口候補>

- EUでは、自動車、エレクトロニクス、パッケージ、航空、建築、医薬品・ヘルスケア・バイオへの適用をめざし、具体的なプロジェクトの支援を行っている



(出典) Forest Value ウェブサイト、CEN ウェブサイト、WoodWisdom-Net ウェブサイト、EC ウェブサイト、European Commission, 「Horizon 2020 - Work Programme 2016-2017 : Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing」

図 2-7 欧州連合における CNF 関連政策動向

表 2-8 EU における取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
EU	Horizon Europe	<ul style="list-style-type: none"> ・Horizon 2020 の後継であり、EU の産業競争力の強化を目的とした 3 本柱 (Pillar) を設定 ・7 年間の資金総額は 1,000 億ユーロ (予定) であり、Open Innovation の取組を強化予定 	<ul style="list-style-type: none"> ・詳細な計画や採択等は検討中であり、2021 年 1 月に最終化される予定 	2021 ～ 2027 年
	Horizon 2020	<ul style="list-style-type: none"> ・FP7 の後継であり、農業、エネルギー、交通等包括的な開発支援プログラムであり、総予算は 77,028 百万ユーロである ・産業界と連携し社会課題の解決策を模索すること、イノベーションの障害を取り除き社会普及の促進を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 11 件 ➢ プロジェクト「Sustainable, Wireless, Autonomous Nanocellulose-based Quantitative DoA Biosensing Platform」 ・参画主体： ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE ASSOCIACION ・期間：2018～2021 年 ・概要：プリントドエレクトロニクスの基板、最終デバイスのカプセル化用のラミネートフィルム、および機能性インクの配合における活性剤としてナノセルロースを使用する研究・開発を実施 	2021 ～ 2027 年
Forest Value	Joint Call 2021 (JC 2021)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動に左右されない循環型経済と持続可能な社会の実現に向けて、社会の利益のために森林と森林資源の最善の利用を促進するための知識を生み出すプロジェクトを支援する 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトの開始時期は、2021 年後半から 2022 年前半を予定 	2021 ～
	Joint Call 2017 (JC 2017)	<ul style="list-style-type: none"> ・ForestValue ERA-NET Cofund に、参加する国や地域の研究プログラムと EU から資金提供を受けて、林業分野における研究・開発・イノベーションのための提案を募集する最初の国際的な公募 ・2017 年から公募、支援をしており、JC 2017 では 17 件採択されている 	<ul style="list-style-type: none"> ・国際的な専門家のパネルによるピアレビューとランキングの後、募集運営委員会は、EU の共同資金を含む利用可能な国内/地域の資金の範囲内で、17 の研究コンソーシアムを資金提供のために採択した。 ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 2 件 	2017 ～ 2020 年

(出典)： EC ウェブサイト、Forest Value ウェブサイト、WoodWisdomNet ウェブサイト

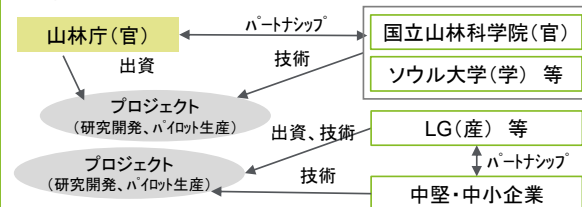
(7) 韓国

韓国は、山林庁傘下の研究機関、国立山林科学院を中心に、官学の連携のもとナノセルロース開発が進められています。産業界でも複数の企業が商用化に向け推進をしています。2020年には、ナノセルロース産業課戦略フォーラムが創設され、産官学連携の下、研究開発事業が進められています。商用化に向けた課題は、産業界から技術力及び価格競争力向上が挙げられており、出口用途としては、山林庁から、エレクトロニクス、パッケージ医療・ヘルスケア分野の関連技術が発表されています。

韓国におけるCNF関連政策動向(既存の取組)

<支援体制>

- 山林庁(KFS, Korea Forest Service)は、傘下研究機関である国立山林科学院(NIFS, National Institute of Forest Service)を中心に、国内大学との連携を通じてナノセルロースの研究開発を進めている
- 民間ではLG、Moorim P&P、Asiana Nanotech等の企業がナノセルロースの商用化を推進している
- 2020年、ナノセルロース産業化戦略フォーラムを創設し、産官学連携による、技術交流と情報・サンプル交換、人的ネットワーク構築を通じた研究・関連事業を実施している



<商用化に向けた課題>

- 韓国のLGグループはナノセルロースの研究・商用化に取り組んでおり、商用化の課題については2016年メディアとのインタビューで次の項目を挙げた
 - 生産工程の安定化等を含む、量産技術力の確保
 - 価格競争力の向上

韓国におけるCNF関連政策動向(今後の取組)

<基本方針>

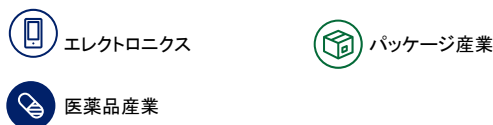
- 山林庁は、国立山林科学院を通じてナノセルロースの基礎及び応用研究事業を持続的に推進するとともに、産・学を繋げるプラットフォームとなり、産業界が抱えている課題解決に向けて取り組んでいくことを表明している

<予算>

- 山林庁におけるR&D予算は2020年1,289億KRW、2021年1,493億KRW(15.8%増)であり、増加傾向にある

<出口候補>

- 山林庁は、2017年、「第3次ナノセルロースジョイントシンポジウム」にて、下記の分野でナノセルロース関連技術を発表している



(出典) 山林庁ウェブサイト、国立山林科学院ウェブサイト、印刷産業新聞ウェブサイト、韓国経済マガジンウェブサイト、化粧品新聞ウェブサイト

図 2-8 韓国における CNF 関連政策動向

表 2-9 韓国における取組状況

機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
山林庁	森林バイオテクノロジー技術開発事業	<ul style="list-style-type: none"> 2022年から2029年までの8年間で約2,500億ウォン予算規模で推進する予定であり、所得の増加とバイオエコノミー分野で5,000人の雇用創出が見込まれている 2029年までに、国固有の有効な森林生物資源50種、新素材50種、グローバル素材製品5種を開発するという目標を掲げている 	<ul style="list-style-type: none"> 2017年以来、約50種の森林生物資源を活用し、食品、医薬品、化粧品、機能性素材の発掘と高付加価値製品化につながる研究を推進してきた 	2017～2029年

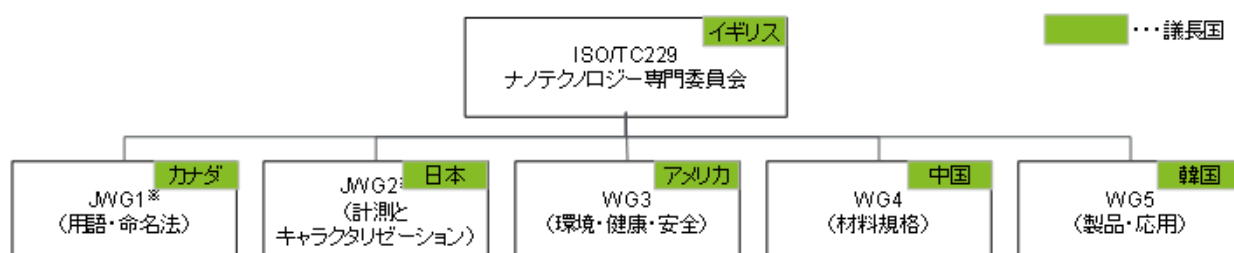
(出典) 山林庁ウェブサイト

(参考) 国際標準化に向けた動き

CNF の国際標準化については、ISO（国際標準化機構）のナノテクノロジー専門委員会（ISO/TC229）で議論されています。ISO/TC229 専門委員会では、ナノ物質であるカーボンナノチューブなども規格化の対象となっており、図 2-6 に示す 5 つの分科会からなっています。

2017 年 8 月には、JWG1（用語と命名法ワーキンググループ）からが技術仕様書として「セルロースから成るナノ材料に関する用語」が発行されており⁹、CNF の定義として、幅が 3~100nm、長さが 1 μ m 以下となっています（※ただし、2021 年 2 月時点で ISO 規格としては未確定）。

また、JWG2（計測と特性評価ワーキンググループ）（議長国日本）において、TEMPO 酸化を含む孤立分散型 CNF の計測項目と計測方法の規格案¹⁰が 2021 年 2 月に公開されたところです。今後、数年で規格化されていく予定です。



(出典) ナノテクノロジー標準化国内審議委員会事務局「ナノテク国際標準化ニュースレター第 19 号」、有識者ヒアリングをもとに作成

図 2-9 日本の国際的な標準化・規格化（ISO/TC229）の動向

⁹ ISO/TS 20477:2017:08 First edition “Nanotechnologies – Standard terms and their definition for cellulose nanomaterial”

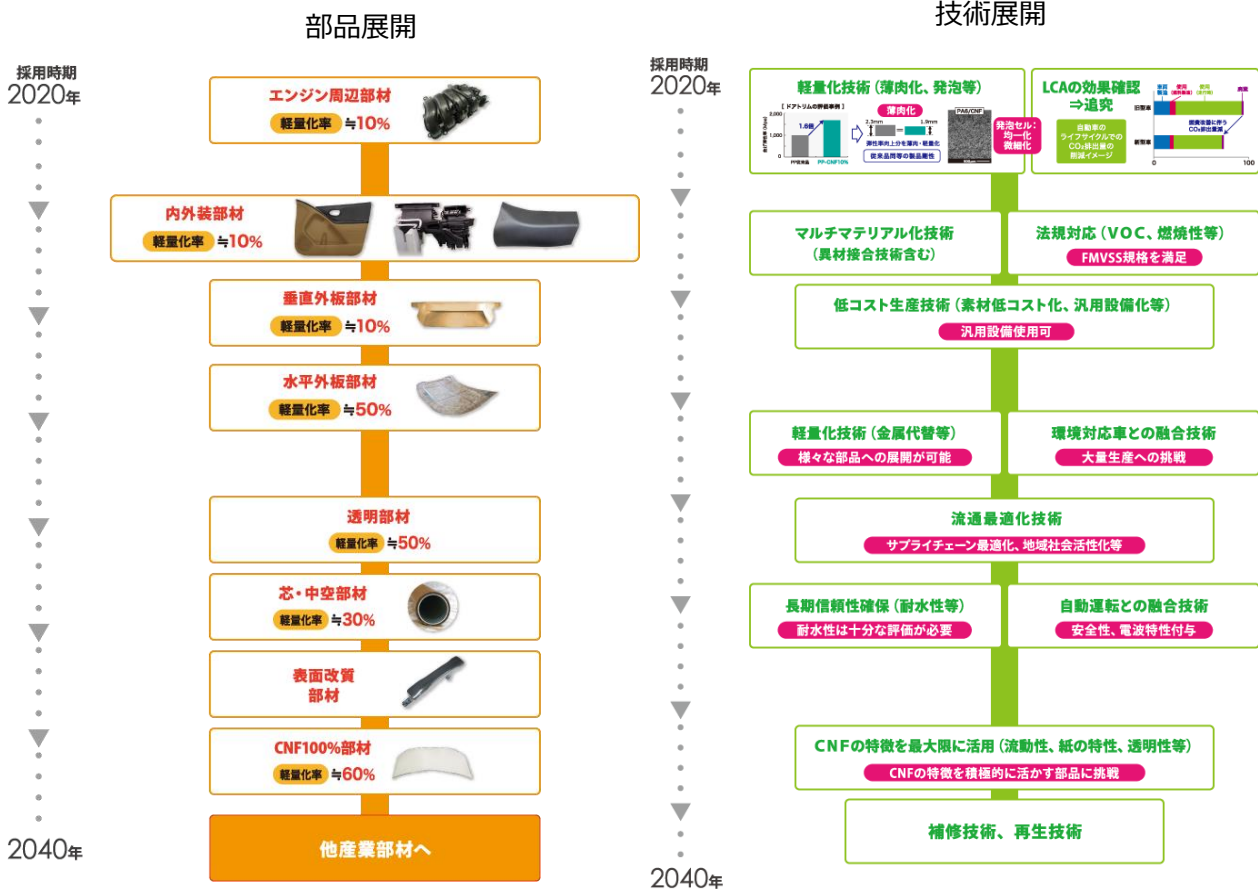
¹⁰ ISO/TS 21346:2020 “Nanotechnologies -Characterization of individualized cellulose nanofibril samples”

		2020年	2025年	2030年
CNF複合樹脂（構造材） ※目標数値は、PPをベースとした複合樹脂を想定、衝撃吸収性はアイソット衝撃強さ				
<取組みの方向性>				
<ul style="list-style-type: none"> 自動車部材（CFRP等のマルチマテリアル添加材、内装材、部品ケーシング、外板、フロア等の車両骨格など）への適用を目指した技術開発を中心に一層の高機能化・低価格化を進め、技術開発の成果を自動車以外の用途（家電や住宅など）での普及・市場拡大につなげる 自動車においては、内装材や部品のケーシングなどの樹脂製品の強化用途への導入を目指しつつ、CNF複合樹脂の更なる高強度化に向けた取組みにより外板への適用を目指す 電子部品の基板・パッケージ材、包装フィルム・バリアシート等の適用に向けた機能向上（耐熱性、バリア性、耐水性など）も図る 				
技術課題	機械特性の向上（剛性、衝撃吸収性など）		■ 自動車（インパネ、バッテリーレーなど）への適用水準	■ 自動車外板適用水準
	耐熱性/耐水性/耐久性の向上		■ 成形温度（～200℃）耐性	■ 自動車（シート構造材など）への適用水準 ■ 高温（～90℃）環境下で耐用年数15年 ■ 高温・高湿度下で耐用年数15年
	用途拡大に向けた機能向上	■ バリア性（フィルム・シート）：蒸着フィルムと同等	→	■ バリア性（フィルム・シート）：現状の2倍 熱・吸湿などに対する特性（機械的特性、電気的特性など）の長期安定性の向上 複合材の特性向上（反り・引け抑制、線膨張率の緩和、表面品質の向上、断熱向上、ノイズ・振動・衝撃（NVH）抑制など）
	低コスト化	■ 1300円/kg（汎用樹脂との複合材）	→	■ 500:700円/kg → 300-500円/kg
技術開発/環境整備	要素技術開発（機能向上）		化学修飾技術、解繊技術（CNFの特性向上）	
			ベース樹脂の特性向上（CNFとの親和性向上、CNF劣化因子（ラジカル等）の削減など）	
			複合化技術（CFRP等の複合材料への特性改良、CNFの分散性向上、コーティング等による表面特性の向上、断熱・NVH対応構造の開発）	
			成形加工技術（成形加工時のCNFの劣化抑制、RTM大型一体成形技術など）	
生産体制構築		品質が安定した複合樹脂原料（マスターバッチなど）の供給体制構築		
		複合化・成形加工に関するデータ・ノウハウの蓄積	量産ベースでのCNF複合樹脂の品質安定性確保/生産量拡大	
用途開拓		自動車内装材・部品ケーシングなどに対する適用先探索	自動車外板・骨格（フロア等）への適用の検討	

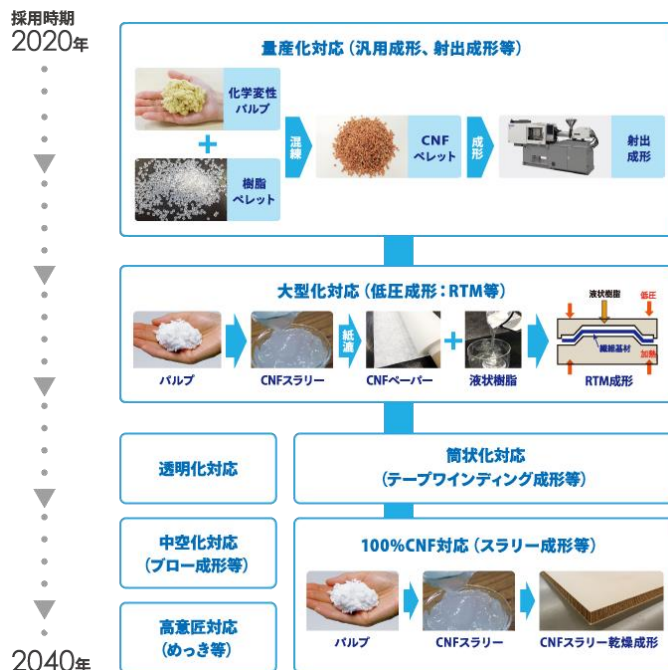
（出典）NEDO/みずほ情報総研「セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査 2019 年度成果報告書」

図 2-11 CNF 複合樹脂（構造材）の技術ロードマップ

NCVプロジェクト（後述「コラム2：NCVプロジェクト」参照）においては、自動車部品の社会実装化を目指し、「部材（部品）」、「技術」、「成形方式」の3つのカテゴリーに分けて、2040年に向けた未来予想図を作成しています。



成形方法



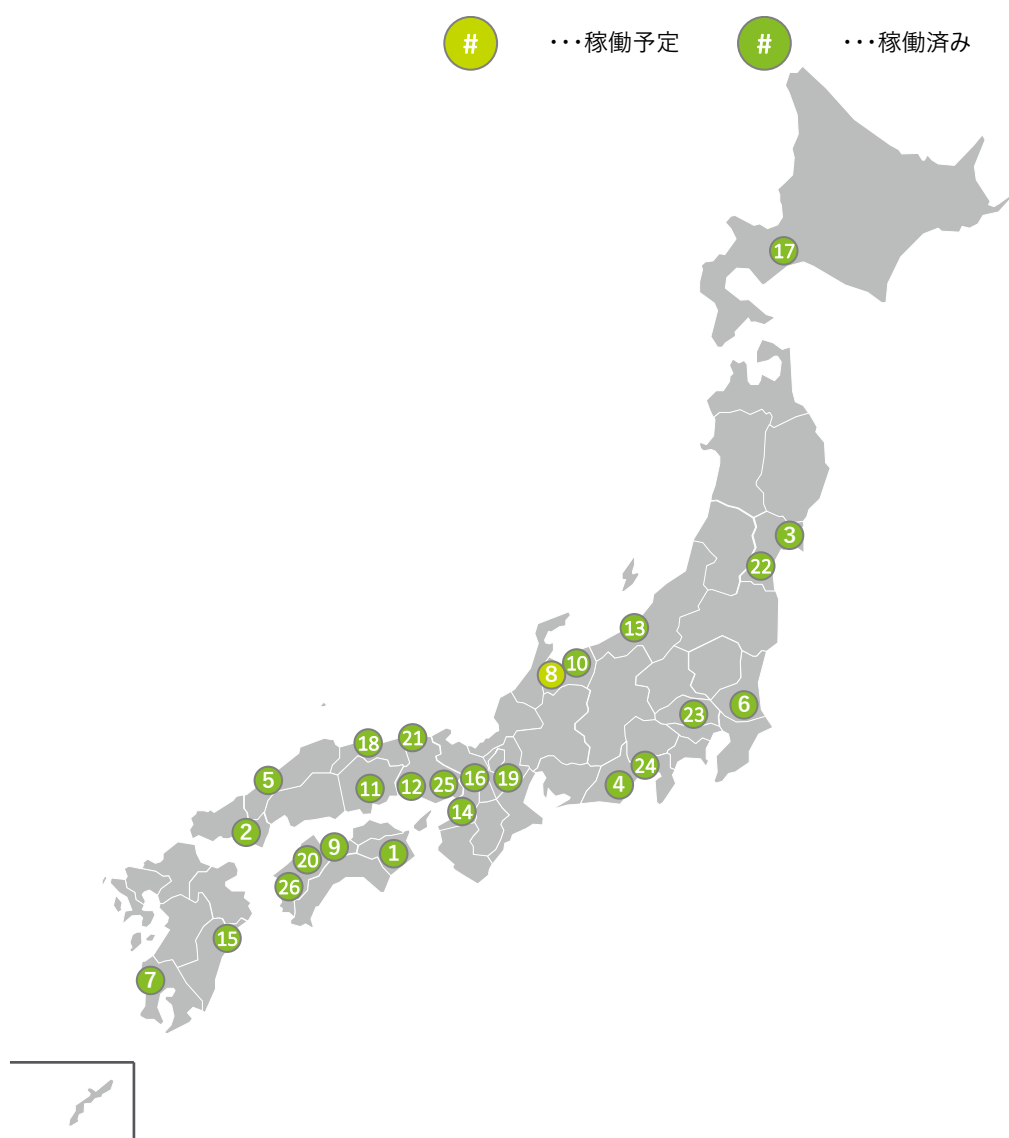
(出典) NCVプロジェクト プロジェクトの概要 <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/outline/>
 図 2-12 CNF 活用自動車部品 展開イメージ未来予想図

2.3 CNF 原材料の生産状況・生産体制

日本国内における CNF 原材料等の生産状況・生産体制をとりまとめ、日本国内の CNF 製造プラントを地図上に示したものを図 2-13 に示します（2020 年 4 月時点）。

2020 年 4 月時点で 25 か所にてプラントが稼働済みです。残る一か所も 2021 年には稼働予定となっています。

CNF 製造については、機械解繊処理法が多くを占めていますが、その他に TEMPO 酸化法によるプラントが日本製紙の岩国工場と石巻工場に加え、第一工業製薬の大潟事業所の計 3 か所、変性パルプ直接混練法（京都プロセス）によるプラントが星光 PMC の竜ヶ崎工場、日本製紙の富士工場、GS アライアンスの本社工場の 3 か所などあります。



（出典）近畿経済産業局・(地独)京都市産業技術研究所「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧（第 9 版）」（2020/2/27）、各種公開情報より作成

図 2-13(1) CNF 製造プラント一覧

1	王子HD (富岡工場) ■ 生産能力：40t/年 ■ 製造方法：その他 (リン酸エステル・機械処理)	2	日本製紙 (岩国工場) ■ 生産能力：30t/年 ■ 製造方法：TEMPO酸化法	3	日本製紙 (石巻工場) ■ 生産能力：500t/年 ■ 製造方法：TEMPO酸化法
4	日本製紙 (富士工場) ■ 生産能力：10t/年(複合材) ■ 製造方法：変性パルプ直接混練法	5	日本製紙 (江津事業所) ■ 生産能力：30t/年 ■ 製造方法：その他 (CM化)	6	星光PMC (竜ヶ崎工場) ■ 生産能力：200t/年(複合材) ■ 製造方法：変性パルプ直接混練法・その他 (化学処理)
7	中越パルプ (川内工場) ■ 生産能力：100t/年 ■ 製造方法：その他 (ACC法)	8	中越パルプ (高岡工場) ■ 生産能力：60t/年 ■ 製造方法：その他 (ACC法・水圧貫通微細化法)	9	大王製紙 (三島工場) ■ 生産能力：100t/年 ■ 製造方法：その他 (機械処理)
10	スギノマシン (本社工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (ウォータージェット)	11	モリマシナリー ■ 生産能力：10kg/h以上 ■ 製造方法：その他 (機械処理)	12	ダイセルファインカム(網干開発センター) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械処理)
13	第一工業製薬 (大湊事業所) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：TEMPO酸化法	14	大阪ガス/大阪ガスケミカル ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (フルオレン表面修飾)	15	旭化成 (延岡工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械処理・抄紙法)
16	服部商店 (淀工場) ■ 生産能力：1.2t/年 ■ 製造方法：その他 (機械処理)	17	草野作工 ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (発酵法)	18	大村塗料 ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (マイクロパブル+機械処理)
19	スターライト工業 (栗東事業所) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械的分散・複合化手法)	20	カミ商事・愛媛製紙 (本社工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械処理)	21	マリナノハイパー (千代水工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械処理)
22	ファイバーバンク (本社工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (塩酸加水分解)	23	増幸産業 (本社工場) ■ 生産能力：500kg/h ■ 製造方法：その他 (機械処理)	24	大昭和紙工産業 (富士事業所) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：その他 (機械処理)
25	GSアライアンス (本社工場) ■ 生産能力：不明 ■ 製造方法：変性パルプ直接混練法・その他 (機械・化学処理)	26	丸住製紙 (大江・川之江工場) ■ 生産能力：50t/年 ■ 製造方法：その他 (スルホン酸・化学・機械処理)		

TEMPO酸化法：
化学解繊を用いた手法。高品質なCNF100%素材が製造可能。

変性パルプ直接混練法：
通称京都プロセス。疎水化処理をしたのち、繊維のナノ化と樹脂への均一分散を同時に達成する手法。複合材用途

図 2-13(2) CNF 製造プラント一覧

第3章 環境省による CNF 社会実装の取組内容

3.1 環境省による CNF 社会実装に向けた取組の全体像

環境省では、「低炭素・循環経済・自然共生社会」の実現に向けて、中長期的なエネルギー起源二酸化炭素排出削減に資する CNF 等の次世代素材の CO₂ 削減効果の評価・実証、リサイクル時の課題・解決策に向けた対策技術の評価・実証を平成 27 年度（2015 年度）から令和 2 年度（2020 年度）まで行ってきました。

