

平成 28 年度

セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務

(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)

報告書

平成 29 年 3 月

一般社団法人産業環境管理協会

平成 28 年度セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務
(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)

報告書

要約

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、木材等の植物等を原料とし、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。しかしながら、今後 CNF の適用範囲が拡大していく段階には様々な課題が発生することが想定される。本業務では、将来的な地球温暖化対策につながり、エネルギー起源 CO₂ 削減が期待できる自動車軽量化に重点を置き、別途環境省が実施する「平成 28 年度セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務（社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証）」（以下、重点課題①と略す）より CNF 軽量材料の提供を受け、CNF 軽量部品としての強度、信頼性、コスト等の評価を実施するとともに、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 削減効果を評価・検証した。

2. 業務の内容

(1) CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価

重点課題①より、CNF 軽量材料の提供および CNF 軽量材料の材料定数、成形加工性、接合接着性等の情報提供を受け、種車（トヨタ 86）の部品を対象とした CNF 材料による軽量化効果のシミュレーションツールを作成し、CNF 材料を用いた軽量化効果を確認した。また、基本構造の検討では、技術開発動向把握のための海外現地調査、樹脂製の自動車外板 7 種の分析、および骨格 1 種の剛性評価を実施した。CNF 軽量材料置換部品候補として現行部品リストから 2 部品（トランクリッド、エンジンフード）を選定し、部品の基本構造に関する情報を重点課題①業務にフィードバックした。また、重点課題①の参画機関とも共同で検討した結果、評価用試作部品として 5 部品（エアコンケース、ドアトリム、インテークマニホールド、インストルメントパネル、C ピラー）を仮選定し、CNF 軽量部品の試作に向けた検討を行った。さらに、重点課題①業務の参画機関とともに、CNF 軽量部品 2 部品の組み付け技術の検討を行った。CNF と様々な材質の接着性を評価するため、CNF テストピース、異種接着評価用テストピース（冷間圧延鋼板、CFRP、アルミニウムなど）と構造用接着剤、シール材等多種類の接着剤を用いて接着試験を行った。

(2) 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証

第一に、重点課題①および本業務より、既存部品の物性値や CO₂ 排出原単位等 CO₂ 削減効果の評価に関する文献を収集し、選定した自動車の一部部品について製造段階、走行段階、廃棄リサイクル段階の CO₂ 排出量の削減効果を評価した。第二に、CNF 製造プロセスの量産時の CO₂ 排出量の試算方法の検討、必要となるデータ収集項目の抽出を行い、CNF 部品の実機搭載における CO₂ 削減効

果の評価方法と CNF 軽量部品の導入による CO₂削減効果のシミュレーション技術の検討を行った。第三に、CO₂削減効果の観点から CNF 自動車の普及シナリオの策定方法、普及シナリオに基づく CO₂排出量削減効果および社会全体に対する波及効果の評価の枠組みを検討した。

(3) CNF 車両実装に関する車両構想の評価

CNF 車両実装の早期実現のため、最終試作車の車両構造および組み付け技術の検討として樹脂製骨格 1 種の剛性評価および樹脂製ベンチマーク車の構造分析を、CNF 車両の市場投入方策の検討として現状および将来の CNF および自動車を取り巻く環境動向分析や予測を、さらに最終試作車の車両構想等の検討のため国内外先進事例の調査を行い、最終試作車の車両構想を検討した。また、重点課題①の参画機関と緊密な情報交換を行い、技術的課題の抽出と対策検討を行った。

(4) プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 製品の総合評価

重点課題①の共同事業者との緊密な連携の下、プロジェクトの推進を実効あるものにするために、重点課題①業務より提供される各樹脂の材料定数、成形加工性評価結果データおよび自動車の軽量化目標に係るデータ等の情報を総合的に管理・共有した。本事業の業務円滑化のために、グループ業務調整会合である「大部屋活動」を定期的で開催し、業務分担の調整、全体スケジュールの設定等、重点課題①の参画も得ながら情報共有を行った。さらに、重点課題①参画機関との横断的な機関間の打合せ会合を設定・実施し、評価結果の共有および今後の方針や細部の具体的業務分担等を調整した。すべての評価検討結果を踏まえ、CNF の製品の品質向上と社会実装に向けたステップを明確化し、市場投入計画の項目検討、草案作成を行った。

(5)

本業務の実施にあたっては、一般社団法人産業環境管理協会が事業代表機関となり、トヨタテクノクラフト株式会社、学校法人金沢工業大学、国立大学法人名古屋工業大学を共同実施者とする業務実施体制を構築した。CNF の普及・啓発を目的として、国内の代表的な環境展示会としてエコプロ 2016 (平成 28 年 12 月 8 日～10 日) に出展し、パネル展示やパンフレット配布を行った。本事業参画者による CNF 関連の発表を、新聞 (4 回)、雑誌 (1 回)、講演 (8 回)、各機関のホームページ等にて行った。

3. 業務実施期間

平成 28 年 10 月 26 日～平成 29 年 3 月 31 日

FY 2016

Entrusted Work for Performance Evaluation Project of the Cellulose Nanofiber
(Implementation Demonstration and Performance Evaluation/Verification of
the CNF Lightweight Components in the Automobile Field)

Report

Summary

1. Background and Purpose of the Work

Cellulose nanofiber (CNF) originates from plants such as wood, and it is expected to be used in various base materials as a lightweight material having high strength and elasticity. As a result, rigorous development efforts are currently in progress. However, many problems may appear in the course of future expansion of the application area of CNF. In this work, a focus was put on reduction in the weight of automobiles because such reduction may lead to a measure of future global warming with which reduction in carbon dioxide (CO₂) emitted from energy can be expected. Using the CNF lightweight material provided from “Work Entrusted for Evaluating the Performance of the Cellulose Nanofibers (Development and Evaluation/Verification of the Lightweight CNF Materials for Mainstream Implementation)” (hereinafter, Priority Issue [1]), also conducted by MOE, evaluation of the CNF-based lightweight parts and components was conducted with regard to strength, reliability or cost thereof. Further, a car concept of an automobile using CNF incorporated with future needs was made clear, and performance evaluation of products using CNF as well as evaluation/verification of the CO₂ reduction thereof was conducted.

2. Contents of the Work

(1) Actual installation of CNF-based lightweight components in cars and its performance evaluation

The CNF-based lightweight material as well as information such as material constants, molding processability, and bonding adhesiveness of the CNF lightweight material was provided from the Priority Issue [1]; and a simulation tool was established to evaluate the effect of the weight reduction due to the CNF-based material as compared with the components of the base car (Toyota 86). Using this tool, the effect of the weight reduction due to the CNF-based material was confirmed. In addition, the basic structure was studied by conducting overseas field survey to grasp the technology development trend, analysis of seven resin-made automobile outer plates, and rigidity evaluation of one monocoque. From the existing components list, two components (trunk lid and engine hood) were selected as the candidate components to be substituted with the CNF-based lightweight material, and the information on the basic structures of the components were returned to the work of the Priority Issue [1]. In addition, as a result of collaboration study with participating members of the Priority Issue [1], five components were provisionally selected as the trial components for evaluation (air-conditioner case, door trim, intake manifold, instrument panel, and C pillar); and the study was carried out for trial production of the CNF lightweight components. Further, jointly with the participating members of the

Priority Issue [1], fabrication technologies of the two CNF-based lightweight components were studied. To evaluate adhesion properties of CNF with various materials, adhesion tests were conducted between CNF test pieces and test pieces of different materials, such as SPCC (cold-rolled steel plate), CFRP (carbon fiber reinforced plastic) or aluminum for evaluation by using various adhesives such as structural adhesives and seal materials.

(2) CO₂ reduction evaluation /verification of CNF products for mainstream implementation

Firstly, for evaluation of the CO₂ reduction effect, literature describing the information such as values of physical properties of existing components and the CO₂ output level was collected from the Priority Issue [1] as well as from this commissioned work; and then, the reduction effect of the CO₂ emission in part of the selected automobile components in the stages of manufacturing, running, and recycling of their wasted materials was evaluated. Secondly, a calculation method of the CO₂ emission in the CNF mass production was studied, and the items of necessary data to be collected were extracted. Then, the evaluation method of the CO₂ reduction effect upon actual installation of the CNF components as well as the simulation technology of the CO₂ reduction effect resulting from introduction of the CNF lightweight components was studied. Thirdly, from the viewpoint of the CO₂ reduction, the studies were carried out with regard to how to establish a promotion scenario of the CNF automobile and the evaluation frame for the reduction of the CO₂ emission based on this promotion scenario and the ripple effect to the entire society expected from this.

(3) Evaluation of the CNF car concept with actual installation

With the aim of early realization of actual installation of CNF in automobiles, the car structure of a final prototype car and the fabricating technology thereof were studied through an intense evaluation of one resin-made monocoque and the structure analysis of the resin-made benchmark car. How to introduce the CNF automobile to the market was studied through the analyses and expectation of the present and future CNF and the environmental trend surrounding automobiles. Further, in order to study the car concept of the final prototype car, domestic and overseas preceding cases were surveyed; and, in addition, close information sharing with the participating members of the Priority Issue [1] was conducted to extract technological problems and to study the measures to cope with these problems.

(4) Information management for project promotion and comprehensive evaluation of CNF products

Under close cooperation with members of the Priority Issue [1], in order for promotion of the project to be effective, information provided from the Priority Issue [1], including material constants of every CNF-reinforced resin, data resulting from their processability evaluation, and data relating to the weight reduction target of the car, were comprehensively managed and shared among the members. “*Obeya*” (war rooms), the meeting of work coordination of every member, was periodically held to facilitate the work of this project. Through this activity, with participation of the Priority Issue [1], assignment of the work was coordinated, the entire schedule was set, and information was shared, among other things. On top of this,

horizontal meetings were planned and held among the participating members of the Priority Issue [1] to share the evaluation results and to coordinate plans, detailed or concrete assignment of the work. On the basis of all the evaluation results, items of the development/demonstration plan and the market introduction plan were studied, by clarification of the steps for CNF technology level to mainstream implementation level, to make a draft proposal.

(5) In the execution of this work, the Japan Environmental Management Association for Industry undertook a role as the representative institution; and the work consortium was established among Toyota Technocraft Co., Ltd, Kanazawa Institute of Technology, and Nagoya Institute of Technology. In order to raise public awareness of the CNF-based material, the Work participated in EcoPro 2016 (8 to 10, December 2016), the representative domestic environmental exposition, and promoted the material through panel exhibition and brochure distribution. Public release of the CNF-related work was made by the participating members of this work through newspapers (four times), magazines (once), lectures (eight times) or home pages of respective members.

3. Work Execution Period

From October 26, 2016 through March 31, 2017

目次

第1章	業務概要	1
1.1.	業務の目的	1
1.2.	実施体制	1
第2章	CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価 (トヨタテクノクラフト(株)、金沢工業大学、名古屋工業大学)	2
2.1.	CO ₂ 削減のための部品の軽量化目標の設定	2
2.2.	CNF 部品基本構造等の検討	3
2.2.1.	軽量化技術開発動向、技術領域等の検証	3
2.2.2.	CNF 部品基本構造の検討	4
2.3.	CNF 軽量部品の試作に向けた検討および CNF 軽量部品の組み付け技術の検討	6
2.3.1.	試作部品の計画図作成	6
2.3.2.	CNF 軽量部品の試作および CNF 軽量部品の組み付け技術の検討	6
第3章	社会実装に向けた CNF 活用製品の CO ₂ 削減効果の評価・検証 (（一社）産業環境管理協会)	8
3.1.	CNF 部品実機搭載における CO ₂ 削減効果評価方法の検討	8
3.1.1.	走行段階の CO ₂ 削減効果の評価方法の検討	8
3.1.2.	ライフサイクルにおける CO ₂ 排出量(LCCO ₂)削減効果の評価方法の検討	10
3.2.	CNF 軽量部品の導入による CO ₂ 排出量削減効果シミュレーション技術の検討	15
3.2.1.	CNF 製造に関わる文献データの収集	15
3.2.2.	各製造プロセス情報の収集	20
3.2.3.	製造時 CO ₂ 排出量原単位の整備方法の検討	20
3.2.4.	量産時の CO ₂ 排出量の試算方法の検討	21
3.3.	CNF 部品実機搭載における CO ₂ 削減効果評価方法の検討	25
3.3.1.	一部部品の CO ₂ 排出量の削減効果の評価	25
3.3.2.	CO ₂ 排出量削減効果シミュレーションに必要となる収集データ項目の抽出	27
3.4.	CO ₂ 排出量削減効果の将来予想(2030年)	28
3.4.1.	CNF 車両普及シナリオの策定方法	28
3.4.2.	CO ₂ 排出量削減効果についての社会全体への波及効果の評価の枠組み	29

第4章	CNF 車両実装に関する車両構想の評価 (金沢工業大学、トヨタテクノクラフト(株)、(一社)産業環境管理協会)	33
4.1.	最終試作車の車両構造および組み付け技術の検討	33
4.1.1.	ベンチマーク車の車重測定	33
4.1.2.	市販車用樹脂骨格の調査	35
4.2.	CNF 車両の社会実装に向けた CNF 車両の市場投入方策の検討	37
4.2.1.	現状の動向調査からのアプローチ	37
4.2.2.	将来の大胆な予想からのアプローチ	52
4.2.3.	現場ヒアリングからのアプローチ	60
4.3.	最終試作車の車両構想の検討	63
4.4.	最終試作車の車両構想等の検討のための国内外先進事例の明確化	65
4.4.1.	最終試作車の車両構想等の検討のための情報収集	65
4.4.2.	最終試作車両構造検討のための技術調査	66
第5章	プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 製品の総合評価 (一社)産業環境管理協会)	70
5.1.	CNF の早期社会実装に向けた時系列での開発実証及び市場投入計画の策定	70
5.2.	情報管理および事業代表者間・共同実施者間の調整	72
5.3.	普及・啓発	74
5.3.1.	エコプロ 2016～環境とエネルギーの未来展～への出展	74
5.3.2.	ナノセルロース展への参加	74
5.3.3.	対外発表	76
第6章	本年度業務のまとめと課題の整理 ((一社)産業環境管理協会)	77
6.1.	本年度業務のまとめ	77
6.2.	本年度業務の課題と今後の方針	79

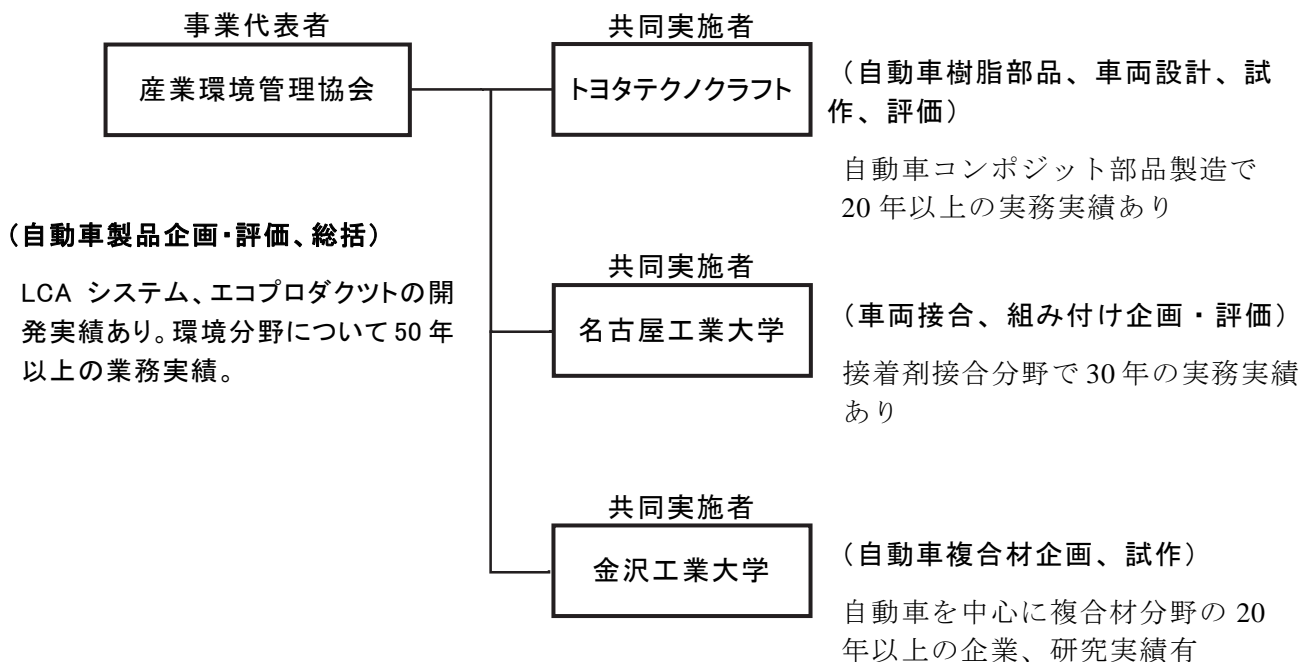
第1章 業務概要

1.1. 業務の目的

セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）は、木材等の植物等を原料とし、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、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。しかしながら CNF は、製品への適用初期段階にあるため、今後 CNF の適用範囲が拡大していく段階には様々な課題が発生することが想定される。

本業務では、将来的な地球温暖化対策につながり、エネルギー起源 CO₂ 削減が期待できる自動車軽量化に重点を置き、別途環境省が実施する「平成28年度セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務（社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証）」（以下、重点課題①）の実施事業者との緊密な連携の下、必要な情報共有等を行い、重点課題①の事業代表者から、CNF 軽量材料の提供を受け、CNF 軽量部品としての強度、信頼性、コスト等の評価を実施するとともに、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・検証することを目的とし、必要な業務を実施した。

1.2. 実施体制



- ・ 重点課題①事業代表者と連携
- ・ 事業推進委員会への参画及び業務調整会合等の実施
 - (1) 事業推進委員会への参画
 - (2) 重点課題①と②間の定例調整会議の運営
 - (3) 共同実施者会合の運営
 - (4) CO₂削減効果の総合的評価

第2章 CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価

(トヨタテクノクラフト(株)、金沢工業大学、名古屋工業大学)

2.1. CO₂削減のための部品の軽量化目標の設定

(1) 目的

今回、CO₂削減目標から車両全体の軽量化目標値は決まっているが、車両を構成する各部品を設計するためには、部品毎の軽量化目標値を個別に設定する必要がある。そのため、金属製外板から CNF 外板への軽量化効果を計算するシミュレーションツールを作成して、外板を CNF へ材料置換した際の軽量化効果を予測して外板毎の軽量化目標値を設定する。また、外板のみで軽量化目標未達の場合は、車両の骨格部の軽量化目標値を設定する。

(2) 方法

材料置換による軽量化検討のベンチマーク車として、金属製車体であり過去の軽量化検討の知見が活用できるトヨタ 86 とする。

外板の材料を金属から樹脂に置換した際に、弾性率（ヤング率）が減少した分を板厚の増加で補って外板の曲げ剛性が金属外板と等価となる様に CNF 外板の板厚を求める。板厚、外板面積、密度を掛けて CNF 製外板の質量を求めて軽量化効果を試算する。

(参考) 曲げ剛性を等価にするための板厚計算の考え方

$$t_{CNF}^3 \times E_{CNF} = t_{steel}^3 \times E_{steel}$$
$$t_{CNF} = t_{steel} \times \sqrt[3]{E_{steel} / E_{CNF}}$$

E_{CNF} : CNF 材のヤング率
 E_{steel} : 鋼板のヤング率
 t_{CNF} : CNF 材の板厚
 t_{steel} : 鋼板の板厚

CNF 材料の材料定数を課題①から入手し、上記式の E_{CNF} として計算を行った。

表 2.1-1 CNF 材料の材料定数
(PA6/CNF10%(②-2 K-PACN10-KAI) 2月17日速報値)

ヤング率	5130(MPa)
密度	1.162(g/cm ³)
曲げ強度	160(MPa)

(3) 結果

材料物性を入力した計算結果については、表 2.1-2 に示す。

表 2.1-2 トヨタ 86 の CNF&CFRP へ材料置換結果のまとめ

	金属質量(g)	CNF(剛性等価)質量(g)	軽量化効果 (CNF/金属)(%)
1.HOOD	7,266	6,994	96
2.FR FENDER	5,277	2,632	50
3.ROOF	7,863	3,922	50
4.LAGGAGE DOOR	7,874	3,927	50
5.DOOR	30,149	15,037	50
6.ボデー骨格	252,500	162,417	54
合計	310,930	194,929	53

金属-CNF&CFRP	Δ	116,000 (g)
CNF/金属		63% (37%の軽量化)

(4) 考察

- ① 計算結果からエンジンフードなどのアルミ製外板は、CNF に置換しても軽量化効果が少ないため、CFRP などの比剛性の高い材料で補強する必要があると思われる。また、エンジン等の熱影響を考慮するとエンジンフードの材料としては CNF は向いていないと思われる。
- ② CO₂削減目標のための車両全体の軽量化目標は 10%であり、1160kg のトヨタ 86 の場合は 116kg の軽量化が目標となる。その中で外板のみの CNF への置換では、シミュレーションによる予測から 30kg 程度しか軽量化できない事が判明した。そのため、残りの 90kg 程度を骨格で軽量化する必要がある。骨格部の軽量化をする際に、市販車ベースのレース車両を設計してきた知見から骨格部は元々の板金プレス形状のまま材料置換をするだけでは不十分であり、形状を大幅に変更したモノコック構造などを検討する必要があると思われる。また、その際は CNF よりも比剛性の高い CFRP などの材料で補強する必要があると思われる。
- ③ 上記①～③より、トヨタ 86 の金属製外板と骨格を CNF 等の樹脂製に材料置換することで 40%弱の軽量化が期待できる。また、その際の各部品の軽量化目標値を設定する事ができた。

2.2. CNF 部品基本構造等の検討

2.2.1. 軽量化技術開発動向、技術領域等の検証

(1) 目的

最終試作車の部品製作を HP(High Pressure)-RTM 成形する際に必要になる技術開発動向の情報収集をするため、国内では実績のない HP-RTM 成形で自動車用部品を量産している欧州のメーカー (A 社) の現地調査を行う。

(2) 方法

A 社の量産工場および試作工場において現地視察およびヒアリングを実施した。

2月17日 欧州 A 社 量産工場

2月20日 欧州 A 社 試作工場

(3) 結果

<A 社の視察およびヒアリング結果>

- ・ 2010 年：RTM による樹脂製車両骨格部品の量産を開始。
車両骨格以外にも、外板や機能部品など、多種類の自動車用樹脂部品を量産中。
- ・ 最大 10,000 台/年程度の樹脂製の自動車用外板部品を量産可能
- ・ CFRP 外板は鋼板製よりも軽量化されているが、軽量化よりも表面の平滑さや量産効率を優先しているという印象。(対象車が量産の高級車であるため)
- ・ 成形サイクルを早くするために、金型占有時間を短くするための、加熱の前工程の型治具の考え方が、日本の自動車部品メーカーの常識とは異なっていた。
- ・ 中空一体化構造化技術により、RTM 成形でも軽量化が可能となっている
- ・ 作業者が型に材料を配置する際に型の上にレーザーでマーキングが投影されるシステムや、PC 画面上で作業の進捗を入力出来るようなシステムが導入されていた。
- ・ 日本では手作業で行うような作業を自動化(ロボット化)することでコストを抑えることが可能。またそのため、ち密な作業を求めるような設計は少ない。
- ・ RTM に限らず、コスト、数量、品質によって、種々の工法を使い分けている。

(4) 考察

欧州では、自動車用の CFRP 樹脂製外板や骨格のために、RTM やプレス成型等の量産技術が確立されており、生産規模も大きい。日本でも最終的には生産台数を増やす事を考え、生産効率の良い RTM 用の生産設備や金型を考慮した部品形状を検討した方が良いと考えられる。今回の NCV プロジェクトでは、将来の量産向きの HP (=高圧) RTM 成形を目指しつつ、当面は同様の技術で成形圧力を抑えた低圧 RTM 成形での試作から導入するのが日程と費用からメリットがあると思われる。

2.2.2. CNF 部品基本構造の検討

(1) 目的

CNF 製自動車部品の基本構造を検討するために、樹脂化による量産車軽量化技術の開発動向や技術領域等の検証をする必要がある。ベンチマークとして量産市販車の樹脂外板を分析し、材質、構造、板厚などを調査して、CNF 部品設計に反映させるべき構造や要件、評価すべき技術領域を明らかにする。

(2) 方法

国産市販車を中心に、ベンチマークとなり得る樹脂外板数種類(バックドア、フロント(エンジン)フード、ドアパネル)について、材質、部品構成、板厚を調査する。また、必要に応じて部品の切断面の観察し、接着部や締結部の詳細な構造を調査する。

(3) 結果

調査したベンチマーク部品については、表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 ベンチマーク樹脂外板部品一覧

ベンチマーク車	部品	質量(kg)	外形寸法	インナー材質	アウター材質	その他材質
A	バックドア	13.74	1100*1230	TSOP-5 PP+E/P-TD20 t=?	TSOP-6 PP+E/P-TD20 t=2.8	ヒンジ/ ダンパーリテーナ 鉄+E/D塗装
B	バックドア	9.38	1000*1230	PP+GF40 t=2.7	PP+E/P-TD20 t=3.1	
C	バックドア	10.92	1220*1280	PP+GF40 t=2.6	PP+E/P-TD35 t=3	
C	ENGフード	3.70	430*1250	UP-GF40 t=2	PP+E/P-TD35 t=3	
D	助手席側 ドアパネル	7.43 ※フレーム、 ガラス除く (ASSY: 21.36) A17フレーム+ヒンジ=7.44 アウター=3.04 インナー=2.12 オナマト=1.04 インサイドハンドル=1.01 ドアホック=0.22	1100*1275	PP TV20 t=2.8	PC/PBT t=3.5	トリム/オナマト=TV25 フレーム=Al
E	バックドア	16.84	1340*1520	鋼板 t=0.65	鋼板 t=0.65	
E	フロントフード	4.46	380*1250	鋼板 t=0.65	鋼板 t=0.8	

(4) 考察

- ① バックドアについては各車とも、従来金属製インナーパネルを覆っていた樹脂製の内装材は、樹脂製ドアパネルと一体化されて、部品点数削減によるコストダウンと軽量化を兼ねている。
- ② バックドアやフードのインナーパネルとアウターパネルは機械締結に依存しない接着で固定されている。接着剤は弾力性のある物が使用されていて、意匠面へのヒケを防止していると考えられる。
- ③ バックドアやエンジンフードなどのインナー&アウター構造の部品では、インナー側で強度を受け持たせるために、ガラス繊維が混合された樹脂で出来ている。その一方、アウターは塗装面の仕上がりを重視するため、繊維のない樹脂で成形されている。
- ④ ボルト締結する部分については、金属で補強されていてボルトの軸力を受ける構造になっている。また、金属部品は樹脂部品成形と同時に鋳込まれている物と接着や機械締結で取付けられている物とがある。
- ⑤ C車のバックドアのように、割れた際の飛散防止として、内部にワイヤを備えた物もある。
- ⑥ 上記①～⑤から、CNF 外板を検討する際に下記を反映するべきと考えられる。
 - ・ 樹脂製内装材とインナーパネルを兼ねて部品点数を減らす。
 - ・ インナーとアウターを接着する構造とする。
 - ・ ボルト締結する部分は金属で補強する。
 - ・ 部位や目的によっては、事故等で割れた際に飛散しない様な対策をする。
- ⑦ また、上記②～③より、CNF 外板を検討する際に下記の技術領域の情報が必要と考えられる。
 - ・ 外板の意匠面を平滑に成形するための材料の選定と成形技術。
 - ・ 意匠面にヒケが出ないような接着剤の選定と接着技術、接着構造。

2.3. CNF 軽量部品の試作に向けた検討および CNF 軽量部品の組み付け技術の検討

2.3.1. 試作部品の計画図作成

(1) 目的

平成 29 年度に実施予定である材料置換車両に組み付けるための試作部品 1 点を選定して計画図を作成する。今回は、京都プロセスによる CNF 材料を使用した射出成形を前提として、従来よりも大型の部品の試作を目指す。

(2) 方法

上記の 2.2 章の調査結果を参考に接着構造、締結構造などの組付け技術と、2.1 章の軽量化目標を考慮したトヨタ 86 のラゲッジドア（トランクフード）を CNF 材料で製作するための計画図を作成する。

