

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。

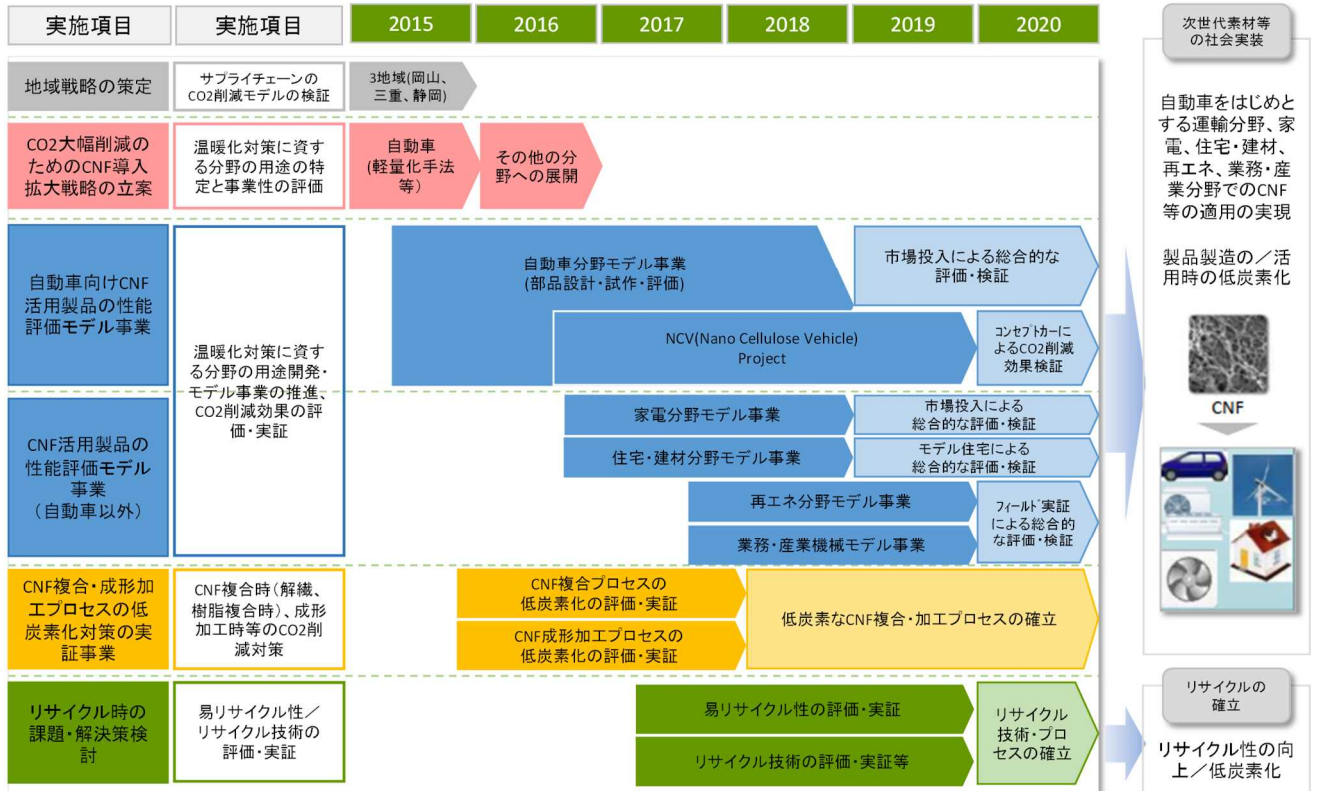


図 3-1 CNF 等温暖化対策に資する次世代素材の社会実装スケジュール

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（ナノセルローズ自動車）	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に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。

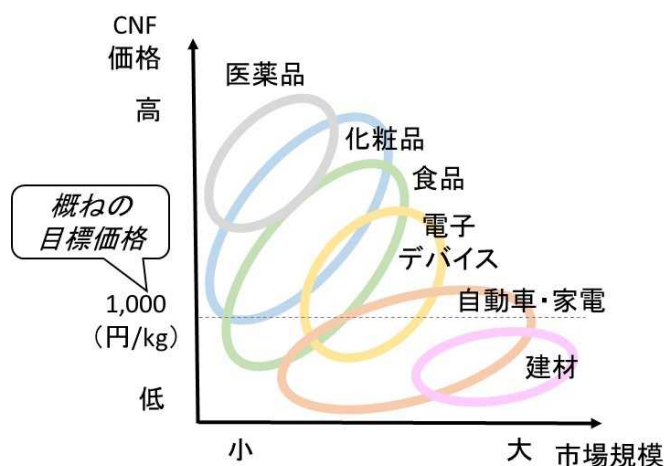


図 3-2 CNF の用途別の市場規模と価格の概念図

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
			成形性・接合性評価(射出成形・シート成形)	CNF車の設計・組み立て
			素材性能評価(強度、耐久性)	CNF部材の性能評価
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		CNF材料の成形・加工性評価 CNF材料の特性評価

