

令和2年度環境省委託業務

令和2年度
セルロースナノファイバー利活用ガイドライン
作成事業委託業務
報告書

令和3年3月

株式会社エックス都市研究所
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
一般社団法人サステナブル経営推進機構

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、高い比表面積と空孔率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る。

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る。

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る。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ない。加えて、市場には CNF と称する材料は数多く存在するが、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る。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て可能な限り迅速に結果へ導く必要がある。

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 削減効果が明確になれば、利活用の促進に繋がるが、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る。

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、精査する必要がある。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のが望ましい。

その他、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たい。

以上より、本業務では、CNF 利活用に関する包括的かつ実践的なガイドラインを作成するとともに、主要な CNF 及び CNF 二次製品の製造時 CO2 排出原単位、CNF の最新の社会実装状況などの取りまとめを行った。

本業務は環境省の令和 2 年度委託業務として、株式会社エックス都市研究所、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、及び一般社団法人サステナブル経営推進機構の 3 者による共同実施体制によって実施した。

また、本業務の検討にあたっては、多くの研究者・事業者の方々から、委員会やヒアリング調査等を通じてご助言・ご指導を頂いた。この場をお借りして感謝申し上げたい。

令和2年度
セルロースナノファイバー利活用ガイドライン作成事業委託業務
報告書目次

はじめに

目次

概要版（日本語・英語）

第1章 業務の全体概要	1
1.1 業務の背景と目的	1
1.2 業務の実施フロー	2
1.3 業務の実施内容	3
1.4 業務の実施体制	4
第2章 「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」の成果によるCO2削減効果の見通しの更新	5
2.1 環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理	5
2.1.1 有識者ヒアリング調査	5
2.1.2 CNF 関連事業の各業務報告書の調査	8
2.1.3 調査項目の検討・設定	11
2.1.4 モデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査	12
2.1.5 調査結果のとりまとめ	12
2.2 モデル事業のCO2削減効果に関する分析	17
2.2.1 各報告書の調査及び文献調査	17
2.2.2 アンケート・ヒアリング調査結果	19
2.2.3 CO2削減効果の検証・分析	19
2.3 CNFの供給コスト等に関する分析	37
2.3.1 環境省事業及び文献における価格情報の整理	37
2.3.2 CNFの供給価格に関する考察	39
2.4 CNFリサイクルの調査	44
2.4.1 環境省 CNF リサイクル関連事業に関する文献調査	44
2.4.2 ヒアリング調査	46
2.4.3 追加調査	47
2.4.4 CNF リサイクルの課題と解決に向けた方向性の整理とまとめ	55
2.5 海外政策動向調査	57
2.5.1 米国	57
2.5.2 カナダ	59
2.5.3 フィンランド	62
2.5.4 ノルウェー	64

2.5.5	スウェーデン	67
2.5.6	欧州連合	69
2.5.7	韓国	72
2.6	CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理	73

第3章 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理 75

3.1	モデル事業受託者に係わるサプライチェーンに関する課題の整理	75
3.1.1	文献調査	75
3.1.2	ヒアリング調査	77
3.1.3	追加調査	77
3.1.4	結果まとめ	81
3.2	CNF の用途拡大に係わるサプライチェーンに関する課題の整理	96
3.2.1	CNF 製品候補リスト作成	96
3.2.2	検討対象用途の絞り込みとステークホルダーの整理	98
3.2.3	ヒアリング調査内容の検討	99
3.2.4	ヒアリング調査の実施	100
3.2.5	結果まとめ	101
3.3	課題解決策の検討・提案	104
3.3.1	課題の分類と詳細分析	104
3.3.2	対応策の検討	106
3.4	CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理	115

第4章 CNF の地域産業創出モデルの検討 116

4.1	3地域における CNF サプライチェーンに関する最新情報の調査	116
4.1.1	文献調査・ヒアリング調査	116
4.1.2	結果のまとめ	128
4.2	3地域の地域特性の整理	130
4.2.1	静岡県の地域特性	130
4.2.2	岡山県の地域特性	136
4.2.3	三重県の地域特性	141
4.3	CNF 地域産業創出モデルの詳細検討	145
4.3.1	少量生産高価格モデルの検討	147
4.3.2	大量生産低価格モデルの検討	164
4.4	CNF の地産地消モデルを推進する上での課題整理と解決策の提案	185
4.4.1	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	187
4.4.2	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	190
4.4.3	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	194
4.5	CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理	195

第5章 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO ₂ の客観的評価 及び将来の量産時のLCCO ₂ の推定	196
5.1 CNF製造方法の確認	200
5.2 CNFまたはCNF二次製品の整理	206
5.3 CNF活用製品のライフサイクルにおけるCO ₂ 削減ポテンシャルの確認	208
5.4 主要なCNFまたはCNF二次製品の選定	209
5.5 製造段階のCO ₂ 排出原単位の推定	210
5.6 ガイドラインへの反映内容の検討とLCAガイドラインの作成	220
5.7 国内のCNF及び二次製品のLCCO ₂ に関する課題の整理	226
第6章 CNF利活用ガイドラインの策定	229
6.1 ガイドラインの基本方針の検討	229
6.2 ガイドラインの目次構成の検討	232
6.3 ガイドライン素案の作成	234
6.4 ガイドライン要約版素案の作成	235
6.5 ガイドライン素案の有効性・妥当性の確認	236
6.6 ガイドライン案の作成	236
第7章 有識者会議の設置・運営	238
7.1 CNF利活用ガイドライン策定委員会の設置・運営	238
7.2 LCA分科会の設置・運営	240
第8章 本年度業務のまとめと課題の整理	242
8.1 本年度業務のまとめ（主な成果）	242
8.2 今後の課題と対応方針案	245
略語・用語集	246
巻末資料：	
巻末資料1：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（案）	
巻末資料2：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 要約版（案）	
巻末資料3：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 要約版 英語版（案）	
巻末資料4：CNFサプライチェーン構築及び拡大に向けた課題	

概要（サマリー）

令和 2 年度

セルロースナノファイバー利活用ガイドライン作成事業委託業務

1. 業務の目的

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、高い比表面積と空孔率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る。

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る。

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、平成 27 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る。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ない。加えて、市場には CNF と称する材料は数多く存在するが、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る。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る。

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 削減効果が明確になれば、利活用の促進に繋がるが、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る。

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、精査する必要がある。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のが望ましい。

その他、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たい。

以上より、本業務では、CNF 利活用に関する包括的かつ実践的なガイドラインを作成するとともに、主要な CNF 及び CNF 二次製品の製造時 CO₂ 排出原単位、CNF の最新の社会実装状

況などの取りまとめを行うことを目的とする。

2. 業務実施フロー

業務実施フローを図-1に示す。

※図中の番号は本報告書の章番号とは異なる

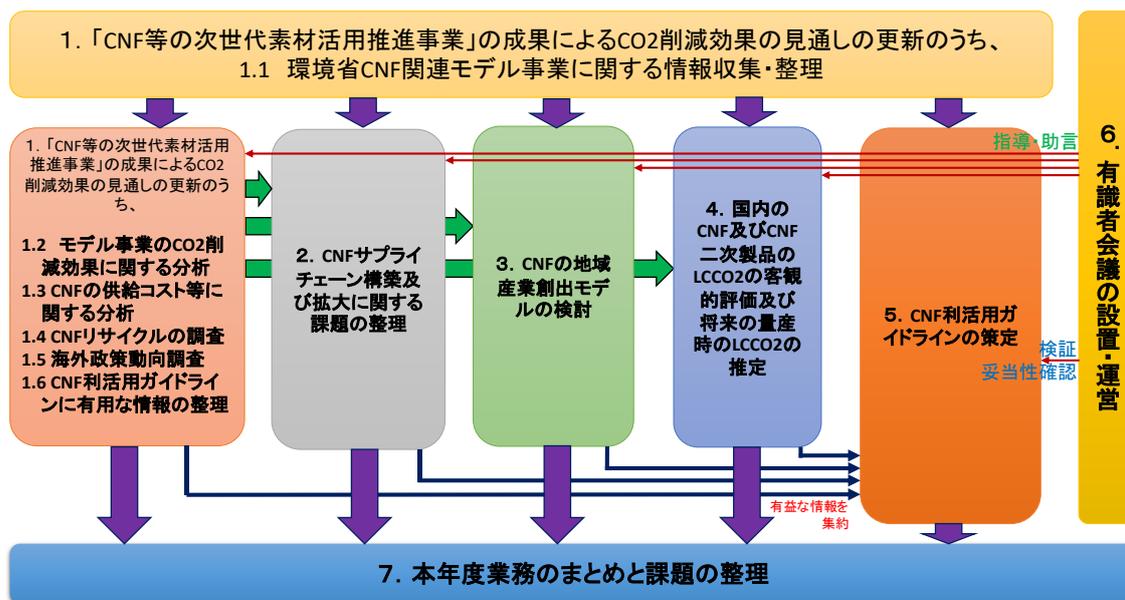


図-1 業務実施フロー

3. 業務の概要

3.1 「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」の成果によるCO2削減効果の見通しの更新

（1）環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理

平成 27 年度以降に実施している「セルロースナノファイバー（CNF）等の次世代素材活用推進事業」において実証してきたモデル事業に関する情報を収集し、整理するとともに、モデル事業受託者に対して、アンケート調査・ヒアリング調査を実施し、本年度調査項目と関連した内容やモデル事業後の状況について把握を行った。

（2）2025～2035 年における CO2 削減効果等の分析

上記（1）の各モデル事業の CO2 削減効果の推計結果を把握し、追加で CO2 削減効果の推計に必要な情報の収集を行った。加えて、上記（1）のアンケート及びヒアリング調査で情報把握を行ったものの、有益な情報は得られなかった。そこでの、従来の方法をアップデートする形で、当該製品の将来的な普及量を設定するとともに、各製品当たりの CO2 削減効果の推計し、将来的な CO2 削減効果（2025～2035 年）の検証・分析を行った。

（3）CNF の供給コスト等に関する分析

上記（1）の各モデル事業の内容及びアンケート・ヒアリング調査結果、関連情報を基に、CNF の供給価格と関連する情報について分析を行った。アンケート及びヒアリング調査からは個別に掲載可能な情報は得られなかったが、得られた情報から可能な範囲で CNF の種類・特徴別の傾向を整理し、現在と将来の供給価格情報及びそれに係る定性情報を整理した。

（4）CNF リサイクルの調査

「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」で実施した CNF のリサイクルに関する調査を基に、平成 29～31 年度環境省「CNF リサイクルの性能評価等事業」の結果等も踏まえて調査を行った。特に、工程内リサイクルと市場回収リサイクルの観点と選別技術の観点から調査を行った。

（5）海外政策動向調査

「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」で調査した 7 か国（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）を対象とし、CNF における各国政策の最新動向を調査した。

（6）CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理

上記（1）～（5）の各項目に関して、CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理を行った。

3.2 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理

CNF サプライチェーン構築及び拡大における経済的課題、制度的課題、社会的課題等整理し、ニーズが高く、CO2削減効果が期待でき、技術的にも可能性のある分野、ニーズとシーズの乖離が起きている分野などに分類し、表にまとめるとともに、有望な製品群の特定を行った。また、関連する事業者の意見を聴取し、課題・解決策等の検討を行った。

3.3 CNF 地域産業創出モデルの検討

平成27年度に実施した「地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発FS委託業務」の3地域（静岡、三重、岡山）のCNF サプライチェーンに関する最新情報を調査するとともに、CNFによる地域産業創出の課題と解決のポイントをまとめた。また、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を実施し、CNFの少量生産高価格モデルと大量生産低価格モデルについて、地域サプライチェーンの実現可能性や波及効果の検討・推計を行った。

3.4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO2の客観的評価及び将来の量産時のLCCO2の推定

CNF製造方法の整理・体系化を行うとともに、LCCO2に係る情報、CO2削減ポテンシャル等について、最新情報の収集・整理を行った。また、主要なCNF製造方法について、CNF製造段階のCO2排出原単位の推定を行った。なお、原単位の製造方法としては、「実験規模」のものと2030年頃の増産化を想定した「工業規模」のものの推定を行った。

そして、それらの情報をもとに、LCAガイドラインの改定とCNF製造段階のCO2排出原単位の推定ツールの開発を行った。

3.5 CNF 利活用ガイドラインの策定

過年度調査及び上記の調査検討内容を踏まえて、CNF利活用ガイドラインの策定を行った。また、併せて要約版の作成を行った。

なお、環境省が公開するガイドラインとしての意義を明確にするため、有識者の意見等も踏まえ、タイトルを「『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」とし、脱炭素社会、循環経済、分散型社会の実現のためにCNFを利活用することに重点を置いた内容とした。

3.6 有識者会議の設置・運営

CNFに関する学識者やメーカー等の有識者から成るCNF利活用ガイドライン策定委員会（全3回開催、有識者9名）を設置し、上記各項目およびガイドラインの内容について検討を行った。また、LCA分科会を設置し、CNF製造時のCO2排出原単位の検討やLCAガイドラインの内容（上記3.4の内容に該当）について検討を行った。

Summary

The Project for the Preparation of the Guidelines for the Utilization and Application of Cellulose Nanofiber entrusted by MOEJ (FY 2020)

1. Purpose of the Project

Cellulose nanofiber (CNF) is a plant-derived carbon neutral material with a high specific surface area and a high level of porosity. As such, its application to various base materials as a material with high strength and high modulus of elasticity despite its light weight is hoped for, resulting in vigorous development efforts.

As the application of CNF to high strength materials (automobile parts and housings for household electrical appliances) and high performance materials (house construction materials and interior materials) leads to a reduction of energy consumption through weight reduction, higher efficiency, etc., a significant contribution by CNF to assisting control measures for global warming is anticipated.

Within the framework of collaboration involving many ministries, the Ministry of the Environment, Government of Japan (MOEJ) has been responsible for the practical use of CNF in society and has entrusted various projects since FY 2015 featuring the low carbonization of the CNF manufacturing process, performance evaluation of products using CNF and verification of the recycling process among others and each project has achieved certain results. However, as CNF is a new material, suitable processing, treatment and storage methods to fully perform its functions have not yet been widely established throughout its life from original manufacture to the production, use and disposal of products using CNF. Moreover, even though there are many materials claiming to be CNF in the market, their actual properties vary depending on precision (degree of defibrillation, uniformity of the defibrillated fibers, distribution of the diameter and length of CNF, degree of substitution by chemical modification, etc.) Accordingly, it is essential to establish key points for the selection and processing of CNF as public knowledge and to lower the barriers for utilization and application in order to produce results as quickly as possible so that users can select a type of CNF which suits their intended purpose of use and to efficiently develop and manufacture products using CNF.

In today's climate with a strong call for decarbonisation, clear indication of the lifecycle CO₂ (LCCO₂) reduction effect through the use of plant-derived CNF will lead to its accelerated utilization and application. The CNF currently available in the market is diverse in terms of manufacturing method and size and the CO₂ output level in manufacturing greatly differs.

To guarantee the reliability of LCCO₂ calculation, it is necessary to carefully examine the CO₂ output level at the manufacturing stage of each main type of CNF with the assistance of a third party with a certain degree of objectivity. It is desirable to estimate a realistically achievable

value based on increased production in the future in addition to the current value because of the still small manufacturing scale at present.

This project also intends clarification of fields with a strong need, fields in which development towards practical use is quickly progressing and fields requiring support because of separation between needs and seeds by means of renewing the prospects for the CO₂ reduction effect by the utilization and application of CNF based on the study of the progress of CNF use in society under the “Project for the Promotion of the Use of New Generation Materials Such as CNF” which is an entrusted project of the MOEJ and compiling information on the utilization and application of CNF from sources other than CNF projects.

The purpose of the project is, therefore, to prepare comprehensive and practical guidelines concerning the utilization and application of CNF and to compile information on the output level of CO₂ at the time of the manufacture of principal CNFs and secondary products using CNF and also on the latest situation and practical use of CNF in society.

2. Work Flow

The work flow of the project is shown in Fig. 1.

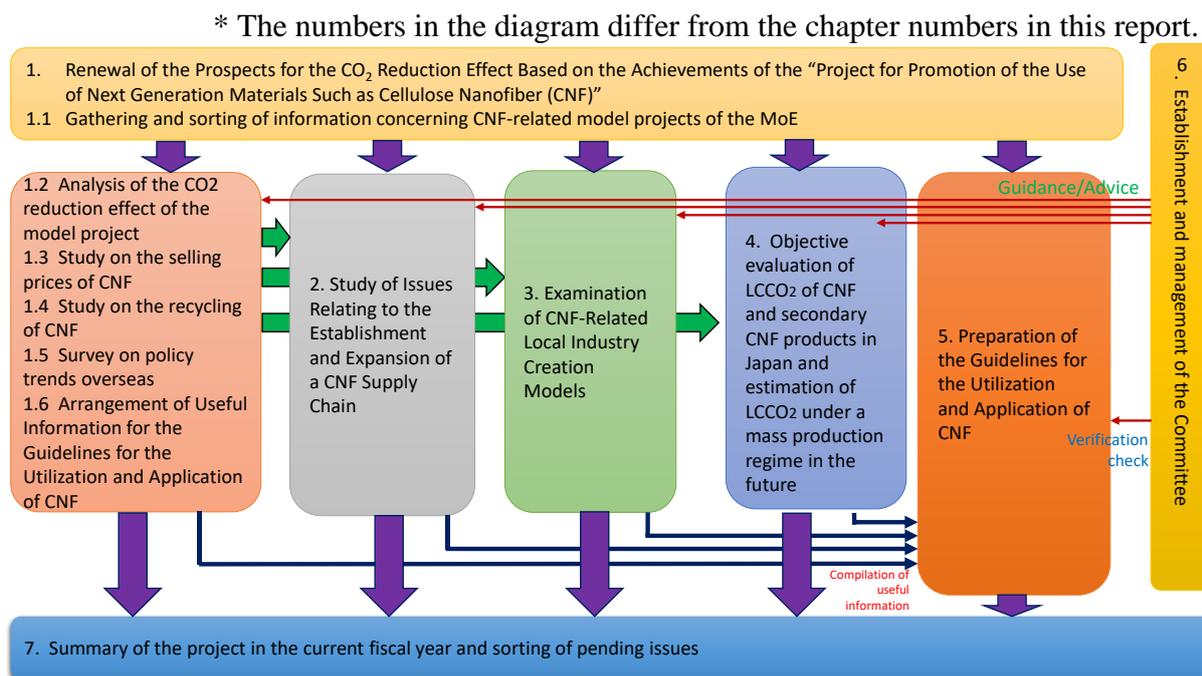


Fig.1 Work Flow

3. Outline of the Project

3.1 Renewal of the Prospects for the CO2 Reduction Effect Based on the Achievements of the “Project for Promotion of the Use of Next Generation Materials Such as Cellulose Nanofiber (CNF)”

(1) Collection and Sorting of Information on CNF-Related Model Projects of the MOEJ

Information was gathered and sorted concerning model projects which had been demonstrated under the “Project for Promotion of the Use of Next Generation Materials Such as Cellulose Nanofiber (CNF)” which had been implemented since FY 2015. A questionnaire survey as well as interview survey were also conducted with those entrusted to implement the model projects to identify the contents relating to the study items for this year and the situation after the implementation of each model project.

(2) Analysis of the CO2 Reduction Effect, etc. for 2025 through 2035

The estimation results for the CO2 reduction effect of each model project referred to in (1) above were grasped and additional information required to estimate the CO2 reduction effect was gathered. Although it was attempted to gain further information based on the questionnaire and interview surveys referred to in (1) above, no useful information was obtained. Because of this, the future volume of the wider use of each product concerned was determined as updated data on that obtained by the conventional method and the CO2 reduction effect per product was estimated to analyse and verify the future CO2 reduction effect (2025 through 2035).

(3) Study on of the Selling Prices, etc. of CNF

Based on the contents of each model project referred to in (1) above, the results of the above-mentioned questionnaire and interview surveys and relevant information, the selling prices of CNF and related information were analysed. While no specific information to be listed was obtained from the questionnaire and interview surveys, the obtained information was used as practically as possible to establish the trends of CNF by type and characteristic to sort information on the current and future selling prices and related qualitative data.

(4) Study on the Recycling of CNF

Based on the study on the recycling of CNF which was conducted as part of the Entrusted Project for the Planning, etc. to Promote Cellulose Nanofiber Recycling Model Projects in FY 2017”, a study on the recycling of CNF was conducted, taking the findings of the “Project for Evaluation of the Recycling Performance of CNF” of the MOEJ for the period from FY 2017 to FY 2019 into consideration. In particular, this study emphasized the viewpoints of in-process recycling, recycling based on market collection and sorting technology.

(5) Survey on Policy Trends Overseas

The latest trends of CNF-related policies were surveyed, targeting seven countries surveyed in FY 2017 (US, Canada, Finland, Norway, Sweden, EU and South Korea).

(6) Arrangement of Useful Information for the Guidelines for the Utilization and Application of CNF

In relation to the issues dealt with in (1) through (5) above, useful information for the preparation of the Guidelines for the Utilization and Application of CNF was arranged.

3.2 Study of Issues Relating to the Establishment and Expansion of a CNF Supply Chain

The economic, institutional and social issues relating to the establishment and expansion of a CNF supply chain were sorted and fields with a strong need, high potential for the CO₂ reduction effect and technological feasibility were classified along with fields marked by separation between needs and seeds. These results were then compiled into a table and promising groups of products were identified. Moreover, stakeholder enterprises were interviewed for their views and opinions and the identified issues and possible solutions, etc. were examined.

3.3 Examination of CNF-Related Local Industry Creation Models

A study was conducted to obtain the latest information on the CNF supply chain in three prefectures (Shizuoka, Mie and Okayama) targeted by the “The Feasibility Study on the Local Development of Low Carbon Applications of Cellulose Nanofiber entrusted by MOEJ” conducted in FY 2015 and issues relating to the creation of CNF-related local industries were listed together with key points for solutions. A simulated case study on the ripple effect of the creation of CNF-related local industries on local economy was conducted and the feasibility and ripple effect of a local supply chain were examined as well as estimated for a small quantity high price model and a mass production low price model involving CNF.

3.4 Objective Evaluation of LCCO₂ of CNF and Secondary CNF Products in Japan and Estimation of LCCO₂ under a Mass Production Regime in the Future

The manufacturing methods of CNF were sorted and systematized and the latest information on LCCO₂, the CO₂ reduction potential, etc. was obtained and sorted. In regard to the principal CNF manufacturing methods, the output level of CO₂ at the CNF manufacturing stage was estimated. Two manufacturing scales were used to estimate the output level. One was the “experimental scale” and the other was the “plant scale” assuming a boosted production volume around 2030.

Based on the data resulting from the above estimation exercise, the Life Cycle Assessment (LCA) Guidelines were revised and a tool for estimation of the CO₂ output level at the CNF manufacturing stage was developed.

3.5 Preparation of the Guidelines for the Utilization and Application of CNF

The Guidelines for the Utilization and Application of CNF were prepared based on studies in past years and also the examination results of the studies mentioned above. An Abridged Version of the Guidelines was also prepared.

Having taken the opinions of experts and other relevant matters into consideration, the title of the Guidelines was decided to be the “Guidelines for the Utilization and Application of Cellulose Nanofiber Towards the Decarbonization and Materialization of a Circular Economy” to clearly show the significance of the Guidelines publicly issued by the MOEJ with emphasis placed on the utilization and application of CNF to materialize a decarbonized society, circular economy and decentralized society.

3.6 Establishment and Management of the Committee

The Committee for the Preparation of the Guidelines for the Utilization and Application of CNF was established with experts on CNF in academic and business fields (three meetings were held with nine experts) to examine the issues described in each section above and the contents of the Guidelines. In addition, the LCA Subcommittee was established to examine the CO₂ output level at the CNF manufacturing stage and the contents of the Guidelines (corresponding to the contents of 3.4 above).

第1章 業務の全体概要

本章では、業務の背景と目的、業務の実施フロー、業務の実施内容、業務の実施体制について概説する。

1.1 業務の背景と目的

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、高い比表面積と空孔率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る。

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る。

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る。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ない。加えて、市場にはCNFと称する材料は数多く存在するが、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る。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る。

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削減効果が明確になれば、利活用の促進に繋がるが、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る。

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、精査する必要がある。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のが望ましい。

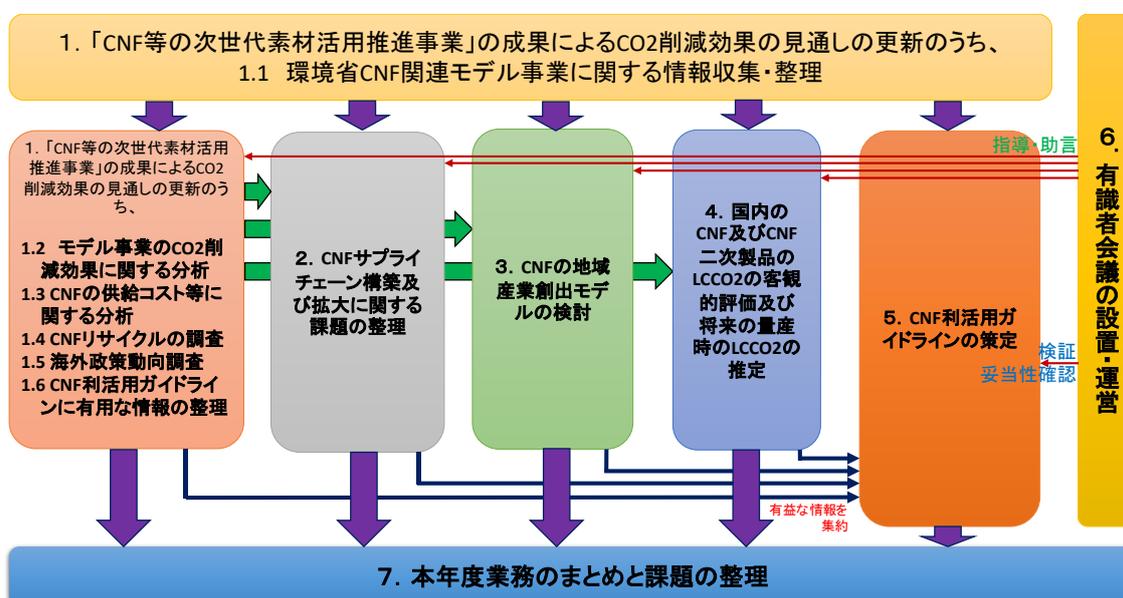
その他、これまでの環境省委託事業「セルロースナノファイバー（CNF）等の次世代素材活用推進事業」によるCNFの社会実装の進捗度を調査し、CNF利活用によるCO₂削減効果の見通しを更新するとともに、環境省事業に限らないCNF利活用情報をまとめ、ニーズが高い分野、速やかに実用化に向かっている分野、ニーズとシーズの乖離が起きており支援の必要な分野などを明らかにしたい。

以上より、本業務では、CNF利活用に関する包括的かつ実践的なガイドラインを作成する

とともに、主要な CNF 及び CNF 二次製品の製造時 CO2 排出原単位、CNF の最新の社会実装状況などの取りまとめを行うことを目的とした。

1.2 業務の実施フロー

本業務の実施フローを図 1-1 に示す。本業務は、(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」の成果による CO2 削減効果の見通しの更新、(2) CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理、(3) CNF の地域産業創出モデルの検討 (CNF の地産地消モデルの検討)¹、(4) 国内の CNF 及び CNF 二次製品の LCCO2 の客観的評価及び将来の量産時の LCCO2 の推定、(5) CNF 利活用ガイドラインの策定、(6) 有識者会議の設置・運営、という 6 つの主要項目と (7) 業務のとりまとめと課題の整理から構成される。



※図中の番号は本報告書の章番号とは異なる

図 1-1 業務実施フロー

¹ 仕様書においては、「CNF の地産地消モデルの検討」となっているが、委員会において「地産地消とはイメージが異なる」との指摘を受けた。語弊を避けるため、項目名を「CNF の地域産業創出モデルの検討」と改めている。

1.3 業務の実施内容

本業務の実施内容（まとめ）を表 1-1 に示す。

表 1-1 本業務の実施内容（まとめ）

区分	実施内容
(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」の成果による CO2 削減効果の見通しの更新	
(1)－1 環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理	平成 27 年度以降に実施している「セルロースナノファイバー（CNF）等の次世代素材活用推進事業」において実証してきたモデル事業に関する情報を収集し、整理するとともに、モデル事業受託者に対して、アンケート調査・ヒアリング調査を実施し、本年度調査項目と関連した内容やモデル事業後の状況について把握を行った。
(1)－2 2025～2035 年における CO2 削減効果等の分析	上述（1）－1 の各モデル事業の CO2 削減効果の推計結果を把握し、追加で CO2 削減効果の推計に必要な情報の収集を行った。加えて、上記（1）－1 のアンケート及びヒアリング調査で情報把握を行ったものの、有益な情報は得られなかった。そこでの、従来の方法をアップデートする形で、当該製品の将来的な普及量を設定するとともに、各製品当たりの CO2 削減効果の推計し、将来的な CO2 削減効果（2025～2035 年）の検証・分析を行った。
(1)－3 CNF の供給コスト等に関する分析	上述（1）－1 の各モデル事業の内容、上記のアンケート・ヒアリング結果および関連情報を基に、CNF の供給価格とそれに関連する情報について分析を行った。アンケート及びヒアリング調査からは個別に掲載可能な情報は得られなかったが、得られた情報から可能な範囲で CNF の種類・特徴別の傾向を整理し、現在と将来の供給価格情報およびそれに係る定性情報を整理した。
(1)－4 CNF リサイクルの調査	「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」で実施した CNF のリサイクルに関する調査を基に、平成 29～31 年度環境省「CNF リサイクルの性能評価等事業」の結果等も踏まえて調査を行った。特に、工程内リサイクルと市場回収リサイクルの観点と選別技術の観点から調査を行った。
(1)－5 海外政策動向調査	平成 29 年度に調査した 7 か国（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）を対象とし、CNF における各国政策の最新動向を調査した。
(1)－6 CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理	上記各項目に関して、CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理を行った。
(2)CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理	CNF サプライチェーン構築及び拡大における経済的課題、制度的課題、社会的課題等整理し、ニーズが高く、CO2 削減効果が期待でき、技術的にも可能性のある分野、ニーズとシーズの乖離が起きている分野などに分類し、表にまとめるとともに、有望な製品群の特定を行った。また、関連する事業者の意見を聴取し、課題・解決策等の検討を行った。
(3)CNF の地域産業創出モデルの検討	平成 27 年度に実施した「地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務」の 3 地域（静岡、三重、岡山）の CNF サプライチェーンに関する最新情報を調査するとともに、CNF による地域産業創出の課題と解決のポイントをまとめた。また、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を実施し、CNF の少量生産高価格モデルと大量生産低価格モデルについて、地域サプライチェーンの実現可能性や波及効果の検討・推計を行った。

区分	実施内容
(4) 国内の CNF 及び CNF 二次製品の LCCO2 の客観的評価及び将来の量産時の LCCO2 の推定	CNF 製造方法の整理・体系化を行うとともに、LCCO2 に係る情報、CO2 削減ポテンシャル等について、最新情報の収集・整理を行った。また、主要な CNF 製造方法について、CNF 製造段階の CO2 排出原単位の推定を行った。なお、原単位の製造方法としては、「実験規模」のものと 2030 年頃の増産化を想定した「工業規模」のものとの推定を行った。 そして、それらの情報をもとに、LCA ガイドラインの改定と CNF 製造段階の CO2 排出原単位の推定ツールの開発を行った。
(5) CNF 利活用ガイドラインの策定	過年度調査及び上記の調査検討内容を踏まえて、CNF 利活用ガイドラインの策定を行った。また、併せて要約版の作成を行った。 なお、環境省が公開するガイドラインとしての意義を明確にするため、有識者の意見等も踏まえ、タイトルを「『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」とし、脱炭素社会、循環経済、分散型社会の実現のために CNF を利活用することに重点を置いた内容とした。
(6) 有識者会議の設置・運営等	CNF に関する学識者やメーカー等の有識者から成る CNF 利活用ガイドライン策定委員会（全 3 回開催、有識者 9 名）を設置し、上記各項目およびガイドラインの内容について検討を行った。また、LCA 分科会を設置し、CNF 製造時の CO2 排出原単位の検討や LCA ガイドラインの内容（上記（5）の内容に該当）について検討を行った。

1.4 業務の実施体制

本業務は環境省委託業務として、株式会社エクス都市研究所、デロイトトーマツコンサルティング（同）、（一社）サステナブル経営推進機構の 3 社共同実施体制で実施した。

本業務の実施体制を図 1-2 に示す。

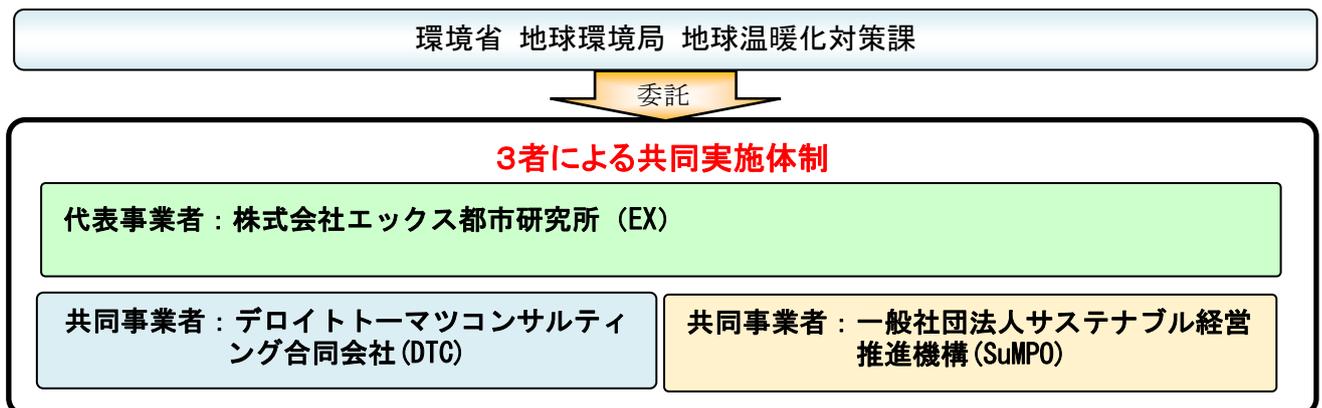


図 1-2 実施体制

第2章 「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」の成果によるCO2削減効果の見通しの更新

本章は章題として、「CO2削減効果の見通しの更新」となっているが、それだけには留まらず、環境省 CNF 関連モデル事業全般の把握や他章に含まれなかった調査についても実施した。

2.1においては、環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理を実施し、ガイドラインに掲載するもととなる情報のとりまとめを行った。2.2においては、モデル事業のCO2削減効果に関する分析、2.3ではCNFの供給コスト等に関する分析を行った。また、ガイドライン掲載を目的として、2.4でCNFリサイクルの調査、2.5で海外政策動向調査を行った。2.6では、2.1～2.5を基にガイドラインに掲載する情報の整理を行った。

2.1 環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理

2.1.1 有識者ヒアリング調査

環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理をする前に、今回の調査項目やCNF利活用ガイドライン策定の方向性に関する助言やCNFサプライチェーン構築及び拡大に関する課題等を把握する目的で有識者ヒアリング調査を実施した。

(1) 有識者ヒアリング調査の概要

有識者ヒアリング調査の調査項目を以下に、実施概要を表2.1-1に示す。

<調査項目>

- ・本業務の実施計画について
- ・CO2削減効果、コスト、LCCO2について
- ・サプライチェーン構築／地産地消モデルについて
- ・CNF利活用ガイドラインの策定について
- ・その他有用情報について

表 2.1-1 有識者ヒアリングの実施概要

日時	場所・形式	有識者名	
		所属・役職	氏名（敬称略）
6月2日（火） 10:30～12:00	WEB 会議	東京大学 特別教授	磯貝 明
6月2日（火） 13:00～15:00	(株)エックス都市研究所 会議室	大阪大学産業科学研究所 自然材料機能化研究分野 教授	能木 雅也
6月3日（水） 14:00～16:30	京都大学宇治キャンパス 会議室	京都大学 生存圏研究所 生物機能材料分野 教授	矢野 浩之
6月4日（木） 13:30～16:00	(国研)産業技術総合研究所 中国センター	産業技術総合研究所中国センター 機能化学研究部門 セルロース材料グループ 研究グループ長	遠藤 貴士

(2) 有識者ヒアリング調査の結果

有識者ヒアリングの結果を表 2.1-2 に示す。本ヒアリングで得られた情報を各検討及びガイドライン策定に活用した。

表 2.1-2 有識者ヒアリングの結果

区分	有識者ヒアリングにおけるコメント
CO2 削減効果、コスト、LCCO2 関連	・ LCA は現時点 (FS、実験室レベル) のみで評価するのではなく、量産時の評価も併せて行うことが重要である。
	・ LCA やコストに関しては NEDO (原料評価報告書) からデータを活用するとよい。
	・ 同じ製造方法でも、1 回処理と 10 回処理ではコストやエネルギーが異なってくる。また、細くしたものを添加することが必ずしもいい性能につながるわけではない。
	・ 価格や LCA はラボレベルとビジネススペース (初期、量産段階) でかなり数字が変わってくるので数値には留意した方がよい。
	・ 今回の調査で、原材料費ベースの技術別価格表を整理するのは意義があると思う。その場合、国内の技術・素材を網羅頂けると良い。
	・ 30%アセチル化 CNF 添加マスターバッチにおいて、京都プロセスを活用すると 718 円/kg~927 円/kg となる見通しを得ており、樹脂で 10%CNF に希釈すると、445 円/kg となる (年に 1 万 t 程度の生産量を想定)。
	・ NEDO (原料評価報告書) では、粗い CNF だと、販売も含めて 200 円/kg という安い値段でできるかもしれないとなっている。
サプライチェーン構築/地域産業創出モデルに関して	・ 富士市は、数年前から市長のトップダウンで、市内の中小企業等が行う CNF の用途開発に関する事業に関して補助金制度を実施している。
	・ 国内の森林資源は活用されず、パルプを原料とする製品の多くが輸入材を利用している。LCA によって国産材活用の評価を得て、国産材を活用した CNF サプライチェーンを構築できれば、林野庁の政策を動かすきっかけになり得る。
	・ 地域循環に関して、将来的にそうなればよいが、コストを下げるためにはそれなりの規模のプラントが必要で、いくつかの地域が連携してその中心地にプラントを作るといったことが必要となる。
	・ 地産地消を検討するなら、製材会社からでてくるおがくずを複合材にすることが考えられる。
	・ 将来有望な製品として、電子デバイスについては一定のシーズがあると思う。
ガイドライン策定について	・ CNF の国際標準化に関する動きもあるので、ガイドライン策定にあたっては、リンクさせた方がいいかもしれない。
	・ ガイドラインの項目としては、海外動向の整理を追加して頂きたい。
	・ 既に商品化に成功した企業から、技術や商品化などの課題 (壁) とそれを乗り越えた経緯などの情報を得て整理できれば、後続の企業にとって有益なものとなる。
	・ 情報源として NEDO 業務「セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査」(みずほ総研受託) が有用である。

区分	有識者ヒアリングにおけるコメント
	<ul style="list-style-type: none"> • 川上が努力して安定したものを作り、川中・川下に持っていかなければならないが、製紙会社にはそのような文化がない。CNF に関する川上と川中・川下の認識の乖離を埋める必要がある。 • 構造材に使用する CNF は京都プロセス等粗い製法のものでも問題ないが、電子デバイスに使用する CNF は故障の恐れがあるので高品質なものが求められる。 • 汎用プラスチックは疎水性であるため、親水性の CNF は受け付けず、混練している間に CNF が凝集してしまう。凝集した場合、木粉を混ぜているのと変わらなくなる。CNF を混ぜたということは事実であるが、CNF の性能が出ているものはほとんどない。 • 英語版（要約版）を作成しても良いのではないか。英語版を作成することで、世界的に日本が CNF のイニシアティブをとっていることのアピールになると思う。 • 参入しようとする事業者にとって前向きになるものになると良い。脱炭素社会の方向性を後押しするストーリー（先を見据えた展開、素材が持つ将来的なポテンシャル、社会的意義）を示してほしい。 • CNF で補強した PP が市場で手に入るようになってきているが、CNF の化学変性をしていない等の理由で十分な性能が発現しておらず、ユーザー側の関心が薄れてきている。ガイドラインでは、CNF の種類を整理して性能表示等を行い、ミスマッチングを減らすことや、CNF の将来的なポテンシャル・社会的意義を伝えていくことが重要である。 • 先行事業者の苦労や課題、成功に至ったプロセスは後続の事業者の参考となる（NCV 誕生物語など）。生の声をしっかり記載してほしい。
その他有用情報等	<ul style="list-style-type: none"> • CNF リサイクルに関して、CNF のコストを吸収するためにも付加価値に高い製品にマテリアルリサイクルをしていくが重要であり、同じ製品に使うとしても、薄肉化による軽量化といったメリットが必要である。 • リサイクルに関して、環境省の推進費で、リサイクルの添加剤にして従来品の樹脂の改良に使うというのをやっている。 • 構造用途に関する情報については、「構造用 CNF 材料の開発と自動車への応用」やナノセルロースシンポジウムの資料が参考となる。 • TEMPO 酸化でないものは、安定でなく、カビが生えてくることもあり、保管をどうするかという問題もある。 • 3 月末に矢野経済研究所から「2020 年版セルロースナノファイバー市場の展望と戦略」が発行された。将来有望な製品についても記載があるため、CNF 製品候補リスト作成にあたって参考になる。

2.1.2 CNF 関連事業の各業務報告書の調査

環境省モデル事業者受託者へのアンケート及びヒアリング調査や CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の調査、CNF 利活用ガイドラインの構成検討等を進めるにあたり、環境省の CNF 関連事業の過年度業務報告書を把握した。環境省 CNF 関連事業の一覧を表 2.1-3、各業務報告書で把握した項目を表 2.1-4 に示す。

さらに、環境省モデル事業で使用した CNF 性能に関して整理を行った。整理は自動車用途、家電用途、住宅建材用途別に行った。整理した項目を表 2.1-5 に示す。また、環境省モデル事業において、対象とした CNF 二次製品を表 2.1-6 で整理した。

表 2.1-3 環境省 CNF 関連事業の一覧

業務名	個別業務名	実施年度	代表事業者	評価項目又は検討対象製品
化 セル 対 製 ロ 策 品 ー の 製 ス 立 造 ナ 案 工 ロ 事 程 ー 業 の フ 委 低 ア 託 炭 イ 業 素 バ	低炭素型ナノセルロース複合ゴム製造工程の開発	平成 27～ 28 年度	大王製紙(株)	・乾燥プロセスの選定・最適化及び CO2 発生量評価 ・CNF 乾燥時の凝集防止・強度向上技術の開発 ・ゴムへの混練プロセス開発・性能評価・CO2 発生量評価 ・製造工程の低炭素化対策の立案
	非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造-CNF 脱水・溶媒置換法の確立	平成 27～ 29 年度	(国) 愛媛大学紙産業イノベーションセンター	・曇点抽出法の確立及び多層ワイヤー脱水技術の開発 ・脱水及び溶媒置換 CNF の樹脂混練の評価 ・製造工程の低炭素化対策の立案
	セルロースナノファイバー製品製造工程における CO2 排出削減に関する技術開発	平成 27～ 29 年度	パナソニック(株)	・CNF 複合樹脂材料の全乾式製法の開発 ・CNF 複合樹脂材料の成形加工法の開発・曇点抽出
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	平成 27～ 29 年度	第一工業製薬(株)	・ISS 車用 CNF 適用リチウムイオン電池
	多機能性・竹ナノセルロースの低エネルギー型生産プロセスの確立	平成 27～ 29 年度	(国) 九州大学大学院農学研究院	・ACC-ナノセルロース/PP コンポジット素材による自動車部品
	セルロースナノファイバー添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化	平成 27～ 29 年度	トクラス(株)	・CNF 添加 WPC 自動車部品
	セルロースナノファイバーを用いた機能部品の軽量化検討	平成 27～ 29 年度	トヨタ車体(株)	・CNFRP 製自動車用バッテリーキャリア
	セルロースナノファイバーを利用した住宅部品高断熱化による CO2 削減	平成 28～ 29 年度	(国) 静岡大学	・CNF 添加住宅部材
	CNF の家電製品搭載に向けた性能評価および導入実証	平成 28～ 29 年度	パナソニック(株)	・CNFRP 製冷蔵庫部品
	社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証	平成 28 年度	(国) 京都大学	・NCV (ナノセルロース自動車)
	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～	平成 29～ 31 年度		
竹 CNF を活用した建材の開発と既築集合住宅への実装による CO2 削減効果の実証	平成 29～ 31 年度	(株) 日建ハウジングシステム	・CNF 活用住宅部材・建材	
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	平成 29～ 31 年度	トヨタ車体(株)	・射出成型時の部品製造条件の分類の評価 ・成形温度及び射出成型機内の材料滞留による CNFRP の劣化が材料特性へ与える影響の評価 ・繰り返し成形性の評価
	セルロースナノファイバー複合樹脂の高速選別および高強度加工法の開発	平成 29～ 31 年度	パナソニック(株)	・選別工法の開発 ・再生工法の開発
	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	平成 29～ 31 年度	(国) 静岡大学	・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

表 2.1-4 各業務報告書で把握した項目

区分	調査項目	内容
1. CO2削減効果に関する事項	1-1 CNF または CNF 二次製品の製造に係る情報	CNF 供給者、CNF 製造に係る留意事項、種類または製造方法、供給量 (t/年)、スペック、CO2 排出量または削減ポテンシャル
	1-2 CNF 製品の製造に係る情報	製品製造量、1 製品あたりの CNF 使用量、製造製品のスペック、CO2 排出量または削減ポテンシャル、CNF 製造に係る留意事項
	1-3 輸送に係る情報	CNF 製品製造場所、CO2 排出量または削減ポテンシャル、輸送に係る留意事項
	1-4 使用段階に係る情報	製品寿命、CO2 排出量または削減ポテンシャル、使用段階に係る留意事項
	1-5 廃棄・リサイクル段階に係る情報	廃棄・リサイクル方法、CO2 排出量または削減ポテンシャル、廃棄・リサイクルに係る留意事項
2. CNF の供給価格等に関する事項	2-1 CNF の供給価格・調達価格 (化学装飾済み等含む)	現在～2035 年の CNF 供給価格
3. サプライチェーンの構築及び拡大に関する事項	3-1 サプライチェーン構成要員	サプライチェーンを構成する団体の名称、所在地、役割
	3-2 サプライチェーン構築及び拡大に関する課題	政策的課題、経済的課題、社会的課題、技術的課題
4. 地域産業創出モデルの検討に関する事項	4-1 CNF 製造原価	現在～2035 年の CNF 製造原価 (素材の改修コスト含む)
	4-2 需要地との距離	採算性のある需要地との距離
5. ガイドラインの策定に関する事項	5-1 製造量及び製造拠点	自社で製造している場合は製造量と製造拠点、他社から CNF を購入している場合はその取引先
	5-2 特許情報	所有する特許の内容

表 2.1-5 環境省事業で使用した CNF 性能特性に関して把握した項目

	自動車用途 (内装部品)	自動車用途 (その他)	家電用途	住宅建材用途
検討対象製品	●	●	●	●
CNF 種類	●	●		●
母材樹脂	●	●		
CNF 疎水化方法	●	●		
CNF 添加率	●	●		●
複合材密度	●	●		
曲げ剛性率	●	●		
軽量化率	●	●	●	
対象建材				●
CNF 使用方法				●
複合材熱貫流率				●
断熱向上率				●

表 2.1-6 環境省事業で対象とした CNF 二次製品の内容

No.	用途区分	代表事業者	CNF 二次製品	母材樹脂	CNF 複合比率 (代表値)	CNF 製造方法	CNF 添加による 主な効果
1-1	自動車	第一工業製薬(株)	アイドリングストップシステム用リン酸鉄リチウムイオンバッテリー	—	0.3%	TEMPO 酸化	・車両の軽量化
1-2		九州大学	自動車内装部品 (インパネ・ドアトリムなど)	PP	0.8%	機械解繊法 (水中カウンターコリジョン法)	・製品の軽量化
1-3		トクラス(株)	自動車内装部品	PP+木粉 25%	-	機械処理法 (フィブリル化木粉)	・製品の軽量化
1-4		トヨタ車体(株)	バッテリーキャリア	PP	20%	コンパウンド樹脂製造	・製品の軽量化
1-5		(国) 京都大学	①ドアトリム ②ドアアウターパネル ③ルーフパネル ④バックウィンドウ ⑤エンジンフード ⑥リアスポイラー ⑦フロントアンダーカバー ⑧バケットレフフロントカバー ⑨ホイールフィン ⑩ホイールフィン ⑪ルーフサイドレール ⑫フロア部材	PP、PA6、 PC/PMMA、 エポキシ	10% 10% 15% 15% 100% (積層シート) 10% 10% 10% 10% 10% 10% 100% 30~50%	各社製法による	・製品の軽量化
2-1	家電	パナソニック(株)	①冷蔵庫部品 「センターピラー」、「クロスレール」 ②洗濯機部品 「脱水受け」、「バランスー」	PP	15%	全乾式製法	・製品の軽量化
3-1	住宅建材	(国) 静岡大学	建材/断熱材	(既存のグラスウール断熱材表面に CNF 分散液を噴霧)	2.5%	機械解繊法 (ウォータージェット法)	・製品の軽量化
3-2		(株) 日建ハウジングシステム	建材/窓サッシ	塩ビ	7%	機械解繊法 (水中カウンターコリジョン法)	・弾性率の向上 ・遮熱性の向上 ・耐用年数の向上

2.1.3 調査項目の検討・設定

(1) 調査対象

環境省 CNF 関連事業の以下の3事業の受託者を対象にアンケート調査及びヒアリング調査を実施した。

<調査対象事業>

- ①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：3事業者
- ②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：8事業者
- ③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：3事業者

(2) 調査項目

アンケート調査及びヒアリング調査では、環境省 CNF 関連事業の内容及びその後の状況を把握するだけでなく、環境省 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の調査、CNF 利活用ガイドラインの構成検討等の情報も把握可能な調査項目を設定した。調査項目を表 2.1-7 に示す。

表 2.1-7 調査項目

区分	調査項目	内容
1. CNF の製造から CNF 製品の製造～廃棄・リサイクル段階に関する情報	1-1 CNF または CNF 二次製品 (CNF に化学修飾等を施したもの) の製造について	CNF または CNF 二次製品の供給元の企業名、工場名、製品名、製造規模、調達価格、製造方法、製品特性、CO2 排出量または CO2 排出削減ポテンシャル、その他 CNF 製造段階における課題・留意事項
	1-2 CNF 製品の製造について	製品製造量、1 製品あたりの CNF 使用量、製造製品の特性、CO2 排出量または削減ポテンシャル、CNF 製品製造に係る留意事項
	1-3 CNF 製品の使用について	想定耐用年数、CO2 排出量または削減ポテンシャル、CNF 製品の仕様に係る留意事項
	1-4 廃棄・リサイクルについて	廃棄・リサイクル方法、CO2 排出量または削減ポテンシャル、廃棄・リサイクルに係る留意事項
2. サプライチェーンの構築及び拡大に関する事項	2-1 サプライチェーンの構築・課題について	サプライチェーンを構成する団体の名称、所在地、役割、活用した国の支援、コスト面での課題、社旗的課題、技術的な課題
	2-2 CNF 適用ニーズ	有望と考えられる製品、有望と考えられる製品に求められる性能や課題
3. CNF 利活用ガイドラインに関する事項	3-1 CNF 製造拠点	事務局が整理している以外に存在している又は今後建設予定の製造拠点
	3-2 CNF に関する特許情報について	所有する特許の番号及び名称
	3-3 CNF 利活用ガイドラインの内容について	掲載してほしい情報
4. 今後の展開	4-1 今後の展開	今後の展開

2.1.4 モデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査

平成 27～31 年度に環境省が実施した「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 利活用情報等の調査・整理を通じて、有用な CNF 利活用ガイドラインを作成することを目的にアンケート調査を行った。アンケート調査回答後に、アンケート調査の補足調査としてヒアリング調査を実施した。調査概要を表 2.1-8 に示す。

表 2.1-8 モデル事業受託者へのアンケート調査とヒアリング調査の実施概要

	アンケート調査	ヒアリング調査
実施対象	平成 27～31 年度に環境省が実施した「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」に受託した代表事業者（全 10 事業者） ①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：3 事業者 ②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：8 事業者 ③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：3 事業者 ※複数実施している事業者はまとめて把握 ※1 事業者（九州大学）からは、コロナの影響により本業務が多忙のためアンケート調査・ヒアリング調査の対応が不可となった。	
実施期間	5 月 29 日（金）～6 月 26 日（金）	7 月 7 日（火）～7 月 30 日（木）
実施形式	メールにて、Excel 形式のアンケート調査票を送付	コロナ感染症の影響を考慮し、事業者の要望に応じて以下の形式で実施 対面形式：3 事業者 web 形式：7 事業者

2.1.5 調査結果のとりまとめ

アンケート調査及びヒアリング調査の調査結果の概要を表 2.1-9 に示す。

また、「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」（以下、「平成 29 年度業務」）で把握した課題と解決策に対するモデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査の内容及び環境省等の動きを表 2.1-10、11 で整理した。平成 29 年度業務で挙げた課題に対して、各事業者が対応しているもののいまだに課題としている内容が多く挙げた。なお、環境省や経済産業省等では、平成 29 年度業務で挙げた課題に対して、補助事業や安全評価に関する事例集の公表等の動きがあった。

表 2.1-9 モデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査結果の概要

		内容
過年度モデル事業について	モデル事業後の進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> 8 事業者のうち、1 事業者が一旦終了、2 事業者が研究開発段階、3 事業者が商用化に向けた開発段階、1 事業者が一部商用化段階。 研究開発段階の事業者は、従来製品と同等の性能が検証されていないため、商用化への検討がされていない。（高付加価値性能を念頭にした場合は従来製品以上の性能） 商用化に向けた開発段階では、具体的なメーカーと商用化に向けた開発を実施。
	モデル事業実施における CNF・CNF 製品の効果	<ul style="list-style-type: none"> CNF・CNF 製品の効果として、以下が挙げられた。 軽量化、耐久性、弾性、衝撃性、リサイクル性
	事業実施にあたっての課題	<ul style="list-style-type: none"> CNF のコスト →既存材料に対して軽量化の魅力を鑑みたとしても価格競争力がない。

		<p>→高付加価値でも買いたくなる製品を開発する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・製品ユーザーの新たな原料に対する不安感。 ・既存製品との CNF の適合性。 ・量産設備設置における設備費用。
	今後の展開	<ul style="list-style-type: none"> ・商用化に向けて、メーカーや有識者を含めて検討を行う。 ・事業者内で CNF・CNF 製品の技術的な向上を行う。
CNF 製品の リサイクル について	CNF 製品のリサイクルの考え方	<p>【自動車用途】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工程内でのリサイクルが可能のため、ブロー成形においても有利である。 ・樹脂のみを回収するという仕組みがない。 ・主成分ではないことから CNF だけを抽出してリサイクルすることは考えていない。 <p>【家電用途】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現状の家電リサイクル方法を応用し、素材毎への選別・回収および再生を行うことは可能である。 <p>【住宅建材用途】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解体から再利用への仕組みが確立している。既存の仕組みが応用されれば可能である。 ・建築材は、家電等とは異なり、10年、20年で交換するものではないため、直近でリサイクルの検討予定はない。 ・塗料は、上から塗り替えるものなのでリサイクルはしない。 ・マテリアルリサイクルを主として、サーマルリカバリーも併用。
	CNF 製品のリサイクルに関する課題・留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・選別・回収において、CNF 濃度および色味(特に濃色系)における高速選別技術の確立が課題。 ・廃家電に対する最適再生処理処方・工法の確立。 ・使用量が増えない限り、リサイクルということは考えるのが難しい。 ・回収システム構築のためには PP や ABS と同じように CNF といったカテゴリーを作らなければならない。
サブ ライ チェ ーン に つ い て	CNF 適用ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・小型モビリティ（ゴルフカート等）：自動運転が可能となれば、衝突等の機会が減少し、高強度の外板が不要となる。また、普通の自動車と比べて道路交通法において厳しくないため安全性は問題ない。 ・蓄電池：導電体のカーボンファイバーよりも絶縁体の CNF の方が有望。 ・樹脂の添加剤：CNF を補強材目的とした用途ではなく、強度ではない CNF の特徴を活かせる分野がある。CNF の現状価格も踏まえると現実的である。 ・家庭用品、日用品、容器等：軽くて丈夫な物に適している。 ・美容家電：美容家電はエコマテリアルとしての販売に期待が持てる。 ・脱プラ、マイクロプラスチック削減という観点での適用ニーズが各分野にある。
	経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> ・性能とコストのバランスが悪い。CNF は悪い材料ではないが、性能のわりに高い。高いならば、性能をもっと上げないといけない。 ・最初は年間生産量 1t 程度、赤字になってもよいので、徐々に価格が下がっていけばよい。最終的には現況の価格 1/10 程度まで下げられる。 ・CNF のコストもあるが、量産化しないとコストが合わないため、量産化するための需要を拡大していく必要がある。
	社会的課題	<ul style="list-style-type: none"> ・新材料であるため、部品の品質規格をクリアできたとしても、採用企業にとっては、目に見えない採用の壁（不安視）がある。 ・安全性については認識を共有するための学術的な検証が必要。 ・同上の課題に関するコスト負担。
	技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF 製造プロセスの効率化。 ・品質規格の統一、並びに CNF スラリーの乾燥コストが課題。 ・CNF の樹脂への分散については特殊な方法をとる必要がある。 ・品質において、どの程度ばらつくのか。開発段階において、ばらついた上限と下限の CNF が提供できるかが重要。 ・脱水処理後に排出される廃液の処理方法の確立が必要。 ・一社だけではできない製品では複数の研究開発が必要。
CNF の地 域 産 業	取組み概要	<ul style="list-style-type: none"> ・みかんの皮から CNF をつくって、県内企業と製造プロセスの開発をしている。化粧品や歯磨き剤などの開発に使えないかと検討している。

創出モデルについて		<ul style="list-style-type: none"> 竹材を有効利用したいと考えている。高付加価値な商品を提供するために住宅建材に関して薩摩川内を中心に実証を行っている。 愛媛大学との共同研究および、CNF 四国プラットフォームでの川下メーカーとのマッチングを実施。
	取組みの関係者	<ul style="list-style-type: none"> 県がプロジェクトマネジメント、大学が技術提供、企業が実施と開発を担当して実施。 大学、県、自治体が中心となり実施。 CNF 製品を開発するメーカー、CNF メーカー、化学的知見を有する知見者。
	地産地消実施における課題・留意点	<ul style="list-style-type: none"> みかんの皮は木材のパルプに比べて量が取れないため、使い方に工夫が必要。少量で高付加価値となる用途を検討する必要がある。そうすることで地元経済にもメリットが生まれる。 アドバイスや相談を受けられる体制があることが有効。 産業廃棄物扱いとなるため、地域を越えて移動することができない。
その他	国等支援に関する事項	<p>【実施してほしい支援策】</p> <ul style="list-style-type: none"> 小型の CNF 脱水設備の配置に関わる助成等。 実証設備製造のための補助。 材料の形態が増えているため、もう 1 度立ち返ってコストダウンを含めた性能評価事業の実施。 CNF を入れた樹脂に関して補助等の優遇措置。 <p>【国等支援策に関する要望】</p> <ul style="list-style-type: none"> 補助金の執行に時間がかかり、契約期間が短いため必要な時間がとれない。 契約が進まず、書類のやり取りを何度もしなければならない。 NEDO 事業と環境省事業の双方を俯瞰してみる人がいないのが課題。 各省庁（経産省、文科省、環境省、国交省、農林水産省）の足並みを揃える必要がある。
	ガイドラインに掲載してほしい情報	<ul style="list-style-type: none"> CNF の LCA の算定方法。 海外における CNF コスト情報が必要。 CNF の安全性に関する情報。 添加剤や付帯材料にどんな選択肢があるかという情報。 製品の評価試験における詳細な試験方法。 他の材料との比較で、CNF がどういうところに位置づけされるのか。
	その他ガイドラインに関する事項	<ul style="list-style-type: none"> 一概に評価できるというのは難しい。一つの評価指標だけでなく、総合的に評価する必要がある。 ガイドラインのターゲットは誰になるのか。CNF を使ってみたい人、実際に CNF を使用している中で課題がありソリューションを探したい人、CNF でなくても良いが何かしら良い素材を探している人等、ターゲットが誰になるのかにより、ガイドラインで記載すべき内容も変わってくる。 CNF について、材料も製法も複数選択肢がある中、それぞれの掛け合わせと特徴を国が主体的となり、特徴、メリット・デメリットを体系的にまとめる必要がある。オールジャパンとして、何を目指していくのか、明確にする必要がある。

※ヒアリング全体的を通して、CO2 削減効果やコストについては、秘匿情報と関連するためあまり有益な情報を得られなかった。

表 2.1-10 平成 29 年度業務で把握した課題と解決策に対する
モデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査の内容及び環境省等の動き (1/2)

分類	平成 29 年度業務で把握した課題と解決策・改善策		平成 29 年度業務で把握した課題と解決策に対して 本年度業務でモデル事業者が挙げた課題と環境省等の動き (令和 2 年度末時点)	
	共通的な課題	解決策・改善策	モデル事業者へのアンケート・ ヒアリングで挙げた課題	環境省や経済産業省を中心とした国内の動き
材料	CNF サンプル入手が困難	<ul style="list-style-type: none"> ・ NCF などでの情報交換 ・ 材料の標準化 	— (本年度業務では課題は挙がっていない)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 令和 2 年度では NCM 事業で情報交換を実施。
	CNF 材料の安定的確保(安定的な原料供給)	<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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CNF の樹脂への分散については特殊な方法をとる必要性がある。 ・ 品質において、どの程度ばらつくのか、開発段階において、ばらついた上限と下限の CNF が提供できるかが重要。 	—
コスト	低コスト化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 量産化、高効率化 ・ 省エネルギー製造プロセスの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 量産時に設備費用が課題。 ・ 既存材料に対して軽量化の魅力を鑑みたととしても価格競争力がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ NEDO において、「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事業」で、CNF 製造プロセスにおける大幅コスト低減に向けた事業を実施。
標準化	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内/国際標準化 ・ 業界団体の設立 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 品質規格の統一、並びに CNF スラリーの乾燥コストが課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISO のナノテクノロジー専門委員会の中で議論されており、数年で規格化されていく予定。
	検証・評価手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各部材の性能実証 		
	安全性評価がされていない	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性評価手法の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全性については認識を共有するための学術的な検証が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ NEDO が平成 29～31 年度において安全性評価手法の開発を実施。令和 2 年 3 月に下記資料を公開。 →CNF の検出・定量の事例集 →CNF の有害性試験手順書 →CNF 及びその応用製品の排出・暴露評価事例集
基盤技術	実証設備の不足	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補助金の活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CNF 製造プロセスの効率化が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 令和 2 年度より「革新的な省 CO2 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」において、CNF 活用製品の製造設備の投資に補助を実施。

表 2.1-11 平成 29 年度業務で把握した課題と解決策に対する
モデル事業受託者へのアンケート調査・ヒアリング調査の内容及び環境省等の動き (2/2)

分類	平成 29 年度業務で把握した課題と解決策・改善策		平成 29 年度業務で把握した課題と解決策に対して 本年度業務でモデル事業者が挙げた課題と環境省等の動き (令和 2 年度末時点)	
	共通的な課題	解決策・改善策	モデル事業者へのアンケート・ ヒアリングで挙げた課題	環境省や経済産業省を中心とした国内の動き
サプライチェーン	材料製造の事業化の目処は立っているが、CNF を使用した製品化の目処が立たない	<ul style="list-style-type: none"> ・製品開発者との共同用途開発 ・CNF らしさの明確化・広報 	<ul style="list-style-type: none"> ・高付加価値でも買いたくなる製品を開発する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノセルロースジャパン (NCJ) や地域コンソーシアムが稼働。 ・NCV プロジェクトにおいて、材料・製品メーカー、計 22 の大学、研究機関、企業等がコンソーシアムを組み、NCV を開発。また、その成果を東京モーターショー等で広く周知。
技術開発	成形技術・発泡技術	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者マッチング、共同研究 ・研究開発実証 ・製品開発者との共同開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存製品との CNF の適合性。 ・一社だけではできない製品では複数の研究開発が必要。 	-
	耐火性・耐燃性 (建築基準法等) の検証 耐熱性・耐候性 (長期信頼性) の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・NCF などによる共通試験の実施、データ共有 	<p>— (本年度業務では課題は挙がっていない)</p>	
LCA	LCA ガイドライン (案) に沿った算定がされていない	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者に対するガイドラインの周知 ・算定・評価方法に関する講習会の実施 	<p>— (本年度業務では課題は挙がっていない)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本年度事業において LCA ガイドラインを策定 (更新)。
リサイクル	リサイクル性について不明点が多い	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル性に関する調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・選別・回収において、CNF 濃度および色味 (特に濃色系) における高速選別技術の確立が課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 29-31 年度に CNF のリサイクル性能に関するモデル事業を実施。
広報	CNF の認知度向上 (国民レベル)	<ul style="list-style-type: none"> ・環境省関連イベント・資料による広報 (BtoC) ・CNF サプライヤーによる広報 	<ul style="list-style-type: none"> ・製品ユーザーの新たな原料に対する不安感がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・NCV プロジェクトの成果を動画として作成し、東京モーターショー等、広く周知。 ・本年度事業において利活用ガイドライン要約版を作成。
	CNF の認知度向上 (市場への製品供給者)	<ul style="list-style-type: none"> ・展示会等による広報 (BtoB) ・CNF サプライヤーによる広報 		

2.2 モデル事業のCO2削減効果に関する分析

2.2.1 各報告書の調査及び文献調査

CO2削減効果の成果を参考に、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の各モデル事業の報告書を調査し、各事業の製品のCO2削減効果（製品利用段階、LCA）について分析を行った。

表 2.2-1 対象事業一覧

No.	事業期間	代表事業者	事業名
1	平成 27～29 年度	第一工業製薬(株)	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)
2	平成 27～29 年度	(国)九州大学大学院 農学研究院	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(多機能性・竹ナノセルロースの低エネルギー型生産プロセスの確立)
3	平成 27～29 年度	トクラス(株)	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添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化)
4	平成 27～29 年度	トヨタ車体(株)	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用いた機能部品の軽量化検討)
5	平成 28～30 年度	(国)静岡大学	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利用した住宅部品高断熱化によるCO2削減)
6	平成 28～29 年度	パナソニック(株)	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(CNF の家電製品搭載に向けた性能評価および導入実証)
7	平成 29～31 年度	(国)京都大学	社会実装に向けたCNF軽量材料の開発及び評価・検証/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(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～)
8	平成 29～31 年度	(株)日建ハウジングシステム	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(竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証)

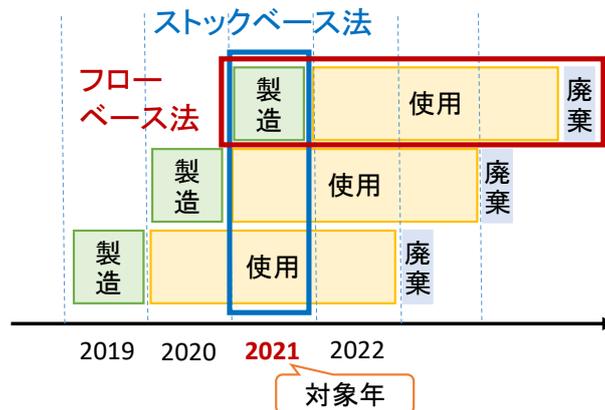
「平成30年度CNF利活用によるCO2排出削減効果等評価・検証事業委託業務」（以下、「平成30年度業務」）においては、セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務のCO2削減効果の試算を行っている。しかし、「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務(竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証)」は、実データ等を収集している段階であったため、それを除く7事業において整理している。そのため、本年度事業では上記未算定の事業の調査を行うとともに、他事業についてもブラッシュアップを行った。算定手法については、平成30年度業務の評価方法を踏襲することとし、表2.2-2に示す10項目を整理した。

表 2.2-2 整理項目

整理項目	調査・試算方法
①CNF 製品等名称	当該事業で新たに試作している CNF 製品を各事業の成果報告書からレビューした。
②CNF 製造方法	当該事業で活用している CNF の製造方法を各事業の成果報告書からレビューした。製造方法の記載が無い事業については、「不明」とした。
③対象（現行）製品等	当該事業で開発している CNF 製品の現行製品の材料を各事業の成果報告書からレビューした。
④CNF 供給者	当該事業で活用している CNF の供給者を各事業の成果報告書からレビューした。供給者の記載が無い事業については、「不明」とした。
⑤CNF 供給価格	当該事業で活用している CNF の供給価格を各事業の成果報告書および「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧」（京都市産業技術研究所作成）からレビューした。供給価格の記載が無い事業については、「不明」とした。
⑥CNF の導入目的	当該事業で試作対象とした製品に CNF を活用する目的を各事業の成果報告書からレビューした。
⑦CNF 製品のライフサイクル	当該事業で試作した CNF 製品の CO2 排出量の評価にかかるシステム境界を当該事業の成果報告書からレビューした。一部の事業については、事業内で評価されていない製品使用時の CO2 排出量を試算した。
⑧現行製品のライフサイクル	当該事業で試作した CNF 製品の現行製品（現行材料による）CO2 排出量の評価にかかるシステム境界を当該事業の成果報告書からレビューした。一部の事業については、事業内で評価されていない製品使用時の CO2 排出量を試算した。
⑨現在の CO2 削減量	当該事業の成果報告書をもとに、上記⑦、⑧のシステム境界で評価した CNF 製品の CO2 排出量と現行製品の CO2 排出量を比較し、必要に応じて当該事業を実施した事業者へのヒアリングを行い、CNF 製品 1 単位当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をレビューした。一部の事業については、事業内で評価されていない製品使用時の CO2 排出削減量を試算した。
⑩普及量	当該事業で試作した CNF 製品の将来（2025 年～2035 年）における普及量を業界等の目標値や、研究機関が発表している文献等により試算した。

なお、LCA の評価方法として、フローベース法とストックベース法があるが、ここではフローベース法で算定し、製造年に LCA による削減貢献量をすべて計上していることに留意が必要である。

- 1) フローベース法 : 製造された評価対象製品の全量について、ライフサイクル全体の排出量を評価し、まとめて計上。
- 2) ストックベース法 : 評価年に稼働している評価対象製品の全量（ストック累積分）について、評価年に稼働することによる排出量を評価。



※本報告書ではフローベース法で算定・計上

図 2.2-1 フローベース法とストックベース法のイメージ図

2.2.2 アンケート・ヒアリング調査結果

2.1 で実施した各環境省事業のアンケート・ヒアリング調査を通しては、CO2 削減効果の試算に対して反映可能な追加情報は得ることができなかった。

2.2.3 CO2 削減効果の検証・分析

上記 2.2.1 及び上記 2.2.2 のヒアリング結果を基に整理した⑨「CNF 製品 1 単位あたりのライフサイクルでの CO2 削減量」に、⑩で整理した「将来 (2025 年～2035 年) の普及量」を乗ずることで、各事業の成果が社会全体に及ぼす波及効果を「将来の CO2 削減効果ポテンシャル量」として定量的に示すこととした。算出方法は次式の通り。

$$\text{【CNF 製品・部品等 } i \text{ の将来の CO2 削減効果ポテンシャル量】} = \sum (C_i \times S_j) \quad \dots \text{式}$$

C_i = 評価対象となる CNF 製品・部品等 i の 1 単位あたりの CO2 削減量

S_j = 2025 年～2035 年における評価対象年 j における普及量 (販売量)

(1) 第一工業製薬(株)

平成 27～29 年度に実施された「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)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「Idling Stop System (ISS) 車用 CNF 適用リチウムイオン電池」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「ISS 車用鉛蓄電池」となっている。

自動車部品であるため、1 台当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をもとめ、普及量に乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の平成 29 年度の成果報告書では 1 台当たりの廃棄 (分解・解体～破碎・選別)

時のCO2排出量の評価の記載がないため、CO2排出削減量を試算した。原材料調達～製造～走行におけるCO2排出削減量に廃棄時のCO2排出削減量を加えて、0.087t-CO2/台（10年で10万km走行として試算）とした。

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の1～4の通り考慮し、表2.2-3の通り普及量を算出した。

1. 2025年～2035年における世界の自動車の普及台数を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017(IEA)」を基に想定
2. 2025年～2035年における世界のガソリン車割合を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017(IEA)」を基に想定
3. 2014年時点でのISSの普及率は50%～60%程度であり、2020年までには80%に達する（「アイドルストップシステム世界市場2015(矢野経済研究所)」）とのことから、2025年～2035年におけるISSの普及率を想定
4. 2025年における当該製品の採用率の目標を5%（成果報告書）としていることから、2025年～2035年における当該製品搭載車の割合を想定

上記1～4を基に試算した普及量を表2.2-3に示す。

表 2.2-3 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
自動車普及台数(万台)	10,000	10,400	10,800	11,200	11,600	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
ISS車台数	3,600	3,744	3,888	4,004	4,147	3,900	3,900	3,900	3,780	3,780	3,360
ガソリン車割合	60%	60%	60%	55%	55%	50%	50%	50%	45%	45%	40%
ISS機能搭載割合	60%	60%	60%	65%	65%	65%	65%	65%	70%	70%	70%
CNF-LiBシェア	5%	5%	5%	5%	5%	8%	8%	8%	8%	8%	10%
普及量(万台)	180	187	194	200	207	312	312	312	302	302	336

上記試算を踏まえ表2.2-4の通り整理した。

表 2.2-4 第一工業製薬(株)の整理表

事業名称	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)										
事業実施代表者	第一工業製薬株式会社										
CNF製品等名称	ISS車用CNF適用リチウムイオン電池(LiB)										
CNF製造方法	TEMPO酸化	対象(現行)製品			金属製バッテリーキャリア (鋼板+樹脂)						
CNF供給者	第一工業製薬株式会 社	CNF供給価格			5000~10000(京都市 産業技術研究所調	円/kg					
CNFの導入目的	正極塗工液の水系化、電池劣化の改善(長寿命化)、高入出力特性(搭載容量の 低減=軽量化)										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ~CNF~CNF適用LiB~使用(走行)~廃棄										
比較製品等のライフサイクル	鉛電池材料~鉛電池~使用(走行)~廃棄										
備考	-										
単位当たりのCO2削減量	0.087 【単位:t-CO2/台】										
販売量<普及量>【単位:万台】 ※日本市場(トヨタ)											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
180	187	194	200	207	312	312	312	302	302	336	
備考 ◇販売量については、「ETP(Energy Technology Perspective) 2017(IEA)」に基づき、試算。											
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
156,766	163,036	169,307	174,358	180,585	271,727	271,727	271,727	263,366	263,366	292,629	

(2) (国) 九州大学 大学院農学研究院

平成 27~29 年度に実施された「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(多機能性・竹ナノセルロースの低エネルギー型生産プロセスの確立)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「ACC-ナノセルロース/PP コンポジット素材による自動車部品」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「ポリプロピレン (PP) 製自動車部品」となっている。

自動車部品であるため、1 台当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をもとめ、普及量を乗じて 2025 年~2035 年の試算を行った。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の成果報告書では 1 台当たりの CO2 排出量の評価の記載がないため、下記の 1～5 の通りライフサイクルでの CO2 排出量削減量を算出した。試算結果として、0.00167t-CO2/台とした。

1. 「重量 500g」相当の自動車部品 (PP 成形品、ピラー×2 or ドリンクボックス×2 or スカッフプレート×1 などに相当)を当該 CNF 素材で代替することを想定
2. 従来品 (PP) と同等の引っ張り強度を勘案した(「上記事業」平成 29 年度成果報告書、p125 参照) CNF 部材の重量を試算することで、走行時の CO2 排出削減量を算出
3. 従来品 (PP) と当該 CNF 素材を使用した部品の重量の差分を試算することで、使用済み自動車の廃棄時の CO2 排出削減量を算出
4. 自動車走行時の CO2 排出量はトヨタ車体成果報告書(「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用いた機能部品の軽量化検討)平成 29 年度成果報告書」、p106)より参照の上、年間平均走行距離 10,000km と平均使用年数 10 年(「CNF を用いた自動車製品に関する LCA ガイドライン(案)(平成 28 年 3 月)」を引用)に変更し、次式で算出

$$\text{【走行時の CO2 排出量】} = \text{【製品重量】} \times \text{【0.15】} (\text{g-CO2/kg-製品重量/km-走行}) \times \text{【10,000】} (\text{km/年}) (\text{年間平均走行距離}) \times \text{【10.0】} (\text{年}) (\text{平均使用年数})$$

5. 成果報告書記載の原料製造～射出成型に係る CO2 排出削減量に 3 及び 4 で算出した数値を加算して 1 台当たりの CO2 削減量を算出

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の 1～3 の通り考慮し、表 2.2-5 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における世界の自動車の普及台数を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017 (IEA)」を基に想定
2. 2025 年の国内新車販売台数が約 500 万台(「新車販売台数の長期予測に係る調査」、野村総合研究所)であることから 2025 年時点において、国内で販売される新車の 5% (約 25 万台) に当該 CNF 部材が採用されると想定(全世界の自動車普及台数の 0.25%相当)
3. 2025 年～2035 年における CNF 部材採用率を表 2.2-5 の通り想定