(3) 結果

平成 29 年度に実施予定である一部材料置換車両に組み付けるための試作部品の計画図を作成した。

実際に製作するための詳細設計は、製造要件を織り込むために、製造メーカーと打合せをしながら進めていく必要がある。

2.3.2. CNF 軽量部品の試作および CNF 軽量部品の組み付け技術の検討

- ① CNF シートと今後組み立て工程で接着対象となると考えられる被着体〔アルミニウム、カーボンファイバー強化プラスチック (CFRP)、冷間圧延鋼板 (SPCC)〕との接着評価を、1 液熱硬化型エポキシ系 3 種類、2 液混合エポキシ系 4 種類、アクリル系接着剤 3 種類を用いて行った（表 2.3-1 参照）。その結果、ほとんどの場合 CNF ボードが材料破壊する結果となり、接着強度が材料強度を上回る結果となった。今回用いた接着剤については、2 液のエポキシ系接着剤で室内温度が低く硬化の不十分なものが見られたが、その他の物についてはほぼ規格通りの接着強度を発現しているものと認められる。接着剤の凝集破壊は弾性エポキシ系接着剤である C 社 2 液エポキシ系接着剤のみであり、接着剤の性能比較は困難な結果となった。CNF ボードは弾性率が高いものの、材料的には硬くて脆いため、今後機械的強度の改良が望まれる。
- ② 当初予定をしていた一般財団法人化学物質評価研究機構での接着強度試験については、今回はあくまで軽量部品の想定した接着試験で有り、実部品はまだできていないことから、今回は見送ることとした。
- ③ $-40^{\circ}\text{C} \times 1$ 時間 $+100^{\circ}\text{C} \times 1$ 時間を 5 サイクルのヒートショック試験後の接着強度試験の結果を同じく表 2.3-1 に示す。初期の接着強度と比較して、1 液熱硬化エポキシ系接着剤や 2 液エポキシ系接着剤はいずれの被着体についても強度低下はそれほど見られなかった。アクリル系接着剤については、被着体によってはヒートショック試験後の接着強度低下が大きなものもあり、被着体によって選定する必要があるものと考えられる。特に熱膨張率の大きなアルミニウムとの接着に関しては注意が必要な結果となった。

表 2.3-1 種々の被着体との接着強度試験結果

被着体	接着剤	初期接着強度 (MPa)	破壊状態	ヒートショック後接着強度 (MPa)	破壊状態*
CNF ボード/アルミニウム板	A 社熱硬化エポキシ系	6.0	材破	5.6	材破
	B 社熱硬化エポキシ系	5.3	材破	4.6	材破
	F 社熱硬化エポキシ系	4.5	CF	4.6	材破
	A 社2液エポキシ系	3.4	AF	4.5	CF/AF
	C 社2液エポキシ系	2.0	CF	4.2	CF
	D 社2液エポキシ系	2.4	AF	4.6	材破
	F 社2液エポキシ系	7.2	CF	4.8	材破
	C 社アクリル系1	9.5	材破	1.5	AF
	C 社アクリル系2	2.3	材破	2.7	材破
	F 社アクリル系	10.1	材破	4.3	AF
CNF ボード/CFRP板	A 社熱硬化エポキシ系	5.7	材破	5.7	材破
	B 社熱硬化エポキシ系	5.7	材破	5.7	材破
	F 社熱硬化エポキシ系	4.9	CF	5.2	材破
	A 社2液エポキシ系	7.7	材破	7.3	材破
	C 社2液エポキシ系	0.1	CF	6.7	CF
	D 社2液エポキシ系	5.2	CF	7.2	材破
	F 社2液エポキシ系	9.4	材破	4.6	材破
	C 社アクリル系1	7.1	材破	7.7	材破
	C 社アクリル系2	1.6	材破	1.5	CF
	F 社アクリル系	10.5	材破	12.4	材破
CNF ボード/SPCC板	A 社熱硬化エポキシ系	7.2	材破	6.5	材破
	B 社熱硬化エポキシ系	5.9	材破	5.3	材破
	F 社熱硬化エポキシ系	4.8	CF	4.2	材破
	A 社2液エポキシ系	8.0	材破	8.0	材破
	C 社2液エポキシ系	2.6	CF	5.8	CF
	D 社2液エポキシ系	5.7	AF	4.9	材破
	F 社2液エポキシ系	8.8	材破	8.7	材破
	C 社アクリル系1	9.4	材破	6.5	材破
	C 社アクリル系2	4.5	材破	8.6	材破
	F 社アクリル系	11.4	材破	9.0	材破
CNF ボード/CNF ボード	A 社熱硬化エポキシ系	3.9	材破	4.3	材破
	B 社熱硬化エポキシ系	3.7	材破	3.4	材破
	F 社熱硬化エポキシ系	2.9	材破	2.9	材破
	A 社2液エポキシ系	5.4	材破	4.9	材破
	C 社2液エポキシ系	1.9	CF	5.0	CF
	D 社2液エポキシ系	5.0	材破	3.6	材破
	F 社2液エポキシ系	7.4	材破	6.4	材破
	C 社アクリル系1	7.6	材破	4.7	材破
	C 社アクリル系2	1.5	材破	2.7	材破
	F 社アクリル系	6.1	材破	1.6	材破

*CF：接着剤の凝集破壊 AF：接着面での界面破壊 材破：CNF ボードの材料破壊

第3章 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証

((一社)産業環境管理協会)

3.1. CNF 部品実機搭載における CO₂ 削減効果評価方法の検討

3.1.1. 走行段階の CO₂ 削減効果の評価方法の検討

(1) CO₂ 削減効果および車両重量の軽量化目標

「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」(以下、平成 27 年度事業)においては、試作車両の走行段階の CO₂ 削減効果(燃費改善効果)が CNF 軽量材料の適用前後で 10%以上であることが本事業の目標として設定された。これを受けて、本年度は、初めに軽量化に伴う燃費改善の効果について文献調査を行った。

日本エネルギー経済研究所・日本鉄鋼連盟(2002)では、10%の車両軽量化に対する燃費改善率について、米国エネルギー省の文献値 6.0%、IPCC の報告値 6.7%、ULSAB(超軽量鋼製自動車車体)プロジェクト(国際鉄鋼協会)の報告値 5.0%、日本自動車工業会ヒアリング値 3%、というデータを踏まえ、6%、4.5%、3%の 3 種類に設定されていた。

新田茂樹、森口義久(2010)および同(2012)では、マツダ株式会社の実施する評価の中で、モード燃費値より求められる生涯使用燃料の量から CO₂ 削減効果が算定されていた。燃費への影響要因には、ころがり抵抗、加速抵抗、空気抵抗などがあるが、モード燃費は、加速抵抗が支配的であるため、車両質量と反比例の関係があるとして設定されていた。

産業技術総合研究所(2005)では、アルミニウム協会が作成した、ガソリン消費量が車両総重量(乗員重量を含む)に比例するとした近似式を基に、カタログ値および実測試験結果を踏まえて作成した計算式により算定されていた。実測試験から得られた軽量化効果として、10%の軽量化が高級車であれば 4.0%、大衆車は 4.9%の燃費向上につながることを示され、また文献やカタログ値の調査からは、軽量化に伴ってエンジンが小さくなり、足回りも軽くなることから、10%の軽量化が 10%の燃費向上につながることを示されていた。

部品の使用段階における負荷の算定では、日本自動車タイヤ協会(2012)が乗用車のタイヤの LCA をするための方法論を示しており、タイヤの燃費への寄与率を 1/8 として配分がなされていた。

海外の研究事例では、Kelly et al. (2015)が米国 Argonne National Laboratory が開発した GREET model を用い、パワートレイン調整なしで 0.15-0.25 L/(100km100kg)、調整ありで 0.2-0.5 L/(100km100kg)の燃費改善につながると報告している。また、Kim et al. (2016)は物理モデルを構築し、2013 年の米国環境保護庁のデータをもとに軽量化効果を 0.2-0.5 L/(100km100kg)としている。同じ単位で示すと、日本自動車部品工業会(2016)の数値は 0.14 L/(100km100kg)と換算される。日米で車格等の違いがあると考えられるため、単純な比較はできないが、日本自動車部品工業会(2016)の数値はより削減効果が出にくい条件設定となっている。

一方、平成 27 年度事業における軽量化目標の設定の経緯は環境省(2015)によると以下のとおりである。CO₂ 削減効果 10%以上を達成するために少なくとも車両重量を 10~20%程度軽量化することが必要とされている。

CNF 部材代替で軽量化を図るときの CO₂ 削減効果の要因 CNF 部材代替で軽量化を図るときの CO₂ 削減効果の要因

- ① 部材代替に起因する軽量化による CO₂ 削減効果
- ② 設計の自由度向上に起因する軽量化による CO₂ 削減効果
- ③ 形状の自由度向上に伴う空気抵抗改善などによる CO₂ 削減効果

空車重量 1354.0kg の車両を CNF 部材で代替し軽量化する場合の CNF 代替による CO₂ 削減効果は下記の合計 10%とする。

- ① :軽量化 10.0%のとき 6.7%(注)、軽量化 19.9%のとき 7.2%
- ②+③ : 3%

注:JC08 モード測定値、10.15 モード測定値等を含む複数の推定値採用。

以上の情報の中から、車両重量を 10%削減した場合の CO₂ 削減効果をまとめると表 3.1-1 のようになり、CO₂ 削減効果、すなわち、燃料消費量の推定値は多様である。

表 3.1-1 車両重量を 10%削減した場合の CO₂ 削減効果

文献	CO ₂ 削減効果	備考
環境省(2015)	6.7%	JC08 モード測定値、10.15 モード測定値等を含む複数の推定値の平均を採用
産業技術総合研究所(2005)	4.0% (高級車)、 4.9% (大衆車)	
	10%	(エンジン小型化、足回りの軽量化を含む)
日本自動車部品工業会(2016)	3.7%	車重 1kg 当たりの生涯燃費 (1.75L) と、燃費 (17.6km/L) から計算
日本エネルギー経済研究所・日本鉄鋼連盟 (2002)	3~6%	各種文献値をもとに推定

日本自動車部品工業会(2016)によると、内燃機関を有する自動車のエネルギー消費は以下の要素で構成される。

運動エネルギー由来で消費される要素

- ① 質量加速由来の消費 (制動エネルギーとして消費)
- ② 電力由来の消費 (自動車部品の電力消費、伝達損失)
- ③ 回生エネルギー (走行以外で使用) 分が付随
- ④ 動力 (軸出力) 使用に由来する消費 (摩擦、回収不能な回転エネルギー、電力変換における損失、機械式オイルポンプの損失、トランスミッションの伝達損失等)

原動機のエネルギー変換効率に関わる損失由来で消費される要素

- ⑤ 理論的損失分 (①~③に配分されると仮定)
- ⑥ 改善可能な損失

これらのうち、車両質量とエネルギー消費の相関が「①質量加速由来の消費」は比例関係、「④理論的損失分」の①に配分される要素は比例に近い関係となるが、それ以外の要素は異なる寄与となる。表 3.1-1 の CO₂ 削減効果は、車両重量の削減に加えて、これらの要素が複合的に組み合わさり推定値が多様になっているものと考えられる。このため本事業においても車両走行の実試験データを基にした解析が必要である。以上述べたように、CNF 部材の搭載による走行段階の CO₂ 削減効果 10%以上を達成するためには走行段階の燃費測定方法の検討と、車両設計に向けての軽量化目標のすり合わせが必要である。次項に今後の評価の進め方を述べる。

(2) 走行段階の評価の今後の進め方

平成 29 年度に一部の部材を CNF 部材で代替した車両を試作、平成 31 年度は CNF 部材への代替により 10%以上軽量化した車両を試作し、燃費測定を実施することとなっている。

表 3.1-2 本事業における燃費測定予定

	平成 29 年度	平成 31 年度
CNF 部材	2 部材を組み込む。	軽量化が車両重量の 10%以上となるように複数の CNF 部材を組み込む。
比較対象となる車両	トヨタ 86 (従来品)	未定
CO ₂ 削減効果関連の目標	燃費と車両重量の関係を求めること	CNF 軽量材料の適用前後で CO ₂ 削減効果が 10%以上であること

本事業における燃費測定の目的は燃費の車両重量依存性を把握し、CNF 代替による車両軽量化の効果を確認することである。燃費の測定条件は、多様な実際の走行パターンに対する代表性、国際標準化などの諸要素を踏まえ、JC08 モードや WLTP モードなど複数ある。車両軽量化の効果を確認するためには、異なる測定条件に柔軟に対応可能とすることが望ましい。そこで、平成 29 年度においては、主要パラメータとして複数の平均速度と、対応する測定条件を用意し実測を行い、実測の結果とシミュレーションを組み合わせる方法を検討することが有効である。

3.1.2. ライフサイクルにおける CO₂ 排出量 (LCCO₂) 削減効果の評価方法の検討

(1) LCCO₂ の評価について

本事業においては、CNF 部材への代替により車両を軽量化し CO₂ 排出量の削減を図るにあたっては、車両のライフサイクル全体における CO₂ 排出量 (LCCO₂) を確認することも事業内容に位置づけられた。LCCO₂ の概念を図 3.1-1 に示す。LCCO₂ は製造段階、走行段階、廃棄・リサイクル段階で構成される自動車のライフサイクルにわたる全段階の CO₂ 排出量を合算した値である。

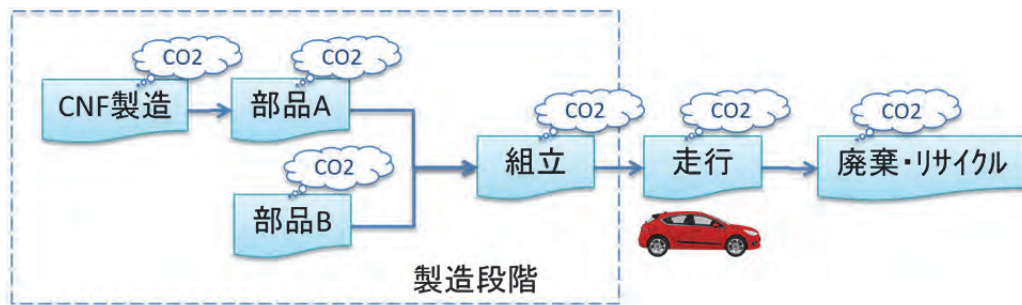


図 3.1-1 自動車の LCCO2

車両の軽量化にあたり走行段階の CO₂ 排出量の低減に加えて、LCCO₂ の低減も示すことができれば、CNF 車両技術の有効性がより高まることとなる。こうした観点は、次世代自動車のロードマップなどに示されるように、今後自動車の燃費（電費）効率改善が進みつつある状況ゆえに注目されている。燃費効率の改善が進むと、製品ライフサイクル全体においては走行段階以外の段階の CO₂ 排出量の割合が増し、車両開発にあたっての温暖化対策としてもより重要視される傾向にある。こうした状況のもと LCCO₂ に関する情報は、今後、社会実装に向けて走行段階の CO₂ 排出量の削減効果を発信してゆく際に、信頼性向上に貢献することも期待される。

LCCO₂ の評価にあたっては、LCA¹の枠組みを規定した JISQ14040:2010、および、環境省(2015)に開示されている LCA ガイドライン（案）を参照することとする。はじめに LCCO₂ に関連する文献の調査を行った。文献調査の結果を表 3.1-3 に示す。いずれも軽量化に伴う走行段階の燃費改善効果に注目している一方、製造段階の CO₂ 排出量を算定し、LCCO₂ の視点に立った評価を実施している。自動車の部材に注目したときに、その部材の軽量化と同時に製造時の CO₂ 排出量の評価が重要視されている状況である。

¹ LCA（ライフサイクルアセスメント）：資源採掘から廃棄・リサイクルまでの製品のライフサイクルにおける、投入資源、環境負荷およびそれらによる地球や生態系への環境影響を定量的に評価する方法。その評価結果は環境配慮設計や政策上の意思決定等に広く活用される。

表 3.1-3 自動車部品または自動車の LCA 評価事例

	メディア 発表年	題名	文献	内容		URL (2017.2.23 現在)
1	IEEJ ホーム ページ (2002)	LCA 的視点 からみた鉄 鋼製品の社 会における 省エネルギー 貢献に係 る調査	日本エ ネルギー 一経済 研究 所・日本 鉄鋼連 盟 (2002)	製造 段階	ハイテンの適用による鋼材削減の効果 製造エネルギー削減量=新車生産台数×投 影面積あたりの重量減少 (kg/m ²) ×投影面 積×鋼板製造エネルギー原単位 (MJ/kg)	http://eneken.ieej .or.jp/data/pdf/46 5.pdf
				使用 段階	走行燃料削減量=新車生産台数 (台/年) × 平均走行距離 (km/台) ×燃費改善率 (%) /新車平均走行燃費 (km/l) ×平均使用年数 (年) ×燃料発熱量 (ガソリンの低位発熱 量 (MJ/l))	
				特記 事項	燃費改善率を、10%車輛軽量化に対して、 6%、4.5%、3%と設定	
2	東大・高橋 淳研究室ホ ームページ (2002)	CFRP による 軽量化乗用 車の LCA	東京大 学 (2002)	製造 段階	CFRP と鉄の各製造原単位 (文献値) を用い た比較 CFRP 車体製造は鉄の 10%減と設定	http://j-t.o.oo7.jp /lab/member.htm 1
				使用 段階	CFRP による鉄の代替で 20%軽量化した場 合の燃費向上効果 エネルギー消費量は車重に比例すると設定	
				特記 事項	CFRP の製造原単位が高いため、代替率をさ らに上げる等しなければ代替効果はない。	
3	第 29 回複 合材料シン ポジウム (2004.10.28- 29)提出原 稿(2004.9.2)	量産車用 CFRP による 軽量乗用車 の LCA	東京大 学 (2004)	製造 段階	乗用車の部品・材料構成データと歩留まりデ ータから、素材製造段階のエネルギー消費 量を算出 CFRP 化により、部品点数や塗装回数が減 少する。また、CFRP は素材製造時にすでに 最終形状に近い形になっているため、車体 製造は 20%エネルギー減と設定 CF の製造エネルギー+PP の製造エネルギー +成形エネルギー (プリフォームマッチ ドダイ法、RTM 法)	http://j-t.o.oo7.jp /publications/041 028/041028TS.p df
				使用 段階	燃費向上によるガソリン消費量減少量算出 年間走行距離、使用年数、燃費は、カタロ グおよび文献値から、実燃費(km/L)= 1/(6E-5X+0.0174) (X=車重 kg) と設定	
				特記 事項	従来車の車体製造段階でのエネルギー消費 量は、自動車工業会の報告書の値を 1380kg あたりに換算して 21406 歩留まり 鉄鋼：61%、アルミ：64%、 CFRP：60%	
4	マツダ技報 (2010)	マツダのライ フ・サイク ル・アッセメ ント	新田茂 樹, 森 口義久 (2010)	製造 段階	材料・部品加工：材料と質量による積み上 げ 車両組立、塗装も別途算出 自動車製造時の歩留まりを考慮	http://www.mazd a.com/contentass ets/87fc47b4d41f 4dcf9f09ac85d7a 69c2e/files/2010 _no016.pdf
				使用 段階	使用期間 10 年間、生涯走行距離 10 万 km 規定走行モードでの燃料消費量から算出 交換部品を考慮	
				特記 事項	燃費向上、水素燃料の評価 従来車、水素自動車との比較	

	メディア 発表年	題名	文献	内容		URL (2017.2.23 現在)
5	マツダ技報 (2012)	マツダのライフサイクルアセスメント(第3報)-CX-5-	新田茂樹, 森口義久 (2012)	製造段階	JAPIA の手法を使用	http://www.mazda.com/contentassets/caaefa70accf4ad39abac38ac34ea20e/files/2012_no041.pdf
				使用段階	車両重量より求められる生涯使用燃料の量から算出 5人乗りのSUVが、その全生涯13年間で11万kmを走行する際に提供する機能を本調査の機能単位とした。 走行モードは新しいJC08モード	
				特記事項	従来型車の諸元・仕様を評価対象者とそろえて比較 同一カテゴリ車であれば、車両質量が車両投影面積に比例する 加速抵抗が支配的なモード燃費は車両質量と反比例の関係がある	
6	JBIA ホームページ	転がり軸受のLCA(Life Cycle Assessment)の調査・研究について	日本ベアリング工業会 (2002)	製造段階	転がり軸受製造工程のエネルギー消費量を生産高カバー率86.7%のメーカー値平均(2002)から算出	http://www.jbia.or.jp/nbi/images/lca_ippan.pdf
				使用段階	1500CC乗用車に使用されたと仮定。 走行条件10.15モードで10万km走行した際のガソリン消費量よりCO ₂ 排出量を推定。	
				特記事項	配分等言及なし	
7	2005年NEDO ホームページ (2005)	自動車アルミ化に関するライフサイクルアセスメント	産業技術総合研究所 (2005)	製造段階	日本自動車工業会のLCA分科会が作成した、各種材料別の自動車製造時の加工原単位表により算出	http://www.nedo.go.jp/content/100091404.pdf
				使用段階	ガソリン消費量の重量依存性を、カタログ値、及び実測値から求めた	
				特記事項	10%の軽量化で、高級車は4.0%、大衆車は4.9%の燃費向上 軽量化に伴い、エンジンが小さくなり足回りも軽くなる場合は、10%の軽量化が10%の燃費向上につながる。	
8	JATMA ホームページ (2012)	タイヤのLCCO ₂ 算定ガイドライン Ver. 2.0	日本自動車タイヤ協会 (2012)	製造段階	JATMA各社の2010年エネルギー使用実績及び生産量実績により原単位を設定	http://www.jatma.or.jp/environment/pdf/lcco2guideline.pdf
				使用段階	車両の燃料使用量をタイヤの寄与率で配分	
9	JAPIA ホームページ (2016)	JAPIA LCI算出ガイドライン 第二版	日本自動車部品工業会 (2016)	製造段階	材料製造工程と加工工程の構成ごとの積み上げによる負荷算定	http://www.japia.or.jp/work/JAPIA%20LCI算出ガイドライン第二版.pdf
				使用段階	自動車部品の機能ごとに配分率を設定	

(2) 部材の LCCO2

LCCO2 の観点における部材実装化の考え方を表 3.1-4 に示す。CNF 部材が比較対象部材に比べて軽量化していても LCCO2 が増大している場合には（区分 A）、LCCO2 を一定の目標水準まで引き下げる必要がある（区分 B）。ただし、この目標水準の設定には多くの考慮事項があるため、次章でケーススタディを通じて課題を抽出する。

表 3.1-4 LCCO2 に関わる部材の区分

区分	ベースラインに対して軽量化していること(走行段階の CO ₂ 排出量)	ベースラインに対して LCCO2 が削減されていること(製造・走行・廃リサイクル段階の CO ₂ 排出量)	CO ₂ 排出量の削減への貢献
A	○	×	通常貢献しない
B	○	○	貢献する

また LCCO2 が増大しないように CNF 活用による軽量化を進めるためには、部材開発のできるだけ早い段階から LCCO2 も考慮対象に含めることが望ましい。開発が進んだ後に LCCO2 評価を行い予想外に悪い結果となっても、条件だしに戻ることは一般的に難しいことが多いためである。本事業で扱う素材としては CNF の製造プロセスが最も未知数であるため、可能な限り早い段階で、CNF 製造時の単位量当たりの CO₂ 排出量(製造時の排出量原単位)を見積もることが必要である。

以上を踏まえて今後の LCCO2 評価の進め方としては、下記の①→②→③→①のサイクルを繰り返し行うことが理想的である。ただし実際には、部材ごとに必要となる各種物性値の達成と並行して対応することとなるため総合的な対応が求められる。

- ① 部材製造情報および文献情報をもとにした LCCO2 の目標水準の設定
- ② 部材製造情報提供者への LCCO2 の評価状況のフィードバック
- ③ 部材製造事業者におけるプロセス改善

3.2. CNF 軽量部品の導入による CO₂ 排出量削減効果シミュレーション技術の検討

3.2.1. CNF 製造に関わる文献データの収集

今後 CNF 製造プロセスの CO₂ 排出量を調査してゆくにあたり、初めにナノセルロース製造における LCA の実施をもとに CO₂ 排出量を報告している文献を収集し、得られた知見をまとめる。

調査の流れとしては、セルロースナノファイバー(CNF)、セルロースナノクリスタル(CNC)、セルロースナノウィスカー(CNW)を含むナノセルロースの製造について LCA 結果を報告している査読付き論文を検索・収集した。各論文について、著者情報、ナノセルロース分類、ナノセルロース製造方法、LCA 実施内容および結果について整理した。LCA 実施内容の詳細については、主にデータ収集方法、評価範囲、使用データベースについての情報をまとめた。

(1) 調査の概要

調査の結果、該当論文は 8 報あり、うち 1 件 (Spence et al. 2011) はレビューだった。整理した文献内容を表 3.2-1 に示す。

これらの論文は、2011 年から 2016 年の間に大学または研究所から発表されている。対象材料は、CNF、CNC、CNW の他、結晶セルロース (MCC) および CNF のエポキシ樹脂複合体も含まれる。LCA の評価範囲は、製造段階のみのものが大多数をしめ、使用・廃棄段階まで含めたものは 1 件 (Hervy et al. 2015) のみだった。また、新材料であることから未だラボレベルでの評価がほとんどである。そして、原材料粉碎法や化学処理の有無など、ナノセルロースの製造方法が各論文で異なっている。バックグラウンドデータベースは、使用データベースを明記している文献すべてで ecoinvent (商用データベースの一つ) を使用していたが、文献などから部分的に引用しているデータもいくつか見られた。バックグラウンドデータの選択は LCA 結果に大きく影響を与えることがあるため、文献値の使用にあたっては注意が必要である。また、気候変動の影響評価手法は、報告している文献すべてにおいて IPCC の温暖化係数 (100 年指数) を使用している。

CNF (ミクロフィブリル化セルロース ; MFC) 製造の評価を行った事例は 4 件だった。1 件は、4 つの製法・工程によるセルロース生成までの CO₂ 等価排出量²を算出している。CO₂ 等価排出量は、360~1160 kgCO₂e/kg-MFC の範囲となり、音波破碎の環境負荷が大きいと報告している (Li et al. 2013)。Arvidsson et al. (2015) は、3 つの粉碎前の処理工程で製造される CNF の評価を行っている。処理なし、または酵素処理の場合、< 2 kgCO₂e/kg-MFC (値では示されず、グラフからの読み取り) であったのに対し、カルボキシルメチル化処理は約 100 kgCO₂e/kg-MFC であった。これは、前処理で使用されるエタノールなどの使用によると分析されている。Piccinno et al. (2015) は、ニンジン残渣を原料とした MFC 製造時の LCA を実施した結果、CO₂ 等価排出量が 140 kgCO₂e/kg-MFC (ニンジン製造を含む) と報告している。酵素処理過程での負荷が一番大きいことが示された。最後の MFC に関する文献は、製造時における 3 つの粉碎方法を比較したレビューで、CO₂ 等価排出量ではなく、エネルギーコストを算出している (Spence et al., 2011)。

CNC 製造における LCA は、Nascimento et al. (2016) により実施報告されている。この CNC 製造は、ココナッツを由来として 4 つの製法で行われ、その環境負荷を比較されている。酸などの試薬での抽出よりも超音波での抽出する工程の負荷が一番小さかった (207 kgCO₂e/kg-CNC)。

² CO₂ 等価排出量: CO₂ 以外の温室効果ガスの排出量を重みづけ係数を乗じて CO₂ 排出量と合算した値。単位には kgCO₂e のように e が付記される。

CNW については、de Figueiredo et al. (2012) が LCA を行っている。ココナッツ由来および綿由来の CNW を評価・比較し、それぞれの CO₂ 等価排出量は、1086、122 kgCO₂e/kg-CNF と報告している。

Hervy et al. (2015) は、CNF の強化エポキシ樹脂複合体の LCA を実施した。この文献のみ原材料調達から廃棄までの LCA を行っている。また、すべてのデータを量産レベルに換算している。PLA および GF/PP の LCA 結果を比較対象として示している。CO₂ 等価排出量は、8.6 kgCO₂e/kg-CNF-epoxy (epoxy 比率 0.65) (他文献との比較のため、廃棄までではなく製造まで結果を示している)。

結晶セルロースの LCA 実施については、8 つの製造システムの比較の中で行われた (Husgafvel et al. 2016)。8 つのシステムは、2 種類のプロセス (AaltoCell および商用 MCC)、工場が単独またはパルプミルに併合されているか、パルプの種類 (漂白・未漂白・溶解) の組み合わせで分類されている。一番負荷が小さかったシステムは、AaltoCell™ 化学パルプミル針葉樹クラフトパルプ (廃液処理: メタン製造および焼却処理) で、1.22 kgCO₂/kg-MCC、大きかったシステムは、商用 MCC 単独漂白済み針葉樹クラフトパルプで、6.45 kgCO₂/kg-MCC だった (CO₂ 等価排出量ではなく CO₂ 排出量)。概して AaltoCell のほうが商用 MCC よりも負荷が小さく、未漂白のパルプのほうが負荷は小さい。AaltoCell の実証実験は 2015 年にスタートしている。