図 プロジェクトのスケジュール

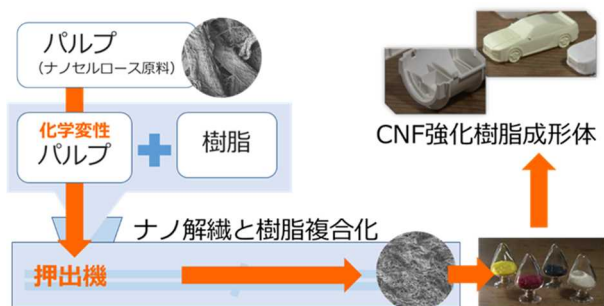
4. プロジェクトの成果

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



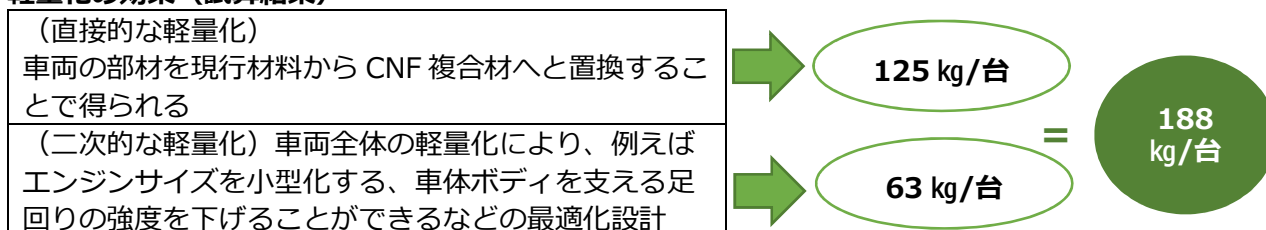
樹脂、 溶融温度	樹脂 E、GPa	CNF/樹脂 E、GPa	樹脂 曲げ強度、 MPa	CNF/樹脂 曲げ強度、 MPa
PA6、225℃	2.22	5.34	91	157
POM、166℃	2.29	5.35	78	131
PLA、170℃	3.41	6.40	108	119
ABS (200℃)	1.93	3.78	63	88
PA12、175℃	1.24	3.15	52	89
PBT、222℃	2.27	4.38	80	113
HDPE、129℃	1.10	2.39	24	43
PP、165℃	1.97	2.80	58	67
PP、組成検討後		4.73		95

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。

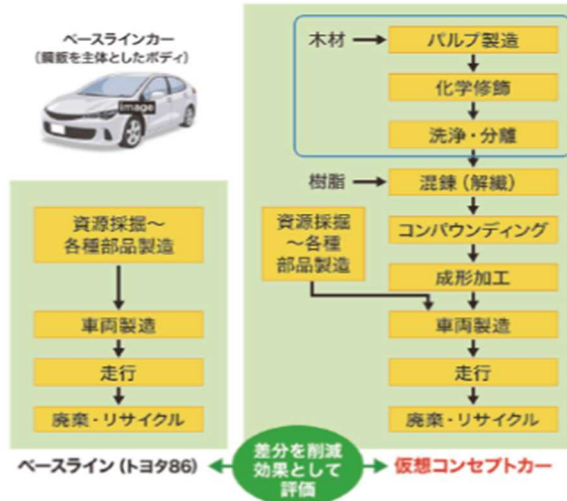
軽量化の効果 (試算結果)



<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

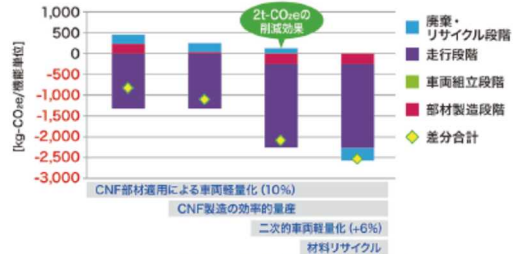


算定条件

- ・ 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、上下のシート間に高さ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。

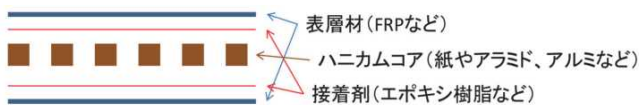


図 ハニカムサンドイッチ材の構造例

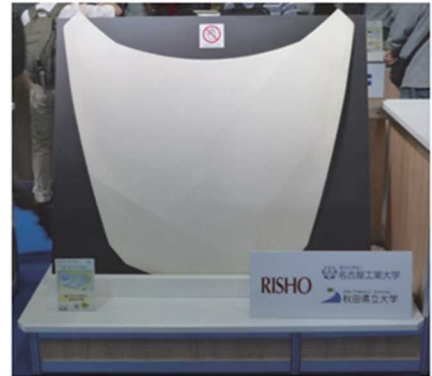


図 ボンネット部品展示

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。

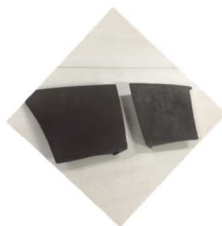


図 2.1-9 バンパーフィン

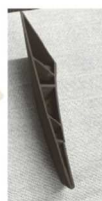
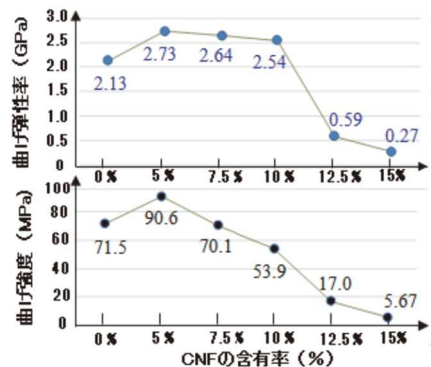


