

平成29年度環境省委託業務

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

平成30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
一般社団法人産業環境管理協会

はじめに

セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）は、木材等のカーボンニュートラルな植物由来の原料で、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、断熱性などにより、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。

また、これまで、国・民間で行われてきた技術開発の蓄積により、CNFは素材として実用段階に入り、CNFの物性を活かした用途開発の取り組みが活発になりつつあるが、CNF市場の拡大が進んだ後の、CNFのリサイクル時の課題・解決策の検討はほとんど実施例がなく、今後様々な実証モデル事業によるこれらの検討が必要である。

本業務では、地球温暖化対策の観点からのCNFの早期社会実装に向けて、CNFリサイクル事業の事業計画の策定を行った。また、CNFリサイクルの実施によるCO2削減効果、易リサイクル性、リサイクル技術等における、クリアすべき要求性能、評価項目等について整理を行った。

本業務は環境省の平成29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、及び一般社団法人産業環境管理協会の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。

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
報告書目次

はじめに

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	5
1.5 ヒアリング調査の実施概要	6
1.6 事業検証委員会の設置・運営	8
1.7 モデル事業受託者意見交換会の開催	10
第2章 本業務で用いる略語等の解説	12
第3章 CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定	19
3.1 実現目標の設定	19
3.1.1 CNF活用製品の普及状況の想定	19
3.1.2 現時点のCNF活用製品のリサイクルの実証可能性等検討	27
3.1.3 実現目標の設定	34
3.2 評価項目・方法の整理	39
3.2.1 評価項目・要求性能の整理	39
3.2.2 CO ₂ 削減効果の評価方法の検討	45
3.2.3 CNF製品の社会実装時のCO ₂ 削減量の推計	50
3.3 技術的、法的、経済的、社会的課題の抽出	63
3.3.1 CNFリサイクルの必要性の検討	63
3.3.2 CNFリサイクルの考え方の検討	69
3.3.3 リサイクル技術の整理	72
3.3.4 リサイクルプロセスの整理	78
3.3.5 リサイクルにおける課題の抽出	82
3.3.6 課題に対する対応策の検討	92
3.3.7 対応策のまとめ	110
3.3.8 ヒアリング調査結果のまとめ	117

3.4	モデル事業の推進計画の策定	123
3.4.1	CNFリサイクル事業の普及促進方策の検討	123
3.4.2	CNFリサイクルに関するモデル事業の検討	125
3.4.3	CNFリサイクルに関するモデル事業の費用対効果（採算性）の分析	132
3.4.4	CNFリサイクルに関するモデル事業の事業実現性の評価	139
3.4.5	モデル事業の推進計画の策定	139
第4章	CNF活用製品の開発・商用化状況調査	141
4.1	環境省CNF関連事業の現状把握	141
4.1.1	各モデル事業に関する文献調査	141
4.1.2	モデル事業受託者へのアンケート・ヒアリング調査	147
4.2	各モデル事業の実施計画等に対する達成状況の調査	152
4.2.1	実施計画に対する達成状況の調査	152
4.2.2	実現目標及び評価項目に対する達成状況の整理	157
4.2.3	達成されていない場合の対応策の提案	170
4.3	CO ₂ 削減効果の検証・評価	171
4.3.1	各モデル事業のCO ₂ 削減効果の評価方法・検証方法の整理	171
4.3.2	是正方針・是正案の提案	173
4.4	技術熟度の調査	181
4.4.1	TRAの概要と導入目的	181
4.4.2	TRA評価結果	186
4.4.3	TRA評価結果を踏まえた改善案（事業終了時TRA4相当）	187
4.4.4	TRA評価結果を踏まえた改善案（商用化前TRA6相当）	190
第5章	CNF最新動向調査	193
5.1	国内外のCNF最新動向の整理	193
5.1.1	政策・プロジェクト海外ヒアリング調査	195
5.1.2	政策・プロジェクト文献調査	222
5.1.3	標準化文献調査	278
5.1.4	特許文献調査	289
5.1.5	CNF原材料等の生産状況・生産体制の調査	320
5.2	CNFの早期社会実装に向けた新たな取組が必要な課題の特定等調査	322
5.2.1	諸外国との比較	323
5.2.2	普及戦略	324
5.2.3	普及の課題	326
5.2.4	課題の対応策	327

第6章 平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討	328
6.1 環境省事業（CNF関連事業の集合体）としての評価	328
6.2 共通的な事業課題の抽出・整理	329
6.3 平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討	330
6.3.1 平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討	331
6.3.2 環境省CNF関連事業の全体ロードマップの策定	335
6.4 効果的な広報の実施	338
6.4.1 広報計画の策定	338
6.4.2 一般消費者を対象とした広報活動	339
6.4.3 事業者を対象とした広報活動	344
第7章 本年度業務のまとめと課題の整理	348
7.1 本年度業務のまとめ（主な成果）	348
7.2 今後の課題と対応方針案	350

巻末資料：

巻末資料1：「エコライフ・フェア2017」及び「エコプロ2017」の展示パネル

巻末資料2：平成29年度広報資料（チラシ、リーフレット）

巻末資料3：CNFの物性・特徴等の整理結果

概要（サマリー）

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

1. 業務の目的

セルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）は、木材等のカーボンニュートラルな植物由来の原料で、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、断熱性などにより、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。

また、これまで、国・民間で行われてきた技術開発の蓄積により、CNFは素材として実用段階に入り、CNFの物性を活かした用途開発の取り組みが活発になりつつあるが、CNF市場の拡大が進んだ後の、CNFのリサイクル時の課題・解決策の検討はほとんど実施例がなく、今後様々な実証モデル事業によるこれらの検討が必要である。

本業務では、地球温暖化対策の観点からのCNFの早期社会実装に向けて、CNFリサイクル事業の事業計画の策定を行う。また、CNFリサイクルの実施によるCO₂削減効果、易リサイクル性、リサイクル技術等における、クリアすべき要求性能、評価項目等について整理することを目的とする。

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

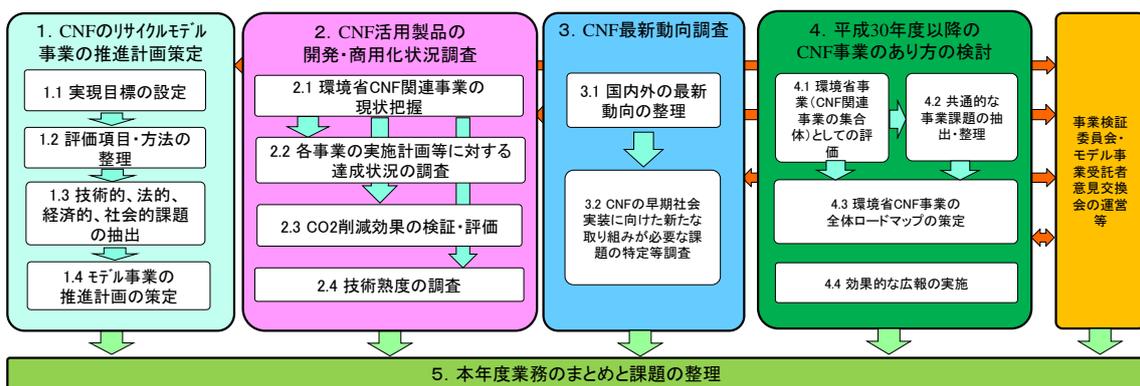


図-1 業務実施フロー

3. CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定

(1) 実現目標の設定

2020年及び2030年におけるCNF活用製品の普及状況を予測するとともに、現時点のCNF活用製品のリサイクルの実証可能性等を検討し、2020年及び2030年のCNFリサイクルの実現目標（案）を設定した。

(2) 評価項目・方法の整理

当該製品・部材がリサイクル後も有効に機能するための評価項目・評価方法を関連するJIS規格等を基に整理するとともに、CNF製品のリサイクルによるCO₂削減効果の評価方法を検討し、CNFのリサイクル技術が社会実装された際のCO₂削減量の推計を行った。

(3) 技術的、法的、経済的、社会的課題の抽出

CNFリサイクルの必要性、CNFリサイクルの考え方、CNFリサイクルの技術、リサイクルプロセスの整理を実施した上で、CNFリサイクルにおける技術的・経済的・社会的・法的課題を抽出し、リサイクルプロセス別・実証ニーズ別に対応策をまとめた。

(4) モデル事業の推進計画の策定

CNFリサイクル事業の普及促進方策を検討し、CNFリサイクルに関する新規モデル事業の具体案を提案した。また、これらモデル事業について、費用対効果及び事業実現性の評価を行い、モデル事業の推進計画を策定した。

4. CNF活用製品の開発・商用化状況調査

(1) 環境省CNF関連事業の現状把握

環境省が実施しているモデル事業について、報告書等の文献調査、モデル事業受託者へのアンケート・ヒアリング調査を行い、各事業が実証する製品・部材や技術などを把握した。

(2) 各事業の実施計画等に対する達成状況の調査

上記(1)の調査結果を踏まえ、各モデル事業における「主要な検証項目・検証技術に関する達成状況」、「各課題（人的資源、設備、原材料、実証方法）についての達成状況」、「実現目標及び評価項目」を評価し、課題及び改善策を提示した。

(3) CO₂削減効果の検証・評価

上記(1)の調査結果を踏まえ、各事業のCO₂削減効果の評価方法・検証方法、LCAレベルでのCO₂削減効果の算定における課題等を整理し、是正案を提示した。

(4) 技術熟度の調査

技術熟度評価制度 (TRA) に基づくアンケート・ヒアリング調査を行い、各モデル事業の技術熟度を評価し、評価結果を踏まえた改善案を提示した。

5. CNF 最新動向調査

(1) 国内外の最新動向の整理

国内外の政策・プロジェクト動向、標準化動向、特許動向、CNF 原材料等の生産状況・生産体制等について、主に文献による調査を行い、これらの動向を整理した。政策・プロジェクト動向については海外 (欧州) ヒアリング調査を実施した。

(2) CNF の早期社会実装に向けた新たな取り組みが必要な課題の特定等調査

上記 (1) の調査結果を踏まえ、CNF 早期社会実装に向けた課題と対応策を検討した。

普及に向けての課題への対応策として、標準化の方向性討議、事業結果の省庁間での共有、将来製造価格の精緻化、標準化内容の検討、官民連携での製品原料提供等の方策を提示した。

6. 平成 30 年度以降の CNF 事業の推進のあり方の検討

(1) 環境省事業 (CNF 関連事業の集合体) としての評価

「3. CNF 活用製品の開発・商用化状況調査」の結果について、定量的・定性的な評価軸について検討した上で、それら評価軸に沿って全体としての評価を行った。

(2) 共通的な事業課題の抽出・整理

環境省 CNF 関連事業の全体ロードマップの策定にあたって、これまでの調査結果を踏まえ、環境省 CNF 事業における共通的な課題について抽出・整理を行い、解決策・改善策を提示した。

(3) 平成 30 年度以降の CNF 事業の推進のあり方の検討

平成 30 年度以降の CNF 事業の推進のあり方として、情報共有・連携のための場づくりの方向性を提案した。また、環境省が設定した 2030 年度の実現目標に向けた、環境省 CNF 関連事業の全体ロードマップを策定した。

7. 効果的な広報の実施

地球温暖化対策としての CNF の早期社会実装を推進するため、CNF の有用性を広く社会に認知・啓発することを目的に、「エコライフ・フェア 2017」及び「エコプロ 2017」において広報を実施した。実施にあたって広報資料を作成し、会場等で配布した。

8. 事業運営等

(1) 事業検証委員会の設置・運営

CNFのリサイクルモデル事業の推進計画の策定や、平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討等に関して、専門的な知見を得ることを目的とし、7名の有識者等（オブザーバー1名含む）によって構成される事業検証委員会を設置し、年度内に3回開催した。

(2) モデル事業受託者意見交換会の開催

環境省で実施しているモデル事業の全受託者を対象に、モデル事業受託者意見交換会を実施した。意見交換会は、ヒアリング等を通じて把握された共通的な課題など、モデル事業受託者にとって有益な情報を提供し、モデル事業受託者からの活発な意見交換を促すことで、各モデル事業の成果向上に繋げることを目的として実施した。

9. 本年度業務のまとめと課題の整理

本年度の主な成果をまとめるとともに、今後の課題と対応方針（案）を整理した。

Summary

FY2017

Commissioned Program to Prepare the Plan to Promote the Recycling Model Projects using Cellulose Nanofiber

1. Purpose of the program

Cellulose nanofiber (CNF), which is a raw material derived from carbon neutral plants such as timbers, has the features of light weight, high strength, and high flexibility for its high surface specific area and porosity properties. Because of those features, CNF is expected to be used for various basic materials and therefore, the intense development program is being promoted. In particular, its use in high strength materials (such as auto parts and cases for home appliances) and high performance materials (such as building materials and interior materials) leads to the reduction of energy consumption through weight reduction, high efficiency, and thermal insulation. In this way, CNF presents an expectation of a significant contribution to the global warming countermeasures.

As a result of the accumulation of the technological developments by both the public and private sectors, CNF has entered into the practical application stage as a material. While application development by using the properties of CNF is energetically promoted, examples of examination of issues and solutions for CNF recycling following an expansion of the CNF market are not readily available. These issues need to be examined through various verification model projects.

In this project, a CNF recycling project plan has been established for an early introduction of CNF into the society in terms of the global warming countermeasures. This program also addresses the clarification of the required performances and criteria to be resolved including the effects on CO₂ reduction by the CNF recycling, recyclability, and recycling technology effects.

2. Work flow

Figure 1 shows the work flow

* The numbers in the diagram are different from the section numbers in this report.

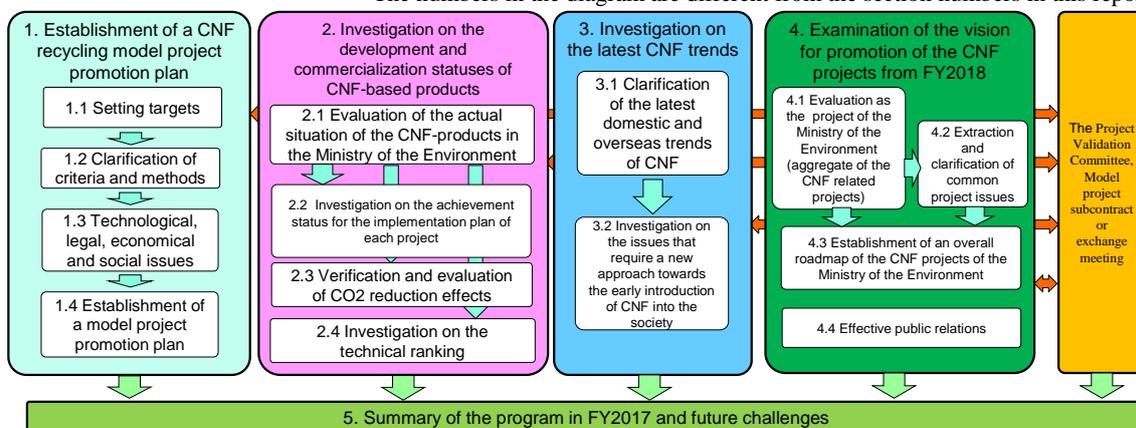


Fig. 1 Work flow

3. Establishment of a plan for promoting the CNF recycling model project

(1) Setting targets

CNF recycling targets (suggestion) for 2020 and 2030 were set based on the prediction of the popularization of CNF-based products in 2020 and 2030 as well as the examination of the feasibility of recycling of CNF-based products at the current stage.

(2) Clarification of criteria and methods

Criteria and evaluation methods to allow recycled products and materials to function effectively were clarified in the JIS Standards. The CO₂ reduction evaluation methods by recycling CNF products were examined to estimate the amount of CO₂ reduction when the CNF recycling technology is introduced into the society.

(3) Extraction of technological, legal, and social issues

After clarifying the necessities for CNF recycling, the concept of CNF recycling, the technology of CNF recycling, and the recycling process, the technological, economical, and social, and legal issues in CNF recycling were extracted and strategies were summarized for each recycling process and the necessity for verification.

(4) Establishment of a model project promotion plan

A CNF recycling project promotion policy was examined and specific strategies for the new model projects for CNF recycling were proposed. The cost-benefit performance and feasibility of these model projects were evaluated and a model project promotion plan was established.

4. Investigation on the development and commercialization statuses of CNF-based products

(1) Evaluation of the actual situation of the CNF-based projects in the Ministry of the Environment

The model projects that were implemented by the Ministry of the Environment were examined by conducting review of literatures such as reports and questionnaire survey to the subcontractors of the model projects to evaluate the products, materials, and technologies that are verified by each project.

(2) Investigation on the achievement status for the implementation plan of each project

Based on the result of the investigation described in (1), evaluation was conducted for “achievement status relating to the key verification items/verification technology”, “achievement status regarding each issue (human resources, facilities, raw materials, and verification method)”, and “achievement targets and criteria”. Based on the investigation, issues and improvement measures were presented.

(3) Verification and evaluation of CO₂ reduction effects

Based on the results of the investigation indicated in (1), issues on the CO₂ reduction effect evaluation method/verification method of each program and estimation of CO₂ reduction effects at the LCA level was clarified and a corrective plan was presented.

(4) Investigation on the technical ranking

The technical ranking of each model project was assessed by conducting a questionnaire survey based on the technical ranking assessment (TRA) and an improvement proposal based on the assessment result were presented.

5. Investigation on the latest CNF trends

(1) Clarification of the latest domestic and overseas trends of CNF

Domestic and overseas policies/project trends, standardization trends, patent movements, and production statuses/production systems of CNF raw materials and so on were investigated mainly through documents and these trends were clarified. Questionnaire surveys were conducted on overseas (Europe) trends of policies and projects.

(2) Investigation on the issues that require a new approach towards the early introduction of CNF into the society

Based on the results of the investigation described in (1), issues and measures for the early introduction of CNF into the society were examined.

The measures for the issues towards popularization were presented including discussions on the direction for standardization, sharing of the project results among the Ministries, elaboration of the prices of future products, examination of standardization details, coordination between the private and public sectors, and supply of raw materials of the products.

6. Examination of the vision for promotion of the CNF projects from FY2018

(1) Evaluation as the project of the Ministry of the Environment (aggregate of the CNF related projects)

The results of “3. Investigation on the development and commercialization status of CNF-based products” were examined based on the qualitative and quantitative evaluation axes. The general evaluation was conducted based on these evaluation axes.

(2) Extraction and clarification of common issues on the projects

Common issues in the CNF project by the Ministry of the Environment were extracted and sorted based on the investigation results that have been obtained up to the present to establish the overall roadmap of the CNF related project by the Ministry of the Environment. Solution and improvement measures were presented.

(3) Examination of the vision for promotion of the CNF programs from FY2018

As the vision for promotion of the CNF programs from FY2018, the direction for the creation of a space for sharing and coordinating information was proposed. An overall roadmap of the CNF related project by the Ministry of the Environment was established for realization of the FY2030 targets that were set by the Ministry of the Environment.

7. Effective public relations

Public relations were used in “Eco Life Fair 2017” and “EcoPro 2017” for the recognition and education of the usefulness of CNF to the wider society to promote early introduction of CNF into the society. For the promotion, materials for public relations were prepared and distributed at the venues.

8. Project management

(1) Establishment and management of the Project Validation Committee

The Project Validation Committee was established consisting of seven experts and others (including an observer). The committee is aimed at gaining expert insights concerning the establishment of a plan for promoting the CNF recycling model project and examination of the vision for promotion of the CNF projects from FY2018. This committee met three times in FY 2017.

(2) Model project subcontractor exchange meeting

A model project subcontractor exchange meeting was held for all the subcontractors that are engaged in the model projects implemented by the Ministry of the Environment. The purpose of the exchange meeting is to improve the achievements of each model project by providing useful information with the model project subcontractors such as the common issues that were identified through interviews and the promotion of vigorous exchange of opinions.

9. Summary of the program in FY2017 and future challenges

Key outcomes of this fiscal year’s program were reviewed and future challenges and draft countermeasures were sorted out.

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、文献調査、ヒアリング調査、事業検証委員会、モデル事業受託者意見交換会を概説する。

1.1 業務の背景と目的

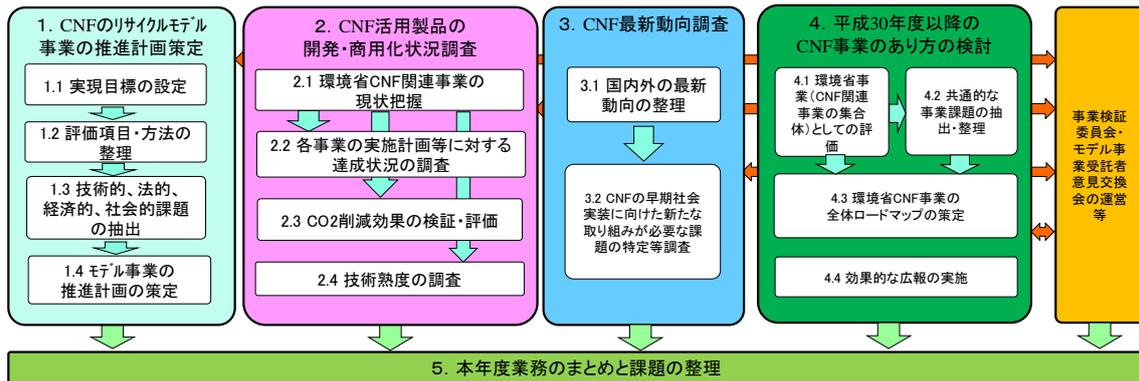
セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）は、木材等のカーボンニュートラルな植物由来の原料で、高い比表面積と空孔率を有していることから、軽量でありながら高い強度や弾性を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待され、精力的な開発が進められている。特に、高強度材料（自動車部品、家電製品筐体）や高機能材料（住宅建材、内装材）への活用は、軽量化や高効率化、断熱性などにより、エネルギー消費を削減することから、地球温暖化対策への多大なる貢献が期待されている。

また、これまで、国・民間で行われてきた技術開発の蓄積により、CNFは素材として実用段階に入り、CNFの物性を活かした用途開発の取り組みが活発になりつつあるが、CNF市場の拡大が進んだ後の、CNFのリサイクル時の課題・解決策の検討はほとんど実施例がなく、今後様々な実証モデル事業によるこれらの検討が必要である。

本業務では、地球温暖化対策の観点からのCNFの早期社会実装に向けて、CNFリサイクル事業の事業計画の策定を行った。また、CNFリサイクルの実施によるCO₂削減効果、易リサイクル性、リサイクル技術等における、クリアすべき要求性能、評価項目等について整理を行った。

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) CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定、(2) CNF活用製品の開発・商用化状況調査、(3) CNF最新動向調査、(4) 平成30年度以降のCNF事業のあり方の検討、(5) 本年度業務のまとめと課題の整理の5つの主要項目から構成される。



※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

1.3 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	実施項目	実施内容
(1) CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定	実現目標の設定	2020年及び2030年におけるCNF活用製品の普及状況を予測するとともに、現時点のCNF活用製品のリサイクルの実証可能性等を検討し、2020年及び2030年のCNFリサイクルの実現目標（案）を設定した。
	評価項目・方法の整理	当該製品・部材がリサイクル後も有効に機能するための評価項目・評価方法を関連するJIS規格等を基に整理するとともに、CNF製品のリサイクルによるCO ₂ 削減効果の評価方法を検討し、CNFのリサイクル技術が社会実装された際のCO ₂ 削減量の推計を行った。
	技術的、法的、経済的、社会的課題の抽出	CNFリサイクルの必要性、CNFリサイクルの考え方、CNFリサイクルの技術、リサイクルプロセスの整理を実施した上で、CNFリサイクルにおける技術的・経済的・社会的・法的課題を抽出し、リサイクルプロセス別・実証ニーズ別に対応策をまとめた。
	モデル事業の推進計画の策定	CNFリサイクル事業の普及促進方策を検討し、CNFリサイクルに関する新規モデル事業の具体案を提案した。また、これらモデル事業について、費用対効果及び事業実現性の評価を行い、モデル事業の推進計画を策定した。
(2) CNF活用製品の開発・商用化状況調査	環境省CNF関連事業の現状把握	環境省が実施しているモデル事業について、報告書等の文献調査、モデル事業受託者へのアンケート・ヒアリング調査を行い、各事業が実証する製品・部材や技術などを把握した。
	各事業の実実施計画等に対する達成状況の調査	環境省CNF関連事業の現状把握に関する調査結果を踏まえ、各モデル事業における「主要な検証項目・検証技術に関する達成状況」、「各課題（人的資源、設備、原材料、実証方法）についての達成状況」、「実現目標及び評価項目」を評価し、課題及び改善策を提示した。
	CO ₂ 削減効果の検証・評価	環境省CNF関連事業の現状把握に関する調査結果を踏まえ、各事業のCO ₂ 削減効果の評価方法・検証方法、LCAレベルでのCO ₂ 削減効果の算定における課題等を整理し、是正案を提示した。
	技術熟度の調査	技術熟度評価制度（TRA）に基づくアンケート・ヒアリング調査を行い、各モデル事業の技術熟度を評価し、評価結果を踏まえた改善案を提示した。
(3) CNF最新動向調査	国内外の最新動向の整理	国内外の政策・プロジェクト動向、標準化動向、特許動向、CNF原材料等の生産状況・生産体制等について、主に文献による調査を行い、これらの動向を整理した。政策・プロジェクト動向については海外（欧州）ヒアリング調査を実施した。
	CNFの早期社会実装に向けた新たな取り組みが必要な課題の特定等調査	国内外の最新動向の調査結果を踏まえ、CNF早期社会実装に向けた課題と対応策を検討した。普及に向けての課題への対応策として、標準化の方向性討議、事業結果の省庁間での共有、将来製造価格の精緻化、標準化内容の検討、官民連携での製品原料提供等の方策を提示した。

区分	実施項目	実施内容
(4) 平成 30 年度以降の C N F 事業の推進のあり方の検討	環境省事業（C N F 関連事業の集合体）としての評価	C N F 活用製品の開発・商用化状況調査の結果について、定量的・定性的な評価軸について検討した上で、それら評価軸に沿って全体としての評価を行った。
	共通的な事業課題の抽出・整理	環境省 C N F 関連事業の全体ロードマップの策定にあたって、これまでの調査結果を踏まえ、環境省 C N F 事業における共通的な課題について抽出・整理を行い、解決策・改善策を提示した。
	平成 30 年度以降の C N F 事業の推進のあり方の検討	平成 30 年度以降の C N F 事業の推進のあり方として、情報共有・連携のための場づくりの方向性を提案した。また、環境省が設定した 2030 年度の実現目標に向けた、環境省 C N F 関連事業の全体ロードマップを策定した。
	効果的な広報の実施	地球温暖化対策としての C N F の早期社会実装を推進するため、C N F の有用性を広く社会に認知・啓発することを目的に、「エコライフ・フェア 2017」及び「エコプロ 2017」において広報を実施した。実施にあたって広報資料を作成し、会場等で配布した。
(5) 本年度業務のまとめと課題の整理	本年度業務のまとめ（主な成果）	本年度業務の主な成果をまとめた。
	今後の課題と対応方針案	今後の課題と対応方針案として、「各モデル事業の確実な工程管理」「情報共有・連携のための実践的な「場づくり」」「日本の優位性を確保する戦略検討のための国内外の動向把握」「効果的・継続的な広報」「産官学の連携による C N F ロードマップの策定」の 5 つを提案した。

1.4 業務の実施体制

本業務は平成 29 年度環境省委託業務として、株式会社エックス都市研究所を代表事業者とし、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産業環境管理協会を共同事業者とする 3 者の共同実施体制により実施した。また、特定非営利活動法人循環型社会推進センターを再委託者とした。実施体制を図 1-2 に示す。

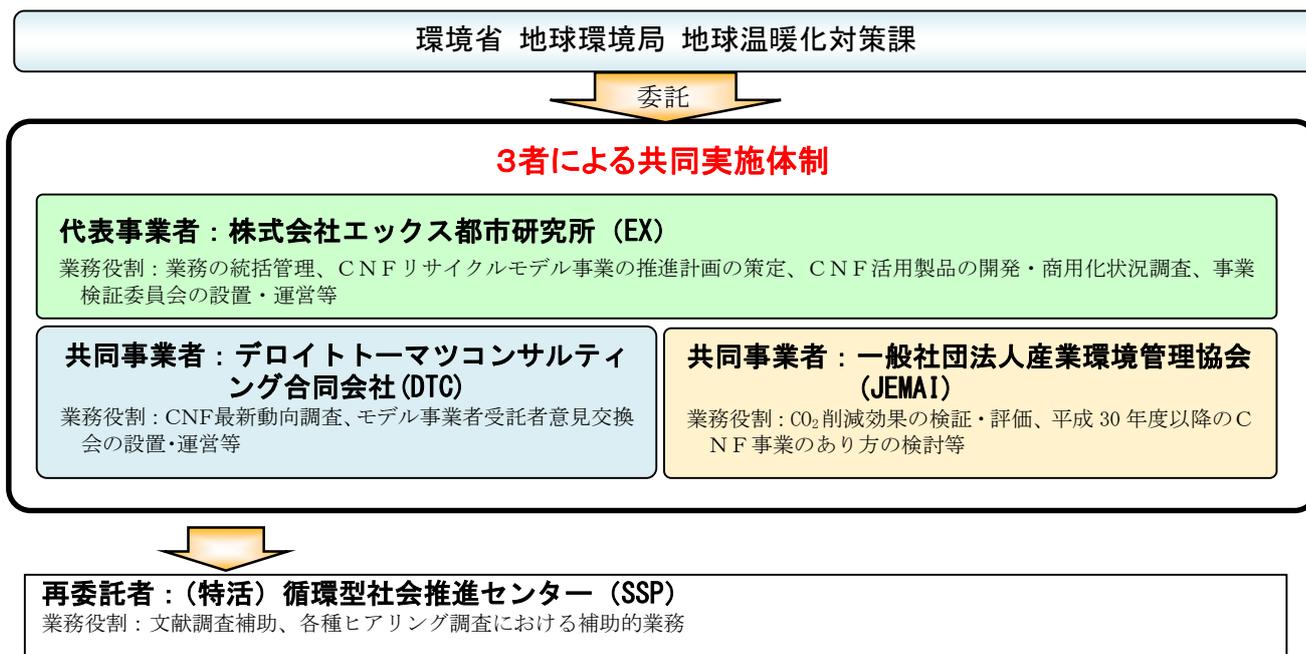


図 1-2 実施体制

1.5 ヒアリング調査の実施概要

本業務の実施に当たっては、CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定に関する有識者等に対して延べ12回、環境省CNF関連事業受託者に対して延べ11回のヒアリング調査を行い、多くの方々のご協力を賜った。本業務で実施したヒアリング調査の概要を表1-3～4に示す。

表1-3 本業務で実施したヒアリング調査の概要（CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定関連）

区分	対象者	実施日	ヒアリング内容
製紙メーカー	A	平成29年5月2日	<ul style="list-style-type: none"> ・CNFリサイクルに関する技術的、法的、経済的、社会的課題 ・CNFリサイクルに関するモデル事業の妥当性等 ・CNFに関する最新動向 等
研究機関	B	平成29年5月9日	
学識者	C	平成29年5月9日	
家電メーカー	D	平成29年5月10日	
研究機関	E	平成29年5月11日	
業界団体	F	平成29年5月15日	
製紙メーカー	G	平成29年5月16日	
化学メーカー	H	平成29年5月23日	
学識者	I	平成29年5月23日	
行政機関	J	平成29年5月29日	
学識者	K	平成29年5月30日	
リサイクル事業者	L	平成29年5月31日	
学識者	M	平成29年6月1日	
リサイクル事業者	N	平成29年6月2日	
業界団体	O	平成29年6月6日	
コンサルタント	P	平成29年7月13日	

※対象者は報告書上では匿名としている。

表 1-4 本業務で実施したヒアリング調査の概要（モデル事業受託者）

区分	会社・組織名	実施日	ヒアリング内容
バイオマスプラスチックの二酸化炭素削減及び信頼性等検証事業	北陸先端科学技術大学院大学	平成 29 年 8 月 4 日	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な検証項目・検証技術に関する達成状況 ・CO₂削減効果の評価
	株式会社 藤井基礎設計事務所	平成 29 年 8 月 18 日	
CNF 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業	パナソニック株式会社	平成 29 年 8 月 24 日	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な検証項目・検証技術に関する達成状況 ・実現目標・評価項目に関する達成状況 ・CO₂削減効果の評価
	愛媛大学	平成 29 年 9 月 13 日	
CNF 活用製品の性能評価事業	トヨタ車体株式会社	平成 29 年 8 月 30 日	
	第一工業製薬株式会社	平成 29 年 8 月 30 日	
	パナソニック株式会社	平成 29 年 9 月 1 日	
	静岡大学	平成 29 年 9 月 15 日	
	トクラス株式会社		
	九州大学	平成 29 年 9 月 19 日	

1.6 事業検証委員会の設置・運営

本業務では、事業検証委員会を設置・運営した。事業検証委員会の目的等、委員構成、実施回数、議事及び配布資料を以下に示す。

(1) 事業検証委員会設置の目的等

環境省では、CNFのリサイクルに関するモデル事業を平成29年度から実施予定であり、リサイクル技術に関する検討項目、評価項目及び評価手法について基礎情報を収集し、モデル事業実施期間内に効率よく事業を進められるように推進計画を立てる必要があった。

また、環境省の既存のCNF関連事業の実施者、関連課室等と連携し、既存の環境省CNF関連事業の現状を把握するとともに、効率的な情報共有、連携スキームの構築、運営方法等についての検討が必要であった。

そのため、専門的な観点からの指導・助言等を得ることを目的として、事業検証委員会を設置した。

主な検討事項を以下に示す。

- 1) CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定
- 2) CNF活用製品の開発・商用化状況調査
- 3) CNF最新動向調査
- 4) 平成30年度以降のCNF事業の推進のあり方の検討
- 5) その他、事業の運営等に係る事項

(2) 事業検証委員会の委員構成

事業検証委員会は、学識者4名、業界団体1名、民間企業1名の計6名で構成し、その他にオブザーバー1名を招聘した。

(3) 実施回数

全3回（平成29年6月、12月、平成30年3月）開催した。

(4) 議事及び配布資料

議事及び資料を表1-5に示す。

表 1-5 事業検証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	平成29年6月27日(火) 15:30～18:00 東京国際フォーラム G605	<ol style="list-style-type: none"> 平成29年度業務の実施計画について CNFリサイクルの実現目標と新規モデル事業について 各CNFモデル事業の進捗状況及び工程管理について CNF事業の推進のあり方について 自由討議 その他 	資料1-1 平成29年度事業検証委員会設置要綱 資料1-2 平成29年度業務実施計画(案) 資料2-1 リサイクル技術の整理と技術的、法的、経済的、社会的課題の整理 資料2-2 CNFリサイクルの実現目標及びモデル事業の検討 資料2-3 CNFリサイクルのCO ₂ 削減効果の評価方法(案) 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: 趣意書(案) 参考資料2: エコライフ・フェア2017開催報告 参考資料3: 平成29年度CNF活用製品の性能評価事業委託業務公募要領
第2回	平成29年12月25日(月) 18:30～20:30 弘済会館「蘭(西)」	<ol style="list-style-type: none"> 前回議事録と対応方針について 環境省CNF事業の評価について <ul style="list-style-type: none"> 事業実施に関する課題 技術熟度に関する取り組み結果 CO₂削減効果算定に関する課題 受託者意見交換会の概要について 国内外の最新動向について エコプロ2017出展報告 環境省事業の推進のあり方について 自由討議 その他 	資料1-1 第1回事業検証委員会議事録(案) 資料1-2 委員コメントと対応方針(案) 資料2-1 各モデル事業の評価について(事業実施に関する課題) 資料2-2 各モデル事業の評価について(技術熟度に関する取り組み結果) 資料2-3 各モデル事業の評価について(CO ₂ 削減効果算定に関する課題) 資料3 受託者意見交換会の概要について 資料4 国内外の最新動向調査結果 資料5 エコプロ2017出展報告 資料6 CNF事業の推進のあり方について 参考資料1: 事業検証委員会設置要綱 参考資料2: 平成29年度CNF活用製品の性能評価事業委託業務公募結果 参考資料3: 平成29年度CNF活用製品の性能評価事業委託業務(二次公募)結果 参考資料4: 平成29年度CNFリサイクルの性能評価等事業委託業務公募結果
第3回	平成30年3月7日(水) 9:00～11:00 AP新橋虎ノ門D会議室	<ol style="list-style-type: none"> 前回議事録と対応方針について 環境省CNF事業の評価について <ul style="list-style-type: none"> CO₂削減効果算定に関する課題について 国内外の最新動向(特許動向)について 環境省事業の推進のあり方について 自由討議 その他 	資料1-1 第2回事業検証委員会議事録(案) 資料1-2 委員コメントと対応方針(案) 資料2 CO ₂ 削減効果の評価・検証課題整理 資料3 国内外の最新動向調査結果(特許動向について) 資料4-1 「情報交換及び連携促進のための場づくり」の方向性(案)について 資料4-2 CNFによる低炭素社会構築ロードマップ(見直し案) 参考資料1: 事業検証委員会設置要綱 参考資料2: 平成30年度CNF予算関連資料

1.7 モデル事業受託者意見交換会の開催

本業務では、モデル事業受託者意見交換会を開催した。モデル事業受託者意見交換会の目的等、参加者、実施回数、議事及び配布資料を以下に示す。

(1) モデル事業受託者意見交換会の目的

モデル事業受託者ヒアリング等を通じて把握された共通的な課題など、モデル事業受託者にとって有益な情報を提供し、モデル事業受託者からの活発な意見交換を促すことで、各モデル事業の成果向上に繋げることを目的とした。

(2) 参加者

参加者を表 1-6 に示す。

表 1-6 モデル事業受託者意見交換会の参加者（モデル事業受託者のみ）

区分	事業者名
平成 28 年度 C N F 性能評価モデル事業（家電・住宅建材分野）	静岡大学
	パナソニック株式会社
平成 27～29 年度 C N F 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業委託業務	パナソニック株式会社
	愛媛大学
平成 27～29 年度 C N F 活用製品の性能評価事業委託業務	トクラス株式会社
	第一工業製薬株式会社
	エレクセル株式会社
	九州大学
	中越パルプ工業株式会社
トヨタ車体株式会社	
平成 28 年度 C N F 性能評価モデル事業（自動車）	京都大学

(3) 実施回数

全 1 回（平成 29 年 10 月）開催した。

(4) 議事及び配布資料

議事及び配布資料を表 1-7 に示す。

表 1-7 モデル事業受託者意見交換会の主な議事及び配布資料

日付・場所	議事	配布資料
平成 29 年 10 月 24 日 (火) 15 : 00 ~ 17 : 00 テロイトーマツ コンサルティング 合同会社 社内会議 室 As One	第 1 部 1. 各 CNF モデル事業の進捗 状況・今後の見通し報告 第 2 部 2. 共通的な課題とその解決に 向けた改善策について 3. 情報交換及び連携促進のた めの場づくりについて 4. エコプロ 2017 への出展につ いて	資料 1-1~9 事業の成果と今後の見通し 資料 2-1 共通的な課題と改善案 (事業実施に関する課題) 資料 2-2 共通的な課題と改善案 (技術熟度に関する取り纏め結果) 資料 2-3 共通的な課題と改善案 (CO ₂ 削減効果算定に関する課題) 資料 3 情報交換及び連携促進のための場づくりについて 資料 4 エコプロ 2017 への出展について 参考資料 1 : 平成 29 年度業務実施計画書 参考資料 2 : モデル事業受託者意見交換会趣意書

第2章 本業務で用いる略語等の解説

本章では、本業務で用いる略語等を解説する（表 2-1）。

表 2-1 本業務で用いる CNF に関する略語等

略語等	英文	和文あるいは解説
ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene	アクリロニトリルブタジエンスチレン 加工性に優れた熱可塑性プラスチック
ACC	Aqueous Counter Collision	水中カウンターコリジョン法 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
ACS	acrylonitrile chlorinated polyethylene styrene terpolymer	アクリロニトリル・エチレン-プロピレン-ジエン・スチレン ABS と同等の樹脂
AES	acrylonitrile ethylene-propylene-diene・styrene	アクリロニトリル・塩素化ポリエチレン・スチレン ABS のブタジエンのかわりに塩素化ポリエチレンにした ABS 同等の樹脂
AquaComp	—	フィンランドElastopoli 社が開発した CNF 複合材料の商品名
ASA	acrylate styrene acrylonitrile	耐衝撃性アクリルニトリル ABS と同等の樹脂
ASR	Automobile Shredder Residue	自動車破砕残さ
B2B	Business to Business	企業（法人）間から企業（法人）への企業間取引
B2C	Business to consumer	企業（法人）と一般消費者の取引
C	Carbon	炭素の元素記号
°C	degree Celsius	摂氏度
CF	carbon fiber	炭素繊維
CFRP	carbon-fiber reinforced plastic	炭素繊維強化プラスチック
CO2	Carbon Dioxide	二酸化炭素
COCH3	acetyl group	アセチル基
Cr2O3	chromium(III) oxide	酸化クロム 3
dB	decibel	デシベル 音響透過損失の単位
DeBDE	decabromodiphenyl ether	デカブロモジフェニルエーテル 臭素系難燃剤
DOE	Department of Energy	米国エネルギー省
EHS	Environment Health Safety	環境、健康・安全
EP	epoxy resin	エポキシ樹脂
ESG	Environment, Social, Governance	環境・社会問題・企業統治 持続可能な投資の観点
EU	European Union	欧州連合

略語等	英文	和文あるいは解説
EVAC	ethylene-vinyl acetate	エチレン-酢酸ビニル樹脂 農業用フィルムに使用される。
EXCEL	Excel	エクセル マイクロソフト社の表計算ソフトウェア
FIP	Forest Innovation Program	カナダ天然資源省森林産業支援プログラムのひとつ
FIX	Fix Window	フィックス窓（開閉することができないはめ殺しの窓）
FPL	Forest Products Laboratory	米国農務省傘下森林英品研究所
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
FS	Forest Service	米国森林局
G2	Grade two	HEAT20の推奨グレード G1よりも厳しい断熱性能
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産 最も一般的な経済指標
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
H	Hydrogen	水素の元素記号
H2O	Hydrogen oxide	エイチツーオー 水の化学式
Horizon2020	Horizon 2020	2013-2020年の7年間にわたる EU の研究開発プロジェクト名
HWE	Hot Water Extraction	熱水抽出
IDEA	Inventory Database for Environmental Analysis	いであ ライフサイクルインベントリ) データベースの名称
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
IFIT	Investment in Forest Industry Transformation	カナダ天然資源省森林産業支援プログラムのひとつ
IPR	Intellectual Property Rights	知的財産権

略語等	英文	和文あるいは解説
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JIS	Japanese Industrial Standards	日本工業規格
Joint Call4	—	EU の Wood Wisdon Net (林業関連コンソシアム) の Joint Call 4は80件の応募から選ばれた23の木材関連開発プロジェクトを指す
JST	Japan Science and Technology Agency	国立研究開発法人科学技術振興機構
KFC	Korea Forest Service	韓国山林庁
kg	kilo gram	キログラム SI 単位系の質量を表す単位名称
kg-CNF	kilo gram Cellulose Nano Fiber	1kg の CNF
kg-CO2e	kilo gram Carbon dioxide equivalent	温室効果ガス排出量の単位
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 https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/
L C I	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
LIBS	Laser-Induced Break-down Spectroscopy	レーザー誘起ブレイクダウン分光法
MABS	methyl methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene	メタクリル酸メチル-アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン樹脂
mg/L	milligram per Litle	ミリグラムパーリットル 濃度の単位
mg/(m ² ·h)	milligram per square meter hour	JIS A1901 単位面積当たりホルムアルデヒド発散速度の単位
MilCA	—	みるか 産総研と産環協が共同開発した LCA 算定ソフトウェア
MPa	Mego Pascal	メガパスカル 圧力の単位 メガは10 ⁶
N/A	Not Applicable	該当なし

略語等	英文	和文あるいは解説
NABC	Needs, Approach, Benefit, Competition	シリコンバレーで採用されている経営判断指標
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	Nano cellulose 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 事務局は産総研に置かれている
NCV	Nano Cellulose Viecle	次世代素材CNFを活用し、平成31年度に自動車で10%程度の軽量化を目標とする環境省プロジェクト
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
NF ₃	nitrogen trifluoride	三ふっ化窒素 地球温暖化ガスのひとつ
NGO・NPO	Non-Government Organization Non-Profit Organization	非政府組織と非営利組織 政府からも企業からも独立した市民団体
NFC	Nanofibrillated Cellulose	CNFの海外での呼び方のひとつ
NIFA	National Institute of Food and Agriculture	米国国家ナノテクノロジーイニシアティブ
NIFS	National Institute of Forest Service	韓国国立山林科学院
NMBP	Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology, and Advanced Manufacturing and Processing	EUの材料開発プロジェクト
NORCEL	the NORwegian nanoCELLulose Technology Platform	ノルウェーのCNF開発団体
NNI	National Nanotechnology Initiative	米国食糧農業研究所
NRC	National Resources Canada	カナダ天然資源省
NSF	National Science Foundation	米国国立科学財団
O	Oxygen	酸素の元素記号
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
OEM	original equipment manufacturer	製造を請け負う企業

略語等	英文	和文あるいは解説
PB	Polybutene	ポリブテン樹脂 ポリエチレンと同等
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(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る)
PFI	Platform Initiative	プラットフォーム・イニシアチブ 共同開発の一手法
PC	polycarbonate	ポリカーボネート 透明熱可塑性エンジニアリングプラスチック
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
PET	Polyethylene Terephthalate	ポリエチレンテレフタレート
PJ	Puroject	プロジェクトの略
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プラ
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、結晶性 のものに分類される
PPE	Polyphenyleneether	ポリフェニレンエーテル 熱可塑性エンジニアリングプラスチックのひと つ
PPLA	the ring-opening polymerization Poly-Lactic Acid	開環重合後ポリ乳酸
PronanoCell	Pollutant Release and Transfer Register	スウェーデン RISE 社が受託した EU の CNF 複合 材開発プロジェクト名
PRTR 法	Pollutant Release and Transfer Register	化学物質排出把握管理促進法

略語等	英文	和文あるいは解説
PS	polystyrene	ポリスチレン 4大汎用樹脂のひとつ
PTFE	polytetrafluoroethylene	ポリテトラフルオロエチレン（通称テフロン） 代表的なフッ素樹脂
PSE	Product Safety, Electrical appliance and materials	電気用品安全法に定める電気用品に付される安全表示マーク
PUR	Polyurethane	ポリウレタン 熱硬化性樹脂のひとつ
PVC	Polyvinyl chloride	ポリ塩化ビニル（塩化ビニル樹脂）
R&D	Research and development	研究開発
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
RCN	Research Council of Norway	ノルウェー研究会議
RPF	Refuse Paper & Plastic Fuel	廃棄物由来の紙、プラスチックなど固形化燃料
SAN	Stylene AcryloNitrille copolymer	アクリロニトリルスチレン樹脂 日用品や家具類に使用される熱可塑性樹脂
SBA	Standard of Battery Association	電池工業会規格
SBR	styrene-butadiene rubber	スチレン・ブタジエンゴム 代表的な合成ゴム
SEAM	Safe Efficient Advanced Material	自動車の軽量化に、関わる欧州最大の研究開発クラスター
SP	Saturated Polyester	飽和ポリエステル ポリエステル繊維の原料
STEP	Step	ステップ 物事の進行上の段階
t-C/kWh	metric ton Carbon per kilowatt-hour	炭素換算電力排出係数
t-CO2	ton CO2	二酸化炭素換算の重量
Tekes	the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation	フィンランド技術庁
TEMPO	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 (2, 2, 6, 6-tetramethylpiperidine 1-oxyl radical) の略称である TEMPO酸化法はCNFの化学的解繊方法のひとつである

略語等	英文	和文あるいは解説
TTP	Tranformative Program	カナダ天然資源省森林産業支援プログラムのひとつ
TRA	Technology Readiness Assessment	技術熟度評価制度 1980年代、アメリカ連邦航空宇宙局（NASA）によって考案された
VINNOVA	—	スウェーデンイノベーションシステム庁
VOC	Volatile Organic Compounds	揮発性有機化合物
USDA	United States Department of Agriculture	米国農務省
VTT	—	フィンランド国立技術研究センター
W/(m2K)	thermal tranmittance	熱貫通率のS I単位
Wet Grip	Wet Grip	ウエットグリップ性能 雨天時のタイヤ制動距離
WG	Working Group	作業部会
WPC	Woodfiber-Plastic. Composites	木材・プラスチック複合材料
WWSC	Wallenberg Wood Science Center	スウェーデン王立工科大学ヴァレンベリ木材科学研究所
X線	X-ray	エックス線 波長が1pm - 10nm程度の電磁波

第3章 CNFのリサイクルモデル事業の推進計画策定

本業務では、CNFのリサイクルモデル事業に関して、実現目標の設定、評価項目・方法の整理、技術的・法的・経済的・社会的課題の抽出を行い、その結果を踏まえて、推進計画の策定を行った。本章ではその内容を概説する。

3.1 実現目標の設定

3.1.1 CNF活用製品の普及状況の想定

CNFが高強度材料や高機能材料に活用された場合、2020年及び2030年にどの程度普及しているかについて検討した。検討対象とした製品と選定理由を表3-1に示す。

表3-1 検討対象とした製品と選定理由

検討対象製品	選定理由
自動車部品	環境省性能評価モデル事業（京都大学等受託）にて検討中
冷蔵庫	環境省性能評価モデル事業（パナソニック受託）にて検討中
洗濯機	環境省性能評価モデル事業（パナソニック受託）にて検討中
エアコン	過年度調査で適用可能性ありと判断
樹脂サッシ	過年度調査で適用可能性ありと判断
住宅用断熱材	環境省性能評価モデル事業（トクラス受託）にて検討中

※環境省事業で性能評価が行われてるリチウムイオン二次電池については、CNF自体のリサイクルを行うことは想定されないため、検討対象外とした。

(1) CNFを活用した自動車部品の普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

「平成27年度セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務報告書」（以下、H27環境省業務報告書という）より、性能評価を優先的に行う部位とその使用材料を特定した。結果を表3-2に示す。

表 3-2 優先的に性能評価を行うべき部位とその使用材料

対象部位	使用材料
メインボディ（モノコックボディ）	C N F +PA
サイドドア	C N F +PA
バックドア	C N F +PA
サブフレーム	C N F +PA
ボンネット	C N F +PA
ルーフ	C N F +PA
インスツルメントパネル	C N F +PA
タイヤ	C N F +ゴム
窓ガラス	C N F

出典：H27 環境省業務報告書より加工

2) 2020 年における普及状況の想定

H27 環境省業務報告書より、C N F を活用した自動車は 2020 年に販売開始段階であるため、普及率としては 0 % と想定した。

3) 2030 年における普及状況の想定

H27 環境省業務報告書より、2030 年における普及率は 11.4 ~ 22.9 % と想定した。

(2) CNFを活用した冷蔵庫の普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

「平成 28 年度セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務報告書」(以下、H28 環境省業務報告書という)より、冷蔵庫の筐体の板金部分を CNF で代替することが有効と考えられる。

2) 2020 年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNF を活用した冷蔵庫の 2020 年における普及率は 6% と想定した。

3) 2030 年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNF を活用した冷蔵庫の 2030 年における普及率は 40% と想定した。

LED普及率を採用した根拠	CNFの普及率は、新技術を用いた製品が市場投入されてからの普及率と同様の普及推移を辿ると考えることから、LEDの普及率を採用した
LED普及率の推計方法	LED普及率は2007年に商用化が開始し、2013年実績が23%、普及目標が2020年50%、2030年100%であることから、近似値を用いて経年の普及率を推計した
CNF普及率	CNFの普及率は2019年に商用化が開始されると仮定し、2019年からLEDの普及率と同様の値を採用している。これによってCNFの普及率は2020年に6%、2030年に40%と推計した

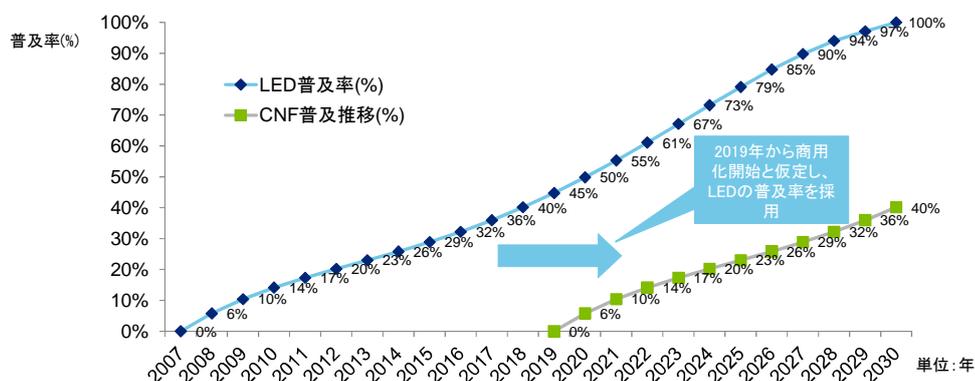


図 3-1 CNF普及率の推移推計

出典：H27 環境省業務報告書

(3) CNFを活用した洗濯機の普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

H28 環境省業務報告書より、洗濯機に用いられる洗濯槽及びパルセータをCNF製品で代替することが有効と考えられる。

2) 2020年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用した洗濯機の2020年における普及率は6%と想定した。

3) 2030年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用した洗濯機の2030年における普及率は40%と想定した。

(4) CNFを活用したエアコンの普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

H28 環境省業務報告書より、エアコンの室外機のファンをCNF製品で代替することが有効と考えられる。

2) 2020年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用したエアコンの2020年における普及率は6%と想定した。

3) 2030年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用したエアコンの2030年における普及率は40%と想定した。

(5) CNFを活用した樹脂サッシの普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

H28 環境省業務報告書より、樹脂サッシには、CNF+PVCを適用することが有効と考えられる。

2) 2020年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用した樹脂サッシは2020年より販売開始となるため、2020年時点における普及率は0%と想定した。

3) 2030年における普及状況の想定

H28 環境省業務報告書より、CNFを活用した樹脂サッシを使用した新築住宅は2030年時点で98.73万戸と想定した。また、CNFを活用した樹脂サッシを使用したリフォームが既存住宅の15% (545.1万戸) に実施されると想定した。

表 3-4 CNFを活用した部位・製品等を使用した新築住宅の予測数

年度	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
着工予測数(万戸)	76	73	71	69	67	64	62	60	58	55	53
CNF使用割合(%)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
CNF住宅数(万戸)	0	2.19	4.26	6.21	8.04	9.6	11.16	12.6	13.92	14.85	15.9
累計(万戸)	0	2.19	6.45	12.66	20.7	30.3	41.46	54.06	67.98	82.83	98.73

(出典等)

- ※1 野村総合研究所資料 (https://www.nri.com/jp/news/2015/150615_1.aspx)
- ※2 用途開発ターゲットWG委員より、「性能の良い建材ができた場合、一気に普及する可能性もある」とのご意見をいただいたが、コストも鑑みた場合、いつ時点で一気に普及が進むのか特定することが困難なため、3%ずつ増加していくと仮定して推計を行った。
- ※3 環境省「2014年度(平成26年度)温室効果ガス排出量(家庭部門)」(http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2014yoin2_7.pdf)
資源エネルギー庁「家庭部門機器別エネルギー消費量の内訳」
- ※4 事務局により算出

表 3-5 2030年時点の住宅ストックとCNFを活用したリフォーム数

	無断熱(万戸)	S55基準(万戸)	H4基準(万戸)	H11基準(万戸)※	合計(万戸)
2030年の世帯数	522	2,056	1,056	1,489	5,123
CNFを活用した製品・部材等を使用してリフォームされた住宅	78.3	308.4	158.4	-	545.1

※「H11基準」には、CNF新築(99万戸)を含む

(6) CNFを活用した住宅用断熱材の普及状況の想定

1) CNFを適用する対象部位及び使用材料の特定

グラスウールやセルローズ系断熱材の空隙層を、CNFでメッシュ構造にして空隙を小さくすることが考えられる。

2) 2020年における普及状況の想定

樹脂サッシと同様に、2020年時点の普及率は0%と想定した。

3) 2030年における普及状況の想定

樹脂サッシと同様に、2030年時点で、新築住宅の98.73万戸、既存住宅の545.1万戸にCNFを活用した住宅用断熱材が使用されていると想定した。

(7) CNF活用製品の普及状況の予測結果（まとめ）

上記（1）～（6）の検討結果を踏まえた、CNF活用製品の普及状況の予測結果を表3-6に示す。なお、窓ガラスについては現在目処が立っていないこと、断熱材についてはそもそもリサイクルが進んでいないことから、ここでは対象外とした。

2030年の想定使用量の合計は約44万トンとなった。これは、2015年における廃プラスチックの総排出量（915万トン：一般社団法人プラスチック循環利用協会調べ）の約4.8%に相当する。