上記 1～3 を基に試算した普及量を表 2.2-5 に示す。

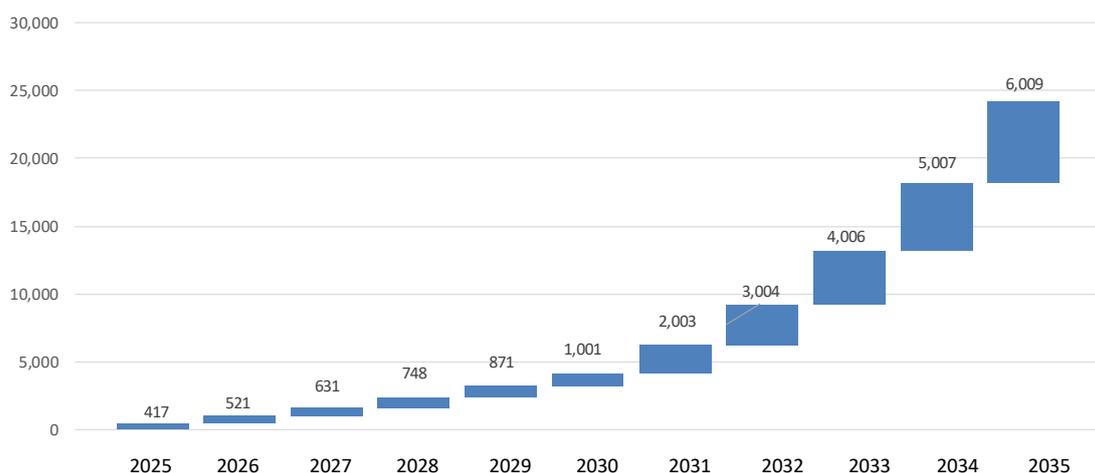
表 2.2-5 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
全自動車 (万台)	10,000	10,400	10,800	11,200	11,600	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
CNF部材 採用率	0.25%	0.30%	0.35%	0.40%	0.45%	0.50%	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
CNF部材搭載車 (万台)	25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360

上記試算を踏まえ表 2.2-6 の通り整理した。

表 2.2-6 (国)九州大学 大学院農学研究院の整理表

事業名称	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 (多機能性・竹ナノセルロースの低エネルギー型生産プロセスの確立)										
事業実施代表者	国立大学法人九州大学大学院農学研究院										
CNF製品等名称	竹ACC-ナノセルロース樹脂複合材(PP)を利用した自動車部材										
CNF製造方法	水中コリジョンカウン ター(ACC)法	対象(現行)製品	PP製自動車用部品								
CNF供給者	中越パルプ工業株式	CNF供給価格	不明	円/kg							
CNFの導入目的	自動車部材の軽量化(肉薄化)及び低温での射出成型による製造時のCO2排出 量の削減										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ～パルプ化～CNF～CNFRP部材～使用(走行)～廃棄										
比較製品等のライフサイクル	樹脂材料～樹脂製部材～使用(走行)～廃棄										
備考	—										
単位当たりのCO2削減量	0.00167							【単位:t-CO2/台】			
販売量<普及量>【単位:万台】※世界市場											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360	
備考	◇走行時のCO2排出量は産業環境管理協会が試算。 ◇販売量については、「ETP(Energy Technology Perspective) 2017(IEA)」に基づ き試算。										
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
417	521	631	748	871	1,001	2,003	3,004	4,006	5,007	6,009	



(3) トクラス(株)

平成 27～29 年度に実施された「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添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「CNF 添加ウッドプラスチック (WPC) 素材による自動車用部品」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「自動車用タルク充填プラスチック部品」となっている。

自動車部品であるため、1 台当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をもとめ、普及量に乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の平成 29 年度の成果報告書より下記 1～3 の条件で 1 台当たりの CO2 排出削減量を算出した。試算結果として、0.00096t-CO2/台 (10 年で 10 万 km 走行として試算) とした。

1. CNF 添加 25%コンパウンド CNF 添加 WPC ソリッド成形品で試算(「上記事業」平成 29 年度成果報告書 p94 参照)
2. 自動車 1 台当たりの従来材料の使用率を 6%と想定(「上記事業」平成 29 年度成果報告書 p93 参照)し、それらを当該 CNF 素材で代替することを想定して CO2 排出削減量を算出(「上記事業」平成 29 年度成果報告書 p94 参照)
3. 自動車 1 台あたりの重量減少を 0.1%と想定(「上記事業」平成 29 年度成果報告書 p93 参照)し、使用済み自動車の廃棄時の CO2 排出削減量を算出

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の 1～3 の通り考慮し、表 2.2-7 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における世界の自動車の普及台数を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017 (IEA)」を基に想定
2. 2025 年の国内新車販売台数が約 500 万台(新車販売台数の長期予測に係る調査、野村総合研究所)であることから 2025 年時点において国内で販売される新車の 5%(約 25 万台)に当該 CNF 部材が採用されると想定(全世界の自動車普及台数の 0.25%相当)
3. 2025 年～2035 年における CNF 部材採用率は想定(2025 年～2030 年は主に国内市場で先行的に普及され、2031 年以降は徐々に世界的に普及されていくことを想定)

上記 1～3 を基に試算した普及量を表 2.2-8 に示す。

表 2.2-7 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
全自動車 (万台)	10,000	10,400	10,800	11,200	11,600	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
CNF部材 採用率	0.25%	0.30%	0.35%	0.40%	0.45%	0.50%	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
CNF部材搭載車 (万台)	25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360

上記試算を踏まえ表 2.2-8 の通り整理した。

表 2.2-8 トクラス(株)の整理表

事業名称	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添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化)										
事業実施代表者	トクラス株式会社										
CNF製品等名称	自動車用タルク充填プラスチック部品のCNF添加WPCIによる代替										
CNF製造方法	グラインダー法 (マスコライダー)	対象(現行)製品	自動車用タルク充填プラスチック 部品								
CNF供給者	岡山県森林研究所	CNF供給価格	33(※CNF添加木粉)	円/kg							
CNFの導入目的	タルク充填プラスチック製自動車部材をCNF添加WPCで代替することで軽量化を 図る(燃費の向上およびCO2の削減)										
対象CNF製品等のライフサイクル	木粉~CNF~CNF添加WPC部材~使用(走行)~廃棄										
比較製品等のライフサイクル	タルク~タルク充填プラスチック部材~使用(走行)~廃棄										
備考	-										
単位当たりのCO2削減量	0.00096							【単位:t-CO2/台】			
販売量<普及量>【単位:万台】※世界市場											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360	
備考											
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
241	301	364	432	503	578	1,156	1,735	2,313	2,891	3,469	

(4) トヨタ車体(株)

平成 27～29 年度に実施された「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用いた機能部品軽量化検討)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「自動車用 CNFRP 製バッテリーキャリア」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「自動車用金属製バッテリーキャリア(鋼板&樹脂)」となっている。

自動車部品であるため、1 台当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をもとめ、普及量に乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の平成 29 年度の成果報告書(p108 参照)より下記 1～2 の条件で 1 台当たりの CO2 排出削減量を算出した。試算結果として、0.0016t-CO2/台とした。

1. 従来材料製品と CNFRP 活用製品の重量の差分を計算することで、使用済み自動車の廃棄時の CO2 排出削減量を算出
2. 自動車走行時の CO2 排出量は上記事業成果報告書(「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用いた機能部品の軽量化検討)平成 29 年度成果報告書」、p106)より参照の上、年間平均走行距離 10,000km と平均使用年数 10 年に変更し、次式で算出

$$\text{【走行時の CO2 排出量】} = \text{【製品重量】} \times \text{【0.15】} (\text{g-CO2/kg-製品重量/km-走行}) \times \text{【10,000】} (\text{km/年}) (\text{年間平均走行距離}) \times \text{【10.0】} (\text{年}) (\text{平均使用年数})$$

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の 1～3 の通り考慮し、表 2.2-9 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における世界の自動車の普及台数を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017 (IEA)」を基に想定
2. 2025 年の国内新車販売台数が約 500 万台(新車販売台数の長期予測に係る調査、野村総合研究所)であることから 2025 年時点において国内で販売される新車の 5% (約 25 万台)に当該 CNF 部材が採用されると想定(全世界の自動車普及台数の 0.25%相当)
3. 2025 年～2035 年における CNF 部材採用率は想定(2025 年～2030 年は主に国内市場で先行的に普及され、2031 年以降は徐々に世界的に普及されていくことを想定)

上記 1～3 を基に試算した普及量を表 2.2-9 に示す。

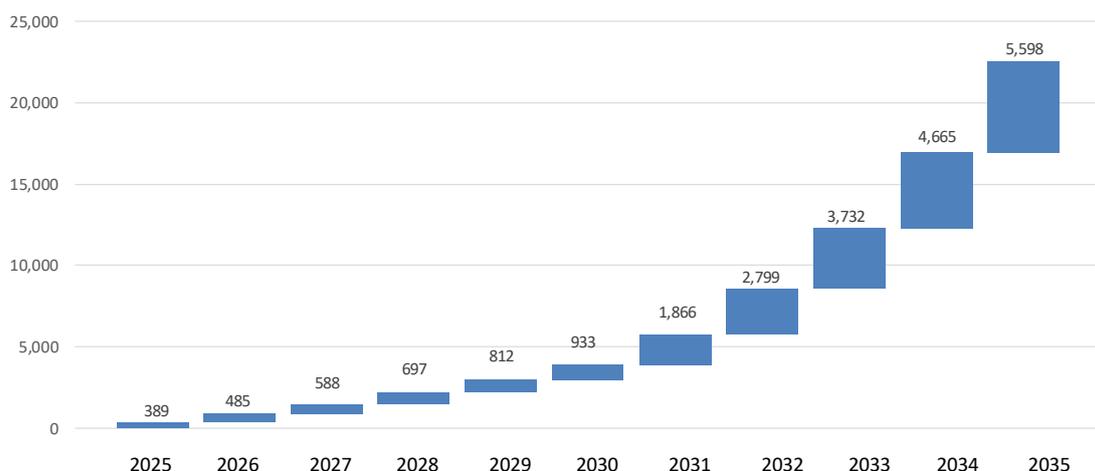
表 2.2-9 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
全自動車 (万台)	10,000	10,400	10,800	11,200	11,600	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
CNF部材 採用率	0.25%	0.30%	0.35%	0.40%	0.45%	0.50%	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
CNF部材搭載車 (万台)	25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360

上記試算を踏まえ表 2.2-10 の通り整理した。

表 2.2-10 トヨタ車体(株)の整理表

事業名称	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用いた機能部品の軽量化検討)										
事業実施代表者	トヨタ車体株式会社										
CNF製品等名称	CNFRP製バッテリーキャリア(PP-CNF)										
CNF製造方法	不明	対象(現行)製品					金属製バッテリーキャリア (鋼板+樹脂)				
CNF供給者	倉敷紡績株式会社			CNF供給価格			不明		円/kg		
CNFの導入目的	金属製の自動車機能部品をCNFRPで代替することで軽量化を図る (燃費の向上およびCO2の削減)										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ~CNF~CNFRP部材~使用(走行)~廃棄										
比較製品等のライフサイクル	鋼板&樹脂材料~金属製部材~使用(走行)~廃棄										
備考	—										
単位当たりのCO2削減量	0.00156						【単位:t-CO2/台】				
販売量<普及量>【単位:万台】※日本市場(トヨタ)											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
25	31	38	45	52	60	120	180	240	300	360	
備考	◇販売量については、「ETP(Energy Technology Perspective) 2017(IEA)」に基づき試算。										
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
389	485	588	697	812	933	1,866	2,799	3,732	4,665	5,598	



(5) (国) 静岡大学

平成 28～30 年度に実施された「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利用した住宅部品高断熱化による CO2 削減)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「CNF 添加住宅部品」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「既存住宅部品 (WPC、ウレタン、石膏など)」となっている。

住宅部品であるため、1 住戸当たりの使用時の CO2 削減量をもとめ、普及量を乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

A) 1 住戸当たりの CO2 削減量

下記 1～2 の方法で 1 住戸当たりの CO2 排出削減量を算出した。試算結果として、2.58t-CO2/住戸とした。

1. 当該 CNF 住宅部品の製造、住宅製造、廃棄での CO2 排出削減量として 86kg-CO2/(住戸・年) として算出した(「上記事業」平成 30 年度成果報告書 p249 参照)。
2. 対象地域として、既に樹脂サッシが普及している北海道は除外した。また、上記事業報告書には、寒冷地域(断熱地域区分 4)と温暖地域(断熱地域区分 6)を対象とした CO2 削減割合が示されていることから、地域区分として、東北、北陸、それ以外の地域とした。
3. 東北と北陸の戸建ての冷暖房における CO2 排出量は環境省「平成 30 年度 家庭部門の CO2 排出実態統計調査(確報値)」をもとに算出し、戸建と集合は排出量の比で按分した(東北:2.1t-CO2/(戸・年)、北陸:1.7t-CO2/(戸・年))。それ以外の地域については、地域別 CO2 排出量を地域の戸数で加重平均するとともに、戸建と集合の排出量比で按分し、0.73t-CO2/戸とした。
4. 「CNF 活用建材を戸建住宅に導入した場合の CO2 排出削減量」が上記報告書に記載されているため、その CO2 排出削減割合(寒冷地:4.5%削減、温暖地域:3.4%、北陸はそれらの平均値の 3.9%とした)を使用時の CO2 削減割合とし、当該 CNF 住宅部品の使用時の CO2 排出削減量を東北:0.091t-CO2/(戸・年)、北陸:0.067t-CO2/(戸・年)、それ以外:0.025t-CO2/(戸・年)とし、さらに加重平均で全国値(北海道を除く)を 0.031t-CO2/(戸・年)とした。
5. 木造・合成樹脂造の法定耐用年数が 22 年のため、それに合わせた耐用年数と設定した。

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、独自に試算を行った。試算については、以下の 1～2 の通り考慮し、表 2.2-11 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における日本国内の新築着工戸数を「レポート 産業動向<2017 年度版>2030 年の住宅市場～空き家率の抑制に向けて、早急な仕組みづくりが必要～」(野村総合研究所)を基に想定
2. 当該 CNF 住宅部材の導入率を表 2.2-11 の通り想定

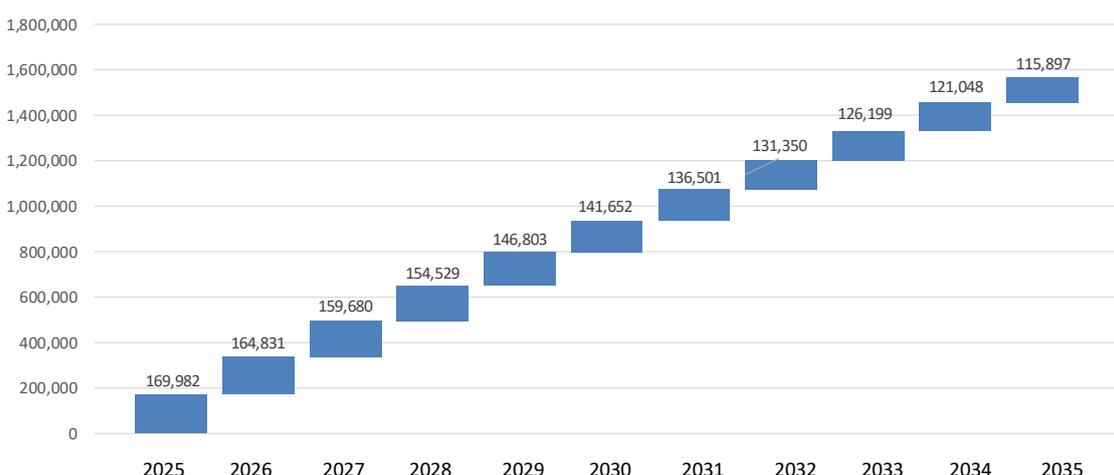
上記 1～2 を基に試算した普及量を表 2.2-12 に示す。

表 2.2-11 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
新築着工戸数 (万戸)	66	64	62	60	57	55	53	51	49	47	45
CNF住宅部品の 導入率	10%										
CNF住宅部品採用住戸数 (万戸)	7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5

表 2.2-12 (国) 静岡大学の整理表

事業名称	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利用した住宅部品高断熱化によるCO2削減)										
事業実施代表者	国立大学法人静岡大学										
CNF製品等名称	CNF添加住宅部品(外皮部品、内装部品)										
CNF製造方法	ウォータージェット製 法	対象(現行)製品					既存住宅部品 (WPC、ウレタン、石膏など)				
CNF供給者	株式会社スギノマシン	CNF供給価格					不明		円/kg		
CNFの導入目的	CNFの特性を活用した高断熱住宅部材の制作による使用エネルギーの削減										
対象CNF製品等のライフサイクル	CNF製造～住宅部材～使用～廃棄										
比較製品等のライフサイクル	既存材料～住宅部材～使用～廃棄										
備考	—										
単位当たりのCO2削減量	2.58					【単位:t-CO2/住宅】					
販売量<普及量> 【単位:万戸】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
備考	◇販売量については野村総研のレポートを基に試算。										
CO2削減効果ポテンシャル量 【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
169,982	164,831	159,680	154,529	146,803	141,652	136,501	131,350	126,199	121,048	115,897	



(6) パナソニック(株)

平成 28 ～29 年度に実施された「セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務 (CNF の家電製品搭載に向け性能評価および導入実証)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「CNFRP 製冷蔵庫部材 (センターピラー、クロスレール)」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「既存冷蔵庫部材 (センターピラー: PS 樹脂&鉄製補強版、クロスレール: 鋼板)」となっている。ただし、クロスレールについては、鋼板から CNFRP 製部材に置換するだけでは強度が保たれず、冷蔵庫の再設計が必要となり、部品置換による削減効果の算出が難しい。そのため、今回の CO2 排出削減量を算定する上ではセンターピラーのみを対象として試算を行った。

家電部品であるため、1 個当たりのライフサイクルでの CO2 排出削減量をもとめ、普及量を乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の平成 29 年度成果報告書より下記 1～4 の条件で 1 台当たりの CO2 排出削減量を算出した。

試算結果として、0.0047t-CO2/台とした。

1. 本事業において検討したアセチル化 CNF の製造原単位の最大値と最小値を使用して、製造時の CO2 排出削減量を試算し、その平均値にて算出
2. センターピラーの寸法は上記報告書 (「セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務 (CNF の家電製品搭載に向け性能評価および導入実証)」、p34) を参考に、CO2 排出削減量を試算
3. 当該 CNF 部品を利用した際の冷蔵庫の電力消費量の削減率 (1.6%、「上記事業」平成 29 年度成果報告書 p70 参照) から下記の条件を用いて電力消費削減量を試算

冷蔵庫 (501L 以上) の年間消費電力 (※経済産業省「省エネ性能カタログ 2013 夏」)	266kWh/年
CNF 製センターピラーによる消費電力削減率 (※「上記事業」平成 29 年度成果報告書)	0.2%
冷蔵庫の平均使用年数 (※内閣府 消費動向調査)	12 年
電力の CO2 排出量 (※IDEAver2.2)	0.58kg-CO2e/kWh

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の 1～2 の通り考慮し、表 2.2-13 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における世界における冷蔵庫の普及台数を「白物家電 5 品目の世界需要調査 (日本電機工業会)」に報告されている 2010 年～2016 年の需要実績を基に、2017 年～2035 年の予測需要量を 2010 年～2016 年の冷蔵庫需要の平均伸長率より想定。

2. 当該 CNF 製品の導入率を表 2.2-13 の通り想定。

上記 1～2 を基に試算した普及量を表 2.2-14 に示す。

表 2.2-13 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
冷蔵庫の販売台数(千台)	99,588	100,684	101,791	102,911	104,043	105,187	106,344	107,514	108,697	109,892	111,101
CNF製品の普及率	0.5%(日本国内販売台数である約400万台の10%がCNF製と仮定)										
CNF部材冷蔵庫の販売台数(万台)	50	50	51	51	52	53	53	54	54	55	56

表 2.2-14 パナソニック(株)の整理表

事業名称	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 (CNFの家電製品搭載に向け性能評価および導入実証)										
事業実施代表者	パナソニック株式会社										
CNF製品等名称	CNFRP製冷蔵庫部材(センターピラー)										
CNF製造方法	不明	対象(現行)製品			PS樹脂、鉄製補強板						
CNF供給者	不明	CNF供給価格			不明	円/kg					
CNFの導入目的	CNF部材の活用による庫内への熱侵入低減(センターピラー)による省エネルギー化(CO2排出量の低減)										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ～CNF～CNF部材製造～使用～廃棄										
比較製品等のライフサイクル	樹脂材料～樹脂製部品～使用～廃棄										
備考	CNF製造原単位にはアセチル化CNFを想定										
単位当たりのCO2削減量	0.0047							【単位:t-CO2/台】			
販売量<普及量>【単位:万台】※世界市場											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
50	50	51	51	52	53	53	54	54	55	56	
備考	◇使用時のCO2の排出量については試算。 ◇販売量については日本電機工業会の世界需要調査を基に試算。										
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
2,316	2,341	2,367	2,393	2,419	2,446	2,473	2,500	2,528	2,555	2,584	

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
削減効果	2,316	2,341	2,367	2,393	2,419	2,446	2,473	2,500	2,528	2,555	2,584

(7) (国) 京都大学

平成 29～31 年度に実施された「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(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～)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「ナノセルロース自動車 (NCV)」の検討を行っており、比較対象の現行製品は「現行自動車 (鋼板、樹脂等)」となっている。

自動車部品であるため、1 台当たりの使用時 (走行時) の CO2 削減量をもとめ、普及量に乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。ただし、10%程度の車両軽量化を目安とする本事業は継続して実施されており、下記の内容は平成 30 年度の中間結果に基づくものであり、必要に応じて今後のアップデートが必要である。

なお、事業実施者へのヒアリングの結果、上記事業で CO2 排出削減量の算定に使用した CNF 原単位の数値と本事業で求めた CNF 原単位に大きな差がなかったことから、走行段階の条件を統一 (「A)-2」に記載) し 1 台当たりの CO2 削減量を試算することとした。

A) 1 台当たりの CO2 削減量

上記事業の平成 29 年度成果報告書及び事業実施者へのヒアリングにより下記 1～2 の条件で 1 台当たりの CO2 排出削減量を 1.6t-CO2/台とした。

1. 事業実施者へのヒアリングにより、「2020 年時点で技術的には CNF 部材適用が実現可能で、2030 年までの社会実装が見込まれる部材」を調査し、その結果見込まれる車体の軽量化を考慮し、現行車を 10%の軽量化した際の CO2 排出削減量として試算
2. 「CNF を用いた自動車製品に関する LCA ガイドライン (案) (平成 28 年 3 月)」に準拠し、走行距離として 10 万 km/10 年の条件を想定

B) 普及量の試算

普及量は報告書等から読み取れなかったため、試算を行った。試算については、以下の 1～2 の通り考慮し、表 2.2-15 の通り普及量を算出した。

1. 2025 年～2035 年における世界の自動車の普及台数を「ETP(Energy Technology Perspectives)2017 (IEA)」を基に想定
2. 2025 年～2035 年における NCV (ナノセルロース自動車) の普及率を想定

上記 1～3 を基に試算した普及量を表 2.2-15 に示す。

表 2.2-15 CNF 製品の普及量予測

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
全自動車 (万台)	10,000	10,400	10,800	11,200	11,600	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
CNF部材 採用率	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.1%
CNF部材搭載車 (万台)	10	21	32	45	58	72	84	96	108	120	132

上記試算を踏まえ表 2. 2-16 の通り整理した。

表 2. 2-16 (国) 京都大学の整理表

事業名称	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 (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～)										
事業実施代表者	国立大学法人京都大学										
CNF製品等名称	ナノセルロース自動車										
CNF製造方法	京都プロセス等	対象(現行)製品				現行自動車(鋼板、樹脂等)					
CNF供給者	不明	CNF供給価格				不明	円/kg				
CNFの導入目的	既存の自動車部材をCNFRPで代替することで軽量化を図る (燃費の向上およびCO2の削減)										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ～CNF部材～NCV～使用(走行)～廃棄										
比較製品等のライフサイクル	既存材料～内燃自動車～使用(走行)～廃棄										
備考	—										
単位当たりのCO2削減量	1.6				【単位:t-CO2/台】						
販売量<普及量>【単位:万台】 ※日本市場(トヨタ)											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
10	21	32	45	58	72	84	96	108	120	132	
備考				◇CO2排出量はヒアリングにより試算。 ◇販売量については、「ETP(Energy Technology Perspective) 2017(IEA)」に基づき試算。							
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
160,000	332,800	518,400	716,800	928,000	1,152,000	1,344,000	1,536,000	1,728,000	1,920,000	2,112,000	

(8) (株)日建ハウジングシステム

平成 29～31 年度に実施された「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(竹 CNF を活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装による CO2 削減効果の実証)」における情報整理を行った。

単位当たりの CO2 排出量及び普及量の考えを以下の A 及び B に示す。

本事業では、「CNF 活用住宅部材・建材 (CNF 樹脂サッシ、CNF 遮熱合わせガラス、CNF 遮断熱コーティング材)」の検討を行っており、比較対象の現行製品はそれら 3 種類の住宅部材・建材に対応する「アルミサッシ、単板ガラス、遮熱コーティング材」となっている。

CNF 活用住宅部材・建材であるため、1 住戸 (戸建て、集合住宅) 当たりのライフサイクルでの CO2 削減量をもとめ、普及量を乗じて 2025 年～2035 年の試算を行った。

なお、本実証試験は、九州 (鹿児島) における結果であるため、寒冷地にはそのまま適用できないため、北海道・東北・北陸を除く他地域の既築リフォーム (戸建て、共同住宅) および公営住宅には適用可能と考え、それらの地域を対象とした。

A) 1 住戸当たりの CO2 削減量

上記事業の成果報告書では、九州地域の 1 戸当たりの使用時の CO2 排出量の評価のみであり、製造時を含めた 1 戸当たりの CO2 排出量の評価の記載がないため、また、九州地域以外の使用時の CO2 排出量を評価するため、下記の 1～7 の通りライフサイクルでの CO2 排出量削減量を算出した。試算結果として、30 年あたりの CO2 削減量が個別住宅で 1.22t-CO2/戸、集合住宅・公営住宅で 0.46 t-CO2/戸とした。

1. 1 戸あたりの製造時の CO2 排出量については、窓材料と遮熱塗料に分けて算出した。
2. 1 戸あたりの窓材料の製造時の CO2 排出量については、「樹脂窓に関するライフサイクルアセスメント (LCA) と GHG 排出削減貢献量」(塩ビ工業・環境協会) に掲載された窓材料の使用量をもとに CO2 排出量を算出した。
3. 1 戸あたりの遮熱塗料の製造時の CO2 排出量については、戸建住宅の延床面積を 100m²、集合住宅の延床面積を 70m² として、壁面遮熱塗料塗布量を算出し、遮熱塗料に含まれる CNF の製造時の CO2 排出量が増加するとして算出した。
4. 戸建て、集合住宅 CO2 排出量は環境省「平成 30 年度 家庭部門の CO2 排出実態統計調査 (確報値)」をもとに、北海道・東北・北陸を除く地域の家庭における冷暖房による地域別 CO2 排出量をもとに地域の戸数で加重平均し、北海道・東北・北陸を除く地域の家庭における冷暖房による地域別 CO2 排出量を算出し、戸建て : 0.73t-CO2/戸、集合住宅 : 0.28t-CO2/戸とした。
5. 上記事業の平成 30 年度の成果報告書では、「CNF 活用建材を既築住宅 1 戸に導入した場合の CO2 排出削減量」(表 2.2-17) が記載されているため、その CO2 排出削減割合 (5.81%削減) を使用時の CO2 削減割合とした。

表 2.2-17 CNF 活用建材を既築住宅 1 戸に導入した場合の消費電力の削減量、
CO2 排出削減量

	冷暖房消費電力量 (kWh/年・戸)	CO2排出量 (kg-CO2/年・戸)	CO2排出量 (t-CO2/年・戸)
	[A]	[B]=[A]×九州電力のCO2排出係数 (0.463kg-CO2/kWh)	[C]=[B]/1,000
CNF活用建材導入前	1,395.00	645.89	0.65
CNF活用建材導入後	1,314.00	608.38	0.61
削減幅	-81.00	-37.50	-0.04
削減率	-5.81%	-5.81%	-5.81%

6. 廃棄時については、樹脂サッシとアルミサッシの比較であるが、それぞれ廃棄時はリサイクルされるものと仮定し、対象外とした。

(※参考値：樹脂サッシに使用されている PVC が焼却される場合、戸建てで 0.33kg-CO2/戸、集合で 0.23kg-CO2/戸が排出される。)

7. 上記 2.～6. の結果を用いて、現行製品と CNF 製品の比較を行い、1 戸あたりの製造時～使用時の CO2 削減量を算出

B) 普及量の試算

普及量に関して、報告書 (H30) においては、九州地域における既築リフォーム (戸建て、共同住宅) のおよび公営住宅を対象として推計しており、既築リフォームの 10%に CNF 活用建材が導入されるとともに、公営住宅の 1%に毎年導入されると推計している。

上記の通り、北海道・東北・北陸を除く他地域の既築リフォーム (戸建て、共同住宅) のおよび公営住宅を対象とし、既築リフォームの 10%に CNF 活用建材が導入されるとともに、公営住宅の 1%に毎年導入されるとして推計を行った。

普及量については、表 2.2-18 に示す。

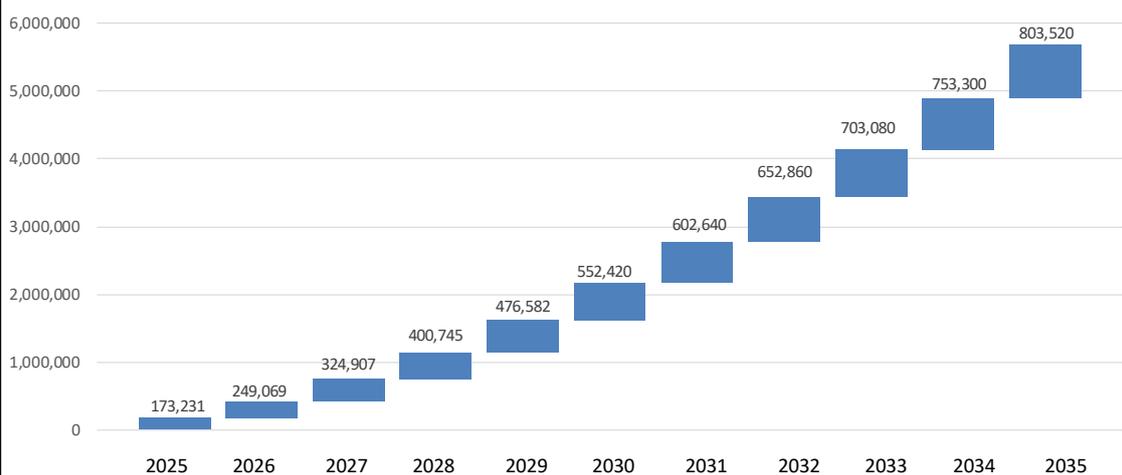
表 2.2-18 CNF 製品の普及量予測 [千戸]

年	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
既築リフォーム (戸建て)	78.4	120.2	162.0	203.8	245.6	287.4	313.5	339.7	365.8	391.9	418.0
既築リフォーム (集合住宅)	69.7	106.9	144.1	181.3	218.5	255.7	279.0	302.2	325.5	348.7	372.0
公営住宅	98	114	130	146	163	179	195	211	228	244	260

上記を踏まえ、表 2.2-19 の通り整理した。

表 2.2-19 (株)日建ハウジングシステムの整理表

事業名称	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 (竹CNFを活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装によるCO2削減効果の実証)										
事業実施代表者	株式会社日建ハウジングシステム										
CNF製品等名称	CNF活用建材(CNF樹脂サッシ、CNF遮熱合わせガラス、CNF遮断熱コーティング材)										
CNF製造方法	水中カウンターコーリジョン(ACC)法	対象(現行)製品	アルミサッシ、単板ガラス、遮熱コーティング材								
CNF供給者	中越パルプ工業	CNF供給価格	不明	円/kg							
CNFの導入目的	CNF活用建材の住宅への導入による冷暖房エネルギー(およびCO2)削減										
対象CNF製品等のライフサイクル	木材チップ~パルプ化~CNF~CNF活用建材~使用~廃棄										
比較製品等のライフサイクル	アルミ・樹脂材料~アルミ・樹脂製建材~使用~廃棄										
備考	-										
単位当たりのCO2削減量	戸建て:1.22、集合住宅:0.46						【単位:t-CO2/戸】				
販売量<普及量>【単位:千戸】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
※上記表参照											
備考											
CO2削減効果ポテンシャル量【単位:t-CO2】											
2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	
173,231	249,069	324,907	400,745	476,582	552,420	602,640	652,860	703,080	753,300	803,520	



2.3 CNF の供給コスト等に関する分析

本業務では環境省事業およびその他文献における価格情報の整理を行うとともに、CNF の供給価格と市場価格に関する考察を行った。

2.3.1 環境省事業及び文献における価格情報の整理

CNF の供給価格及びそれに付随する情報について、環境省 CNF 関連モデル事業へのアンケートおよびヒアリング調査において、可能な範囲で把握を行った。また、文献調査を行い、各文献における価格情報を整理した。

(1) 環境省 CNF 関連モデル事業における供給価格の調査

環境省事業に関する CNF の供給価格について、アンケート調査及びヒアリング調査を行った。結果としては、供給価格に関する個別公開可能な情報は得ることができなかった（ただし、公開不可能な情報としては一部事業者から入手できたため、後述の表 2.3-5 の作成に利用している）。参考までに、アンケート調査及びヒアリング調査で得られた環境省事業における CNF 製造事業者と製法等の情報を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 環境省事業における CNF 製造事業者と製法等の情報

代表事業者	CNF 製造事業者名	製品名称	原料	製法
大王製紙(株)	大王製紙(株)	-	-	標準 CNF：簡易化学処理(未変性) + 多段機械処理 CNF 透明品：亜リン酸エステル化
(国) 愛媛大学	(国) 愛媛大学	-	パルプ	機械処理法 (グラインダー)
パナソニック(株)	パナソニック(株)	-	パルプ	全乾式製法
第一工業製薬(株)	第一工業製薬(株)	レオクリスタ	-	TEMPO 酸化
(国) 九州大学	中越パルプ工業(株)	-	竹	機械解繊 (水中カウンターコリジョン法 (ACC 法))
トクラス(株)	トクラス(株)	ウッドナノプロセス	木粉	機械処理法
トヨタ車体(株)	日本ビグメント(株)	TABCNF	パルプ	パルプ+PP 樹脂の混練押出によるコンパウンド樹脂製造
(国) 静岡大学	(株) スギノマシン	ビンフィス	-	機械解繊 (ウォータージェット法)
(国) 京都大学	日本製紙(株)、 星光 PMC(株)、 王子 HD(株) など	-	-	変性パルプ直接混練法 (京都プロセス) をはじめとする 様々な製法
(株) 日建ハウジングシステム	中越パルプ工業(株)	-	竹	機械解繊 (水中カウンターコリジョン法 (ACC 法))

(2) 各種 CNF 関連文献における供給価格の調査

いくつかの文献において、供給価格の調査が行われているため、ここではそれらについて整理した。

1) セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧（近畿経済産業局・（地独）京都市産業技術研究所調べ）

「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧」（近畿経済産業局・（地独）京都市産業技術研究所調べ）においては4件の記載がみられた（表 2.3-2 参照）。ただし、1件は製法が発酵法であるため、今回の対象外とした。

これによると低解繊品の CNF が安くなっていること、水系 CNF が安くなっていること、非水系 CNF が高価であることがわかる。

表 2.3-2 CNF 提供企業と製法、価格等の情報

企業名	分類	名称	原料	製法	繊維	価格	想定用途
モリマシーナリー(株)	水系、非水系	セルフイム	檜チップ、パルプ	機械処理	水分 95%、繊維幅 30～200nm、比表面積 150 m ² /g	水系：1,500 円/kg (含水)、非水系：30,000 円/kg、 【目標価格】 1,000 円/kg 以下 (300t/年の生産)	塗料系増粘剤、プラスチックなど
増幸産業(株)	水系	フィブリマ	パルプ/結晶セルロース	機械処理(グラインダー)	低解繊品～高解繊品 ※	500 円～6,000 円/500ml (※原材料、解繊状態によって価格は変わる)	新規用途開発用、少量実験サンプル用、他 CNF 製造装置の前処理用、評価用など
第一工業製薬(株)	水系、非水系	レオクリスタル	パルプ	TEMPO 酸化	繊維幅：約 3nm	水系：5,000 円/kg 非水系： 10,000 円/kg,	増粘剤、乳化・分散安定剤、化粧品、トイレタリー、塗料、色材、接着剤、農業・園芸用薬剤、電子材料、セラミックス、樹脂など
草野作工(株)	水系、両親媒性	ファイブナノ	砂糖などの糖質	発酵法	繊維径 20～50nm	水系：1,000 円/kg (ゾル状) 両親媒性：3,000 円/kg (ゾル状： 溶剤置換は納入先にて)	食品、医薬、エレクトロニクス、透明樹脂改質など

※：グラインダーの種類を変えることによって解繊状態をコントロール。低解繊品～高解繊品まで取り揃えあり。

2) 情報収集事業セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査

NEDO/みずほ情報総研(株)「情報収集事業セルロースナノファイバーの市場及び技術動向調査」においては、CNF 複合樹脂（構造材）用途および CNF 複合ゴム用途の将来の目標価格に言及している。これによると 2020 年に 1,300 円/kg、2030 年に 300 円～500 円/kg が目標価格となっている（表 2.3-3 参照）。

表 2.3-3 CNF 用途と目標価格

用途	CNF の価格
CNF 複合樹脂（構造材）	2020 年：1,300 円/kg（汎用樹脂との複合材） 2024 年：500 円～700 円/kg 2030 年：300 円～ 500 円/kg
CNF 複合ゴム	2025 年で 500 円～700 円/kg 2030 年で 300 円～ 500 円/kg

3) 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

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」においては、CO2 排出量と木粉グラインダー法 CNF 製造コストの関係をグラフ化しており、コスト試算も実施している。これによると、比表面積の小さい CNF、すなわち解繊度の小さい CNF で価格が安くなっており、比表面積の大きい CNF、すなわち解繊度の大きい CNF で価格が高くなっている。また、試算された価格帯としては、300～1,100 円/kg（輸送費を除く）となっている（表 2.3-4 参照）。

表 2.3-4 木粉グラインダー法のコスト試算概要

比表面積	20m ² /g	50m ² /g	100m ² /g
年間生産量	308t/年	89t/年	35t/年
製造コスト	337 円/kg	588 円/kg	1,135 円/kg

※輸送費含まず

出典：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」表 7.1.2.5 から引用

2.3.2 CNF の供給価格に関する考察

(1) 製法別の CNF 供給価格の概況

各 CNF 製造事業者のデータおよびヒアリング調査結果を基に、製法別の CNF 現状供給価格と将来の目標価格を整理した。結果を表 2.3-5 に示す。

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る。

一定の解繊度が確保されている化学処理製法を伴う 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）となっている。

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 添加マスターバッチ相当）となっている。

表 2.3-5 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

(2) CNF の供給価格に影響する要因

供給側から見た CNF の価格には、以下の要因が影響すると考えられる。なお、黎明期にある現状価格（上記表 2.3-5）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る。

- ・原料バイオマスの価格
- ・機械解繊処理回数・工程の複雑さ
- ・製造規模
- ・脱水・乾燥工程の有無
- ・使用する化学薬品
- ・その他（輸送コスト等）

1) 原料バイオマスの調達価格等

原料バイオマスとして何を使うか、によって供給価格は変わる。木材であれば、チップかパルプか、国産か輸入か、針葉樹か広葉樹かなどにより異なる。木材以外にも、木質バイオマスに近いものとしては、竹の利用なども考えられる。参考として、表 2.3-6 に木材チップ・パルプの原料価格を示す。

表 2.3-6 木材チップ・パルプの原料価格

製法	価格	出典
パルプ向けの木質チップ（針葉樹）	14.5 円/kg	農林水産省「木材価格統計」
パルプ向けの木質チップ（広葉樹）	19.1 円/kg	
輸入木質針葉樹チップ (燃料用・パルプ用含む)	22.7 円/kg	財務省「貿易統計 2019 年」
輸入木質広葉樹チップ (燃料用・パルプ用含む)	21.2 円/kg	
国産針葉樹パルプ	76.0 円/kg	経済産業省「生産動態統計 2019 年」
国産広葉樹パルプ	67.2 円/kg	
輸入針葉樹パルプ	84.2 円/kg	財務省「貿易統計 2019 年」
輸入広葉樹パルプ	68.1 円/kg	

2) 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。また、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。

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」によると、「グラインダー処理の繰り返しは、高い消費電力による高コストの原因となる」と記載されている。

また、原料（樹種）によっても解繊処理回数が変わりうることにも留意が必要である。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」においては、「少ないエネルギーで解繊できる原料樹種を選定すると製造コストで有利」と記載されており、その樹種として、「カラマツ、トドマツ、熊本スギ」を挙げている。

なお、CNF 製造工程が機械的解繊のみの場合の解繊時のエネルギー消費量は解繊回数に比例して大きくなる。化学的処理を実施することにより、解繊回数を減らすことができる（ただし、後述の使用する化学薬品等のコスト上昇に繋がる）。

3) 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、供給価格を下げる事が可能と考えられる。現状では、ラボスケールや実証段階でパイロットスケールなど製造規模が小さいために、高価格となっている例も多くみられる。

4) 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。なお、CNF を利用側（製品製造者）が含水状態で使用できるのであれば、価格を抑えることができる。ただし、その際、輸送コストは上昇することに留意が必要である。

5) 使用する化学薬品等

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。

6) その他

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。

(3) CNF の市場価格に関する考察

CNF の供給価格に対して市場価格は、用途とそれに応じた製品の品質によって決定される。

高付加価値分野（医薬品等）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が、高い供給価格でも取引が成立する。

一方で、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らない。

CNF の用途例と市場価格の概念を表 2.3-7 に示す。また、CNF の用途別の市場規模と価格の概念図を図 2.3-1 に示す。

表 2.3-7 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。

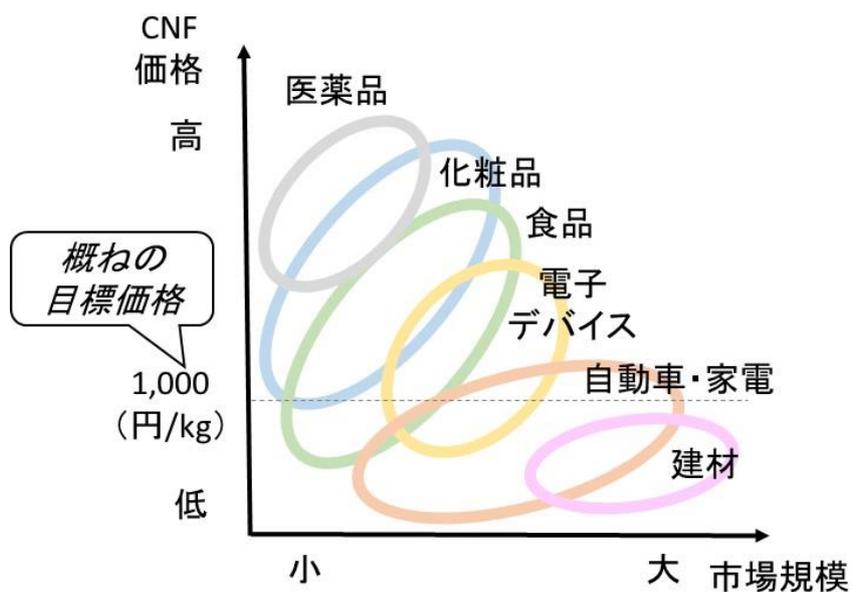


図 2.3-1 CNF の用途別の市場規模と価格の概念図

なお、後述の「地域産業創出モデルの検討」における推計結果では、40,000t/年の製造規模であれば、30%CNF マスターバッチが、800 円/kg 程度で供給可能と試算されている。これが実現できれば上記の中付加価値領域における大幅な普及が期待できる。

2.4 CNF リサイクルの調査

本節では、環境省 CNF リサイクルの関連事業報告書等を基に、文献調査及びヒアリング調査を実施し、CNF 利活用ガイドラインの掲載内容の検討を行った。具体的には、2.4.1 では、環境省 CNF リサイクル関連事業に関する文献調査を、2.4.2 ではヒアリング調査を行い、2.4.3 ではそれらの調査結果を深堀するため、CNF 複合材、プラスチック、競合素材のリサイクル、選別技術等についての追加調査を実施した。2.4.4 では、2.4.1～2.4.3 を踏まえて、CNF ガイドラインに有用な情報の整理を行った。以下、それらについて概説する。

2.4.1 環境省 CNF リサイクル関連事業に関する文献調査

CNF に関する環境省過年度事業の以下の資料から CNF リサイクルの技術開発状況と課題等を把握し、CNF リサイクルの推進に向けた課題の整理を行った。

■ 環境省過年度事業の報告書

- ・ セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務（社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証～自動車分野～）（平成 29～平成 31/令和元年度）成果報告書
- ・ セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務（平成 29 年度）成果報告書

文献調査は、表 2.4-1 に示す 3 つのモデル事業を対象とした。なお、セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務（平成 29 年度）成果報告書及び平成 29～平成 31/令和元年度のリサイクルモデル事業者の成果報告書を基に、以下の情報を整理した。

<整理した情報>

- ・ 平成 29 年度時点の CNF リサイクルに関する課題
- ・ CNF リサイクルの技術開発の最新動向

表 2.4-1 文献調査の対象としたモデル事業の一覧

委託事業名	事業期間	代表事業者	共同事業者
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	平成 29～31 年度	トヨタ車体(株)	-
セルロースナノファイバー複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発	平成 29～31 年度	パナソニック(株)	-
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	平成 29～31 年度	(国) 静岡大学	学校法人同志社 同志社大学、コニカミノルタ(株)、化薬ヌーリオン(株)、(株)エコフィール、トクラス(株)

平成 29～31 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が行われ、課題と課題解決に係る方向性が示されている。

- ・ 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 削減効果の検討が行われた。
- ・ CNF 複合樹脂の高速選別及び高強度加工法の開発では、選別工法と再生工法技術を開発され、各工程の技術的課題と今後の展開を提示された。
- ・ 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された。また、CNF 素材のリサイクルの社会実装に関する検討が行われた。

平成 29～31 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ある。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ている。

■ 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。

■ 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合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。

■ CO2 削減効果に関する知見

- ・ 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。

2.4.2 ヒアリング調査

文献調査で整理した平成 29 年度時点の CNF リサイクルに関する課題が上記モデル事業において解決されているかどうかをまとめ、明確でない部分を中心にリサイクルモデル事業者及びその他のモデル事業者へのヒアリング調査を実施した（ヒアリング調査は 2.1.4 で実施したものと連動）。ヒアリング調査での質問項目とそれに対するモデル事業者からの回答を表 2.4-2 に示す。ヒアリング調査の概要については、「第 2 章 2.1.4 モデル事業受託者へのヒアリング調査」において記載しており、そちらを参照されたい。

表 2.4-2 ヒアリングでの質問項目と回答

No.	質問項目	回答
1	CNF の選別技術について	<ul style="list-style-type: none"> ・ リサイクル業者が販売する際に重要な価値は、CNF の選別・識別精度である。選別・識別精度を高めるためには、均質な CNF が回収されることが重要である。 ・ 選別・識別技術に関しては、近赤外線分光法は精度が高く、高速処理も可能で、人体にも影響がないため、有効である。
2	CNF の選別技術の課題について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近赤外線で材料を識別して、PP、ABS-PS 樹脂と CNF を選別する工法の開発が必要である。
3	CNF の工程内リサイクルの可能性について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境省事業で検討した結果、CNF は工程内リサイクルしやすいことが明らかとなった。 ・ インジェクションして部品を作ると必ず端材が排出されるが、CNF は戻す量にかかわらず物性に影響が出ないため、何度でもリサイクルが可能である。 ・ 不良品ができたときも、それを工程に戻して問題なくリサイクルすることができる。
4	CNF の市場回収リサイクルについて	<ul style="list-style-type: none"> ・ 促進劣化試験の結果、物性の低下が少ないことが明らかとなった。 ・ 市場回収品をリサイクルする場合は、CNF の分別回収方法が課題である。
5	市場回収リサイクルの方法について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市場回収品をリサイクルする場合は、二つの方法が考えられる。一つは、シュレッダーの中から回収する方法で、もう一つは、部品一個を CNF 複合樹脂だけで製造し、その部品を取り外しやすくして回収する方法である。 ・ 現在は後者の方を検討している。製品化を目指す中で、PP-CNF 樹脂を使用した部品だけを取り外しやすくして、リサイクルできるよう検討している。

No.	質問項目	回答
6	CNF を使用した使用済み製品のリサイクルについて	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長期間使用した CNF 材料をリサイクルする場合は物性が落ちる懸念があるが、1、2 年で回収する商品については物性が保たれているため、市場回収リサイクルの可能性があると評価している。
7	CNF をリサイクルした時の耐久性について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再度熱をかけて製品を作り直すことに関しては特に問題ない。 ・ 紫外線劣化も表層部分であるため問題ない。

2.4.3 追加調査

上述の文献調査及びヒアリング調査の結果を深堀するため、追加調査として、1) プラスチックと CNF 複合材のリサイクル、2) 競合素材となりうる炭素繊維強化プラスチック (CFRP) とガラス繊維強化プラスチック (GFRP) のリサイクル、3) CNF リユースの可能性、4) 選別技術についての調査を行った。

(1) プラスチックと CNF 複合材のリサイクルに関する調査

文献調査及びヒアリング調査の結果、プラスチックの各種リサイクルの CNF への適用可能性について検討する必要があるため、プラスチックのマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリカバリーの概要及び各工程について追加で文献調査を行った。

■ プラスチックリサイクルに関する資料

- ・ プラスチックリサイクルの基礎知識 (2020 年、一般社団法人プラスチック循環利用協会)
- ・ プラスチックリサイクル入門 (2009 年、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)

一般的なりサイクル方法には、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリカバリーの 3 つの方法がある。マテリアルリサイクルは CNF 複合材への適用が可能である。CNF のケミカルリサイクルは、熱可塑性の素材はガス化が可能であるが、熱硬化性でのモノマー化の可能性を確認する必要がある。サーマルリカバリーに関して、CNF は素材が木材等であるため、プラスチックや紙などと同じく燃焼させることができる。表 2.4-3 に一般的なりサイクル方法の概要と CNF 素材への適用可能性を整理した。

表 2.4-3 一般的なリサイクル方法の概要と CNF 素材への適用可能性

リサイクル区分	概要 ¹	CNF 素材への適用可能性
マテリアルリサイクル	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。	CNF 素材はマテリアルリサイクルが可能である。
ケミカルリサイクル	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などを得て製品原料（元の製品であるかは問わない）として再利用する。	熱可塑性であればガス化は可能であるが、熱硬化性はモノマー化実証が必要である。
サーマルリカバリー	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などの製造工程などに有効利用する。	CNF は素材が木材等であるためサーマルリカバリーが可能である。

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を基に一部更新

1) CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）

マテリアルリサイクルの主要な工程は、回収、異物除去、選別、破碎、洗浄、調質、造粒の 7 工程である。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る。CNF 複合材のマテリアルリサイクルの工程（例）を表 2.4-4 に示す。

表 2.4-4 CNF 複合材のマテリアルリサイクルの主要な工程（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」を基に一部追記

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

2) ケミカルリサイクルの工程

プラスチックのケミカルリサイクルは、主に、原料モノマー化、高炉原料化、コークス炉化学原料化、ガス化、油化があり、表 2. 4-5 に示す技術が実用化されている。原料モノマー化のうち、常圧溶解法における原料モノマー化技術は、CNF 複合材のリサイクルへの適用可能性がある。

表 2. 4-5 ケミカルリサイクル技術の実用化

技術分類		回収物	技術熟度
原料モノマー化 (CFRP)	熱分解法熱分解法	CF(ミルド)	商用化段階 (東レ、帝人、三菱レイヨン)
	電気分解法	湿式不織布	商用化段階 (アイカーボン)
	常圧溶解法	CF(長繊維)	応用研究段階 (日立化成にて回収 CF と回収 EP の用途開発中)
高炉原料化		還元剤 (コークス代替)	商用化段階 (JFE スチール、神戸製鋼所等)
コークス炉化学原料化 (廃プラ)		コークス、炭化水素油、コークス炉ガス	商用化段階 (新日本製鐵等)
ガス化 (廃プラ)		水素、メタノール、アンモニア、酢酸等の化学工業原料、燃料	商用化段階 (昭和電工、新日本製鐵等)
油化 (廃プラ)		生成油、燃料	商用化段階 (ジャパンエナジー等)

出典：「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」を基に一部更新

プラスチックのケミカルリサイクル (常圧溶解法) の工程は、図 2. 4-1 に示すように市場回収リサイクルの場合、回収、異物除去、選別、溶解処理、繊維回収の 5 工程で構成され、工程内リサイクルの場合、溶解処理、繊維回収の 2 工程で構成される。

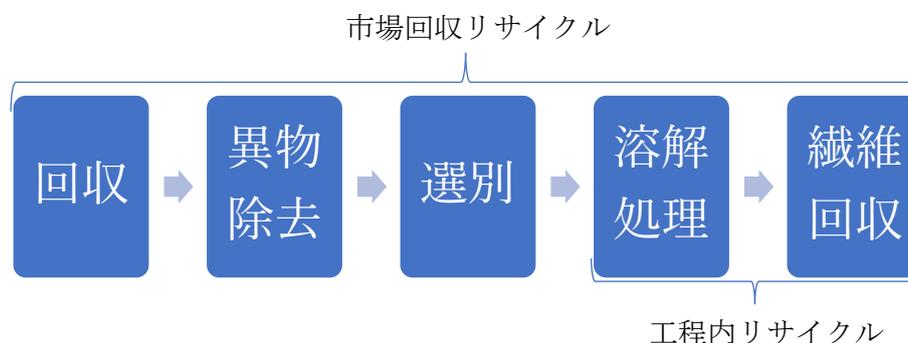


図 2. 4-1 ケミカルリサイクル (常圧溶解法) の工程

出典：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

3) サーマルリカバリーの工程

プラスチックのサーマルリカバリーの工程は、市場回収リサイクルの場合、回収、切断・破碎・選別、粉碎、造粒、燃焼の5工程である。プラスチックのサーマルリカバリーの工程を図2.4-2に示す。

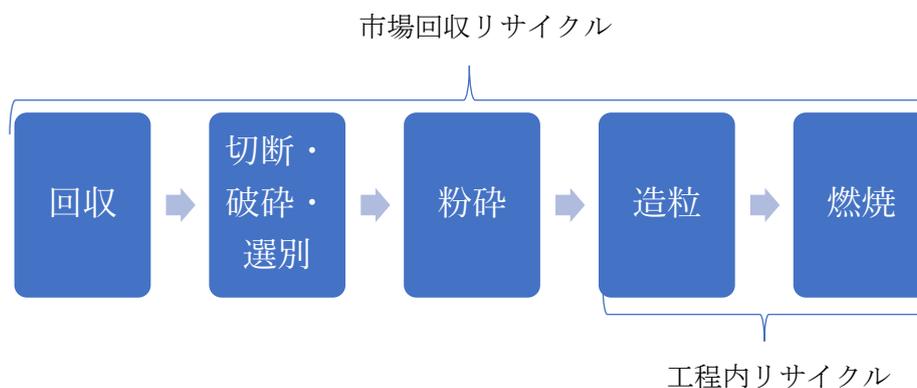


図 2.4-2 サーマルリカバリーの工程

出典：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

(2) 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) とガラス繊維強化プラスチック (GFRP) のリサイクルに関する最新動向の調査

文献調査及びヒアリング調査で、CNF 複合材が類似素材である CFRP や GFRP と比べて高いリサイクル性を有することを把握した。CNF 複合材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る²。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ある。表 2.4-6 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す。

なお、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 複合材のリサイクルではなく樹脂のリサイクルとなるため、ここでは扱わないこととした。

² 『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）

表 2.4-6 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砕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 ³ 。	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 ⁴ 。
材質	CNF 複合材	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、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

CFRP、GFRP のリサイクル技術も発展していることから、以下の資料を使用して国内外の CFRP、GFRP リサイクル技術の最新動向を追加調査した。

- ・ 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) のリサイクルの現状と課題 (2018 年、年廃棄物資源循環学会誌 Vol. 29, No. 2, pp. 133-141、加茂徹著)
- ・ 海外における CFRP/GFRP リサイクル技術の現状 (2019 年、コンバーテック、守富環境工学総合研究所、守富寛著)

追加調査の結果、上記表 2.4-6 の表現に変更はないが、以下の事項が明らかとなった。

- ・ CFRP のリサイクル技術は欧州を中心に熱分解技術の実用化及び研究開発が進んでおり、主要な再生品は研磨材である。
- ・ CFRP のリサイクル技術の動向に関して、日本ではカーボンファイバーリサイクル航業 (株) 及び岐阜大学が開発した二段熱分解法が商用化されている。
- ・ GFRP のリサイクル技術の現状は、セメント工場でのエネルギー回収が一般的であり、炭素繊維と比較してガラス繊維の回収のニーズは少ない。
- ・ CFRP, GFRP マテリアルリサイクルによる短繊維化は力学特性の破砕による劣化を伴うので、リサイクル品の用途は限定される。

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

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

(3) CNF リユースの可能性の検討

CNF と代替素材の特性を比較する中で、リユースの可能性について検討した。CNF の高強度特性、耐久性、耐摩耗性、耐腐食性などの特性が CNF を使用した製品の長寿命化に繋がると、リユースの可能性が広がると仮説を立て、CNF 比較対象材料表を基に、以下の項目について有識者にヒアリング調査を行った。

【ヒアリング調査項目】

1. 自動車

- ① 自動車内装部品等で、プラスチック素材（PP を想定）から CNF 複合材料（PP+CNF を想定）に代替した場合に、高強度等により、製品寿命が長くなる可能性はあるか？
- ② 自動車外装部品等で、鉄から CNF 複合材料（PP+CNF を想定）に代替した場合、耐腐食化等により、長寿命化に資する可能性があるか？
- ③ 自動車ドアガラスで、無機ガラスから CNF 複合材料（PC+CNF を想定）に代替した場合、高強度化等により、製品寿命が長くなる可能性はあるか？
- ④ 自動車タイヤで、カーボンブラックから CNF 複合材料（天然ゴムに CNF を添加）に代替した場合、走行時に摩耗しにくくなるような特性はあるか？
- ⑤ 超小型モビリティで、CNF 鋼板と代替した場合、CNF の高強度特性が製品の長寿命化につながる可能性はあるか？

2. 建 材

- ⑥ 建材の工事用敷板で、鋼板から CNF 複合材料（PP+CNF など）に代替した場合、製品の長寿命化につながる可能性があるか？
- ⑦ 塗料・コーティング剤で、CNF 製品に代替した場合、製品寿命の延長に資する特性があるか？

3. 家 電

- ⑧ 空調機器（換気扇やファン）等について、GFRP から CNF 複合材料（PP+CNF）に代替した場合、耐久性の点で製品の長寿命化につながる可能性はあるか？

ヒアリング調査の結果、代替素材と CNF を置き換えた場合、現時点では直接的に製品の長寿命化につながるとは言えないことが示唆された。自動車部品や家電に使用される製品素

材は耐用年数がそもそも長いいため、CNF で代替した場合でも製品の長寿命化につながらない。一方で、耐腐食性、耐摩耗性に関しては、可能性としては考えられるが実証などが行われていない。特にカーボンブラックと代替した場合は、CNF+ゴムの走行性能安定化に関するデータはあるが、CNF の耐摩耗性についてのデータがない。超小型モビリティや建材の鋼板の高強度特性を比較した場合も同じである。

したがって、CNF を代替素材と置き換えた場合、製品の長寿命化に資するかどうかは実証などが行われておらずデータがないため現時点では明言できないことが明らかとなった。

(4) 選別技術

CNF リサイクルを検討する上では、CNF を選別する技術が重要となる。選別技術に関して以下の資料を用いて、CNF の選別技術の動向及び課題を把握した。

■ 選別技術に関する資料

- ・ 環境省セルロースナノファイバーリサイクルの性能評価事業成果報告書（平成 29～平成 31/令和元年度）
- ・ 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（平成 29 年度）成果報告書
- ・ 廃プラスチック選別技術の動向（2006 年、『資源と素材』Vol. 122、伊藤真由美、恒川昌美著）
- ・ 分光分析によるセルロースナノファイバーの評価方法（2019 年、『アグリバイオ』3 号、島津製作所橋本和美著）

上記文献で示された CNF 選別技術の動向及び課題等を整理し、2.4.2 のリサイクルモデル事業者及び有識者へのヒアリング調査を実施した。

CNF リサイクルモデル事業では、選別技術として、水比重選別、中赤外線選別、近赤外線選別、静電分離の CNF 複合材への適用可能性が検討された。そのうち、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る⁵。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ている。

各選別技術の概要と CNF 複合材への適用可能性を表 2.4-7 に示す。

⁵ 『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）

表 2.4-7 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 ⁶	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、他の選別技術と組合せる必要がある ⁷ 。

⁶ 「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)

⁷ 『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)

2.4.4 CNF リサイクルの課題と解決に向けた方向性の整理とまとめ

(1) CNF リサイクルの課題と解決に向けた方向性の整理

平成 29～31 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 2.4-9 に示す。

表 2.4-9 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ない	<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

(2) まとめ

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繋がる。

CNF リサイクルに関して、過年度モデル事業の報告書及び追加調査により、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ることが明らかとなった。これらの事業では、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ている。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った。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る。

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るため、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となっている。

2.5 海外政策動向調査

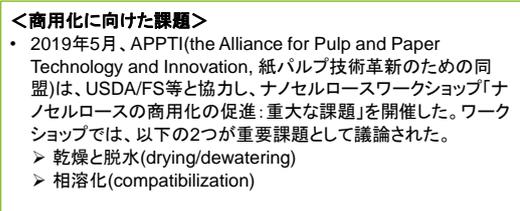
CNFにおける国外政策の最新動向を調査した。調査対象国は、環境省「平成29年度セルロースナノファイバーのリサイクルモデル事業の推進計画等の策定委託業務報告書」で調査した7か国、米国、カナダ、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン、欧州連合、韓国と同一とした。

2.5.1 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る。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る。

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る。

米国におけるCNF関連政策動向(既存の取組)



米国におけるCNF関連政策動向(今後の取組)

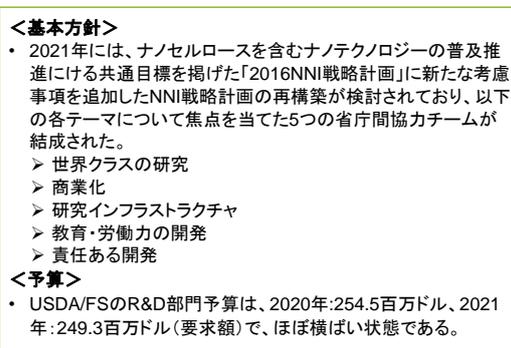


図 2.5-1 米国における CNF 関連政策動向

出典：NNI ウェブサイト、FS ウェブサイト、Advancing Commercialization of Nanocellulose: Critical Challenges Workshop Report

表 2.5-1 米国における取組状況

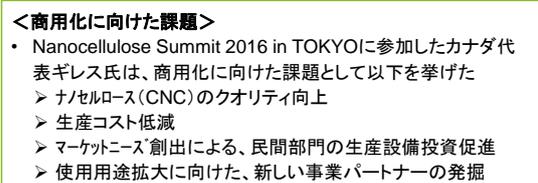
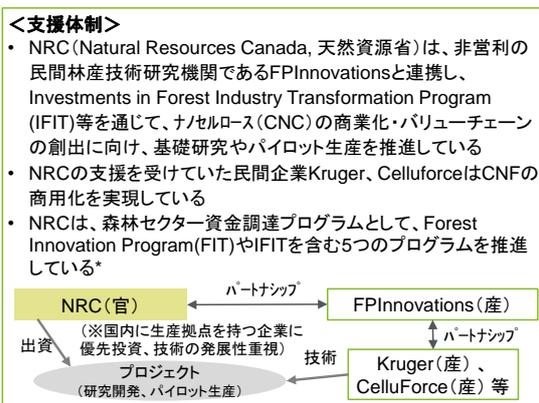
機関	方針	取組状況	期間
U. S. Department of Energy (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> 基礎研究とナノ物質、研究設備を重点的に支援する 2021 年のナノテクノロジー全般への予算要求額は 352.8 百万ドル 	<ul style="list-style-type: none"> 2014 年から商業化に向けた支援を行っている 事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 1 件 <ul style="list-style-type: none"> ▶ プロジェクト「Electro-dewatering 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

2.5.2 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る。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る。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る。

カナダにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)



* 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)

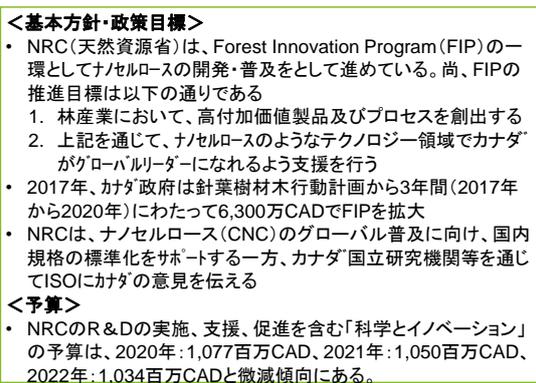


図 2.5-2 カナダにおける CNF 関連政策動向

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」

表 2.5-2(1) 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～

出典：NRC ウェブサイト

表 2.5-2(2) 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)	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じて、林産物市場の多様化を支援している ・2013年には、FPInnovations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 <ul style="list-style-type: none"> 「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

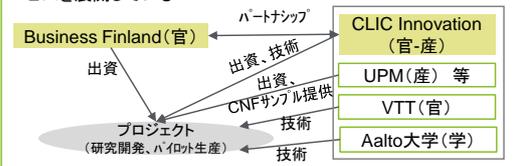
2.5.3 フィンランド

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る。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る。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る。

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

- ① エレクトロニクス産業
- ② パッケージ材料
- ③ 製紙産業
- ④ 医薬品・ヘルスケア・バイオ
- ⑤ 建設産業

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

図 2.5-3 フィンランドにおける CNF 関連政策動向

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)」

表 2.5-3 フィンランドにおける取組状況

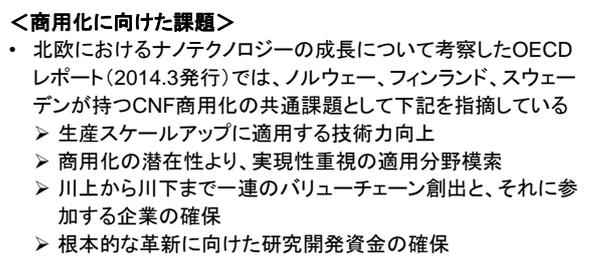
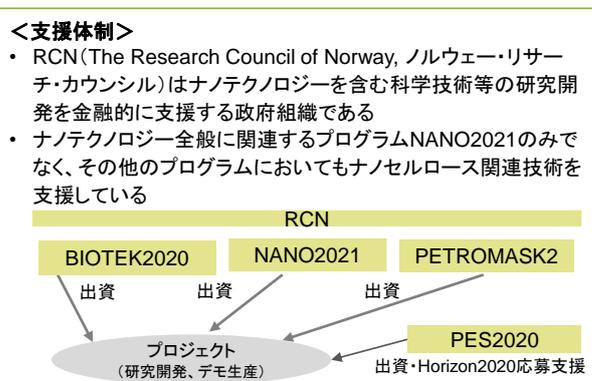
機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
Business Finland	Bio& Circular Finland	<ul style="list-style-type: none"> ・フィンランドのソリューションが国際市場で採用されるために、バイオおよび循環経済ソリューション（特にプラスチックおよび包装産業）の輸出を増やすことを目指す ・循環経済のさまざまな分野での新しいイノベーション、特に繊維や建設の新しいアプリケーションを支援する ・予算は、4年間で300百万ユーロ（内150百万ユーロは、Business Finlandのイノベーション資金）となっている 	<ul 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年～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年～2018年

出典：Business Finland ウェブサイト

2.5.4 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る。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る。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る。

ノルウェーにおけるCNF関連政策動向(既存の取組)



ノルウェーにおけるCNF関連政策動向(今後の取組)

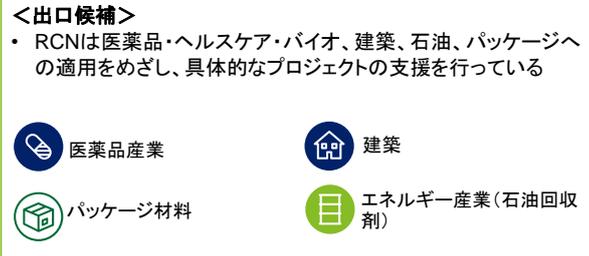
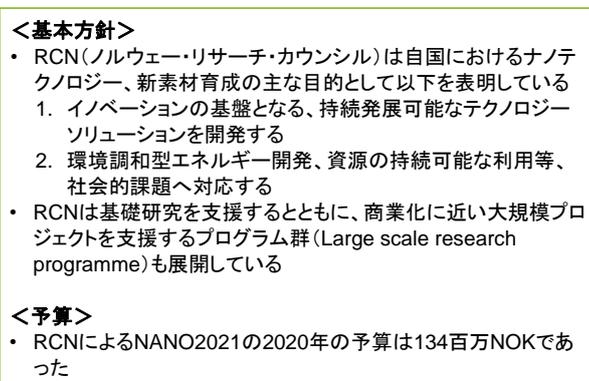


図 2.5-4 ノルウェーにおける CNF 関連政策動向

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)」

表 2.5-4(1) 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 	・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 年～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 	・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 年～2021 年

出典：RCN ウェブサイト

表 2.5-4(2) 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 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年～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年～2020年

出典：RCN ウェブサイト

2.5.5 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る。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る。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る。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る。

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*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

※*: 企業・イノベーション省(The Ministry of Enterprise and Innovation)の傘下組織

<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グローバル生産

<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

パッケージ産業	自動車産業(軽量化素材)
建築(軽量化建材)	情報通信産業(新素材)

図 2.5-5 スウェーデンにおける CNF 関連政策動向

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

表 2.5-5 スウェーデンにおける取組状況

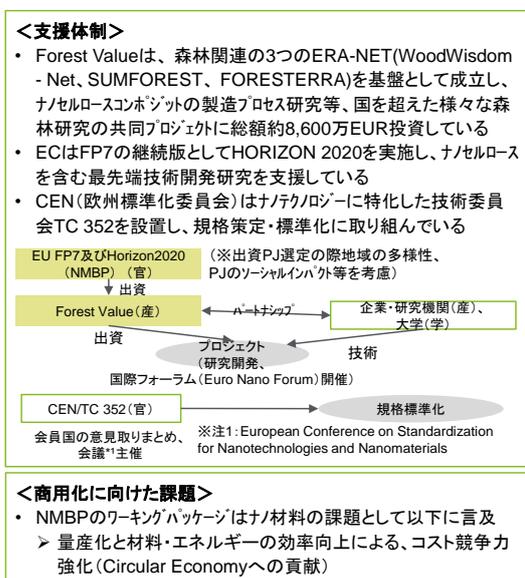
機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
VINNOVA	-	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な社会的課題に対する新しいソリューションの開発を目的とし、リスクが大きく、プロジェクトが一般的に政府の援助なしでは軌道に乗らないイノベーションプロセスの初期段階で資金を提供する ・戦略的イニシアチブを調整し、民間部門と公共部門の両方で社会の多くの分野をカバーする 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業期間に 2020 年以降を含むナノセルロース関連の事業は 14 件 ▶プロジェクト 「BioCell-filament」 ・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 年～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 年～2020 年

出典：VINNOVA ウェブサイト、RISE ウェブサイト

2.5.6 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る。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る。

欧州連合におけるCNF関連政策動向(既存の取組)



欧州連合におけるCNF関連政策動向(今後の取組)



図 2.5-6 欧州連合における CNF 関連政策動向

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」

表 2.5-6(1) 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年～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 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 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：プリンテッ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年～2027年

出典： EC ウェブサイト、WoodWisdomNet ウェブサイト

表 2.5-6(2) EU における取組状況

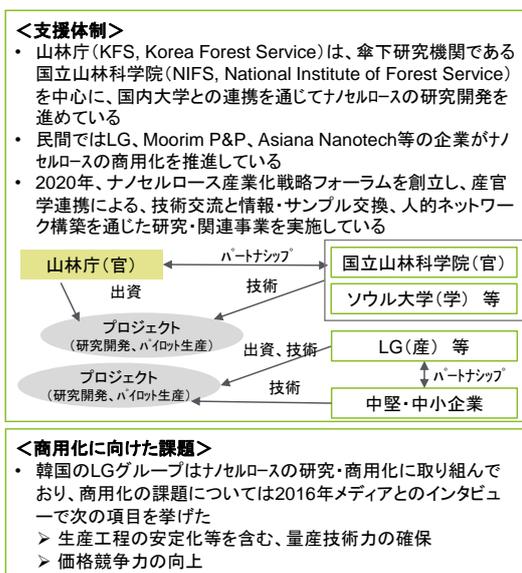
機関	プログラム	プログラムの最終目標と目的	取組状況	期間
Forest Value	Joint Call 2021 (JC 2021)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動に左右されない循環型経済と持続可能な社会の実現に向けて、社会の利益のために森林と森林資源の最善の利用を促進するための知識を生み出すプロジェクトを支援する 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクトの開始時期は、2021 年後半から 2022 年前半を予定 	2021 年～
	Joint Call 2017 (JC 2017)	<ul style="list-style-type: 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、支援をされており、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 年～ 2020 年

出典： Forest Value ウェブサイト

2.5.7 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る。産業界でも複数の企業が商用化に向け推進をしている。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る。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る。

韓国におけるCNF関連政策動向(既存の取組)



韓国におけるCNF関連政策動向(今後の取組)

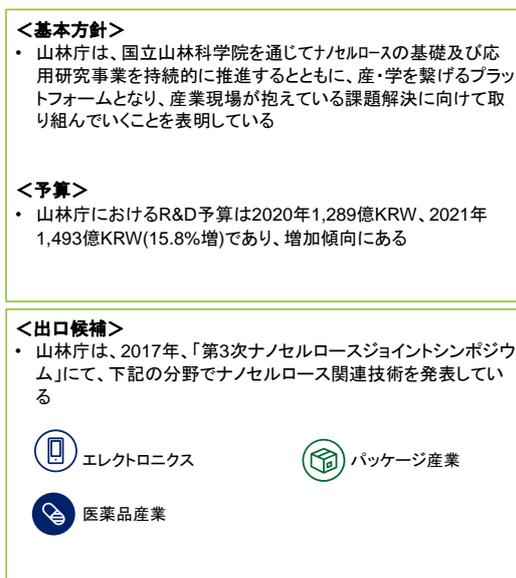


図 2.5-7 韓国における CNF 関連政策動向

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

表 2.5-7 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、国固有の有用な森林生物資源500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年~2029年

出典：山林庁ウェブサイト

2.6 CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理

「2.1 環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理」～「2.5 海外事例調査」に関して、CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理を行った。

(1) 環境省 CNF 関連モデル事業の情報収集・整理

2.1 でとりまとめた情報をもとに、環境省 CNF 関連事業の実施概要を整理した。

また、各事業者の事業成果や各事業の PR 等を広く周知することを目的に「別冊 1 セルロースナノファイバー等の次世代素材活用推進事業の成果のとりまとめ」を整理した。なお、アンケート調査及びヒアリング調査で把握できない情報は、モデル事業者に加筆を依頼し、最低限の統一を行った。

さらに、環境省事業で使用した CNF の特性を用途別に整理をし「別冊 2 環境省事業で使用した CNF 特性整理」としてまとめた。

事業者1 愛媛大学～非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造～

●基礎情報

実施年度	平成 27～29 年度
共同事業者名	-
検討対象製品	CNF 脱水装置の開発
製造方法	-
CNF 製造事業者	愛媛大学 紙産業イノベーションセンター
事業実施の経緯	平成 26 年 4 月に開設された愛媛大学 紙産業イノベーションセンターは紙産業に関する学際的な研究開発を行うことを目的としており、CNF の製造方法を研究テーマとしていました。
事業概要	CNF 水分散液を非加熱脱水し、PMMA（ポリメタクリル酸メチル）樹脂と混練する製造工程の CO2 排出量の削減率一を取得し、自動車用部品である PC（ポリカーボネート）樹脂の5マイクロメートルの CO2 排出量と比較しました。CNF 添加 PMMA 部品が PC 部品より 5%削減された場合、マイクロメートルの CO2 排出量は 20%削減することがわかりました。

●CNF 製品の特徴

【主な CNF 製品の特徴】
 ・愛媛大学では、特許に特許したプロトタイプ脱水装置によって半製品として脱水済み CNF を提供しています。
 ・脱水 CNF の用途の一つとして、CNF 添加 PMMA を試作していますが、現在は脱水装置の更なる開発について、地元企業と取り組んでいます。

【CNF の使用量】
 1 装置の一日当たりの CNF 使用量：湿量約 4 t
 CNF が含有する製品全体の重量：湿量約 1.2 t (固形分約 120 kg)

【CO2 削減効果】
 ジェニファイト プラスチックの使用量と PC の構成比から推定した自動車用 PC 部品量 (kg) に基づき、CNF-PMMA 代替の CO2 削減効果についてシミュレーションしました。その結果、CO2 削減率として、2020 年 4.306、2025 年 52.632、2030 年 105.264tCO2/年となることと推定されました。

●モデル事業者としての CNF 製品利活用における得られた成果と課題・留意事項

【成果】
 モデル事業の脱水装置を開発した事により、CNF の活用が実現になると共に、輸送コストの削減に繋がります。

【課題・留意事項】
 装置の規模が大きいため、設置場所のスペースに留意が必要です。

●モデル事業後の展開

CNF の利活用に関わる装置（脱水、乾燥、シート化、廃液処理設備）の開発を進めるために、CNF 製造及び加工企業に販売展開を推進します。
 ・製プラスチックの社会的責任を担い、プラスチックフィルム製造メーカーと、CNF 連携、改質技術を活かしたセルロースナノファイバー塗料、防曇ポリマーフィルムの開発

●CNF 事業に関する PR

脱水装置をベースに技術開発と普及拡大に取り組んでおり、製品化している企業と共同開発を行っています。現在、装置を共同研究先の地元機械メーカーに移設し、そこで乾燥・シート化装置を増設して、開発を継続しています。上記のように CNF の産地およびシート製造装置であり、CNF を使った製品を考案してもらえるユーザーに幅広くご利用頂けるものとして考えられています。