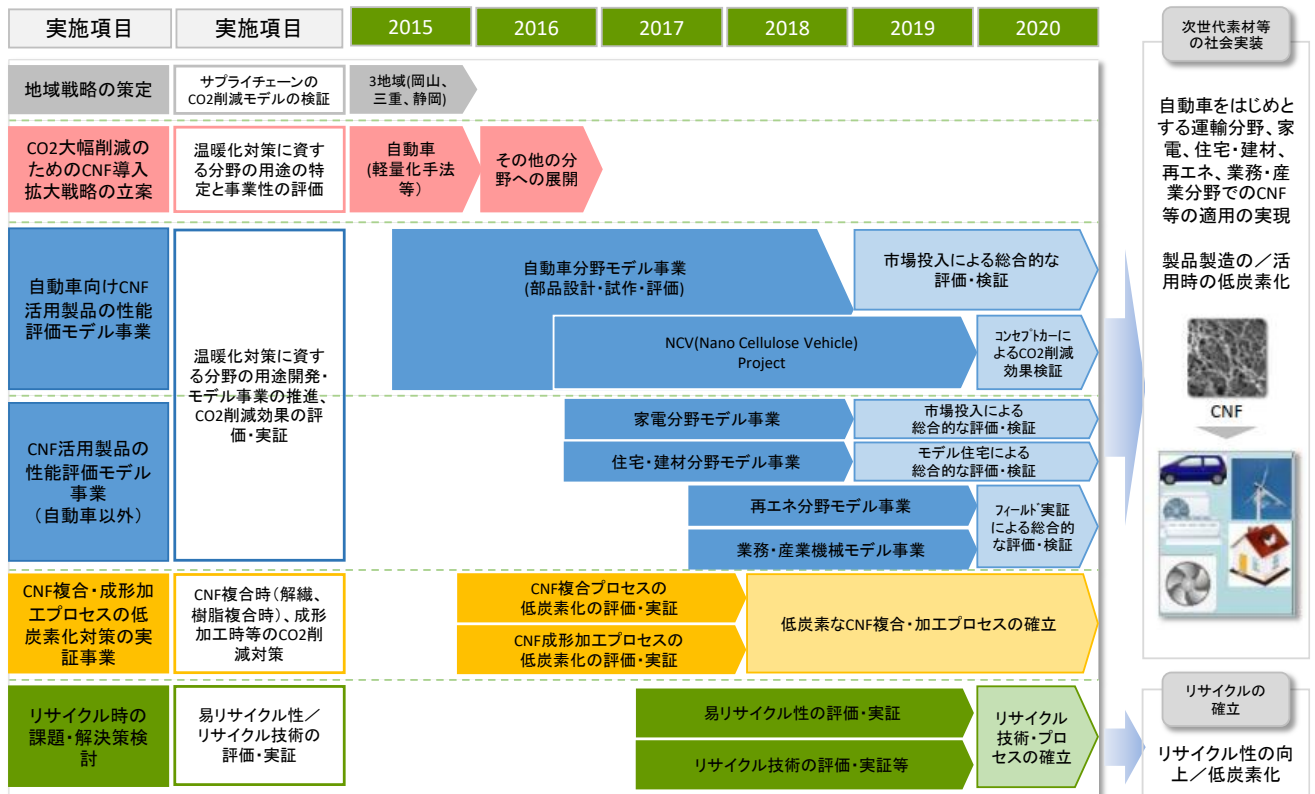


図 3-1 CNF 等温暖化対策に資する次世代素材の社会実装スケジュール

3.2 CNF 関連事業の概要

環境省がこれまで実施してきた CNF 関連事業の概要を以下に示します。なお、環境省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は、別冊 1 に整理しています。

3.2.1 CNF 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業

環境省では、平成 27~29 年度（2015~2017 年度）において「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」を実施しました。本事業では、最終製品サイドからバックカスティングで様々な評価や検証等を行うことで、製品製造時や社会実装時における課題を抽出・対策し、あらかじめ課題解決を図ることで、地球温暖化対策に多大なる貢献が期待される

CNF の早期社会実装を実現することを目的に実施しました。平成 27～29 年度の事業において 3 事業が採択されました。各事業の実施概要を表 3-1 に示します。

表 3-1 製造工程低炭素化対策立案事業に関する実施概要

整理 NO	製造工程低炭素化-1	製造工程低炭素化-2	製造工程低炭素化-3
代表事業者	パナソニック(株)	愛媛大学紙産業イノベーションセンター	大王製紙(株)
共同実施者	－	愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター、特殊東海製紙(株)	西川ゴム工業(株)
事業期間	平成 27 年～29 年度	平成 27 年～29 年度	平成 27 年～28 年度
実施地域	大阪府	愛媛県	愛媛県
事業概要	プラスチック製品の製造工程について、セルロース原料を樹脂に練り込みながらナノ化レベルに繊維をほぐすことで CNF 複合樹脂を製造する段階での CO ₂ 排出量を評価するとともに、CNF 複合樹脂を部材・製品へと成形し、各段階での CO ₂ 排出量を評価し、その削減対策の立案を行いました。	透明樹脂製品の製造工程において、独自の CNF 脱水プロセスにより乾燥工程での CO ₂ 排出量の削減を図るとともに、CNF 複合透明樹脂を用いた部材・製品を成形し、各製造工程での CO ₂ 排出量の評価に基づいた低炭素化対策の立案を行いました。	ゴム製品の製造工程について、液体の CNF 素材をゴムと混練する際に必要となる乾燥エネルギーを乾燥方法の見直しにより低減することで CO ₂ 排出量を削減するとともに、CNF 複合ゴムを製造し、部材・製品を成形し、各段階での CO ₂ 排出量を評価し、その削減対策の立案を行いました。

3.2.2 CNF 活用製品の性能評価事業

環境省では、平成 27～31 年度（2015～2019 年度）において「セルロースナノファイバー性能評価モデル事業委託業務」を実施しました。本事業では、国内市場規模が大きく 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）、再エネ（風力ブレード等）、業務・産業機械（空調ブレード等）等の分野において、材料メーカーおよび製品メーカーのそれぞれと連携し、CNF 軽量材料（複合樹脂）等の用途開発を行うとともに、特に自動車部門で CNF 軽量材料を実機に搭載することで軽量化による CO₂ 削減効果（例 自動車の燃費改善）等の性能評価および早期社会実装に向けた導入実証を行いました。平成 27～31 年度本事業において、8 事業が採択され、各事業の実施概要について表 3-2～5 に示します。

表 3-2 性能評価事業に関する実施概要（その1）

整理 NO	性能評価-1	性能評価-2
代表事業者	トクラス(株)	トヨタ車体(株)
共同実施者	山口大学、イオインダストリー（株） 静岡大学、岡山県森林研究所	－
事業期間	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月
実施地域	東京都	愛知県
事業概要	主にインパネ周辺の内装材について、間伐材から発生する木粉等バイオマスフィラーを添加したウッドプラスチック（WPC）に CNF を添加材利用することで補強し軽量化な製品を製造し、CNF 活用製品の性能評価を行う。また、インパネ周辺部材の軽量化による自動車の燃費向上効果や CO ₂ 削減効果の検証を行いました。	自動車用金属部品の樹脂代替を狙い、高強度かつ低比重な CNF 複合樹脂を用いて自動車部品の試作と性能評価を行う。また、金属部材の樹脂化で達成された軽量化効果により、自動車の燃費向上および CO ₂ 削減の効果検証を行いました。
検討対象製品	自動車部品	CNFRP 製自動車用バッテリーキャリア
使用 CNF の製造方法	機械処理法（フィブリル化木粉）	パルプ+PP 樹脂の混練押出による、射出成形用のコンパウンド樹脂製造

表 3-3 性能評価事業に関する実施概要（その2）

整理 NO	性能評価-3	性能評価-4
代表事業者	(国)九州大学大学院農学研究院	第一工業製薬(株)
共同実施者	中越パルプ工業（株）	エルクセル（株）
事業期間	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月
実施地域	福岡県	京都府
事業概要	ドアパネルの内側や天井パネルとなる内装材について、九州産の竹を利用し「水中カウンターコリジョン（ACC）法」による竹由来 CNF から丈夫で軽量の樹脂素材を製造するとともに、竹 CNF 活用樹脂の性能評価を行う。また、竹 CNF 活用樹脂を活用したドアパネルや天井パネル内装の軽量化に伴う燃費向上の効果や CO ₂ 削減効果の検証を行いました。	自動車用バッテリーについて、従来の鉛二次電池の代替となる軽量かつ小型の CNF 活用リチウムイオン二次電池を製造するとともに、CNF 活用リチウムイオン二次電池の性能評価を行う。また、CNF を活用したバッテリーの軽量化に伴う燃費向上効果や CO ₂ 削減効果の検証を行いました。
検討対象製品	自動車部品	ISS 車用 CNF 適用リチウムイオン電池
使用 CNF の製造方法	機械解繊法（水中カウンターコリジョン法）	化学処理解繊法（TEMPO 酸化）

表 3-4 性能評価業務に関する実施概要（その 3）

整理 NO	性能評価-5	性能評価-6
代表事業者	パナソニック（株）	(国)静岡大学
共同実施者	—	名古屋工業大学、山口大学、大阪工業大学、同志社大学、倉敷紡績（株）、トクラス（株）、ランデス（株）、YKKAP（株）、岡山県農林水産総合センター森林研究所、静岡工業技術研究所
事業期間	平成 28～29 年度	平成 28～30 年度
地域	大阪府	静岡県
事業概要	家電製品への適用可能性を市場や製品特性から調査し製品ライフサイクルの観点から製品仕様、物流、廃棄・リサイクルにおける CO ₂ 排出量評価をするとともに、代表製品として冷蔵庫及び洗濯機の部品を用いて実製品搭載に必要な特性と部品成型品の単体評価および実製品組込み時の性能評価を実施しました。	CNF の形状に着目し「空隙制御能」、「ネットワーク構造」、「化学的改質が可能」という特性を活かし、住宅部品のベース素材特性を引き立たせるための添加剤とした利用を検討した。住宅部品の断熱性能向上により、エネルギー期限 CO ₂ 削減を図る検証を実施しました。
検討対象製品	冷蔵庫部品、洗濯機部品	CNF 添加住宅部材 CNF 複合材廃材
使用 CNF の製造方法	全乾式製法 （※表 1-2 の 2 軸混練法に相当）	機械解繊法（ウォータージェット法）、 化学処理解繊（TEMPO 酸化）

表 3-5 性能評価業務に関する実施概要（その 4）

整理 NO	性能評価-7	性能評価-8
代表事業者	(国)京都大学	(株)日建ハウジング
共同実施者	産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、宇部興産(株)、(株)昭和丸筒/昭和プロダクツ(株)、利昌工業(株)、(株)イノアックコーポレーション、キョーラク(株)、三和化工(株)、ダイキョーニシカワ(株)、マクセル(株)、(株)デンソー、トヨタ紡績(株)、アイシン精機(株)、トヨタ自動車東日本(株)、(株)トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、東京大学、産業技術総合研究所	(株) LIXIL、フィグラ（株）、（株）田島技術
事業期間	平成 28～31 年度	平成 29～31 年度
地域	京都府	鹿児島県
事業概要	自動車分野において、部品や製品の軽量化でのエネルギー効率改善による二酸化炭素排出削減を目的とし、CNF の特性を活かした用途（部材や部品）を提案するとともに、CNF を利用・複合化した樹脂材料について材料から自動車最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施しました。	老朽化が進む既築集合住宅を主な対象に、簡易的かつ費用を抑えつつ、省 CO ₂ 効果が高い対策となる建材等の開発・設計に取り組み、竹 CNF を活用した建材を実証住宅に実装し、CO ₂ 排出量削減効果および室内温熱環境評価の検証を行いました。
検討対象製品	NCV（ナノセルロース自動車）	窓・窓枠、住宅塗料
使用 CNF の製造方法	変性パルプ直接混練法（京都プロセス）、リン酸エステル化等（部材・用途による）	機械解繊法（水中カウンターコリジョン法）

3.2.3 CNF の現状供給価格と将来の目標価格

環境省「セルロースナノファイバー性能評価モデル事業」から得られた各事業者の情報等を基に、製法別の CNF 現状供給価格と一定程度の普及が想定される将来の目標価格を整理しました。

現時点で最も安価な CNF は機械解繊処理の製法によるものであり、解繊度の小さく、処理工程が少ないものと推測されます。一定の解繊度が確保されている化学処理製法を伴うによる TEMPO 酸化や変性パルプ直接混練法（京都プロセス）では、3,000 円～数万円/kg（10～30%CNF 相当）となっています。

将来の目標価格としては、いずれの製法も数百円～1,000 円程度/kg（30%CNF 相当）が想定されます。

表 3-6 製法ごとの価格

製法	現状価格	将来の目標価格
機械解繊処理 (ウォータージェット法等)	500～数万円/kg ※解繊度により異なる	300～800 円/kg
変性パルプ直接混練法 (京都プロセス)	3,000～40,000 円/kg	500～1,000 円/kg
TEMPO 酸化	3,000～30,000 円/kg	1,000 円程度/kg

注：現状価格は 10～30%CNF 相当を想定。将来価格は 30%CNF 相当を想定。

価格帯については調査をもとに推定したものであり、現状価格、将来価格ともにこの中に収まることを保証するものではない。

(出典) セルロースナノファイバー性能評価モデル事業委託業務で得られた情報を基に作成

供給側から見た CNF の価格には、表 3-7 に示す要因が影響すると考えられます。黎明期にある現状価格（上記表 3-6）には、他の要因（開発コストを供給価格に付加するかどうかなど）も影響していると考えられます。

表 3-7 供給価格に影響する要因

要因	概要
原料バイオマスの価格	原料バイオマスとして何をを使うか、によって供給価格は変わる。木材であれば、チップかチップを加工したパルプか、国産か輸入か、針葉樹か広葉樹かなどにより原料価格が異なる。
機械解繊処理回数・ 工程の複雑さ	CNF 製造工程が機械的処理のみの場合、機械解繊処理の回数を増やすことにより、解繊度を高めることができる一方で、機械解繊処理の回数の増加が供給価格の上昇に繋がる。さらに、製造工程が複雑になることにより（工程が増えることにより）、一般的には供給価格は上昇する。 なお、選定する原料（樹種）によっても解繊処理回数が変わりうることは留意が必要である。
製造規模	製造規模が大きくなることにより、スケールメリットが得られ、供給価格を下げるができる。
脱水・乾燥工程の有無	CNF の脱水・乾燥工程では多くのエネルギーを消費するため、脱水・乾燥が必要となる CNF は価格の上昇に繋がる。
使用する化学薬品	化学的処理などにおいて使用する化学薬品のコストが CNF の供給価格に影響を与える。同等の効果が得られる、より安価な化学薬品を選定することや、添加量を少なく抑えることで供給価格を安く抑えることができる。
その他（輸送コスト等）	上記以外の要因としては、輸送コスト、排水処理コスト、製造に要する人件費、等が挙げられる。

一方、CNF の市場価格は、用途とそれに応じた製品の品質によって決定されます。医薬品等の高付加価値分野では、これまでにない価値を提供することができるため、市場規模はそれほど大きくはないですが、高い供給価格でも取引が成立します。それに対して、自動車・家電・建材・その他構造用途では、市場規模は大きいですが、これまでにない付加価値を提供するまではいかず、代替品の価値ベースとなるため、それほどの高い市場価格にはなりません。

CNF の用途例と市場価格の関係の概念を表 3-8 に示します。また、それを図にしたもの（CNF の用途別の市場規模と価格の概念図）を図 3-2 に示します。これらの図表と「2.1.1CNF の普及状況」の表 2-1 の実用化事例や図 2-1 の CNF の実用化段階別用途（例）とを比較してみると、現状がつかみやすいかと思われます。

表 3-8 CNF の付加価値と市場価格の概念

CNF が与える付加価値	高	中	低
用途例	医薬品、化粧品、電子デバイス（一部）	自動車、家電、電子デバイス（一部）	建材
市場規模	小	中	大
現状の価格	数万円/kg	3,000～数万円/kg	500 円/kg～
将来の価格	数千～1 万円/kg 程度	数百～千円/kg 程度	数百円/kg
条件・備考	これまでに無い素材であり、新たな付加価値を創造できる。	既存素材の代替であることが多いが、機能向上効果はそれなりにある。	既存素材の代替であり、機能向上効果もそれほど大きくない。

注：現状価格は 10～30%CNF 相当を想定。将来価格は 30%CNF 相当を想定。

親水性 CNF などについては、濃度を 10～30%CNF 相当に換算したものであり、実際の価格帯とは異なることに留意。

価格帯については調査をもとに推定したものであり、現状価格、将来価格ともにこの中に収まることを保証するものではない。

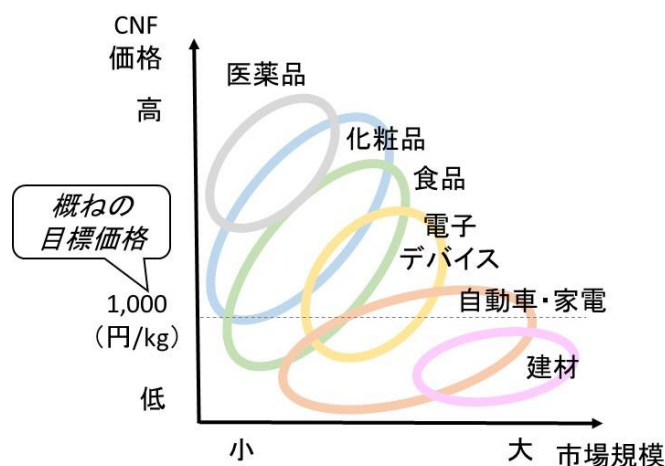


図 3-2 CNF の用途別の市場規模と価格の概念図

なお、後述の「3.3.4 CNF による地域産業創出 地域経済効果試算のケーススタディ」においては、検討対象の CNF 製造事業のモデルケースを想定し、供給価格の推定を行っていますので、そちらもあわせて参照ください。

コラム2：世界初！セルロースナノファイバーから車を作る ～NCV (Nano Cellulose Vehicle) プロジェクト～

環境省では、さまざまな製品等の基盤となる樹脂材料を CNF で補強した CNF 軽量材料（複合樹脂）を使用することで、軽量化による CO₂ の効果的な削減を図ることを目的とした「CNF 性能評価モデル事業」の中で、特に国内市場規模が大きく CO₂ 削減ポテンシャルの大きい**自動車部門**について早期の社会実装を目指すため、「NCV プロジェクト」を平成 28 年（2016 年）10 月に始動しました。

プロジェクトは令和 2 年（2020 年）3 月に終了しました。4 年間のプロジェクトの成果として、令和元年（2019 年）10～11 月に開催された東京モーターショー2019 で、これまでに内外装部品のうち 13 部材に CNF 複合材を活用した総重量 1,050kg（同クラス比で約 200kg 軽量化）のコンセプトカー並びに CNF 活用自動車軽量部材を展示しました。量産化を目指した仕様では世界初となるこの成果は、国内外問わず非常に多くの方から関心を寄せて頂いています。

1. プロジェクトの目的

このプロジェクトは、CNF 軽量材料を実機に搭載することで軽量化による CO₂ 削減効果（例：自動車の燃費改善）等の性能評価および早期社会実装に向けた導入実証を行います。これにより、製品製造時や社会実装時における課題を解決し、そのノウハウを蓄積することで、地球温暖化対策に多大なる貢献が期待される CNF の早期社会実装を実現することを目的としています。

プロジェクト目標	令和 2 年（2020 年）に自動車で 10%程度の軽量化
----------	--------------------------------------

2. プロジェクトの体制

京都大学を代表実施機関とした産官学合わせて 22 の機関で構成されるコンソーシアムにより、サプライチェーンの一気通貫体制を構築しました。



3. 実施内容

CNF を複合化した樹脂材料を開発し、材料から自動車など最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施しました。

重点課題① 社会実装にむけた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証

重点課題② 自動車分野における CNF 軽量部材の導入実証及び性能評価・検証



図 プロジェクトの全体像

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
CNF材料自動車 適性評価			部品試作、置換検討	2019年10月 東京モーターショーで展示 最終試作車
		設計	型、治具、設備	部品試作
			部品性能評価	組み立て
			接合構造含む	CNF車の設計・組み立て
			成形性・接合性評価(射出成形・シート成形)	CNF部材の性能評価
		素材性能評価(強度、耐久性)	CNF材料の成形・加工性評価	CNF材料の特性評価
二酸化炭素 排出削減評価		製造プロセスCO ₂ 排出削減・省エネ効果評価 軽量化効果、走行評価		

図 プロジェクトのスケジュール

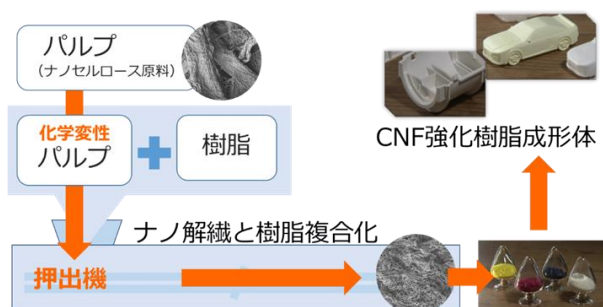
4. プロジェクトの成果

プロジェクトでは、100%CNF で製造されたボンネットなどを含め計 13 の内外装部品が CNF 若しくは CNF 複合材で製作されたコンセプトカーが完成し、車両の高速走行試験を完了しました。

<CNF を活用した材料、部材、自動車部品等の製品開発>

本プロジェクトでは、京都大学と京都市産業技術研究所が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業で開発した「京都プロセス」という変性パルプ直接混練法をベースに、ナイロン 6 (PA6)、ポリプロピレン (PP)、エポキシ樹脂 (EP) などに CNF を分散した樹脂複合材料を試作しました。また、樹脂複合材料以外にも多種多様な CNF ベース素材の試作を行い、用途に応じた各参画機関への材料の供給や、参画機関からのフィードバックを受けて、さらなる素材の改良指針の作成などを行いました。CNF を添加した樹脂複合材料は補強材としての機能を発揮していることを確認しています。

表 京都プロセスによるさまざまな樹脂の CNF 補強性



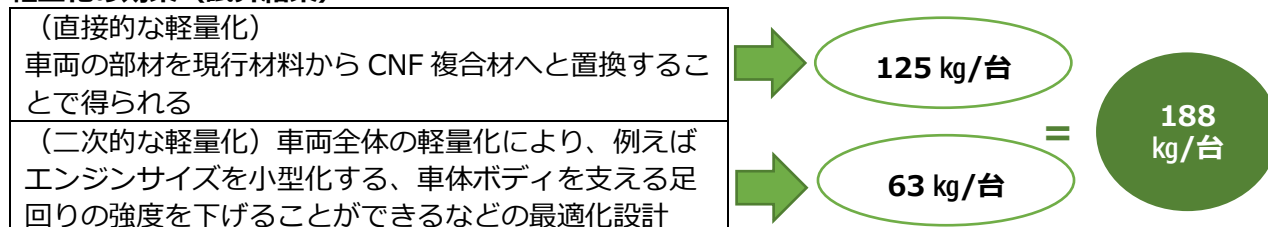
樹脂、 溶融温度	樹脂 E、GPa	CNF/樹脂 E、GPa	樹脂 曲げ強度、 MPa	CNF/樹脂 曲げ強度、 MPa
PA6、225℃	2.22	5.34	91	157
POM、166℃	2.29	5.35	78	131
PLA、170℃	3.41	6.40	108	119
ABS (200℃)	1.93	3.78	63	88
PA12、175℃	1.24	3.15	52	89
PBT、222℃	2.27	4.38	80	113
HDPE、129℃	1.10	2.39	24	43
PP、165℃	1.97	2.80	58	67
PP、組成検討後		4.73		95

図 京都プロセス (変性パルプ直接混練法) のプロセス

<CNF による軽量化の効果>

CNF 複合材を活用した車体は、鋼板を主材料とした同クラスの車体と比べて 188 kg/台の軽量化効果 (**軽量化率 16%**) が得られました。また、軽量化に伴う燃費改善効果はシミュレーションの結果 11%と算定されました。この軽量化により、走行時の **11%燃費改善** (CNF 製品による 1kg の軽量化はガソリン 4 リットル節約) することができます。

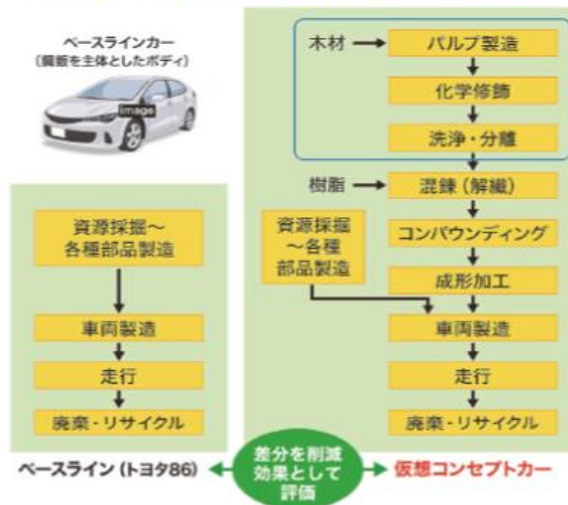
軽量化の効果 (試算結果)