表3-6 CNF活用製品の普及状況の予測結果まとめ

分野	製品・部材	適用部位	重量(kg)	代替CNF素材	代替効果(軽量化率)	代替CNF素材使用量(kg/個)	2030年普及率	2030年の国内出荷数(個)	2030年の想定使用量(トン)
自動車	自動車部品	メインボディサブフレーム	260.7	CNF+PA	57.7%	110.2	17.2%	688,000	75,833
		サイドドアボンネット	50.0(※1)	CNF+PA	57.7%	21.1	17.2%	688,000	14,517
		バックドア	30	CNF+PA	57.7%	12.6	17.2%	688,000	8,669
		ルーフ	5.6	CNF+PA	57.7%(※2)	2.36	17.2%	688,000	1,624
		インスツルメントパネル	7.1	CNF+PA	29.4%	5.0	17.2%	688,000	3,449
		タイヤ	32.0	CNF+ゴム	20.0%	25.6	17.2%	688,000	17,613
		窓ガラス	-	-	-	-	-	-	-
家電	冷蔵庫	板金	14.0	CNF+PP	57.7%	5.9	40.0%	2,000,000	11,844
	洗濯機	パルセータ	4.0	CNF+PP	50.0%	2.0	40.0%	2,800,000	5,600
	エアコン	室外機のファン	3.0	CNF+PP	0.0%	3.0	40.0%	3,800,000	11,400
住宅建材	樹脂サッシ	樹脂サッシ(窓枠)	22.0	CNF+PVC	20.0%(※3)	18.0	新築30%	2,340,621	52,372
							リフォーム15%	13,350,211	238,971
	断熱材	発泡断熱材等	-	-	-	-	-	-	-
合計									441,891

※1：ドアトリム、アームレストも含んだ値

※2：構成材料の比率が不明で代替効果の算出が困難なため、メインボディ等と同様の値を採用

※3：PVC→CNF+PVCの軽量化率は、H28年度報告書で把握した、CNF添加による強度向上効果（窓枠の薄肉化・一部金属の削減）を踏まえ、20%程度と設定した。

出典：H27、H28環境省業務報告書より加工

3.1.2 現時点のCNF活用製品のリサイクルの実証可能性等検討

CNF複合材別にリサイクルの実証可能性等の検討を行った。検討に当たっては、環境省CNFモデル事業の過年度報告書やヒアリング調査等から得られた情報を活用した。

(1) CNF+熱可塑性樹脂のリサイクルの実証可能性等検討

1) 市場環境

CNF+熱可塑性樹脂の2030年における普及状況(想定)を表3-7に示す。CNF+PPを中心に、複数のCNF+熱可塑性樹脂の複合材が、自動車や家電等の部材として市場に出ていると想定される。

表3-7 2030年におけるCNF+熱可塑性樹脂の普及状況(想定)

CNF素材	2030年における普及状況(出荷量ベース)
CNF+PP	75,833トン(ボディ)、3,449トン(インパネ) 11,844トン(冷蔵庫)、5,600トン(パルセータ) 11,400トン(室外機のファン)
CNF+PE	自動車部材等として普及の可能性はあるが、定量的な値は不明
CNF+PA6	自動車部材等として普及の可能性はあるが、定量的な値は不明
CNF+PVC	238,971トン(樹脂サッシ)

※表3-6を基に作成

2) リサイクル性能評価のニーズ

リサイクル性能評価のニーズに関する文献・ヒアリング調査の結果を以下に示す。

- ・家電製品の中ではPPが最も多く使用されており、家電リサイクル法の観点からリサイクル性の実証が求められている。(家電メーカー)
 - ・CNF+PPは、PP単体と比較して硬いため、既存の樹脂のリサイクル工程における破碎時に、刃の磨耗等が生じないか確認する必要がある。(リサイクル事業者)
 - ・選別時にCNFの含有量別に分ける技術が必要であり、ラマン分光法が有効と考えられるが、その選別精度や選別速度等の実証が求められる。(大学等研究機関)
- ラマン分光について、ある実証事業では、識別に時間がかかるという結果が出ている。そのため、大量選別にはまだ実証を重ねる必要があると認識する。少なくとも蛍光X線より大量処理には不安がある。(環境省リサイクル推進室)
- ・破碎や選別においては、他の樹脂においても同様の実証が必要と考えられる。

3) 実証可能性

CNF 素材別の実証可能性に関する文献・ヒアリング調査結果を以下に示す。

① CNF + PP

- ・平成 28 年度性能評価モデル事業において、パナソニック（株）が CNF 複合樹脂の選別方法 3 種（水比重方式、中赤外分光方式、近赤外分光方式）の検討を実施している。（パナソニック H28 環境省業務報告書より、表 2-2 参照）
- ・同事業では、リサイクル後の物性変化について、機械特性（引張強度（引張降伏応力）、引張強度（引張降伏ひずみ）、曲げ強度、曲げ弾性率、シャルピー衝撃強さ、MFR（メルトフローレート）、ベース樹脂の熱履歴による分子量の変化、ベース樹脂の熱履歴による樹脂中に含有されている安定剤などの添加剤量の変化を調査している。（パナソニック H28 環境省業務報告書より）
- ・現状では、ラマン分光法による CNF 複合樹脂の選別や、破碎に関する実証は行われていない。技術的課題等も見当たらないため、実証は可能と考えられる。

表 3-8 パナソニック（株）によるCNF+PPのリサイクル性の検証結果

区分	手法・項目	平成 28 年度実証結果	今後検証が必要な事項
選別方法の検証	水比重方式	CNF含有率が17%を超えると水に沈むため、CNF非含有品と選別できる選別できる可能性がある	－ (近赤外線分光方式がより有望と判断)
	中赤外線分光方式	CNF含有率50%以上の製品に対しては、CNF含有/非含有を識別できる	－ (近赤外線分光方式がより有望と判断)
	近赤外線分光方式	母材樹脂の種別(PPとABS)と含有率10%以上の製品に対しては、CNF含有/非含有を認識できる	量産装置ベースでの回収率、回収品純度の評価、確認
機械特性の検証	引張強度(引張降伏応力)	リグラインド率が100%の場合でも保持率が96%を保持しており、1回の成形熱履歴の場合ではリサイクル可能と判断	繰返し成形熱履歴や実製品での長期使用を経た場合のCNFの挙動の検証とリサイクル性能の検証
	引張強度(引張降伏ひずみ)	繊維強化PP樹脂においては、成形熱履歴による引張降伏ひずみの変化は少ない	－ (引張降伏ひずみでリサイクル性能を評価することは困難)
	曲げ強度	リグラインド率が100%の場合でも保持率が97%を保持しており、1回の成形熱履歴の場合ではリサイクル可能と判断	繰返し成形熱履歴や実製品での長期使用を経た場合のCNFの挙動の検証とリサイクル性能の検証
	曲げ弾性率	リグラインド率が100%の場合でも保持率が95%を保持しており、1回の成形熱履歴の場合ではリサイクル可能と判断	繰返し成形熱履歴や実製品での長期使用を経た場合のCNFの挙動の検証とリサイクル性能の検証
	シャルピー衝撃強さ	リグラインド率が25~100%の場合、保持率が104~97%の間の保持率を有しており、1回の成形熱履歴の場合ではリサイクル可能と判断	繰返し成形熱履歴や実製品での長期使用を経た場合のCNFの挙動の検証とリサイクル性能の検証
	MFR(メルトフローレート) ←溶液状態にある樹脂の流動性を示す尺度の一つ	ベース樹脂での100%リグラインド品のMFR増加率は103%以下となっており、CNF複合樹脂においてはMFRの保持率が110%以下に収まっていることから、繊維破断がほとんどないかあるいは繊維破断の影響が少なく、リサイクル性能に優れていることを確認	繰返し成形熱履歴や実製品での長期使用を経た場合のCNFの挙動の検証とリサイクル性能の検証
	ベース樹脂の熱履歴による分子量の変化	2回の成形熱履歴により2.2%の分子量の低下を確認し、そのことから物理的な低下も数%に留まると予想	酸化防止剤などの安定剤の消費挙動も検証して、全体的な成形熱履歴による分子劣化度合いと物性、性能を維持するためのリサイクル処方の検討が必要
ベース樹脂の熱履歴による樹脂中に含有されている安定剤などの添加剤量の変化	2回の成形熱履歴により、2~8%が消耗され、リサイクル熱履歴に対する分子劣化や物性低下を抑制するためには再生処方が必要	製品化された商品使用中の経年劣化等も考慮した処方の検証が必要	

※リグラインド率：2回目成形品の1回熱履歴品の新材への配合比率

出典：パナソニック H28 環境省業務報告書より抜粋

② C N F + P E

- ・京都大学により、PP+ガラス繊維 20%と比較して、HDPE+C N F 20%の方がリサイクル後の機械的強度の劣化が少ないこと等が確認されている。

出典：Nanocellulose Symposium2016/第310回生存圏シンポジウム
「構造用セルロースナノファイバー材料の社会実装に向けて」配布資料

- ・破碎や選別に関する実証は、C N F + P P と同様に可能と考えられる。

③ C N F + P A

- ・ユニチカ（株）により、C N F 強化 P A 6 樹脂がリサイクル後の特性について確認されている。（パナソニック H28 環境省業務報告書より）

- ・破碎や選別に関する実証は、C N F + P P と同様に可能と考えられる。

④ C N F + P V C

- ・C N F + P V C の複合化に関する研究は公開情報では見当たらないが、各企業により個別に進められている可能性がある。

- ・PVC 自体は、他の汎用プラスチックに比べ、異物混入の影響も小さくマテリアルリサイクルの容易な素材であるため、C N F + P V C の複合化技術が確立すれば、破碎、選別、機械特性の変化等に関する実証は可能と考えられる。

(2) CNF+熱硬化性樹脂のリサイクルの実証可能性等検討

CNF+熱硬化性樹脂のリサイクルの実証可能性等に関する文献・ヒアリング調査結果を以下に示す。

1) 市場環境

- ・ CNF+エポキシは、自動車の塗料や接着剤として使用されることが想定されている。
- ・ CNF+熱硬化性樹脂は、自動車の強度が求められる部位に使用される可能性がある。
(大学等研究機関)

2) リサイクル性能評価のニーズ

- ・ 熱硬化性樹脂のリサイクルは、細かく粉砕して嵩増しのために熱可塑性樹脂に混ぜ込む形で使用されている可能性がある。(環境省リサイクル推進室)
- ・ 破碎・選別工程において、CNFを複合したことによる影響について実証を行う必要がある。

3) 実証可能性

- ・ 熱可塑性樹脂のマテリアルリサイクルは、上記(2)で挙げたような方法の実証は可能であるが、CNFを複合したメリットを活かしにくいため実証の意義が薄く、実証者が現れない可能性がある。
- ・ ケミカルリサイクルについては、CNFの耐熱性の観点から実施が難しい。(リサイクル事業者)

(3) CNF100%材のリサイクルの実証可能性等検討

CNF100%材のリサイクルの実証可能性等に関する文献・ヒアリング調査結果を以下に示す。

1) 市場環境

- ・ 高強度で高い熱安定性を有することから様々な用途への活用が期待されている。(大学等研究機関)
- ・ 一例として、自動車のボンネットに適用できる可能性が示唆されている。(大学等研究機関)

2) リサイクル性能評価のニーズ

- ・ 高強度であることから、破碎時の刃の磨耗に関する実証や薬品による溶解の実証が必要と考えられる。
- ・ リサイクル後の機械特性の変化に関する実証も必要と考えられる。

3) 実証可能性

- ・技術的には実証可能と考えられる。

(4) CNF+ゴムのリサイクルの実証可能性等検討

CNF+ゴムのリサイクルの実証可能性等に関する文献・ヒアリング調査結果を以下に示す。

1) 市場環境

- ・ゴムに複合することにより、耐摩耗性を向上させることが考えられ、自動車のタイヤ等への適用が想定される。

2) リサイクル性能評価のニーズ

- ・廃タイヤのリサイクル率は約9割となっているが、大半はサーマルリカバリーであり、マテリアルリサイクルに関するニーズは低いと考えられる。



図 3-2 廃タイヤのリサイクル率

出典：一般財団法人日本自動車タイヤ協会「廃タイヤリサイクル状況」

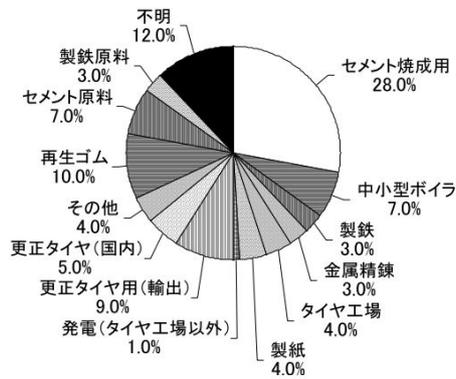


図 3-3 廃タイヤのリサイクル内訳

出典：あいち産業科学技術総合センター資料

3) 実証可能性

- ・技術的には実証可能と考えられる。

(5) 求められる CNF リサイクルの整理

上記の検討を踏まえ、求められる CNF リサイクルを整理した。結果を表 3-9 に示す。

表 3-9 素材×リサイクル手法別の求められる CNF リサイクル

素材	CNF+熱可塑性樹脂	CNF+熱硬化性樹脂	CNF100% 材	CNF+ゴム	CNFを活用した発泡断熱材
リサイクル手法					
マテリアルリサイクル	優先度 高 様々な用途に使用されマテリアルリサイクルも可能	優先度 低 マテリアルリサイクルが困難	優先度 中 用途が不明確だがマテリアルリサイクルは可能	優先度 低 マテリアルリサイクルは一部行われている	優先度 低 マテリアルリサイクルが困難
ケミカルリサイクル	× CNFリサイクル手法として不適	優先度 低 マテリアルリサイクルが困難	× CNFリサイクル手法として不適	× CNFリサイクル手法として不適	× CNFリサイクル手法として不適
サーマルリカバリー	優先度 低 安全性以外の実証の必要性が薄い	優先度 低 安全性以外の実証の必要性が薄い	優先度 低 安全性以外の実証の必要性が薄い	優先度 低 安全性以外の実証の必要性が薄い	優先度 低 安全性以外の実証の必要性が薄い

3.1.3 実現目標の設定

(1) 類似素材である炭素繊維のリサイクルの現状

炭素繊維のリサイクルに関しては、平成18年度より経済産業省「炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発」により、パイロットプラントが建設され、炭素繊維廃材リサイクル技術の実証研究開発が行われてきた。

しかし、炭素繊維は高い耐熱性により依然として処理が難しいこと、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ことから、リサイクルは進んでいない。炭素繊維関連の廃材は世界で年間1,000～2,000トン近く発生していると言われていたが、現在は多くが埋立処分されている。

表 3-10 炭素繊維のリサイクルに関連する事業（抜粋）

年度	事業名	事業主体	事業内容
H18～ H20	炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発（経済産業省事業）	社団法人化学繊維技術改善研究委員会 日本コークス工業株式会社	炭素繊維廃材のリサイクルを行うためのパイロットプラントを建設して、炭素繊維廃材リサイクル技術の実証研究開発を行う。
H21～ H23	—	炭素繊維協会 福岡県 大牟田市	樹脂残渣の低減、繊維長制御、金属系異物除去などのリサイクル手法に関する基礎的な知見を見出す。
H24～ 26	—	炭素繊維リサイクル技術開発組合 （東邦テナックス株式会社、三菱レイヨン株式会社、東レ株式会社による共同出資） ←2015年3月末に解散	航空機、自動車などの一般産業、スポーツの各用途で需要が拡大する炭素繊維のリサイクル技術を量産技術として確立する。
H27～	革新省エネルギー熱分解法による高効率リサイクル炭素繊維製造技術の開発（NEDO 戦略的省エネルギー革新プログラム）	東レ株式会社 豊田通商株式会社	熱分解法による炭素繊維リサイクルにおいて最も消費エネルギーの大きい熱分解工程で、マトリックス樹脂の可燃性分解ガスを燃料に用いることにより、消費燃料の大幅な低減を目指す。
H27～	—	三菱レイヨン株式会社 株式会社新菱	炭素繊維リサイクルの事業化を推進

(2) 実現目標の設定に関する情報

1) 自動車分野における実現目標

H27 環境省業務報告書で示された、CNFを活用した乗用車に関する2020年及び2030年の実現目標を図3-4に示す。これによると、2020年における実現目標は、走行段階のCO₂削減効果が10%以上であること、としている。また、実現目標が達成された場合の2030年の乗用車の使用段階でのCO₂削減効果は1.61%（113.3万t-CO₂）と試算している。

2020年における実現目標

- 定性目標：CNF技術コンセプトカーの完成
走行段階のCO₂削減効果が10%以上であること
（うち軽量化による走行段階のCO₂削減効果が7%以上であること）

2030年における実現目標

- 定性目標：「環境にやさしいCNF車」という概念が広く国民に浸透している社会
- 定量目標：①走行段階のCO₂削減効果が10%以上のCNF車の商用化
（うち軽量化による走行段階のCO₂削減効果が7%以上であること）
②新車販売台数の40%以上がCNF使用車（普及率換算で22.9%相当）

2020年の完成目標とする技術コンセプトカーは、軽量化効果等を見せるCNFを活用した環境配慮型自動車とし、そのイメージを下図に示す。また、技術コンセプトカーは、2020年以降の本格生産を見据え、以下の6要件を満たすものとする。

- 1) 走行段階のCO₂削減効果が10%以上
（うち軽量化による走行段階のCO₂削減効果が7%以上）
- 2) 部材リサイクルや長寿命化によりライフサイクル全体でのCO₂削減に寄与
- 3) テストコースを走行可能
- 4) 各種試験結果を検証可能
- 5) CO₂排出量の測定（カタログ燃費データ取得）が可能
- 6) 一般消費者も興味を持つようなコンセプトの設定



図3-4 H27 環境省業務報告書で示された自動車分野における実現目標

2) 家電・住宅建材分野における実現目標

H28 環境省業務報告書で示された、CNFを活用した家電・住宅建材に関する2020年及び2030年の実現目標を図3-5に示す。これによると、2020年における実現目標は、CNFを活用することでCNFを使用しない従来製品・部位等と比較して10%以上のCO₂削減効果があるものが製品化される、としている。また、実現目標が達成された場合、2030年におけるCO₂削減効果は、151.6万t-CO₂となり、これは2013年度家庭部門全体のCO₂排出量(約20,100万t-CO₂)のうち、約0.75%を占める、と試算している。

2020年における実現目標(案)

○定性目標：CO₂排出削減に有効な家電や住宅建材としてCNFを活用した製品・部材等が認知されている

○定量目標：

<原則>

- (1) CNFを活用することでCNFを使用しない従来製品・部材等と比較して10%以上のCO₂削減効果があるものが製品化される
- (2) 2030年時点で性能向上分を考慮してCNFを使用しない従来製品・部材等と同程度のコストとなる見込みが立っている

ただし、(1)について、

①CNF活用の主目的が普及率向上である製品・部材等の場合

CNFを使用しない従来製品・部材等と比較し、性能が同程度のものが製品化されている

②地球温暖化対策計画に個別の性能目標が定められている場合

地球温暖化対策計画の削減目標に対して10%以上の改善寄与率がある

③理論値上限が明らかな(CO₂排出量10%削減に届かない)製品・部材等の場合

理論値上限に対して、10%以上のCO₂削減効果があるものが製品化されている

④10%のCO₂削減を容易に達成できる見込みのある製品・部材等

CNFを活用することでCNFを使用しない従来製品・部材等と比較して個別に設定したCO₂削減効果のあるものが製品化されている

※CO₂削減効果等を算出するバウンダリーは個別に設定する

※CNFを使用しない従来製品・部材等は2013年時点で一般的に普及しているものを対象とする

2030年における実現目標(案)

○定性目標：CO₂排出削減に有効な家電や住宅建材としてCNFを活用した製品・部材等が一般化している

○定量目標：

(1) 普及率を以下のとおり設定

- ①40%以上の家庭にCNFを活用した家電が採用されている
 - ②2030年に建設される新築住宅の30%以上にCNFを活用した製品・部材等が使用されている
 - ③断熱性能の低い住宅*の15%以上にCNFを活用した製品・部材等を使用したリフォームが実施されている
- (2) コストが性能向上分を考慮してCNFを使用しない従来製品・部材等と同程度となる

※断熱性能の低い住宅とは、無断熱、S55基準、H4基準の住宅を指す。

図3-5 H28 環境省業務報告書で示された家電・住宅建材分野における実現目標

3) PET リサイクルによる CO₂ 削減効果 (参考)

PET ボトルリサイクル推進協議会によると、PET ボトル1本あたりのライフサイクル CO₂ 排出量 (500ml、耐熱ボトル) は、全数廃棄の場合 157g-CO₂/本、全数リサイクルを行う場合 99g-CO₂/本となり、PET ボトルのリサイクルによる CO₂ 削減効果は 58g-CO₂/本 (37%削減 (廃棄物発電も考慮)) とされている。

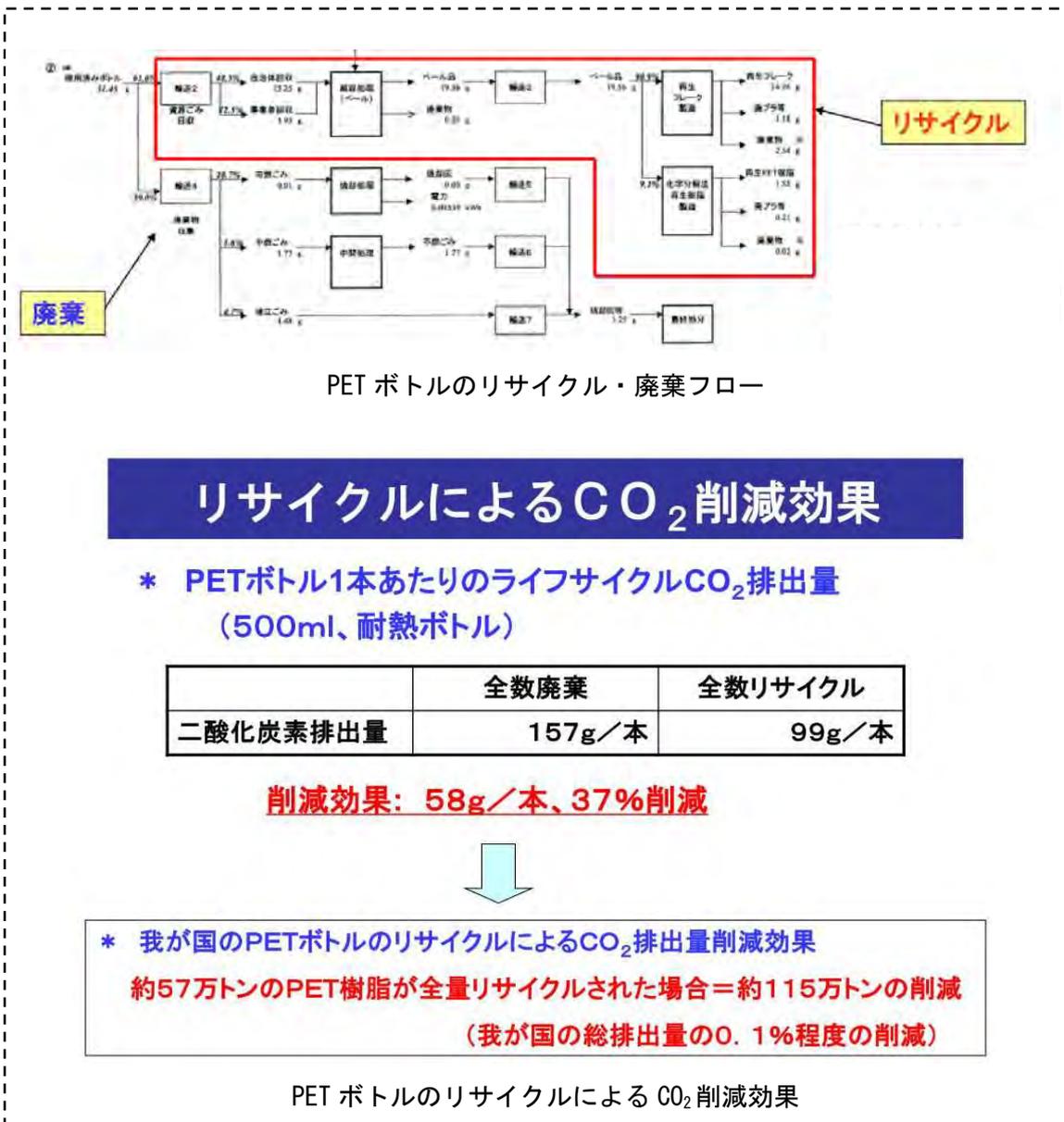


図 3-6 PET ボトルのリサイクル・廃棄フローと PET ボトルのリサイクルによる CO₂ 削減効果

出典: PET ボトルリサイクル推進協議会 「PET ボトルの環境負荷について」

(3) 実現目標の設定

上記の調査結果を参考にして、CNFリサイクルの2020年及び2030年の実現目標（案）を設定した。実現目標（案）を以下に示す。設定に当たって、4案を検討・提案し、環境省担当官との調整の結果、以下に示す案を採用することとした。

2020年における実現目標（案）

○定性目標：

- CNF製品のリサイクルが可能かつ有意であることが実証されている
- (炭素繊維のような) リサイクル上の不具合・弱点のない技術体系が確立されている
- CNF+熱可塑性樹脂、CNF100%材、のマテリアルリサイクル技術が確立されている

○定量目標：

- CNF製品のリサイクルに関して、通常のサーマルリカバリーを行う場合と比較して、CNFリサイクルを行う場合の方がLCAレベルでCO₂排出量を20%削減できる技術が確立している（自動車部材、家電が対象）
- リサイクルCNFを使用した場合、トータルコストが低減または同等水準に抑えられる

2030年における実現目標（案）

○定性目標：

- 自動車、家電、住宅建材等のCNF製品のリサイクルシステムが確立されている
- CNF製品はリサイクルすることが当たり前と認識されている

○定量目標：

- CNF素材のリサイクル率は、個別のリサイクル法で定められた再資源化率・再商品化率以上となっている
- CNFのリサイクル事業が事業として成立している

3.2 評価項目・方法の整理

3.2.1 評価項目・要求性能の整理

CNFのリサイクル製品・部材が有効に機能するための評価項目・評価方法を、関連するJIS規格等を基に、保安基準、基本性能、安全性能、環境性能に分けて整理した。

CNFの主な用途は熱可塑性プラスチックに混練した複合材であり、再生プラスチックとしてマテリアル利用の増進に努める必要がある。JIS Z7121:2007「プラスチックの循環の利用段階を含むライフサイクルインベントリ調査方法」に、LCA手法が示されている。

(1) 建材などへのマテリアルリサイクル

CNF複合材のプレシューマ材料、ポストコンシューマ材料を建材に利用する場合はJIS A5741:2016「木材・プラスチック再生複合材」では主に建材で使用される基本的物性・安全性に関する試験方法が適用できる。

具体的には、使用済みCNF複合材を外構ウッドデッキや内装フローリング材に利用するマテリアルリサイクルである。CNF複合材から木材・プラスチック再生複合材をリサイクルする場合の評価項目・評価方法を表3-11に示す。この規格ではプレシューマ材料（出荷前製造過程でのプラスチック廃棄物）、ポストコンシューマ材料（使用済み製品からのプラスチック廃棄物）、多回リサイクル材料（繰り返し再生複合材の原料として利用されるもの）をリサイクル材料と定義している。

木質材料及び熱可塑性プラスチックを主原料とし、プラスチック成形の手法などによって複合化したもので、原料としてリサイクル材料等を質量割合で40%以上含有するものを木材・プラスチック再生複合材の対象とすることが記載されている。

表 3-11 木材・再生プラスチックの評価項目・評価方法

区分	評価項目	指標	単位	測定方法 準拠規格	必要水準・備考	
基本性能	リサイクル材料の含有量	リサイクル材料の含有率	%	JIS A5741:2016	プレコンシューマ材料、ポストコンシューマ材料、多回リサイクル材料をリサイクル材料とし、40%以上であること。パーゼル条約に抵触する物質を含まないこと。	
	密度・比重	真比重	—	JIS K 7112:1999	0.8~1.5	
	吸水特性	吸水率	%	JIS A 5905:2014	10 以下	
	長さ	長さ変化率	長さ方向	%	JIS A 5905:2014	3 以下
			幅方向	%	JIS A 5905:2014	3 以下
	強度	曲げ強さ	MPa	JIS K 7171:2016	20 以上	
		シャルピ衝撃強さ	kJ/m ²	JIS K 7111:2012	0.5 以上	
	熱特性	荷重たわみ温度	℃	JIS K 7191-2:2015	70 以上	
		ピカット軟化温度	℃	JIS K 7206:2016	75 以上	
	耐候性（キセノンアークランプ暴露試験 500 時間）	A 法引張強さ変化率	%	JIS A 5721:2013	30 以内	
		A 法引張伸び変化率	%	JIS A 5721:2013	50 以内	
		B 法曲げ強さ変化率	%	JIS K 7171:2016	30 以内	
安全性能	揮発性物質放散性（ホルムアルデヒド）	A 法:デシケータ法	mg/L	JIS A 1460:2015	平均値で 0.3 以下、かつ、最大値で 0.4 以下	
		B 法:小形チャンバー法	mg/(m ² ・h)L	JIS A 1901:2015	0.005 以下	
	有害物質溶出量	カドニウム	mg/L	JIS K 6743:2016	0.01 以下	
		鉛	mg/L	JIS K 6743:2016	0.01 以下	
		水銀	mg/L	JIS K 6743:2016	0.0005 以下	
		セレン	mg/L	JIS K 6743:2016	0.01 以下	
		ひ素	mg/L	JIS K 0400-61-10	0.01 以下	
		六価クロム	mg/L	JIS K 0400-65-20:1998	0.05 以下	

(注釈)

- プラスチック原料は次の熱可塑性プラスチックとする。
 一般用プラスチック：PMMA, PVC, PP, PE, PET, PS, SAN, SP, ABS
 エンジニアリングプラスチック：PC, PA, PPE, PLA
 その他のプラスチック：PC/ABS, ASA, AES, ACS (ABS), EVAC, PB, MABS, PTFE
- 天然ゴム、エラストマーが混合しているもの、熱可塑性樹脂の混合物も原料とする。
- 木質原料及び熱可塑性プラスチック原料以外の原料はその他の原料として、例えば、滑剤、安定剤、相溶化剤、顔料、可塑剤などの添加剤をいう。

(2) 自動車部品のリサイクル

CNF複合化の利点を活かすためにある部品から同じ部品を製造することも考えられるが、自動車部品のリサイクルとしては、一般的にはカスケード利用が想定される。同様の製品を製造する例としてタイヤ、カスケード利用先としてインスツルメントパネルを想定し、それぞれの求められる評価項目と必要水準（案）を以下に示す。

1) インスツルメントパネル

インスツルメントパネルに関する評価項目と必要水準（案）を表 3-12 に示す。

表 3-12 インスツルメントパネルに関する評価項目と必要水準(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
保安基準	難燃性	燃焼速度など	保安基準第 20 条 乗車装置別添 27 内装材料の難燃性の技術基準	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼しないこと または燃焼速度の最大値は 100mm/分を超えないこと 試験片の燃焼が、A 標線に達してから 60 秒経過する前に停止し、かつ、A 標線に達した後の試験片の燃焼 鋼板、アルミ板、FRP、厚さ 3mm 以上の木製の板（合板を含む）及び天然の皮革は難燃性の材料とみなす。
基本性能	強度	引張強度	JIS K7161	部材中の最大引張応力に対して十分な安全率が確保されること。
		曲げ強度	JIS K7171	部材中の最大曲げ応力に対して十分な安全率が確保されること。
	剛性	弾性率	JIS K7161	既存樹脂より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
		曲げ弾性率	JIS K7171	既存樹脂より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
	耐熱性	融点	JIS K7121	PP 同等以上 最大表面温度 105℃に耐え、変形しないこと
		熱伝導率	JIS A1412	従来樹脂同等以上
		体積膨張率	ISO 6801	従来樹脂同等以下
		線膨張率	JIS K7197	鉄、アルミと同水準であること
	吸水性	吸水率	JIS K7209	従来樹脂同等以下
	加工性	MFR(ルトフローインデックス)	JIS K7210	従来熱可塑性樹脂同等以上
塗装膜密着度		JIS K5600	クロスカット法 6 段階のうち、「どの格子の目にもはがれがない」	
高品位外観性	着色性	JIS K7102	カーボンアーク燈光に対しての変退色が少ないこと	
	難燃性	燃焼速度	JIS D1201	燃焼しないか、燃焼速度が 100 mm/分以下であること
安全性	衝撃性		—	衝突時の破片でシャープエッジが生じないこと

2) タイヤ

タイヤに関する評価項目と必要水準（案）を表 3-13 に示す。

廃棄タイヤの 90%がサーマルリカバリーに、10%がマテリアルリサイクル再生ゴムとして歩道舗装材、ゴムシートに利用されているほか、タイヤ製造の原料として使用される事例が報告*されている。なお、古タイヤを修理して再利用する「リトレッドタイヤ」事業も行われており、古タイヤが必ずしも廃棄タイヤとなるわけではない。

出典：横浜ゴム、再生ゴム使用を拡大、2010 年度は 2008 年度比 2 倍
<http://www.y-yokohama.com/release/?id=1641&lang=ja&sp=760>

表 3-13 タイヤに関する評価項目と必要水準(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
保安基準	道路を破損するおそれのないもの	接地圧	保安基準第 7 条 接地部及び接地 圧	タイヤの接地部の幅 1cm あたり 200kg を超えないこと。
基本性能	剛性	ゴム硬度	JIS K6253-3	従来タイヤと同水準であること
	柔軟性	切断時伸び EB	JIS K6251	従来タイヤより切断時伸びが大 きいこと
	高品位外観性	着色性	—	カラータイヤに対応できるか
安全性能	耐衝撃性	ウエットグリップ性能 G	EU 規則 Wet Grip グレーデ ィング試験法 (案)	G>110 省エネタイヤラベリング 制度

(3) 家電のリサイクル

家電のリサイクルでは、ある部材から同様の部材を製造することが通常行われている。ある家電製品のリサイクル材を活用して同様の家電製品を作る場合、当該製品に要求される要求水準を満たす必要がある。CNFが活用される家電の求められる評価項目と必要水準（案）を以下に示す。

1) エアコンの室外ファン

エアコンの室外ファンに関する評価項目と評価方法（案）を表3-14に示す。

表3-14 エアコンの室外ファンに関する評価項目と評価方法(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	省エネ性	全圧効率	JIS Z8330:2000	従来品同等以上
	静粛性	騒音レベル	JIS Z8330:2000	従来品同等以上
安全性能	破壊耐力	回転数	JIS B0132:2005	スピントストで破損しないこと
環境性能	特定化学物質	—	JIS Z7201:2012	製造工程において使用しないこと

2) 冷蔵庫

冷蔵庫に関する評価項目と評価方法（案）を表3-15に示す。

表3-15 冷蔵庫に関する評価項目と評価方法(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	省エネ性	消費電力量	JIS C9801:2006	従来品同等以下
	断熱性	熱伝導率	JIS A1412-1: 2016	従来品同等以下
		真空断熱材厚さ	JIS A1412-1: 2016	従来品同等以下
安全性能	—	—	—	—
環境性能	特定化学物質	含有率	JIS C0950:2008	基準値を超えないこと

3) 洗濯機（洗濯槽・パルセータ）

洗濯機（洗濯槽・パルセータ）に関する評価項目と評価方法（案）を表3-16に示す。

表3-16 洗濯機(洗濯槽・パルセータ)に関する評価項目と評価方法(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	洗濯性能	洗浄比	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	すすぎ性能	すすぎ比	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	脱水性能	残水度	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	消費電力	消費電力	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
安全性能	—	—	—	—
環境性能	特定化学物質	含有率	JIS C0950:2008	基準値を超えないこと

(4) 建材のリサイクル

建材のリサイクルでは、ある部材から同様の部材を製造することは技術的に可能と考えられ、リサイクル材を用いた場合でも当該部材に求められる要求水準を満たす必要がある。CNFが活用される建材の求められる評価項目と必要水準（案）を以下に示す。

1) 樹脂サッシ（窓枠）

樹脂サッシ（窓枠）に関する評価項目と評価方法（案）を表 3-17 に示す。

表 3-17 樹脂サッシ(窓枠)に関する評価項目と評価方法(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	耐風圧性能	加圧試験	JIS A4716:2000 JIS A1515:1998	加圧中破壊のないこと 除圧後、開閉に異常がなく、使用上支障がないこと。
		最大変位	JIS A4716:2000 JIS A1515:1998	最大変位は内のり寸法の 1/70 以下であること
		JIS 等級	JIS A4716:2000 JIS A1515:1998	S1～S7(最大加圧圧力 800～3,600Pa)
	気密性	JIS 等級線	JIS A1516:1998	防音、断熱、防塵建築用 JIS A4 等級線
	断熱性	熱貫流率	JIS A4710:2004	2.33W/ m ² ・K 以下 (I・II 地域)～ 6.51W/ m ² ・K 以下 (VI 地域)
	遮音性	遮音等級線	JIS A1416:2000	T4 等級線(音響透過損失 40dB)
	建築基準法第64条 政令で定める防火設備	防火地域又は準防火地域における防火性能	—	加熱開始後、20 分間、加熱面以外に 火炎をださないもの
	建築基準法第 28 条	開口部採光面積	—	床面積の 1/7 以上
建築基準法第28条の2 (居室内における化学物質の発散に対する衛生上の措置)シックハウス対応ホルムアルデヒド分散特性	ホルムアルデヒド分散速度	—	ホルムアルデヒド・VOC の発生がないこと	
安全性能	—	—	—	—
環境性能	品確法・省エネ法 断熱 2020 年断熱性能	断熱等性能等級	品確法	等級4(2013 年基準)
		一次エネルギー消費量等級	品確法	等級5(低炭素基準相当)
	劣化率	熱伝導率	JIS A9521:2014	熱伝導率の劣化率が従来製品と同等以上
	グリーン購入法*	—	—	複層ガラスを用いたサッシ、あるいは二重サッシであること
	省エネ法トップランナー制度*	通過熱流量	—	※開閉形式 5 種について算定式あり

※推奨項目

3.2.2 CO₂削減効果の評価方法の検討

(1) CNFリサイクルによるCO₂削減効果算定に係る参考文献の整理

CNF製品のリサイクルによるCO₂削減効果の評価するための考え方を整理し、リサイクルによるCO₂削減効果の評価方法について検討した。なお、環境省CNF事業全体で整合の取れた評価方法となるよう、過年度業務で策定されたLCAガイドライン等を参考に検討した。参考としたガイドラインを表3-18に示す。

表 3-18 参考としたガイドライン

No.	作成時期	発行者	名称
1	平成 29 年 3 月	環境省	セルロースナノファイバーを用いた家電部材及び住宅建材に関するLCAガイドライン(案)
2	平成 28 年 3 月	環境省	セルロースナノファイバーを用いた自動車製品に関するLCAガイドライン(案)
3	平成 28 年 3 月	環境省	循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン(Ver. 1.0)
4	平成 27 年 2 月 24 日	日本LCA学会	温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン(第1版)

(2) LCA算定方法の整理・検討

CNFのリサイクルによるCO₂削減効果の評価するための考え方、算定方法について検討した。CO₂削減効果についてはLCAを用いて実施し、そのLCA算定について、以下の1)～11)に整理した。

1) LCA実施者

LCAの実施者は「リサイクル実施者(中間処理業者)」を想定している。

2) システム境界の考え方

システム境界は図3-7の通り、「回収段階～処理処分段階」である。なお、回収において、リサイクル、廃棄処分においても同一の回収方法である場合、同一のCO₂排出量を双方に計上するだけであり、またデータ収集に工数が必要となるため、算定を省略してもよいとした。また、同一ではないが、非常に類似プロセスを有していてCO₂削減効果の差が無視できるほど小さい場合においても算定を省略してもよいとした。

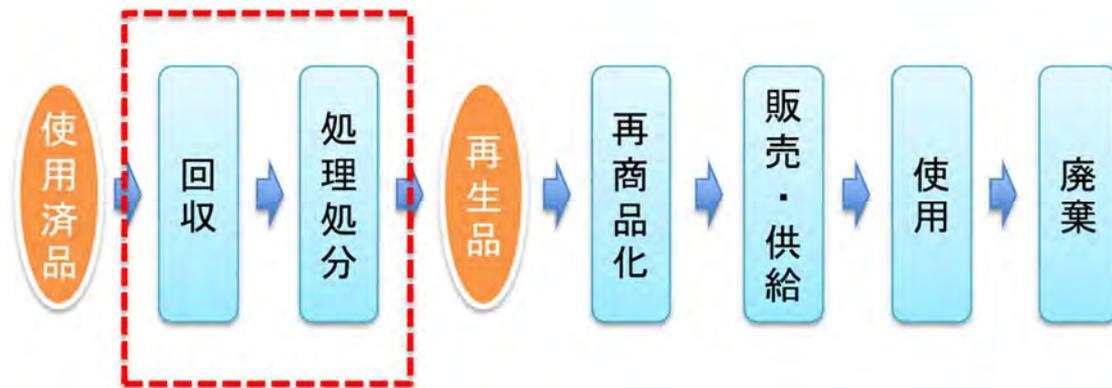


図 3-7 システム境界

3) 評価対象とする製品システム

評価対象は「CNFを含む使用済CNF部材の廃棄・リサイクル等の一連のプロセス」であり、使用済CNF部材の定義としては、「製品の使用が終了し、廃棄もしくはリサイクル等されるCNFを含む部材」とした。

4) 評価対象とするリサイクル方法

評価対象とするリサイクル方法は以下の3通りである。CNFはバイオマス素材であり、燃焼時にカーボンニュートラルの考え方が適用可能であるため、素材へのリサイクルのみならず、サーマルリカバリーのように、エネルギーへの変換を主とするリサイクル方法も評価対象とした。

- 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

5) 機能及び機能単位

CO₂削減効果を求めるには、評価対象と比較対象の差分を求めることが必要となる。比較時には評価対象と比較対象の双方で同等のCNF部材をリサイクルし、また再生材を産出する必要がある。すなわち、LCAでいうところの機能単位を揃えることが必要である。CNF部材のリサイクルの評価では、機能を①「セルロースを含む部材の処理」と②「素材・エネルギーの供給」とし、この機能を基に機能単位を設定することとした。例えば、図3-8に示すマテリアルリサイクルの場合、①「CNF部材の1kgの処理サービスの提供」を基本として設定し、1kg処理した際のCNF再生品生成量を踏まえて、②「CNF素材の0.7kgの供給」等、2つの機能単位を設定し、評価を実施することとなる。



図 3-8 使用済 CNF 部材のマテリアルリサイクルの例

6) 比較対象とするオリジナルプロセスの設定

リサイクルが実施されない場合、適用したであろう処理処分方法をオリジナルプロセス（ベースライン）とし、このオリジナルプロセスと評価対象のプロセスとの差分を評価することとなる。その際、リサイクルが実施されていない場合の処理処分方法は、一般社団法人プラスチック循環利用協会が発行した「-2015-プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況」（2016年12月）の考え方を基に、有効利用しなかった場合、廃プラスチックは単純焼却として、ベースラインに設定することとした。なお、既存のセルロースを含む部材を処理処分（リサイクル/廃棄）する従来設備がある場合には、その従来設備におけるプロセスをベースラインに設定可能とした。

一方、サーマルリカバリーをオリジナルプロセスとして選定することも可能であるが、以下の課題があるため、上記の通り単純焼却として設定している。

- ① 将来の熱利用、発電、コージェネ等の基準シナリオ設定方法の難しさ
- ② サーマルリカバリーを評価対象プロセスとした場合、その CO₂ 削減効果が出にくい（オリジナルプロセスとほぼ同等の評価結果となる可能性）

なお、サーマルリカバリーの状況として、環境省調査¹²³では一般廃棄物焼却施設のうち、廃棄物発電施設は 30.5%、産業廃棄物焼却施設では 11.4%が設備を有しており、国内廃プラスチックのうち、固形燃料として 13%、廃棄物発電にて約 34%、熱利用として 10%が有効利用されており、単純焼却は約 10%、埋立は 8%となっている。

¹一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 27 年度）について、環境省、平成 29 年 3 月 28 日

URL : http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h27/data/env_press.pdf

²第 1 回廃棄物処理制度専門委員会資料、環境省、平成 28 年 5 月 19 日

URL : https://www.env.go.jp/press/y0310-01/mat03_1_P3.pdf

³マテリアルリサイクルによる天然資源消費量と環境負荷の削減に向けて、環境省、平成 28 年 3 月

URL : <http://www.env.go.jp/press/files/jp/102960.pdf>

7) 再生材の質を考慮した評価

再生材は、使用済み品および再資源化工程の違いにより、品質が異なるため、再生材の品質の差は最終的に売買価格に反映されることがある。品質差を考慮した算定を実施する際、式1に示す算定式を用いることとした。なお、品質に関する情報が入手できない場合は、マテリアルリサイクルから再生される部材はバージン材と同等として評価することとする。

$$e = r \times q_x / q_y \dots\dots (式1)$$

- e : 再資源化された再生品と同等製品のCO₂排出量
- r : バージン材から製造した際のCO₂排出量
- q_x : 再資源化された再生品の品質等
- q_y : バージン材から製造した際の品質等

8) マテリアルリサイクルの評価方法

マテリアルリサイクルの評価では、機能単位を「CNF部材の1kgの処理サービスの提供」及び「CNF材料●kgの供給」と設定し、評価することとした。なお、「●」には評価対象とするシステム1kgをリサイクルした際に、供給される再生CNF部材の量が入る。マテリアルリサイクルの評価イメージを図3-9に示す。

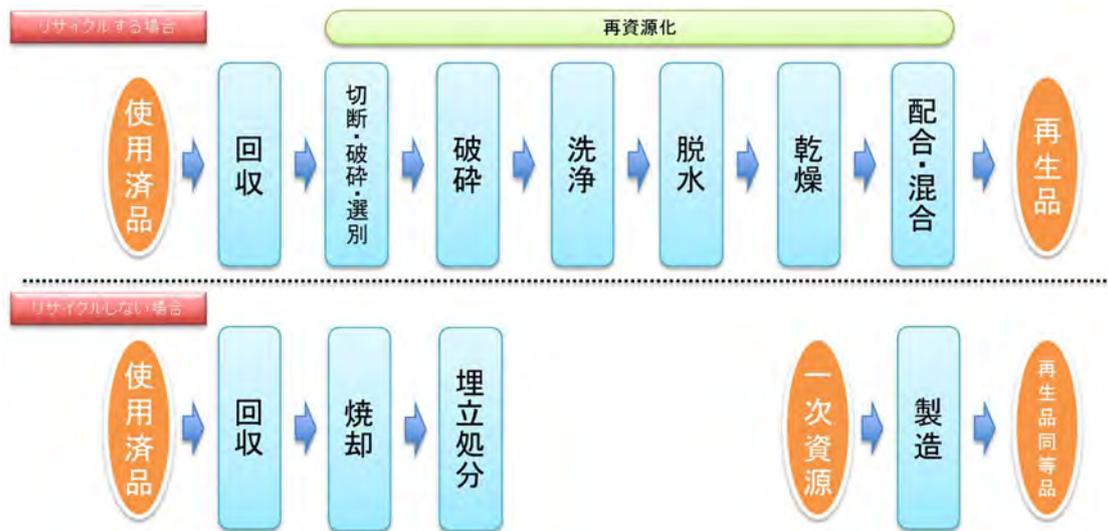


図 3-9 マテリアルリサイクルの評価イメージ

9) ケミカルリサイクル(常圧溶解法)の評価方法

プラスチックのケミカルリサイクルは、表 3-19 に示す技術が実用化等されている。CNF 成分が有効にリサイクルされる技術は、ヒアリングにより枠で示している常圧溶解法における原料モノマー化を想定して評価方法を設定することとした。

表 3-19 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)

ケミカルリサイクル(常圧溶解法)の評価では、機能単位を「CNF 部材の 1kg 処理サービスの提供」及び「新規部材材料●kg の供給」と設定し、評価することとした。なお、「●」には評価対象とするシステム 1kg をリサイクルした際に、供給される再生 CNF 部材の量が入る。ケミカルリサイクル(常圧溶解法)の評価イメージを図 3-10 に示す。

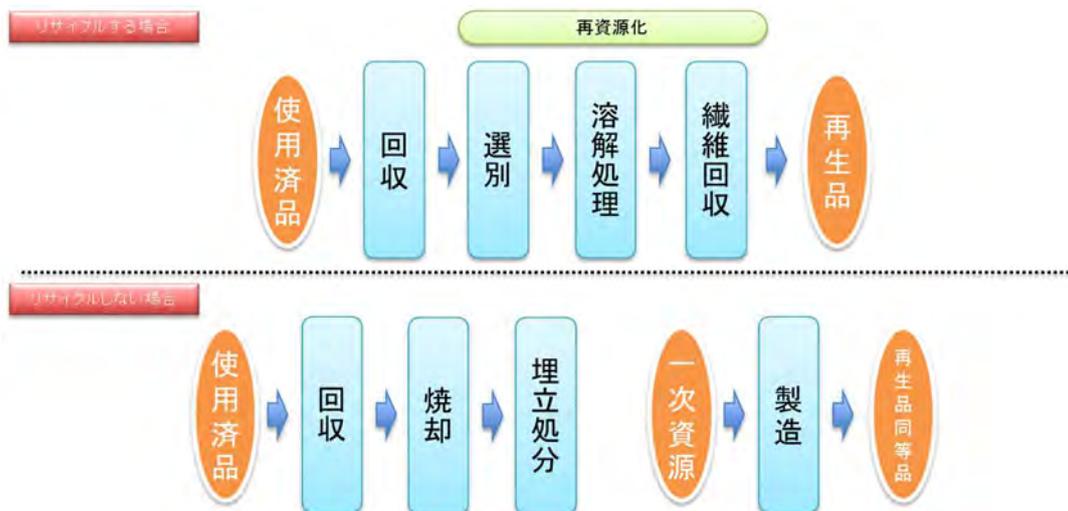


図 3-10 ケミカルリサイクル(常圧溶解法)の評価イメージ

10) サーマルリカバリーの評価方法

サーマルリカバリーの評価では、機能単位を「CNF部材の1kg処理サービスの提供」及び「エネルギー●MJ (or [kWh]) の供給」等と設定し、評価することとした。なお、「●」には評価対象とするシステム1kgを焼却した際に、その熱等から供給されるエネルギーの量が入る。サーマルリカバリーの評価イメージを図5-11に示す。

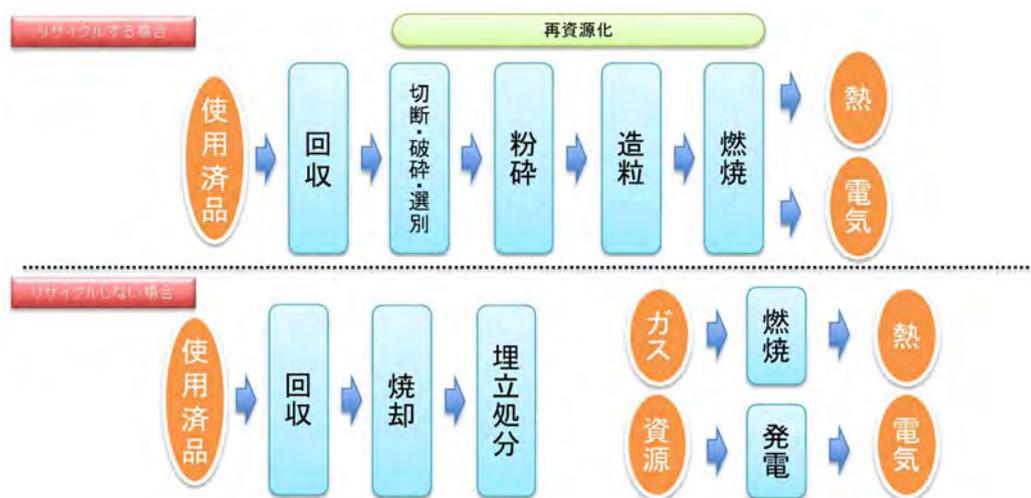


図3-11 サーマルリカバリーの評価イメージ

11) その他、LCAに係る共通事項

LCAを実施する上で、結果の妥当性、信頼性、整合性に影響を与える共通的な課題として、「収集データの精度」、「カットオフ」、「温室効果ガス排出原単位データ」、「配分」、「感度分析」、「クリティカルレビュー」がある。これらについては、前項(1)記載の既存のCNFに係るガイドラインと同様とし、既存のLCAガイドラインと整合が取れるように設定した。

3.2.3 CNF製品の社会実装時のCO₂削減量の推計

(1) CO₂削減量の推計における前提

CNFのリサイクル技術が社会実装された際のCO₂削減量の推計を行った。推計を行うに当たり、CO₂削減量の算定方法は前項3.2.1(2)において検討した評価方法を用いて試算した。

本試算では、洗濯機のパルセータ及び車のトランクフードの2製品におけるマテリアルリサイクル、サーマルリカバリーのCO₂削減効果を試算した。なお、CNFリサイクル対象部材部分のみの評価とし、洗濯機の場合、洗濯機1台ではなく、パルセータ部分のみを対象として算定した。

試算結果においては、CO₂排出削減量の他、CO₂排出削減率についても算出した。CO₂排出削減率については、式2に示す。

$$\text{CO}_2 \text{削減率}[\%] = \frac{[\text{オリジナルプロセス}] - [\text{評価対象プロセス}]}{[\text{オリジナルプロセス}]} \times 100 \dots (\text{式 2})$$

また、この推計で用いる CNF 製造に係る CO₂ 排出原単位は、「平成 26 年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書」における CNF 製造に係る機械解繊工程及び乾燥・脱水工程の電力、熱使用量を用いて、MiLCA v 2.0.0 で計算を行った。その結果として算出された 48.72kg-CO₂e/kg-CNF を用いた。

(2) 洗濯機のパルセータの CO₂ 削減効果

洗濯機のパルセータの推計を行った。パルセータは電気洗濯機の回転羽である。そのイメージを図 3-12 に示す。

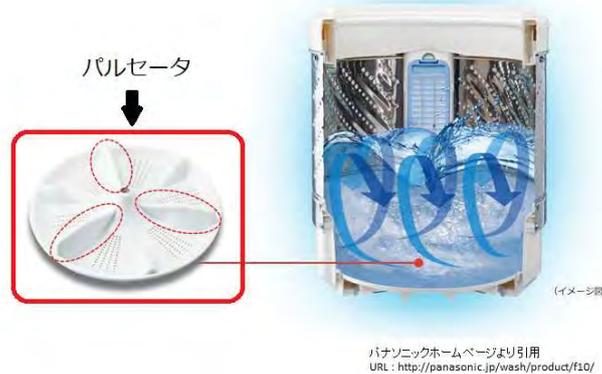


図 3-12 電気パルセータのイメージ図

1) 算定の前提条件

マテリアルリサイクル及びサーマルリカバリーの算定の前提条件はそれぞれ以下の通りとした。

<マテリアルリサイクル>

- ・ 対象：洗濯機のパルセータ
- ・ 素材構成：PP+CNF (10%)
- ・ リサイクルプロセス：現在の PP 製品と同等
- ・ リサイクル工程ロス：2%
- ・ リサイクルプロセス及びオリジナルプロセス共に回収に係るルート、解体方法は同等
- ・ オリジナルプロセスは単純焼却（廃棄物発電設備なし）

＜サーマルリカバリー＞

- ・ 対象：洗濯機のパーセータ
- ・ 素材構成：PP+CNF（10%）
- ・ オリジナルプロセスはマテリアルリサイクル同様に単純焼却（廃棄物発電設備なし）と設定

2) マテリアルリサイクルのCO₂削減効果

①マテリアルリサイクルのプロセス及び機能単位

マテリアルリサイクルの機能単位は「CNF部材の1kgの処理サービスの提供」、「PP+CNF10%製品 0.98kgの供給」とし、評価対象プロセス及び比較対象となるオリジナルプロセスを図3-13の通り仮定した。

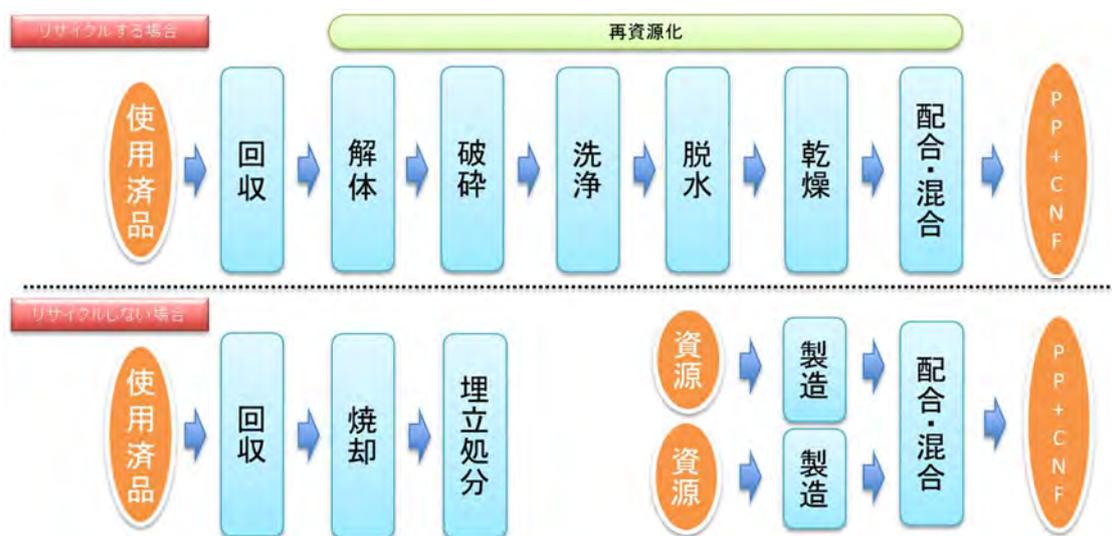


図 3-13 マテリアルリサイクルのリサイクルプロセス図

②マテリアルリサイクルのCO₂削減効果

マテリアルリサイクルにおける評価対象プロセス及びオリジナルプロセスのそれぞれのCO₂排出量の試算結果を表3-20～21に示す。これらの結果より、図3-14に示すとおり、CO₂削減量は8.09kg-CO₂e、CO₂削減率は85%と試算された。

表 3-20 評価対象プロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
評価対象プロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	リサイクル	1.34E+00	IDEAv2 の「再生 P0 ペレットの製造」データを引用
	合計	1.41E+00	—