図 2-1-10 ホイールフィン

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

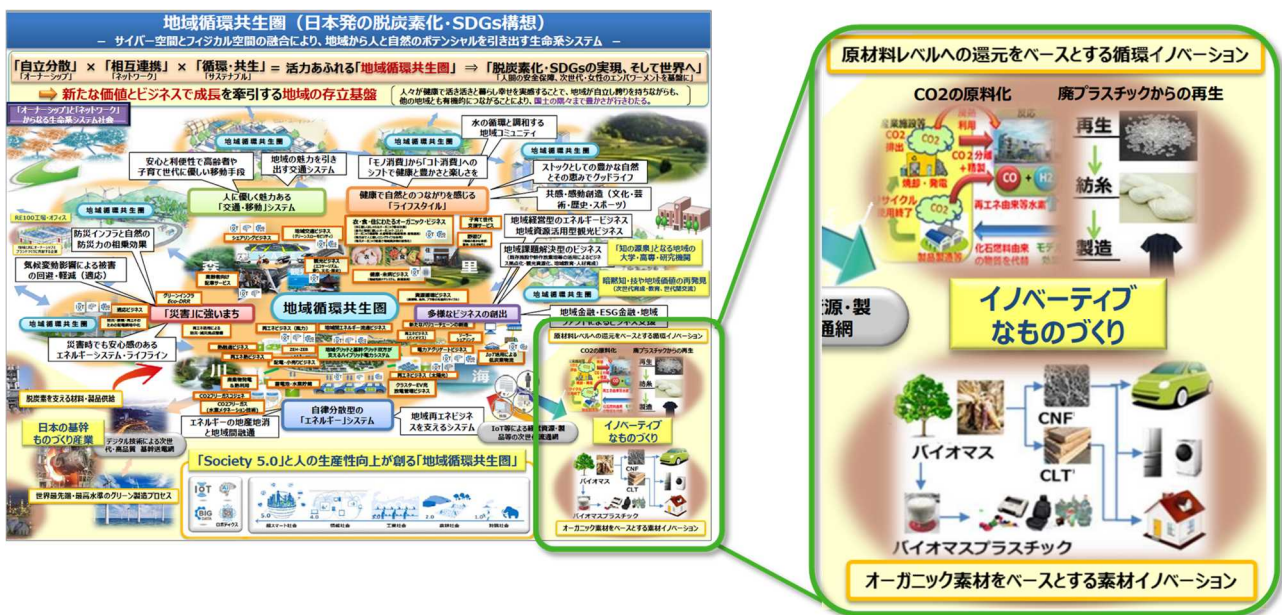
3.3.1.1 CNF による地域産業創出の目的

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。

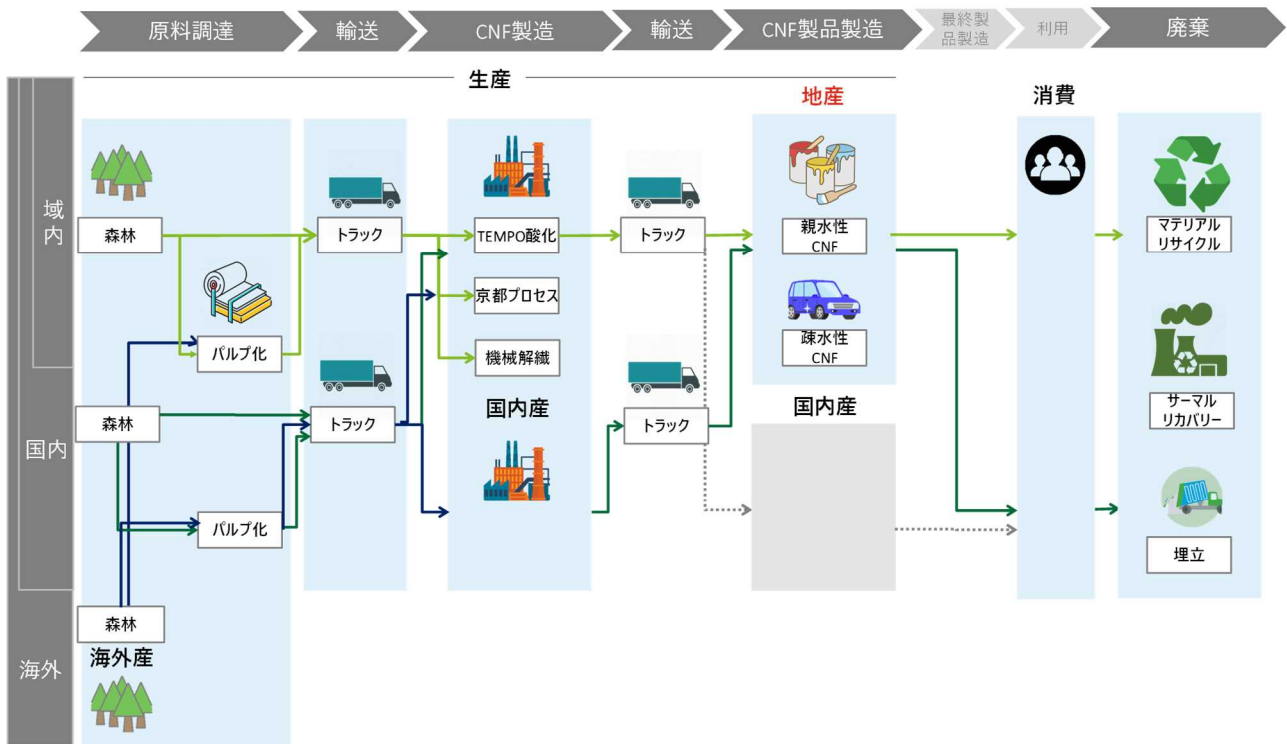


図 3-4 本ガイドラインにおける地域産業創出の考え方

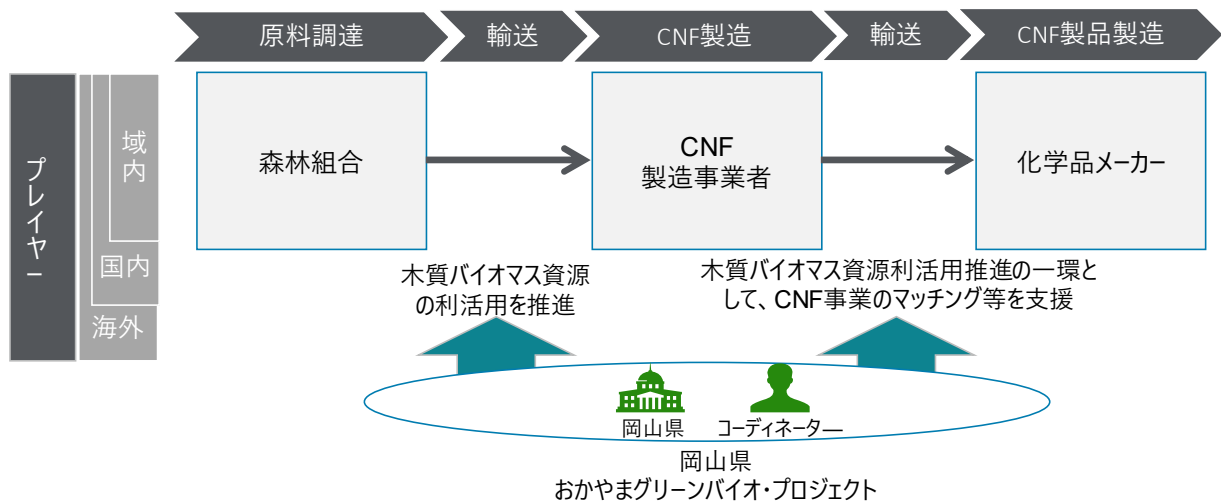