【本件に関するご連絡先】
 愛媛大学紙産業イノベーションセンター-社会共創学部産業界イノベーション学科紙産業界コース
 大学院農学研究科バイオマス資源学コース 内村浩美、藪谷智規、秀野長大
 〒799-0113 愛媛県四国中央市妻鳥町乙 127
 TEL: 0896-22-3230 MAIL: uchimura-h@agr. ehime-u. ac. jp

図 2.6-1 CNF 利活用ガイドラインにおける各モデル事業の成果のまとめ (例)

(2) 2025～2035 年における CO2 削減効果等の分析

当初、推計結果を利活用ガイドラインに掲載する予定であったが、各モデル事業者推計と異なる別推計となり、各モデル事業者が意図しない推計ともなりうることから、2.2 でとりまとめた情報はガイドラインに掲載しないこととした。一方、各モデル事業者より収集した CO2 削減効果に関する情報は「別冊 1 セルロースナノファイバー等の次世代素材活

用推進事業の成果のとりまとめ」の中に掲載している。

なお、利活用ガイドラインの「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」においては、LCAの観点から内容を具体化して示すことができる一般的な算定事例を扱うこととした。

（3）CNFの供給コスト等に関する分析

環境省CNF関連事業の受託者へのアンケート調査及びヒアリング調査結果からは、個別公開可能な情報は得ることができなかったものの、製法ごとのCNF現状価格と将来の目標価格をとりまとめることができたため、その情報をガイドラインに掲載することとした。また、供給価格に影響する要因、CNFの付加価値と市場価格の概念に関して考察することができたため、その情報をガイドラインに掲載することとした。

（4）CNFリサイクルの調査

2.4でとりまとめた情報について、ガイドラインにおいてはヒアリングの内容や調査の詳細情報を割愛することとした。また、ケミカルリサイクルやサーマルリカバリーについて調査を行っているが、ガイドラインにおいて有用である情報として、マテリアルリサイクルを中心に記述することとした。「2.4.4 CNFリサイクルの推進に向けて」でまとめた、「CNFリサイクルの課題と留意点」、「CNFリサイクルの推進に向けて」については有用と判断し、掲載することとした。

（5）海外事例調査

2.5でとりまとめた情報（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」で調査した7か国、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関連の政策動向及び取組状況）については、ガイドラインに有用と判断し、全般にわたって掲載することとした。

第3章 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理

本章では、CNF のサプライチェーン構築及び拡大に向けて、各種文献やヒアリング調査を通じて課題の整理を行い、その結果を踏まえて、課題解決策の検討を行った。本章ではその内容を概説する。

3.1 モデル事業受託者に係わるサプライチェーンに関する課題の整理

3.1.1 文献調査

(1) 文献調査に用いた資料

各事業の実施状況について、各モデル事業受託者が環境省に提出している、以下の資料から開発課題等を把握し、CNF のサプライチェーン構築に関する課題の整理を行った。

<文献調査に用いた資料>

- ・ 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（平成 27(2015)-平成 31/令和元(2019)年度）成果報告書
- ・ 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（平成 27(2015)-平成 29(2017)年度）成果報告書

(2) 文献調査の実施対象

文献調査は、表 3.1-1 に示す計 11 のモデル事業を対象とした。「CNF サプライチェーン構築のあり方」の与件整理として、以下の情報の整理を行った。

<整理した情報>

- ・ 開発概要（分野、対象部材）
- ・ CNF の各サプライチェーンにおける開発課題

表 3.1-1 文献調査の対象としたモデル事業の一覧

委託事業名	事業期間	代表事業者	共同実施者
CNF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	平成 27～29 年度	第一工業製薬(株)	エルクセル (株)
多機能性・竹ナノセルロースの低エネルギー型生産プロセスの確立	平成 27～29 年度	(国)九州大学	中越パルプ工業 (株)
セルロースナノファイバー添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化	平成 27～29 年度	トクラス(株)	山口大学、静岡大学、岡山県森林研究所、イオンインダストリー(株)
セルロースナノファイバーを用いた機能部品の軽量化検討	平成 27～29 年度	トヨタ車体(株)	-
・社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証 ・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～(NCV プロジェクト)	平成 28～31 年度	(国)京都大学	(一社)産業環境管理協会、(地独)京都市産業技術研究所、(学)金沢工業大学、(国)名古屋工業大学、(公)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、(国)東京大学、産業技術総合研究所
セルロースナノファイバーを利用した住宅部品高断熱化による CO2 削減	平成 28～30 年度	(国)静岡大学	(国)名古屋工業大学(国)山口大学、(学)常翔学園大阪工業大学、(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
CNF の家電製品搭載に向けた性能評価および導入実証	平成 28～29 年度	パナソニック(株)	-
竹 CNF を活用した建材の開発と、既築集合住宅への実装による CO2 削減効果の実証	平成 29～31 年度	(株)日建ハウジングシステム	(株)LIXIL、フィグラ(株)、(株)田島技術
非加熱プロセスによる樹脂混練用 CNF の製造 -CNF 脱水・溶媒置換法の確立-	平成 27～29 年度	(国)愛媛大学	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)
低炭素型ナノセルロース複合ゴム製造工程の開発	平成 27～28 年度	大王製紙(株)	西川ゴム工業(株)
セルロースナノファイバー製品製造工程における CO2 排出削減に関する技術開発	平成 27～29 年度	パナソニック(株)	-

3.1.2 ヒアリング調査

ヒアリング調査の概要については、「第2章 2.1.4 モデル事業受託者へのヒアリング調査」において詳細を記載しており、そちらを参照されたい。

3.1.3 追加調査

モデル事業委託者に加えて、国内外の CNF サプライチェーンにおける課題を幅広く整理するため、以下についても追加調査を実施した。

<追加調査に用いた資料>

環境省

- ・ 地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務（平成 27(2015)年度）成果報告書
- ・ 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（平成 29(2017)–平成 31/令和元(2019)年度）成果報告書
- ・ 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

文部科学省・科学技術振興事業

- ・ ねじれたセルロースナノファイバーにおける力学的特質の解明
- ・ 超高熱伝導セルロースナノファイバーの開発
- ・ 偏光イメージングによるナノ繊維複合材料の成形過程における流動誘起配向の計測
- ・ セルロースナノファイバー強化樹脂複合材料の強靱化に寄与する高分子分散剤設計
- ・ 微小流路でのナノ繊維静電配向機構の解明による革新的セルロース単繊維創製法の確立
- ・ チキソトロピー性セルロースナノファイバーゲルを基盤とした生体組織作製系の創成
- ・ 骨組織の三次元構造に倣う生体活性セルロースナノファイバー人工骨の創成
- ・ バイオナノファイバー複合化水処理膜創製のための基盤技術の確立
- ・ セルロースナノファイバーによる脱石油歯科用バイオマテリアルの開発と応用
- ・ セルロースナノファイバーの成分選択的溶媒膨潤性を活用した表面化学修飾法の開発
- ・ 軟骨組織再生のためのセルロースナノファイバー傾斜構造材料の創製
- ・ ナノファイバー複合材料の成形加工過程の流動制御を視野に入れた流動誘起構造の計測
- ・ CNF ナノ粒子の生成と環境調和型石油・天然ガス増進回収法への応用
- ・ セルロースナノファイバー塗工法による脆弱化した酸性紙資料の大量強化処理の開発

- ・ セルロースナノファイバーへのポリマーグラフト化による太陽熱蓄熱材料の創製
- ・ 竹の解繊・ナノ化技術による CNF の開発
- ・ 組織構築を誘導するセルロースナノファイバー培養場の開発
- ・ ナノセルロースが分子キラリティを支配する界面不斉反応の創発
- ・ バイオマス由来のセルロースナノファイバーを用いた“しなやか”な高分子複合材料の創出
- ・ セルロースナノファイバーを用いた高機能性プラスチック極限軽量断熱発泡部材の開発

経済産業省・NEDO

- ・ セルロースナノファイバーの素材供給拠点形成及び市場可能性調査事業報告書
- ・ 研究者派遣型国際共同研究調査事業 バイオナノファイバー原料としてのバイオマス資源調査（平成 19 年度）成果報告書
- ・ グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発／化学品原料の転換・多様化を可能とする革新グリーン技術の開発／セルロースナノファイバー強化による自動車用高機能化グリーン部材の研究開発（平成 21～22 年度、平成 22～24 年度）成果報告書
- ・ 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発 バイオマスを活用した化学品製造プロセス開発に係る最新動向分析（平成 25～26 年度）成果報告書
- ・ 革新的マイクロ湿式紡糸プロセスによる高機能ナノファイバーの創製（平成 27 年度）研究成果報告書
- ・ 戦略策定調査事業 ナノテクノロジー・材料技術分野の技術ロードマップ 2016 の策定に関する調査（平成 27～ 28 年度）成果報告書
- ・ 国内各地に賦存する非可食性バイオマスの高付加価値利用システムの構築に関する調査（平成 28 年度）成果報告書
- ・ 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

CNFに関する特許の調査

CNFに関する国内外の特許情報から、今後注力すべき「製品（分野）」・「技術開発領域」、想定されるプレイヤーの抽出を行った。なお、分析にあたってはトムソンロイターのデータベース”Derwent World Patents Index® (DWPI SM)”より「cellulose nanofiber」, 「cellulose nanocrystal」 「nanofibrillated cellulose」をキーワードとして抽出した、2018-2020年の1,151件の公開特許を対象とした。なお、2020年については5月時点の調査結果であることに留意する必要がある。

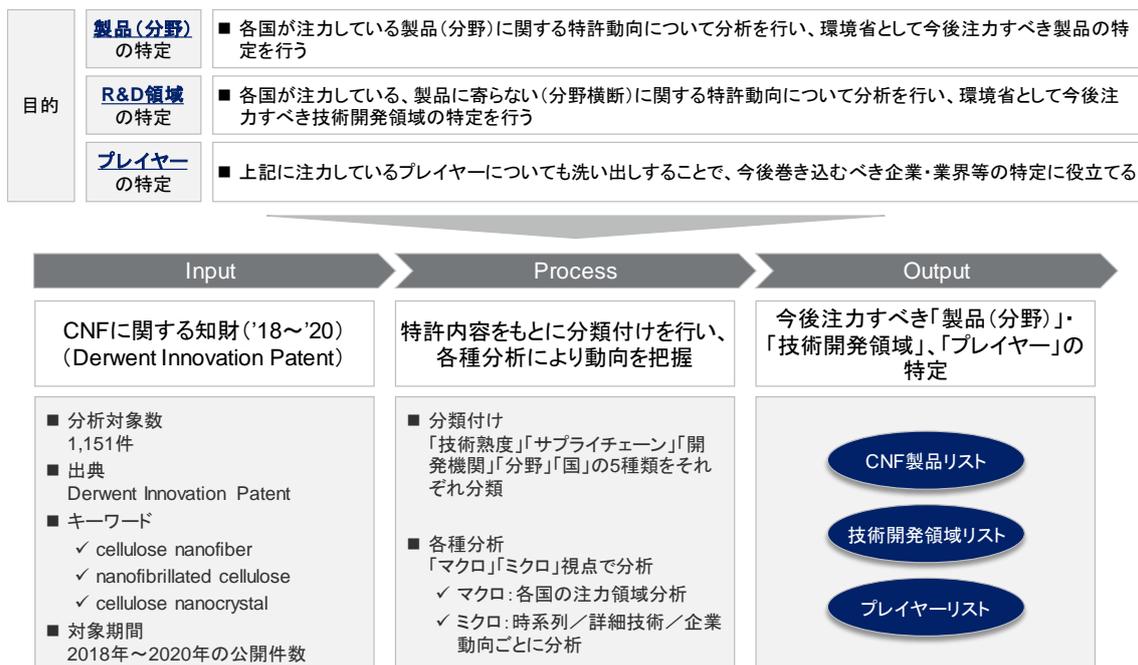


図 3.1-1 特許分析の目的とプロセス

調査結果 1,151 件の公開特許を技術熟度で 5 項目、サプライチェーンで 4 項目、開発機関で 4 項目、分野で 11 項目、国で 10 項目に分類し、整理を行った (図 3.1-2)。

技術熟度・サプライチェーン段階、開発機関の定義

技術熟度	
基礎研究	新技術に関する研究段階
応用研究	特定領域の新技術の応用に関する開発段階
実用研究	製品・製法等として実用化するための開発段階
導入実証研究	フィールドで検証する段階(商品化の可否を判断)
初期普及	市場での浸透を図る段階

サプライチェーン	
原材料調達	CNF製造に必要な素材(パルプ等)の調達段階
CNF素材製造	製品製造に必要なCNF自体、またはCNF複合材料の製造段階
製品製造	実用を目指し製品を製造する段階
利用	商用製品として世に出回っている段階

開発機関	
研究機関	大学等研究機関や国営企業
民間企業	上記以外の民間企業
共同	研究機関と民間企業が共同で実施
その他	個人・自治体を含む

分野・国の分類

分野
モビリティ
エネルギー
エレクトロニクス
住宅建材
運輸
農業
産業機械
家電
医療・ヘルスケア・食品
分野横断
その他

国
米国
カナダ
EU
フィンランド
日本
韓国
中国
インド
その他

出典:
 Derwent Innovation Patent Export (2020-05-11 15:15:52 +0000)
 キーワード:「cellulose nanofiber」「cellulose nanocrystal」
 「nanofibrillated cellulose」
 ⇒ 2018-2020年公開件数 1,151件

図 3.1-2 調査カテゴリー

分析の視点を図 3.1-3 に示す。本業務ではマクロ視点、ミクロ視点双方から分析した。マクロ視点としては、特許動向における各国の注力領域分析を行うことで、今後注力すべき領域を特定した。ミクロ視点としては、基礎分析と要因分析からなる時系列分析、企業動向分析、詳細技術分析を行うことで、今後注目すべき技術・分野・企業を特定した。

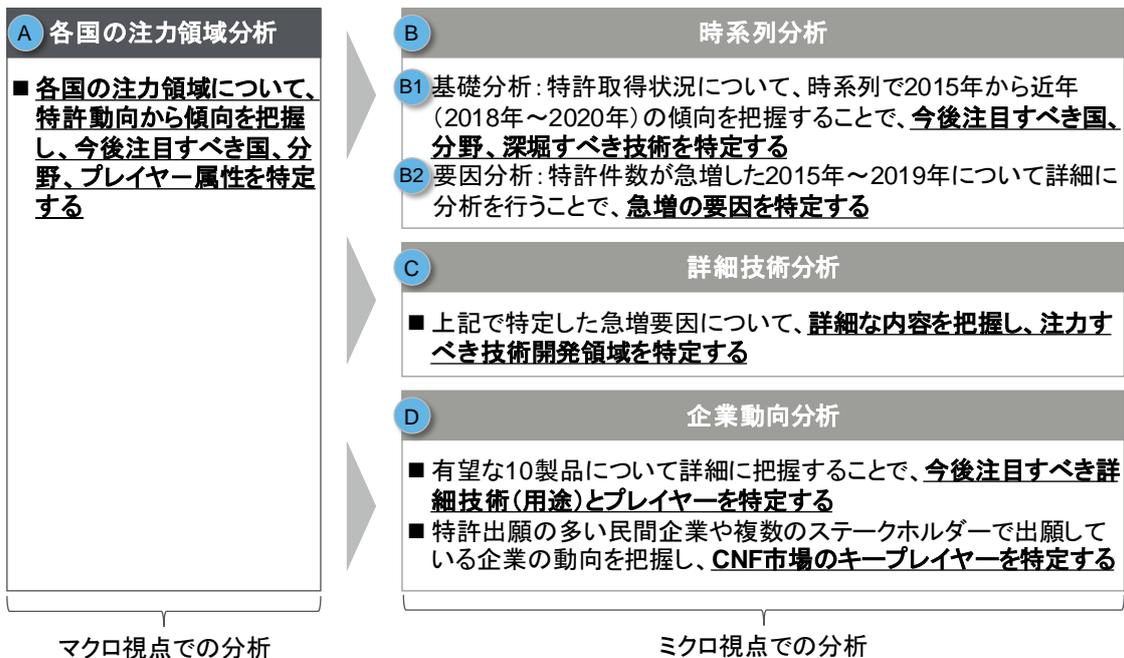


図 3.1-3 分析の視点

3.1.4 結果まとめ

(1) 文献・ヒアリング調査の結果まとめ

文献・ヒアリング調査の結果のイメージを表に示す。詳細については、巻末資料4(p.1～17)を参照されたい。なお、表中の「技術熟度」の定義は、前述の「CNFに関する特許調査」と同様である。ロングリストでは、各種文献等から調査した製品・部材ごとの課題を、CNFのサプライチェーンや技術熟度ごとに整理した。

表 3.1-2 文献・ヒアリング調査結果のロングリストのイメージ

分野	製品・部材		課題	素材	技術	原料	CNF	製品	利用
					熟度	調達	製造	製造	
自動車	内ドア部品		性能・品質の向上	プラスチック材料にナノセルロースを適切に分散させることが課題である(パルプ直接混練法、湿式法)	応用研究		●		
	ゴム部材	タイヤ	用途開発・実用化技術の開発	自動車用タイヤのウエットグリップ性能の低下を防ぐために、 水素添加ポリマー等の複合物の添加が必要である	実用研究			●	
		ウェザーストリップ	性能・品質の向上	カーボンブラック減配でゴム部材の硬度が低下し、製品として使用できないため、 硬度を調整した配合に見直す必要がある	実用研究			●	
		全般	性能・品質の向上	気泡が目立つ などCNF分散に関する ゴム製造時の混練手法に課題がある (機械的処理)	応用研究			●	
住宅建材	断熱材	外皮(外壁)	性能・品質の向上	CNFを添加した量産品試作の性能評価において、 CNF種別による熱伝導率の差が僅かに認められる (機械的処理)	応用研究		●	●	
		外皮(サッシ)	用途開発・実用化技術の開発	世界の潮流はより無毒な安定剤の使用に向かっており、CNFを硬質PVCへ分散させる前提として、 微結晶が溶融する220℃で安定にPVCを加工できる無毒安定剤の開発が必要である	実用研究			●	
	水性屋外木部用塗料	性能・品質の向上	機械的な解繊(斜向衝突法、ボール衝突法、酵素・湿式法)のCNFは製造条件や管理方法により品質にばらつきが生じ、塗料性能が安定しない。また、TEMPO酸化のCNFはコストに見合った性能が得られない	実用研究			●	●	
家電	空調	フィルタ	性能・品質の向上	蓄電池セパレータやエアフィルタへ応用が期待されるCNF繊維集合体形成時におけるコスト面や気泡が含まれたことが原因と思われる 繊維径のばらつき等の製造(攪拌・脱泡)技術に課題がある	応用研究		●		
エレクトロニクス	蓄電池	セパレータ	性能・品質の向上				●		
	半導体		性能・品質の向上	一応の光電変換機能は認められたが、これは p-型半導体機能CNFの最初の例である。これについては、CNFポリマー系ナノコンポジットの構築の観点から更に検討を進める必要がある	基礎研究		●	●	

(2) CNFに関する特許調査の結果まとめ

特許調査の結果の概要を以下に示す。

CNFに関する特許出願は増加傾向にあり、その中でも日本が最も高く貢献していた。他方で、脱炭素(主に構造材料)に貢献する製品が少なく、大手化学・素材企業の関与がみられないことが一因と考えられる。

分析の視点		分析結果のファクト	分析結果
A	各国の注力領域分析	<ul style="list-style-type: none"> 「分野横断」を除く特定領域に関する特許729件*1のうち、「医療・ヘルスケア・食品(270)」「エレクトロニクス(180)」分野が多い 特に、日本(121.74件)の出願数が多く、次点で中国(57.46件)となっている また、9分野のうち、6分野(モビリティ、エレクトロニクス、住宅建材、産業機械、家電、医療・ヘルスケア・食品)において日本による特許数が最多である 	<p>特許数からは概ね日本が研究開発をリード</p> <p>他方、構造材料に関する技術開発が少ない(脱炭素に貢献する製品が少ない)</p> <p>施策のポイント①</p>
		<ul style="list-style-type: none"> 全体(416件('18), 543件('19))のうち、日本・中国が7割程度を占めており、特に日本による出願件数・伸び率*2が高い <ul style="list-style-type: none"> 日本: 件数(203('18), 227('19))、伸び率(250%('18), 290%('19)) 中国: 件数(92('18), 144('19))、伸び率(80%('18), 182%('19)) 分野別では、「分野横断」「医療・ヘルスケア・食品」「エレクトロニクス」の件数が多く、伸び率では「分野横断」「家電」「モビリティ」が高い <ul style="list-style-type: none"> 件数: 分野横断(160('18), 226('19))、医療・ヘルスケア・食品(107('18), 119('19))、エレクトロニクス(67('18), 82('19)) 伸び率: 分野横断(214%('18), 343%('19))、家電(200%('18), 800%('19))、モビリティ(175%('18), 425%('19)) 開発機関別では、「民間企業」が件数(292('18), 350('19))・伸び率(228%('18), 293%('19))ともに高い サプライチェーン別では、「CNF製造」「製品製造」が全体の9割を占める 技術熟度別では、基礎(163('18), 232('19))、実用研究(181('18), 217('19))に関する特許の出願件数が増加 他方、2015年から応用研究に関する特許数は減少(150('15), 72('18), 94('19)) 	<p>全体でCNFの開発は順調に増加特に日本では最多の出願を確認(中国が次点)</p> <p>件数は機能性材料が多いものの、伸び率が高いことから、「家電」「モビリティ」分野において開発が推進されている</p> <p>概ね民間企業が研究開発をリード</p> <p>応用研究の減少、実用研究の増加から技術熟度は向上(≒製品化)</p> <p>加えて、CNF製造プロセスの開発(基礎研究)も進められている</p>
B	B1	時系列分析	基礎分析

図 3.1-4 分析結果のサマリー (1/2)

分析の視点		分析結果のファクト	分析結果
B	B2	時系列分析	要因分析
		<ul style="list-style-type: none"> 2015年から件数が増加している要因として、「分野横断」の増加による寄与度が高く、特に、日本・中国の寄与度が高い <ul style="list-style-type: none"> 寄与度('15-'18)51:160件(67%)、日本(116%,1位)、中国(47%,2位) 寄与度('15-'19)51:243件(118%)、日本(141%,1位)、中国(100%,2位) 両国の分野横断においては、日本では「民間企業×CNF製造」、中国では「研究機関×CNF製造」による出願件数が最多である <ul style="list-style-type: none"> 日本: 133件/188件(民間企業×CNF製造/総数) 中国: 62件/130件(研究機関×CNF製造/総数) なお、中国については、民間企業による出願の伸び率が高く、'19では件数としても日本に迫る勢いである 	<p>日本・中国において特定技術によらない開発が推進されている</p> <p>傾向として、日本では民間企業、中国では民間企業に加え、研究機関が推進</p>
C	詳細技術分析	<ul style="list-style-type: none"> 各種性能・品質の向上を図る技術開発が多く、次点で製造プロセスの高度化を図る技術開発となっている <ul style="list-style-type: none"> 性能・品質の向上(44/70件)、製造プロセスの高度化(20/70件) 	<p>各種性能・品質の向上に関する技術開発が多く、CNFの性能向上・品質の安定化が課題である</p>
D	企業動向分析	<ul style="list-style-type: none"> 有望10製品のうち、EV部品・蓄電池・コンデンサ、空調機器(フィルタ)の製造・開発を行っている国内企業は多数存在している 複数の企業による特許出願では、製紙メーカーの関与が多いものの、大手化学・素材企業の関与がみられない 	<p>ヒアリングを通じて、製品開発の具体化あたっての課題等の深堀が有用</p> <p>構造材としてCNFを普及させるためには、大手化学・素材メーカーの巻き込みが必要</p> <p>施策のポイント②</p>

図 3.1-5 分析結果のサマリー (2/2)

特許調査から得られた示唆を以下に示す。脱炭素に貢献が期待される構造材用途としてのCNFの更なる普及に向けては、「化学・素材系企業」のニーズ把握・巻き込みが重要となる。なお、各分析結果の詳細は以降に詳述する。

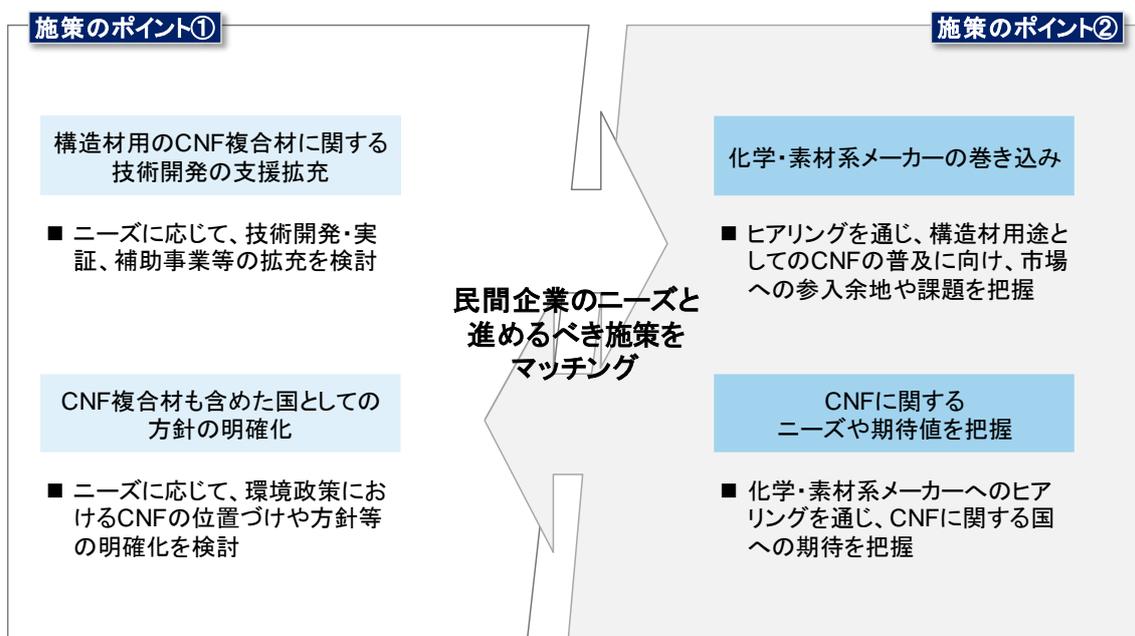


図 3.1-6 特許調査から得られた示唆

1) 各国の注力領域分析

本項においては、政策・プロジェクト動向分析にて把握した各国の注力領域について、特許動向からも同様の傾向がみてとれるか裏付け調査を実施した。

特許動向においては、特許出願件数が多く日本が他国より優位性のある分野は多岐に渡るが、特に実用研究における医療・ヘルスケア・食品、エレクトロニクス領域が多い。自動車、建築、家電領域においても日本に優位性があるものの、前者の領域と比較すると、出願数が低い。今後は構造部材等の技術開発・実証を活発化させることで、脱炭素への更なる貢献が期待される。

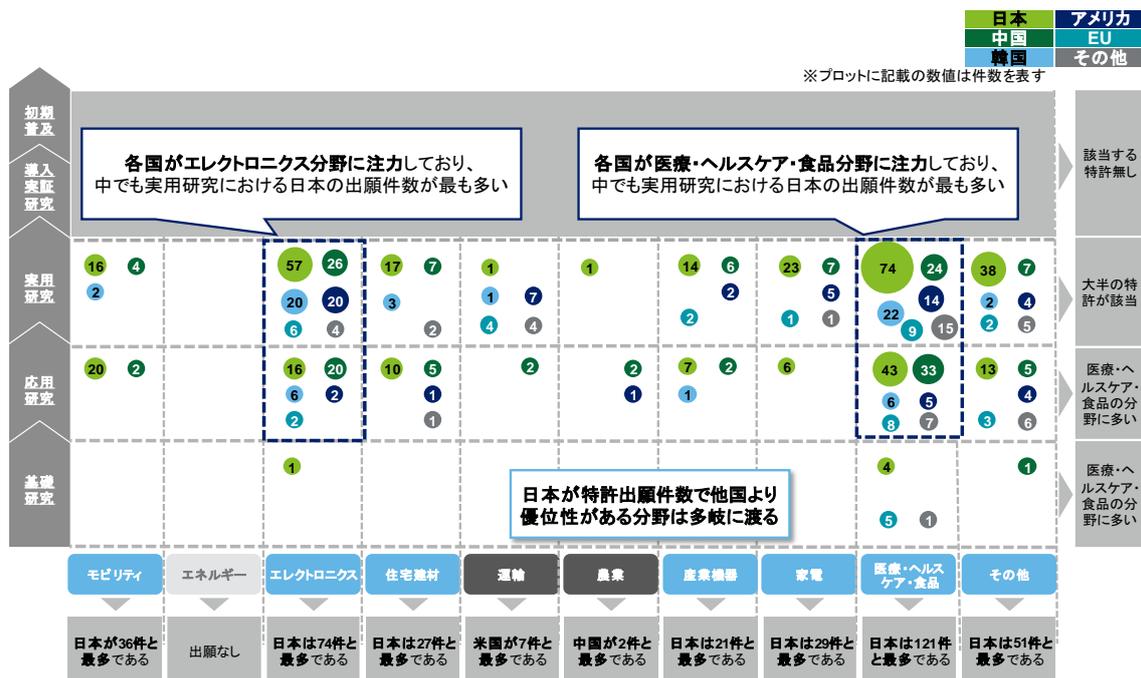


図 3.1-7 注力分野サマリー

2) 時系列分析

本項においては、時系列で整理を行い、基礎分析（B1）、要因分析（B2）を実施した。前者の基礎分析については出願人国籍別、開発機関別、分野別、技術種類別、開発段階別の視点で分析を行った。まず、出願人国籍別の件数、割合の推移を図 3.1-8 に示す。

出願人国籍別:件数

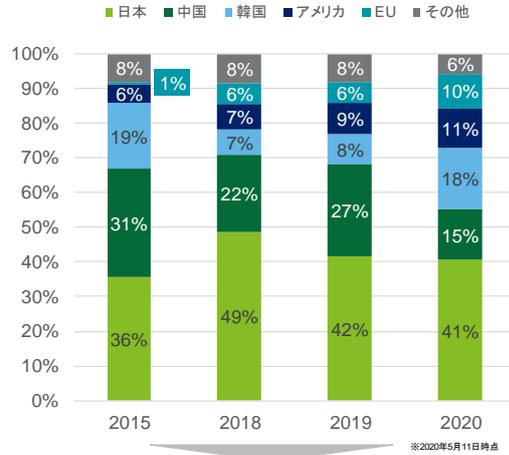
※図中の数値は国別件数を、下線太字は年間の総数表す



全体的に特許出願件数は増加傾向
特に、日本・中国の増加が著しく、両国が業界をリード

出願人国籍別:割合

※図中の数値は割合を表す



日本・中国が出願件数の7割程度を占める傾向は変わらず、
韓国の減少に伴い、EU・米国の比率が増加

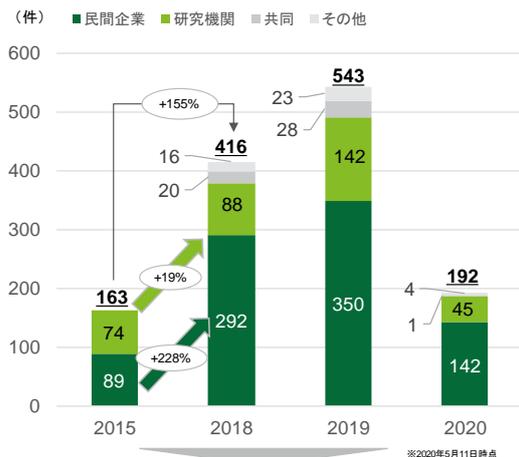
図 3.1-8 出願人国籍別の件数と割合

2015年から出願件数は増加しており、日本・中国が全体の7割程度を占める傾向は変わらず、EU・米国が割合として大きくなっていることがわかった。

次に、出願機関別の特許件数・割合の推移を図 3.1-9 に示す。

開発機関別:件数

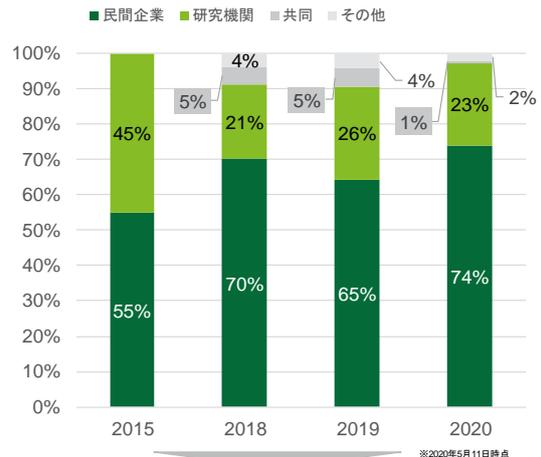
※図中の数値は機関別件数を、下線太字は年間の総数表す



2015年から2018・2019年にかけて民間企業による
出願件数が増加傾向にあり、件数としても最多である

開発機関別:割合

※図中の数値は割合を表す



2015年以降、民間企業による出願が約7割を占めており、
主なプレイヤーが民間企業であることが伺える

図 3.1-9 出願機関別の件数と割合

2015～2019年にかけて、民間企業、研究機関に件数は伸びている中で、民間企業の割合は約70%を占めている状態が続いていた。

分野別の特許件数・割合の推移を図3.1-10に示す。

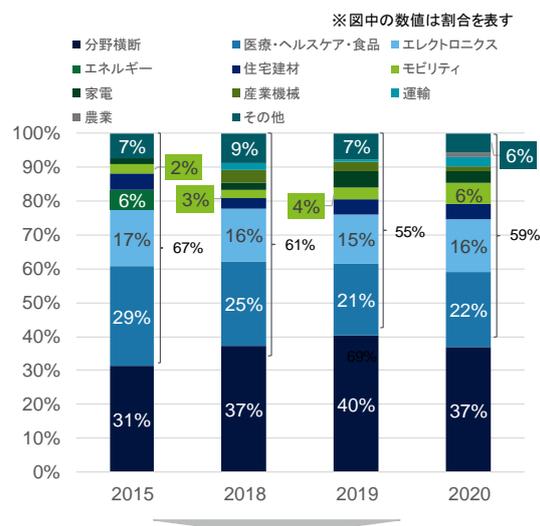
分野別:件数



概ね全ての分野で増加傾向にあり、特に「分野横断」「家電」「モビリティ」「エレクトロニクス」の伸び率が高い

※2015年のデータでは医療・ヘルスケア、モビリティ、住宅建材、エレクトロニクス、エネルギー、家電、その他、分野横断のみ表示

分野別:割合



「分野横断」の占める割合が約4割を占めており、近年割合が増加傾向にある

※2015年のデータでは医療・ヘルスケア、モビリティ、住宅建材、エレクトロニクス、エネルギー、家電、その他、分野横断のみ表示

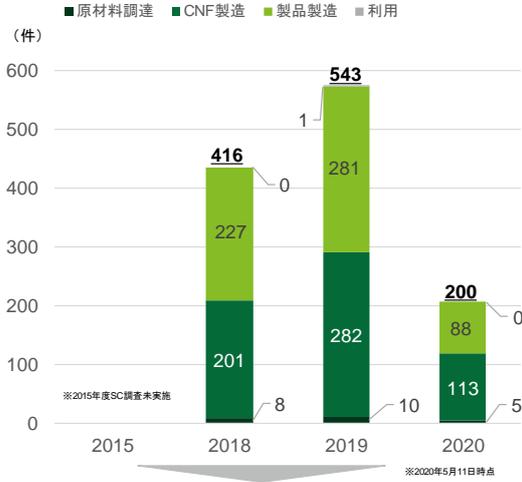
図 3.1-10 分野別の件数と割合

年々、他の分野へ展開しうる分野横断の件数が伸びて割合が高まっており、2018年には160件37%となっていることから特許の詳細技術分析を実施する必要があることが分かった。なお、後段の詳細技術分析にて詳細分析を実施した。

サプライチェーン別の特許件数・割合を図3.1-11に示す。

サプライチェーン別:件数

※ 図中の数値は技術種類別件数を、下線太字は年間の総数表す
 ※ 特許の内容によって、サプライチェーンは複数該当するものがある

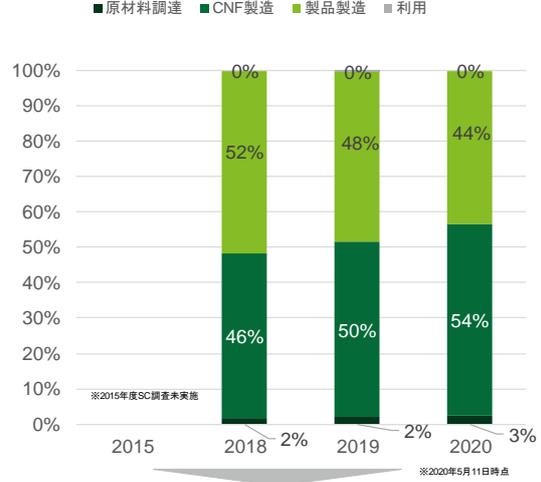


2018~2019年にかけて、特許の出願傾向は増加傾向
 CNF製造の伸び率が他に比べて高い

サプライチェーン別:割合

※ 図中の数値は割合を表す

※ 図中の数値は割合を表す
 ※ 特許の内容によって、サプライチェーンは複数該当するものがある



概ね全体の傾向に変化はないものの、
 CNF製造が占める割合は増加傾向にある

図 3.1-11 サプライチェーン別の件数と割合

CNF 製造・製品製造に関する特許の出願件数が多く、同サプライチェーンにおける今後の動向について注視が必要であることがわかった。

技術熟度別の特許件数・割合を図 3.1-12 に示す。

技術熟度別:件数

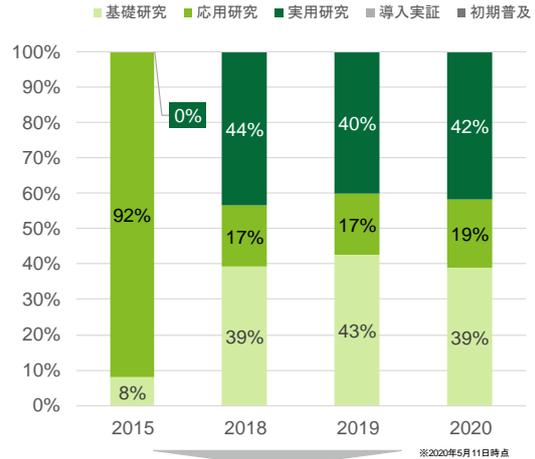
※ 図中の数値は開発段階別件数を、下線太字は年間の総数表す
 ※ 特許の内容によって、サプライチェーンは複数該当するものがある



基礎、実用研究に関する特許の出願件数が増加。
 他方、応用研究は減少していることから、技術熟度は一定向上し、新技術に関する研究も進められている可能性がある

技術熟度別:割合

※ 図中の数値は割合を表す



基礎、実用研究が多く占めており、
 「製品化」「新技術」に関する研究が多いことが想定される

図 3.1-12 技術熟度別の件数と割合

基礎・実用研究の件数が 2019 年には 232 件へと伸びていることから、今後の注力分野における基礎研究の深堀が必要であり、詳細技術分析を実施する必要があることが分かった。詳細分析結果については後段の要因分析（B2）に記載している。

ここからは基礎分析の結果を踏まえて、特に特許件数が急増した 2019 年について詳細に分析を行うことで、急増の要因を特定した。

2019 年にかけての急増の要因の全体像を図 3.1-13 図 に示す。

分野ごとの特許件数増加への寄与度

分野	件数増加に対する寄与度 (2015年163件からの寄与度)	
	2018年(416件)	2019年(543件)
モビリティ	4% (4件→11件)	11% (4件→21件)
エネルギー	-6% (10件→0件)	-6% (10件→0件)
エレクトロニクス	25% (27件→67件)	34% (27件→82件)
住宅建材	3% (8件→13件)	10% (8件→24件)
家電	4% (3件→9件)	15% (3件→27件)
医療・ヘルスケア・食品	36% (48件→107件)	44% (48件→119件)
分野横断	67% (51件→160件)	107% (51件→226件)
その他	15% (12件→37件)	18% (12件→42件)

※ 運輸、農業、産業機械は2015年に分類がないため対象外

2015年以降、「分野横断」に関する特許が増加傾向にあり、特に日本・中国における同分野の増加がみられる(次項参照)

日本・中国における詳細分析

分析方法	分析内容
1 日本・中国 × 開発機関別	日本では民間企業、 中国では研究機関が主導 中国は件数が増加していることから、 今後の動向は注視が必要
2 日本・中国 × SC段階別	日本・中国で概ね傾向は変わらず、 「CNF製造」 による割合が多くを占める 他方、中国は増加傾向にあり、 今後の動向は注視が必要
3 日本・中国 × 技術熟度別	分野横断における技術熟度は 基礎研究のみ(詳細割愛)

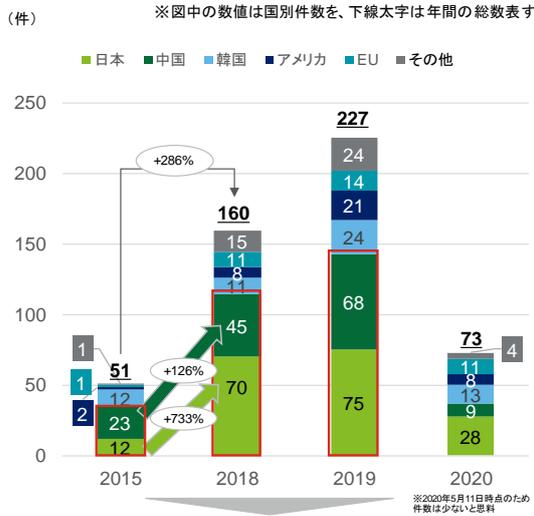
件数増加の寄与度が高い「分野横断」において、
**日本では「民間企業×CNF製造」、
中国では「研究機関×CNF製造」**の動向を深堀

図 3.1-13 急増の要因（分野ごとの特許件数増加への寄与度）と詳細分析の選定

2019 年への件数増加に対する寄与度を分野別に確認したところ、分野横断が最も寄与度が高く 107%であった。その内訳を確認したところ、出願人国籍別では日本・中国が多く、サプライチェーンとしては CNF 製造が、技術熟度としては基礎研究が増加していることが分かった。以上より、2019 年にかけて特許件数が伸びた要因としては、日本・中国による CNF 製造に関する基礎研究の件数増加にあると想定される。以下にて、各項目の詳細結果を述べる。

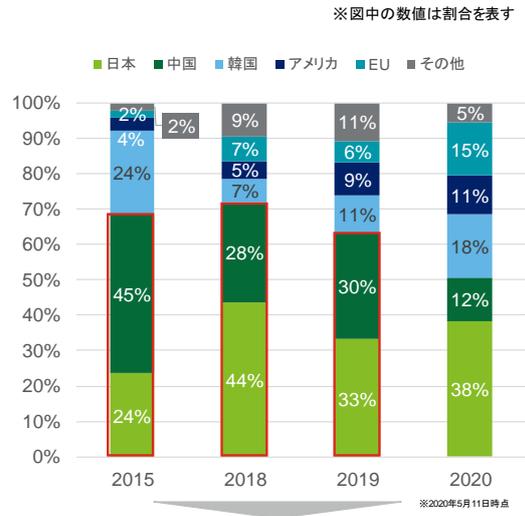
まず、増加への寄与度が高かった分野横断の特許について、出願人国籍を確認したところ、に示すよう、特に 2019 年にかけて日本・中国が件数・割合ともに大きく増加していることが見て取れる。

分野横断 出願人国籍別:件数



各国による特許出願件数は増加傾向
2018年以降日本がトップランナーに変わったものの、
2019年で中国が追いついている構図となっている

分野横断 出願人国籍別:割合

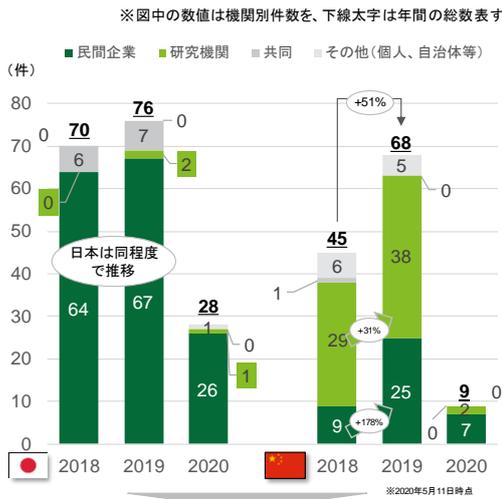


日本・中国で全件の約7割を占めている
日本が最も多いものの、2019年では中国と同程度の割合と
なっている

図 3.1-14 分野横断における出願人国籍別の件数と割合

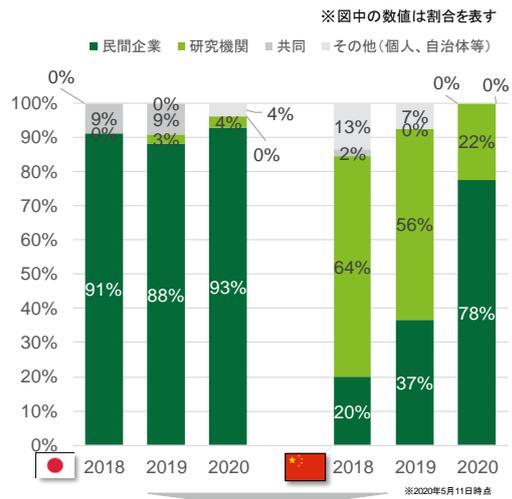
以上を踏まえ、日本・中国の分野横断特許について開発機関を確認したところ、図 3.1-15 に示すよう、特に 2019 年にかけて日本では民間企業が件数・割合ともに大きく増加していることが分かった。また、中国においては研究機関の占める割合が大きいものの、件数の伸び率は民間企業が高いため、詳細分析の対象とすることとした。

「分野横断」×「開発機関別」:件数(日本・中国)



日本: '18-'19で全件は概ね変わらず、民間企業の出願が多い
中国: 件数は伸びており、研究機関による出願が多いものの、'18-'19では民間企業による伸び率が高い

「分野横断」×「開発機関別」:割合(日本・中国)

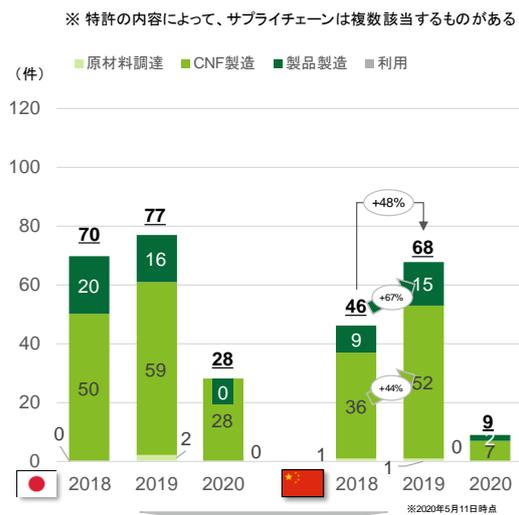


日本: 概ね傾向は変わらず、多くを民間企業が占める
中国: 研究機関が占める割合が多いものの、民間企業の割合も増加している

図 3.1-15 日本・中国の分野横断における出願人国籍別の件数と割合

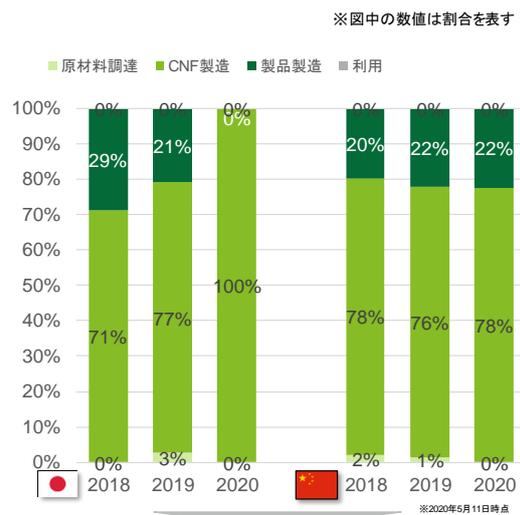
同じく日本・中国の分野横断特許について、サプライチェーン別を確認したところ、図 3.1-16 に示すよう、特に 2019 年にかけて CNF 製造が件数・割合とも大きく増加していることが分かった。特に、中国においては、件数が増加傾向にあり、今後の動向は注視が必要であることがわかる。

「分野横断」×「SC別」: 件数(日本・中国)



● : '18-'19で全件は概ね変わらず、CNF製造が多い
 ● : CNF製造に関する出願が多い傾向は日本と変わらないものの、件数は増加傾向にある

「分野横断」×「SC別」: 割合(日本・中国)



● 多くをCNF製造が占め、年々増加傾向にある
 ● CNF製造が占める割合が多いものの、製品製造の割合も増加している

図 3.1-16 日本・中国の分野横断におけるサプライチェーン別の件数と割合

以上を踏まえ、両国における「2019年における民間企業×CNF製造」に関する特許の深堀を行い、特許件数急増の要因の分析を行った(図 3.1-17)。

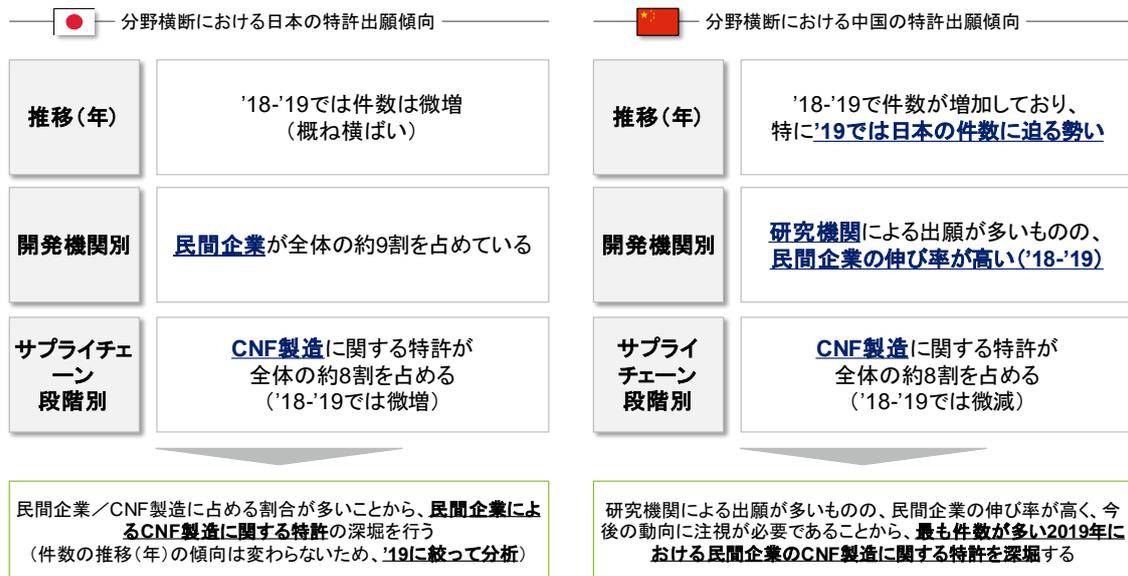


図 3.1-17 深堀対象とする特許について

3) 詳細技術分析

本項においては、上記で深堀対象とした「2019年における民間企業×CNF製造」の特許について、技術開発の内容を分類し、注力領域の分析を行った。以下に結果を示す。

特許内容から、4つの指標に分類したところ、“性能・品質の向上”に関する技術開発が最も多いことがわかった。

■ 特許の内容から技術開発内容を特定

- 各種性能(透明性、強度、熱安定性…)の向上を図る技術開発
- 製造プロセスにおける簡素化、省エネ化、低コスト化を図る技術開発
- 新たな用途開発に向けた技術開発
- 上記に該当しない技術開発

特許の指標

- ▶ 性能・品質の向上
- ▶ 製造プロセスの高度化
- ▶ 用途開発
- ▶ その他

■ 分析結果のサマリー

- **各種性能・品質の向上を図る技術開発が多く**、次点で製造プロセスの高度化を図る技術開発となっている

指標	分析結果
性能・品質の向上	件数として最も多い 44件 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 各種性能の向上に関する技術開発 ✓ 異物混入や欠陥防止等の品質向上に関する技術開発
製造プロセスの高度化	次点 20件 <ul style="list-style-type: none"> ✓ エネルギー効率や生産時間の短縮化等の量産化に向けた技術開発
用途開発	1件 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 人工骨、人工歯等の生体硬組織、象牙等を代替する材料として活用可能となるような、複合材の製造方法を開発
その他	5件 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ゴム成分とCNFの分散液の凝集物を容易に評価できる手法の確立 ✓ セルロース分解菌の生育や培地の高度化

図 3.1-18 詳細技術分析のサマリー

性能・品質の向上に関する出願特許の一覧を以下に示す。

表 3.1-3 性能・品質の向上に関する出願特許の一覧（日本）

出願番号	解決される課題(抜粋)	出願機関	出願人国籍
JP2019218506A	低粘度でハンドリング良好である、セルロースナノファイバー及びポリビニルアルコール系重合体を含む組成物を製造する方法を提供することを目的とする	日本製紙	日本
JP06626641B2	水に対する分散性に優れたCNF含有乾燥体、及びその製造方法を提供することである	大王製紙	日本
JP2019214702A	本発明の目的は、曲げ強度の高い樹脂複合体を得ることが可能であり、且つ、操作性に優れた樹脂複合体の製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019214703A	曲げ強度の高い樹脂複合体を提供する	日本製紙	日本
JP2019206606A	透明度の高い水分散体を形成するカルボキシメチル化セルロースのナノファイバーであって新規な特徴を有するCNFを提供する	日本製紙	日本
JP2019218506A	低粘度でハンドリング良好である、セルロースナノファイバー及びポリビニルアルコール系重合体を含む組成物を製造する方法を提供することを目的とする	日本製紙	日本
JP06626641B2	水に対する分散性に優れたCNF含有乾燥体、及びその製造方法を提供することである	大王製紙	日本
JP2019214702A	本発明の目的は、曲げ強度の高い樹脂複合体を得ることが可能であり、且つ、操作性に優れた樹脂複合体の製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019214703A	曲げ強度の高い樹脂複合体を提供する	日本製紙	日本
JP2019206606A	透明度の高い水分散体を形成するカルボキシメチル化セルロースのナノファイバーであって新規な特徴を有するCNFを提供する	日本製紙	日本
JP2019143044A	透明度の高い水分散体を形成するカルボキシメチル化CNFを提供する	日本製紙	日本
JP2019131784A	CNFが良好に分散しており、かつ長期保存に適した分散液を提供する	共同印刷	日本
JP2019127490A	水分散体としたときに高い透明度を有し、カルボキシメチル置換度が高く、セルロースI型の結晶化度が高い、カルボキシメチル化CNFに関する	日本製紙	日本
JP06536120B2	再分散性が良好なアニオン変性CNFの濃縮物を提供することを目的とする	日本製紙	日本
JP2018199191A1	CNFを含み、破断強度等の強度に優れたゴム組成物を製造し得るマスターバッチ、それを用いたゴム組成物、及びそれらの製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019099784A	透明なCNF分散体を得ることができるカルボキシメチル化セルロースの新規な製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019099758A	透明なCNF分散体を得ることができるカルボキシメチル化セルロースの新規な製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2018012643A1	CNFを含み、機械特性やその他の特性が向上した成形体を与え得る樹脂組成物及びその製造方法を提供する	スターライト工業	日本
JP2018012629A1	優れたガスバリア性を発現可能なCNF含有セルロース繊維及びその製造方法を提供する	東洋製罐グループホールディングス	日本
JP2018012505A1	異物等が少ないCNFを含有することにより、優れた機械的強度を有するゴム組成物を与えるマスターバッチおよびその製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019048924A	パルプ繊維を主たる成分とする繊維原料などから、効率よく、また異物の混入が少ないCNFを製造する方法を提供する	北越コーポレーション	日本
JP2019044070A	安心安全で生産性に優れたセルロースナノファイバー濃縮、乾燥品の製造方法とセルロースナノファイバー再分散液の製造方法を提供する	西光エンジニアリング、静岡県	日本
JP2019038970A	水または有機媒体に対する分散性に優れたCNF粉体を製造する方法を提供する	東亜合成	日本
JP2019035041A	歩留りを向上させた疎水化CNF分散液の製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019026782A	樹脂やゴムの組成物にCNFを容易に均一分散させることができ、組成物に添加することによって樹脂やゴムの物理的特性を改善する	信越化学工業	日本
JP2017138574A1	有機溶媒や樹脂中での分散性に優れ、かつ透明で着色の少ないCNF分散液を提供する	日本製紙、星光PMC	日本
JP06473550B1	CNFを含み、破断強度等の強度に優れたゴム組成物を製造し得るマスターバッチ、それを用いたゴム組成物、及びそれらの製造方法を提供する	日本製紙	日本
JP2019189897A	三次元造形物を構成する金属原料である構成材料粒子以外の成分が少なく、三次元造形物を製造する際の射出性が良く、構成材料粒子の沈降を抑制可能な組成物を提供する	セイコーエプソン	日本

表 3.1-4 性能・品質の向上に関する出願特許の一覧（中国）

出願番号	解決される課題(抜粋)	出願機関	出願人国籍
CN201910533520A	長い間、それによって製品の透明性を確保	東莞明海プラスチックテクノロジー	中国
CN201910379593A	PVC発泡材料の機械的強度の向上、熱安定性、PVC発泡材料の保持特性を確保	上海Qingmu New Material Technology	中国
CN201811125488A	優れた機械的性質を持ち、機械的性質の要件を満たし、一定の抗菌性・難燃性、総合特性に優れた分解性高分子フィルム	Ruide Nano Technology	中国
CN201810329687A	本発明により製造された発泡材料ポリ塩化ビニル乳化粉末は、噴霧値が比較的低く、得られた発泡効果は良好である	台湾プラスチック工業	中国
CN201910485416A	優れた透明性、柔軟性、機械的強度、およびバリア特性を備え、ダイヤフラムの引張強度、水蒸気透過率、酸素透過率、その他の性能指標が大幅を改善	Zhejiang Jinchang Special Paper	中国
CN201910445578A	優れた保湿度、温度耐性、耐塩性を備える	天津ウッドエルフバイオテクノロジー	中国
CN201910225345A	最終的に得られるCNF製品の均一性は良好、凝集はなく、熱安定性は良好	Hangzhou Ximao New Material Technology	中国
CN201811064014A	製品の性能と形状の特別な要件を持つ機会に適用でき、製品の適用範囲を改善	合肥Huaju Weike New Material	中国
CN201910533520A	長い間、それによって製品の透明性を確保	東莞明海プラスチックテクノロジー	中国
CN201910379593A	PVC発泡材料の機械的強度の向上、熱安定性、PVC発泡材料の保持特性を確保	上海Qingmu New Material Technology	中国
CN201811125488A	優れた機械的性質を持ち、機械的性質の要件を満たし、一定の抗菌性・難燃性、総合特性に優れた分解性高分子フィルム	Ruide Nano Technology	中国
CN201810329687A	本発明により製造された発泡材料ポリ塩化ビニル乳化粉末は、噴霧値が比較的低く、得られた発泡効果は良好である	台湾プラスチック工業	中国
CN201910485416A	優れた透明性、柔軟性、機械的強度、およびバリア特性を備え、ダイヤフラムの引張強度、水蒸気透過率、酸素透過率、その他の性能指標が大幅を改善	Zhejiang Jinchang Special Paper	中国
CN201910445578A	優れた保湿度、温度耐性、耐塩性を備える	天津ウッドエルフバイオテクノロジー	中国
CN201910225345A	最終的に得られるCNF製品の均一性は良好、凝集はなく、熱安定性は良好	Hangzhou Ximao New Material Technology	中国
CN201811064014A	製品の性能と形状の特別な要件を持つ機会に適用でき、製品の適用範囲を改善	合肥Huaju Weike New Material	中国

4) 企業動向分析

本項においては、企業動向把握を目的とした、特許件数の多い民間企業とその技術内容の分析結果を示す。後述の有望な10製品について詳細に把握することで、今後注目すべき詳細技術（用途）とプレイヤーを特定した。また、特許出願の多い民間企業や複数のステークホルダーで出願している企業の動向を把握し、CNF市場のキープレイヤーを特定した。モビリティ分野の特許一覧を表3.1-5に示す。

モビリティ分野における特許のうち、電気自動車の部品と想定される「電動パワーステアリング装置」についてはヒアリングの余地があり、今後のキープレイヤーの可能性を踏まえ、ヒアリング調査の対象として検討を行った。

表 3.1-5 モビリティ分野における特許一覧

製品	出願番号	開発段階	SC段階	発行年	出願機関	出願人国籍	出願機関分類	概要
自動車用窓ガラス	JP2017195350A1	実用研究	製品製造	2019	(株)レニアス	日本	民間企業	樹脂ガラス板
タイヤ	JP2018114842A	実用研究	製品製造	2018	横浜ゴム(株)	日本	民間企業	タイヤ用ゴム組成物の耐久性向上
	JP2018114843A	実用研究	製品製造	2018	横浜ゴム(株)	日本	民間企業	タイヤ用ゴム組成物の耐久性向上
	JP2018114840A	実用研究	製品製造	2018	横浜ゴム(株)	日本	民間企業	タイヤ用ゴム組成物の耐久性向上
	JP2018114841A	実用研究	製品製造	2018	横浜ゴム(株)	日本	民間企業	タイヤ用ゴム組成物の耐久性向上
	JP2019147877A	実用研究	製品製造	2019	横浜ゴム(株)、信州大学	日本	共同	タイヤ用ゴム組成物
自動車用インシュレータ	JP2019128373A	実用研究	製品製造	2019	(株)アイテック	日本	民間企業	自動車用インシュレータ
自動車用部品(内外装)	JP2019189792A	応用研究	素材・部材製造	2019	カルソニックカンセイ(株)、大阪大学	日本	共同	樹脂組成物の強化用充填材として使用し得る変性セルロースナノファイバー
	JP2019210434A	応用研究	部材製造	2019	同志社大学(株)スギノマシン	日本	共同	疲労寿命を向上させる最適繊維長のGNF含有炭素繊維強化プラスチック
自動車用部品(内外装)	JP2020040298A	応用研究	素材・部材製造	2020	大王製紙(株)	日本	民間企業	加飾フィルム
	JP2019151782A	実用研究	製品製造	2019	日立化成(株)	日本	民間企業	自動車部品及び熱可塑性樹脂組成物
電動パワーステアリング装置	JP06656464B1	実用研究	製品製造	2020	旭化成(株)	日本	民間企業	電動パワーステアリング装置
	JP06633821B1	実用研究	製品製造	2020	旭化成(株)	日本	民間企業	電動パワーステアリング装置

ヒアリング余地あり

次に、エレクトロニクス分野の特許一覧を表 3.1-6 に示す。

エレクトロニクス分野における特許のうち、特に脱炭素に貢献が期待される、蓄電池・コンデンサに関する技術開発についてはヒアリングの余地があり、今後のキープレイヤーの可能性を踏まえ、ヒアリング調査の対象として検討を行った。

表 3.1-6 エレクトロニクス分野における特許一覧

製品	出願番号	開発段階	SC段階	発行年	出願機関	出願人国籍	出願機関分類	概要
蓄電池	JP2020042976A	実用研究	製品製造	2020	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	二次電池用集電体
	JP2020035596A	実用研究	製品製造	2020	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	二次電池用電極
	JP2020027734A	実用研究	製品製造	2020	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	ナトリウムイオン二次電池
	JP2019218248A	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	全固体リチウムイオン二次電池
	JP2019212637A	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	全固体二次電池用電極活物質
	JP2019204800A	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	全固体二次電池用固体電解質
	JP2019145428A	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	二次電池用セパレータ
	JP2019133885A	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	二次電池用セパレータ
	JP06550159B1	実用研究	製品製造	2019	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	二次電池用セパレータ
	JP2018166100A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	リチウムイオン二次電池用負極活物質
	JP2018156935A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	リチウムイオン二次電池用正極活物質
	JP2018156940A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	全固体リチウムイオン二次電池用固体電解質
	JP2018156941A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	全固体リチウムイオン二次電池用固体電解質
	JP2018147854A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	リチウムイオン二次電池用正極活物質
	JP2018026253A	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	ポリアニオン系正極活物質造粒体
	JP06273327B1	実用研究	製品製造	2018	太平洋セメント(株)	日本	民間企業	ポリアニオン系正極活物質造粒体
	JP2019182703A	実用研究	部材・製品製造	2019	リグナイト(株)	日本	民間企業	吸着性能等に優れた複合炭素材料
	JP2019182704A	実用研究	部材・製品製造	2019	リグナイト(株)	日本	民間企業	吸着性能等に優れた球状複合炭素材料
	JP2019099627A	実用研究	部材・製品製造	2019	(株)日本製鋼所	日本	民間企業	セパレータなどに用いられるセルロース含有多孔質樹脂成形体
	JP2017057699A1	実用研究	部材・製品製造	2018	(株)日本製鋼所,京都大学	日本	共同	化学修飾を用いたウムイオン電池用セパレータ製造方法
	JP2019179658A	実用研究	製品製造	2019	トヨタ自動車(株)	日本	民間企業	非水電解質二次電池
	JP2019194391A	実用研究	部材・製品製造	2019	凸版印刷(株)	日本	民間企業	セルロースナノファイバーを含むシート材
	JP2019186128A	実用研究	製品製造	2019	日本パルプ(株),日本製紙(株)	日本	民間企業	電気化学素子用セパレータ
	JP2018008500A1	実用研究	部材・製品製造	2019	リンテック(株),東京農工大学	日本	共同	固体電解質および電池
	JP2019200860A	実用研究	製品製造	2019	日立化成(株)	日本	民間企業	多孔膜及び亜鉛電池
	JP2019065066A1	実用研究	製品製造	2019	富士フイルム(株)	日本	民間企業	固体電解質含有シート及び全固体二次電池
	JP2019176040A	実用研究	製品製造	2019	滋賀県	日本	その他	導電助剤として好適に使用できる活性炭化CNF
JP2019001918A	実用研究	製品製造	2019	スターライト工業(株)	日本	企業	水性の導電性塗工液組成物(電極等へ使用)	
JP2019108441A	実用研究	製品製造	2019	北海道大学,日本製紙(株)	日本	共同	電気二重層キャパシタのセパレータの材料等として利用可能な組成物	
コンデンサ	JP2019062166A	実用研究	製品製造	2019	日本ケミコン(株)	日本	民間企業	ゲル電解質を用いたコンデン

ヒアリング余地あり

ヒアリング余地あり

次に、運輸・農業・家電分野の特許一覧を表 3.1-7 に示す。

特に脱炭素に貢献が期待される、空調機器（フィルタ）に関する技術開発についてはヒアリングの余地があり、今後のキープレイヤーの可能性を踏まえ、ヒアリング調査の対象として検討を行った。

表 3.1-7 その他分野（運輸・農業・家電）における特許一覧

製品	出願番号	開発段階	SC段階	発行年	出願機関	出願人国籍	出願機関分類	概要
コンテナ	US15714906A	実用研究	製品製造	2018	HEATH STEPHAN D.	米国	その他	貨物輸送コンテナ
	WO2019US12002A	実用研究	製品製造	2019	LEE JAMES WEIFU	米国	その他	環境熱エネルギーを生成するために使用する導電体機能を備えたコンテナ
ビニールハウス用材料	JP2020059967A	実用研究	製品製造	2020	大王製紙(株)	日本	民間企業	農業用シート
空調機器(フィルタ)	JP2019172478A	実用研究	製品製造	2019	トクラス(株)	日本	企業	空気清浄機用の濾過カートリッジ
	JP2019136627A	実用研究	製品製造	2019	トクラス(株)	日本	企業	粒状活性炭、及び、濾過カートリッジ
	JP2018115806A	実用研究	製品製造	2018	清水建設(株)	日本	企業	空気調和機(空気清浄機、集塵機、外調機等を含む)
	JP2019072974A	実用研究	製品製造	2019	スターライト工業(株)	日本	企業	抗菌性フィルター
	JP2018003492A1	実用研究	製品製造	2019	日本製紙(株)、日本製紙パピリア(株)	日本	企業	全熱交換器素子に使用する全熱交換素子用紙
	JP2017022052A1	実用研究	製品製造	2018	北越紀州製紙(株)、東京大学	日本	共同	空気浄化施設用途のエアフィルタ

3.2 CNF の用途拡大に係わるサプライチェーンに関する課題の整理

3.2.1 CNF 製品候補リスト作成

CNF 製品候補リストの作成に当たっては、初めに「環境省実証事業製品の一覧と進捗」の整理を行った(図 3.2-1)。



図 3.2-1 環境省実証事業製品の一覧と開発状況

次に、各種文献や企業のプレスリリースをもとに、CNF を活用した製品について、調査を実施し、ロングリストの作成を行った。調査から明らかになった CNF を活用した製品群の一覧を表 3.2-1 に示す。なお、詳細については、巻末資料 4 (p.18~34) を参照されたい。

表 3.2-1 CNF を活用した製品群の一覧

分類(#1)	製品数	分類(#2):環境省等の報告書・企業プレスリリース、特許等から見つかった製品群(全72製品)
モビリティ	32	EV用部品(1)、ウェザーストリップゴム(1)、エアインテークマニホールド(1)、エアフィルター(1)、タイヤ(7)、ドアノブ(1)、ドアモジュール(1)、ボディー外板(1)、リクライニングシート(1)、インパネ(1)、ラジエーター枠(1)、自動車用部品(ゴム/電装/金属/車体/内外装部材)(15)
エネルギー	0	N/A
エレクトロニクス	152	半導体(4)、蓄電池(103)、基盤(19)、太陽光パネル(8)、コンデンサ(3)、センサ(8)、電線(3)、有機EL(4)
住宅建材	51	浴室用ポリエステル樹脂板(1)、セメント・コンクリート補強筋(7)、木材(1)、家具(3)、断熱材(12)、木質ボード(2)、住宅用塗料(7)、壁紙(1)、建材(5)、遮熱ガラス(5)、キッチン用建材(1)、サッシ(2)
運輸	15	包装材(段ボール等)(13)、コンテナ(2)
家電	41	空調機器(フィルタまたは吸湿剤)(10)、トナー・インク(21)、スピーカー(4)、掃除機(2)、浄水器(2)、ステレオヘッドフォン(1)
農業	5	農業用資材(2)、ビニールハウス用材料(2)、農業用トラクター(1)
産業機械	22	工業用液(掘削液/潤滑油等)(10)、研磨剤等(3)、工業用液(掘削液/潤滑油等)(1)、ボイラー用コーティング剤(1)、アンビルカバー(1)、製鉄用配合炭・焼結炉(2)、コンクリートポンプ車(2)、伝動ベルト(2)
医療・ヘルスケア・食品	205	食品包装材・容器(42)、医療用材(73)、化粧品(29)、おむつ・生理用品等(19)、食品関連(16)、スポンジマットレス(1)、清掃用品(25)
その他	78	フィルタ系(分離膜、水処理)、スポーツ用品、文房具、木材楽器 等

3.2.2 検討対象用途の絞り込みとステークホルダーの整理

新たな分野での CNF の普及拡大に主眼を置き、環境省実証事業製品を除いた上で、「CO2削減効果」が見込まれる分野・製品について優先的に検討を行った。

なお、CO2削減効果の視点では、構造材用途としての活用が有望であると考えられる。

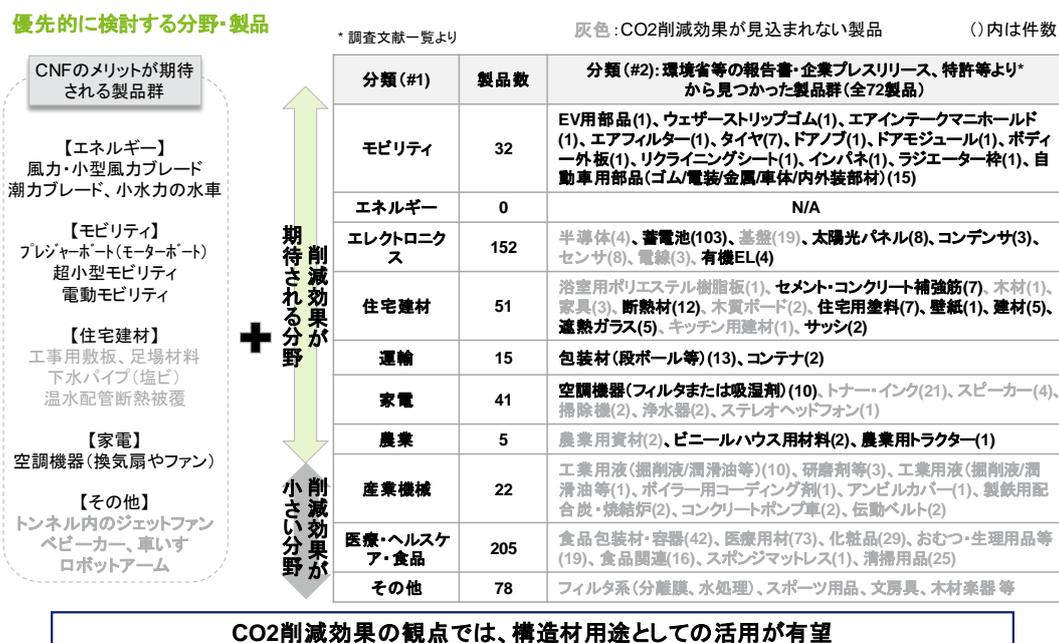


図 3.2-2 優先的に検討を行った「CO2削減効果」が期待される分野・製品

また、CNF普及に向けては、前述の文献調査を踏まえ、化学・素材系企業との連携が重要であり、今後のCNFの市場動向や普及に向けた課題、製品可有望な領域等を調査するために、ヒアリングすることを検討した。以下に検討先の候補を示す。

選定理由

- ① CNF普及(構造材用途)に向けて巻き込みが必要な、自動車部材等のコンパウンドに知見を有する素材・化学メーカー
- ② CNF製品として有望な10製品に関連した特許を出願している企業
- ③ (10製品としては選定していないもの)構造材に関する特許を出願している企業

区分	選定理由			備考
	①	②	③	
素材・化学メーカーA	○			<ul style="list-style-type: none"> ・ NEDOプロにてCNF関連の事業を実施 ・ グループ企業がCNFの研究を実施
素材・化学メーカーB	○			<ul style="list-style-type: none"> ・ 過年度の環境省実証事業に参画 ・ CNFに関する研究開発を実施
素材・化学メーカーC	○			<ul style="list-style-type: none"> ・ CNFに関する研究開発を実施
素材・化学メーカーD	○			<ul style="list-style-type: none"> ・ CNFに関する研究開発を実施
素材・化学メーカーE	○			<ul style="list-style-type: none"> ・ CNFに関する研究開発を実施
素材・化学メーカーF	○	○		<ul style="list-style-type: none"> ・ 電動パワーステアリング装置(EV部品)に関する特許出願
製造メーカーA		○		<ul style="list-style-type: none"> ・ 蓄電池に関する特許出願多数
製造メーカーB		○		<ul style="list-style-type: none"> ・ コンデンサに関する特許出願
ゼネコンA			○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 床、壁部材に関する特許出願

図 3.2-3 ヒアリング先候補と選定基準

3.2.3 ヒアリング調査内容の検討

ヒアリング調査では、文献調査等から得た、化学・素材系企業のニーズ把握・巻き込みが重要という示唆を踏まえ、CNFの開発等実績がある化学・素材系企業を対象として実施した。以下に示す項目について、事前にヒアリング先に共有の上、当日は有意義な議論ができるよう努めた。

- | |
|--|
| <p>1 CNF に関する関心・取組について</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 過去の取組・検討状況 ✓ CNF 製品に関する可能性 <ul style="list-style-type: none"> なお、なお、事務局では下記の 10 製品に適用可能性があるとして検討 超小型モビリティ、電動モビリティ、プレジャーボート（モーターボート）、風力ブレード（小型含む）、蓄電池、コンデンサ、コンテナ、農業用トラクター、空調機器（換気扇、ファン）、空調機器（フィルタ） ✓ その他有望と想定される製品・用途 ✓ 国内外の動向 <p>2 CNF に関する課題・方向性について</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 複合材製造の際に直面している課題 <ul style="list-style-type: none"> ・ 製品に求められる性能がでない ・ CNF の性能が低い、ばらつきがある ・ 製造コストが高い ・ 既存の製造ラインでは対応が難しい（≒別途初期投資が必要）等 ✓ CNF の社会普及に関するディスカッション <ul style="list-style-type: none"> ・ 今後の見通し ・ 市場への参入余地、参入にあたっての課題 ・ 複合材のリサイクル性について <p>3 環境省事業へのご意見</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ CNF 等の脱炭素素材に関する技術開発支援・補助への要望 ✓ ガイドラインに掲載すべき情報 ✓ その他 |
|--|

また、CNF 利活用ガイドラインの策定にあたっては、読み手の意見を取り入れ、より利便性の高いガイドラインとするために、ヒアリング先の化学・素材系企業に対して本業務の委員会への参画を打診した。

3.2.4 ヒアリング調査の実施

上記で検討したヒアリング内容をもとに、2020 年 7 月にヒアリング調査を実施した。ヒアリング先とヒアリング実施日を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 ヒアリング実施日

ヒアリング先	実施日・実施場所
A社	2020年7月4日（場所：web開催）
B社	2020年7月14日（場所：web開催）
C社	2020年7月15日（場所：C社会議室）
D社	2020年7月17日（場所：D社会議室）

3.2.5 結果まとめ

(1) ヒアリング調査の結果まとめ

主に、「小型・電動モビリティ」及び「蓄電池・コンデンサ」に係る製品群への開発ニーズが高いことがわかった。他方で、開発に向けては克服が必要となる課題に関する指摘もあり、今後の技術開発等が必要となる。