表 3-21 オリジナルプロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
オリジナルプロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	焼却	2.74E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PP90%、CNF10%の割合で焼却し、2%残渣として炭素固定、CNF はカーボンニュートラルとして再計算
	PP 製造	1.72E+00	IDEAv2 の「ポリプロピレンの製造」データを引用
	CNF 製造	4.87E+00	平成 26 年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書を基に再計算
	配合・混合	1.07E-01	複合樹脂の LCA 報告書 (安原プラミクス株式会社, 平成 21 年 3 月 4 日改定) の報告書における「従来スクリー方式」の電力データに歩留を考慮して再計算
	合計	9.51E+00	—

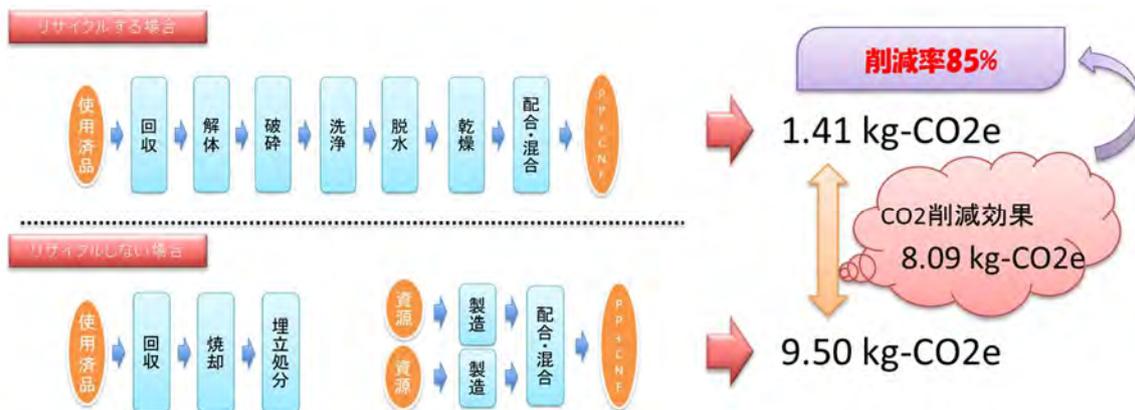


図 3-14 パルセータ（PP+CNF10%）のマテリアルリサイクルの試算結果

3) サーマルリカバリーの CO₂ 削減効果

①サーマルリカバリーのプロセス及び機能単位

機能単位は「CNF部材の1kg処理サービスの提供」及び「電力1.39kWhの供給」とし、評価対象プロセス及び比較対象となるオリジナルプロセスを図3-15の通り仮定した。

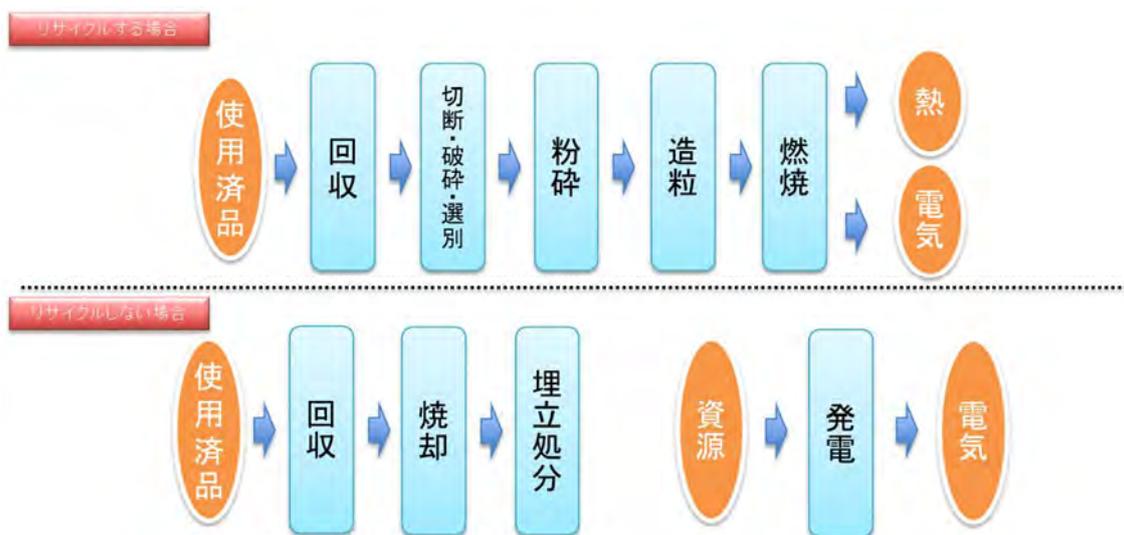


図 3-15 サーマルリカバリーのリサイクルプロセス図

②サーマルリカバリーの CO₂ 削減効果

サーマルリカバリーにおける評価対象プロセス及びオリジナルプロセスのそれぞれの CO₂ 排出量の試算結果を表 3-22～23 に示す。これらの結果より、図 3-16 に示すとおり、CO₂ 削減量は 1.63kg-CO₂e、CO₂ 削減率は 45%と試算された。

表 3-22 評価対象プロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
評価対象 プロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	サーマルリサイクル	1.93E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PP90%、CNF10%の割合で廃棄物発電し、2%残渣として炭素固定、CNF 分はカーボンニュートラルとして再計算
	合計	2.00E+00	—

表 3-23 オリジナルプロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
オリジナル プロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	焼却	2.74E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PP90%、CNF10%の割合で焼却し、2%残渣として炭素固定、CNF はカーボンニュートラルとして再計算
	発電供給	8.14E-01	電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) -平成 27 年度実績- H28.12.27 公表の代替値を引用
	合計	3.63E+00	—

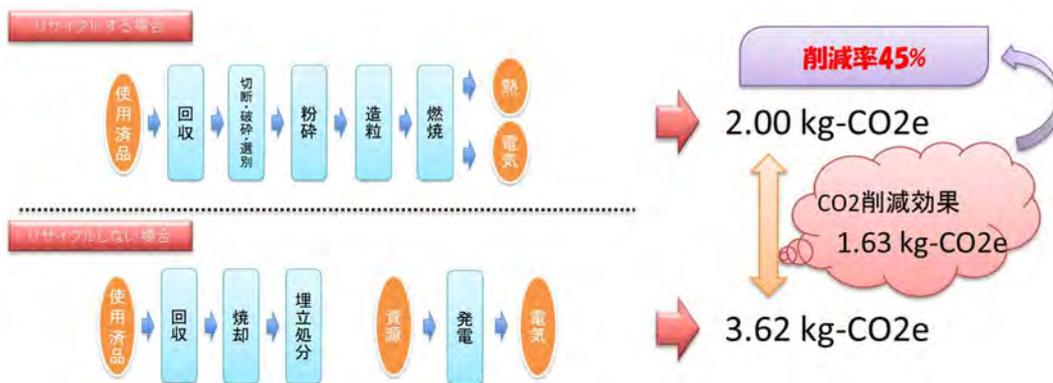


図 3-16 パルセータ (PP+CNF 10%) のサーマルリカバリーの試算結果

4) 感度分析の実施

前項2)で実施したマテリアルリサイクルについて、感度分析を行った。感度分析として、前項2)で実施した評価をケース1として、「平成26年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書」情報を基に算出したCNF製造に係るCO₂排出原単位が最小の値(CNF 1.53kg/kg-CNF)で評価したものをケース2、オリジナルプロセスの焼却を単純焼却ではなく、廃棄物発電有りの焼却施設(サーマルリカバリー)で処理した場合の評価をケース3、ケース2かつケース3の場合をケース4として実施した。ケース1～4の個別の結果を表3-24に、評価対象プロセスとオリジナルプロセスの結果のまとめを表3-25に示す。結果より、どのケースにおいても大きな削減効果がある結果となった。

表 3-24 ケース別オリジナルプロセス CO₂ 排出量試算結果

単位 : kg-CO ₂ e		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
オリジナルプロセス	回収	6.07E-02	6.07E-02	6.07E-02	6.07E-02
	解体	6.87E-03	6.87E-03	6.87E-03	6.87E-03
	焼却	2.74E+00	1.93E+00	1.93E+00	1.93E+00
	PP 製造	1.72E+00	1.72E+00	1.72E+00	1.72E+00
	CNF 製造	4.87E+00	4.87E+00	4.87E+00	1.53E+00
	配合・混合	1.07E-01	1.07E-01	1.07E-01	1.07E-01

表 3-25 マテリアルリサイクルの感度分析結果

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
評価対象プロセス (kg-CO ₂ e)	1.41E+00	1.41E+00	1.41E+00	1.41E+00
オリジナルプロセス (kg-CO ₂ e)	9.51E+00	6.17E+00	8.69E+00	5.35E+00
CO ₂ 削減量 (kg-CO ₂ e)	8.09E+00	4.76E+00	7.28E+00	3.94E+00
CO ₂ 排出削減率	85%	77%	84%	74%

(3) 車のトランクフード削減効果

トランクフードとは、セダンの後ろの荷物室の蓋のことである。そのイメージを図 3-17 に示す。



図 3-17 車のトランクフードのイメージ図

1) 算定的前提条件

マテリアルリサイクル及びサーマルリカバリーの算定的前提条件は以下の通りとした。

<マテリアルリサイクル>

- ・ 対象：車のトランクフード
- ・ 素材構成：PA6+CNF (10%)
- ・ リサイクルプロセス：現在の PA6 製品と同等
- ・ リサイクル工程ロス：2%
- ・ リサイクルプロセス及びオリジナルプロセス共に回収に係るルート、解体方法は同等
- ・ オリジナルプロセスは単純焼却（廃棄物発電設備なし）

<サーマルリカバリー>

- ・ 対象：車のトランクフード
- ・ 素材構成：PA6+CNF (10%)
- ・ オリジナルプロセスはマテリアルリサイクル同様に単純焼却（廃棄物発電設備なし）と設定

2) マテリアルリサイクルの CO₂ 削減効果

①マテリアルリサイクルのプロセス及び機能単位

マテリアルリサイクルの機能単位は「CNF部材の 1kg の処理サービスの提供」及び、「PA6+CNF10%製品 0.98kg の供給」とし、評価対象プロセス及び比較対象となるオリジナルプロセスを図 3-18 の通り仮定した。

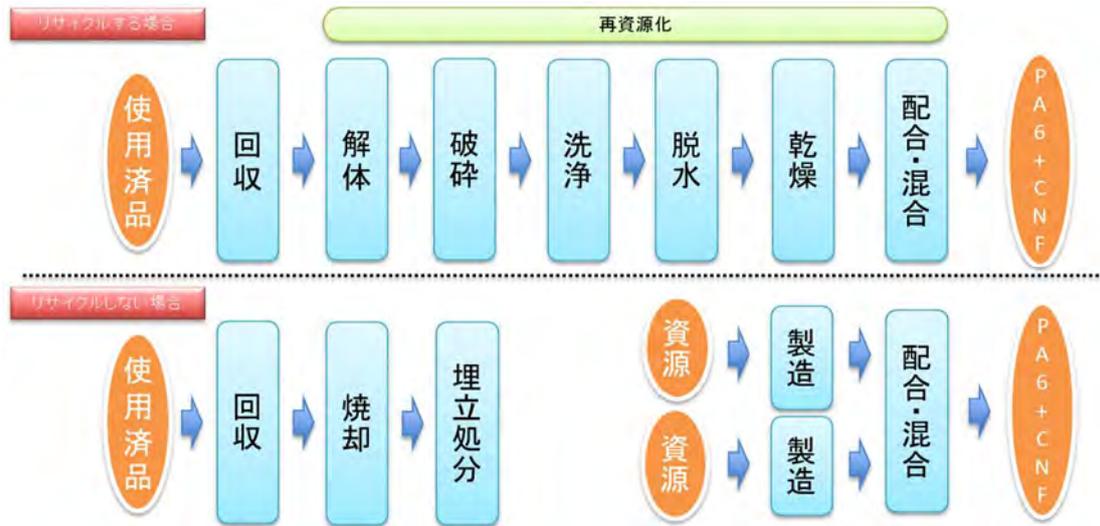


図 3-18 マテリアルリサイクルのリサイクルプロセス図

②マテリアルリサイクルの CO₂ 削減効果

サーマルリカバリーにおける評価対象プロセス及びオリジナルプロセスのそれぞれの CO₂ 排出量の試算結果を表 3-26～27 に示す。これらの結果より、図 3-19 に示すとおり、CO₂ 削減量は 12.01kg-CO₂e、CO₂ 削減率は 89%と試算された。

表 3-26 評価対象プロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
評価対象 プロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理(分解・解体)」データを引用
	リサイクル	1.34E+00	IDEAv2 の「再生 P0 ペレットの製造」データを引用
	合計	1.41E+00	—

表 3-27 オリジナルプロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ e]	参考文献等
オリジナルプロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書 (2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG) の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	焼却	2.74E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PP90%、CNF 10% の割合で焼却し、2% 残渣として炭素固定、CNF はカーボンニュートラルとして再計算
	PA6 製造	5.63E+00	IDEAv2 の「ポリプロピレンの製造」データを引用
	CNF 製造	4.87E+00	平成 26 年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書を基に再計算
	配合・混合	1.07E-01	複合樹脂の LCA 報告書 (安原プラミクス株式会社, 平成 21 年 3 月 4 日改定) の報告書における「従来スクリュー方式」の電力データに歩留を考慮して再計算
	合計	1.34E+01	—

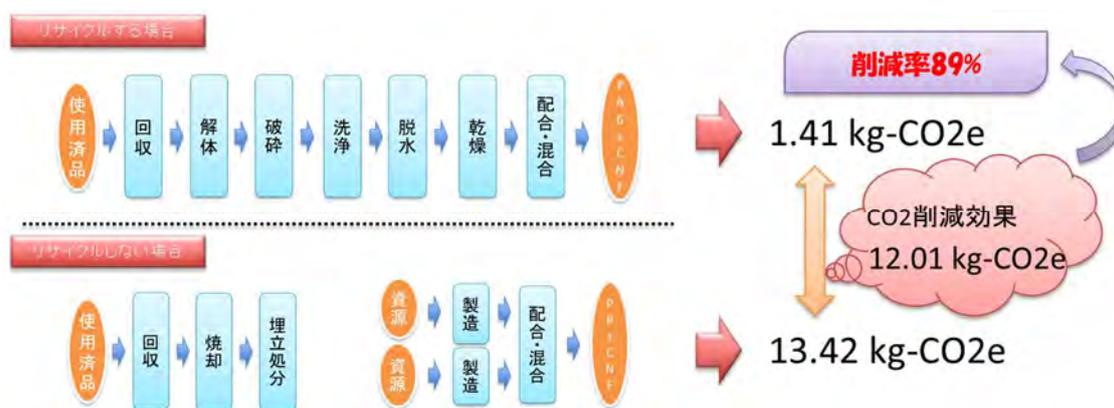


図 3-19 トランクフード (PA6+CNF10%) のマテリアルリサイクルの試算結果

3) サーマルリカバリーの CO₂ 削減効果

①サーマルリカバリーのプロセス及び機能単位

機能単位は「CNF 部材の 1kg 処理サービスの提供」及び「電力 0.996kWh の供給」とし、評価対象プロセス及び比較対象となるオリジナルプロセスを図 3-20 の通り仮定した。

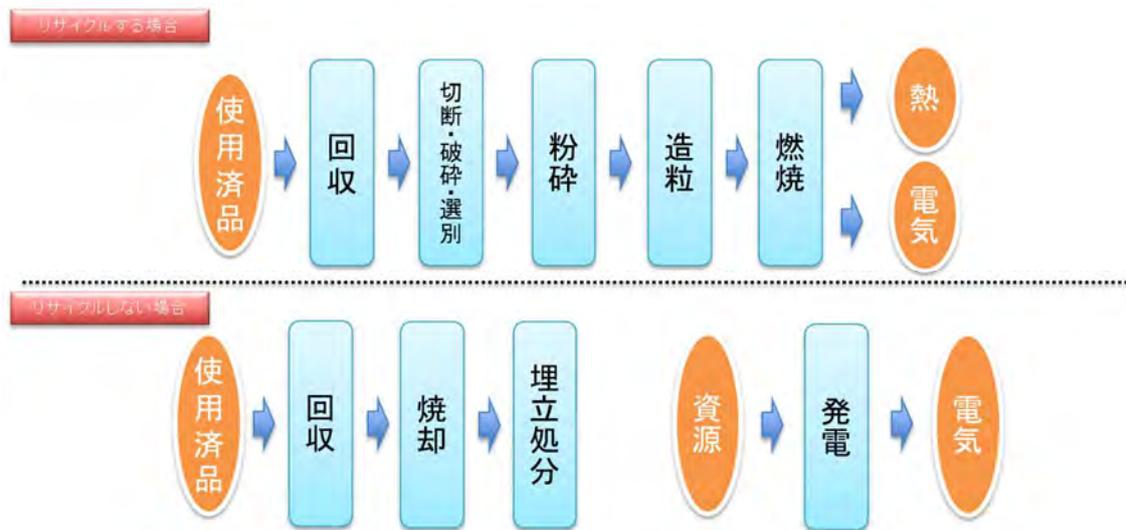


図 3-20 サーマルリカバリーのリサイクルプロセス図

②サーマルリカバリーのCO₂削減効果

サーマルリカバリーにおける評価対象プロセス及びオリジナルプロセスのそれぞれのCO₂排出量の試算結果を表 3-28～29 に示す。これらの結果より、図 3-21 に示すとおり、CO₂削減量は 1.17kg-CO₂e、CO₂削減率は 34%と試算された。

表 3-28 評価対象プロセスのCO₂排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
評価対象 プロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	サーマルリサイクル	2.16E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PA6 90%、CNF 10%の割合で廃棄物発電し、2%残渣として炭素固定、CNF 分はカーボンニュートラルとして再計算
	合計	2.23E+00	—

表 3-29 オリジナルプロセスの CO₂ 排出量試算結果

	プロセス名称	CO ₂ 排出量[kg-CO ₂ e]	参考文献等
オリジナルプロセス	回収	6.07E-02	冷蔵庫のライフサイクル・インベントリ (LCI) 分析報告書(2013, 一般社団法人日本電機工業会 環境技術専門委員会 LCA-WG)の輸送条件等を基に MiLCAv2 で再計算
	解体	6.87E-03	IDEAv2 の「使用済み家電の高度中間処理 (分解・解体)」データを引用
	焼却	2.74E+00	IDEAv2 の「焼却処理, 一般廃棄物」データを基に PP90%、CNF 10%の割合で焼却し、2%残渣として炭素固定、CNF はカーボンニュートラルとして再計算
	発電供給	5.85E-01	電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) -平成 27 年度実績- H28. 12. 27 公表の代替値を引用
	合計	3.40E+00	-

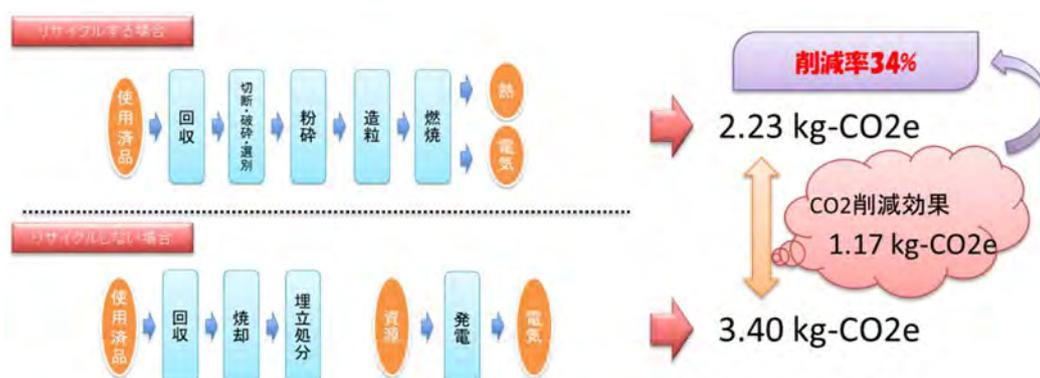


図 3-21 トランクフード (PA6+CNF 10%) のサーマルリカバリーの試算結果

4) 感度分析の実施

前項 2) で実施したマテリアルリサイクルについて、感度分析を行った。感度分析として、前項 2) で実施した評価をケース 1 として、「平成 26 年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書」情報を基に算出した CNF 製造に係る CO₂ 排出原単位が最小の値 (CNF 1.53kg/kg-CNF) で評価したものをケース 2、オリジナルプロセスの焼却を単純焼却ではなく、廃棄物発電有りの焼却施設 (サーマルリカバリー) で処理した場合の評価をケース 3、ケース 2 かつケース 3 の場合をケース 4 として実施した。ケース 1 ~ 4 の個別の結果を表 3-30 に、評価対象プロセスとオリジナルプロセスの結果のまとめを表 3-31 に示す。どのケースにおいても大きな削減効果がある結果となった。

表 3-30 ケース別オリジナルプロセス CO₂ 排出量試算結果

単位 : kg-CO ₂ e		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
オリジナルプロセス	回収	6.07E-02	6.07E-02	6.07E-02	6.07E-02
	解体	6.87E-03	6.87E-03	6.87E-03	6.87E-03
	焼却	2.74E+00	2.74E+00	2.16E+00	2.16E+00
	PA6 製造	5.63E+00	5.63E+00	5.63E+00	5.63E+00
	C N F 製造	4.87E+00	1.53E+00	4.87E+00	1.53E+00
	配合・混合	1.07E-01	1.07E-01	1.07E-01	1.07E-01

表 3-31 マテリアルリサイクルの感度分析結果

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
評価対象プロセス (kg-CO ₂ e)	1.41E+00	1.41E+00	1.41E+00	1.41E+00
オリジナルプロセス (kg-CO ₂ e)	1.34E+01	1.01E+01	1.28E+01	9.50E+00
CO ₂ 削減量 (kg-CO ₂ e)	1.20E+01	8.67E+00	1.14E+01	8.09E+00
CO ₂ 排出削減率	89%	86%	89%	85%

3.3 技術的、法的、経済的、社会的課題の抽出

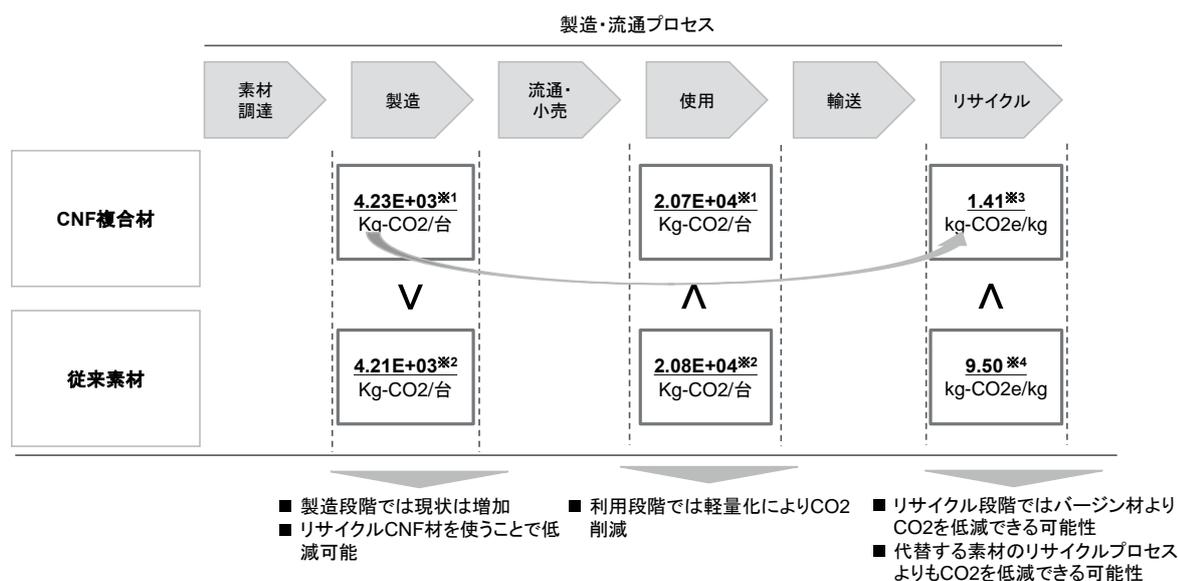
本節では、CNFリサイクルの必要性、CNFリサイクルを検討するにあたっての今回の整理の方向性、リサイクル技術、リサイクルプロセスの整理を実施した上で、CNFリサイクルにおける課題及び対応策の検討を実施した。

3.3.1 CNFリサイクルの必要性の検討

本項では、CNFのリサイクルを検討する前提として、CNFリサイクルの必要性について、CO₂排出量、リサイクルの可能性、CNFのイメージの観点から検討した。

CNF複合材と従来素材のCO₂排出量の比較を図3-22示す。

CNF製造工程において現状はCO₂排出量が増加する（将来は削減できる）可能性がある一方で、利用段階ではCO₂排出量を削減でき、リサイクルにおいてもCO₂排出量を削減できる可能性があることから、利用段階でのCO₂削減メリットを享受するためにも、CNFリサイクルでのCO₂削減が重要となる。



※1 自動車車体にてCNF10%+PA6を使用すること想定したCO₂排出量 ※2 自動車車体にてガラス繊維PA6を使用すること想定したCO₂排出量
 ※3 洗濯機バルセータ使用CNF10%+PPをマテリアルリサイクルすることを想定したCO₂排出量 ※4 洗濯機バルセータ使用CNF10%+PPを焼却・廃棄することを想定したCO₂排出量

図3-22 製造・流通プロセスにおけるCO₂排出量の比較

出典：環境省「平成26年度中長期的温室効果ガス排出削減に向けたセルロースナノファイバーの適用可能性調査委託業務報告書」、管理協会「CNFリサイクルのCO₂削減効果の評価方法」

次に、リサイクルの優位性及びCNFのイメージを図3-23に示す。

CNFはCNF同様に高い機械物性を持つGFRPやCFRPと比べて、素材が木材であることによりリサイクルが容易であり、かつ、植物由来でありカーボンニュートラルな素材で環境に対するイメージも良いことから、CNFのリサイクル方法を確立することで社会実装が進むと考えられる。



図3-23 リサイクルの優位性及びCNFのイメージ

出典：ACM社「CFRPの物性比較」「CFRPの基本の基本」、京都大学新技術発表会配布資料、田代考二「セルロースの辞典」、三協製作所「FRPと各種材料の特性比較」、京都大学 生存研 矢野研究室「2012 Laboratory of Active Bio-based Materials」

参考として GFRP 及び CFRP のリサイクルの可能性について図 3-24 に示す。

GFRP は、マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクルにおいて技術が研究段階で、課題も残っていることからリサイクルが難しく、サーマルリカバリーにおいても不燃性・耐熱性という性質により実施が難しいと考えられる。

また、CFRP においても、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において技術が研究段階で、課題も残っていることからリサイクルが難しいと考えられる。

	リサイクル上の課題		
	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
GFRP	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研磨剤などの用途ではマテリアルリサイクルが実施されているが、自動車・家電・住宅建材用途での技術が研究段階であり、マテリアルリサイクルが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術が研究段階であり、処理効率等の課題が残っているため、ケミカルリサイクルが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ガラスに不燃性という性質があるため、サーマルリカバリーが難しい ■ 熱硬化樹脂との複合において、耐熱性という性質があるため、サーマルリカバリーが難しい
CFRP	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車・家電・住宅建材用途での技術が研究段階であり、マテリアルリサイクルが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術が研究段階であり、処理効率等の課題が残っているため、ケミカルリサイクルが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術が研究段階であり、炭素の難燃性という性質から燃焼効率等の課題が残っているため、サーマルリカバリーが難しい

自動車・家電・住宅建材用途での技術が研究段階であり、マテリアルリサイクルが難しい

リサイクル技術が研究段階であり、処理効率等の課題が残っていることからケミカルリサイクルは難しい

不燃性、難燃性、耐熱性、という性質から、サーマルリカバリーは難しい

図 3-24 GFRP・CFRP のリサイクルの可能性

出典：一般社団法人日本海事検定協会「廃繊維強化プラスチックの再生技術に関する調査研究報告書」、公益財団法人名古屋産業科学研究所「2016 年度版炭素繊維複合材分野における技術シーズ集」

リサイクル技術の研究に関する参考としてCFRPのケミカルリサイクルに関する研究実証例を図3-25に示す。

CFRPのケミカルリサイクルについて、大幅な省エネルギー化を目的とする実証事業が、NEDOにより実施されている状況である。本実証においては、マトリックス樹脂の分解ガスを燃焼に用いることにより、省エネルギー型リサイクルプロセスを実現することとしている。

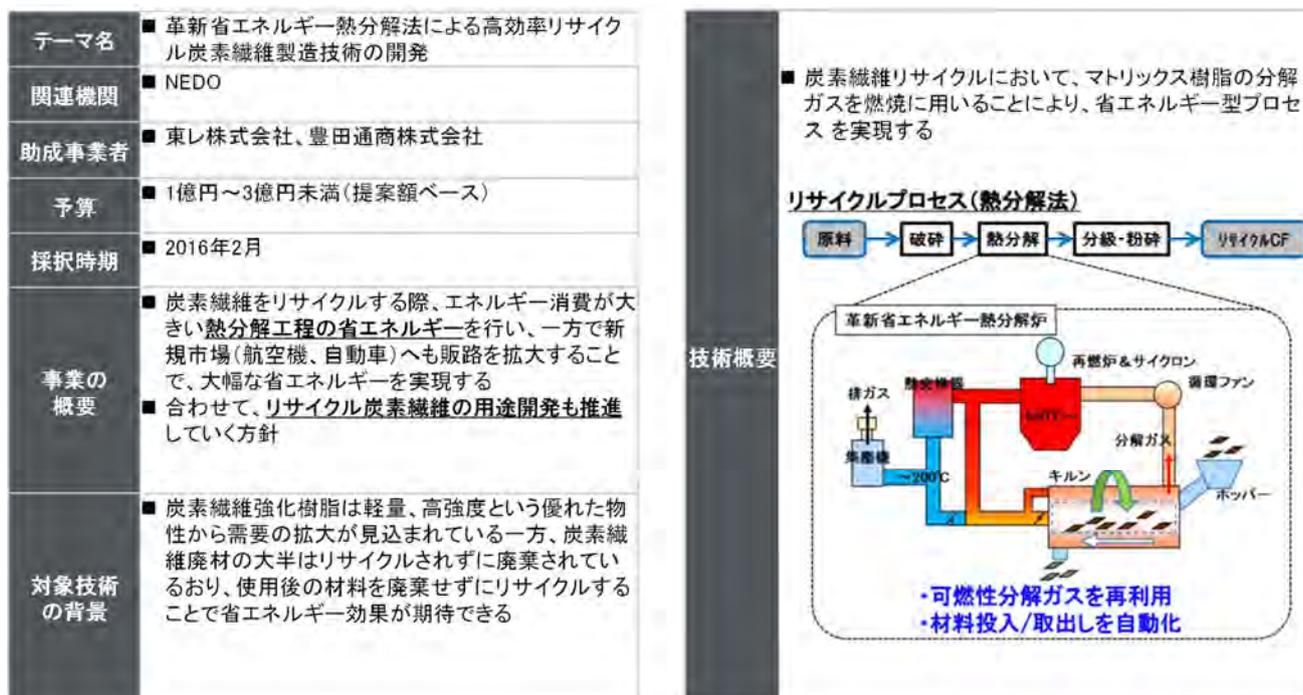


図3-25 CFRPのリサイクルに関する実証例

出典：NEDO「戦略的省エネルギー技術革新プログラム 平成27年度第2回公募 テーマ概略」、ロイター通信

リサイクル技術の研究に関する参考として GFRP のケミカルリサイクルに関する研究実証例を図 3-26 に示す。

GFRP のケミカルリサイクルについて、半導体の熱活性技術を利用した実証事業が、環境省により実施されている状況である。本事業においては、「半導体の熱活性」技術を基に GFRP 等の強化繊維の回収・リサイクルを行うこととしている。

テーマ名	■ 繊維強化プラスチック材の 100%乾式法による完全分解と強化繊維の回収・リサイクル技術
関連機関	■ 環境省
助成事業者	■ 信州大学
予算	■ 88,461,000 円
期間	■ 平成24年6月～平成27年3月
事業の概要	<p>■ 半導体を 350～500度に加熱すると発現する強力な酸化力を使って、ポリマーのような巨大分子をエチレンやプロパンのレベルに裁断化し、空気中の酸素と反応させてH₂OとCO₂に完全分解する「半導体の熱活性」技術を基に、GFRP等の強化繊維の回収・リサイクルを行う</p> <p>■ なお、リサイクル強化繊維の用途については特定しない</p>
対象技術の背景	■ 繊維強化プラスチック は航空機、自動車等に広く用いられているが、壊れない、燃えない、溶剤に溶けないなどの性質が 繊維強化廃棄物の処理を困難にしており、98%以上が埋立材として使われていることから、強化繊維を回収・リサイクルを行い、社会貢献する

技術概要

- GFRP等の繊維強化プラスチック材に酸化物半導体 Cr₂O₃を塗布することでポリマー内に不安定なラジカルを形成する
- そこに約500度の加熱を行うことでポリマー自体が不安定化し、エチレンやプロパンのレベルまで分子が裁断化される
- 裁断化された分子を空気中の酸素と反応させてH₂OとCO₂に完全分解することで、ガラス繊維の織布がほぼ無傷で露出する

分解反応の素過程

1. 強力な酸化システムの構築: **熱励起**
2. ラジカルの自己増殖とラジカル開裂: **巨大分子の断断化**
3. 小分子と酸素との反応: **完全燃焼 (H₂O+CO₂)**

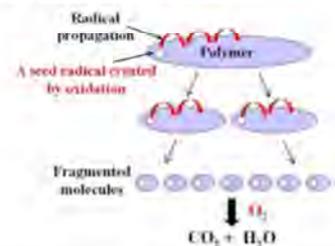


図 3-26 GFRP のリサイクルに関する実証例

出典：環境省「平成 26 年度 環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書」、信州大学「TASC 技術の解説」

リサイクル技術の研究に関する参考としてCFRPのサーマルリカバリーに関する研究実証例を図3-27に示す。

CFRPのサーマルリカバリーについて、燃焼方法ごとの課題を調査する実証事業が、NEDOにより実施されている状況である。本事業においては、シャフト炉、流動床炉、サーモセレクト炉、ロータリーキルンの4種類の炉でのCFRP燃焼実験を実施しており、種類ごとの課題を調査することとしている。

テーマ名	■ 自動車に用いられる炭素繊維複合材料のリサイクル技術に関する検討成果報告書	技術概要	■ シャフト炉、流動床炉、サーモセレクト炉、ロータリーキルンの4種類の炉での燃焼実験が実施され、それぞれに課題が存在		
関連機関	■ NEDO		燃焼方法ごとの今後の課題		
助成事業者	■ 矢野経済研究所		シャフト炉	<ul style="list-style-type: none"> 減温塔の振動篩への詰まりが生じるため、CFRP混合比率を低めたASRでの検証が必要 CFRP混合率は4t/hの操業で10%程度、6t/hの操業で7%程度での再試験 	
予算	■ 40,000,000 円以内		流動床炉	<ul style="list-style-type: none"> 炉内の酸素富化等を実施し、燃焼率向上の検証 炉床の酸素濃度を低下させることで、クリンカの生成の抑制効果を検証 CF混入残渣の後工程における影響評価 	
期間	■ 平成27年～平成28年		サーモセレクト炉	<ul style="list-style-type: none"> 汚泥のさらなる分析により熱交換器の詰まりの原因を明確化 投入量を増加することで、スラグや急冷循環水へのCFの流入を再確認 	
事業の概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既存インフラにCFRPが混入した場合に発生する課題の調査 ■ 処理設備の改良、運転条件の調査研究で既存のリサイクルを継続させる検討 ■ 必要であれば、新規に必要なリサイクル技術の調査検討 		ロータリーキルン	<ul style="list-style-type: none"> ■ CFRPを微粉炭と同水準まで小径化することで、燃焼性の変化を確認 ■ ダストに混入可能なCFの繊維長を確認 	
対象技術の背景	<ul style="list-style-type: none"> ■ CFRPが混入した自動車シュレッダーダストの再資源化処理方法は確立されていないため、埋め立て処理で対応せざるを得ないのが現状である ■ 廃棄物の最終処分場には限りがある中で、CFRPを使用した自動車が埋め立て処理される場合には処理費用が高騰し、CFRPの自動車への活用が阻害されるおそれがあるため、サーマルリカバリー等の他のリサイクル方法を検討する 				

図3-27 CFRPのサーマルリカバリーに関する実証例

出典：NEDO「自動車に用いられる炭素繊維複合材料のリサイクル技術に関する検討成果報告書」

3.3.2 CNFリサイクルの考え方の検討

本項では、CNFのリサイクルを検討するにあたって、CNFリサイクルの考え方を検討した。

CNFリサイクルの考え方を図3-28に示す。

背景	
【方向性①】 マテリアルリサイクルが 可能であること	マテリアルリサイクルしやすい点が他の素材との差別化要因であり、強みを確認する ■ 家電業界: 家電リサイクル法ではほぼマテリアルリサイクルが必須 ■ 自動車業界: 多くの部品がシュレッダーダストとして燃焼・埋立されている一方で、樹脂材が今後普及するにあたり、マテリアルリサイクル可能な点は、CF等との差別化要因
【方向性②】 既存の廃棄物処理プロセスで (大きな)課題が無い	CNFが社会普及した際の、処理時のネガティブ要素を払拭する ■ 既存のリサイクルプロセスに入り込み、プラスチックがマテリアルリサイクルやサーマルリカバリーされた際に社会的に課題が起きてしまうと、CNFの普及は難しい
【方向性③】 CNFによる(リサイクル材の) 付加価値を向上	CNFは多様な用途が可能であり、リサイクルにおいても新たな価値を創出する可能性を確認する ■ リサイクルCNF複合材としての、CNF複合材に次ぐ品質としての流通 ■ リサイクルPP材にCNF(リサイクルCNF+PP)を充填し、リサイクルPPの機能強化

図3-28 CNFリサイクルの考え方

整理の方向性については、①マテリアルリサイクルしやすい点が他の素材との差別化要因であり強みを確認するために「マテリアルリサイクルが可能であること」、②CNFが社会普及した際の、処理時のネガティブ要素を払拭するために「既存の廃棄物処理プロセスで(大きな)課題が無い」、③CNFは多様な用途が可能であり、リサイクルにおいても新たな価値を創出する可能性を確認するために「CNFによる(リサイクル材の)付加価値を向上」、の3つとした。

方向性①の参考として、家電リサイクル法上の義務及び家電リサイクル法の目標値を図3-29に示す。

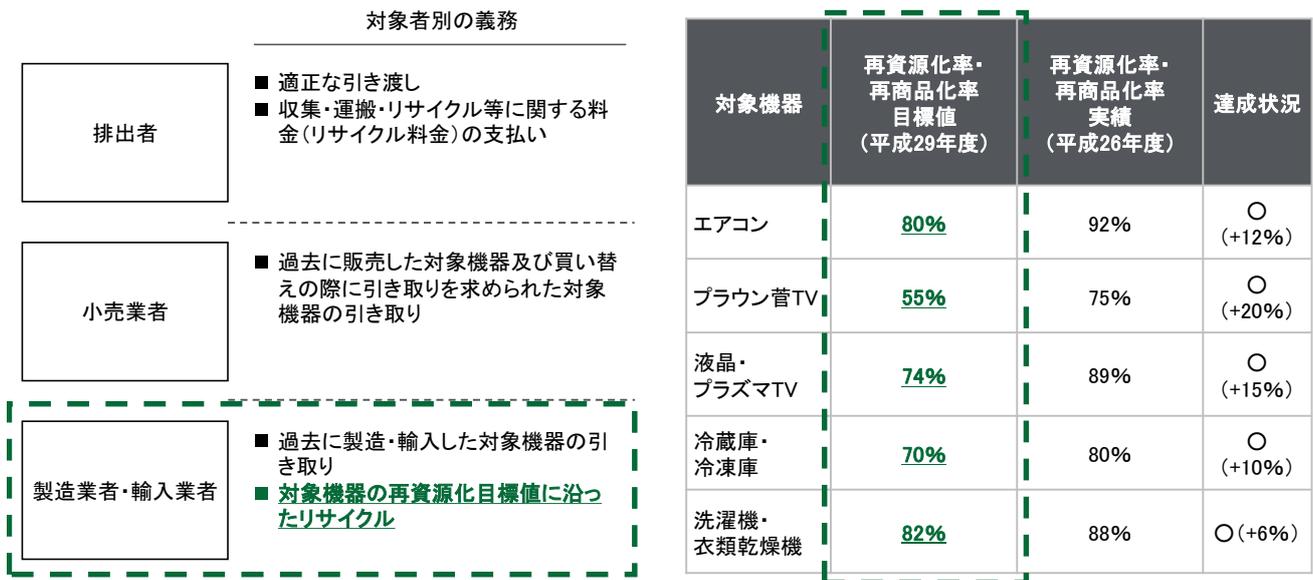


図 3-29 家電リサイクル法上の義務及び家電リサイクル法の目標値

出典：家電製品協会「家電リサイクル年次報告書」

家電リサイクル法では、製造業者による再資源化が義務付けられており、対象機器 5 種類において再資源化率 55%以上という高い目標値が設定されていることから、家電においてマテリアルリサイクルは必須である。

次に方向性①の参考として、使用済み自動車のリサイクルの流れを図 3-30 に示す。

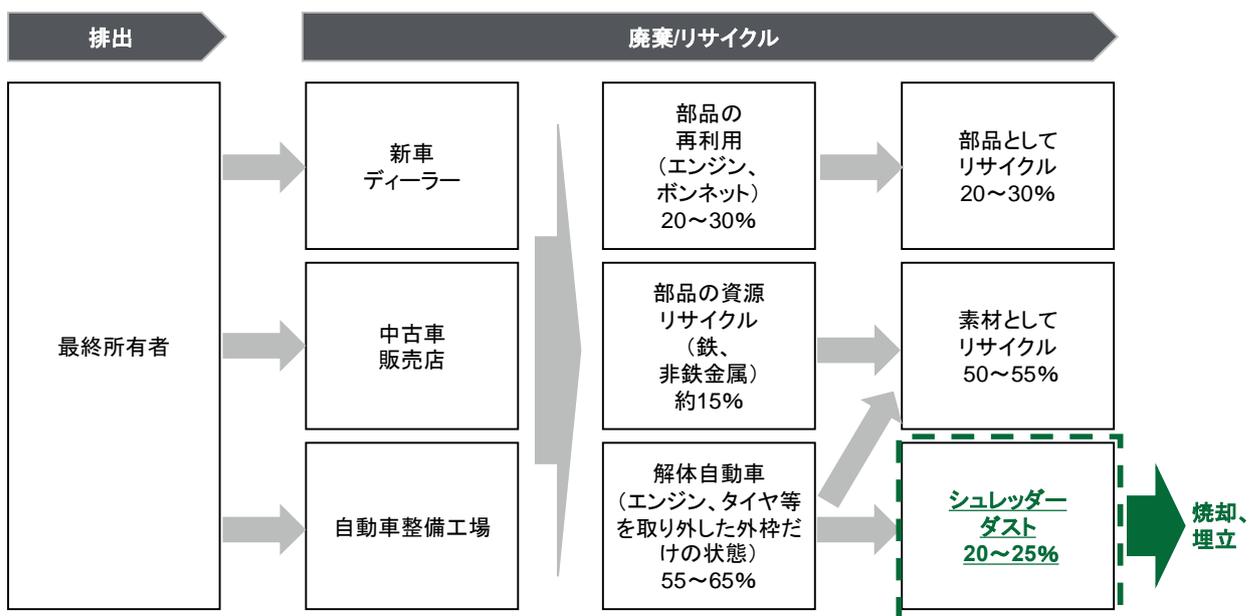


図 3-30 使用済み自動車のリサイクルの流れ

出典：自動車リサイクル促進センター「自動車リサイクル法」

使用済み自動車のうち、20～25%がシュレッダーダストとして、燃焼・埋立されていることから、自動車において樹脂材が今後普及するにあたって、マテリアルリサイクル可能な点は、CF（カーボンファイバー）等との差別化要因となりうる。

3.3.3 リサイクル技術の整理

本項では、CNFリサイクルの課題を抽出するにあたって、前項で検討したCNFリサイクルの考え方を踏まえて、整理対象を検討した。整理対象の検討STEPを図3-31に示す。

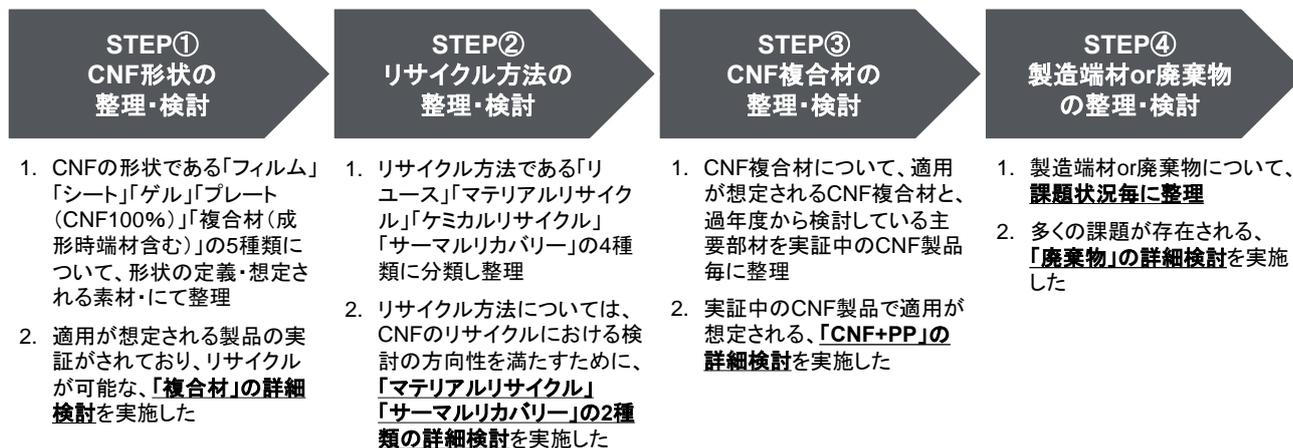


図 3-31 整理対象の検討 STEP

整理対象については、4つのSTEPで検討を実施した。

STEP① CNF形状においては、「フィルム」「シート」「ゲル」「プレート (CNF 100%)」「複合材 (成形時端材含む)」の5種類について形状の定義・想定される素材・にて整理した。

STEP② リサイクル方法においては、「リユース」「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4種類に分類し整理した。

STEP③ CNF複合材種別においては、適用が想定されるCNF複合材と過年度から検討している主要部材を実証中のCNF製品毎に整理した。

STEP④ 製造端材 or 廃棄物においては、課題状況毎に整理、という4つのSTEPに沿って整理を実施した。

まず、STEP①CNF形状の整理・検討内容を図3-32に示す。

CNFの形状では、フィルム、ゲル、シート、プレート（CNF100%材）、複合材、がある中で、「環境省等で適用が想定される製品の実証が実施」かつ「リサイクル可能」な形状である「CNF複合材」を主たる整理対象とした。

また、シートについては適用が想定される製品の実証がされていないため実証が進み次第検討、プレート（CNF100%）については商用化に向けた製品が定まっていないため進捗があり次第検討することとした。

なお、フィルムについては消費財に使用されており容量が限定的だと想定されるため検討対象外、ゲルについては消費財に使用されておりリサイクル不可能のため検討対象外とした。

CNFの形状	形状の定義	想定される素材	適用が想定される製品	検討対象可否
フィルム	■ 薄い膜状に成形したもの	■ CNF	■ 消費財(紙コップ等)	■ 消費財に使用されており、容器包装リサイクル法の対象のうちCNFフィルムの容量が限定的と想定されるため 検討対象外
ゲル	■ 主に増粘剤用途を想定し、高い粘性を持つ液体分散媒のコロイドとしたもの	■ CNF	■ 消費財(ボールペン等)	■ 消費財に使用されており、リサイクル不可能のため 検討対象外
シート	■ 主に電子・光学材料に用いられる、薄く成形したもの	■ CNF	■ 家電	■ 適用が想定される製品の実証がされていないため、 実証が進み次第検討
プレート (CNF100%)	■ CNF100%樹脂で、プレート上に成形したもの	■ CNF	■ 自動車ハニカムボード材等	■ 商用化に向けた製品が定まっていないため、 進捗があり次第検討
複合材	■ プラスチックの成形原料として、主に構造材料用途を想定し、小さな球状、円柱状に成形したもの	■ CNF+PP ■ CNF+エポキシ 等	■ 家電 ■ 建材 ■ 自動車 等	■ 適用が想定される製品の実証がされており、リサイクル可能なため、主たる整理対象とした

図3-32 STEP①CNF形状の整理・検討

出典：京都大学「ナノセルロースシンポジウム2014」、有識者ヒアリング

次に、STEP②リサイクル方法の整理・検討内容を図 3-33 に示す。

リサイクル方法では、リユース、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、がある中で、検討の方向性としてマテリアルリサイクルが可能であることと付加価値の向上を検証するために「マテリアルリサイクル」、CNFのリサイクルにおける検討の方向性として既存の廃棄物処理プロセスに入り込んで課題がないことを検証するために「サーマルリカバリー」を主たる整理対象とした。

また、リユースについては現時点では製品が普及しておらず、商流も存在しないため普及され次第検討、ケミカルリサイクルについては、熱硬化性でのモノマー化の必要性が確認され次第検討することとした。

リサイクル手法	リサイクル手法の定義	検討の方向性
リユース (水平リサイクル)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家電等に使用されていたプラスチック類の部品を、同じ形状で品質の劣化を伴わず再生して再利用すること 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 現時点では製品が普及しておらず、商流も存在しないため、普及され次第検討する
マテリアルリサイクル (材料リサイクル)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廃プラスチック類の廃棄物を、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こと 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFのリサイクルにおける検討の方向性としてマテリアルリサイクルが可能であること、付加価値の向上を検証するため、主たる整理対象とした
ケミカルリサイクル (原料リサイクル)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廃プラスチック類を化学的に分解することで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)として再利用すること 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ケミカルリサイクルは、熱可塑性であればガス化は可能であり、熱硬化性でのモノマー化の必要性が確認され次第検討
サーマルリカバリー (エネルギー回収・利用)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 廃プラスチック類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こと 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFのリサイクルにおける検討の方向性として既存の廃棄物処理プロセスに入り込んで課題がないことを検証するため、主たる整理対象とした

図 3-33 STEP②リサイクル方法の整理・検討

出典：中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 特定家庭用機器の再商品化・適正処理に関する専門委員会「プラスチックのリサイクルについて」

ケミカルリサイクルの参考として、ケミカルリサイクルの種類を図 3-34 に示す。

ケミカルリサイクルは、「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」の 5 種類が存在する。



ケミカルリサイクル方法					
技術分類※1	概要	回収物	加熱温度	技術熟度※2	
原料・モノマー化	亜臨界流体法	■ ベンジルアルコールを加熱して亜臨界状態にして処理し、抽出	CF、樹脂分解物	300～400℃	ラポレベル(熊本大学にて研究段階)
	超臨界流体法	■ 超臨界メタノールを用いてCFRPのマトリクス樹脂であるEPを分解して抽出	CF、硬化前熱樹脂硬化樹脂	250～300℃	ラポレベル(静岡大学にて研究段階)
	熱分解法	■ 加熱分解して繊維を抽出	CF(ミルド)	500～700℃	商用化段階(東レ、帝人、三菱レイヨン)
	電気分解法	■ アルカリ電解液を用いて分解し、攪拌後に抽出	湿式不織布	400～500℃	商用化段階(アイカーボン)
	常圧溶解法	■ リン酸三カリウムとベンジルアルコールを混ぜた処理液にて溶かして抽出	CF(長繊維)	100～200℃	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(廃プラスチック)	■ 不燃物や金属などの異物を取り除き、細かく砕き、押し固めて容積を少なくしたプラスチックを、高炉でコークスの代わりに還元剤として利用	還元剤(製鉄時に使用するコークスの代替)	1,200～2,400℃	商用化段階(JFEスチール、神戸製鉄所等)	
コークス炉化学原料化(廃プラスチック)	■ 廃プラスチックを圧力下で高温で熱分解し、高炉の還元剤となるコークス、化学原料となる炭化水素油、発電などに利用されるコークス炉ガスを得る	コークス、炭化水素油、コークス炉ガス	600～1,300℃	商用化段階(新日本製鐵等)	
ガス化(廃プラスチック)	■ 酸素の量を制限して加熱する事により、プラスチックの大部分が炭化水素、一酸化炭素、そして水素になり、メタノール、アンモニア、酢酸など化学工業の原料に利用	水素、メタノール、アンモニア、酢酸等の化学工業原料、燃料	600～1500℃	商用化段階(昭和電工、新日本製鐵等)	
油化(廃プラスチック)	■ 改質触媒を用いて、プラスチックを完全に熱分解し、炭化水素油を得る	生成油、燃料	400℃	撤退(発火、爆発のリスクやコストが高く、油化に取り組む事業者は撤退)	

※1 環境省のリサイクル方法の定義に基づきDTCにて分類※2 技術熟度の定義 ラポレベル: 技術の研究開発中、応用研究段階: 技術は確立しているが用途開発段階、商用化段階: 市場投入済み

図 3-34 ケミカルリサイクルの種類

出典: プラスチック循環利用協会「プラスチックリサイクルの基礎知識 2016」

次に、STEP③CNF複合材の整理・検討内容を図3-35に示す。

CNF複合材では、適用が想定されるCNF複合材としてCNF+PP、CNF+ゴム、CNF+エポキシ、CNF+PA、CNF+PC、CNF+PVC、CNF+PE、CNF+バイオプラスチック等がある中で、市場普及が図られ環境省事業等で実証も進んでいる、「CNF+PP」を主たる整理対象とした。

また、CNF+ゴム、CNF+エポキシについては、マテリアルリサイクル技術が研究段階にあるため、技術が確立され次第検討、CNF+PA、CNF+PC、CNF+PEについては、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するためPPと同様と想定した。

なお、CNF+PVCについては住宅建材のサッシ事業にて取り扱うことが効率的に望ましいため検討対象外、CNF+バイオプラスチックについては、CNF系廃材としてリサイクルに関する実証が既に進められており、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するため検討対象外とした。

STEP①
CNF形状の
整理・検討
STEP②
リサイクル方法
の整理・検討
STEP③
CNF複合材の
整理・検討
STEP④
製造廃材or廃
棄物の整理・検
討

実証中のCNF製品	適用が想定されるCNF複合材	検討対象可否
自動車	■ CNF+PP(ポリプロピレン): ボディ、インストルメントパネルへの適用	■ CNF+PPIは、適用が想定され実証が進んでいるため、主たる整理対象とした
	■ CNF+ゴム: タイヤへの適用	■ ゴム複合材はマテリアルリサイクル技術が研究段階にあるため、技術が確立され次第検討
	■ CNF+エポキシ: 接着剤、塗料への適用	■ 熱硬化性樹脂は、マテリアルリサイクル技術が研究段階にあるため、技術が確立され次第検討
	■ CNF+PA(ポリアミド): エンジン部材への適用	■ CNF+PAは、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するためPPと同様と想定
	■ CNF+PC(ポリカーボネート): 窓ガラスへの適用	■ CNF+PCは、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するためPPと同様と想定
家電	■ CNF+PP: エアコンの室外機ファンへの適用	■ CNF+PPIは、適用が想定され実証が進んでいるため、主たる整理対象とした
	■ CNF+PP: 冷蔵庫の板金部分への適用	■ 同上
	■ CNF+PP: 洗濯機のバルセータへの適用	■ 同上
住宅建材	■ CNF+PVC(ポリ塩化ビニル): 樹脂サッシへの適用	■ CNF+PVCは、住宅建材のサッシ事業にて取り扱うことが効率的に望ましいため検討対象外
	■ CNF+PE(ポリエチレン): 住宅用断熱材への適用、給湯配管への適用	■ CNF+PEは、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するため検討対象外
	■ CNF+バイオプラスチック: ウッドデッキ等への適用	■ CNF+バイオプラスチックは、CNF系廃材としてリサイクルに関する実証が既に進められており、CNF+PPと同様の課題が想定され重複するため検討対象外

図3-35 STEP③CNF複合材の整理・検討

出典：環境省「平成28年度セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務成果報告書」

次に、STEP④製造端材 or 廃棄物の整理・検討内容を図 3-36 に示す。

製造端材は、平成 28 年度 CNF 性能評価モデル事業において検討を実施しており、今後新たな課題が出た段階で各実証において解決を図ることとし、実証が実施されておらず検証が必要な「廃棄物」を主たる整理対象とした。

STEP①
CNF形状の
整理・検討
STEP②
リサイクル方法
の整理・検討
STEP③
CNF複合材の
整理・検討
STEP④
製造端材or廃
棄物の整理・検
討

製造端材or 廃棄物	概要	リサイクル検討の方向性
製造端材	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材の製造時に発生する端材 ■ 組成はほぼ一定 ■ 市場で利用されていないことから、物性低下等の可能性は低い 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 環境省事業等の実証においては、既に製造プロセスでの端材は、再利用されており。現状において課題は無いとヒアリングにて確認 ■ 今後、新たな課題が出た段階で、各実証において解決を図る方向性
廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF活用製品として市場で利用され、リサイクル施設に運ばれてきた物質 ■ 組成は不均一 ■ 物性低下等の可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実証が実施されておらず、本事業で主たる整理対象とした

図 3-36 STEP④製造端材 or 廃棄物の整理・検討

出典：有識者ヒアリング

3.3.4 リサイクルプロセスの整理

本項では、CNFリサイクルの課題を抽出していくにあたって必要となるリサイクルプロセスを整理した。

リサイクル形態について、CNF含有率が高い順に、CNF複合材、リサイクルCNF複合材（バージンCNF添加）、リサイクルCNF、リサイクルCNF複合材（ミックス材添加）、ミックス材の5種類に定義する。