(2) 調査の結論

本調査で、5 種類のナノセルロースの LCA 結果を得ることができた。また複数の研究者の着眼点の違いにより、多様な製造方法の LCA 結果を得た。化学処理を行った場合、試薬使用によって負荷が大きくなったことは注視すべきところである (Nascimento et al. (2016) および Arvidsson et al. (2015))。また、Husgafvel et al. 2016 で実施された量産型への換算について詳細な手法調査を行う必要がある。

本調査で得られたナノセルロース製造における CO₂ 等価排出量は、2 kgCO₂e/kg から 1086 kgCO₂e/kg と幅がおおきい。これは、ナノセルロースの種類・製法などが統一されていないことと、ラボレベルでの評価であることに起因していると考えられる。

なお、LCA データベース IDEA v.2 によると、ポリプロピレン樹脂製造で 1.88 kgCO₂e/kg、普通鋼冷延鋼板の場合の 2.42 kgCO₂e/kg である。前述の文献値の多くはこれら既往素材の CO₂ 排出量よりも多く、後述のように使用段階による軽量化・燃費改善効果を含めても素材製造段階の CO₂ 排出量が大きいため全体として CO₂ 削減につながらない可能性がある。しかし、前述の CNF の LCA 文献については量産効果を考慮していないラボレベルのデータがほとんどであるため、比較可能な数値ではない。現在公開されている CNF の LCA データが CNF の環境性能のポテンシャルを示すものとして誤用されないようにするためにも、量産効果を加味した CNF 製造時のデータ作成・公開が必須である。

表 3.2-1 ナノセルロース製造における LCA 実施に関する文献整理

セルロースナノファイバー類の種類*	マイクロフィブリル化セルロース(MFC)	セルロースナノファイバー(ナノフィブリル)強化エポキシ樹脂複合材(NFC/epoxy) バクテリアセルロース強化エポキシ樹脂複合材(BC/epoxy)	マイクロフィブリル化セルロース(MFC)
主な製法	TEMPO酸化(TO)、クロロ酢酸エーテル化反応(CE)、ホモジネーション(HO)、音波破砕(SO)	摩擦粉砕(Supermasscolloider, 益幸産業)	電界紡糸法(electrospinning)・湿式紡糸法(wet spinning)
著者	Li, Q., McGinnis, S., Sydnor, C., Wong, A., and Rennecker, S.	Hervy, M., Evangelisti, S., Lettieri, P., and Lee, K.-Y.	Piccinno, F., Hirschier, R., Seeger, S., and Som, C.
所属組織	Virginia Tech, 米国	Imperial College London, 英国	スイス連邦材料研究所(EMPA)、スイス
発行年	2013	2015	2015
タイトル	Nanocellulose 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 nanofibers from food waste
掲載誌	ACS Sustainable Chemistry & Engineering	Composites Science and Technology	Sustainable Chemistry and Engineering
論文の主目的	CNF製造における化学的処理⇒物理的処理の各段階に2種類の手法がある(化学製法:TEMPO酸化、クロロ酢酸エーテル化; 物理的処理:ホモジネーション、音波破砕)。これら手法の組合せ4セットについてのLCAを行い比較する。	グラスファイバー強化ポリプロピレン(GF/PP)、ポリ乳酸との比較(PLA)	野菜廃棄物から水性ベースの製造技術で製造するセルロースナノファイバーのLCA(Cradle-to-gate)および2文献(Li et al. 2013; Figueiredo et al. 2012)との比較
セルロースナノファイバーの技術的有効範囲	ラボレベル	ラボレベル	ラボレベル
セルロースナノファイバーの時間的有効範囲	不明	不明	不明
セルロースナノファイバーの地理的有効範囲	電力:USグリッド(2000年の平均値:57%石炭、22%原子力、17%天然ガス、4%その他)、近年のナチュラルガスのシェア拡大による石炭使用割合の減少は考慮されていない。	電力:英国(天然ガス:45.9%、石炭:28.3%、原子力:16.3%、重質燃料油:1.3%、石炭ガス:0.3、再エネ:8%)	電力:ヨーロッパ
対象プロセス	原材料調達～バルブのリグニン抜き～製造(cradle to gate)	原材料調達～製造～使用～廃棄	原材料調達～製造
バックグラウンドデータ名	文献, ecoinvent v.2, USLCI v.1.6.0(SimaPro ver.7.3)、推定	Ecoinvent ver2.2、文献、推定	ecoinvent v.2.2
フォアグラウンドデータの記載プロセス	リグニン抜きバルブからナノセルロース精製まで(化学処理はTEMPO酸化のみ。クロロ酢酸エーテル化は文献より)	NFC/BC生成～樹脂生成～使用～廃棄	残さ処理～紡績糸
フォアグラウンドデータの記載内容	化学処理(TEMPO酸化、クロロ酢酸エーテル化)→電力+排出ガス+材料 物理的処理(ホモジネーション、音波破砕)→使用電力のみ ⇒乾燥ナノセルロース10g等価量に換算	入力エネルギー+材料 ⇒量産レベルに換算	電力・処理材料・排水などすべてのinput/outputデータ
ナノセルロース製造時のセルロースの状態	不明(リグニンを抜いた後の状態はおそらく液体)だが、化学処理では試薬に溶解させる。最終的なナノセルロースアウトプットも液体の様。	木材(未乾燥)	ニンジン残さ 実験ではニンジンそのものを使用した。実際にはニンジンジュースの出がらしを想定(セルロース含有量～24%重量)
気候変動の特性化結果	CEHO: 360kg-CO2e/kg-CN CESO: 1160kg-CO2e/kg-CN TOHO: 190kg-CO2e/kg-CN TOSO: 980kg-CO2e/kg-CN	Cradle to gate (単位:kgCO2eq/f.u.) PLA: 4.6, GF/PP: 4.9, NFC/epoxy: 8.6(epoxy比率0.65), BC/epoxy: 13.8 Cradle to grave (単位:kgCO2eq/f.u.) PLA: 26.9, GF/PP: 18.9, NFC/epoxy: 19.9(epoxy比率0.65), BC/epoxy: 27.1 (機能単位は引張強度特性を尺度にしているため、重量がPLA: 1.96kg, GF/PP: 1.24kg, NFC/epoxy: 1kg, BC/epoxy: 1.17kg)	0.11kgCO2eq/g-extracted_MFC(ニンジン製造含まない) 0.14kgCO2eq/g-extracted_MFC(ニンジン製造含む)
気候変動の影響評価手法	IPCC7 GWP 100a	不明	GWP100-H
その他の評価影響領域	EI99法によるエンドポイントカテゴリー(人間健康、生態系、資源)	化学燃料消費ポテンシャル(Adf) 温暖化 酸性化 淡水生態毒性 光化学オゾン生成ポテンシャル	人間毒性
その他の結論	CED(cumulative energy demand)も算出⇒TOHOがライフサイクルを通じて最も少ないCED 環境影響はTOHO→CEHO→TOSO→CESOの順に低い	各種製造段階までの評価では、PLAとGF/PPがNFCやBCよりも低いGWPとAdfを示した。評価範囲を廃棄まで広げた場合、NFCとBCのGWPおよびAdfはPLAとGF/PPの値に近づいたが優位な値とはならなかった。PLAとGF/PPは重量のために使用段階での環境負荷が大きかった。にもかかわらず廃棄段階までの評価でトレンドが変わらなかったのは、真空樹脂注入成形(VARI)での環境負荷が大きいかと考えられる。	電界紡糸法(electrospinning)は、湿式紡糸法(wet spinning)よりも環境負荷が高かった。MFCの遊離による負荷が大きいため、一番負荷の高い酵素処理段階の改善が期待される。ニンジンの製造を機能単位に含めると綿由来のMFC製造方法よりも負荷が高くなるが、ココナッツ由来のMFC製造方法よりも負荷は低い。Li et al. (2013)のどの製法よりも負荷は低い。

表 3.2-1 ナノセルロース製造における LCA 実施に関する文献整理

セルロースナノファイバー類の種類 ¹⁾	セルロースナノクリスタル	セルロースナノフィブリル(CNF)	結晶セルロース(Microcrystalline cellulose)
主な製法	セルロースナノクリスタル抽出法	①酵素(前処理:酵素) ②カルボキシメチル化(前処理:カルボキシメチル化) ③前処理なし	8つの単独またはパルプミルに統合された製造システム AlatoCell™プロセスおよび商用MCC 1. AaltoCell™ 単独 漂白済み針葉樹クラフトパルプ 2. AaltoCell™ 単独 漂白済み針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:メタン製造および焼却処理) 3. 商用MCC 単独 針葉樹溶解パルプ 4. 商用MCC 単独漂白済み針葉樹クラフトパルプ 5. AaltoCell™ 化学パルプミル漂白済み針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:焼却処理) 6. AaltoCell™ 化学パルプミル 漂白済み針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:メタン製造および焼却処理) 7. AaltoCell™ 化学パルプミル 針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:焼却処理) 8. AaltoCell™ 化学パルプミル 針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:メタン製造および焼却処理)
著者	Nascimento, D. M., Dias, A. F., Araujo Jr., C. P., Rosa, M. F., Morais, M. C. B., and Figueirêdo, M. C. B.	Arvidsson, R., Nguyen, D., and Svanstrom, M.	Husgafvel, R., Vanhatalo, K., Rodriguez-Chiang, L., Linkosalmi, L., Dahl, O.
所属組織	農牧研究公社(Embraa)熱帯アグロインダストリー研究所、ブラジル	Chalmers University of Technology、スウェーデン	Technical Research Center of Finland Ltd.、Finland
発行年	2016	2015	2016
タイトル	A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part II: Environmental assessment of technological pathways	Life cycle assessment of cellulose nanofibrils production by mechanical treatment and two different pretreatment processes	Comparative global warming potential assessment of eight microcrystalline cellulose manufacturing systems
掲載誌	Industrial Crops and Products	Environmental Science and Technology	Journal of Cleaner Production
論文の主目的	セルロースナノクリスタル製造の4手法のLCAおよび比較:①希酸で抽出(CNH1)、②濃酸で抽出(CNH2)、③過硫酸アンモニウム(CNO)、④超音波で抽出(CNU)	上記3つの製法を比較	上記8つの製法を比較
セルロースナノファイバーの技術的有効範囲	ラボレベル	ラボレベル	ラボレベル(AlatoCell™プロセス)~商用レベル(商用MCC)
セルロースナノファイバーの時間的有効範囲	2014年実測値	2007、2008、2012年	文献(1974-2014年)を引用
セルロースナノファイバーの地理的有効範囲	ブラジル	電力:スウェーデン 輸送:原料はドイツと中国から調達、パルプ製造はスウェーデンとロシア、酵素製造はデンマークを想定。	ヨーロッパ(パルプ製造プロセス)
対象プロセス	原材料調達~製造	原材料調達~製造	原材料調達~製造
バックグラウンドデータ名	ecoinvent v.3.1	ecoinvent v.2.2、Eva Alander (Innventia研究所)からの聞き取り、文献(Paakko et al. 2007; Wagberg et al. 2008; Ankerfors 2012)	ecoinvent、文献(Vanhatalo et al. 2014など複数)
フォアグラウンドデータの記載プロセス	原材料調達(ココナッツ繊維の抽出)~製造(セルロースナノクリスタル抽出)(ココナッツ生産は含まない)	なし	なし
フォアグラウンドデータの記載内容	水消費、使用電力量・試薬使用量・セルロースナノクリスタル抽出廃液からの汚染物質濃度	なし	なし
ナノセルロース製造時のセルロースの状態	未熟ココナッツ繊維(31.6%セルロース含有率)	木材パルプ(Ecoinventデータベースにあるパルプ): Elementary chlorine free(ECF)クラフトパルプ Totally chlorine free (TCF)クラフトパルプ 無漂白クラフトパルプ chlorine漂白パルプ	漂白済み針葉樹クラフトパルプ 針葉樹溶解パルプ 針葉樹クラフトパルプ
気候変動の特性化結果	CNU:0.207kgCO ₂ eq/g-extractedセルロースナノクリスタル(ココナッツ製造含まない) 他の手法での値の記載なし。グラフでの比較はあり。CNUの負荷が一番小さい。	①酵素(前処理:酵素)→<2kgCO ₂ eq/kgCNF ②カルボキシメチル化(前処理:カルボキシメチル化)→約100kgCO ₂ eq/kgCNF ③前処理なし→<2kgCO ₂ eq/kgCNF	8手法の中で最大GWPIは、商用MCC 単独漂白済み針葉樹クラフトパルプ:6445kgCO ₂ /t-MCC(乾燥) 最小GWPIは、AaltoCell™ 化学パルプミル針葉樹クラフトパルプ(廃液処理:メタン製造および焼却処理):1217kgCO ₂ /t-MCC(乾燥)
気候変動の影響評価手法	GWP100-H	GWP(100年)	GWP(100年)
その他の評価影響領域	酸性化・水域富栄養化・海洋富栄養化・人間毒性・水資源枯渇	陸域酸性化・水資源枯渇	なし
その他の結論	電力消費とパルプ化工程で使用の酢酸の製造での負荷が大きかった。	パルプ調達などのシナリオに基づき運搬も考慮に入れている。 カルボキシメチル化手法における環境負荷が大きいが、これは前処理でしようされるエタノール、イソプロパノール、メタノールの使用によるところが大きい。	

表 3.2-1 ナノセルロース製造における LCA 実施に関する文献整理

セルロースナノファイバー類の種類 ¹	マイクロフィブリル化セルロース(MFC)	セルロースナノウィスカー
主な製法	ホモジナイザー マイクロフルイダイザー マイクログラインダー(摩擦粉碎(Supermasscolloider, 益幸産業))	酸加水分解
著者	Spence, K. L., Venditti, R. A., Rojas, O. J., Habibi, Y., and Pawlak, J. J.	Figueiredo, M. C. B., Rosa, M. F., Ugaya, C. M. L., Filho, M. S. M. S., Braid, A. C. C. S., and Melo, L. F. L.
所属組織	North Carolina State University, USA	農牧研究公社(Embraoa) 熱帯アグロインダストリー研究所、ブラジル
発行年	2011	2012
タイトル	A comparative study of energy consumption and physical properties of microfibrillated cellulose produced by different processing methods	Life cycle assessment of cellulose nanowhiskers
掲載誌	Cellulose	Journal of Cleaner Production
論文の主目的	上記3手法によるMFC製造にかかるエネルギーコストの算出	ココナツ繊維(ECU)および綿繊維(EC)由来ナノウィスカー製造の環境影響評価
セルロースナノファイバーの技術的有効範囲		ラボレベル
セルロースナノファイバーの時間的有効範囲		不明
セルロースナノファイバーの地理的有効範囲		ブラジル
対象プロセス		セルロースナノウィスカー抽出
バックグラウンドデータ名		ecoinvent v2、文献(APHA et al. 2006; Silva and Oliveira 2001)
フォアグラウンドデータの記載プロセス		セルロースナノウィスカー抽出
フォアグラウンドデータの記載内容		ココナツ繊維抽出による排出ガス量、試薬使用量
ナノセルロース製造時のセルロースの状態		ココナツ繊維・綿繊維(35メッシュ以下に粉碎されたものを水およびNaOH溶液で洗浄・乾燥されたもの)→リグニン除去
気候変動の特性化結果		EC System: 0.122171kgCO ₂ eq/g-nanowhiskers EUC System: 1.086412kgCO ₂ eq/g-nanowhiskers
気候変動の影響評価手法		GWP100-H
その他の評価影響領域	なし	水資源枯渇・富栄養化・人間毒性
その他の結論	ホモジナイザー: \$650 マイクロフルイダイザー(前処理含): \$140 マイクログラインダー(前処理含): \$210 マイクロフルイダイザーおよびマイクログラインダーによる製法のほうが品質もエネルギーコストも小さい。	未熟ココナツ繊維からの抽出のほうが、水資源需要および汚染物質排出が少なく、人間健康および富栄養化への影響も少なかった。プロセス別にみるとセルロースナノウィスカーの抽出でのエネルギー需要が一番大きかった。

3.2.2. 各製造プロセス情報の収集

CNFで軽量化した部材の製造プロセスフローとしては、CNF製造、CNF材料製造（樹脂との混練）、成型加工等の製造プロセスが続く。前項で述べたCNF製造時における議論と同様、その他の製造プロセスにおいても大幅にCO₂排出量が増加すると、使用時における軽量化効果が相殺されてしまう。そのため、今後CNFで軽量化した各種部材・部品の製造プロセスにおけるCO₂排出量を円滑に確認してゆくための準備として、平成28年度においてはデータ収集準備および既往データベース等を利用した検討を行った。データ収集準備として初めにCNF部材の製造プロセスを実施する事業者ヒアリングを行い、この結果をもとに今後の製造プロセス情報の収集方法を作成することとした。

事業者へのヒアリングは、CNFを配合したABS樹脂成型部品へのメッキ工程について実施した。当該メッキ技術を有する日立マクセル社と、実際に生産ラインを有するA社（日立マクセル社外注先）においてヒアリング調査を実施した。その結果、試験的に生産する段階であるため量産時のプロセス（副原料等）が未確定ではあるものの、既存製品に比較してプロセスが簡易化できる可能性が高いため、当該工程においてはCO₂排出量削減の方向性であることが確認された。ただし、同外注先の工場では工場全体での蒸気使用量を把握しているものの、各プロセスにおいては蒸気利用量を実測していないため、削減効果の定量化には何らかのモデル化が必要であることが分かった。同様に、廃水・汚泥発生量も当該プロセスのみで実測が困難であるため、モデル化を要する。

なお、同社ではCNFを配合したABS樹脂成型品を現在テストしているが、本事業ではPA6へ配合した原料を利用する可能性もあるため、樹脂変更時における当該メッキプロセスへの影響についても検討する必要がある。

以上の結果をもとに、今後の製造プロセス情報の収集方法について次章で検討した。

3.2.3. 製造時CO₂排出量原単位の整備方法の検討

本事業に参加する各企業等から、製品1単位製造時におけるエネルギー、素材等使用量を提供いただき、CO₂評価グループがCO₂排出量算定実務を行う手順とする（図3.2-1）。また、各企業とは必要に応じて守秘義務契約を締結し、製造時におけるエネルギー、素材等使用量データは原則として対外秘とすることで、ノウハウ等の漏洩を防止する。

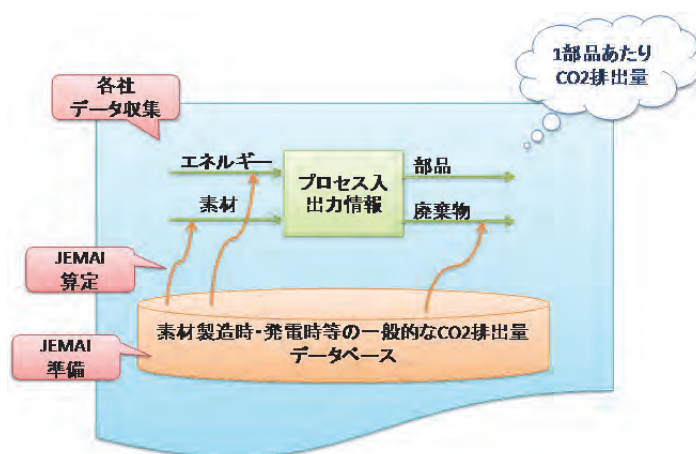


図 3.2-1 一部品あたりの製造時CO₂排出量の算定スキーム

当該企業へは当該プロセスにおける主な CO₂ 発生原因等の詳細分析結果をフィードバックし、さらなる製造プロセスの改善の支援を行う。また、従来部品データがベンチマークとして入手できる場合は、それらと比較し、必要な CO₂ 削減量を明確にする（図 3.2-2 部品評価詳細結果のイメージ（グラフの定量情報は架空の値））。

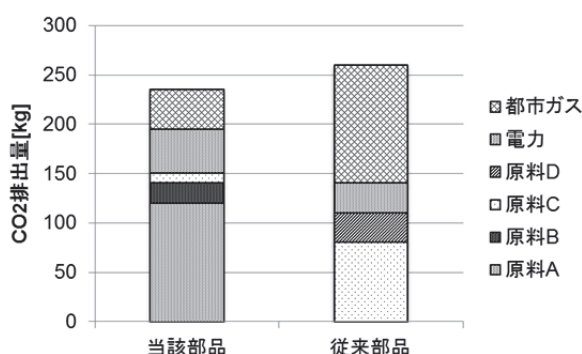


図 3.2-2 部品評価詳細結果のイメージ（グラフの定量情報は架空の値）

各プロセスの入出力情報を整理するデータ収集フォーマットおよび記載イメージを表 3.2-2 および表 3.2-3 に示した。ただし、前述のメッキ工場における蒸気使用量や汚泥発生量のように、当該製品のみを対象とした実データ収集が困難なケースが少なからずある。そのため、当該製品への CO₂ 排出量の配分方法やプロセスのモデル化方法など、必要に応じて CO₂ 評価グループにて助言等を行うことが有効である。

表 3.2-2 プロセス一般情報のデータ収集フォーマットおよび記載イメージ

項目名	記載欄
作成者・連絡先	株式会社〇〇〇〇 環境太郎 TEL....E-mail....
データ収集期間	2016年12月1日～12月3日
プロセス条件	JIS〇〇法による試験片作成時のデータ。温度〇℃、・・・
データ収集方法	工程ロスがほぼないため、入力原料レシピから投入量を算定。電力は時間あたり消費電力量を稼働時間で按分。
製品特徴	ガラスファイラー代替を想定。現段階では〇〇性のみテストしており、その他の要求品質のテストは未実施。
技術開発の段階	コスト削減へ向けた加工時間等の最適化には未着手。

表 3.2-3 プロセス入出力データのデータ収集フォーマットおよび記載イメージ

入力項目名	量
ポリプロピレン(ナチュラルペレット)	0.5kg
CNF(〇社提供、状態:〇〇〇)	0.1kg
電力	現状:2kWh
	目標:0.5kWh

3.2.4. 量産時の CO₂ 排出量の試算方法の検討

製造時における CO₂ 排出量と、それ以外の各種プロセスの CO₂ 排出量を合算することで、自動車の製造から使用、廃棄に至るまでの総合的な CO₂ 排出量が算定できる。しかし、製造

プロセスにおける実 CO₂ 排出量がデータ収集できたとしても、量産時におけるエネルギー効率、原料歩留まりとは大幅に異なることが想定される。そのため、データ収集時には現在のデータだけでなく、2030 年量産時など、市場における本格普及時における製造プロセスを想定し、CO₂ 排出量を推計する必要がある（図 3.2-3）。

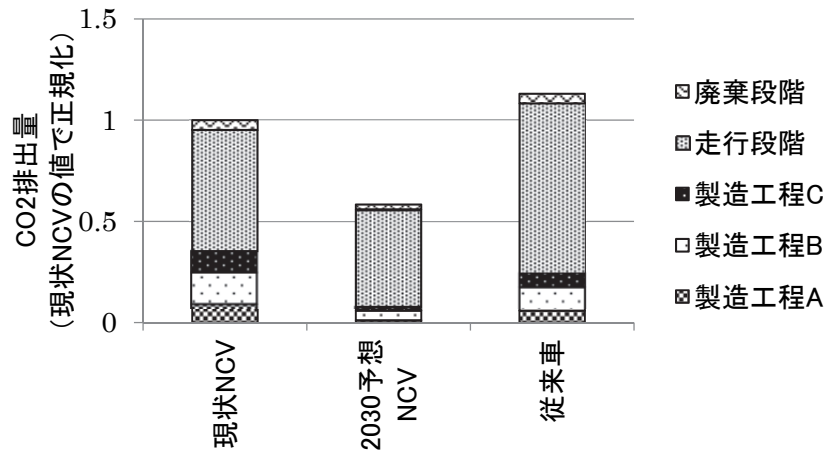


図 3.2-3 NCV の LCCO₂ の推計結果のイメージ（グラフの定量情報は架空の値）

そこで、量産時のプロセスシステムについて、現行の CNF 生産プロセスの中からベースケースとなるプロセスを抽出し、各単位操作の量産化に伴う状況の変化とプロセスインベントリの推算方法を検討した。図 3.2-4 に変性リグノセルロースナノファイバー・樹脂コンポジットの一貫製造プロセス（京都プロセス）を基にした単位操作と、ヒアリングを通じて考案した量産化時のインベントリ推算方法の例を示し、それぞれを以下で説明する。

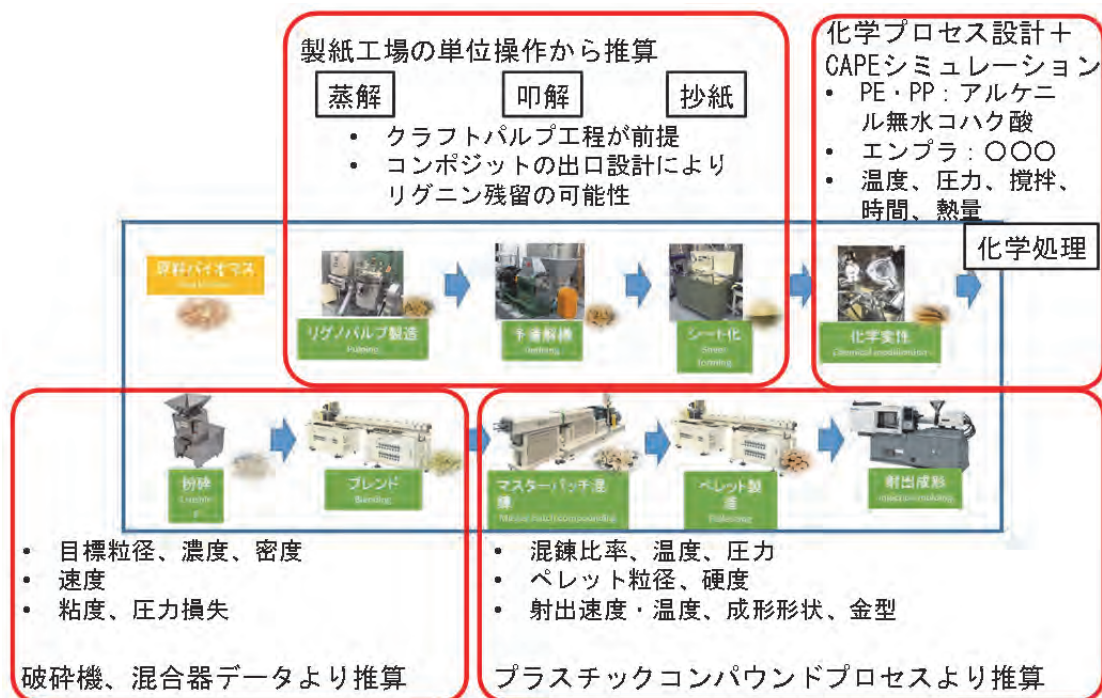


図 3.2-4 変性リグノセルロースナノファイバー・樹脂コンポジットの一貫製造プロセス（京都大学生存圏研究所, 2016）と量産化推算手法

プロセスインベントリの推算においては、①単位操作の物質・熱収支、②地理的バウンダリの設定、③原料・ユーティリティの供給システム設計、を行う。まず、①単位操作の物質・熱収支について下記に示す。

- ・ 製紙工場の単位操作から推算：リグノパルプ製造、予備解繊、シート化

クラフトパルプ工程を前提にとることにより、リグノパルプ製造は蒸解、予備解繊は叩解、シート化は抄紙といった、製紙プロセスにおける各単位操作と同等のものと仮定できることがわかった。また、コンポジットの出口設計によっては、意図的にリグニンを残留させることも材料設計上はありえるため、クラフトパルプにおける蒸解の条件や、機械パルプに関する情報を利用した推算も必要となる。いずれの単位操作においても、入出力として物質と熱のバランスが必要になるが、既往の研究(Miyata et al., 2010)よりそれをモデル化し、規模に合わせて推算することが可能といえる。