<CO₂ 排出削減効果>

原材料の調達から車両の製造、廃棄までのライフサイクル全体の排出量を算出した結果、廃車までに年 1 万 km の走行を 10 年間続けるシナリオにおいて、**1 台当たり CO₂ 排出量削減量は 2 トン CO₂** と推定されました。これは、比較対象とした既存の市販ガソリン車両のライフサイクルでの CO₂ 排出量 (25 トン CO₂) の **8%CO₂ 削減** に相当します。

<2020年技術ポテンシャル> NCV (ガソリン車) の ライフサイクルCO₂排出量の評価範囲



算定条件

- ・ CNF部材置換による直接的軽量化 重量比10%
- ・ 車両の各部位の直接的+二次的軽量化 車重比16%
- ・ 16%軽量化時の各部位の加速性能が同等となるようダウンサイジングしたエンジン特性で11%の燃費向上
- ・ 生涯走行距離 10万km、WLTCモード
- ・ 廃棄物発電効率 12.6%



<2020年技術ポテンシャル> CO₂排出量削減効果 (ガソリン車ライフサイクル)



CNF部材適用による車両軽量化 (10%) で
0.8~2.5tのCO₂排出量を削減

ピックアップポイント① 量産化を見据え、かつ、多様な部品展開

CNF 軽量化材料の量産化技術の確立を目指して、NCV 事業では汎用設備を用いて部材試作を行いました。さらに、下表のような多様な部品展開を行いそれぞれ軽量化効果が確認されています。これらの成果を通じて、車両への CNF 複合材の採用が一步近づくとともに、様々な製品分野への展開の可能性が実証されました。

部材名	主要樹脂	CNF 複合比率	成形加工法
① ドアアウターパネル	PP	10%	●
② ドアトリム	PP	10%	●
③ ルーフパネル	PC	15%	○
④ バックドアガラス	PC	15%	○
⑤ ボンネット	CNF	100%	▲
⑥ リアスポイラー	PP	10%	△
⑦ フロントアンダーカバー	PP	10%	△
⑧ パケトレフロントカバー	PP	10%	●
⑨ フロントバンパーサイド	PA6	10%	■
⑩ ホイールフィン	PA6	10%	■
⑪ ルーフサイドレール	CNF	100%	□
⑫ フロア部材	EP	30~50%	◆
⑬ バッテリーキャリア	PP	20%	●

主要樹脂：PP (ポリプロピレン)、PC (ポリカーボネート)
EP (エポキシ樹脂)、PA6 (ポリアミド6)

成形加工法：● (射出成形)、○ (射出圧縮成形)

▲ (加熱加圧成形+真空バック成形)

△ (ブロー成形)、■ (積層造形 (3Dプリンター))

□ (CNF シート巻き付け)、◆ (RTM (Resin Transfer Molding))

※CNF 自動車部材の製作にはリグノ CNF プロジェクトの成果を活用しています (協力機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO))



ピックアップポイント② CNF100%の自動車部材の試作

CNF で樹脂を強化する手法は、これまでも広範に検討されていますが、本プロジェクトでは、CNF100%で作られた大型の成形体を製作することに挑戦しました。CNF100%の成形体の工業的工法は、プロジェクト参加企業が保有する紙製品に関する知見と、コア技術である「積層技術」や「注型技術」を応用することにより、世界で初めて開発したものです。

100%CNF 成形体は、2%固形分のCNF 水スラリーを脱水・加熱加圧して0.5mmのシートをつくり、上下のシートの間には高さ3mmのCNFハニカムをはさみエポキシ樹脂で接着した後、真空成形します。この構造により、厚さ4mmのCNF100%ボンネットは、厚さ0.7mmの鋼板製より69%の軽量化、約2倍の剛性向上に成功しました。

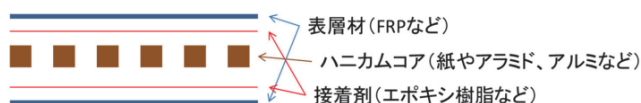


図 ハニカムサンドイッチ材の構造例



図 ボンネット部品展示

ピックアップポイント③ 3Dプリンターによる成形

CNF を含有する構造体の成形方法には、射出成形、射出圧縮成形、加熱加圧成形と真空バック成形の組み合わせ、ブロー成形など様々あります。その成形方法のひとつである3次元造形法では、本プロジェクトでの試作・試験・評価の結果、粉末床溶融結合法が最適であり、材料として樹脂-CNF 複合粉体材料を使用することで、軽量でかつ高強度の部材を成形することができました。

3次元造形用粉体材料を製造する場合、成形品質のばらつきを抑えるため、微粒子 (38 μ m 以下) の篩分級による除去を行うがこれは非常に手間に手間のかかるプロセスです。PA6-CNF 複合粉体材料では、微粒子除去プロセスを実施しない場合でも、ばらつきの少ない成形体が製造可能であることがわかりました。

そこで、バンパーフィンとホイールフィンの2種類の部品を PA6-CNF 複合粉体材料を用いて3次元造形により製作しました。この部品は強度、寸法精度とも実用的に問題がないことを確認し、塗装についても従来の自動車部品の仕様が適用できることがわかりました。

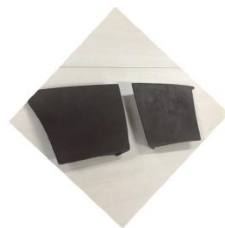
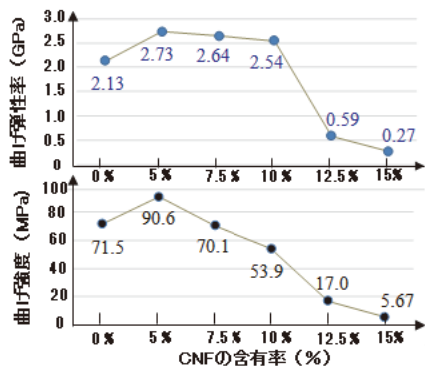


図 2.1-9 バンパーフィン



図 2-1-10 ホイールフィン

図 3次元造形法で成形されたバンパーフィン (左) とホイールフィン (右)



↑試作品の含有率は10%

図 3次元造形体の機械特性

ピックアップポイント④ 透明なルーフパネル・バックウィンドウ

トヨタ自動車東日本は、ポリカーボネート（PC）およびアクリルアロイ樹脂を CNF と複合し射出プレス成形することにより、透明な補強樹脂ガラスの試作を行いました。このガラスはコンセプトカーのルーフパネルとバックウィンドウとして搭載されています。無機ガラスに比べ 50%以上の軽量化が確認でき、従来材料より耐熱変形量が少ないことがわかりました。



図 コンセプトカーに採用されたルーフパネルとバックドアガラス（左）と透明樹脂材料の補強技術を使用したルーフパネル（右）

5. 今後の展開（未来予想図）

CNF を樹脂へ添加すると弾性率や強度が飛躍的に向上しますが、耐衝撃性をそれらと同時に発現する工夫が必要であり、自動車部品の利用において耐衝撃性の向上が課題として残っています。また、非極性材料への複合化や、部材の接合や接着技術のさらなる向上、吸湿性、難燃性、コストなどの問題が残っており、引き続きの開発が求められます。

今後はこのプロジェクトの成果を踏まえ、CNF を活用した自動車部品の社会実装化をめざし、引き続き各機関では開発を進めています。プロジェクトでは、「部材」「技術」「成形方式」の3つのカテゴリに分けて、未来予想図を作成しています。（本編 図 2-4 参照）

経済産業省では、「CNF を 2030 年に 1 兆円規模の市場」に育てる市場規模目標を掲げています（本編「2.1.2 CNF の今後の市場見込み」参照）が、そのうち約 6,000 億円が自動車市場です。そのため NCV プロジェクトを足掛かりに市場開拓できるかが CNF 戦略全体の鍵と言えます。

他方、自動車分野においても、世界的に燃費・電費規制が年々厳しくなっており、これまでの各種パワートレインの効率向上だけでは規制基準の達成が困難になることが予想され、今後さらなる燃費・電費向上を図るために、車両全体の軽量化が注目されています。NCV 事業を通じて、炭素繊維強化プラスチックやガラス繊維強化プラスチックに比べ植物由来の CNF により強化されたプラスチックは、軽量性・強度・製造時の低 CO₂ 化のバランスにおいてより優れた素材となり得ることが見出されました。更に物性的にはリサイクル性が高い特徴も有しており、脱炭素社会、循環経済の実現に向け、CNF の自動車への適用が期待されるところで、益々注目が集まっています。

（出典）NCV プロジェクトホームページ、工業材料 2020 年 8 月号、各社ニュースリリース記事

「平成 31 年度セルローズナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務（社会実装に向けた CNF 材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～）成果報告書」（令和 2 年 3 月 国立大学法人京都大学）

3.3 CNF による地域産業の創出

3.3.1 CNF による地域産業創出の目的と考え方

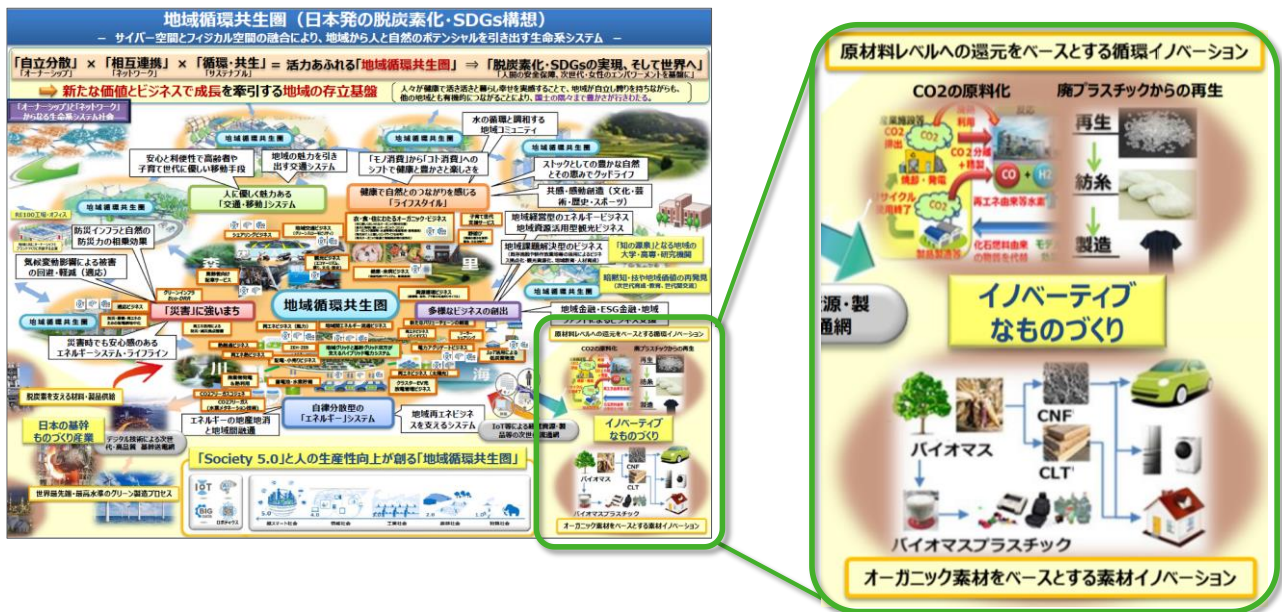
3.3.1.1 CNF による地域産業創出の目的

環境省では、第 5 次環境基本計画の中で地域資源を最大限活用しながら自立・分散型の社会を形成し地域の活性化を促す「地域循環共生圏」¹¹を掲げており、CNF も「オーガニック素材をベースとする素材イノベーション」の 1 つのツールとして位置づけられています。

CNF による地域産業をすることは地域に様々なメリットを提供することが可能です。例えば、国連「持続可能な開発目標」(以下、SDGs とする。)¹²にも記載がある「GDP 上昇」や、「雇用創出」「林業の活性化」等があげられます。

また、地域特有の CNF の需要の創出や、地域資源に応じた高品質の CNF 並びに製品製造を実現することは、量・質の観点から、CNF 自体の普及を後押しすることにもつながります。

本節では、CNF による地域産業の創出に向け、創出事例の紹介と、創出にあたって想定される課題や、成功のポイント、また、CNF 製造事業の事業性や、CNF の地域産業創出による地域への波及効果のモデルシミュレーションを行い、ケーススタディとして紹介します。



https://www.env.go.jp/seisaku/list/kyoseiken/pdf/kyoseiken_02.pdf

図 3-3 地域循環共生圏 (日本発の脱炭素化・SDGs 構想)

¹¹ 「地域循環共生圏」は、各地域が美しい自然景観等の地域資源を最大限活用しながら自立・分散型の社会を形成しつつ、地域の特性に応じて資源を補完し支え合うことにより、地域の活力が最大限に発揮されることを目指す考え方です。

¹² SDGs は、17 の目標と 169 項目のターゲットで構成されており、その達成度をモニタリングするために、230 の指標が設けられており、中でも、地域に該当する項目として GDP、雇用・失業率、平均時給、林業活性化等があります。

表 3-9 CNF の地域産業創出による SDGs 指標の達成例

SDGs の指標	CNF の地域産業創出による指標への影響	地域への貢献
GDP の上昇	地域での CNF 製品製造市場の創出・拡大により、地域の GDP 上昇に貢献します。	地域の GDP が上昇し、地域活性化が図られます。
失業率の低減	地域での CNF 製品製造事業の創出・拡大により、地域の雇用が創出され、失業率の低減に貢献します。	地域雇用の創出で失業率が低下し、生活水準が向上します。
平均時給の上昇	地域での CNF 製品製造市場の創出・拡大により、地域企業の労働環境の向上に寄与し、平均時給の向上に貢献します。	地域で働く人の給与水準が上昇し、生活水準が向上します。

3.3.1.2 CNF による地域産業創出の考え方

本ガイドラインでは、「地域圏で CNF に関連した産業が成立する」ことを“地域産業創出”と位置付けます。更に、地域圏内の木質系バイオマスを CNF の原料とし、CNF 利用製品の選定ならびに品質確保を実現することも、目指す姿の 1 つと考えます。

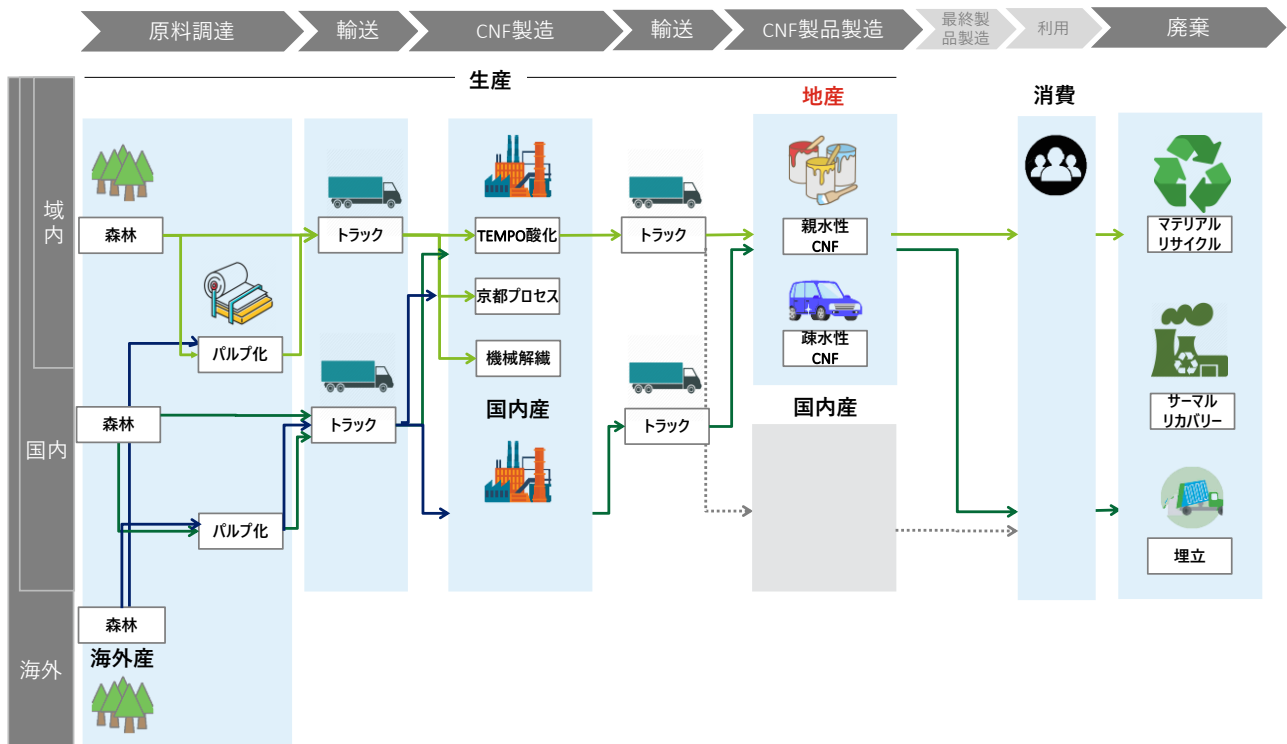


図 3-4 本ガイドラインにおける地域産業創出の考え方

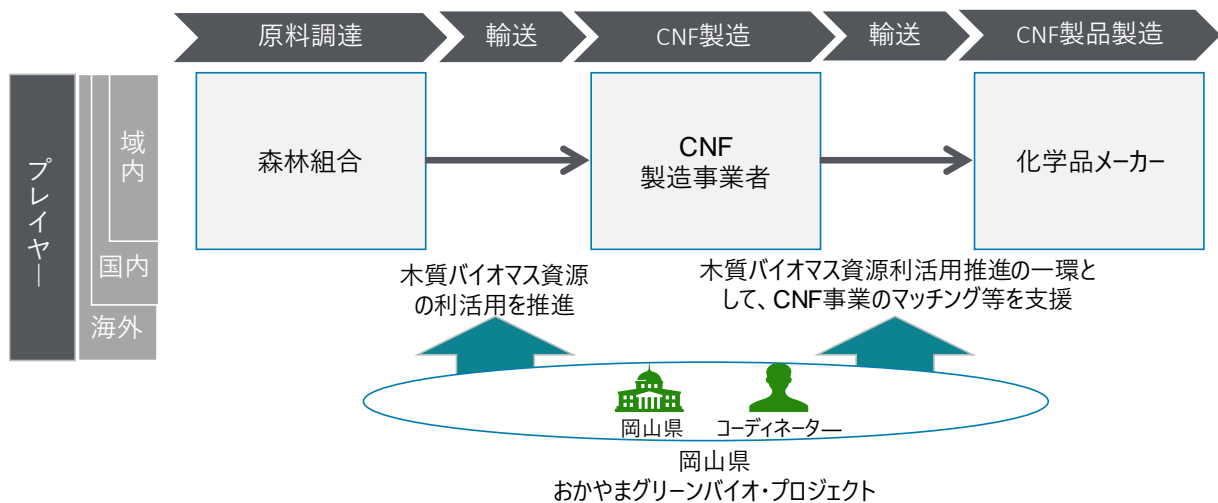
3.3.2 CNF による地域産業創出に向けた検討事例紹介

CNF による地域産業創出はどのようなサプライチェーンがあり、どのようなプレイヤーが必要となるのか、事例を紹介します。

(1) 岡山県の事例

表 3-10 岡山県の事例

概要	・県内で調達した原料により製造業者が CNF を製造し、県内の化学品メーカーがそれを添加した消臭剤を開発・商用化を実現。これを県下小売店等で販売するなど、サプライチェーンとしては県内で完結。
背景	・県は木質バイオマスが豊富な地域であり、かねてより行政主導で地域資源の利活用推進のための「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」の推進や、国の事業受託等が行われていた。 ・バイオマス利活用の一環として CNF 事業を県が重点的に支援していたことが後押しとなり、CNF 製造事業者及び製品製造事業者は、製品開発、商用化に至った。



(出典) 自治体、事業者向けヒアリング等より作成
図 3-5 岡山県における地域産業サプライチェーン例

(2) 静岡県富士市の事例

表 3-11 静岡県富士市の事例

概要	・静岡県富士市で、CNF 製造、CNF 製品製造を完結するサプライチェーンを構築し、地域内で複数の事業者が自動車部材や電子機材、食品等に CNF を添加した商品の開発・商用化を実施。
背景	・静岡県は、地域コンソーシアムを立ち上げ、セルロースナノファイバー（CNF）を利用した製品（用途）開発を支援している ・さらに、富士市では工業振興ビジョンに CNF を位置付け、加えて、CNF による関連産業推進構想を策定している。 ・また、自治体内において CNF の地域コンソーシアムを立ち上げ、CNF 用途開発の加速化、産業創出を図るための連携・ネットワーク体制を整備している。

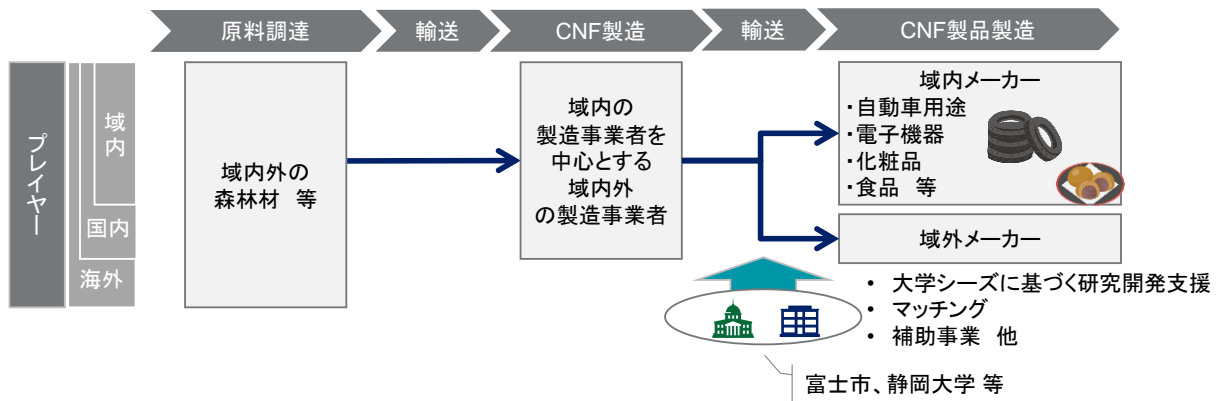


図 3-6 静岡県富士市における地域産業サプライチェーン例

3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と解決のポイント

3.3.3.1 CNF による地域産業創出に向けた課題

3.3.2 で紹介した以外にも、様々な地域が CNF による地域産業創出を進めています。既に取り組を進める自治体や、CNF 製造事業者、CNF 製品製造事業者等へヒアリングを行い、地域産業創出に当たり想定される課題と解決のポイントとして整理した結果を紹介します。

地域産業創出の実現には、3つの課題が想定されます。1つ目は「地域が一丸となった地域産業創出モデルとしての取組」の課題、2つ目は「地域資源に応じた用途開発と品質確保スキームの構築」の課題、3つ目は「事業規模に応じた需要確保・コスト削減・リスクマネジメント」の課題です。それぞれの概要を図 3-7 に示します。

これらの課題を解決し CNF 地域産業を創出することは、個々の地域の特性を活かした、個性ある地域循環共生圏の実現に貢献することにもつながります。

課題の概要	
課題1<“量”の課題> 地域が一丸となった地域産業創出モデルとしての取組	CNF産業創出のプレイヤーとなる、CNF製造事業者とCNF製品製造事業者の発掘・連携をはじめ、自治体、有識者も含めた連携など、地域が一丸となるための面的なアプローチが必要。
課題2<“質”の課題> 地域資源に応じた用途開発と品質確保スキームの構築	CNF利用製品の適性は、原料・パルプ化方法・CNF製造方法と相関関係にある。そのため、地域の資源を生かしたCNF利用製品を製造する場合、資源に適した製品の選定、品質確保が必要。
課題3<“量”の課題> 事業規模に応じた需要確保・コスト削減・リスクマネジメント	CNF製造の事業性や、地域サプライチェーンのメリットを最大化し、地域循環共生圏を実現、より成長させていくには、様々なコスト削減、原料供給の安定化、需要の確立等が必要。

自治体 CNFの出口創出に向けては、広く事業者と連携することが不可欠である。	CNF製造事業者 特に、水分量が多い形状の場合は梱包材等のコストも追加されるため、輸送コストが高額となる。
補助事業受託者 (大学) 地域特産の資源を原料に活用しようとしているが、その特徴によって、適用できない用途が存在してしまう。	

図 3-7 CNF による地域産業創出に係る課題とコメント

CNF 産業全体における地域産業の位置付けを、環境政策の観点から整理すると、図 3-8 のように図示できます。具体的には、CNF の地域産業を創出することは CNF の量的な拡大に貢献し、CNF 原料として地域資源の最適な活用を実現することは、CNF の質的な向上に貢献します。この 2 つが実現することで、環境政策としての効果向上にも貢献できます。