プロセスの整理にあたって必要となるリサイクル形態の定義を図3-37に示す。

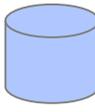
	リサイクル形態	定義
 高 CNF含有率 低	 CNF複合材	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>バージン</u>のCNFをフィラーとして樹脂に複合したもの
	 リサイクルCNF複合材【バージンCNF添加】 (以後R-CNF複合材【バージン添加】と記載)	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材を市場から回収・リサイクルし、<u>CNF含有率をバージンCNFで調整</u>したもの
	 リサイクルCNF複合材 (以後R-CNF複合材と記載)	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材を市場から回収・リサイクルし、<u>CNFの添加によりCNF含有率を調整していないもの</u>
	 リサイクルCNF複合材【ミックス材CNF配合】 (以後R-CNF複合材【ミックス材配合】と記載)	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材を市場から回収・リサイクルし、<u>CNFの添加によりCNF含有率を調整せず、ミックス材と配合</u>したもの
	 ミックス材(リサイクル樹脂)	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材を市場から回収し、<u>他のリサイクル樹脂とミックスして市場に出回るもの</u>

図3-37 リサイクル形態の定義

リサイクル形態の定義を確認した上で、マテリアルリサイクルの方法別プロセスを図 3-38 に示す。

マテリアルリサイクルのCNF+PPについて、回収方法、選別有無、配合・混合内容を考慮すると、CNFのリサイクル～販売までのプロセスは計5種類に分かれる。

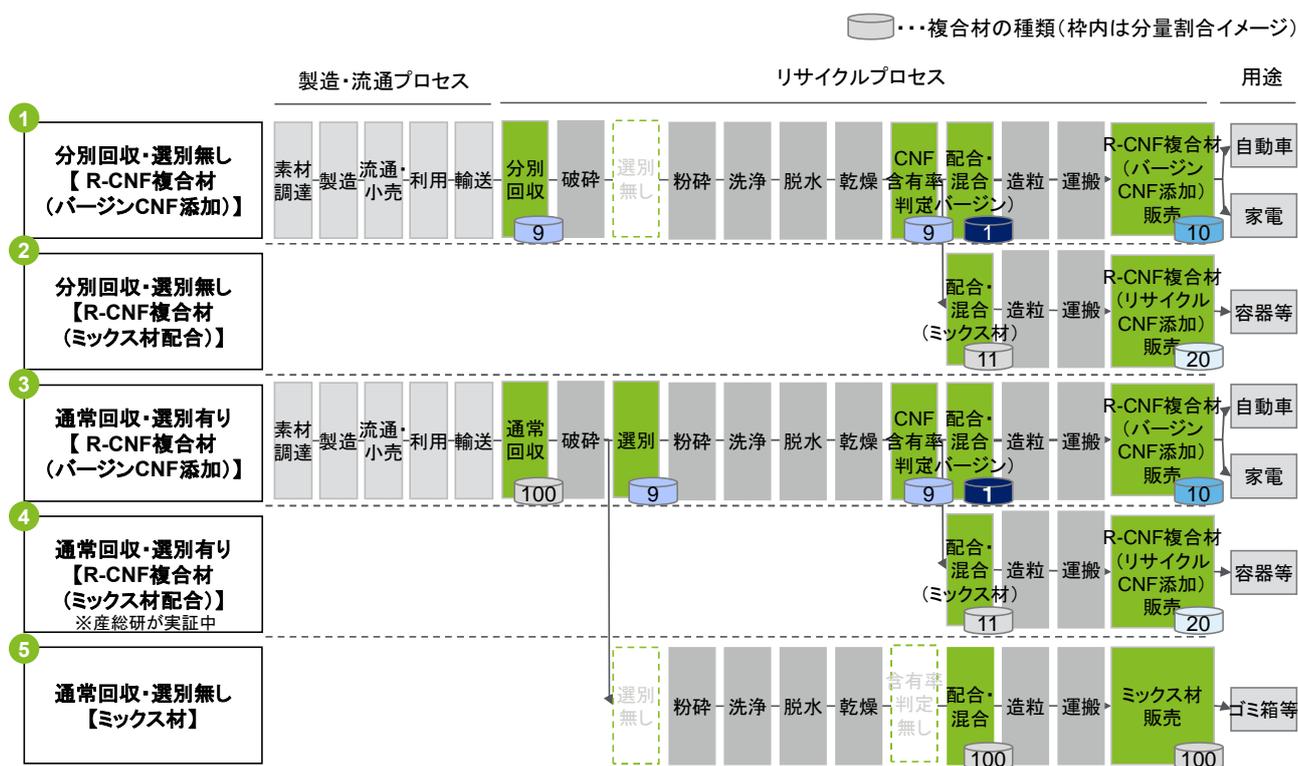


図 3-38 リサイクル方法別プロセス：CNF+PP（マテリアルリサイクル）

次にサーマルリカバリーの方法別プロセスを図 3-39 に示す。

サーマルリカバリーの CNF+PP について、回収方法、選別有無、造粒有無を考慮すると、CNF のリサイクル～販売までのプロセスは計 4 種類に分かれる。

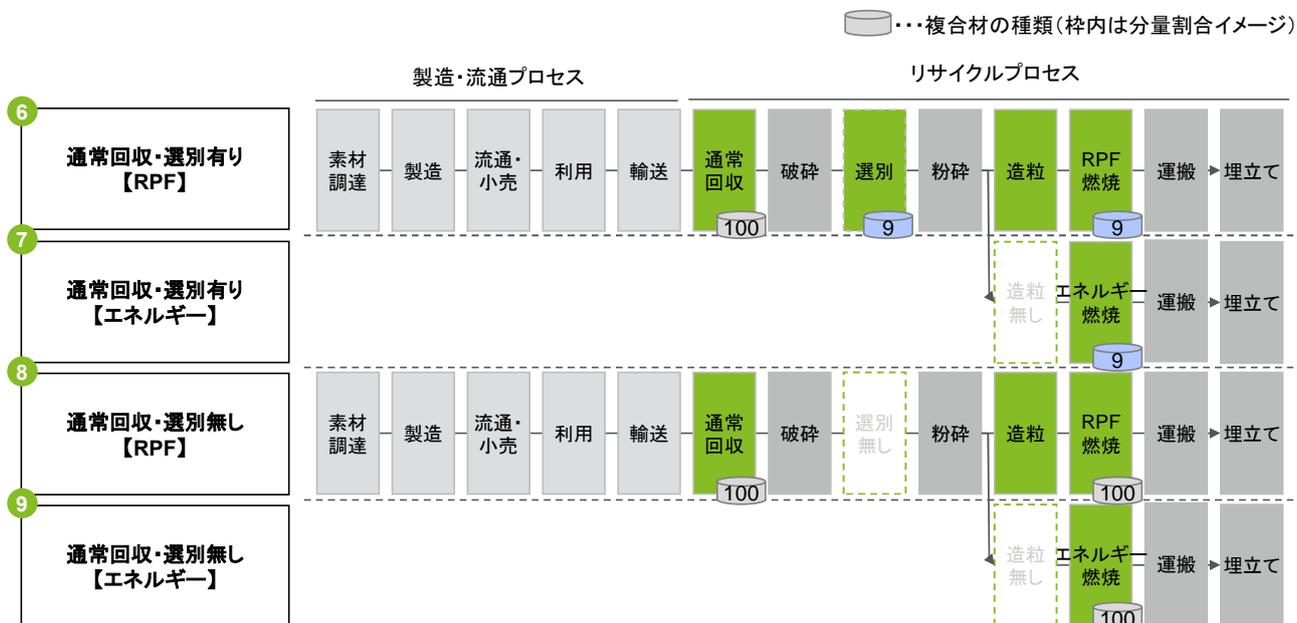
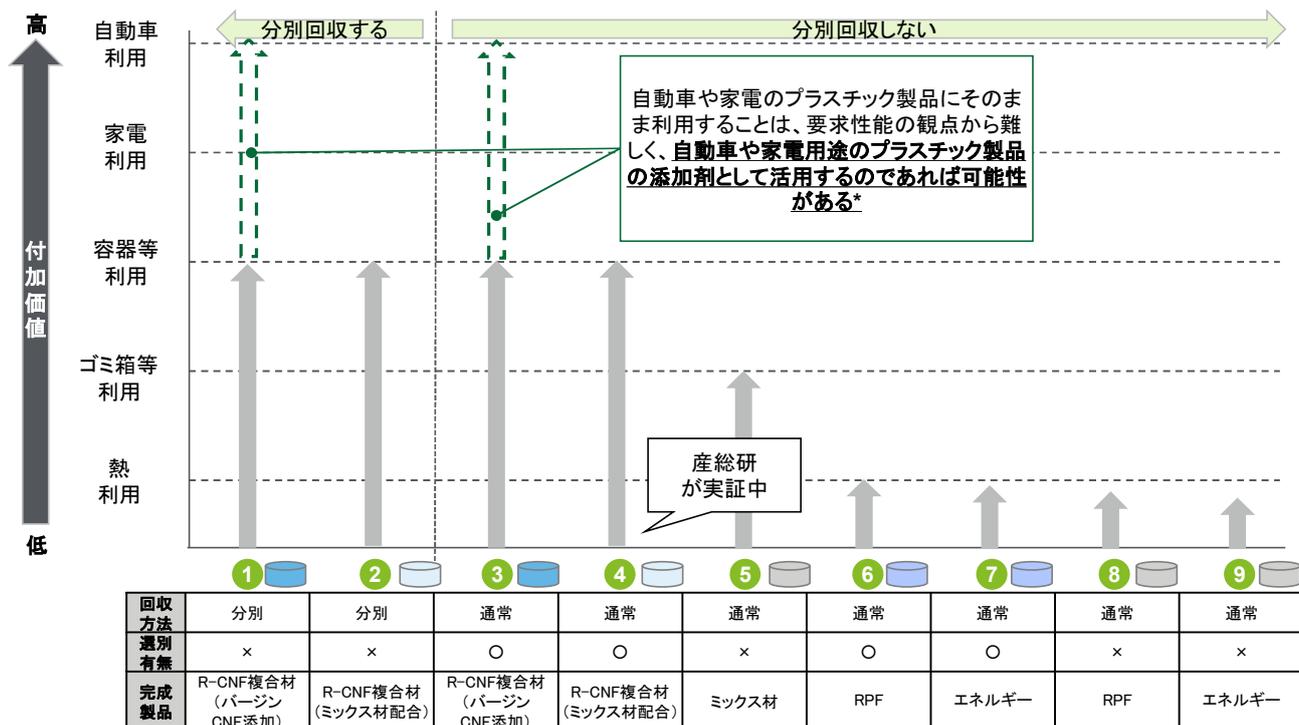


図 3-39 リサイクル方法別プロセス：CNF+PP（サーマルリカバリー）

次に、整理したマテリアルリサイクルとサーマルリカバリーにおける9種類のプロセスの目指すべき付加価値を図3-40に示す。

R-CNF複合材（バージンCNF添加）は、自動車・家電にそのまま利用することは要求性能の観点から難しいため、自動車・家電用途のプラスチック製品の添加剤として活用することを目指すことが考えられる。



※ 有識者ヒアリング

図3-40 リサイクル方法別の付加価値

3.3.5 リサイクルにおける課題の抽出

本項では、前項で整理したリサイクルプロセス毎の技術的・経済的・社会的課題を抽出すると共に、個別リサイクル法の法的課題を抽出した。

まず、プロセス①CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（バージンCNF添加）の技術的・経済的・社会的課題を図3-41に示す。

プロセス①CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（バージンCNF添加）では、回収方法、自動車業界におけるプラスチックリサイクル、人体被害、刃の摩耗、品質保持、採算性が課題となる可能性がある。

自動車・家電向け									
	回収	破碎/粉碎	洗浄	脱水	乾燥	CNF含有率判定	配合・混合	造粒	運搬/販売
概要	■ 一般廃棄物もしくは産業廃棄物として回収	■ 数十cm～数mmの粒度に砕く工程 ■ 一般的に常温乾式破碎	■ 洗浄の方式はバッチ式と連続式がある	■ 水分が付着しているため、予め脱水 ■ 主に遠心脱水方式（バッチ式、連続式）	■ 乾燥方式としては熱風乾燥方式が主 ■ 脱水プロセスとあわせて水分率2～4%とする	■ 赤外線、熱重量分析等によりCNF含有率を判定する	■ バージンCNFを添加し複合率を調整 ■ 添加剤等を配合	■ 粉碎品を押出機に投入し、ペレット化 ■ 造粒時の加熱温度は約200度	■ 再度使用可能な状態で、運搬、販売
プロセスにおける一般的な課題	-	■ 水を使うため排水処理が必要。循環水濾過の場合、濾過装置設置といったコストがかかる	■ 汚れのひどいものは、処理コストが余分にかる	■ 排水負荷の増加	-	-	-	■ 加熱による品質劣化	-
CNF+PPの課題（仮説）	■ 一般廃棄物回収の場合自治体によって廃棄ルールが統一されておらず、CNF複合材の分別回収が難しい 技-1 ■ 産業廃棄物回収の場合、廃プラとしてまとめてリサイクル業者が回収してしまう為、CNF複合材の分別回収が難しい 技-2 ■ 自動車業界でプラスチックのリサイクルの概念がほぼ無い 社-1	■ 破碎時の粉塵による人体被害 社-2 ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 技-3	-	-	■ リサイクル回数に応じて、洗浄と乾燥のプロセスが繰り返されることによる、品質劣化の可能性はない 技-4	-	■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化 技-5 ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤として使用できるか不明 技-7	■ CNF添加での熱溶融温度の上昇から造粒温度の上昇による、物性値の変化 技-6	■ 分別回収することでR-CNF複合材リサイクルCNF添加+バージンCNF添加として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要 経-1

図3-41 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：

CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（バージンCNF添加）

出典：京大大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」、国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター「プラスチックの処理・リサイクル技術」、有識者ヒアリング

次にプロセス②CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（ミックス材配合）の技術的・経済的・社会的課題を図3-42に示す。

プロセス②CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（ミックス材配合）では、回収方法、人体被害、刃の摩耗、品質保持、採算性が課題となる可能性がある。

		容器等向け								
		回収	破碎/粉碎	洗浄	脱水	乾燥	CNF含有率判定	配合・混合	造粒	運搬/販売
概要		■ 一般廃棄物もしくは産業廃棄物として回収	■ 数十cm～数mmの粒度に砕く工程 ■ 一般的に常温乾式破碎	■ 洗浄の方式はバッチ式と連続式がある	■ 水分が付着しているため、予め脱水 ■ 主に遠心脱水方式（バッチ式、連続式）	■ 乾燥方式としては熱風乾燥方式が主 ■ 脱水プロセスとあわせて水分率2～4%とする	■ 赤外線、熱重量分析等によりCNF含有率を判定する	■ ミックス材、添加剤等を配合	■ 粉碎品を押出機に投入し、ペレット化 ■ 造粒時の加熱温度は約200度	■ 再度使用可能な状態で、運搬、販売
プロセスにおける一般的な課題			■ 水を使うため排水処理が必要。循環水濾過の場合、濾過装置設置といったコストがかかる	■ 汚れのひどいものは、処理コストが余分にかる	■ 排水負荷の増加				■ 加熱による品質劣化	
CNF+PP、の課題（仮説）		■ 一般廃棄物回収の場合、自治体によって廃棄ルールが統一されておらず、CNF複合材の分別回収が難しい 技-1 ■ 産業廃棄物回収の場合、廃プラとしてまとめてリサイクル業者が回収してしまう為、CNF複合材の分別回収が難しい 技-2	■ 破碎時の粉塵による人体被害 社-2 ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 技-3			■ リサイクル回数に応じて、洗浄と乾燥のプロセスが繰り返されることによる、品質劣化の可能性はない 技-4		■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化 技-5	■ CNF添加での熱溶融温度の上昇から造粒温度の上昇による、物性値の変化 技-6	■ 分別回収することでR-CNF複合材（リサイクルCNF添加）+ミックス材として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要 経-1

図3-42 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：
CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材（ミックス材配合）

出典：京大大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」、国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター「プラスチックの処理・リサイクル技術」、有識者ヒアリング

次にプロセス③CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（バージンCNF添加）の技術的・経済的・社会的課題を図3-43に示す。

プロセス③CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（バージンCNF添加）では、自動車業界におけるプラスチックリサイクル、人体被害、選別方法、刃の摩耗、品質保持、採算性が課題となる可能性がある。

自動車・家電向け									
	回収	破碎/選別/粉碎	洗浄	脱水	乾燥	CNF含有率判定	配合・混合	造粒	運搬/販売
概要	■ 一般廃棄物もしくは産業廃棄物として回収	■ 数十cm～数mmの粒度に砕く工程 ■ 一般的に常温乾式破碎 ■ 比重、風力、静電気などの手法のうち主に比重式を用いる	■ 洗浄の方法はバッチ式と連続式がある	■ 水分が付着しているため、予め脱水 ■ 主に遠心脱水方式（バッチ式、連続式）	■ 乾燥方式としては熱風乾燥方式が主 ■ 脱水プロセスとあわせて水分率2～4%とする	■ 赤外線、熱重量分析等によりCNF含有率を判定する	■ バージンCNFを添加し複合率を調整 ■ 添加剤等を配合	■ 粉碎品を押出機に投入し、ペレット化 ■ 造粒時の加熱温度は約200度	■ 再度使用可能な状態で、運搬、販売
プロセスにおける一般的な課題	—	■ 水を使うため排水処理が必要。循環水濾過の場合、濾過装置設置といったコストがかかる ■ 手選別だと、人件費がかかる	■ 汚れのひどいものは、処理コストが余分にかかる	■ 排水負荷の増加	—	—	—	■ 加熱による品質劣化	—
CNF+PP、の課題（仮説）	■ 自動車業界でプラスチックのリサイクルの概念がほぼ無い	■ 破碎時の粉塵による人体被害 社-2 ■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要 技-8 ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 技-3	—	—	■ リサイクル回数に応じて、洗浄と乾燥のプロセスが繰り返されることによる、品質劣化の可能性はない 技-4	—	■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化 技-5 ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤として使用できるか不明 技-7	■ CNF添加での熱溶融温度の上昇から造粒温度の上昇による、物性値の変化 技-6	■ 選別することでR-CNF複合材リサイクルCNF添加+バージンCNF添加として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要 経-1

図3-43 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：
CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（バージンCNF添加）

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」、
国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター「プラスチックの処理・リサイクル技術」、有識者ヒアリング

次にプロセス④CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（ミックス材配合）の技術的・経済的・社会的課題を図3-44に示す。

プロセス④CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（ミックス材配合）では、人体被害、選別方法、刃の摩耗、品質保持、採算性が課題となる可能性がある。

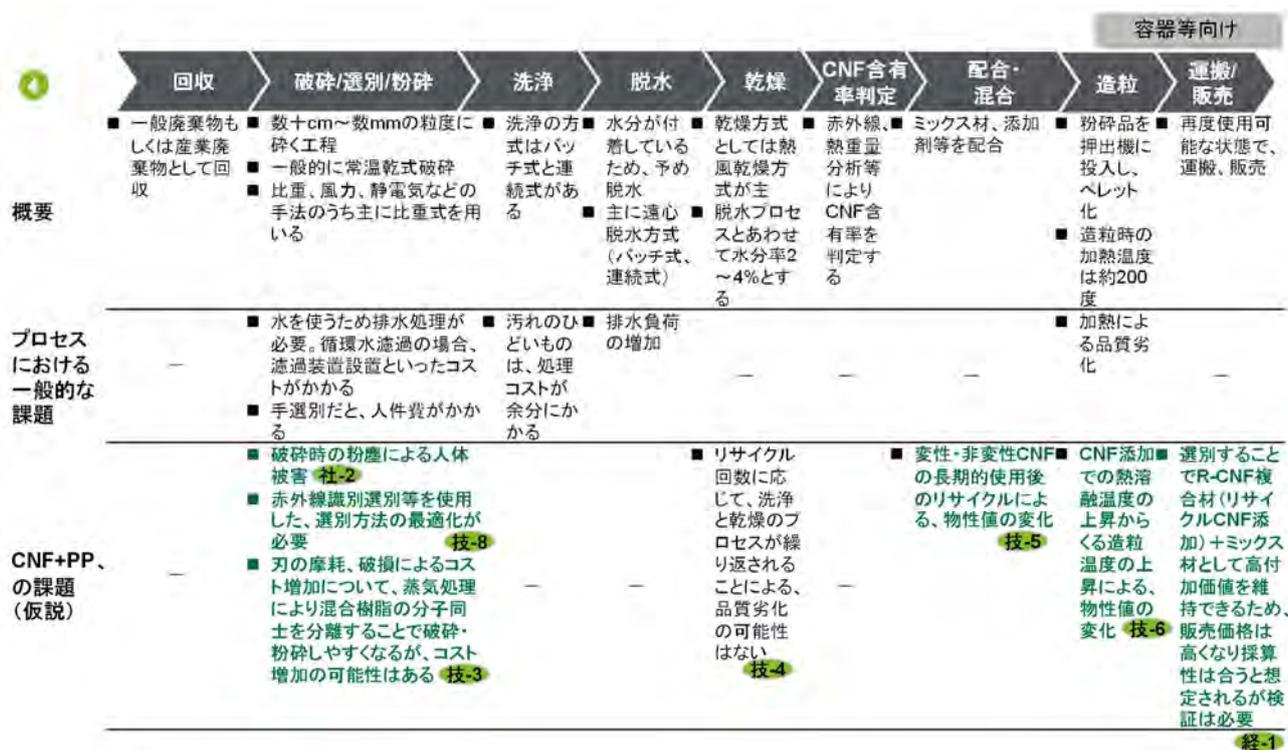


図3-44 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：
CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材（ミックス材配合）

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」、
国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター「プラスチックの処理・リサイクル技術」、有識者ヒアリング

次にプロセス⑤CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別無し・ミックス材の技術的・経済的・社会的課題を図3-45に示す。

プロセス⑤CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別無し・ミックス材では、人体被害、刃の摩耗、採算性が課題となる可能性がある。

		ゴミ箱等向け							
		回収	破碎/粉碎	洗浄	脱水	乾燥	配合・混合	造粒	運搬/販売
概要		■ 一般廃棄物もしくは産業廃棄物として回収	■ 数十cm～数mmの粒度に砕く工程 ■ 一般的に常温乾式破碎	■ 洗浄の方式はバッチ式と連続式がある	■ 水分が付着しているため、予め脱水 ■ 主に遠心脱水方式（バッチ式、連続式）	■ 乾燥方式としては熱風乾燥方式が主 ■ 脱水プロセスとあわせて水分率2～4%とする	■ 所要の物性に適合したプラスチック組成を得るために添加剤等を配合	■ 粉碎品を押し出し機に投入し、ペレット化 ■ 造粒時の加熱温度は約200度	■ 再度使用可能な状態で、運搬、販売
プロセスにおける一般的な課題		-	■ 水を使うため排水処理が必要。循環水濾過の場合、濾過装置設置といったコストがかかる	■ 汚れのひどいものは、処理コストが余分ににかかる	■ 排水負荷の増加	-	-	■ 加熱による品質劣化	-
CNF+PP、の課題（仮説）		-	■ 破碎時の粉塵による人体被害 社-2 ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 技-3	-	-	-	■ ごみ箱等の消費財においては、リサイクル素材でできており、性能に関する課題は無い	-	■ 分別回収・選別を実施しないため高付加価値を維持できないが、処理コストも安いので採算性は合うと想定されるが検証は必要 経-1

図3-45 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：

CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別無し・ミックス材

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技術開発品」、国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター「プラスチックの処理・リサイクル技術」、有識者ヒアリング

次にプロセス⑥CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・RPFの技術的・経済的・社会的課題を図3-46に示す。

プロセス⑥CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・RPFでは、人体被害、選別方法、刃の摩耗、RPFとしての品質保証が課題となる可能性がある。

	回収	破碎/選別/粉碎	造粒	燃焼	運搬/埋立て
概要	<ul style="list-style-type: none"> ■ 一般廃棄物もしくは産業廃棄物として回収 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 数十cm～数mmの粒度に砕く工程 ■ 一般的に常温乾式破碎 ■ 比重、風力、静電気などの手法のうち主に比重式を用いる 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 粉碎品を押出機に投入し、ペレット化(固形燃料:RPF) ■ 造粒時の加熱温度は約200度 	<ul style="list-style-type: none"> ■ RPFを燃焼し、熱エネルギーを回収 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃え残りを運搬し、最終的に埋め立て処理する
プロセスにおける一般的な課題	—	<ul style="list-style-type: none"> ■ 水を使うため排水処理が必要。循環水濾過の場合、濾過装置設置といったコストがかかる ■ 手選別だと、人件費がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 加熱による品質劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ダイオキシソクソクといった排ガスの処理が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸送コスト ■ 産廃による環境負荷がある
CNF+PPの課題(仮説)	—	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破碎時の粉塵による人体被害 社-2 ■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要 ■ 刃の摩耗、技-8によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 技-3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFの影響で発熱量が増加しすぎ、RPFとして利用する際の品質を保証できない 技-9 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 燃焼時の粉塵は、燃焼した結果CO2とH2O分解されるため人体への影響は低いと想定されるが、可能性はある 社-3 	—

図3-46 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：

CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・RPF

出典：京大生生存圏研究所矢野浩之「京大生生存研・京都市産技研開発品」JFE環境社ウェブサイト「RPF製造」、株式会社ウィングクリンウェブサイト「ペレット製造ライン」、有識者ヒアリング

次にプロセス⑦CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・エネルギーの技術的・経済的・社会的課題を図3-47に示す。

プロセス⑦CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・エネルギーでは、人体被害、選別方法、刃の摩耗が課題となる可能性がある。

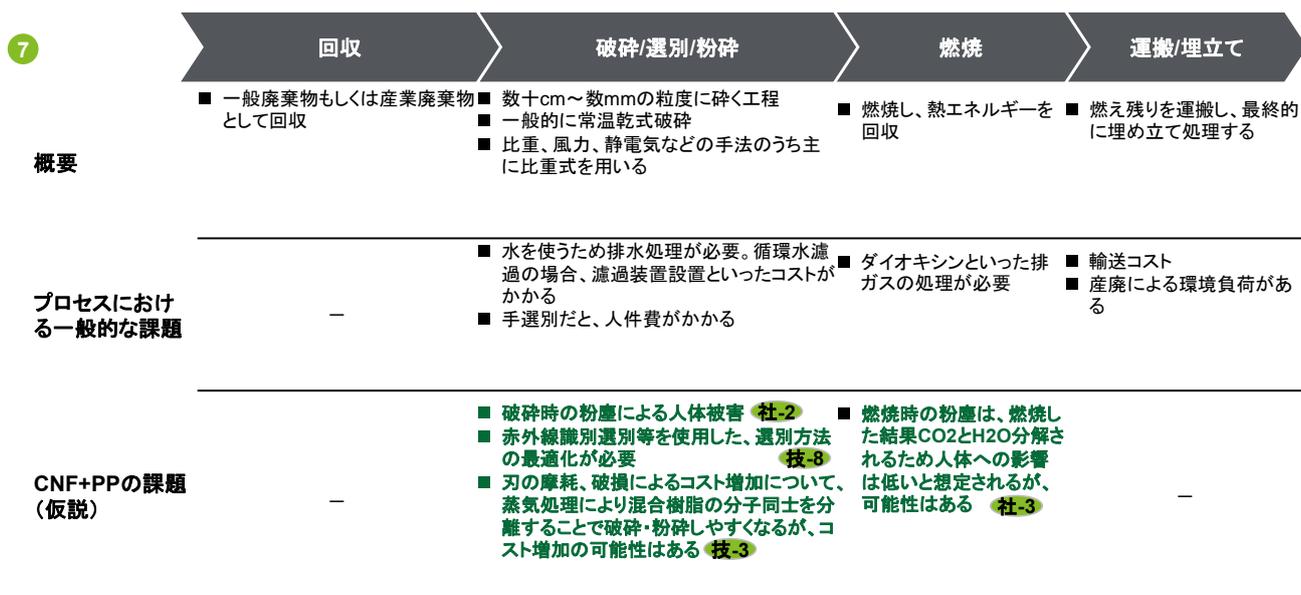


図3-47 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：

CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別有り・エネルギー

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」JFE環境社ウェブサイト「RPF製造」、株式会社ウィンクリンウェブサイト「ペレット製造ライン」、有識者ヒアリング

次にプロセス⑧CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・RPFの技術的・経済的・社会的課題を図3-48に示す。

プロセス⑧CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・RPFでは、人体被害、刃の摩耗、RPFとしての品質保証が課題となる可能性がある。

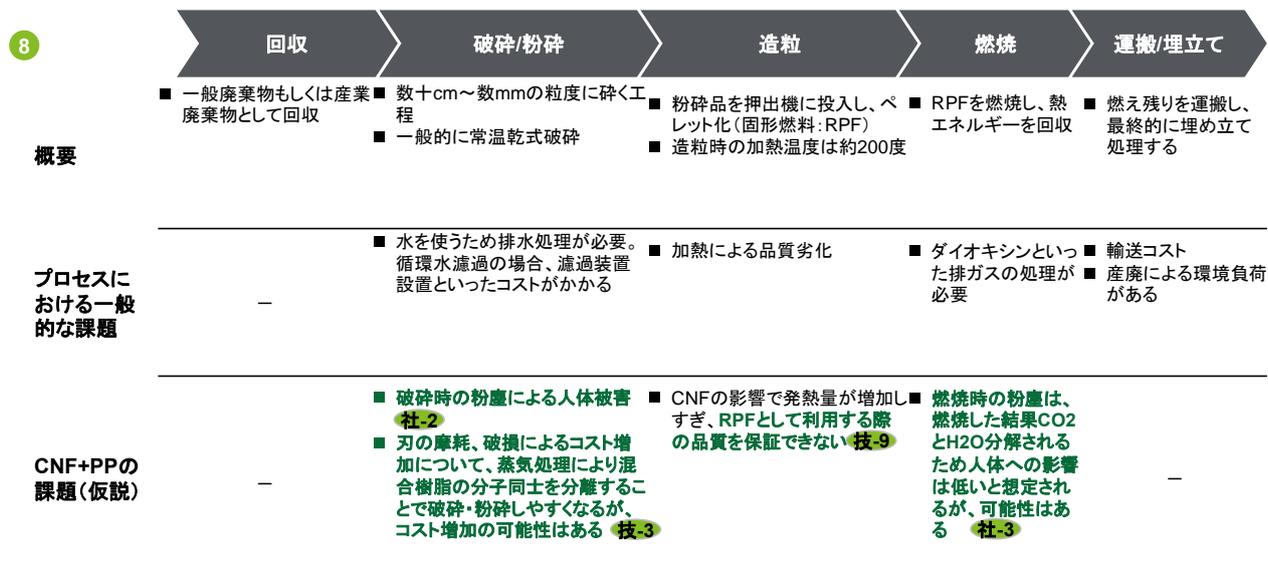


図3-48 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：
CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・RPF

出典：京大大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」JFE環境社ウェブサイト「RPF製造」、株式会社ウィンクリンウェブサイト「ペレット製造ライン」、有識者ヒアリング

次にプロセス⑨CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・エネルギーの技術的・経済的・社会的課題を図3-49に示す。

プロセス⑨CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・エネルギーでは、人体被害、刃の摩耗、RPFとしての品質保証が課題となる可能性がある。

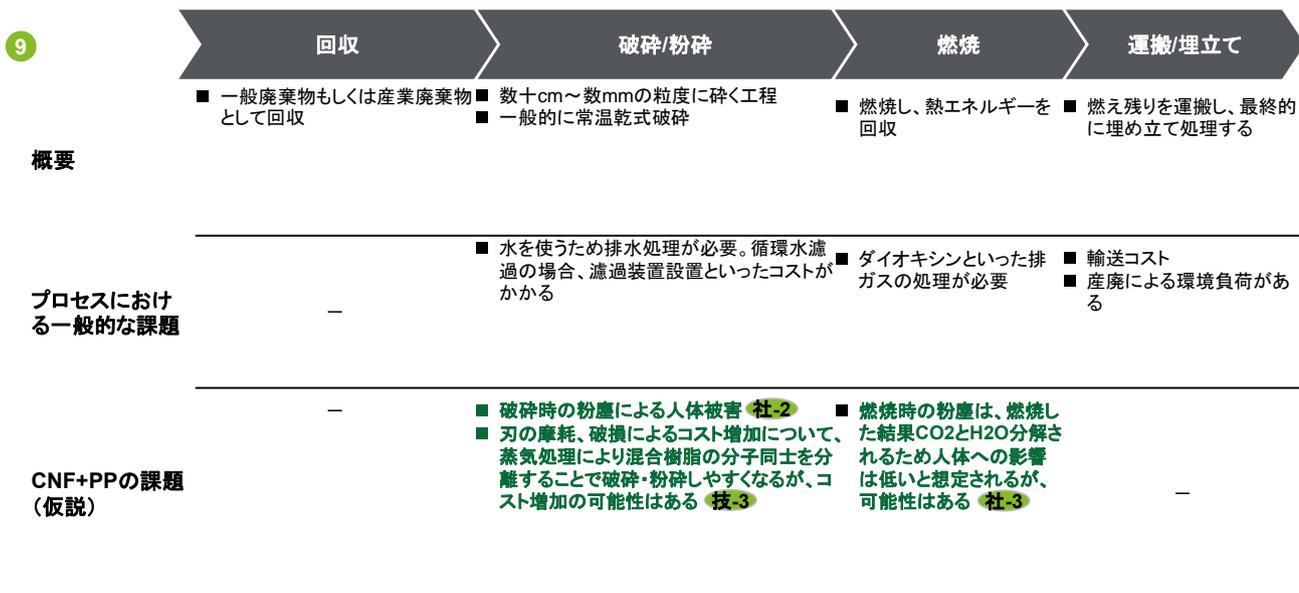


図3-49 リサイクルプロセスと技術的・経済的・社会的課題：

CNF+PP・サーマルリカバリー：通常回収・選別無し・エネルギー

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」JFE環境社ウェブサイト「RPF製造」、株式会社ウィンクリンウェブサイト「ペレット製造ライン」、有識者ヒアリング

次に実証中のCNF製品に関わる個別リサイクル毎の法的課題を図3-50に示す。

CNFリサイクルの法的課題については、自動車リサイクル法と家電リサイクル法において、リサイクル法の目標達成の実現可能性が課題となる可能性がある。

実証中のCNF製品に関わる個別リサイクル法	概要	課題
自動車リサイクル法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車製造業者・輸入業者は、製造又は輸入した自動車在使用済となった場合、自動車から発生するフロン類、エアバッグ類及びシュレッダーダストを引き取り、リサイクルを実施し、自動車所有者は、リサイクル料金を負担し、使用済となった自動車を引取業者に引き渡すことが義務付けられる <ul style="list-style-type: none"> ・ 再資源化率目標(シュレッダーダスト70%、エアバッグ類85%) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車リサイクル法の定める再資源化率目標については、リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある 法-1
家電リサイクル法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家庭用エアコン・テレビ電気冷蔵庫・電気冷凍庫・電気洗濯機・衣類乾燥機について、小売業者による引取り、製造業者等(製造業者、輸入業者)による再商品化等(リサイクル)、消費者(排出者)による廃棄時の収集運搬料金とリサイクル料金の支払い、が義務付けられる <ul style="list-style-type: none"> ・ 再商品化率基準(エアコン80%、ブラウン管TV55%、液晶・プラズマTV74%、冷蔵庫・冷凍庫70%、洗濯機・衣類乾燥機82%) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家電リサイクル法の定める再資源化率目標については、リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある 法-1
建設リサイクル法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 特定建設資材(コンクリート、アスファルト・コンクリート、木材)を用いた建築物等に係る解体工事又はその施工に特定建設資材を使用する新築工事等であって一定規模以上の建設工事について、その受注者等に対し、分別解体等及び再資源化等を行うことが、義務付けられる <ul style="list-style-type: none"> ・ 特定建設資材(アスファルト・コンクリート塊98%以上、コンクリート塊98%以上、建設発生木材95%以上、建設汚泥82%以上、建設廃棄物全体94%以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 住宅建材においてCNF+PPの適用は想定されていないため、課題は存在しない

図3-50 CNFリサイクルにおける法的課題の整理

出典：環境省ウェブサイト、経済産業省「自動車リサイクル法の施行状況」、家電製品協会「家電リサイクル年次報告書」、国土交通省「建設リサイクル推進計画2014」、有識者ヒアリング

3.3.6 課題に対する対応策の検討

本項では、前項にて抽出した技術的・経済的・社会的・法的課題に対する対応策について、現状の技術動向や有識者ヒアリング結果を基に検討した。

まず、CNF複合材の単体回収可能性について図3-51に示す。

CNF複合材のみで分別回収する場合、家電は拡大生産者責任の考え方のもとCNF複合材単体で回収可能だが、自動車はシュレッターダストとして燃焼・埋立されるためCNF複合材単体での回収が難しく、識別表示や複合率の規格化といったルール形成が必要と考えられる。

技術的課題									経済的課題			社会的課題			法的課題		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3	1	2	3

	リサイクル方法	CNF複合材の単体回収可能性
自動車	<ul style="list-style-type: none"> 自動車リサイクル法のもと、フロン類・エアバッグ類以外は、エンジン、バンパー等再利用可能な部品を除きシュレッターダストとしてまとめて回収し、再資源化 	<ul style="list-style-type: none"> 一般廃棄物及び産業廃棄物の場合、自動車リサイクルルート(引取業者⇒フロン回収業者⇒解体業者⇒破碎業者⇒ASR再資源化施設)には乗るが、シュレッターダストとして燃焼・埋立されるため、新たにプラスチックの回収プロセスを構築してCNF複合材単体で回収することは難しいと想定
家電	<ul style="list-style-type: none"> 家電リサイクル法のもと、家庭用エアコン・テレビ電気冷蔵庫・電気冷凍庫・電気洗濯機・衣類乾燥機等の種類ごとに回収し、再資源化 	<ul style="list-style-type: none"> 家電リサイクル法のもと、最終的に製造メーカーに戻ってくるため(拡大生産者責任※)、CNF複合材単体で回収することが可能と想定

※ 生産者が、その生産した製品が使用され、廃棄された後においても、当該製品の適正なリサイクルや処分について一定の責任を負うという考え方

図3-51 CNF複合材の単体回収可能性の検討

出典：環境省「拡大生産者責任関係の法制度について」、有識者ヒアリング

次に、刃の摩耗・破損の可能性に対する対応策を図 3-52 に示す。

刃の摩耗・破損によるコスト増加について、PLLA（開環重合後ポリ乳酸）・PBS・PC 複合材は、120 度程度で蒸気処理を実施することにより樹脂同士が分離されることから、CNF 複合材においても、蒸気処理を実施することで破碎時の刃の摩耗・破損が減り、破碎・粉砕がしやすくなるため可能性は低いですが、検証は必要と考えられる。

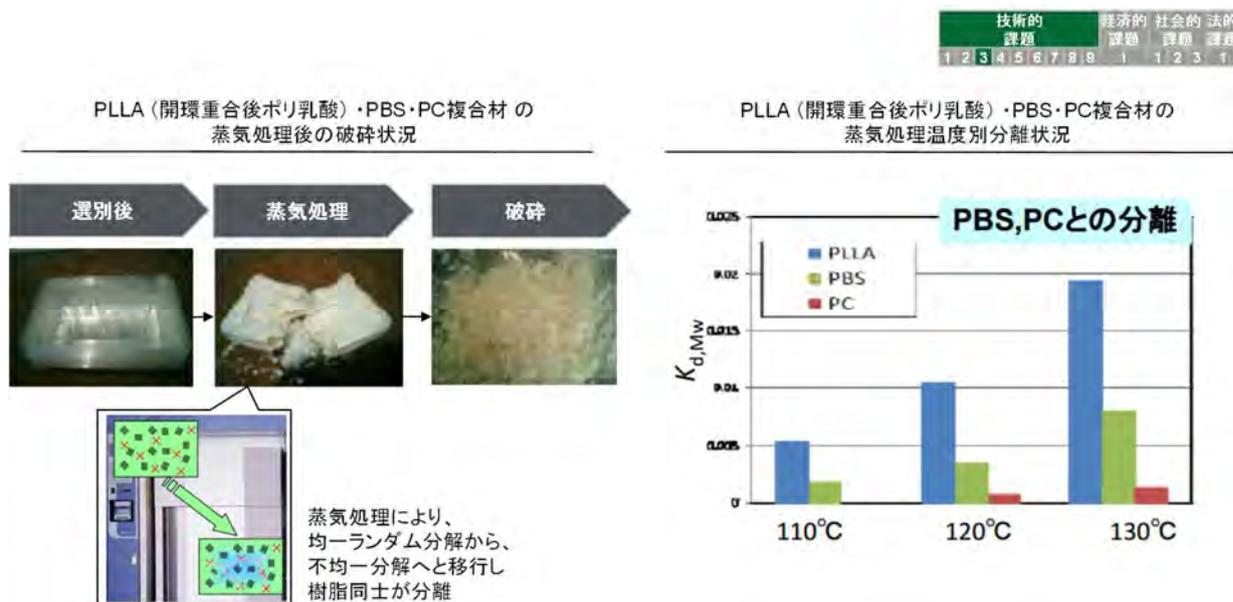


図 3-52 刃の摩耗、破損の可能性に対する対応策

出典：九州工業大学大学院生命体工学研究科・九州工業大学エコタウン実証研究センター
「プラスチック・バイオマスの過熱水蒸気による有効利用」、有識者ヒアリング

刃の摩耗に関する課題への参考情報として、C N F 同様の物性を持つ GFRP の粉碎方法を図 3-53 に示す。

GFRP では、粉碎刃の摩耗を前提として、コストの低い柔らかい刃を使用し、摩耗が少ない他の素材の粉碎を先に行い、最後に摩耗しやすい GFRP を粉碎し、その後研磨する方式を取っている。

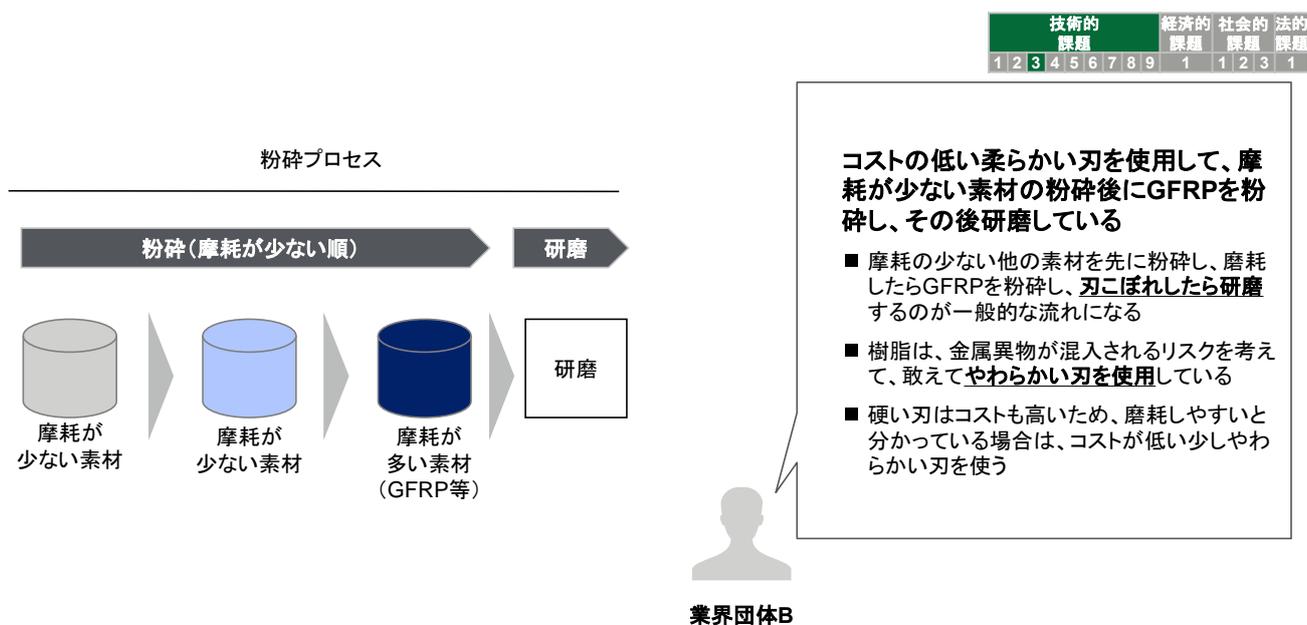


図 3-53 GFRP の粉碎方法

出典：有識者ヒアリング

次に、リサイクル後のCNF複合材の物性評価について図3-54に示す。

短期間利用での成形→粉砕→成形のフローにおいて、20%CNF強化HDPEの引張弾性率・引張強度は低下しないが、CNF+PPの長期的利用での物性、CNF添加での熱溶融温度の上昇からくる造粒温度の上昇後の物性については不明であり検証が必要と考えられる。

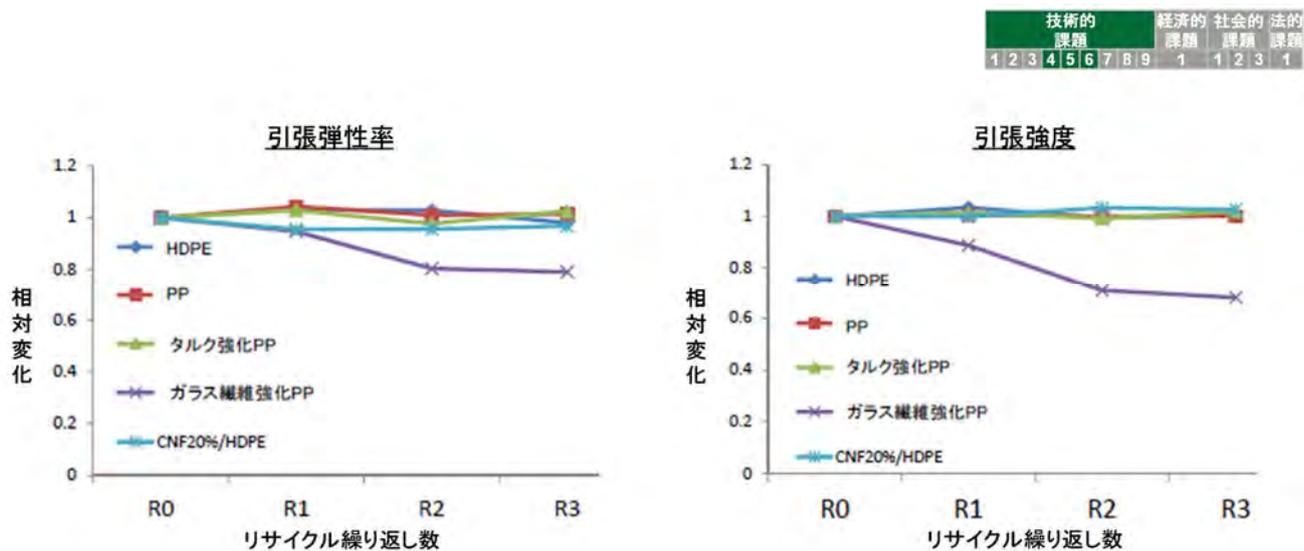


図3-54 物性評価（成形→粉砕→成形フロー）

出典：京都大学生存圏研究所矢野浩之「京大生存研・京都市産技研開発品」

次に、リサイクル樹脂の自動車・家電用途への可能性について図 3-55 に示す。

リサイクルCNFを自動車や家電に利用する場合、樹脂性能のバラツキが課題となり、そのまま利用することは難しいため、R-CNF複合材（ミックス材配合）を自動車・家電用途の添加剤に活用するために品質の検証が必要と考えられる。

技術的 課題			経済的 課題			社会的 課題			法的 課題					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3

自動車や家電にリサイクル樹脂を利用する場合は、原料となるリサイクル樹脂の性能のバラツキが課題となる為、自動車や家電用途のプラスチック製品をアップグレードさせる添加剤として活用する方が現実的

- 自動車や家電にリサイクル樹脂を利用する場合は、原料となる**リサイクル樹脂の性能のバラツキが課題**となる
- 用途によっては、オーバースペックで製品を製造していれば問題ないが、自動車や家電の用途では、オーバースペックの場合、部品によって他の性能に影響する可能性があるため、**リサイクル樹脂のばらつきを考慮した、オーバースペック製品での展開が難しい**ケースもある
- よほど自動車部品や家電部品に精通しているメーカーでない限り**ケースバイケースでの対応は難しい**
- 自動車メーカーや家電メーカーと**密な情報交換ができればケースバイケースでの対応は可能**だが、自動車メーカーや家電メーカーは**簡単に情報交換させてくれない**のが現状である
- 以上の理由から、他のプラスチック廃材と同様にCNF複合廃材を回収・リペレット化し、**自動車や家電のプラスチック製品にそのまま使用することは難しい**と考えており、**自動車や家電用途のプラスチック製品をアップグレードさせる添加剤として活用する方が現実的**である
- 仮にそのまま利用するのであれば、建材や日用品などの**スペックが低い用途がターゲット**となる



研究機関C

図 3-55 R-CNF複合材（ミックス材配合）の自動車・家電用途への可能性

出典：有識者ヒアリング

次に、選別方法別のCNF複合材の選別可能性について図3-56に示す。

赤外線識別選別は、大量処理に関する更なる検証が必要であり、かつ黒色素材の識別が難しく自動車への使用が難しいものの最も選別可能性が高く、その他のレーザー有機プラズマ分光選別・蛍光X線選別・ラマン分光選別等も含めた選別方法の最適化に関する検証が必要だと考えられる。

また、比重選別においては、一定以上のCNF含有率を持つ複合材は全て水に沈んでしまうため、全てのCNF複合材の選別は難しいと考えられる。

選別方法	選別方法の概要	CNF複合材の選別の可能性	課題								
			技術的			経済的			社会的 法的		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
比重選別	<ul style="list-style-type: none"> 物質の比重の違いを利用して、水、風、遠心力等により選別する方法 	<ul style="list-style-type: none"> 水比重選別において、一定以下のCNF含有率を持つ複合材であれば、選別できるが、一定以上のCNF含有率を持つ複合材は全て水に沈んでしまうため、全てのCNF複合材の選別は難しい 比重が同程度の廃プラが混在する場合も、選別は難しい 									
赤外線識別選別	<ul style="list-style-type: none"> 物質に赤外線を当て、吸収される波長の違いを識別して、選別する方法 	<ul style="list-style-type: none"> 特定の波長帯において素材ごとに特徴があるため、一定時間赤外線を当てることで選別は可能だが、大量処理する際に赤外線を当てる時間が短くなる場合は、選別が難しく、今後更なる検証が必要 黒色の素材の場合、赤外線識別が難しい為、自動車に使用されていた素材の選別が難しい 									
レーザー有機プラズマ分光選別	<ul style="list-style-type: none"> 物質にレーザーを集光照射して、物体表面に瞬間的にプラズマを発生させ、その発光スペクトルを検知することで、元素の定性・定量を行い、選別する方法 	<ul style="list-style-type: none"> レーザー誘起プラズマを活用することで、金属やプラスチックなど幅広い物質の選別が可能だが、CNF複合材を大量処理する際にレーザーを当てる時間が短くなる場合の選別可否、黒色プラスチックの選別可否については検証が必要 									
蛍光X線選別	<ul style="list-style-type: none"> 物質にX線を照射すると、物質に含まれる元素特有の蛍光線が発生し、この蛍光X線を半導体検出器で検出し、エネルギーから元素の種類を、X線の強さから元素の濃度を算出し、選別する方法 	<ul style="list-style-type: none"> 10%以下の細かい塩素濃度別にPVCを選別することが可能だが、CNF複合材を大量処理する際に蛍光X線を当てる時間が短くなる場合の選別可否、黒色プラスチックの選別可否については検証が必要 									
ラマン分光選別	<ul style="list-style-type: none"> 光が物質に入射した際の、入射光と異なった波長をもつ光(ラマン散乱光)の性質を調べることにより、選別する方法 	<ul style="list-style-type: none"> 臭素系難燃剤のDeBDEを添加したPPを含有率毎に選別することが可能だが、大量処理時の選別可否に関する検証が必要(識別スピードは赤外線識別、蛍光X線に劣る) 黒色廃プラの選別も可能だが、表面に凹凸がある場合識別が難しい 									

※ 蛍光X線では、測定時間2~3秒で、10%単位レベルで含有率別に選別することが可能

図3-56 リサイクル時の選別方法

出典：一般財団法人家電製品協会、有識者ヒアリング

選別方法の参考として、比重選別と赤外線識別選別の技術動向を図 3-57 に示す。

比重選別については、実証事業は進んでいるが CNF 含有率別の選別は難しく、CNF 複合材の選別の可能性は低いと想定される。

赤外線識別選別においても実証事業が進んでおり、黒色樹脂の選別は出来ないが、中赤外分光方式は CNF 含有率 50% 以上の場合のみ選別の可能性があり、近赤外線分光方式は CNF 含有率 10% でも選別が可能であり、CNF 複合材の選別の可能性が高い。ただし、近赤外線分光方式は CNF 複合材の認識率は、現段階では 30% とされている。

		技術的課題									経済的課題			社会的課題			法的課題		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3	1	2	3
選別方法	実証実験結果																		
比重選別法	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF+PPIにおいて、CNF含有率0%では比重0.9で、CNF含有率10%で比重0.96、CNF含有率50%で比重1.2になり、CNF含有率17%を超えると水に沈むという結果が得られたことから、PPとCNF+PPの選別の可能性がある 																		
中赤外分光方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF+PPIにおいて、CNF含有率50%では違いが認識できたが、CNF含有率15%では違いが確認できず、CNF含有率50%以上の場合のみ、PPとCNF+PPの選別の可能性がある 																		
近赤外分光方式	<ul style="list-style-type: none"> ■ PP、PS、ABS、CNF+PP (CNF含有率10%以上)、CNF+ABS (CNF含有率10%以上)の違いが確認でき、CNF複合材の選別の可能性がある ■ 黒色プラスチックの選別は難しい 																		

近赤外分光方式が、多くの樹脂を選別することが可能
(ただし、現段階では認識率30%)

図 3-57 比重選別・赤外線識別選別における技術動向

出典：有識者ヒアリング

選別方法の参考として、近赤外分光方式+エアジェット選別の技術動向を図 3-58 に示す。
 近赤外分光方式+エアジェットを使用した選別装置の実証実験も進んでおり、3種の樹脂を同時選別することによりリサイクルの効率性が向上し、選別プロセスにかかるCO₂が約10～50%削減できる可能性がある。

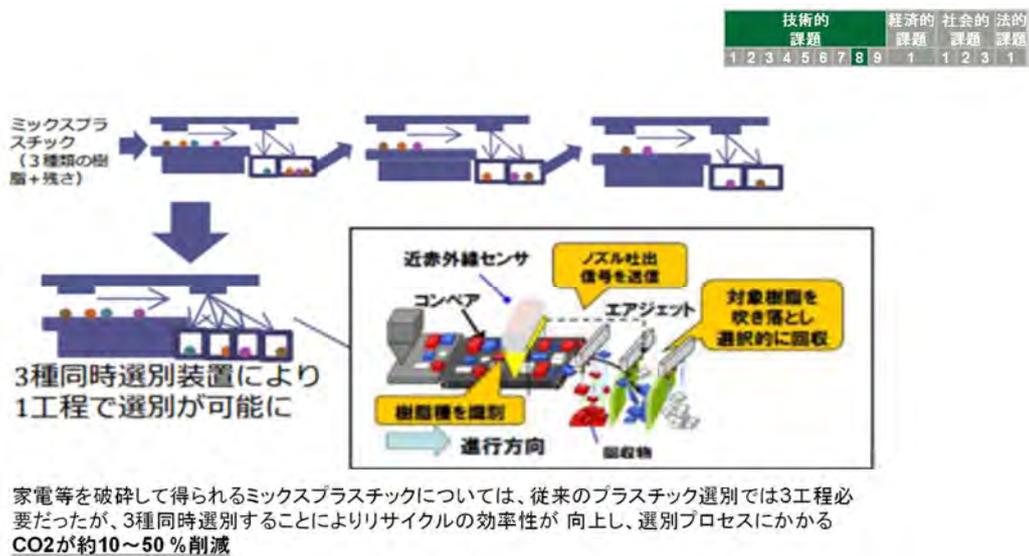


図 3-58 赤外線識別+エアジェット選別における技術動向

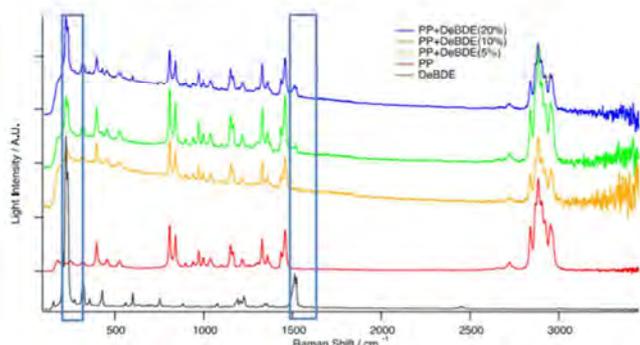
出典：環境省「省CO₂型リサイクル高度化設備導入促進事業概要」、
 公益財団法人 廃棄物・3R研究財団プレスリリース