- ・ 化学プロセス設計+CAPE シミュレーション：化学変性

化学変性は化学反応を伴う単位操作であり、化学プラント設計用のプロセスシミュレータ等、Computer-Aided Process Engineering (CAPE) ツール(Mayumi et al., 2010)を用いてプロセスインベントリを推算できることが分かった。化学変性における反応と分離の温度、圧力、修飾する化学種などの条件から、プラントの基本設計となる物質と熱の入出力を推算できる。さらに反応速度や精製条件、反応率、未反応分のリサイクルなどの設定を用いて、プロセスフローダイアグラムを詳細設計し、Aspen Plus 等の化学プロセスシミュレータから、インベントリを推算することが可能である。

- ・ 破砕機、混合器データより推算：粉砕、ブレンド

破砕およびブレンドは、規模の原理による単位生産量あたりの省エネ効果が働きにくい機構といえ、さらに、他のプロセスでも同等の単位操作が存在しうることから、一般的な破砕機、混合器の装置仕様からインベントリデータを推算できることがわかった。目標粒径や濃度、密度、生産速度、粘度や圧力損失から装置仕様を決定し、インベントリ推算を実施できる。

- ・ プラスチックコンパウンドプロセスより推算：マスターバッチ混練、ペレット製造、射出成形

混練、ペレット製造、射出成形については、一般のプラスチックコンパウンド企業と同等のプロセスで実施可能であることがわかった。混練比率や温度、圧力条件によって混練機、ペレット粒径や硬度によってペレタイザー、射出速度・温度、成形形状、金型によって射出成形機における条件がそれぞれ特定できるため、通常のコパウンドプロセスと比較することでインベントリを推算可能とする。

②地理的バウンダリの設定においては、各単位操作が同じ工場の中で稼働するのか、地理的に異なる場所で稼働するのかを設定する必要がある。これにより、各単位操作の生産速度が決まり、装置サイズ・個数などを決定できるようになる。②と同時並行して、③原料・ユーティリティの供給システム設計を行うことによって、プロセスインベントリとして得られた結果をつなぎ合わせることができるようになる。まず、所与の最終製品生産規模から、原料となるパルプの必要量が特定できる。ここで、森林から得られる資源量の推算 (e.g., Oosawa et al., 2016) などより、原料の入手経路を特定し、量産化時のインベントリを作成できるようになる。このとき、どの地域のどの樹種を用いるべきか、など、製品品質に影響を与える原料の特性を考慮することにより、原料の供給システムの細部までを設計することができる。このとき、CNF 製造プロセスを単独 (スタンドアローン) で建設・稼働するか、製紙工場な

どの既にパルプ生産設備を有している工場に併設させて建設・稼働するかによって、原料調達の容易さが異なるだけでなく、ユーティリティの供給システムが大きく変化する。製紙工場は熱電併給の動力プラントを有しており、ここから熱と電力を得ることができる。この動力プラントのインベントリは、新規パルプと再生パルプの比率によって異なる黒液の生産・利用量、廃タイヤなどの廃棄物ボイラの稼働率、などによって変化するため、製紙工場の条件によって CNF 生産のインベントリが変化する。他方、CNF 生産の単位操作における必要温度条件によっては、製紙工場からの排熱の利用により賄うことも検討する。

以上のように、①単位操作の物質・熱収支、②地理的バウンダリの設定、③原料・ユーティリティの供給システム設計を通すことによって量産化時のインベントリデータの推算が可能である。この推算の過程においては、それぞれの設定によって不確実性が大きく存在することも明らかである。実際、工業プロセスにおいても、特に自家発等、動力プラントの条件によって大きくインベントリが異なることが分かっている。CNF 生産においても、単位操作における不確実性だけでなく、立地や動力プラント、排熱等未利用資源の利用など、各種条件別にインベントリを推算し、幅のある値を算出することが必要といえる。

3.3. CNF 部品実機搭載における CO₂ 削減効果評価方法の検討

3.3.1. 一部部品の CO₂ 排出量の削減効果の評価

CNF 使用素材で代替を想定している部品は多岐にわたるが、PP を主な原料とした内装材、鋼板を主に利用した外装材等があげられる。そこで、現在入手可能なデータで、削減効果の試算を行った。

(1) 同一樹脂において混練する原材料を CNF に置換することによる削減効果の検討

PP はガラス繊維を補強材として混練した上で、デッキボード、ドアモジュールプレート等の様々な部材としてすでに利用されている。このガラス繊維の代わりに CNF を配合し、単位質量あたりの強度を増すことで軽量化すると仮定する。以下に算定条件を示す。

- ・ 走行時の寄与は、部品重量 1kg あたりガソリン 1.75L 消費（122,158km 走行，自動車部品工業会資料）
- ・ PP,ガラス繊維製造時の CO₂ 排出量は IDEA v.2 の原単位データを利用
- ・ CNF 製造時 CO₂ 排出量は不明であるため、2kg-CO₂/kg と 50 kg-CO₂/kg と仮定して 2 パターンを試算。
- ・ 廃棄時：全量焼却
- ・ 部品加工時の影響は除外

以上の条件に加えて CNF 製造原単位を 2 kg-CO₂/kg-CNF として計算した結果を図 3.3-1 に示す。横軸はガラス繊維配合率を示しており、また縦軸はガラス繊維利用時と CNF 利用時の CO₂ 排出量が同じ値となる部品軽量化率を示している。例えば GF30% 配合 PP 製部品を、CNF5% 配合 PP 部品で代替する場合、最低約 6% の部品軽量化が必要である。なお、2 kg-CO₂/kg-CNF という数値は、未晒しパルプ製造時の CO₂ 排出量に、若干の加工エネルギーを付加した数値である。

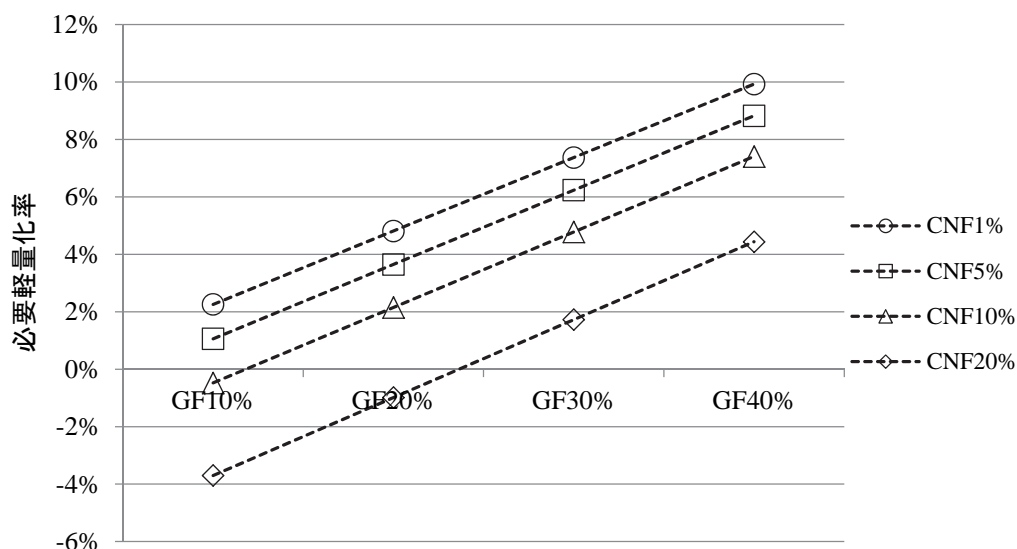


図 3.3-1 ガラス繊維 (GF) 配合 PP と CNF 配合 PP の比較
(CNF 製造時 2 kg-CO₂/kg-CNF の場合)

一方、50 kg-CO₂/kg-CNF として試算したケースを図 3.3-2 に示した。この場合、例えば GF30%

配合 PP 製部品を CNF5%配合 PP 部品で代替する場合、最低約 25%の部品軽量化が必要である。なお、海外の CNF 製造時の CO₂ 排出量を評価した論文では量産効果を考慮していない数値であるが、数百 kg-CO₂/kg-CNF という数値も報告されている。

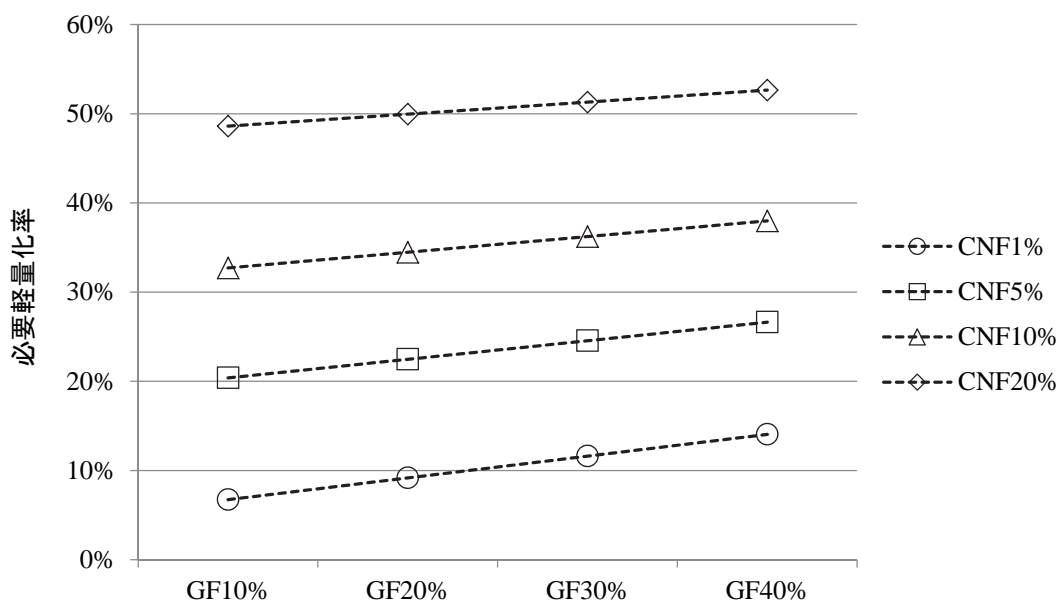


図 3.3-2 ガラス繊維 (GF) 配合 PP と CNF 配合 PP の比較 (CNF 製造時 50 kg-CO₂/kg-CNF の場合)

(2) 鋼板部材を CNF 樹脂に代替することによる削減効果の検討

フロントフード、フェンダー、ルーフ、ラゲッジドア等に用いられている鋼板代替の効果を試算した。CNF を 10%配合した PA6 を用いるとした。以下に算定条件を示す。

- ・ 曲げ剛性等価とし、ヤング率から軽量化効果を 51%とした。
- ・ 走行時の寄与は、部品重量 1kg あたりガソリン 1.75L 消費 (122,158km 走行, 自動車部品工業会資料)
- ・ 廃棄時は全量焼却 (CNF 燃焼時の CO₂ 排出は炭素中立としてゼロカウント)
- ・ 工時の影響・差異が含まれていない
- ・ CNF 製造時 CO₂ 排出量は不明であるため、2 kg-CO₂/kg と 50 kg-CO₂/kg と仮定して 2 パターンを試算。
- ・ その他、設計上の配慮 (ワイヤーを用いた安全性対策等) の影響についても無視

以上の条件をもとに計算した結果を図 3.3-3 に示す。当該機能に相当する溶融亜鉛めっき鋼板の CO₂ 排出量が 8 kg 弱であるため、CNF 製造時の CO₂ 排出量が 2kg, 50kg の両ケースにおいて CO₂ 排出量の削減効果があった。

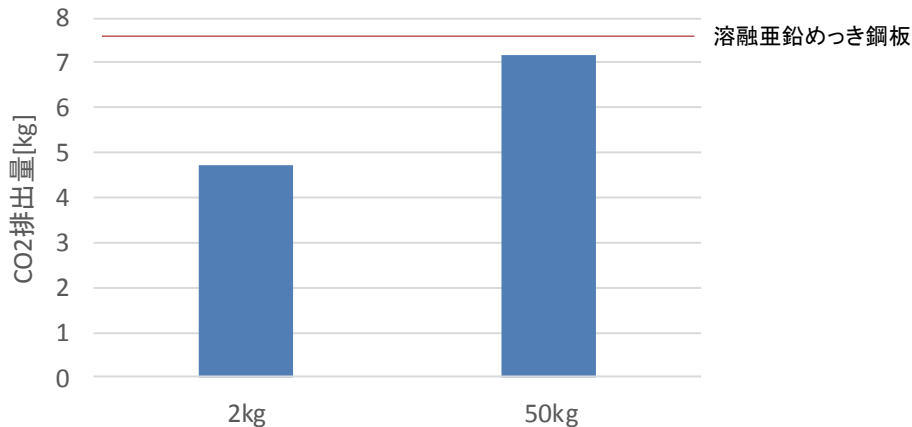


図 3.3-3 CNF10%配合 PA6 樹脂 1kg の CO₂ 排出量
(CNF 製造時の CO₂ 排出量が 2kgCO₂, 50kgCO₂ のケース)

3.3.2. CO₂ 排出量削減効果シミュレーションに必要なとなる収集データ項目の抽出

以上の試算から、CNF 原料については次のことが現段階でいえる。

- ・ CNF 製造時の CO₂ 排出量は無視できない。信頼性の高い数値がない限り、CNF の省 CO₂ 性はアピールできない。
- ・ 仮に CNF 製造時の CO₂ 排出量が数 kg 程度であれば、軽量化により燃費向上が期待できる。

その他、ここまで述べてきた検討結果をもとに、CO₂ 削減効果のシミュレーションを実施するにあたり現段階では以下の事項の情報を整理し、データ収集を進めることが重要である。

表 3.3-1 CO₂ 削減効果のシミュレーションのために必要な対応事項

項目	平成 29 年度の対応として必要と考えられる事項
走行段階の軽量化効果の試算、シナリオ（生涯走行距離等）の設定	文献情報、および走行段階の燃費の実測、シミュレーションの結果を踏まえて、軽量化効果の試算を実施。（第 3.1 項）
CNF 原料の製造原単位、および、将来 CNF を量産した場合の、製造時スケールメリットの効果の算定	重点項目①と綿密に連絡をとり、評価すべき CNF 原料の特定、データ収集、原単位作成を実施。（第 3.2 項）
成形加工プロセス等の評価	データ収集の優先順位を定め、製造時 CO ₂ 排出量原単位を順次整備。（第 3.2 項）
廃棄リサイクル段階の評価（シナリオ設定）	標準的な自動車のリサイクルシナリオ、及び、重点項目①における CNF 材料のリサイクル特性の評価の両面から検討をすすめ、廃棄・リサイクルシナリオを設定。
比較対象の選定	平成 29 年度 CNF 搭載車については、「86」の既存部品。平成 31 年度コンセプト車両については、コンセプト設計を通じて設定。

3.4. CO₂ 排出量削減効果の将来予想 (2030 年)

軽量化等による走行段階の1台あたり削減量をCO₂削減原単位とし、これにシナリオ設定に基づいた将来の波及導入数を乗じることで、社会への波及的なCO₂削減効果が得られる。CO₂削減原単位は、上記の検討を進めることで今後得られるものである。波及導入数はNCVの普及台数であり、その設定根拠が重要である。以下では普及台数の設定に資する検討を行った。

3.4.1. CNF 車両普及シナリオの策定方法

エネルギー制約の高まりや地球温暖化対策の必要性、グローバル競争力強化の観点から、電気自動車や燃料電池車をはじめとする、次世代自動車の開発が進められている。CNF 車両普及シナリオを策定するにあたり、これら次世代自動車で検討されている普及シナリオの現状を把握するため、調査を行った(表 3.4-1)。

表 3.4-1 次世代自動車普及シナリオの例

地域	文献	シナリオの概要	車種	普及率			
				2020年	2030年	2035年	2040年
日本	経済産業省 (2010)、中小企業研究センター (2010)	<ul style="list-style-type: none"> 政府目標ケース 中小部品企業が新興国市場と競争力を持つ(従来車の軽量化や低コスト) 	従来車	50~80%	30~50%		
			HV	20~30%	30~40%		
			PHEV	15~20%	20~30%		
			EV				
		FCV	~1%	3%			
		<ul style="list-style-type: none"> 民間努力ケース 中小部品企業が新興国市場と競争力を持つ(従来車の軽量化や低コスト) 	従来車	80%以上	60~70%		
			HV	10~15%	20~30%		
			PHEV	5~10%	10~20%		
			EV				
		FCV	僅か	1%			
		<ul style="list-style-type: none"> リチウムイオン電池や新電池の開発が急速に発達 政府の支援 	従来車	30~50%	30~50%		
			HV	10~20%	30~40%		
			PHEV	50~60%	20~30%		
			EV				
		<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池の開発、車両コスト低下、水素ステーションの整備 政府の支援 	従来車	10~20%	~10%		
			HV	10~20%	10~20%		
PHEV	10~20%		10~20%				
EV							
日本	燃料電池実用化推進協議会 (2016)	・2050年に温室効果ガス排出量の80%削減を目標(ベースシナリオ)	FCV	20万台	65万台		300万台
		・大幅な技術発展(ハイシナリオ)	FCV	20万台	65万台		600万台
世界	経済産業省 (2016)、EA (2012)	<ul style="list-style-type: none"> EV,HVの普及が進む(2DS Improveシナリオ) 	従来車	82%	44%		15%
			HV	9%	22%		28%
			PHV	5%	20%		29%
			EV	2%	8%		14%
			FCEV	0%	2%		9%
世界	AAA (2013)	・OEMの経済性と消費者の支払い意欲により普及率が決まる(ベースシナリオ)	自動運転車			10%	20%
		・自動運転機能の関心が高まり、他の機能のグレードを下げる消費者がでてくる(予算重視シナリオ)				15%	30%
		・自動運転車の経済的なメリットが、多くの消費者に知られる(コストシナリオ)				14%	28%
		・自動運転機能が義務化される(義務化シナリオ)				12%	23%

HV:ハイブリッドカー, PHEV:プラグインハイブリッドカー, EV:電気自動車, FCV:燃料電池車

自動車普及シナリオには、技術の発展、経済環境、政府の支援・対策などが関連しており、状況に応じて適宜その内容を見直していく必要がある。次世代自動車において重要となる研究開発分野として「軽量化技術」、「パワエレ」、「電池」、「リサイクル」、「モータ」、「センサー」の6領域が挙げられている。特に、「軽量化」は燃費向上だけではなく、加速、停止などの走行性能の向上にもつながるため、自動車メーカーとして非常に重要な技術開発課題である。高強度であり、低環境負荷が期待されるセルロースナノファイバーは、軽量化素材として自動車への適用が検討されていることから、今後、市場見通しと技術見通しを考えながら、CNF車普及シナリオを作成する必要がある。

3.4.2. CO₂ 排出量削減効果についての社会全体への波及効果の評価の枠組み

策定する予定の CNF 車両普及シナリオに基づく、CO₂ 排出量削減効果についての社会全体への波及効果の評価の枠組みを検討するために、我々が提案している物量連関の提示を可能とする IDEA マトリックス（田原,2015）を用いて、CO₂ 排出量削減効果についての社会全体への波及効果の評価枠組みについて検討を行った。（図 3.4-1、図 3.4-2）。

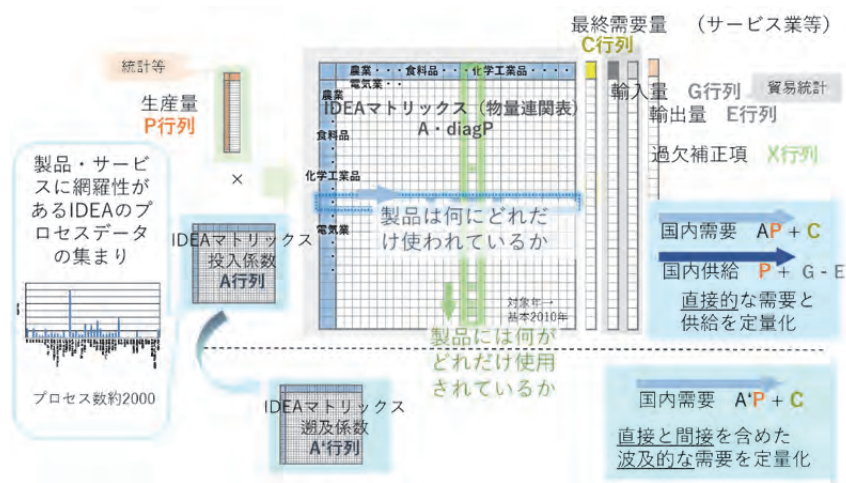


図 3.4-1 IDEA マトリックスの概要

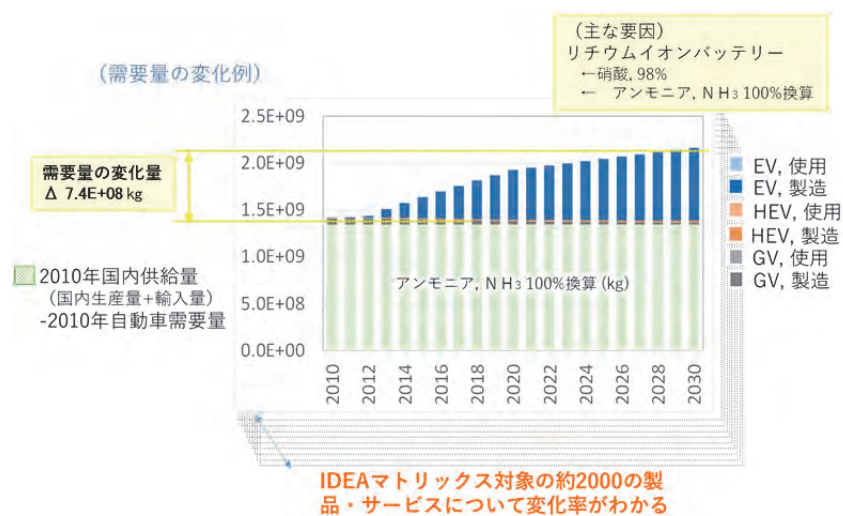


図 3.4-2 製品生産量変化の結果の例（アンモニアの例）

図 3.4-1 に示すのが IDEA マトリックスの概要であり、インベントリデータベース IDEA の投入係数表に生産量の対角行列を乗じることによって作成している。つまり、IDEA マトリックス各製品・サービスの入出力データに生産量を乗じると、製品・サービスを供給するために必要な製品の使用量(需要量)を把握することができる。また、最終需要量(サービス業等)、輸出入量を計上することによって対象製品・サービスがどこに供給されているかを把握が可能となる。これにより、2,000 程度の製品が分析できる物量連関表が作成されたことになる。電気自動車の普及シナリオにもとづいて、リチウムバッテリーの需要がもたらすアンモニアの生産量変化について、IDEA マトリックスを利用して分析した結果の例を図 3.4-2 に示す。これに CO₂ 排出量データを乗ずることで CO₂ 排出量変化の結果が得られる。

以上のように普及シナリオに基づく、2030 年までの CNF 自動車の生産台数と保有台数の推計値をもとに、製造工程と使用・メンテナンス工程でのインベントリデータを作成し、IDEA マトリックスを用いて産業影響評価を実施できることが明らかになった。この枠組みを利用することで以下の結果が得られると考えられる。シナリオ全体の CO₂ 排出量削減効果、製品の生産量の変化およびその CO₂ 排出量の変化分析に加え、輸出入のデータを整備することで、CNF 自動車及ぼす国内 CO₂ 排出量変化と海外における CO₂ 排出量変化を定量的に、かつ、時系列で把握することが可能である。また、生産量の時系列変化も結果として得られることから、CO₂ 排出量ばかりで無く、我が国の産業へ与える影響も分析できる。これら分析には CNF 自動車の直接投入する製品のインベントリばかりでは無く、IDEA マトリックスはまだデータの精度をあげる必要があることが示された。したがって、影響の大きい製品のインベントリデータの精査および、各製品の生産量の精査を実施しすることが不可欠であると分かった。以上により、CNF 自動車が社会全体の CO₂ 排出量へどのように波及するかについての評価の枠組みとして利用できることが明らかとなった。

参考文献

3.1

- 環境省(2015)：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
- 産業技術総合研究所(2005)：自動車アルミ化に関するライフサイクルアセスメント, NEDO, < <http://www.nedo.go.jp/content/100091404.pdf> (2017.2.28 入手)>
- 東京大学(2002)：東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻 安全評価工学研究、CFRP による軽量化乗用車の LCA < <http://j-t.o.oo7.jp/lab/member.html> (2017.2.23 入手) >
- 東京大学(2004)：東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻 安全評価工学研究、量産車用 CFRP による軽量乗用車の LCA < <http://j-t.o.oo7.jp/publications/041028/041028TS.pdf> (2017.2.23 入手) >
- 新田茂樹, 森口義久(2010)：マツダのライフ・サイクル・アセスメント、マツダ技報, 28, pp.75-79
- 新田茂樹, 森口義久(2012)：マツダのライフサイクルアセスメント(第 3 報)- CX-5 -, マツダ技報, 30, pp.205-208
- 日本エネルギー経済研究所・日本鉄鋼連盟 (2002)：LCA 的視点からみた鉄鋼製品の社会における省エネルギー貢献に係る調査
- 日本自動車タイヤ協会(2012)：タイヤの LCCO₂ 算定ガイドライン Ver. 2.0 < <http://www.jatma.or.jp/environment/pdf/lcco2guideline.pdf> (2017.2.23 入手) >
- 日本自動車部品工業会(2016)：JAPIA LCI 算出ガイドライン 第 2 版 < <http://www.japia.or.jp/work/guideline.html> (2017.2.23 入手) >

日本ベアリング工業会(2002) : 転がり軸受の LCA(Life Cycle Assessment)の調査・研究について
< http://www.jbia.or.jp/nbi/images/lca_ippan.pdf (2017.2.23 入手) >

JISQ14040:2010 : 環境マネジメント-ライフサイクルアセスメント-原則及び枠組み

Kelly JC, Sullivan JL, Burnham A, Elgowainy A (2015) Impacts of Vehicle Weight Reduction via Material Substitution on Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions. *Environ Sci Technol* 49:12535–12542. doi: 10.1021/acs.est.5b03192

Kim HC, Wallington TJ, Mayyas ATAR, et al (2016) Life Cycle Assessment of Vehicle Lightweighting: A Physics-Based Model to Estimate Use-Phase Fuel Consumption of Electrified Vehicles. *Environ Sci Technol* 50:11226–11233. doi: 10.1021/acs.est.6b02059

3.2

Arvidsson, R., Nguyen, D., & Svanström, M. (2015). Life cycle assessment of cellulose nanofibrils production by mechanical treatment and two different pretreatment processes. *Environmental Science and Technology*, 49(11), 6881–6890. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00888>

de Figueiredo, M. C. B., De Freitas Rosa, M., Lie Ugaya, C. M., De Souza Filho, M. D. S. M., Da Silva Braid, A. C. C., & De Melo, L. F. L. (2012). Life cycle assessment of cellulose nanowhiskers. *Journal of Cleaner Production*, 35, 130–139.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.033>

Hervy, M., Evangelisti, S., Lettieri, P., & Lee, K. Y. (2015). Life cycle assessment of nanocellulose-reinforced advanced fibre composites. *Composites Science and Technology*, 118, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.08.024>

Husgafvel, R., Vanhatalo, K., Rodriguez-Chiang, L., Linkosalmi, L., & Dahl, O. (2016). Comparative global warming potential assessment of eight microcrystalline cellulose manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 126, 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.091>

Li, Q., McGinnis, S., Sydnor, C., Wong, A., & Renneckar, S. (2013). Nanocellulose life cycle assessment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(8), 919–928. <https://doi.org/10.1021/sc4000225>

Nascimento, D. M. do, Dias, A. F., Arajo Junior, C. P. de, Rosa, M. de F., Morais, J. P. S., & Figueiredo, M. C. B. de. (2016). A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part II: Environmental assessment of technological pathways. *Industrial Crops and Products*, 93(April), 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.063>

Piccinno, F., Hischer, R., Seeger, S., & Som, C. (2015). Life cycle assessment of a new technology to extract, functionalize and orient cellulose nanofibers from food waste. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(6), 1047–1055. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00209>

Spence, K. L., Venditti, R. A., Rojas, O. J., Habibi, Y., & Pawlak, J. J. (2011). A comparative study of energy consumption and physical properties of microfibrillated cellulose produced by different processing methods. *Cellulose*, 18(4), 1097–1111. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9533-z>

3.3

京大大学生存圏研究所(2016)、

< http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/news/_event_20160415/ (2017.2.23 入手) >

Mayumi, K., Y. Kikuchi, M. Hirao, 2010, Integlation of LCA and CAPE Tools for Design of Biomass-derived Resin Processes, *Proc. Process Sys. Eng. Asia.*, Singapore

Miyata, N., Y. Kikuchi, M. Hirao, 2010, Scenario Analysis on Pulp and Paper Flow for the Design of Paper Recycling System, *Proc. Int. Conf. EcoBalance*, Tokyo