こうした地域産業の位置付けを踏まえると、「CNF 製品製造事業者の発掘」と「地域圏サプライチェーンのメリット最大化（輸送コスト低減）」の課題は「“量”の課題」、「地域資源に応じた用途選定と品質確保」は「“質”の課題」と整理できます。

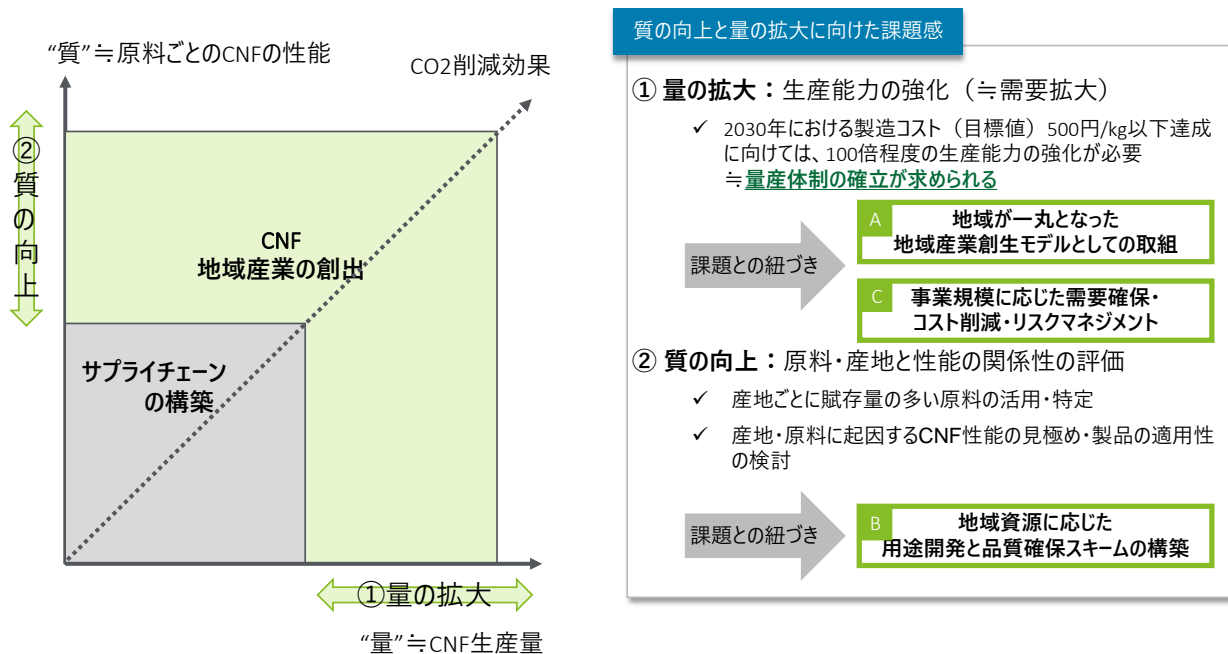


図 3-8 CNF の普及と CNF 地域産業創出の課題の関係性

3.3.3.2 CNF による地域産業創出に向けた課題の解決のポイント

(1) 課題 1 地域が一丸となった地域産業創生モデルとしての取組

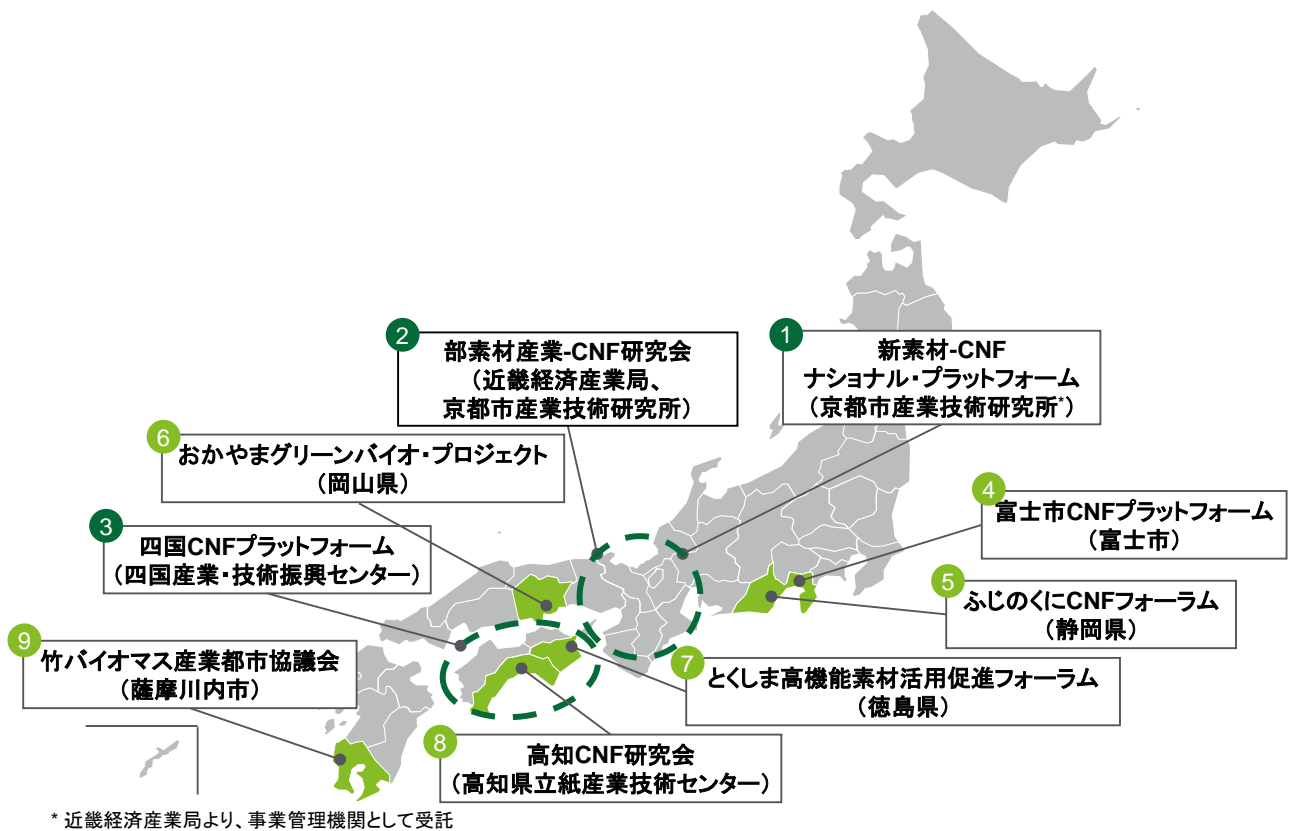
地域圏で一定規模の需要を創出するには、個々の企業間の取引に任せるのではなく、地域として面的に事業創出を後押しする必要があります。今後さらなる普及、用途開発が期待される CNF の場合は、幅広く地域の事業者を巻きこむことが重要です。

CNF の普及に当たっては、日本各地に地域コンソーシアムが設置されています。自治体や、地域の公設試験研究機関等が主体となり、2021年2月時点で9つのコンソーシアムが活動しています（図 3-9）。

各地域コンソーシアムは様々な取組をしていますが、最も重要なことは、地域コンソーシアムの組織自体が必要な機能要件を満たすことです。具体的な要件を、表 3-12 に示します。

特に重要な機能がコーディネーターです。コーディネーターは企業間や、企業と有識者間のマッチングや調整をリードする役割を担います。例えば、企業出身者など、CNF の知見に加えて、企業間取引の知見や企業と直接的なコネクションを有する人材が担当することで、自治体だけでは関与が難しい、ビジネス面の調整に深く、継続的に関与することが可能となり、地域コンソーシアムによる支援

はより効果的なものになります。図 3-10 で、地域コンソーシアムとコーディネーター機能に関するヒアリング結果を紹介します。



(出典) 経済産業省、各地域コンソーシアム公開情報等より作成

図 3-9 全国の地域コンソーシアム

表 3-12 地域コンソーシアムに求められる機能

必要な人材		役割の概要	要件
取組主体 (地域行政等)		地域の特性や課題等をもとに、構想を練り、計画を策定するために必要な多くの関係者(ステークホルダー)の連携や積極的な参画を、中心となって主導する。	特になし (行政、事業者、NPO等が想定される。地域内の循環最適化の観点では、行政が望ましい)
コーディネータ		取組全体を縦横から客観的かつ冷静に見極めつつ、柔軟な発想で参加者の意見を引き出したり、取りまとめたりして、合意形成まで事業を的確に導いていく。	土地勘や影響力を持つ、協議会等の中心になる存在。または、その役割を専門に担う外部人材。企業出身者など、CNFの知見と産業界へのネットワークを有する人材が期待される。
キーパーソン (有識者等)		関係者間の各種調整や、取組に関連する分野の専門家として、取組推進に向けた的確な助言を行う。 また、協議会の委員長として、参加メンバーの意見を引き出したり、集約したり、会議の取りまとめ役を担うことも期待される。	その地域で影響力を持つ関係者(首長等)や、その取組分野に関する有識者(学識経験者等)
実施主体	事業者	事業の実施を担うとともに、新たな事業創出を行う。	特になし (地域産業創出の観点では、県内事業者が望ましい)
	森林組合等	地域資源の活用を具体的に検討するにあたり、生産及び輸送機能ならびに、需給に係る情報を開示する	特になし (地域産業創出の観点では、県内組織が望ましい)
行政(国)		事業実施の際に課題となる規制等に関する情報や、国として支援可能な施策等の情報を提供する。 循環資源が循環する地域が都道府県をまたぐ場合などには、協議会等の設置運営に中心的な役割を果たす。	(国を想定した役割)

(出典) 環境省「地域循環圏形成の手引き」(平成 28 年 3 月) 及びヒアリング結果より作成

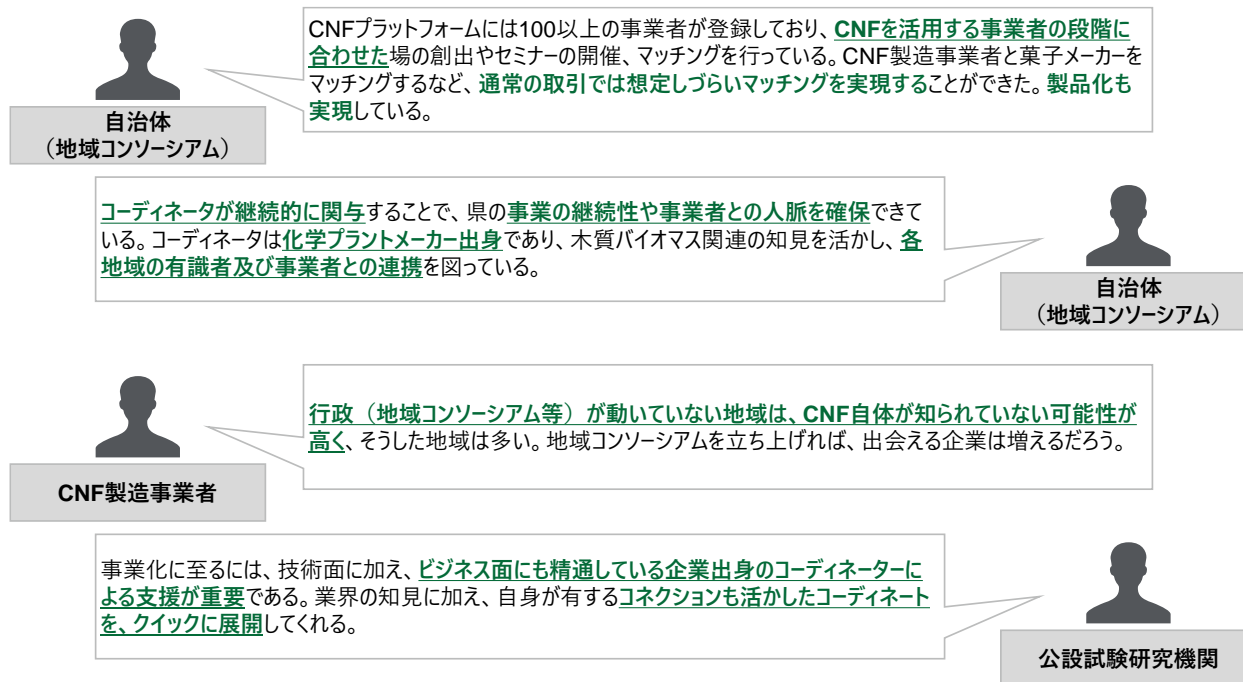
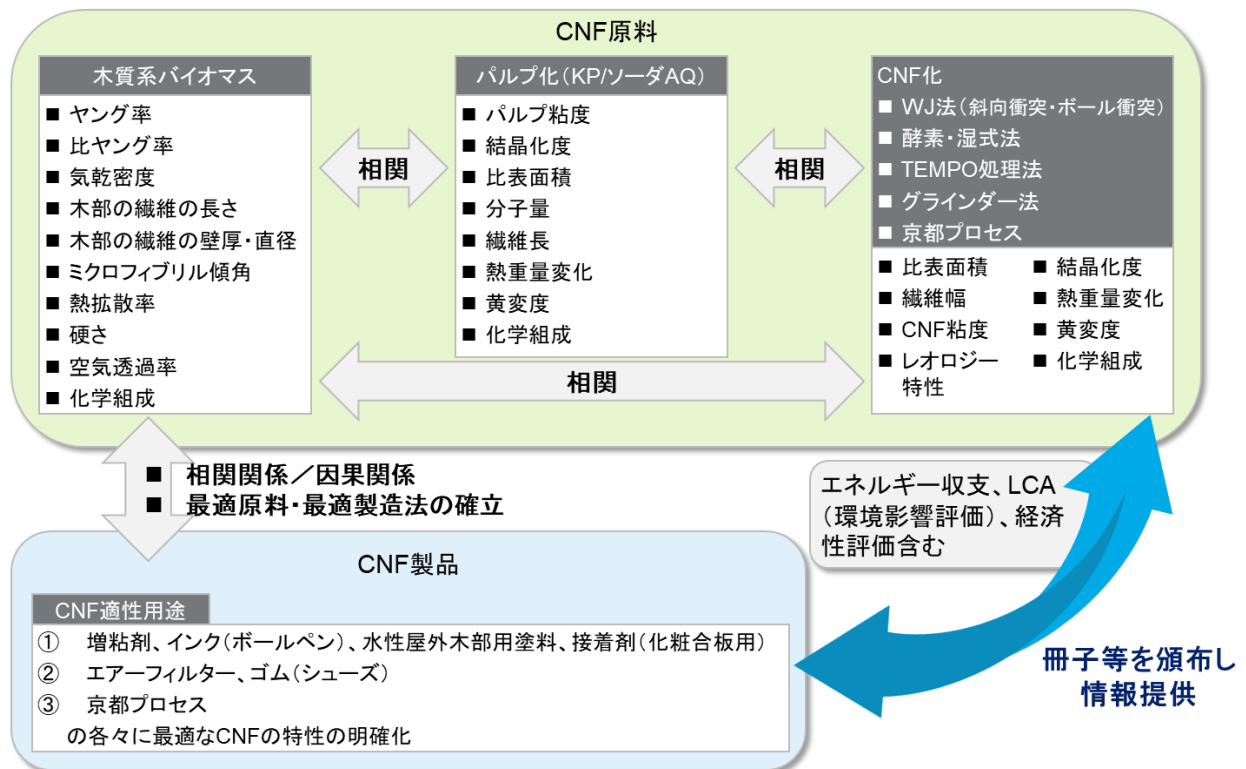


図 3-10 地域コンソーシアムやその機能に対するヒアリング意見

(2) 課題 2 地域資源に応じた用途開発と品質確保スキームの構築への対応

CNF の原料である木質バイオマスには、様々な種類があり、1本の樹木内でも年輪や、生長の速さなどの違いがあり、こうした生物特有の多様性が CNF の物性へ影響を与えます。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発」では、CNF の利用促進に向けて、材料特性、パルプ特性、CNF 特性を解析し、原料樹種、パルプ、CNF の形態・物理的・化学的な性質の相関を明らかにし、製品への CNF の利用適性評価を行いました。その結果は、「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」（以下、「CNF 原料評価書」という。）としてまとめられています（図 3-11）。

本ガイドラインでは、CNF 原料評価書のうち、製品への CNF の利用適性評価の内容を紹介します。表 3-13 の 4 つの用途について、9 種の樹種を用いた適性評価の内容を、樹種による適性について言及されている箇所を中心に抜粋します。本ガイドラインの読み手となる皆様の地域の豊富な樹種、または、主要産業を起点に、品質確保の最大化が可能な原料・用途の選定に活用いただきたいと思います。



(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「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」

図 3-11 CNF 原料評価書における評価手法の関係性

表 3-13 CNF 原料評価書の利用適性評価における樹種と用途のマッピング
(適正評価に供され、評価結果にて適性の言及があるかどうか)

言及あり：各用途の適性評価において、樹種に関する記載事項がある

		1 京都プロセスにおける CNF強化樹脂	2 エアークリスタル	3 接着剤 (化粧合板用)	4 増粘剤
スギ	茨城スギ	言及あり	言及あり		
	富山スギ	言及あり	言及あり		
	熊本スギ	言及あり	言及あり		言及あり
カラマツ			言及あり	言及あり	言及あり
トドマツ	言及あり	言及あり	言及あり	言及あり	言及あり
コウヨウザン	言及あり	言及あり			
シラカンバ			言及あり	言及あり	
ユーカリ			言及あり	言及あり	
タケ	言及あり	言及あり			

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「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」を基に作成

① 京都プロセスにおける CNF 強化樹脂

緑字：原料名称

CNF配合のメリット・特徴	■ 軽量で高強度、低熱膨張のCNFには構造用途への期待が高い。中でもCNFによる熱可塑性樹脂の補強はガラス繊維代替や低炭素バイオ素材による材料製造の観点から最も関心が集まっている。																																																																																																						
用途に必要な性能／性能評価概要	■ 得られた樹脂複合物を射出成型し曲げ試験用試験片を作成し、曲げ試験に供した。																																																																																																						
CNF利用適性評価結果概要	<p>■ パルプの機械的解繊は、最初にパルプ外側の層が解れ、続いて内側の層が解れていく。このため、京都プロセスにおける変性パルプの解繊には、原料となる木材の密度、早材部と晩材部のコントラスト、比率など、細胞壁の厚さやその分布が影響する。京都プロセスの原料には、トドマツやスギの様な低密度で、細胞の壁が薄く、厚さの変動が小さい木材が適している。</p> <ul style="list-style-type: none"> トドマツを原料に用いた場合は、10%のアセチル化処理パルプの添加で、ナイロン樹脂の弾性率を約2.5倍に、強度を約2倍にまで上げられる。ポリプロピレン樹脂についても相溶化剤や無機添加剤を工夫することで、弾性率、強度をそれぞれ約2倍にまで向上出来ている。 タケよりは広葉樹材、広葉樹材よりは針葉樹材が補強性に優れている。さらに針葉樹材の中でも細胞壁が薄い（低密度）スギやトドマツが京都プロセスの原料には優れている。 スギについては高密度の熊本スギは、茨城、富山のスギに比べ補強性が低いことがわかる。 スギとトドマツを比較すると、トドマツの方が高い補強性を示す。 一般的なコウヨウザンと言える茨城コウヨウザンを用いて試みたところ、このサンプルは富山スギと同じ程度に低密度であり、トドマツに匹敵する補強性を得ることが出来、京都プロセスにおいて有望な原料となるといえる。 <p>注：コウヨウザンは全機関が使用したサンプルで未成熟材のみ。茨城コウヨウザンは森林研究・整備機構林木育種センターに生育したサンプルで15年生以上の成熟材が採取できたため、成熟材と未成熟材を評価。以下同じ。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表 曲げ強度特性</caption> <thead> <tr> <th></th> <th>アセチル化度 DS</th> <th>繊維率 (%)</th> <th>曲げ弾性率 (GPa)</th> <th>曲げ強度 (MPa)</th> <th>伸び (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PA6</td> <td></td> <td></td> <td>2.20</td> <td>98.0</td> <td>>30</td> </tr> <tr> <td>茨城スギ、未成熟</td> <td>0.62</td> <td>12.4</td> <td>3.96</td> <td>131.3</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>茨城スギ、成熟</td> <td>0.65</td> <td>11.9</td> <td>3.88</td> <td>128.7</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>富山スギ、未成熟</td> <td>0.61</td> <td>12.3</td> <td>3.96</td> <td>134.4</td> <td>9.4</td> </tr> <tr> <td>富山スギ、成熟</td> <td>0.55</td> <td>11.3</td> <td>4.02</td> <td>135.9</td> <td>9.2</td> </tr> <tr> <td>熊本スギ</td> <td>0.91</td> <td>9.6</td> <td>3.31</td> <td>117.6</td> <td>9.8</td> </tr> <tr> <td>真庭スギ</td> <td>0.93</td> <td>9.9</td> <td>4.09</td> <td>135.1</td> <td>5.6</td> </tr> <tr> <td>真庭メギ木粉</td> <td>1.0</td> <td>8.7</td> <td>2.84</td> <td>111.7</td> <td>12.4</td> </tr> <tr> <td>トドマツ、未成熟</td> <td>0.62</td> <td>11.2</td> <td>4.21</td> <td>138.0</td> <td>8.4</td> </tr> <tr> <td>トドマツ、成熟</td> <td>0.73</td> <td>10.6</td> <td>4.18</td> <td>134.6</td> <td>8.0</td> </tr> <tr> <td>下川トドマツ、成熟</td> <td>0.85</td> <td>10.5</td> <td>4.17</td> <td>137.6</td> <td>8.8</td> </tr> <tr> <td>トドマツ合板用単板</td> <td>0.71</td> <td>11.5</td> <td>4.45</td> <td>139.4</td> <td>8.3</td> </tr> <tr> <td>トドマツ割き芯</td> <td>0.65</td> <td>10.5</td> <td>3.85</td> <td>128.2</td> <td>10.3</td> </tr> <tr> <td>コウヨウザン</td> <td>0.96</td> <td>10.6</td> <td>3.51</td> <td>119.6</td> <td>10.3</td> </tr> <tr> <td>茨城コウヨウザン、未成熟 (低密度)</td> <td>0.62</td> <td>10.7</td> <td>3.95</td> <td>125.8</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>茨城コウヨウザン、成熟 (低密度)</td> <td>0.61</td> <td>10.5</td> <td>4.13</td> <td>129.1</td> <td>8.4</td> </tr> </tbody> </table>		アセチル化度 DS	繊維率 (%)	曲げ弾性率 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	伸び (mm)	PA6			2.20	98.0	>30	茨城スギ、未成熟	0.62	12.4	3.96	131.3	9.0	茨城スギ、成熟	0.65	11.9	3.88	128.7	9.0	富山スギ、未成熟	0.61	12.3	3.96	134.4	9.4	富山スギ、成熟	0.55	11.3	4.02	135.9	9.2	熊本スギ	0.91	9.6	3.31	117.6	9.8	真庭スギ	0.93	9.9	4.09	135.1	5.6	真庭メギ木粉	1.0	8.7	2.84	111.7	12.4	トドマツ、未成熟	0.62	11.2	4.21	138.0	8.4	トドマツ、成熟	0.73	10.6	4.18	134.6	8.0	下川トドマツ、成熟	0.85	10.5	4.17	137.6	8.8	トドマツ合板用単板	0.71	11.5	4.45	139.4	8.3	トドマツ割き芯	0.65	10.5	3.85	128.2	10.3	コウヨウザン	0.96	10.6	3.51	119.6	10.3	茨城コウヨウザン、未成熟 (低密度)	0.62	10.7	3.95	125.8	8.7	茨城コウヨウザン、成熟 (低密度)	0.61	10.5	4.13	129.1	8.4
	アセチル化度 DS	繊維率 (%)	曲げ弾性率 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	伸び (mm)																																																																																																		
PA6			2.20	98.0	>30																																																																																																		
茨城スギ、未成熟	0.62	12.4	3.96	131.3	9.0																																																																																																		
茨城スギ、成熟	0.65	11.9	3.88	128.7	9.0																																																																																																		
富山スギ、未成熟	0.61	12.3	3.96	134.4	9.4																																																																																																		
富山スギ、成熟	0.55	11.3	4.02	135.9	9.2																																																																																																		
熊本スギ	0.91	9.6	3.31	117.6	9.8																																																																																																		
真庭スギ	0.93	9.9	4.09	135.1	5.6																																																																																																		
真庭メギ木粉	1.0	8.7	2.84	111.7	12.4																																																																																																		
トドマツ、未成熟	0.62	11.2	4.21	138.0	8.4																																																																																																		
トドマツ、成熟	0.73	10.6	4.18	134.6	8.0																																																																																																		
下川トドマツ、成熟	0.85	10.5	4.17	137.6	8.8																																																																																																		
トドマツ合板用単板	0.71	11.5	4.45	139.4	8.3																																																																																																		
トドマツ割き芯	0.65	10.5	3.85	128.2	10.3																																																																																																		
コウヨウザン	0.96	10.6	3.51	119.6	10.3																																																																																																		
茨城コウヨウザン、未成熟 (低密度)	0.62	10.7	3.95	125.8	8.7																																																																																																		
茨城コウヨウザン、成熟 (低密度)	0.61	10.5	4.13	129.1	8.4																																																																																																		