図 3.2-4 製品開発ニーズに関するヒアリング結果のサマリー

出典：画像は環境省事業より

表 3.2-3 製品開発ニーズに関するヒアリング結果の一覧

カテゴリ	有識者のコメント	製品群
有望と想定	電動モビリティでなくとも、 自動車の部品も有望な製品ではないか (化学・素材系事業者)	 小型モビリティ(6)  電動モビリティ(6)  蓄電池(1)・コンデンサ(1)
	グリーンスローモビリティではドア部分 にCNFを適用する(モデル事業者)	
	自動車や部品メーカー等は、PA6等の天然由来の素材に大いに関心を持っている。世間の後押しによってCNFの利用が進む こともあると考える。(化学・素材系事業者)	
	自動運転が可能となれば、衝突等の機会が減少し、高強度の外板が不要となるため、紙やCNF等の軽量、安価な素材の(小型モビリティへの)適用可能性が広がる ものと予想される(モデル事業者)	
	軽量化を目的として、 グリーンスローモビリティ(電動モビリティ)に使用する材料としてCNF添加FRPを別途検討中 (モデル事業者)	
	(電動モビリティ)バッテリーとモータの小型軽量化が必須であり、その構造体の素材としてCNFは有望(モデル事業者)	
	超小型モビリティ:自動運転の実用で導入が広がる と考えられる(モデル事業者)	
有望と想定(ただし、課題がある)	モビリティ関係では自動運転が有望 である。構造の安全性については閾値が下がってくるため、様々な素材が使用可能だと考えており、 軽量化の観点でCNF使用の可能性 がある(モデル事業者)	 小型モビリティ(2)  電動モビリティ(1)  蓄電池(2)・コンデンサ(1)
	(蓄電池/コンデンサ)CNFは絶縁体であり、導電体であるCFに比べ有望(モデル事業者)	
	超小型モビリティはコスト的にリーズナブル であること。高ければ、軽自動車と比較されるため、使用材料の低コスト化が強く求められる。従って、通常の車よりコストは厳しい製品と認識。他方、 超小型モビリティは環境に配慮した材料がフィットするプロダクトだと思料 (モデル事業者)	
	蓄電池塗料の分散剤としての適用を検討中 。一部のメーカーで評価は進んでいるが要求性能を達成する用途は立っていない(モデル事業者)	
ニーズあり	連続走行距離増加に向けて、軽量化素材に対するニーズが高いため、 超小型モビリティ、電動モビリティ、蓄電池、コンデンサが有望 。他方、 モビリティは求められる性能に到達しておらず、特に、コスト面での乖離が大きい 。また、 蓄電池、コンデンサは不燃性に課題 がある(モデル事業者)	 家電(1)
	そのほか、 家電全般にニーズ があると想定(モデル事業者)	

(2) 注力製品に関する検討の結果まとめ

文献調査及びヒアリング結果を踏まえ、CNFの用途拡大に向けた、今後の注力製品の検討を行った。検討にあたっては、図3.2-1に示した過年度環境省の実証事業で対象とした製品を除いた製品群の中から、「CO2削減効果のある未商用製品」「課題の解決の可能性」の観点で有望製品を検討し、10製品(超小型モビリティ、電力モビリティ、プレジャーボート、風力ブレード、蓄電池、コンデンサ、コンテナ、農業用トラクター、空調機器(換気扇、ファン)、空調機器(フィルタ))に絞り込みを行った。

表 3.2-4 注力製品の評価観点

No	評価基準(案)	評価点	検討事項
1	ニーズ	文献/特許、ヒアリングによるニーズが存在する	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研究開発・実証があるか? ■ ヒアリング等によりニーズがあるか?
2		既に普及している、もしくは環境省事業として適さない	<ul style="list-style-type: none"> ■ (日本で)商品販売されているか? ■ CO2削減効果が期待される製品か?
3	シーズ	既存技術の延長での解決が可能である	<ul style="list-style-type: none"> ■ サプライチェーンにおける課題は現実的に解決可能な範囲か 例:安定供給の課題が、現状の製造拠点のスケールアップでクリア可能 例:コスト的な課題が、研究が進む製造方法をベースとし、未利用材の活用や製紙メーカー等の既存の製造プロセスの活用により、クリア可能
4		類似素材含め解決の目途が立っている	<ul style="list-style-type: none"> ■ 製品ごとの課題が存在しうるか ■ その課題は現実的に解決可能な課題か(もしくは、類似素材で解決していないか、解決可能か)
5		製品の品質基準が明確であり、既存の製造方法で基準を満たす目途が立っている	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術熟度ごとの課題は解決可能な課題か ■ 特に、品質については、製品に求める品質と、製造方法での品質のギャップが明確で、「製品に求める品質を下げる」「より高品質な製造方法に変える」ことが可能か
6	その他	利便性や性能が向上する	<ul style="list-style-type: none"> ■ 社会的なインパクトがあるか(例えば普及すると何か良いことがあるか) 例:製品が従来より軽量化され、利便性が向上する等

各製品の評価結果を踏まえ、今後注力すべき製品と課題のサマリーを図 3.2-5 に示す。また、各製品・部材等における評価イメージを図 3.2-6 に示す。詳細については、巻末資料 4 (p. 35~37) を参照されたい。

分野/製品名	製品に関する課題	サプライチェーンに関する課題	技術熟度に関する課題
モビリティ	A 超小型モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> 自動車部材と概ね課題は概ね同様と認識。バッテリーやモーター部品への適用可能性の検証が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要 製造拠点の整備が進む地域(例:NCVプロジェクト等の実証地域)をベースにサプライチェーンの構築を検討する CNFの製品適用は実績が少ない分野であり、成形・完成品メーカーの開発リスクとなるため、技術開発・実証事業等を通じた公的機関による支援体制を整備する 実証や開発実績のある製造方法(例:NCVプロジェクト等)を横展開するとともに、最適な原料候補を洗い出し、適用可能性について検証する 国内において、開発・検討している企業が未知数であるため、ヒアリング等を通じたニーズの確認を行う
	B 電動モビリティ		
	C プレジャーボート		
エネ	D 風力ブレード(小型含む)	<ul style="list-style-type: none"> 強風に耐えうるか強風試験や実証を進める(強風の中、軽量化部品が飛ばされないか) 	<ul style="list-style-type: none"> 実証や開発実績のある製造方法(例:NCVプロジェクト等)を横展開することで、要求される品質基準の達成が可能か検証する (プレジャーボート)実証や研究開発実績のある製造方法(例:NCVプロジェクト等)が、品質基準(ISO12215-1)に適合するか検証する
エレクタス	E 蓄電池		
	F コンデンサ		
運輸	G コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> CNFを用いた性能の向上や品質の安定化、不燃性等の検証が必要 	
農業	H 農業用トラクター		
家電	I 空調機器(換気扇、ファン)	<ul style="list-style-type: none"> 対候性・耐水性について技術開発を進める必要がある(他の性能は自動車の横展開) 	
	J 空調機器(フィルタ)		

図 3.2-5 注力すべき製品と課題のサマリー

◎:評価基準と合致、○:概ね合致
▲:評価基準と乖離がある

検討事項	評価基準			
	ニーズ	ニーズ	ニーズ	その他
研究開発・実証・ヒアリング等によりニーズがあるか	SCにおける課題は現実的に解決可能な範囲か	製品ごとの課題があるか現実的に解決可能か	技術熟度ごとの課題は解決可能な課題か	社会的なインパクトがあるか
評価点	✓ 文献/特許、ヒアリングによるニーズが存在する	✓ 既存技術の延長での解決が可能である	✓ 類似素材含め解決の目途が立っている	✓ 製品の品質基準が明確で、既存の製造方法で基準を満たす目途が立っている
✓ 文献/特許、ヒアリングによるニーズが存在する	✓ 既存技術の延長での解決が可能である	✓ 類似素材含め解決の目途が立っている	✓ 製品の品質基準が明確で、既存の製造方法で基準を満たす目途が立っている	✓ 利便性や性能が向上する
分野/製品	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	自動車部材と概ね課題は概ね同様と認識。バッテリーやモーター部品への適用可能性の検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、バッテリーやモーター部品等を含めた基準への適合性の検証が必要	燃費が改善され大幅なCO2削減効果が期待される(NCVにおいても自動車の効果を確保)
A 超小型モビリティ(部品含む)	ヒアリング書あり	自動車部材と概ね課題は概ね同様と認識。バッテリーやモーター部品への適用可能性の検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、バッテリーやモーター部品等を含めた基準への適合性の検証が必要	燃費が改善され大幅なCO2削減効果が期待される
B 電動モビリティ(部品含む)	文献/特許は存在あり	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	強度は概ね自動車部材と同様と想定されるが、耐水性の検証が必要となる	燃費が改善され大幅なCO2削減効果が期待される
C プレジャーボート(モーターボート)	文献/特許発見できず(適用可能性大と言及)	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	NCVの実証も進んでおり、課題は概ね同様で解決可能と認識	燃費が改善され大幅なCO2削減効果が期待される
ドアモジュール	文献/特許は存在あり	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、量産化の際の品質の安定化が可能か検証が必要	燃費が改善されCO2削減効果が期待される
ボディー外板	文献/特許は存在あり	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、量産化の際の品質の安定化が可能か検証が必要	燃費が改善されCO2削減効果が期待される
リクライニングシート	文献/特許は存在あり	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、量産化の際の品質の安定化が可能か検証が必要	燃費が改善されCO2削減効果が期待される
ドアノブ	文献/特許は存在あり	研究が進む製造方法(例:京都プロセス、TEMPO酸化等)をベースに、原料調達・設備投資コストの低減が可能か検証が必要	品質は自動車部材と概ね同様だが、量産化の際の品質の安定化が可能か検証が必要	燃費が改善されCO2削減効果が期待される

図 3.2-6 評価結果のイメージ

3.3 課題解決策の検討・提案

3.3.1 課題の分類と詳細分析

CNF の普及に向けた課題を整理し、対応策の検討を実施した。そのステップを図 3.3-1 に示す。

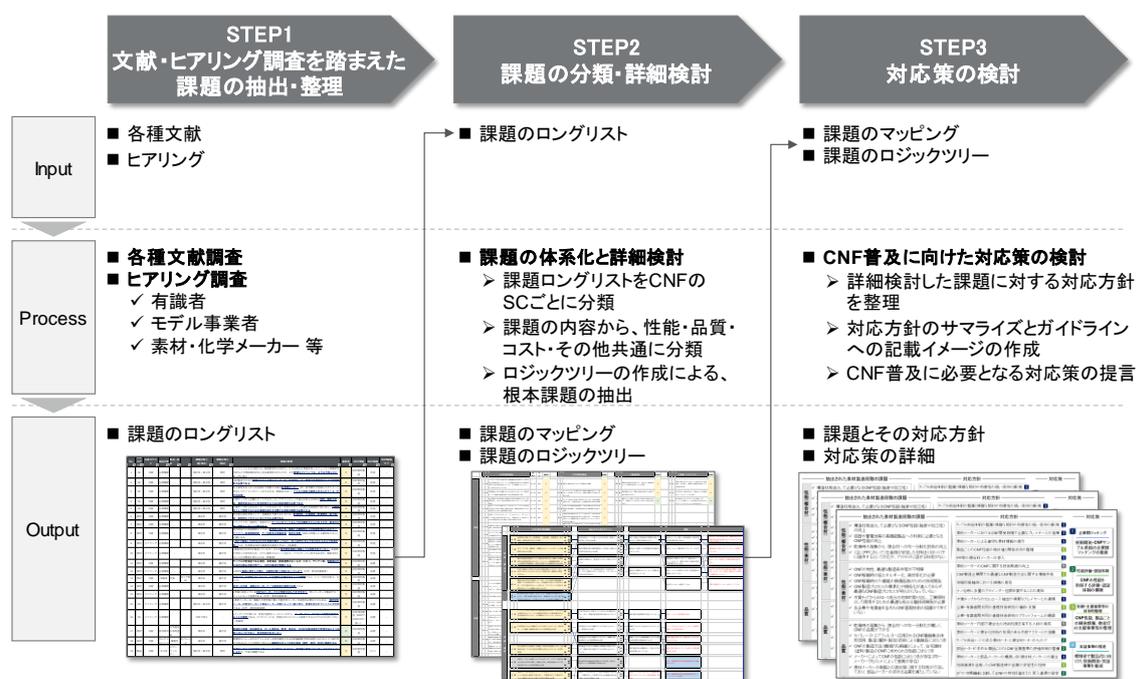


図 3.3-1 課題解決策の検討・提案のプロセス

課題の詳細分析において作成した課題のマッピングを以下に示す。課題のマッピングについては、課題の内容から、CNF のサプライチェーンごとに、「性能」「品質」「コスト」「その他共通」の課題に整理を行った。また、サプライチェーンについては、「①CNF 素材製造」「②CNF 製品製造」「③CNF 製品利用」「④廃棄 (リサイクル)」「⑤その他」の 5 種類とした。詳細については、巻末資料 4 (p. 38~39) を参照されたい。

詳細MAP		文：文獻より抽出 ヒ：ヒアリングより抽出		更新日：2020/08/04						
性能	I CNF 素材製造	製法	原料	重要度	II CNF 製品製造		III 製品利用		IV 設備 (リサイクル)	
					製法	重要度	製法	重要度	製法	重要度
	1 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	2 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	3 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	4 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	5 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	6 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	7 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	8 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	9 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	10 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	11 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	12 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	13 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	14 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	15 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	16 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	17 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	18 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	19 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	20 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	21 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	22 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	23 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	24 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	25 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	26 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	27 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	28 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	29 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	30 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	31 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	32 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	33 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	34 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	35 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	36 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	37 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	38 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	39 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	40 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	41 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	42 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	43 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	44 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	45 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	46 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	47 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	48 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	49 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	50 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	51 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	52 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	53 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	54 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	55 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	56 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	57 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	58 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	59 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	60 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	61 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	62 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	63 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	64 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	65 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	66 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	67 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	68 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	69 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	70 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	71 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	72 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	73 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	74 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	75 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	76 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	77 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	78 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	79 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	80 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	81 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	82 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	83 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	84 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	85 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	86 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	87 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	88 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	89 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	90 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	91 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	92 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	93 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	94 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	95 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	96 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	97 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	98 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	99 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文
	100 文	文	文	文	文	文	文	文	文	文

図 3.3-2 CNF 課題のマッピングイメージ

課題の詳細分析において作成したロジックツリーを以下に示す。CNF のサプライチェーンに応じて 5 つのロジックツリーを作成した。詳細については、巻末資料 4 (p. 40~44) を参照されたい。

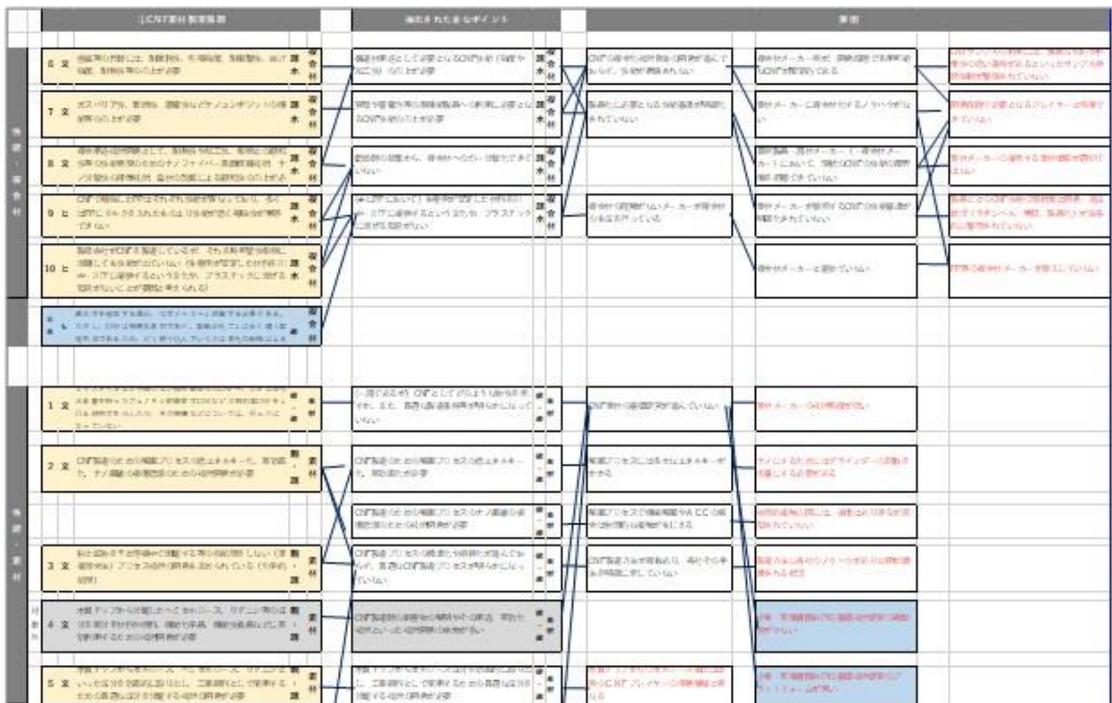


図 3.3-3 CNF 課題分析のロジックツリーのイメージ

3.3.2 対応策の検討

前述した課題の詳細な分析を踏まえて、CNF 普及に向けた対応策の検討を行った。本節では、課題に対する対応方針と具体的な4つの対応策について概説する。

(1) 課題の詳細分析を踏まえた対応方針の検討

ステップ2で整理を行った課題に対して、有効と考えられる対応方針を検討し、具体的な4つの対応策の検討を行った。以下に、CNFのサプライチェーンごとに整理した課題と対応策の検討結果のイメージを示す。詳細については、巻末資料4(p.45~47)を参照されたい。

抽出された素材製造段階の課題	対応方針	対応策
性能(複合材) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 構造材用途として必要となるCNF性能(強度や加工性)の向上 ✓ 容器や蓄電池等の高機能製品への利用に必要なCNF性能の向上 ✓ 乾燥時の凝集から、複合材への均一分散化技術の向上 ✓ (主にPPにおいて)生産側が安定した材料を川中・川下に提供するという文化や、プラスチックに混ぜる知見がない 	サンプル供給体制の整備(煩雑な契約や利便性の低い条件の解消) 1 素材メーカーにおけるCNF開発段階に必要なプレイヤーとの協業 1 素材メーカーによる適切な素材情報の提示 1 製品ごとのCNF性能の現状値と開発状況の整理 3 PP等の複合材メーカーの参入 1	1 企業間マッチング 技術開発・CNFサンプル供給の企業間マッチングの推進 2 性能評価・認証体制 CNFの性能を担保する評価・認証体制の構築 3 実績・支援事業等の体系的整理 CNF性能、製品ごとの開発状況、支援事業等の整理 4 実証事業の推進 CNF製品化の技術開発・実証事業の組成
性能(素材) <ul style="list-style-type: none"> ✓ CNFの物性、最適な製造条件等が不明瞭 ✓ CNF解繊時の低エネルギー化、高効率化が必要 ✓ CNF解繊時のナノ繊維の損傷低減のための技術開発 ✓ CNF製造プロセスの標準化や規格化が進んでおらず、最適なCNF製造プロセスが明らかになっていない ✓ 木質チップからセルロース成分の効率的取り出し、工業原料として使用するための最適な成分分離技術開発が必要 ✓ 各企業や有識者を含めたCNF基礎技術の協議ができていない 	素材メーカーのCNFに関する技術熟度の向上 外 CNF製造企業間での最適なCNF製造方法に関する情報共有 3 物理的接触時における損傷の周知 1 ナノ化時に多量のグラインダー回数を要することの周知 3 木質チップからのセルロース抽出が得意なプレイヤーとの連携 1 企業・有識者間共同の基礎技術研究の補助・支援 3 企業・有識者間共同の基礎技術研究のプラットフォームの構築 1	
品質 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 乾燥時の凝集から、複合材への均一分散化が難しく、CNFの品質が下がる ✓ セパレーター・エアフィルタへ応用されるCNF繊維集合体形成時、製造(攪拌・脱泡)技術により繊維径にばらつき ✓ CNFの製造方法(機械的な解繊)によって、住宅建材(塗料)製品のCNFに求められる性能にばらつき ✓ メーカーによってCNFの性能にばらつきが存在(同一メーカーでもロットによって差異が存在) ✓ 素材メーカーの樹脂との混合等に関する知見が不足しており、部品メーカーの求める品質を満たしていない 	素材メーカー内部で複合化の技術知見を有する人材の育成 外 素材メーカーと複合化技術の知見のある外部アクターとの協働 1 サンプル供給ニーズのある素材メーカーと複合材メーカーのマッチング 2 部品メーカーが求める(製品ごとの)CNF品質基準の評価体制の整備 2 素材メーカーと部品メーカーの橋渡し役(複合材メーカー)の確立 1 地域資源を活用したCNF製造時の品質の安定性の担保 3 (ガラス・炭素繊維と比較して)CNFの特性を踏まえた受入基準の設定 2	

図 3.3-4 詳細課題に対する対応方針の検討イメージ

(2) 具体的な対応策の検討

1) 事業者間での協業等の推進

疎水性のCNFを活用したCNF複合材の製造においては、CNF製造事業者と利用事業者におけるCNFへの期待値や実現可能な性能等について認識の相違がある。そのため、両者の架け橋役として、複合材メーカー等の参画を促すことで、こうした認識齟齬を解消することが期待される。環境省では、本事業のうち、業界マッチング、適用部材拡大検討(通称: NCM事業)を通じ、企業間の協業を推進しているため、こうした取組との連携や拡大を目指すことが有用であると考え(図3.3-5)。

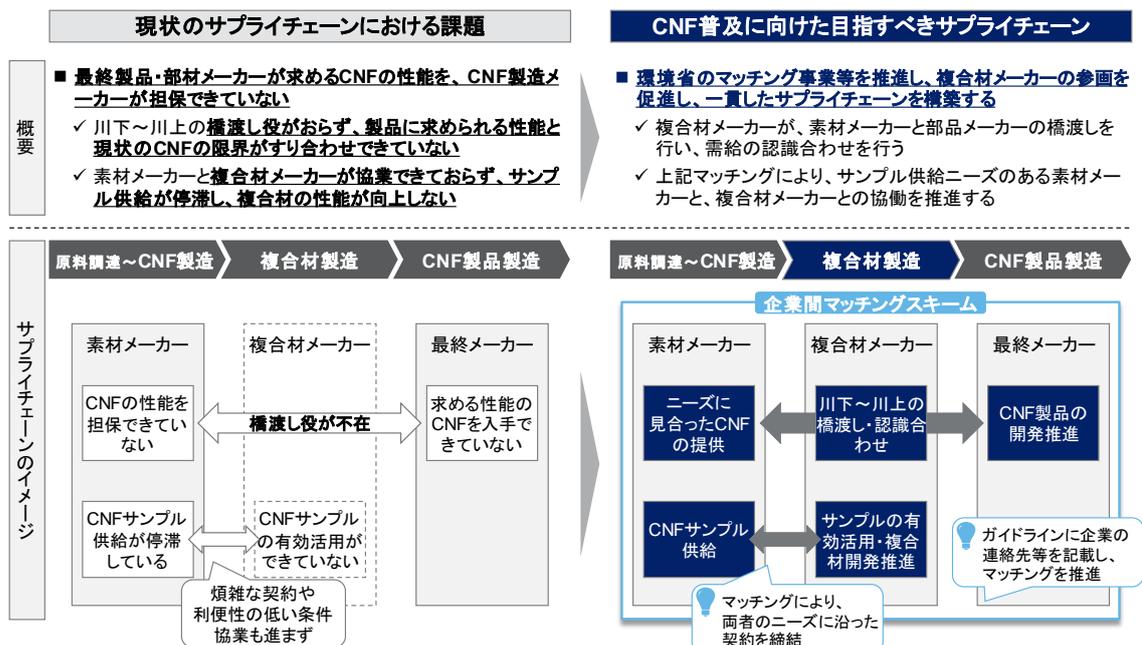


図 3.3-5 CNF 普及に向けた事業者間連携の促進

また、川下から川上での協業の推進が促進されるよう、目指すべき将来絵姿の検討を行った。従来のCNFは「鉄に比べて重さは約5分の1と軽く、強度は5倍以上」のキャッチコピーで、構造材用途への利用の検討が進められてきた。他方で、現状は、過年度の環境省事業の構造材用途の実証からの製品化が途上であることや、量産体制が未構築なことからコストが高止まりしている。また、前述の有識者等へのヒアリングによると、市場には粗悪なCNFが普及し、CNF利用者の信頼を損ねる結果を招いている。

こうした現状を打破するために、「軽量化による省CO2」に加えて、「従来素材（プラスチック等）の代替」「高いリサイクル性」「国内産業・国産材の有効活用」といった効果を訴求し、需要の拡大を目指すことが重要と考えられる（図3.3-6）。

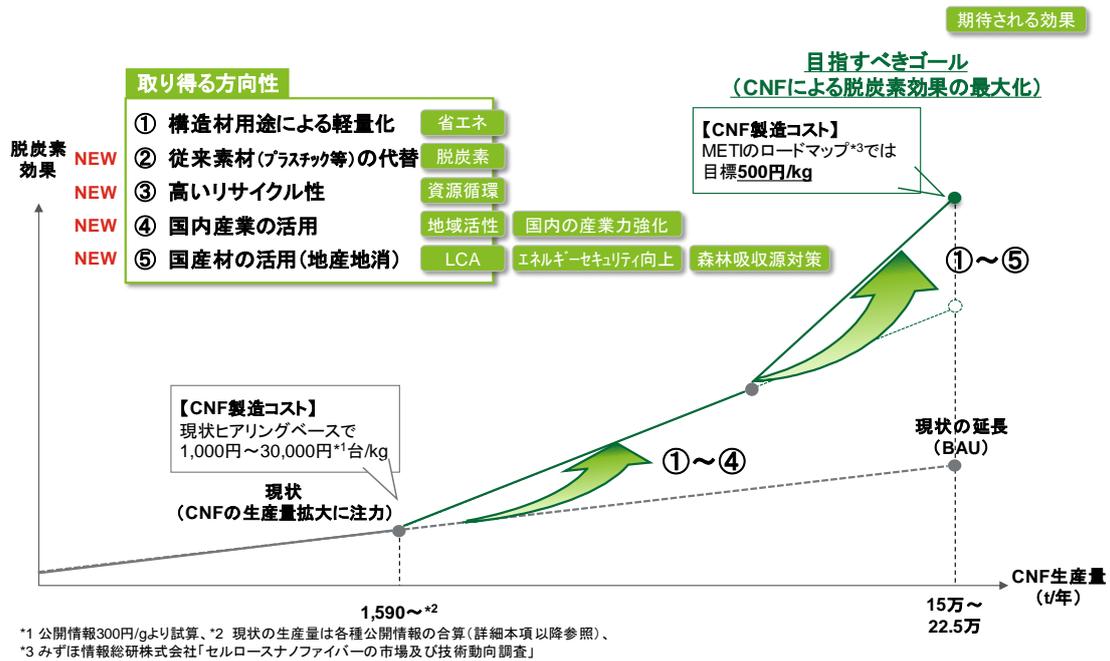


図 3.3-6 環境政策における CNF の位置づけと CNF 需要拡大のイメージ

こうした CNF の訴求すべきポイントを踏まえ、CNF を活用した「脱炭素社会・循環経済・分散型社会」の将来像を明確に掲げ、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拡大の基盤となることを期待される (図 3.3-7)。

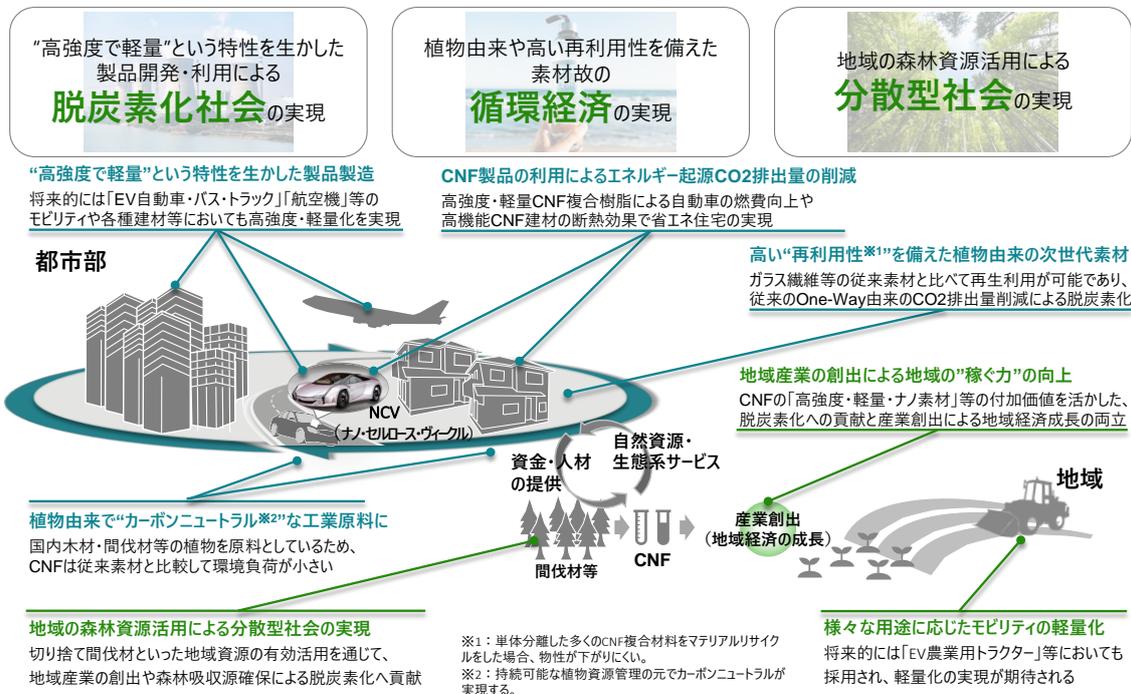


図 3.3-7 CNF が普及した社会像

2) 性能評価・認証耐性等の検討

CNF 素材の特性や、最製メーカーのニーズを踏まえた、CNF の性能表示・分析基準や評価体制が確立されていないため、CNF の性能評価・認証・奨励策の整備等を見据えた、評価体制や方法論の確立が必要である (図 3.3-8)。

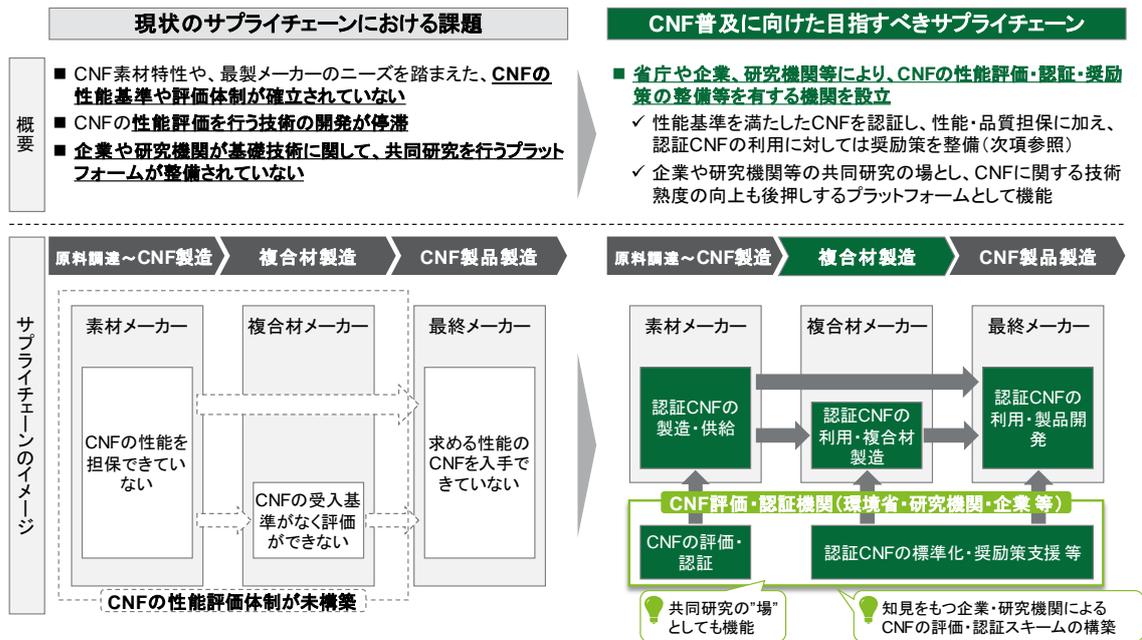
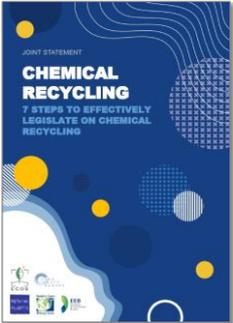


図 3.3-8 性能評価・認証体制の構築イメージ

欧州では、脱炭素素材の普及に向けて、ケミカルリサイクルの政策枠組みの導入を目指しており、欧州委員会の「The LIFE プログラム¹」において、施策対象の定義や評価方法論確立、奨励策の必要性を検討している (図 3.3-9)。こうした海外の先進事例を参考に、前述した認証 CNF 利用の奨励・規制策の基盤整備を進めることも有用であると考えられる。

¹ LIFE プログラムは、1992 年に作成された環境および気候変動対策のための EU の資金調達制度。現在の資金調達期間 2014～2020 年の予算は 34 億ユーロ。



概要	<ul style="list-style-type: none"> EUの政策目標の達成にはケミカルリサイクルの適切な政策枠組の導入が重要との背景の下、欧州委員会の「The LIFE プログラム」にて検討が実施された。 オランダの財団 ZERO WASTE EUROPE によって2020年7月9日リリースされた。
提言	<p>本レポートでは、以下7つの提言が言及されている。</p> <ol style="list-style-type: none"> EU廃棄物法のレビュー、ケミカルリサイクル技術の定義が必要 Review EU waste legislation to introduce definitions of chemical recycling technologies that exclude fuel production. 廃棄物階層におけるケミカルリサイクル技術の法的地位の明確化が必要 Clarify the legal status of chemical recycling technologies in the waste hierarchy. ケミカルリサイクルの原料を汚染・劣化した耐久性のあるプラスチックに限定が必要 Limit chemical recycling feedstock to contaminated and degraded durable plastics. ケミカルリサイクルの環境と健康への影響は、産業レベルで評価が必要 Environmental and health impacts of chemical recycling need to be evaluated at the industrial level. ケミカルリサイクルの気候への影響を計算するための堅牢な方法論の確立が必要 Establish a robust methodology for calculating the climate impact of chemical recycling, including all indirect and direct emissions caused by the process. ケミカルリサイクルプロセス中に製造された材料の実際のリサイクル量を定性的および定量的に確立するための基準の確立が必要 Develop a standard to establish the actual recycled content qualitatively and quantitatively of materials manufactured during the chemical recycling processes. EU基金は、原材料からのプラスチックの生産よりも二酸化炭素排出量が少ないプロセスのみをサポートすべき EU funds should only support processes with a lower carbon footprint than the production of plastic from virgin feedstock.

図 3.3-9 欧州委員会 「ケミカルリサイクルを効果的に立法化するための7つのステップ」

出典：ZERO WASTE EUROPE 「7 Steps to Effectively Legislate Chemical Recycling」、European Commission 「LIFE programme」

CNF の表示・分析基準の策定については、本業務で開催した委員会においても有識者から必要性の指摘があり、事業者からも策定を期待する声が多く寄せられた（図 3.3-10）。

- 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**



民間事業者

- **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か**
- 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**



民間事業者

- 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**



学識有識者

- 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様に比較できないと、**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**



学識有識者

図 3.3-10 CNF 選択の目安となる基準や項目の整備を求める”生の声”

出典：ヒアリング調査より

ヒアリングで明らかとなった、CNF 利用者が求める表示基準を踏まえ、具体的な基準案や策定の方向性等を以下に示す。

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る。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る（図 3.3-11）。

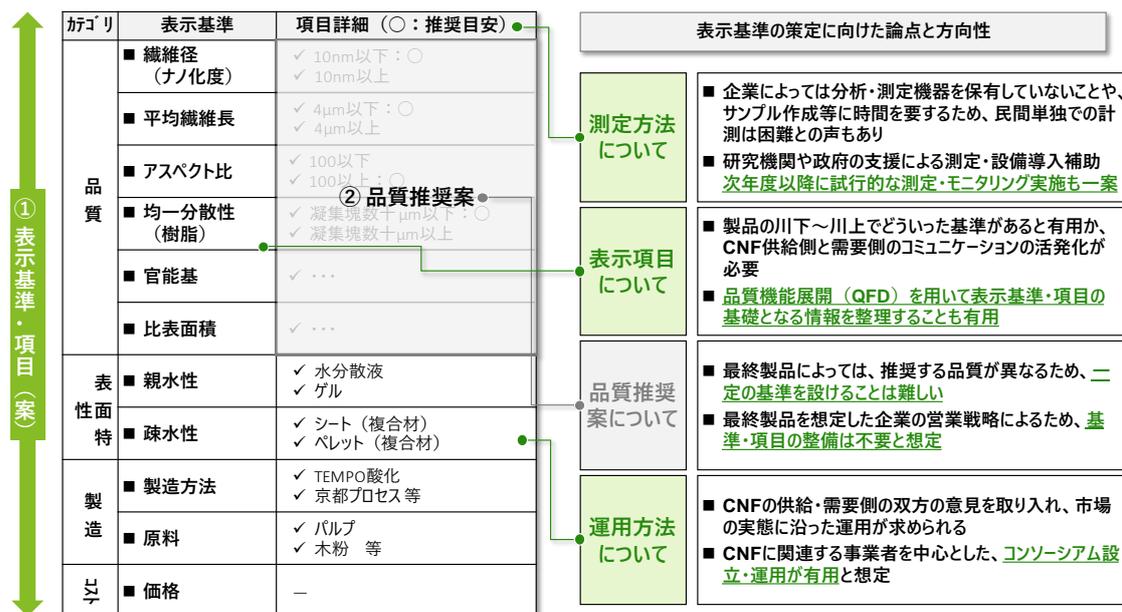


図 3.3-11 表示・測定基準の項目案と運用等の方向性

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る（図 3.3-12）。加えて、本年度に試行的に実施した品質機能展開 (QFD) や算定条件宣言シートを用いて、製品の川下から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ある。

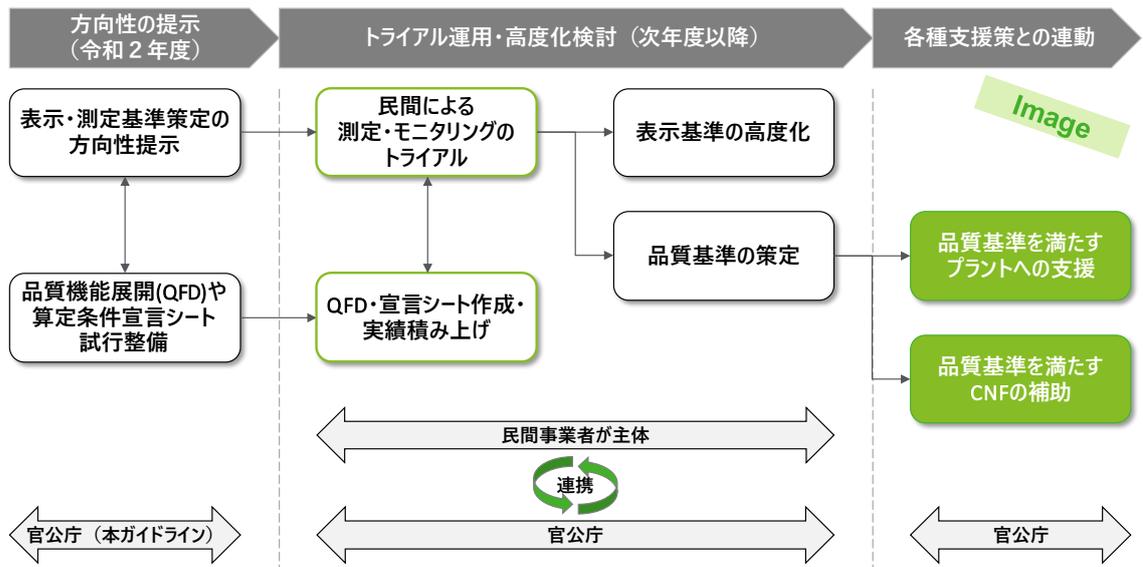


図 3.3-12 表示・測定基準等策定の方向性と想定される方向性

3) 実績・支援事業等の体系的整理

整理を行った CNF の課題に対して、CNF 利活用ガイドラインの読み手にとって「有用な情報」を掲載することで、CNF の利活用促進が期待される。具体的な掲載内容としては、過年度の CNF 開発・実証に関する実績や素材・製品等に関する開発状況、各省庁の支援策等が考えられる (図 3.3-13)。ガイドラインの掲載内容については、第 6 章を参照されたい。

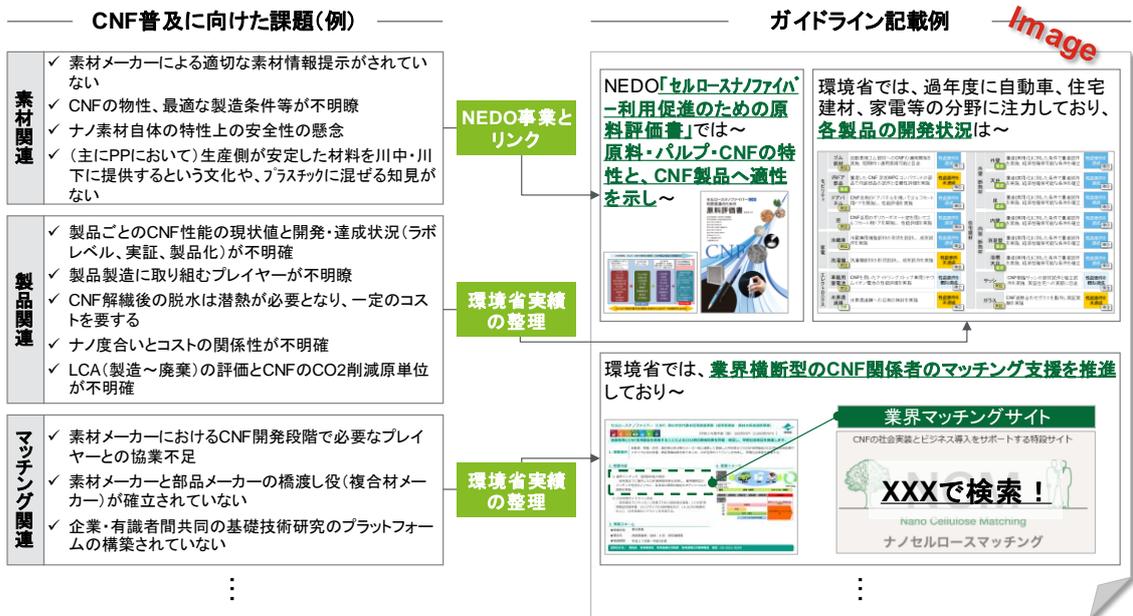


図 3.3-13 実績・蓄積したノウハウのガイドライン掲載イメージ

出典：画像は各種 HP、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」より作成

4) 過年度の実績・ノウハウを活かした実証事業の推進

環境省の成果を踏まえ、各分野において段階的な製品化を目指すことも有用と考えられる。特に、環境省では過年度に NCV (Nano Cellulose Vehicle) プロジェクトを実施おり、こうした実績の応用が期待される超小型・電動モビリティ関連の技術開発・実証事業の推進が有望である。

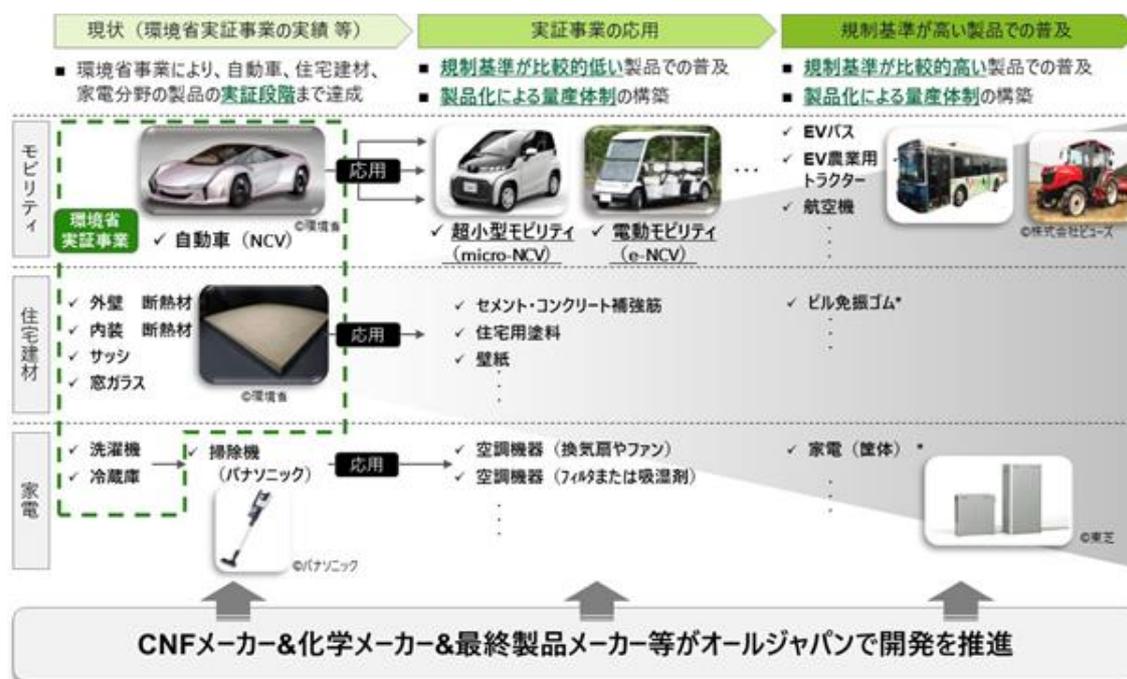


図 3.3-14 CNF 製品の普及に向けた事業の推進イメージ

出典：画像は各種 HP より作成

また、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た。

超小型・電動モビリティ

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る。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る (図 3.3-15)。



図 3.3-15 有望製品における課題及び対応策の方向性 (超小型・電動モビリティ)

蓄電池・コンデンサ

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る。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る (図 3.3-16)。



図 3.3-16 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)

3.4 CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理

CNF のサプライチェーン構築及び拡大に向けて、有用となる情報の整理を行い、CNF 利活用ガイドラインの掲載内容の検討を行った。

上述した CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題について、関係者間での認識共有が特に必要と考えられる以下の情報を掲載することとした。

- ・ CNF を活用した「脱炭素社会・循環経済・分散型社会」の将来像
- ・ CNF の表示・分析基準等の策定の方向性
- ・ 過年度の実績・ノウハウを活かした実証事業の推進の方向性

第4章 CNF の地域産業創出モデルの検討¹

環境省では、第五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」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る。

CNF による地域産業を創出することにより地域に様々なメリットを提供することが可能である。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る。

本業務では、CNF による地域産業の創出について、環境省「平成 27 年度地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務」（以下、FS 事業という。）の対象である静岡県、岡山県、三重県の FS 事業の概要とその後の取組状況を整理するとともに、CNF 製造事業の事業性検証や、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の実施と、CNF 産業創出に係るステークホルダーへヒアリングを通じて、CNF の地域産業創出を実現するに当たり想定される課題や、成功のポイントを整理・検討した。また、それらを踏まえて、CNF の地域産業創出促進に有用な情報を抽出し、「セルロースナノファイバー利活用ガイドライン」に記載する情報の選定を行った。

4.1 3 地域における CNF サプライチェーンに関する最新情報の調査

FS 事業について、報告書を始めとする文献調査と代表受託者等へのヒアリングを行い、委託業務後の最新動向を調査した。

4.1.1 文献調査・ヒアリング調査

(1) 文献調査

FS 事業の結果の概要を図 4.1-1 に示す。FS 事業時点で、地域のサプライチェーンにて CNF 製品製造まで検討したのは静岡県と岡山県であった。また、岡山県は地域資源を活用した CNF 製造まで検討したが、製品製造における品質とコストに課題が残っていた。三重県では地域資源の活用可能性を把握した上で、全般的なプレイヤー不足が課題として挙げられていた。

¹ 仕様書においては、「CNF の地産地消モデルの検討」となっているが、委員会において「地産地消とはイメージが異なる」との指摘を受けた。語弊を避けるため、項目名を「CNF の地域産業創出モデルの検討」と改めている。

	静岡	岡山	三重
代表事業者 (共同実施者)	静岡大学 (トクラス(株))	岡山県	三重県産業支援センター (三重県工業研究所)
対象製品	キッチン部材	自動車用ゴム部材	高度部材用途(断熱材、水素透過膜、 不織布・繊維集合体、透明フィルム)
原料 (調達地域)	おが粉(県内)	・木材チップ(県内) ・パルプ(近隣県)	間伐材(県内)
FS事業での CNF製品製造 実現状況	原材料調達から最終製品製造まで実現	上記原材料を調達の上、CNF製造 まで実現 (製品の性能、採算性、CO2削減効果 等は、メーカーの研究実績に基づき検 討)	・調達プロセスの机上検討まで実施 ・第一工業製薬等のサンプルにて製 品製造し、性能評価を実施
成果報告書に 記載されている課題	継続発展する事業モデルの構築に向 けて、 コンパウンドの実施機関が少な く 、サプライチェーンの構築が必要	・ CNFの分散性の向上等の技術開 発 による、製品の補強性の向上が 必要 ・CNF添加によるゴム 補強効果の安 定性 確保に向けた 技術開発 が必要	実用化に向けて、 公設試験研究機関 や行政による、SC構築及び技術開発 の主導 が必要
	複合材メーカー不足を示唆	CNF製造・製品製造の 技術力不足を示唆	一般的なプレイヤー不足 を示唆

図 4.1-1 地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務 概要

1) 静岡県

静岡県では、研究代表者として静岡大学、共同研究者としてトクラス(株)がキッチン木材部材を対象とし静岡県内産業との連携により FS 事業を行った。「CNF を利用することを基本として、地球温暖化に貢献でき、経済性も兼ね備えたキッチン木材の部材の用途提案を通して、県内産業内において採算性が確保できる事業モデル構築の提案すること」を業務の最終目標として、検討を行った。

FS 事業においては、水回り部材に利用可能な木質材料としてウッドプラスチック（混錬型 WPC）を使用したキッチン部材を対象に検討が行われた。県内の木材を用いて、トクラス(株)がウッドプラスチックを製造及びキッチンへの添加・製造を想定する事業スキームを検討していた。

FS 事業により一定の事業性は見込まれたが、継続的な事業モデルとして事業を実施していくには、コンパウンドを行える機関が少ないことを課題としていた。なお、コンパウンドメーカーを新規で立ち上げる場合には、木粉製造場所と連携した事業の実施を行うことが有用と示していた。

FS 事業以降では、静岡県では、経済産業省地域経済牽引事業に基づき静岡県を中心とする 6 つの支援機関が産学官金で連携して、CNF 応用製品の開発から販売に至るまでの支援を行うことを記載した「ふじのくに CNF プロジェクト連携支援計画」(H30～34) を策定していた。さらに、静岡県富士市では、平成 30 年度に「富士市 CNF 関連産業推進構想」を策定した後「富士市 CNF プラットフォーム」を設立し、CNF の用途開発の加速化、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た。なお、FS 事業で対象としたキッチン部材における最新動向は、公開情報では把握できなかった。

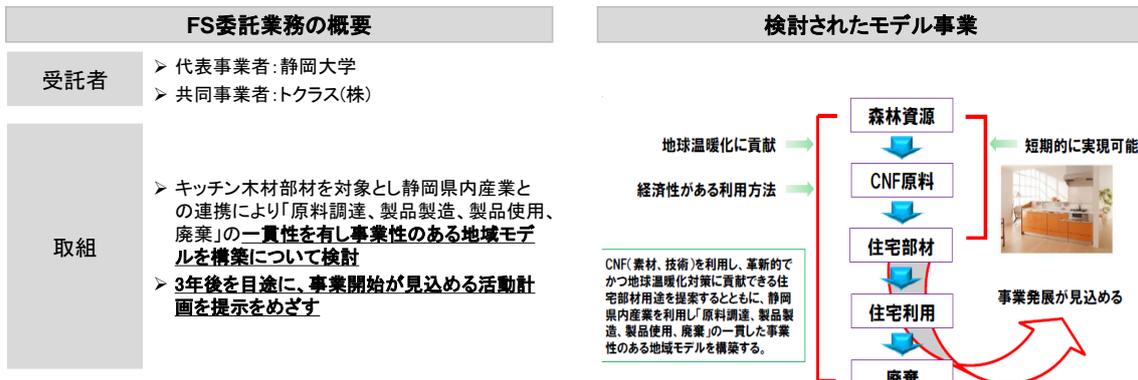


図 4.1-2 静岡県のFS事業の概要

出典：環境省、静岡大学（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」

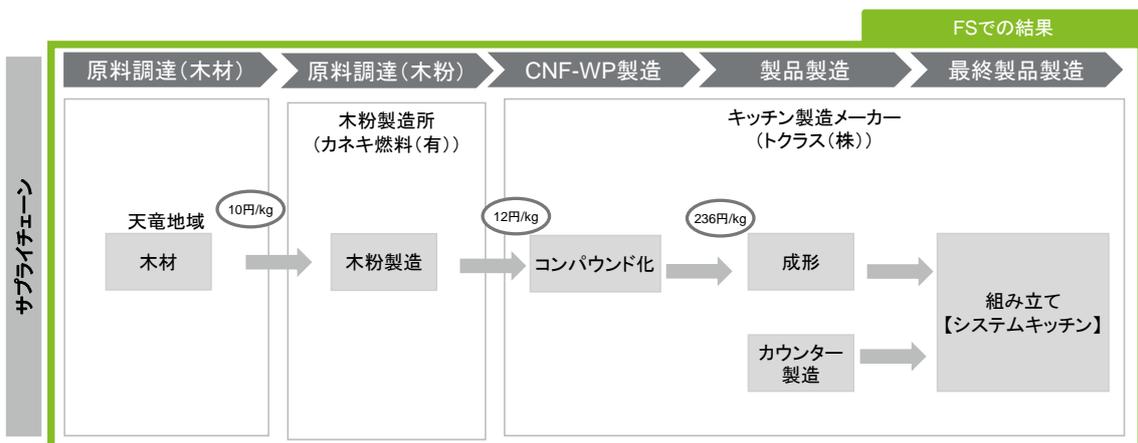


図 4.1-3 静岡県の地域産業創出モデルのFS事業でのサプライチェーンの想定

ふじのくに CNF プロジェクト連携支援計画【H30～H34】

静岡県（富士工業技術支援センター）を中心とする6の支援機関が産学官金で連携して、CNF 応用製品の開発から販売に至るまで切れ目のない支援を実施する。

【支援機関】 6 機関	
静岡県（富士工業技術支援センター） / 公益財団法人静岡県産業振興財団 / フーズ・サイエンスセンター / 富士市 / 国立大学法人静岡大学 / 株式会社静岡銀行	
【支援の内容】	【支援の対象】
<ul style="list-style-type: none"> ① ネットワーク構築・情報提供 (ふじのくに CNF フォーラム、地元自治体等) ② 技術相談・依頼試験等の技術支援 (公設試の高度な試験機器等の活用) ③ 共同研究・受託研究等の研究開発支援 (公設試や大学等の技術シーズの活用) ④ 販路開拓支援 (産業支援機関) ⑤ 金融・経営支援 (金融機関) 	<p>➤ CNF 関連分野</p> <p>CNF 応用製品の開発や CNF を活用して製紙分野、食品・化成品分野、次世代自動車分野における新事業創出・販路拡大を目指す事業者</p>
<p>【想定する支援件数/目標】 支援件数は、計画期間合計12件程度を目標。目標値に留まらず更なる支援を図る。</p>	
<p>【相談窓口】 静岡県富士工業技術支援センター 電話番号：0545-35-5190 メールアドレス：fujikougi@pref.shizuoka.lg.jp ～ご関心・ご興味をお持ちでしたらご相談ください。最寄りの支援機関でも対応いたします。～</p>	
<p>【連携支援計画の詳細】 https://www.meti.go.jp/policy/sme_chiiki/miraitoushi/renkeikeikaku/HP5/07_shizuokadai.pdf</p>	

図 4.1-4 ふじのくに CNF プロジェクト連携支援計画

出典：経済産業省資料「ふじのくに CNF プロジェクト連携支援計画」

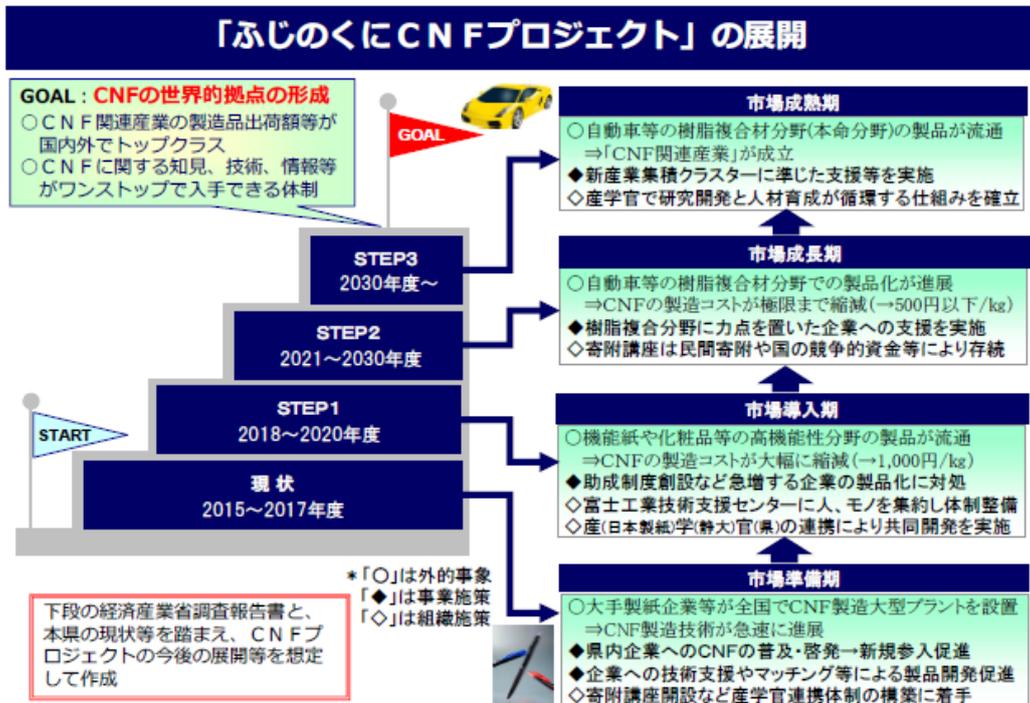


図 4.1-5 「ふじのくに CNF プロジェクト」の展開

出典：経済産業省資料「ふじのくに CNF プロジェクト連携支援計画」

表 4.1-1 富士市の CNF 関連産業集積にあたっての課題

項目	内容
1. CNF の活用意義・効果の周知	CNF の認知度向上と活用効果の周知を図り、事業者の CNF への取組に対する機運を醸成していくこと
2. CNF に取り組みやすい環境づくり	各事業者に応じた支援を適切に行い、事業者が CNF に取り組みやすい環境を整備していくこと
3. 実用化を後押しするマッチングと連携強化	協業可能な事業者や研究者とのマッチングを支援すること。また、広域連携等により、課題解決を図り、更なる技術革新や新市場創造につなげること
4. CNF 専門人材等地域産業の担い手の育成	CNF の取組支援を行っている関係機関等と連携を図りながら、CNF に関わる人材を含め、地域産業の担い手となる人材を確保・育成し、本市の中長期的な発展につなげていくこと
5. 取組を具現化するために必要な推進体制の構築	産学金官等が各々の役割を踏まえ、互いに協力・補完し合いながら、事業者の取組を支援する推進体制を構築すること

出典：「富士市 CNF 関連産業推進構想」

2) 岡山県

岡山県では、木の特長を踏まえた新たな工業材料の開発等により、森林資源のトータルとしての価値向上と新産業の創出を目指す「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」を平成 16 年度から推進してきた。中核事業として、平成 22～26 年度の 5 年間、「森と人が共生する SMART 工場モデル実証」を実施した（文部科学省「気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム」に採択）。本実証事業の中で、未利用間伐材や製材端材等の木質資源から高付加価値素材である CNF の製造技術の確立、素材生産者、製材事業者、行政等の地域関係者の連携による真庭バイオマス集積基地（真庭木材事業協同組合（岡山県真庭市））への間伐材等の安定供給体制の構築、自然エネルギーの活用等による工場内の CO2 排出削減システムの構築といった成果を得た。また、実証事業の一環として、本業務の対象である CNF 等の高付加価値素材の開発や、商品化、用途開発の支援を行ってきた。

そのうえで、FS 事業では、地域の森林資源を活用し、県内の製品製造事業者とともに、CNF を添加した自動車用ゴム部材の製造を行う事業モデルを検討した。

CNF の原料は、木材チップとパルプの両面で検討を行った。木材チップについては、真庭バイオマス集積基地から購入すると想定し、パルプについては、近隣県に所在するパルプ工場から購入するものとし、岡山県内のモリマシナリー(株)にて CNF 製造するとした。

自動車用ゴム部材の製造は CNF をゴム中に均一分散させることで、従来のカーボンブラック等の補強では得られなかった高強度、高モジュラス等の特性を付与させたゴム材料を開発し、自動車用ゴム部材等への用途展開を図った。親和性が高く、単に乾燥して水分を除去すると凝集固化してしまう CNF を、疎水性の材料であるゴムと均一に混合・複合化することは既知のとおり容易ではないため、ゴムへの分散技術の開発、製品製造を試行した。その結果、モジュラスの向上、耐屈曲亀裂成長の改善効果が確認され、ゴム製品の軽量化による燃費の向上、長寿命化など地球温暖化への貢献が期待される結果を得たものの、高い安全性等が求められる自動車部材への CNF 適用の実現においては、常に品質を

一定以上に保つ管理・確認手法の不足といった安定性の観点や、補強効果の確実性を得るためのメカニズムの更なる解明の点で、課題を残す結果となった。

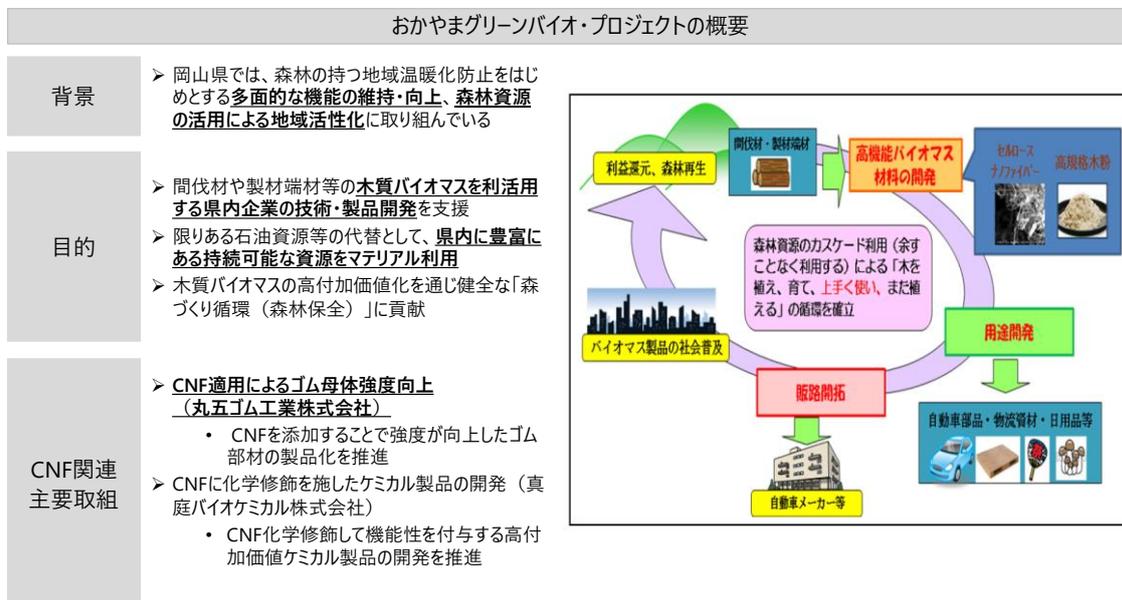
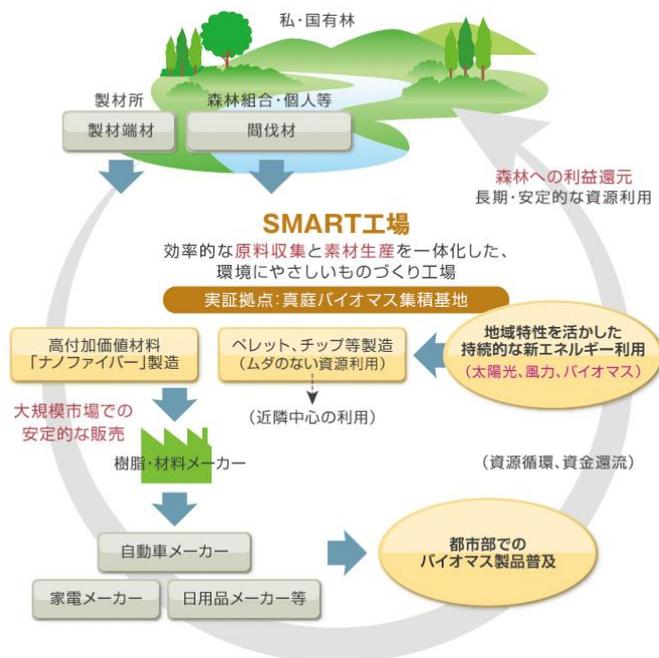


図 4.1-6 おかやまグリーンバイオ・プロジェクト

出典：環境省、岡山県（2015）「平成 27 年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務報告書」

図 4.1-7 林エー一体型「SMART 工場」構想



出典：おかやまグリーンバイオ・プロジェクト HP

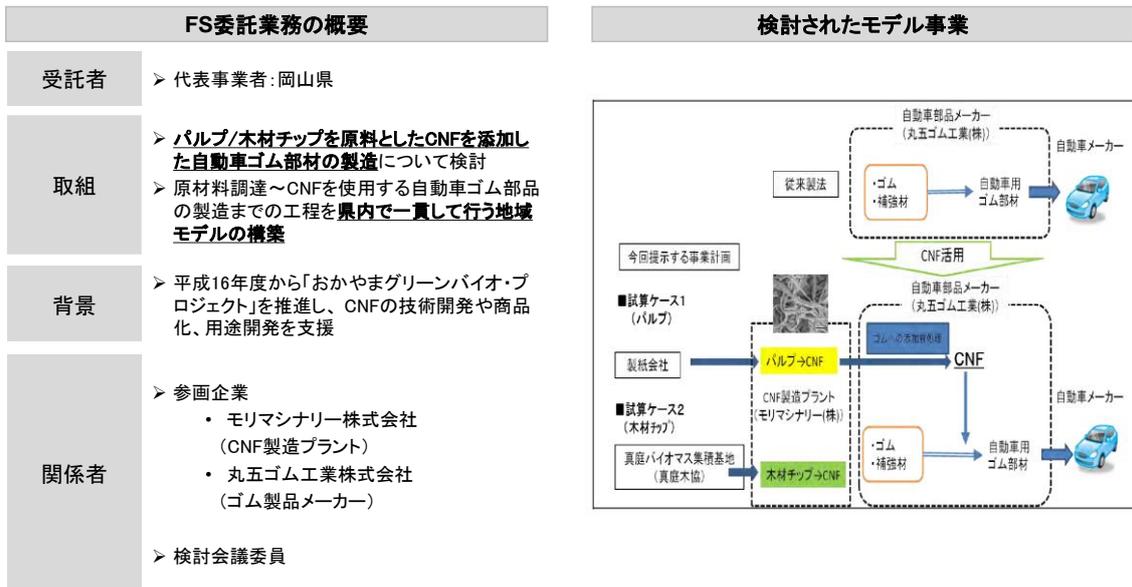


図 4.1-8 岡山県のFS事業の概要

出典：環境省、岡山県（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」

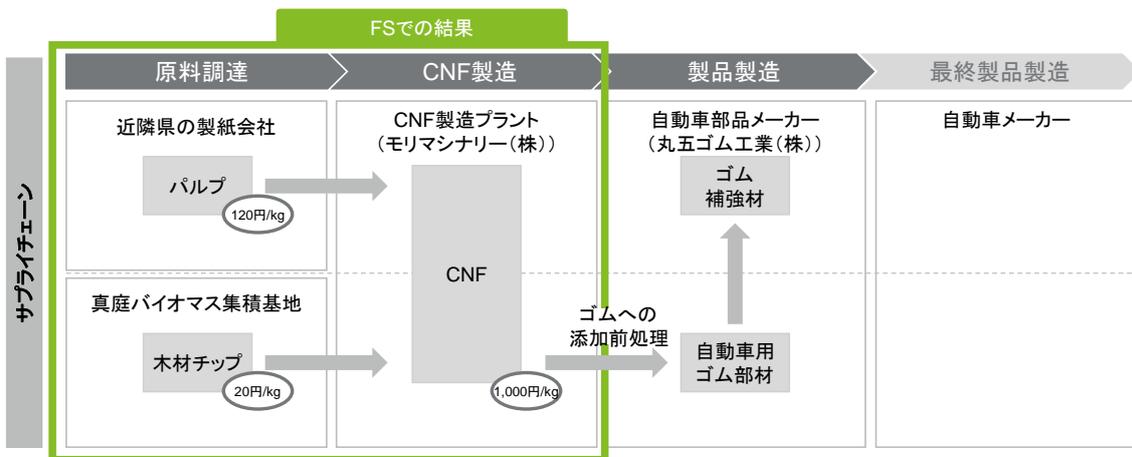


図 4.1-9 岡山県の地域産業創出モデルのFS事業でのサプライチェーンの想定

出典：環境省、岡山県（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」

3) 三重県

FS事業では、三重県内の資源をCNFへ利活用するための調査・検討や、用途開発、県内サプライチェーン構築のための調査・検討等を実施した。

CNF原料としての三重県内のバイオマス資源の検討については、森林バイオマス（林地残材、切捨間伐材）に加え、国産材・外材の製材廃材、稲作残渣、ススキ、タケ、また、海藻資源も含め、様々な資源に対して、有効利用可能量、賦存量等の調査・検討を行った。検討の結果、三重県内で最も利用可能性が高いのは、切捨間伐材、製材廃材という結果と

なった。

用途開発は、TEMPO 酸化 CNF を用いた高度部材用途をターゲットに調査・検討を行った。具体的には断熱材、水素透過膜、不織布や糸等の繊維集合体での高機能フィルター、高機能フィルムといった高度部材用途を対象とし、CO2 削減評価の推計等も実施した。

地域産業創出におけるサプライチェーンの観点では、前述の地域資源の調査検討結果も踏まえ、県内の森林事業体から各市町村の林地残材、間伐材を調達するスキームを検討した。

また、三重県内企業の連携ネットワーク構築として、「みえセルロースナノファイバー協議会」を設立し、三重県内外から 71 機関の参画を得て、広域なネットワーク構築を実現した。FS 事業後も、技術セミナーを開催するなど CNF に関心のある産・官・学関係者に対し、地域等の垣根を越えた幅広い交流・連携を推進し、製品開発や新たなビジネス化を支援していた。

地域産業創出における実装・実用化に向けては、CNF が新素材であるために官主導で取り組まざるを得ないものの、企業へ主たるプレイヤーを移行していく必要があり、公設試及び行政によるネットワーク構築等の環境整備が必要であるとの方向性を確認した。

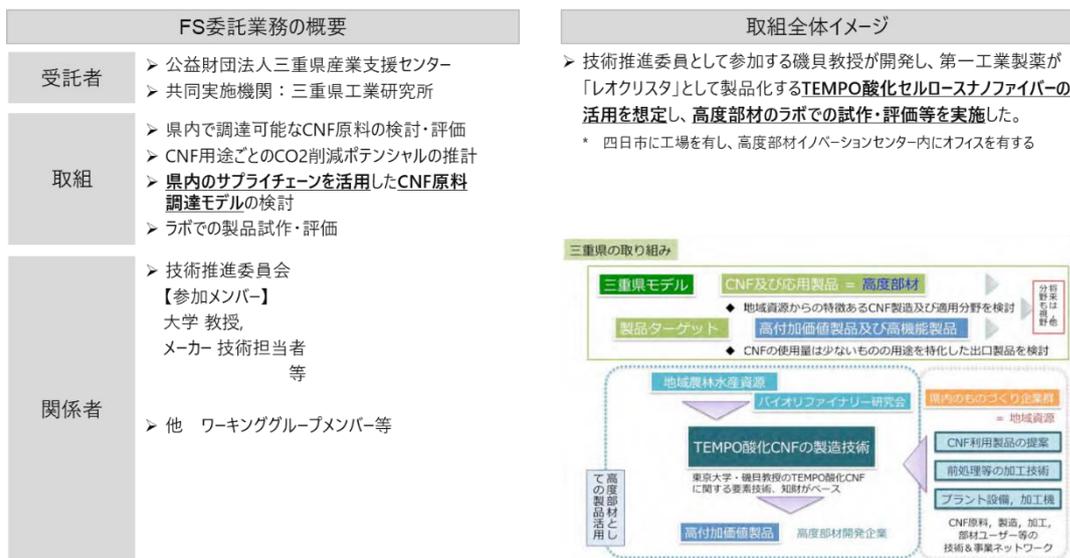


図 4.1-10 三重県の FS 事業の概要

出典：環境省、三重県（2015）「平成 27 年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務報告書」

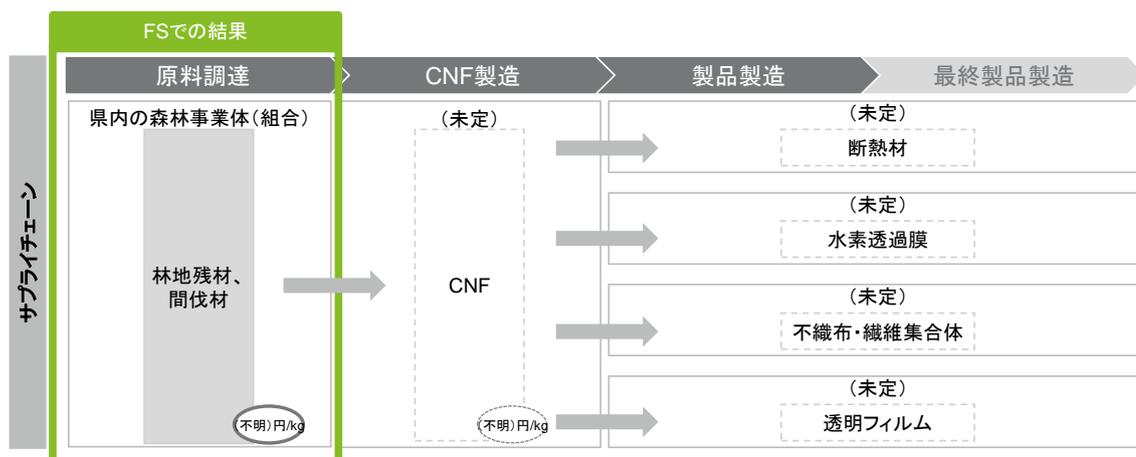


図 4. 1-11 三重県の地域産業創出モデルの FS 事業でのサプライチェーンの想定

出典：環境省、三重県（2015）「平成 27 年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務報告書」

（２）ヒアリング調査

文献調査を踏まえ、3 地域の FS 事業関係者に対しヒアリングを実施した。FS 事業での検討事項のその後の進捗、FS 事業以降のその他の CNF 推進の取組、及びその中での地域産業創出における課題や課題解決のための対策を聴取した。

主な調査対象は FS の代表事業者とした。静岡 FS は、代表事業者の静岡大学と FS 「富士市 CNF プラットフォーム」を推進する富士市を対象とした。岡山 FS は、代表事業者の岡山県と FS 事業に参画した丸五ゴム工業(株)と、三重 FS は、代表事業者の三重県産業支援センターと、FS 事業に参画した三重県工業研究所を対象とした。

ヒアリング結果は、PEST (P:Politics (政治)、E:Economy (経済)、S:Society (社会)、T:Technology (技術)) の観点で整理し、FS 事業やその後の取組による進捗状況の整理と、残る課題を確認した。具体的には、縦軸に PEST の観点を設け、第 3 章で整理した CNF 利活用製品の実装に向けた全般的な課題を軸に設定した。横軸には、課題に対する「FS 事業時点での達成状況」、「FS 事業以降の達成状況」、「(FS 事業以降にも解決されていない) 継続的な残課題」の 3 つの観点で得られた情報を整理した。これにより、継続的な課題とその達成状況・達成のポイントを抽出することとした。

1) 静岡県

静岡県では、FS 委託事業終了後も県全体で CNF を関連の事業を実施しており、県及び富士市において CNF に関するプラットフォーム事業を展開し、商用化に向けて課題の解決を目指している。富士市では、地域内の製紙事業者を中心に自動車部品や食品等地域内の様々なメーカーが CNF の用途展開を図るため補助事業を行っていた。