Oosawa, K., Y. Kanematsu, Y. Kikuchi, 2016, Forestry and Wood Industry, in "Energy Technology

Roadmaps of Japan; Future Energy Systems Based on Feasible Technologies Beyond 2030"
edited by Y. Kato, M. Koyama, Y. Fukushima, T. Nakagaki, Springer: Tokyo

3.4

経済産業省(2010) : 次世代自動車戦略 2010

経済産業省(2016) : EV・PHV ロードマップ討会報告書

< <http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160323002/20160323002-3.pdf> (2017.2.23 入手) >

田原聖隆(2015): IDEA マトリックスを用いた次世代自動車導入の産業構造解析, 第 10 回 日本 LCA 学会研究発表会要旨, 神戸大学 (神戸)

中小企業研究センター (2010) : 自動車産業にみる中小企業のパラダイムシフト 調査研究報告 No.124

燃料電池実用化推進協議会 (2016) : FCV と水素ステーションの普及に向けたシナリオ

< http://fccj.jp/pdf/28_csj.pdf (2017.2.23 入手) >

IEA(2012): ETP (Energy Technology Perspectives) 2012

< https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf (2017.2.23 入手) >

AAA(2013) : AAA 2013 Your Driving Costs Study

< <http://exchange.aaa.com/wp-content/uploads/2013/04/Your-Driving-Costs-2013.pdf>
(2017.2.23 入手) >

[他、BCG 分析にあたり以下の情報を適用、IHS Global Standards、WardsAuto、just-auto.com、BCG 自動運転車調査(米国、2014 年、回答者数 1,510 人)、Green Home Authority、Victoria Transport Policy Institute、United Nations Department of Economic and Social Affairs]

第4章 CNF 車両実装に関する車両構想の評価

(金沢工業大学、トヨタテクノクラフト(株)、(一社)産業環境管理協会)

4.1. 最終試作車の車両構造および組み付け技術の検討

4.1.1. ベンチマーク車の車重測定

(1) 目的

最終試作車の車両構想の検討のために、金属製車体のベンチマークとしてトヨタ 86、樹脂製骨格ベンチマークとして A 社のベンチマーク車の車重の計測と車体の構成を比較をした。

(2) 方法

燃料がほぼ空（給油の警告灯点灯状態）の状態の車両の 4 輪をコーナーウエイトゲージにて測定する。

(3) 結果

両車種の主要緒元カタログ値を表 4.1-1、車重の計測結果を表 4.1-2 に示す。

(4) 考察

計測した 2 車種を比較してみると、以下の①～③のような違いがある。

- ① A 社ベンチマーク車はトヨタ 86 よりも 130kg 程度軽い。(10%程度軽い)
- ② 全長は A 社ベンチマーク車が 250mm 短く、全幅は 95mm 広い。
- ③ 外板は、トヨタ 86 が金属であり、ベンチマーク車は樹脂製である。
- ④ A 社ベンチマーク車は、樹脂製骨格と金属フレームを組み合わせた構造である。

A 社ベンチマーク車はトヨタ 86 と概ね近い外形寸法であるが、樹脂製外板と樹脂製骨格で構成されていて 10%程度軽量である。また、A 社ベンチマーク車は車体下部の樹脂骨格で強度を受け持つような構造（モノコック構造）であるため、屋根部や外板意匠の形状に自由度がある。これらの特徴を考えると、今回の最終試作車の軽量化目標とコンセプトを考えた際に、A 社ベンチマーク車の構造や材料構成は選択肢の一つとなり得ると考えられる。

表 4.1-1 主要緒元一覧（カタログ値）

車名	86	(樹脂製骨格BMC車)
メーカー	トヨタ	A社
車両重量(kg)	1210	1050
車両総重量(kg)	1450	
総排気量(cc)	1998	1742
最高出力(PS)	207	240
全長(mm)	4240	3990
全幅(mm)	1775	1870
全高(mm)	1320	1185
ホイールベース(mm)	2570	2380
トレッド(FR)(mm)	1520	1640
トレッド(RR)(mm)	1540	1595
乗車定員(名)	4	2

表 4.1-2 計測方法および結果（実測値）

<計測機器>

コーナーウエイトゲージ

名称/型式：HANDY SCALE/HM04E8(KYOWA)



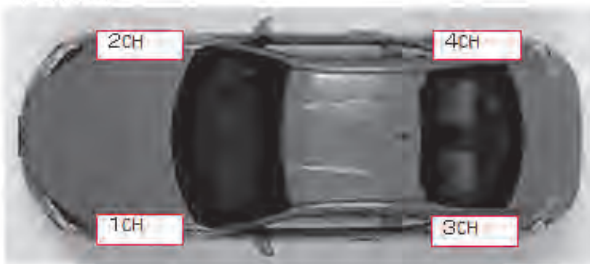
センサー部



本体部

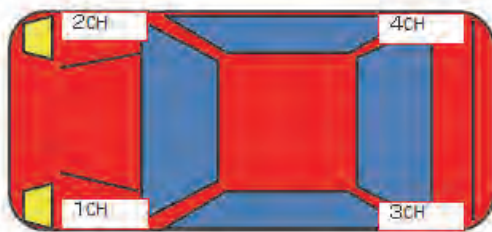
<計測結果(kg)>

トヨタ86



2CH	334	4CH	254	RH合計	588
1CH	331	3CH	249	LH合計	580
前輪合計		後輪合計		4輪合計	
665		503		1168	

樹脂製骨格ベンチマーク車



2CH	213	4CH	305	RH合計	518
1CH	207	3CH	314	LH合計	521
前輪合計		後輪合計		4輪合計	
420		619		1039	

4.1.2. 市販車用樹脂骨格の調査

(1) 目的

今回最終試作車の樹脂骨格の剛性の目標値を検討するため、市販車の樹脂製骨格の剛性値を求める。また、今後の樹脂骨格の CAE(Computer-Aided Engineering)による強度剛性解析結果と比較することで解析の精度向上を目指す。

(2) 方法

B 社のベンチマーク車の樹脂製骨格の後端を治具で定盤に拘束した状態で、前端部に右方向の静荷重を負荷し、その時の各計測点の W 方向の変位量をダイヤルゲージで計測した。

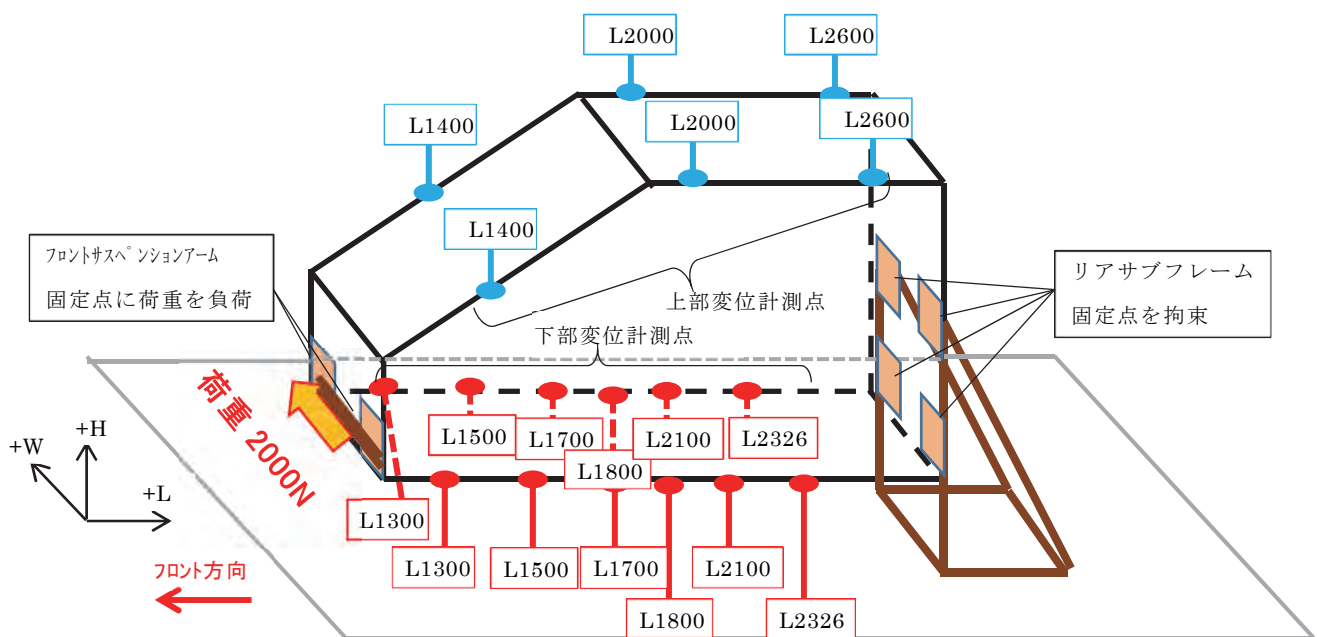


図 4.1-1 横曲げ試験実施方法

(3) 結果

横曲げ試験結果について図 4.1-2 に示す。

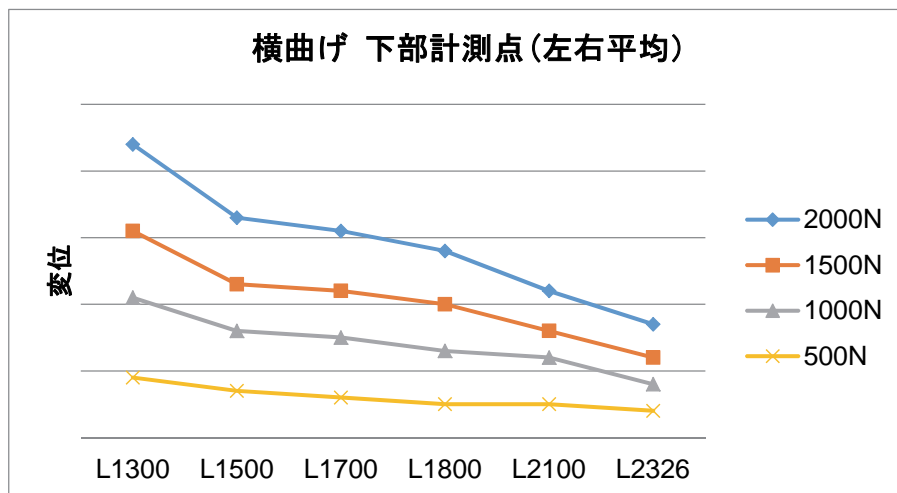


図 4.1-2(a) 横曲げ骨格 下部計測点の変位量

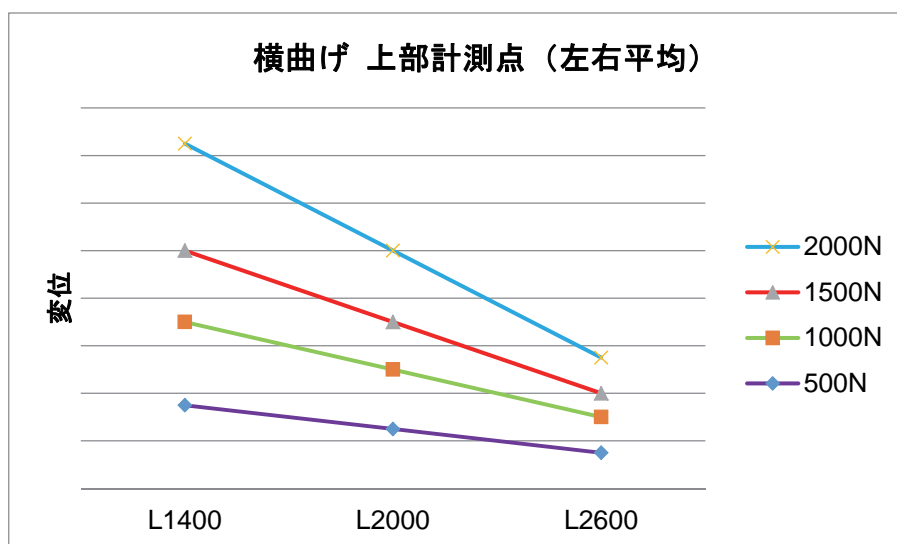


図 4.1-2(b) 横曲げ骨格 上部計測点の変位量

(4) 考察

骨格の断面形状が変化する付近では変位量も変化する。また、下部計測点は上部と比較して変位量が多いが、拘束点と荷重点の高さの違いや上下の剛性バランスの違いが影響していると考えられる。これは、樹脂骨格の形状による影響と考えられる。今後は、今回の剛性試験結果と B 社ベンチマーク車の CAE 解析結果と最終試作車の CAE 解析結果を比較しながら樹脂骨格の検討を進めることで、CAE の精度を上げながら、剛性と質量のバランスを考慮した設計を行うことができると考えられる。

4.2. CNF 車両の社会実装に向けた CNF 車両の市場投入方策の検討

4.2.1. 現状の動向調査からのアプローチ

(1) 調査会社の選定

CNF や自動車新規材料（CFRP 等）といった最新材料、また、将来の自動車構想に精通し、官庁からの調査依頼実績のある三菱化学テクノロジーサーチを選定。

(2) 調査の考え方

CNF 自動車の考えられるサプライチェーンの現状を調査し、各サプライチェーンにおける課題を整理し、解決策を講じる方法で議論する。

(3) 実施結果

① 原料； 木質原料に関する課題と対応策

<課題>

我が国は世界有数の森林国で、森林面積は国土面積の 3 分の 2 にあたる約 2,500 万 ha（うち人工林は約 1,000 万 ha）である。森林面積の 58% は私有林で、人工林を中心に毎年約 1 億 m³ 増加し、現在は約 49 億 m³ である。

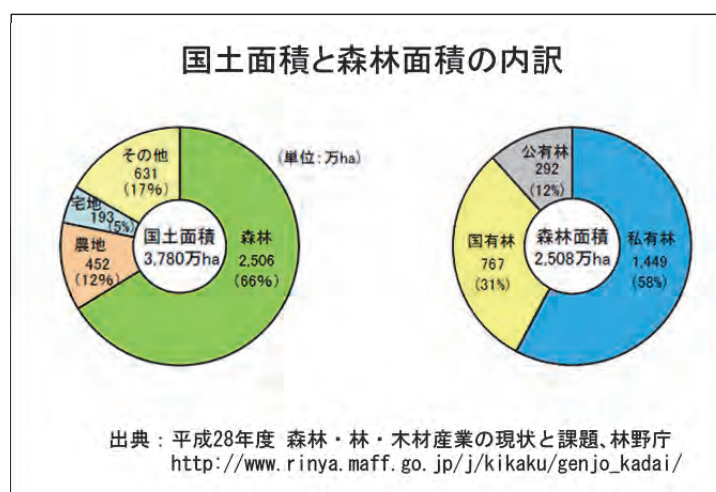


図 4.2-1 国土面積と森林面積の内訳

木材供給量は減少傾向で自給率も 33.3%（2015 年）で、約 70% は輸入品である。未利用の間伐材等は年間約 2,000 万 m³ 発生しており、今後有効利用のための施業集約化や路網整備等により安定供給の体制を構築することが必要である。製材工場や建設廃材等は、ほとんどが利用されているため、更なる木質バイオマスの利用拡大には、未利用間伐材等の活用が重要な課題である。

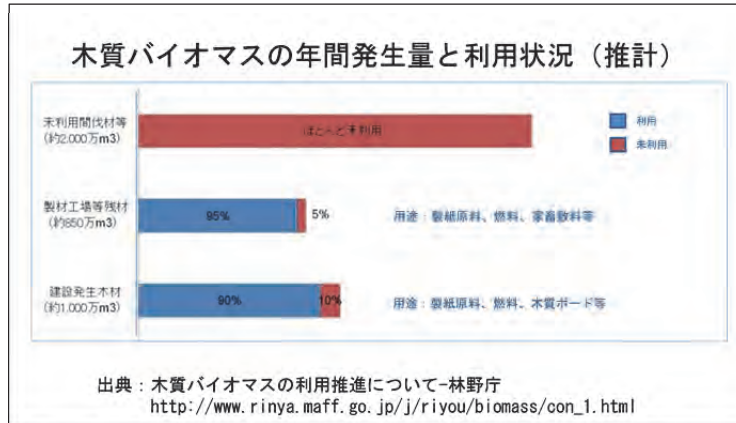


図 4.2-2 木質バイオマスの年間発生量と利用状況（推計）

< 対応策 >

日本の林業にとって参考とすべきは欧州の林業形態である。欧州主要国は、1990年代より持続可能な森林管理と木材利用へ向けた取り組みを先駆け、世界をリードしている。世界の森林面積が減少する中であって、欧州の森林面積は1990年代、2000年代ともに増加しており、安定した森林管理が行われている。

表 4.2-1 ドイツ、オーストリアと日本の森林の状況

	単位	ドイツ	オーストリア	日本
森林面積	万ha	1,108	386	2,510
国土面積	万ha	3,570	827	3,779
森林率	%	31	47	66
森林蓄積量	m³/ha	309	311	175

集材方法	生産量 (万m³)	構成比
人馬	108	5%
トラクタ、複合機械 (ウィンチ含む)	1,121	57%
架線	326	16%
フォワーダ	429	22%
合計	1,984	100%



出典：森林・林業再生プラン実践事業の概要・欧州フォレスターからの提案・助言の概要、林野庁
www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/hojyojigyuu/pdf/01-20.pdf

図 4.2-3 ドイツ、オーストリアと日本の森林状況、オーストリアの集材方法

ドイツ、オーストリアの森林は、日本と比較して年齢構成が整っており、100年生以上の林分が多数存在するなど資源的には恵まれている一方で、植栽された人工林も多数あり森林経営、若齢人工林の整備がされている。森林の路網が整備され、タワーヤーダやウィンチ付きトラクタを基幹道に据え付けて一段集材し、トラックで運材することを念頭に整備されている。

ドイツの路網整備例



出典：森林・林業再生プラン実践事業の概要・欧州フォレスターからの提案・助言の概要、林野庁
www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/hojyo_jigyuu/pdf/01-20.pdf

図 4.2-4 ドイツの路網整備例

② 材料； CNF 繊維強化プラスチックの開発状況と課題

<熱硬化性 CNF 複合材および課題>

・効果

高圧ホモジナイザーで解繊したナノファイバー（マイクロフィブリル化セルロース：MFC）を用いてシートを作製し、フェノール樹脂を注入後、積層、硬化すると（SMC法）、鋼鉄の 1/5 の軽さで鋼鉄なみの強度の成形材料（マイクロフィブリル化 CNF 複合フェノール樹脂：繊維率約 90%）が得られた。

・課題

樹脂の含浸性、成形時間

<熱可塑性 CNF 複合材および課題>

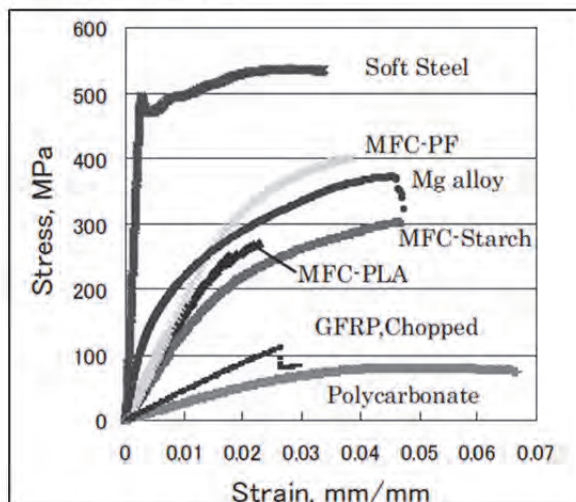
・効果

CNF の化学修飾により PP、PE、ポリアミドを対象に CNF/熱可塑性樹脂の複合化が検討された。疎水化 CNF において、10%の CNF 添加で HDPE の弾性率が 4.5 倍、引張強度が 2.4 倍に向上した。線熱膨張係数も 248ppm/K から 47ppm/K に低下。PP との複合体でも同様の強度向上効果を得た。

・課題

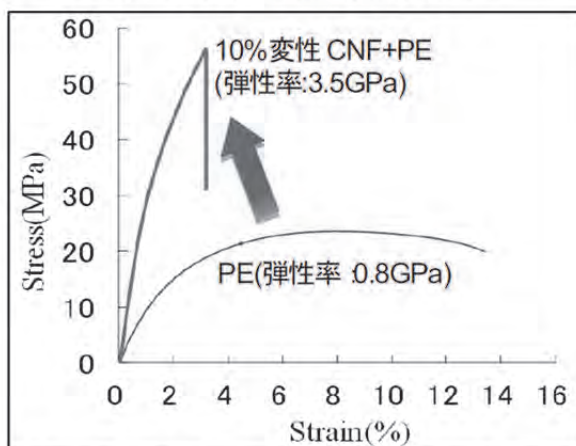
成形圧力、成形面積

マイクロフィブリル化繊維成形材料と他材料の曲げ強度特性比較（図 4.2-5）



出典：「セルロースナノファイバーとその利用」、矢野 浩之、日本ゴム協会誌、第85 巻 第12号（2012）

CNF 強化HDPE 樹脂の強度特性（図 4.2-6）



出典：「セルロースナノファイバーとその利用」、矢野 浩之、日本ゴム協会誌、第85 巻 第12号（2012）

<リグノセルロースナノファイバー樹脂複合材および課題>

・効果

京都大学の矢野教授らは、CNF 表面にリグニンを残したリグノパルプを、さらに化学処理することで、高耐熱で、樹脂との混練時に機械的にナノ解繊し、リグノ CNF が均一分散する変性リグノパルプを開発し、高性能のリグノ CNF 強化樹脂材料を高効率で製造することに成功した。

・課題

成形圧力、成形面積

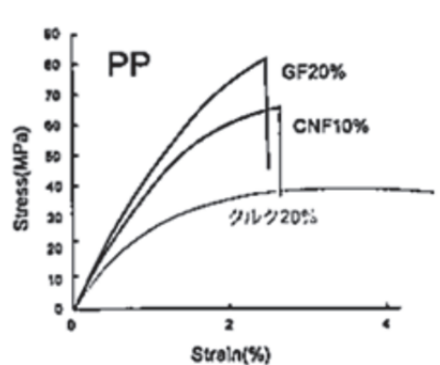
変性リグノセルロースナノファイバー・樹脂複合材料の一貫製造プロセス（京都プロセス）



出典：「高性能ナノ繊維で強化した樹脂複合材料と高効率製造プロセスを開発」
NEDOニュースリリース、2016.3.23

図 4.2-7 変性リグノセルロースナノファイバー・樹脂複合材料の一貫製造プロセス（京都プロセス）

RCNF/PP複合材の曲げ強度



出典：NEDO「リグノセルロースナノファイバーによる次世代部材のための材料開発」

図 4.2-8 RCNF/PP 複合材の曲げ強度

表 4.2-2 リグノセルロースナノファイバー樹脂複合材の物性

樹脂 (Tg)	樹脂単独 曲げ弾性率 (GPa)	リグノCMF/樹脂 曲げ弾性率 (GPa)	樹脂単独 曲げ強度 (MPa)	リグノCMF/樹脂 曲げ強度 (MPa)
PA6 (225°C)	2.22	5.34	91	157
POM (166°C)	2.29	5.35	78	131
PLA (170°C)	3.41	6.40	108	119
ABS (200°C)	1.93	3.78	63	88
PA12 (175°C)	1.24	3.15	52	89
PBT (222°C)	2.27	4.38	80	113
HDPE (129°C)	1.10	2.39	24	43

出典：NEDO「リグノセルロースナノファイバーによる次世代部材のための材料開発」

<構造材向け CNF 複合材（高添加量リグノセルロースナノファイバー(RCN)複合材および課題>

・効果

リグノセルロースに少量の樹脂を添加して成形体を作成すると鋼鉄と同等の線熱膨張係数と 58%の軽量化が可能である。アルミと比較しても 17%の軽量化が可能である。

・課題

成形圧力、成形面積

表 4.2-3 高添加量RCN複合材料の物性

素材	植物度	密度 (g/cm ³)	弾性率 (GPa)	強度 (MPa)	線膨張係数 (ppm/K)	重量比 *1
RCN高添加量成形体	80%	1.3	14	200	15	1
鋼鉄	—	7.8	210	200~1,200	13	2.4
アルミ	—	2.7	70	200~450	24	1.2

*1：同曲げ弾性率で比較した重量比

出典：NEDO「リグノセルロースナノファイバーによる次世代部材のための材料開発」

<水中対向衝突法（ACC法）により得られた CNF の複合材(中越パルプ工業)および課題>

・効果

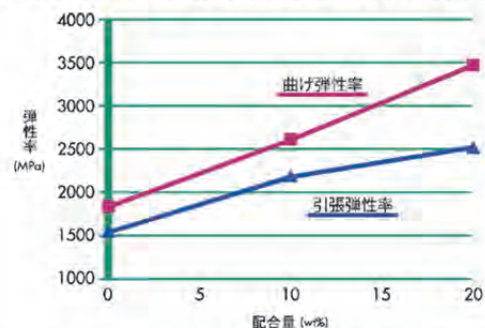
ACC法 CNF を配合した複合樹脂は以下の特徴を有している。

- 剛性強度向上
- 強度向上
- 表面硬度の向上
- 収縮・寸法安定性の改善
- 接着性の向上

・課題

価格

図 4.2-9 押出向けPP/ACF法CNF複合材料の弾性率



出典：「ナノフォレスト」中越パルプ工業株式会社 <http://www.chuetsu-pulp.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2016/09/nanoforest.pdf>

<構造材向け CNF 複合材（ACC 法 CNF の 100%成形体と課題>

・効果

樹脂を併用しない ACC 法 CNF のみからなる 3 次元成形体の調整に成功。鋼鉄をしのぐ強度を持つ構造材の製品化に向け工業化プロセス開発に着手。歯科材料として検討。

・課題

価格

③ 自動車； 自動車構造材の軽量化シナリオ

軽量化技術には、構造合理化・材料置換・新工法適用の三つのアプローチがある。革新的構造材料とされている高張力鋼板ハイテン、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維複合材に注目し、軽量化をねらいとした適用シナリオが提案されている。

【シナリオ】 A：限界までハイテン使用、B：適材適所、C：効果がある部材から CFRP

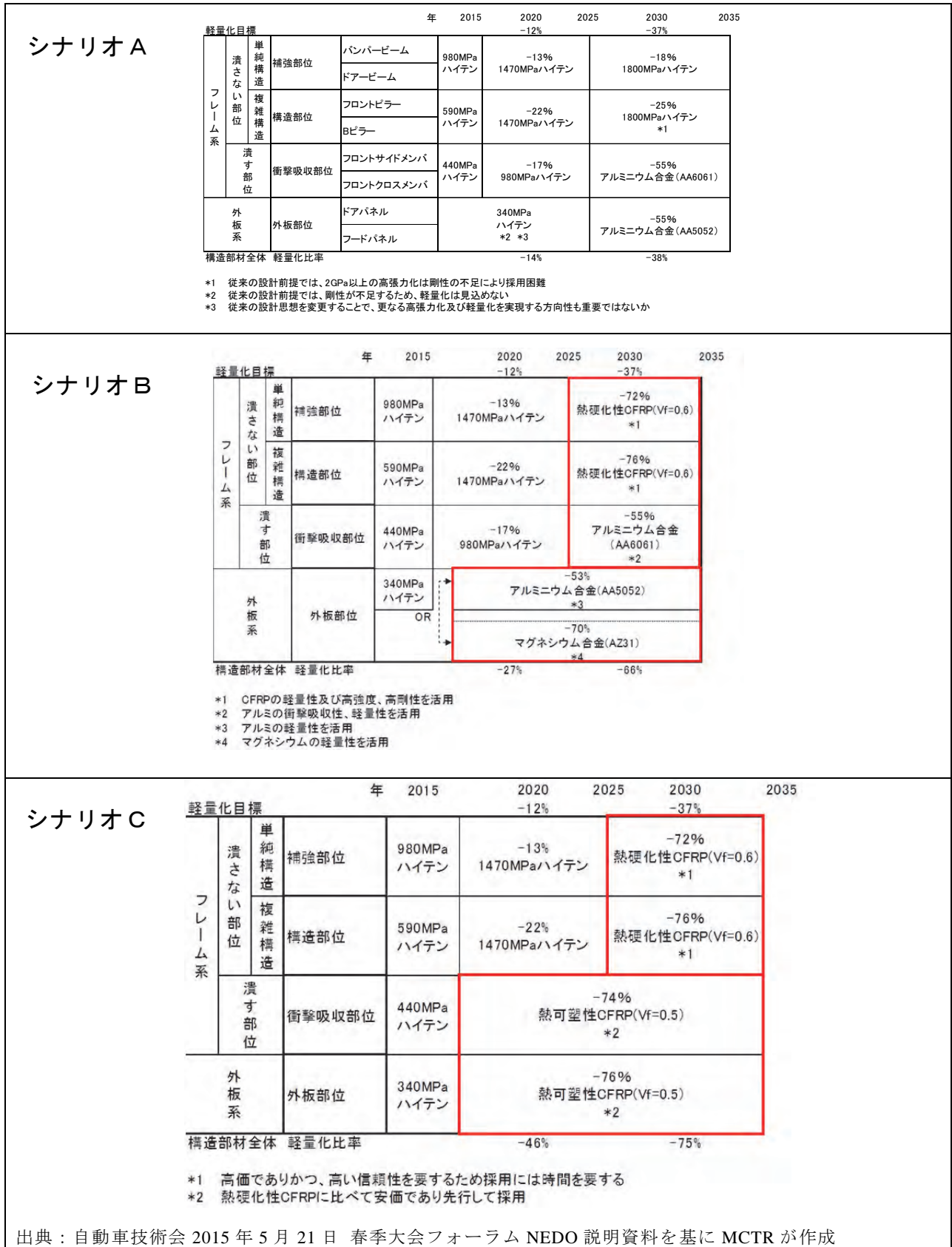


図 4.2-10 自動車構造材の軽量化シナリオ

< CNF の課題 >

セルロースナノファイバーは軽量・高強度など軽量化素材として魅力は十分であるが、競合する鉄、アルミ、CFRP との相対的なコストパフォーマンスの向上が取り組むべき課題である。今後の検討のための参考データとして、各種材料の市場価格と比重を示した。