選別方法の参考として、ラマン分光選別の技術動向を図 3-59 に示す。

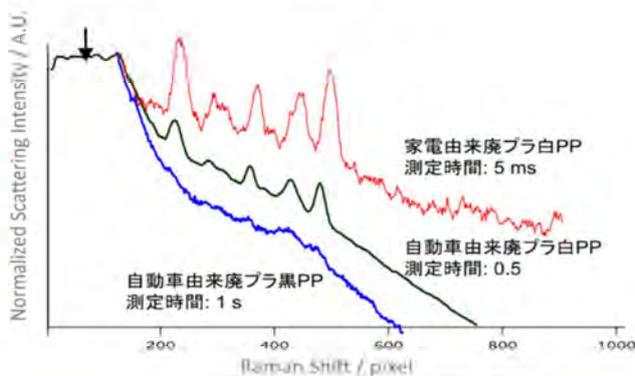
ラマン分光選別の実証事業も進んでおり、臭素系難燃剤の DeBDE を添加した PP は含有率毎に識別可能であるが、CNF 複合材の選別において大量処理時の選別可否や表面の凹凸状況による黒色廃プラの識別可能性について検証が必要である。

技術的課題									経済的課題			社会的課題			法的課題		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3	1	2	3

PP に臭素系難燃剤(DeBDE)を添加したサンプルのラマンスペクトル



ASR由来「黒色」廃プラスチックのラマン散乱測定



ラマン分光を活用することで、臭素系難燃剤のDeBDEを添加したPPを含有率毎に選別することが可能だが、大量処理*時の選別可否に関する検証が必要(識別スピードは赤外線識別、蛍光X線に劣る)

ラマン分光を活用することで、黒色廃プラの選別も可能だが、表面に凹凸がある場合識別が難しい

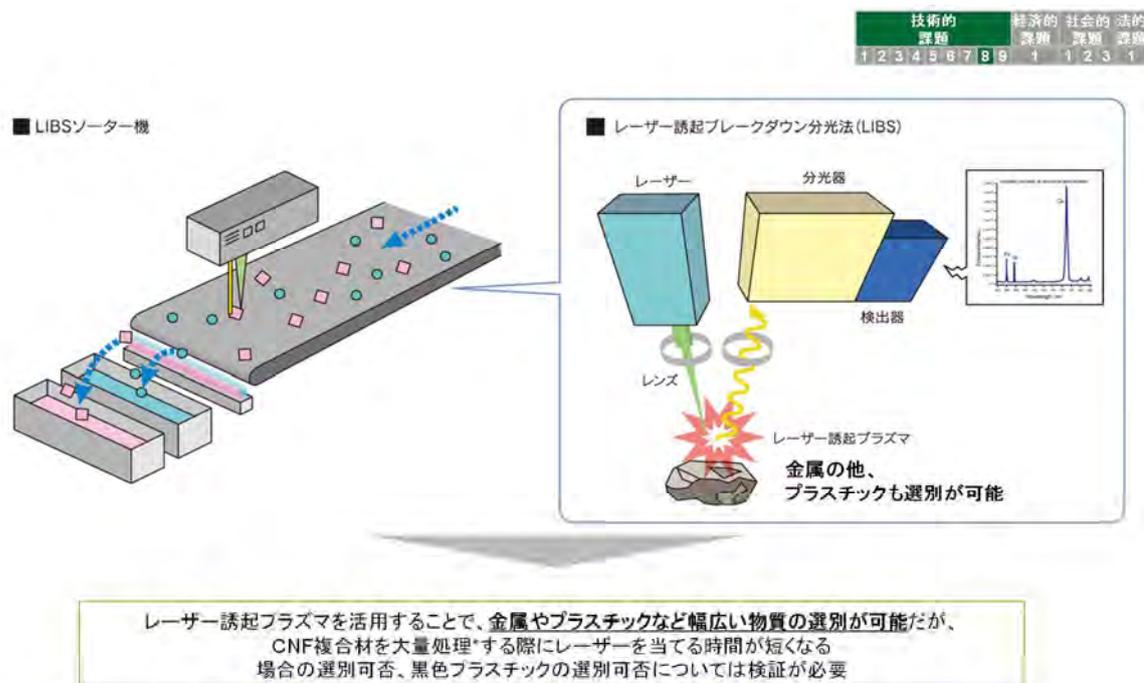
※ 蛍光X線では、測定時間2~3秒で、10%単位レベルで含有率別に選別することが可能

図 3-59 ラマン分光選別における技術動向

出典：環境省「平成27年度低炭素型3R技術・システム実証事業」、ダイオーエンジニアリング「エアロソータⅢ機器仕様」、有識者ヒアリング

選別方法の参考として、レーザー有機プラズマ分光選別の技術動向を図3-60に示す。

レーザー有機プラズマ分光選別の実証事業も進んでおり、金属・プラスチックの選別も可能ではあるが、CNF複合材に適用するには、黒色プラの選別可否や大量処理時の選別可否に関する検証が必要である。



※ 蛍光X線では、測定時間2~3秒で、10%単位レベルで含有率別に選別することが可能

図3-60 レーザー有機プラズマ分光選別における技術動向

出典：ハリタ金属「LIBS PROJECT（経済産業省実証事業）」、東京インスツルメンツ「高感度ダブルパルス LIBS」

選別方法の参考として、蛍光 X 線選別の技術動向を図 3-61 に示す。

蛍光 X 線選別において、測定時間が 30 秒であれば 10%以下の細かい塩素濃度別に PVC は選別可能だが、CNF 複合材に適用するには、黒色プラの選別可否や大量処理時の選別可否に関する検証が必要である。

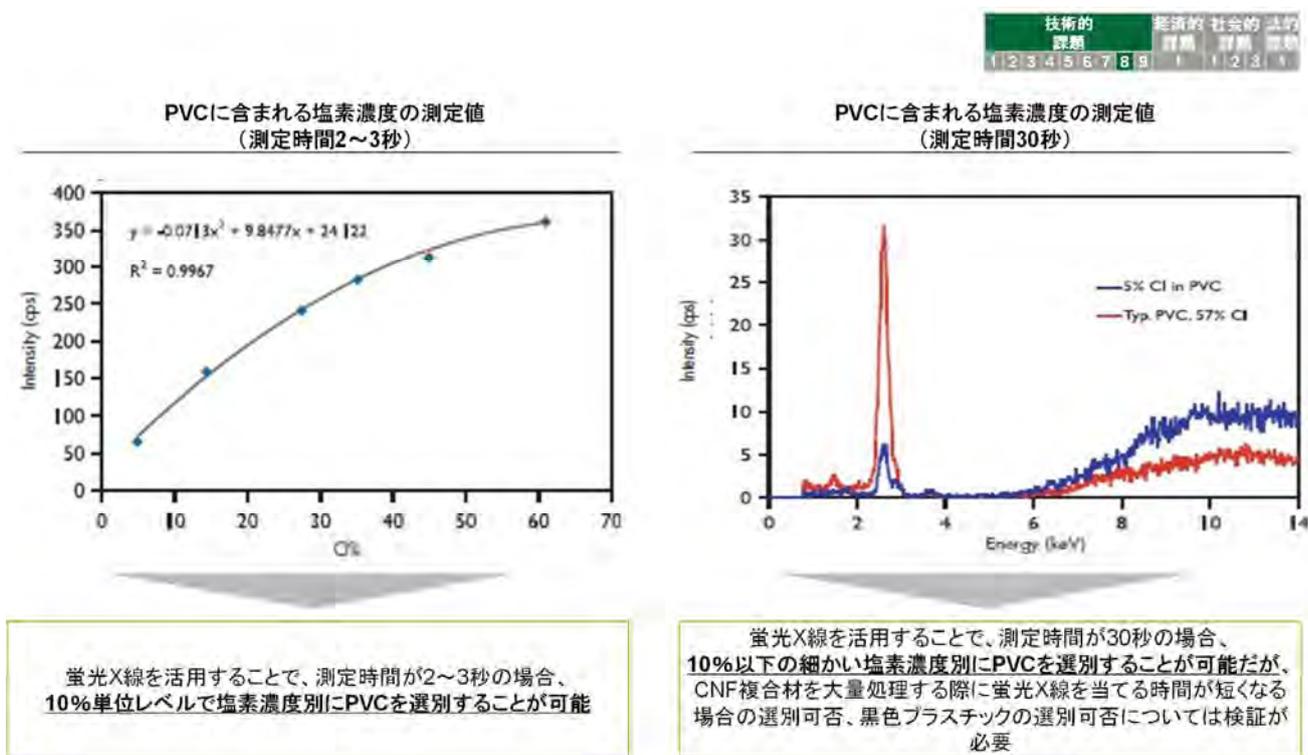


図 3-61 蛍光 X 線選別における技術動向

出典：オリンパス「ハンドヘルド蛍光 X 線分析計を使用した、PVC 中の塩素の分析」

次にCNF含有率判定プロセスにおける、熱重量分析による判定について図3-62に示す。
 SBR（スチレン・ブタジエンゴム）とカーボンブラックにおいても熱重量分析にて含有率の判定が可能であり、CNF複合材についても、熱重量分析を行うことで、分解温度の違いにより含有率を判定することが可能である。

技術的	経済的	社会的	法的
課題	課題	課題	課題
1 2 3 4 5 6 7 8	1	1 2 3 4	1

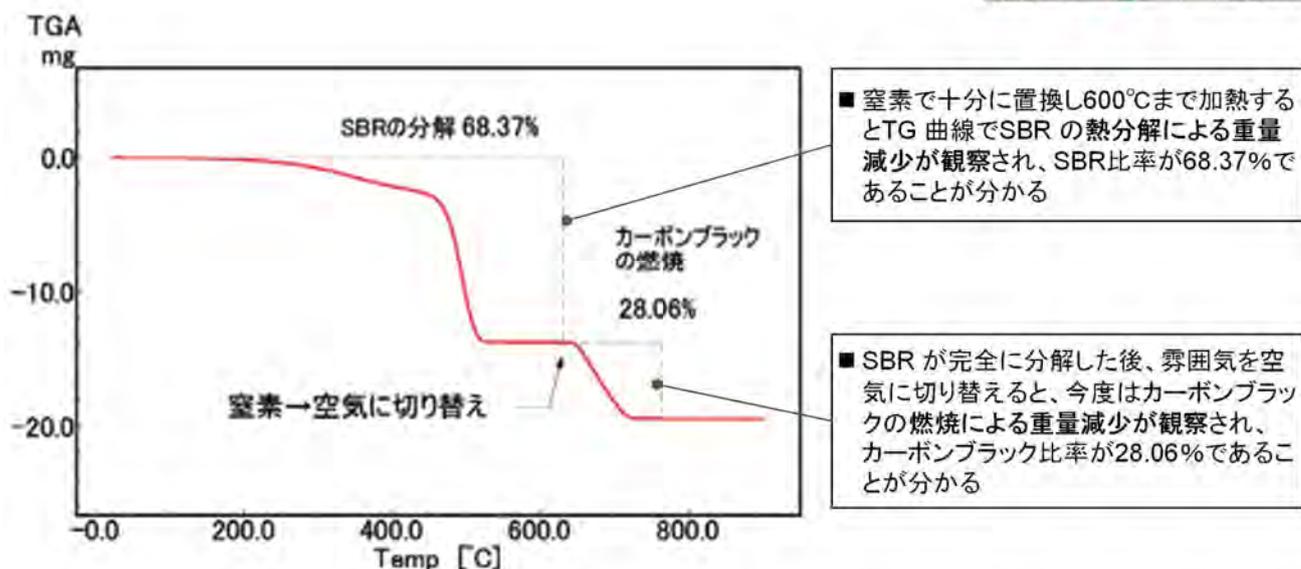


図3-62 CNF含有率別の判定方法：熱重量分析によるSBRの分解とカーボンブラックの定量分析
 出典：一般社団法人 日本分析機器工業会「熱重量測定装置の原理と応用」、有識者ヒアリング

次に、RPF に求められる品質基準について図 3-63 に示す。

RPF は高位発熱量、水分質量分率、灰分質量分率、全塩素分質量分率によって等級が分かれている中で、CNF 複合材のリサイクル品は CNF の影響で発熱量が増加しすぎてしまい RPF として利用する際の品質を保証できないため、RPF として利用する際の品質を保証できるか検証が必要である。

技術的 課題	経済的 課題	社会的 課題	法的 課題
1 2 3 4 5 6 7 8 9	1	1 2 3	1

品種*1 等級*2	RPF-coke*3	RPF*4			測定方法
	-	A	B	C	
高位発熱量 MJ/kg	33以上	25以上	25以上	25以上	JIS Z7302-2
水分 質量分率(%)	3以下	5以下	5以下	5以下	JIS Z7302-3
灰分 質量分率(%)	5以下	10以下	10以下	10以下	JIS Z7302-4
全塩素分 質量分率(%)	0.6以下	0.3以下	0.3を超え0.6以下	0.6を超え2.0以下	JIS Z7302-6

*1 品種は、高位発熱量によって区分する *2 等級は、全塩素分の質量分率(%)によって区分する *3 コークス並みの高位発熱量を持つRPF *4 石炭並みの高位発熱量を持つRPF

図 3-63 RPF に求められる品質基準

出典：一般社団法人 日本 RPF 協会

次に、完成製品別のリサイクルコストと売却価格について図 3-64 に示す。

R-CNF 複合材（バージン CNF 添加）は、バージン CNF 添加によるコストが高い分、付加価値が高いことから売却価格も高いため採算は合うと想定され、R-CNF 複合材（ミックス材添加）は、ミックス材添加によりコストが高い分、R-CNF 複合材（バージン CNF 添加）ほどではないものの付加価値が高いことから売却価格も高いため採算は合うと想定され、ミックス材は、売却価格は低い、その分コストも低いため、採算は合うと想定されるが、実際の採算性については検証が必要である。

完成製品	リサイクルコスト	売却価格	採算性	課題													
				技術的			経済的			社会的			法的				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	2	3	1
R-CNF 複合材 (バージン CNF 添加)	<ul style="list-style-type: none"> ■R-CNF 複合材（バージン CNF 添加）にするため、CNF 複合材添加コストが発生し、コストは高い ■CNF 製品流通量が増え、リサイクル技術が上がればリサイクルコストは更に下がる 	<ul style="list-style-type: none"> ■CNF 複合材と混合されているため、売却価格は高い 	<ul style="list-style-type: none"> ■リサイクルコストは高いが、その分売却価格が高いため、採算は合う ■CNF 製品流通量が増え、リサイクル技術が上がればリサイクルコストは更に下がる 														
R-CNF 複合材 (ミックス材配合)	<ul style="list-style-type: none"> ■R-CNF 複合材（ミックス材配合）にするため、ミックス材配合・混合コストが発生し、コストは高い ■CNF 製品流通量が増え、リサイクル技術が上がればリサイクルコストは更に下がる 	<ul style="list-style-type: none"> ■ミックス材と混合されているため、R-CNF 複合材（バージン CNF 添加）よりも売却価格は低い 	<ul style="list-style-type: none"> ■リサイクルコストは高いが、その分売却価格が高いため、採算は合う 														
ミックス材	<ul style="list-style-type: none"> ■様々な廃棄物と混合したままのため、処理は少なく、コストも安い 	<ul style="list-style-type: none"> ■様々な廃プラと混合されているため、売却価格は低い 	<ul style="list-style-type: none"> ■売却価格は低い、その分リサイクルコストが低いため、採算は合う 														

図 3-64 リサイクルコストと売却価格

次に自動車業界でのプラスチックのリサイクルに対する概念について図 3-65 に示す。

自動車に使用されているプラスチックは収集運搬効率が低いことやコストがかかるといった理由から、自動車に使用されるプラスチックのリサイクルの概念がなく、大半が焼却・埋立されているため、リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証が必要である。

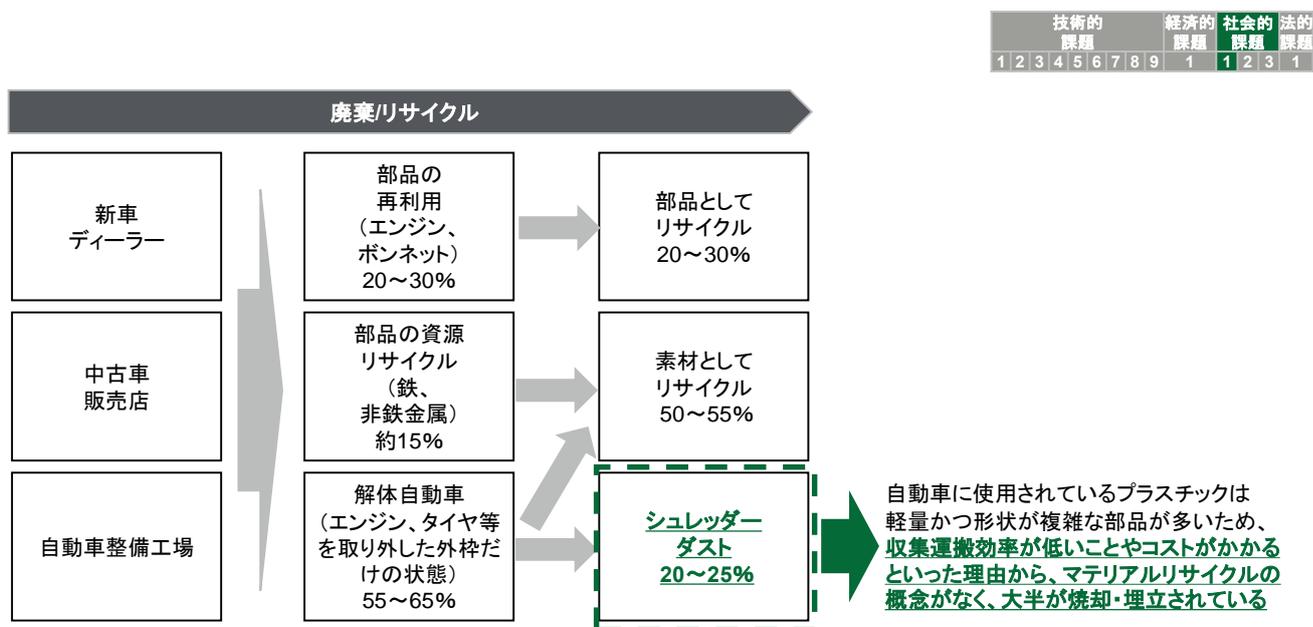


図 3-65 自動車業界でのプラスチックのリサイクルに対する概念

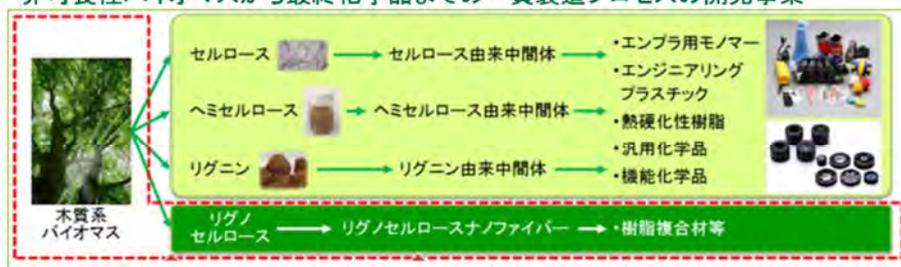
出典：自動車リサイクル促進センター「自動車リサイクル法」、経済産業省「リサイクルの高度化について」

次にCNFの安全性に関する研究動向について図3-66に示す。

破砕時の人体への影響について、NEDOが既存事業である製造プロセスの開発事業と連携して、①CNFの生体への取り込みの把握に必要なレベルのCNFを検出・定量するなどの有害性試験手法②CNF粉体およびCNF応用製品の製造・使用・廃棄プロセスなどにおけるCNFの排出・曝露可能性に関する評価手法、を開発するCNF安全性評価手法の事業を始めているが検証は必要である。

技術的課題									経済的課題			社会的課題			法的課題		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3	1	2	3

非可食性バイオマスから最終化学品までの一貫製造プロセスの開発事業



CNF安全性評価手法の開発事業

- 事業概要
 - ・ CNFの安全性を適切に評価・管理するため、①CNFの生体への取り込みの把握に必要なレベルのCNFを検出・定量するなどの有害性試験手法の開発と、②CNF粉体およびCNF応用製品の製造・使用・廃棄プロセスなどにおけるCNFの排出・曝露可能性に関する評価手法の開発を実施
- 期間
 - ・ 2017～2019年度
- 事業予算
 - ・ 3.0億円(予定)
- 委託予定先
 - ・ 国立研究開発法人産業技術総合研究所、A社株式会社、王子ホールディングス株式会社、第一工業製薬株式会社、大王製紙株式会社

「製造プロセスの開発事業」と連携して、「CNF安全性評価手法の開発事業」を開始

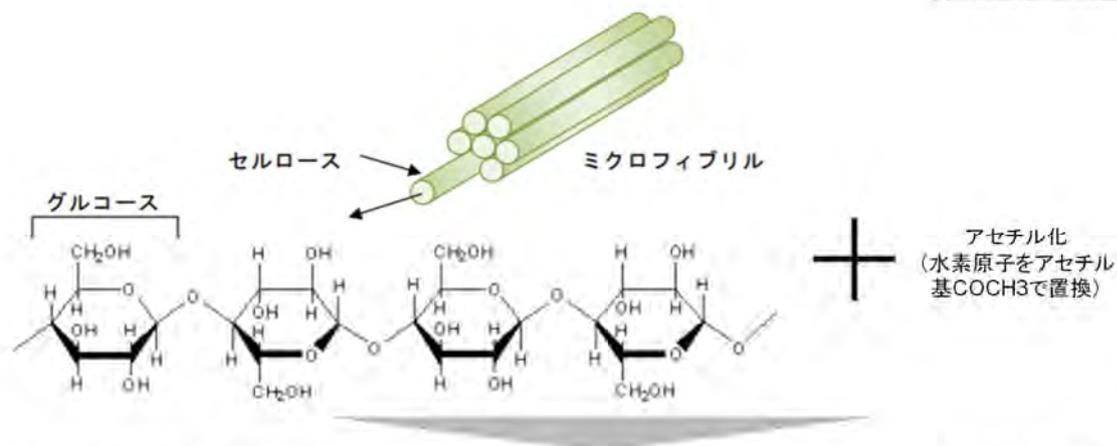
図3-66 CNFの安全性に関する研究動向

出典：NEDO「セルロースナノファイバーの社会実装に向け研究開発2テーマに着手」

次に燃焼によるCNFの分解について図3-67に示す。

燃焼時の人体への影響についても、CNFはC(炭素)、H(水素)、O(酸素)によって構成されており、燃焼した結果CO₂とH₂Oに分解されるため影響はないと想定されるが検証は必要である。

技術的		経済的		社会的		法的	
課題	課題	課題	課題	課題	課題	課題	課題
1	2	3	4	5	6	7	8
9	1	1	2	3	1		



CNFは、C(炭素)、H(水素)、O(酸素)によって構成されたCNFに対して、アセチル化(水素原子をアセチル基COCH₃で置換)し、疎水性CNFへ変性しても燃焼した結果、CO₂(二酸化炭素)、H₂O(水)に分解される

図3-67 燃焼によるCNFの分解

出典：旭リサーチセンター 「大きく花開くセルロースナノファイバー」

次にリサイクル法における目標値の達成状況を図 3-68 に示す。

リサイクル法の目標達成について、現状では概ね目標値を達成している中で、CNFリサイクル品が混入する場合においても目標値を制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある。

実証中のCNF製品 に関わる 個別リサイクル法	対象品	再資源化率・再商品化率 目標値(平成29年度)	再資源化率・再商品化率 実績(平成26年度)	達成状況	課題															
					技術的			経済的			社会的			法的						
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	1	2	3	1
自動車リサイクル法	シュレッダーダスト	70%	96.8～98.1%	○(+26.8～28.1%)																
	エアバッグ類	85%	94～95%	○(+9～10%)																
家電リサイクル法	エアコン	80%	92%	○(+12%)																
	ブラウン管TV	55%	75%	○(+20%)																
	液晶・プラズマTV	74%	89%	○(+15%)																
	冷蔵庫・冷凍庫	70%	80%	○(+10%)																
	洗濯機・衣類乾燥機	82%	88%	○(+6%)																
建設リサイクル法	アスファルト・コンクリート塊	98%以上	99.5%	○(+1.5%)																
	コンクリート塊	98%以上	99.3%	○(+1.3%)																
	建設発生木材	95%以上	94.4%	×(-0.6%)																
	建設汚泥	82%以上	85.0%	○(+3%)																
	建設廃棄物全体	94%以上	96.0%	○(+2%)																

図 3-68 リサイクル法における目標値の達成状況

出典：経済産業省「自動車リサイクル法の施行状況」、家電製品協会「家電リサイクル年次報告書」、国土交通省「建設リサイクル推進計画 2014」

3.3.7 対応策のまとめ

本項では、前項にて抽出した技術的・経済的・社会的・法的課題への対応策を、9つのリサイクルプロセス毎に整理した上で、実証ニーズ別に集約した。

マテリアルリサイクルのプロセス別課題への対応策（案）を図3-69に示す。

対応策においては、長期的利用後・造粒後の物性低下、選別方法、識別表示や複合率の規格化といったルール形成、刃の摩耗・破損によるコスト増加、自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤に活用するための品質、リサイクルの効率化やコスト削減、破碎時の人体被害、採算性、リサイクル法目標値の実現可能性、自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤に活用するための品質、といった検証が必要である。

方向性①マテリアルリサイクルが可能であること
 方向性②既存の廃棄物処理プロセスで(大きな)課題が無い
 方向性③CNFによる(リサイクル材の)付加価値を向上

回収方法	選別有無	完成製品	検証可能な方向性			付加価値	リサイクルコスト	課題への対応策
			①	②	③			
分別	無	① R-CNF複合材 (バージンCNF添加)	○	○		■他樹脂の混入がなく、CNF複合材と混合されているため、付加価値は高い +++	■R-CNF複合材(バージンCNF添加)にするため、CNF複合材添加コストが発生 +	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期的利用後の物性低下の検証 ■ 造粒時の物性低下の検証 ■ 識別表示や複合率の規格化といったルール形成 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤に活用するための品質の検証 ■ リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ の検証採算性 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
		② R-CNF複合材 (ミックス材配合)	○	○	○	■他樹脂の混入がなく、ミックス材と混合されているため、R-CNF複合材(バージンCNF添加)よりも付加価値は低い	■R-CNF複合材にするため、ミックス材配合・混合コストが発生 ++	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期的利用後の物性低下の検証 ■ 造粒時の物性低下の検証 ■ 識別表示や複合率の規格化といったルール形成 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ 採算性の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
		③ R-CNF複合材 (バージンCNF添加)	○	○		■他樹脂が一部混入している可能性があるが、CNF複合材と混合されているため、付加価値は高い +	■選別コスト及び、R-CNF複合材(バージンCNF添加)にするため、CNF複合材添加コストが発生	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期的利用後の物性低下の検証 ■ 造粒時の物性低下の検証 ■ 選別方法の検証 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤に活用するための品質の検証 ■ リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ 採算性の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
通常	有	④ R-CNF複合材 (バージンCNF添加)	○	○		■他樹脂が一部混入している可能性があるが、CNF複合材と混合されているため、付加価値は高い +	■選別コスト及び、R-CNF複合材(バージンCNF添加)にするため、CNF複合材添加コストが発生	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期的利用後の物性低下の検証 ■ 造粒時の物性低下の検証 ■ 選別方法の検証 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤に活用するための品質の検証 ■ リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ 採算性の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
		⑤ R-CNF複合材 (ミックス材配合)	○	○	○	■他樹脂が一部混入しており、ミックス材と混合されているため、R-CNF複合材(バージンCNF添加)よりも付加価値は低い	■選別コスト及び、R-CNF複合材にするため、ミックス材配合・混合コストが発生 ++	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期的利用後の物性低下の検証 ■ 造粒時の物性低下の検証 ■ 選別方法の検証 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ 採算性の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
	無	⑥ ミックス材	○	○		■様々な廃プラと混合されているため、付加価値は低い ++	■様々な廃棄物と混合したままのため、処理が少ない ++	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 破碎時の人体被害の検証 ■ 採算性の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証

図3-69 完成製品別の実証すべき課題への対応策（案）（マテリアルリサイクル）

次にサーマルリサイクルのプロセス別課題への対応策（案）を図 3-70 に示す。

サーマルリサイクルの課題への対応策においては、選別方法、刃の摩耗・破損によるコスト増加、造粒後の RPF として利用する際の品質保証、燃焼時の人体被害、リサイクル法目標値の実現可能性、といった検証が必要である。

方向性①マテリアルリサイクルが可能であること
 方向性②既存の廃棄物処理プロセスで(大きな)課題が無い
 方向性③CNFによる(リサイクル材の)付加価値を向上

回収方法	選別有無	完成製品	検証可能な方向性			付加価値	リサイクルコスト	課題への対応策案
			①	②	③			
通常	有	6 RPF		○		■ 他樹脂が一部混入している可能性があるが、RPF化するため付加価値は高い +	■ 選別し、RPF化するため処理が多い --	■ 選別方法の検証 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 造粒後のRPFとして利用する際の品質保証の検証 ■ 燃焼時の人体被害の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
	有	7 エネルギー		○		■ 他樹脂が一部混入している可能性があり、RPF化しないため付加価値は低い -	■ 選別するが、RPF化しないため処理が少ない -	■ 選別方法の検証 ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 燃焼時の人体被害の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
	無	8 RPF		○		■ 他樹脂が混入しており、RPF化するが付加価値は低い -	■ 選別しないが、RPF化するため処理は多い +	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 造粒後のRPFとして利用する際の品質保証の検証 ■ 燃焼時の人体被害の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証
	無	9 エネルギー		○		■ 他樹脂が混入しており、RPF化しないため付加価値は低い --	■ 選別せず、RPF化しないため処理が少ない ++	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証 ■ 燃焼時の人体被害の検証 ■ リサイクル法目標値の実現可能性の検証

図 3-70 完成製品別の実証すべき課題への対応策（案）（サーマルリカバリー）

次に想定される CNF リサイクル実証ニーズについて図 3-71 に示す。

CNF+PP のマテリアルリサイクル・サーマルリカバリーにおける実証ニーズは、用途別に、実証モデル①家電自動車向け、実証モデル②容器向け付加価値、実証モデル③通常リサイクルプロセスとして 3 種類に集約可能と想定される。

実証モデル①では家電・自動車向けの高品質な CNF リサイクル材の供給を可能とし、実証モデル②では容器向けに一定レベルの品質での供給を可能とし、実証モデル③では通常の市場プロセスで社会課題がないか確認することとする。

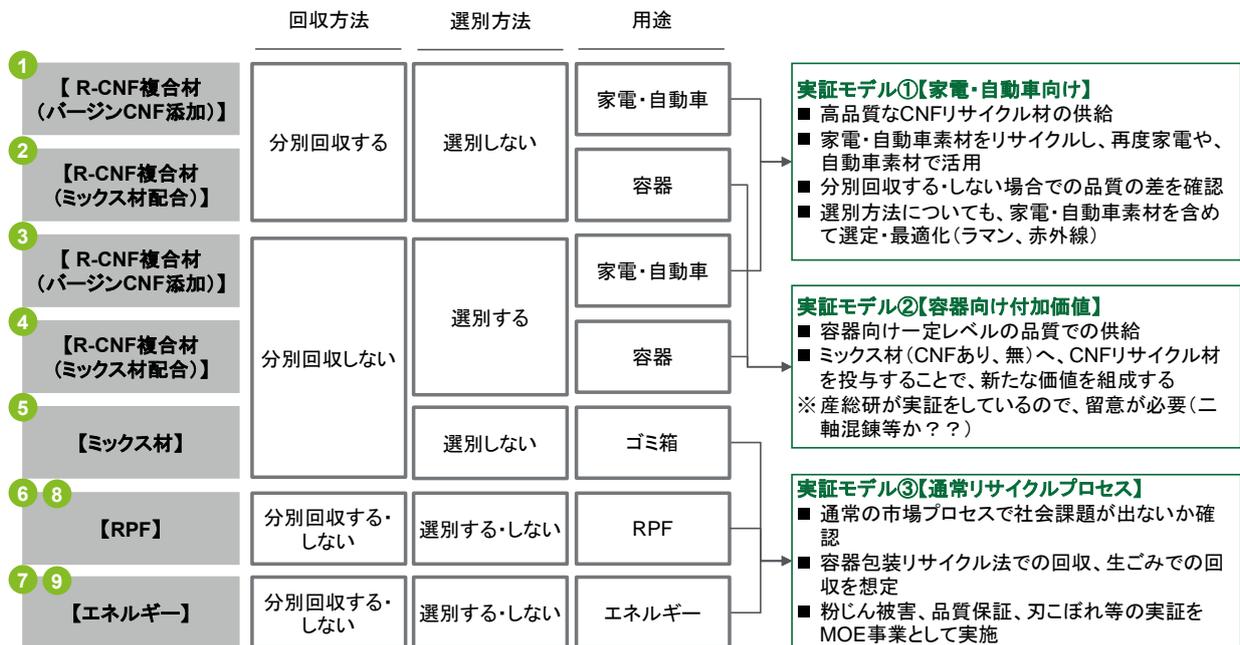


図 3-71 想定される CNF リサイクル実証ニーズ

参考として前項までに検討したリサイクルプロセス毎の課題・検討項目・対応策のまとめを図 3-72～図 3-80 に示す。

自動車・家電向け			
種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 一般廃棄物回収の場合、自治体によって廃棄ルールが統一されておらず、CNF複合材の分別回収が難しい ■ 産業廃棄物回収の場合、廃プラとしてまとめてリサイクル業者が回収してしまう為、CNF複合材の分別回収が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 選別が不要な回収方法 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF複合材のみで分別回収する場合、識別表示や複合率の規格化といったルール形成が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長期使用後の物性値の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF+PPの長期的利用でのリサイクル時の物性は評価・検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF添加での熱溶融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による、物性値の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 造粒による物性値の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNF添加での熱溶融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による物性は評価・検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤として使用できるか不明 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 添加剤としての品質 	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクルCNF複合材を自動車・家電用途添加剤に活用するには品質の検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 分別回収することでR-CNF複合材リサイクルCNF添加+バージンCNF添加として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 採算性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 採算性の検証が必要
社会的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車業界でのプラスチックのリサイクルに対する概念が無い 	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクルに対する概念の無さの要因 	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 粉塵による人体への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-72 課題・検討項目・対応策(案) : CNF+PP・マテリアルリサイクル : 分別回収・選別無し・R-CNF複合材(バージンCNF添加)

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	■ 一般廃棄物回収の場合、自治体によって廃棄ルールが統一されておらず、CNF複合材の分別回収が難しい	■ 選別が不要な回収方法	■ CNF複合材のみで分別回収する場合、識別表示や複合率の規格化といったルール形成が必要
	■ 産業廃棄物回収の場合、廃プラとしてまとめてリサイクル業者が回収してしまう為、CNF複合材の分別回収が難しい		
	■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
	■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化	■ 長期使用後の物性値の変化	■ CNF+PPの長期的利用でのリサイクル時の物性は評価・検証がある程度必要
	■ CNF添加での熱熔融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による、物性値の変化	■ 造粒による物性値の変化	■ CNF添加での熱熔融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による物性は評価・検証が必要
経済的課題	■ 分別回収することでR-CNF複合材(リサイクルCNF添加)+ミックス材として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要	■ 採算性	■ 採算性の検証が必要
社会的課題	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要がある、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-73 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・マテリアルリサイクル：分別回収・選別無し・R-CNF複合材(ミックス材配合)

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要	■ 赤外線識別選別等による選別の可能性	■ 適用可能性の高い赤外線識別選別等を使用した選別・最適化に関する検証が必要
	■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
	■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化	■ 長期使用後の物性値の変化	■ CNF+PPの長期的利用でのリサイクル時の物性は評価・検証が必要
	■ CNF添加での熱熔融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による、物性値の変化	■ 造粒による物性値の変化	■ CNF添加での熱熔融温度の上昇からくる造粒温度の上昇による物性は評価・検証が必要
	■ 自動車・家電用途のプラスチック製品添加剤として使用できるか不明	■ 添加剤としての品質	■ リサイクルCNF複合材を自動車・家電用途添加剤に活用するには品質の検証が必要
経済的課題	■ 選別することでR-CNF複合材リサイクルCNF添加+バージンCNF添加として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要	■ 採算性	■ 採算性の検証が必要
社会的課題	■ 自動車業界でのプラスチックのリサイクルに対する概念が無い	■ リサイクルに対する概念の無さの要因	■ リサイクルの効率化やコスト削減に関する検証が必要
	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要がある、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-74 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材(バージンCNF添加)

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要	■ 赤外線識別選別等による選別の可能性	■ 適用可能性の高い赤外線識別選別等を使用した選別・最適化に関する検証が必要
	■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
	■ 変性・非変性CNFの長期的使用後のリサイクルによる、物性値の変化	■ 長期使用後の物性値の変化	■ CNF+PPの長期的利用でのリサイクル時の物性は評価・検証が必要
	■ CNF添加での熱溶解温度の上昇からくる造粒温度の上昇による、物性値の変化	■ 造粒による物性値の変化	■ CNF添加での熱溶解温度の上昇からくる造粒温度の上昇による物性は評価・検証が必要
経済的課題	■ 選別することでR-CNF複合材(リサイクルCNF添加)+ミックス材として高付加価値を維持できるため、販売価格は高くなり採算性は合うと想定されるが検証は必要	■ 採算性	■ 採算性の検証が必要
社会的課題	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要がある、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-75 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別有り・R-CNF複合材(ミックス材配合)

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
経済的課題	■ 分別回収・選別を実施しないため高付加価値を維持できないが、処理コストも安いので採算性は合うと想定されるが検証は必要	■ 採算性	■ 採算性の検証が必要
社会的課題	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要がある、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-76 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・マテリアルリサイクル：通常回収・選別無し・ミックス材

6	種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題		■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要	■ 赤外線識別選別等による選別の可能性	■ 適用可能性の高い赤外線識別選別等を使用した選別・最適化に関する検証が必要
		■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
		■ CNFの影響で発熱量が増加しすぎ、RPFとして利用する際の品質を保証できない	■ RPF化時の品質	■ 造粒後にRPFとして利用する際の品質を保証できるか検証が必要
経済的課題	■ N/A	■ N/A	■ N/A	
社会的課題	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性 ■ 燃焼時の粉塵は、燃焼した結果CO2とH2O分解されるため人体への影響は低いと想定されるが、可能性はある	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)	
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要	

図 3-77 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・サーマルリカバリー：
通常回収・選別有り・RPF

7	種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題		■ 赤外線識別選別等を使用した、選別方法の最適化が必要	■ 赤外線識別選別等による選別の可能性	■ 適用可能性の高い赤外線識別選別等を使用した選別・最適化に関する検証が必要
		■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破砕・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある	■ 刃の摩耗・破損	■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
		■ CNFの影響で発熱量が増加しすぎ、RPFとして利用する際の品質を保証できない	■ RPF化時の品質	■ 造粒後にRPFとして利用する際の品質を保証できるか検証が必要
経済的課題	■ N/A	■ N/A	■ N/A	
社会的課題	■ 破砕時の粉塵による人体被害の可能性 ■ 燃焼時の粉塵は、燃焼した結果CO2とH2O分解されるため人体への影響は低いと想定されるが、可能性はある	■ 粉塵による人体への影響	■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)	
法的課題	■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある	■ 目標値の実現可能性	■ 目標値の実現可能性について検証が必要	

図 3-78 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・サーマルリカバリー：
通常回収・選別有り・エネルギー

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFの影響で発熱量が増加しすぎ、RPFとして利用する際の品質を保証できない 	<ul style="list-style-type: none"> ■ RPF化時の品質 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 造粒後にRPFとして利用する際の品質を保証できるか検証が必要
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A 	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A 	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A
社会的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破碎時の粉塵による人体被害の可能性 ■ 燃焼時の粉塵は、燃焼した結果CO2とH2O分解されるため人体への影響は低いと想定されるが、可能性はある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 粉塵による人体への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-79 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・サーマルリカバリー：
通常回収・選別無し・RPF

種類	課題	検討項目	対応策案
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加について、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉砕しやすくなるが、コスト増加の可能性はある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 刃の摩耗・破損によるコスト増加の検証が必要
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A 	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A 	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A
社会的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破碎時の粉塵による人体被害の可能性 ■ 燃焼時の粉塵は、燃焼した結果CO2とH2O分解されるため人体への影響は低いと想定されるが、可能性はある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 粉塵による人体への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ■ CNFの安全性検証という形でNEDOが実証事業を始めているが、検証が必要(NEDOも一部実施中)
法的課題	<ul style="list-style-type: none"> ■ リサイクル法の目標達成について、目標値は制約として遵守する必要があり、その実現可能性について検証する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目標値の実現可能性について検証が必要

図 3-80 課題・検討項目・対応策(案)：CNF+PP・サーマルリカバリー：
通常回収・選別無し・エネルギー

3.3.8 ヒアリング調査結果のまとめ

CNFリサイクルの課題と対応策を検討する際にヒアリング調査を実施した。
 初めに、CNFの一般的なサプライチェーンとヒアリング対象を図3-81に示す。

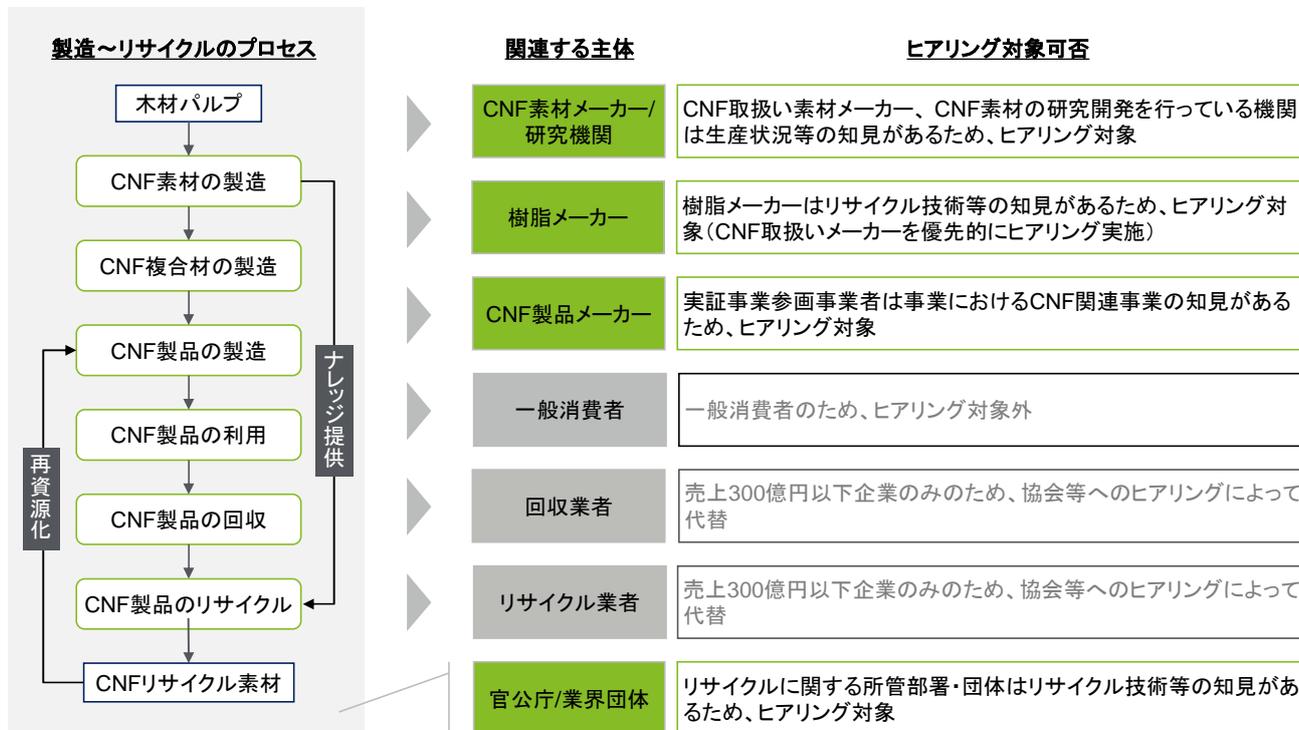


図3-81 CNFの一般的なサプライチェーンとヒアリング対象

CNF素材製造プレイヤーでありCNF素材について知見のある「CNF素材メーカー・研究機関」、CNF複合材製造プレイヤーでありCNF複合材のリサイクルについて知見のある「樹脂メーカー」、CNF製品製造プレイヤーでありCNF関連事業について知見のある「CNF製品メーカー」、CNFのリサイクルについて知見のある「官公庁/業界団体」をヒアリング対象とした。

次に対象者に対して実施したヒアリングの項目を図3-82に示す。

ヒアリング項目	具体的内容	狙い
A 課題抽出すべき検討対象	<ul style="list-style-type: none"> ■ 課題抽出すべきCNF形状 ■ 課題抽出すべきCNF複合材 ■ 課題抽出すべきリサイクル方法 	■ 課題抽出すべき検討対象の把握
B リサイクルプロセス	■ CNF+PP、CNF+エポキシ、CNF+ゴムのリサイクルプロセス	■ リサイクルプロセスの把握
C リサイクルコスト	■ CNF+PP、CNF+エポキシ、CNF+ゴムにおいて、リサイクルプロセスで発生するコスト	■ リサイクルコストの把握
D 課題・対応策	<ul style="list-style-type: none"> ■ 技術的・法的・経済的・社会的課題 ■ 課題に対する対応策 	■ 課題と対応策の把握

図 3-82 ヒアリング項目

CNFリサイクルの検討にあたって、課題抽出すべき検討対象の把握、リサイクルプロセスの把握、リサイクルコストの把握、課題と対応策の把握を目的として、「課題抽出すべき検討対象」、「リサイクルプロセス」、「リサイクルコスト」、「課題・対応策」の4点についてヒアリングを実施した。

次に課題抽出すべき検討対象のヒアリング結果について図 3-83 に示す。

区分	企業名/機関名	課題抽出すべき検討対象
研究機関	研究機関A	■ 形状種類にCNF100%プレートの追加が必要
研究機関	研究機関B	■ ケミカルを検討する場合、耐熱温度の観点から常圧溶解法のみリサイクルの可能性はある
研究機関	研究機関C	<ul style="list-style-type: none"> ■ 複合材にCNF+バイオブラの追加が必要 ■ 複合材に製造端材の追加が必要 ■ CNF100%プレートは用途が決まっておらず検討を進めるには早いと想定
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱硬化性樹脂の材料は技術が研究段階であり難しい ■ フィルム形状のCNFは流通量が少なく、リサイクルする意味が少ない ■ ケミカルのモノマー化は、材料リサイクルに比べ体積的に回収量も少なく、需要が少ないと想定
研究機関	研究機関F	■ ケミカルを検討する場合、耐熱温度の観点から常圧溶解法のみリサイクルの可能性はある
素材メーカー	素材メーカーA	■ 複合材に製造端材の追加が必要
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ ゴムの材料は技術が研究段階であり難しい
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ N/A
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ N/A
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ N/A

図 3-83 ヒアリング結果：課題抽出すべき検討対象

ヒアリング結果から、形状に「CNF 100%プレート」、複合材に「CNF+バイオプラ」、新規検討軸に「製造端材」を追加し、CNF 100%プレート材は「進捗があり次第検討対象」、ゴム・エポキシは「技術が確立され次第検討対象」とした。

次にリサイクルプロセスのヒアリング結果について図 3-84 に示す。

区分	企業名/機関名	リサイクルプロセス
研究機関	研究機関A	■ N/A
研究機関	研究機関B	■ マテリアルでは配合・混合前にCNF含有率の判定工程が加わる ■ サーマル時は、造粒せずそのまま燃焼すれば良い
研究機関	研究機関C	■ ケミカルはプロセスも含めた新しい手法の検討が必要と想定
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ N/A
製品メーカー	製品メーカーA	■ マテリアル・サーマルでは、燃焼効率が良くなるため、売り先によって造粒工程が必要
業界団体	業界団体A	■ N/A
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ エポキシの場合、造粒工程は考えられないため、リサイクルプロセスがPPと異なる

図 3-84 ヒアリング結果:リサイクルプロセス

ヒアリング結果から、マテリアルプロセスに「CNF含有率の判定」を追加、サーマルリカバリーは造粒の有無によってプロセスを分岐することとした。

次にリサイクルコストのヒアリング結果について図 3-85 に示す。

区分	企業名/機関名	リサイクルコスト
研究機関	研究機関A	■ マテリアルのコストはPPと同様で、性能次第で高く売却が可能
研究機関	研究機関B	■ マテリアルのコストはPPと同様
研究機関	研究機関C	■ PPのマテリアルコストは約40円/kg ■ マテリアル・サーマルのコストはPPと同様
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーA	■ CNF複合材のマテリアルコストは50~240円/kgを上回る想定
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ N/A
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ PPのマテリアルコストは約50円/kg
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ N/A

図 3-85 ヒアリング結果:リサイクルコスト

ヒアリング結果から、CNF複合材のマテリアルリサイクルコストはPPの40~50円/kgと同様もしくは上回るが、売却価格も上がる為採算は合うと想定した。

次に回収~選別時の技術的課題及び対応策のヒアリング結果について図 3-86 に示す。

区分	企業名/機関名	課題・対応策案(回収～選別時の技術的課題)
研究機関	研究機関A	■ 水選別は、比重が重複するため難しいと想定
研究機関	研究機関B	■ 水選別は、PPやPE等の場合、疎水性CNFとの複合材しかなく使用は非現実的 ■ 水選別は、CNF含有率毎に選別することは難しい ■ 既に製造プロセスでの端材は、再利用されており、現状において課題は無い
研究機関	研究機関C	■ 回収工程で、一般廃棄物として回収する場合は、自治体のルールが統一されれば選別課題がなくなる。また、産業廃棄物として回収する場合は、識別表示ができれば選別課題がなくなる
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ 自動車業界でプラスチックのリサイクルの概念がほぼ無い
研究機関	研究機関F	■ 回収工程で、一般・産業廃棄物として回収する場合、分別回収は難しいと想定 ■ ラマン分光選別により大量選別や黒色樹脂の選別は可能であり、選別の課題は少ない
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ ゴムのサーマルは特段問題は無いと想定 ■ 水選別は、CNF+PPでは含有率0%~10%まで選別可能 ■ 近赤外線選別による樹脂や含有率の特定は、量産時だとベルトコンベヤーで常に流れている状態となり、瞬時の測定で反射波長のピークを見極められるかといった課題があり、現在改善策を検討中 ■ 近赤外線選別は、自動車に用いられる黒系樹脂では、光が吸収されてしまうため使用不可
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ N/A
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ 赤外線選別以外にも、ラマン分光、レーザー(LIBS)、蛍光X線による選別方法が存在する

図 3-86 ヒアリング結果：課題・対応策（案）（回収～選別時の技術的課題）

ヒアリング結果から、分別回収する場合、自治体のルール統一や識別表示などの対策が必要で、分別回収しない場合、赤外線識別選別、ラマン分光選別、レーザー有機プラズマ分光選別、蛍光 X 線選別等の選別方法の検討が必要と想定した。

また、自動車業界でプラスチックのリサイクルの概念がほぼ無い点に関しても課題として追加した。

次にその他の技術的課題及び対応策のヒアリング結果について図 3-87 に示す。

区分	企業名/機関名	課題・対応策案(その他の技術的課題)
研究機関	研究機関A	■ 長期的使用後の物性劣化の可能性があると想定 ■ 使用する薬剤は、CNFに合う劣化材を検討する必要があると想定
研究機関	研究機関B	■ CNF含有率は、熱重量分析か元素分析にて判定が可能 ■ 長期的使用後の物性劣化は、サンシャインテスト(1,200時間)の結果ナイロンは少なく、PPは今後検証予定 ■ 使用する薬剤は、防腐剤が必要な可能性もあるが基本はPPと同様
研究機関	研究機関C	■ 長期的使用後の物性劣化の可能性があると想定 ■ 自動車や家電にリサイクル樹脂を利用する場合は、原料となるリサイクル樹脂の性能のバラツキが課題となる為、自動車や家電用途のプラスチック製品をアップグレードさせる添加剤として活用する方が現実的
研究機関	研究機関D	■ CNFの添加によりCNF複合材の熱熔融温度が高くなり、造粒時、物性劣化の可能性があると想定
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	■ ケミカルリサイクル(常圧溶解)の繊維回収時、凝集状態で回収されるため、再分散できず、樹脂の添加剤としては使用できないなど用途が限定される
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ 長期的使用後の物性劣化の可能性があると想定
素材メーカー	素材メーカーC	■ 変性CNF以外のCNFの長期的使用後の物性劣化の可能性があると想定
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ ゴムのサーマルは特段問題は無いと想定
製品メーカー	製品メーカーA	■ 長期的使用後の物性劣化の可能性があると想定
業界団体	業界団体A	■ N/A
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ CNFの影響で発熱量が増加しすぎ、RPFとして利用する際の品質を保証できるか検証が必要
官公庁	官公庁A	■ N/A

図 3-87 ヒアリング結果：課題・対応策（案）（その他の技術的課題）

ヒアリング結果から、変性・非変性CNFの長期的使用後・造粒時の物性劣化、自動車・家電へのリサイクル樹脂使用の可能性、RPFの品質保証について検証が必要と想定した。

次に経済的課題及び対応策のヒアリング結果について図3-88に示す。

区分	企業名/機関名	課題・対応策案(経済的課題)
研究機関	研究機関A	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破碎刃の摩耗は、PP+ガラス繊維より低く、懸念はない ■ 脱水処理による追加コストの発生はない ■ 追加的に熱エネルギー必要はなく追加コストの発生はない
研究機関	研究機関B	■ N/A
研究機関	研究機関C	■ N/A
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	<ul style="list-style-type: none"> ■ 破碎工程で、蒸気処理により混合樹脂の分子同士を分離することで破碎・粉碎しやすくなるため、刃の摩耗・破損によるコスト増加の可能性はない(ただしエポキシの場合は分子が分離しないため課題あり) ■ ケミカルは、リサイクルコストが高く用途も少ないため、現状では採算が合わない ■ リサイクルコストとしては1000円/kg以下とすることができれば採算は合うと想定
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	<ul style="list-style-type: none"> ■ ケミカルリサイクル(ガス化)の低温・高温ガス化時に、単位発熱量が低いCNFの影響により、ガス収率が悪くなり、採算性が悪くなる
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ ゴムのサーマルは特段問題は無いと想定
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ 刃の摩耗、破損によるコスト増加の可能性があると想定
業界団体	業界団体B	■ GFRPに使用する破碎刃はPPと同様だが、PPより摩耗が早いと想定、破碎場の研磨の直前にGFRPに破碎を実施しており、コストに関して大きく課題はないと想定
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ CFRPの場合、CNF複合材においても破碎段階で刃こぼれ等の課題があるため検討の必要があると想定

図3-88 ヒアリング結果:課題・対応策(案)(経済的課題)

ヒアリング結果から、破碎刃の摩耗・破損によるコスト増加は、蒸気処理により解決可能性があり検証が必要と想定した。

次に社会的課題及び対応策のヒアリング結果について図3-89に示す。

区分	企業名/機関名	課題・対応策案(社会的課題)
研究機関	研究機関A	■ リサイクル時の人体被害はないと想定
研究機関	研究機関B	■ リサイクル時の人体被害は検証が必要と想定
研究機関	研究機関C	■ リサイクル時、CNFは水と二酸化炭素に分解されるため、燃焼後の人体被害はない
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	■ 破碎時の人体被害は、ケミカルであれば1cm角程度にしか破碎しないので課題はない(粉上にする場合は課題があると想定)
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ リサイクル時の人体被害はないと想定
素材メーカー	素材メーカーC	■ 破碎・粉碎時の人体被害は検証が必要と想定
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ ゴムのサーマルは特段問題は無いと想定
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ 破碎・粉碎時の人体被害は検証が必要と想定
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	■ N/A
官公庁	官公庁A	■ N/A

図3-89 ヒアリング結果:課題・対応策(案)(社会的課題)

ヒアリング結果から、燃焼時の人体被害、破碎・粉碎時の人体被害について検証が必要と想定した。

次に法的課題及び対応策のヒアリング結果について図 3-90 に示す。

区分	企業名/機関名	課題・対応策(法的課題)
研究機関	研究機関A	■ N/A
研究機関	研究機関B	■ N/A
研究機関	研究機関C	■ N/A
研究機関	研究機関D	■ N/A
研究機関	研究機関E	■ N/A
研究機関	研究機関F	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーA	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーB	■ N/A
素材メーカー	素材メーカーC	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーA	■ N/A
樹脂メーカー	樹脂メーカーB	■ N/A
製品メーカー	製品メーカーA	■ N/A
業界団体	業界団体A	■ N/A
業界団体	業界団体B	■ N/A
業界団体	業界団体C	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工時の建築廃材の回収は、基本的にゼネコンの管理下にあり、ゼネコンの管理下でないものでも広域再生・産廃運送業・産廃処理業の認可が必要なため、難しい ■ 解体時の建築廃材の回収は、非有価物のプラスチックとして、まとめて埋立てか焼却処理されており、難しい
官公庁	官公庁A	■ 建設リサイクル法は、ゴムやプラスチック、ガラスは対象外のため、課題は想定されない

図 3-90 ヒアリング結果:課題・対応策(案)(法的課題)

ヒアリング結果から、検討対象の中では法的課題は無いと想定した。

3.4 モデル事業の推進計画の策定

3.4.1 CNFリサイクル事業の普及促進方策の検討

(1) 普及促進方策に関する手法区分

整理された課題を踏まえ、必要と考えられる普及促進方策について、6つの手法区分別（枠組的手法、経済的手法、自主的取組手法、情報的手法、手続的手法、技術開発・実証の支援）に検討を行った。促進施策を検討するにあたっての手法区分を表3-32に示す。