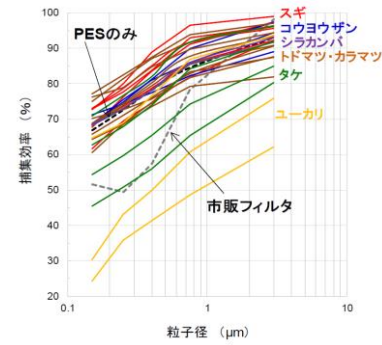
(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価書」を基に作成

図 3-12 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「京都プロセスにおける CNF 強化樹脂」

② エアークフィルタ

緑字：原料名称

<p>CNF配合のメリット・特徴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高分子やセラミックスから作製されたナノファイバークフィルタは圧力損失が小さく、粒子捕集効率とメンテナンス性にも優れた省エネ型の高機能フィルタとして、実用化されている。CNFは直径が約20-40nm程度と小さいため、直径100nm程度の高分子ナノファイバークの形状を大きく変化させることなく添加することができ、さらに、表面に多くの親水性基を持つため、調湿フィルタへの応用が期待できる。
<p>用途に必要な性能／性能評価概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ エアークフィルタの初期性能は、一般に（粒子径別の）粒子捕集効率と（風速別の）圧力損失によって特徴付けられる。 ■ 各種CNFを含むナノファイバーク不織布フィルタを作製し性能の評価を行う。* ■ CNFナノファイバークを含む不織布フィルタの性能の目標値として、空調機・空気清浄機分野で大きな市場の伸びが期待される調湿用の省エネ型中高性能エアークフィルタとしての応用展開が可能な以下の値を設定した。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 圧力損失 < 50 Pa (@5.3cm/sec) ・ 粒子捕集効率 > 65 % (@0.4μm 粒子) ・ 水蒸気除去率 > 15 % （性能測定はJIS B 9908 に準拠） <p>* 高比表面積を維持した状態でCNFのみからなる不織布フィルタを作製することは難しいため、合成高分子（ここでは既に工業的なナノファイバークフィルタとして使用実績のあるポリエーテルスルホン）から作製されるナノファイバーク不織布フィルタにCNFを加え、その添加効果を調べた。</p>
<p>CNF利用適正評価結果概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 作製したCNF含有不織布フィルタの性能は、ほとんどが粒子捕集効率と圧力損失の目標値を達成するものであり中高性能フィルタとしての初期性能を十分に満たすものであった（図）。特に一部のCNFについては、数wt%の添加により、粒子捕集効率に大きな改善が見られた。この際、圧力損失の大きな増加は見られなかった。一方で、CNFによっては添加によってポリエーテルスルホン単体から作製されたナノファイバーク不織布フィルタよりも大きく性能が低下するものもあった。水蒸気除去率については、作製したCNF含有ナノファイバーク不織布フィルタとCNFを吸湿剤として用いたプレフィルタを組み合わせることで目標値を達成できることを確認した。 ➢ 粒子捕集効率については明確な樹種依存性が見られ、さらにCNF化方法（WJ法と酵素・湿式法）の違いによっても樹種依存性の序列に違いが見られた。



図：作製したCNF含有ナノファイバーク不織布フィルタの初期性能（粒子径別初期捕集効率）

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「セルロースナノファイバーク利用促進のための原料評価書」を基に作成

図 3-13 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「エアークフィルタ」

③ 接着剤（化粧合板用）

緑字：原料名称

<p>CNF配合のメリット・特徴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 合板は、薄板（単板：ベニヤ）を繊維方向が90°になるようにして、互い違いに奇数枚重ね、接着剤で接着して熱圧プレスして作られる建材である。普通合板の表面に、天然銘木の薄い単板（突板）を貼り、住宅の内装用や家具用に用いられる合板が化粧合板である。化粧合板用接着剤にCNFを配合して突板を熱圧接着したところ、熱圧時間を短縮しても同じ強度が得られる場合があることが分かった。
<p>用途に必要な性能／性能評価概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 化粧合板の接着性能を上げるために、CNFが利用できるかどうかを明らかにする。具体的には、接着剤にCNFを添加し、熱圧プレスする時間を60秒から40秒に減らしても、60秒と同様の接着性能強度を保つことを目的とした。また、合板の日本農林規格（JAS特殊合板・2類浸せき剥離試験）に準拠した試験において、同一接着層において剥離が生じないことも目的とした。 ■ 評価項目は、初期接着性能と浸漬剥離、接着剤の粘度とした。
<p>CNF利用適正評価結果概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ シラカンバ未成熟材漂白AQパルプ由来TEMPO処理CNFとカラマツ成熟材漂白AQパルプ由来酵素・湿式法CNFが40秒プレスで未処理と同じ初期接着強度を示した。初期接着強度が若干劣るものを含めると、針葉樹KP由来の斜向衝突法CNF、トドマツとカラマツの成熟材KP由来のTEMPO処理法CNF、シラカンバとユーカリのKP由来酵素・湿式法CNFが適性を示した。 ■ 全体的に、未成熟材由来よりも成熟材由来がよい傾向があり、パルプ漂白有無の影響は少なかった。

サンプル	CNF 濃度(%)	総合評価	粘度(ブランク=1)	浸漬剥離
ブランク 60 秒	0	○	1	◎
ブランク 40 秒	0	△	1	◎
シラカンバ未成熟漂白ソーダ AQ-TEMPO	0.56	○	2.50	◎
カラマツ成熟漂白ソーダ AQ-En	0.56	○	2.90	◎
茨城スギ成熟未漂白 KP-OC *1	0.56	○-	3.44	◎
茨城スギ未成熟未漂白 KP-OC *1	0.56	○-	2.92	◎
富山スギ成熟未漂白 KP-OC	0.56	○-	2.92	◎
熊本スギ成熟未漂白 KP-OC	0.56	○-	3.33	◎
熊本スギ成熟未漂白 KP-OC	0.56	○-	3.33	◎
トドマツ成熟漂白 KP-TEMPO	0.56	○-	2.33	◎
カラマツ成熟漂白 KP-TEMPO	0.56	○-	2.06	◎
シラカンバ成熟漂白ソーダ AQ-En	1.11	○-	3.61	◎
ユーカリ未成熟漂白 KP-En	1.11	○-	3.89	◎

表：化粧合板接着性能結果（総合評価=○までの上位を抜粋表示）
注：赤字は、接着剤についてブランクを1とした場合の2.5倍濃度までの粘度の指標を示す。
*1は2018年2月に試験、その他は2017年度に試験。（表のうち、非掲載部分に、2018年度試験対象あり）

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「セルロースナノファイバーク利用促進のための原料評価書」を基に作成

図 3-14 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「接着剤（化粧合板用）」

④ 増粘剤（化粧合板用）

緑字：原料名称

CNF配合のメリット・特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFには増粘作用があるので、水にとろみをつけたり、粘っこいゲル状にしたりできる。同時に、高いチキソ性が付与される。 																					
用途に必要な性能／性能評価概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 増粘剤に必要な特性は、第一に増粘作用があることである。次に、用途ごとで要求特性が異なるが表に示す流動特性が重要である。 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>流体</th> <th>性質</th> <th>増粘剤</th> <th>具体的製品</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ニュートン流体</td> <td>ひずみ速度に関わらず粘度が一定</td> <td>アラビアガム ポリビニルピロリドン</td> <td>潤滑油、グリセリン</td> </tr> <tr> <td>チキソトロピー流体</td> <td>ひずみ速度が大きいほど粘度低下</td> <td>カルボキシメチルセルロース、キサンタンガム</td> <td>塗料、インク</td> </tr> <tr> <td>塑性流体</td> <td>降伏値を持つ ひずみ速度が大きいほど粘度低下</td> <td></td> <td>軟膏、バター、練り歯磨き</td> </tr> <tr> <td>ダイラント流体</td> <td>ひずみ速度が大きいほど粘度増加</td> <td>デンプン粉末</td> <td>水溶性片栗粉</td> </tr> </tbody> </table>	流体	性質	増粘剤	具体的製品	ニュートン流体	ひずみ速度に関わらず粘度が一定	アラビアガム ポリビニルピロリドン	潤滑油、グリセリン	チキソトロピー流体	ひずみ速度が大きいほど粘度低下	カルボキシメチルセルロース、キサンタンガム	塗料、インク	塑性流体	降伏値を持つ ひずみ速度が大きいほど粘度低下		軟膏、バター、練り歯磨き	ダイラント流体	ひずみ速度が大きいほど粘度増加	デンプン粉末	水溶性片栗粉
流体	性質	増粘剤	具体的製品																			
ニュートン流体	ひずみ速度に関わらず粘度が一定	アラビアガム ポリビニルピロリドン	潤滑油、グリセリン																			
チキソトロピー流体	ひずみ速度が大きいほど粘度低下	カルボキシメチルセルロース、キサンタンガム	塗料、インク																			
塑性流体	降伏値を持つ ひずみ速度が大きいほど粘度低下		軟膏、バター、練り歯磨き																			
ダイラント流体	ひずみ速度が大きいほど粘度増加	デンプン粉末	水溶性片栗粉																			
CNF利用適性評価結果概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFはその原料と製法の違いにより、低粘度から高粘度までの粘度を与える増粘剤であり、その粘度範囲は実用的な範囲であった。CNFの流動特性は表に示す粘性流体のうちチキソトロピー流体に該当する。CNFのチキソ性は中程度からかなり大きい範囲であり、粘度の割に非常に大きいことが特徴である。 ■ クラフト蒸解パルプをTEMPO処理法でCNF化すると粘度、チキソ性ともに最も高い増粘剤が得られる。ソーダAQ蒸解パルプをTEMPO処理法でCNF化した場合には比較的低粘度でチキソ性が中程度の増粘剤が得られる。WJ法でCNF化した場合は両社の中間的な粘度とチキソ性の増粘剤が得られる。酵素・湿式法によるCNFを除くと、粘度とチキソ性には正の相関がみられた。酵素・湿式法によるCNFは低粘度であっても高いチキソ性を示した。 ■ CNFの製造コストは化学処理時の収率が高く、少ないエネルギーで解繊できる原料樹種（カラマツ、トドマツ、熊本スギ等）を選択すると製造コストで有利となる。 																					

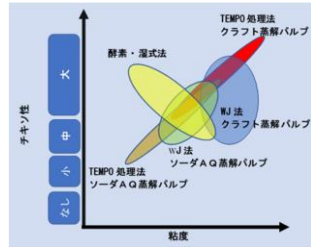


図 CNFの年度とチキソ性の分布

(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「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」を基に作成

図 3-15 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「増粘剤」

(3) 課題3 事業規模に応じた需要確保・コスト削減・リスクマネジメントへの対応

CNF 関連産業を成立させ、地域循環共生圏の実現・成長を図るには、地域圏を中心とする需要の特性・規模を踏まえた CNF 製造事業の設計、並びに、CNF 製品製造サプライチェーンの構築が重要です。その際には、CNF 製造事業における初期投資額の低減や、原料の安定的な確保などの課題が生じます。

地域圏で CNF 関連産業を成立させるスキームは様々ですが、CNF 製造から CNF 製品製造までを一定の地域圏で成立させる際には、事業者における経済的メリットの 1 つとして、輸送コストの削減が想定されます。一方で、輸送単価は輸送量が小さいほど高くなる傾向があり、個々の取引量が少ない中小規模の CNF 製造事業者ほど、CNF 価格に対して割高な輸送コストが加算され、地域圏で産業創出するメリットを最大化できない課題が生じ得ます。

この場合、取引量を左右することは困難であるため、サプライチェーン構築の観点からの対策が考えられます(図 3-16)。CNF 製造拠点の移転は、移転先を製品製造事業者の拠点とする事で、技術開発・製品開発において、製品製造事業者と密接に連携することが可能になります。また、目的等によっては、移転先を原料調達元とする事なども考えられます。

■ 輸送コスト撤廃のための製造拠点の移行

CNF 製造設備のサイズが小規模である場合、製品製造事業者の拠点内に CNF 製造設備を設置し CNF 製造することで、輸送コストそのものを削減可能となる。

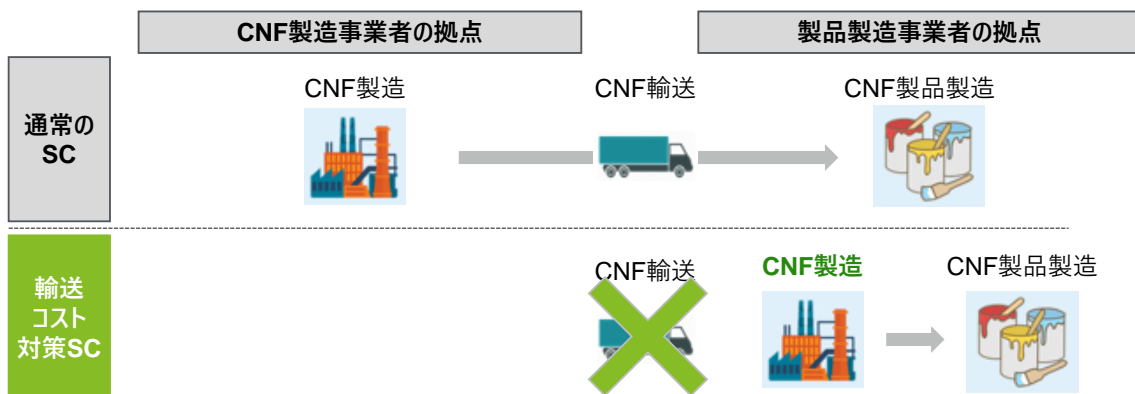


図 3-16 CNF の形状に伴う輸送コストの高額化への対応事例

3.3.4 CNFによる地域産業創出 地域経済効果試算のケーススタディ

本項では、CNFによる地域産業創出をした場合の経済波及効果を、ケーススタディとしてモデルシミュレーションした結果を紹介します。

3.3.4.1 検討対象のCNF製造事業のモデルケース

ケーススタディは、2種類のCNF製造事業者のビジネスモデルを例に実施しています。1つ目は少量生産高価格モデル、2つ目は大量生産低価格モデルです。

少量生産高価格モデルは、中小規模のCNF製造事業を想定しています。市場規模は大きくなくとも、高価格帯で販売可能な用途をターゲットとして事業展開するモデルであり、具体的なターゲットには医療用樹脂や、少量添加で必要な機能を満たすことができる増粘剤用途等が想定されます。また、個々の取引量も小規模であり、輸送コストの高額化生じる懸念があるモデルです。

大量生産低価格モデルは、製紙会社など、既にパルプを取り扱う事業者が、追加的にCNF製造事業を展開するといった、大規模なCNF製造事業者を想定しています。低価格なCNFの製造・販売を目標として、大規模な市場を狙って事業展開をするモデルです。既存の事業と同様に、原料は国外から調達することが想定され、具体的なターゲットは、自動車産業等が想定されます。個々の取引量も大規模となるため、輸送効率は高く、輸送コストの影響は受けづらいモデルになります。

表 3-14 2種類のCNF製造事業モデル

モデル	内容(例)
少量生産高価格モデル	<ul style="list-style-type: none">・域内から原料を調達・域内の材料開発事業者がCNFを製造・主に域内メーカーに高価格帯製品用としてCNFを利用
大量生産低価格モデル	<ul style="list-style-type: none">・域外(国外を含む)から原料を調達・域内に有する製紙会社等大手事業者がCNF製造・域内外メーカーに低価格製品用としてCNFを利用

3.3.4.2 地域産業創出による地域経済波及効果のシミュレーションケーススタディ

CNF製造事業モデルごとに、地域経済波及効果のシミュレーションの概要・結果を以下に紹介します。シミュレーションは、2段階で進めています。1段階目は、CNF製造事業の事業性の検証。2段階目は、検証したCNF製造事業モデルと地域の需要を踏まえた、地域サプライチェーンの策定と地域経済効果の試算です。コストや生産量等の定量情報、ターゲット製品等の要件は、CNF製造事業者や有識者等へのヒアリング、公開情報調査を踏まえ設定しています。

複数の仮定に基づくケーススタディであることを踏まえ、地域産業創出の検討に活用ください。

(1) 少量生産高価格モデル

STEP1		【想定する事業の概要】	
<p>■ 対象地域：化学産業が集積する工業地帯内に CNF 製造プラントを設置 工業地帯全体の 製品出荷額は 3.9 兆円。そのうち約 9 割が化学系の製品製造 によるもの。</p> <p>■ 原料・CNF 製造方法：県内の木材由来のパルプから、機械解繊処理で CNF 製造</p> <p>■ CNF 形状：5%固形分 CNF 水分散体（ペースト状）</p> <p>■ CNF の利用用途：機能性添加材（インク、塗料、化粧品増粘剤等）</p> <p>■ 事業主体 ・ CNF 製造：中小規模の新会社（新規プラント） ・ CNF 製品製造：工業地帯を中心とする化学品メーカー</p>			
STEP2	【CNF 製造事業者の事業計画】	STEP3	【各種シナリオ分析】
<p>■ CNF 製造・販売量：1,000 t /年 ※5%固形分</p> <p>■ CNF 販売価格：500 円/kg ※5%固形分</p> <p>■ 製造能力：1,000t/年(200t/台×5 台)</p> <p>■ 年間稼働日数：290 日、事業期間：15 年</p> <p>■ 総事業費 ・ 初期投資額：約 4.8 億円、 ・ 年間支出額：約 1.9 億円/年</p> <p>(参考) 生産量をパラメータに 200t/年ごとのシナリオについて事業性を検証したところ、事業の安定には 600t/年以上が望ましい という結果になった。</p>		<p>STEP2 の一部費用を変動させ、事業の安定性を検証した。</p> <p>■ 人件費に関するシナリオ分析 ・ 人件費を 10 万~30 万円/日で増減させシナリオ分析をした結果、26 万円/日*以下で初年度から単年度黒字 となった。 *班長 1 人(8 万円/日)、副班長 1 人(6 万円/日)、班員 3 人(4 万円/日)</p> <p>■ その他シナリオ分析 ・ 以下の費用を（カッコ）内の幅で増減したシナリオ分析をそれぞれ行くと、いずれの場合も PIRR、EIRR、DSCR 全ての目安値を達成可能 であると確認した。 初期投資額 (-20%~+20%増減)、金利(2%~4%増減)、販売価格(-5%~+3%増減)、年間支出額(-8%~+8%増減)</p>	
STEP4			
【地域産業創出サプライチェーンの構築方針】			
<p>■ 本ケースでの方針：輸送サービスを必要としない距離圏内でのサプライチェーン構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF 販売価格には、CNF 製造コストに加え、輸送コストが含まれる。輸送コストは、輸送量と輸送距離で変化するが、少量輸送の場合、輸送費は割高となる傾向がある。 ・ 本プラントは個々の取引が少量であるため、割高に生じる輸送コストを削減し、地域サプライチェーンのメリットを最大化するために、輸送の生じないサプライチェーンを構築する。 ・ 具体的には、輸送サービスを利用せず取引可能な、工業地帯内の近隣メーカーを主な取引対象として、当該取引圏を地域産業サプライチェーンとする。 			
STEP5	【需要試算時の主な仮定】	Output	【地域経済への波及効果】
<p>■ 増粘剤用途の製品へ 5%固形分 CNF を 0.8%添加</p> <p>■ 市場の 50%（企業の半数）へ CNF 製品が普及</p> <p>■ CNF 利用企業の 売上が 10%増加</p> <p>■ CNF 利用製品の 製品単価が 10%上昇</p> <p>■ CNF 製造は、地域産業サプライチェーンの 外部への販売も含め、合計 915t/年を製造・販売</p> <p>■ 需要確保のため、自治体が地域コンソーシアムを設置・運営。(3,000 万円/年×15 年)</p>		<p>■ 化学産業における需要創出額：約 126 億円</p> <p>■ 本ケース全体（CNF 製造・CNF 製品製造・プラント設置）による需要創出額：約 199 億円</p> <p>■ 自治体支援に対する ROI：4,425%</p> <p>■ 就業誘発効果（県全体）：628 人/年 (+0.02%) ※ CNF 製品製造のみ：85.8 人/年 (+8.8%)</p> <p>■ 製品メーカーにおける賃金上昇効果 : 平均時給上昇額 502.4 円/時 (+16.7%)</p>	
Point			
【事業成立のポイント】			
<p>■ 一定の距離圏内での SC を最大限活用するには、圏内に産業が集積している必要と、圏内需要を確保するために、地域コンソーシアム等を活用し、企業間のつながりを面的に創出することが有効。</p>			

(出典) 経済産業省 工業統計調査、ヒアリング結果等より試算

(2) 大量生産低価格モデル

【想定する事業・事業スキーム】	
<p>■ 対象地域：輸送機械のほかパルプ産業及び化学産業が集積する工業地帯内に CNF 製造プラントを設置 都道府県全体の 製品出荷額は 35 兆円。そのうち約 3 割が輸送機械、パルプ、化学産業によるもの。</p> <p>■ 原料・CNF 製造方法：地域外の木材由来のパルプを調達・京都プロセス</p> <p>■ CNF 形状： CNF (30%) MB (マスターバッチ)</p> <p>■ CNF の利用用途： 普通自動車の鉄・アルミ製の車体やシャシーの部材を CNF 複合材に代替</p> <p>■ 事業主体・CNF 製造：既存の製紙会社等大規模事業者 ・ CNF 製品製造：普通自動車の鉄・アルミ製部材を製造する事業者</p> <p>■ 事業スキーム</p>	
<p>原料調達：プレイヤ、域内、国内、海外 原料パルプ 15,800トン/年 輸送 CNF製造：域内の製造事業者 ※製紙会社等の大規模を想定 変性パルプ 12,000トン/年 (歩留り率0.95) 無水酢酸 27,900トン/年 酢酸外販 29,500トン/年 輸送 CNF製品製造：域内メーカー ※化学系メーカーを想定、域外メーカー ※化学系メーカーを想定 ポリプロピレン 29,500トン/年 MB(CNF30%)製品 40,000トン/年 (歩留り率0.95)</p>	
STEP2 【CNF 製造事業者の事業計画】	STEP3 【CNF 製造事業の事業収支シミュレーション結果】
<p>■ CNFMB 販売量： 40,000 t /年</p> <p>■ 製造能力： 43,000 t /年</p> <p>■ 年間稼働日数：300日、事業期間：15年</p> <p>■ 総事業費 ・初期投資額：約 97.4 億円 ・年間支出額：約 345.6 億円/年</p>	<p>・ MB の 販売価格が 776 円/kg で単年度収支が黒字となる。</p> <p>・ 780 円/kg 以上で安定的な事業が見込める。</p>
STEP4 【各種シナリオ分析】	Output 【地域経済への波及効果】
<p>■ 事業規模に関する分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 生産量 2 万 t/年の場合、MB の販売価格が 815 円/kg で単年度黒字になる。 ・ 生産量 1 万 t/年の場合、MB の販売価格が 860 円/kg で単年度黒字になる。 <p>■ その他シナリオ分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 販売単価 776 円/kg を基本ケースとしてシナリオ分析を行った。 ・ 事業費が-20%から+20%に変動した場合、変動は比較的滑らかである。 ・ 販売単価が-5%～+4%に変動した場合、事業性指標の感度は大きかった。 	<p>■ CNF の地域利用の主な仮定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車用途として使用する際は、の CNF10%複合材 (CNFMB (30%) +PP) を用いる。 ・ 地域内における自動車生産台数：110 万台/年 ・ 本モデルにおける自動車部材の製造規模：約 48 万台/年 ⇒地域内で利用可能と仮定 <p>■ 試算の結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地域の需要創出額は、1,270 億円になる見込み。 ・ 総合効果で 2,076 億円と推計。 ・ 地域の実質 GDP 伸び率は、約 4%になる見込み。 ・ 地域の 就業誘発者数は、約 3,200 人になる見込み。

■ 一定規模の需要が必要かつ環境価値の帰属先が自動車ユーザーとなるため、マッチング機会の創出や業界と連携等を行い CNF の価値を実感できる主体を増やす。

■ さらに、販売価格の安定化を図るため、自動車会社との契約形態（長期契約等）を工夫する。また、原料調達コストに関連する事業者を巻き込んだ実施体制をとる。

※なお、自動車産業への部品を供給する場合は、プラント完成してから2年間程度は承認に時間を要するが、本検討では考慮していないため導入にあたっては留意する必要があります。

（出典）経済産業省 工業統計調査、ヒアリング結果等より試算

コラム3 : CNF の環境価値について

CNF 複合材は、代替材よりもコスト高になったとしても、それによる付加価値（環境価値を含む）が見込めるのであれば、市場に受け入れられるのではないのでしょうか。

ここでは、自動車用 CNF 複合材が 800 円/kg の場合の、代替材である鉄（SS400 相当、100 円/kg とする）と比較した結果を図 - 1 に示します。