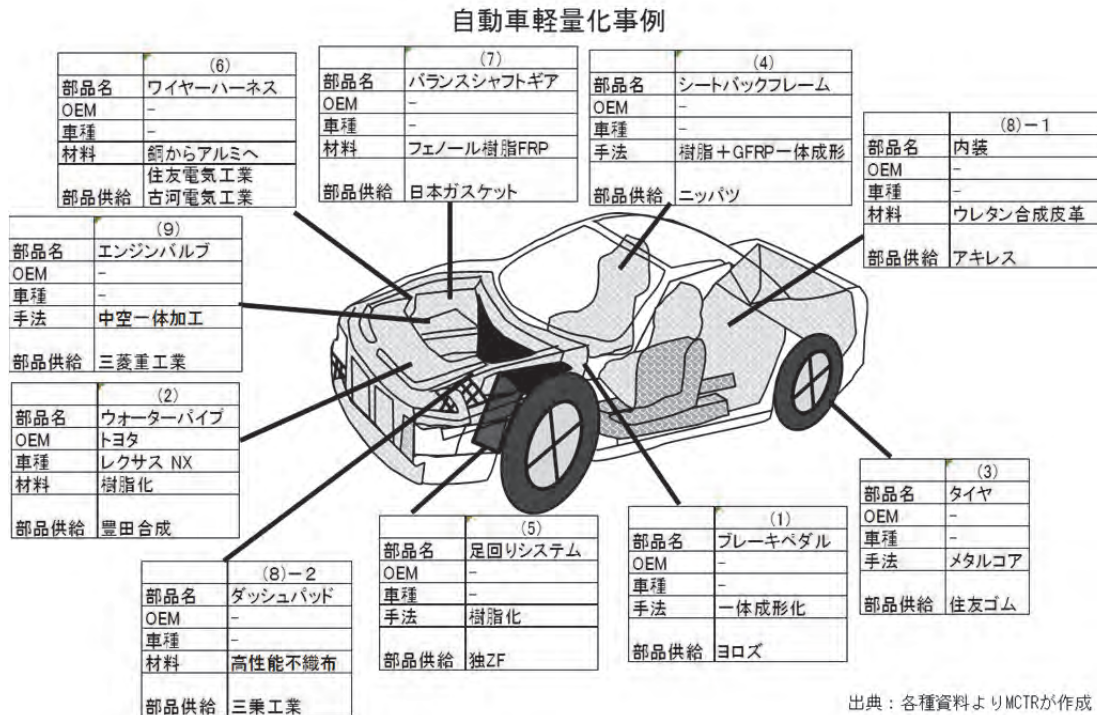
表 4.2-4 各種材料の市場価格と比重

材料		市場価格			比重 (g/cm ³)
		素材・形状	日付	(円/kg)	
鋼板	鉄	冷延鋼板 t=1.6mm	2017/2/17	72-74	7.85
非鉄金属	アルミ	アルミ地金99.7%	2017/2/17	270-272	2.65
	マグネシウム	中国産	2017/2/18	290-295	1.83
	チタン	スポンジチタン (輸入価格貿易統計)	2016年度	1430~1890	4.69
繊維	GF	ローピング (輸入価格 貿易統計)	2016年度	119	2.50
	CF	PAN系高強度品 12Kフィラメント	-	2800-3200 (推定)	1.79
樹脂	PP	粒状、雑貨向け	2017/2/9	182-222	0.90
	PA	ナイロン66	2017/2/9	425-475	1.13
	PC	-	2017/2/9	350-400	1.20

出典：各種資料よりMCTRが作成

④ 自動車；自動車軽量化事例

ボディにおいて高張力鋼板（ハイテン）の使用比率を高め軽量化、高強度アルミ押出型材、断熱や吸音に優れた軽量エンジンカバー、シャーシにアルミ合金、ステアリングビームはマグネシウム合金、多様な成形方法の CFRP、CFRP 製トランクリッド、フロントフェンダー、フェーエルリッド、レールカバーの樹脂化及びフード、バックドアの FRP 化等が検討されている。



出典：各種資料よりMCTRが作成

図 4.2-11 自動車軽量化事例

自動車用樹脂部品は、1950年代に機能部品や内装品へ初めて適用されて以来、バンパー、ラジエーター、グリル、インストルメントパネル、テールランプなどの内外装品や車体電装品、機能部品などへの採用が本格化した。近年、ハイブリッドカーなど、電動車両の台頭によるカーエレクトロニクス化の進展も樹脂化を促進する要因になっており、樹脂材料の構成比率（重量ベース）は、現在では車体総重量の12%前後まで上昇している。

⑤ 自動車； 自動車外装における主な樹脂材料

表 4.2-5 自動車外板大型部品に使用される主な樹脂材料の種類

部 品	熱 可 塑 性 樹 脂 材 料															熱硬化性樹脂								
	汎用樹脂					エンジニアリングプラスチック										熱可塑性エラストマー								
	PP	PE	AS	ABS	AES	PMMA	PA	PC	POM	PPE	PC+PBT アロイ	PC+ABS アロイ	ABS+PA アロイ	PP+PA アロイ	PP+PA アロイ	変性PPE +PPO 7ポリ	GFRP (19)	TSOP	TPE	FRP	UP	SMC	RIM 成形	
バンパー	●																	●	●	●				●
フェインア																								
エネルギー吸収体	●										●													
フロントグリル																								
バンパーサポート																								
リチナー																								
リニアフオースメント																								
フェンダー																								
リアフェンダー																								
ドア																								
バックドア																								
ルーフ																								
バックパネル																								
フード/ボンネット																								
トランクリッド																								
ピラー																								
ガーニッシュ																								
給油オーブングリッド																								

- (1) 射出成形(塗装)PP複合材
- (2) ビーズ発泡成形 PP複合材
- (3) 射出成形(塗装、メッキ)
- (4) 射出成形 POM-GF
- (5) 射出成形 PAB-GF
- (6) GFRP
- (7) バックドア ガーニッシュ
- (8) Bピラー ガーニッシュ
- (9) 含、PP複合材(サイド ガーニッシュ)
- (10) フロントピラー ハネル
- (11) リヤピラー ファニッシュ
- (12) フェンダー ライター
- (13) フロントワインドサイド ガーニッシュ
- (14) バックドア ガーニッシュ
- (15) PA66
- (16) PA66
- (17) PPF(ファイバー入りPP)
- (18) GFRP/SWCマトリックス
- (19) ガラス繊維強化プラスチック GMT(ガラス長繊維マット強化熱可塑性樹脂)、PP-GF(ガラス繊維強化PP) など

出典 MarkLines「プラスチック自動車部品の現状と近未来への展望」<https://www.marklines.com/ja>
 ボテショヨクプレバート2015年1月号「特集 樹脂/ハーツの過去・現在・未来」
 アイアールシー「自動車樹脂部品の生産状況と材料調達 2015年版」

出典：各種資料よりMCTRが作成

表 4.2-6 自動車外板大型部品に使用される主な樹脂材料の種類

部品	1980年代	1990年代	2000年代	2010年代
バンパー	RIM、PP、FRP PP共重合体/ゴム/タルクによる3元系		TSOP、TPO (熱可塑性エラストマー)	改良型PP複合材 TSOP/PP ●トヨタ カローラ、アクア、他 PP/変性PP ●三菱自動車 ゴム/フィラー強化PP ●マツダ PP ●日産、ホンダ、スズキ、マツダ、ダイハツ、富士重工
フェンダー		R・RIM ●マツダ AZ-1 PC+ABSアロイ ●ホンダ バラードスポーツCR-X PEE+PA6アロイ ●日産 Be-1	ABS+PA6アロイ ●ホンダ インサイト PPE+PA66アロイ/CNT配合 ●日産 エクストレイル PPE+PAアロイ ●三菱 デリカD:5	PP ●ダイハツ タント PP ●ダイハツ コペン、ウェイク、ムーヴ PPE ●スズキ アルト TSOP/PP ●トヨタ ABS、PE ●トヨタ CFRP ●トヨタ レクサスLFA PPO+PAアロイ ●日産 エクストレイルT-30 ●三菱自動車 デリカD:5、RVR
リヤフェンダー		PPE+PAアロイ ●マツダ AZ-1 PPE+PA66アロイ ●日産 ステージア	GFRP/SMC ●トヨタ レクサスLFA	ABS+PAアロイ ●ホンダ PP ●ダイハツ コペンLA400
ドア			ガラス長繊維強化PP GFRP/SMC ●トヨタ レクサスLFA	
バックドア(外部)			PPE+PPアロイ ●日産 ステージア、ムラーノ PP ●日産 ラフェスタ PP ●日産 米国インフィニティEX35 PP ●日産 米国ムラーノ GFRP/SMC ●トヨタ レクサスLFA TSOP ●トヨタ カローラフィールダー PC+ABSアロイ ●マツダ プレマシー	PP-GF ●富士重工 R1、RJ PP-GF ●ダイハツ タント PP-GF ●ダイハツ ウェイク、ムーヴ PP ●日産 エクストレイルT32、スカイラインJ50、ステージアM35、ムラーノ Z50、51
ルーフ	FRP ●マツダ ボンゴ(スライディング ルーフ) ●トヨタ タウンエース ハイラックス(サンシェード カバートップ)		CFRP ●富士重工 インプレッサWRX CTiTS CFRP ●トヨタ レクサスLFA CFRP ●トヨタ マーク X G's CFRP ●トヨタ レクサスRC F	GFRP/SMC ●ダイハツ コペン、SMC ●マツダ
サンルーフ			PC ●トヨタ プリウスα	
バックパネル				GFRP/SMC ●ダイハツ コペン、
フード/ボンネット	SMC		CFRP ●トヨタ レクサスLFA CFRP ●トヨタ レクサスRC F	PP-GF ●ダイハツ コペン、タント、ウェイク PP ●ダイハツ コペン PP ●マツダ
トランクリッド			PPE+PPアロイ ●日産 フェアレディZ ロードスター	CFRP ●日産 GT-R PPE+PAアロイ ●日産 フェアレディZ Z33 GFRP/SMC ●ダイハツ コペン
ピラー	PMMA (クリスタルピラー) ABS ●日産 Be-1 (リヤピラー フィニッシャー)			PP ●ダイハツ ウェイク
ガーニッシュ			SMC ●トヨタ レクサスIS	TSOP/PP、TPO、AES、ABS、PA66、PP、PC、PMMA、AS
給油オープニングリッド			PPE+PPアロイ ●日産 米国フェアレディZ Z33	PP ●ダイハツ コペンLA400 PP ●マツダ PPE+PAアロイ ●日産 フェアレディZ Z33

⑥ 自動車； 日本における超小型モビリティの取り組み

超小型モビリティは、地域交通の省エネルギー化に加え、高齢者を含むあらゆる世代に対して新たな地域の交通手段を提供し、生活・移動の向上をもたらす、少子高齢化時代の「新たなカテゴリー」の乗り物として、国土交通省を中心に「超小型モビリティ導入促進事業（平成 25～27 年度）」の中で普及に向けた取組が行われている。

表 4.2-7 小型モビリティの仕様

車のタイプ	地域	メーカー	車種名	発表年	発売年	タイプ数	乗車定員	エンジンサイズ (cc)	モーター定格出力 (kW)	モーター最大出力 (kW)	駆動形式	駆動機最大出力 (PS)	最大トルク (N・m)	最高速度 (km/h)	最大航続走行距離 (km)	電池	重量 (kg)	全長 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)	ホイールベース (mm)	トレッド・前 (mm)	トレッド・後 (mm)	特種引用	
小型モビリティ	日本	日産	日産ニューモビリティコンセプト	2010年		4	2	-	8	15				約80	100	リチウムイオン	500	2,340	1,230	1,450				http://www.nissan.com	
		トヨタ車体	COMS (P-COM)		2012年	4	1	-	0.59	5	1モーター、デフ付後輪駆動		250		60	50程度	鉛蓄電池	410	2,395	1,095	1,500	930	920	http://www.toyota.com	
	日本	トヨタ	COMS CONNECT		2015年		4	2	-																http://www.toyota.com
		トヨタ	F-ROAD 日本仕様		2013年		3	1	-	4		2モーター			45	50	リチウムイオン	300	2,350	850	1,445				http://www.toyota.com
	北米	ホンダ	F-ROAD 欧州仕様		2013年		3	2	-	4		2モーター			60	50	リチウムイオン	300	2,350	850	1,445				http://www.honda.com
		ホンダ	MC-β		2013年		4	2	-	6	11				70以上	80以上	リチウムイオン		2,495	1,280	1,545				http://www.honda.com
		ダイハツ	Honda WANDER STAND CONCEPT		2015年		4	2	-									2,000	1,250	1,850					http://www.daihatsu.com
		スズキ	PICO		2011年		4	2	-		9	RR				50		400	2,400	1,000	1,500	1,815			
	三輪バイク	EU	ヤマハ発動機	ヤマハゴルフカー YDRE 2ハング仕様	2014年	2014年	4	2	-	2.6							補液タイプ	447	2,395	1,200	1,790	870	980		http://www.yamaha.com
			GM	Chevrolet EN-V 2.0		2011年		4	2	-						40.2	40以上	リチウムイオン							
日本		Renault	TWIZY		2009年	2012年	4	2	-	8			20		75	100		450	2,320	1,191	1,461				http://www.renault.com
		Mercedes-Benz	visionary golf cart		2011年		4	2	-																http://www.mercedes.com
韓国		VW	NILS		2011年		4	1	-	15					130		リチウムイオン	460	3,040	1,391	1,200	2,150	1,265	1,269	http://www.vw.com
		CT&T (HYUNDAI関連)	e-ZONE Lセダン		2009年	2010年	4	2	-		7	RR後輪駆動	9.5	90	60	100-110	リチウムポリマー	680	2,680	1,440	1,540	1,870	1,175	1,175	http://www.ctt.com
EV		日本	ホンダ	NEOWING (ネオウイング)		2015年	3	1																	http://www.honda.com
			ヤマハ発動機	トリシティ125		2014年	2015年	3	2	124			ハイブリッド	11	10				152	1,905	735	1,215	1,310		
軽トラックの小型車		EU	カワサキモーターズ	三輪電動ビークル「J」		2013年											ニッケル水素								http://www.kawasaki.com
			三菱自動車	F-MEV M		2006年	2009年	4	4	-	30	30	2WD後輪駆動		160	120		リチウムイオン	1070	3,395	1,475	1,610	2,550		
	北米	BMW	MOTIV (モティブ)		2010年		4	2					34		100		EV最大出力28kW or カリフォルニア100kwh	730 (EV)	2,890	1,470	1,480				http://www.bmw.com
		BMW	BMW i3		2011年	2013年	4	4	-		125			250	150	130-160	リチウムイオン	1250	3,845	1,537	2,011	2,570			http://www.bmw.com
	韓国	FORD	2015 PESTA SE Hatch		2014年	2015年	4	5	999ターボ他										4,056	1,722	1,475	2,489	1,468	1,488	http://www.ford.com
		GM (chevrolet)	2015 Sonic HATCHBACK LTZ		2014年	2015年	4	5	1400ターボ				138						4,038	1,735	1,516	2,525	1,509	1,509	http://www.gm.com

出典：各種資料より MCTR が作成

表 4.2-8 小型モビリティの構造・仕様

車のタイプ	地域	メーカー	車種名	チタム フレーム	フロント バンパー	フロント ハネル	フロント エフロ	フロント フェンダー	ボンネット	フロント ピラー	フロント ガラス	ルーフ ハネル	ドア	トアガラス	バックドア	リヤ ピラー	リヤ ハネル	リヤ エフロ	リヤ フェンダー	リヤ バンパー	サイトアドレス			
小型モビリティ	日本	日産	日産ニューモビリティコンセプト																					
		トヨタ車体	COMS (P-COM)	スチール	PP	PPに表面塗 装	PP	樹脂	-	樹脂	樹脂		樹脂						樹脂			http://www.essence.jp/om/units/2324GFRP3.pdf		
		トヨタ	F-ROAD 日本仕様																					
			F-ROAD 欧州仕様																					
		ホンダ	MC-β																					
		ダイハツ	Honda WANDER STAND CONCEPT																					
		スズキ	Q-concept																					
		GM	ヤマハ発動機	ヤマハゴルフカー YDRE																				
		北米	Chevrolet	Chevrolet EN-V 2.0																				
		EU	Renault	TWIZY																				
三輪バイク	日本	Mercedes-Benz	visionary golf cart																					
		VW	NILS	aluminium space frame body	weather - resistance plastic																	http://www.volkswagen.co.jp/en/mercedes-mercedes-nils.html		
		韓国	CT&T (HYUNDAI関連)	e-ZONE リセダン																				
		ホンダ	NEOWING(ネオウイング)																					
		ヤマハ発動機	トシチイ125																					
		カワサキモーターズ	三輪電動バイク「J」																					
		三菱自動車	F-MEV M																					
		ヤマハ発動機	MOTIV(モティア)																				http://www.yamaha.co.jp/ev/motiv/	
		EU	BMW	BMW i3	鋼管ハイブ フレームに CFRPE/フ ック	リサイクル 可能な材料																	http://www.bmw.com/ev/ev13/	
		軽クラスの小型車	北米	BMW	BMW i3	ライフェ ジュールに CFRP																		http://www.bmw.com/ev/ev13/
FORD	2015 FIESTA SE Hatch				air dnmに recycled polypropylen e plastics																	http://www.ford.com/2015fiesta-se-hatch/		
GM (chevrolet)	2015 Spark HATCHBACK LTZ																						http://www.chevrolet.com/2015spark-hatchback-ltz/	
Mercedes-Benz	MOSCOOT																						http://www.moscoot.com/	
Fiat	500LOUGE 日本仕様																						http://www.fiat.com/500louge/	
韓国	HUNDAI			F-METRO																			http://www.hyundai.com/ev/metro/	

出典：各種資料より MCTR が作成

⑦ 2020年における小型モビリティ向け樹脂部材の需要予測

小型モビリティ市場動向などを基に、2020年における樹脂部材の需要予測量を試算した。2020年の予測量は9,858トン（現状の約10倍）となると予測された。ただし、市場拡大はマイクロEV普及に依存する結果となっている。

表 4.2-9 2020年における小型モビリティ向け樹脂部材の需要予測

分類		樹脂部材需要量(t/年)		
		現需要量	(伸び率)	2020年予測量
小型モビ リティー	原付三輪スクーター	162	8	1,296
	マイクロEV	246	30	7,380
低速モビ リティー	ゴルフカート	684	1.7	1,163
	シニアカー	27	0.7	19
計				9,858

註) 原付三輪スクーターの樹脂部材需要量は、ジャイロXとジャイロキャッピの量を単純加算した。

出典：各種資料よりMCTRが試算

(4) まとめ –CNFの市場投入のための課題および対応策–

<CNFの自動車への適用の可能性>

実用化に向けては、自動車部品などの構造材は信頼性の検証に時間を要するため、その手始めとしては、今後市場の成長が見込まれる超小型モビリティへの適用が考えられる。

CNFと樹脂との配合比率を変化により、自動車部品の各部材としての適用範囲が広がる可能性が大きい。樹脂の種類として、熱可塑性及び熱硬化性樹脂の選択により更に特性のバリエーションを変化できる。

表 4.2-10 セルロースナノファイバーの自動車への適用の可能性

樹脂へのCNF添加量	適用樹脂	特徴	自動車想定適用部位
少量 (CNF 1%以下)	熱可塑性樹脂	<ul style="list-style-type: none"> 強度向上 発泡材料の強度向上 シート材の厚み低減 	内装材 他
中量 (CNF 10%以下)	熱可塑性樹脂 熱硬化性樹脂	<ul style="list-style-type: none"> 弾性率向上（剛性向上） 含量着色が可能 表面硬度良好（耐擦傷性向上） メッキ処理可能 	衝撃吸収部位 <ul style="list-style-type: none"> フロントサイドメンバ フロントクロスメンバ
			外板部位 <ul style="list-style-type: none"> ドアパネル フードパネル
大量 (CNF 90%以上)	熱硬化性樹脂	<ul style="list-style-type: none"> 強度向上（曲げ、引張、圧縮） 弾性率向上（高剛性） 寸法安定性良好（ガラス並み） 表面硬度良好（耐擦傷性向上） 	フレーム系（補強部位） <ul style="list-style-type: none"> バンパービーム ドアビーム フレーム系（構造部位） <ul style="list-style-type: none"> フロントピラー Bピラー 等

出典：各種資料より MCTR が作成

＜セルロースナノファイバーの自動車軽量化シナリオ＞

最も軽量化効果が見込まれる CNF 繊維強化プラスチック(FRP)の実用化見通しをベースに採用する。CNF-FRP を採用できない場合、他材料を価格が安価な順に検討し、軽量化目標を達成できる材料を採用する。価格次第では CNF-FRP も下記の領域で自動車の軽量化に寄与する可能性がある。

軽量化目標		年	2015	2020	2025	2030	2035
フレーム系	潰さない部位	単純構造	補強部位	980MPa ハイテン	-13% 1470MPa/ハイテン	-72% 熱硬化性CFRP(Vf=0.6) *1	← 高添加量 熱硬化性CNF-FRP
		複雑構造	構造部位	590MPa ハイテン	-22% 1470MPa/ハイテン	-76% 熱硬化性CFRP(Vf=0.6) *1	
	潰す部位	衝撃吸収部位	440MPa ハイテン	-74% 熱可塑性CFRP(Vf=0.5) *2	← 低、中添加量 熱可塑性CNF-FRP		
		外板部位	340MPa ハイテン	-76% 熱可塑性CFRP(Vf=0.5) *2			
構造部材全体		軽量化比率		-46%		-75%	

*1 高価でありかつ、高い信頼性を要するため採用には時間を要する

*2 熱硬化性CFRPに比べて安価であり先行して採用

出典：自動車技術会2015年5月21日 春季大会フォーラムNEDO説明資料を基にMCTRが作成

図 4.2-12 CNF 繊維強化プラスチックの自動車軽量化シナリオ

4.2.2. 将来の大胆な予想からのアプローチ

① 有識者の選定

自動車会社、ベンチャー企業、およびケンブリッジ大学 MBA を持つ若手有識者（水田和裕）を選任。

② 調査の考え方

2030年の顧客の立場に立って、NCV 車両を購入する理由を掘り下げて解析。ここでは、天然繊維の自動車への展開における過去の歴史を検証し、将来の自動車部品への CNF の展開方法について大胆に提案を行う。

③ 実施内容

2016年度11月より、主に以下にフォーカスした調査及び、事業構想立案を実施した。本事業では3つの観点で総合的に事業成立性を考慮することが不可欠である。すなわち、①CNF材料の自動車部品への適用、②林業やその場での部品製造事業をはじめとする地方経済の活性化、③LCAの3点をバランスよく考慮しビジネスモデルをデザインするための事実調査、仮説立案、検証作業が求められる。今年度の活動ではリサーチ会社にこうした基礎的な調査を依頼するが、調査の方向性、大まかな内容を議論、提示した。また同時に、こうしたアプローチに加え、事業創造においてはこれまでの業界の伝統や枠組み、戦略にとらわれない新たな考え方も重要となる。そこで起業論的・ベンチャー的な視点、またメーカーの技術開発部門が必ずしも強みとしないブランディングや企画作りなどの観点からも独自に過去の環境適合材料、グリーンコンポジットの自動車材料への適用事例調査を行い、提案を行った。加えて林業の活性化に向けた提案も含めた。従って本稿は、

- (1) 事業モデル構想：Key Questions List
- (2) リサーチ会社調査項目提案
- (3) 事業構想 ver.1
- (4) ブランディング
- (5) 林業再開発


で構成される。

④ 実施結果

(1) 事業モデル構想：Key Questions List

CNF 調達リスク、CNF の最大活用方法の模索、CNF 製品の価値訴求(Value Proposition)に関し、調査の切り口を提案。

表 4.2-11 Key Questions List

<p>☑ CNF技術可能性検討(技術チームが実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ コンポジット材料評価 ○ 加工性能評価(成形、機械加工、接合、信頼性) ○ 構造部品の評価 	
<p>☑ CNFの調達リスク</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 木質資源を安定的、戦略的に調達するにはどのようなチャンネルが良いか 放置された森林、家屋解体後資材再利用、家具など廃材再利用? ○ 現在の林業の課題は何か。林業を取り巻く環境とは ○ 林業の課題解決に車両向けCNFはどう貢献できそうか 	
<p>☑ CNFの最大活用方法模索</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 効率的な木材伐採(林業技術、政策戦略) ○ 加工時収率向上(製紙会社) ○ 廃材の再利用方法(バイオエネルギー、クリーン電力戦略) ○ CNF部品使用後の再利用方法提案 	
<p>☑ CNF製品の価値創造</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CNFならではの価値(value proposition) どのようにCNFの価値を訴求するか。環境配慮、地方創生、etc. ○ CNF製品の価値 マスカスタマイゼーション、手軽感、新たな価値提案、etc. ○ 親和性の高そうな新旧技術 例えば3Dプリンター、木質加工・仕上(漆塗りなど伝統工芸)、林業農業技術 <<仮説>> 新旧技術との融合により、さらなる付加価値創造、産業活性化に寄与することが可能ではないか 	

(2) リサーチ会社調査項目提案

コンサルティング会社、リサーチ会社の調査・提案方法としては周辺のマクロ経済(PESTEL: Policy, Economy, Social, Technology, Environment, Legal)情報からいわゆる 4P(Product, Price, Promotion, Place), 4C(Competitor, Company, Customer, Context など)に代表される基礎的なマーケティング分析は有用である。また CNF 材料を活用した新たなビジネスモデル構想という点においては、従来の自動車部品のサプライチェーンに倣うだけでは自動車会社やその Tier 1 サプライヤ等と伍していただけるだけのコスト構造でネックとなるため、新たな顧客への価値提案を B2B, B2C モデルなど様々なビジネスモデルで試みる必要がある。

(3) 事業構想 ver.1

(1)に関連し、CNF 材料やそれから成る部品に関連するプレイヤーを評価するためバリューチェーンを図 4.2-13 に示した。原材料の獲得、処理にはじまり、その上で出される廃棄物(あ

るいは別のプレイヤーにとっての原材料または資源)の利用者、部品製造メーカ、ディストリビュータで構成されるモデルを例としてまとめた。これらのモデルを完成させる際に各プレイヤーが検討すべき項目を技術・事業・政策面で層別し整理した。また、今回の CNF 価値訴求の一つに従来の B2B モデルでは成しえないエンドユーザーへの価値提案をより行うことが可能な B2C モデル(すなわち CNF 部品をエンドユーザの嗜好に合わせて製造する)も検討した。そこではディーラーやディーラー向けに補給パーツを生産する部品メーカ(系列、独立系問わず)、また地方で林業事業者やカー用品店が新規参入するなど様々な変化が考えられる。このような取り組みを実現することで、CNF の価値向上を実現しなくてはならない。これは事業の意義の追及に他ならない。まさに従来の業界のバリューチェーンを変革し、次世代ものづくりのカタチを世に提案するモデル事業とならなくてはならない。3D プリンターやセンサーデバイスとそれらから得られるビッグデータによる新たな価値提案は様々な分野でもムーブメントとなっているが、自動車産業でもこれらを上手く活用することは新たな価値創造に貢献する。中央集権的大量生産モデルとは異なるカスタマイズされた分散型マスカスタマイゼーションモデルはこうした技術で実現可能であり、これらと CNF 材料が融合し本事業は本来の壮大な目的、すなわち「環境材料」×「林業等地方創生」×「新たな自動車産業」を達成する可能性があるものとする。