表3-32 促進施策を検討するにあたっての手法区分

手法区分	概要	事例
枠組的手法	直接的に具体的行為の禁止、制限や義務付けを行わず、到達目標や一定の手順や手続を踏むことを義務付けることなどによって規制の目的を達成しようとする手法。	<ul style="list-style-type: none"> PRTR法による届出制度 大気汚染防止法による化学物質の規制
経済的手法	市場メカニズムを前提とし、環境保全への取組に経済的インセンティブを与え、経済合理性に沿った各主体の行動を誘導することによって政策目的を達成しようとする手法。	<ul style="list-style-type: none"> 各種補助制度等 使用済み製品や容器包装等の確実な回収のための預託払戻制度（デポジット） 排出権取引 等
自主的取組手法	事業者などが自らの行動に一定の努力目標を設けて対策を実施する自主的な環境保全取組。	<ul style="list-style-type: none"> 経済団体連合会の地球温暖化対策 個別企業の環境行動計画 温暖化対策の推進に関する法律 等
情報的手法	消費者、投資家をはじめとする様々な利害関係者が、環境保全への取組活動に積極的な事業者や環境負荷の少ない製品などを評価して選択できるよう、事業活動や製品・サービスに関する環境情報の開示と提供を進めることにより、各主体の環境に配慮した行動を促進しようとする手法。	<ul style="list-style-type: none"> 環境報告書 環境ラベル 環境会計 LCA(Life Cycle Assessment) ESG投資 (Environment, Social, Governance) CDP(Gross Domestic Product) 等
手続的手法	各主体の意思決定過程の要所要所に環境配慮のための判断が行われる機会と環境配慮に際しての判断基準を組み込んでいく手法。	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響評価制度 ISO14001 など
技術開発・実証の支援	官が主導的に施設や設備等の整備、新たな技術開発等を促進・実施し、政策目標を達成しようとする手法。	<ul style="list-style-type: none"> 技術開発支援実証 実証施設や設備の整備 等

※環境白書にある手法を基に、一部を独自にアレンジしている。

(2) CNFのリサイクルを促進するための施策(例)

前述の手法区分に従い、CNFのリサイクルを促進するための施策(例)を検討・整理した。結果を表3-33に示す。

表3-33 CNFのリサイクルを促進するための施策(例)

手法区分	施策の方向性	施策(例)	対応する課題	施策の概要	備考
枠組的手法	法的な位置づけ	CNF製品のリサイクル義務化	リサイクルの促進	CNF製品のリサイクルを義務化する新しい法律の制定や、家電リサイクル法など既存の法律の改正を行う	
	表示規格統一	CNF素材の構成等、表示の規格化	リサイクルの促進	CNF素材(製品)のCNF複合化率、樹脂等の構成に関する表示の統一化	
	デポジットの導入	CNF製品へのデポジットの導入	リサイクルの促進	CNF製品の価格に一定額をデポジットとしてプールし、リサイクル製品製造時に還元	
経済的手法	導入補助	リサイクル事業に必要な設備の導入補助	リサイクルの促進	リサイクル事業に必要な設備の導入に対し一定額を補助	
	購入補助	リサイクル品購入補助	リサイクル品の普及促進	CNFリサイクル製品の購入に対し一定額を補助	
情報的手法	企業間マッチング	マッチングシステムプラットフォーム構築	導入インセンティブの向上	CNFリサイクル事業者、素材メーカー、自動車部品メーカー等、リサイクルCNFの供給主体と製品製造主体のマッチングが可能な仕組みを作り、リサイクルCNF材のサプライチェーンを構築する	
	認知度向上	広報の実施(パンフレット・HP等の作成)	認知度向上	自動車部材メーカーや、素材メーカーに対して広報を実施し、CNFリサイクル材や、CNFがリサイクルの面でも有効であるなど、認知度向上に努める	
技術開発・実証支援	リサイクル性能検証	CNF製品のリサイクル性能を検証するためのモデル事業	<ul style="list-style-type: none"> リサイクルの促進 導入インセンティブの向上 	分野・素材に注目し、CNF素材のリサイクル技術の検証、及びリサイクル工程を経て製造された素材の性能評価、再活用の方策等を検討	(平成29年度より実施)
		リサイクル後の製品に着目した性能評価モデル事業		既存の樹脂素材等をリサイクルする際にCNFを複合化させ、高質化するリサイクル技術の検証、及びリサイクル工程を経て製造された素材の性能評価、再活用の方策等を検討	
		既存のリサイクルシステムへの影響評価モデル事業		リサイクル時に、CNF複合化素材が混在した場合の、リサイクルシステムへの影響を評価	

重点的に検討

3.4.2 CNFリサイクルに関するモデル事業の検討

(1) 評価目的（以下の仮説を実証する）

- ・ CNFのリサイクルが、基本性能、環境性（省 CO2、安全等）、技術性、社会性（コスト等）の観点で可能であること。
- ・ CNFが、特にガラス繊維や炭素繊維と比較し、リサイクルの面で有意であること。
- ・ LCA レベルで CO₂ 排出量の 20%以上削減が可能であること。

(2) 評価対象

- ・ 評価の対象は、「対象分野・素材」と「リサイクルの工程」で構成する。
- ・ 「対象分野・素材」は、自動車・家電・住宅建材など分野別の評価（各分野で使用される全てのCNF製品をリサイクル）、熱可塑性・熱硬化性など素材別の評価とする。
- ・ 上記の他、再活用品に着目した評価、プラスチックリサイクルシステムへの影響評価についても実施を検討する。
- ・ リサイクルの工程は、破碎・選別、マテリアルリサイクル、サーマルリカバリーとする。

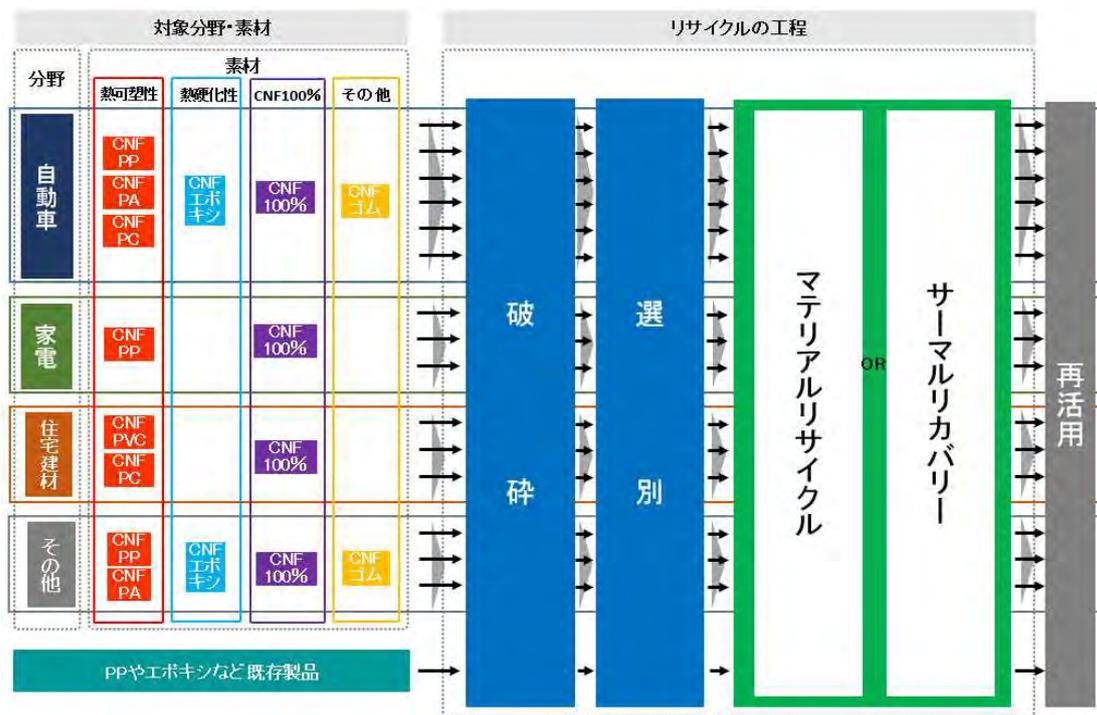


図 3-91 評価対象のイメージ

(3) 提案した具体的なモデル事業（案）

「CNFリサイクルに関する新規モデル事業（案）」について、より具体的な検討を行った。区分のイメージを図3-92に、概要を表3-34に示す。内容を次頁以降に示す。なお、最終的には、各モデル事業で重複する部分もあるため、環境省担当官と調整の上、「分野に着目した性能評価モデル事業」及び「プラスチックリサイクルシステムへの影響評価モデル事業」を合わせた事業と、「再活用品に着目した性能評価モデル事業」を実施することとなった。

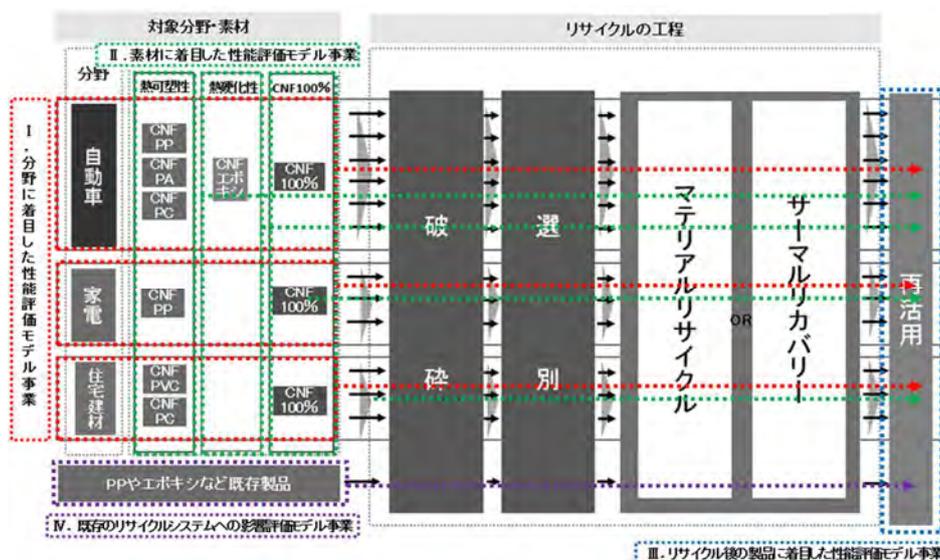


図3-92 モデル事業のイメージ

表3-34 CNFリサイクルに関する新規モデル事業（案）の概要

No.	I	II	III	IV
モデル事業名	分野に着目した性能評価モデル事業	素材に着目した性能評価モデル事業	再活用品に着目した性能評価モデル事業	プラスチックリサイクルシステムへの影響評価モデル事業
事業概要	自動車、家電など、リサイクル対象とする分野を抽出し、その分野で使われるCNF素材（CNF+PPなど）を複数抽出し、それらCNF素材を各リサイクルプロセスにおいてリサイクルする技術の検証、及びリサイクル工程を経て製造された素材の性能評価、再活用の方策等の検討を行う。	リサイクル対象とするCNF素材（CNF+PPなど）を選び、そのCNF素材を各リサイクルプロセスにおいてリサイクルする技術の検証、及びリサイクル工程を経て製造された素材の性能評価、再活用の方策等の検討を行う。	PP、エポキシなどを活用した既存製品をマテリアルリサイクルする際に、リサイクルCNFを複合化する技術の検証、及びリサイクル工程を経て製造された素材の性能評価、再活用の方策等の検討を行う。	プラスチックリサイクルシステムに、CNF複合化素材（プラスチック）が混在した場合のリサイクルシステムへの影響を評価する。
想定される対象事業者	CNF複合化樹脂等の供給主体、大学等研究機関、自動車・家電等メーカー、リサイクル事業者	CNF複合化樹脂等の供給主体、大学等研究機関、リサイクル事業者、（自動車・家電等メーカー）	プラスチック製品メーカー、付加価値化とのシナジーが想定されるメーカー、大学等研究機関、リサイクル事業者	リサイクル事業者、大学等研究機関、CNF複合化樹脂等の供給主体
対象期間	3年間	2年間	2年間	2年間
必要予算	3億～7億円/件	2億～3億円/件	2億～3億円/件	2億～3億円/件

※エネルギー対策特別会計による予算、環境省委託業務を想定

1) 分野に着目した性能評価モデル事業

項目	内容
評価対象	①自動車に使用されるCNF部材のリサイクル ②家電に使用されるCNF部材のリサイクル ③住宅建材に使用されるCNF部材のリサイクル など
想定される検証者等	①CNF複合化樹脂等の供給主体、大学等研究機関、自動車メーカー、リサイクル事業者 ②CNF複合化樹脂等の供給主体、大学等研究機関、家電メーカー（パナソニックなど）、リサイクル事業者 ③CNF複合化樹脂等の供給主体、大学等研究機関、住宅建材・設備メーカー（トクラスなど）、リサイクル事業者
2020年の実現目標（案）	<ul style="list-style-type: none"> 対象とするCNF素材（バージン）と比較して、リサイクルCNFを用いて製品化する場合は、LCAレベルでCO₂排出量を20%削減できる技術が確立されている リサイクルCNFを使用した場合、トータルコストが低減または同等水準に抑えられる
性能評価のためのコスト・期間	<ul style="list-style-type: none"> 3億～7億円（平成29～31年度）
検証に関する留意点	<ul style="list-style-type: none"> 特にマテリアルリサイクルに重点を置く
想定される検証内容（例）	<ol style="list-style-type: none"> 1) 破碎・選別工程に関する実証 <ul style="list-style-type: none"> リサイクル時の選別方法（CNF複合化素材とその他素材の選別、複合化率別の選別）の検証及び現実性のある選別方法の検証 粉碎工程におけるCNF素材及び設備の劣化がないことの確認 粉碎時の粉塵等、CNFによる人体への影響がないことの確認 ※製造段階で発生する端材のリサイクルの実証 2) マテリアルリサイクルに関する実証 <ul style="list-style-type: none"> マテリアルリサイクルの対象となる素材の選定 リサイクル工程でCNFが受ける影響の検証（特に加熱による影響。収縮、変色、強度、分散性等の変化） 同一素材でCNF複合化率が異なるCNF複合化樹脂を粉碎し、CNFを添加して複合化率を均質化するリサイクル技術の実証 長期使用後の品質の検証（サンシャインテスト等を実施。耐熱性、耐候性の検証） 3) サーマルリカバリーに関する実証 <ul style="list-style-type: none"> サーマルリカバリーの対象となる素材の選定 燃焼時の人体への影響等、環境安全性の検証 4) 再活用方策の検討・検証 <ul style="list-style-type: none"> 再活用先の検討 再活用品の性能の検証 自動車・家電・住宅建材を想定し、メーカー、リサイクル事業者等で構築する回収システムの検討及び回収した廃素材のサプライチェーンシステムの検討 5) その他全体にかかわる実証・検討 <ul style="list-style-type: none"> リサイクルを想定したCNF製品の適切な表示方法の検討・提案 LCAレベルでのCO₂削減効果の算定（リサイクルCNF素材とCNF素材（バージン）で比較等）
検証上の想定される課題と解決策	<ul style="list-style-type: none"> 自動車や家電などに実際に使用される可能性が高いCNF製品の調達（自動車、家電等のモデル事業受託者との連携）

2) 素材に着目した性能評価モデル事業

項目	内容
評価対象	①CNFを複合化した熱可塑性樹脂のリサイクル ②CNFを複合化した熱硬化性樹脂のリサイクル ③CNF100%材のリサイクル など
想定される検証者等	・ CNF複合化樹脂等の供給主体 ・ 大学等研究機関 ・ リサイクル事業者 ・ (自動車、家電、住宅建材等のメーカー) など
2020年の実現目標(案)	・ 対象とするCNF素材(バージン)と比較して、リサイクルCNFを用いて製品化する場合は、LCAレベルでCO ₂ 排出量を20%削減できる技術が確立されている ・ リサイクルCNFを使用した場合、トータルコストが低減または同等水準に抑えられる
性能評価のためのコスト・期間	・ 2億～3億円(平成29～30年度)
検証に関する留意点	・ 特にマテリアルリサイクルに重点を置く
想定される検証内容(例)	1) 選別工程の検討 ・ 対象とする素材が、どのような選別工程を経るか、想定される選別工程システムや必要要件等を検討 2) マテリアルリサイクルに関する実証 ・ マテリアルリサイクルの対象となる素材の選定 ・ リサイクル工程でCNFが受ける影響の検証(特に加熱による影響。収縮、変色、強度、分散性等の変化) ・ 同一素材でCNF複合化率が異なるCNF複合化樹脂を粉碎し、CNFを添加して複合化率を均質化するリサイクル技術の実証 ・ 長期使用後の品質の検証(サンシャインテスト等を実施。耐熱性、耐候性の検証) 3) サーマルリカバリーに関する実証 ・ 燃焼時の人体への影響等、環境安全性の確認 4) 再活用方策の検討・検証 ・ 再活用先の検討 ・ 再活用品の性能の検証 ・ 自動車・家電・住宅建材を想定し、メーカー、リサイクル事業者等で構築する回収システムの検討及び回収した廃素材のサプライチェーンシステムの検討 5) その他全体にかかわる実証・検討 ・ リサイクルを想定したCNF製品の適切な表示方法の検討・提案 ・ LCAレベルでのCO ₂ 削減効果の算定(リサイクルCNF素材とCNF素材(バージン)で比較等)
検証上の想定される課題と解決策	・ 熱硬化性樹脂のマテリアルリサイクルはメリットが薄い

3) 再活用品に着目した性能評価モデル事業

項目	内容
評価対象	・リサイクルCNFの再活用品
想定される検証者等	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック製品メーカー ・活性炭メーカーなど、付加価値化とのシナジーが想定されるメーカー ・大学等研究機関 ・リサイクル事業者 など
2020年の実現目標(案)	<ul style="list-style-type: none"> ・対象とするCNF素材(バージン)と比較して、リサイクルCNFを用いて製品化する場合は、LCAレベルでCO₂排出量を20%削減できる技術が確立されている ・リサイクルCNFを使用した場合、トータルコストが低減または同等水準に抑えられる
性能評価のためのコスト・期間	・2億～3億円(平成29年度～30年度)
検証に関する留意点	・リサイクルCNF素材の複合化による付加価値化の検証に重点を置く
想定される検証内容(例)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 選別工程の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・対象とする素材が、どのような選別工程を経るか、想定される選別工程システムや必要要件等を検討 2) マテリアルリサイクルに関する実証 <ul style="list-style-type: none"> ・PP、エポキシなどに、リサイクルCNF素材を複合化する技術の検証 ・上記のリサイクル工程でCNFが受ける影響の検証(特に加熱による影響。収縮、変色、強度、分散性等の変化) ・長期使用後の品質の検証(サンシャインテスト等を実施。耐熱性、耐候性の検証) 3) 再活用方策の検討・検証 <ul style="list-style-type: none"> ・再活用先の検討 ・再活用品の性能の検証 4) その他全体にかかわる実証・検討 <ul style="list-style-type: none"> ・リサイクルを想定したCNF製品の適切な表示方法の検討・提案 ・LCAによるCO₂削減効果の算定(リサイクルCNF素材とCNF素材(バージン)で比較等)
検証上の想定される課題と解決策	・現状で想定される付加価値用途が容器などであり、製品の付加価値自体がそれほど高くないと想定されるため、コスト面での可能性(モデル性のある実証かどうか)検討も必要

4) 既存のプラスチックリサイクルシステムへの影響評価モデル事業

項目	内容
評価対象	・既存のリサイクルシステムへのCNF混在による影響
想定される検証者等	・リサイクル事業者 ・大学等研究機関 ・CNF複合化樹脂等の供給主体 など
2020年の実現目標(案)	・対象とするCNF素材(バージン)と比較して、リサイクルCNFを用いて製品化する場合は、LCAレベルでCO ₂ 排出量を20%削減できる技術が確立されている ・リサイクルCNFを使用した場合、トータルコストが低減または同等水準に抑えられる
性能評価のためのコスト・期間	・2億～3億円(平成29年度～30年度)
検証に関する留意点	・リサイクル時に、CNF素材が混在した場合の影響評価に重点を置く
想定される検証内容(例)	1) 破碎・選別工程に関する影響の実証 ・ 破碎工程におけるCNF素材及び設備の劣化がないことの確認 ・ 破碎時の粉塵等、CNFによる人体への影響がないことの確認 2) マテリアルリサイクルに関する影響の把握 ・ PP、エポキシなど製品のマテリアルリサイクル時に、CNF+PP、CNF+エポキシ等の複合化素材が混在した場合、通常工程にどのような影響があるかを把握 ・ 影響が考えられる場合、混在率と発生する影響の関係を評価 3) サーマルリカバリーにおける実証 ・ 燃焼時の人体への影響等、環境安全性の検証
検証上の想定される課題と解決策	・ヒアリング結果では、混在による影響はあまりないことが指摘されている ・実証者のメリットが大きくないと考えられるため、モチベーションのある実証者が現れない可能性がある

(4) モデル事業の実施スキーム例（自動車分野のリサイクルモデル事業を想定）

<概要>

- ・自動車分野のCNFリサイクル性能評価モデル事業は、現在進行中の「NCVプロジェクト」と連携・協力を得ながら進める。
- ・NCVプロジェクトで実際に自動車に実装が想定されるCNF素材や情報を得て、リサイクル性能評価モデル事業内の「CNF製品等供給ユニット」のCNF複合化樹脂等の供給主体、素材メーカー、自動車メーカー等がCNF製品を供給。
- ・これら製品を、「破碎・選別工程実証」「リサイクルプロセス実証」「再活用方策検討」の各ユニットに供給し、実証・検討を行う。
- ・再活用方策の検討ユニットは、NCVプロジェクトと連携・協力し、情報交換を行う。NCVプロジェクトから再活用方策に関する知見を得る一方、NCVプロジェクトで作製する自動車の要件などに実施結果をフィードバックする。

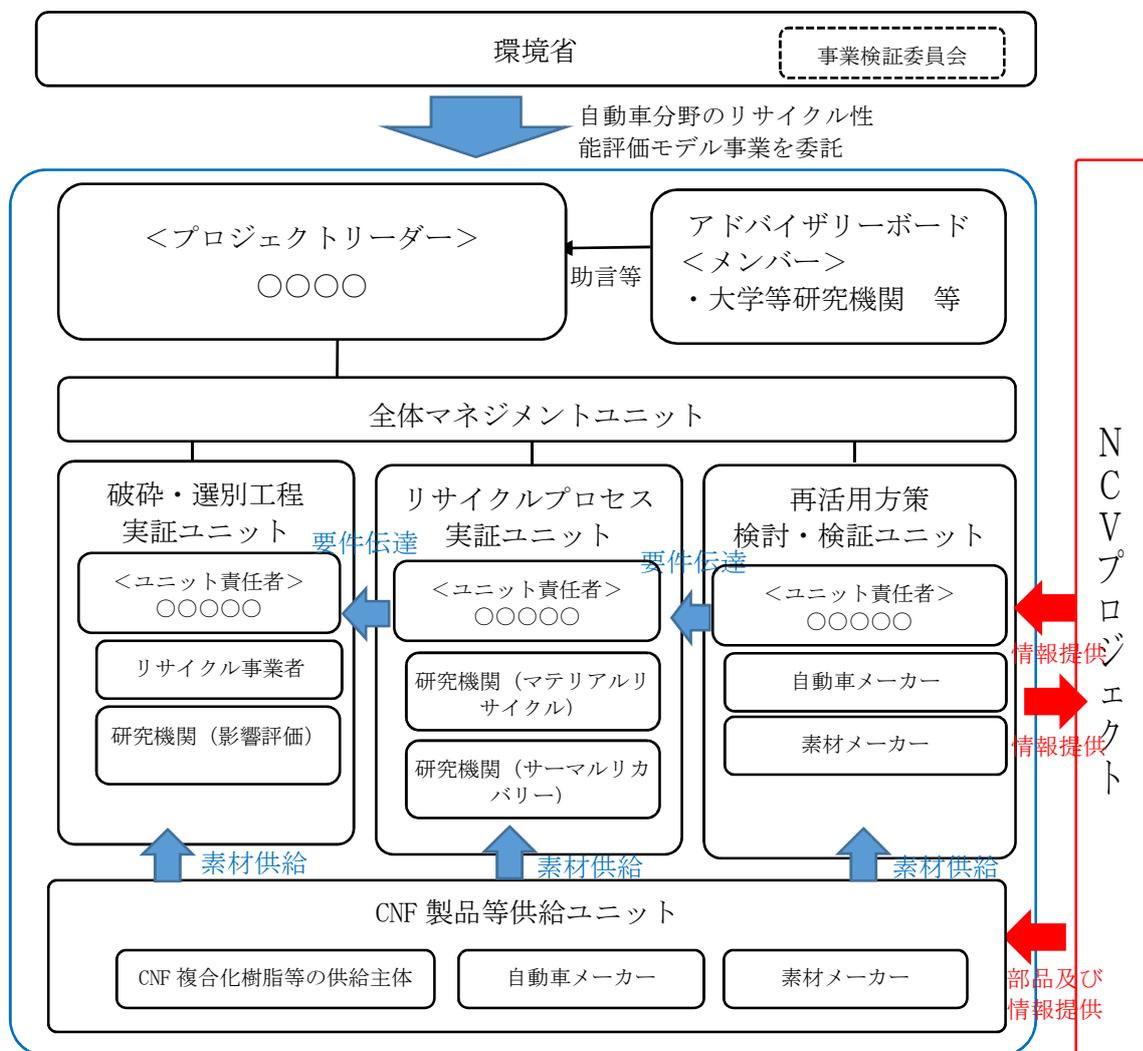


図 3-93 (仮称) 自動車分野のCNFリサイクル性能評価モデル事業の実施スキーム例

3.4.3 CNFリサイクルに関するモデル事業の費用対効果（採算性）の分析

(1) モデル事業の費用対効果の評価方法の基本的な考え方の整理

CNFリサイクルに関するモデル事業の費用対効果について、評価方法を設定し、分析を行った。これは地球温暖化対策としてのCO₂削減効果の最大化と費用対効果の最大化の観点から、対象とすべきモデル事業を設定することを目的としており、これによってより有効なCNFリサイクルに関するモデル事業の選定が可能となる。

具体的な評価方法として、「①CNFリサイクル実証モデル事業想定コスト(円)」、「②2030年累計CO₂削減量(t-CO₂)」、「③費用対効果(万円/t-CO₂)」を評価軸として設定した。設定した3つの評価軸のベースとする評価の考え方を図3-90に示す。

3つの指標のうち、温暖化対策としての意義を訴求するためにも、「②2030年累計CO₂削減量(t-CO₂)」を重視すべきであり、さらにコスト効率的に温暖化対策を実施するという意味で、「③費用対効果(万円/t-CO₂)」も指標として有効と考えられる。よって、本分析では②及び③を評価指標として分析を実施した。

指標	評価の位置づけ	評価軸	
		温暖化対策の効果	施策の効率性
① CNFリサイクル実証モデル事業想定コスト(円)	■ コストの安いモデル事業が可能となる	■ CO2は判断しない	■ コスト効率的ではあるが最終的な削減目標への達成は保証できず
② 2030年累計CO2削減量(t-CO2)	■ CO2削減量高いモデル事業が可能となる	■ CO2で適正に評価	■ コスト面については判断しない
③ 費用対効果(①÷②)(万円/t-CO2)	■ コスト経済的なモデル事業が可能となる	■ CO2で評価 ■ 一方で、温暖化対策としての効果の最大化は目指せない	■ コスト効率的である

図 3-94 設定した3つの評価軸のベースとする評価の考え方

(2) 評価の実施

分析にあたっては費用の設定が必要であったため、モデル事業の想定費用について有識者ヒアリング調査等を基に設定した。CO₂削減量の算定方法については、CNFリサイクルのCO₂削減効果の評価方法を基に算定した。費用対効果については、算定したCO₂削減量をモデル事業の想定費用で除して算出した。これらに基づいて、モデル事業の費用対効果の分析を行った。費用対効果分析のステップを図3-95に、採算性分析の評価イメージを図3-96に示す。

1 CNFリサイクル実証モデル事業想定コスト

モデル種類	複合材種別	用途	想定費用(円*)		単年度想定費用(円)
			A	B	A+B
①分野に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車	〇〇	〇〇	〇〇
	PP+CNF	家電	〇〇	〇〇	〇〇
②素材に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車+家電	〇〇	〇〇	〇〇
③リサイクル後の製品に着目した性能評価モデル	PP+CNF	-	〇〇	〇〇	〇〇
④既存のリサイクルシステムへの影響評価モデル	PP+CNF	-	〇〇	〇〇	〇〇

リサイクルプロセス単位の事業コストを算出する

2 CO₂削減量の評価



CNF製品を単純焼却し再生品同等品を製造する場合と、CNF製品をリサイクルし再生品を製造する場合の、CO₂排出量を比較しCO₂削減量を算定

3 費用対効果分析

リサイクルプロセス毎のコスト(万円)とCO₂削減量(tCO₂)をもとに効果を分析する

図3-95 費用対効果分析に至るステップ

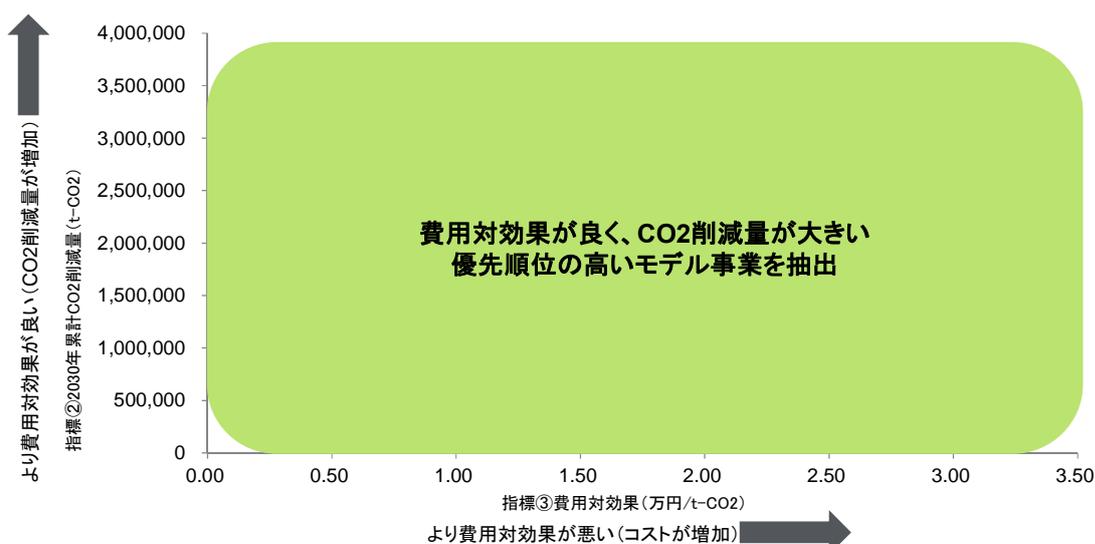


図3-96 採算性分析の評価イメージ

①想定コストとCO₂削減量の算定

モデル事業の想定コストとCO₂削減量の算定を行った。ヒアリング調査等を基に設定したモデル事業の想定費用を表3-35に示す。

表 3-35 設定したモデル事業の想定費用

モデル 種類	複合材 種別	用途	想定費用(円)		(参考) 単年度想定費用(円)	
			A	B	A÷B	
①分野に着目した 性能評価モデル	PP+CNF	自動車	140,000,000		3	46,666,667
	PP+CNF	家電	100,000,000		3	33,333,333
②素材に着目した 性能評価モデル	PP+CNF	自動車+家電	240,000,000		2	120,000,000
③リサイクル後の製品に着 目した性能評価モデル	PP+CNF	-	240,000,000		2	120,000,000
④既存のリサイクルシステ ムへの影響評価モデル	PP+CNF	-	240,000,000		2	120,000,000

次にCO₂削減量の算定に当たり、その算定方法を自動車及び家電に分けて整理した。自動車分野におけるCO₂削減効果の算定方法を図3-97、家電分野におけるCO₂削減効果の算定方法を図3-98に示す。

2030年における累計CO₂削減量は、マテリアルリサイクルによるCO₂削減量とサーマルリカバリーによるCO₂削減量を合算したものとした。マテリアルリサイクルによるCO₂削減量は、マテリアルリサイクル率及びマテリアルリサイクルCO₂削減量原単位¹⁾の他、自動車の販売台数、CNF普及率、1台当たりのCNF利用パーツの重量を用いて算定を行った。サーマルリカバリーによるCO₂削減量は、サーマルリカバリー率及びサーマルリカバリーCO₂削減量原単位²⁾の他、自動車の販売台数、CNF普及率、1台当たりのCNF利用パーツの重量を用いて算定を行った。

自動車分野における2030年までのCO₂削減量の推移を図3-99、家電分野における2030年までのCO₂削減量の推移を図3-100、2030年の累計CO₂削減量の算定結果を表3-36に示す。

CO2削減効果の算定方法:自動車

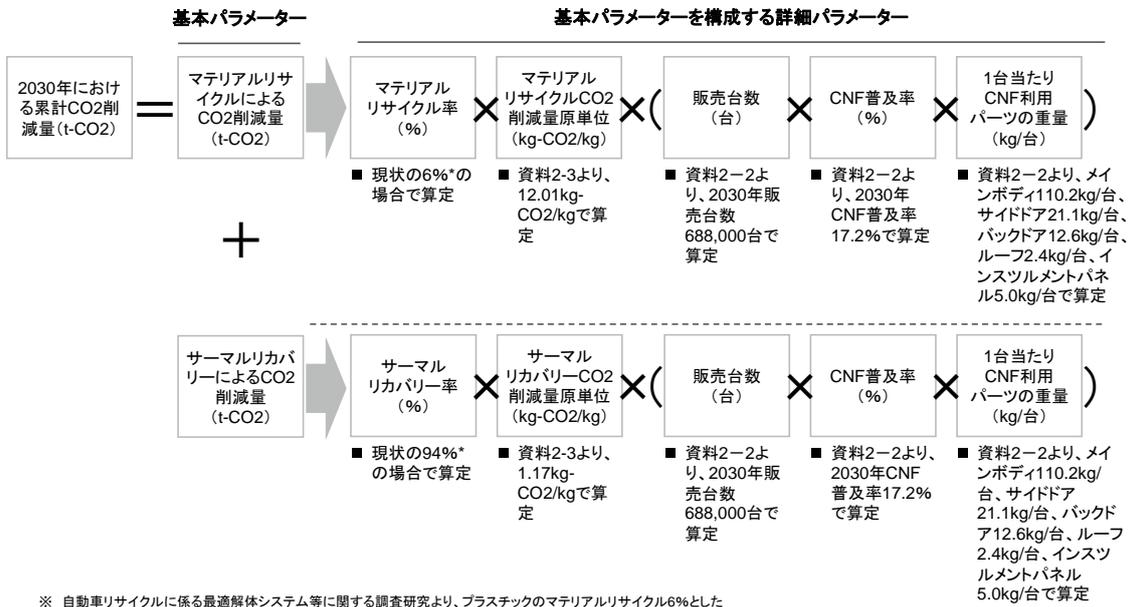


図 3-97 自動車分野における CO₂ 削減量の算定方法

出典：財団法人機械システム振興協会「自動車リサイクルに係る最適解体システム等に関する調査研究報告書」

CO2削減効果の算定方法:家電

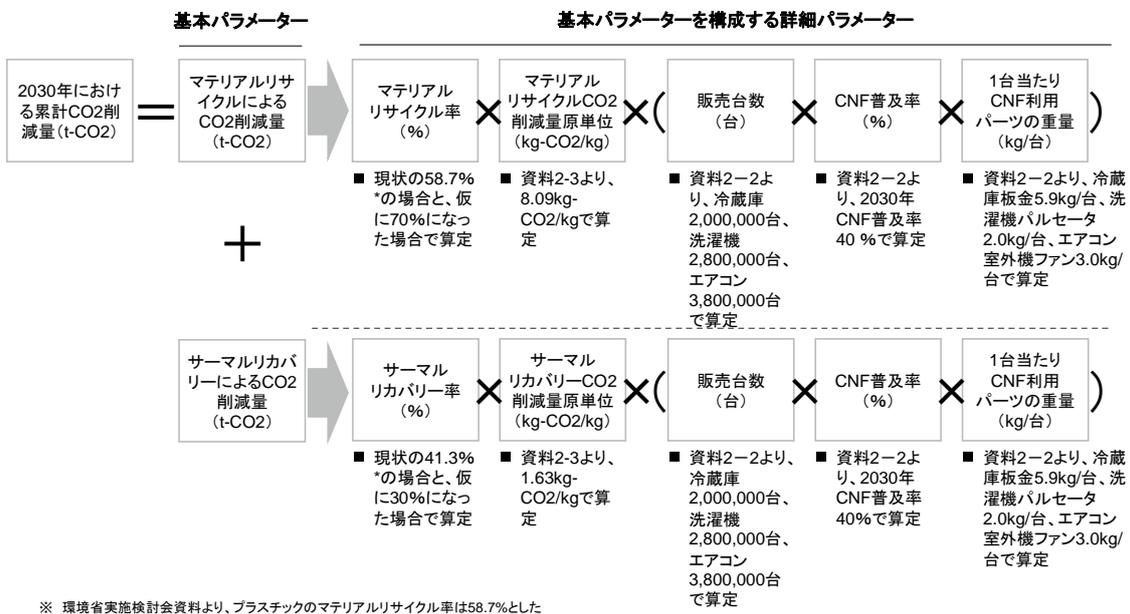


図 3-98 家電分野における CO₂ 削減量の算定方法

出典：環境省「プラスチックのリサイクルについて」

CO2削減効果:自動車(マテリアルリサイクル率6%)

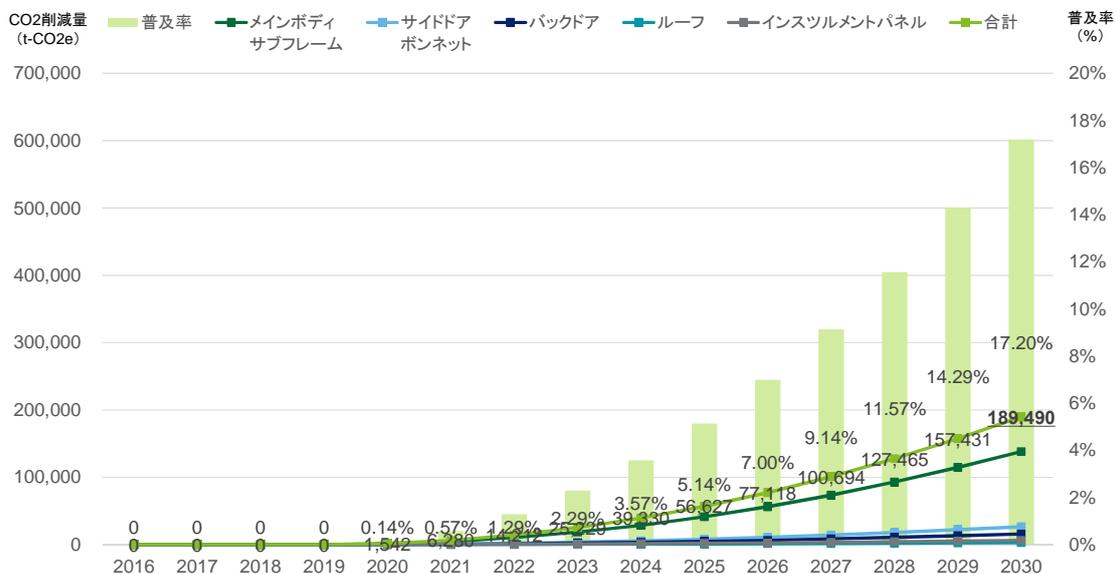


図 3-99 自動車分野における 2030 年までの CO₂ 削減量の推移

CO2削減効果:家電(マテリアルリサイクル率58.7%)

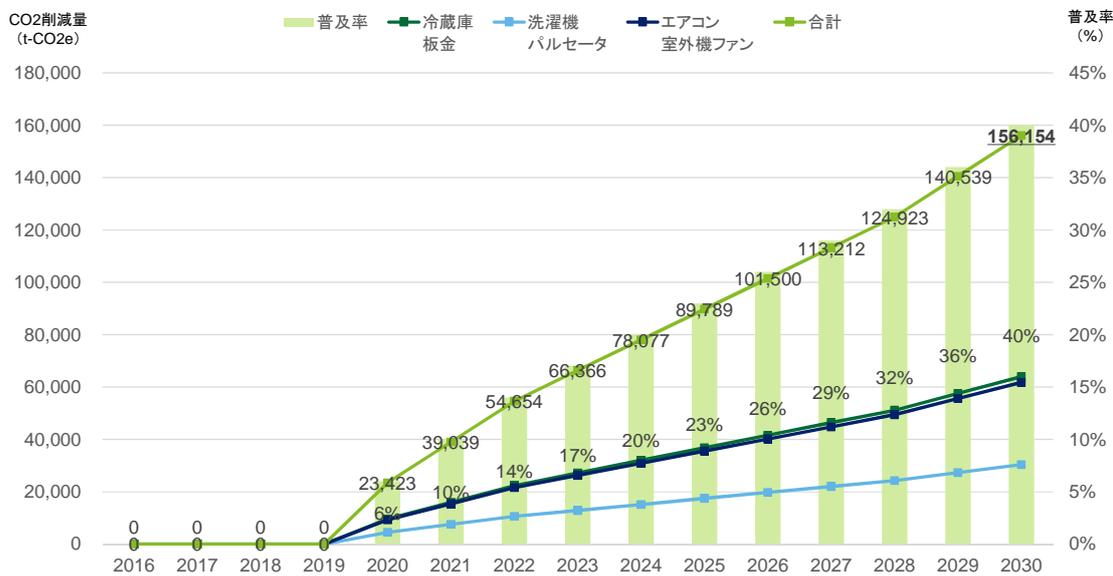


図 3-100 家電分野における 2030 年までの CO₂ 削減量の推移

表 3-36 2030 年累計 CO₂ 削減量の概算結果

モデル種類	複合材種別	用途	2030年累計CO ₂ 削減量* (t-CO ₂)
①分野に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車	189,490
	PP+CNF	家電	156,154
②素材に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車+家電	345,644
③リサイクル後の製品に着目した性能評価モデル	PP+CNF	-	-
④既存のリサイクルシステムへの影響評価モデル	PP+CNF	-	-

※自動車においてはマテリアルリサイクル率が現状の6%程度、家電においてはマテリアルリサイクル率が現状の58.7%程度になるとした

②費用対効果の算定

モデル事業の想定費用と概算した2030年の累計CO₂削減量を用いて、モデル事業の費用対効果を算定した。算定結果を表3-37に示す。

表 3-37 モデル事業の費用対効果の算定結果

モデル種類	複合材種別	用途	想定費用(円)	2030年累計CO ₂ 削減量 (t-CO ₂)	費用対効果 (万円/t-CO ₂)
①分野に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車	140,000,000	189,490	0.074
	PP+CNF	家電	100,000,000	156,154	0.064
②素材に着目した性能評価モデル	PP+CNF	自動車+家電	240,000,000	345,644	0.069
③リサイクル後の製品に着目した性能評価モデル	PP+CNF	-	240,000,000	-	-
④既存のリサイクルシステムへの影響評価モデル	PP+CNF	-	240,000,000	-	-

(3) モデル事業の費用対効果の分析

「費用対効果 (円/t-CO₂)」を X 軸、「2030 年累計 CO₂ 削減量 (t-CO₂)」を Y 軸に設定し、分析を行った結果を図 3-101 に示す。

分析の結果、分野に着目した性能評価モデル事業のうち、家電分野の事業が最も費用対効果が高いことがわかった。自動車分野についても、マテリアルリサイクル率が将来的に高くなるに従って CO₂ 削減量が増加し、費用対効果が高くなるため、モデル事業の費用対効果向上には、今後のマテリアルリサイクル率の向上が鍵となる。

なお、本分析はあくまでも CO₂ 削減量、費用対効果の指標に基づいたものであり、モデル事業の検証要件や想定される課題等によって、推進すべきモデル事業の順位付けは変動する可能性があることに留意が必要である。

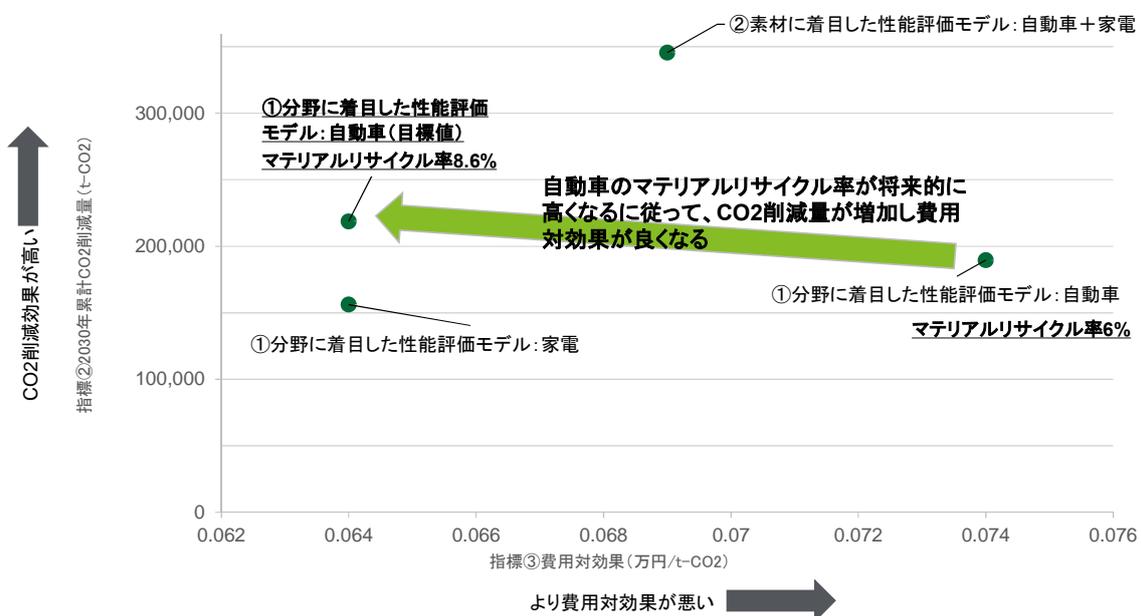


図 3-101 モデル事業の費用対効果の分析結果

3.4.4 CNFリサイクルに関するモデル事業の事業実現性の評価

CNFリサイクルに関する新規モデル事業（案）について、事業検証委員会で特段の課題は出されなかった。また、費用対効果の分析の結果、著しく低い結果ではなかったため、モデル事業の事業実現性はあると考えられる。

3.4.5 モデル事業の推進計画の策定

実現可能性があると判断されたモデル事業等の推進計画を策定した。推進計画（工程表）（案）を図3-102に示す。

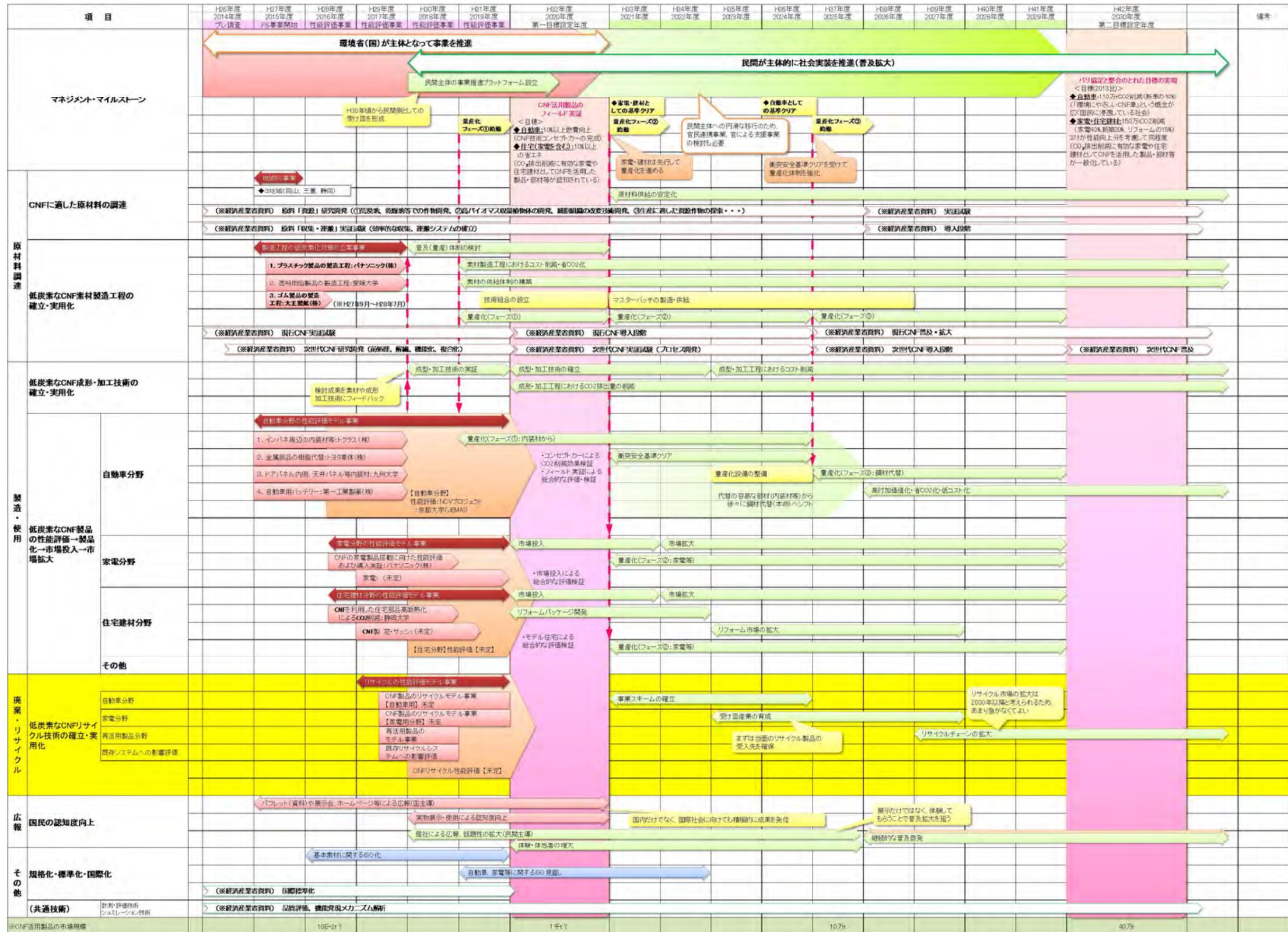


図 3-102 モデル事業の推進計画(工程表)(案)

第4章 CNF活用製品の開発・商用化状況調査

環境省のCNF関連事業における、CNF活用製品の開発・商用化状況について調査・整理を行うとともに、製造、活用、廃棄、リサイクルの一連のプロセスでのCO₂削減効果について調査を行った。本章ではその結果を示す。

4.1 環境省CNF関連事業の現状把握

4.1.1 各モデル事業に関する文献調査

(1) 文献調査に用いた資料

各事業の実施状況について、モデル事業受託者が環境省に提出している、以下の資料から概要を把握し、進捗管理のアンケート・ヒアリングの実施にあたり、与件の整理を行った。

<文献調査に用いた資料>

- ・平成28年度提案資料
- ・平成28年度中間評価ヒアリング資料
- ・平成28年度事業委託業務報告書

(2) 文献調査の実施対象

文献調査は、表4-1に示す計11のモデル事業を対象とした。「CNF事業の推進のあり方」の与件整理として、以下の情報を整理した。

<整理した情報>

- ・事業の概要（主なアウトプット）
- ・モデル事業実施により見込まれる具体的な成果（製品・部材、技術）
- ・事業実施後の展開（想定される波及効果を含む）

表 4-1 調査対象としたモデル事業

委託事業名	事業期間	代表事業者	共同事業者
平成 27～29 年度セルローズナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月	トクラス株式会社	山口大学、イオインダストリー株式会社、静岡大学、岡山県森林研究所
		トヨタ車体株式会社	—
		国立大学法人九州大学大学院農学研究院	中越パルプ工業株式会社
		第一工業製薬株式会社	エレクセル株式会社
平成 27～29 年度セルローズ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 年 9 月～平成 30 年 3 月	パナソニック株式会社	—
	平成 27 年 9 月～平成 28 年 7 月	国立大学法人愛媛大学紙産業イノベーションセンター 大王製紙株式会社	愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター、特種東海製紙株式会社 自動車ゴム部材メーカー
平成 28 年度セルローズナノファイバー性能評価モデル事業（早期社会実装に向けた導入実証）委託業務（自動車関連分野）	平成 28 年 10 月～平成 32 年 3 月	京都大学	—
		一般社団法人産業環境管理協会	京都市産業技術研究所等 17 機関
平成 28 年度セルローズナノファイバー性能評価モデル事業（早期社会実装に向けた導入実証）委託業務（家電・住宅建材分野）	平成 29 年 1 月～平成 30 年 3 月	パナソニック株式会社	—
	平成 29 年 1 月～平成 31 年 3 月	静岡大学	トクラス株式会社等 7 機関

(3) 文献調査の整理結果

1) 主な実証項目

各モデル事業における主な実証項目について整理した。結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 各モデル事業の主な実証項目

代表事業者	事業の概要（主なアウトプット）
トクラス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ CNFを添加材利用した WPC 活用製品の性能評価 ・ インパネ周辺部材の軽量化による自動車の燃費向上効果や CO₂削減効果の検証 ・ 原材料から、利用、廃棄まで地球温暖化対策貢献を考慮した利用モデルの提案
トヨタ車体株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車部品の試作と性能評価 ・ 金属部材の樹脂化で達成された軽量化効果による自動車の燃費向上および CO₂削減の効果検証
国立大学法人九州大学 大学院農学研究科	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「水中カウンターコリジョン（ACC）法」による竹由来 CNF から丈夫で軽量の樹脂素材を製造し、竹 CNF 活用樹脂の性能評価 ・ 竹 CNF 活用樹脂を活用したドアパネルや天井パネル内装の軽量化に伴う燃費向上の効果や CO₂削減効果の検証
第一工業製薬株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ TEMPO 酸化 CNF を活用した軽量かつ小型のリチウムイオン二次電池の製造 ・ CNF 活用リチウムイオン二次電池の性能評価 ・ 上記軽量化に伴う燃費向上効果や CO₂削減効果の検証
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ プラスチック製品の製造工程について、セルローズ原料を樹脂に練り込みながらナノ化レベルに繊維をほぐすことで CNF 複合樹脂を製造 ・ 上記工程を経て CNF 複合樹脂を部材・製品へ成形 ・ 各段階での CO₂排出量を評価し、その削減対策を立案
国立大学法人愛媛大学 紙産業イノベーション センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 透明樹脂製品の製造工程において、独自の CNF 脱水プロセスにより乾燥工程での CO₂排出量の削減を図る ・ CNF 複合透明樹脂を用いた部材・製品を成形する ・ 各製造工程での CO₂排出量の評価に基づく低炭素化対策の立案
大王製紙株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゴム製品の製造工程について、液体の CNF 素材をゴムと混練する際に必要となる乾燥エネルギーを乾燥方法の見直しにより低減することで CO₂排出量を削減 ・ CNF 複合ゴムを製造し、部材・製品を成形し、各段階での CO₂排出量を評価し、その削減対策を立案
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ セルローズナノファイバー（CNF）を複合化した樹脂材料について材料～自動車など最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価 ①社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証 ②自動車分野における CNF 軽量部品の導入実証及び性能評価・検証
一般社団法人産業環境 管理協会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車軽量化に重点を置き、CNF 軽量部品の試作し、CNF 軽量部品としての強度、信頼性、コスト等の評価を実施 ・ 将来ニーズを加味した CNF 自動車の車両構想を明確にし、CNF 活用製品の性能評価や活用時の CO₂削減効果の評価・検証
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 家電製品部材を作製して実機に搭載し、CNF 置換による軽量化と消費電力削減、および製品機能の評価・検証 ・ CNF 複合樹脂のリサイクル性の検証
静岡大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ CNF を住宅部品のベース素材特性を引き立てる添加剤的利用し、住宅部品の断熱性能向上により、エネルギー起源 CO₂削減を図る ・ 具体的には、発泡断熱材等に CNF を添加し、空隙の微細化等の空気層を制御し、熱伝導性低下に取り組む

2) 実証される製品・部材

各モデル事業で実証される製品・部材について整理した。結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 各モデル事業で実証される製品・部材

代表事業者	製品・部材
トクラス株式会社	・木粉等を添加したウッドプラスチック（WPC）にCNFを添加材利用（主にインパネ周辺の内装材として活用。改質による実用化）
トヨタ車体株式会社	・CNF 複合樹脂による自動車部材（金属）の代替 <H29 年度の検証部品> ①バッテリーキャリア ②パワースライドドアユニット
国立大学法人九州大学 大学院農学研究院	・竹CNF活用樹脂を活用した自動車用ドアパネル、天井パネル内装
第一工業製菓株式会社	・軽量かつ小型のCNF活用リチウムイオン二次電池
パナソニック株式会社	・CNF 複合樹脂（CNF+PP）
国立大学法人愛媛大学 紙産業イノベーション センター	・CNF複合透明樹脂（CNF+ポリメタクリル酸系樹脂（PMMA）全光線透過率90%）
大王製紙株式会社	・現状製法のゴム部材と同等以上の性能を確保するCNF複合ゴム（比重1.7%低減）
京都大学	・CNFを複合化した樹脂材料（PA、PP、PE、POM、PC・ABSなど）、100%CNF材料 ・各用途（空調、ドア、シート、インマニなど）に合うCNF樹脂複合化製品
一般社団法人産業環境 管理協会	・種車（TOYOTA86）置換用CNF軽量部品 ・CNF軽量部品搭載車両（試作車）
パナソニック株式会社	・CNFを複合化した樹脂素材を用いた冷蔵庫部材（筐体ドア接触部のクロスレール及びセンターピラー）、及び洗濯機部材（ドラム枠）
静岡大学	・CNFを添加材利用した高性能断熱材（ファイバー系、発泡系） ・CNFを添加材利用した高性能建材（外壁材、天井合板、床材、軽量コンクリートなど） ・CNFを添加材利用したユニットバス用材 ・CNFを添加材利用した樹脂窓枠