一方で、事業者からは、地域に拘らず広く事業者等の連携や CNF の品質の安定性等の課題が挙がっていた。

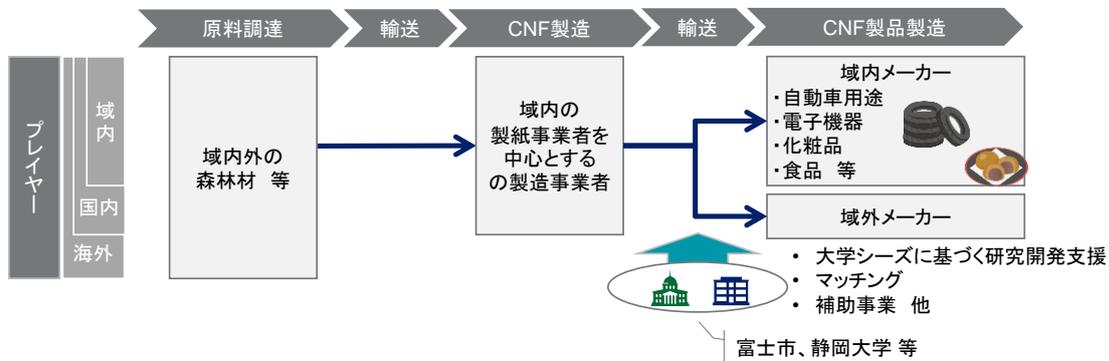


図 4.1-12 静岡県 令和2年度時点のサプライチェーン例

凡例 赤字: 地域産業創出特有のコメント、(灰色字): 報告書等の文献よりデロイト記載

	課題	FSでの達成状況	FS以降での達成状況	継続的な課題
Politics (政治)	政策的な規制・補助	NA	<ul style="list-style-type: none"> 県全体でCNFを推進する構想があり、県の存在が重要。(静岡大学) 富士市は110社ほどが登録するプラットフォームを中心に、CNFを活用する事業者の段階に合わせた場の創出を行っている。(富士市) 	<ul style="list-style-type: none"> 地域資源である茶殻を原料として利用しようとすると、産業廃棄物扱いとなり、地域を越え移動できない。(静岡大学)
Economy (経済)	用途開発によるコスト低減と安定供給	<ul style="list-style-type: none"> 木粉からCNFIになる手前のものを使用しているため、製造コストの目標値は達成した。(トクラス) 	<ul style="list-style-type: none"> 静岡には木粉を作るスキームがないため、モデル事業では岡山より調達している。事業化にあたっては、岡山産で可能である。(トクラス) 	<ul style="list-style-type: none"> (FSでの)原料であるチップの安定供給が課題である。(静岡大学) モデル製品を開発したが、需要と供給のバランスの予測が難しく、生産は難しい。(トクラス) CNFIは価格面と供給量に課題がある。(静岡大学) 建材メーカーも内部でCNFを使用した断熱材を考えてはいるが、コスト面が課題になっている。(静岡大学)
Society (社会)	最終ユーザーの地域での不足	NA (FS事業ではプレイヤー確保)	<ul style="list-style-type: none"> (Politicsに同じ) 富士市は110社ほどが登録するプラットフォームを中心に、CNFを活用する事業者の段階に合わせた場の創出を行っている。(富士市) 	<ul style="list-style-type: none"> CNFの出口創出には、地域に閉じず、広く事業者等の連携が不可欠である。(富士市) 商用化の際には原料調達や販売出口などリスクが多い。(静岡大学)
	環境整備の不足*	NA	NA	<ul style="list-style-type: none"> CNFの品質保証の規格やマスターバッチがない。加工メーカーを巻き込んだ製品開発にはCNFのマスターバッチ化が必要。(静岡大学)
Technology (技術)	CNFの品質にばらつきがある(品質の安定性)	NA	<ul style="list-style-type: none"> 富士市CNFプラットフォーム実用化研究事業を用いて、静岡レシビという単純なプロセスでマスターバッチを開発していた。ライセンス型特許でCNF製造の事業者等への提供を検討している。(静岡大学) 	<ul style="list-style-type: none"> 地域資源である茶殻由来CNFIは、一部を除き漂白できず、自動車の構造材等適用できない。資源によって、適さない用途が存在する。(静岡大学)

* CNFの評価基準や(利用側の)受入基準、サンプル入手制限がある等、環境整備されていない

図 4.1-13 静岡県のヒアリング結果 PEST 分析

2) 岡山県

ヒアリングによると、FS 事業以降、FS 事業での対象用途である自動車用ゴム部材の製造は、丸五ゴム工業(株)と自動車メーカーの共同研究・開発により、CNF 添加による薄肉化・軽量化の実現に向けた、CNF の表面処理に関する特許取得を実現した。一方で、実用化に向けては、自動車部材として求められる品質とコストに課題が残り、ヒアリング時点では研究開発を保留している状況にあった。

FS 事業以降のその他の取組としては、岡山県が主導する「おかやまグリーンバイオ・プロジェクト」を通じた補助支援制度の展開や、セミナー開催、県外技術・有識者との連

携支援、各地展示会への出展支援等が引き続き行われていた。また、こうした岡山県による取組には、外部から登用するコーディネータが関与している点が特徴的である。岡山県を担当するコーディネータは、化学系の企業出身で木質バイオマス関連の知見を有し、また、各地域の有識者に加え、事業者も含む幅広い人脈やビジネス上の知見を有している。自治体の担当者が2～3年で異動による交代を余儀なくされる中、コーディネータは長期に亘り、一自治体のCNF事業に関与することが可能である。このために、自治体と地場の企業間の連携も円滑に行われている旨のコメントを得られており、連携・マッチングという観点で、岡山県においてコーディネータによる支援が有効に機能していることが伺えた。

岡山県におけるCNF地域産業創出については、上述の自治体及びコーディネータの支援もあり、生活用品としてのゴム製品や、消臭剤など、複数の製品でCNFを活用した製品の商用化を実現していた。

岡山県でのCNF産業における、主なCNF製造事業者のひとつが、FS事業にも関与するモリマシナリー(株)である。同社は、成型機等の機械製造を中心とする企業であり、CNF製造が事業の中心ではない。そのため、CNF製造事業は、大手の製紙会社等が行うような、大量生産によりコスト低減を図れるような大規模では実施されていない。薄利多売の事業モデルで利益を獲得するのではなく、医療用樹脂製品や塗料等の増粘剤用途向けの機能性添加材といったニッチな用途で高付加価値化を図る事業モデルを推進していた。

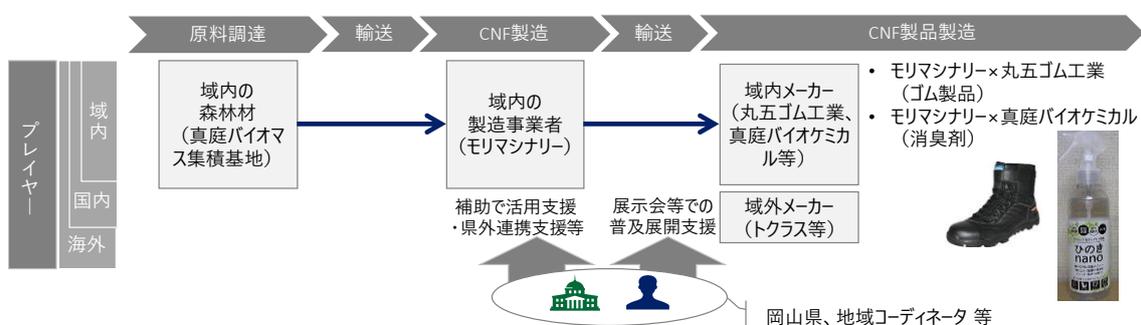


図 4.1-14 岡山県 令和2年度時点のサプライチェーン例

出典：環境省、三重県（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」、おかもやまグリーンバイオ・プロジェクト資料、ヒアリング結果を基に作成

凡例 青字: 地域産業創出特有のコメント、(灰色字): 報告書等の文献よりデロイト記載

	課題	FSでの達成状況	FS以降での達成状況	継続的な課題
Politics (政治)	政策的な規制・補助	NA	<ul style="list-style-type: none"> おかやまグリーンバイオプロジェクトにて補助事業を展開し、セミナー開催や県外技術・有識者との連携支援、各地展示会への出展支援等を主導している。(岡山県・地域コーディネータ) 	<ul style="list-style-type: none"> 商用化まで至った製品はあるものの、高い需要が獲得できた成功事例はないため、出口製品の更なる模索をしている。モリマシナリーを県内外の産業に結び付け、産業創出したい。(岡山県)
Economy (経済)	用途開発によるコスト低減と安定供給	<ul style="list-style-type: none"> 県内の真庭バイオマス集積基地へ間伐材等を集積し、原料供給の体制を構築している。※FS以降も同じ(地域コーディネータ) 	<ul style="list-style-type: none"> モリマシナリーは木材全体をすりつぶすため、製紙会社等が行う薬品を用いて不純物を除去するという大きくコストが掛かる工程がなく、トータルコストが他社より安い。(地域コーディネータ) 	<ul style="list-style-type: none"> 商用化により生産規模が拡大すればコスト低減は図れるものの、研究・開発時点で適正コストまで低減させることができなかった。(丸五ゴム工業)
Society (社会)	最終ユーザーの地域での不足	<ul style="list-style-type: none"> (FS事業ではプレイヤー確保) 	<ul style="list-style-type: none"> 県の担当は2,3年で替わるが、コーディネータが継続的に関与することで、事業の継続性や事業者との人脈が確保できている。(岡山県) 消臭剤や安全靴等、製品製造と一部製品の商用化を実現している。県内の端材等を有効利用しているため、狭義でも地産が成立している。(地域コーディネータ) 	NA
	環境整備の不足*	NA	NA	NA
Technology (技術)	CNFの品質にばらつきがある(品質の安定性)	<ul style="list-style-type: none"> 自動車会社との共同開発、FS事業を通じて、自動車会社と他社との共願によるCNFの表面処理の特許の取得には成功した(丸五ゴム工業) 	NA	<ul style="list-style-type: none"> CNFをゴムに添加することが技術的に難しく、自動車部品として規格を満たす品質や自動車メーカーが求める性能には達しなかった。そのため、自動車会社より、いったん共同開発を中止する旨を打診され、終了に至った。(丸五ゴム工業)

* CNFの評価基準や(利用側の)受入基準、サンプル入手制限がある等、環境整備されていない

図 4.1-15 岡山県のヒアリング結果 PEST 分析

3) 三重県

ヒアリングによると、FS 事業以降、FS 事業で検討した TEMPO 酸化 CNF を活用した用途開発、地域サプライチェーンの構築は実用化には至っていなかった。

FS 事業以降は、三重大学との連携や検討会の開催といった、県内企業に対する情報提供や産官学ネットワークの構築が取り組まれた。FS 事業と並行して行われた、三重県産業支援センターが主催する「みえセルロースナノファイバー協議会」は、平成 27～29 年度の期間で開催された。続いて、平成 29 年度から平成 30 年度に 2 年に亘り、三重県工業研究所が「CNF 活用検討会」を開催した。

そうした、公設試による主導がある一方で、三重県における CNF 地域産業創出に向けた取組の最大の原動力は、CNF 製造事業を手掛ける地場の大手企業による牽引であることがヒアリングより得られた。同社が制動する CNF を起点に、上述の協議会、検討会にてマッチング支援等と推進したものの、技術面や価格面等を踏まえるとマッチングや用途開発は容易ではなく、支援の中で商用化に向けた継続的な取組を推進する樹脂加工事業者や製品製造事業者を発掘するには至らなかった。一方で、CNF 製造事業者独自での販路を開拓は実現しており、現在も地域を問わず継続されている。

また、三重大学との連携の中から、陶磁器の製造プロセスに CNF を添加し、CO2 排出削減を図る気付きを得て、三重県工業研究所窯業研究室が環境省「CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」を受託するに至っており、実証の結果を踏まえ、陶磁器産業が集積する中部圏、更には全国への普及を目指している。

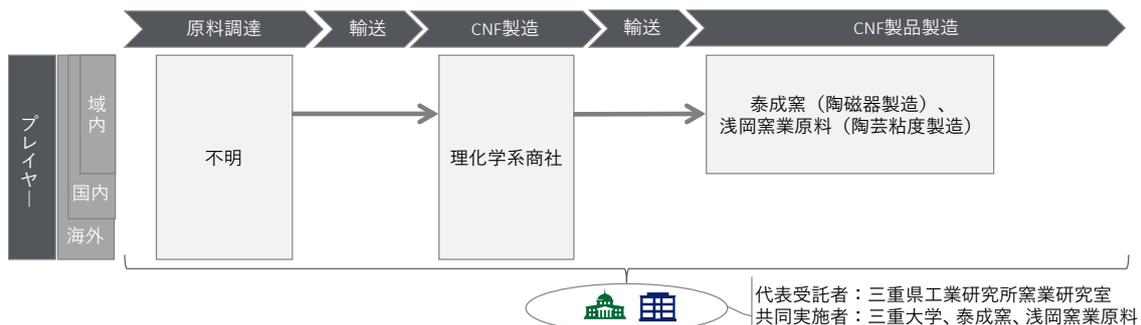


図 4.1-16 三重県 令和2年度時点のサプライチェーン例

出典：環境省、三重県（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」、環境省「CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」公開情報、ヒアリング結果を基に作成

凡例 青字：地域産業創出特有のコメント、(灰色字)：報告書等の文献よりデロイト記載

	課題	FSでの達成状況	FS以降での達成状況	継続的な課題
Politics (政治)	政策的な規制・補助	NA	<ul style="list-style-type: none"> 陶磁器の製造プロセスにCNFを添加し、CO2排出削減を図る環境省実証事業を受託中(産業支援センター) 	<ul style="list-style-type: none"> (国に求める支援として)用途開発への補助事業の実施、特に、産学官連携グループに対しての補助事業の実施を求める。(工業研究所)
Economy (経済)	用途開発によるコスト低減と安定供給	NA		<ul style="list-style-type: none"> 県内企業は、CNF事業のコストを検討する段階まで達していなかったのではないかと。(工業研究所) 陶磁器は単価が安く、何か添加すればコストが増加するため、コストが最大の課題になる。(工業研究所)
Society (社会)	最終ユーザーの地域での不足	NA (対象製品のメーカーのプレイヤーとしての関与なし)	<ul style="list-style-type: none"> FS事業での県内資源調査を三重大学の野中先生に協力いただき、交流が始まった。野中先生と議論する中で、陶磁器分野に可能性を見出し、環境省事業につながった。三重県のキーマンは野中先生と考えられる。(工業研究所) CNF活用検討会には「みえセルロースナノファイバー協議会」の会員を中心に県内外の企業が参加した。CNF製造事業者は、大企業Aや大企業Bで、その他は三重県内の、主に自動車関連製品の製造企業等、川中～川下にあたる二次製品や最終製品を製造する企業が参加していた。(工業研究所) 	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂製品で、実用化を担う樹脂成形加工業者やベレットを供給するメーカーで実施主体となる企業が見つからなかった。(産業支援センター) 大企業Aが三重県のCNF事業の一番の原動力。大企業AのCNFに限定されたため対象用途は限定できたが、大企業AのCNFとマッチする製品製造事業者が県内では見つからなかった。(工業研究所) 公設試は産業との繋がりは広く薄く、産産の創出に弱い。事業化には、技術面に加え、ビジネス面にも精通した企業出身のコーディネーターの支援が重要。業界の知見に加え、自身が持つコネクションも活かすクイックにコーディネートしてくれる。(工業研究所)
	環境整備の不足*	NA	NA	NA
Technology (技術)	CNFの品質にばらつきがある(品質の安定性)	NA	<ul style="list-style-type: none"> 工業研究所にはCNFの技術的知見はなかったが、技術的な観点では、大企業Aによるセミナーや引き合わせ、野中先生の紹介等で補うことができていた。(工業研究所) 	<ul style="list-style-type: none"> (高度部材製造にあたっては、)CNF添加による強度向上効果が、FS時点の2倍以上必要とされ、その達成が困難であると判断。(産業支援センター) 加工業者より、「CNFそのものは自社で加工できず、マスターバッチ化したベレットの供給が必要である」という意見があった。(産業支援センター)

* CNFの評価基準や(利用側の)受入基準、サンプル入手制限がある等、環境整備されていない

図 4.1-17 三重県のヒアリング結果 PEST分析

4.1.2 結果のまとめ

FS事業で取り組んでいたサプライチェーンの中で、事業期間終了後、静岡はメーカーでの商用化検討へ移行していた。一方で、岡山、三重は開発を保留していることが確認された。商用化に当たっては、第3章や巻末資料「CNF サプライチェーン構築及び拡大に向けた課題」でも確認されているように、CNF産業全体の課題である技術やコスト、最終製品メーカーの巻き込みが課題として挙げられた。

一方で、FS 事業以降には、地域の取組として、静岡県・岡山県では、それぞれ行政主導で地域コンソーシアムを立ち上げ、産業創出を支援しており、三重県では、三重県工業研究所窯業研究室が環境省の実証事業を受託している。

		静岡	岡山	三重
FS事業の その後の 進捗	ヒアリング 対象	静岡大学	岡山県、丸五ゴム工業(株)、 コーディネータ*	三重県産業支援センター*、 三重県工業研究所*
	FS後の 推進方針	メーカーでの商用化検討フェーズへ移行	研究開発・事業検討を保留、中止	
	FS後の 推進方針 の背景	<ul style="list-style-type: none"> FS事業での製品製造達成を受け、本製品に係る産学連携の研究開発はFSにて終了し、商用化に向けてトクラス(株)に引き継ぎ、製品開発を進めた。(未商用化) ※FS事業では、木粉の域内利用を想定したが、商用化にあたっては域外からの供給を想定している。 	<ul style="list-style-type: none"> CNFを凝集させない乾燥方法やゴムとの強力な結合方法確立に苦戦し、自動車メーカーの規格を満たす品質や十分な性能に達しなかった。 商用化により生産規模が拡大すれば低減は図れるものの、研究・開発時点で適正コストまで低減させることができなかった。 上記踏まえ、自動車メーカーとの共同開発がいったん中止となった。 	<ul style="list-style-type: none"> CNF添加による強度向上効果が、FS時点の2倍以上必要と考えられ、その達成が困難であると判断した。 樹脂製品で実用化を担う樹脂成形加工業者やベレットを供給するメーカーで、実施主体となる企業が見つからなかった。 研究開発等の事業予算の不足により、FSの事業モデルの継続検討はできなかった。
FS以降 の地域 の取組	ヒアリング 対象	富士市、静岡大学	岡山県、コーディネータ*	三重県産業支援センター*、 三重県工業研究所*
	取組 概要	<ul style="list-style-type: none"> 行政(富士市や静岡県)主導の下、地域プラットフォームを立ち上げ、情報提供や企業間の連携を支援。 県内外の川上～川下企業をPF会員とし、食品(菓子)や化粧品、トイレトペーパー等の製品で商用化を実現。 	<ul style="list-style-type: none"> 行政(岡山県)主導の下、地域プラットフォームを立ち上げ、コーディネータを活用した企業連携や、補助事業にて支援を実施。 ゴム手袋や安全靴(底)等を試作し、消臭剤等で商用化を実現。 	<ul style="list-style-type: none"> 環境省事業を受託し、陶磁器の製造プロセスにCNF添加し、CO2排出削減を図る実証事業を実施中(H30年度～)。

* 先方都合によりアンケートにて回答受領

図 4.1-18 文献調査・ヒアリング結果のまとめ

(1) 静岡県

FS 事業では、地域の森林資源を用いて、CNF を添加したキッチン部材製造からリサイクルまでの一貫した事業モデルの検討を行った。

FS 事業以降は、FS 事業で対象とした製品に関しては、商用化に向けて製品開発を実施していた。なお、商用化段階では域内に留まらず域外の主体も含めた事業モデルを検討していた。

地域内における取組としては、行政(静岡県や富士市)が主導しCNFに関する地域プラットフォームを立ち上げ、CNFに関する情報提供や企業間のマッチングを継続的に実施している。さらに、行政が主導となり地域内の産業誘発を目的にCNFに関する用途開発事業を実施し、食品や化粧品トイレトペーパー等の製品の商用化を実現していた。

(2) 岡山県

FS 事業では、地域の森林資源を用いて、CNF を添加した自動車用ゴム部材製造を試みた。製品製造については、自動車用製品に求められる品質・コストに課題が残り、ヒアリング時点では開発を保留している状況にあった。

FS 事業以降は、行政主導の下で地域コンソーシアムを立ち上げ、企業 OB のコーディネータを外部登用のうえ、企業マッチングや、補助事業の形で CNF 産業を推進しており、一部の製品では商用化を実現していた。

県内の代表的な CNF 製造事業者のひとつは、モリマシナリー(株)であり、本業の傍ら CNF 製造を数名体制で進めていた。大手の製造事業者のような大規模な生産体制による薄利多売を目指す事業モデルではなく、ニッチな市場でも高価格帯で取引可能な事業モデルを目指し、地場の森林組合や自治体・コーディネータ等と長い結びつきをもって、県内外での CNF 需要創出を進めていた。

(3) 三重県

FS 事業では、CNF の原料として、県内資源の利用可能性の検討や TEMPO 酸化 CNF の活用を想定した製品試作や性能評価を実施した。

FS 事業以降は、三重大学との連携や公設試主導の協議会・検討会の開催により、県内企業に対する情報提供や産官学ネットワークの構築が取り組まれた。そうした取組は、地場の大規模 CNF 製造事業者の後押しもあり、推進された。一方で、主体となる製品加工・製造事業者の発掘は容易ではなく、CNF 供給体制と地場産業がマッチせず、公設試支援の下での商用化には至らなかった。但し、CNF 製造事業者独自の CNF 販路開拓は実現している。また、現在は公設試が、陶磁器の製造プロセスに CNF を添加し、CO₂ 削減効果を図る環境省事業を受託しており、今後は、陶磁器産業を 1 つの足掛かりに、新規市場・雇用の創出、地域の活性化を目指すところである。

4.2 3 地域の地域特性の整理

4.1 では、各地域の CNF サプライチェーンに関する最新情報の整理を行い、各地域の CNF 供給体制及び CNF を活用した産業の実態が確認できた。各地域の取組を踏まえ、3 地域における CNF 地域産業創出の背景や可能性の把握を目的とし、地域特性の整理を行った。

CNF 原料調達、CNF 製造事業、CNF 製品製造それぞれの観点から、関連する地域特性を確認した。原料調達の観点では森林資源の規模等を把握した。また、CNF 製造事業の観点では、パルプ・紙・紙加工品産業、化学産業等の産業規模を確認した。加えて、CNF 製品製造の観点では、各地域の主たる製品製造業を確認した。特に、製品製造業については、FS 事業やその後の取組で対象となっている分野、また、CNF の適用が有望な分野に焦点を当て、情報を整理した。なお、CNF の適用が有望な分野は、3.2.2 における図 3-20 (「優先的に検討を行った「CO₂ 削減効果」が期待される分野・製品」) で削減効果が期待される分野に分類されているものとした。

4.2.1 静岡県の地域特性

文献調査及びヒアリング調査において、静岡県及び富士市では、製紙会社を中心に CNF を

基に、自動車用途も含めて CNF の用途開発を実施していた。CNF による地域産業創出モデルのサプライチェーンとなり得る、原料調達と CNF 製造（パルプ・紙・紙加工品、化学等）及び CNF 製品製造に関連する産業の状況に関して整理した。

（１）原料調達に関する産業の情報

静岡県は県の約 64%が森林となっていた。森林地域としては、天竜（浜松市など）、富士・愛鷹・箱根山麓（富士市、富士宮市、御殿場市など）、大井川・安倍川流域（静岡市、川根本町など）、伊豆半島になっていた。県の土地利用形態別構成及び森林計画を下記に示す。

地域内でのサプライチェーン構築に当たっては、森林所有者や CNF 製造場所と木材供給場所との距離等に留意しながら構築を行う必要がある。

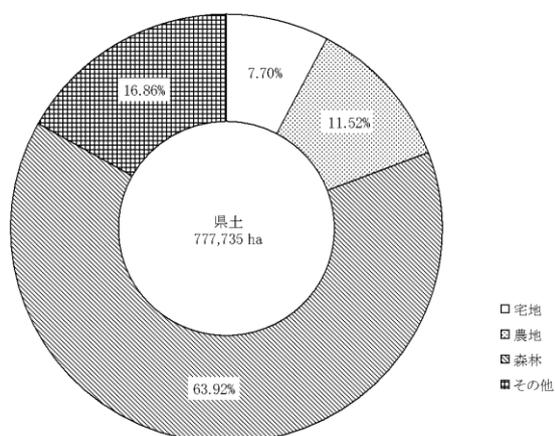


図 4.2-1 静岡県の土地利用形態別構成

出典：静岡県、「令和元年度静岡県の土地利用」、2017 年

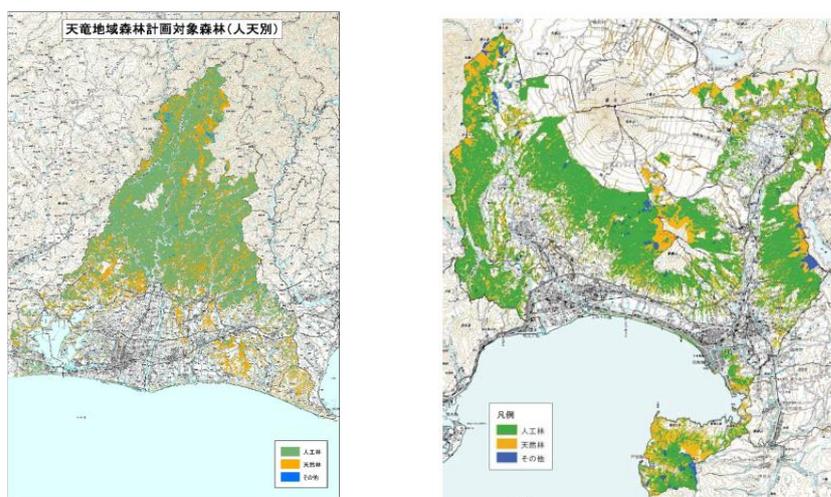


図 4.2-2 天竜地域（左）と富士地域（右）の静岡県の森林計画

出典：静岡県、平成 31 年静岡県の地域森林計画、2017 年

(2) CNF 製造及び CNF 製品製造に関連する産業の情報

1) 産業別生産額構成比

CNF 製造に対応する分野の状況としては、静岡県では「化学」の生産額構成比の割合が大きくなっていった。さらに富士市では、「パルプ・紙・紙加工品」、「化学」ともに生産額構成比の割合が大きくなっていった。

また、CNF 製品製造に関する分野の状況として FS 事業で着目したキッチン部材製造を含む「その他の製造業」は、静岡県、富士市ともに全国平均よりも生産額構成比の割合が低い、産業全体としてはやや上位に位置していた。さらに、CNF の適用が有望な分野を見ると、静岡県、富士市ともに「輸送用機械」が最も大きい割合となっていた。その他、静岡県では、「電気機械」や「はん用・生産用・業務用機械」、富士市では、「はん用・生産用・業務用機械」の割合が大きくなっていった。



図 4.2-3 静岡県の産業別生産額構成比

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

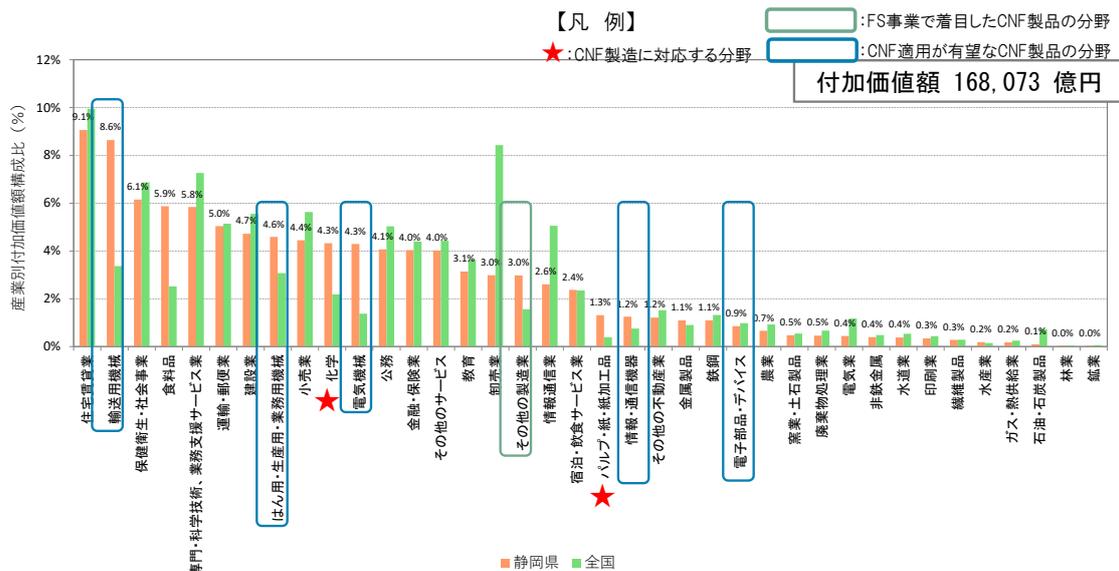


図 4.2-5 静岡県の産業別付加価値額構成比

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

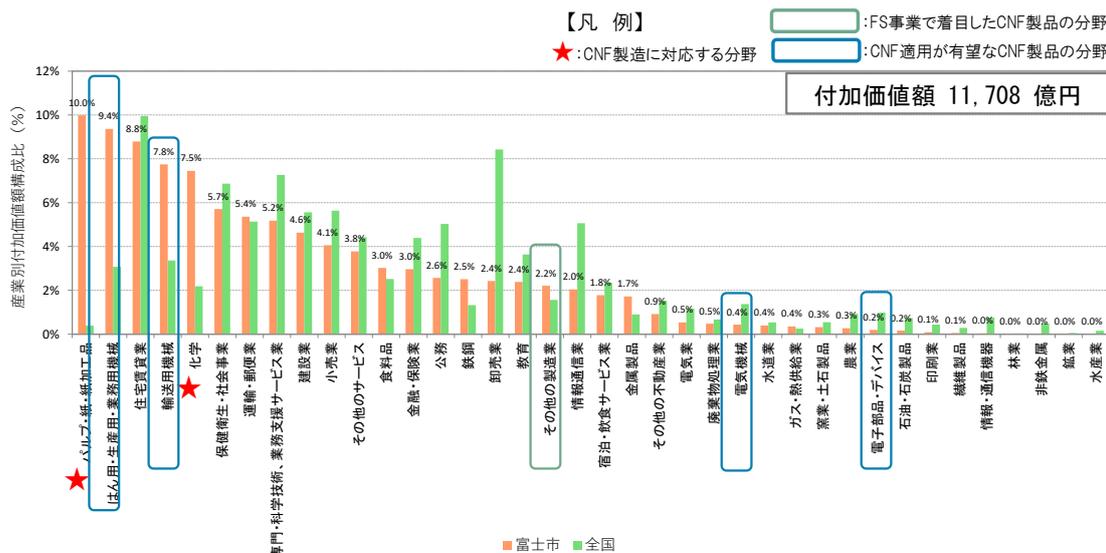


図 4.2-6 富士市の産業別付加価値額構成比

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

3) 産業間取引構造

静岡県は、「輸送用機械」に関する産業が本県の取引構造において重要な産業になっており、地域内で「卸売業」「鉄鋼」「非鉄金属」等から原料を調達していた。

また、富士市は、「輸送用機械」に関する産業が本市の取引構造において最も重要な産業になっており、次いで「パルプ・紙・紙加工品」、「化学」、「はん用・生産用・業務用機械」となっていた。「輸送用機械」は「卸売業」「非鉄金属」「電気機械」等、「パルプ・紙・紙加工品」は「卸売業」「電気業」等を地域内から原料を調達していた。

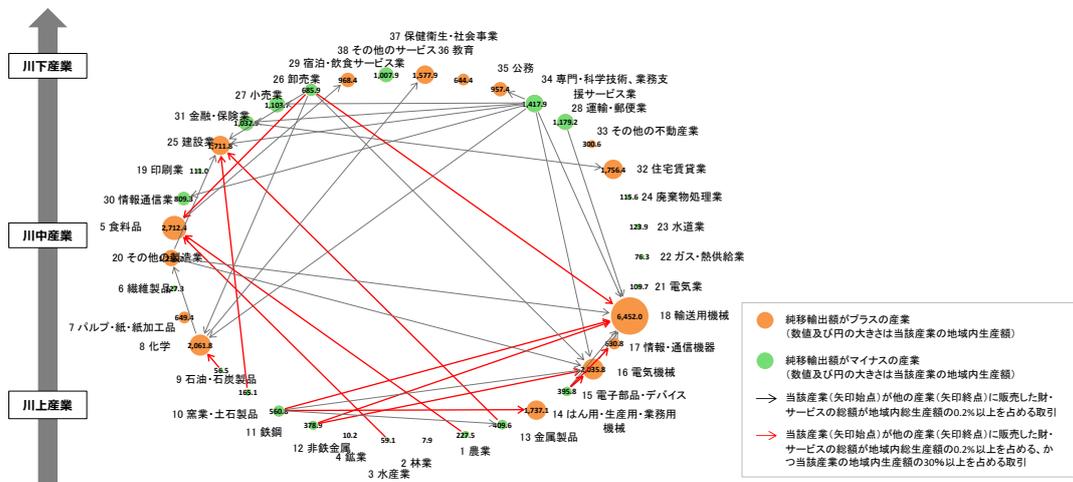


図 4.2-7 静岡県の産業間取引構造

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

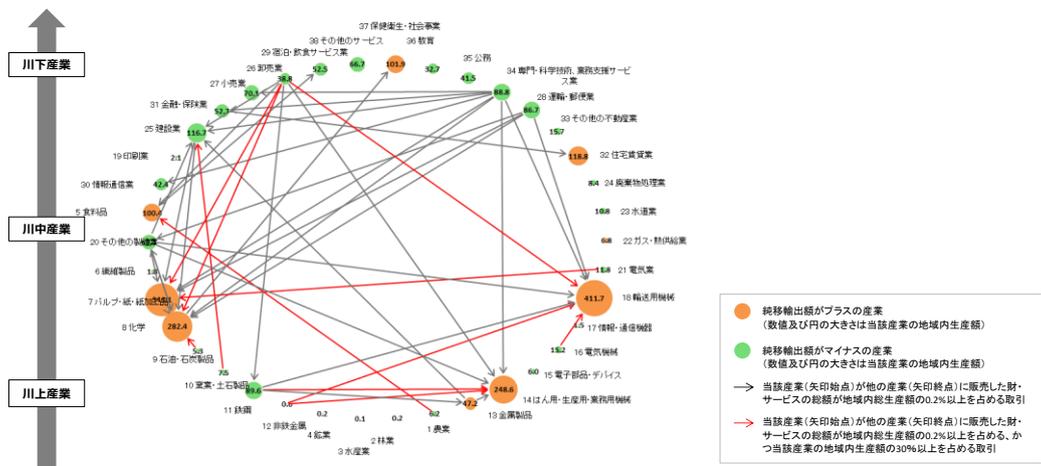


図 4.2-8 富士市の産業間取引構造

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

(3) 地域特性のまとめ

上述を踏まえ、静岡県及び富士市の CNF に関連する地域特性を以下に示す。

< 静岡県の地域特性 >

- ・ 県の約 64%が森林となっており、森林資源が豊富である。
- ・ CNF 製造に対応する分野の状況は、「化学」の生産額構成比の割合が比較的大きくなっていった。

- ・CNF 製品製造に関する状況は、FS 事業で着目した「その他の製造業」は生産額構成比がやや大きい。CNF の適用が有望な製品は、「輸送用機械」が全国平均を大きく上回り生産額構成比としても最も大きく、地域の重要な産業と考えられる。
- ・また、地域内の産業別付加価値をみても、「その他の産業」はやや大きい程度であった。一方で、「輸送機械」は最も重要な位置を占めていた。

<富士市の地域特性>

- ・富士市周辺には森林地域が存在している。
- ・CNF 製造に対応する分野の状況は、「パルプ・紙・紙加工品」、「化学」ともにの生産額構成比及び産業別付加価値の割合が大きくなっており、地域の重要な産業と考えられる。
- ・CNF 製品製造に関する状況は、FS 事業で着目したキッチン部材の製造を含む「その他の製造業」は生産額構成比がやや大きい程度であった。また、CNF の適用が有望な製品としては、生産額構成比及び産業別付加価値構成比が「輸送用機械」と「はん用・生産用・業務用機械」ともに全国平均を大きく上回り、地域の産業として重要な産業となっていた。

4.2.2 岡山県の地域特性

FS 事業において、岡山県では、県内の森林資源を含む木質バイオマスを活用した CNF を製造し、CNF を添加した自動車用ゴム部材の開発を実施していた。CNF による地域産業創出モデルのサプライチェーンとなり得る、原料調達と CNF 製造（パルプ・紙・紙加工品、化学等）及び CNF 製品製造に関連する産業の状況に関して整理した。

（1）原料調達に関連する産業の情報

岡山県は県の約 68%が森林である。豊富な森林資源を有することから、地球温暖化防止をはじめとする多面的な機能の維持・向上と、森林資源の活用による地域の活性化に取り組んでおり、森林資源を余すことなく利用するカスケード利用によって、資源活用の「伐って・使って・植えて・育てる」好循環を確立するため、森林資源の多方面での活用に向けた様々な取組を展開している。具体的には、平成 20 年度に、真庭産業団地内に間伐材や製材端材を集積する拠点として「真庭バイオマス集積基地」を整備し、木質バイオマスの利活用に係る資源の安定供給を可能としている。

土地利用形態別面積(ha)

※()内は森林に占める割合

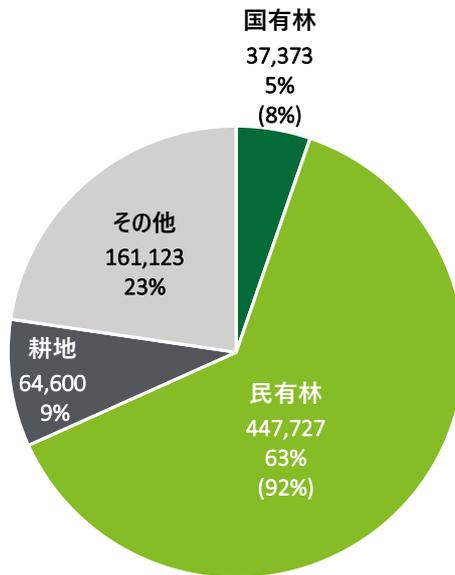


図 4.2-9 岡山県の土地利用形態別構成

* 平成30年3月31日、現在

出典：岡山県、「岡山県森林・林業統計（平成31年3月）」

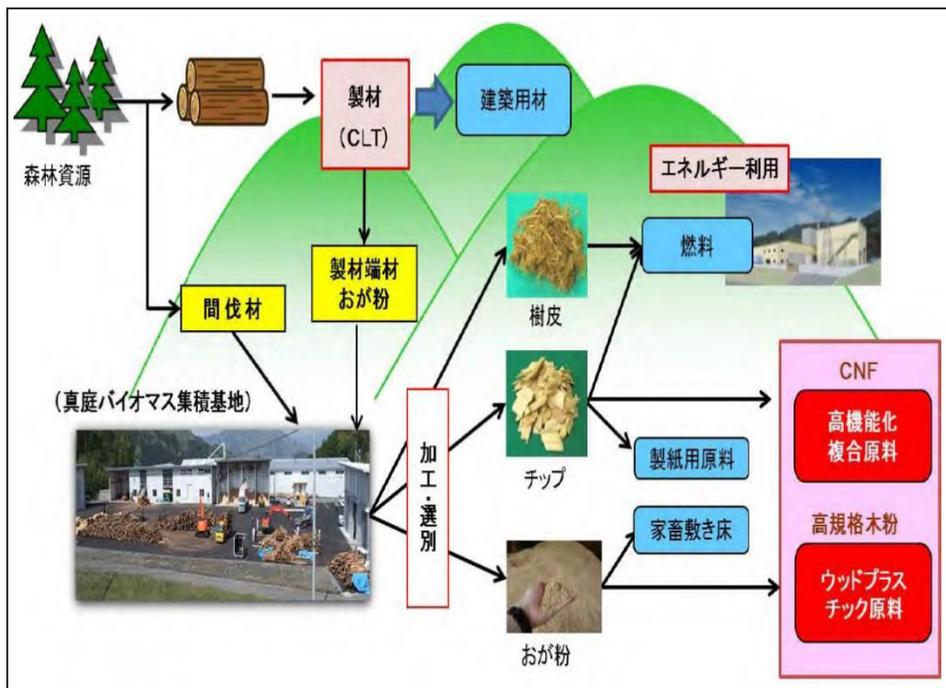


図 4.2-10 岡山県の木質資源のカスケード利用

出典：環境省、岡山県（2015）「平成27年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発FS委託業務報告書」

(2) CNF 製造及び CNF 製品製造に関連する産業の情報

1) 産業別生産額構成比

CNF 製造に対応する分野の状況としては、「化学」の生産額構成比の割合が全国平均を上回っており、県内の製造業では上位に位置する。

また、CNF 製品製造に関する分野の状況として FS 事業で着目した CNF 製品分野の「輸送用機械」は、全国平均よりも生産額構成比の割合が小さいが、県内の製造業では上位に位置する。「輸送用機械」以外で CNF の適用が有望な分野を見ると、「はん用・生産用・業務用機械」、「電子部品・デバイス」、「電気機械」等の生産額構成比は、全国平均を下回っているが、建材・断熱材等を含む「その他の製造業」は、全国平均を上回っている。

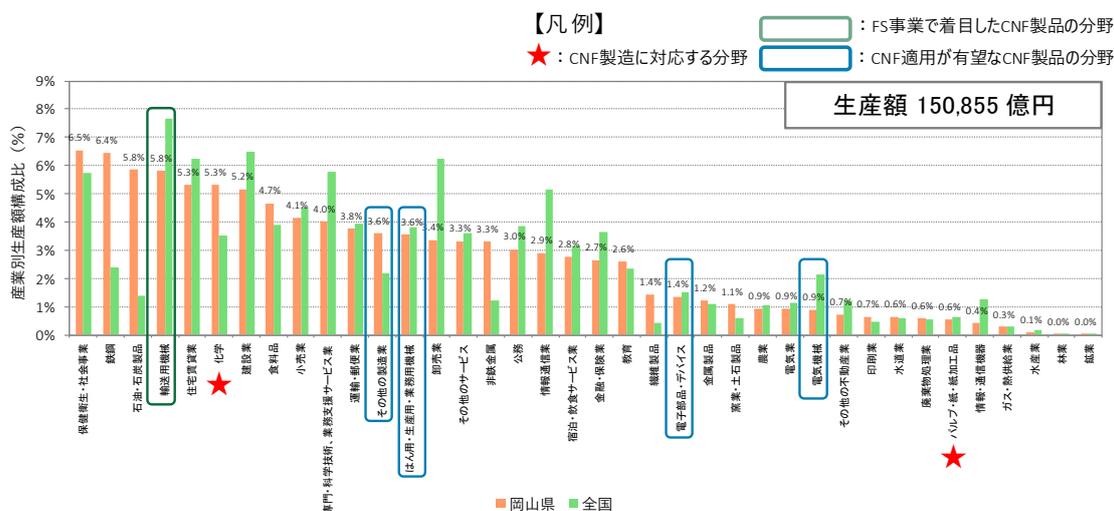


図 4.2-11 岡山県の産業別生産額構成比

出典：環境省，2015年版地域経済循環分析

2) 産業別付加価値額構成比

CNF 製造に対応する分野の状況としては、「化学」の付加価値額構成比の割合が全国平均を上回っており、県内の製造業では上位に位置する。

また、CNF 製品製造に関する分野の状況として CNF の適用が有望な分野の「はん用・生産用・業務用機械」は、全国平均よりも付加価値額（地域の中での所得額）構成比の割合が小さいが、県内製造業の中で上位に位置する。「はん用・生産用・業務用機械」以外で CNF の適用が有望な分野を見ると、「輸送用機械」、「電子部品・デバイス」、「電気機械」等の生産額構成比は、全国平均を下回っているが、建材・断熱材等を含む「その他の製造業」は、全国平均を上回っている。

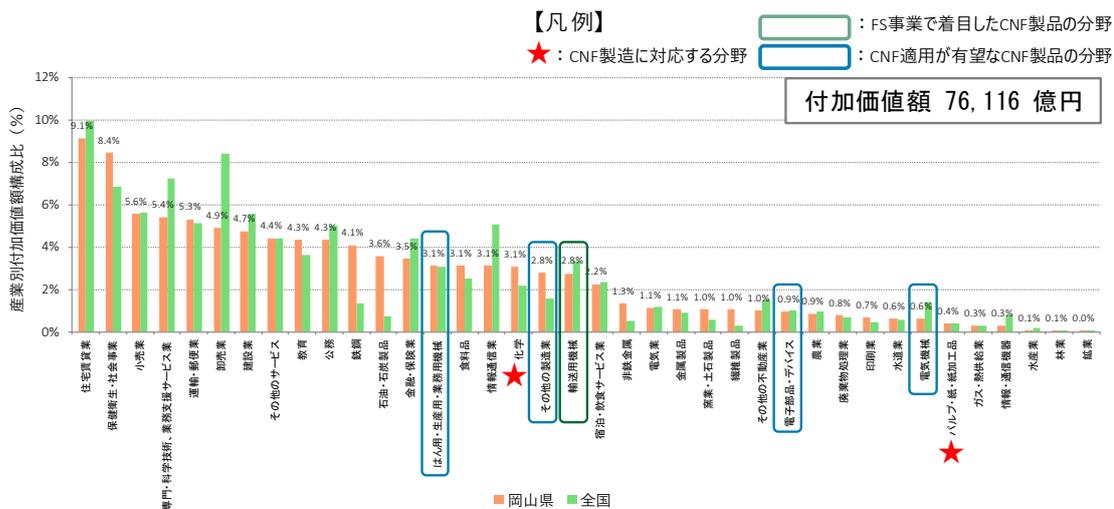


図 4.2-12 岡山県の産業別付加価値額構成比

出典：環境省, 2015年版地域経済循環分析

3) 産業間取引構造

FS事業で着目したCNF製品分野の「輸送用機械」は、地域内生産額の大きさと上位に位置し、岡山県の取引構造において、重要な産業である。「輸送用機械」は主に「鉄鋼」や「その他の製造業」から原材料を調達している。

全体としては、「輸送用機械」をはじめとし、建材・断熱材等を含む「その他の製造業」、「はん用・生産用・業務用機械」、「電子部品・デバイス」といったCNFの適用が有望な分野を含む、多くの川上～川中の製造業で純移輸出額がプラスとなっており、全国的に見ても高い需要を獲得できていることが分かる。

4.2.3 三重県の地域特性

FS 事業において、三重県では、CNF 原料としての県内バイオマス資源の活用を検討した。CNF 製品としては、断熱材、水素透過膜、不織布や糸等の繊維集合体での高機能フィルター、高機能フィルムといった高度部材用途を対象に、用途開発を検討した。CNF による地域産業創出モデルのサプライチェーンとなり得る、原料調達と CNF 製造（パルプ・紙・紙加工品、化学等）及び CNF 製品製造に関連する産業の状況に関して整理した。

（1）原料調達に関連する産業の情報

三重県は県の約 64%が森林である。4.1.1（1）で示したとおり、FS 事業で、県内のバイオマス資源についての調査・検討の結果、切捨間伐材、製材廃材が、CNF 原料として可能性が高いことが確認されている。FS 事業における、CNF 原料としての各バイオマス資源のポテンシャルの検討結果を表 4.2-1 に示す。

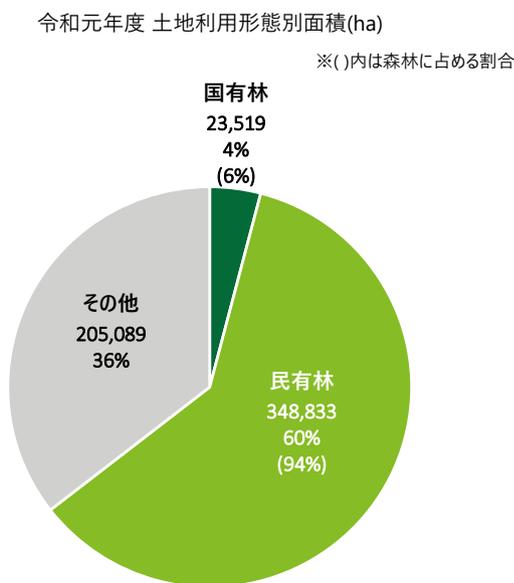


図 4.2-14 三重県の土地利用形態別構成

出典：三重県「令和元年度版 森林・林業統計所」

表 4.2-1 三重県内のバイオマス資源調査結果のまとめ

バイオマス種	分類	分類	賦存量	利用可能量	集材コスト	加工コスト	安定性	総合評価
林地残材	木質系	未利用系	△	×	○	◎	○	○
切捨間伐材	木質系	未利用系	○	△	○	◎	○	◎
製材廃材	木質系	廃棄物系	○	△	◎	◎	◎	◎
タケ	木質系	未利用系	◎	△	△	○	○	○
果樹剪定枝	木質系	未利用系	○	△	×	○	○	△
稲わら	農業残渣	未利用系	◎	△	○	△	△	○
もみ殻	農業残渣	未利用系	△	△	○	△	△	○
麦わら	農業残渣	未利用系	△	×	△	△	△	×
農業残渣	農業残渣	未利用系	△	△	○	×	×	×
ササ	草本系	未利用系	×	×	×	×	△	×
ススキ	草本系	未利用系	◎	◎	△	△	△	○
建築系廃材	木質系	廃棄物系	◎	△	△	△	△	△
公園剪定枝	木質系	廃棄物系	△	×	○	○	△	△
海藻資源	海藻系	未利用系	-	-	◎	×	△	△

※ 出典上の図では、◎・○・△・×の凡例、分類の基準値の記載ないため、以下を出典より補足。
 ・賦存量 (DW-t/年) ◎：143,849～13,099、○：101,594～6,776、△：20,667～1,776、×：435
 ・利用可能量 (DW-t/年) ◎：33,701、△：21,577～2,895、×：2,194～435
 ・集材コスト 既存の集材の仕組みがあることなどは有利、分布が極端に偏っているものは不利と評価（具体的な数値の記載なし）
 ・加工コスト 原材料の加工法が確立されているか、パルプ化、CNF化の仕組みがあるか、その他の周辺コストなどを検討した結果から評価（具体的な数値の記載なし）
 ・安定性 気象状況や季節、産地による品質のバラつきについて検討した結果から評価（具体的な数値の記載なし）
 ・総合評価 各項目に重み付けをして算出（具体的な数値の記載なし）

出典：環境省、三重県（2015）「平成 27 年度地域における低炭素セルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務報告書」

（2）CNF 製造及び CNF 製品製造に関連する産業の情報

1）産業別生産額構成比

CNF 製造に対応する分野の状況としては、「化学」の生産額構成比の割合が全国平均を上回っており、県内の製造業で上位に位置付けている。

また、CNF 製品製造に関する分野の状況として、三重県で生産額が最も大きい産業は「輸送用機械」であり、FS 事業で着目した CNF 製品分野の「化学」や CNF の適用が有望な分野の「電子部品・デバイス」も上位である。「輸送用機械」、「化学」、「電子部品・デバイス」や、FS 事業で着目した断熱材を含む「その他の製造業」の生産額構成比は全国平均を大きく上回っている。「はん用・生産用・業務用機械」や「電気機械」も全国平均を上回っており、全国的に見ても、三重県は、CNF の適用が有望される産業の構成比が大きいことが分かる。

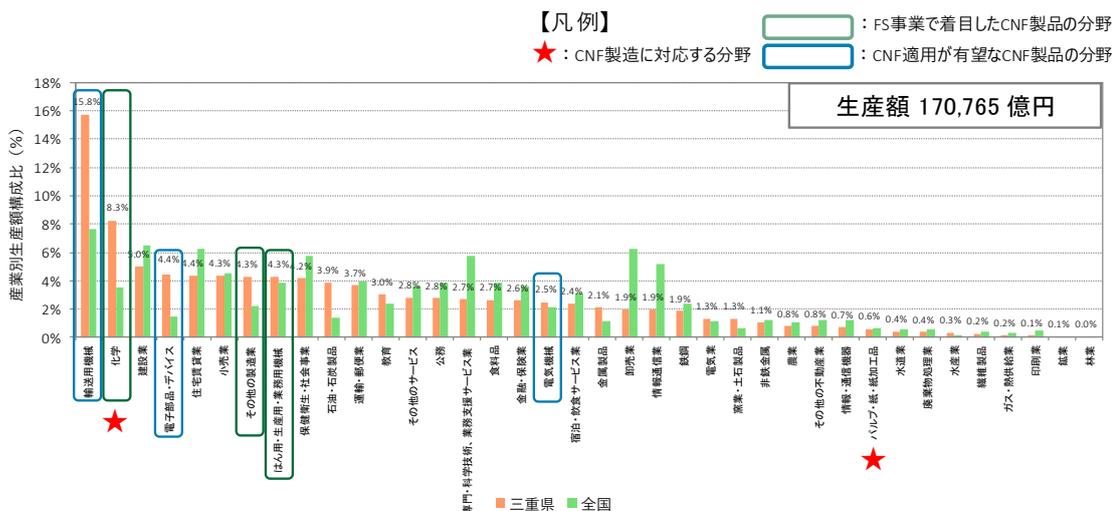


図 4.2-15 三重県の産業別生産額構成比

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

2) 産業別付加価値額構成比

CNF 製造に対応する分野の状況としては、「化学」の付加価値額構成比の割合が全国平均を上回っており、県内の製造業で上位に位置付けている。

また、CNF 製品製造に関する分野の状況としては、三重県の製造業で付加価値額が最も大きい産業は「輸送用機械」であり、「化学」、「はん用・生産用・業務用機械」、「電子部品・デバイス」、「その他の製造業」と続く。「輸送用機械」、「化学」、「電子部品・デバイス」、「その他の製造業」の付加価値額構成比は全国平均を大きく上回っている。「はん用・生産用・業務用機械」や「電気機械」も全国平均を上回っており、三重県は、付加価値額構成比においても、CNF の適用が期待される産業の比率が大きいことが分かる。

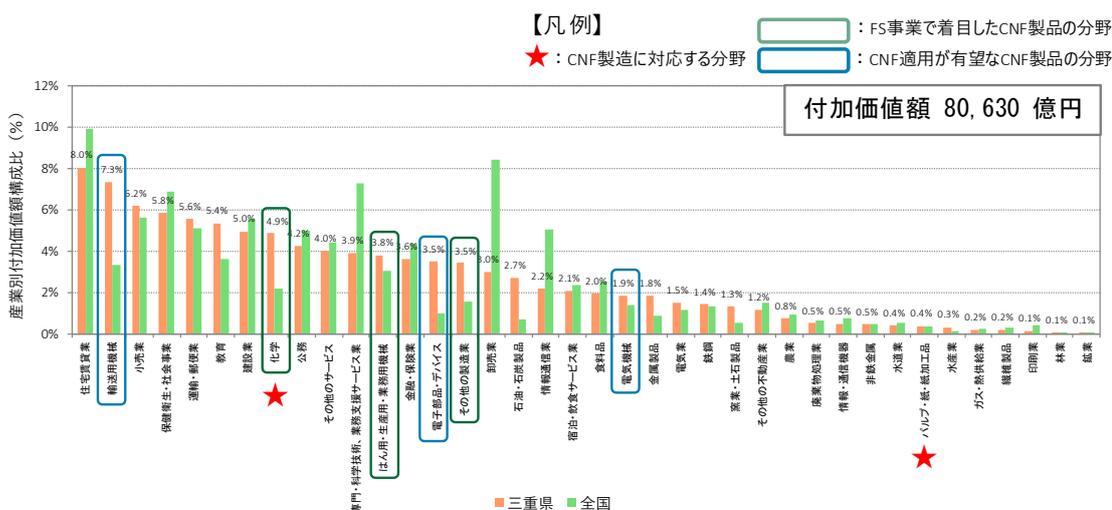


図 4.2-16 三重県の産業別付加価値額構成比

出典：環境省, 2015 年版地域経済循環分析

3) 産業間取引構造

三重県では、製造業に関わらず「輸送用機械」の地域内生産額が最も多く、地域内の「鉄鋼」や「非鉄金属」等の産業にとって大きな取引先となっており、取引構造において重要であると言える。

「輸送用機械」をはじめとし、「化学」、「はん用・生産用・業務用機械」、「電子部品・デバイス」、「その他の製造業」といった CNF の適用が有望な分野を含む多くの川上～川中の製造業で純移輸出額がプラスとなっており、全国的に見ても高い需要を獲得できていることが分かる。

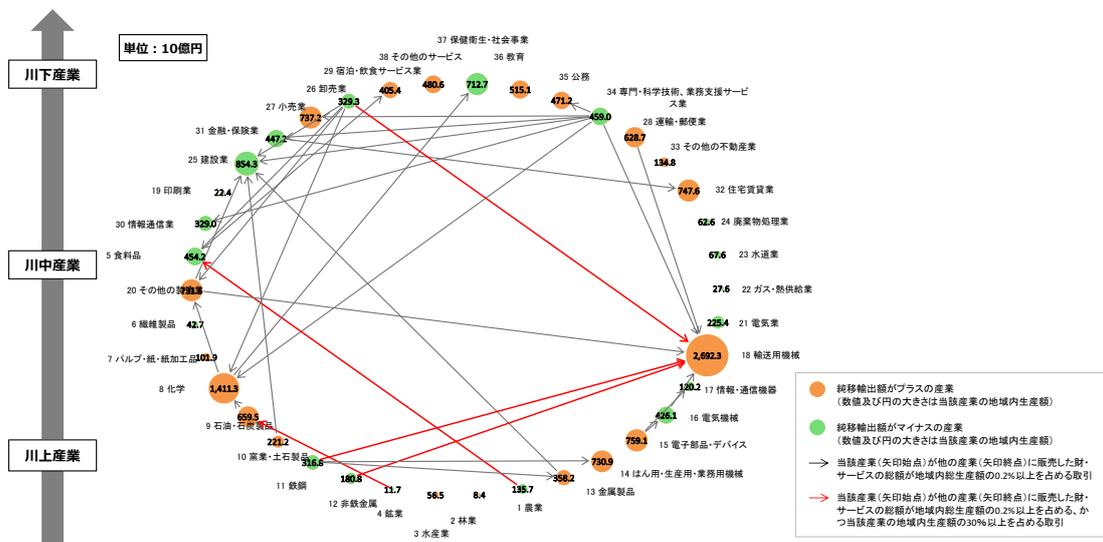


図 4.2-17 三重県の産業間取引構造

出典：環境省, 2015年版地域経済循環分析

(3) 三重県の地域特性のまとめ

(1)、(2) を踏まえ、三重県の CNF に関連する地域特性を以下に示す。

<三重県の地域特性>

- ・ 三重県は県の約 64%が森林となっており、森林資源が豊富である。
- ・ 県内の切捨間伐材、製材廃材といったバイオマス資源は、CNF 原料として活用できる可能性が高い。
- ・ CNF 製造に対応する分野の状況は、「化学」の生産額構成比の割合が県内で 2 番目に大きい産業である。
- ・ CNF 製品製造に関する状況は、「輸送用機械」が、生産額構成比が、最も大きい産業であり、「化学」や「電子部品・デバイス」も上位である。CNF の適用が有望な全ての産業が、全国平均を上回っている。

- ・また、「輸送用機械」は、製造業の中で、付加価値額の高い産業として上位に位置し、CNFの適用が有望な全ての産業が、全国平均を上回っている。
- ・「輸送用機械」、「化学」、「はん用・生産用・業務用機械」、「電子部品・デバイス」、「その他の製造業」といった CNF の適用が有望な分野を含む多くの川上～川中の製造業で、全国的にも高い需要を獲得している。

4.3 CNF の地域産業創出モデルの詳細検討

CNF の地域産業創出の推進を図るために、CNF 製造事業の事業性検証と CNF 製造と CNF を活用した製品製造等による地域経済効果の推計についてケーススタディを実施した。

ケーススタディの実施に当たっては、CNF 製造事業の事業性検証を行う観点から、CNF 製造事業の規模別に 2 種類の事業モデルを想定した。

1 つ目は、中小規模の CNF 製造事業者を想定した少量生産高価格モデル、2 つ目は大規模な CNF 製造事業者を想定した大量生産低価格モデルである。

少量生産高価格モデルは、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る。また、個々の取引量も小規模であり、高額な輸送コストが生じる懸念があるモデルである。

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 製造事業を展開し、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ある。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る。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である。

上記 2 種類の事業モデルの設定に当たっては、前述の 4.1、4.2 で整理した静岡県、岡山県、三重県の FS 事業の情報を踏まえ、CNF 製造事業者へのヒアリング等も踏まえ検討・設定した。

表 4.3-1 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 ・域内の事業者が CNF を製造 ・高価格製品用として、域内製品製造事業者を中心に CNF 需要を創出
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の大手事業者が CNF を製造 ・低価格製品用として域内外メーカーに CNF を利用

マイクロ検討・マクロ検討では、少量生産高価格モデル、大量生産低価格モデルについてそれぞれ具体的な事業モデルを設計し、プロセスを追って検討を行った。

マイクロ検討では、はじめにヒアリング等をベースに CNF の生産量や価格等 CNF プラント

の事業モデルを設計した。設計モデルに基づき、施設の概略設計、施行計画、事業概要の算定を行った後、感度分析によって事業性を検証した。

マクロ検討では、前段のマイクロ検討で事業性を確認した設計モデルに基づき、地域産業創出のメリットが活きるサプライチェーンを検討した。そのうえで、検討したサプライチェーンに紐づく地域需要の把握・推計、CNFプラント総生産量の推計を行い、最終的に地域への経済波及効果等の地域メリットを推計した。

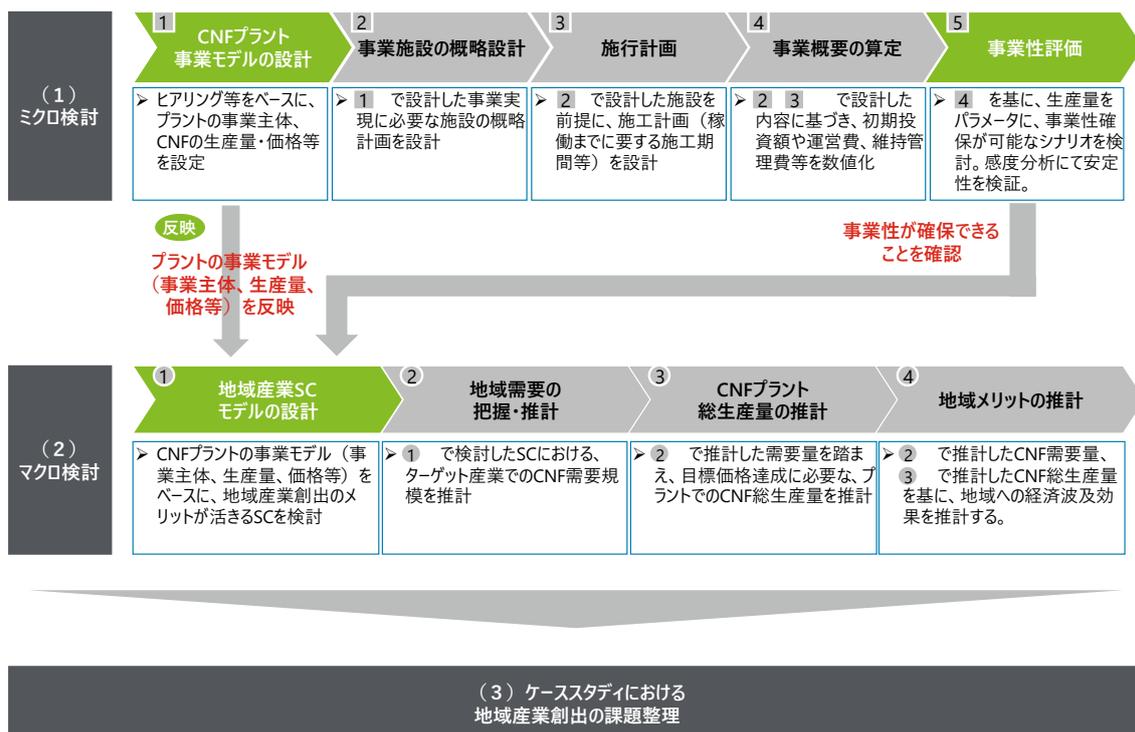


図 4. 3-1 ミクロ検討・マクロ検討の全体像と関係性

4.3.1 少量生産高価格モデルの検討

(1) ミクロ検討

化学産業が集積する工業地帯内に、機械的処理により 5%固形分 CNF 水分散体（ペースト状）を製造するプラントを設立し、年間 1,000t/年を 500 円/kg で販売する少量生産高価格モデルについて、事業性を検証した。

1) 事業モデル設計

FS 事業をはじめ、複数の CNF 製造事業者へのヒアリングを踏まえ事業設計を行った。

事業主体は中小規模の新会社とし、年間生産量 1,000t/年、販売価格 500 円/kg を目標に 5%固形分 CNF 水分散体（ペースト状）を製造するプラントを設立する。

ターゲット製品は機能性添加材とし、プラントの設置地域は、それら化学工業製品の出荷額が国内最大規模の工業地帯内と想定とした。ターゲットとする機能性添加材は、具体的にはインク、塗料、化粧品増粘剤等を想定し、少量添加による高付加価値化を目指す。

モデルプラント	
■ 事業主体	: 新会社（または、新拠点で新規に事業を開始） ※CNFという素材に着目し、新たに会社、プラントを設立
■ 原料・製造方法	: 地域内針葉樹由来のパルプ・機械的処理 ※地域密着型企業として、 <u>地域資源</u> を活用
■ 生産量・価格	: 年間50t生産、10,000円/kg ^{*1} （5%固形分：年間1,000t生産、500円/kg） ※既存の施設や設備等を持ち合わせないため、薄利多売ではなく、 <u>高付加価値化</u> を目指し、 <u>少量生産高価格帯</u> に設定
■ CNF形状・想定用途	: 5%固形分CNF水分散体（ペースト状） 機能性添加材（インク、塗料、化粧品の増粘剤等） ※ <u>高価格帯でも、少量の添加でCNFの活用メリット（高付加価値化）</u> を享受できる機能性添加材を対象
■ プラント設置地域	: 想定用途の製品を含む化学産業が集積するA工業地帯

* ヒアリングを基に弊社作成、^{*1} 類似プラントへのヒアリングに基づく現状値は、令和2年時点で年間2~3t生産、30,000円/kg

図 4.3-2 「少量生産高価格モデル」の事業モデル

2) 事業施設の概略設計

新会社が事業主体となることを想定していることから、施設の建設用地として、新たに 1,000 m²の土地を取得し、各施設・設備を新規に建設する。建設する施設・設備としては、CNF 製造施設に加え、原材料や製品の倉庫や、事務室、駐車場等が挙げられる。CNF 製造方法は機械的処理であるため、大規模な設備は想定せず、CNF 製造施設と事務室等を一つの建物にまとめ、面積は 300 m²とした。

項目	内容	
CNF製造施設	原材料を受け入れてCNFを製造するための設備および、これらを収容する建屋（鉄骨造1階建て）からなる。	新規建設
原材料・製品倉庫	原材料及び完成したCNFを一時保管する。（鉄骨造1階建て）	
電気室	CNF製造施設の動力及び関連施設の照明用電力の制御管理をする。	
事務室	CNF製造および施設内全体の管理をする。（軽量鉄骨1階建て）	
アクセス道路	原材料及び完成したCNFを運搬する車両が通行する。（アスファルト舗装）	
駐車場	運搬車及び職員用車両を駐車する。（アスファルト舗装）	
外構	外部からの侵入を防ぐ。	
植栽帯	騒音を軽減し景観を良好に保つ。	

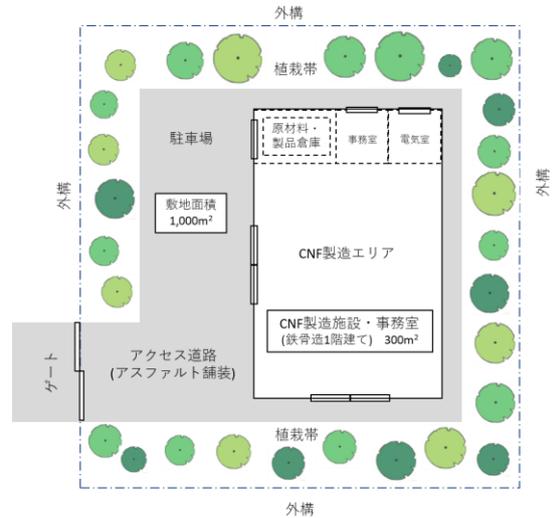


図 少量生産高価格モデル事業施設 レイアウト例

図 4.3-3 「少量生産高価格モデル」 事業施設の概略計画

3) 施行計画

供用開始までに要する全期間は、約2年半と想定した。設計期間は、基本設計・詳細設計を合わせて約1年とし、土木建築工事およびプラント工事を約1年3か月で完了させ、その後、試運転を約半年間実施し供用を開始する。

年次	1				2				3	
四半期	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
基本設計	■	■								
詳細設計		■	■	■						
土木建築工事				■	■	■	■			
プラント工事						■	■	■		
試運転									■	■

図 4.3-4 「少量生産高価格モデル」 施工計画

4) 事業概要の算定

事業期間を施設の供用開始から15年間とした。少量生産高価格モデルでは、小口取引が多く、需要拡大まで一定の期間を要することが想定されるため、CNF水分散体（5%固形分）年間生産量は、2段階に分け、前半の7.5年間はプラントの生産可能量の1/2である500t/年の規模で生産し、後半の7.5年間はプラントをフル稼働して1,000t/年の規模で生産することとした。

初期投資は、土地代、CNF製造施設建設および製造設備費等からなり、CNF水分散体（5%固形分）年間生産量1,000tの場合、試運転費、金利を含め、約4.8億円/式とする。生産量が増加した場合でも、一定の変化内であれば、事業施設の設計は変更を想定していないため、施設等建設費や土地代は変動しないものとする。

年間支出は、原材料費（パルプ）、梱包資材、人件費、研究開発費、水道・下水道、電気、燃料、施設・設備維持管理費、研究開発費、一般管理費、産業廃棄物処理費、保険料、材料金利からなり、CNF水分散体（5%固形分）年間生産量1,000tの場合、約1.9億円/年となる。梱包資材は、個々の取引量が小規模で配送量も少量になることや水分散体であることなどからヒアリングに基づき、売上の10%を計上した。人件費は、1,000t/年から年間生産量に変化した場合でも、最低限必要な人員構成であるため、変動しないものとする。研究開発費は、高付加価値化を目指すというモデルの特性から個別の取引先の状況に合わせてアルコール分散体の開発等の改良が必要と想定しているため、売上の3%を計上した。水道・下水道費は、新規に建設した施設であることから、製紙会社のように独自に入手できる水がないため、ヒアリングに基づき生産量の100倍の水が必要であるとした。

表 4.3-2 少量生産高価格モデル事業の初期投資額・年間支出額（1,000t/年の場合）

大項目	小項目	内容
初期投資額		
(1) 施設等建設費		70,000,000円※施設規模より推計
(2) 設備機械等導入費		
	製造設備費 (200t/年 生産)	60,000,000円/台
	分析機器	30,000,000円/式
		= (60,000,000円/台×5台) +30,000,000円=330,000,000円
(3) 土地代		
	敷地面積	1,000㎡
	土地単価	24,000円/㎡
		=1,000㎡×24,000円/㎡=24,000,000円
(4) 調査設計費		
		施設・設備建設費×5%
		= (70,000,000+330,000,000) 円×5%=20,000,000円
(5) 建中金利		
		(施設・設備建設費および調査設計費) の3%
		6,883,673円※施工計画に基づき試算
(6) 試運転費		
		(原材料費・人件費・産廃処理費) ×5%+金利
		((6,315,789+52,000,000+55,556) 円×5%) ×(1.03 ^{0.5} -1)=26,811,917円
初期投資額合計		478,697,598円
年間支出額		
(1) 原料費		
	原料パルプの単価	120円/kg
	CNF1kg当たりの 使用量	1kg
	歩留まり率	95%
		=120円/kg×1,000t/年×5%固形分×1kg÷95%=6,315,789円
(2) 梱包資材費		
	売上比率	10%
	売上	500円/kg×1,000t/年=500,000,000円
		=500,000,000円×10%=50,000,000円
(3) 人件費		
	班数・各班の人数	1班（班長：1人、副班長：1人、班員：1人）
	年間稼働日数	290日/年
	人件費単価	班長：80,000円/日、副班長：60,000円/日、班員：40,000円/日
		=1班×(80,000+60,000+40,000) 円/日×290日/年=52,000,000円
(4) 研究開発費		
		売上×3%
	売上	500円/kg×1,000t/年=500,000,000円
		=500,000,000円×3%=15,000,000円
(5) 電気代		
		原料費×15%
		6,315,789円×15%=947,368円

大項目	小項目	内容
(6) 水道・下水道費	CNF1t当たりの使用量	100m ³
	使用単価	水道：350円/m ³ 、下水道：170円/m ³
		=1,000t/年×5%固形分×100m ³ ×(350+170)円/m ³ =2,600,000円
(7) 施設・設備維持管理費		施設・設備建設費×10% 400,000,000円×10%=40,000,000円
(8) 一般管理費		(原料費+梱包資材費+人件費+研究開発費+電気代+水道・下水道費+施設・設備維持管理費)×10% =(6,315,789+50,000,000+52,000,000+15,000,000+947,368+2,600,000+40,000,000)円×10% =16,706,316円
(9) 産廃処理費		年間生産量×5% (歩留まり率95%) 1,000t/年×5%固形分×5%÷0.9(t/m ³)×20,000円/m ³ =55,556円 出典：神奈川県版2020年5月
(10) 材料・人件費の金利		(原料費+梱包資材費+人件費+研究開発費+電気代+水道・下水道費+施設・設備維持管理費+産廃処理費)の6か月分の3% (6,315,789+50,000,000+52,000,000+15,000,000+947,368+2,600,000+40,000,000+55,556)円×(1.03 ^{0.5} -1) =2,488,257円
(11) 保険料		施設・設備建設費×0.25% 出典：環境省平成28年度廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入実現可能性調査委託業務 400,000,000円×0.25%=1,000,000円
年間支出額合計		187,313,286円

項目	内容	CNF(5%固形分)生産量*1				算出根拠
		400t/年	600t/年	800t/年	1,000t/年	
1. 初期投資	(1) 施設等建設費	7,000				施設規模より推計
	(2) 製造機械等導入費	15,000	21,000	27,000	33,000	製造設備(生産能力200t/年):6,000万円/台、分析機器:3,000万円
	(3) 土地代	2,400				施設面積:1,000m ² 、土地単価:24,000円/m ²
	(4) 調査設計費	1,100	1,400	1,700	2,000	施設・設備建設費の5%
	(5) 建中金利	475	510	599	688	(調査設計及び施設・設備建設費)の3%
	(6) 試運転費	2,662	2,668	2,675	2,681	(原材料費・人件費・産廃処理費)の5%+金利
2. 年間支出	(1) 原材料費(パルプ)	253	379	505	632	単価:120円/kg、CNF1kg当たりの使用量:1kg、歩留まり率:95%
	(2) 梱包資材費*2	2,000	3,000	4,000	5,000	売上の10%として試算
	(3) 人件費	5,220				班長:8万円/日、副班長:6万円/日、班員:4万円/日、各1人、1班
	(4) 研究開発費*3	600	900	1,200	1,500	収入の3%
	(5) 電気、燃料	38	57	76	95	原材料費の15%
	(6) 水道、下水道	104	156	208	260	生産量の100倍
	(7) 施設・設備維持管理費	2,200	2,800	3,400	4,000	施設・設備建設費の10%
	(8) 一般管理費	1,041	1,251	1,461	10,000	(1)~(7)の10%
	(9) 産廃処理費	2	3	4	6	生産量×5% (歩留まり95%)÷0.9(t/m ³)×単価20,000円/m ³
	(10) 材料金利	155	186	218	249	(1)~(7)、(9)の6か月分の3%
	(11) 保険料	55	70	85	100	施設・設備建設費の0.25%
	合計	11,668	14,022	16,377	18,731	
3. 収入		20,000	30,000	40,000	50,000	価格500円/kg (5%固形分)
4. その他	(1) 自己資本率	25%				
	(2) 法人税率	30.81%				
	(3) 減価償却年数・方法	15年、定額法				
	(4) 固定資産税率等	1.4%固定				
	(5) 長期借入金の金利	3.0% (15年元利均等)				

*1 製造設備1台あたりの生産能力が200t/年(5%固形分)であるため、最大稼働させることを想定し、200t/年(5%固形分)ごとに生産量を変化させる

*2 少量生産高価格モデルでは、配送ロットが小さく、水分分散体であるため、計上。

*3 少量生産高価格モデルでは、取引先の状況等に合わせた改良製品(アルコール分散体等)の開発に要すると想定。

図 4.3-5 「少量生産高価格モデル」 事業概要の算定

5) 事業性評価

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をターゲットとし、高価格帯で販売するというモデル特性を踏まえ、販売価格を固定し、CNF水分分散体(5%固形分)年間生産量をパラメータに400t、600t、800t、1,000tの4つのシナリオ

に対して事業性を検証した。

検証に当たっては、PIRR (Project Internal Rate of Return : プロジェクトIRR) を評価指標とし、EIRR (Equity Internal Rate of Return : 配当IRR)、DSCR (Debt Service Coverage Ratio : 元利金返済カバー率) を参考指標とした。指標の目安は、PIRR : 4~8%以上、EIRR : 8~10%以上、DSCR : 1.30~1.50以上とした。PIRRの目安は、対象事業のリスクの大きさにより決まり、CNF事業は、大規模な太陽光発電事業や風力発電事業と同程度のリスクと想定した。

その結果、いずれのシナリオであっても、事業性評価指標 (PIRR) の目安値を達成した。CNF水分散体 (5%固形分) 年間生産量 600t 以上であれば、参考指標 (EIRR・DSCR) の目安値も併せて達成し、より高い事業性を確保できることが確認された。

指標名称	指標の定義	事業化の一般的な目安
PIRR	Project Internal Rate of Return : プロジェクトIRR 投資額を資本金+借入金 (全投資額)、キャッシュフローとして融資に対する返済額を含まないフリーキャッシュフローを用いて算出する内部収益率。 投資額 = $\sum(n\text{年後のフリーキャッシュフロー}/(1+R)^n)$ R : PIRR	4~8%以上
EIRR (参考)	Equity Internal Rate of Return : 配当IRR 投資事業を純粋な株式投資と見立てた場合の指標。投資額を自己資本 (資本金+株主融資)、キャッシュフローを当期余剰金として算定する内部収益率。 投資額 = $\sum(n\text{年後の当期余剰金}/(1+R)^n)$ R : EIRR	8~10%以上
DSCR (参考)	Debt Service Coverage Ratio : 元利金返済カバー率 融資機関から見た、返済される金額に対してどれだけの余裕があるかをチェックする指標。 DSCR = (返済前のキャッシュフロー) / 返済額 (元利金)	1.30~1.50以上