3.3.2 CNF による地域産業創出に向けた検討事例紹介

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。

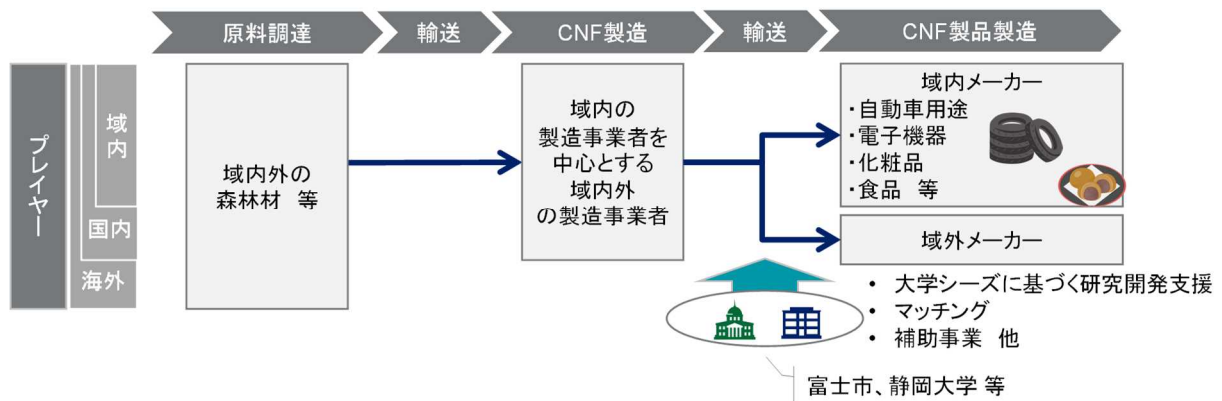


図 3-6 静岡県富士市における地域産業サプライチェーン例

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生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。