3) 実証される技術

各モデル事業で実証される技術について整理した。結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 各モデル事業で実証される技術（概要）

代表事業者	技術
トクラス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・100t/月以上のCNF添加WPC供給システムの構築 ・汎用成形設備で製造でき、かつ既存部品同等以上の性能が確保できるコンパウンドを300円/kg以下で提供できる体制構築 ・既存製品より15%以上軽量化が図れる自動車内装部品の確立(25%以上軽量化が図れる部品の試作)
トヨタ車体株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・CNFを用いた自動車金属部品の樹脂代替技術（軽量化） ・射出成形以外の部品製造技術
国立大学法人九州大学大学院農学研究院	<ul style="list-style-type: none"> ・竹由来のACC-ナノセルロースの実用化・量産化技術 ・上記に有効なACC法の前処理方法 ・竹由来ACC-ナノセルロースの樹脂複合化技術（高強度化・軽量化【5%配合で弾性率2倍】→自動車用部材としての普及） ・木材セルロース使用時と同等の性能で、製造エネルギー30%削減する技術
第一工業製薬株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・CNFを用いた高入出力リチウムイオン二次電池水系化正極技術 ・CNF系水系化電極を用いた小型EV用リチウムイオン電池（プロトタイプ）技術
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF複合化樹脂材料の乾式製法（製造時のCO₂排出量を最小化。従来材料（PP）比で1/3） ・CNF複合化樹脂材料の成形加工法（使用時のCO₂排出量は従来材料（PP）と同等以下）
国立大学法人愛媛大学紙産業イノベーションセンター	<ul style="list-style-type: none"> ・非加熱かつ連続的なCNF脱水・溶媒置換技術（脱水率90%） ・脱水CNFの樹脂混練技術
大王製紙株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥CNF+ゴム複合化技術（CNF乾燥時の凝集防止・強度向上技術）
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF材料の成形加工技術 ・部材製造に必要な接着剤の技術
一般社団法人産業環境管理協会	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF軽量部品の組み付け技術 ・部品導入によるCO₂削減シミュレーション技術
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・CNFを複合化した樹脂素材を用いた冷蔵庫部材・洗濯機部材の製造・評価検証技術 ・リサイクル向上での選別・再生技術
静岡大学	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF利用建材のリサイクル技術

4) 事業実施後の展開

各モデル事業実施後の展開（本格事業化、他分野への波及など）について整理した。結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 各モデル事業実施後の展開（概要）

代表事業者	事業実施後の展開
トクラス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・事業終了後、木粉・コンパウンド量産設備を導入し、本格事業を開始 ・適用メーカー、車種、部品を拡大
トヨタ車体株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・自社の自動車以外への採用を含む、車種等の拡大（大幅な軽量化が見込まれる場合）
国立大学法人九州大学大学院農学研究院	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車分野での拡大、電子材料、食品・医療分野など他分野への事業展開
第一工業製薬株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・小型 EV・小型船舶への実装、CNFを用いたリチウムイオン二次電池の量産化
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・CNF複合樹脂の本格生産・販売 ・家電分野以外（自動車、住宅建材）への適用
国立大学法人愛媛大学紙産業イノベーションセンター	<ul style="list-style-type: none"> ・2030年時点で、生産量 250 トン/日、製造コスト 500 円/kg
大王製紙株式会社	※記載なし
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・家電、住宅建材、産業機械等、他分野への適用
一般社団法人産業環境管理協会	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車以外の大面積部品（構造建築物、風車など）への展開
パナソニック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・自社製品への適用 ・他社製品への適用
静岡大学	<ul style="list-style-type: none"> ・戸建住宅への適用を始め、集合住宅、リフォーム用途への水平展開（平成 35 年度時点でのスタンダード化）

4.1.2 モデル事業受託者へのアンケート・ヒアリング調査

(1) モデル事業受託者へのアンケート・ヒアリング調査の実施概要

1) アンケート・ヒアリング調査の実施対象

「4.2 各事業の実実施計画等に対する達成状況の調査」及び「4.3 CO₂削減効果の検証・評価」の実施のため、モデル事業の受託者へのアンケート・ヒアリング調査を実施した。

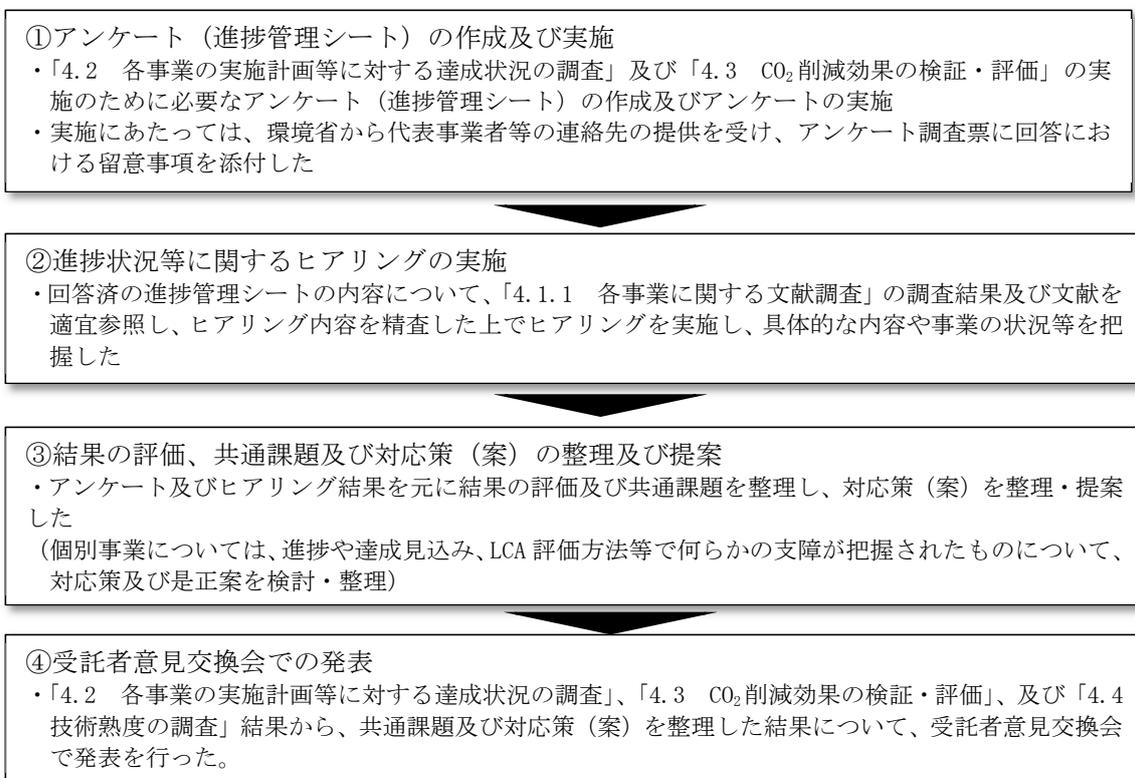
調査の実施対象は、環境省と調整の上、以下の8受託者（表4-6に示す）とし、基本的には代表事業者に対して、アンケート（「進捗管理シート」として作成）及びヒアリング調査を実施した。

表 4-6 各モデル事業の一覧

委託事業名	事業期間	代表事業者	共同事業者
平成 27～29 年度セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務	平成 27 年 9 月～平成 30 年 3 月	トクラス株式会社	山口大学、イオインダストリー株式会社、静岡大学、岡山県森林研究所
		トヨタ車体株式会社	—
		国立大学法人九州大学大学院農学研究院	中越パルプ工業株式会社
		第一工業製薬株式会社	エレクセル株式会社
平成 27～29 年度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 年 9 月～平成 30 年 3 月	パナソニック株式会社	—
		国立大学法人愛媛大学紙産業イノベーションセンター	愛媛県産業技術研究所紙産業技術センター、特種東海製紙株式会社
平成 28 年度セルロースナノファイバー性能評価モデル事業（早期社会実装に向けた導入実証）委託業務（家電・住宅建材分野）	平成 29 年 1 月～平成 30 年 3 月	パナソニック株式会社	—
	平成 29 年 1 月～平成 31 年 3 月	静岡大学	トクラス株式会社等 7 機関

2) アンケート・ヒアリング調査の実施方法

アンケート及びヒアリング調査は、以下の工程で実施した。



3) アンケート・ヒアリング調査の実施スケジュール

アンケート・ヒアリング調査は、表 4-7 に示すスケジュールで実施した。

表 4-7 アンケート・ヒアリング調査の実施スケジュール

委託事業名	7月	8月	9月	10月
①工程管理シートの送付・回答内容の確認	→ 発送先・シート等の確定	→ 工程管理シートの回答 (2週間)・内容確認		
②進捗状況等に関するヒアリングの実施		→		
③結果の評価、共通課題及び対応策(案)の整理及び提案			→	
④受託者意見交換会での発表				●

4) 調査に用いたアンケート票

進捗管理アンケートに用いたアンケート票を表 4-8 に、アンケート実施時に添付した「回答上の留意事項」を表 4-9 に示す。

表 4-8 調査に用いたアンケート（進捗管理シート）票

平成29年度 環境省モデル事業に関する進捗管理チェックシート(受託者送付用)

モデル事業名 事業者名 担当者名(氏名、メールアドレス)					
区分	対象	確認項目	チェック基準	確認結果	確認結果の具体的内容
1. 主要な検証項目・検証技術に関する達成状況	(1) 主要な技術・検証項目1 (〇〇〇〇 ←モデル事業の仕様書・提案書より)	1) 現状の進捗状況	計画に記載した主要な技術・検証項目に対し、現段階でどの程度の進捗状況か	〇〇%	
		2) 事業完了時の達成見込み	計画に記載した主要な技術・検証項目に対し、事業完了時でどの程度の達成見込みか	<input type="checkbox"/> 十分 <input type="checkbox"/> やや不安 <input type="checkbox"/> 不安	
		3) 実施上の課題 (項目別)	①人的資源面の課題があるか (体制不備、役割分担の不整合、マネジメント不足、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			②設備面での課題があるか (既存設備に課題あり、新規導入設備に課題あり、その他)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			③原材料面での課題があるか (実証で使用する材料が不足または調達できない、CNF素材が調達できない、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			④実証方法面での課題があるか (コア技術に関する実証上の課題、コア技術以外に関する実証上の課題、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
	(2) 主要な技術・検証項目2 (〇〇〇〇 ←モデル事業の仕様書・提案書より)	1) 現状の進捗状況	計画に記載した主要な技術・検証項目に対し、現段階でどの程度の進捗状況か	〇〇%	
		2) 事業完了時の達成見込み	計画に記載した主要な技術・検証項目に対し、事業完了時でどの程度の達成見込みか	<input type="checkbox"/> 十分 <input type="checkbox"/> やや不安 <input type="checkbox"/> 不安	
		3) 実施上の課題 (項目別)	①人的資源面の課題があるか (体制不備、役割分担の不整合、マネジメント不足、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			②設備面での課題があるか (既存設備に課題あり、新規導入設備に課題あり、その他)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			③原材料面での課題があるか (実証で使用する材料が不足または調達できない、CNF素材が調達できない、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
			④実証方法面での課題があるか (コア技術に関する実証上の課題、コア技術以外に関する実証上の課題、など)	<input type="checkbox"/> 課題なし <input type="checkbox"/> 課題小 <input type="checkbox"/> 課題大	
2. 実現目標・状況・評価項目に対する達成状況	(1) 実現目標	1) 実現目標設定の有無	・何らかの実現目標を設定しているか	<input type="checkbox"/> 設定あり <input type="checkbox"/> 設定なし	
		2) 環境省の実現目標との整合	・環境省で設定した、2020年・2030年の実現目標を考慮しているか。整合を取っているか。	<input type="checkbox"/> 考慮し整合を取った <input type="checkbox"/> 考慮したが独自に設定 <input type="checkbox"/> 考慮していない	
		3) 実現目標の達成見込み	・設定した実現目標に対し、どの程度の達成見込みがあると想定されるか ・上記見込みは、どのような考えに基づくか	<input type="checkbox"/> 見込み大 <input type="checkbox"/> 見込み中 <input type="checkbox"/> 見込み小	
	(2) 評価項目 (CO2削減以外)	1) 評価項目設定の有無	・何らかの評価項目を設定しているか	<input type="checkbox"/> 設定あり <input type="checkbox"/> 設定なし	
		2) 環境省の評価項目との整合	・環境省で設定した評価項目を考慮しているか。整合を取っているか。	<input type="checkbox"/> 考慮し整合を取った <input type="checkbox"/> 考慮したが独自に設定 <input type="checkbox"/> 考慮していない	
		3) 評価項目別の達成見込み	・設定した評価項目は、達成見込みがあるか (達成見込みの低い評価項目を抽出)	<input type="checkbox"/> 見込み大 <input type="checkbox"/> 見込み中 <input type="checkbox"/> 見込み小	
3. CO2削減効果の評価	(1) CO2削減量の評価方法	1) 評価範囲及びシステム境界の設定方法	・製品開発範囲におけるプロセスデータの収集をしているか。 ・CO2削減量の算定が、原材料調達～廃棄(リサイクル)までの製品ライフサイクルの各段階で設定・評価されているか	<input type="checkbox"/> 収集している <input type="checkbox"/> 収集していない <input type="checkbox"/> 設定あり <input type="checkbox"/> 設定なし	
		2) 算定対象及び算定条件等の妥当性	・設定されていない場合、その理由は何か。また、今後データを収集するなどして算定する予定があるか ・算定対象及び比較対象の設定は妥当であるか ・またそれらの算定条件について妥当であるか	<input type="checkbox"/> 見込みあり <input type="checkbox"/> 見込みなし <input type="checkbox"/> 妥当 <input type="checkbox"/> 妥当でない	
		3) 算定データの適切性	・算定に使用する(した)データは適切であるか (実証で得られたデータを使用、推計データを使用、推計データの場合は年次や項目などが適切か、など)	<input type="checkbox"/> 適切 <input type="checkbox"/> 適切でない	
	(2) 環境省の算定方法等との整合状況	1) LCAガイドラインとの整合状況	・現在実施しているCO2削減量の算定方法がH27年度(自動車)、H28年度(家電、住宅建材)に環境省が作成したLCAガイドライン(案)と整合は取れているか	<input type="checkbox"/> 整合あり <input type="checkbox"/> 整合なし	
		2) CO2削減量の実現目標	・整合が取れていない場合、整合をとる予定はあるか。	<input type="checkbox"/> 予定あり <input type="checkbox"/> 予定なし	
			・10%以上のCO2削減量が見込まれるか	<input type="checkbox"/> 見込みあり <input type="checkbox"/> 見込みなし <input type="checkbox"/> 現状不明	
4. その他	(1) 環境省に求めること			-	
	(2) その他			-	

※技術熟度 (TRA) については別途ツールでチェックします

表 4-9 調査に用いたアンケート票（進捗管理シート）に添付した留意点

区分・対象		確認項目	回答方法・回答上の留意点
1. 主要な検証項目・検証技術に関する達成状況		<ul style="list-style-type: none"> ・現状の進捗状況 ・事業完了時の達成見込み ・実施上の課題（項目別） 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画（提案書、仕様書など）で位置づけた、主要な技術・検証項目別に記載してください。 ・EXCELのシート上には2項目記載欄がありますが、2つ以上ある場合はコピー&ペーストで項目数を増やして入力してください。
2. 実現目標・評価項目に対する達成状況	(1) 実現目標	1) 実現目標設定の有無	・モデル事業において、2020年、2030年など、将来における実現目標を設定しているかを記載してください。
		2) 環境省の実現目標との整合	・モデル事業で実現目標を設定している場合、環境省が「平成27・28年度「セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務」」で設定した、2020年及び2030年の実現目標を参考にしているか、整合を取っているかを記載してください。
		3) 実現目標の達成見込み	・実現目標を設定している場合、その目標の達成見込みを評価し、記載してください。 ※複数ある場合はコピー&ペーストで目標数を増やして入力してください。
	(2) 評価項目（CO ₂ 削減以外）	1) 評価項目設定の有無	・モデル事業において、何らかの評価項目を設定しているかを記載してください。
		2) 環境省の評価項目との整合	・モデル事業で評価項目を設定している場合、環境省が「平成27・28年度「セルロースナノファイバーを活用したモデル事業の推進計画の策定委託業務」」で設定している評価項目を参考にしているか、整合を取っているかを記載してください。
		3) 評価項目別の達成見込み	・評価項目を設定している場合、その評価項目の達成見込みを評価し、記載してください。 ※複数ある場合はコピー&ペーストで評価項目数を増やして入力してください。
3. CO ₂ 削減効果の評価	(1) CO ₂ 削減量の評価方法	1) 評価範囲及びシステム境界の設定方法 2) 算定対象及び算定条件等の妥当性 3) 算定データの適切性	<ul style="list-style-type: none"> ・LCAを実施しているか記載して下さい。 ・LCAを実施している場合、「セルロースナノファイバーを用いた自動車製品に関するLCAガイドライン（案）」もしくは、「セルロースナノファイバーを用いた家電部材及び住宅建材に関するLCAガイドライン（案）」（以下、「LCAガイドライン」）に沿って算定を実施していますか。
	(2) 環境省の算定方法等との整合状況	1) LCAガイドラインとの整合状況 2) CO ₂ 削減量の実現目標	・CO ₂ 削減量の実現目標を設定している場合、設定した目標及びその目標値の算定方法を記載して下さい。
4. その他	(1) 環境省に求めること		・モデル事業の受託・実施を通じて感じた、環境省事業に対する要望や改善点などを記載してください。（どのような視点からでも構いません）
	(2) その他		・モデル事業を実施する上で、何らかの側面的支援が必要なことなどや、環境省事業の枠組みを問わずCNFの普及促進に必要なことなど、思うところがあれば記載してください（CNFに関連することであれば、内容は問いません）

5) ヒアリング調査の概要

進捗管理のヒアリング調査では、以下に示す項目について把握した。

事前に、回答済の進捗管理シートの内容について、「4.1.1 各事業に関する文献調査」の調査結果及び文献を適宜参照し、不明点等を洗い出した上で、ヒアリングを実施した。

ヒアリングは、平成 29 年 8 月～9 月の間に実施した。受託者別のヒアリング実施日を、表 4-10 に示す。

<主なヒアリング調査項目>

- ・モデル事業の現状における進捗状況
- ・モデル事業で位置づけた主要な技術・検証項目の達成見込み
- ・上記の主要な技術・検証項目の実施における課題
- ・各事業で設定している実現目標・評価項目の内容（これらの有無を含め）及び環境省で別途設定している実現目標・評価項目との整合
- ・事業実施による CO₂削減効果及び算定方法（LCA レベルで評価しているか、どのような評価方法・データを用いるか、算定の妥当性など）

表 4-10 受託者別のヒアリング実施日

代表事業者	ヒアリング実施日
パナソニック株式会社 (製造工程)	8 月 24 日 (場所：パナソニック生産技術本部)
第一工業製薬株式会社	8 月 30 日 (場所：第一工業製薬本社)
トヨタ車体株式会社	8 月 30 日 (場所：トヨタ車体寿新規開発センター)
パナソニック株式会社 (性能評価)	9 月 1 日 (場所：パナソニック生産技術本部)
国立大学法人愛媛大学	9 月 13 日 (場所：愛媛大学紙産業イノベーションセンター)
国立大学法人静岡大学	9 月 15 日 (場所：静岡大学浜松キャンパス)
トクラス株式会社	9 月 15 日 (場所：静岡大学浜松キャンパス)
国立大学法人九州大学	9 月 19 日 (場所：九州大学箱崎キャンパス)

4.2 各モデル事業の実実施計画等に対する達成状況の調査

4.2.1 実施計画に対する達成状況の調査

(1) 主要な検証項目・検証技術に関する達成状況

1) 事業の進捗状況

①アンケート結果

受託者別・主要項目別の進捗状況（平成29年8月時点）は、10%～95%と差異が大きい。

②ヒアリング結果

受託者別・主要項目別の現時点での進捗状況は上記の通りだが、「進捗について遅延または支障はない」ことが把握された。

(参考) 進捗状況に差異が大きい理由

事業期間について、事業の終盤に差し掛かっているモデル事業（今年度で終了など）の進捗率の方が高い傾向にある（表4-11参照）。

表 4-11 受託者別のヒアリング実施日

検証項目の特徴	進捗率の際に関する傾向
段階的に検証項目が進むもの (例：材料作製→製品作製→効果検証 (CO ₂ 削減効果) など)	・効果検証など、各工程がある程度進まないと実施できない項目の進捗率が低い (10%など) ・材料作製など、各項目が実施できる前提となる項目の進捗率は高い (60～95%など)
複数製品 (実証項目) を同時並行で進めるもの	・特段の傾向はない。進捗率の範囲は、30～70%。

2) 事業の達成見込み

①アンケート結果

主要項目別の達成見込みについては、全受託者が各項目について「十分」と回答している。

②ヒアリング結果

モデル事業において位置づけた物性目標値等についてはクリアできる見込みだが、「実際に製品化する場合は、具体の製品を確定させ、要求される物性値を設定した上で、目標をクリアする必要がある」との意見が複数把握された（自動車、家電、住宅建材いずれも）。

(2) 各課題（人的資源、設備、原材料、実証方法）

1) 人的資源

① アンケート結果

「人的資源面での課題がある」と回答した受託者はなかった。

② ヒアリング結果

ヒアリングにより課題が把握された受託者はなかった。また、提案時・事業実施時から体制変更があった受託者もなかった。

2) 設備

①アンケート結果

設備面について、課題があると回答した受託者は2者存在した。「課題大」と回答した受託者はいなかったが、「課題小」と回答した受託者は2者存在した。

②ヒアリング結果

ヒアリングの結果、設備面の課題が生じた受託者は4者把握された。受託者別の具体的な課題の内容を表4-12に示す。

これら設備面での課題は、いずれも受託者側で対処されているため、是正を求めるものではない。

内容はいずれも、国の予算で新規設備投資ができないことに起因しており、「既存設備を使うしかないので、より省CO₂削減に繋がる技術検証ができない」「受託者負担で設備を導入するしかなく、負担が大きい」といった内容に二分された。現実的な国の予算執行のあり方全体にかかわる内容であること、受託者間での公平性や、事業終了後の取り扱いなどの観点等難しい面があるため、個々の事業・主体のみかかわる設備への補助等は難しい。

その他には、「実証（評価）設備の不足」が生じていることが考えられる。この問題は受託者側の対応（設備を持っているところに再委託、遠方の試験場等で評価を実施、など）でカバーしていると想定されるが、実証の円滑化を図っていく上では、改善が必要な事項である。

表 4-12 設備面で把握された課題の具体的内容

課題の具体的内容
<ul style="list-style-type: none">金型の変更を行うと費用がかかるため、既存金型を改良した方法を取った（金型改良すれば、より省CO₂化が可能であった）小型の実証機を作成したいと考えていたが、そうした名目で経費を使えないため、試験場で試験をするしかない
<ul style="list-style-type: none">新規の設備投資ができれば、高性能な断熱材の実証が可能だが、事業の制約から既存の設備を使っており、既存技術の延長線で行うことから、発現効果も限定的となる
<ul style="list-style-type: none">環境省との契約が遅く、証明を出せないため、実際の設備導入の契約の際に支障が出た。また、必要な設備導入に環境省からの事業費は足りないため、大学負担が必要になっている
<ul style="list-style-type: none">設備については、自社の設備を利用している。環境省予算では設備は購入できないため、必要があれば自社負担で設備を導入している。プロジェクトの中で設備導入までみて頂けるとありがたい

3) 原材料

①アンケート結果

「課題がある」と回答した受託者は1者あった。

②ヒアリング結果

上記の1者について、課題の具体的な内容を把握した（表4-13）。

本事業では、受託者がCNFを製造するが、別の製法で製造されたCNFとの比較検証等を行うことになっていることから、他社製のCNFを調達する必要がある。「調達できない場合、他のメーカーから調達する予定」とのことだが、製法が異なるなど全く同じ条件のものが入手できない可能性があることから、他のモデル事業と調整することが望ましいと考えられる。

残りの受託者からは特段の課題が把握されていないが、全体として課題が少ない理由は以下の3点と想定される。

<課題が少ない理由（想定）>

- ・ CNFの製造から受託者が実施する（製造工程の実証など）事業については、CNFの外部調達がない（パルプ等原料は調達するが、供給量の課題は少ない）
- ・ 実証段階のため、CNFの使用量がそれほど多くない
- ・ 申請段階で、供給能力のある供給元を抽出しており、条件を調整済み

表4-13 原材料面で把握された課題

課題の具体的な内容
・ 比較のため他社製CNF調達を要請したが、他のモデル事業向けに相当数供給する必要があることから難しいと言われた

4) 実証方法

① アンケート結果

「課題がある」と回答した受託者は1者あった。

② ヒアリング結果

上記の1者について、課題の具体的な内容を把握した(表4-14)。

本事業では、2製品(部材)への適用を検討しているが、実証を進める中で、1つは物性(強度)面で、もう1つはCO₂削減効果の面で想定した効果が発現できないことが分かったものである。

いずれも、一部変更を伴うレベルであるが、受託者側で内容を検討中である。

他の事業では、実証内容の変更が必要なものは把握されていないが、事業によっては、強度・複合化率・透過率・CO₂削減効果など、関連する物性値等の目標値がそもそも設定されていないものもあることに留意が必要である。

表 4-14 実証方法面で把握された課題

課題の具体的内容
<ul style="list-style-type: none">・ 冷蔵庫は、クロスレールの剛性低下が回避できないことがわかっているため、冷蔵庫全体で剛性を確保できるか検討する・ 洗濯機のドラムは当初想定より大幅にCO₂削減効果が低くなる見込み(※ただし、削減目標値は設定していない)

4.2.2 実現目標及び評価項目に対する達成状況の整理

(1) 実現目標

環境省では、平成 27 年度に自動車の、28 年度に家電・住宅分野の実現目標を設定している。内容は下表 4-15 に示す通りである。各受託者に対し、実現目標の設定状況及び環境省が設定した実現目標との整合状況、実現目標の達成見込みについて把握した。

表 4-15 環境省が設定した実現目標 (2020 年度)

分野	類型	目標の具体的内容
自動車分野	定量目標	走行段階の CO ₂ 削減効果が 10% 以上であること (うち軽量化による走行段階の CO ₂ 削減効果が 7% 以上であること)
	定性目標	CNF 技術コンセプトカーの完成
家電・住宅建材分野	定量目標	<原則> ① CNF を活用することで CNF を使用しない従来製品・部材等と比較して 10% 以上の CO ₂ 削減効果があるものが製品化される ② 2030 年時点で性能向上分を考慮して CNF を使用しない従来製品・部材等と同程度のコストとなる見込みが立っている
	定性目標	CO ₂ 排出削減に有効な家電や住宅建材として CNF を活用した製品・部材等が認知されている

1) アンケート結果

何らかの実現目標を「設定している」と回答した受託者は 7 者、「設定していない」と回答した受託者は 1 者あった。

「設定している」と回答した 7 者のうち、環境省が設定した実現目標について、「考慮し整合を取った」と回答した受託者は 2 者、「考慮したが独自に設定した」と回答した受託者が 4 者、「考慮していない」と回答した受託者が 1 者あった。

また、「設定している」と回答した 7 者のうち、実現目標の達成見込みについて、「見込み大」と回答した受託者は 4 者、「見込み中」と回答した受託者が 2 者あったが、「見込み小」と回答した受託者が存在しなかった（無回答は 1 者）。

「事業委託業務報告書」等の文献から、各受託者が設定した目標を抽出した結果を、表 4-16 に示す。上記で実現目標を「設定していない」と回答した受託者も、実際には目標を設定している（※ヒアリング前に把握しており、ヒアリングで確認した）。

表 4-16 各受託者が設定した目標（文献より）（1/2）

代表事業者	各受託者が設定した目標
トクラス株式会社	<p>既存部品に対し、同等以下の製造原価で、CO₂削減量 30kg/台以上が実現できる高意匠＋高機能＋安定供給CNF添加WPC部品を既存メーカー（設備）で製造</p> <p>【I. 作り手側が供給しやすい体制作り】</p> <p>①100t/月以上のCNF添加WPC供給システムの構築</p> <p>②汎用成形設備で製造でき、かつ既存部品同等以上の性能が確保できるコンパウンドを300円/kg以下での提供できる体制構築</p> <p>【II. 使い手側が利用しやすい環境整備】</p> <p>①既存製品より15%以上軽量化が図れる自動車内装部品の確立</p> <p>②簡易加工（ex. 塗装）のみで、高木質意匠が付与できる質感の提供</p> <p>③エクステリア用WPCへの再利用できるスペックの提示</p>
トヨタ車体株式会社	<p>○最終的な目標：部品評価すべて合格</p> <p>1 耐熱性試験：エンジンルーム内の温度でも外観不良、変形なきこと。公差±3mm</p> <p>2 冷熱繰り返し試験：外観不良、変形なきこと。公差±3mm</p> <p>3 振動耐久性：走行距離10万キロ、20万キロを想定し、割れなど異常なきこと。</p> <p>4 落錘試験：ボンネットを開けて工具など落下したことを想定、割れなど異常なきこと</p>
国立大学法人九州大学大学院農学研究	<p>（製品物性目標値）ACC製造法以外の製造法で得られる木材由来の親水性ナノセルロースを表面疎水化学処理したものをポリプロピレンに5%配合すると、現時点で、弾性率が2倍以上になることが確認されている。そのため、本申請において製造される化学処理を必要としない竹由来のACC-ナノセルロースのポリプロピレンとの複合化物が、5%配合で、弾性率が2倍以上というのが最低目標となる。</p> <p>（エネルギー削減量目標値）ACC製造法で、本申請の竹ナノセルロースが木材ナノセルロースと同等の性質を示すようにするの、プロセスにかかるエネルギーで30%以上の削減を目標とする。</p> <p>○最終的な目標：</p> <p>仕様：5年間で生産能力を200t/年とし、コストの削減を35%以上とする。</p> <p>性能：ポリプロピレンに5%配合で弾性率が2倍以上のナノコンポジット</p> <p>エネルギー損失率：20%以内</p> <p>省エネルギー率：30%以上（従来型システム比）</p> <p>○開発工程に係るリスク</p> <p>原材料の竹のコスト変動のリスクを想定。発生した場合は、木材原料との複合等により対処。</p>
第一工業製薬株式会社	<p>CNFを用いたリチウムイオン二次電池のプロトタイプを試作と性能評価</p> <p>仕様：実用電池サイズは3～5Ahクラス</p> <p>目標性能：小型積層セル(0.3～0.5h)での10C放電保持率80%以上。</p> <p>評価条件：アイドリングストップ車用鉛蓄電池に規定されるSBA S0101を模擬</p>
パナソニック株式会社（製造工程）	<p>従来材料に対して、製品活用時のみならず、製造時におけるCO₂削減効果を創出するために、現状製法と同等以上の強度を確保しつつ、製造時のCO₂総排出量（素材製造時、成形加工時、および素材使用量のトータル）が従来材料より少ないCNF複合樹脂製品の実現を目標とする。</p> <p>（各要素開発による具体目標値）</p> <p>「要素開発①CNF複合樹脂材料の全乾式製法の開発」</p> <p>・CNF製造時のCO₂排出量：0.5kg-CO₂/kg-CNF</p> <p>（15%CNF複合PPとした場合：1.3kg-CO₂/kg-複合樹脂）</p> <p>※従来製法による15%CNF複合PP：1.6kg-CO₂/kg-複合樹脂以上</p> <p>従来材料（100%PP）：1.5kg-CO₂/kg-樹脂</p> <p>・CNF複合樹脂物性：弾性率≥従来材料（100%PP）の1.3倍</p> <p>（現状製法品のカタログ値）</p> <p>「要素開発②CNF複合樹脂材料の成形加工法の開発」</p> <p>・素材使用量の削減を考慮したCNF複合樹脂の成形プロセスにおけるCO₂排出量：従来材料（100%PP）と同等以下</p>

表 4-16 各受託者が設定した目標（文献より）（2/2）

代表事業者	各受託者が設定した目標
国立大学法人 愛媛大学 紙産業イノベーション センター	本公募終了時：CNF 脱水率 90%（固形分濃度 12%） <u>省エネルギー率：88%以上（従来型システム比）</u> ・樹脂混練 ・PMMA 全光線透過率 90%以上 ・弾性率 3000 MPa，線膨張係数 6.0×10^{-5} K ⁻¹ 現行から 10%向上
パナソニック株式会社 （性能評価）	1. 冷蔵庫 成型性： 部品寸法公差内に収まること 消費電力量： 実機評価において目標達成が見込めること 剛性・強度： 製品組立時に変形量がスペック内に収まること 着色性： 実機組込み品において目視評価 2. 洗濯機 成型性： 部品寸法公差内に収まること 駆動状態： ドラムが機能通りに駆動すること/振動がスペック内に収まること 消費電力量： 実機評価において目標達成が見込めること 3. リサイクル性 ・CNF 複合樹脂を含む混合樹脂からの単一素材回収および再生 回収率：60%以上（=廃棄率：40%以下） 回収品純度：80%以上
静岡大学	<u>住宅1戸あたり 200 kg/年の削減</u>

（出典）H28 事業委託業務報告書等、受託者が環境省に提出した資料から抜粋

2) ヒアリング結果

各受託者は、実現目標を設定しているが、多くは製品の目標性能値(主要なもの)や、年度別の実証目標などであることが分かった。表 4-15 の「各受託者が設定した目標」の中には、CO₂削減に関する目標値が記載されているものもあるほか(太字で表示)、いずれの受託者も 2020、2030 年の CO₂削減量は別途試算している。

ヒアリングの結果、環境省が設定した実現目標の認知度が高くないこと(表 4-14 に示す内容や、その考え方等を理解していた受託者は、ほとんどいない)、も明らかになった。

このため、これら内容についてあらためて周知・理解されることが必要であり、個々の事業でどの程度の寄与ができるか適切な評価を行い、明確化することも必要であることがわかった。

<環境省実現目標の前提条件の中で特に齟齬が見られた内容>

- ・「10%以上削減」は、全体ベースでなく、「寄与率ベース」であること
(例：自動車部品であれば、全体の軽量化率でなく、置き換えた部品の軽量化率で比較)
- ・エネルギー使用量・CO₂削減量を計算する条件は、社会実装段階の設備を仮定することが可能
(ラボレベルの設備では、そもそも単位あたりの使用量等が過大など、条件が不利)

(2) 評価項目

環境省では、平成 27 年度に自動車の、平成 28 年度に家電・住宅分野の評価項目を設定している。設定条件及び設定対象を表 4-17 に示す(個別の内容は、表 4-18～表 4-21 に示す)。

各受託者に対し、実現目標の設定状況及び環境省が設定した実現目標との整合状況、実現目標の達成見込みについて把握した。

表 4-17 環境省が設定した評価項目の設定条件・設定対象等

分野	設定条件	評価項目を設定した製品・部材等
自動車分野	<ul style="list-style-type: none"> 自動車分野の主な評価機関・基準(国土交通省道路運送車両の保安基準、JIS、JASO、JFS)を基に、右に示す部材別に設定 なお、保安基準の項目である「破壊試験」及び「前面衝突時の乗員保護」に関しては、実用上は必須項目であるが、試験のために複数の車を製作することはモデル事業では困難と思われることから評価項目から除いた 	メインボディ、バックドア・フェンダー・サイドドア、サブフレーム、ルーフ・ボンネット、インストルメントパネル、タイヤ、窓ガラス、ドアトリム・アームレスト、エンジン補機・エンジンカバー・オイルパン、オートマチックミッション、フロントサスペンション、シートフレーム、バンパーフェース・リーニフォースメント、外装(エアロパーツ、ボディー周辺部品他)、シート、フロア周辺、ワイヤーハーネス、リチウムイオン電池ケーシング
家電分野	<ul style="list-style-type: none"> 製品・部位としての必要機能及び指標について、JIS 規格等を基に設定 基本性能、安全性能、環境性能の 3 つに分けて検討・整理 	エアコンの室外ファン、面発光 LED の拡散シート、冷蔵庫、センサー基板、蓄電池(増粘剤)、洗濯機(洗濯槽・パルセータ)
住宅建材分野		樹脂窓枠等、窓ガラス(ガラス断熱)、断熱材(エアロゲル断熱材、発泡断熱材、給湯配管断熱材)、住宅全体(戸建、集合住宅)

1) アンケート結果

全ての受託者が、何らかの評価項目を「設定している」と回答した。

上記のうち、環境省が設定した評価項目について、「考慮し整合を取った」と回答した受託者は 1 者、「考慮したが独自に設定した」と回答した受託者が 4 者、「考慮していない」と回答した受託者が 3 者あった。

実現目標の達成見込みについて、「見込み大」と回答した受託者は 6 者、「見込み中」と回答した受託者が 2 者あったが、「見込み小」と回答した受託者が存在しなかった。

「事業委託業務報告書」等の文献から、各受託者が設定した目標を抽出した結果を、表 4-21～23 に示す。

2) ヒアリング結果

ヒアリングの結果、全ての受託者が、実証の対象とする製品・部材等について必要な評価項目を具体的に設定し、検証を行っていることが把握された。なお、環境省で設定した項目との整合については、実際には取られていない状況であるが、その理由は以下と想定される。

＜想定される理由＞

- ・ 環境省で設定した評価項目は、自動車・家電・住宅建材の3分野であるが、いずれも全ての製品・部材を対象にしたものでなく、これら以外を実証するモデル事業がある。
- ・ 環境省が評価項目を設定する前に、モデル事業がスタートしているものがある。
- ・ JIS等の規格は基本的に製品単位だが、モデル事業で実証されているものは製品全体でなく、部材・部品の一部であるものが大半であり、直接活用できないものがある。
- ・ 実際の製造現場では、要求性能が、製品別に異なり、「1部品1仕様」となっていることが多い。

環境省が設定した評価項目を表4-18～21に示す（各モデル事業に関連するもののみ抜粋）。各モデル事業受託者によって設定されている評価項目を表4-22～24に示す。

表 4-18 バンパーフェース・リーンフォースメントに関する評価項目と必要水準（案）

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	強度	引張強度	JIS K7161	部材中の最大引張応力に対して十分な安全率が確保されること。
		曲げ強度	JIS K7171	部材中の最大曲げ応力に対して十分な安全率が確保されること。
	剛性	弾性率	JIS K7161	鋼板より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
		曲げ弾性率	JIS K7171	鋼板より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
	耐熱性	融点	JIS K7121	PA6 同等以上 最大環境温度 120℃ オンライン塗装時 190℃ 30分に耐えること
		熱伝導率	JIS A1412	従来樹脂同等以上
		体積膨張率	ISO 6801	従来樹脂同等以下
		線膨張率	JIS K7197	鉄、アルミと同水準であること
	吸水性	吸水率	JIS K7209	従来樹脂同等以下
	加工性	MFR(ルトフローインデックス)	JIS K7210	従来熱可塑性樹脂同等以上
		塗装膜密着度	JIS K5600	クロスカット法 6段階のうち、「どの格子の目にもはがれない」
	高品位外観性	着色性	JIS K7102	カーボンアーク燈光に対しての変退色が少ないこと
安全性能	耐衝撃性	シャルピー衝撃値	JIS K7111	常温で非破壊 -30℃で >5kJ/m ²
		アイゾット衝撃値	JIS K7110	23℃で >300J/m
	衝撃吸収性	小球バネ力	JIS K6902	損傷の発生がないこと
	耐摩耗性	磨耗量	JIS K7205	従来樹脂同等以下
	耐薬品性（耐酸性・耐アルカリ性）	重量変化率	JIS K7114	従来汎用樹脂と同等以上
耐雷性	導電率	—	適当な落雷対策がなされていること	
環境性能	低燃費性	軽量化率	JIS D 1012	軽量化率が 25%以上であること
	低炭素性	CO ₂ 削減効果(LCCO ₂)	JIS Q 14040	商用化段階において従来製品に比べて、LCCO ₂ が減少する
	リサイクル性	・部品点数 ・マテリアルリサイクル回数 ・サーマルリサイクル時の排出係数	—	商用化段階において従来製品に比べて、リサイクル性が向上する可能性がある
経済性	経済性	製造原価	—	商用化段階において従来製品に比べて、加工費を含めた製造原価が安価となる可能性がある

表 4-19 ドアトリム・アームレストに関する評価項目と必要水準（案）

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
保安基準	難燃性	燃焼速度など	保安基準第 20 条 乗車装置別添 27 内装材料の難燃性の技術基準	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼しないこと ・または燃焼速度の最大値は 100mm/分を超えないこと ・試験片の燃焼が、A 標線に達してから 60 秒経過する前に停止し、かつ、A 標線に達した後の試験片の燃焼 ・鋼板、アルミ板、FRP、厚さ 3mm 以上の木製の板（合板を含む）及び天然の皮革は難燃性の材料とみなす。
基本性能	強度	引張強度	JIS K7161	部材中の最大引張応力に対して十分な安全率が確保されること。
		曲げ強度	JIS K7171	部材中の最大曲げ応力に対して十分な安全率が確保されること。
	剛性	弾性率	JIS K7161	既存樹脂より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
		曲げ弾性率	JIS K7171	既存樹脂より比剛性が高く、高い軽量化率がえられること
	耐熱性	融点	JIS K7121	PP 同等以上 最大表面温度 105℃に耐え、変形しないこと
		熱伝導率	JIS A1412	従来樹脂同等以上
		体積膨張率	ISO 6801	従来樹脂同等以下
		線膨張率	JIS K7197	鉄、アルミと同水準であること
	吸水性	吸水率	JIS K7209	従来樹脂同等以下
	加工性	MFR(マルチフローインデックス)	JIS K7210	従来熱可塑性樹脂同等以上
		塗装膜密着度	JIS K5600	クロスカット法 6 段階のうち、「どの格子の目にもはがれがない」
高品位外観性	着色性	JIS K7102	カーボンアーク燈光に対しての変退色が少ないこと	
安全性能	難燃性	燃焼速度	JIS D1201	燃焼しないか、燃焼速度が 100 mm/分以下であること
	衝撃性		—	衝突時の破片でシャープエッジが生じないこと
	衝突安全性	側面衝突時のエネルギー吸収	—	衝撃吸収対策がとられていること
環境性能	低燃費性	軽量化率	JIS D 1012	軽量化率が 25%以上であること
	低炭索性	CO ₂ 削減効果(LCCO ₂)	JIS Q 14040	商用化段階において従来製品に比べて、LCCO ₂ が減少する
	リサイクル性	<ul style="list-style-type: none"> ・部品点数 ・マテリアルリサイクル回数 ・サーマルリサイクル時の排出係数 	—	商用化段階において従来製品に比べて、リサイクル性が向上する可能性がある
経済性	経済性	製造原価	—	商用化段階において従来製品に比べて、加工費を含めた製造原価が安価となる可能性がある

表 4-20 洗濯槽・パルセータに関する評価項目と必要水準（案）

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	洗濯性能	洗浄比	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	すすぎ性能	すすぎ比	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	脱水性能	残水度	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
	消費電力	消費電力	JIS C9811:1999	従来製品同等以下
安全性能	—	—	—	—
環境性能	特定化学物質	含有率	JIS C0950:2008	基準値を超えないこと
	低炭素	CO ₂ 削減効果 (LCA レベル)	JIS Q14040	既往文献の合計 CO ₂ 排出量より少ないこと
	リサイクル性	—	—	再生可能であること

表 4-21 発泡断熱材に関する評価項目と評価方法(案)

区分	評価項目	指標	測定方法 準拠規格	必要水準
基本性能	断熱性	熱伝導率	JIS A9521:2014	断熱の目的で使用される材料であり、23℃における熱伝導率が 0.065 W/(m・K) 以下のもの。
	強度	圧縮強さ	JIS K 7220:2006	10N/cm ² 以上 発泡プラスチック系断熱材と同等以上であること
		曲げ強さ	JIS K 7221-2:2006	15N/cm ² 以上 発泡プラスチック系断熱材と同等以上であること
	水蒸気バリア性	透湿係数	JIS A1324:1995 の 5.2(カップ法)	145ng/(m ² ・s・Pa)以下 発泡プラスチック系断熱材と同等以下であること
	吸水性	吸水率	JIS A9521:2014 付属書 C	5%以下 発泡プラスチック系断熱材と同等以下であること
	燃焼性	酸素指数	JIS A9521:2014 付属書 B	酸素指数 28 以上 発泡プラスチック系断熱材と同等以上であること
	建築基準法第 28 条の 2 シックハウス対応ホルムアルデヒド放散特性	ホルムアルデヒド放散速度	JISA9521:2014	ホルムアルデヒド・VOC を発生しないこと
安全性能	硬質ウレタンフォーム現場施工	—	労働安全衛生法有機溶剤中毒予防規則	発泡機の洗浄に用いる有機溶剤の取り扱いにおいて有機溶剤中毒予防規則を遵守すること。
環境性能	品確法・省エネ法断熱 2020 年断熱性能	断熱等性能等級	品確法	等級 4 (2013 年基準)
		一次エネルギー消費量等級	品確法	等級 5 (低炭素基準相当)
	劣化率	熱伝導率	JIS A9521:2014	熱伝導率の劣化率が年 2% 以内
	グリーン購入法※	—	—	ノンフロンであること
	省エネ法トップランナー制度※	熱伝導率	JISA9521:2014	グラスウール、ロックウール、押出法ポリスチレンフォームの 3 種類について目標基準値がある。 グラスウール目標基準値 0.04156W/(m・K)
	低炭素	CO ₂ 削減効果 (LCA レベル)	JIS Q14040	商用化段階において従来製品に比べて、LCCO ₂ が減少する
リサイクル性	—	—	商用化段階において従来製品に比べて、リサイクル性が向上する可能性がある	

※推奨項目

表 4-22 自動車分野に関連するモデル事業で設定されている評価項目・評価方法(1/2)

受託者名	素材	用途	受託者により設定されている評価項目・評価方法	環境省が設定した評価項目
パナソニック (製造工程)	PP+CNF	スカッフプレート	<ul style="list-style-type: none"> ・ CNF 複合樹脂による成形サンプルを薄肉化することで重量を軽量化後、機械的特性(JIS 規格)及び車載信頼性試験を実施し従来材 PP との比較評価を実施 ・ CNF 複合樹脂にて従来材 PP と同等以上の機械的特性を確保し、且つ、製品重量を 15%軽量化 ・ 全乾式製法による CNF 複合樹脂材料の性能が従来材料を上回る 引張弾性率：従来材料(100%PP)比 1.3 倍以上 引張強度：従来材料(100%PP)比 1.03 倍以上 	設定なし
トクラス	WPC+CNF	インパネ周辺材	<ul style="list-style-type: none"> ○性能評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 量産したコンパウドの評価、汎用射出成形機で成形できる流動性を確保できる(MFR=5g/10min以上) レシピ条件をフィードバック ・ 量産 CNF 添加コンパウドにて汎用射出成形機で試作した成形体を用い機械的特性の評価を実施 ・ 量産試作で得られた CNF 添加 WPC 部品について、耐久評価(疲労試験水候等)を実施 ○リサイクル性評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ CNF 添加 WPC 廃材としては、成形後の成形体を粉砕したものをういエクステリア用 WPC コンパウドへ添加、その成形性を評価 ・ 実際に量産で製造した CNF 添加 WPC 廃材添加エクステリア WPC の機械的特性等エクステリア用途の基本特性を評価 ○経済性評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 実際の製造ラインにて 100 円/kg以下の製造コストで CNF 入木粉が生産できること ・ 既存設備を用いたコンパウド量産を実施し、300 円/kg以下の製造コストで生産できること ・ 実際の自動車部品を試作し、既存素材であるタルク充填プラスチックと同等以下の製造コストで生産できること 	設定なし ※インパネは設定あり
愛媛大学	PMMA+CNF	ライトカバー等 (外装材)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全光線透過率 90%以上 ・ バンクチャ衝撃試験を実施(既存のものと比較) 	設定なし
九州大学	PP+CNF	バンパー	<ul style="list-style-type: none"> ・ PP に CNF 5%配合で弾性率が 2 倍以上のナノコンポジット ・ 既存のものより性能が低下しない 	表 4-18 参照
		トリム	※同上	表 4-19 参照

表 4-22 自動車分野に関連するモデル事業で設定されている評価項目・評価方法(2/2)

受託者名	素材	用途	受託者により設定されている評価項目・評価方法	環境省が設定した評価項目
第一工業製薬	LIB+CNF	リチウムイオン二次電池水系化正極	<ul style="list-style-type: none"> ・小型積層セル (0.3~0.5Ah) での 10C 放電保持率 80%以上 (評価条件はアイドリングストップ車用鉛蓄電池に規定される ABA S0101 を模擬) ・複合バインダー膜の引張強度試験を実施 (既存のものと比較) ・現行の CMC に CNF を添加することにより難分散性導電剤の分散効率化が可能か試験を実施 ・CNF 添加による塗料分散性向上、電極物性向上効果を確認 	設定なし ※リチウムイオン電池ケーシングの設定はあり
トヨタ車体	PP+CNF	バッテリーキャリア	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱性試験 (エンジンルーム内の温度でも外観不良、変形なきこと) ・冷熱繰り返し試験 (外観不良、変形なきこと) ・振動試験 (走行距離 10 万 km~20 万 km を想定し、割れなど以上なきこと) ・落錘試験 (ボンネットを開けて工具など落下したことを想定、割れなど異常なきこと) 	設定なし
		パワースライドドアユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・ドア作動性 (スライドドア開閉時に異常なきこと) ・耐熱性試験 (夏の炎天下の温度を想定。スライドドア開閉時に異常なきこと) ・冷熱繰り返し試験 (温度変化の繰り返し部品に与える影響。スライドドア開閉時に異常なきこと) ・ヒートショック試験 (高温と低温で急激な温度変化の中で、スライドドア開閉時に異常なきこと) 	設定なし

表 4-23 家電分野に関連するモデル事業で設定されている評価項目・評価方法

受託者名	素材	用途	受託者により設定されている評価項目・評価方法	環境省が設定した評価項目
パナソニック (性能評価)	PP+CNF	センターピラー (冷蔵庫)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱変形評価、伝熱評価、荷重変形評価を実施 ・冷蔵庫への適用部品向け金型設計・製作を行い、各項目 (金型内充填パターン、圧力分布、ウェルドライン、ヒケ予測、エアートラップ発生予測、反り発生予測) の評価を実施 	設定なし ※冷蔵庫全体は設定あり
		クロスレール (冷蔵庫)	<ul style="list-style-type: none"> ・形状の剛性を構造解析により評価 ・CNF 15%複合材で作製した 12 種類のサンプルに対して、荷重を加えた際の XYZ 各方向の変位量を構造解析により算出 	設定なし ※冷蔵庫全体は設定あり
		脱水受け (洗濯機)	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の形状を用いて材料を変更だけの解析を実施 ・リサイクル性の検証 (選別方法の比較、機械特性試験、ベース樹脂の熱履歴による分子量の測定) 	表 4-20 参照 (洗濯槽・パルセータ)

表 4-24 住宅建材分野に関連するモデル事業で設定されている評価項目・評価方法

受託者名	素材	用途	受託者により設定されている評価項目・評価方法	環境省が設定した評価項目
静岡大学	セルローズ+CNF 軽量コンクリート (CNF発泡)	外壁構成材料	<ul style="list-style-type: none"> 外壁構成材料全体の熱貫流率 $0.35\text{w}/\text{m}^2\text{k}$ 以下 CNF入りセルローズ系断熱材の空隙状態の評価 	設定なし
	FRP+CNF グラスウール+CNF	天井部材 (補強材料)	<ul style="list-style-type: none"> 天井部材全体の熱貫流率 $0.22\text{w}/\text{m}^2\text{k}$ 以下 CNF入りグラスウール系断熱材の空隙状態の評価 (実施予定) 天井化粧板に求められる強度の評価 (理論計算モデル) 	設定なし
	WPC+CNF ウレタン+CNF セルローズ+CNF	床材	<ul style="list-style-type: none"> 床部材全体の熱貫流率 $0.33\text{w}/\text{m}^2\text{k}$ 以下 CNF添加床材 (発泡射出成形品) の熔融粘度 (MFR) の評価 連続生産における MFR の安定性の検証 	設定なし
	ウレタン+CNF 軽量コンクリート (CNF発泡)	内壁構成材料 (ウレタン系断熱材+軽量コンクリート)	<ul style="list-style-type: none"> 内壁構成材料全体の熱貫流率 $0.29\text{w}/\text{m}^2\text{k}$ 以下 CNFによる空隙制御能効果の評価 気孔率と相対弾性率の関係の評価 (理論計算モデル) 軽量コンクリートにおけるCNF添加による補強効果の検証 	表 4-21 参照 (発泡断熱材)
	ウレタン+CNF、等	浴室 (ボード系ウレタン断熱材等)	<ul style="list-style-type: none"> 浴室壁部品の熱貫流率 $1.86\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、浴室天井部品の熱貫流率 $0.57\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下 CNF添加ウレタン発泡体及びCNF添加吹付系ウレタン発泡体におけるCNF添加量とコア密度の関係の評価 	設定なし

※本事業では、既存の住宅建材に「仕様変更」レベルでCNFを適用することが前提のため、各建材に求められる要求性能・評価項目のクリアは前提として、上記評価項目を設定している。

4.2.3 達成されていない場合の対応策の提案

調査の結果、全ての受託者について、事業の進捗・達成見込みに問題がないこと、大きな課題が生じていないこと、適切な評価項目が設定されていることが確認された。一方、実現目標については特に環境省が設定した実現目標について、全ての受託者が十分に理解していない状況が確認された。

このため、受託者全体についての課題及び改善策を以下のようにまとめた。

表 4-25 各事業の実施計画等に対する達成状況についての全体課題及び改善策

項目	課題	改善策	
進捗状況・事業終了時の達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> モデル事業の範囲内で課題はない 実際に製品化する際は、具体的な製品を確定させ、要求される物性値を設定した上で、目標をクリアする必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 具体の製品及び要求性能の確定 要素技術の場合、製品メーカーと連携し、具体の製品の確定・要求性能等の情報を得るなど体制の構築 	
課題	人的資源	※特段の課題は発生していない	
	設備	<ul style="list-style-type: none"> 新規設備の導入が難しく、より効果の高い実証が難しい。設備導入の負担が大きい 性能評価を行う設備が不足しており、遠方に出向いて評価を行うなど、負担が生じている可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 個々の事業への補助等は難しい 実証に使える設備についての情報を収集し、実証者間に共有するなどの側面支援を実施 設備の不足は、安定的なCNFサプライチェーンの構築が促進されることで、必然的にCNF製造メーカーが増えるため、段階的に解決されていくと想定される
	原材料	<ul style="list-style-type: none"> 比較検証用のCNF原料が調達できない 	<ul style="list-style-type: none"> 事業間の調整の実施 将来的には、供給者を増やすことが必要だが、そのためにCNF市場に関する情報プラットフォームの構築が必要（供給主体、物性情報、価格、供給可能量などのデータベースの構築など） ※省庁連絡会議・ナノセルロースフォーラム等との連携を検討
	実証方法	<ul style="list-style-type: none"> 実証方法に関し、大きな変更を伴う事業はなかった 事業によっては、強度・複合化率・透過率・CO₂削減効果など、関連する物性値等の目標値がそもそも設定されていないものもある 	<ul style="list-style-type: none"> 目標値を設定する、又は関連する物性値に関する評価を併せて実施する ※採択の条件でない項目を追加設定することはできないが、必要な評価・情報は共有してもらおう ※実証者間に限らず、CNFの各基準等が統一されていない現状があることから、バイオプラ等も含めた業界団体の設立等により、将来的に基準の統一化に繋げていくことが必要
実現目標	<ul style="list-style-type: none"> 環境省が設定した実現目標に関する認知度が低いとため、内容の理解が必要 CO₂削減効果について、前提条件を含めた共通認識、及び適切な効果推計が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 環境省が設定した実現目標に関し、改めて周知を行い（意見交換会で実施済）、受託者側は目標に近づけるよう効果検証方法も含め検討を行い、実証に反映させる CO₂削減効果について、前提条件を含めた共通認識、及び適切な効果推計を行う（LCAレベルで推計） ※事務局側で、算定方法のフォローアップなどを適宜実施した 	

4.3 CO₂削減効果の検証・評価

4.3.1 各モデル事業のCO₂削減効果の評価方法・検証方法の整理

(1) 各モデル事業の評価・検証の実施

各モデル事業の実現目標については、使用段階のCO₂削減効果は「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」をベースに、ライフサイクルのCO₂削減効果は、環境省が平成27・28年度に策定したLCAガイドライン（案）をベースに算定することが求められるが、受託者によって算定のベースや算定にあたっての各種条件や考え方に差異があると考えられることから、平成28年度まで実施した報告書及び受託者ヒアリングを実施し、各事業が用いた評価方法を整理し、評価結果に特に影響を与える要素を抽出し、どの程度までベースを揃えることが妥当かなど、全体としての是正レベル及び方針を検討・整理した。なお、受託者ヒアリングの実施概要について、ヒアリングの対象及び実施日等を表4-26に、ヒアリング内容を表4-27に示す。

表4-26 モデル事業受託者ヒアリング対象及び実施日（再掲）

代表事業者	ヒアリング実施日
パナソニック株式会社（製造工程）	8月24日（場所：パナソニック生産技術本部）
第一工業製薬株式会社	8月30日（場所：第一工業製薬本社）
トヨタ車体株式会社	8月30日（場所：トヨタ車体寿新規開発センター）
パナソニック株式会社（性能評価）	9月1日（場所：パナソニック生産技術本部）
国立大学法人愛媛大学	9月13日 （場所：愛媛大学紙産業イノベーションセンター）
国立大学法人静岡大学	9月15日（場所：静岡大学浜松キャンパス）
トクラス株式会社	9月15日（場所：静岡大学浜松キャンパス）
国立大学法人九州大学	9月19日（場所：九州大学箱崎キャンパス）