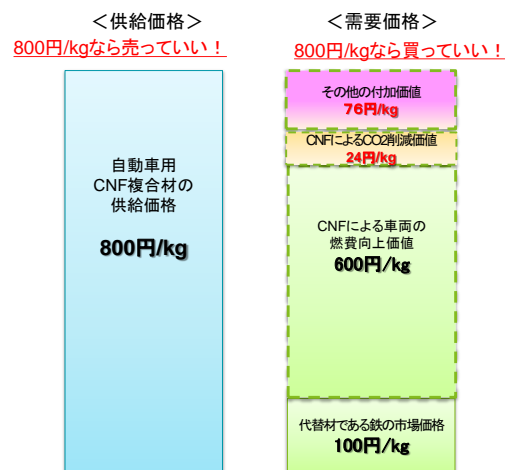


図 3-17 自動車用 CNF 複合材の供給価格と需要価格の比較

CNF 複合材と代替材の価格差は 700 円/kg ですが、CNF 複合材による車両の燃費向上価値が 600 円/kg 分あるとすれば、その差は 100 円/kg となります。

加えて、CNF の CO₂ 削減価値として、NCV プロジェクトの CO₂ 削減効果を現在の欧州排出量取引制度（EU-ETS）市場単価相当である 3,500 円/tCO₂ で貨幣換算すると 24 円/kg となります。でもまだ 76 円/kg の差が残っています。

ですが、CO₂ 削減価値は将来的には増加するものと考えられ（図 3-18）、CO₂ 削減価値が 18,750 円/tCO₂ になれば理論的には供給価格と需要価格は釣り合うこととなります。

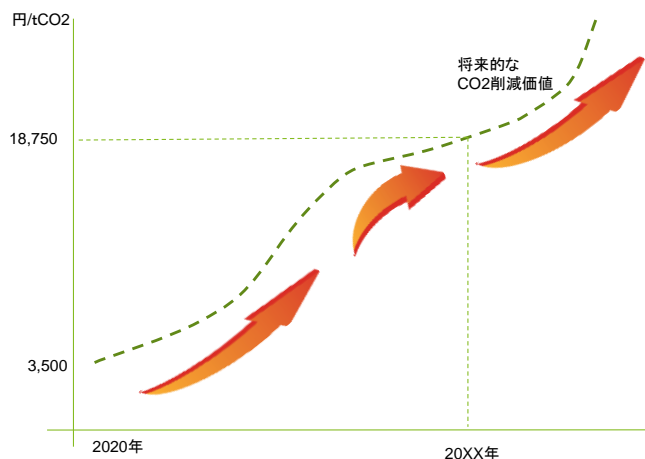


図 3-18 CO₂ 削減価値の将来的な推移（イメージ）

これはあくまでも一つに試算であり、低燃費車や電気自動車が普及すれば一般的には燃費向上価値は小さくなります。一方で、CNF の付加価値としては燃費向上や CO₂ 削減以外にも考えられます。CNF の付加価値を世の中に広く知ってもらうことによって、CNF 製品の普及拡大は案外早く実現できるのではないのでしょうか。

第4章 CNFのリサイクル

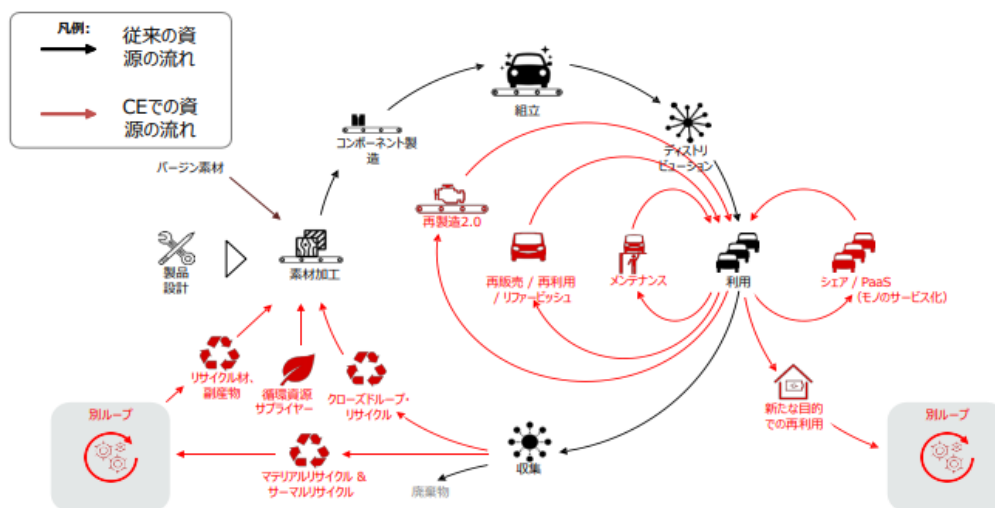
4.1 循環経済に関するCNFの有用性

4.1.1 循環経済に関する社会動向

日本ではこれまでに、循環型社会形成を目指して 3R（Reduce リデュース、Reuse リユース、Recycle リサイクル）に取り組む、廃棄物最終処分場の残余年数増加やリサイクル率の向上等、資源循環の領域で世界をリードしてきました。一方、国内外の経済社会情勢は、世界的な人口増加と経済成長、デジタル技術の発展と市場・社会の環境配慮要請の高まりを背景に、大量生産・大量消費型の線形経済から循環経済へ移行する転換期にあります。循環経済は、世界的には「サーキュラーエコノミー」と呼ばれ、資源を効率的に循環させながら付加価値を生み出すことで経済成長と環境保全の両面にアプローチする経済システムへの移行が求められています。循環経済のイメージを図 4-1 に示します。

サーキュラーエコノミーに移行することによる経済効果は 2030 年までに 4.5 兆 US ドル（約 460 兆円）に上ることが予想されており、EU（European Union 欧州連合）では「国際競争力の向上」、「持続可能な経済成長」、「新規雇用創出」などが期待されています。2015 年 12 月に欧州委員会は、2030 年に向けた成長戦略の核として「サーキュラーエコノミーパッケージ」を発表し、2020 年 3 月 11 日には、EU 全域でサーキュラーエコノミーを加速させるための新計画「新循環型経済行動計画（New Circular Economy Action Plan）」を公表しています。

これらの経済社会情勢を受けて、化石資源由来の素材からバイオマスや生分解性素材等の再生可能資源への転換が図られており、植物由来素材でかつリサイクルが可能な CNF の活用が期待されています。



（出典）経済産業省「循環経済ビジョン 2020」

<https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200522004/20200522004-1.pdf>

図 4-1 循環経済とは

4.1.2 循環経済に有用な CNF の特性

CNF は、類似素材である GFRP（ガラス繊維）、CFRP（炭素繊維）、アラミド繊維などと比べて高いリサイクル性を持つと言われています。特に CNF と同様に高い機械物性を持つ GFRP や CFRP と比較すると、CNF はマテリアルリサイクル時に繊維破断が少なく、繰り返しリサイクルしても物性の低下が少ないことが確認されています¹³。また、CNF は植物由来素材であるため燃焼性を持ち、紙やプラスチックと同じようにサーマルリカバリーが可能です。表 4-1 に CNF、GFRP、CFRP のマテリアルリサイクル・サーマルリカバリーの比較を示します¹⁴。

表 4-1 CNF、GFRP、CFRP のマテリアルリサイクル・サーマルリカバリーに関わる特性の比較

		マテリアルリサイクルに関わる特性	サーマルリカバリーに関わる特性
概要		廃プラスチック類などを破碎溶解などの処理を行った後に同様な用途の原料として再生利用する ¹⁵ 。	廃プラスチック類などを主燃料あるいは助燃材として利用することにより、その燃焼処理により得られる熱量を原料等の製造工程などに有効利用する ¹⁶ 。
材質	CNF 複合材	マテリアルリサイクル時の繊維破断が少なく、物性の低下が少ないため可能性は高い。	原料が木材等であり、燃焼する材料であるため、サーマルリカバリーが可能である。
	GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）	高い耐熱性により処理が難しく、マテリアルリサイクルを行うと繊維長が短くなり利用価値が低下するため、可能性が低い。	不燃性・難燃性・耐熱性という性質から、処理効率等の課題があり、可能性は低い。
	CFRP（炭素繊維強化プラスチック）		

（出典）環境省「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報告書」を基に作成

4.2 CNF 製品・素材のリサイクルの可能性

4.2.1 想定可能な CNF 製品・素材のリサイクル

CNF 素材には、CNF+熱可塑性樹脂、CNF+熱硬化性樹脂、CNF100%材、CNF+ゴム、CNF 使用発泡断熱材などがあります。複合化する熱可塑性樹脂としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS、塩化ビニル、ナイロン 6、ポリエステルなどがあります。熱硬化性樹脂としては、エポキシやフェノールなどがあります。CNF+熱可塑性樹脂はマテリアルリサイクルできることが一部実証されています。CNF 素材の各種類とリサイクルの可能性を表 4-2 に示します。

¹³ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 30 年度）

¹⁴ 廃プラスチック類など廃棄物を化学的に分解して石油原料等を得て製品原料（元の製品であるかは問わない）として再利用するケミカルリサイクルは、CNF のリサイクルではなく樹脂のリサイクルとなるため、本ガイドラインでは扱わない。

¹⁵ 「5 章 リサイクルシステム」（経済産業省、『3R 政策』、pp170、2019 年）

¹⁶ 「5 章 リサイクルシステム」（経済産業省、『3R 政策』、pp170、2019 年）

表 4-2 CNF 素材の種類とリサイクルの可能性

手法 \ 素材	CNF+ 熱可塑性樹脂	CNF+ 熱硬化性樹脂	CNF100%材	CNF+ゴム	CNF を活用した発泡断熱材
マテリアルリサイクル	可能であり、物性が低下しないことが一部実証されている ¹⁷	可能性はあるが、実証されていない	可能性があるが、実証されていない	可能であり、一部実証されている	困難
サーマルリカバリー	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる	有効と考えられる

(出典) 環境省「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報告書」及び環境省 CNF 事業の各報告書を基に作成

4.2.2 CNF 複合材に活用可能と考えられるリサイクル技術

(1) CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程

マテリアルリサイクルの一般的な工程は、回収、異物除去、選別、破碎、洗浄、調質、造粒の主要 7 工程で構成されます。CNF 複合材（CNF100%材以外の CNF 素材を“CNF 複合材”とする）は、工程の「6.調質」では、マテリアルリサイクルした CNF 複合材にバージン CNF を添加することで物性が初期値に戻る可能性が示唆されています。CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）を表 4-3 に示します。

表 4-3 CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）

工程	内容	回収リサイクル方法	
		工程内	市場回収
1.回収	市場に出て使用済みの混入製品を回収する		↑ ↓
2.異物除去	回収した製品に付設・付着する部品、ネジ、表示ラベルなどを除去する		
3.選別	高純度（99%以上）の単一材質として選別する	↑ ↓	
4.破碎	調質器や造粒器に使える大きさ（約 10mm）に破碎する		
5.洗浄	ほこりや表面異物を水などで洗浄除去する		
6.調質	用途に合わせた物性にするために調質剤を添加する		
	リサイクルした CNF 複合材にバージン CNF を添加する		
7 造粒	市販商品として数 mm 円柱状のペレットにする		

(出典) 一般社団法人廃棄物資源循環学会、リサイクルシステム・技術研究部会著「プラスチックリサイクル入門」を基に作成

(2) 工程内リサイクルと市場回収リサイクル

マテリアルリサイクルはリサイクルする素材の回収段階で、工程内リサイクルと市場回収リサイクルに区別されます。工程内リサイクルとは、CNF 複合材の製造時に発生する端材をリサイクルすることで、組成がほぼ一定で、物性劣化が少ないものをリサイクルするため、比較的容易とされています。

¹⁷ 『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（CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発）成果報告書』（パナソニック株式会社、平成 31 年度）

一方、市場回収リサイクルは、市場で製品として利用したものを回収し、リサイクルすることです。組成が不均一で、市場で物性劣化しているものをリサイクルするため、異物除去及び選別が工程内リサイクルに比べて難しくなります。表 4-4 では工程内リサイクルと市場回収リサイクルの概要を示しています。

表 4-4 CNF 複合材の工程内リサイクルと市場回収リサイクルの概要

回収方法	概要
工程内リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF 複合材の製造時に工場で発生する端材を利用する。 ■ 組成はほぼ一定である。 ■ 市場で利用されていないことから、物性低下等の可能性は低い。 ■ 環境省事業等の実証において、既に製造プロセスでの端材は再利用されている。
市場回収リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF 活用製品として市場で利用され、リサイクル施設に運ばれてきた物質を利用する。 ■ 組成は不均一である。 ■ 物性低下等の可能性がある。 ■ 異物除去及び選別が難しく、高速選別技術の精度向上が必要である。

(3) 選別技術

CNF 複合材に適用可能な選別技術として、水比重選別、中赤外線選別、近赤外線選別、静電分離が平成 29～31 年度（2017～2019 年度）環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業で検討されました。各選別技術の概要と CNF 複合材への適用可能性を表 4-5 に示します。光学分離（中赤外線選別と近赤外線選別）及び静電分離は CNF 複合材への適用可能性が実証されています¹⁸。ただし、市場回収リサイクル等に利用する場合、回収される CNF 複合材の物性が不均一で、かつ樹脂の種類が多様であるため、より高精度の選別技術開発が必要とされます。

表 4-5 選別技術の概要と CNF 複合材への適用の可能性

選別技術	技術の概要 ¹⁹	CNF 複合材への適用の可能性
水比重選別	水を媒介にして水に浮く樹脂を回収し、水に沈んだ樹脂を比重調整した塩水でさらに分離回収する工法	CNF 含有率によっては比重が大きく変動することが予想されるため、水比重選別は CNF 複合材の選別に適用できない可能性がある。
中赤外線選別	中赤外線を照射して、樹脂種ごとの吸光スペクトルの違いを利用して樹脂種を選別する工法	濃色樹脂の検出において、CNF 含有率 55%以上の製品を識別できる。
近赤外選別	近赤外線を照射して、樹脂種ごとの吸光スペクトルの違いを利用して樹脂種を選別する工法	CNF 含有率 10%の CNF と PP の複合材料を選別できる。
静電分離	互いに摩擦させることで、一方が正に、他方が負に帯電する現象を利用して樹脂を選別する工法	比重が同程度のプラスチックと混合しても選別ができるが、多くの素材が混合している場合、他の選別技術と組み合わせる必要がある ²⁰ 。

¹⁸ 『環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業』（環境省、平成 29 年～31 年度）

¹⁹ 「廃プラスチック選別技術の動向」、（伊藤真由美、恒川昌美共著、『資源と素材』Vol.122、2006 年、p.142 - 149）

²⁰ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 31 年度）

4.3 環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業の概要と成果

4.3.1 環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業の概要

平成 29 年～31 年度（2017～2019 年度）環境省の CNF リサイクルの性能評価等事業では、トヨタ車体株式会社、パナソニック株式会社、国立大学法人静岡大学が CNF 複合材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の実証を行い、課題を明らかにし、課題解決に係る方向性を示しました。

(1) CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する評価結果

CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討では、工程内リサイクル及び市場回収リサイクルと CO₂ 削減効果の検討がトヨタ車体株式会社によって行われました。表 4-6 に成果を示します。

表 4-6 CNF を用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討の概要²¹

代表事業者名	トヨタ車体（株）
事業期間	平成 29～31 年度
地域	愛知県豊田市
調査概要	・自動車用金属部品の樹脂代替を狙い、高強度かつ低比重なセルロースナノファイバー（CNF）強化樹脂（CNFRP）を用いて、自動車部品の開発が進められている。LCA 全体での環境負荷低減を達成するために、CNFRP を用いた自動車部品のリサイクル性について検討を行った。
CNF 製品用途	自動車部品
調査項目	・自動車部品製造時に排出される CNFRP の射出成形廃材を再度製造に使うための手法の検討（部品製造工程で発生する CNFRP の端材のリサイクル性についての検証） ・市場回収 CNFRP をリサイクルするための手法の検討（CNFRP を使った部品が使用され廃棄されるとき CNFRP の性能の検証）。
成果	
部品製造工程で発生する CNF のリサイクル	・自動車部品製造時に排出される CNFRP の射出成形廃材は、内部が蓄熱して CNFRP の酸化劣化が発生して機械特性が低下する。CNFRP のバージン材に 30%以下の比率で混合すれば CNFRP のバージン材とほぼ同等の機械特性を確保できる。
市場回収 CNF のリサイクル	・使用済み部品の水平リサイクルを想定した耐熱試験及び耐光試験後、CNFRP 中に含まれる酸化防止剤、耐光剤が消失するため、リサイクル時には酸化防止剤、耐光剤を追加添加する必要がある。 ・廃車時、ASR(Auto mobile Shredder Residue)中に CNFRP が混合した場合の選別には静電分離や光学分離（赤外分光）がある程度、有効である。
CO ₂ 削減効果（廃棄・リサイクル）	・CNFRP のリサイクル材を用いることで、CNFRP のバージン材のみを使用するよりも CO ₂ 排出量は 70%以上の削減を見込める。

²¹ 『セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業委託業務（セルロースナノファイバーを用いた自動車部品のリサイクル性に関する検討）成果報告書』（トヨタ車体株式会社、平成 29 年度～31 年度）を基に整理。

(2) CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発に関する評価結果

CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発が、パナソニック株式会社により行われました。選別工法と再生工法技術を開発し、各工程の技術的課題と今後の展開を提示しています。表 4-7 に成果を示します。

表 4-7 CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発の概要²²

代表事業者名	パナソニック（株）
事業期間	平成 29～31 年度
地域	大阪府門真市
調査概要	CNF 複合樹脂を適用した使用済み家電製品を対象とし、その解体工程で生じるシュレッダーダスト（混合樹脂等）から、効果的に CNF 複合樹脂を選別回収・再生することで、単純焼却からマテリアルリサイクルへ変革させ、CO ₂ 削減を図る。
CNF 製品用途	家電製品
調査項目	・選別工法の開発（近赤外線／中赤外線） ・再生工法の開発
成果	
選別工程	・中赤外線スペクトル検出の性能評価の結果、濃色系樹脂においても樹脂種の判定は可能だが、CNF 含有無については、CNF15%程度の含有率では検出は非常に困難である。濃色樹脂の CNF 複合樹脂検出においては、CNF 含有率 55%程度で判別の可能性がある。
再生工程	・再生リサイクルペレット作製時に、複合化した CNF の凝集・膨張・断裂等の防止・抑制が課題であり、熔融混練押出方式での高温下では CNF の炭化が進む。添加剤処方有り無しに関わらず再生工程時に熔融温度を適切に抑制し、押出成形する工法で検証を行った。CNF-PS は材料投入部で 150℃、シリンダ内材料混練域で 180～200℃が好適である。5 回繰返し成形で機械物性の保持率は平均で 95% 以上であった。CNF-PS においても酸化防止剤処方による効果検証を実施し、熱酸化劣化に対しては処方の有無による効果に差異は見られなかった。 ・再生処方・工法の見極め検証評価を実施し、混練押出時のスクリーンメッシュサイズの適正な仕様を見出した。

²² 『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（CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発）成果報告書』（パナソニック株式会社、平成 29 年度～31 年度）を基に整理。

(3) 樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価結果

樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価では、マテリアルリサイクル技術の実証、マスターバッチの作成及び CO₂ 削減効果の検討の結果を示しています。また、CNF 素材のリサイクルの社会実装に関する検討を行っている。表 4-8 に成果を示します。

表 4-8 樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとした CNF 複合材廃材のリサイクルモデル評価の概要²³

代表事業者名	(国) 静岡大学
共同事業者名	化薬アゾ (株)、(株) エコフィール、トクラス (株)
実施年度	平成 29～31 年度
地域	静岡県静岡市 (静岡大学農学部所在地)
調査概要	新たに考案した簡略式製法により、CNF 複合材廃材を新たな化学的機能の付与された各種フィラー充填マスターバッチ用の酸変性樹脂へと変換する技術を確立するとともに、CO ₂ 削減効果を検証する。発生する廃棄物の回収・分別方法といった「仕組み」の観点からも、事業の実用性、経済性等を検証し、社会実装に向けて取り組む。
CNF 製品用途	建材、家電、自動車部品想定
調査項目	・マテリアルリサイクル技術の実証 ・再生利用の仕組み検証 ・社会実装の検証
成果	
マテリアルリサイクル技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ・近赤外分光分析により、1%以上の CNF 含有率があれば選別は可能である。 ・可視～近赤外短波長領域の反射スペクトルを用いることで、CNF を含有するポリプロピレンを 90%以上の精度で選別できるモデルが構築された。 ・本事業で開発した CNF 複合材含有容器包装リサイクル樹脂モデルにリアクティブ処理を行い、作製したフィラー充填マスターバッチを使用したプラスチック複合材料は既存品のタルク 20%配合 PP と同等以上の性能を示す。 ・開発したマスターバッチの量産技術を確立し、その CO₂ 削減効果、製造コストが既存品以上に優れていることを確かめた。
CO ₂ 削減効果 (廃棄・リサイクル)	<ul style="list-style-type: none"> ・リアクティブシステムによる CO₂ 削減効果の検証 <p>開発品 MB (マスターバッチ) は既存品 MB と比較して、木粉、タルク、建材 (WPC デッキ)、自動車 (アウターカバー)、家電・OA 機器 (複合機の部品) で 20%以上の CO₂ 排出量削減が可能であった。</p>

²³ 『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 (樹脂製品機能性添加剤用途をターゲットとしたセルロースナノファイバー複合材廃材のリサイクルモデル評価) 成果報告書』(事業代表者: 国立大学法人静岡大学、共同実施者: 学校法人同志社同志社大学、コニカミルタ株式会社、化薬ヌーリオン株式会社、株式会社エコフィール、トクラス株式会社、平成 29 年度～31 年度) を基に整理。

4.3.2 CNF リサイクルの評価等事業の成果のまとめ

平成 29～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業の成果は、主にリサイクルプロセスの検討、選別技術の実証でマテリアルリサイクル技術の課題解決を行ったことです。工程内リサイクルの可能性が高いこと、マテリアルリサイクル後の物性保持率が高いこと、赤外線分光法や静電分離が適用可能であることなどが実証されました。

（1）リサイクルプロセス全体に関する知見

- 自動車部品の射出成型時の部品製造工程で発生する CNF 複合材の端材のリサイクルは有効であるため、他の製造工程で発生する CNF 複合材のリサイクルも有効である可能性が高い。
- 使用済み家電製品の解体過程で発生するシュレッダーダストに含まれる CNF 複合材は、5 回繰返し成形した時の機械物性の保持率は平均で 95%以上である。

（2）選別技術に関する知見

- 回収された樹脂中から CNF 複合材を選別する際に、赤外分光法は有効である。しかし、多くの素材を含む容器包装材やシュレッダーダスト等から高い精度で CNF 複合材のみを選別することは難しい。
- ASR（Automobile Shredder Residue）からの CNF 複合材を選別するためには、静電分離や光学分離技術の組み合わせや他の前処理などの導入による新たな選別方法の確立が望まれる。
- 使用済み家電製品の解体過程で発生するシュレッダーダストに含まれる CNF 複合材の選別工法として、中赤外線スペクトル検出を利用する場合は、濃色樹脂における CNF 含有率 55%程度であれば判別が可能である。

（3）CO₂ 削減効果に関する知見

- 開発品 MB は既存品 MB と比較して、木粉、タルク、建材（WPC デッキ）、自動車（アウターカバー）、家電・OA 機器（複合機の部品）で 20%以上の CO₂ 排出量削減が可能である。
- CNF 複合材のリサイクル材を用いることで、CNF のバージン材のみを使用するよりも CO₂ 排出量が 70%以上削減できる。

4.4 CNF リサイクルの推進に向けて

4.4.1 CNF リサイクルの課題・留意点

平成 29～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業から、リサイクルプロセス全体や選別技術に関する課題及び留意点を得ることができました。また、過年度事業及び有識者ヒアリングの結果から見えてきている技術的・社会的・経済的課題（例）とそれぞれの課題の解決に向けた方向性（例）を表 4-9 に示します。