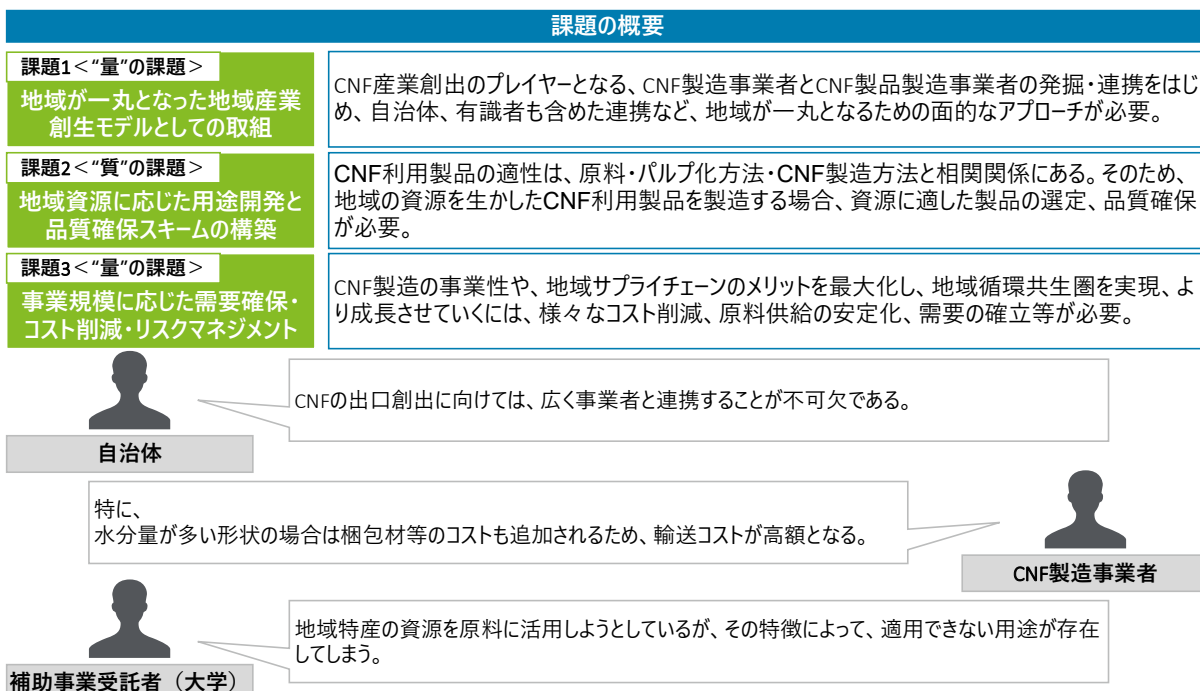


図 3-7 CNF による地域産業創出に係る課題とコメント

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。

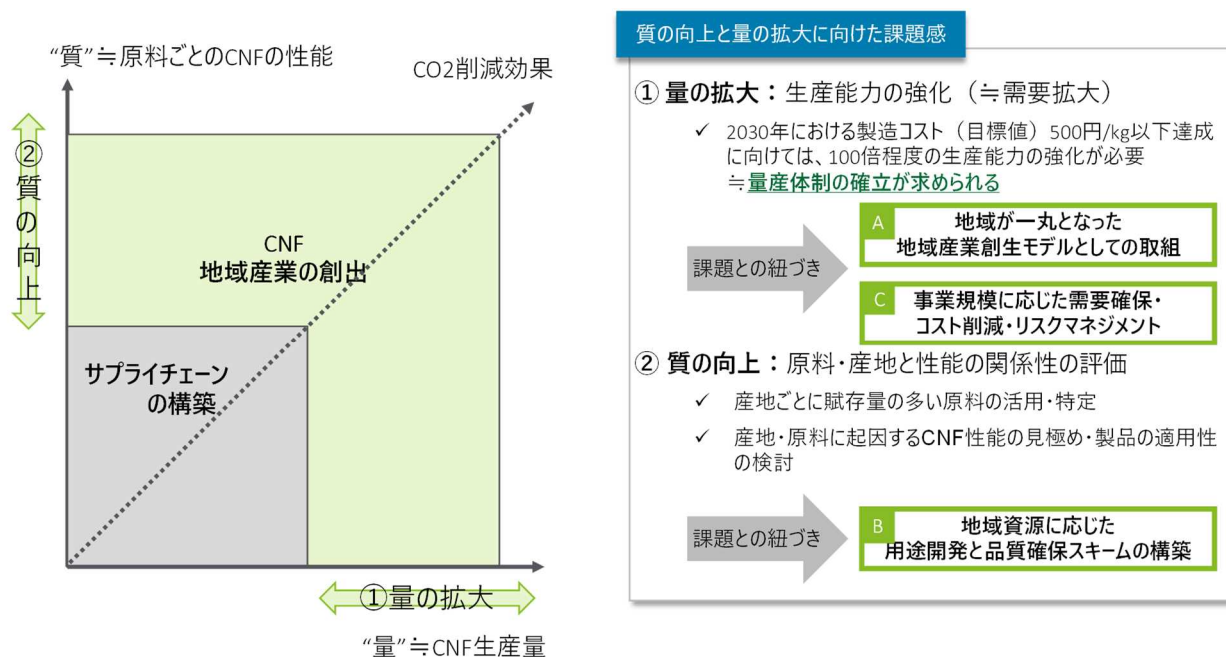


図 3-8 CNF の普及と CNF 地域産業創出の課題の関係性

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

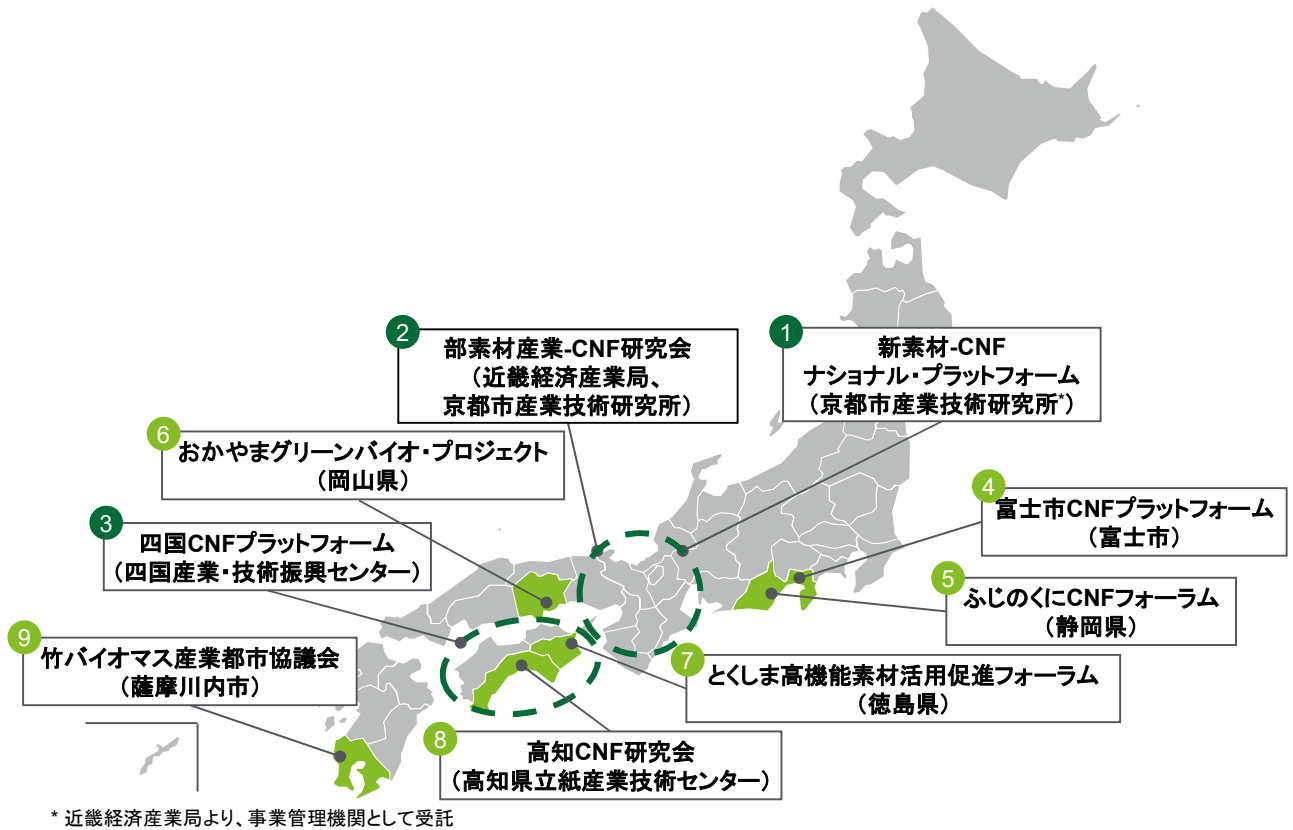
地域圏で一定規模の需要を創出するには、個々の企業間の取引に任せるのではなく、地域として面的に事業創出を後押しする必要があります。今後さらなる普及、用途開発が期待される CNF の場合は、幅広く地域の事業者を巻きこむことが重要です。

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 <u>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</u> 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、 <u>合意形成まで事業を的確に導いていく</u> 。	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。 <u>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</u> が期待される。
キーパーソン (有識者等)		関係者間の <u>各種調整</u> や、取組に関連する分野の <u>専門家として、取組推進に向けた的確な助言</u> 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、 <u>会議の取りまとめ役</u> を担うことも期待される。	その地域で <u>影響力を持つ関係者(首長等)</u> や、その <u>取組分野に関する有識者</u> (学識経験者等)
実施主体	事業者	<u>事業の実施</u> 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、 <u>生産及び輸送機能ならびに、需給に係る情報を開示</u> 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 <u>課題となる規制等に関する情報</u> や、国として <u>支援可能な施策等の情報</u> 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