※参考：再エネ固定価格買取制度で前提としている各発電事業のPIRRの目安

10kW未満の太陽光発電	3.2%
10kW以上の太陽光発電	6.0%
風力発電 (20kW以上)	8.0%
地熱発電	13.0%

出典：平成24年度調達価格及び調達機関に関する意見 (案) , 調達価格等算定委員会

事業化に必要なPIRRは、対象事業のリスクの大きさにより決定。
CNF事業は、大規模太陽光発電や風力発電と同程度のリスクと想定。

図 4.3-6 事業性評価指標

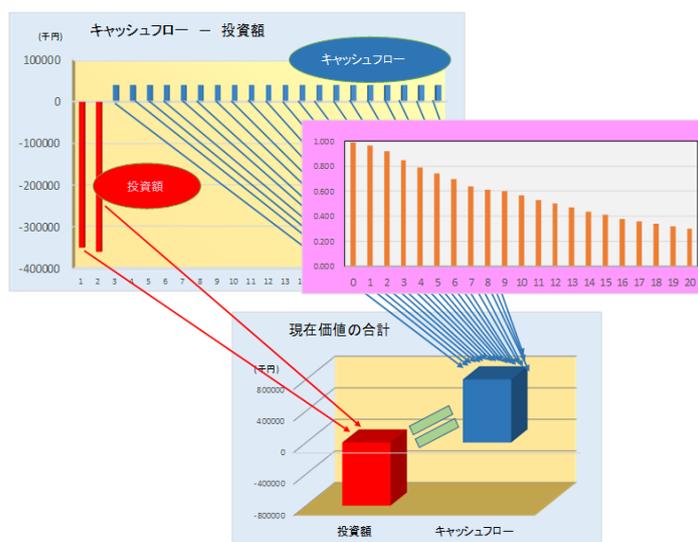


図 4.3-7 IRR の概念図

凡例 赤字：事業性評価指標の目安値に未達

CNF(5%固形分)の販売価格:500円/kg					
シナリオ		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4
CNF 年間生産量(t)	5%固形分換算	400	600	800	1,000
	(100%固形分換算)	20	30	40	50
初期投資 (万円)		28,637	35,048	41,459	47,870
年間支出 (万円)		11,668	14,022	16,377	18,731
年間収入 (万円)		20,000	30,000	40,000	50,000
事業性 評価指標	PIRR (%) 目安：4~8%以上	6.0%	15.8%	21.9%	26.3%
	(参考) EIRR (%) 目安：8~10%以上	7.6%	24.8%	40.6%	52.3%
	(参考) DSCR 目安：1.30~1.50以上	-0.17	1.40	2.22	2.79

図 4.3-8 CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量をパラメータとした事業性評価

ヒアリングに基づく CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t の設計モデルで、高い事業性を確保できることを確認したため、設計モデルをベースに、人件費、初期投資額、金利、販売単価、年間支出額について感度分析を実施し、事業の安定性を検証した。

① 人件費に関する感度分析（CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t シナリオ）

CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t の場合について、人件費を 10 万～30 万円/日で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、6 シナリオ全てで参考指標を含めた事業性指標の目安値の達成を確認できた。また、30 万円/日を除き、初年度から単年度収支が黒字となった。

人件費 (円/日)		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4	シナリオ5	シナリオ6
		単価低下・副班長削減	単価低下	基本シナリオ	班員1人増員	班員2人増員	班員3人増員
		班長：70,000円 副班長：40,000円 班員：30,000円	班長：70,000円 副班長：40,000円 班員：30,000円	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×2	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×3	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×4
		100,000	140,000	180,000	220,000	260,000	300,000
事業費	初期投資 (億円/式)	4.7					
	年間収入 (億円/年)	5.0					
	運営費 (億円/年)	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3
事業性評価指標	単年度黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	6
	累積黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	7
	最大短期借入金 (千円)	0	0	0	0	0	0
	PIRR (%) 目安：4~8%以上	30.7%	28.5%	26.3%	24.2%	22.1%	20.0%
	(参考) EIRR (%) 目安：8~10%以上	65.4%	58.8%	52.3%	46.2%	40.5%	34.9%
	(参考) DSCR 目安：1.30~1.50以上	3.4	3.40	2.79	2.49	2.19	1.93

図 4.3-9 人件費に関する感度分析 (CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 1,000t)

② 人件費に関する感度分析 (CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 600t シナリオ)

CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 600t の場合についても、同様に、人件費を 10 万～30 万円/日で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、18 万円/日以下の 3 シナリオで、参考指標を含めた事業性指標の目安値の達成を確認できた。また、10 万円/日の場合のみ、初年度から単年度収支が黒字となった。

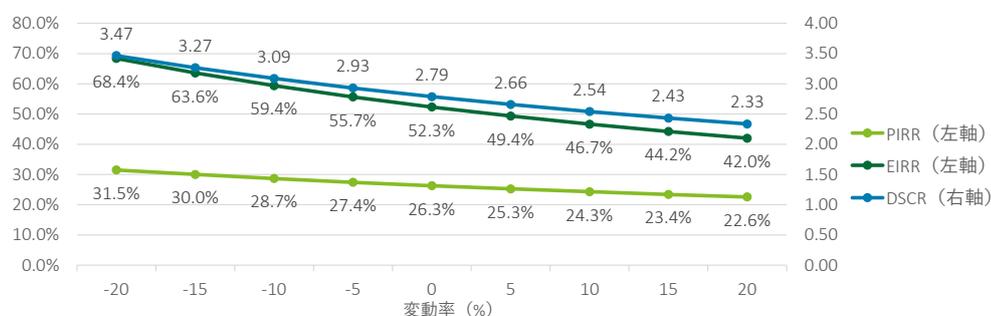
凡例 赤字：事業性評価指標の目安値に未達

人件費 (円/日)		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4	シナリオ5	シナリオ6
		単価低下・副班長削減	単価低下	基本シナリオ	班員1人増員	班員2人増員	班員3人増員
		班長：70,000円 副班長：40,000円 班員：30,000円	班長：70,000円 副班長：40,000円 班員：30,000円	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×2	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×3	班長：80,000円 副班長：60,000円 班員：40,000円×4
		100,000	140,000	180,000	220,000	260,000	300,000
事業費	初期投資 (億円/式)	3.5					
	年間収入 (億円/年)	3.0					
	運営費 (億円/年)	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8
事業性評価指標	単年度黒字転換 (年目)	1	4	8	8	8	8
	累積黒字転換 (年目)	1	6	9	9	10	12
	最大短期借入金 (千円)	0	0	0	36,526	138,672	240,819
	PIRR (%) 目安：4~8%以上	21.7%	18.6%	15.6%	12.8%	9.9%	7.0%
	(参考) EIRR (%) 目安：8~10%以上	40.7%	32.7%	24.5%	18.6%	14.6%	9.9%
	(参考) DSCR 目安：1.30~1.50以上	2.25	1.82	1.38	0.32	0.03	-0.39

図 4.3-10 人件費に関する感度分析 (CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 600t)

③ 初期投資額に関する感度分析（CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t シナリオ）

CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t の設計モデルをベースに、初期投資額を-20%~+20%で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、いずれの場合も、PIRR、EIRR、DSCR 全ての目安値の達成を確認できた。



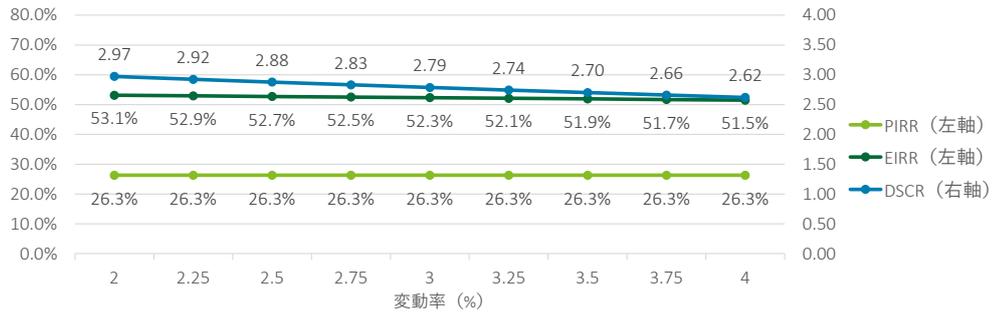
変動率 (%)		-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
事業性 評価 指標	単年度黒字転換（年目）	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	累積黒字転換（年目）	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大短期借入金（千円）	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIRR (%)※目安：4~8%以上	31.5%	30.0%	28.7%	27.4%	26.3%	25.3%	24.3%	23.4%	22.6%
	（参考）EIRR (%)※目安：8~10%以上	68.4%	63.6%	59.4%	55.7%	52.3%	49.4%	46.7%	44.2%	42.0%
（参考）DSCR ※目安：1.30~1.50以上	3.47	3.27	3.09	2.93	2.79	2.66	2.54	2.43	2.33	

*ヒアリングに基づき、年間生産量1,000t(5%固形分)、人件費180,000円/日を基本ケースとして実施

図 4.3-11 初期投資額に関する感度分析

④ 金利に関する感度分析（CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t シナリオ）

CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t の設計モデルをベースに、金利を 2%~4%で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、金利の上昇に伴い EIRR・DSCR は低下するが、いずれの場合も、PIRR、EIRR、DSCR 全ての目安値の達成を確認できた。なお、PIRR は金利の影響を受けない指標であるため変動しない。



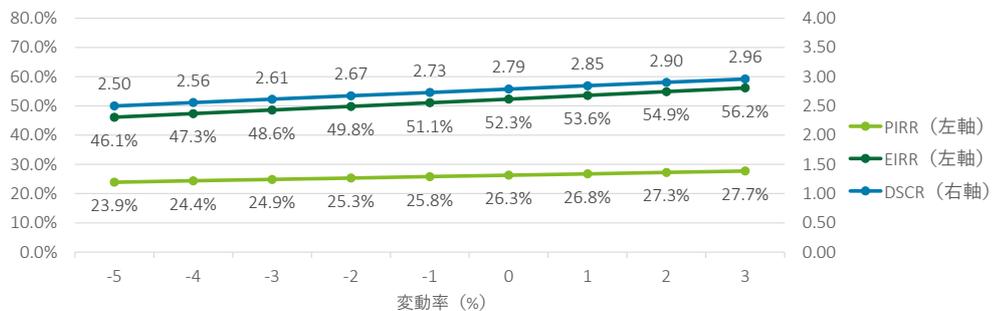
変動率 (%)		2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4
事業性 評価 指標	単年度黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	累積黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大短期借入金 (千円)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIRR ^{*1} (%)※目安：4~8%以上	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%	26.3%
	(参考) EIRR (%)※目安：8~10%以上	53.1%	52.9%	52.7%	52.5%	52.3%	52.1%	51.9%	51.7%	51.5%
	(参考) DSCR ※目安：1.30~1.50以上	2.97	2.92	2.88	2.83	2.79	2.74	2.70	2.66	2.62

*ヒアリングに基づき、年間生産量1,000t(5%固形分)、人件費180,000円/日を基本ケースとして実施
*1 PIRRは金利の影響を受けない指標である

図 4.3-12 金利に関する感度分析

⑤ 販売単価に関する感度分析 (CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 1,000t シナリオ)

CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量 1,000t の設計モデルをベースに、販売単価を-5%~+3%で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、いずれの場合も、PIRR、EIRR、DSCR 全ての目安値の達成を確認できた。



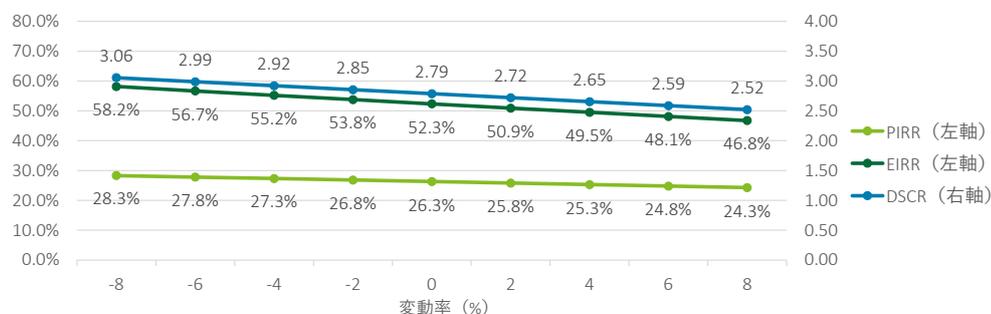
変動率 (%)		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
事業性 評価 指標	単年度黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	累積黒字転換 (年目)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大短期借入金 (千円)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIRR (%)※目安：4~8%以上	23.9%	24.4%	24.9%	25.3%	25.8%	26.3%	26.8%	27.3%	27.7%
	(参考) EIRR (%)※目安：8~10%以上	46.1%	47.3%	48.6%	49.8%	51.1%	52.3%	53.6%	54.9%	56.2%
	(参考) DSCR ※目安：1.30~1.50以上	2.50	2.56	2.61	2.67	2.73	2.79	2.85	2.90	2.96

*ヒアリングに基づき、年間生産量1,000t(5%固形分)、人件費180,000円/日を基本ケースとして実施

図 4.3-13 販売単価に関する感度分析

⑥ 年間支出額に関する感度分析（CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t シナリオ）

CNF 水分散体（5%固形分）年間生産量 1,000t の設計モデルをベースに、年間支出額を-8%~+8%で増減させ、感度分析を実施した。結果としては、いずれの場合も、PIRR、EIRR、DSCR 全ての目安値の達成を確認できた。



変動率 (%)		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
事業性 評価 指標	単年度黒字転換（年目）	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	累積黒字転換（年目）	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	最大短期借入金（千円）	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIRR (%)※目安：4~8%以上	28.3%	27.8%	27.3%	26.8%	26.3%	25.8%	25.3%	24.8%	24.3%
	（参考）EIRR (%)※目安：8~10%以上	58.2%	56.7%	55.2%	53.8%	52.3%	50.9%	49.5%	48.1%	46.8%
（参考）DSCR ※目安：1.30~1.50以上	3.06	2.99	2.92	2.85	2.79	2.72	2.65	2.59	2.52	

* ヒアリングに基づき、年間生産量1,000t(5%固形分)、人件費180,000円/日を基本ケースとして実施

図 4.3-14 年間支出額に関する感度分析

本モデルは、事業の特性として、販売価格が高価格帯であるのに対し、生産に伴う変動費は小さく、生産量の増加が事業性向上に大きくつながる事業モデルであると言える。感度分析では、いずれのパラメータの変動によっても、概ね初年度から単年度黒字、参考指標を含めた事業性指標の目安値を達成し、十分な安定性が確認できた。

（2）マクロ検討

個々の取引量が小規模であるために発生する輸送コストの高額化に対応するため、地域産業サプライチェーン（SC）検討・構築し、想定される地域内の CNF 需要等から、本モデルが地域にもたらす経済効果を推計した。

1) 事業設計 地域産業 SC の構築方針の検討

SC 構築の仕方により左右される輸送コストに焦点を当て、輸送量・輸送距離に応じた輸送単価を調査した。その結果、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ことが分かった。「少量生産高価格モデル」では、個々の取引量も小規模になると想定され、本事業モデルの場合は、CNF 単価（円/kg）比で最大 32%程度の輸送コストが上乗せされた販売価格となり得ることが分かった。その

ため、本ケーススタディでは、地域産業 SC を、プラントから「輸送サービスを利用せず取引可能な距離圏」で構築し、輸送コストが生じない SC とすることとした。

輸送 距離 (km)	300	161	92	60	48	42	39	33
	250	161	92	60	46	40	37	32
	200	161	92	58	44	39	36	29
	150	161	92	55	42	36	33	28
	100	161	92	55	40	35	31	25
	50	161	86	55	38	33	30	24
	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	20	40	60	80	100	200

輸送量(kg)

図 4.3-15 「少量生産高価格モデル」輸送単価表

出典：RIETI「地域間貨物輸送費用の要因分析」（トラック輸送）、
西濃運輸「カンガルー特急便」（宅配輸送）

- 輸送単価を求める際に必要な輸送距離は、地域産業SCと重複するA工業地帯外の国内の代表的な工業地帯・地域を取引拠点と仮定し、プラントと各工業地帯間の平均距離を、製品出荷額にて加重平均し算出する。

全国の工業地帯・地域とプラント間の輸送距離			
工業地帯・地域	製造品出荷額		輸送距離 (km) *2
	(億円) *1	割合	
B工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
C工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
D工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
E工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
F工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
G工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
H工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
I工業地帯	xxx,xxx	xx%	xxx
合計	2,167,514	100%	



輸送距離を製造品出荷額で加重平均し、**402.9km** と設定

*1 2015年製造品出荷額（出所：日本国勢図会2018/19年版）、*2 各工業地帯において最も製造品出荷額の大きい都市の市役所を基準とし、有料道路を使用した経路の走行距離を反映

図 4.3-16 構築した地域産業 SC 域外（全国取引）の輸送距離の設定

2) 地域需要の把握・推計

工業統計等より、地域産業 SC 域内における需要産業の製品出荷額を把握し、ヒアリングで得た添加率と仮定した普及率・新規需要創出率を乗じ、CNF 消費量を試算した。

① 地場産業の把握

ターゲットである増粘剤用途の製品（塗料・一般インキ・化粧品）について、地域全体（都道府県や市区町村単位）の製品出荷額・量に、上記（1）で設定した地域産業 SC の対象となるエリアの出荷割合を乗じ、地域産業 SC の対象地域圏の製品出荷額・量を試算した。

対象製品（産業）		増粘剤用途		
		塗料	一般インキ	化粧品
地域全体	製品出荷額(百万円)	64,875	23,856	29,037
	製品出荷量(t)	143,712	30,255	5,172
X地区 臨海部	地域全体に対する出荷割合(%)	64%		
	製品出荷額(百万円)	20,834	7,661	9,325
	製品出荷量(t)	46,152	9,716	1,661

図 4.3-17 「少量生産高価格モデル」地場産業の把握

出典：経済産業省「平成 31 年工業統計表」

② 需要創出量・金額の推計

地域産業 SC の対象地域の製品製造事業者のうちの 50%に CNF 活用が普及すると仮定した。また、当該事業者の製品出荷額は、10.2%増加すると仮定し CNF 消費量を推計した。この過程は、消費者庁「令和元年度エシカル消費に関する消費者意識調査」において、エシカル消費につながる商品であると分かる表示があった場合、「表示された商品を積極的に購入したいと思う」という回答の割合を参考に設定した。その結果、地域産業 SC での CNF 水分散体（5%固形分）消費量は、507t/年と推計された。

対象製品（産業）		増粘剤用途		
		塗料	一般インキ	化粧品
CNF製品普及率(%)		50%		
(前提)	CNF形状（固形割合）(%)	5%	5%	5%
	添加率(%) ^{*1}	0.8%	0.8%	0.8%
CNF消費量(t) ^{*2}		18.5	3.9	0.7
域内新規需要創出率(%) ^{*3}		10.2%		
域内新規創出分CNF消費量(t) ^{*2}		1.9	0.4	0.1

地域産業SCでのCNF消費量合計
25.4t（100%固形分換算） = 507.2t（5%固形分換算）

^{*1} ヒアリングより仮定、^{*2} 100%固形分換算重量、^{*3} 出所：消費者庁「令和元年度エシカル消費に関する消費者意識調査」より仮定

図 4.3-18 「少量生産高価格モデル」需要創出量・金額の推計

3) 地域産業創出を活用した CNF プラント総生産量の推計

前述の2)で、地域産業 SC の CNF 水分散体 (5%固形分) 需要量が 507t/年であると推計されたため、輸送コストも含めた販売価格を考慮し、域外 SC による需要も活用し、目標販売価格達成に必要な CNF 水分散体 (5%固形分) 年間生産量を算出した。算出にあたっては、 α : 地域内需要量、 β : 地域外需要量とし、以下の数式を使用した。

$$(\text{域内 100\%の場合に必要な生産量}) \times \alpha / (\alpha + \beta) + (\text{域外 100\%の場合に必要な生産量}) \times \beta / (\alpha + \beta)$$

その結果、域外 SC で 408t/年を補い、合計 915t/年 (モデル設計当初の目標より - 85t/年) の CNF 水分散体 (5%固形分) を生産することで、目標販売価格 500 円/kg (5%固形分) を達成すると試算された。

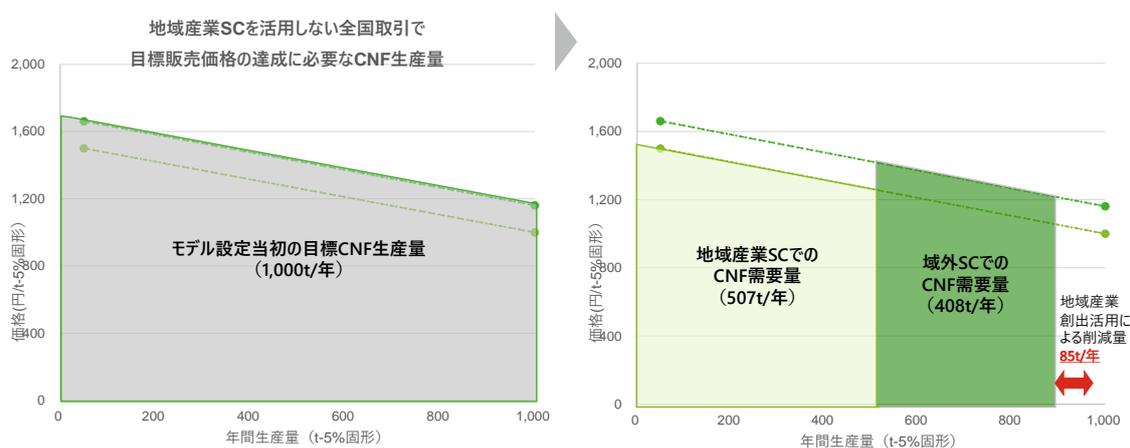


図 4.3-19 「少量生産高価格モデル」 CNF プラント総生産量の推計

4) 地域メリットの推計

本モデルについて、CNF による地域産業創出によって地域にもたらされる効果の推計を行う。CNF 産業創出に伴う追加的な経済効果を把握するため、製品製造に係る影響については、上述の2)で設定した新規需要創出に伴う影響を対象とする。また、地域産業 SC 内での事業モデルであるため、CNF 製造による影響も対象とし、CNF 製造に要するプラント建設等の影響も含め試算する。GDP の上昇や失業率の改善、平均時給の上昇といった指標とし、CNF 事業開始前の現状と事業後を比較した結果を示す。

推計に当たっては、2)、3)における算出結果を踏まえ、CNF に係る需要創出額等を把握し、「経済波及効果測定ツール」等を活用しつつ総合的な効果の試算を行った。

①CNFに係る需要創出額等の把握

2) で算出した地域産業 SC での CNF 水分散体 (5%固形分) 消費量を基に、地域産業 SC における CNF 製品の売上増加額を試算した。

まず、2) で仮定した CNF 製品普及率、新規需要創出率における、新規需要 (売上) 創出規模を推計した。その結果、地域産業 SC での新規需要創出による売上増加額は 3,857.7 百万円と算出された。

対象製品 (産業)		増粘剤用途		
		塗料	一般イキ	化粧品
CNF製品普及率(%)		50%		
(前提)	CNF形状 (固形割合) (%)	5%	5%	5%
	添加率(%) ^{*1}	0.8%	0.8%	0.8%
CNF消費量(t) ^{*2}		18.5	3.9	0.7
域内新規需要創出率(%) ^{*3}		10.2%		
域内新規創出分CNF消費量(t) ^{*2}		1.9	0.4	0.1
域内新規創出製造規模(百万円)		2125.1	781.4	951.2

▶ **地域産業SCでの新規需要創出による売上増加額： 3,857.7百万円**

^{*1} ヒアリングより仮定、^{*2} 100%固形分換算重量、^{*3} 出所：消費者庁「令和元年度エシカル消費に関する消費者意識調査」より仮定

図 4.3-20 「少量生産高価格モデル」 CNF 製品の新規需要創出による売上増加額の推計

また、消費者庁「令和元年度エシカル消費に関する消費者意識調査」より、CNF 添加による製品単価 (円/kg) 上昇率を 10%と仮定し、これに伴う売上増加額を推計した。その結果、CNF 添加による製品売上増加額は 4,167.8 百万円と算出された。

対象製品 (産業)		増粘剤用途		
		塗料	一般イキ	化粧品
CNF添加による製品単価上昇率 [*]		10%		
(前提)	既存製品単価 (円/kg)	451	788	7,059
単価上昇による売上増額(百万円)		2,295.9	844.3	1,027.6

▶ **CNF添加による製品売上増加額合計： 4,167.8百万円**

^{*} 消費者庁「令和元年度エシカル消費に関する消費者意識調査」より仮定

図 4.3-21 「少量生産高価格モデル」 CNF 製品の単価上昇による売上増加額の推計

さらに、CNF 自体の製造についても、地域メリットへ反映するため、3) で、推計した CNF 水分散体 (5%固形分) 製造量の合計 915t/年が目標価格 500 円/kg で全量取引されると仮定し、売上増加額を試算した。その結果、CNF 製造による地域産業 SC における売上増加額は、457.6 百万円と算出された。

②地域メリットの推計

地域メリットを推計するにあたっては、①で算出した CNF 製品の売上増加額等をインプットに、「経済波及効果測定ツール」を活用し、総合的な経済効果等を試算した。

CNF 製造は、(1) ミクロ検討でも示したとおり、新規にプラント設置する想定で、施設建設・設備投資に 4.2 億円の初期投資を行うこととしている。また、需要拡大まで SC 構築を支援するため、自治体が地域コンソーシアムの運営費として、総額 4.5 億円 (3,000 万円×15 年) の補助を行う仮定で、その総額に対する経済効果を試算する。

その結果、機能性添加材用途を含む化学産業において、約 126 億円の経済効果が生じると推計された。

■ 地域における経済活動単位でのGDP上昇率					(参考)	
単位：百万円					単位：百万円	
特定地域産業への 経済波及効果 (内訳)	直接効果*1	第1次間接波及 効果*2	第2次間接波及 効果*3	総合効果	H29年度 実質GDP	実質GDP 伸び率
化学製品	8,026	4,554	26	12,606	940,971	1.3%

■ 地域全体における需要創出効果					■ 地域コンソ等補助 ROI		
単位：百万円					単位：百万円		
県内全体における 需要創出効果 (内訳)	直接効果*1	第1次間接波及 効果*2	第2次間接波及 効果*3	総合効果	地域コンソ等 補助額	経済 波及効果	ROI
合計	8,449.5	8,173.5	3,288.3	19,911.2	450.0	19,911.2	4,425%
CNF製品製造	8,025.5	7,105.5	2,824.5	17,955.5			
新規需要創出分	3,857.7	7,105.5	2,015.9	12,979.1			
単価上昇分	4,167.8	-	808.6	4,976.4			
CNF製造*4	-	533.9	191.3	725.2			
CNFプラント新規設置	424.0	534.1	272.5	1,230.5			

*1 新たに発生した消費や投資によって県内各産業部門に誘発された生産額
 *2 直接効果に伴う原材料等の購入 (投入) によって誘発される生産額
 *3 直接効果と第1次間接波及効果を通じて発生した雇用者所得により増加した民間消費支出によって誘発された生産額
 *4 CNFは、CNF製品における原材料の一つであるため直接効果はない。また、域外で製造されている既存の製品原材料に代替されると仮定

図 4.3-22 「少量生産高価格モデル」地域にもたらす経済効果

さらに、経済効果と並行して、就業誘発や賃金上昇の推計を行った。CNF 製品製造における、単価上昇分は、生産量の増加を伴わず、CNF 製品製造事業者の付加価値額の上昇となるため、直接効果、第1次間接波及効果は発生しないものとする。結果、約 628 名の新規就業者の誘発や、ターゲットとした製品製造事業者の雇用者 1 人当たり約 502.4 円/時の時給額増加といった地域メリットが生じると推計された。

■ 地域全体における就業誘発効果

単位：人

就業者誘発数（人）	直接効果	第1次間接波及効果	第2次間接波及効果	総合効果
合計	113.9	298.3	254.4	628.0
CNF製品製造	85.8	213.9	208.6	508.4
新規需要創出分	85.8	213.9	148.9	448.6
単価上昇分*1	-	-	59.7	59.7
CNF製造	-	40.9	14.1	55.0
CNFプラント新規設置	20.9	23.6	20.1	64.6

■ 対象雇用者における賃金上昇効果

賃金上昇	雇用者所得誘発額 (百万円)	新規雇用者(人)		既存 雇用者(人)	雇用者 (合計・人)	対象 雇用者数 (人)	平均時給上昇 額(円/人)
			分類内 シェア率(%)				
雇用者所得誘発額(百万円)	1,060.5	85.8	-	950.7	1,036.6	1,036.6	502.4
塗料	584.2	47.3	7.4%	523.7	571.0		
インク	214.8	17.4	2.7%	192.6	210.0		
化粧品	261.5	21.2	3.3%	234.4	255.6		

*1 単価上昇分は、生産量の増加を伴わず、CNF製品製造事業者の付加価値額の上昇となるため、直接効果、第1次間接波及効果は発生しない。

図 4.3-23 「少量生産高価格モデル」地域にもたらす就業誘発・賃金上昇効果

(3) ケーススタディを踏まえた少量生産高価格モデルの課題整理

少量生産高価格モデルにおいて、ミクロ検討では、複数のパラメータに対して感度分析を行ったが、いずれの分析でも大きく事業性を損うことはなかった。また、ケーススタディには反映されていないが、ヒアリングで得られた情報として、CNF製造に大量の水を使用するため自治体の取水制限に抵触する懸念があるものの、製造拠点を分散することで対応可能と考えられるとのコメントを得ている。

マクロ検討では、全般的な課題としてコスト低減の必要性が考えられるが、少量生産高価格モデルでは高価格帯にて取引可能な用途をターゲットとする点と、ミクロ検討にて販売価格をパラメータとする感度分析を行い、事業性の確保が確認できている。

上述の通り、本ケーススタディにおいては、規制やコスト、技術面の課題は想定されない。しかし、ミクロ検討におけるCNF製造プラントの事業性も、マクロ検討における地域経済効果も、いずれも需要が確保される前提であり、需要の確保が著しく困難な場合には、ケーススタディで確認された結果は得られない。このことから、地域圏内、地域圏外双方の需要を、確実に獲得することが、CNFの地域産業創出に向けた本ケーススタディにおいて最も重要な点と言える。

凡例 **緑字**：地域産業創出特有のコメント

	課題	達成状況	全般的な課題	地域特有の課題
Politics (政治)	政策的な規制・補助	▶ 水分散体は大量の水が必要になる。取水制限に抵触する懸念があるが、製造拠点を分散することで回避可能と想定。	NA	NA
Economy (経済)	用途開発によるコスト低減と安定供給	▶ 複数のシナリオ分析（販売量や販売価格、初期投資額、年間支出額等）にて、安定した事業性を確認。	NA	NA
Society (社会)	最終ユーザーの地域での不足	NA	▶ 地域の需要量によっては、地域圏外のCNF需要獲得も必要となる。地域圏のみならず、地域圏外も含めCNF需要を確実に獲得することが必要	▶ 輸送コスト低減のメリットを確実に得るため、 限られた地域のCNF需要を確実に獲得することが必要
	環境整備の不足*	NA	NA	NA
Technology (技術)	CNFの品質にばらつきがある（品質の安定性）	NA (技術上の課題は考慮していない ※研究開発に相当する費用を計上済み)	NA	NA

* CNFの評価基準や（利用側の）受入基準、サンプル入手制限がある等、環境整備されていない

図 4.3-24 少量生産高価格モデル ミクロ検討に関する課題整理

凡例 **緑字**：地域産業創出特有のコメント

	課題	達成状況	全般的な課題	地域特有の課題
Politics (政治)	政策的な規制・補助	NA	NA	NA
Economy (経済)	用途開発によるコスト低減と安定供給	NA (モデル特性上、高価格帯で取引可能な用途をターゲットとする。また、ミクロ検討にて価格変動に伴う事業の安定性は検証済み)	NA	NA
Society (社会)	最終ユーザーの地域での不足	NA	▶ 地域の需要量によっては、地域圏外のCNF需要獲得も必要となる。地域圏のみならず、地域圏外も含めCNF需要を確実に獲得することが必要	▶ 輸送コスト低減のメリットを確実に得るため、 限られた地域のCNF需要を確実に獲得することが必要
	環境整備の不足*	NA	NA	NA
Technology (技術)	CNFの品質にばらつきがある（品質の安定性）	NA (技術上の課題は考慮していない ※研究開発に相当する費用をミクロ検討にて計上済み)	NA	NA

* CNFの評価基準や（利用側の）受入基準、サンプル入手制限がある等、環境整備されていない

図 4.3-25 少量生産高価格モデル マクロ検討に関する課題整理

4.3.2 大量生産低価格モデルの検討

(1) ミクロ検討

1) CNF 製造事業者の事業性の検討

①事業モデルの設定

域内外の森林材を原料とした原料パルプを域内から調達、域内外の化学系メーカーから原料パルプ以外の材料を調達して、CNF のマスターバッチを製造し、域内外の自動車メーカー等に自動車用途の CNF 複合材用の材料として、比較的 low price で販売する、域内の大手事業者（製紙会社等）による大規模な事業モデルを想定した。

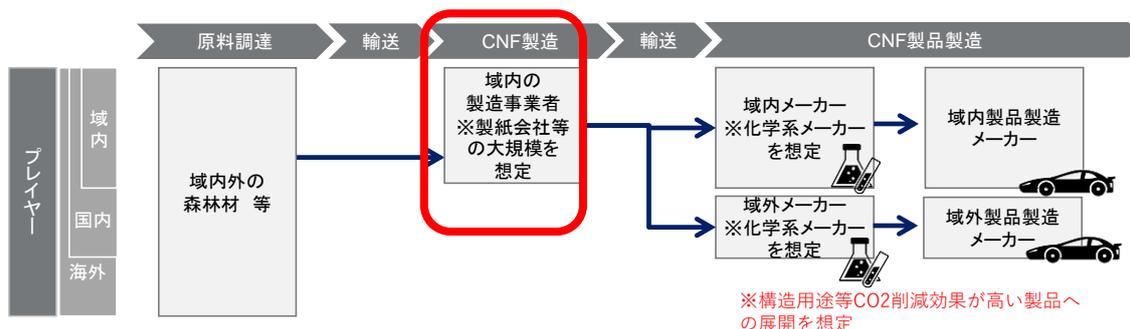


図 4.3-16 大量生産低価格モデルにおける事業モデルの想定

②主要施設の概略計画

CNF マスターバッチの製造は、変性パルプ直接混練法（京都プロセス）によるものとし、主要施設を概略計画した。施設の建設用地は既存の製紙工場の一部を占用し、インフラ設備は、製紙工場の既存設備を共有することとした。

原料パルプは、同じ敷地内の製紙工場から調達し、マスターバッチ製造施設は、①リグノパルプ製造・予備解繊、②化学変性（アセチル化）、③パルプ/樹脂熔融混練の設備から構成されることとした。CNF マスターバッチ製造施設を含む主要施設の概要を下表に示す。

表 4.3-3 大量生産低価格モデル主要施設/設備の概要（想定）

施設/設備	内容	備考
CNF マスターバッチ製造施設	原料パルプ等を受け入れて、CNF マスターバッチを製造するための、以下の施設から構成される。 1) リグノパルプ製造・予備解繊設備 2) 化学変性（アセチル化）設備 3) パルプ/樹脂熔融混練設備 4) 上記を収容する建屋（鉄骨造 1 階建て）	既存製紙工場の敷地内に新規建設
原材料・製品倉庫	原料パルプや完成した CNF マスターバッチを一時的に保管する施設。鉄骨造 1 階建てを想定。	既存製紙工場施設を利用
電力設備	CNF 複合材製造施設の動力及び関連施設の照明用電力の制御管理をする設備。	
給水設備	CNF 複合材製造施設及び関連施設の工業用水及び上水道の制御管理をする設備。	
排水処理施設	CNF 複合材製造施設から発生する排水を処理する施設。	

施設/設備	内容	備考
事務室	CNF 複合材製造及び施設内全体の管理をする事務室。軽量鉄骨 1 階建てを想定。	
アクセス道路	原材料及び完成した CNF 複合材を運搬する車両が通行する道路。アスファルト舗装。	
駐車場	運搬車及び職員用車両用の駐車場。アスファルト舗装。	
外構	外部からの侵入を防ぐフェンス等。	
植栽帯	騒音を軽減し景観を良好に保つ植栽帯。	
守衛室	出入り車両や来訪者の管理を行う施設。	

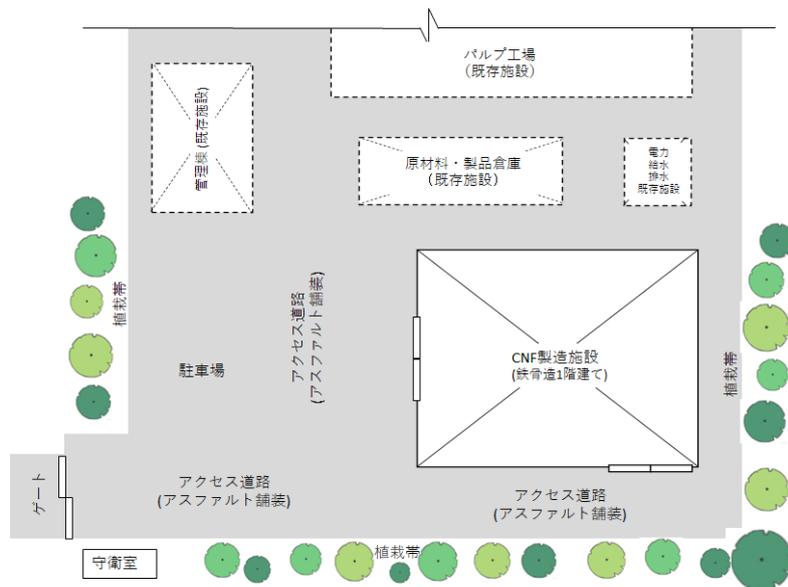


図 4.3-27 大量生産低価格モデルの主要施設のレイアウト（イメージ）

③設計・建設計画の想定

基本設計から施設建設、プラント工事、試運転を経て、施設の供用開始までに要する全期間として 2.5 年間を想定した。設計期間は約 1 年間、土建建築工事及びプラント工事を 1 年 3 か月間で完了させ、その後試運転を約 6 か月間実施し、供用開始するものとした。

表 4.3-4 大量生産低価格モデル主要施設の設計・建設工程（想定）

年度	1				2				3			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
基本設計	■	■										
詳細設計		■	■	■								
土木建築工事				■	■	■	■					
プラント工事						■	■	■				
試運転									■	■		

④事業計画の設定（想定）

(1) 事業主体

事業主体は、既存の製紙会社による事業を想定した。

(2) 提供するサービス

変性パルプ直接混練法によるマスターバッチ（以下、「MB」と称する。）の大量生産と販売、とする。

(3) 事業期間

プラスチック製品製造業設備の法定耐用年数が8年、パルプ・紙加工品製造業用設備の法定耐用年数が12年を参考に、事業期間は15年とした。

(4) 事業規模及び計画諸条件

事業規模及び計画諸条件（想定）を下表に示す。

表4.3-5 大量生産低価格モデル事業の事業規模（想定）

項目	内容
MB（CNF30%）の販売量	40,000トン/年（自動車生産台数48万台分※に相当） ※国内の普通自動車生産台数の約5.8%
製造能力	42,200トン/年 (40,000トン/年÷歩留まり95%)
年間稼働日数	340日 (365日-維持管理15日-正月など10日)
一日当たりMB生産量	124トン/日（42,200トン/年÷340日/年）

表4.3-6 大量生産低価格モデル事業の計画諸条件

項目	内容
土地、インフラ設備、外構など付帯設備、倉庫	既存の施設/設備を活用する
自己資本率	25%
減価償却年数・方法	15年、定額法
固定資産税	評価率70%、税率1.4%、逦減しない
法人税率（実効税率）	30.81%
長期借入金の金利・返済方法	3.0%、15年元利均等
建中金利（金利）	3%
保険料	建設コスト×0.25%
試運転時の生産量	年間生産量の5%を生産
歩留まり率	95%

(5) 初期投資額

1) CNF製造施設及び製造設備建設費

施設及び設備は、MB 42, 200トン/年の製造能力の有するものとした。

変性パルプ24, 000トン/年（CNF30%MB 80, 000トン/年に相当する）の製造能力を持つ施設/設備の建設費が120億円とされている※ことから、図4.3-27の費用曲線を用いて、97.4億円（税込）とした。

出典：国立大学法人京都大学 生存圏研究所 『非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／研究開発項目② 木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発／高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発』『京都プロセスで製造するアセチル化変性CNF強化樹脂材料の製造コスト試算』に係る実績報告書』

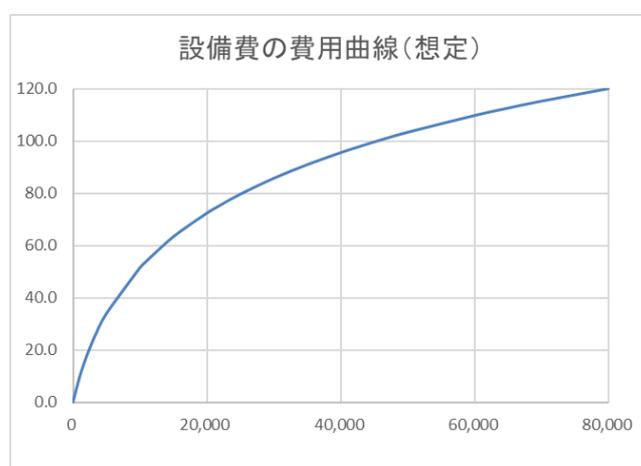


図4.3-28 CNF製造施設及び製造設備建設費に関して想定した費用曲線

2) 調査設計費

調査設計費は、CNF製造施設（鉄骨造1階建て）及び製造設備建設費97.4億円の10%の9.8億円とした。

表4.3-7 大量生産低価格モデル事業の調査設計費

項目	内容
調査設計費（基本設計＋詳細設計）	97.4億円×10%＝9.74億円≒9.8億円
基本設計	3.3億円
詳細設計	6.5億円

3) 建中金利

建中金利は、調査設計、施設及び設備建設に対して、各々の借入期間を考慮しつつ金利3.0%として算定し、2.4億円とした。

表4.3-8 大量生産低価格モデル事業の建中金利

項目	内容
調査設計の金利	合計0.5億円
基本設計費 (3.3億円) 借入期間48か月	$3.3 \times (1.03^2 - 1) = 0.2$ 億円
詳細設計 (6.5億円) 借入期間18か月	$6.5 \times (1.03^{1.5} - 1) = 0.3$ 億円
施設及び設備建設の金利	合計2.1億円
土木建築工事 (1年次13億円) 借入期間18か月	$14 \times (1.03^{1.5} - 1) = 0.6$ 億円
土木建築工事 (2年次42億円) 借入期間9か月	$41.7 \times (1.03^{0.75} - 1) = 0.9$ 億円
プラント工事 (42.4億円) 借入期間6か月	$41.7 \times (1.03^{0.5} - 1) = 0.6$ 億円
調査設計費＋施設及び設備建設の金利	0.5億＋2.1億＝2.6億円

4) 試運転費

試運転費は、材料費として本格稼働時の年間材料費である291億円の5%、人件費は1班(4.08÷4班)1.0億円の6か月分、産廃処理費のそれぞれの合計と、それらの金利(3%、半年分)を合算して15.34億円とした。

表4.3-9 大量生産低価格モデル事業の試運転費

項目	内容
年間材料費の5%	290億円×5%=14.6億円
年間人件費1班6か月	人件費4.08億円/年/4班×6か月=0.5億円
産廃処理費 42,200トン/年×5% (歩留まり95%)	$42,200 \text{トン/年} \times 5\% \div 0.9 (\text{t/m}^3) \times \text{単価}20,000 \text{円/m}^3$ (神奈川) =0.02億円 物価版2020年5月
試運転の金利	合計0.22億円
材料費借入期間6か月	$14.6 \times (1.03^{0.5} - 1) = 0.2$ 億円
人件費借入期間6か月	$0.5 \times (1.03^{0.5} - 1) = 0.01$ 億円
産廃処理費借入期間6か月	$0.02 \times (1.03^{0.5} - 1) = 0.01$ 億円
材料費＋人件費＋産廃処理費＋金利	14.6億＋0.5億＋0.02億＋0.22億＝15.34億円

土木建築プラント工事費												億円			金利込み計算式		
年次	1				2				3				費用	金利込み	金利		
四半期	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II							
基本設計(a)		3.3									3.3	3.5		=1.03 ^{2.0} x	3.3	借入2年(調査設計費合計9.8億)	
詳細設計(b)				6.5							6.5	6.8		=1.03 ^{1.5} x	6.5	借入1.5年(調査設計費合計9.8億)	
小計(a+b)①											9.8	10.3			0.5		
土木建築工事(C)				14							14	14.6		=1.03 ^{1.5} x	14	(97.4億/7x1=13億)	
プラント工事(d)								41.7			41.7	42.6		=1.03 ^{0.75} x	41.7	(97.4億/7x3=42億)	
小計(c+d)②											97.4	99.5		=1.03 ^{0.5} x	41.7	(97.4億/7x3=42億)	
合計											107.2	109.8			2.6		
試運転 材料費											14.6	14.8		=1.03 ^{0.5} x	14.6	材料費291億円/年 x 5%	
試運転 人件費											0.5	0.51		=1.03 ^{0.5} x	0.5	人件費4.1億円/年/4班x6か月	
産廃処理											0.02	0.03				42,200トン/年 x 5%(試運転) x 5% (歩留まり95%) ÷ 0.9(t/m ³) 単価20,000円/m ³ (神奈川) 物価版2020年5月	
試運転計											15.1	15.340			0.22		

図 4.3-29 試運転における費用の内訳

(6) 年間運営維持管理費

年間運営維持管理費は、MB製造のための原料費、加工費、人件費、維持管理費、一般管理費、産廃費用、金利、保険料など費用を下表のように想定した。なお、人件費はCNF製造に係る人件費のみ計上しているが、それ以外に係る人件費は一般管理費に含めて試算した。

表4.3-10 大量生産低価格モデル事業の年間運営維持管理費

大項目	小項目	内容
(1) 原料パルプ	CNF混練率30%	0.3
	アセチル化パルプ	アセチル化パルプ1kg製造に必要な原料パルプ量kg 1kg÷0.797kg=1.25kg
	原料パルプの単価	100円/kg
	原料パルプ価格	=42,200トン/年×0.3×1.25kg×100円/kg=1,582,500千円/年
(2) ポリプロピレン	CNF混練率30%のPPの比率	0.7
	一般的単価	300円/kg
	ポリプロピレン価格	42,200トン/年×0.7×300円/kg=8,862,000千円/年
(3) 無水酢酸	無水酢酸の使用量	CNF-PP (30%) 1kgMBを製造 無水酢酸2.2kg/アセチル化パルプ1kg×30%=0.66kg/MB
	無水酢酸の単価	単価240円/kg (※京都大学矢野先生報告書の価格を引用)
	無水酢酸価格	42,200トン/年×0.66kg/MB×240円/kg=6,684,480千円
(4) 酢酸の外販	酢酸2.46kg/アセチル化パルプ1kg	酢酸2.46kg/アセチル化パルプ1kg×30%=0.74kg/MB
	酢酸の外販単価	外販単価120円/kg
	酢酸の外販価格	40,000トン/年×0.74kg/MB×120円/kg= -3,552,000千円
(5) 水道、電気、燃料、排水処理費	原料調達費×15%	原料調達費 (原料パルプ+PP+無水酢酸) × 15% =(1,582,500+8,862,000+6,684,480)千円×15%=2,569,347千円
(6) MB加工費	(本計画では、MB加工を内製化していないが、将来的には内製化する。)	
	MB加工費	単価200円/kg (※京都大学矢野先生報告書の価格を引用)
	MB年間加工費	42,200,000kg×200円/kg=8,440,000千円
(7) 施設機材の維持管理費	CNF製造施設及び製造設備の10%	=97.4億円×10%=974,000千円
(8) 人件費	1班構成	班長1名、副班長1名、班員4名
	班数	4班
	班長	80,000円/(人・日)×1名×4班×340日=108,800千円
	副班長	60,000円/(人・日)×1名×4班×340日=81,600千円
	班員	40,000円/(人・日)×4名×4班×340日=217,000千円 合計408,000千円
(9) 一般管理費	(原料パルプ+PP+無水酢酸+水道、電気、燃料+MB加工費+施設機材の維持管理+人件費) ×10%	
	=(1,582,500+8,862,000+6,684,480+2,569,347+8,440,000+974,000+408,000) ×10%=2,952,032千円	
(10) 産廃処理	製造量42,200トン/年の5% (歩留まり率95%) を産廃処理する。	
	42,200トン/年×5% (歩留まり95%) ÷0.9(t/m ³) ×単価20,000円/m ³ =46,880千円 (神奈川物価版2020年5月)	
(11) 材料・人件費の金利	(原料パルプ+PP+無水酢酸+水道、電気、燃料+MB加工費+施設機材の維持管理+産廃処理費+人件費) の6か月分の3%	
	(1,582,500+8,862,000+6,684,480+2,569,347+8,440,000+974,000+408,000) ×(1.03 ^{0.5} -1)=440,230千円	
(12) 保険	建設費×0.25%	
	出典：環境省平成28年度廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入実現可能性調査委託業務 9,740,000×0.25%=24,350千円	

大項目	小項目	内容
(13) 材料費+維持管理費合計		
		原料パルプ+PP+無水酢酸+水道、電気、燃料、排水処理費+ MB加工費+施設機材の維持管理費
		1,582,500+8,862,000+6,684,480+2,569,347+8,440,000+974,000=29,112,327千円

⑤MB販売価格と事業性評価（基本ケース）

事業性評価指標は、少量生産高価格モデルと同様に「PIRRが8%以上」を事業成立の条件とした。生産量4万t/年のMB販売価格を760円/kg～800円/kgの6ケースを想定して事業性評価を行った。結果を表4.3-11に示す。

MBの販売価格が776円/kgから単年度収支が黒字となり、PIRRが8%以上となった。販売価格が760円/kgの場合では、EIRRは算定できない結果となった。

なお、自動車産業への部品を供給する場合は、プラント完成から供給開始まで一定期間のタイムラグが生じるが、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る。

表4.3-11 生産量4万t/年の事業性評価

MBの販売価格（円/kg）		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
		760	770	776	780	790円	800円
事業費	初期投資 （億円/式）	125.1					
	年間収入 （億円/年）	339.5	343.5	345.9	347.5	351.5	355.5
	運営費 （億円/年）	345.6（初年度）					
事業性評価指標	単年度黒字転換	7年目	6年目	1年目	1年目	1年目	1年目
	累積黒字転換	13年目	8年目	1年目	1年目	1年目	1年目
	最大短期借入金	約3.4億円	0千円	0千円	0千円	0千円	0千円
	PIRR（%）	—	5.28%	8.08%	9.83%	13.92%	17.73%
	EIRR（%）	—	6.03%	15.43%	20.34%	31.12%	40.94%
	DSCR	0.643	1.135	1.347	1.487	1.839	2.191

2) 各種シナリオ分析

①事業規模に関する感度分析

(1)MB販売量が2万t/年の場合

生産量2万t/年のMB販売価格を790円/kg～830円/kgの6ケースを想定して事業性評価を行った。MBの販売価格が815円/kgから単年度収支が黒字となり、PIRRが8%以上となった。なお、販売価格が800円/kgの場合では、EIRRは算定できない結果となった。

表4.3-12 生産量2万t/年の事業性評価

MBの販売価格 (円/kg)		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case5
		790	800	810	815	820	830円
事業費	初期投資 (億円/式)	91.5					
	年間収入 (億円/年)	175.8	177.8	179.8	180.7	181.8	183.8
	運営費 (億円/年)	180.1 (初年度)					
事業性評価指標	単年度黒字転換	9年目	6年目	5年目	1年目	1年目	1年目
	累積黒字転換	14年目	10年目	6年目	1年目	1年目	1年目
	最大短期借入金	約2.3億円	約9百万円	0千円	0千円	0千円	0千円
	PIRR (%)	—	3.14%	6.52%	8.08%	9.58%	12.43%
	EIRR (%)	—	—	10.26%	15.10%	19.32%	26.89%
	DSCR	0.646	0.984	1.228	1.348	1.469	1.709

(2)MB販売量が1万t/年の場合

生産量1万t/年のMB販売価格を850円/kg～890円/kgの6ケースを想定して事業性評価を行った。MBの販売価格が878円/kgから単年度収支が黒字となり、IRRが8%以上となった。なお、販売価格が860円/kgの場合では、EIRRは算定できない結果となった。

表4.3-13 生産量1万t/年の事業性評価

MBの販売価格 (円/kg)		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
		850	860	870	878	880	890円
事業費	初期投資 (億円/式)	64.2					
	年間収入 (億円/年)	93.9	94.9	85.9	96.7	96.9	97.9
	運営費 (億円/年)	96.1 (初年度)					
事業性評価指標	単年度黒字転換	6年目	6年目	5年目	1年目	1年目	1年目
	累積黒字転換	11年目	9年目	6年目	1年目	1年目	1年目
	最大短期借入金	約1.9億円	0千円	0千円	0千円	0千円	0千円
	PIRR (%)	1.29%	3.90%	6.29%	8.07%	8.51%	10.60%
	EIRR (%)	—	—	9.37%	14.92%	16.16%	21.92%
	DSCR	0.639	1.040	1.211	1.349	1.383	1.554

②事業運営に関する項目の感度分析

販売単価776円/kgを基本ケースとして感度分析を行った。

(1) 事業費に関する感度分析結果

事業費が-20%~+20%変動した場合の感度分析結果を下図に示す。事業費がプラスになると事業性指標は一様に低下していくが、その変動幅は小さい。

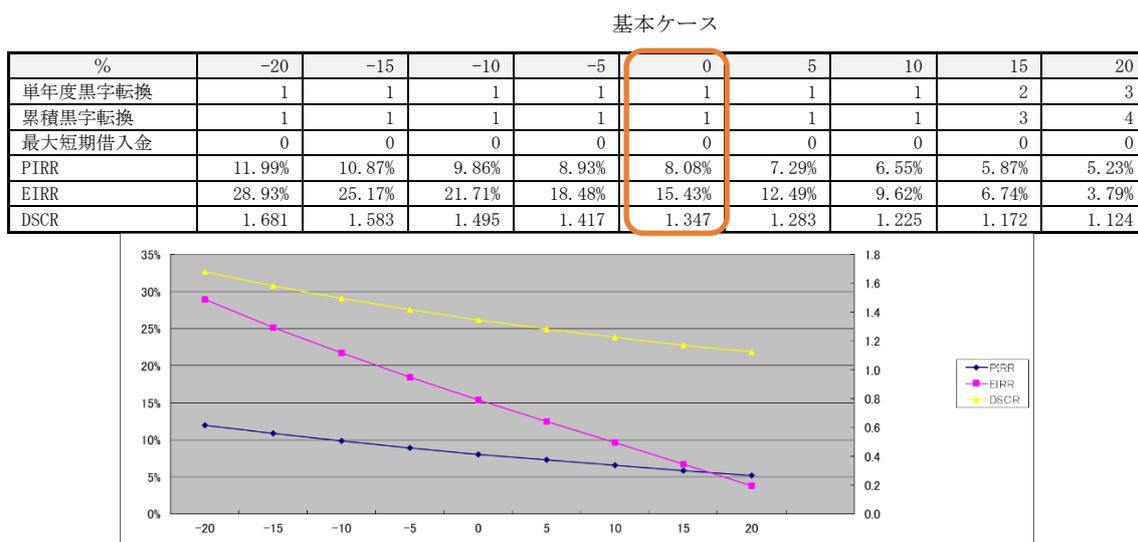


図4.3-30 事業費に関する感度分析結果

(2) 金利に関する感度分析結果

長期借入金の金利（基本ケースでは3%）が2%~4%に変動した場合の感度分析結果を下図に示す。金利が高くなればEIRR及びDSCRは低下していくが、その変動幅は小さい。なお、PIRRは金利の影響を受けない指標であるため変動しない。

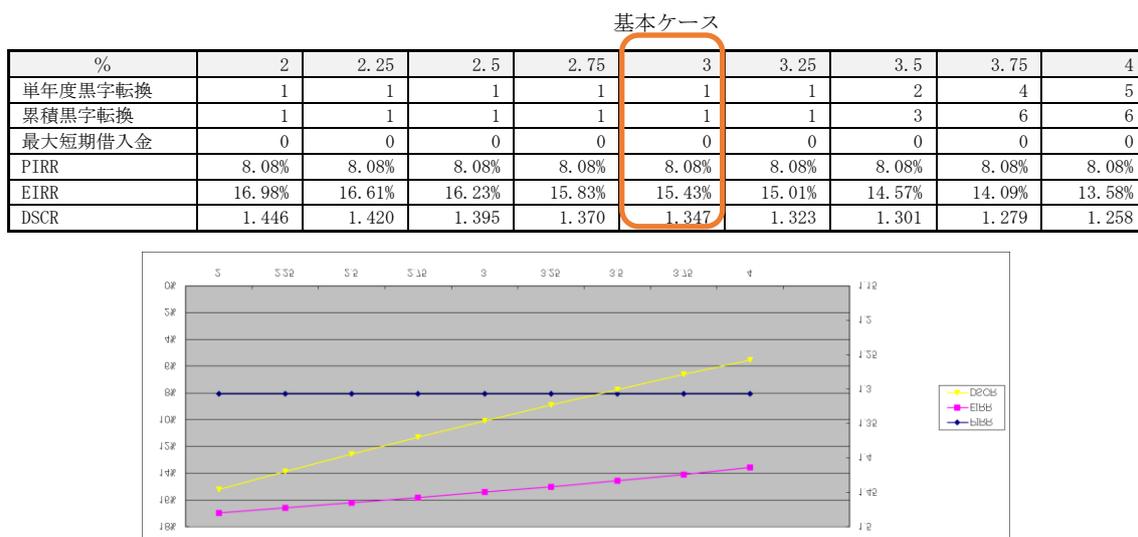


図4.3-31 金利に関する感度分析結果

(3) 販売単価に関する感度分析結果

販売単価が-5%~+4%変動した場合の感度分析結果を下図に示す。販売単価の変動に対する事業性指標の感度は大きく、1%低下するだけでもPIRRが半減、単年度赤字が発生することが分かった。

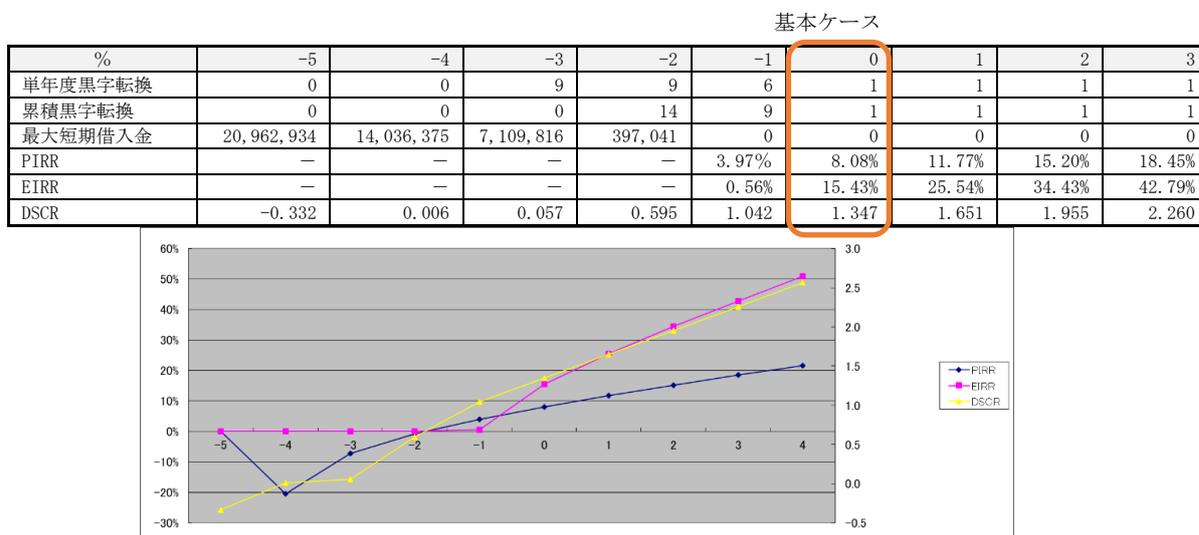


図 4.3-32 販売単価に関する感度分析結果

(4) 運営費に関する感度分析結果

運営費が-8%~10%変動した場合の感度分析結果を下図に示す。販売単価と同様に、その変動に対する事業性指標の感度は大きい。なお、扱う量が大量であることから、運営費の中でも原料や製品に起因する部分の影響が大きい。

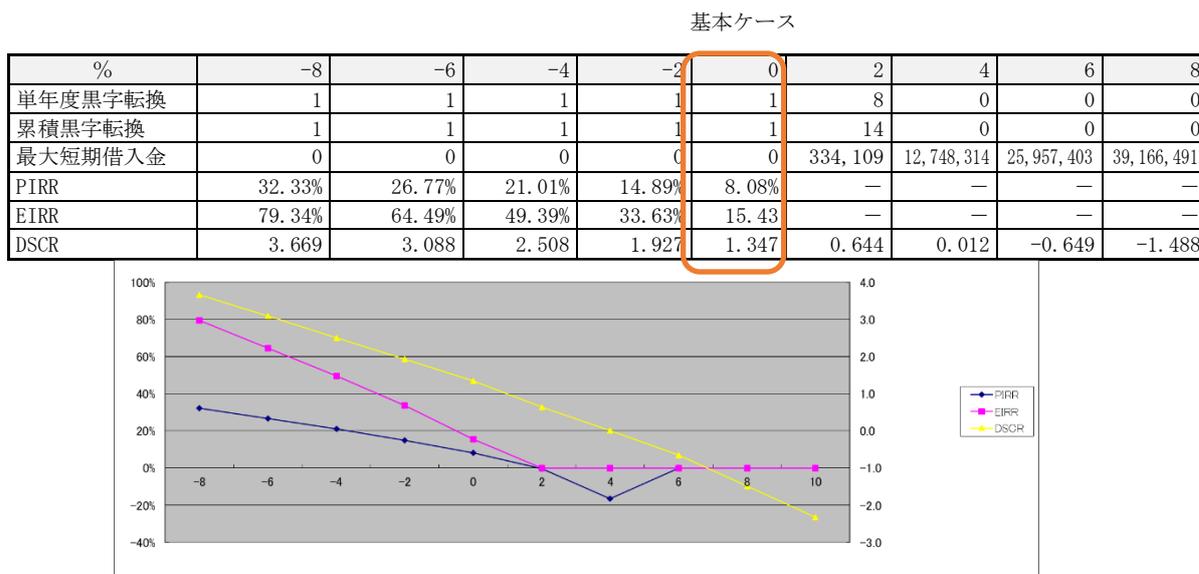


図 4.3-33 運営費に関する感度分析結果

③環境価値に関する検討

(1) 基本的な考え方

CNF複合材は、代替する材料よりもコストが高くなったとしても、それによる付加価値の向上が見込めるのであれば、市場に受け入れられると考えられる。

ここでは、CNFの複合材の供給価格が、下式で示す需要価格と釣り合う場合に市場が成立すると仮定して検討を行った。

$$\begin{aligned} \text{CNF複合材の需要価格} &= \text{既存の代替材の市場価格} \\ &+ \text{CNFによる機能向上の価値（自動車であれば燃費向上等）} \\ &+ \text{CO2削減効果による価値} \\ &+ \text{その他の価値} \end{aligned}$$

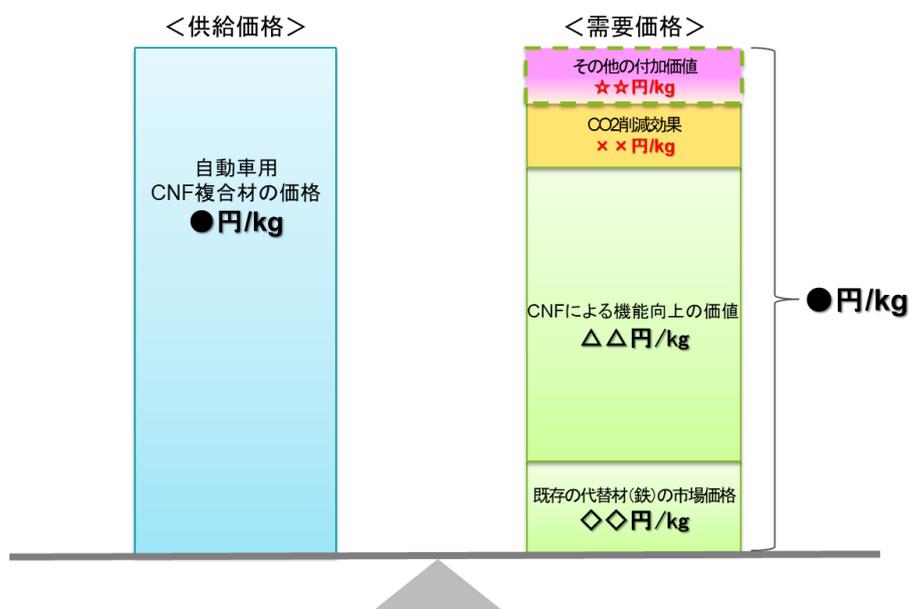


図4.3-34 市場成立に関する基本的な考え方

(2) 前提条件の設定

環境価値に関する検討の前提条件を以下に示す。

<前提条件>

- CNF複合材200kgを使うことで10%の燃費向上が可能とする。
※NCVプロジェクトでは、CNF複合材250kg利用により10%の燃費向上が見込めるとしていたが、CNFガイドライン策定委員会における有識者意見を踏まえ、CNF複合材の利用量は200kg/台とした。
- MB (CNF30%) の供給コストを1,800円/kgとする。1kgのマスタバッチに2kgのPPを混ぜるため、CNF複合材の供給価格は800円/kgとなる。
※1 : $(MB\ 1,800\text{円/kg} \times 1\text{kg} + PP\ 300\text{円/kg} \times 2\text{kg}) / 3\text{kg} = 800\text{円/kg}$
※2 : 4万t/年モデルにおけるMB供給価格 (776円/kg) の約2倍に設定
- CNF複合材による代替材は、鉄 (SS400が中心) やPP等を想定する。
(中でも単価の安い鉄 (100円/kg程度) を想定して分析を行う)

(3) 機能向上価値 (燃費向上の価値) の検討

機能向上価値 (燃費向上の価値) の検討結果を以下に示す。

<検討結果>

CNF複合材の使用量	200kg/台
既存の自動車の燃費	12.5km/L
自動車の燃費向上率	10%
既存のガソリン使用量	8,000L/10万km
ガソリン削減量	800L/10万km
ガソリン価格	150円/Lとすると
費用削減効果	12万円
CNF複合材 1kgあたりの機能向上価値	12万円 ÷ 200kg = 600円/kg

(4) CO2削減価値の検討

CO2削減価値の検討結果を以下に示す

< 検討結果 >

NCVプロジェクトにおけるCO2削減効果

NCVのCO2排出量 : 1.6 t CO2/台

CNF複合材のCO2削減効果 : 0.008 t CO2/kg

現在のCO2削減価値を3,500円/tCO2とすると、28円/kgとなる。

将来、CO2削減価値が11,000円/tCO2になれば、88円/kgとなり

12,500円/tCO2になれば、100円/kgとなる。

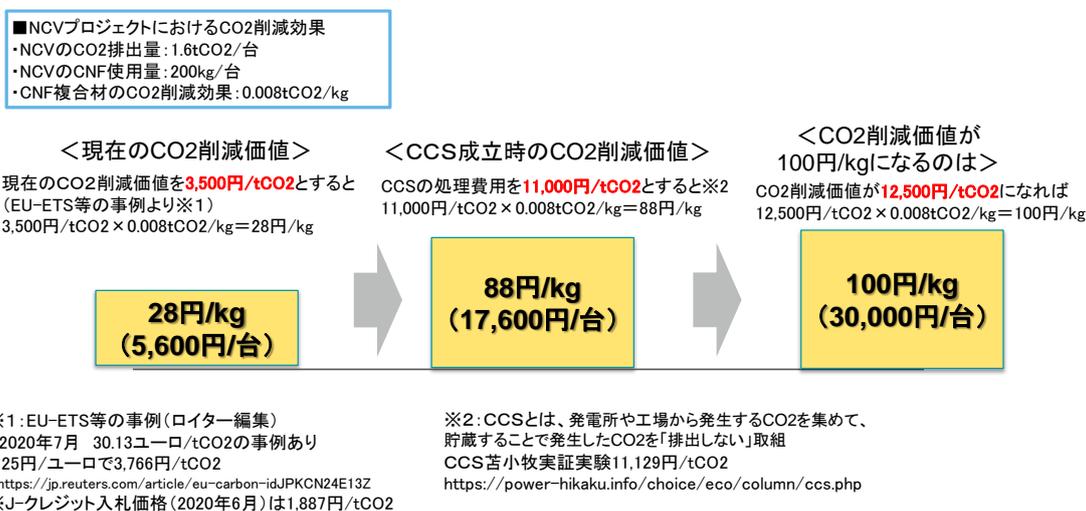


図4.3-35 CO2削減価値の検討結果

(5) 供給価格と需要価格の比較

上記(1)～(4)の結果として、自動車用CNF製品の供給価格と需要価格の比較を図4.3-36に示す。

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

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EU-ETS市場単価相当である3,500円/tCO₂で貨幣換算すると、28円/kgとなる。それでもまだ72円/kgの差が残るが、CNFを利用することで塗装の必要性がなくなる等の「その他の付加価値」で補えばよい。

なお、CO₂削減の価値は将来的には増加するものと考えられる(図4.3-37)。仮にCO₂削減価値が11,000円/tCO₂になれば、CO₂削減価値が88円/kgとなり、「その他の付加価値」が無くても左右は釣り合うことになる。

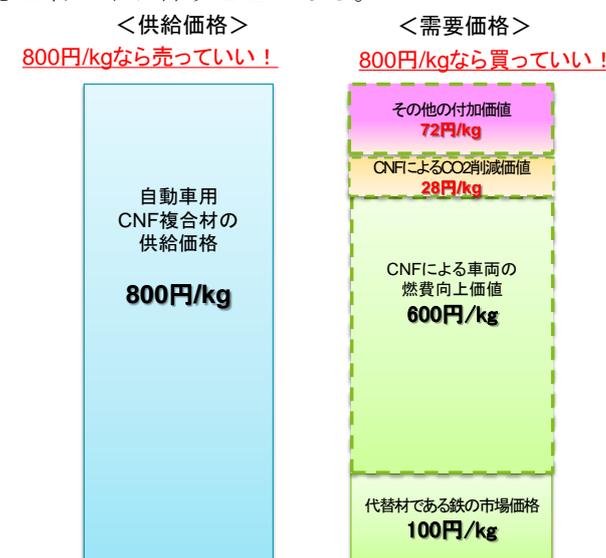


図4.3-36 供給価格と需要価格の比較

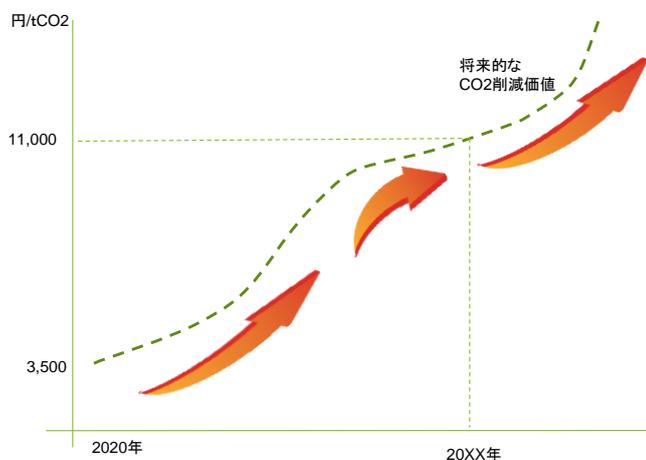


図4.3-37 CO₂削減価値の将来的な推移(イメージ)

(6) 低燃費車や電気自動車に関する検討

上記検討ではガソリン車（燃費12.5km/L）を対象に燃費向上の価値を600円/kgと算定したが、低燃費車や電気自動車では、それほどの燃費向上価値は期待できない。各々の燃費向上の価値を試算した結果を表4.3-14に示す。

燃費向上の価値は、ガソリン車（燃費20km/L）では300円/kg、ハイブリッド車（燃費30km/L）や電気自動車（電費6km/kWh）では200円/kg以下となり、「その他の価値」を考慮しない場合に必要となるCO2削減価値は、7.5～15万円/tCO2となった。この値は現状のCO2削減価値（EU-ETC市場が3,500円/tCO2程度、CCSの処理費用が11,000円/tCO2程度）を考慮すると、将来的にも実現するとは言いにくい。

なお、この検討では将来的な燃料価格・電気料金の上昇は考慮していない。

表4.3-14 低燃費車や電気自動車における燃費向上の価値の試算結果

	ガソリン車 (既存)	ガソリン車 (低燃費車)	ハイブリッド車	EV
MBのコスト	1800円/kg	同左	同左	同左
CNF複合材コスト	800円/kg	同左	同左	同左
代替材のコスト	100円/kg	同左	同左	同左
10年間の走行距離	100,000km	同左	同左	同左
燃費（想定）	12.5km/L	20km/L	30km/L	6km/kWh
10年間の使用燃料・ 電気量	8000L	5000L	3333L	16667 kWh
燃料費（想定）	×150円 =120万円	×150円 =75万円	×150円 =50万円	×25円 =42万円
燃費向上効果	10%	10%	10%	10%
燃費向上による 費用削減	12万円	7.5万円	5万円	4.2万円
CNF複合材1kgあたりの 効果	÷200kg =600円/kg	÷200kg 375円/kg	÷200kg =250円/kg	÷200kg 210円/kg
必要なCO2削減価値 (複合材1kgあたり)	100円/kg	325円/kg	450円/kg	490円/kg
自動車1台分の 10年間のCO2削減量	1.6tCO2	1.0tCO2 (概算)	0.667 tCO2 (概算)	0.000488 (R2代替 値) × 16667 × 10%=0.813tCO2 (概算)
福造材1kg当たりの CO2削減量	0.008tCO2	0.005	0.00333	0.00407
必要なCO2削減価値 (TCO2あたり)	12,500円/tCO2	約6.5万円/tCO2	約13.5万円	約12.1万円

(7) CO2削減価値を約10,000円/tCO2とした場合の検討

低燃費車や電気自動車を検討しつつ、CO2削減価値を10,000円/tCO2とした場合に必要となる、MB供給価格を逆算した。結果を表4.3-15に示す。

これによると、ガソリン車（燃費12.5km/L）では、MB供給価格が1,332円/MBkgで供給価格と需要価格が釣り合い、ガソリン車（燃費20km/L）であれば720円/MBkg、ハイブリッド車や電気自動車では300円台/MBkgとなった。

なお、4万t/年の事業モデルが成立しうるMB販売単価は776円/kgであったことを考えると、ガソリン車（燃費20km/L）レベルであれば十分に市場化の可能性があると考える。ハイブリッド車等や電気自動車が普及を想定した場合でも、現在計上している燃費向上やCO2削減以外の「その他の価値」が見出せれば十分に市場化の可能性があると考えられる。

表4.3-15 CO2削減価値を約10,000円/tCO2とした場合に必要となるMB供給価格（逆算）

項目	単位	ガソリン車 (燃費12.5km/L)	ガソリン車 (燃費20.0km/L)	ハイブリッド車等 (燃費30.0km/L)	電気自動車 (電費6km/kWh)
MBの供給価格	円/MBkg	1,332	720	380	300
CNF複合材の供給価格	円/kg	644	440	327	300
代替材の市場価格	円/kg	100	100	100	100
10年間の走行量	kg	100,000	100,000	100,000	100,000
燃費・電費（想定）	km/L、km/kWh	12.5	20.0	30.0	6.0
10年間の使用燃料・電気量	L、kWh	8,000	5,000	3,333	16,667
燃料費・電気代 (単価は想定)	円/kg	×150円 1,200,000	×150円 750,000	×150円 500,000	×25円 416,667
燃費向上効果	削減率	10%	10%	10%	10%
燃費向上による費用削減	円/台	120,000	75,000	50,000	41,667
CNF複合材1kgあたりの効果	円/kg	÷250kg 480	÷250kg 300	÷250kg 200	÷250kg 167
必要なCO2削減価値 (複合材1kgあたり)	円/kg	64	40	27	33
CO2削減効果 (1台あたり)	tCO2/kWh tCO2				0.000488 0.813
CNF複合材1kgあたりのCO2削減効果	tCO2/複合材kg	0.0064	0.0040	0.0027	0.0033
必要なCO2削減価値 (tCO2あたり)	円/tCO2	10,000	10,000	10,000	10,246

※MBの供給価格は300円/MBkgを下限とした

(2) マクロ検討

1) CNF のモデルプラントの事業概要の整理

CNF のモデルプラントの事業概要は、マイクロ検討結果をベースにする。CNF のモデルプラントの事業概要を表 4.3-16 に示す。

表 4.3-16 モデルプラントの事業概要

項目	内容
CNF 製造方法	変性パルプ直接混練法
CNF 原料	域内+域外のパルプ
CNF 形状	マスターバッチ (CNF30%)
想定する用途	普通自動車の車体
CNF (MB) 販売量	40,000 t /年
プラント稼働日数	340 日
日生産量	約 118 t /日
CNF (MB) 販売価格	780 円/kg

2) 地域需要の把握・推計

①地域需要の把握

国内の普通自動車の生産台数は、年間 830 万台である。国内の自動車の組立てを中心とする工場は 37 施設あり、1 施設あたり同規模の生産台数とすると、年間約 22 万台生産していると想定される。したがって、工業地域における自動車の組立てを中心とする工場を 5 施設すると、地域全体で年間 110 万台を生産していると想定した。

本モデルにおける CNF 製造プラントでは、年間約 60 万台規模の製造規模のため、地域内での消費が可能である。

表 4.3-17 1 工業地域における自動車用途の需要

項目	内容	備考
国内の自動車生産台数 (a)	830 万台/年	2018 年 乗用車生産台数を参考 (一社) 日本自動車工業会
国内の普通自動車の組立を中心とする工場数 (b)	37 施設	(一社) 日本自動車工業会
1 施設当たりの平均生産台数 (c)	約 22 万台/年	(a/b)
工業地域における自動車の組立を中心とする工場数の想定 (d)	5 施設	(一社) 日本自動車工業会
工業地域における自動車生産台数の想定 (c・d)	110 万台/年	
想定プラントにおける自動車部材の製造規模	約 60 万台/年	マイクロ検討より