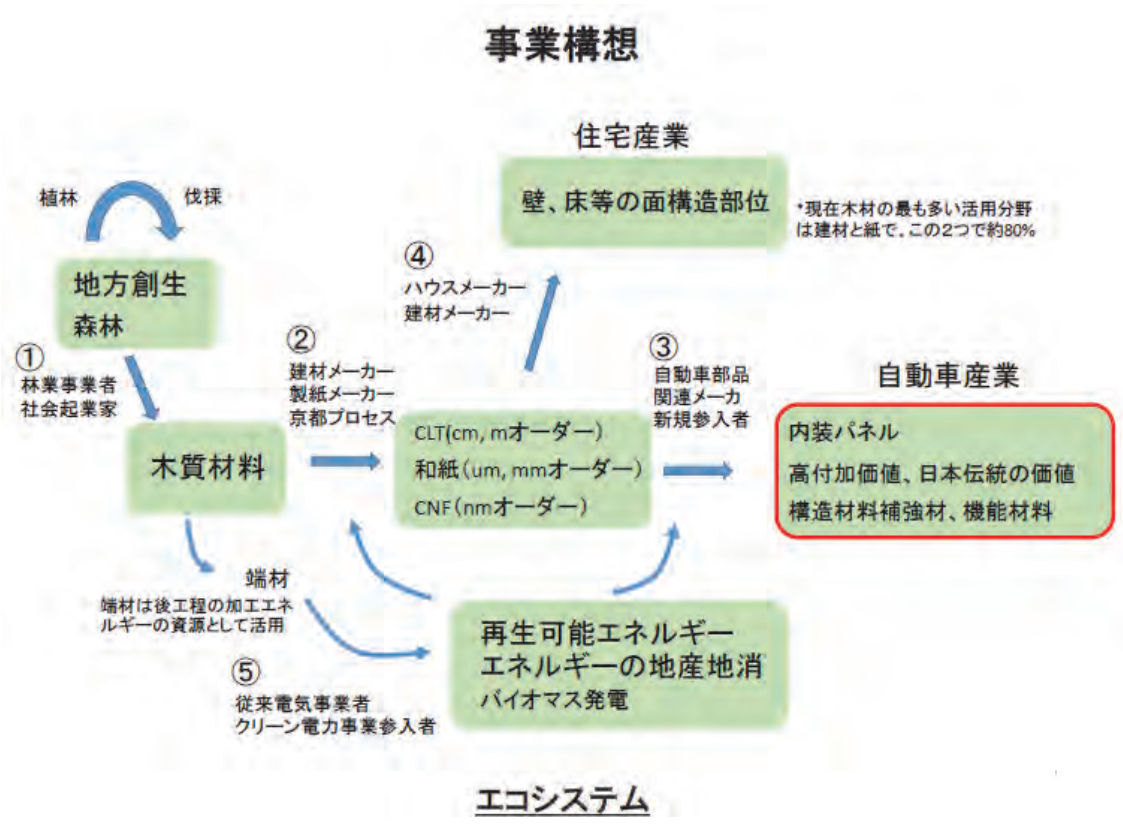


図 4.2-13 事業構想

表 4.2-12 構想実現のための検討事項

構想実現のための検討事項			
	技術系	事業系	政策系
① 林業事業	<ul style="list-style-type: none"> 林業機械(自動化) 新たな低コストな運搬方法の開発(ドローン) 	<ul style="list-style-type: none"> 林業事業経営戦略 人材育成 	<ul style="list-style-type: none"> 路網(林道、森林作業道)の整備
② 材料メーカー	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト工法開発 信頼性保証(経年劣化、耐候性等) 	<ul style="list-style-type: none"> 原材料の安定調達 	<ul style="list-style-type: none"> TPP交渉 (安価な木材が輸入されれば地産地消とならない)
③ 部品メーカー	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト工法開発 マスカスタマイゼーション <ul style="list-style-type: none"> 3Dプリンタ 信頼性保証(経年劣化、耐候性等) 適材適所の設計 	<ul style="list-style-type: none"> デザイン マーケティング <ul style="list-style-type: none"> 販売チャネル 	
CNF技術の自動車用途展開には①、③の解決も必要と思われる。			
④ 建材メーカー	<ul style="list-style-type: none"> 高層、大規模建造物への適用可能な部材開発 <ul style="list-style-type: none"> CLT(Cross Laminated Timber) 高層木造建築の設計技術 <ul style="list-style-type: none"> 欧米が先行 	<ul style="list-style-type: none"> 先の新部材(床、壁)を用いた新たな建築のマーケティング 	<ul style="list-style-type: none"> TPP交渉
⑤ 電力事業	<ul style="list-style-type: none"> 廃材の処理、運搬などを考慮したLCA高効率化 <ul style="list-style-type: none"> 地産地消 	<ul style="list-style-type: none"> 収益性 	<ul style="list-style-type: none"> (新規参入電気事業者へ機会促進政策)

http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/attach/pdf/index-17.pdf

http://www.yomiuri.co.jp/fukayomi/ichiran/20160712-OYT8T50044.html?page_no=2
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/attach/pdf/index-15.pdf

表 4.2-13 自動車周辺のバリューチェーン

自動車周辺のバリューチェーン

「住宅産業×自動車産業で次世代のライフスタイルを社会に示す」

トヨタの住宅事業を持っており、これは木材が最も利用されるセクターである。これと自動車事業をパッケージ化できないか

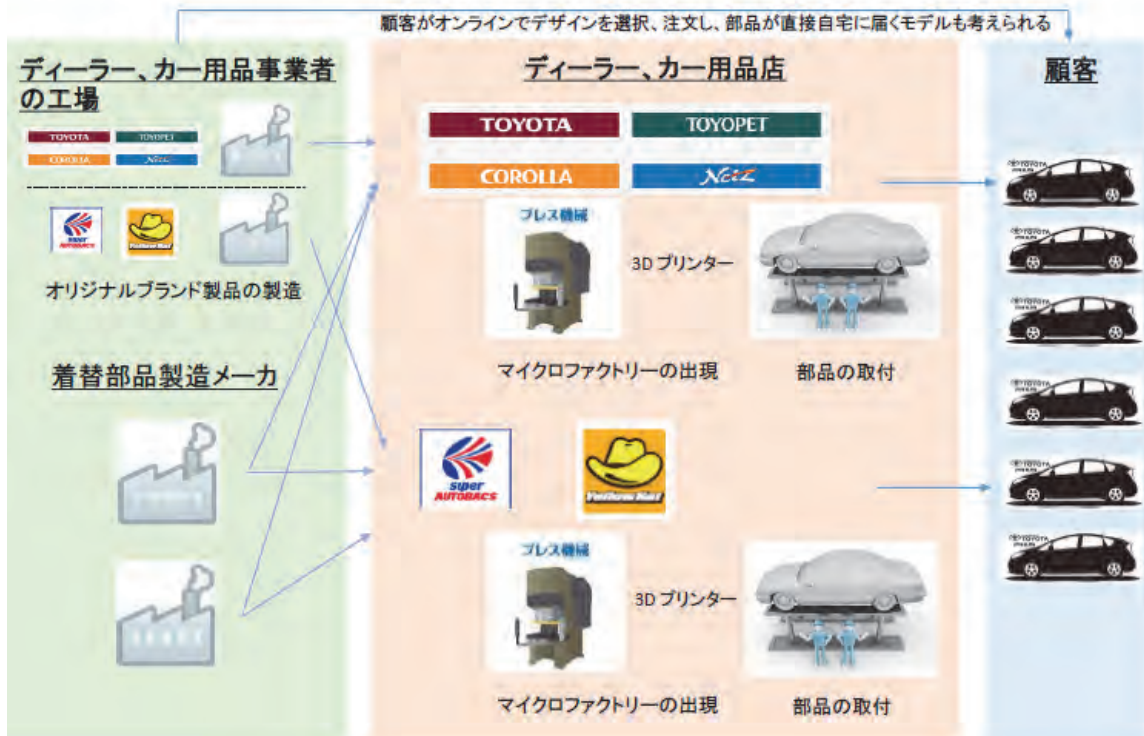


- 日本製の新たな木材 (CLT) でできた住宅。
- NCF や その他 バイオコンポジット でできた車両部品で個性あるクルマ (EV) を楽しむ。
- 工程内廃材で得た電気で充電を行う、エコシステムの提案をパッケージとして行う。



<http://3d-printer.marketing-be.com/archives/6535>
<http://www.yomiuri.co.jp/fukayomi/photonews/article.html?id=20160712-OYT8I50088>

自動車周辺のバリューチェーン



<http://diamond.jp/articles/-/66571?page=4>

表 4.2-14 日本の伝統芸能と自動車部品（参考）

(参考)日本の伝統技能×自動車部品

CNFの加工に加え、地域ごとの伝統技術で高付加価値をつける。

日本各地の
伝統工芸品





×



住友林業とトヨタが2016年イタリアでの
国際見本市に出展した木造車

- 木材加工
- 漆塗りに代表される表面塗装
- 織物、ファブリック内装材料 etc.

<http://www.yomiuri.co.jp/economy/feature/CO021311/20160412-OYT8T50030.html>



(4) ブランディング

ここでは、過去の北米、欧州での天然繊維由来の複合材料の自動車部品への適用事例研究、未来のモビリティ社会の調査を実施し、過去と未来両面から、どのように今回の CNF 材料を自動車部品へ展開していくのが好ましいかを考案した。過去事例研究から分かったことは、環境適合材料の展開には第一に、メーカー、生産者にとって経済的メリットがあることが前提となるということである。これは生産における直接的な適正な収益確保だけでなく、環境適合材用を使用することで得られる税制面や経費補助等の間接的な経済的メリットも含まれる。政府の環境への取り組みの中、そうした制度の有効活用も重要となる。また、政府関係では、国として環境問題への対応をリーダーとして行動に移すことが一種の価値訴求につながることも欧州の事例で確認された。このような国や地域レベルでのリーダーシップから、制度設計につながる。また、スポーツカーなどの場合、環境性能とドライブ性能、顧客への価値提供という面でクルマの中に一貫性、親和性が無くてはならない。例えば環境適合材料を一部で使用しているのに、エンジンやトランスミッション部品では燃費が悪い、製造時に環境負荷が高いとなればトータルパッケージとしてクルマのコンセプトが曖昧になる。こうしたミスマッチを防ぐパッケージとしてクルマのコンセプトデザインから徹底的に定義していくことが重要となる。具体的には早期から自動車メーカーの車両企画部門と一緒にクルマのコンセプト設計に入り込み、部材使用を後付けではなく、前提として織り込むことが必要と考える。なお、CNF 材料が車両部品として十分な機械的特性を有することは言うまでもない。

また、一方、未来のモビリティからも CNF 材料の展開方向性探索を試みた。これは近年高

まる自動運転車両やEV、FCVといったモビリティの変革、また、サービスに注目すると自動車会社各社もシェアライドなど所有から使用への経済を意識しシェアライド事業を手掛ける大手との連携を強化するなど対応してきている。これらの状況を鑑み、日本国内市場におけるモビリティに関する簡易調査を行い、CNF材料の一つの将来出口として超小型モビリティの外板部品等への適用ストーリーを構築した。詳細調査は引き続き残るものの、材料の調達可能量、林業による地方創生、超小型モビリティにおけるドア部品等の課題、一人乗りモビリティへのマスカスタマイゼーションといったすべての要件に対応できる可能性があると考えられる。勿論、これは一つの可能性にすぎず、引き続き様々な角度から詳細を検証していく必要がある。

表 4.2-15 CNFのブランディング戦略

	
<p>超小型モビリティ</p>	<p>NCFでできた部品</p>
<ul style="list-style-type: none"> ☑環境性能を訴求 ☑特に一人移動、小口輸送において普通自動車エネルギー面で非効率となる場合、メリットがある ☑ドアがなく、(観光地での利用等を除き)雨天時の使用が嫌がられる ☑国交省も地域コミュニティの移動手段として普及を支援しており成長が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> ☑環境性能を訴求 ☑プレス加工により単純板成形は可能(ドア、ルーフ、バックドアなどの外板製造が可能そう) ☑1人1人あるいは事業会社の好みに合わせたカスタムデザインとして対応できる ☑地域資源の有効活用、地域経済活性化の可能性

(5) 林業再開発

林業における従来からの課題を再度整理し、いかに解決できるかを模索した。林業従事者の事業運営に対する専門知識、理解度に関するソフト面に加え、特にハード面において林道や専用道の整備不足による木材採取の困難さが深刻であるがこれの建設はリードタイムやコスト面でのハードルも高いと思われる。また CNF 材料の展開においてはこうした整備を前提として、これを待つ猶予はない。このため、新たな技術や仕組みの模索が必要となる(表 4.2-16 参照)。技術に関しては、空輸、無人化によるコスト削減を期待したいが、作業性、天候や山林での環境適応性については詳細分析が必要である。何よりも自動化の技術開発がどれほど完成するかを見積もることは容易ではない。一方、既存の道路などのインフラが整っている環境として、例えば廃業したゴルフ場、スキー場やリゾート地が挙げられる。こうした場所の数、エリアを調査し、①需要と供給のバランスが保たれるか、そして②サプライチェーン構築に意義がありそうか検討する価値はある。あるデータによると、ここ 10 年のゴルフ場の廃業は 100 箇所を超えており、ゴルフ場閉鎖の傾向は続いている。こうした廃業施設近郊の山林から採取できる木材量は想定する部品生産量から見積もられる必要量にマッチするか、要検討である。また LCA 観点から木材輸送に長距離運搬を必要とするならば本事業は本末転倒となるため、地産地消の考え方、つまり木材採取地近郊でのその場での CNF 生産、部品製

造を行うことが林業から始まるバリューチェーンを地域に構築し経済活性化の起爆剤となる可能性がある。また従来の中央集約型から地域でのエコシステムが完結する分散型生産モデルを実現するための実験機会とすることができる。

表 4.2-16 非効率な路網（物流）への対応

非効率な路網（物流）への対応

シナリオ 分析

今の林業の課題の一つは、その非効率な路網の整備状況である。しかし、これらの整備にはコストと費用、土地所有者や地域住民など多くのステイクホルダー間での調整・交渉が必要となり時間も要すると思われる。

そこで、もっとも安く、早く、もっといって新たな投資が不要なケースがないかという視点で今回は(b)-1のシナリオ分析を行うこととした。(b)-1は木材伐採や運搬などのために新たなインフラ整備を必要としないシナリオである。

山間部への道路が既に整備され、重機搬入等に影響がない道路インフラが存在している具体的施設として、ゴルフ場、スキー場といった山間のリゾート地の跡地がありえるのではないか。ゴルフ場は近年減少傾向にあり、過去10年でも100か所以上の施設が閉鎖している。

年度	ゴルフ場数		
	数	増減数	増減率
15	2,457	-3	-0.1
16	2,453	-4	-0.2
17	2,446	-7	-0.3
18	2,442	-4	-0.2
19	2,442	0	0.0
20	2,442	0	0.0
21	2,445	3	0.1
22	2,432	-13	-0.5
23	2,413	-19	-0.8
24	2,405	-8	-0.3
25	2,386	-19	-0.8
26	2,336	-50	-2.1
27	2,317	-19	-0.8

データ出所：
一般社団法人 日本ゴルフ場経営者協会

閉鎖したゴルフ場施設の跡地用途としては、メガソーラーがあり、2011年以降ゴルフ場用地のメガソーラー化は150か所を越えるとのレポートもある。特に栃木、群馬、茨城といった北関東に多い。

こうしたゴルフコースの有効活用の姿に加え、コースが保有する森林資源の有効活用もありえるのではないだろうか。

<今後の進め方>

更に焦点を絞って仮説を立て、検証できるプロセスを提案する。

事業構想において示したように、今後早く林業事業者、材料加工業者、部品製造業者および販売事業者といったキープレイヤーを巻き込み、実証実験を行う必要がある。CNFの自動車部品への適用に向けた技術検討と同時に、こうしたアライアンス構築も急務であるため、次年度の活動では実証に興味を持つ自治体等も巻き込み、事業戦略を具体化することが欠かせない。2020年の東京オリンピックから逆算し、事業化スケジュールを作成し、プロジェクトを推進しなければならない。

4.2.3. 現場ヒアリングからのアプローチ

(1) 調査の考え方

木材現場を知り、リサイクルなどの可能性を現場で技術者と討議することにより、あらたな市場投入方策に対してのアプローチの可能性がないかどうかを現地に出向き、提案する。

(2) 実施結果

木や紙のリサイクル性を評価、議論するために、古紙のリサイクルを狙って装置開発を行っているデュプロ精工（和歌山県）を訪問し、設備を見学し、担当者と、車用素材としてのリサイクル材の展開の可能性を評価した。

装置外観と機能を図 4.2-14 に示す。



図 4.2-14 トナー&簡易異物除去機能 リサイクル可能な小型のオフィス製紙機

古紙リサイクル時に発生するトナーの混ざったセルロースは、ごみとして処理されるが、トナー分離能力を上げ、通常のごみ発生率 50%を 15%まで引き下げている。

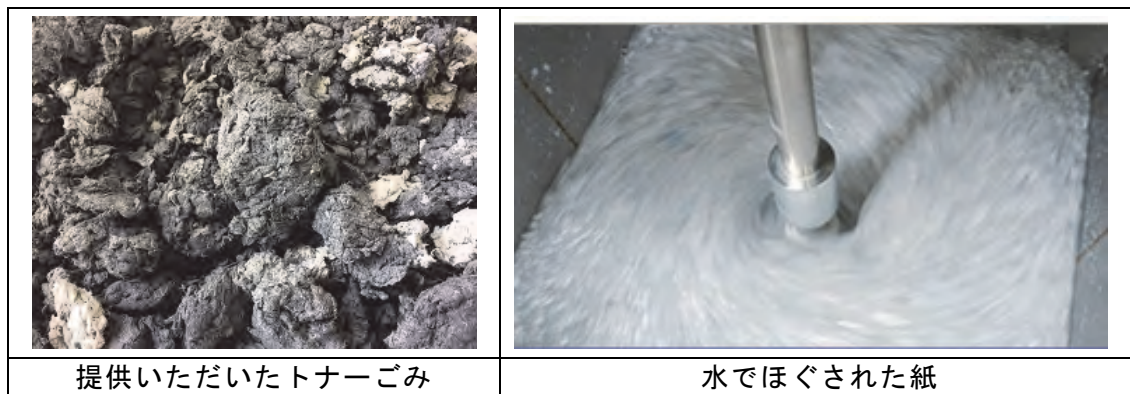


図 4.2-15 トナーごみと水でほぐされた紙

提案のひとつは、このオフィス等で大量に発生する古紙のコンパクトなリサイクルシステムと、どうしても発生するごみが自動車用 CNF 部材の材料や原料として使えないかということである。すなわち、図 4.2-15 の提供いただいたトナーごみを再度、水に溶き、水でほぐし、シート状の中間材料するというものである。現在、印刷用紙の世界年間生産量は約 1 億トンであり、横ばいの状況である。もし、全てが消費され回収され、本リサイクルシステムにか

けられたとすると、約 1500 万トンのトナーごみが発生することになる。これに対し 2025 年の世界の自動車生産量は現在の 3 倍の 1 億 5 千万台とされていることから、一台あたり、約 100kg のトナーごみを使用することができることになる。トナーごみの自動車用構造材としての特性を把握する必要はあるが、使用可能となると、自動車用軽量材料の確固たる位置づけを築くことが可能と考える。もともと、紙自体はカーボンニュートラルの材料であり、サーマルリサイクルしても、大きく CO₂ 発生量は抑えられる材料である。更にマテリアルリサイクルが可能となると、自動車メーカーの多くが挑戦しているゼロエミッションに大きく答えられる素材に成りうるものと考えられる。

もう一つの提案は、社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証の部材性能の評価における大型部材試作検討及び RTM 成形の評価において提案した図 4.2-16 の CNF 大型構造部材の成形システムにこのリサイクルシステムが使用できないかということである。現在のリサイクルシステムの大型化を図り、現在と同様の形でシート状の中間素材（紙）を作ることにより、エンジンフードのような小～中物単純形状品を、また、水でほぐされた紙を部品形状した型で直接、吹き付けたり、紙漉きを行いプリフォームを製作する今のシステムの一部を改良し、アンダーボデーのような大物複雑形状対象とした方法を提案する。

来年度に向け、トナーごみの基本物性評価と、連続的に吹き付けや紙漉きによりプリフォームが得られるか検討する意味は大きいと考える。

(3) まとめと今後

種々な観点、すなわち、堅実な現状路線、大胆な将来予想、現場といった観点から、CNF 車両の市場投入方策を評価してみた。いずれも、課題視しているのが、国内の林業体制の欧州に対しての遅れが目立つという点である。ただ、廃棄されたゴルフ場の利用などの可能性も期待できることが分かった。また、いずれも強調しているのが超小型モビリティである。堅実路線では、車両構成部品に対し適材適所の材料選択が重要なこと、また、大胆な将来予想からは、外板のカスタムデザインや 3D プリンター製造など 2030 年の顧客の立場に立ったキーワードが上がってきた。また、現場からは、印刷紙のリサイクル時のトナーごみの大幅活用や新たな CNF 車両の生産方式などがあげられた。

今後は、これらキーワードの解析や更なる観点からの分析を実施し、市場投入方策を考えていきたい。

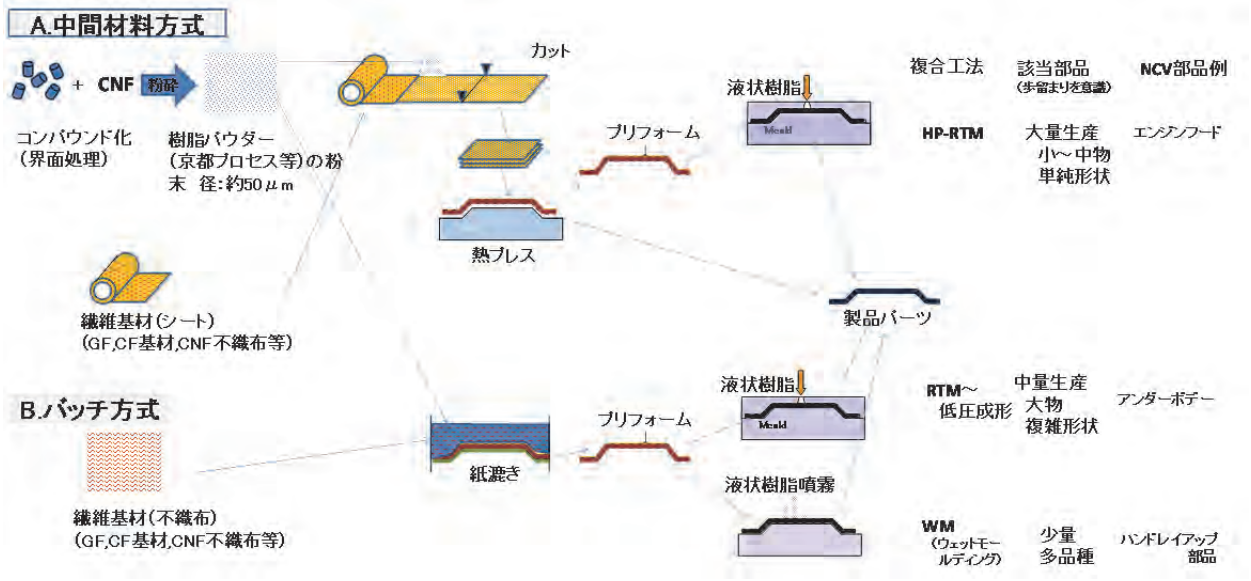


図 4.2-16 CNF 大型構造部材の成形システム

4.3. 最終試作車の車両構想の検討

4.1、4.2の結果を随時ふまえながら、CNFを可能な限り取り入れた最終試作車の車両構想を検討した。結果、最終試作車両のカタログを彩る写真や文字のタイトルが少しずつ見える化できつつある。

以下にその結果を記す。

(1) 車両カテゴリー

4.2の市場投入方策の検討では、現状の動向や大胆な将来予測を行ったが、いずれも超小型モビリティが車両カテゴリーとして中心になるだろうことが分かった。

(2) 材料、成形法

4.1からは、車両設計の面で、樹脂ボデーならではの車の構造、製造が位置づけられ、欧州を中心に少しずつ構築されつつあることが分かった。すなわち、樹脂の中でも少々重くはなるが高性能が出せるCFRP材料をふんだんに使い、上手い樹脂と炭素繊維の複合成形を考慮ることによって、軽く、強い車両を作り出すことである。この考え方は、環境対応車両のような量産車にも展開されているという現状であり、今後も伸びていくという予想がある。課題は、炭素繊維を使うということから材料コストが上がる点である。そのため、自動車用の低価格な炭素繊維も研究、開発されている。また、自動車の生産性を確保するために樹脂を熱硬化性から熱可塑性に変更する試みも見られるようになってきた。ただ、熱可塑性樹脂と炭素繊維の含浸性に苦しんでいるといった現状がある。熱硬化性樹脂のCFRPの生産性も大きく改善してきている。

このような動向の中、CNFを見てみると、CNFがCFRPのように強く、低価格で樹脂との含浸性が良好であるとしたら、CNFはLCA的にも軽さからもCFRPよりも使いやすいことが期待されるし、何といても原料となる木の世界生産量や歴史からも需要と供給のバランスのとれた材料である。

よって、構造材料としてもCNFはCFRPの次に来る材料となるうる存在で、複合材料の成形法をとり入れる検討を行うことで、大きく飛躍すると考えられる。

(3) 展開部品

以上のように、CNFは、材料面で将来、極めて重要な存在になることが予想されたが、CFRPと大きく異なる点は、CFRPが方向によって性質が異なる異方性材料であるのに対して、CNFは鉄と同じような方向によって性質が変わらない材料であることである。すなわち、CFRPがフレームのような梁要素に適しているのに対し、CNFはパネルのような面要素や鋳造物のようなバルク体に適するはずである。車両の部品は、ほとんどがフレームとパネルの組み合わせで構成されることから、CNFとCFRPのハイブリッド材料が面白いと考えられる。

以上から、CNFは目に見えない構造部品（アンダーボデー、ダッシュ、サイドシルなど）のパネル部分を構成し、骨格フレームはCFRP、締結部位は金属といったマルチマテリアル構成が理想と考えられる。

また、顧客の立場からは、カスタマーデザインなどから、着せ替え外板などの要求も多くなると考えられ、CNFにより、何らかの意匠性改善が確認できれば、検討の意味は大きいと考えられる。

(4) ビジネスモデル

CNF は地方との関連の深い材料となり得ることから、顧客との距離が小さい地方での生産が重要となる。例えば、顧客の関心が高い外板などは、現在のディーラーを活用したディーラー外板生産販売なども視野に入れると良いのかもしれない。前述した構造部品のパネル部分等は、信頼性が特に必要な部品であり、プラットフォームの一部を構成することから、プラットフォームの共通化が進む中、錆びないなどの利点を生かした寿命改善等により、使いまわしプラットフォームの位置づけを確保し、大きく環境問題に貢献できるのではとも考えられる。

(5) まとめ

最終試作車両のカタログとして以下のキーワードを選出することができた。

超小型モビリティ、CFRP の次に来る材料、複合材料の成形法、構造部品パネル部、着せ替え分外板、ディーラー外板生産販売、使いまわしプラットフォーム

4.4. 最終試作車の車両構想等の検討のための国内外先進事例の明確化

4.4.1. 最終試作車の車両構想等の検討のための情報収集

(1) 目的

最終試作車の構想を検討するため、日本よりも樹脂製自動車部品の製造が盛んな欧州の技術開発動向や量産車での樹脂製部品の実績について情報収集し、HP-RTM 成形をはじめとした量産技術で自動車用部品を量産しているメーカーの現地調査をする。

(2) 方法

世界でも最大規模といえる規模で自動車用部品を量産している欧州のメーカーと世界最高性能のレース車両の開発拠点で現地調査を実施し、工場見学やヒアリング、意見交換を行った。