表 4-27 受託者へのヒアリング内容

対象	確認項目	内容
(1) CO ₂ 削減量の評価方法	1) 評価範囲及びシステム境界の設定方法	製品開発範囲におけるプロセスデータの収集をしているか。 CO ₂ 削減量の算定が、原材料調達～廃棄（リサイクル）までの製品ライフサイクルの各段階で設定・評価されているか 設定されていない場合、その理由は何か。また、今後データを収集するなどして算定する予定があるか
	2) 算定対象及び算定条件等の妥当性	算定対象及び比較対象の設定は妥当であるか またそれらの算定条件について妥当であるか
	3) 算定データの適切性	算定に使用する（した）データは適切であるか （実証で得られたデータを使用、推計データを使用、推計データの場合は年次や項目などが適切か、など）
(2) 環境省の算定方法等との整合状況	1) LCA ガイドラインとの整合状況	現在実施している CO ₂ 削減量の算定方法がH27年度（自動車）、H28年度（家電、住宅建材）に環境省が作成したLCAガイドライン（案）と整合は取れているか 整合が取れていない場合、整合をとる予定はあるか。
	2) CO ₂ 削減量の実現目標	10%以上の CO ₂ 削減量が見込まれるか

(2) 是正レベルの整理

前項(1)で実施した、過年度の報告書及び受託者ヒアリングを通して見えた課題としての是正レベルの高いものを表 4-28 の通り整理した。特に是正レベルの高い課題として、マネジメントにおけるガイドラインの周知徹底がなされていなかった点があった。

表 4-28 ヒアリング結果に基づく課題としての是正レベルの整理

分類	是正レベルの高い課題
マネジメント	ガイドラインが周知・活用されていない
	算定結果公表による不利益の可能性（削減率が低い場合など）
	置換想定部品名が企業機密であるなど、対外秘の情報範囲が広い
ガイドラインへの不一致	電力や副資材のバックグラウンドデータが統一されていない
	感度分析を実施していない
データ収集	技術的な評価時点が不明瞭（現時点か量産時か）
	CNF等のデータ収集
	製造設備等の負荷の算定の実施

4.3.2 是正方針・是正案の提案

(1) 是正方針の検討

整理実施した受託者ヒアリング後、個別にガイドラインに係る質疑等に対応を行った。その結果および対応する全体としての是正方針を検討し、表 4-29 に整理した。なお、CO₂削減効果算定に関する課題は表 4-30 に示したヒアリング等の結果によるものである。

表 4-29 CO₂削減効果算定に関する是正方針

No.	CO ₂ 削減効果算定に関する課題	是正方針
1	仕様書作成段階でガイドラインがほしい	提供関係者へ可能な限り早期に情報を通知し、活用をサポートする
2	電力原単位については、仕様書で決めてしまったため、ガイドラインで指定された数値と若干異なる	
3	算定結果公表による不利益の可能性（削減率が低い場合など）	算定結果の取扱い方法を事前に明示する。また、具体的なCO ₂ に関する数値は非公開にする。
4	置換想定部品名が企業機密であるなど、対外秘の情報範囲が広い	必要に応じて一般的な機密保持契約等を締結しつつ、特に機密性の高い情報については抽象化するなどして取り扱う
5	実証段階、初期普及段階での評価は、特に生産設備等の資本財の負荷が大きくなる。	実証・初期普及段階での資本財の評価においては、資本財の推計が難しいため、資本財評価を評価対象外とする
6	資本財による評価ができない・難しい	
7	事業計画を策定する初期段階から外部のLCA専門家が参画することを前提にした、もしくはサポートデスクの設置を前提とした方がよい	関係事業によりサポートする
8	自社範囲以外、例えば輸送等を細かく算定の実施できないため、仮想シナリオ、ガイダンスがほしい	関係事業によりLCA専門家によるサポートを行う。将来的には参考となる具体例などの公開を検討する。
9	ベースラインの設定方法のガイド等がほしい	
10	感度分析実施のためのガイダンスがほしい	
11	比較する製品と比較して同等、もしくは影響度が小さい場合、評価を除外できる簡易算定手法をガイドラインで認めてほしい	比較対象と比べ、同等もしくは影響が小さい場合には、そのプロセスにおける評価範囲を対象外とする、簡易算定手法を導入する
12	機能単位の設定において、より妥当性があると判断された場合、ガイドラインで記載されている以外の設定を認めてほしい。	ガイドラインにおいては自動車であれば10年10万kmと設定されているが、妥当な理由がある場合は他の方法についても認める
13	技術的な評価時点が不明瞭（現時点か量産時か）	前提条件を明記した上で、社会実装段階の設備等を仮定することを可能とする
14	CNF等のデータ収集	主要なCNF製造原単位データについては、共通的に利用することが望ましいため、原単位データの作成・提供をする

次に、表 4-30 に具体的な個々の事業における是正が必要な要素と是正案を示した。当該是正案については各受託者へ提案した。各受託者が本是正案に対応することで、CO₂削減効果の算定方法がガイドラインの各要求事項へ完全に合致し、適切な検証・実証が行われると見込まれる。

表 4-30 個々の事業における是正が必要な要素と是正案の提案

No.	受託者	是正が必要な要素	是正案
1	【A】、【B】、【C】、【D】、【E】、【F】、【G】、【H】	仕様書作成段階でガイドラインがほしい	ガイドラインの周知。 今後は提供関係者へのできるだけ早期での通知、活用のサポートをする。仕様書で具体的な値を指示する場合は仕様書の値を優先する。
2	【A】	仕様書で示す電力原単位とガイドラインで指定されたものと数値と異なる	
3	【B】、【C】、【D】、【H】	算定結果公表による不利益の可能性（削減率が低い場合など）	受託者が公開を希望しない場合は具体的な数値を非公開とする。
4	【A】、【B】、【C】、【D】、【E】、【F】、【G】、【H】	置換想定部品名が企業機密であるなど、対外秘の情報範囲が広い	受託者が公開を希望しない場合は具体的な置換想定部品名等を非公開とする。
5	【E】	実証段階、初期普及段階での評価は、特に生産設備等の資本財の負荷が大きくなる。	資本財を評価対象外とする。（（2）個々の課題への是正案①にて詳説）
6	【A】、【B】、【C】、【D】、【E】、【F】、【G】、【H】	資本財による評価ができない・難しい	
7	【B】	事業計画を策定する初期段階から外部の LCA 専門家が参画することを前提にした、もしくはサポートデスクの設置を前提とした方がよい	本事業において電話、メール等により随時サポートをする
8	【H】	自社範囲以外、例えば輸送等を細かく算定の実施できないため、仮想シナリオ、ガイダンスがほしい	本事業において電話、メール等により随時サポートをする。
9	【B】、【H】	ベースラインの設定方法のガイド等がほしい	
10	【B】、【C】、【H】	感度分析実施のためのガイダンスがほしい	
11	共通	比較する製品と比較して同等、もしくは影響度が小さい場合、評価から除外できる算定手法をガイドラインで認めてほしい	比較対象と比べ、同等もしくは影響が小さい場合には、評価範囲をカットオフする。（（2）個々の課題への是正案②にて詳説）
12	共通	機能単位の設定において、より妥当性があると判断された場合、ガイドラインで記載されている以外を設定を認めてほしい。	現在、自動車であれば 10 年 10 万 km とあるが、妥当な理由がある場合、その方法についても可能とする
13	共通	技術的な評価時点が不明瞭（現時点か量産時か）	前提条件を明記した上で、社会実装段階の設備等を仮定することを可能とする
14	共通	CNF 等のデータ収集	現在利用可能な CNF のデータを調査する。（（2）個々の課題への是正案③にて詳説）

*具体的な受託者名は非公開とした。

(2) 個々の課題への是正案

1) 資本財評価に関する検討・提案

環境省が作成した既存の「セルロースナノファイバー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」及び「セルロースナノファイバーを用いた家電部材及び住宅建材に関する LCA ガイドライン (案) 平成 29 年 3 月」の両ガイドラインでは、図 4-1 に示す通り原材料調達、製造等に生産設備の評価項目が盛り込まれている。

製品開発フェーズでは、スモールスケールでの生産設備となることが多く、資本財の環境影響が CNF 1kg 等に割り振ると大きくなる可能性があり、かつ資本財に係るデータ収集が非常に難しい。一方で、量産化フェーズではオリジナルプロセスと同様に割合が小さくなる可能性が高い。CNF 製造はいくつかの生産方法が確立されているものの、量産化まで行っている製品が少ないのが現状である。現段階における CNF の LCA ガイドラインは CNF 製品の推進も意味も含まれている。そこで、CNF 生産設備の影響が明らかに多いことが認められない場合、生産設備等の資本財を評価対象外とする提案を行った。

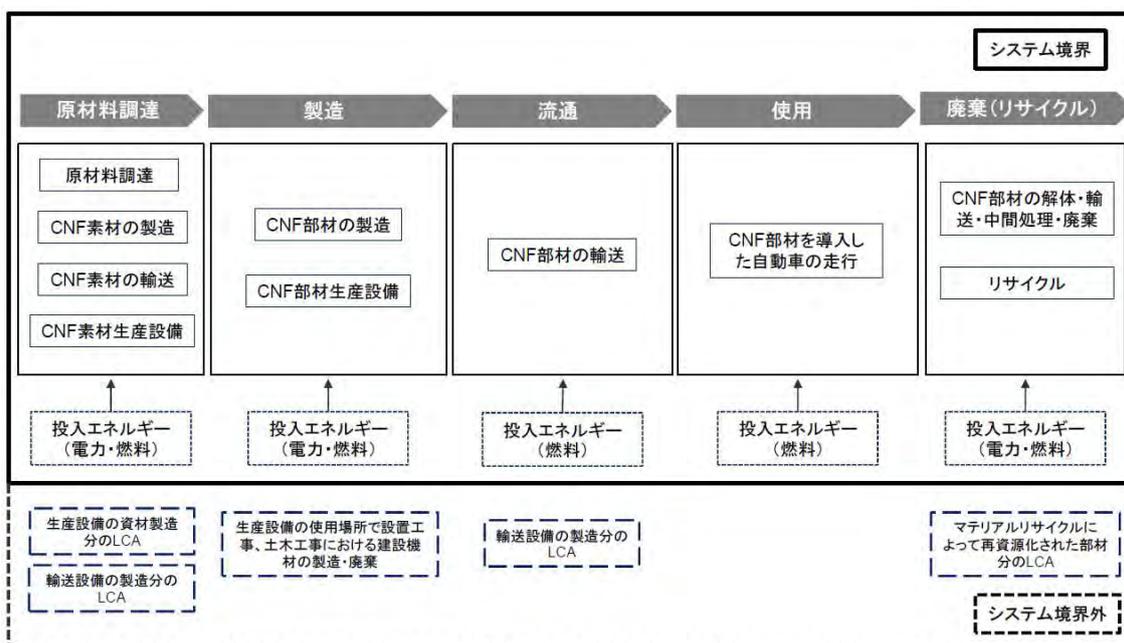


図 4-1 既存の LCA ガイドラインにおけるシステム境界図

2) 簡易算定手法の検討・提案

ライフサイクルを通じて評価するには製造から廃棄に至るまでのデータ収集が必要となる。しかし、算定を実施する受託者の範囲外に関しては情報が少なく、データ収集に非常に時間を要するケースが多い。また、CO₂の削減量の評価においては、評価対象プロ

セスのデータだけでなく、比較対象となるオリジナルプロセスのデータ収集も必要となる。

そのため、CO₂削減効果等を評価する手法として、日本 LCA 学会が発行する「温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン, 2015 年 2 月 24 日」、World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) の下部にある WBCSD chemicals が発行する「Addressing the Avoided Emissions Challenge, 2013」や、川崎市が発行する「域外貢献量算定ガイドライン」があるが、これら手法では「簡易算定手法」が示されている。そのイメージ図を図 4-2 に示す。

簡易算定手法とは、算定を簡略化するため、削減効果を有する評価対象製品がベースラインとなるオリジナルプロセスと比較して、同一段階や、類似プロセスを有しており、温室効果ガス排出量に差がないと認められる場合には、それらの算定を省略することが可能とする方法である。なお、簡易算定手法にて CO₂ 削減量を求めた場合、ライフサイクルの特定範囲間での比較となるため、削減割合を示す場合は数値が大きくなるため、CO₂ 削減率の表示・解釈には注意が必要である。

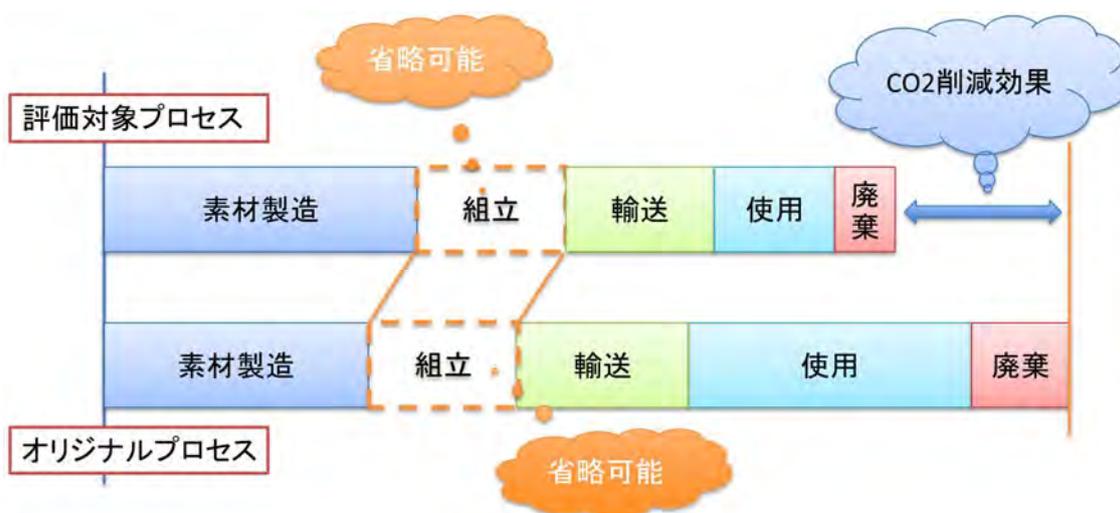


図 4-2 簡易算定手法のイメージ図

3) CNF 製造時の CO₂ 排出原単位に関する検討

CNF 原単位は、結果に大きく影響するデータであるが、製造方法が多く、かつ量産化されているものが少ないため、LCA に係るデータが少ないのが現状である。査読付き論文では複数の CNF 製造時の CO₂ 排出量が報告されている。表 4-31 に CNF 関連の論文の概要を整理した。これら論文ではラボレベルのデータ分析が大部分であり、量産化を考慮した文献は 1 件 (Moon et al. 2017) であった。Moon et al. 2017 の概要を図 4-3 に示した。本事例では、CNF 製造時における CO₂ 排出量を 7.597kg-CO₂e/dry kg-CNF と報告している。CNF と他の素材は強度等の機能が違うため単純に比較すること

は望ましくないが、参考までに 1kg 当たりの他のプラスチック製品との比較結果を図 4-4 に示した。他のプラスチックの製造原単位については、同文献内の値を用いている。Moon et al. 2017 が報告した CNF 製造時の CO₂ 排出量は、ポリカーボネート (PC) より低いものの、他の PP、ABS、PVC と比較すると若干 CO₂ 排出量が高い結果となった。なお、本原単位は資源調達から製品製造までを対象としており、廃棄に係る影響は含まれていない。

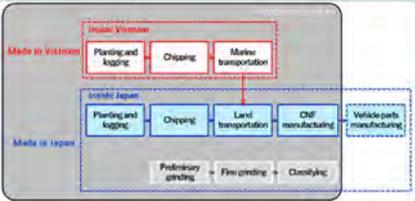
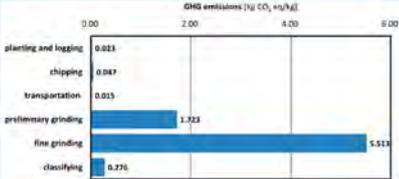
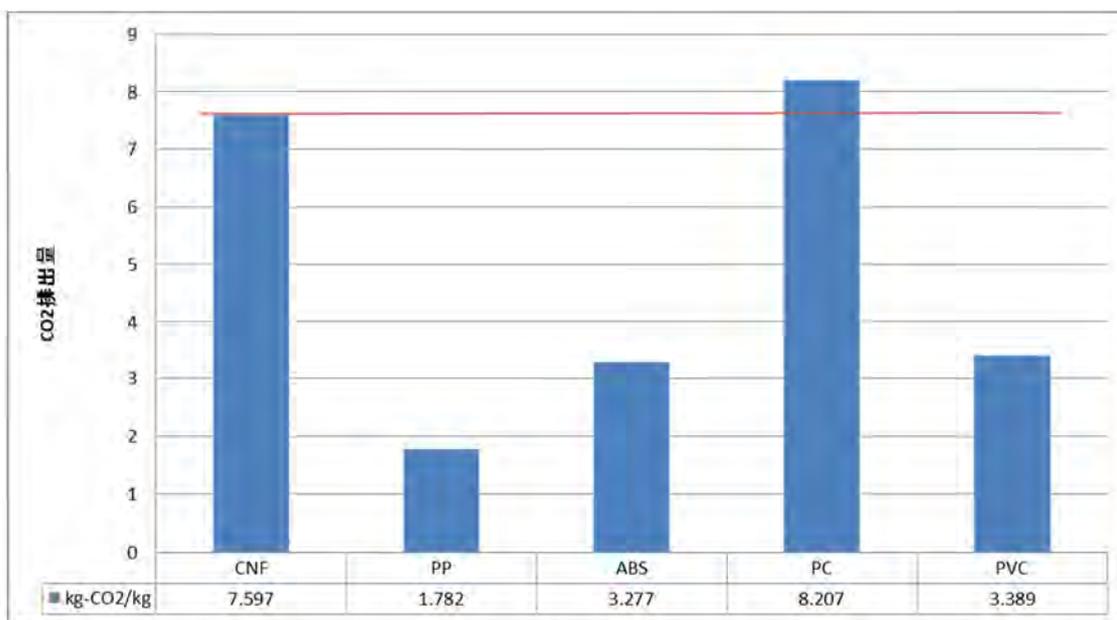
<p>文献</p>	<p>Moon, D.; Sagisaka, M.; Tahara, K.; Tsukahara, K. Progress towards Sustainable Production: Environmental, Economic, and Social Assessments of the Cellulose Nanofiber Production Process. <i>Sustainability</i> 2017, 9, 2368.</p>														
<p>システム境界</p>	<p>システム境界は、植林・伐採～CNF 製造までであり、自動車部品の製造はシステム境界外となっている。試算においては、多少ではあるが、量産を考慮したプラントによる試算が実施されている。</p> 														
<p>CNF製造方法</p>	<p>メカノケミカル法によるCNF製造</p>														
<p>試算結果</p>	<p>7.597 kg-CO₂eq / dry kg-CNF</p>  <table border="1"> <caption>GHG emissions (kg CO₂ eq/kg)</caption> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>GHG emissions (kg CO₂ eq/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>planting and logging</td> <td>0.023</td> </tr> <tr> <td>chipping</td> <td>0.087</td> </tr> <tr> <td>transportation</td> <td>0.015</td> </tr> <tr> <td>preliminary grinding</td> <td>1.723</td> </tr> <tr> <td>fine grinding</td> <td>5.514</td> </tr> <tr> <td>classifying</td> <td>0.276</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	GHG emissions (kg CO ₂ eq/kg)	planting and logging	0.023	chipping	0.087	transportation	0.015	preliminary grinding	1.723	fine grinding	5.514	classifying	0.276
Stage	GHG emissions (kg CO ₂ eq/kg)														
planting and logging	0.023														
chipping	0.087														
transportation	0.015														
preliminary grinding	1.723														
fine grinding	5.514														
classifying	0.276														

図 4-3 CNF 原単位掲載論文内容



引用: Moon, D.; Sagisaka, M.; Tahara, K.; Tsukahara, K. Progress towards Sustainable Production: Environmental, Economic, and Social Assessments of the Cellulose Nanofiber Production Process. Sustainability 2017, 9, 2368.

図 4-4 他のプラスチックとの CO₂ 排出量比較

また、ラボレベルではあるものの、CNF原単位として記載されている文献一覧を表 4-30 に示す。製造方法は文献ごとに違っているが、CNF 1kg 当たりで数百 kg の CO₂ を排出するとの結果が多かった。量産化を想定した CNF 原単位については 1 件データがあったものの、製造方法が多く提案・生産されているため、引き続き原単位の検討が必要である。

表 4-31 CNF 文献一覧

セルロースナノファイバーの種類	セルロースナノファイバーの製造方法	セルロースナノファイバーの抽出	セルロースナノファイバーの抽出	セルロースナノファイバーの抽出	セルロースナノファイバーの抽出	セルロースナノファイバーの抽出	セルロースナノファイバーの抽出	
セルロースナノファイバーの種類	TEMPO酸化(TO), クロロ酸酸化(ClO), クロロ酸酸化(ClO) 水素還元(HS)	電解酸化法 (electrooxidation) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	
主な製造方法	TEMPO酸化(TO), クロロ酸酸化(ClO), クロロ酸酸化(ClO) 水素還元(HS)	電解酸化法 (electrooxidation) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	酵素法 (enzymatic) 湿式紡糸法 (wet spinning)	
研究者	Li, Q., McGinnis, S., Sykora, C., Wong, A., and Bismeyer, S.	Hewry, M., Evangelisti, S., Letten, P., and Lee, K.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C.	
所属機関	Virginia Tech, 米国	Imperial College London, 英国	スエーデン材料研究所 (EMPA), スイス					
発行年	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	
タイトル	Noncellulosic life cycle assessment	Life cycle assessment of nanocellulose-reinforced advanced fibre composites	Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood	Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood	Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood	Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood	Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood	
要約	本論文では、非セルロース由来のナノセルロースの製造プロセスを評価する。ライフサイクルアセスメント(LCA)の結果、非セルロース由来のナノセルロースの製造は、セルロース由来のナノセルロースよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース強化繊維のライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、ナノセルロース強化繊維の製造は、従来の繊維よりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	本論文では、ナノセルロース抽出プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。結果として、抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。
キーワード	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、非セルロース由来	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、繊維強化	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、抽出	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、抽出	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、抽出	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、抽出	セルロースナノファイバー、ライフサイクルアセスメント、抽出	
結論	非セルロース由来のナノセルロースは、セルロース由来のナノセルロースよりも環境負荷が低いことが示された。	ナノセルロース強化繊維は、従来の繊維よりも環境負荷が低いことが示された。	抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	抽出プロセスは、従来の抽出プロセスよりも環境負荷が低いことが示された。	
参考文献	Li, Q., McGinnis, S., Sykora, C., Wong, A., and Bismeyer, S. (2013). Noncellulosic life cycle assessment. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 101-110.	Hewry, M., Evangelisti, S., Letten, P., and Lee, K. (2013). Life cycle assessment of nanocellulose-reinforced advanced fibre composites. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 111-120.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 121-130.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 131-140.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 141-150.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 151-160.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 161-170.	Nascimento, D. M., Das, A. F., Azeiteiro, J. C. P., Reis, M. F., Morais, M. C. D., and Figueiredo, M. C. (2013). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibrils from wood. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 47, 171-180.

(3) モデル事業受託者における是正案提供及びサポートの実施

前節で整理した是正案を受託者に提示し、適切な検証・実証ができるようサポートした。具体的には、各受託者へのヒアリング実施時にガイドラインの周知を行うと同時に、CO₂削減効果算定の技術的サポートを行う旨を伝えた。受託者からは自動車部品（具体名は秘匿）製造時の一般的な素材構成、加工時のエネルギー消費量、CO₂排出量などについて問い合わせがあり、適宜関係文献の紹介、データの提供を行った。また、システム境界の設定方法や機能単位の考え方など、LCA実施上の技術的課題に関する問い合わせに対し、ガイドラインを解説しつつ具体的な解決方法を適宜サポートした。

4.4 技術熟度の調査

TRA の概要と導入目的と TRA 評価結果を整理した後、TRA 評価結果を踏まえた改善案（事業終了時 TRA4 相当）、TRA 評価結果を踏まえた改善案（商用化前 TRA6 相当）に関する検討を実施した。

4.4.1 TRA の概要と導入目的

TRA の概要と導入目的を図 4-5 に示す。

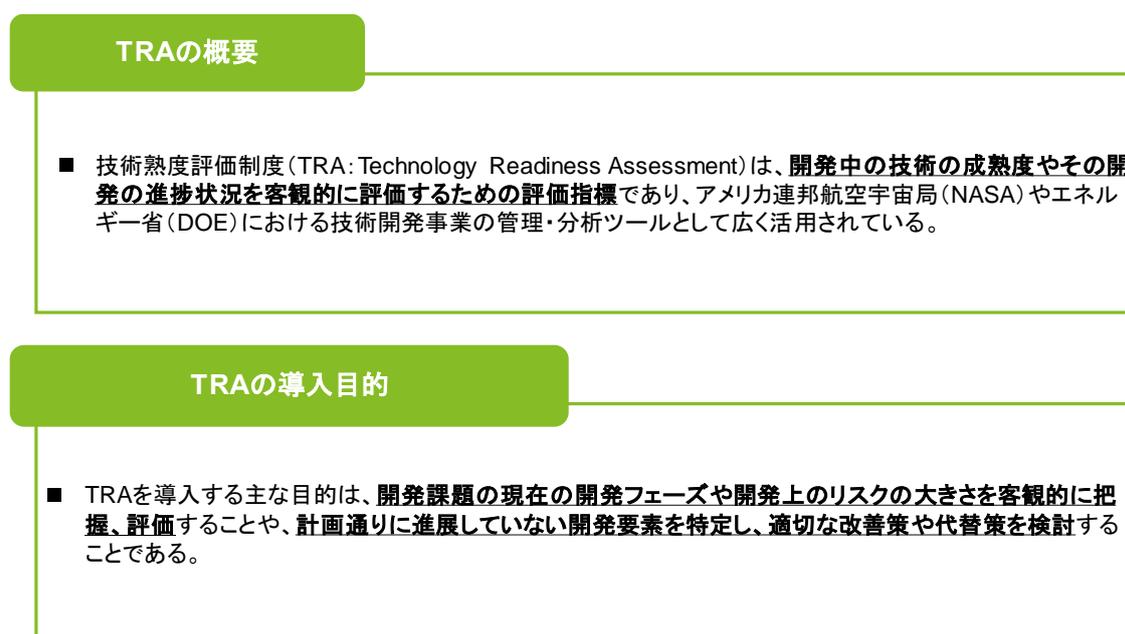


図 4-5 TRA の概要と導入目的

TRA（技術熟度評価制度）は、開発中の技術の成熟度やその開発の進捗状況を客観的に評価するための評価指標であり、NASA や DOE における管理・分析ツールとして活用されている。

TRA は、現在の開発フェーズや開発上のリスクの大きさを把握・評価することや、適切な改善策・代替策を検討するために使用するものであり、事業の良し悪しを判断するために使用するものではない。

次に、TRA の概要の参考として、TRL の定義を図 4-6 に示す。

レベル	定義	開始時の状況	アウトプット	実験環境	フェーズ
8	製造・導入プロセスを含め、開発機器・システムの改良が完了しており、製品の量産化又はモデルの水平展開の段階となっている。	最終製品／最終地域モデルの性能の把握	最終製品／最終地域モデル	—	量産化／水平展開
7	機器・システムが最終化され、製造・導入プロセスを含め、実際の導入環境における実証が完了している。	実用型プロトタイプの実環境での性能の確認	—	実際の導入環境	フィールド実証
6	機器・システムの実用型プロトタイプ／実用型地域モデルが、実際の導入環境において実証されており、量産化／水平展開に向けた具体的なスケジュール等が確定している。	実用型プロトタイプの基本性能の把握	実用型プロトタイプ／実用型地域モデル	—	—
5	機器・システムの実用型プロトタイプ／実用型地域モデルが、実際の導入環境に近い状態で実証されており、量産化／水平展開に十分な条件が理論的に満たされている。	限定的なプロトタイプの基本性能の把握	—	実際に近い導入環境	模擬実証
4	主要な構成要素が限定的なプロトタイプ／限定的な地域モデルが機器・システムとして機能することが確認されており、量産化／水平展開に向けた必要となる基礎情報が明確になっている。	試作部品／試験的モデルの性能の把握	限定的なプロトタイプ／限定的な地域モデル	実験室・工場	実用研究
3	主要構成要素の性能に関する研究・実験が実施されており、量産化／水平展開に関するコスト等の分析が行われている。	主要な構成要素の機能の確認	主要構成要素の試作部品／試験的モデル	—	応用研究
2	将来的な性能の目標値が設定されており、実際の技術開発に向けた情報収集や分析が実施されている。	要素技術の基本特性の把握	報告書・分析レポート等	—	—
1	要素技術の基本的な特性に関する論文研究やレポート等が完了しており、基礎研究から応用研究への展開が行われている。	基本原理の明確化	論文・報告書等	—	基礎研究

図 4-6 TRL の定義

TRA レベル（以降 TRL）は、8 段階で定義されており、TRL6（実用型プロトタイプの基本性能の把握）以上を、商用化の水準としている。

さらに、TRA の概要の参考として、TRA 質問事項を表 4-32 に示す。

表 4-32 TRA 質問事項 (1/2)

分野	質問番号	質問事項
A 市場	A-1	機器・システムの顧客や地域モデルの利用者等ユーザーが想定できているか。
	A-2	販売対象となる顧客層や地域モデルの利用者等ユーザーその特性（購買力等）が検討できているか。
	A-3	対象となる顧客・利用者等ユーザー層のニーズを把握するための手法または体制が整備されているか。
	A-4	普及に向けた障害となりうる規制や規格、認定制度、安全基準等の具体的な内容を把握しているか。
	A-5	開発技術の開発・普及を後押しすると考えられる政策目標や政策支援、公的なロードマップ等の内容を把握しているか。
	A-6	市場展開に必要な販売・供給体制または運営体制を検討しているか。
	A-7	実際の導入環境における実証結果を踏まえ、販売・供給等を行う事業者や、地域モデルの展開に係る体制が確保されているか。
B 開発	B-1	機器・システムや地域モデルの核となる開発技術の科学的な原理や仮説等が論文や報告書、内部資料等で示されているか。
	B-2	基本的な構成要素及び主要機能に関して、機器・システムまたは地域モデルのシステムフローや基本的な設計案が作成されており、開発に利用可能な人材、フィールド試験の実施場所等を特定できているか。
	B-3	主要な構成要素の試作部品または試験的モデルを作成済みであり、それらからデータを取得できているか。
	B-4	構成要素を統合した機器・システムの限定的なプロトタイプまたは限定的な地域モデルを作成済みであり、実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルの開発に必要な部材・システム等の調達先を検討されているか。
	B-5	機器・システムの実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルを作成済みであり、実際に近い導入環境で諸性能や使用制約が把握されているか。
	B-6	機器・システムの実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルの実際の導入環境における諸性能や使用制約を把握しており、最終製品または最終地域モデルの作成に必要な準備が完了しているか。
C 統合	C-1	各構成要素が機器・システムや地域モデルとして統合された状態で機能することを、既往研究を含む論文研究や報告書、類似製品・システム等により確認できているか。
	C-2	各構成要素が機器・システムや地域モデルとして統合された状態で機能することを、試験やモデリング・シミュレーションによって検証済みであるか。
	C-3	実際に近い導入環境において、機器・システムの実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルにおける構成要素間の適合性を確認できているか。
	C-4	実際の導入環境において、機器・システムの実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルにおける各構成要素間の適合性を確認できているか。
D 検証	D-1	開発課題の核となる技術特性に関するデータ及び基本原理が、既往研究を含む論文や内部資料、類似製品・システム等により検証されているか。
	D-2	各構成要素の機器・システムや地域モデルとしての実現性に関する分析結果が、既往研究を含む論文や内部資料、類似製品・システム等において確認されているか。
	D-3	主要な構成要素の性能の予測値を、主要構成要素の試作部品または試行的な地域モデルを用いた試験やモデリング・シミュレーションによって算出できているか。
	D-4	限定的なプロトタイプまたは限定的な地域モデルに統合された各構成要素の性能・機能が実現されているか、試験により確認できているか。
	D-5	実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルの性能や機能、CO ₂ 削減効果等が実現されているか、実際に近い導入環境において検証されているか。
	D-6	実用型プロトタイプまたは実用型地域モデルの性能や機能、CO ₂ 削減効果等が実現されているか、実際の導入環境において検証されているか。

表 4-32 TRA 質問事項 (2/2)

分野	質問番号	質問事項
E 安全性	E-1	機器・システム又は地域モデルが導入・運用された際の、潜在的な危険性（例：火災、漏洩、落下、爆発、剥脱、サイバー攻撃等）を把握できているか。
	E-2	潜在的な危険性（例：火災、漏洩、落下、爆発、剥脱、サイバー攻撃等）を回避するための施策を検討しているか。
	E-3	潜在的な危険性（例：火災、漏洩、落下、爆発、剥脱、サイバー攻撃等）を回避するための機器・システムの機能やセーフガードを開発済み、あるいは調達済みであるか。
	E-4	潜在的な危険性（例：火災、漏洩、落下、爆発、剥脱、サイバー攻撃等）を回避するための機能に関する検証を、機器・システムの実用型プロトタイプ又は実用型地域モデルを用いて実施されているか。
F 事業化	F-1	本事業終了後の量産化または水平展開を見据えた事業計画となっているか。
	F-2	機器・システムの量産化に係る製造方法のコンセプトを検討しているか。または、地域モデルの水平展開に係るコンセプトを検討しているか。
	F-3	実際に近い導入環境における実証結果を踏まえ、機器・システムの量産化に向けた製造面における主要な技術的課題を把握できているか。または、地域モデルの水平展開に向けた主要な課題を把握できているか。
	F-4	実際の導入環境における実証結果を踏まえ、機器・システムの量産化に向けた主要な課題を解決できているか。または、地域モデルの水平展開に向けた主要な課題を解決できているか。
G コスト/ リスク	G-1	製品コストまたは地域モデルの導入コストの目標値を設定しているか。
	G-2	開発工程に係るリスクを考慮した事業化スケジュールを策定しているか。
	G-3	実際に近い導入環境における実証結果を踏まえ、最終製品のコストまたは最終地域モデルの導入コストを試算できているか。
	G-4	実際の導入環境における実証結果を踏まえ、事業化に向けた正確な最終製品のコスト、あるいは最終地域モデルの導入コストを算出できているか。

TRL は、市場・開発・統合・検証・安全性・事業化・コスト/リスクの全 7 分野の質問事項に対する回答結果をもとに判定している。

また、TRA の概要の参考として、TRA 結果の活用方法を図 4-7 に示す。

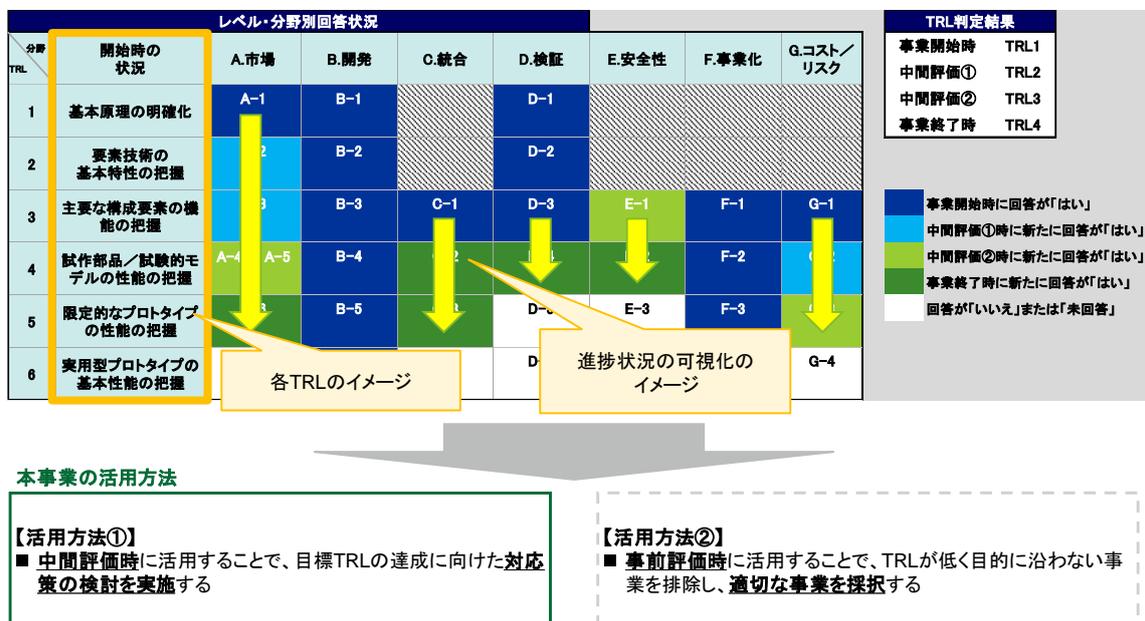


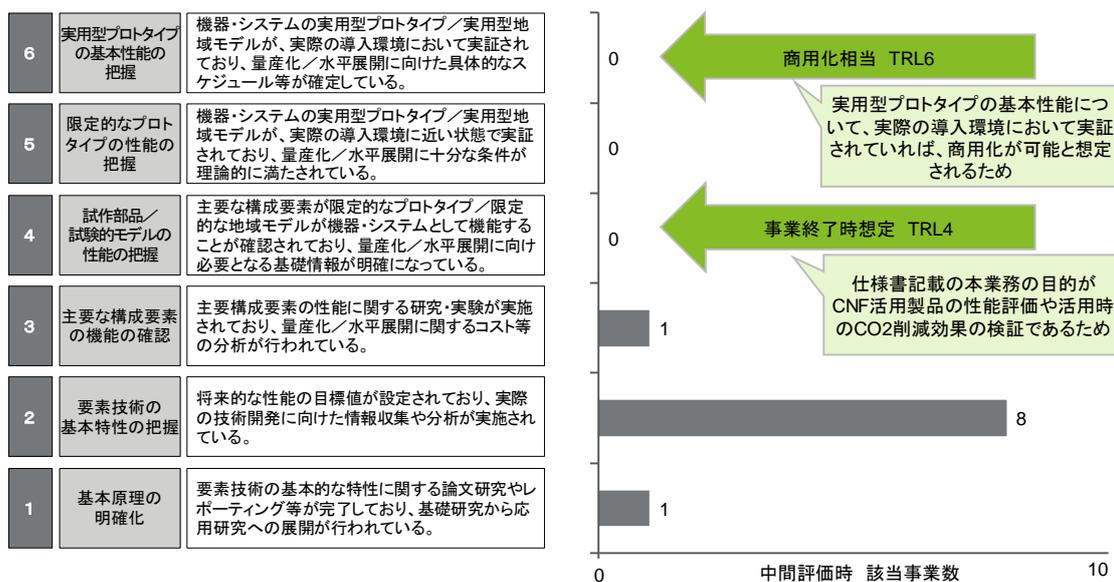
図 4-7 TRA 結果の活用方法

TRA の活用方法には①「中間評価時に活用することで、目標 TRL の達成に向けた対応策の検討を実施する」、②「事前評価時に活用することで、TRL が低く目的に沿わない事業を排除し、適切な事業を採択する」、の 2 種類があるが、本事業においては、①である TRA により進捗状況を可視化し、目標 TRL の達成に向けた対応策の検討を実施する。

4.4.2 TRA 評価結果

平成 27～29 年度 C N F 活用製品の性能評価事業委託事業、平成 27～29 年度 C N F 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業、平成 28 年度 C N F 性能評価モデル事業（自動車関連分野）、平成 28 年度 C N F 性能評価モデル事業（家電。住宅建材分野）事業委託、平成 28 年度 C N F 製品製造工程の低炭素化対策の立案事業、の計 5 事業に対する中間評価時の TRA 評価を実施した。

TRA 評価結果を図 4-8 に示す。



※守秘義務の観点から回答時に根拠を示すことが難しいため「いいえ」となり、TRLレベルが低くなるケースもある

図 4-8 TRA 評価結果

現状では、TRL 1 が 1 事業、TRL2 が 8 事業、TRL3 が 1 事業存在しており、C N F 活用製品の性能評価や活用時の CO₂ 削減効果の検証を行う事業終了時想定 TRL4 に達している事業者は、現時点ではいない状況である。

なお、守秘義務の観点から回答時に根拠を示すことが難しいため回答が「いいえ」となり、TRL レベルが低くなるケースもある。

4.4.3 TRA 評価結果を踏まえた改善案（事業終了時 TRA4 相当）

事業終了時 TRA4 相当に向けた、TRA 未実施項目の整理、TRA 未実施項目に関するヒアリング内容と TRA 評価結果を踏まえた改善案の検討、事業終了に向けた方策の検討を実施した。

まず、事業終了に向けた TRA 未実施項目を図 4-9 に示す。

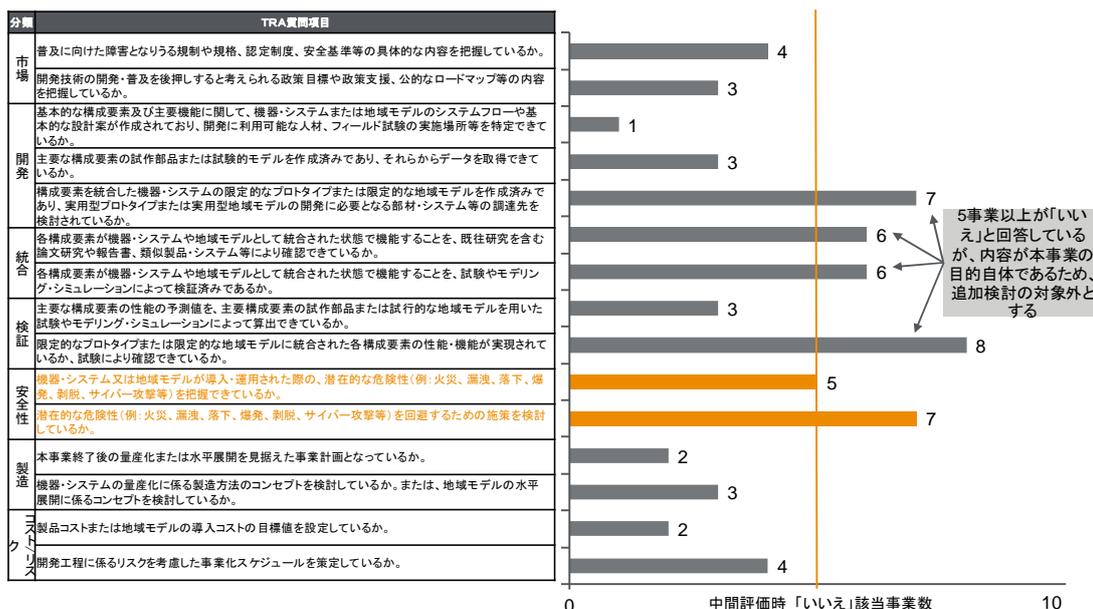


図 4-9 事業終了に向けた TRA 未実施項目

事業終了に向けて必要な項目への回答を「いいえ」としている受託者数が過半数を超える、潜在的な危険性（例：火災、漏洩、落下、爆発、剥脱、サイバー攻撃等）の回避策の検討については、現時点からの実施が望ましい。

また、開発・統合・検証に関する項目についても、回答を「いいえ」としている受託者数が過半数を超えるが、内容が本事業の目的自体となるためここでは追加検討の対象外としている。

次に、TRA 未実施項目に対するヒアリング結果と TRA 結果を踏まえた改善案を図 4-10 に示す。

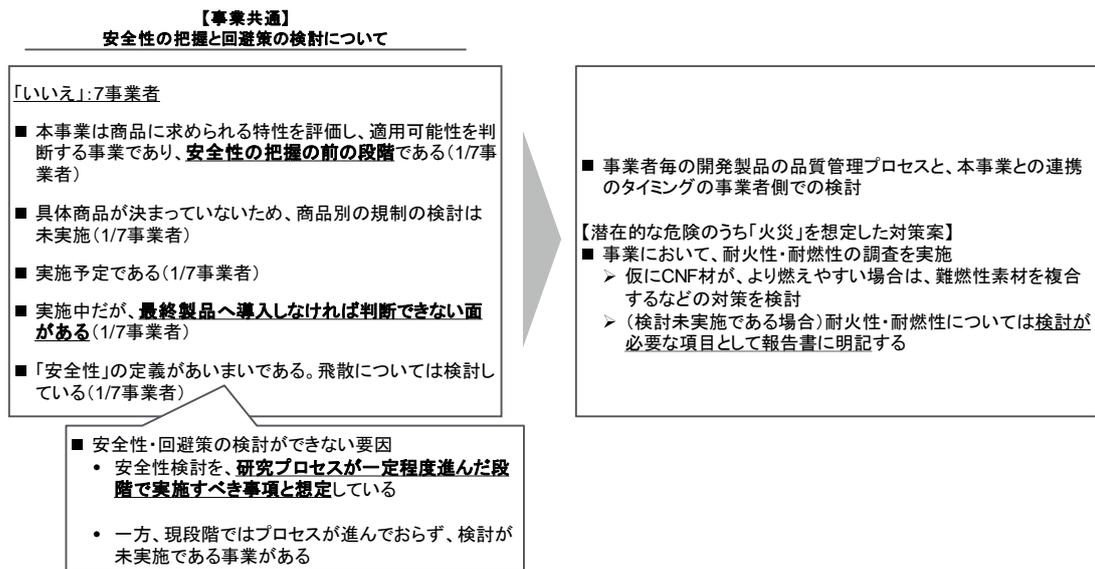


図 4-10 ヒアリング結果と TRA 結果を踏まえた改善案

安全性の把握と回避策の検討について未実施である受託者にその要因をヒアリングした結果、「安全性検討を、研究プロセスが一定程度進んだ段階で実施すべき事項と想定しており、現段階ではプロセスが進んでおらず、検討が未実施」であるという要因が判明した。

上記ヒアリング結果を踏まえた改善案としては、「受託者毎の開発製品の品質管理プロセスと、本事業との連携のタイミングの受託者側での検討」が考えられる。

また、潜在的な危険のうち「火災」を想定した対策案としては、「事業において耐火性・耐燃性の調査を実施」とした上で、仮にCNF材がより燃えやすい場合は、「難燃性素材を複合するなどの対策を検討」が考えられる。

さらに、検討未実施である場合は、「耐火性・耐燃性については検討が必要な項目として報告書に明記」することが考えられる。

次に、事業終了に向けさらに検討を進めるための方策を図 4-11 に示す。

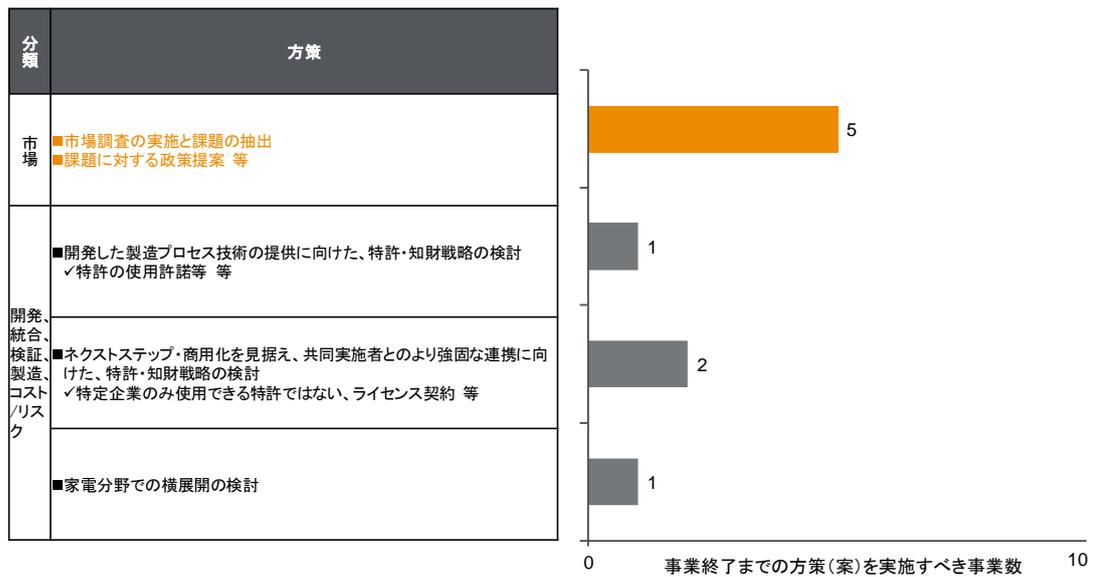


図 4-11 事業終了に向けた方策：全事業

事業終了に向け、さらに検討を進めるために実施すべき改善案としては、半数の事業について「市場調査の実施・課題の抽出、課題に対する政策提案」が考えられる。

4.4.4 TRA 評価結果を踏まえた改善案（商用化前 TRA6 相当）

商用化時 TRA6 相当に向けた、TRA 未実施項目の整理、TRA 未実施項目に関するヒアリング内容と TRA 評価結果を踏まえた改善案の検討、事業終了に向けた方策の検討を実施した。

まず、商用化に向けた TRA 未実施項目を図 4-12 に示す。

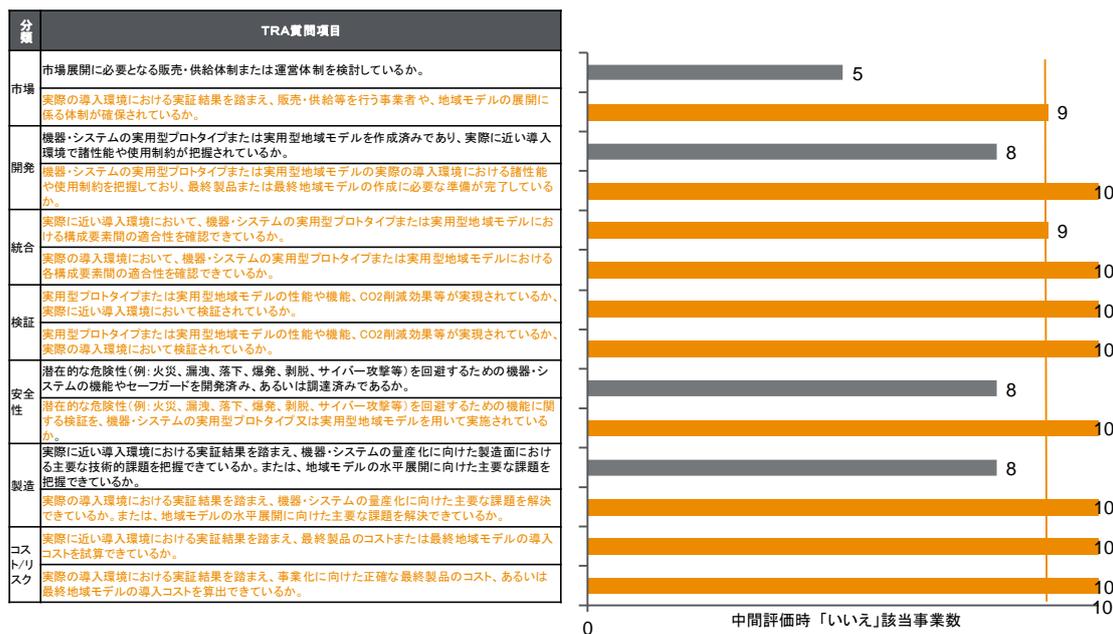


図 4-12 商用化に向けた TRA 未実施項目：全事業

商用化に向けて必要な項目への回答を「いいえ」としている受託者数が過半数を超える、実用型プロトタイプ・実際に近い導入環境での実証については継続実施が必要であり、また、市場販売運営体制の検討も必要となる。

次に、TRA 未実施項目に対するヒアリング結果と TRA 結果を踏まえた改善案を図 4-13 に示す。

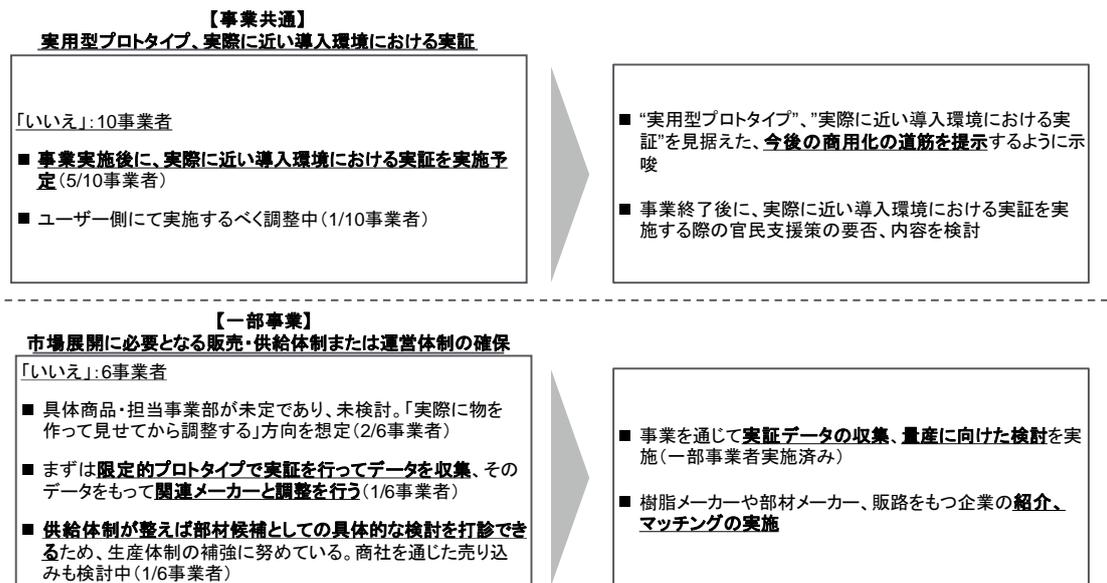


図 4-13 ヒアリング結果と TRA 結果を踏まえた改善案

実用型プロトタイプ・実際に近い導入環境における実証について未実施である受託者にその要因をヒアリングした結果、「事業実施後に、実際に近い導入環境における実証を実施予定である」、もしくは「ユーザー側にて実施するべく調整中」という要因が判明した。

上記ヒアリング結果を踏まえた改善案としては、「“実用型プロトタイプ”、“実際に近い導入環境における実証”を見据えた、今後の商用化の道筋を提示するように示唆”することや、「事業終了後に、実際に近い導入環境における実証を実施する際の官民支援策の要否、内容を検討”することが考えられる。

また、市場展開に必要な販売・供給体制または運営体制の確保について未実施である受託者にその要因をヒアリングした結果、「具体商品・担当事業部が未定であり、未検討。「実際に物を作って見せてから調整する」方向を想定」「まずは限定的プロトタイプで実証を行ってデータを収集、そのデータをもって関連メーカーと調整を行う」「供給体制が整えば部材候補としての具体的な検討を打診できるため、生産体制の補強に努めている。商社を通じた売り込みも検討中」であるという要因が判明した。

上記ヒアリング結果を踏まえた改善案としては、「事業を通じて実証データの収集、量産に向けた検討”を実施することや、「樹脂メーカーや部材メーカー、販路をもつ企業の紹介、マッチングの実施”が考えられる。

次に、商用化に向けさらに検討を進めるための方策を図 4-14 に示す。

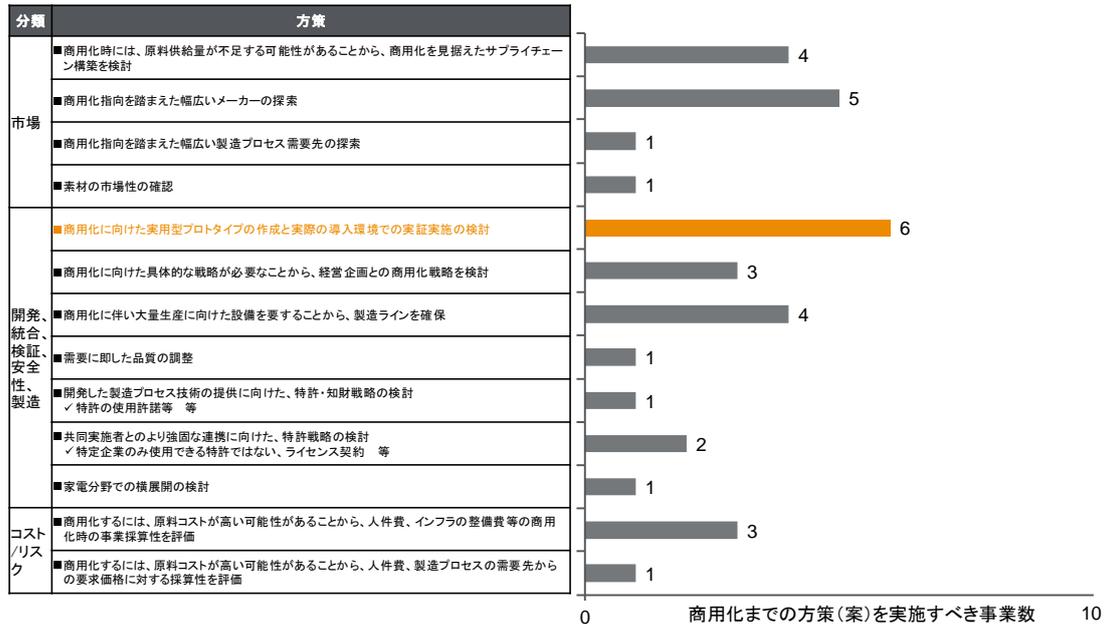


図 4-14 商用化に向けた方策：全事業

商用化に向け、さらに検討を進めるために実施すべき改善案としては、半数の事業について「実用型プロトタイプ作成と実際の導入環境での実証実施」が考えられる。