表 4-9 CNF リサイクルの課題と解決に向けた方向性（例）

分類	課題（例）	解決に向けた方向性（例）
技術的課題	工程内リサイクル技術の一部は開発・実証されているが、市場回収リサイクル技術については、実証事業で一部検討がされているが、開発・実証が十分でない	<ul style="list-style-type: none"> 多様な工程内リサイクル技術の開発・実証 市場回収リサイクルの関する技術開発・実証 繰り返し利用についての経年劣化の検証 リサイクルによる付加価値の創出
	異物除去技術が確立されていない	<ul style="list-style-type: none"> プラスチック中金属や塗膜等の高精度異物除去技術の開発
	高速・高精度の選別技術が無い	<ul style="list-style-type: none"> 高速・高精度選別技術の開発
	CNF のリサイクル製品に関する性能評価手法が明確でない（そもそもの CNF 製品の性能評価手法も同様）	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル CNF 製品の性能評価方法の明確化（そもそもの CNF 製品も同様）
社会的課題	CNF リサイクルの有用性に関する社会的認知度が低い	<ul style="list-style-type: none"> CNF リサイクルの有用性に関する継続的な効果検証 CNF リサイクルの有用性に関する P R
	CNF リサイクルの仕組みや、CNF 含有製品に関する廃棄・分別ルールがない	<ul style="list-style-type: none"> CNF リサイクルの仕組みづくり 市場回収スキームの確立 ※例えば CNF を使った家電製品であれば家電リサイクル法の枠組みの中で回収することなどが考えられる。
	CNF 含有製品と一般のプラスチックが容易に識別できない	<ul style="list-style-type: none"> CNF マークの添付 CNF 製品の識別技術の開発
経済的課題	安定した回収量が無ければコスト高となる	<ul style="list-style-type: none"> 市場回収スキームの確立（再掲） リサイクル CNF の用途開発による用途拡大
	リサイクル製品の価値が小さければ、リサイクル市場が成立しない	<ul style="list-style-type: none"> リサイクル製品の高付加価値化 リサイクルの価値の見える化
その他の課題	いつ頃どの程度の市場になるか分からない	<ul style="list-style-type: none"> 関連業界によるロードマップ等の作成等

4.4.2 CNF リサイクルの推進に向けて

CNF は木材等を原料としたバイオマス素材で、かつ高いリサイクル性を有するとされているため、CNF 製品で他の石油由来素材に代替し、リサイクルすることで資源枯渇の緩和につながります。循環経済への移行を見据えた素材として自動車や家電、建材、包装・容器などへの活用が期待されます。

既にいくつかの CNF 複合材のリサイクル技術が開発されています。平成 29 年度～31 年度（2017～2019 年度）の環境省の CNF リサイクルの評価等事業では、CNF リサイクルの推進に向けて、CNF 複合材のマテリアルリサイクル技術の開発や回収の仕組み、CO₂ 削減効果を検討し、適用可能な技術が実証されました。特に、CNF 複合材は繰り返しリサイクルをしても物性の低下が少ないことが明らかになりました。また、工程内リサイクルの実現可能性が高いことが実証されているため、今後工程内リサイクルにおける更なる技術開発が期待されます。一方で、市場回収リサイクルでは、前述したとおり課題が数多く残っています。今後も研究開発や実証実験を通して、均質な CNF を安定して回収するスキームの確立や、高精度選別技術の開発、異物除去技術の開発などを行い、それぞれの課題を解決していくことが必要です。CNF が一定量普及しなければリサイクル技術の開発もできないという考え方もありますが、社会が循環経済へ移行する中で、将来の経済と環境を見据えて資源循環の可能性を追究することが求められています。

第5章 CNF の CO₂ 削減効果の算定

脱炭素化社会の実現に向けて、省エネや再生可能エネルギーの活用とともに、材料調達などマテリアルの流れにおける低炭素化を実現する必要があります。さらにこうした取り組みはサプライチェーンマネジメントの一環で情報共有する流れが活発になり始めています。こうした観点で LCA を効果的に活用する重要性が高まっています。CNF は軽量でありながら高い強度や弾性率を持つ素材であるため、構造材用途で利用される場合などでは CNF を含む商品の使用時の CO₂ 排出量が従来製品の使用時の CO₂ 排出量より少なく抑えることができ、CO₂ 削減効果が期待できます。

ただし、CNF 製造時段階の CO₂ 排出量は他の素材に比べて必ずしも少ないわけではなく、CNF の製品利用による CO₂ 削減効果を正確に把握するには、使用時に加えて、原料調達時、CNF 製造段階、CNF 製品製造段階、廃棄段階までを含めた一連のライフサイクル CO₂ (LCCO₂) について、把握することが望ましいです。

本章においては、CNF の製品利用による CO₂ 削減効果を算定するためのアウトラインと環境省事業における CO₂ 削減効果の算定結果事例について記述します。**具体的に CNF の製品利用による LCCO₂ を算定する場合には、「別冊3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン」を利用ください。**別冊3の構成は下表 5-1 の通りです。

なお、使用時の CO₂ 排出量が多い主な商品としては、自動車、住宅建材、家電が挙げられます。自動車分野では、車体重量が軽いほど燃費がよくなることから、CNF 製品を用いた軽量化により CO₂ 削減が可能です。住宅建材分野では、断熱性能の向上が冷暖房（空調エネルギー）の削減につながるため、CO₂ 削減に貢献可能です。家電分野ではエアコン、冷蔵庫、洗濯機の性能向上が消費電力の削減につながるため²⁴、CO₂ 削減に寄与します。

表 5-1 別冊3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドラインの構成

資料名	内容
別冊 3-1 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス排出量削減効果算定ガイドライン (CNF-LCA ガイドライン) (本編)	温室効果ガス排出量の算定及び削減効果ポテンシャル量の評価を行う際の要求事項を定める。
別冊 3-2 CNF-LCA ガイドライン 算定条件宣言シート作成ガイダンス	明確に設定すべき算定条件・シナリオを示す。
別冊 3-3 CNF-LCA ガイドライン 算定手順および算定例	標準的な簡易算定の手順と、自動車部品、建材、蒸気配管用断熱材への CNF 材料適用時の算定例を示す。
別冊 3 別添 CNF-LCA ガイドライン CNF の温室効果ガス排出原単位表示ツール	変性パルプ直接混練法（京都プロセス）CNF、TEMPO 酸化 CNF および湿式解繊法 CNF について、その製造時まで（変性パルプ直接混練法については CNF 強化複合樹脂の製造まで）の累積での温室効果ガス排出原単位を表示する。

²⁴ エアコンはファンの改良、冷蔵庫は断熱性の向上、洗濯機は軽量化による洗濯時の消費電力削減につながる

5.1 CNFのCO₂削減効果の算定方法

製品ライフサイクル全体の評価を行うにあたっては、算定を通じて確認や公開したい内容を目的として設定し、それに応じて算定の詳細さを決めて行うことが効率的です。以下に算定の概要を記載しますが、実施にあたっては「別冊 3 セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）」をご参照ください。

5.1.1 CO₂削減効果の算定の流れ

CO₂削減効果はLCA手法を用いて以下の流れで算定します。

ステップ1 評価対象製品の温室効果ガス排出量を算定

ステップ2 比較対象製品の温室効果ガス排出量を算定

ステップ3 比較対象製品と評価対象製品の温室効果ガス排出量の差異を単位量当たりの削減量として算定（削減効果量）、その結果に販売・普及量を乗じることで評価対象製品が販売・普及した場合の全体のCO₂排出削減量（削減ポテンシャル量）を算出します。

算定が必要となるケースとして、①評価対象製品の温室効果ガス排出量を求めたい場合、②比較対象製品との比較を行いたい場合、③普及量を考慮した削減効果ポテンシャル量を求めたい場合があります。①の場合には、ステップ1のみの実施で終了してよく、②もしくは③の場合はステップ3までを実施してください。

5.1.2 算定を行う上で設定すべき条件項目

評価対象製品、比較対象製品を算定するに当たり評価の枠組みを設定します。具体的には、1.算定の目的、2.評価対象製品等、3.最終製品等、4.機能、5.機能単位、6.評価範囲、7.カットオフ基準、8.データ品質、の8つの項目について算定条件を設定します。

5.1.3 算定の概要

<ステップ1、2>

温室効果ガス排出量の算定は、設定した条件を基にデータ収集を用い、以下の式を使って温室効果ガス排出量を算定します。

温室効果ガス排出量 = Σ （活動量 × 温室効果ガス排出原単位）

※活動量・・・原材料の投入量など、各プロセスにおけるインプット情報とアウトプット情報
温室効果ガス排出原単位・・・単位当たりの温室効果ガス排出量

原単位には地球温暖化係数（GWP）を考慮した数値を用いることが望ましいです。

<ステップ3>

削減効果量に販売量・普及量を乗じたものを削減効果ポテンシャル量とする。削減効果ポテンシャル量の算定式は以下の通り求めます。

$$\begin{aligned} \text{削減効果量 [kg-CO}_2\text{e]} &= (\text{ベースラインの算定結果 [kg-CO}_2\text{e]}) \\ &\quad - (\text{評価対象製品等の最終製品等の算定結果 [kg-CO}_2\text{e]}) \end{aligned}$$

$$\text{削減効果ポテンシャル量 [kg-CO}_2\text{e]} = \text{削減効果量 [kg-CO}_2\text{e]} \times \text{普及量 (販売量)}$$

5.1.4 算定結果のレビュー

客観性あるいは信頼性を、算定条件の公開という形で担保する手段の他、信頼性をさらに向上させたい場合には、算定事業者は適宜、有識者などの検証（レビュー）を受けることができます。データのトレーサビリティの確保の確認や、設定した算定条件の不備が是正され、これにより信頼性が向上されます。

5.2 CO₂削減効果量およびCO₂削減ポテンシャル量の算定事例

環境省では過年度事業としてCNFを利用した製品のCO₂削減効果の算定が実施されてきました。事業者が自ら算定を行う上での参考として、「別冊3別紙2算定手順および算定例」に具体的な算定手順と算定例を記載しています。ここではCNFを自動車用部材として活用した場合を想定した算定例の結果を一部紹介します²⁵。

評価対象製品となるCNF部材、比較対象製品となる従来部材に対して、プロセス毎の温室効果ガス排出量を算出し表5-2のように整理します。

表5-2 プロセス毎の温室効果ガス排出量

プロセス		シナリオ	温室効果ガス排出量 [kg-CO ₂ e]	
			CNF部材	従来部材
素材製造段階	ポリプロピレン製造		1.76	2.4
	CNF製造		1.5	0
生産段階	コンパウンド		1.2	0
	射出成形	サイクルタイムが1.2倍になることから電力消費量1.2倍とする。 歩留まりは1と設定する。	1.2	1
使用段階	走行	メンテナンスフリーとする。	14.4	18
廃棄・リサイクル段階	廃棄・リサイクル	全量焼却処理されるものとする。ただし、CNF素材はカーボンニュートラル（焼却時の温室効果ガス排出量は算定対象外）として扱う。	3.3	4.5
合計			23.4	25.9

算定結果を基にCNF部材と従来部材を比較すると、素材製造段階と生産段階においては従来部材の方が低い値となっていますが、使用段階と廃棄・リサイクル段階において削減効果が表れており、ライフサイクル視点ではCO₂削減効果が見込まれる結果となっております（図5-1）。

²⁵ 本節で記載している数値は算定のイメージを掴んでいただくことを目的として設定したものです。

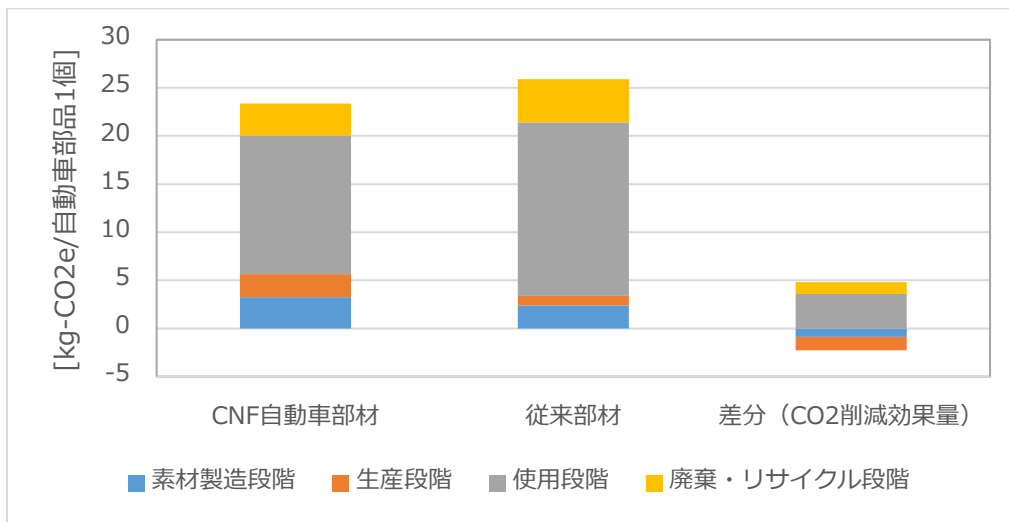


図 5-1 ライフサイクル視点での CO₂ 削減効果のイメージ

さらに、先ほど算出した CO₂ 削減効果量に普及量を乗じることによって CO₂ 削減ポテンシャル量を求めることができます。本算定例では、2026～2030 年の 5 年間の削減ポテンシャル量を示しています (下図 5-2)。

普及量の求め方は次のとおりです。2030 年の乗用車の市場規模を 4,120,000 台/年と推計し、シェア率 10%と設定すると、CNF 部材搭載自動車の年間販売台数は 412,000 台/年となります。2025 年からの 5 年間で販売台数合計を普及量とします。

$$\begin{aligned}
 \text{削減効果ポテンシャル量} &= 1 \text{ 単位あたりの CO}_2 \text{ 削減効果量} \times \text{普及量} \\
 &= 2.54 \times 412,000 \times 5 \\
 &= 5,232,400 \text{ kg-CO}_2 \\
 &= 5,232 \text{ t-CO}_2
 \end{aligned}$$

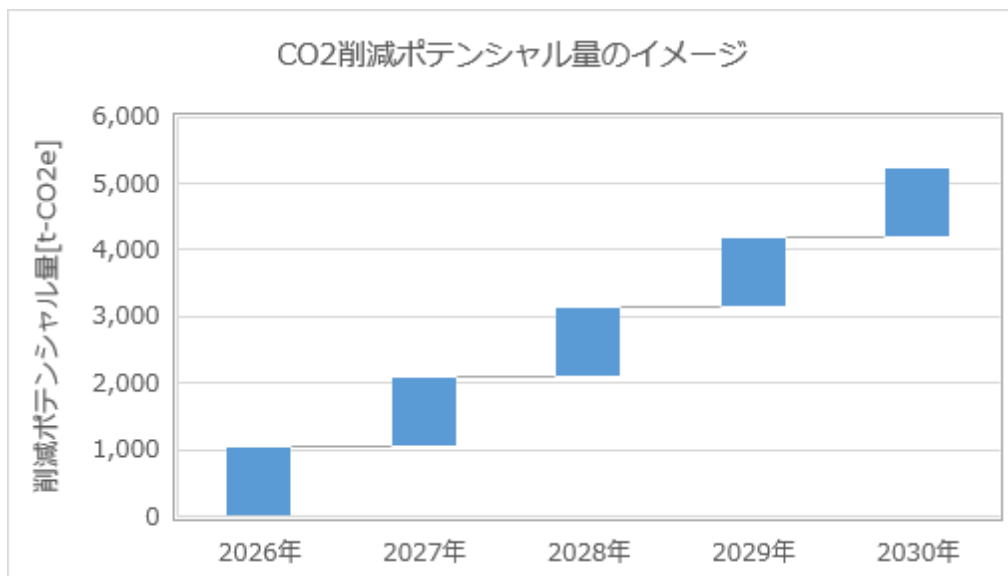


図 5-2 CO₂ 削減ポテンシャル量のイメージ

第6章 今後の CNF の利活用に向けて

ここでは今後の CNF の利活用に向けた利点、課題と解決方法、留意点等について記述します。6.1 では全般的な事項、6.2 では特定の製品群に係るものについて記述します。6.3 では、まとめと今後の展望について記述します。

6.1 CNF の新たな分野への利活用に向けて

CNF の新たな分野への利活用に向けた主な利点を、以下の表 6-1 に記述します。

表 6-1 CNF 利活用の主な利点

主な利点
<ul style="list-style-type: none"> 植物由来であり、持続可能な資源である。 さらに、その利点を活かす発展的利用としては、バイオ素材（バイオプラスチック）との複合化が考えられる。（※バイオ素材との複合化により、バイオ素材の物性向上、バイオベース炭素含有率の高い複合材生産による高付加価値化、用途拡大が考えられる。）
<ul style="list-style-type: none"> 樹脂に CNF を添加することにより、高強度で軽量化することができる。（「3.2 CNF 関連事業の概要」、「コラム 2 : NCV プロジェクト」参照）
<ul style="list-style-type: none"> 構造材用途で利用される場合などでは、CNF を含む商品の使用時の CO₂ 排出量が従来製品の使用時の CO₂ 排出量より少なく抑えることができ、CO₂ 削減効果が期待できる。ただし、CNF の解繊や乾燥でエネルギーを多く消費する場合等、CO₂ 排出量の増加につながる場合もあるのでライフサイクルでの算定が重要となる。（「第 5 章 CNF の CO₂ 削減効果の算定」、別冊 3「セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCA ガイドライン）」、「コラム 2 : NCV プロジェクト」参照）
<ul style="list-style-type: none"> CNF 製造から CNF 製品製造のサプライチェーンを構築できる地域（例えば、紙パルプ工場があり、製造業が盛んな地域）などにおいては、CNF を地域産業の創出に活用することが可能である。また、木質バイオマス調達ができるなどの条件がそろえば、地域産の CNF 調達も可能である。（「3.3CNF による地域産業の創出」参照）
<ul style="list-style-type: none"> リサイクル後も物性が低下しない上、リサイクルした CNF にバージン CNF を混ぜると物性が初期値に戻るという強みを持つため、水平リサイクルが期待できる（製造工程で発生する端材を利用した工程内リサイクルが可能）。また、リサイクルできない場合もサーマルリカバリーが可能である。（「第 4 章 CNF のリサイクル」参照）

上記利点を活かす上での課題と解決方法等（全般的事項）について記述します。

表 6-2 CNF の課題と解決方法

分類	課題	解決方法／ 利活用に向けた方策
経済的課題	製造コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> 最適な原料の選定。 機械解繊処理回数の低減。 量産化によるコスト低減。 省エネルギー製造プロセスの開発。 （「3.2.3 CNF の現状供給価格と将来の目標価格」） 低コスト化のためマスターバッチを介さず、マスターバッチ作成と稀釈コンパウンドを連続で行う。

分類	課題	解決方法／ 利活用に向けた方策
	輸送コストの低減 (CNF の水分量が多いほど重くなり、輸送コストの負荷が大きくなる)	<ul style="list-style-type: none"> 輸送距離を踏まえたサプライチェーン構築の工夫。 製品製造メーカーの拠点近くでの CNF 製造。 (「3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と成立のポイント」)
	原料の安定的確保 (CNF の安定供給)	<ul style="list-style-type: none"> 技術組合の設立。 品質の安定化。 製法の標準化。 親水性 CNF は、長期保存による腐敗や劣化の可能性があるので、配慮が必要。
社会的課題	(地域産業創出) CNF 製品メーカーの発掘・マッチング	<ul style="list-style-type: none"> CNF の出口創出や需要拡大に向けて、地域内外の企業・有識者との連携が必要。 マッチングを促す機能を備えた地域コンソーシアムの設置が重要。 ⇒図 3-9 全国の地域コンソーシアム (「3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と成立のポイント」) NCM 事業 (https://cnf-ncm.net/) 参照。
	人材育成	<ul style="list-style-type: none"> ナノセルロースジャパン (NCJ) の取組の活用 (セミナーの活用など)。 ナノセルロースジャパン HP : https://www.nanocellulosejapan.com/ 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) / 産総研「CNF 人材育成講座」の活用。 地域コンソーシアムの活用。 (「3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と成立のポイント」) 大学との連携 (例えば、今回の実証事業では大学と企業が連携して取り組んでいる。表 3-1～3-5 の代表事業者、共同事業者参照)。
	認知度の向上	<ul style="list-style-type: none"> ナノセルロースジャパン (NCJ) の活用。 地域コンソーシアムの活用。 既製品の活用 (CNF 製品を見てもらう、触ってもらう、食べてもらう、つけてもらうなど)。 (実用化事例は表 2-1 参照) NCV (セルロース・ナノ・ヴェイクル) の活用。 (「コラム 2 : NCV プロジェクト」参照)
	(市場回収) リサイクルスキームの確立	<ul style="list-style-type: none"> 繰り返し利用についての経年劣化の検証。 市場回収する仕組みの確立。 (第 4 章 CNF のリサイクル)

分類	課題	解決方法／ 利活用に向けた方策
	(有害危険性に対する) 安全性の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・産業技術総合研究所が「セルロースナノファイバー(CNF)の安全性評価手法及び評価事例に関する文書類」(https://www.aist-riss.jp/assessment/45276/)として、「セルロースナノファイバーの検出・定量の事例集」、「セルロースナノファイバーの有害性試験手順書」、「セルロースナノファイバー及びその応用製品の排出・暴露評価事例集」をまとめている。 ・CNF は植物由来の物質であり、既に食品などでも利用されているが、有害危険性があるというデータはこれまでのところ得られていない。 ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) において情報収集と周知活動が行われている。
	今まで使用したことのない材料に対する不安感の払拭	<ul style="list-style-type: none"> ・認知度の向上 (→「認知度の向上」参照) ・人材育成 (→「人材育成」参照) ・実用化事例の認知。 ・マッチングを促す機能を備えた地域コンソーシアムの活用。 (「3.3.3 CNF による地域産業創出に向けた課題と成立のポイント」) ・専門的知見を持った大学・研究機関との連携。 ・CNF 製造事業者との対話。 ・QFD (品質機能展開) の活用。 (「コラム 1 : CNF の材料特性等を整理する QFD の活用」参照)
技術的課題	CNF の品質の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・技術的な情報がまとめられている新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価報告書」を活用 (当該報告書において、CNF およびパルプの物性および化学特性を比較。また、CNF 製造方法別の CNF の特徴を比較)。 ・樹脂-CNF 複合ペレットの混練における生産性向上と分散性維持は背反事項であるため、分散性を維持しながら生産性を向上する技術開発が求められる。 ・CNF の分散に特化したスクリー形状の開発、セグメント化されたスクリーの採用、混練部と軽量部を個別に制御するタンデム式 2 軸混練機の採用などの検討を行う必要がある。 ・ロットによる品質のばらつきの抑制。 ・失敗の経験値の蓄積による改善 (CNF は素材としての歴史が石油由来素材と比べて浅いため、失敗と成功の繰り返しによる試行錯誤が様々な形で必要である)。 ・CNF 添加により、吸湿率増加の可能性があるため、影響がないか検討する必要がある。 (参考文献：仙波健「セルロースナノファイバーとプラスチック」、成形加工 Vol.30 No.7,2018,P.361-364)

分類	課題	解決方法／ 利活用に向けた方策
	原料による性能の相違の把握	・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価報告書」を活用（当該報告書において、スギ、コウヨウザン、カラムツ、トドマツ、シラカンバ、ユーカリ、タケを比較）。
	製造時のエネルギー消費、CO ₂ 排出の削減	・スケールメリットによるエネルギー消費の削減。 ・機械解繊処理の場合、必要な解繊度の検討（解繊処理回数の削減によるエネルギー消費の削減）。 ・パルプ直接混練法（京都プロセス）や TEMPO 酸化を始め、セルロース解繊時のエネルギー効率を高める技術が近年発見されており、CNF 生産時の環境負荷の低減が期待されている。 ・石油化学コンビナートのバイオマス版における構成要素の一つとして CNF を捉え直した地域産業全体でのプロセス最適化設計。
	リサイクル技術の確立	・高速・高精度選別技術の開発。（「第 4 章 CNF のリサイクル」）
	自動車の安全性の確保	・「剛性」と「耐衝撃性」の両立。（「コラム 2： NCV プロジェクト」参照）

上記に挙げた課題と解決方法のほか、CNF 利活用の際の留意点として、以下が挙げられます。

表 6-3 その他の留意点

留意点
・地域のバイオマスの活用も考えられるが、すべての地域において、活用可能とは限らない。安定供給、コスト、地域連携等について検討した上で、活用可能であるか判断する必要がある。
・CNF を活用しても必ずしも CO ₂ 削減に貢献するわけではない（CO ₂ 削減効果を謳う際にはライフサイクルでの評価が重要である。）
・一概に CNF といっても、原料や解繊方法の違いにより、それぞれのメーカーによって性状が異なっているため、求める特性に応じて適正な CNF を利用する必要がある。また、解繊度が高い CNF を添加することが必ずしもいい性能に繋がるわけではない。

6.2 新たな分野での利活用を想定する製品群に係る課題及び解決策

前述した CNF の課題を踏まえ、今後 CNF の適用が期待される製品群と課題解決の一つの方向性を以下に示します。また、分野横断的に進めるべき施策についてもコラムとして掲載しています。

有望製品に関する個別課題と対応の方向性

文献調査や CNF の開発・利用に携わる事業者へのヒアリング等を踏まえて、CO₂ 削減効果が期待され、今後の CNF 適用が有望と考えられる製品を以下に記載します。具体的には、「小型・電動モビリティ」及び「蓄電池・コンデンサ」に係る製品群への展開が期待されます（図 6-1）。なお、ここでは、環境省の「セルローズナノファイバー性能評価モデル事業委託業務」や「NCV プロジェクト」等における開発実績のある製品に関連して検討しました。



図 6-1 文献調査やヒアリング等より選定した有望な製品群

これまで「セルローズナノファイバー性能評価モデル事業委託業務」や「NCV プロジェクト」等を通じて開発実績のある製品群を示します（表 6-4）。詳細は、「3.2.2 CNF 活用製品の性能評価事業」を参照ください。