②輸送情報の整理

本モデルにおける CNF 製造プラントの日生産量は、約 118t となり、10 t トラックで 12 台/日必要となる。2 t トラック～10 t トラックにおける輸送単価を表 4.3-18 に示す。

大量生産低価格モデルでは、日生産量が多いため 10 tトラックをベースにすると、輸送距離が近いほど輸送コストは安価になる。工業地域のエリア内において、CNF 製造プラントの設置を想定している地域から 150km の場所であっても輸送コストは 5.0 円/kg である。

表 4.3-18 輸送単価表 (円/kg)

		トラック種別		
		10 t 車	4 t 車	2 t 車
輸送 距離 (km)	～500	9.5	17.5	35.5
	～350	7.2	12.5	22.5
	～250	6.5	11.0	20.0
	～200	6.0	9.3	17.5
	～150	5.0	8.5	15.0
	～120	4.2	8.0	14.0
	～80	4.0	7.0	13.0
	～40	3.8	6.5	12.0
	～20	3.5	6.0	11.5

出典：大昭運輸(株)HP

3) 「大量生産低価格モデル」における地域産業創出のモデルの設定

CNF 製造のモデルプラント及び地域の需要から「大量生産低価格モデル」における地域産業創出モデルを設定した。

表 4.3-19 「大量生産低価格モデル」における地域産業創出のモデルの設定

項目	内容	
CNF の利用用途	普通自動車の鉄・アルミ製の車体等に CNF 複合材に代替	
サプライチェーンの設定	CNF 製造	製紙会社等大規模事業者が実施
	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が CNF 複合材を利用した製品製造を実施
CNF の形態	CNF10%複合材 (CNFMB+PP)	
年間生産量	40,000 t/年	
本モデルにおける年間普通自動車の生産台数	約 60 万台/年	

4) 地域メリットの推計

①CNF に係る需要創出額等の把握

ミクロ検討の検討結果及び工業統計等統計情報をもとに、地域産業創出 SC 域内における需要産業の製品出荷額を把握した。また、仮定した普及率・新規需要創出率を乗じて、地域の需要創出額等を把握した。地域産業創出 SC を CNFMB 製造プラント建設、CNF 製造 (CNFMB 製造、CNF 複合材製造)、CNF 製品製造 (自動車用途) とした。CNF に係る需要創出額に係る前提条件を表 4.3-20 に示す。なお、CNF 複合材の製造にあたっては、金型や

射出成形機の設備投資が行われるが既存の設備を使用するものとする。

その結果、地域における需要創出額は、全体で約 1,270 億円となった。地域における需要創出額を下表に示す。

表 4.3-20 CNF に係る需要創出額に係る前提条件

項目		内容	備考
対象用途		普通自動車	既存ガソリン車想定
CNF 製造 プラント建設	プラント設置に係る CNF 製造設備費 (百万円)	9,740	マイクロ検討より
CNF 製造	CNFMB 製造	販売量 (t/年) ①	40,000
		販売価格 (円/kg) ②	780
	CNF 複合材 製造	PP 使用量 (t/年) ③	80,000
		PP 購入価格 (円/kg) ④	300
	CNF 複合材の需要創出額 (百万円/年) ①×②+③×④…⑤		55,200
CNF 製品製造	CNF 製品における材料費の比率 (%) a	70	H30 中小企業実態調査のプラスチック製品製造業
	CNF 製品の需要創出額 (百万円/年) ⑤/a…b	78,857	
	域内利用率 (%) c	54.5	60万台/年÷110万台/年
	普通自動車の鉄・アルミ製部材に係る域内製品出荷額 (百万円/年) d	165,131	H30 工業統計 (静岡県) ※シャシー部品、車体部品
	自動車 1 台あたりの CNF 複合材の使用比率 e	18.7%	車両重量 1,071kg CNF 利用量 200kg (H31 年度 NCV 報告書より)
	CNF 利用用途における既存の域内需要額 (百万円/年) c×d×e…f	16,803	
	CNF 製品製造における需要創出額 b-e	62,054	

表 4.3-21 地域における需要創出額

対象事業	CNF 製造プラント 建設 (百万円/1 プラント)	CNF 製造 (百万円/年)	CNF 製品製造 (百万円/年)	合計 (百万円)
需要創出額	9,740.0	55,200	62,054	126,994

②地域メリットの推計

算出した CNF 製品の地域の需要創出額等をインプットに、静岡県の産業連関表等を用いて、地域メリットを推定した。なお、地域メリットの推計は下表に示す事業を対象に地域メリットを推計した。また、CNF 製造は、既設のパルプ工場等に併設する想定で、経済効果を試算した。

その結果、地域の経済波及効果は直接効果で約 1,270 億円、総合効果で約 2,080 億円と推計され、自動車部品・同付属品における実質 GDP の伸び率は約 4%と推計された。また、就業誘発者数としては約 3,200 名と推計された。

表 4.3-22 地域メリットを推計する事業の内容

対象事業	CNF 製造プラント 建設	CNF 製造 (CNFMB 製造、CNF 複合材製造)	CNF 製品製造
最終製品	CNF 製造プラント	CNF (10%) 複合材	普通自動車の鉄・アルミ製 部材の代替となる部材
産業連関表 (108 部門分 類) における項目	生産用機械	パルプ・紙・板紙・加工 紙	自動車部品・同附属品

表 4.3-23 地域メリットの推計に係る前提条件

項目		内容	備考
地域 GDP	県内総生産 (百万円)	16,793,435	県民経済計算
	CNF 製品に係る県内生産 (百万円)	968,100	※その他製造業を参照
地域の 労働状況	労働人口 (人) a	1,942,297	H27 国勢調査
	就業者 (人) b	1,865,154	

表 4.3-24 地域の経済波及効果 (百万円)

	CNF 製造プラント 建設	CNF 製造 (CNFMB 製造、CNF 複合材製造)	CNF 製品製造	合計
直接効果	9,740.0	55,200.0 [*]	62,054.2	126,994.2
第1次間接波及効果	2,555.2	15,275.5	88,351.1 [*]	106,181.9
第2次間接波及効果	2,036.4	9,645.3	17,966.4	29,648.1
総合効果	14,331.5	80,120.8	168,371.8	207,624.2 ^{**}

※CNF 製品製造の第1次間接波及効果に CNF 製造における経済波及効果が含まれている。総合効果の合計人数は、ダブルカウントになるため CNF 製造における経済波及効果を差し引いた人数としている。

表 4.3-25 普通自動車の鉄・アルミ製部材を CNF 複合材に代替した部材製品製造の
地域の経済波及効果 (百万円) と実質 GDP 伸び率

地域の経済波及効果 (百万円)				H29 年度の実質 GDP (百万円)	実質 GDP 伸び率
直接効果	第1次間接 波及効果	第2次間接 波及効果	総合効果		
62,054.2	9,127.2	48.8	71,230.2	1,766,735	4.03%

表 4.3-26 県内における本モデルの就業誘発者数 (人)

	CNF 製造プラント 建設	CNF 製造 (CNFMB 製造、CNF 複合材製造)	CNF 製品製造 (自動車用途)	合計
直接効果	114.5	171.1 [*]	1,110.7	1,396.4
第1次間接波及効果	44.6	351.8	1,063.4 [*]	1,459.8
第2次間接波及効果	36.7	173.7	323.5	533.9
総合効果	195.8	696.6	2,497.7	3,219.0 ^{**}

※CNF 製品製造の第1次間接波及効果に CNF 製造における就業誘発者数が含まれている。総合効果の合計人数は、ダブルカウントになるため CNF 製造における就業誘発者数を差し引いた人数としている。

(3) 大量生産低価格モデルにおける課題の把握

大量生産低価格モデルにおける課題を表 4.3-27 に示す。また、課題に対する解決策を表 4.3-28 に示す。なお、解決策に関しては、有識者や CNF 関連事業に関わる事業者や自治体に対してヒアリングを行い、その有効性・妥当性について確認した。

表 4.3-27 大量生産低価格モデルにおける課題

区分	ミクロ検討	マクロ検討
社会的課題	—	—
経済的課題	一定規模以上の需要がなければ、安定した収益が見込めない。	代替される既存の製品製造業の地域需要額がなくなる。
	初期投資費が大きい。	CNF 製品の既存の需要先が一定程度なければ、地域でのサプライチェーンの構築が難しい。
	収入単価と原料単価に対する事業性の感度が大きい。	—
制度的課題	CO2 削減価値を内部化する仕組みがない。	—
技術的な課題	燃費削減効果の帰属先は消費者のため、環境価値が内部化しにくい。	—

表 4.3-28 大量生産低価格モデルにおける課題に対する解決策

課題の区分	課題に対する解決策	効果※
社会的課題	—	—
経済的課題	CNF の価値を実感できる主体を増やす ・マッチング、理解促進 ・自動車業界の方針の一つに加えてもらう	◎
	初期投資額を減らす ・既存の製紙工場等への併設	○
	・既存施設の併用 など	○
	公共用地等の活用（安価での定期借地など）	○
	技術開発によるコスト削減	○
	国や自治体からの補助	○
	公的低利融資の活用（ESG 投資を含む）	○
	販売価格の安定化を図る ・自動車会社との長期契約 ・事業主体に製品提供会社（自動車部品製造事業者等）の参画	◎
	原料調達価格の安定化を図る ・原料調達コストに連動する販売価格設定 ・事業主体に原料供給会社（化学メーカー等）の参画	◎
	輸送費を減らす （パルプ工場や化学工場、自動車部品製造工場と近距離な立地など）	○
	固定資産税（地方税）の低減措置	△
	代替される既存の製品製造業以上の新規需要が見込まれる事業モデルを検討する	○
制度的課題	CO2 削減効果を見える化する（LCA 公開など）	◎
	CO2 削減価値を具現化する（クレジット制度など）	○
技術的な課題	自動車ユーザーに対する PR（試算事例の公表など）	◎
	自動車会社とのタイアップ	◎

※効果の程度はヒアリング等によるもの

4.4 CNFの地産地消モデルを推進する上での課題整理と解決策の提案

4.1 で記述した、FS 事業者の代表者等へのヒアリングに加え、各地域の CNF 製造事業者や CNF 製品製造事業者等に対しても、地域産業創出に当たっての課題と解決のポイントをヒアリングした。ヒアリング対象は、4.1 に記載の FS 事業代表事業者等を含め、表 4.4-1 の 12 組織となる。

表 4.4-1 FS 事業に関連するヒアリング先

地域	役割	事業者名	取組概要
静岡	CNF製造事業者	日本製紙（富士工場）	富士工場にて開発したCNF強化樹脂を環境省NCVプロジェクト等にサンプル提供
	CNF製造事業者／ CNF製品製造事業者	トクラス*1	FSにて、地域資源由来の木粉とPPをコンパウンド化し、CNF添加ウッドプラスチックキッチンを開発・製造
	CNF製品試作請負事業者	駿河エンジニアリング*2	自社ではCNF製品製造せず、金型納品先へのCNF素材の普及啓発（コーディネータ的役割）を実施。その際、自社の金型にてCNF素材を用いた製品試作は実施
	その他（FS代表受託者）	静岡大学	FS以降も、大学サイズに基づく研究開発支援を実施
	その他（自治体）	富士市	地域コンソーシアムを設立し、CNFに関する情報提供や企業間の連携を支援
岡山	CNF製造事業者	モリマシナリ-*3	県内資源由来の木材チップを原料としたCNFを製造
	CNF製品製造事業者	真庭バイオケミカル*3	県内資源由来のCNFを活用した消臭剤を開発・商用化
		丸五ゴム工業*1	FSにて、CNFを活用した自動車用ゴム部材を開発・製造
	その他（FS代表受託者）	岡山県	地域コンソーシアムを設立し、CNFに関する情報提供や企業間の連携を支援
三重	その他（FS代表受託者）	三重県 産業支援センター	地域コンソーシアムを設立し、CNFに関する情報提供や企業間の連携を支援
	公設試験研究機関	三重県工業研究所*1 （窯業研究室）	FS以降、「（環境省）平成30年度CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」を実施
		三重県工業研究所*1*3 （プロジェクト研究課）	FSにて、県内資源調査、用途開発調査を実施、FS以降、CNF活用検討会を開催

*1 FS共同事業者、*2 富士市「富士市セルロースナファイバー関連産業創出事業」受託事業者

ヒアリングで得られた情報のまとめを図 4.4-1 に示す。図 4.4-1 は、前述の 4.1.1 (2) と同様に PEST の軸で情報を整理した。また、4.1.1 (2) では、「FS 事業での達成状況」「FS 事業以降での達成状況」「継続的な課題」の 3 つの観点を横軸に情報を整理したが、「継続的な課題」に含まれる「(地域産業創出に特定されない) 全般的な課題」と「地域産業創出における追加的な課題」のうち、「地域産業創出における追加的な課題」を抽出した。

「地域産業創出における追加的な課題」は、自治体や公設試といった行政機関、CNF 製造事業者、CNF 製品製造事業者とそれぞれの観点からコメントを得た。これらを整理すると、図 4.4-1 の右に示す 3 つの課題に集約される。

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」の課題である。各課題の概要を図 4.4-2 に示す。

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る。

また、CNF 産業全体における CNF 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 4.4-3 のように図示できる。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、地域資源を CNF 原料として最適な用途・手法で活用することは、CNF の質的な向上に貢献する。この 2 つが実現することで、CNF の地域産業創出は、環境政策としての効果向上にも貢献できる。

前述の、CNF の地域産業創出の位置付けを踏まえると、図 4.4-1 で整理した 3 つの課題も、「量」の課題」と「質」の課題」に整理できる。具体的には、「地域が一丸となった地域産業創出モデルとしての取組」と「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」の課題は「量」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」は「質」の課題」となる。

4.4.1 から 4.4.3 にて、各ステークホルダーにおける「達成状況」のヒアリング内容を踏まえた、各課題への対応策の提案を記述する。

		地域産業創出の観点での追加的な課題	地域産業創出の課題まとめ
Politics (政治)	規制・補助	(地域産業創出に限定した課題への言及はなし)	
Economy (経済)	コスト低減と安定供給	<ul style="list-style-type: none"> 水分量が多い形状では、ほほ水を運んでいるのと同じで、輸送コストが高額となる。当社の CNF 製造設備は小規模なため、ユーザーの拠点内で CNF を製造することで、輸送コスト低減を図ることを検討している。(モリマシナリー) 	<p>課題1 地域が一丸となった地域産業創出モデルとしての取組</p> <p>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</p> <p>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</p>
Society (社会)	最終ユーザー不足	<ul style="list-style-type: none"> CNF の出口創出には、地域に関せず、広く事業者等の連携が不可欠である。(静岡) 実用化を担う加工業者やメーカー等実施主体となる企業が見つからなかった。(三重) 第一工業製業が三重県の CNF 事業の一番の原動力であった。TEMPO 酸化に限定されたため対象用途は限定できたが、TEMPO 酸化とマッチする製品製造事業者が県内では見つからなかった。(三重) 事業化には、技術面に加え、ビジネス面にも精通した企業出身のコーディネーターの支援が重要。業界の知見に加え、自身が持つコネクションも活かしくイックにコーディネートしてくれる。(三重) 有識者や研究機関との連携を支援してくれるコーディネータは少ない。(駿河エンジニアリング) 地域に同業他社が多いが横の連携がない。(駿河エンジニアリング) 岡山県内には開発志向の企業が多くない。(モリマシナリー) 県外企業とのマッチングは、化学系商社経由か、他地域のコンソ主催のセミナー等や、個別に企業から問い合わせがくるケースが主である。行政(地域コンソ等)が動いていない地域は、CNF 自体が知られていない可能性が高く、そうした地域は多い。地域コンソを立ち上げれば、出会える企業は増えるだろう。(モリマシナリー) 	
	環境整備不足	(地域産業創出に限定した課題への言及はなし)	
Technology (技術)	品質の安定性不足	<ul style="list-style-type: none"> 地域資源である茶殻由来 CNF は、一部を除き漂白できず、自動車の構造材等適用できないなど、資源によって、適さない用途が存在する。(静岡) 	

図 4.4-1 ヒアリング・ケーススタディを踏まえた地域産業創出の課題

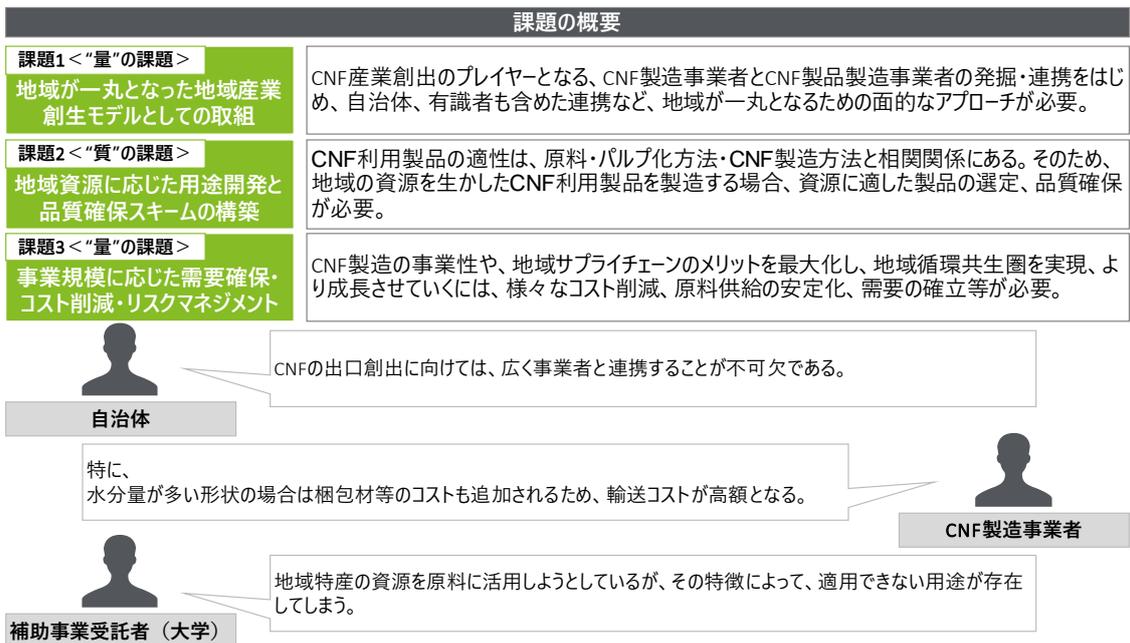


図 4.4-2 CNF による地域産業創出に係る課題とコメント

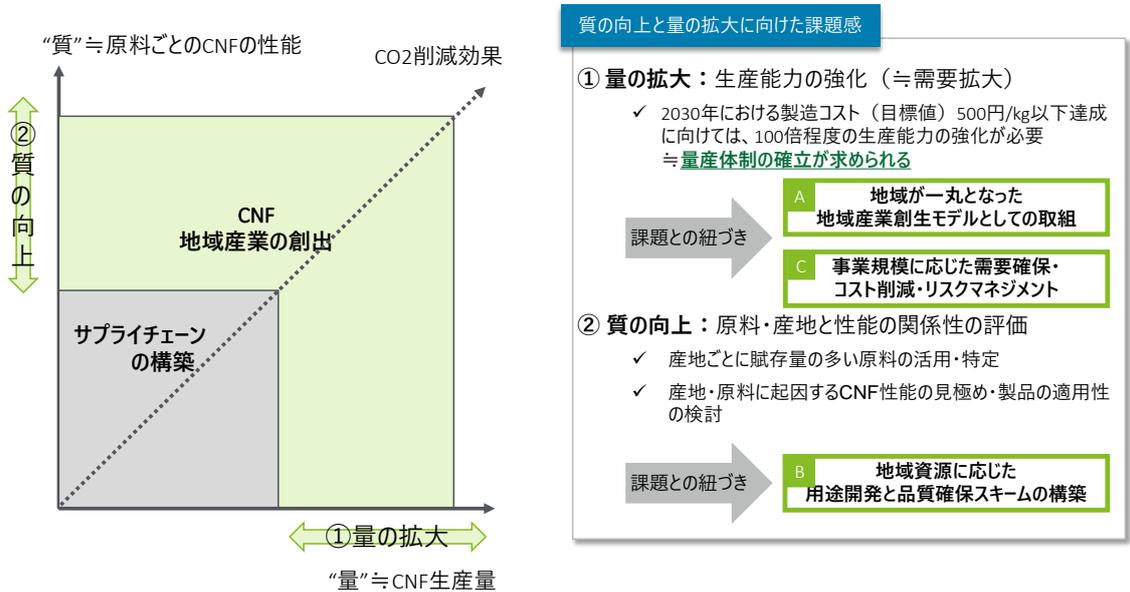


図 4.4-3 CNF の普及と CNF 地域産業創出の課題の関係性

4.4.1 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る。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ある。

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る。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る（図4.4-4）。

各地域コンソーシアムは様々な取組をしているが、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ある。具体的な要件を、表4.4-2に示す。特に重要な機能がコーディネータである。コーディネータは企業間や、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う。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る。図4.4-5で、地域コンソーシアムとコーディネータ機能に関するヒアリング結果を示す。

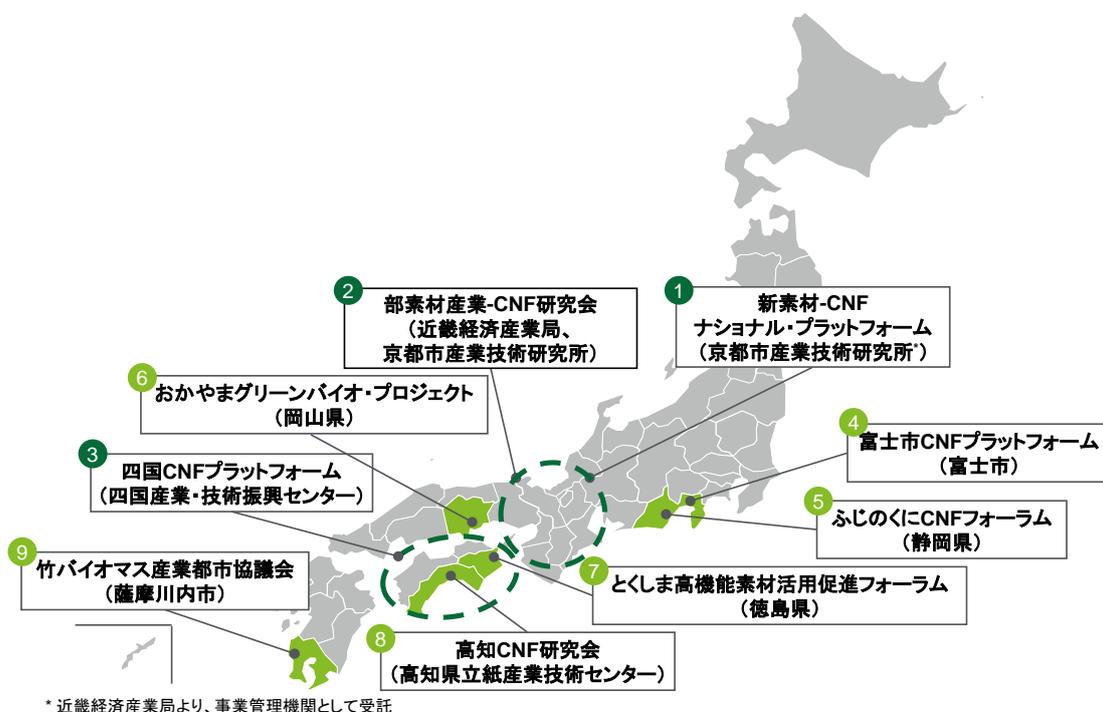


図 4.4-4 全国の地域コンソーシアム

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

表 4.4-2 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

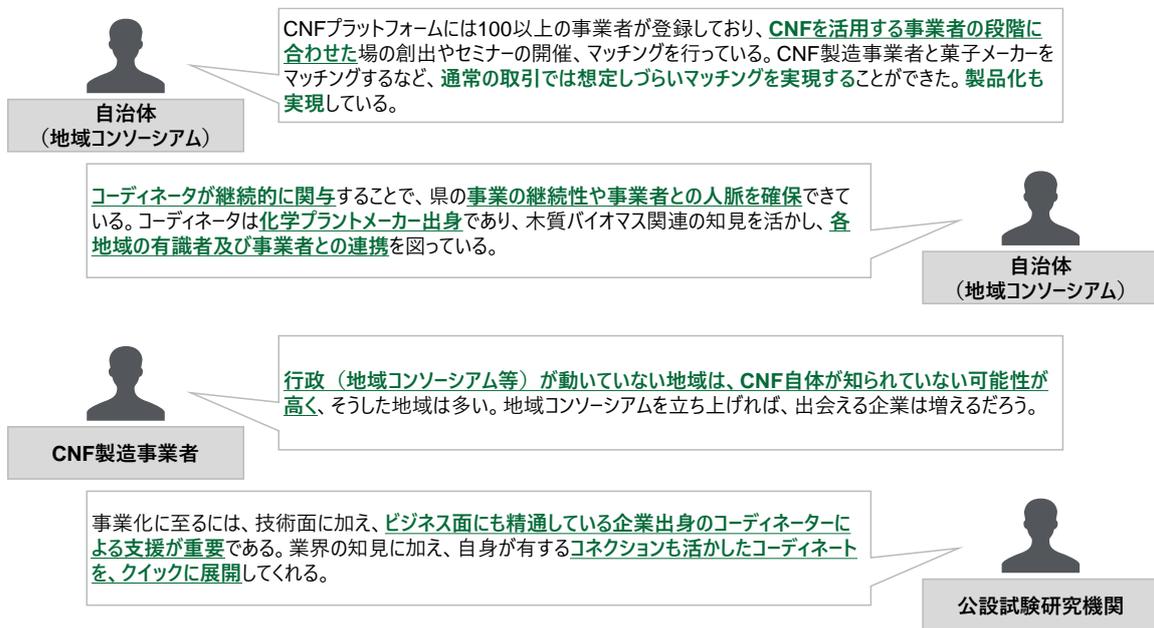


図 4.4-5 地域コンソーシアムやその機能に対するヒアリング意見

4.4.2 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る。NEDO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った。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る（図4.4-6）。

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記載する。表4.4-3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する。各地域の豊富な樹種、または、主要産業を起点に、品質の最大化が可能な原料・用途の選定に活用が望まれる。

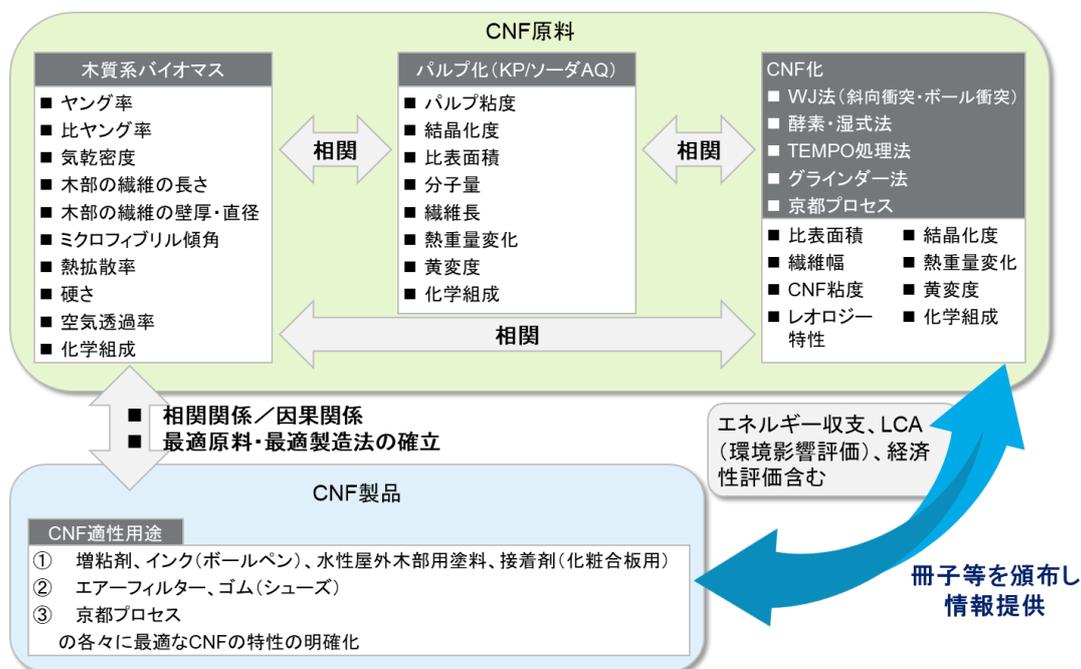


図4.4-6 CNF原料評価書における評価手法の関係性

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」

表 4. 4-3 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
トドマツ		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。その中でもCNFによる熱可塑性樹脂の補強はガラス繊維代替や活性炭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利用適正評価結果概要	<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倍にまで向上させている。 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>																																																																																																					
	<p>表 曲げ強度特性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>7%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>真庭スギ木粉</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>トドマツ合板用単版</td> <td>0.71</td> <td>11.5</td> <td>4.45</td> <td>139.4</td> <td>8.3</td> </tr> <tr> <td>トドマツ剥き芯</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(高密度)</td> <td>0.61</td> <td>10.5</td> <td>4.13</td> <td>129.1</td> <td>8.4</td> </tr> </tbody> </table>		7%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	トドマツ合板用単版	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(高密度)	0.61	10.5	4.13	129.1
	7%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																																																																																																	
トドマツ合板用単版	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(高密度)	0.61	10.5	4.13	129.1	8.4																																																																																																	

図 4. 4-7 CNF 原料評価書における利用適性評価抜粋「京都プロセスにおける CNF 強化樹脂」

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

(2) エアーフィルター

緑字：原料名称

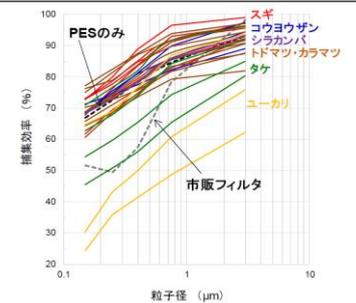
CNF配合のメリット・特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高分子やセラミックスから作製されたナノファイバーフィルターは圧力損失が小さく、粒子捕集効率とメンテナンス性に優れた省エネ型の高機能フィルターとして、実用化されている。CNFは直径が約20-40nm程度と小さいため、直径100nm程度の高分子ナノファイバーの形状を大きく変化させることなく添加することができ、さらに、表面に多くの親水性基を持つため、調湿フィルターへの応用が期待できる。
用途に必要な性能／性能評価概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ エアフィルターの初期性能は、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不織布フィルターを作製し性能の評価を行う。* ■ CNFナノファイバーを含む不織布フィルター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フィルター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ー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フィルター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不織布フィルターにCNFを加え、その添加効果を調べた。</p>
CNF利用適性評価結果概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 作製したCNF含有不織布フィルターの性能は、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ー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不織布フィルター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不織布フィルターとCNFを吸湿剤として用いたプレフィルター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不織布フィルターの初期性能（粒子径別初期捕集効率）</p>

図 4.4-8 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「エアーフィルター」

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

(3) 接着剤（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"> ■ 合板は、薄い板（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。 																																																																						
用途に必要な性能／性能評価概要	<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。 																																																																						
CNF利用適性評価結果概要	<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 1523 1085 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נק=1)</th> <th>浸漬剥離</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ブラנק 60 秒</td> <td>0</td> <td>○</td> <td>1</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>ブラנק 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>茨城スギ未成熟漂白 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>富山スギ未成熟漂白 KP-OC</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>2.92</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>熊本スギ未成熟漂白 KP-OC</td> <td>0.56</td> <td>○-</td> <td>3.33</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>熊本スギ未成熟漂白 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נק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נק=1)	浸漬剥離	ブラנק 60 秒	0	○	1	◎	ブラנק 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	◎	茨城スギ未成熟漂白 KP-OC *1	0.56	○-	3.44	◎	茨城スギ未成熟漂白 KP-OC *1	0.56	○-	2.92	◎	富山スギ未成熟漂白 KP-OC	0.56	○-	2.92	◎	熊本スギ未成熟漂白 KP-OC	0.56	○-	3.33	◎	熊本スギ未成熟漂白 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נק=1)	浸漬剥離																																																																			
ブラנק 60 秒	0	○	1	◎																																																																			
ブラנק 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	◎																																																																			
茨城スギ未成熟漂白 KP-OC *1	0.56	○-	3.44	◎																																																																			
茨城スギ未成熟漂白 KP-OC *1	0.56	○-	2.92	◎																																																																			
富山スギ未成熟漂白 KP-OC	0.56	○-	2.92	◎																																																																			
熊本スギ未成熟漂白 KP-OC	0.56	○-	3.33	◎																																																																			
熊本スギ未成熟漂白 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	◎																																																																			

図 4.4-9 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）」

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

(4) 増粘剤

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>ゼンブロン粉末</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	ゼンブロン粉末	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	ゼンブロン粉末	水溶性片栗粉																			
CNF利用適正評価結果概要	<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。 ■ クラフト蒸解バルブを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蒸解バルブを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取率が高く、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。 <div data-bbox="1043 723 1315 943" style="text-align: right;"> <p>図 CNFの年度とチキソ性の分布</p> </div>																					

図 4.4-10 CNF 原料評価書における利用適性評価の抜粋「増粘剤」

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

4.4.3 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ある。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る。

地域圏で CNF 関連産業を成立させるスキームは様々であるが、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る。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る。

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る（図 4.4-11）。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る。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る。

■ 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。

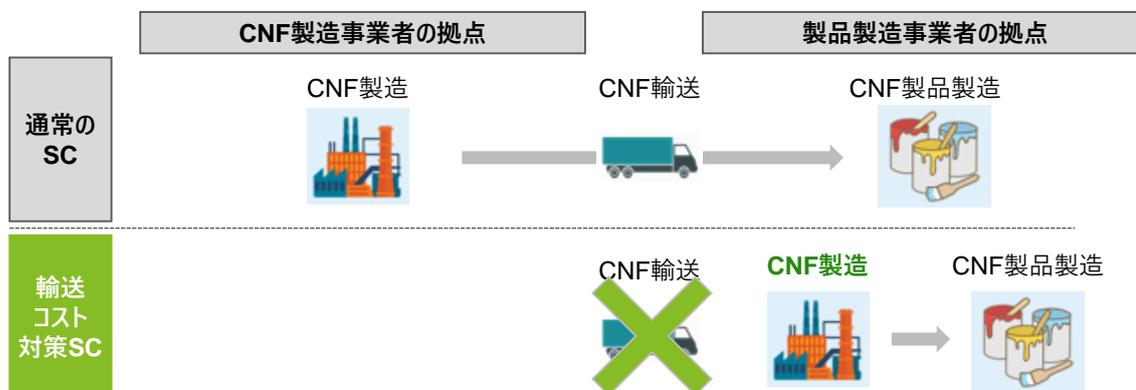


図 4.4-11 CNF の形状に伴う輸送コストの高額化への対応事例

4.5 CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理

前述の 4.4 までの検討結果を踏まえ、CNF の地域産業創出に当たり有用な情報を整理し、「CNF 利活用ガイドライン」へ掲載する情報の選定を行った。

掲載に当たっては、地域産業創出をけん引する役割である地方自治体を主たる読み手と想定し、プレイヤーである CNF 製造事業者、CNF 製品製造事業者も参照することを考慮し、内容を検討した。

具体的には、4つの観点で情報を整理した。

1 つ目は、「CNF による地域産業創出の目的と考え方」として、地域循環共生圏における CNF の位置付けや、その実現に伴う地域経済効果創出等の可能性を示すこととした。

2 つ目は、「CNF による地域産業創出に向けた検討事例紹介」として、ヒアリングで得た事例を掲載することとした。

3 つ目は、「CNF による地域産業創出に向けた課題と解決のポイント」として、本章に記述した情報を掲載することとした。

4 つ目は、「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」として、本章に記述した少量生産高価格モデル、大量生産低価格モデル、双方のマイクロ・マクロ検討のプロセスと結果を掲載することとした。

第5章 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO₂の客観的評価及び将来の量産時のLCCO₂の推定

本章では、国内のCNF及びCNF二次製品のライフサイクルでのCO₂排出量(LCCO₂)の客観的評価及び将来の量産時のLCCO₂の推定について概説する。CNFにはその導入のメリットの一つとして脱炭素化技術としての側面がある。この脱炭素化技術としての価値を示す指標としてはCO₂排出量削減効果が挙げられる。削減効果の定量化に当たっては特定プロセスのみを評価するのではなく、製造・使用・廃棄リサイクル等で構成される製品ライフサイクルにおいて既存技術の場合に対する削減効果を評価することが必要である。ただし、国内のCNFやCNF二次製品は多様な選択肢が存在し、そのLCCO₂は一義的に定まるものではなく、その製造方法及び用途に応じた定量化が必要となる。換言するとCNFを導入検討する場合には、当該素材を適用した二次製品の設計や製造プロセスにおける条件だしを繰り返すこととなるが、このときLCCO₂を開発指標の一つとし、脱炭素化技術としてのアピールポイントを明確にすることが必須である。

そのため本事業においては、CNF活用しようとする事業者が、自らライフサイクルの視点からCO₂排出量削減効果の概算を行うことを想定して、情報の整理を行った。整理に当たってはCNFの製造方法、発現するCNFの機能、想定される活用形態を体系的に整理するとともに、既存事例も併せて整理した。これらを踏まえて主要なCNFの製造方法を絞り込み、これについて将来量産時の温室効果ガス排出原単位の導出を行った。これらの検討結果の概要を、利活用ガイドラインとして反映し、検討結果の詳細を別冊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(以下、「CNF-LCAガイドライン」という)として反映した。

第5章の構成並びに調査の検討手順を図5-1に示す。5.1節では多様に存在するCNFの種類について、製造方法や原料によって類型化した。さらに、品質機能展開を応用することでCNFの種類と最終製品での要求品質の関連付けについて検討した。5.2節では国内におけるCNF関連技術のLCCO₂に係る情報について最新情報の収集を行い整理した。5.3節ではCNF活用製品のライフサイクルにおけるCO₂削減ポテンシャル等の確認を行った。5.4節では主要なCNF及びCNF二次製品として5.1～5.2節の調査状況を踏まえ、製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定を行うべき主要なCNFまたはCNF二次製品を選定した。5.5節では、5.4節で特定された主要なCNF及びCNF二次製品のそれぞれについて製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定を行った。5.6節では5.1から5.5節までの検討内容を踏まえてCNF-LCAガイドラインに反映するべき内容を検討した。5.7節では第5章の検討全体を通じて得られた課題を整理した。次節より検討のプロセスについて詳述する。

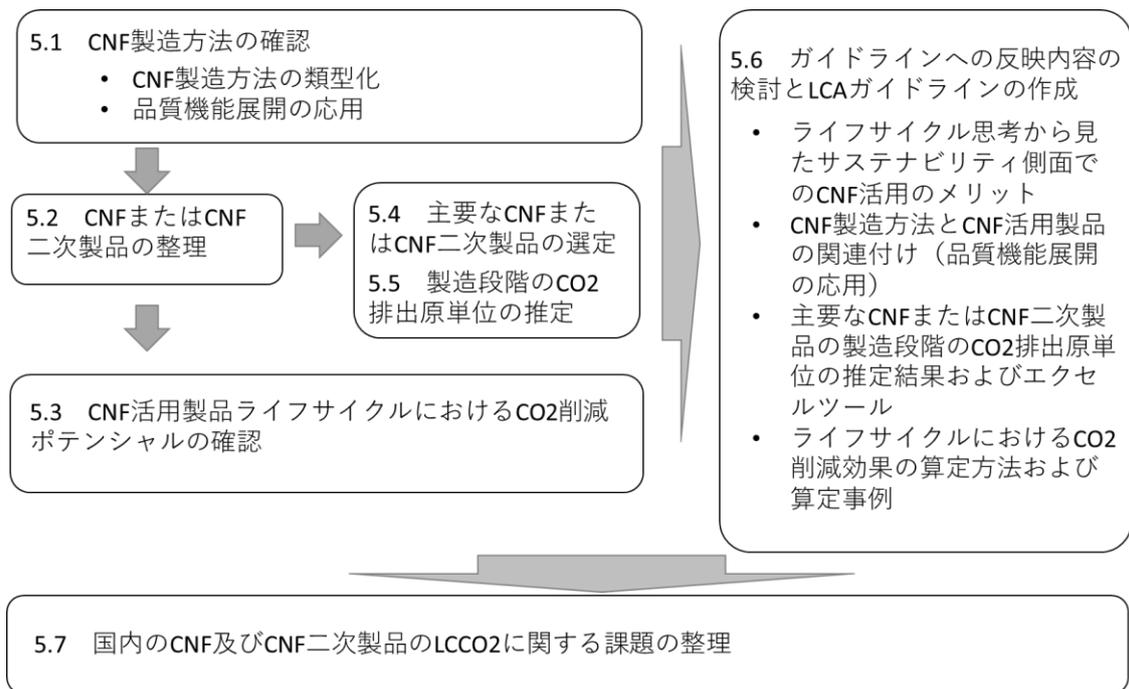


図 5-1 5章の構成及び検討手順

まず、そもそも「なぜ企業はCNFを活用するに当たってCO₂削減効果を評価しなければならないのか」について検討を行った。CNFは現段階では基本的に本格的な普及に至っていない素材であり、CO₂削減効果の評価は容易には実施できない。しかしながらCNF技術は企業ビジネスを通じてサステナビリティに関する様々な社会情勢に対応し得るものと期待されている。そこで、企業等が社会情勢に対応した製品を上市するに際したアクションを想定した（図5-2）。

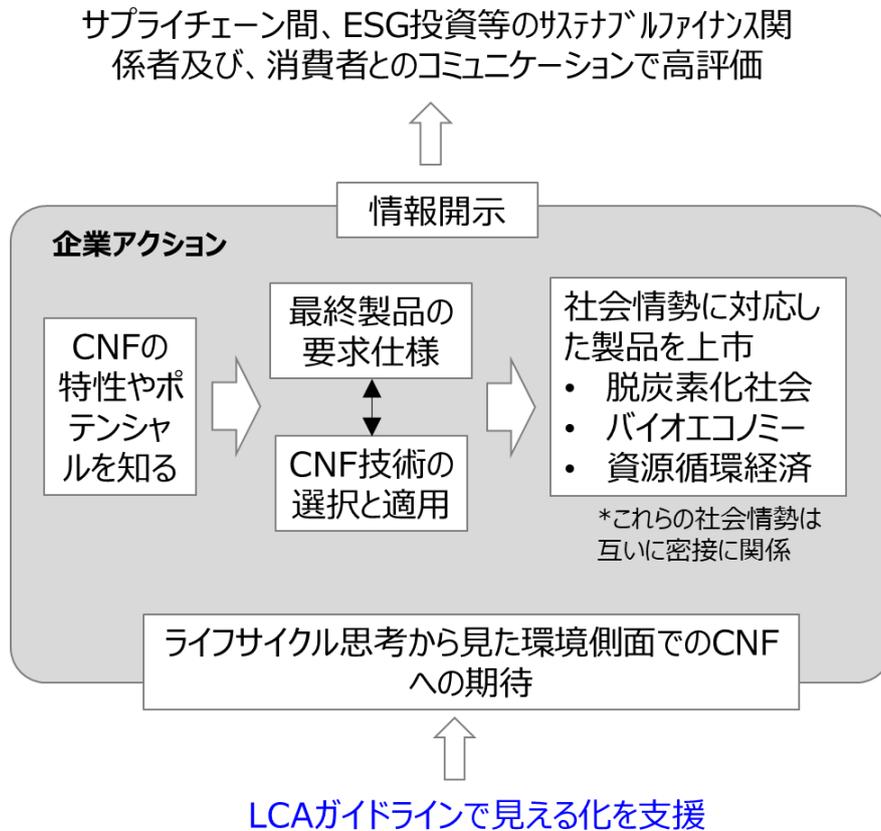


図 5-2 企業等が社会情勢に対応した製品を上市するに際したアクション

図 5-2 の各プロセスにおいて、ライフサイクル思考から見た環境側面での CNF 活用への期待を定量的に考察し、これに基づきステークホルダーとコミュニケーションすることが有効と考え、この期待の実現に資することを CNF-LCA ガイドラインの目的とした。

温室効果ガス排出削減効果の定量評価に関しては、ライフサイクルアセスメント (LCA) 手法をそのベースとして用いることが一般的である。LCA を実施しその結果を報告するに当たり、可能な限り透明性を持たせ、結果の信頼性を高めるように、ある一定の規則に基づいて LCA を実施する必要がある。そこで、国際標準化機構(International Organization for Standardization, ISO)が、LCA の実施手法に関して国際規格化を行ってきた。1997 年以後、LCA は、国際規格 ISO 14040、ISO 14041、ISO 14042、ISO 14043 として発行されている。日本国内においては、日本工業標準調査会の審議を経て、日本工業規格 JIS Q 14040:1997、JIS Q 14041:1997、JIS Q 14042:2002 及び JIS Q 14043: 2002 として制定された。さらに、これらの規格が ISO における規格再編とともに、JIS Q 14040:2010 (環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-原則及び枠組み) [1]及び JIS Q 14044:2010 (環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-要求事項及び指針) [2]として再編された。LCA は、ISO における国際規格発行の進捗とともに、世界そしてわが国において注目され、

多くの企業に取り入れられてきている。

LCAのISO規格によるとLCAでは原則として複数の環境側面を取り扱う。その理由は環境影響領域（環境側面の種類）によってトレードオフの関係が生じるためである。そのため、単一指標であるLCCO₂の検討に先立ち、まずはライフサイクル思考から見た環境側面の検討を行った。この検討においてはCNFの利活用を促進するというガイドラインの趣旨を鑑み、CNFへの期待されることについて主眼をおいた。具体的な検討は第7章で後述するLCA分科会にて行った。この検討結果について表5-1に示す。この検討結果は利活用ガイドライン序章の要素として反映した。CNF活用推進の懸念点としては、バイオマテリアルの水資源消費や土地利用といった環境影響の悪化について注意が必要であることが指摘された。また、脱炭素化に向けての有効性は環境に関わるその他の情勢と密接に関わり、総合的な視点が必要であることに留意する必要があることが指摘された。これらの議論を踏まえ、定量評価に関しては、まずはLCCO₂に焦点をあてたガイドラインとすることとした。さらには、図5-2に示す企業のアクションを支援するため、適正なLCCO₂算定の評価だけでなく、LCCO₂算定の容易化やLCCO₂算定コミュニケーションについてもCNF-LCAガイドラインの重要な目的とした。

表 5-1 ライフサイクル思考から見た環境側面での CNF 活用への期待

関連する社会動向	企業ビジネスから社会への貢献	CNF特有の物性に基づく社会動向への対策				CNFのバイオマテリアルとしての特性に基づく社会動向への対策	
		少量の素材で強度条件を満足	使用時エネルギー消費量の削減	耐久性	リサイクル性	バイオマテリアルの素材特性*	
バイオエコノミー	持続可能な林業への貢献					切り捨て間伐材の有効活用など森林資源の需要拡大による持続可能な森林管理への貢献 長期的視点でのサステナビリティへの貢献	
脱炭素化	製品ライフサイクルにおけるCO ₂ 排出量の削減	原料投入量の削減による素材製造時CO ₂ 排出量の削減	車両の部材軽量化による燃費・電費向上 建材の断熱性・遮熱性向上による省エネ	長寿命化による製造時のCO ₂ 排出量の削減	従来のone-way故の排出を回避 [CNF強化樹脂の効率的リサイクルシステム構築が必要]	社会ストックとしての炭素固定 (Harvested Wood Products : 伐採木材製品)	カーボンニュートラルによる焼却時CO ₂ 排出量削減 [適切な森林資源を適用することが前提]
資源循環経済	地下資源使用料・土壌廃棄物の削減	原料投入量の削減	石油資源使用量の削減	製品の長寿命化による資源効率の向上	ガラス繊維、炭素繊維強化樹脂の埋立回避	石油資源使用量の削減	

5.1 CNF 製造方法の確認

(1) CNF 製造方法の類型化

CNF と呼称されるものには多様な種類と製法が存在する。CNF 製造方法には多種の要素技術が存在しそれらの組合せは多様かつ増加している。国内では、原料パルプに化学処理を施した変性パルプ直接混練法（京都プロセス）によるアセチル化 CNF 強化樹脂への適用や TEMPO 酸化法による CNF や、原料に化学処理をせず機械解繊のみで製造される水中カウンターコリジョン法 CNF 等が著名である。CNF は製造方法によって発現される特性が異なる。これまで化学処理や機械解繊などの要素技術に関する個別の整理はなされてきたがライフサイクルを俯瞰した整理は不足していた。

処理方法には多種の要素技術が存在し
それらの組合せは多様かつ増加している

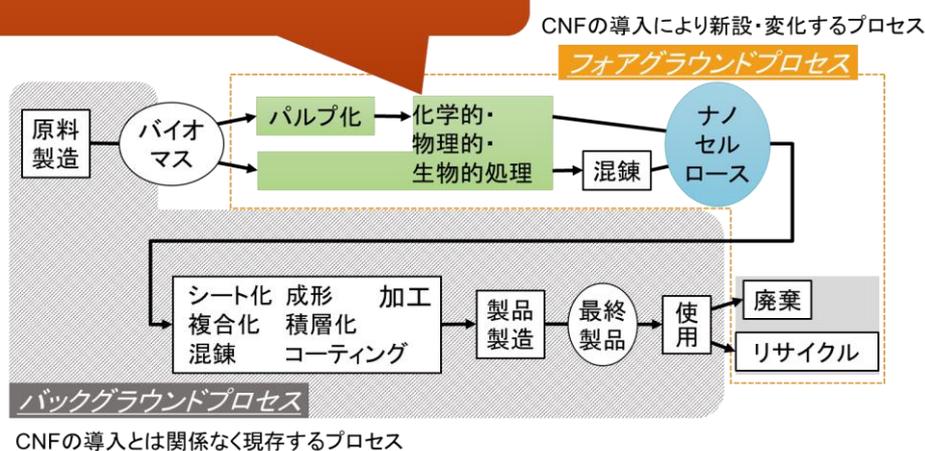
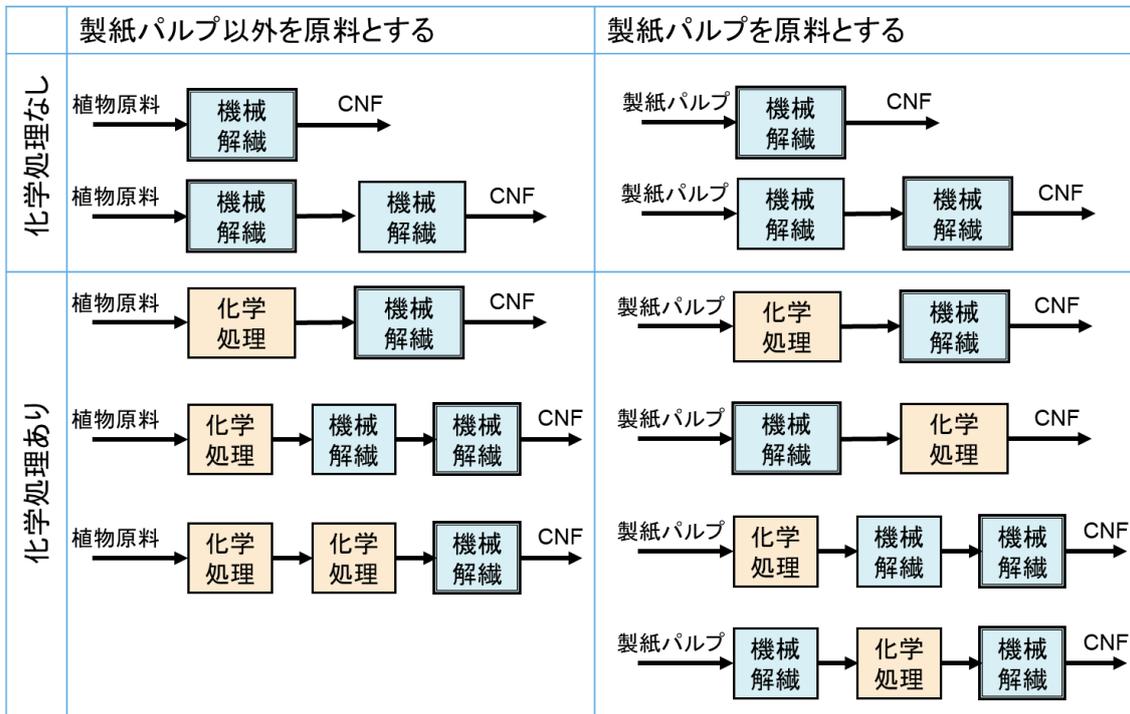


図 5-3 CNF のライフサイクルのイメージ

そこで、改めて図 5-3 の様に CNF のライフサイクルを俯瞰した。LCA を含むライフサイクル設計ではこの様に複雑なシステムを単位プロセスに区分けし、単位プロセスで考察しデータを整理することが定石である。過年度の「平成 30 年度セルロースナノファイバー利活用による CO₂ 排出削減効果等評価・検証事業委託業務」を参考にしつつ、既存の公開論文や特許情報、CNF 製造企業のウェブサイト等で公開されている情報を参照し、単位プロセスの組合せによる CNF 製造方法の要素技術別の類型を体系的に整理した（表 5-2、表 5-3、表 5-4）。原料が工業的に量産されている製紙パルプか否か、及び化学処理をすることによる機能性の付与の有無が CNF 特性や CNF を使用した二次材料（CNF 複合樹脂）の特性やライフサイクル設計に大きく関係すると考えられたためである。これらの類型毎に CNF 特性や CNF を使用した二次材料（CNF 複合樹脂）の特性が整理されることが期待される。

なお、(1) CNF 製造方法の類型化に関しては、東京大学菊池康紀准教授のグループが実施した。

表 5-2 CNF 製造方法の類型の体系的整理（資料[1]に基づき作成）



菊池康紀、兼松祐一郎、下野僚子、ライフサイクル思考に基づくナノセルロースの技術評価、ナノセルロース塾第3期 講演資料、2021 に基づき作成

機械解繊 : 主たる解繊プロセス

表 5-3 CNF 製造方法の類型の体系的整理と実例：製紙パルプ以外からの製造方法
(資料{1}に基づき作成)

類型	原料	化学処理	機械解繊
植物原料 → 機械解繊 → CNF	ペーパースラッジ		ウォータージェット グラインディング
植物原料 → 機械解繊 → 機械解繊 → CNF	木粉		粉碎 機械的疎水化
植物原料 → 化学処理 → 機械解繊 → CNF	ポテトパルプ	漂白	ホモジナイゼーション
	綿	漂白	グラインディング
	稲わら	漂白	高速攪拌
植物原料 → 化学処理 → 機械解繊 → 機械解繊 → CNF	ビートパルプ	蒸解漂白	凍結破碎 ホモジナイゼーション
	大豆殻	漂白	リファイング ホモジナイゼーション
植物原料 → 化学処理 → 化学処理 → 機械解繊 → CNF	稲わら	漂白 TEMPO酸化	超音波処理
		漂白 TEMPO酸化	リファイング

菊池康紀、兼松祐一郎、下野僚子、ライフサイクル思考に基づくナノセルロースの技術評価、ナノセルロース塾第3期 講演資料、2021 に基づき作成

機械解繊 : 主たる解繊プロセス

表 5-4 CNF 製造方法の類型の体系的整理と実例：製紙パルプからの製造
(資料{1}に基づき作成)

類型	化学処理	機械解繊
製紙パルプ → 機械解繊 → CNF		ウォータージェット グラインディング リファイング
製紙パルプ → 機械解繊 → 機械解繊 → CNF		リファイング ホモジナイゼーション ニーディング 超音波処理 リファイング ボールミル
製紙パルプ → 化学処理 → 機械解繊 → CNF	TEMPO酸化 カルボキシメチル化	ホモジナイゼーション ホモジナイゼーション
製紙パルプ → 機械解繊 → 化学処理 → CNF	TEMPO酸化	ボールミル
製紙パルプ → 化学処理 → 機械解繊 → 機械解繊 → CNF	アセチル化	グラインディング
	酵素処理	超音波処理 ボールミル
	TEMPO酸化	リファイング 超音波処理
	TEMPO酸化	グラインディング 超音波処理
製紙パルプ → 機械解繊 → 化学処理 → 機械解繊 → CNF	アセチル化	リファイング 混練

菊池康紀、兼松祐一郎、下野僚子、ライフサイクル思考に基づくナノセルロースの技術評価、ナノセルロース塾第3期 講演資料、2021 に基づき作成

機械解繊 : 主たる解繊プロセス

(2) CNF の製造方法に着目した品質機能展開 (QFD) の利用

前述の CNF 製造方法の種類では、製品・サービスを提供する事業者にとって関心のある最終製品の要求品質との関連付けが出来ていない。そこで、製品・サービスの企画等で用いられる品質機能展開 (QFD) の手法を応用して、最終製品の要求品質と、CNF 材料特性、CNF 製法の連関を特定し、CNF のライフサイクル設計・評価における留意点を整理するための枠組みを提供することとした。

QFD では、要求品質、CNF 材料特性、CNF 製法の項目を論理的に階層化 (展開) しながら挙げることによって、各項目をもれなくかぶりなく、抽象度をそろえた形で導出できることで、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期待できる。また、項目間の関係を示す二元表により、要求品質と CNF 材料特性、CNF 材料特性と CNF 製法といった関係を俯瞰できることで複層的な情報を整理し、関係者間のコミュニケーションを円滑にすることが期待できる。これらは、CNF を活用した素材と、最終製品を構成する部品・部材を、製造技術に関連する要素にブレークダウンして体系的に紐づける考え方である (イメージを図 5-4 に示す)。

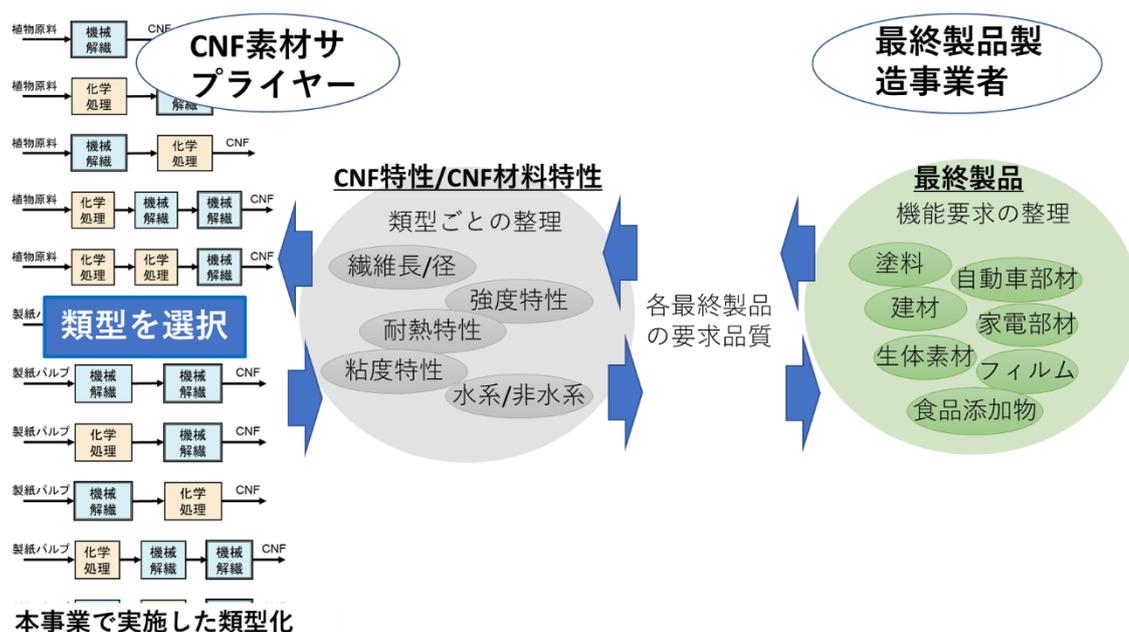


図 5-4 CNF を活用した素材と最終製品を構成する部品・部材の紐づけ (イメージ)

図 5-5 に CNF の製造方法に着目した QFD の構成要素を示す。図 5-5 の各象限 (①~④) について逐次検討することにより、CNF サプライヤー及び CNF ユーザー間での効率的かつ効果的なコミュニケーションが期待される。

		材料特性														ライフサイクル設計における留意点													
		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・線膨脹係数)	荷重たわみ温度(HDT)	成形性(MFR)	耐水性	難燃性	リサイクル毒性	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	バイオ由来炭素	エネルギー起源炭素	機能単位の精査	スケール効果	化学プロセスの工業化	電力原単位の影響	プロセス廃棄物の処理	リサイクル性	
要求品質 (最終製品)	共通																												
	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				◎																								
	衝撃に耐えることができる				○																								
リサイクルできる										◎																		✓	
CNF製法	要素技術																												
	蒸解																												
	叩解																												
	リファイナー																												
	多軸混練機	◎	◎																										
アセチル化 ²	◎	◎		◎									◎				疎水	◎			◎								
ASA変性 ³																													

図 5-5 CNF の製造方法に着目した品質機能展開の構成要素

行方向(縦)には「要求品質 (最終製品)」、「CNF 製法」の情報を並べ、列方向(横)には「材料特性」、「ライフサイクル設計における留意点」の情報を並べている。詳細は後述するが、これら要素間の連関を見ていくことで、その材料が最終製品に必要な要求を満たしているか、その機能はどのような製造プロセスによって発現するものか、LCA やサプライチェーン設計を行う上ではどのような点に留意すべきか、といったことが整理できる。基本的な考え方として、この QFD に完成形は存在せず、常にアップデートされていくことを想定しており、サプライヤーやユーザー等の間での意見交換を通して表を作成・更新する過程においてこそ、もっとも効果を発揮すると言える。

QFD の枠組みを提示するだけでなく、より積極的な事業者の利用を促進するため、QFD の枠組みを利用した事例として、変性パルプ直接混練法 (京都プロセス) によるアセチル化 CNF 強化ナイロン 6 の自動車構造材への適用事例を作成した。なお、当該事例の作成においては京都大学矢野浩之教授にご協力いただきヒアリング調査を実施した。これにより高い精度での事例が作成出来たものと思われる。

なお、(2) CNF の製造方法に着目した品質機能展開 (QFD) の利用 については東京大学菊池康紀准教授のグループが実施した。

表 5-5 CNF の製造方法に着目した品質機能展開の実施例（京都プロセス（変性パルプ直接混練法）によるアセチル化 CNF 強化ナイロン 6 の自動車構造材への適用）

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

		材料特性														ライフサイクル設計における留意点																		
		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	耐薬性	液体への分散性	樹脂への分散性	透明度	バイオ由来炭素	エネルギー起源炭素	機能単位の精査	スケール効果	化学プロセスの工業化	電力原単位の影響	プロセス廃棄物の処理	リサイクル性				
要求品質 (最終製品)	共通																						△	△	△									
	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			◎									◎																					
	微細発泡できる											◎																						
	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										◎																								
CNF製法	要素技術																																	
	蒸解																																	
	叩解																																	
	リファイナー																																	
	多軸混練機	◎	◎												10-500nm											△		△	△					
	アセチル化 ²	◎	◎		◎	◎	◎		◎	○	◎	◎				◎		疎水	◎			◎				△	△	△	△					
ASA変性 ³																																		

◎：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

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。

(作成協力：東京大学)

5.2 CNF または CNF 二次製品の整理

国内における CNF 関連技術の LCCO₂に係る情報について、CNF または CNF 二次製品別に最新情報の収集を行い、情報を整理した（表 5-6）。

表 5-6 CNF または CNF 二次製品別の整理^{※5}

CNF または CNF 二次製品	CO ₂ 削減効果の算定実績	温室効果ガス排出原単位 ^{※4} kg-CO ₂ eq/kg	生産能力 t/年
変性パルプ直接混練法（京都プロセス）による CNF 強化樹脂（CNF 二次製品）	環境省事業において自動車部品の軽量化として広く実績あり。	3~9 ^{※1} kg-CO ₂ eq/kg （CNF 強化樹脂、量産化効果考慮済み）	10 トン-CNf 強化樹脂/年（日本製紙富士工場 2017 年 6 月）、CNF 複合材料換算で約 200 トン/年（星光 PMC）
TEMPO 酸化ナノ解繊 CNF	低燃費タイヤ DUNLOP 「エナセーブ NEXT III」にて、住友ゴム、三菱ケミカル、日本製紙が開発した CNF 材料が使用された実績あり。 環境省事業において第一工業製薬のリチウムイオンバッテリー材料としての評価事例あり。	50~110 kg-CO ₂ eq/kg-TOCN ^{※2} （水分散状態、量産化効果も含まれているが、要検討事項あり）	生産能力 500 トン/年（日本製紙石巻工場 2017 年 4 月） 生産能力 30 トン/年（日本製紙岩国工場 2013 年~）
湿式微粒化法 CNF	環境省事業において CNF 添加住宅部材による高断熱化として事例あり。	N/A	生産能力 CNF 水分散液の状態では 1t/day（スギノマシン） 機械装置であるため、ナンバリングアップによる大量生産は可能。
グラインダー法 CNF	NEDO 事業 CNF 原料評価において、除湿装置のエアフィルター及び天然ゴム複合化材料での評価事例あり。 環境省事業において自動車部品の軽量化として実績あり。	0.4~0.9 ^{※3} kg-CO ₂ eq/kg-CNF （5%水分散状態のリグノセルロースナノファイバー。量産未考慮）	2019 年より 5 トン/年の生産予定（増幸産業） 機械装置であるため、ナンバリングアップによる大量生産は可能。
ACC 法 CNF 複合樹脂	環境省事業において自動車部品の軽量化及び CNF 活用住宅部材による遮熱効果として実績あり。	N/A	N/A

※1・・・環境省 平成 31 年度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（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～、NCV プロジェクト）の内部資料

※2・・・環境省 平成 30 年度セルロースナノファイバー利活用による CO₂ 排出削減効果等評価・検証事業委託業務成果報告書

※3・・・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（2020 年 3 月）

※4・・・温室効果ガス排出原単位の数値は機能が揃っていないため、記載している数値同士での比較ができない点に留意しなければならない

※5・・・変性パルプ直接混練法（京都プロセス）による CNF 強化樹脂（CNF 二次製品）、TEMPO 酸化ナノ解繊 CNF ならびに湿式解繊法 CNF に関しては後述する 5.5 節にて、製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定作業を行い、より精度の高い結果を得て別冊 3 にその結果を記している。

表 5-6 に記載する温室効果ガス排出原単位については、数値の比較をすることはできない。「CNF または CNF 二次製品」の CO₂ 排出量が比較できない理由は、以下の 3 点である。

- ・最終製品として使われたときの機能が異なるため
- ・提供される形態が異なるため
- ・用途が異なるため。

CNF の特性は極めて多様であり、最終製品中の添加量等も異なる。特に CO₂ 排出量は最終製品の中で総合評価すべき位置づけである。

なお、表 5-6 に挙げる他、東京大学磯貝明教授の紹介資料や、京都市産業技術研究所の「セルロースナノファイバー関連サンプル提供企業一覧」などから抽出した国内の CNF 製造事業者について、ウェブサイト等から CO₂ 削減効果の算定実績や CNF 製造時の温室効果ガス排出原単位について網羅的に調査を行った。しかし、公開されている情報は得られなかったため、本報告書及びガイドラインには掲載していない。

表 5-6 を整理した結果、温室効果ガス排出原単位の数値が公表されている CNF 及び CNF 二次製品は少なく、更に量産化を考慮されているものと未考慮のものが存在していた。そのため、CO₂ 削減効果の算定を実施したい場合、現状では一部の CNF 及び CNF 二次製品しか評価できない状態であることが分かった。そこで、CNF には多様な種類が存在するが、主要な CNF 及び CNF 二次製品について CNF 製造時の CO₂ 排出原単位の推計を行うこととした (5.4、5.5 で詳述)。

5.3 CNF 活用製品のライフサイクルにおける CO₂ 削減ポテンシャルの確認

最終製品別に削減効果量に関する情報を文献やヒアリング調査で収集し、「原材料調達」「CNF または CNF 二次製品の製造」「最終製品への加工」「リサイクル」「廃棄」を含む各段階の技術・システムごとに現時点の CO₂ 削減効果量等を整理した（表 5-7）。表 5-7 における「リサイクル」とは市場回収後の使用済み品（ポストコンシューマー）のリサイクルを想定している。CNF を含んだポストコンシューマーのリサイクル実績は現段階で無いため、ここでのリサイクルの評価はリサイクルされたとしたら、といった仮定値となる。

表 5-7 削減効果量の整理

最終製品名、機能単位	CNF 添加量	CO ₂ 削減効果量[kg-CO ₂]				
		原材料調達	CNF の製造	CNF 二次製品の製造	最終製品への加工	使用
CNF 活用乗用車 1 台、10 万 km	10-15% 程度 (部品依存)	272 ※二次的軽量化効果が主な削減要因			1,967 ※軽量化による燃費向上が主な削減要因	-191 ※プラスチックの焼却が主な増加要因
軽量自動車部品 1 個、10 万 km	10%	-1.1 ※プラスチック製造及び CNF 製造が主な増加要因			3.3 ※軽量化による燃費向上が主な削減要因	2.5 ※プラスチックのリサイクルが主な削減要因
遮熱合わせガラス、住宅一戸分 4 枚、30 年	1% (フィルム中の添加率)	-64 ※プラスチック製造及び合わせガラスの組立工程が主な増加要因			233 ※遮熱効果による消費電力削減が主な削減要因	-27 ※プラスチックの焼却が主な増加要因

表 5-7 では削減効果量の整理に留めているが、「CNF 活用乗用車」については、削減ポテンシャル量まで整理した。削減ポテンシャル量とは、CNF-LCA ガイドラインにおいて、削減効果量に普及場を乗じたものを指し、次の式によって算定できる。

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

「CNF 活用乗用車」の普及量は以下の通り推計した。

「乗用車の平均車齢推移表(自動車検査登録情報協会)」の新車台数と初年度登録年度別保有台数のデータから計算した残存率及び「日本の将来推計人口(国立社会保障人口問題研究所)」を参考に新車台数と初年度登録年度別保有台数を推計した。「EV 等 販売台数統計」、

「EV等保有台数統計」及び「次世代自動車戦略2010」を活用し、次世代自動車/乗用車の予測比率から次世代車の新車台数と初年度登録年度別保有台数を推計した。

この「CNF活用乗用車」の情報を参考に、算定条件宣言シートの記載例を「別冊3-2 4. 記載例 4.4 CNF自動車部材」に、算定例として「別冊3-3 例1：自動車部品へのCNF素材の適用についての簡易算定」を作成した。

5.4 主要なCNFまたはCNF二次製品の選定

上記5.1～5.2節の調査状況を踏まえ、製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定を行うべき主要なCNFまたはCNF二次製品を性能・供給量の観点からLCA分科会（第7章で後述）での議論を受けて選定した。具体的には、変性パルプ直接混練法（京都プロセス）によるCNF強化複合樹脂、TEMPO酸化ナノ解繊CNF及び湿式解繊法CNFの3種類を選定した。

5.5 製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定

5.4 節で主要と判断された CNF 及び CNF 二次製品について、その製造段階の温室効果ガス排出原単位を推定した。推定値は、実験室規模の製造技術に基づく値と、近い将来工業化されたとした場合の現実的に達成可能な製造技術に基づく値の 2 種類を求めた。近い将来工業化されたとした場合としては CNF の 5～10 年以内の増産を前提とした。将来の工業化の推定のためには、化学工学的知見に基づく CNF 量産化製造プロセスのモデリングとシミュレーションが必要である。そうした知見と化学プロセスシミュレータを保有する東京大学菊池康紀准教授のグループに業務委託することで推定精度を高めた。推定値については、将来の技術動向、CNF 製造事業者の設備投資、実際の社会情勢等によっても変動する。そのため、単一の推定値ではなく、現実性が高いと思われる範囲、すなわち推定値の取りうる範囲を算定することを目標とした。5.6 節に記す CNF-LCA ガイドラインの策定に資するため、算定手法の限界と活用のされ方を明確にしたうえで製造段階の温室効果ガス排出原単位の導出を行った。

具体的な推定手順は以下の通り。

i. CNF 製造プロセスモデルの構築

実証実験、特許情報、文献、有識者へのヒアリング調査等から CNF 製造にかかるプロセスモデルを構築した。具体的には、製造プロセスにおいて入力される原料やユーティリティ（電力・熱・水など）と、出力される廃棄物や副産物の種類と量を特定。この際、化学修飾プロセス等の CO₂ 排出量の観点で重要と思われるプロセスについては、実測データ収集の可否を検討し、必要に応じて実測データを収集した。

ii. シミュレーション等による推定

構築された CNF 製造にかかるプロセスモデルに基づいて、現時点での製造技術に基づく推定、並びに量産プロセスの設計とシミュレーションによる推定を行った。推定の際には、必要に応じて実測データを収集した。推定のベースとなるライフサイクルインベントリデータベースとしては IDEA v.2※を採用した。

※IDEAv.2 について

世界最大級の温室効果ガス排出原単位のデータ数を有し、高い網羅性、完全性、透明性を有している LCA データベースであり、環境省「平成 31 年度社会実装に向けた CNF 材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～（NCV プロジェクト）」や、環境省「平成 30 年度セルロースナノファイバー利活用による CO₂ 排出削減効果等評価・検証事業委託業務」でも用いられているため、本調査の目的から利便性と公平性の高い評価基盤と考えた。

以下に変性パルプ直接混練法（京都プロセス）による CNF 強化複合樹脂、TEMPO 酸化

ナノ解繊 CNF 及び湿式解繊法 CNF の 3 種類の内容について概説する。

5.5.1 変性パルプ直接混練法（京都プロセス）による CNF 強化樹脂の製造時温室効果ガス排出原単位推算

変性パルプ直接混練法は、原料パルプを解繊しナノファイバーにしてから樹脂と混ぜるのではなく、セルロース繊維の集合体であるパルプを樹脂と直接混練して、パルプのナノ解繊とナノファイバーの樹脂中への均一分散を同時に行うプロセスである[4]。混練プロセスそのものは従来の強化樹脂製造でも用いられている。混練の前にパルプを化学変性（ここではアセチル化）することで解繊性の向上と、強度等の機能の向上を同時に達成することを狙っている。京都大学と京都市産業技術研究所が中心となって開発がすすめられたことから通称「京都プロセス」と呼ばれている。排出原単位推算に際し、まずは変性パルプ直接混練法のプロセスフローを特定した（図 5-6）。

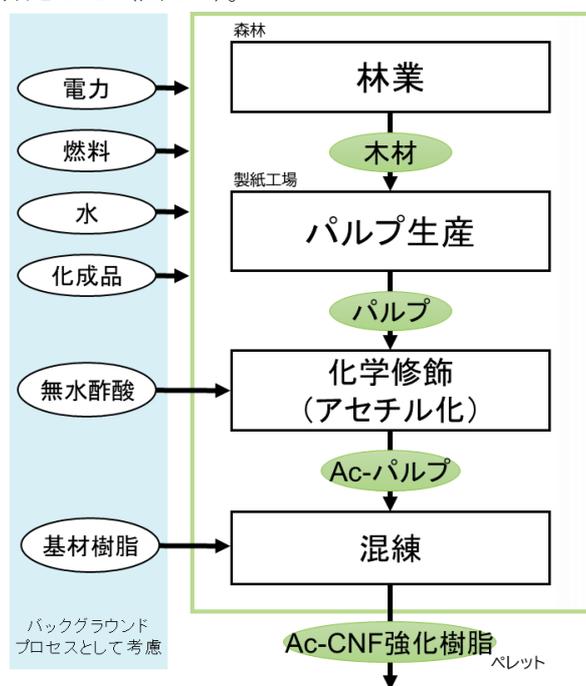


図 5-6 変性パルプ直接混練法のプロセスフロー

続いて、温室効果ガス排出量の推算式を検討した。その概要を述べる。

■アセチル化パルプ製造

- $GHG_{Ac/パルプ}$ (kg-CO₂eq/kg-Ac/パルプ) $\left\{ \begin{array}{l} \text{実験室製法: 91 \sim 94} \\ \text{工業的製法: 8 \sim 17} \end{array} \right.$

■アセチル化CNF強化樹脂製造

- $GHG_{強化樹脂}$ (kg-CO₂eq/kg-強化樹脂)

$$= GHG_{Ac/パルプ} \times r + GHG_{基材樹脂} \times (1-r) + P_{混練} \times GHG_{電力}$$

r (CNF混練率) $P_{混練}$ (混練機の電力消費量 (kWh/kg-樹脂))

$P_{混練} \left\{ \begin{array}{l} \text{実験規模: 7} \\ \text{工業規模: 0.8} \\ \text{(サンプル値)} \end{array} \right.$
- $GHG_{xxx} = XXX$ の製造時GHG排出量 (kg-CO₂eq/単位量)

アセチル化パルプ (Ac パルプ) はパルプを無水酢酸と反応させることで得られる。実験室的製法では反応時の溶媒として NMP(n-メチルピロリドン)が用いられているが、量産プロセスでは削減または回避したい物質であるため、反応物である無水酢酸を量論比よりも大幅に多く投入することで溶媒としても機能させることが検討されている[3]。この方法を採用した場合、アセチル化反応に寄与しなかった未反応無水酢酸やパルプ中の水分との副反応で生じた酢酸を分離回収することが考えられるが、蒸留塔などが必要となるため実験室では実現不可能と考えられる。NMP は量産時には使用されないという前提に立ち、上記の $GHG_{Ac/パルプ}$ (アセチル化パルプの製造時温室効果ガス排出量) の「実験室製法」は NMP の代わりに無水酢酸を溶媒としても利用するが、副生酢酸と未反応無水酢酸の分離回収を行わなかった場合の推算値を指し、「工業的製法」は分離回収を工業的に実施した場合の推算値を指す (詳細については既報[3]を参照)。この分離回収条件によって温室効果ガス排出原単位には幅が生じ、さらに原料パルプは製紙パルプを想定しているため、製紙条件によっても製造時温室効果ガス排出原単位が異なる。上記の条件による低位・高位の温室効果ガス排出量を示している。