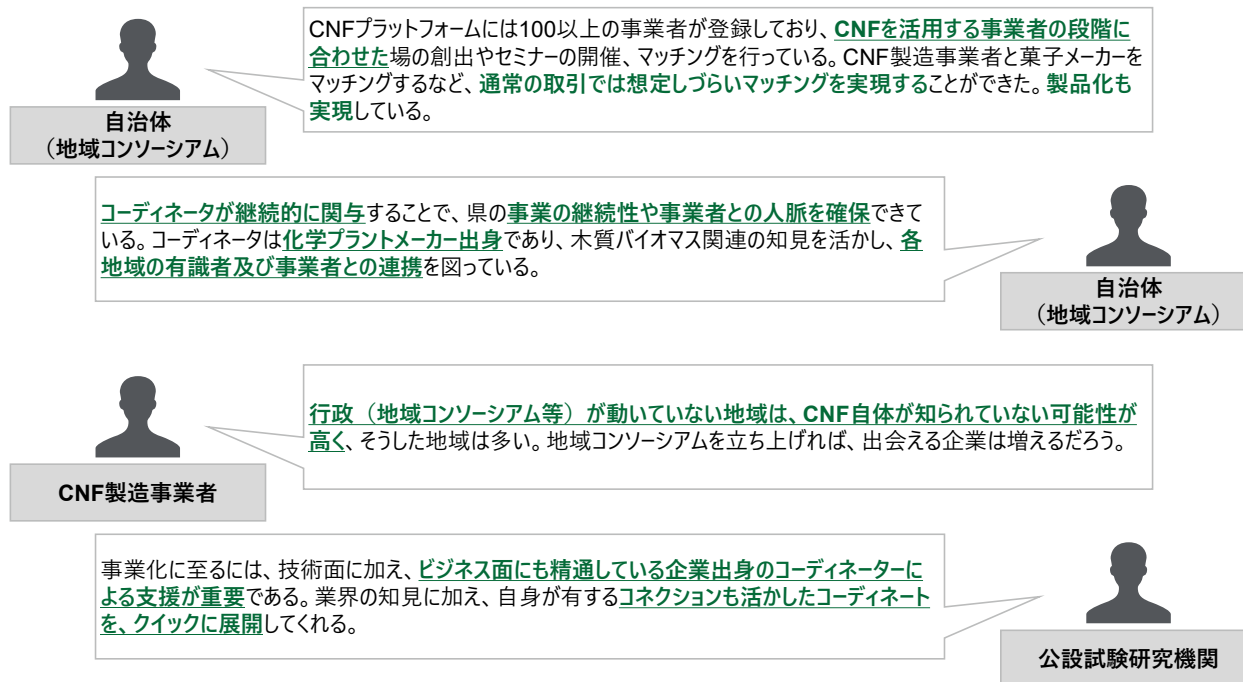
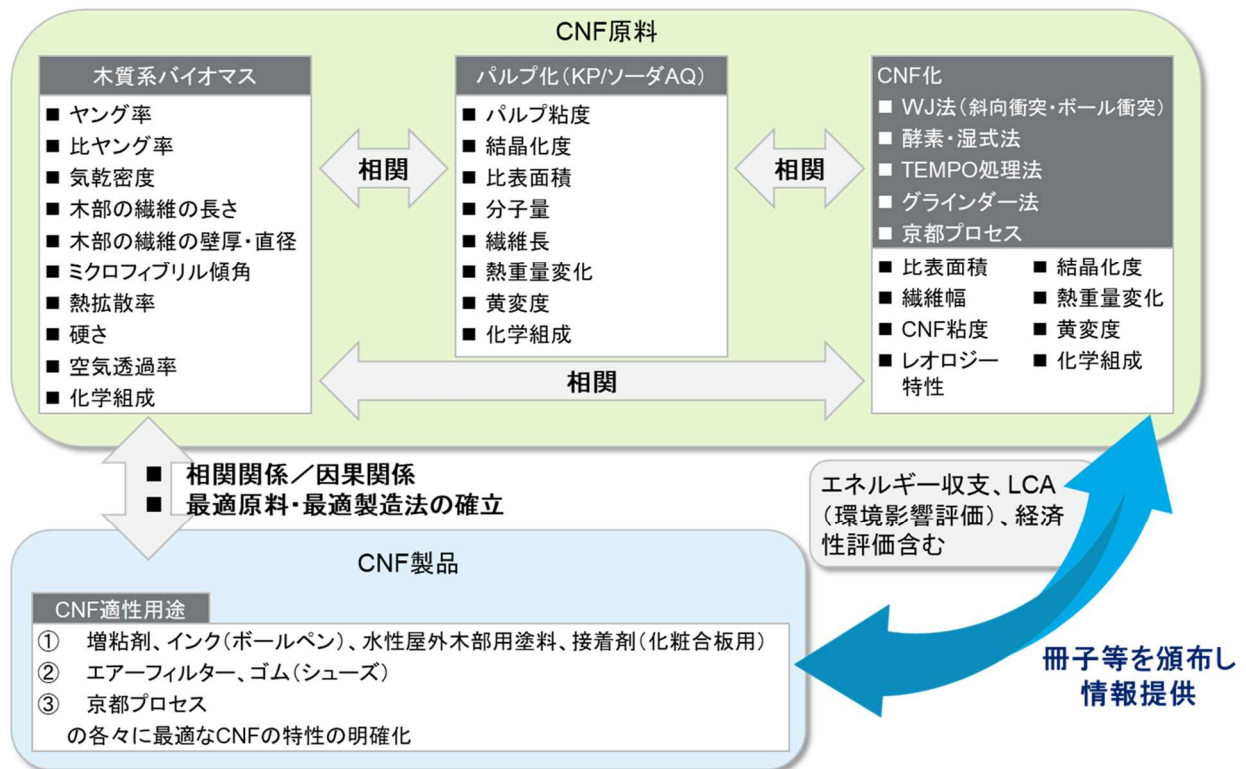


図 3-10 地域コンソーシアムやその機能に対するヒアリング意見

(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	2	3	4
		京都プロセスにおける CNF強化樹脂	エア-フィルター	接着剤 (化粧合板用)	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	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>

表 曲げ強度特性

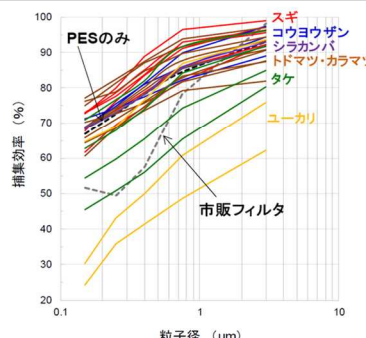
	アセチル化度 DS	繊維率 (%)	曲げ弾性率 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	伸び (mm)
PA6			2.20	98.0	>30
茨城スギ、未成熟	0.62	12.4	3.96	131.3	9.0
茨城スギ、成熟	0.65	11.9	3.88	128.7	9.0
富山スギ、未成熟	0.61	12.3	3.96	134.4	9.4
富山スギ、成熟	0.55	11.3	4.02	135.9	9.2
熊本スギ	0.91	9.6	3.31	117.6	9.8
真庭スギ	0.93	9.9	4.09	135.1	5.6
真庭スギ木粉	1.0	8.7	2.84	111.7	12.4
トドマツ、未成熟	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
トドマツ剥き芯	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。  <p>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）</p>