表 6-4 性能評価業務における開発製品

代表事業者	共同事業者	検討対象製品
トクラス(株)	山口大学、イオインダストリー（株）、静岡大学、岡山県森林研究所	自動車部品
トヨタ車体(株)	-	CNFRP 製自動車用バッテリーキャリア
(国)九州大学	中越パルプ工業（株）	自動車部品
第一工業製薬(株)	エレクセル（株）	ISS 車用 CNF 適用リチウムイオン電池
パナソニック(株)	-	冷蔵庫部品（センターピラー、クロスレール）、洗濯機（脱水受け、バルンサー）
(国)静岡大学	名古屋工業大学、山口大学、大阪工業大学、同志社大学、倉敷紡績（株）、トクラス（株）、ランデス（株）、YKKAP（株）、岡山県農林水産総合センター森林研究所、静岡工業技術研究所	住宅部材（外壁素材、天井素材、床素材）
(国)京都大学	産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、宇部興産(株)、(株)昭和丸筒/昭和プロダクツ(株)、利昌工業(株)、(株)イノアックコーポレーション、キョーラク(株)、三和化工(株)、ダイキョーニシカワ(株)、マクセル(株)、(株)デンソー、トヨタ紡績(株)、アイシン精機(株)、トヨタ自動車東日本(株)、(株)トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、東京大学、産業技術総合研究所	自動車部品（内外装材・ルーフ・パネル等）
(株)日建ハウジング	(株) LIXIL、フィグラ（株）、(株) 田島技術	住宅部材・建材（サッシ、窓ガラス、屋根・外壁）

開発が有望視される「超小型・電動モビリティ」及び「蓄電池・コンデンサ」について、今後の更なる技術開発・実証の活発化を期待し、個別の開発課題とその対応策を以下に整理しました。

・超小型・電動モビリティ（図 6-2）

NCV プロジェクト等の自動車に関する豊富な実績を応用でき、今後の脱炭素の流れで製品開発が急速に高まることから、新規開発の過程で脱炭素素材の採用も考えられ適用の可能性が高いと想定されます。他方で、製造側から見た際には CNF 性能の情報開示が統一されておらず適切な CNF の選定に時間がかかることや、コスト低減、リサイクル手法等の確立といった課題があります。

・蓄電池・コンデンサ（図 6-3）

環境省では過年度に車載用バッテリーへの CNF 適用に取り組んでおり適用可能性が高い結果が得られたことに加え今後の市場普及に伴い CO₂ 削減効果等も期待されています。他方で、上記の性能やコスト等の同様の課題に加え、機能とコスト等のバランスを踏まえた他素材と比較し、製品化を目指す必要があるとの指摘もあります。

超小型モビリティ／電動モビリティ

イメージ¹



基礎データ

CO2削減量 ² (t-CO2/台/年)		47.65 (鋼鉄製ドアとの比較)
市場規模 [台]	現状 ³	620
	2030 ³	11,200
主な対象部材 ²		ドア・窓部材 等
技術熟度 ²		実証済み (環境省 事業)

普及に向けた主な課題

性能の向上 及び 品質の担保

- 素材メーカー提示の素材情報が適切ではなく、製品の開発状況が不明瞭
- CNF複合材の性能の限界値が現状は不明確で、強度・軽量化性能の担保が難しい
- 素材メーカー提示の素材情報が不十分で、製品の開発状況わかりにくい
- 素材メーカーとマッチングする機会が少ない

コストの低減

- 量産体制が構築されておらず、製品化実証の実績が少ない

リサイクル手法等の確立

- リサイクル技術が確立されておらず、リサイクル規格も確立されていない

対応策の方向性

性能の向上 品質の担保

- 本ガイドラインにおける、環境省 実証事業等の開発状況等の分析結果を参照 (第3章)
- 環境省のマッチング事業を通じた、技術のあるプレイヤーとの協業
- 環境省の過年度事業の実績を活かした技術開発・実証事業の組成・検討

コストの低減

- 本ガイドラインにおける、環境省 実証事業のコスト等の分析結果を参照 (第3章)
- 環境省の過年度事業の実績を活かした製品化の技術開発・実証事業の組成・検討 (製品化等の実績の積み上げ)

リサイクル手法 等の確立

- 本ガイドラインにおける、リサイクル手法等の分析結果を参照 (第4章)
- 環境省によるCNF製品化の技術開発・実証事業の組成を通じた、マテリアルリサイクル、リサイクル分離回収技術の検討、リサイクル規格の確立

有識者からの主なご意見



- CNF生産量年間10万トンでようやくコスト削減繋がるため、自動車が大きなたーゲットになる
- 安全性や環境負荷など様々な性能基準を満たす必要があるため、CNF単体を主材として消費量を増やし製品化することにこだわってはいは、実用化は難しいのではないかと

■ 出所 (1: 環境省「グリーンスローモビリティHP「2020年度予算案におけるグリーンスローモビリティ関連事業」、2: 環境省「令和元年度セルロースナノファイバー等を活用したグリーンスローモビリティの導入実証委託業務成果報告書 (令和2年3月)」。*3: 矢野経済研究所「次世代モビリティの市場見通し」)

図 6-2 有望製品における課題及び対応策の方向性 (超小型モビリティ・電動モビリティ)

蓄電池／コンデンサ

イメージ¹



基礎データ

ISS車：アイドリングストップ車

CO2削減量 ¹ (t-CO2/台/年)		0.0086 (鉛二次電池比)
市場規模 [万台]	現状 ¹	1,709 (ISS車 世界全体)
	2030 ¹	4,406 (ISS車 世界全体)
主な対象部材 ¹		車載用バッテリー 等
技術熟度 ¹		実証済み (環境省 事業)

普及に向けた主な課題

性能の向上 及び 品質の担保

- 素材メーカー提示の素材情報が適切ではなく、製品の開発状況が不明瞭
- CNF複合材の性能の限界値が現状は不明確で、強度・軽量化性能の担保が難しい
- 素材メーカー提示の素材情報が不十分で、製品の開発状況わかりにくい
- 素材メーカーとマッチングする機会が少ない
- 製品へのニーズが機能orコストかを明確化し、競合する各々の素材と比較しながら製品化が必要

コストの低減

- 量産体制が構築されておらず、製品化実証の実績が少ない

対応策の方向性

性能の向上 品質の担保

- 本ガイドラインにおける、環境省 実証事業等の開発状況等の分析結果を参照 (第3章)
- 環境省のマッチング事業を通じた、技術のあるプレイヤーとの協業
- 環境省の過年度事業の実績を活かした技術開発・実証事業の組成・検討

コストの低減

- 本ガイドラインにおける、環境省 実証事業のコスト等の分析結果を参照 (第3章)
- 環境省の過年度事業の実績を活かした製品化の技術開発・実証事業の組成・検討 (製品化等の実績の積み上げ)

有識者からの主なご意見



- セパレーターの主材としては難しいかもしれないが、セパレーターに求められる特性やモルフロジーを示すための助材としては期待できるのではないかと
- 機能が求められる製品なのか、コストが求められる製品なのかを顧客ニーズに合わせて、競合する各々の素材と比較しながら製品化が必要

■ 出所 (1: 環境省「平成 29 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 (セルロースナノファイバーを適用したアイドリングストップ車用リチウムイオン電池の実用化に向けた課題抽出) 成果報告書 (平成30年3月16日)」)

図 6-3 有望製品における課題及び対応策の方向性 (蓄電池・コンデンサ)

コラム4：分野横断的な課題と対応の方向性

～CNF 選択の目安となる表示・測定基準の整備と情報開示について～

1. 分野横断的に取り組むべき課題

現在では各事業者の開発努力により、様々な形態や製法、品質の CNF が開発・利用されています。他方で、多様な CNF 選択の目安となる品質等の情報は統一されておらず、事業者等から CNF の普及に向けては統一された品質情報を示す必要があるとの意見も多くあり、今後の整備が望まれます（図 6-4）。

- 表示基準を**基本情報として掲載するのはよい**。他方、分析用試料の作成に1週間程度時間を要するため、**品質推奨案の詳細化は難易度が高い**
- 繊維径や繊維長は、走査型電子顕微鏡や研究機関等でなければ分析できないことが多く、事業者によっては分析装置がない場合もあり、**分析装置の補助があれば大変ありがたい**



- **分散性は非常に重要**。また、**CNFメーカーとしても標準化された基準があると生産コスト低減につながり、ユーザーにとっても使いやすいものになるのではない**
- 他方、品質の推奨案については、最終製品の**コストパフォーマンス等を考慮して求める品質**（例 強度を上げる場合は、繊維長が重要）が決まるため、**事業者の出口戦略に依存すると考える**

- CNFは**メーカーごとに性能のばらつきが大きく**、同一メーカーでもロットによって差異があり、ものによっては**CNFを樹脂に混合した際に、分散性が悪く欠陥**になってしまう
- **各メーカーから性能表示されていれば、ユーザーはどれを買うべきか検討できる**ため、性能を評価する方法がなければ**広く流通しない**



- 測定方法が確立していないので、**何かしら基準を示す必要がある**
- 測定方法が明確で測定結果が一樣に比較できないと、**製造事業者は製品検査ができない**。**測定方法は品質を保証するために必要なものである**

出所：民間事業者・学識有識者へのヒアリングより

図 6-4 CNF 選択の目安となる基準や項目の整備を求める“生の声”

2. 課題解決の方向性

より簡易に目的に沿った CNF を選択できるよう、CNF の表示・測定基準の整備と情報開示を進めることが必要と考えられます。また、市場の実態に沿った有効な施策となるよう、CNF 供給・需要側のニーズを取り入れることが重要であり、CNF 関連事業者を中心としたコンソーシアムによる策定・運用等が有効と考えられます（図 6-5）。

環境省では、令和2年度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一環で業界マッチングを支援しており、こうした取組との連携も有効と考えられます。

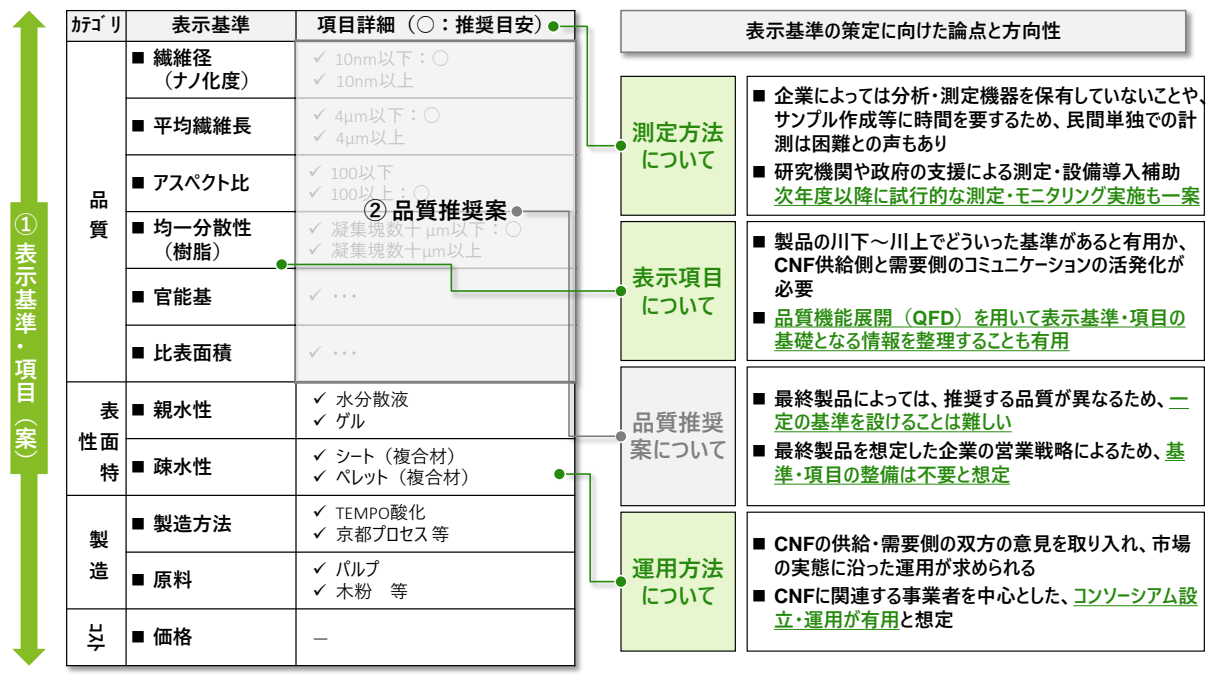


図 6-5 表示・測定基準の項目案と運用等の方向性

3. “具体的な”取組に向けた想定されるステップ

こうした検討施策を“具体的な”取組とするため、CNF 供給・需要側と調整しながら、測定やモニタリングを試行的に実施し、基準の高度化や品質基準に昇華していくことが有効と考えられます (図 6-6)。加えて、本年度に試行的に実施した品質機能展開 (QFD) (「コラム 1 : QFD」参照) や算定条件宣言シート (「別冊 3 LCA ガイドライン」参照) を用いて、製品の川下～川上でどういった基準が有用か、CNF 供給・需要側のコミュニケーションの活発化を図り、実績を積み上げることも重要です。国・政府では、こうした施策の実施・支援を通じ、民間事業者の自主的な取組とも協力し、CNF の普及による脱炭素社会の構築を目指して参ります。

また、国内では経済産業省が主体となり、CNF の国際標準化を目指す動きもあり、こうした動向とも連携しつつ、取組を推進していくことが重要と考えられます (詳細は、p.50 (参考) を参照)。

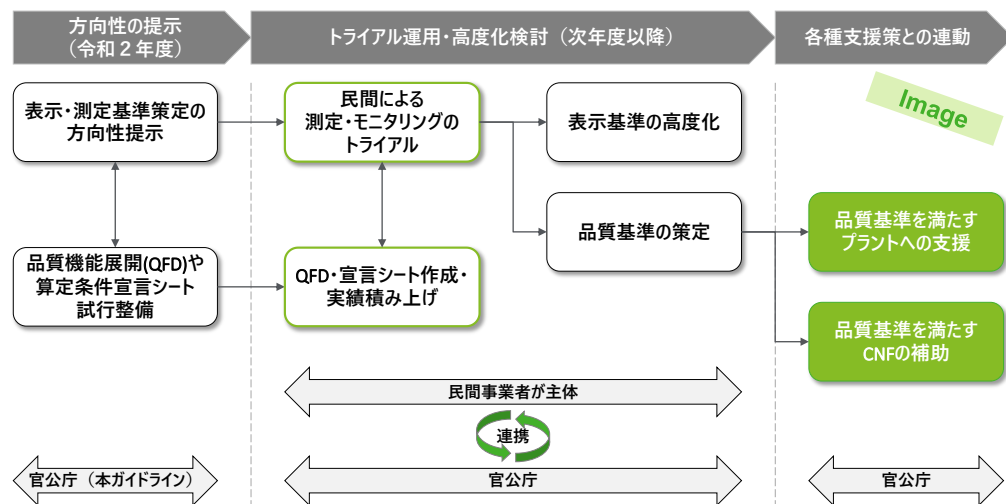


図 6-6 表示・測定基準等策定の方向性と想定される方向性 (一例)

6.3 まとめと今後の展望

現状において、CNFの製造、製品化の動向としては、既に水系用途（親水性）CNFでは化粧品、食品、塗料・インキといった用途をはじめとして普及段階に入っています（「2.1 CNFの普及状況と今後の市場見込み」参照）。一方で、プラスチックへの添加などCO₂削減効果の高いと考えられる複合材料用途（自動車、家電、住宅建材、等）においては、実用化に向けて実証等が進められている段階のものが多くあります。

今回環境省が実施した事業（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、2015～2020年度）においては、自動車、家電、住宅建材等の実用化に向け、実証事業を実施しました（「3.1 環境省によるCNF社会実装に向けた取組の全体像」、「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」参照）。その結果、コスト低減に係る技術の進展、CNF製品の性能が既存製品に比べて優れていることが確認されるなど、CNF製品の実用化に繋がるきっかけとなっており、多方面での今後の実用化が期待されます。

環境省が支援したNCVプロジェクト（「コラム2：NCVプロジェクト」参照）では、「木から車を作る」というコンセプトのもと、CNFを自動車の内外装に活用し、軽量化にチャレンジし、車両全体で10%以上、部品レベルでは最大50%程度の軽量化を達成するとともに、そのコンセプトカーを東京モーターショー2019に展示しています。そのプロジェクトにおいては、CNF100%の自動車部材の作成や3Dプリンターによる成形にも成功しています。一方で、耐衝撃性、非極性材料への複合化、部材の接合や接着技術、吸湿性、難燃性、コストなどといった課題が残っています。

CNFは地域産業の創出にも貢献し、域内のGDP上昇、雇用創出、地域資源の活用も可能となりうる素材です（「3.3CNFによる地域産業の創出」参照）。例えば、紙・パルプ産業が盛んで、CNF製造事業者を有する静岡県富士市は「富士市CNF関連産業推進構想」を策定し、富士市CNFプラットフォームの設立や関連産業創出事業の実施などにより、CNF関連技術・製品の早期の実用化、製品化を行い、新たなCNF製品の実現化をしています。また、岡山県の事例では、県内の森林材を用いてCNF製造を行い、CNF製品製造まで繋げているといった例もあります。地域産業の創出にあたっては、CNFの出口創出や需要拡大に向けて、CNF製品メーカーの発掘・マッチング、企業・有識者との連携が重要になるとともに、輸送コストの低減、地域資源に応じた用途選定と品質確保への対応も重要な課題となってきます。

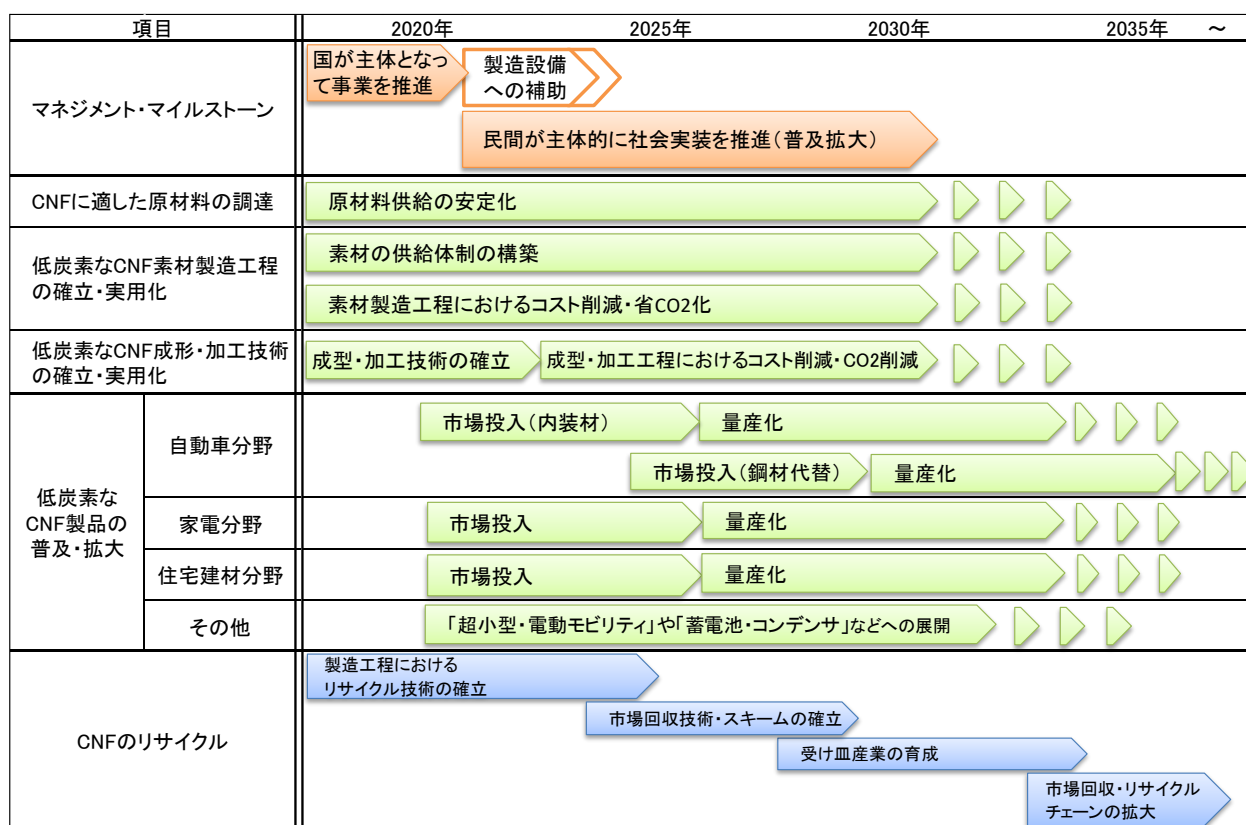
CNFの特徴の一つである高いリサイクル性について、繰り返しリサイクルしても物性の低下が少ないことが今回の実証事業においても実証されています（「第4章CNFのリサイクル」参照）。特に、製造工程で発生する端材を利用した工程内リサイクルが可能であり、他素材に比べて容易であることから、まずはCNF製品製造における工程内リサイクルが進展することが考えられます。一方で、市場回収リサイクルは回収されるCNF複合材の物性や品質にバラつきがあるため、回収する仕組みの構築や高精度選別技術の開発が必要となっています。

CO₂削減効果の高いと考えられる複合材料用途（自動車、家電、住宅建材、等）については、使

用時のCO₂削減効果が高くなっており、CNF製品のライフサイクルCO₂の把握のためには、今回、別冊に添付したCNFのLCAガイドラインが利用可能です（「第5章 CNFのCO₂削減効果の算定」および「別冊3セルロースナノファイバーに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン（CNF-LCAガイドライン）」参照）。

このような複合材料用途の今後の展望としては、家電、住宅建材、自動車（内装材）で市場投入から量産化が図られていくことが期待されます。また、自動車（鋼材代替）については、それらの製品に追随して、市場投入・量産化が図られていくことが期待されます。そのためには、「6.1 CNFの新たな分野への利活用に向けて」でまとめた様々な課題を解決していく必要があります。CNF製品製造におけるCNF成形・加工技術の確立やコスト削減、CO₂削減等が図られていくことが期待されます。加えて、「6.2 新たな分野での利活用を想定する製品群に係る課題及び解決策」で記述したように、「小型・電動モビリティ」及び「蓄電池・コンデンサ」に係る製品群への展開なども期待されます。

また、それらと併せてCNF供給側において、原材料供給の安定化、CNF供給体制の構築等が図られていくことが期待されます。



（出典）環境省「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報告書」をもとに、令和2年度調査において改定

図6-7 環境省が想定するCNFによる脱炭素社会構築ロードマップのイメージ

おわりに

2020年10月、菅内閣総理大臣は第203回国会における所信表明演説において、温室効果ガスの排出を2050年までに実質ゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指すことを宣言しました。

CNFは軽量でありながら高い強度や弾性を持つ素材であることから、脱炭素社会構築に向けた切り札となる素材です。また、CNFは植物由来のカーボンニュートラルな材料であり、高いリサイクル性を有することから循環型社会の実現への貢献も期待される素材です。

今回の6年度にわたる環境省事業においては、自動車、家電、住宅建材等の実用化に向け、実証事業を実施しました。今回コラムとしても取り上げた「木から車を作る」というNCV（ナノ・セルロース・ヴィークル）プロジェクトでは、コンセプトカーのを東京モーターショー2019に展示しました。このNCVをはじめとして、これまでの環境省の各実証事業の成果が次のCNF製品に繋がるきっかけとなりつつあります。

地域でCNFを製造したり、CNF製品を製造可能な地域においては、CNFを活かした新たな地域産業の創出にも貢献することができます。構造材用途からは少し離れますが、地域特有のバイオマス資源からCNFを製造して付加価値のある製品を創出といったことも可能であり、地域の稼ぐ力の向上に繋げることも可能です。

CNFの特徴の一つである高いリサイクル性については、工程内リサイクルが他素材に比べて容易と考えられ、CNFのリサイクル技術が進展していくためにも、まずはこの工程内リサイクルが進展していくことが望まれます。一方で、市場回収の技術・スキームの構築については、市中への普及状況も見据えつつ、今後構築していく必要があると考えています。

様々なサステナビリティ側面への貢献が期待されるCNFですが、CO₂削減効果については、今回、別冊3に添付したCNFのLCAガイドラインを用いて製品のLCCO₂評価を行うことができます。特に、付属のエクセルファイルとしている別冊3別添「CNF-LCAガイドライン CNFの温室効果ガス排出原単位表示ツール」はCNFの製造時の温室効果ガス排出原単位を収めたものであり、ライフサイクルにおけるCO₂削減効果を推計する際には有用なツールとなっています。

「脱炭素」、「循環経済」といった環境省の扱うべきテーマから取りまとめた今回のガイドラインが脱炭素社会や循環経済の実現に向けたCNFの利活用のきっかけになることを期待いたします。

2021年3月 環境省