表 5-8 にアセチル化パルプ生産における低位・高位温室効果ガス排出量的前提条件を整理した。

表 5-8 アセチル化パルプ生産における低位・高位温室効果ガス排出量の前提条件

構成要素	低位	高位
パルプ生産プロセス	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最小値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最大値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。
アセチル化プロセス	未反応無水酢酸及び副生酢酸を分離する蒸留塔の還流比を高め に設定し、アセチル化反応器の 後段及び脱気装置の後段で分離 を実施。	未反応無水酢酸及び副生酢酸を 分離する蒸留塔の還流比を標準 値に設定し、アセチル化反応器 の後段のみで分離を実施。

アセチル化 CNF 強化樹脂製造の温室効果ガス排出量は、上記の GHG_{Ac} パルプを用い、CNF 混練率 (r)、基材樹脂の温室効果ガス排出原単位 ($GHG_{\text{基材樹脂}}$)、混練機の消費電力 ($P_{\text{混練}}$)、使用電力の GHG 排出原単位 ($GHG_{\text{電力}}$) を用いて、上記のような式で示すことができる。 $P_{\text{混練}}$ にはサンプル値を記載しているが、使用する機器や温度条件などによって変化する。可能な限り実際の製造条件を想定した実測値を用いることを推奨する。

なお、アセチル化パルプ生産や基材樹脂生産にも電力は使用されており、厳密にはこれらの温室効果ガス排出原単位も電力をパラメータとした関数で表現が可能であるが、検討した範囲では電力の影響は無視できる程度に小さかったため、わかりやすさを重視してここでは定数値とした。例えば、電力を多く使用する製造方法で生産される基材樹脂を用いる場合には、適宜その影響も考慮すべきである。

変性パルプ直接混練法 CNF の温室効果ガス排出原単位計算式を利用して、スケールアップやプロセス改善、電力の低炭素化がアセチル化 CNF 強化樹脂の温室効果ガス排出量に及ぼす影響を検討した(図 5-7)。図 5-7 は横軸にアセチル化パルプ(Ac パルプ)温室効果ガス排出量を取り、それが変化した場合のアセチル化 CNF 強化樹脂の温室効果ガス排出量を縦軸にプロットしたものである。グラフ右上の 2 点が実験室製法(高位と低位)であるが、工業的製法としてプロセス改善とスケールアップを実現した場合、Ac パルプの温室効果ガス排出原単位は 8 割～9 割程度低減できる可能性がある(グラフ左下)。CNF 混練率 30%で PA6(ポリアミド 6)樹脂との混練を行った場合、工業的製法にすることで実験室製法に比べて、強化樹脂全体では 6 割～7 割程度の温室効果ガス削減が可能であると考えられることを示している。なお、工業的製法においても無水酢酸の分離回収方法の選択肢によって温室効果ガス排出量が変わりうるため、その高位・低位両方の排出量を示している。(詳細については既報[3]を参照)

スケールアップとプロセス改善の効果

CNF(30%) PA6の強化樹脂生産(混練1回を仮定)

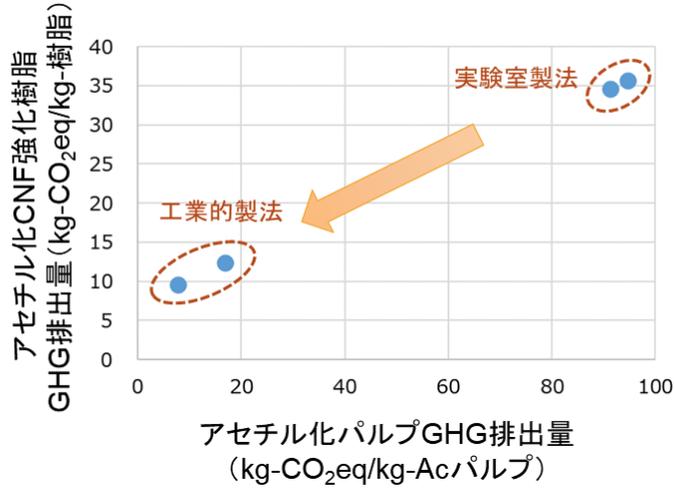


図 5-7 スケールアップとプロセス改善の効果

また、電力の低炭素化の効果について、工業的製法の Ac パルプを用いた場合に対して、低炭素電力の使用によってどの程度温室効果ガス削減されるかを検討したものが図 5-8 のグラフである。例として電力の温室効果ガス排出原単位が 50%低減した場合と、太陽光発電による電力を用いた場合（原単位は電力中央研究所報告書[6]より抽出）をグラフ上に示している。

電力の低炭素化の効果

CNF(30%) PA6の強化樹脂生産(混練1回を仮定)

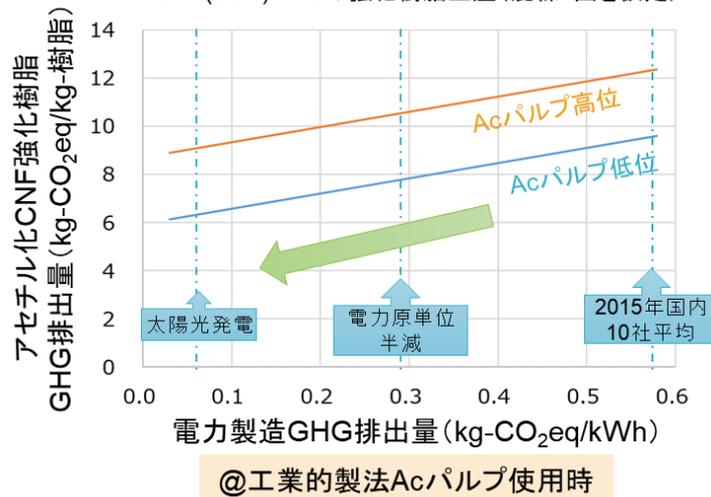


図 5-8 : 電力の低炭素化の効果

5.5.2 湿式解繊法による CNF 分散液の製造時温室効果ガス排出原単位推算

湿式解繊法は、パルプを水に分散させたパルプ分散液を、高圧ホモジナイザー、マイクロフルイダイザー、グラインダー、超音波処理機、などで機械的に処理することでパルプを解繊し、CNF 分散液を得る方法である。実際には呼称の統一はされていないが、本書では上記を「湿式解繊法」と称することとする。まず、湿式解繊法 CNF 製造のプロセスフローを特定した（図 5-9）。分散液をそのまま使用する場合もあるが、乾燥する場合にもその方法が多様に存在するため、本書では CNF 分散液の温室効果ガス排出量の算出までを対象としている。

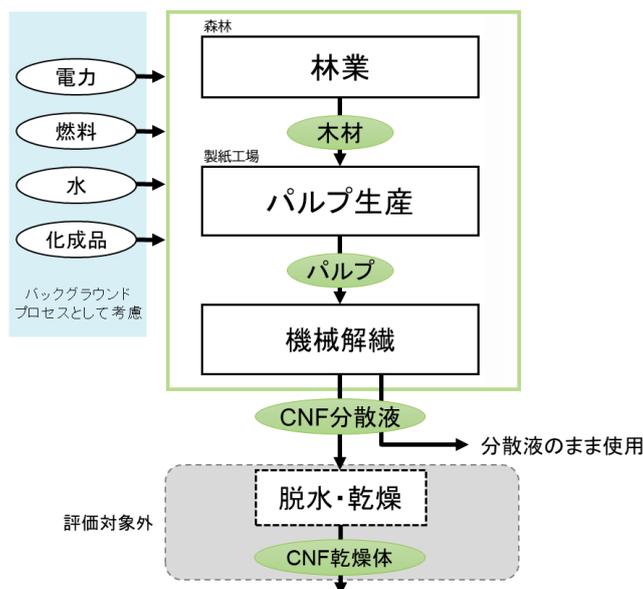


図 5-9 湿式解繊法 CNF 製造のプロセスフロー

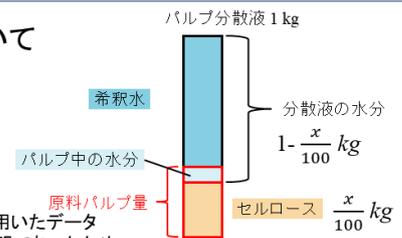
湿式解繊法による CNF 分散液の製造時の温室効果ガス排出原単位推算式を検討した。その概要を示す。最初に、解繊装置に供給される原料パルプ分散液の温室効果ガス排出原単位について、パルプには一般に 10~20%程度の水分が含まれるので、セルロース基準の濃度で表現されたパルプ分散液への換算において、原料パルプの含水率に応じて算出が可能なように、含水率を変数とした関数で記述した。なお、 $GHG_{パルプ}$ の値は既報[6][7]を参考とし、製紙条件などによって変動しうる幅のある値としている。

パルプ濃度 x wt%(セルロース量基準)のパルプ分散液を用いて
 同じ濃度のCNF分散液を得る場合

原料パルプが含水率 m %であったと仮定※すると
 分散液1kgの調製に用いられた原料パルプは

$$\frac{x}{100} \times \frac{100}{100 - m} = \frac{x}{100 - m} \quad (\text{kg})$$

※パルプ原単位として用いたデータ
 のパルプ含水率が不明であったため、
 含水率を仮定値とした。



■ パルプ分散液(解繊装置への供給前の状態)

$$GHG_{\text{パルプ分散液}} = GHG_{\text{水}} \times \left(1 - \frac{x}{100 - m}\right) + GHG_{\text{パルプ}} \times \frac{x}{100 - m}$$

$GHG_{\text{パルプ}} = 1.2 \sim 3.9$
 (生産条件によって変動)

次にこのパルプ分散液を原料として機械解繊によって製造された CNF 分散液の温室効果ガス排出原単位は、上記の $GHG_{\text{パルプ分散液}}$ と、機械解繊時の収率 (y)、機械解繊の所要回数 (n)、機械解繊装置の消費電力 ($P_{\text{機械解繊}}$) を用いて以下のように表現できる。一般に機械解繊は複数回行われ、適用先の最終製品の要求機能に合わせて解繊の程度を解繊回数によって調整する。処理された分散液を再度装置に供給して解繊を行うため、このような数式表現となる。

■ CNF分散液

$$GHG_{\text{CNF分散液}} = GHG_{\text{パルプ分散液}} \times \frac{1}{y^n} + \left(P_{\text{機械解繊}} \times \frac{1}{y} \times GHG_{\text{電力}} \right) \times n$$

y : 機械解繊時の収率(ロスが無い場合1)

n : 機械解繊の所要回数

$P_{\text{機械解繊}}$: 機械解繊の消費電力(kWh/kg-原料懸濁液)

なお、この数式で得られる $GHG_{\text{CNF分散液}}$ の値は、CNF 質量基準ではなく、分散液 1kg あたりの値であることに十分注意する必要がある。例えば、乾燥パウダー等に加工して使用する場合には、水分除去に起因する温室効果ガス排出の加算に加え、CNF 量基準への重量換算も必要となる。先述の通り、分散液をそのまま使用する場合や、乾燥する場合はその方法が多様に存在するため、本書では CNF 分散液の温室効果ガス排出量の算出までを対象としている。

下表にここで用いた低位・高位温室効果ガス排出量の前提条件を示す。

表 5-9 湿式解繊法 CNF 製造における低位・高位温室効果ガス排出量の前提条件

構成要素	低位	高位
パルプ生産プロセス	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最小値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最大値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。
機械解繊回数	ヒアリングに基づく	ヒアリングに基づく
機械解繊装置消費電力	装置カタログに記載のモーター消費電力(kW)及び処理可能量(kg/hr)からの推算値。大型機で最大処理量での条件を想定。	装置カタログに記載のモーター消費電力(kW)及び処理可能量(kg/hr)からの推算値。小型機で低処理量での条件を想定。

5.5.3 TEMPO 酸化法による CNF 分散液の製造時温室効果ガス排出原単位推算

TEMPO 酸化法は機械解繊の前に、TEMPO (2,2,6,6-tetramethyl-1-piperidinyloxy radical) を触媒とした酸化反応を行うことで、セルロース繊維中の水酸基をカルボキシル基に置換した、TEMPO 酸化パルプ (TO-pulp) を得る。酸化処理によって繊維間に静電的斥力が働くようになり、より少ない機械解繊の回数でナノ分散を可能とする。図 5-10 に TEMPO 酸化法による CNF 製造のプロセスフローを示す。機械解繊法 CNF と同様に、分散液をそのまま使用する場合もあるが、乾燥する場合にもその方法が多様に存在するため、本書では CNF 分散液の温室効果ガス排出量の算出までを対象としている。

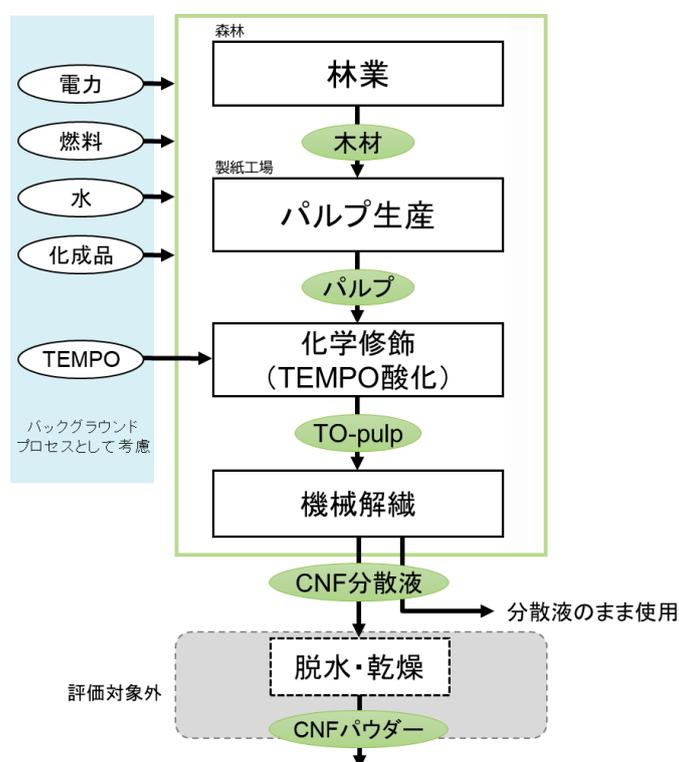


図 5-10 TEMPO 酸化法による CNF 製造のプロセスフロー

この製法における温室効果ガス排出原単位推算式を検討した。その概要を以下に記す。

■ TEMPO酸化パルプ分散液 (x wt%) のLC-GHG

TEMPO酸化パルプが含水率 m %で得られていると仮定

$$GHG_{TO-pulp分散液} = GHG_{水} \times \left(1 - \frac{x}{100-m}\right) + GHG_{TO-pulp} \times \frac{x}{100-m}$$

■ CNF分散液のLC-GHG (前項と同じ)

$$GHG_{CNF分散液} = GHG_{TO-pulp分散液} \times \frac{1}{y^n} + \left(P_{機械解繊} \times \frac{1}{y} \times GHG_{電力}\right) \times n$$

y : 機械解繊1回あたりのセルロース収率 (ロスが無い場合1)

n : 機械解繊の所要回数

$P_{機械解繊}$: 機械解繊の消費電力(kWh/kg-原料懸濁液)

前述の湿式解繊法による CNF 分散液の製造時の温室効果ガス排出原単位推算式におけるパルプ分散液の排出原単位を TEMPO 酸化パルプの排出原単位に置き換えることで計算可能であり、同様の関数で表現される。前述の通り、機械解繊のみで処理するタイプの湿式解繊法に比べて、TEMPO 酸化によって解繊回数(n)を減らすことが可能である。TEMPO 酸化パルプの温室効果ガス排出量 ($GHG_{TO-pulp分散液}$) は既報[7]にて検討、算出されている。

湿式解繊の推算式同様に、この数式で得られる $GHG_{CNF分散液}$ の値は、CNF 質量基準ではなく、分散液 1kg あたりの値であることに十分注意する必要がある。例えば、乾燥パウダー等に加工して用いる場合には、水分除去に起因する温室効果ガス排出の加算に加え、CNF 質量基準への重量換算も必要となる。分散液をそのまま使用する場合もあり、乾燥する場合にもその方法が多様に存在するため、CNF 分散液の温室効果ガス排出量の算出までを対象とした。表 5-10 にここで用いた低位・高位温室効果ガス排出量の前提条件を示す。

表 5-10 湿式解繊法 CNF 製造における低位・高位温室効果ガス排出量の前提条件

構成要素	低位	高位
パルプ生産プロセス	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最小値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。	既存の製紙工場モデル[6]を用いて計算された排出原単位の最大値。 条件の詳細は既報[7]に記載の通り。
TEMPO 酸化プロセス	TEMPO 製造の温室効果ガス排出量は製造時に用いる化成品の製造原単位を積み上げ。溶媒等の再利用を想定。また、TEMPO 酸化プロセスにおける TEMPO の再利用を想定。	TEMPO 製造の温室効果ガス排出量は製造時に用いる化成品の製造原単位を積み上げ。溶媒等の再利用は行わない。また、TEMPO 酸化プロセスにおける TEMPO の再利用も行わない。
機械解繊回数	ヒアリングに基づく	ヒアリングに基づく

機械解繊装置消費電力	装置カタログに記載のモーター消費電力(kW)及び処理可能量(kg/hr)からの推算値。大型機で最大処理量での条件を想定。	装置カタログに記載のモーター消費電力(kW)及び処理可能量(kg/hr)からの推算値。小型機で低処理量での条件を想定。
------------	--	---

また、カルボキシメチル化、リン酸エステル化など、化学処理によって解繊性を向上させて機械解繊を行う製法では、同様の計算式が適用できる。ただし、各種の化学修飾パルプの製造時温室効果ガス排出量は別途検討が必要であり、本書では対応できていない。

5.5.4 他の繊維材料との温室効果ガス排出原単位の比較

CNF ユーザーの一般的な要望として、CNF 製造時の温室効果ガス排出原単位が他素材と比べてどの程度であるの概算値として知りたいというものがある。そこで、5.5 節での検討結果、ライフサイクルインベントリデータベース IDEAv2 やその他の情報源の掲載値を比べることで、半定量的な形で利活用ガイドラインに掲載することとした。複合樹脂に用いられる他の繊維材料との温室効果ガス排出原単位の比較について表 5-11 に示す。

表 5-11 複合樹脂に用いられる他の繊維材料との温室効果ガス排出原単位の比較

	CNF	炭素繊維 (PAN系)	アラミド繊維	ガラス繊維	鉄
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)	△	△	○	○
情報源	本検討	IDEAv2	Teijin Aramid 社ウェブサイト※	IDEAv2	IDEAv2

※Teijin Aramid 社ウェブサイトより。PPTA=アラミド繊維 1kg あたりの GHG 排出原単位を 21.4 kg-CO₂e/kg と推計した。(<https://www.teijinaramid.com/en/about-us/sustainability/hse-report-2014/sustainability-report-2013/key-figures/carbon-footprint/>)

製造時温室効果ガス排出原単位以上のとおりであり、CNF、炭素繊維、アラミド繊維についてはガラス繊維と比べて相対的に大きい場合もある。一方で、車両の部材として用いた場合に軽量化に資するため、車両運用時のエネルギー消費量削減につながるなど、ライフサイクル全体で評価して初めて CO₂ 排出量の削減効果が発現する場合も多い。そのため、製造

時温室効果ガス排出原単位だけで素材の優劣をつけるのではなく LCA 視点で総合的に判断することが必要である。

5.6 ガイドラインへの反映内容の検討と CNF-LCA ガイドラインの作成

本章で記した調査で得られた知見に基づき、CO₂ 排出量削減効果について事業者が概要把握できるようにするために必要な情報を整理・導出し、ガイドラインに反映するべき内容を検討した。

CNF に関する CO₂ 排出削減効果の評価については、過年度の環境省事業である「平成 30 年度セルロースナノファイバー利活用による CO₂ 排出削減効果等評価・検証事業委託業務」で作成された「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」がある。これについて、本章の調査で得られた知見に基づきブラッシュアップした。併せて、算定者の理解度や利便性の向上に向けた有効な方策として、同ガイドラインを活用した算定事例の記載の充実や宣言（情報公開）の事例を充実させた。さらに 5.5 節で作成した主要な CNF の温室効果ガス排出原単位の推定値について、Microsoft Excel 形式で表示する事ができるツールを作成した。これらの要素を整理し利活用ガイドラインの別冊 3 CNF-LCA ガイドラインとして取りまとめた。なお、5.6 節の調査結果については第 7 章で後述する LCA 分科会において検討が行われた。

5 章の冒頭で述べた通り、算定実施者が支援なしで算定手順を通して CO₂ 削減ポテンシャルの算定や算定事例の公開が実施できるように過年度事業で策定された CNF-LCA ガイドラインを改訂・構築することを目的とした。算定事業者へのヒアリング調査や算定事業者との対話を通じて得られた知見に基づいて改定作業を行った。CNF-LCA ガイドラインの構成内容及び構築した CNF-LCA ガイドラインについて説明する。

一般に、温室効果ガス排出削減効果算定を実施する事業者が、それら算定方法に一定の指針を与えるために LCA ガイドラインは有効とされる。LCA ガイドラインと削減効果の算定イメージ図を図 5-11 に示す。



図 5-11 削減効果算定と LCA ガイドラインのイメージ図

しかしながら、多くの LCA ガイドラインでは、一連の算定手順に対してケーススタディの結果などの算定事例に関する記載がないため、算定経験のない事業者が支援無しで算定

することは困難であるとされる。そこで、過年度事業で策定された CNF-LCA ガイドラインについて、実際に環境省の CNF 関係の補助事業への応募希望者へヒアリング調査をしたところ、以下のような意見が出た。



「何らかの算定支援が無いと既存のCNF-LCA ガイドラインだけでは自力での算定が難しい。」



「計算できたとしても、計算結果の妥当性の判断が難しい。」



「算定の具象的な作業イメージが湧かないため、投入すべきリソースが推定できない。」



「削減効果量の簡易算定方法が分かりづらい。」

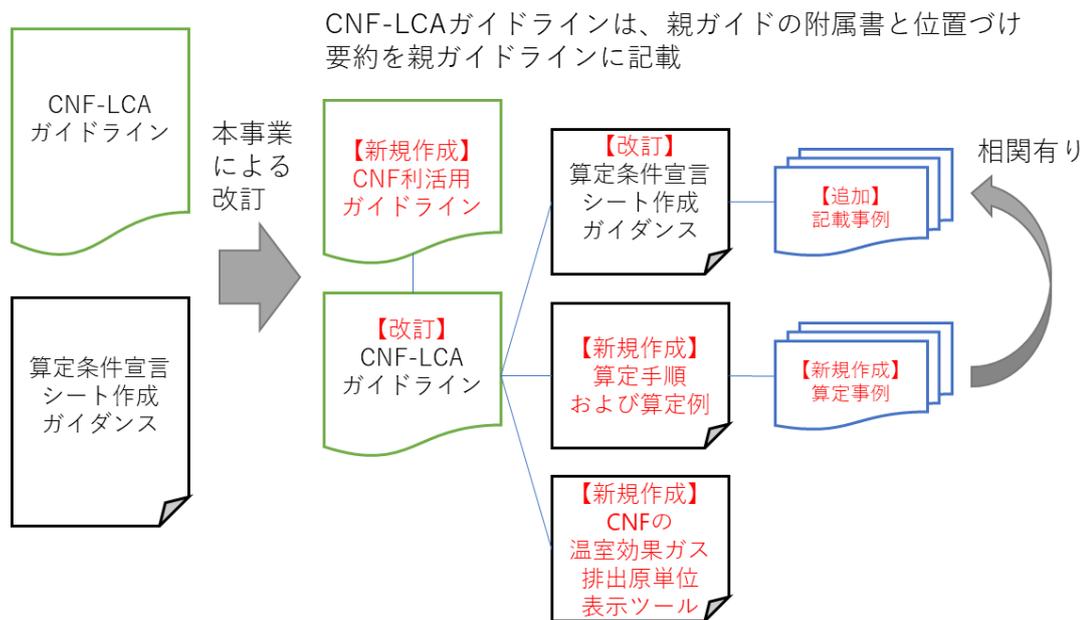
補助事業への応募希望者へのヒアリングを通して得られた課題を整理すると、以下の3点が抽出された。

- ・手順が分からない
- ・算定の事例が少ない
- ・算定条件宣言シートの記載事例が少ない

そこで、これらの課題に対応するため以下について CNF-LCA ガイドラインに追加することとした。

- ・簡易算定方法を含む、算定の具体的な手順の記載
- ・算定する際に参考となる算定事例の記載
- ・追加した算定例と相関のある内容で算定条件宣言シートの記載例を追加

改訂版の CNF-LCA ガイドラインの構成について図 5-12 に示す。赤字箇所が改訂により内容の改訂及び新規作成した箇所である。



目的：

- ・適切なLCCO₂算定を支援

目的：

- ・適切なLCCO₂算定を支援
- ・LCCO₂算定の容易化
- ・LCCO₂情報開示・コミュニケーションの支援

図 5-12 改訂前と改訂後の CNF-LCA ガイドライン構成

改訂前の CNF-LCA ガイドラインは、「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（環境省）」と「算定条件宣言シート作成ガイダンス（環境省）」の 2 種類の文書で構成されていた。事業者との対話をもとに改訂版では、「算定手順及び算定例」を追加した 3 種類の文書と「CNF の温室効果ガス排出原単位表示ツール」の構成とした。

事業者との対話から、CNF-LCA ガイドラインを算定事業者に広く利用してもらうためには、指針としての機能だけでなく、手順書としての要素や、それとセットとなる事例の併記が必要であることが分かった。また、ケーススタディとして一連の手順を記載することが有効であることも示唆された。以上を踏まえた今回の改訂では、算定手順の追加と事例を充実させることにより、CNF による LCCO₂ 算定の障壁を下げることに貢献できたと考えている。

社会情勢として脱炭素化技術の導入を事業者が検討する流れが加速することは明らかであり、これらの技術導入の効果について LCA を用いて評価するためのガイドラインの重要性も高まってくるものと予想される。算定した事業者が CNF-LCA ガイドラインをきっかけとして算定結果を公開し、それらの蓄積を通じて、データに基づいた技術導入の検討が活発になることを期待される。

本検討において、最も懸念されたことは表 5-7 のように主要な CNF 製造時の具体的な

温室効果ガス排出原単位の数値を公表すると「数値がひとり歩き」することである。一方で、CNFのCO₂排出量等についてCNF供給者から何も情報を得られなかったユーザーとしてはCNF-LCAガイドラインに何かしらのデータがないLCCO₂の算定ができない。検討の当初より、生産条件や外部要因によって温室効果ガス排出原単位は大きく変化するため、CNF製造時の温室効果ガス排出原単位は幅のある形で算定し掲載する方針であったが、そうであっても特定の数値をデフォルト値として提示することによる数値の独り歩きの懸念が払拭されなかった。デフォルト値をあえて「高め」に設定して、サプライヤーからの一次データ収集を促す方法も選択肢として検討されたが、意図しない形で「高め」の数値が他素材との比較に用いられる可能性も考えられた。

そのため、本検討ではMicrosoft Excel形式で「CNFの温室効果ガス排出原単位表示ツール」を提供する事によりこの懸念点を解消することとした。

このツールは以下のような特徴を有する。

- ・ガイドライン提供者側としては特定のデフォルト値を用意しなくてよく、デフォルト値の恣意性がなくなる
- ・事業者側としては算定に必要な最低限の原単位データを得ることが出来る
- ・事業者が得られたパラメータに応じた精度の原単位データを得ることができる
- ・CNFの温室効果ガス排出原単位の算定に用いたIDEAv2のライセンス上の問題がない
- ・事業者が一次データを入手した際に計算結果を置き換えられる

このツールの公開・配布に際して、注意事項を以下の通りまとめた。

- ・本ツールは、環境省「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」の別冊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（本編）」の別添資料です。掲載内容の詳細等につきましては、別冊3-1（本編）をご参照下さい。
- ・本ツールでは、参考として主要な3種類のCNFまたはCNF複合樹脂についての温室効果ガス(GHG)排出原単位を表示することが出来ます。ただし、CNFの生産条件や外部要因によってGHG排出原単位は大きく変化するため、事業者自らがサプライヤー等から実際のデータを調査し別冊3-1（本編）の式やカスタム原単位シートに当てはめて利用することを優先し、それが不可能である場合に使用して下さい。
- ・本ツールで挙げた主要なCNFについてはそれぞれ「機能が異なる」「提供される形態が異なる」「用途が異なる」ため、GHG排出原単位のみを引用し単純に比較することは不適切です。比較を行う際は必ず別冊3の方法論に従って使用する必要があります。
- ・本ツールは個人法人を問わず無償で使用することができます。
- ・本ツールは予告なく内容を変更・追加・削除することがあります。
- ・利用者次の各号に掲げることを行うことを一切禁じます。

(1)本ツールの一部又は全部を再配布すること

- (2) 本ツールの出版、譲渡、貸与、販売する等営利目的で利用すること
- (3) 本ツールを法律に違反することに利用すること
- (4) 本ツールを他人の権利を侵害することに利用すること
- (5) 本ツールを公序良俗に反することに利用すること
- (6) 本ツールをリバースエンジニアリングすること

・本ツールはあるがままの状態を提供され、利用者は自己の責任において本ツールを使用するものとします。

・本ツールはバグがないこと、間違いがないこと、本ツールが提供する結果が利用者の目的に適合していること等、いかなる暗黙的、明示的な保障もしません

・本ツールを利用した事による、利用者又は第三者に生じた一切の損害、一般的な損害、特別な損害、付随的損害、結果的損害、一過性の損害について当省は一切の責任を負わないものとします。

このツールのイメージを図 5-13 に示す。

CNFの種類を記載

【変性パルプ直接混練法（京都プロセス）】CNF強化樹脂 GHG排出原単位表示シート

マスターバッチCNF混練率 ※1	30%
最終製品CNF混練率 ※1	5%
混練する基礎樹脂	ポリプロピレン
カスタム原単位入力 ※2	無し
実験規模/工業規模 ※3	工業規模
低位/高位 ※4	低位

設定可能なパラメータを記載

設定したパラメータに応じた原単位を表示

CNF強化樹脂原単位	2.91E+00 kg-CO2e/kg-CNFコンポジット
------------	-------------------------------

- ※1 マスターバッチ（MB）を考慮して、最終製品を製造することを想定しています。MBを介さない場合、「マスターバッチCNF混練率」と「最終製品CNF混練率」を等しく設定してください。
- ※2 カスタム原単位入力を「有り」にすると、任意の一次データが利用できます。一次データを利用する場合は「有り」を選択し、下の「カスタム原単位」の表に値を入力してください。
- ※3 一次データを利用しない場合、デフォルト値が適用されます。想定する製造方法が「実験規模」か「工業規模」かを指定してください。少量生産条件、工業規模とは2030年頃を想定した大量生産条件になります。
- ※4 デフォルト値には「高位」と「低位」の二通りを用意しています。実施され得る生産設備構成のうち、GHG排出量ケースを「低位」としています。当てはまる方を選択してください。

入力時の留意事項を記載

カスタム原単位

アセチル化パルプ製造	
ポリプロピレン	
混練工程	

別シートにある一次データを入力した際のカスタム原単位を記載

原単位の内訳を記載

GHG排出内訳

※ 以下の表はGHGの内訳です。要因分析をする際には参照下さい。

マスターバッチ原単位	4.32E+00 kg-CO2e/kg-CNFコンポジット
内訳	
アセチル化パルプ製造	2.40E+00 kg-CO2e
ポリプロピレン	1.44E+00 kg-CO2e
混練工程	4.77E-01 kg-CO2e
CNF強化樹脂原単位	2.91E+00 kg-CO2e/kg-CNFコンポジット
内訳	
マスターバッチ	7.20E-01 kg-CO2e
ポリプロピレン	1.72E+00 kg-CO2e
混練工程	4.77E-01 kg-CO2e

図 5-13 CNF の温室効果ガス排出原単位表示ツールの入力例

5.7 国内の CNF 及び CNF 二次製品の LCCO₂に関する課題の整理

第 5 章で述べた LCCO₂に関する今後の課題について述べる。

<CNF 製造方法の類型化に関する課題>

- 現段階では微生物分解による CNF について含まれていない。
- CNF は研究開発の途上にある素材であるため、今後開発される製造方法に関して新しい類型が出てくる蓋然性が高いため、将来的にアップデートが必要である。

<QFD の枠組みに関する課題>

- QFD の枠組みはコミュニケーションツールであるため完成形はないが、使われることによってより使いやすくすることができ、様々な応用が可能である。一方で現時点での事例は変性パルプ直接混練法による自動車部材への適用のみであり、事例が不足している。QFD の枠組みを利用する事例が増えることにより CNF に関するバリューチェーン間での効率的なマッチングが期待される。

<CO₂削減ポテンシャル検討における課題>

- 既存の CNF による CO₂削減ポテンシャルの算定事例については、CNF が革新素材であるため仮定/想定によるものが多く、今後高い精度のデータが得られた場合には見直しされることが望ましい。

<製造段階の温室効果ガス排出原単位の推定方法に関する課題>

- アセチル化セルロース製造プロセスの化学プロセスシミュレーションにおいて、個々のプロセスの最適化は検討したが、各プロセスが独立している想定であり、化学プラント全体としての最適化はされていない。溶媒として使用する無水酢酸の製造エネルギーが大きく、CO₂排出の要因になっており、いかに消費を抑えるかがポイントになる。現状では、無水酢酸製造時に発生する酢酸を外販する形でコスト評価をしている。酢酸を無水酢酸に戻すことも可能だが、効率のよいプロセス設計はまだできていない。
- 製造規模が大きくなれば効率もよくなるのは間違いないが、他のプロセスラインとの共生や CNF の社会実装後の生産に関する議論はされていない。CNF については、産業セクターをしっかりと設計して考えないと CO₂排出量としての最小値には到達しないものと思われる。CNF の普及だけでなく、バイオを中心にしたコンビナートにおける CNF の位置付けを決めていくべきかもしれない。例えば、製紙業と組んだ最適化設計するなど。製紙で上手く利用できないパルプや段ボール古紙を原料として活用することなどができると、さらに CO₂削減につながる。その他、他の産業で不要とされるものを原料として活用できるとよい。
- TEMPO 酸化法 CNF の温室効果ガス排出原単位の推計方法を応用することにより、リン酸エステル化 CNF やカルボキシメチル化などの推計も同様に推計可能である

が、現時点では実施していない。

- 湿式解繊法 CNF に関して、推計式は多様な解繊装置について適用可能であるが、デフォルト値として用意されている 1 回解繊時の電力消費量についてはカタログ値から得られたサンプル値であるため、実データの収集が望ましい。

<CNF 活用製品のライフサイクルにおける CO₂ 削減ポテンシャルにおける課題>

- NCV 事業は実施後のアーリーマジョリティがどこになるかが上手く設計されていないと思われる。そこに価値があれば投資が始まりコミュニティができて産業化していく。CNF を使った嬉しさ、価値を見つけられるかが重要である。セルロースナノファイバーを活用した自動車では軽量化による燃費向上が期待されるが、動かないものへ CNF を適用するとなると LCCO₂ の削減ポテンシャルはあまり期待されない。
- HWP (Harvested Wood Products) については、現段階では十分な議論がされていない。将来的にはこの議論は避けられないものと思われる。
- マス (量) が稼げて長期で保管、ストックされるインフラ系に CNF を利用できるようにすることができるかが重要であるが、現段階ではその場合の LCCO₂ 評価事例が不足している (窓枠の事例のみ)。金属や樹脂の代替として森林資源が構造材に使えるとなれば CNF の使用量が増大する。そのため構造材のように長期ストック可能な部分では耐久性が重要になる。
- CNF 活用部材のポストコンシューマー材のリサイクル時の CO₂ 排出量の評価については、現実に行われていないことから多くの仮定を置いた評価にならざるを得ない。

5 章における参考文献を示す。

- [1] 菊池康紀、兼松祐一郎、下野僚子、ライフサイクル思考に基づくナノセルロースの技術評価、ナノセルロース塾第 3 期 講演資料 (2021)
- [2] 令和元年度環境省委託事業「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 (京都プロセスで製造したアセチル化セルロースナノファイバー強化バイオ PE の社会実装評価)」成果報告書 (http://www.env.go.jp/recycle/R01_012_KyotoU.pdf)
- [3] 平成 30 年度環境省委託業務「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 (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～)」 (http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf/mat49_kyoto-univH30.pdf)
- [4] Naofumi Miyata, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao, Scenario Analysis on Pulp and Paper Flow for the Design of Paper Recycling System, Proceedings on the 9th International Conference on EcoBalance (2010)
- [5] 平成 29 年度環境省委託業務「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 (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 (http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf/mat40_kyoto-univH29.pdf)
- [6] 「日本における発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量総合評価」電力中央研究所 (2016)

- [7] 平成 30 年度環境省委託業務「セルロースナノファイバー利活用による CO₂ 排出削減効果等評価・検証事業委託業務」成果報告書
(https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf/mat55_jemaiH30CNF-LCA_R1.pdf)

第6章 CNF 利活用ガイドラインの策定

本章では、本業務で作成した CNF 利活用ガイドラインの策定の流れについて概説する。

第2～5章及び環境省 CNF 関連事業の調査によって得られた情報を基に、以下の検討手順でガイドラインの策定を行った。その実施フローを図 6.0-1 に示す。

- 1) 基本方針の検討
- 2) 目次構成（内容）の検討
- 3) ガイドライン素案の作成
- 4) 要約版素案の作成
- 5) 有識者会議における、素案の有効性・妥当性の確認
- 6) ガイドライン案および要約版案の作成

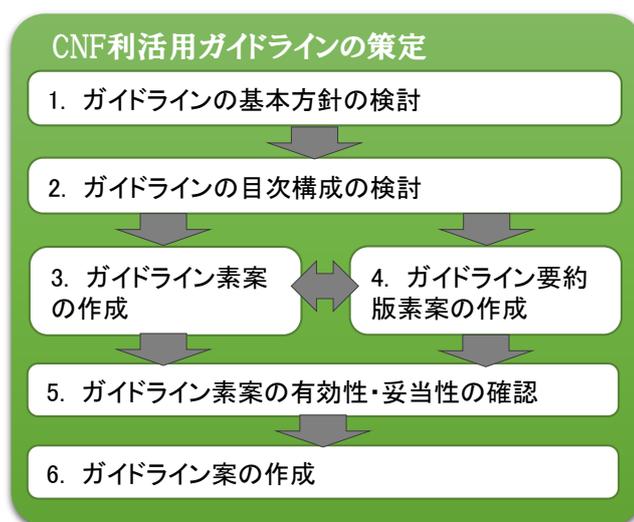


図 6.0-1 CNF 利活用ガイドラインの策定に関する実施フロー

6.1 ガイドラインの基本方針の検討

今回作成する（仮称）CNF 利活用ガイドラインの基本方針を検討するため、複数のガイドラインを抽出しその内容の把握を行った。参考としたガイドラインを表 6.1-1 に示す。

ガイドライン作成の目的は、一般的には (1) 法規制通達、(2) 手法解説、(3) 促進に大別される。本業務において作成するガイドラインは、基本的には (3) 促進の類に該当する。促進を目的としたガイドラインの内容は、法規制通達を目的としたガイドラインとは異なり必ずしも守るべき内容ではないことから、あまり読まれない傾向にある。そのため、ガイドライン素案の基本方針を、読者の興味・関心を惹くという視点も考慮して検討を行った。

表 6.1-1 基本方針検討のために参考としたガイドライン一覧

ガイドライン名称	目的・対象読者・活用場面等	主な構成
環境省「地中熱利用にあたってのガイドライン（改定増補版）」	目的：地中熱利用の普及拡大 対象読者：地中熱導入検討者、事業者（と想定される） 活用場面：導入検討時（特に、地下水・地盤環境への潜在的な影響評価の実施時）	1) 技術概要、2) 事例紹介（省エネ効果、コスト等を含む）、3) 配慮事項、4) 効果・（環境的）影響、5) 新技術の紹介、6) 参考資料、合計 148 ページ（うち、本章 101 ページ）、検討委員会あり、概要版あり
環境省「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン（第 2 版）」	目的：太陽光発電リユース・リサイクル推進（廃棄物適正処理） 対象読者：太陽光発電処分検討事業者、解体・撤去事業者、廃棄物処理業者、太陽光発電モジュール関連事業者 活用場面：太陽光発電処分の検討時（災害時含む）	1) 総論、2) 所有者、解体・撤去業者、3) 使用済太陽電池モジュールの処理、4) リユース、5) 災害時の取扱い、6) 参考資料、合計 108 ページ（うち、本章 87 ページ）、検討委員会あり
環境省「水素サプライチェーンにおける温室効果ガス削減効果に関する LCA ガイドライン Ver.1.0」	目的：水素エネルギーの利活用際の CO2 削減効果の算定 対象読者：水素エネルギーの製造事業者・販売事業者・利用者 活用場面：水素エネルギー事業の環境影響を評価する際	1) はじめに、2) 用語解説、3) LCA 調査の目的、4) 事業モデルの設定とプロセスフローの明確化、5) 活動量データの収集・設定、6) GHG 原単位の設定、7) GHG の評価、8) レビュー 合計 44 ページ（全ページ本章）、検討委員会あり
環境省「廃棄物最終処分場等における太陽光発電の導入・運用ガイドライン」	目的：処分場への太陽光発電の導入促進（法制度の理解を含む） 対象読者：自治体、発電事業者、処分場関係 活用場面：処分場への太陽光発電の導入検討を行う際	1) はじめに、2) 用語の解説、3) 処分場等への太陽光発電の導入と法制度、4) 導入に向けた検討の流れ、5) 詳細検討の流れとポイント、6) おわりに、合計 72 ページ（全ページ本章）、検討委員会あり
国立環境研究所「再生石膏粉の有効利用ガイドライン（第一版）」	目的：再生石膏粉の利用拡大（再生石膏粉に対する評価方法が存在しなかったことによる）と品質管理 対象読者：中間処理業者、材料メーカー、需要側 活用場面：再生石膏粉の製造時、利用検討時	1) 総説、2) 基本的事項（基本特性、製造方法、留意点）、3) 品質管理、4) 固化材・改質剤としての利用、5) その他分野への適用と展望、6) 参考資料、合計 89 ページ（うち、参考資料が 5 ページ）、検討委員会あり

実施計画書の作成段階において想定した基本方針（案）に対し、2.1 で実施した有識者ヒアリング及びモデル事業者アンケート・ヒアリングにおいて聴取したガイドラインに関する意見を踏まえ、基本方針を以下の通りとした。

■基本方針 1：「読者の興味・関心を惹く」視点を重視する。

多くの人に手に取って内容を読んで理解してもらうことがガイドラインの目的であるため、以下の点に留意した作成を行う。

- 分かりやすい、見やすい、情報の受け取り方に誤解がないこと
- 参入する価値が分かりやすい（社会的意義、将来市場の見込み、海外動向）こと
- 課題や実例が整理されていて（品質の振れ幅、特性と用途のマッチング、成功・失敗秘話）、参考になる情報が盛り込まれていること
- 次のアクションを起こしやすい（相談・交渉相手が見える）こと

■基本方針2：新たな読者層の存在を意識し、その読者層にとって魅力的な情報があることを確認する。

「化学・材料メーカー及びCNF利活用検討メーカー」を読者層と想定しているが、新たな読者層の存在も意識する。新たな読者層を確認した場合は、その読者層にとって魅力的なガイドラインであるかを検証し、必要な情報の掲載を行う。

■基本方針3：環境省が作成する意義・差別化を意識する。

CNFの開発・社会実装に関しては環境省のみならず経済産業省、農林水産省など多数の省庁が取組みを実施し、多くの資料が公表されている。そのため、本ガイドラインを環境省が作成する意義や他省庁から公表される情報との差別化を意識する。ただし、国資料としての整合性にも留意する必要がある。

差別化の大きなポイントとしては、CO₂排出量の削減効果とリサイクル情報であると思われる。特に、CO₂排出量の削減効果の算定ツールであるLCAガイドラインは「手法解説ガイドライン」の性質を持ち合わせ、事業者が自らCNF活用を想定する特定の製品について、LCAの視点からCO₂排出量削減効果の概算を行えるものとする。

＜参考＞有識者ヒアリングにおけるガイドライン基本方針に関する主なご意見

- ・ 参入しようとする事業者にとって前向きになるものになると良い。脱炭素社会の方向性を後押しするストーリー（先を見据えた展開、素材が持つ将来的なポテンシャル、社会的意義）を示す。
- ・ 先行事業者の苦労や課題、成功に至ったプロセスは後続の事業者の参考となる（NCV 誕生物語など）。生の声をしっかり記載（品質のふり幅）。
- ・ 読み手のニーズに合ったCNFの情報に辿り着ける仕組み（フローチャート等）。
- ・ 川上側と川中・川下と乖離している状況の橋渡しになるもの。ミスマッチ、ミスリーディングを減らす（性能表示、種類の整理）。
- ・ 既に公表されている経産省・NEDOの意向（方向性）と整合を図って欲しい（読み手の混乱を少なくするため）。
- ・ 国内情報だけに留めず、海外や国際基準（ISO）の動向を盛り込んで欲しい。本ガイドライン自体が日本の優位性を海外に示すものであると良い。

なお、基本方針3と連動して、環境省が公開するガイドラインとしての意義を明確にするため、委員会における有識者の意見等も踏まえ、本ガイドラインのタイトルを「『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」とし、脱炭素社会、循環経済、分散型社会の実現のためにCNFを利活用することに重点を置いた内容とすることとした。

6.2 ガイドラインの目次構成の検討

基本方針を踏まえ、目次構成を検討した。表 6.2-1 にガイドラインの目次構成と本業務で得られた知見の反映箇所を示す。

表 6.2-1 ガイドラインの目次構成（その①）

章	節	項	本業務で得られた知見の反映箇所 (報告書該当箇所)
はじめに	—	—	—
序章	0.1 セルロースナノファイバー(CNF)の特徴	—	—
	0.2 環境省が描く CNF を活用した脱炭素社会像	—	—
	0.3 対象とする読者層	—	—
	0.4 適用範囲	—	—
	0.5 ガイドラインの構成	—	—
	0.6 用語の定義	—	—
1. 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：CNF の材料特性等を整理する QFD（品質機能展開）の活用		
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、NEDO における取組	—	
	1.2.3 その他省庁等の取組	—	
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	—	
2. 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	第 2 章 2.5
2.2 CNF の技術開発のロー ドマップ	—	—	
	—	—	
2.3 CNF 原材料の生産情 報・生産体制	—	—	
	—	—	
3. 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	—	—
		3.2 CNF 関連事業の概要	—
	3.3 CNF による地域産業の 創出	3.2.1 CNF 製品製造工程の低炭素化対 策の立案事業	第 2 章 2.1
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：NCV プロジェクト	第 2 章 2.2		
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 た課題と解決のポイント	—		
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	第 4 章		

表 6.2-2 ガイドラインの目次構成（その②）

章	節	項	本業務で得られた知見の反映箇所（報告書該当箇所）
4. 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 4.1.2 循環経済に有用なCNFの特性	第2章 2.4 (一部 2.1)
	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	
5. CO ₂ 削減効果の算定	5.1 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	第5章
	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	—	
6. 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	—	第2章～第5章から一部反映
	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	—	第3章 3.1～3.3
	6.3 まとめと今後の展望	—	第2章～第5章から一部反映
おわりに	—	—	—
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		1. 事業の概要 2. 各事業者の事業成果	第2章 2.1
別冊2. 環境省事業で使用したCNF性能整理		1. 自動車用途 2. 家電用途 3. 建材用途	第2章 2.1
別冊3. CNFに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン		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（本編）（CNF-LCAガイドライン） 別冊3-2 算定条件宣言シート作成ガイドランス 別冊3-3 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手順および算定例 別冊3別添（エクセルファイル） CNF温室効果ガス排出原単位表示ツール	第5章

6.3 ガイドライン素案の作成

上述の構成案を踏まえ、ガイドライン素案の作成を行った。なお、ガイドラインの序章、第1章、第2章（一部を除く）、第6章（一部を除く）、コラムのNCVプロジェクトについては、報告書第2章～第5章の調査内に含まれていないため、本項目において調査・情報の整理を行い、素案の作成を行った。各項目の調査・作成手順等を表6.3-1に示す。

表 6.3-1 本項で調査・情報の整理をおこなった項目と作成手順

章	節	項	調査・作成手順等
序章	0.1 セルロースナノファイバー(CNF)の特徴	—	上記6.1、6.2、報告書各章の調査、過年度調査を踏まえ、必要な情報を調査・整理し、作成。
	0.2 環境省が描くCNFを活用した脱炭素社会像	—	
	0.3 対象とする読者層	—	
	0.4 適用範囲	—	
	0.5 ガイドラインの構成	—	
	0.6 用語の定義	—	
1. CNFの概要	1.1 CNFとは	1.1.1 CNFの定義と種類	過年度調査、報告書2.1の環境省モデル事業を踏まえ、必要な情報を調査・整理し、作成。
		1.1.2 CNFの製造方法	
		1.1.3 CNFの特性	
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、NEDOにおける取組		
	1.2.3 その他省庁等の取組		
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		
2. 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	必要な情報を調査・整理し、過年度調査も踏まえ、ガイドライン素案を作成。
		2.1.2 CNFの今後の市場見込み（参考）国際標準化に向けた動き	
	2.2 CNFの技術開発のロードマップ	—	
2.3 CNF原材料の生産情報・生産体制	—	—	
3. 環境省によるCNF社会実装の取組内容	3.2 CNF関連事業の概要	コラム：NCVプロジェクト	NCVプロジェクトホームページ、当該業務成果報告書等をもとに情報を調査・整理し、代表事業者の京都大学等の助言も得つつ作成。
6. 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	—	第2章～第5章の調査を踏まえ、追加で必要な情報を調査・整理し、作成。
	6.3 まとめと今後の展望	—	

スケジュールとしては、後述するCNF利活用ガイドライン策定委員会（第1回）に向けて本編に先行して序章の素案を作成した。また、ガイドライン本編については、第2回に向けて素案を作成するとともに、第3回に向けてはガイドライン素案の改定を図った。

6.4 ガイドライン要約版素案の作成

6.3 で作成したガイドライン素案を基に、A4判見開き8頁のガイドライン要約版素案を作成した。

また、要約版の位置づけ、位置づけを踏まえた作成方針を以下の通りとした。表6.4-1に位置付け及び作成方針を踏まえた要約版素案の構成を示す。

■要約版の位置づけ

- ・ 本編の内容を分かりやすく要約する
- ・ ガイドライン作成とその意図（利活用）を紹介し、本編の閲覧につなぐ

■作成の方針

- ・ CNFの発展性を感じる印象づくり（デザインも重視する）
- ・ 記載内容のポイントを押さえた要約
- ・ 読みやすさを重視（文章と表・イラストとのバランス、文字・情報量の密度）しつつも情報の充実度をPR
- ・ 紙面分量の関係で記載情報のすべては網羅ではないため、想定する読者が本編を見なくなる情報をQ&A形式でピックアップして掲載する

表 6.4-1 ガイドライン要約版素案の構成

ページ番号	内容
表紙 (p. 1)	表紙は見栄えの良いデザインを検討し、CNFの説明に関するイラストと文章、ガイドライン策定の意図の説明文を掲載
p. 2、3	ガイドライン本編の第1章及び第2章で整理するCNFに関する基礎情報及び国内の動向を整理
p. 4、5	ガイドラインの一つの要素である「環境省事業」の紹介や環境省が目指す方向性を見開きで整理
p. 6、7	前項までで整理できていないガイドライン本編の内容について、想定する読者がガイドラインを見るきっかけとなりそうな事項をピックアップし、Q&A形式でその回答、本編での掲載場所を整理
裏表紙 (p. 8)	ガイドライン本編第7章のCNF利活用ガイドライン策定委員会の委員紹介を掲載

6.5 ガイドライン素案の有効性・妥当性の確認

後述の有識者からなる CNF 利活用ガイドライン策定委員会において、ガイドライン素案の有効性・妥当性を確認することにより、質の向上を図った。

また、ガイドラインの個別箇所については、CNF 利活用ガイドライン策定委員会とは別に自治体、事業者、その他関係者へ内容確認を実施し（各項目で実施）、詳細部分の妥当性等を確認した。

6.6 ガイドライン案の作成

有効性・妥当性の確認した素案を改定し、CNF 利活用ガイドライン案及び要約版案を作成した。ガイドライン案及び要約版案については、巻末資料1 および巻末資料2 として添付する。加えて、海外向けに作成することとなった要約版の英語版案を巻末資料3 として添付する。なお、ガイドライン案は、環境省ウェブサイトにおいて、公開することを想定したものとなっている。

CNF 利活用ガイドライン案の内容の一例及び要約版案の表紙を、図 6.6-1 及び 6.6-2 に示す。

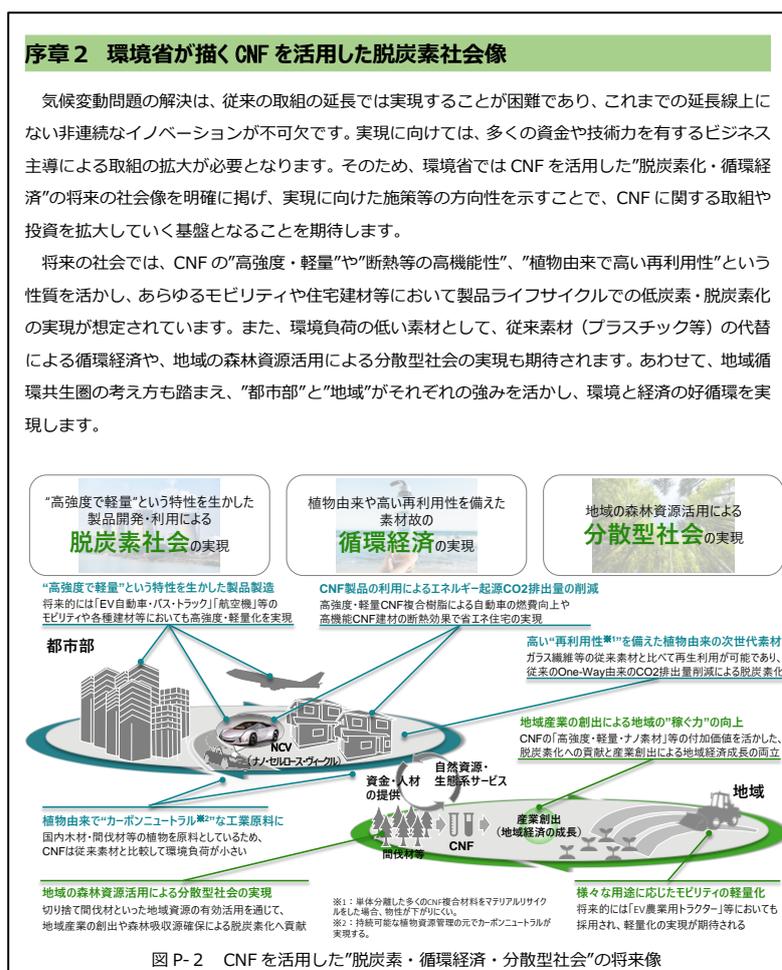


図 6.6-1 CNF 利活用ガイドライン案の内容の一例

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
要約版 (案)
Ver.0.8 (令和3年度2月版)



図 6.6-2 CNF 利活用ガイドライン要約版案の表紙

第7章 有識者会議の設置・運営等

本業務では、CNF 利活用ガイドラインについて議論を行う CNF 利活用ガイドライン策定委員会を設置・運営を行った。また、そのガイドライン別冊3に含まれる LCA ガイドライン策定の議論を行う LCA 分科会の設置・運営を行った。

7.1 CNF 利活用ガイドライン策定委員会の設置・運営

ここでは、CNF 利活用ガイドライン策定委員会の目的等、委員構成、実施回数、議事及び配布資料について記述する。

(1) CNF 利活用ガイドライン策定委員会設置の目的等

本業務の実施にあたり、下記1)～4)各項目及び5)の CNF 利活用ガイドライン素案に関して、専門的知見に基づき検討・助言を頂き、当該ガイドラインの質の向上を図ることを目的とし、CNF に関する学識者やメーカー等の有識者9名から成る CNF 利活用ガイドライン策定委員会を設置した。

- 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」の成果による CO2 削減効果の見通しの更新
- 2) CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理
- 3) CNF の地域産業創出モデルの検討
- 4) 国内の CNF 及び CNF 二次製品の LCCO2 の客観的評価及び将来の量産時の LCCO2 の推定
- 5) CNF 利活用ガイドラインの策定

(2) CNF 利活用ガイドライン策定委員会の委員構成

CNF 利活用ガイドライン策定委員会は、学識者6名に加え、第2回以降は民間企業3名の計9名で構成された。委員名簿を表7.1-1に示す。

表 7.2-1 CNF 利活用ガイドライン策定委員会委員名簿

区分	所属・役職	氏名 (敬称略)
学識者	東京大学 特別教授	磯貝 明
	国立研究開発法人産業技術総合研究所中国センター 機能化学研究部門セルロース材料グループ 研究グループ長	遠藤 貴士
	神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 教授	西野 孝※
	大阪大学産業科学研究所自然材料機能化研究分野 教授	能木 雅也
	東京農工大学 名誉教授	服部 順昭
	京都大学 生存圏研究所生物機能材料分野 教授	矢野 浩之
民間企業	帝人株式会社 マテリアル技術本部マテリアル技術企画部担当部長	瀧上 康太郎
	宇部興産株式会社 ナイロン開発部 部長	内貴 昌弘
	三井化学株式会社 経営企画部 主席部長	山岡 宗康

※座長

(3) 実施回数

全3回(令和2年8月、12月、令和3年2月)開催した。

(4) 議事及び配布資料

議事及び資料を表7.1-2に示す。

表7.1-2 CNF 利活用ガイドライン策定委員会の議事及び配布資料

回	日付・場所	議事	配布資料
第1回	令和2年8月27日(木) 15:00～17:00 AP 虎ノ門	1. 今年度事業と本委員会の設置に関して 2. 各調査項目に関して 2-1 環境省CNFモデル事業に関する情報収集整理 2-2 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理 2-3 CNF の地産地消モデルの検討 2-4 国内のCNF及びCNF二次製品の客観的評価及び将来の量産時のLCCO2の推定 2-5 CNF ガイドラインの策定 3. 総合討議、その他	資料1-1 令和2年度セルロースナノファイバー利活用ガイドライン作成事業委託業務 実施計画書 資料1-2 趣意書(案) 資料2-1-1 環境省CNFモデル事業に関する情報収集整理 資料2-1-2 CNF リサイクルの性能評価等事業委託業務まとめ 資料2-2 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理 資料2-3 CNF の地域産業創出(地産地消モデル)の検討 資料2-4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO2の客観的評価及び将来の量産時のLCCO2の推定 資料2-5 CNF 利活用ガイドラインの策定 資料3 各モデル事業の実施状況及び工程管理について 資料4 CNF 事業の推進のあり方について 参考資料1: 環境省2020 予算書
第2回	令和2年12月2日(水) 14:00～17:00 オンライン(事務局のみ AP 虎ノ門)	1. 第1回策定委員会の課題と対応方針 2. 各調査項目 2-1 CO ₂ 削減効果の分析、コストの分析、リサイクルの調査について 2-2 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理 2-3 CNF の地域産業創出(地産地消モデル)の検討 2-4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO2の客観的評価及び将来の量産時のLCCO2の推定 3. CNF 利活用ガイドラインについて 4. 総合討議、その他	資料1 第1回策定委員会_課題と対応方針 資料1別紙 第2回 CNF 利活用ガイドライン策定委員会事前レク 指摘事項・対応方針(案) 資料2-1-1 CO ₂ 削減効果の分析 資料2-1-2 供給コストの分析 資料2-1-3 リサイクルの調査 資料2-2 CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理 資料2-3 CNF の地域産業創出(地産地消モデル)の検討 資料2-3別紙 大量生産低価格モデル事業(生産量MB40000トン、価格850円/kg) 事業収支サンプル 資料2-4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCCO2の客観的評価及び将来の量産時のLCCO2の推定 資料3-1 CNF 利活用ガイドライン(素案) 資料3-1別紙 CNF 利活用ガイドライン別冊3 LCA ガイドライン 資料3-2 CNF 利活用ガイドライン要約版(素案、Ver0.5) 参考資料1: 第1回CNF 利活用ガイドライン策定委員会議事概要 参考資料2: 第1回LCA 分科会議事概要 参考資料3: 第1回LCA 分科会コメント対応案 参考資料4: 第1回LCA 分科会議事次第 参考資料5: 趣意書
第3回	令和3年2月8日(月) 14:00～17:00 オンライン(事務局のみ AP 虎ノ門)	1. 第2回策定委員会とLCA 分科会の課題と対応方針 2. 各調査項目 2-1 CNF の供給価格に関する考察(2-2欠番) 2-3 CNF の地域産業創出の検討	資料1-1 第2回策定委員会_課題と対応方針 資料1-2 第2回LCA 分科会コメント対応案 資料2-1-1 CNF の供給価格に関する分析(資料2-2欠番) 資料2-3-1 CNF の地域産業創出モデルの検討(小ロット高価格帯モデル) 資料2-3-2 CNF の地域産業創出モデルの検討(大量生産低価格モデル)

回	日付・場所	議事	配布資料
		2-4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCC02の客観的評価及び将来の量産時のLCC02の推定 3. CNF利活用ガイドラインについて 4. 総合討議、その他 5. 環境省挨拶、閉会	資料 2-4 国内のCNF及びCNF二次製品のLCC02の客観的評価及び将来の量産時のLCC02の推定 資料 3-1 CNF利活用ガイドライン(案) 資料 3-1 別紙 CNF利活用ガイドライン別冊 3 LCAガイドライン 資料 3-1 別紙エクセルファイル CNF原単位算出ツール 資料 3-2 CNF利活用ガイドライン要約版(案) 参考資料 1 : 第2回CNF利活用ガイドライン策定委員会議事概要 参考資料 2 : 第2回LCA分科会議事概要 参考資料 3 : 趣意書

7.2 LCA分科会の設置・運営

ここでは、LCA分科会の目的等、委員構成、実施回数、議事及び配布資料について記述する。

(1) LCA分科会設置の目的等

本業務の実施にあたり、LCC02の推定結果等及びLCAガイドラインの内容の適切性・有効性及び妥当性に関して、専門的知見に基づき検討・助言を頂き、LCAガイドラインの質の向上を図ることを目的とし、CNF及びLCAに関する学識者4名から成るLCA分科会を設置した。

(2) LCA分科会の委員構成

LCA分科会は、学識者4名で構成された。委員名簿を表7.2-1に示す。

表 7.2-1 LCA分科会委員名簿

区分	所属・役職	氏名(敬称略)
学識者	国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻 特別教授	磯貝 明
	国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 准教授	菊池 康紀
	学校法人立命館 立命館大学 政策科学部 政策科学科 准教授	中野 勝行
	国立大学法人東京農工大学 名誉教授	服部 順昭 [※]

※座長

(3) 実施回数

全2回(令和2年10月、12月)開催した。

(4) 議事及び配布資料

議事及び資料を表7.2-2に示す。

表 7.2-2 LCA 分科会の議事及び配布資料

回	日付・場所	議事	配布資料
第1回	令和2年 10月2日 (金) 10:00～ 12:00 TKP 神田 駅前ビジ ネスセン ター	<ol style="list-style-type: none"> 1. 今年度事業及びLCA分科会の位置付けについて(報告事項) 2. ライフサイクル思考から見たサステナビリティ側面でのCNF活用のメリットの検討(検討事項) 3. CNF製造方法類型とCNF活用製品の関連付け(品質機能展開の応用)について(検討事項) 4. CNFまたはCNF二次製品の整理について(報告事項) 5. ライフサイクルにおけるCNF及びCNF二次製品に係るCO₂削減ポテンシャル等の整理について(報告事項) 6. CNF及びCNF二次製品の製造段階に係るCO₂排出原単位の推定について(報告事項) 7. その他 	<p>第1回LCA分科会における新型コロナウイルスへの対応 第1回CNF利活用ガイドライン策定委員会LCA分科会 出席者名簿 配席図</p> <p>資料1 令和2年度セルロースナノファイバー利活用ガイドライン作成事業委託業務 実施計画書</p> <p>資料2 趣意書(案)</p> <p>資料3 CNFガイドライン事業LCA分科会 議事資料</p> <p>資料4 算定条件宣言シート(遮熱合わせガラスの事例)</p> <p>資料5 LCAの観点でのCO₂削減効果の算定手順と算定例</p> <p>参考資料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(2019年3月、環境省)</p> <p>参考資料2 算定条件宣言シート作成ガイダンス(2019年3月、環境省)</p>
第2回	令和2年 12月18日 (金) 10:00～ 12:00 オンライン(事務局のみ TKP 神田ビジネスセンター)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第1回LCA分科会及び第2回CNF利活用ガイドライン策定委員会における指摘事項と対応状況について 2. CNF活用が貢献できるライフサイクル思考から見た環境側面 3. CNF製造方法類型とCNF活用製品の関連付け(品質機能展開の応用)について 4. CNFまたはCNF二次製品の整理について 5. ライフサイクルにおけるCNF及びCNF二次製品に係るCO₂削減ポテンシャル等の整理について 6. CNF及びCNF二次製品の製造段階に係るCO₂排出原単位の推定について 7. CNF-LCAガイドライン(案)について 8. その他(今後のLCA分科会マターの取り扱いについて) 	<p>第2回CNF利活用ガイドライン策定委員会LCA分科会 出席者名簿</p> <p>資料1-1 第1回CNF利活用ガイドライン策定委員会LCA分科会における指摘への対応(案)</p> <p>資料1-2 第2回CNF利活用ガイドライン策定委員会における指摘事項と対応状況(案) 抜粋</p> <p>資料2 CNFガイドライン事業第2回LCA分科会 議事資料</p> <p>資料3-1 CNFに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドライン(案)</p> <p>資料3-2 宣言条件宣言シート 作成ガイダンス</p> <p>資料3-3 CNFに関する温室効果ガス排出量削減効果算定手順および算定例</p> <p>参考資料1 第1回CNF利活用ガイドライン策定委員会LCA分科会 議事概要</p> <p>参考資料2 仮)脱炭素・資源循環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 素案(20201201ver)</p>

第8章 本年度業務のまとめと課題の整理

本章では、本年度の業務を総括するとともに今後の課題と対応の方向性案を提示する。

8.1 本年度業務のまとめ（主な成果）

（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」の成果による

C02削減効果の見通しの更新

1）環境省 CNF 関連モデル事業に関する情報収集・整理

平成 27 年度以降に実施している「セルロースナノファイバー（CNF）等の次世代素材活用推進事業」において実証してきたモデル事業に関する情報を収集し、整理するとともに、モデル事業受託者に対して、アンケート調査・ヒアリング調査を実施し、本年度調査項目と関連した内容やモデル事業後の状況について把握を行った。

2）2025～2035 年における C02 削減効果等の分析

上記 1）の各モデル事業の C02 削減効果の推計結果を把握し、追加で C02 削減効果の推計に必要な情報の収集を行った。加えて、上記 1）のアンケート及びヒアリング調査で情報把握を行ったものの、有益な情報は得られなかった。そのため、従来の方法をアップデートする形で、当該製品の将来的な普及量を設定するとともに、各製品当たりの C02 削減効果の推計し、将来的な C02 削減効果（2025～2035 年）の検証・分析を行った。

3）CNF の供給コスト等に関する分析

上記 1）の各モデル事業の内容、上記のアンケート・アリング結果および関連情報を基に、CNF の供給価格とそれに関連する情報について分析を行った。アンケート及びヒアリング調査からは個別に掲載可能な情報は得られなかったが、得られた情報から可能な範囲で CNF の種類・特徴別の傾向を整理し、現在と将来の供給価格情報およびそれに係る定性情報を整理した。

4）CNF リサイクルの調査

「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」で実施した CNF のリサイクルに関する調査を基に、平成 29～31 年度環境省「CNF リサイクルの性能評価等事業」の結果等も踏まえて調査を行った。特に、工程内リサイクルと市場回収リサイクルの観点と選別技術の観点から調査を行った。

5) 海外政策動向調査

平成 29 年度に調査した 7 か国（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）を対象とし、CNF における各国政策の最新動向を調査した。

6) CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理

上記 1) ～ 5) の各項目に関して、CNF 利活用ガイドラインに有用な情報の整理を行った。

(2) CNF サプライチェーン構築及び拡大に関する課題の整理

CNF サプライチェーン構築及び拡大における経済的課題、制度的課題、社会的課題等整理し、ニーズが高く、CO2 削減効果が期待でき、技術的にも可能性のある分野、ニーズとシーズの乖離が起きている分野などに分類し表にまとめるとともに、有望な製品群の特定を行った。また、関連する事業者の意見を聴取し、課題・解決策等の検討を行った。

(3) CNF 地域産業創出モデルの検討

平成 27 年度に実施した「地域における低炭素なセルロースナノファイバー用途開発 FS 委託業務」の 3 地域（静岡、三重、岡山）の CNF サプライチェーンに関する最新情報を調査するとともに、CNF による地域産業創出の課題と解決のポイントをまとめた。また、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を実施し、CNF の少量生産高価格モデルと大量生産低価格モデルについて、地域サプライチェーンの実現可能性や波及効果の検討・推計を行った。

(4) 国内の CNF 及び CNF 二次製品の LCCO2 の客観的評価及び将来の量産時の LCCO2 の推定

CNF 製造方法の整理・体系化を行うとともに、LCCO2 に係る情報、CO2 削減ポテンシャル等について、最新情報の収集・整理を行った。また、主要な CNF 製造方法について、CNF 製造段階の CO2 排出原単位の推定を行った。なお、原単位の製造方法としては、「実験規模」のものと 2030 年頃の増産化を想定した「工業規模」のものの推定を行った。

それらの情報をもとに、LCA ガイドラインの改定と CNF 製造段階の CO2 排出原単位の推定ツールの開発を行った。

(5) CNF 利活用ガイドラインの策定

過年度調査及び上記の調査検討内容を踏まえて、CNF 利活用ガイドラインの策定を行った。また、併せて要約版の作成を行った。

なお、環境省が公開するガイドラインとしての意義を明確にするため、有識者の意見等も踏まえ、タイトルを「『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」とし、脱炭素社会、循環経済、分散型社会の実現のために CNF を利活用することに重点を置いた内容とした。

(6) 有識者会議の設置・運営等

CNF に関する学識者やメーカー等の有識者から成る CNF 利活用ガイドライン策定委員会（全3回開催、有識者9名）を設置し、上記各項目およびガイドラインの内容について検討を行った。また、LCA 分科会を設置し、CNF 製造時の CO₂ 排出原単位の検討や LCA ガイドラインの内容（上記 3.4 の内容に該当）について検討を行った。

8.2 今後の課題と対応の方向性案

(1) 製造コスト低減に資する支援

今年度の調査により、多くの事業者からの課題として取り上げられたこととして、依然として現状では「コストが高い」といった点が挙げられる。今回の6か年の事業は、いくつかのCNF製品の実用化への貢献やNCV（ナノ・セルロース・ヴェイクル）といったコンセプトカーを実現には寄与したものの、依然として、様々なCNF製品の実用化までには、多くのステップが必要であり、コストの点については、最重要課題と考えられる。この課題を克服していくため、コスト低減等に繋がる経済的支援制度があることが望ましい。

(2) 市場回収リサイクルスキームの確立と技術面の進展

CNFはまだ市中へ多く出回っていないこともあり、市場回収リサイクルスキームは確立されていない状況である。また、回収技術に関して、高速・高精度の選別技術については、確立が必要となっている状況である。市場回収リサイクルスキームに関して、CNFの市中への普及がすぐに広まるわけではないこともあり、すぐには確立できない。しかし、CNFそのものはリサイクル性が高く、価値があるにもかかわらず、今後の市場回収のスキームの状況によっては不純物として取り扱われる恐れもでてくる。そのため、CNF（を含んだ樹脂）を効率的に分別回収していく技術の確立は必要と考えられる。

(3) CNFに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドラインの更新

今年度の調査により、CNF製造段階のCO₂排出量の推定およびCNFに関する温室効果ガス削減効果算出ガイドラインの策定（改定）を行い、製造段階のCO₂排出量については、「CNF温室効果ガス排出原単位表示ツール」として、エクセルファイルで公開することとした。しかし、現段階のデータの多くはCNF量産化前の実験室規模のものからのシミュレーションであるため、CNFの利活用が促進され量産化が進んだ段階で、その時の実情に合うよう更新していくことが望ましい。

(4) 継続的な普及啓発

今年度の調査を以って、6か年の環境省事業は終了となるものの、NCVをはじめとして環境省事業の成果は上がっており、今後も利用可能なコンテンツとして利活用ガイドラインも策定されたところである。

現状では構造物用途におけるCNFの利活用は実装段階から普及拡大のスタートラインに立ったところである。脱炭素、循環経済、分散型社会の実現に向けては、今後も様々な場面における継続的な普及啓発が必要となる。

略語・用語集

本報告書で用いる略語・用語を解説する。

表 本報告書で用いるCNFに関する略語・用語

	略語・用語	和文・定義・解説
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。加工性に優れている。
	ACC 法	Aqueous Counter Collision 水中カウンターコリジョン法。CNF 製造方法の一つ。水圧によるせん断・衝突などでセルロース繊維を物理的に解繊。
	AIST	The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology 産業技術総合研究所。
	ASR	Automobile Shredder Residue 自動車破砕残さ。
C	CFRP	Carbon-fiber Reinforced Plastic 炭素繊維強化プラスチック。
	CNFRP	CNF Reinforced Plastic セルロースナノファイバー強化プラスチック。
	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。
	COCH3	Acetyl Group アセチル基。
E	EP	Epoxy Resin エポキシ樹脂。熱硬化性樹脂のひとつである。
	ESG	Environment, Social, Governance 環境・社会問題・企業統治。持続可能な投資の観点。
	FRP	Fiber-Reinforced Plastics 繊維強化プラスチック。単に GFRP を指すことも多い。
F	FS	feasibility Study 実現可能性調査
G	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastics ガラス繊維強化プラスチック。ガラス繊維により熱硬化性プラスチックを強化したもの。
I	IDEA	Inventory Database for Environmental Analysis イデア。ライフサイクルインベントリ) データベースの名称。
	IEA	International Energy Agency 国際エネルギー機関
	IEC/TC113	International Electrotechnical Commission/TC113 国際電気標準会議のナノテクノロジーをあつかう専門委員会。
	ISO	International Organization for Standardization 国際標準化機構。
	ISS	Idling Stop System アイドリング ストップ システム

	略語・用語	和文・定義・解説
J	JIS	Japanese Industrial Standards 日本工業規格。
	JST	国立研究開発法人科学技術振興機構。
K	kg-CNF	1kg の CNF。
	kg-CO2e	温室効果ガス排出量の単位。
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/
	LCCO2	Life Cycle CO2 ライフサイクル CO2：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 CO2 排出量。
	LCI	Life Cycle Inventory ライフサイクルインベントリ分析。天然資源、エネルギー使用量、環境負荷物質（二酸化炭素など）排出量を算出する。
	LiB	Lithium Ion Battery リチウムイオン電池
M	MB	→マスターバッチ
	NCC	Nanocrystalline Cellulose セルロースナノクリスタルの別の呼び方。パルプを酸で加水分解して製造される。
	NCF	Nanocellulose Forum ナノセルロースフォーラム。CNF の導入を促進することを目的とした産官学のコンソーシアム。2020年3月にナノセルロースジャパン（NCJ）として発展的解消。（→NCJ）
	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。2020年4月にナノセルロースフォーラム（NCF）の後継として設立。
	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：NCV 参照。 参考： http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/
	NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構。
	NFC	Nanofibrillated Cellulose CNF の海外での呼び方のひとつ。
O	OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development 経済協力開発機構。パリに本部がある35ヶ国の先進国が加盟する国際機関。
P	PA	Polyamide アミド結合（-CONH-）をもつ重合体を総称してポリアミドという。
	PA6	Polyamide6 6ナイロン。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。現在、日本国内で生産されるポリアミドの殆ど、エンジニアリングプラスチックとして、また繊維素材として用いられている。
	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。

	略語・用語	和文・定義・解説
	PC/ASA	polycarbonate/acrylate styrene acrylonitrile PC/ASA アロイ。多成分系プラスチックのひとつ。
	PE	Polyethylene ポリエチレン。熱可塑性樹脂のひとつ。
	PET	Polyethylene Terephthalate ポリエチレンテレフタレート。
	PLA	Poly-Lactic Acid ポリ乳酸樹脂。植物由来のプラスチック。
	PMMA	Polymethyl Methacrylate ポリメタクリル酸メチル（アクリル樹脂）。
	POM	Polyoxymethylene ポリオキシメチレン（ポリアセタール） 成形加工温度が190℃以下でCNFの耐熱温度以下で加工できる熱可塑性エンブレ。
	PP	Polypropylene ポリプロピレン。代表的な熱可塑性プラスチックであり、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。
	PS	Polystyrene ポリスチレン。熱可塑性樹脂で、4大汎用樹脂のひとつ。
	PVC	Polyvinyl Chloride ポリ塩化ビニル（塩化ビニル樹脂）。
R	R-CNF	Recycle Cellulose Nano Fiber 一般廃棄物または産業廃棄物を機械的処理により再生したCNFを含む樹脂。
	RTM	Resin Transfer Molding 樹脂注入成形法。
S	SC	→サプライチェーン
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 TEMPO 酸化法はCNFの化学的解繊方法のひとつである。 TEMPOは2,2,6,6-tetramethylpiperidine 1-oxyl radical 2,2,6,6-テトラメチルピペリジン 1-オキシルの略称である。
W	WPC	Woodfiber-Plastic. Composites 木材・プラスチック複合材料。
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。
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。

	略語・用語	和文・定義・解説
	機械解繊	Mechanical Treatment 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。
	筐体 (きょう体)	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。これにより、高性能の CNF 強化樹脂が得られる。
	グラインダー法	Grinders CNF 製造方法の一つ。
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。
	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する 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。
	セルロースミクロフィブリル	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）を微粉砕し、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 石臼式粉砕機 グラインダーと同じ湿式で使用されることが多い。 CNF 製造方法の一つ。
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

	略語・用語	和文・定義・解説
	ビーズミル	Bead Mill セラミックスなどのビーズと粉砕対象物を液体中で高速攪拌する微粉砕機。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
	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・破砕、洗浄、ペレット化により、再生PET樹脂がえられる。
	マイクロファイブリル	→セルロースマイクロファイブリル
	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ァイ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。