（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バルブ由来TEMPO処理CNFとカラマツ成熟材漂白AQバルブ由来酵素・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、バルブ漂白有無の影響は少なかった。 <table border="1" data-bbox="558 1478 1165 1769"> <thead> <tr> <th>サンプル</th> <th>CNF 濃度(%)</th> <th>総合評価</th> <th>粘度(ブランク=1)</th> <th>浸漬剥離</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ブランク 60 秒</td> <td>0</td> <td>○</td> <td>1</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>ブランク 40 秒</td> <td>0</td> <td>△</td> <td>1</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>シラカンバ未成熟漂白ソーダ AQ-TEMPO</td> <td>0.56</td> <td>○</td> <td>2.50</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>カラマツ成熟漂白ソーダ AQ-En</td> <td>0.56</td> <td>○</td> <td>2.90</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>茨城スギ成熟未漂白 KP-OC *1</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>3.44</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>茨城スギ未成熟未漂白 KP-OC *1</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>2.92</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>富山スギ成熟未漂白 KP-OC</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>2.92</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>熊本スギ成熟未漂白 KP-OC</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>3.33</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>熊本スギ成熟未漂白 KP-OC</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>3.33</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>トドマツ成熟漂白 KP-TEMPO</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>2.33</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>カラマツ成熟漂白 KP-TEMPO</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>2.06</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>シラカンバ成熟漂白ソーダ AQ-En</td> <td>1.11</td> <td>○-</td> <td>3.61</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>ユーカリ未成熟漂白 KP-En</td> <td>1.11</td> <td>○-</td> <td>3.89</td> <td>◎</td> </tr> </tbody> </table> <p>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）</p>	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	◎
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	◎																																																																			

（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>置性流体</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>ダイラタント流体</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	置性流体	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	ダイラタント流体	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																			
置性流体	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																			
ダイラタント流体	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。 																					

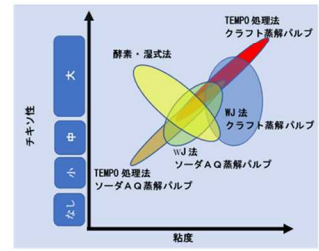


図 CNFの年度とチキソ性の分布

(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。

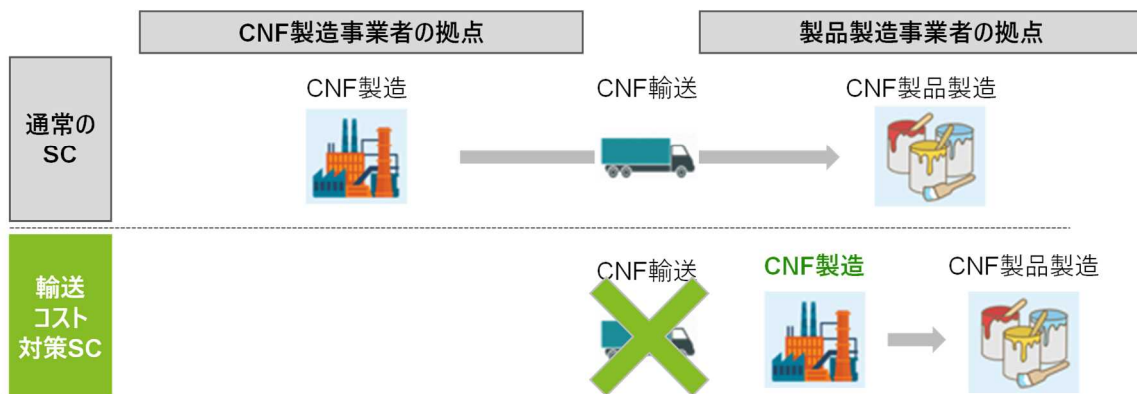


図 3-16 CNF の形状に伴う輸送コストの高額化への対応事例

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、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。

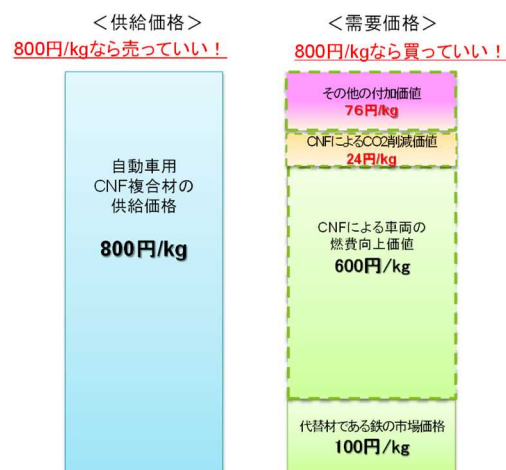


図 3-17 自動車用 CNF 複合材の供給価格と需要価格の比較

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。

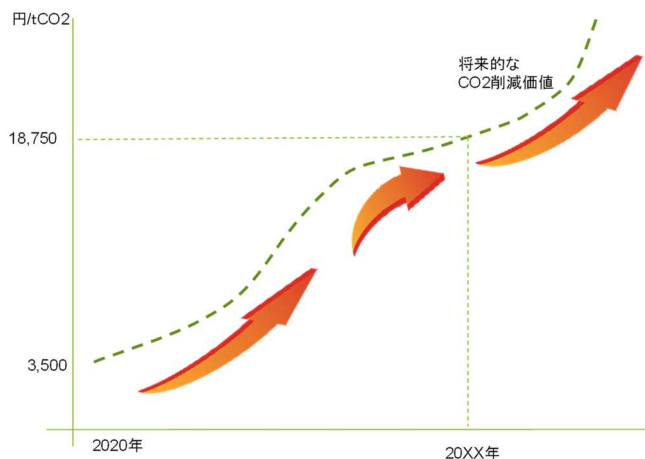


図 3-18 CO₂ 削減価値の将来的な推移（イメージ）

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。