2月17日	欧州 A 社	量産工場
2月20日	欧州 A 社	試作工場
2月21日	欧州 B 社	レース車両開発拠点

(3) 結果

< A 社の調査結果 >

- ・ 2,500 台/年まで樹脂製の車両骨格部品量産可能。
- ・ 設計データ出図後、数か月から 1 年で量産開始可能。
- ・ 日本よりも、欧州車ユーザーのほうが樹脂部品などの新技術に対して理解する文化があり、日本のメーカーほどの品質保証をしなくても海外メーカーは市販化が可能。
- ・ 欧州の高級車メーカーのマーケットが大きく、それにより、量産化技術に投資がしやすくなっている。そのため、日本の生産規模では考えにくいような、型治具、設備、ノウハウをもっている。
- ・ 日本では手作業で行うような作業を自動化することでコストを抑えることが可能。
- ・ 手作業が必要な作業は、旧東ヨーロッパで生産することで、手作業の人件費を抑えられている。
- ・ それでも、樹脂製骨格を採用しているのは、付加価値の高い高級車かエコカーが主である。
- ・ HP-RTM に限らず、コスト、数量、品質によって、種々の工法を使い分けている。

< B 社の調査結果 >

- ・ 最高の性能（軽量化、高剛性、高精度）の樹脂部品や樹脂骨格を短期間で製作するためには、量産に不向きなオートクレーブ工法が適している。
- ・ ただし試作で少量の生産ならば、簡易的な型を使ってオートクレーブで成形する方が納期とコスト的にメリットがある。
- ・ 車両を開発するために、製造設備の他にも、風洞や各種テストベンチ等の評価と試験の設備が非常に充実していた。
- ・ 試作型や試作部品を短期間で作るために 3D プリンタを活用していた。
- ・ レース車両だけでなくエコカーへの技術転用の取り組みも行われていた。

(4) 考察

欧州では、HP-RTM の技術が確立されていて、日本では考えられない規模とスピード感で、HP-RTM 工法の部品が実際に量産されている。

今後、日本でも NCV など加わる事でニーズが大きくなっていくことで、欧州と同様に量産することが可能となれば、相乗効果で樹脂製のエコカーの普及が進むと考えられる。

今回の NCV 製作を行うにあたり、将来の普及を目指し RTM 等の量産向きの技術で部品製作を行うのと合わせて、試作向きの簡易的な型製作の技術や工法を組み合わせる事も納期とコストにおいてメリットがある可能性があるため、車両構想を考える際には、工法の使い分けも考慮する必要があると思われる。

4.4.2. 最終試作車両構造検討のための技術調査

(1) 目的

樹脂軽量化技術が進んでいる欧州メーカー最新動向および CNF コンセプトカー製作に向けての車両構想、製造方法などの技術情報収集を行い今後の検討に役立てる。

(2) 方法

世界でも最大規模で実施されるビジネスミーティングや CNF の研究経験のあるメーカーを訪問し、意見交換や実際に工場見学を行った。

3月12日	コンセプトカー調査
3月14日	打合せ／調査（欧州 A 社）
3月15日	打合せ／調査（欧州 B、C、D 社）
3月16日	打合せ／調査（欧州 E、F 社）
3月17日	工場／ラボ視察（欧州 G 社）

(3) 結果

<コンセプトカー調査>

- ・ 欧州各自動車メーカーが各社フラッグシップのスポーツモデルの展示を視察した。近年エコカーの展示が増えて来ている一方で、デザインや性能を訴求したスポーツ車両付近にも多くの人集りができていて根強い人気がある。
- ・ エコ意識の高い欧州では PHV、EV、FCV 車両の開発がトレンドとなっており、車両重量増加による影響から樹脂部品化を進めている印象が強い。また、強度部材ではない内装部品の一部に自然由来の材料も使われ始めている。軽量化と環境配慮(CO₂排出量)という点で CNF の使用は有効と思われる。

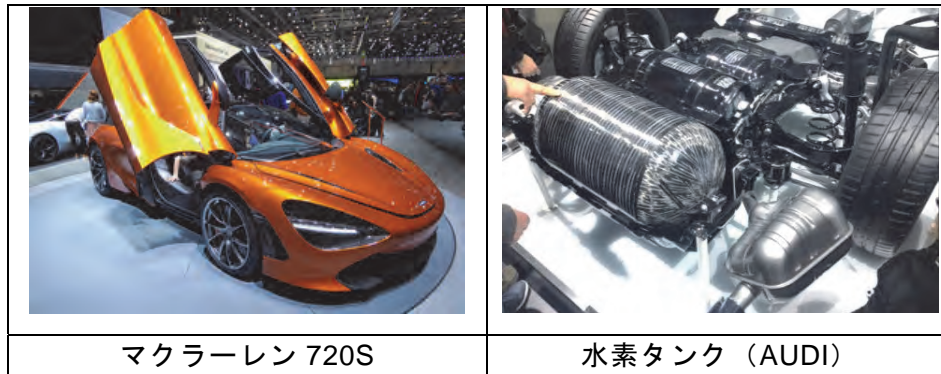


図 4.4-1 コンセプトカー調査

<欧州 A 社>

- ・ 水溶性コア材を提供しており、通常はオートクレーブレベルの成形圧で使用する材料を扱っているが、コア材の強度をあげることで HP-RTM にも対応できるとのこと。
※ 一部バイク部品で HP-RTM 成形使用実績あり。
- ・ 上記技術を使用することで HP-RTM での中空形状も製作可能。そのため、中空一体成形による車両重量低減効果が見込める。ただし、フューエルパイプなどパイプ内側の平滑性を必要とする部位には別途対処が必要と思われる。

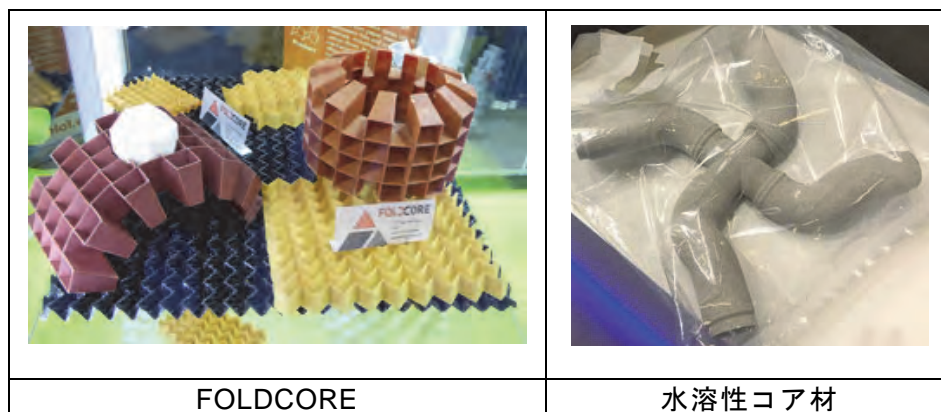


図 4.4-2 欧州 A 社

<欧州 B、C、D 社>

- ・ 欧州で成形設備を扱う 3 社と打合せを実施。プレスを用いたスタンピング成形が最近では流行している。ただし、スタンピング成形は使用材料によってはリブ形状の成形が困難であるため、射出成形のリブと連続繊維の織物や不織布を部分的に配置した補強を組み合わせ一体成形する新技術や、プレス機を使用しない（ボルト締めによる加圧程度）低圧成形による新技術も開発されている。
- ・ プレス機のサイズなどの制約があるため、フロアなどの大物部品等はプレス機を使用しない低圧成形工法なども必要となると思われ、上記工法に対応できる材料（シート材やペレットなど）を準備することで様々な部品で CNF を使用することが可能と考えられる。ただし、CNF のみの強度では達成できない部位には他の繊維強化材を使用する必要がある。

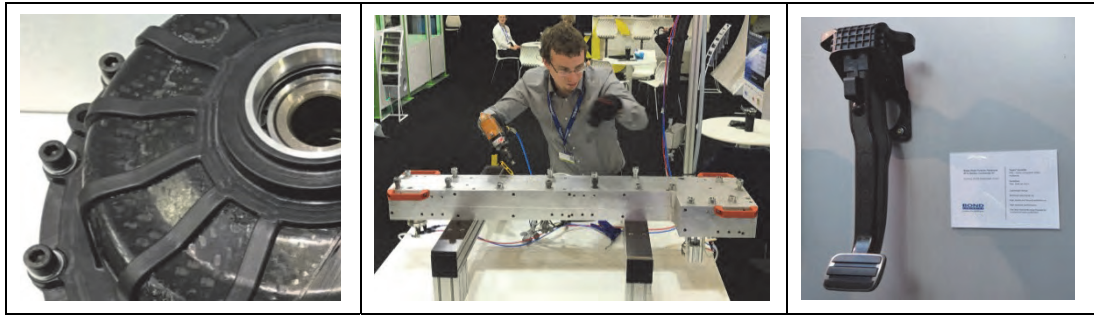


図 4.4-3 欧州 B 社の各種成形

<欧州 E、F 社>

- すべての部品を樹脂に置換することは困難であり、異種材接合技術は必要と考えられるため、異種材接合を実施しているメーカーと打合せを実施。
- 金属と強化繊維材料の締結において、金属側（下穴あり）から熱可塑性樹脂製のコマを回転させながら打込むことで、強化繊維材（下穴なし）を貫通し溶け出した樹脂を冷却させて締結する。また、繊維強化材のみに熱可塑性樹脂製の駒を締結したのち、コマの上から金属部品を締結（スクリーボルト等）することで金属と繊維強化材の機械締結も可能となり、電食などの影響も低減できると思われる。

<欧州 G 社>

- 樹脂ペレットやプロダクト技術提案を生業としており、樹脂ペレットの生産工場、ラボ見学およびウォーターインジェクション成形品を確認。ウォーターインジェクション工法はガスインジェクション工法と比較して長モノも安定した板厚の中空形状が可能のため、CNF ペレットを使用することで強度を保ちつつ軽量化させることも可能と思われる。ただし、A 社同様内側に平滑性を求める場合は別途対策が必要。

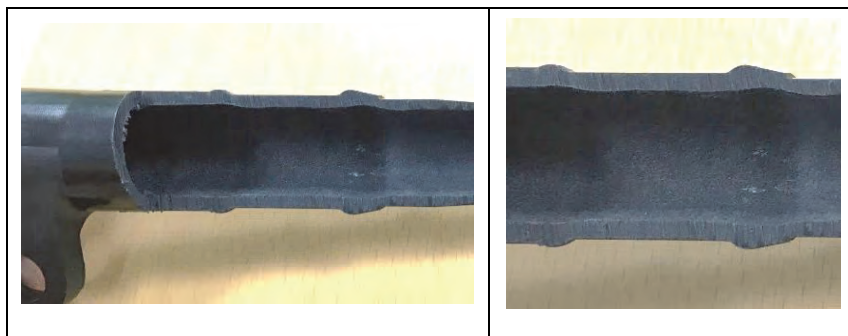


図 4.4-4 ウォーターインジェクションによる成形品



図 4.4-4 樹脂製クラッチペダル
(ICF ペレットによるウォーターインジェクション)

(4) 考察

各社との打合せおよび技術提案を通じて、最終試作車両製作にあたり上記技術だけではなく様々な技術を取り込むことで目標とする車両重量低減が達成できると考えられる。欧州では成形技術や付随するコア材などの開発も盛んに行われているため、今後も国内外に囚われず随時情報収集していく必要がある。

また、海外のどのメーカーでもまだ CNF を使用した部品展示は見られなかった。

大型部品への採用はプレス機のサイズなどの制約があるため、フロアなどの大物部品等はプレス機を使用しない低圧成形工法なども必要となる。上記工法に対応できる材料（シート材やペレットなど）を準備することで様々な部品で CNF を使用することが可能と考えられる。ただし、CNF のみの強度では達成できない部位には他の繊維強化材を使用する必要がある。

第5章 プロジェクト推進に関する情報管理とCNF製品の総合評価

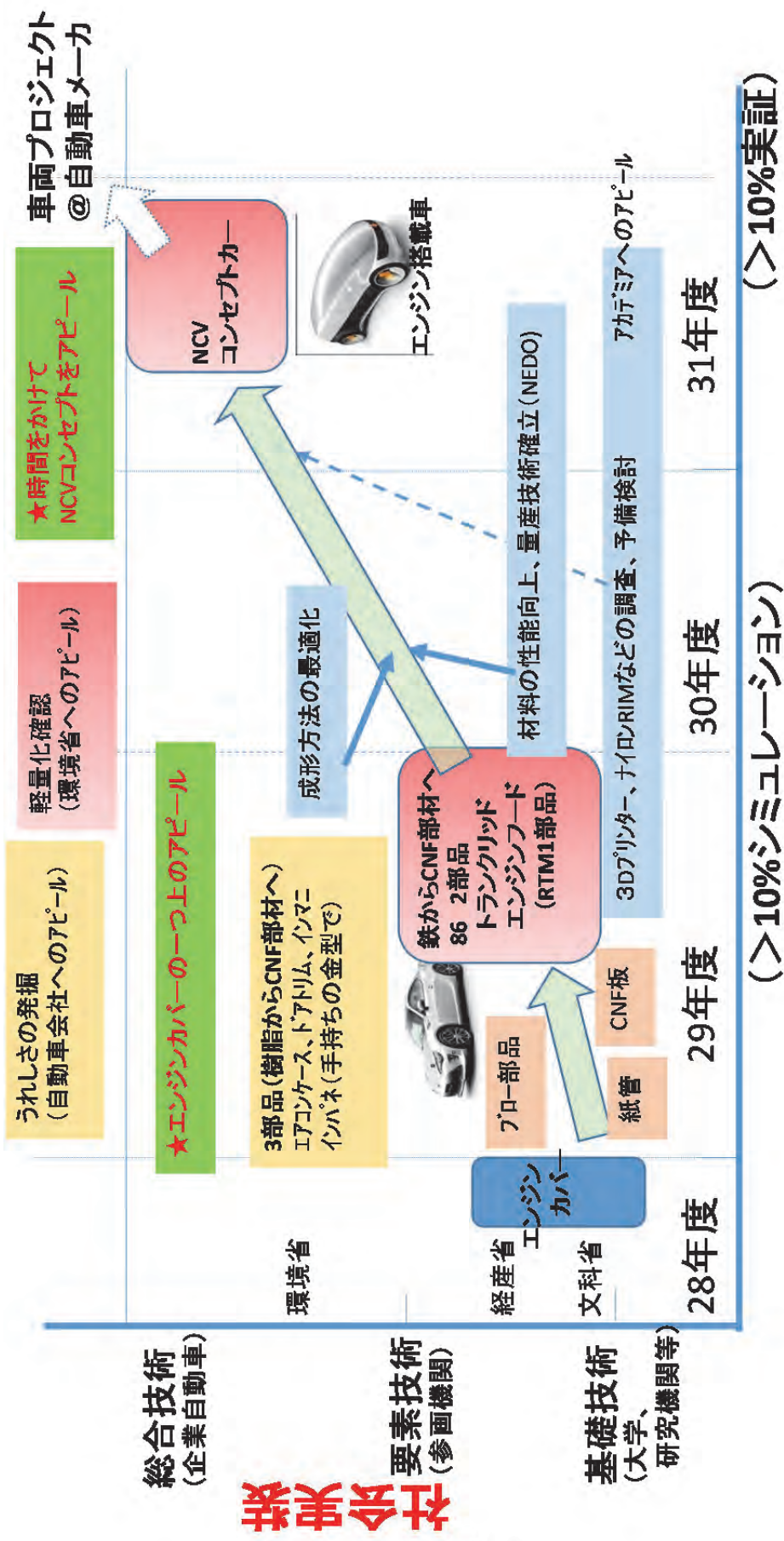
((一社)産業環境管理協会)

5.1. CNFの早期社会実装に向けた時系列での開発実証及び市場投入計画の策定

CNFの自動車への早期実装を行うための課題を整理し、時系列的にどのように実証し、市場投入の近道を考えるかを予算的な配分も含めて、見える化を行った。まず、重点課題②の(3)②「CNF車両の市場投入方策の検討」グループ内で解析、議論し、案をグラフ化した。次に、重点課題②の全グループ(重点課題①のグループは任意参加)にて実施中の大部屋活動で議論し共有化を図り、最終的に、PM及び事業代表者会議で調整を行った後、重点課題①も含む全体に展開し、共有化を図った。結果、一部の末端には届きづらかったものの、短期間で方向性を共有できたものとする。また、次年度の計画にも反映することができた。

見える化したグラフを図5.1-1に示す。プロジェクトの課題を両軸とし、横軸にCO₂削減(軽量化)、縦軸に社会実装のレベルをとった。横軸は、31年度までとし、前半の29年度にはシミュレーションにてCO₂削減量が10%以上、後半の31年度には実証にてCO₂削減量10%以上を確認することとした。縦軸は、社会実装のために必要な技術レベルであって、大学などでの基礎技術をもとに参画機関の要素技術検討を経て更には実装に必要な総合技術にまで到達する必要性を確認した。プロジェクト発足当時のCNF部品技術レベルとして、種々展示会にて発表したCNF発泡エンジンカバーを位置づけ、終了時の技術レベルとして、2つの課題目標を達成する10%以上のCO₂削減が可能で、社会実装可能なレベルのNCVコンセプトカーを位置づけた。すなわち、終了時には、自動車メーカーの車両プロジェクトに直結することを理想とした。その途中の29年度には、既存の自動車としてトヨタ86を上げ、いくつかの部品をCNF化することにより、どの程度のCO₂削減が図られ、車両全体としてどの程度のCO₂削減が図られると予想できるのかをシミュレーションで見積もることとした。試作する部品数としては、予算配分などから2点とし、軽量化効果の大きな鉄部品からCNFへの置き換えを考え、トランクリッドとエンジンフードの2部品とした。ここで、トランクリッドは京都プロセスによる射出成形を、エンジンフードは大型部品に適すと考えたRTM成形を選択した。ただ、樹脂からCNF部材への置き換えについても、この時期に課題等を抽出する必要がある。エアコンケース、ドアトリム、インマニ、インパネ等から3部品を選択して評価することにした。また、ブロー成形や、紙管、CNF板などの技術展開の可能性についてもこの時期に評価することにした。また、後半のコンセプト車に向けては、注目されている3Dプリンター技術なども含め、並行して調査を行い展開の可能性を評価することにした。

今後は、図5.1-1をもとに、置かれた位置づけを理解しながら、進め方の調整を行い、グラフのメンテナンスを図りたい。また、全員でその都度、共有化しモチベーションを高めたい。



軽量化 (CO2)

図 5.1-1 プロジェクトの課題の見える化

5.2. 情報管理および事業代表者間・共同実施者間の調整

重点課題①及び②共通の目標を達成するため、業務全体の情報を総合的に管理し、事業の中心となる各事業代表者と事務局による事業代表者会合を4回実施した。実施状況を表5.2-1に示す。

表 5.2-1 事業代表者会合の実施状況

開催日	時間	場所	主な議題
2017/1/13	18:00～20:00	京都大学（宇治）HW502	課題①と課題②の課題の共有化
2017/1/27	15:00～17:00	名古屋工業大学 4号館 会議室3	全体の進捗状況の確認、H29年度の目標について
2017/2/13	14:00～17:00	名古屋ダイヤビルディング 会議室2号館221会議室	H29年度予算、新規参加機関について
2017/3/3	14:00～15:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	予算執行状況の確認、来年度全体会合の開催について

また、各共同実施者間において円滑に業務を進めるために必要な以下の項目を共有するため、グループ業務調整会合を15回実施した。会合の内容と参加者を表5.2-2に示す。

【共有した内容】

- ・ CNF材料の生産・分配スケジュール
- ・ CNF材料の材料定数評価結果、加工性の評価結果
- ・ 材料加工メーカーの個別情報（加工能力、経験、意欲等）
- ・ 自動車製造上必要な材料定数、特性、要望
- ・ 自動車製造に必要な全体スケジュール

【会合の種類】

- ・ 全体会合 : 重点課題①および②に参画する全機関が参加する会合。
- ・ 大部屋活動 : 重点課題②参画機関の会合。課題①から自由に参加可能。
- ・ 課題①-2と課題②-6の打合せ :
部品メーカーと自動車製造(TTC)のニーズとシーズを合わせる会合。

表 5.2-2 共同実施者間グループ業務調整会合

開催日	時間	場所	内容	参加者
2016/10/28	15:00～ 17:00	京都大学（宇治） 木質材料実験棟 3階木 質ホール	全体会合	キックオフミーティン グ（全機関）
2016/11/9	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第1回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 名工大、JEMAI
2016/11/30	13:30～ 15:00	名古屋工業大学 2号館 906A 会議室	課題①-3 と②-6 間打合せ	名工大、利昌工業、昭和 丸筒、秋田県立大、JEMAI
2016/12/13	16:00～ 19:00	京都大学（宇治） HW502	課題①と②-7 間 打合せ	京大、JEMAI
2016/12/20	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第2回大部屋活動	金沢工大、京大 TTC、名 工大、JEMAI
2016/12/27	13:00～ 17:00	京都大学（宇治） HW502	課題①②事務局 打合せ	京大、JEMAI
2017/1/10	8:30～ 10:00	豊田中央研究所 会議室	課題①②リーダ ー打合せ	京大、金沢工大、JEMAI
2017/1/11	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第3回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 名工大、昭和丸筒、JEMAI
2017/1/13	14:00～ 17:00	京都大学（宇治） HW502	課題①②事務局 打合せ	京大、JEMAI
2017/1/18	13:30～ 17:00	トヨタテクノクラフト 本社 会議室	第4回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 名工大、昭和丸筒、利昌 工業、日立マクセル、 JEMAI
2017/1/19	15:30～ 17:00	京都大学（宇治） HW502	課題①②事務局 打合せ	京大、JEMAI
2017/1/24	9:00～ 12:00	金沢工業大学 革新複 合材料研究開発センタ ー（ICC）会議室	RTM に関する打 合せ	金沢工大、TTC、JEMAI
2017/1/25	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第5回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 名工大、日立マクセル、 京都市産技研、京大、 JEMAI
2017/2/1	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第6回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 京大、JEMAI
2017/2/3	16:00～ 20:00	京都大学（桂） 大嶋研究室（A4棟・ BF1・19号室）	課題①-2 と②-6 打合せ	金沢工大、TTC、京大、 ダイキョーニシカラ、 JEMAI
2017/2/8	13:30～ 17:00	金沢工業大学（虎ノ門） 11階会議室	第7回大部屋活動	金沢工大、京大、TTC、 トヨタ紡織、JEMAI
2017/3/1	13:30～ 16:00	イノアックコーポレー ション 本社会議室	課題①-2 と②-6 打合せ	金沢工大、TTC、京大、 イノアック、JEMAI

5.3. 普及・啓発

5.3.1. エコプロ 2016～環境とエネルギーの未来展～への出展

平成 28 年度事業では、本事業の普及・啓発を目的とする広報活動として主に以下の取組みを行った。

セルロースナノファイバー及びそれに関連する技術の普及広報を目的に、2016 年 12 月 8 日（木）から 10 日（土）にかけて東京ビッグサイトで開催されたエコプロ 2016～環境とエネルギーの未来展に「環境省/世界を変える先導的技術の開発・実証と社会実装」（小間番号 4-040）の名称で出展した。

エコプロ展の特徴として環境に関心の高い層の来場者が多いことから、ブースで配布した CNF の紹介パンフレットへの需要は多く、当初準備した 1300 部は早い段階で在庫が終了し、急遽追加した分も 3 日間の会期中に配りきるなど多くの来場者が本ブースに訪れた。

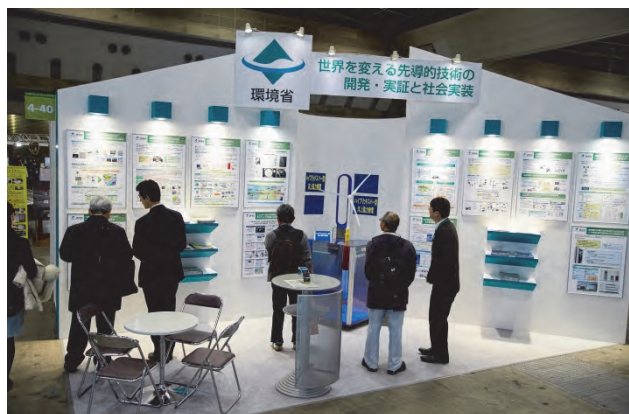


図 5.3-1 出展ブースの様子

環境省が社会実装段階における施策を実施していることに高い関心を持った来場者も多く、事業広報の目的では高い成果を上げることができた。

表 5.3-1 「環境省/世界を変える先導的技術の開発・実証と社会実装」の展示構成

1	CNF	セルロースナノファイバー（CNF）の社会実装に向けた環境省の取り組み
2	CNF	セルロースナノファイバー（CNF）等の次世代素材活用推進事業
3	CNF	世界初！NCV プロジェクトが始動～ナノ・セルロース・ビークル・プロジェクト～
4	GaN	エネルギー損失を徹底的に減らす夢のデバイスの開発と実用化 1
5	GaN	エネルギー損失を徹底的に減らす夢のデバイスの開発と実用化 2
6	GaN	エネルギー損失を徹底的に減らす夢のデバイスの開発と実用化 3
7	水道	水道施設における小水力発電の普及・拡大に向けた取組
8	水素	地域で動き出す低炭素な水素利用
9	帯水層蓄熱	“環境にやさしい”エネルギー利用の仕組みについて実証検証中！ 環境省「CO ₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」
10	業務用ビル	業務用施設等における省 CO ₂ 促進事業 (1) テナントビルの省 CO ₂ 促進事業
11	業務用ビル	業務用施設等における省 CO ₂ 促進事業 (2) ZEB 実現に向けた先進的省エネルギー建築物実証事業
12	洋上風力	洋上風力発電実証事業
13	洋上風力	「浮体式洋上風力発電実証事業」（模型展示）

5.3.2. ナノセルロース展への参加

同じくエコプロ 2016～環境とエネルギーの未来展の中で企画展示として実施された「ナノセルロース展」（小間番号 2-901）にも環境省からパネル出展を行った。「ナノセルロース展」は国立研究開発法人 産業技術総合研究所のナノセルロースフォーラムの主催で開催され、産

官学の幅広い分野から 35 社・機関が参加した。CNF の開発に取り組む民間事業者も多く参加したこともあり、実物展示も多く、来場者は CNF がどのようなものかの理解を得ることができ、社会実装という面でも将来に向けての手ごたえを感じられる内容であった。今回のエコプロ 2016 の中でも最も盛況感のあるコーナーであったと言っても過言ではなく、CNF の概念の普及の側面では大きな役割を担った。

■ ナノセルロース展の参加出展者

相川鉄工／浅田鉄工／旭化成／王子ホールディングス／大阪ガス／京都市産業技術研究所／京都大学生存圏研究所／KRI／JFE 商事テールワン／JFE テクノリサーチ／スギノマシン／星光 PMC／第一工業製薬／大王製紙／中越パルプ工業／テクノベル／東レリサーチセンター／凸版印刷／日本スピンドル製造／日本製鋼所／日本製紙／北越紀州製紙／マイクロトラック・ベル／増幸産業／三菱鉛筆／モリマシナリー／EMPA（スイス）／国立森林科学研究院（韓国）／Alberta Innovates Technology Futures（カナダ）／Vireo Advisors, LLC（米国）



図 5.3-2 ナノセルロース展の様子

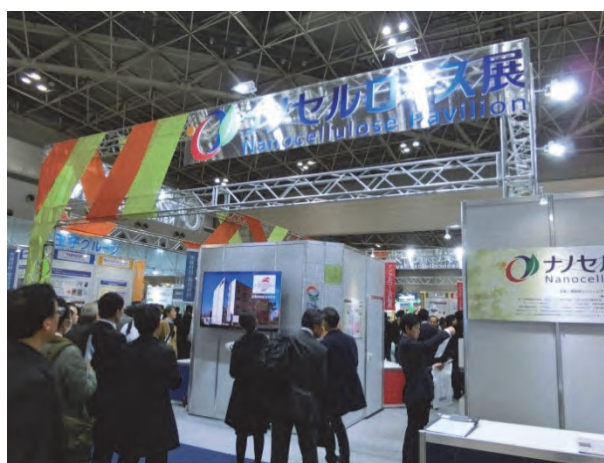


図 5.3-3 環境省によるパネル展示

5.3.3. 対外発表

平成 28 年度の本事業関連の対外発表は 15 件あった。詳細一覧を表 5.3-2 に示す。

表 5.3-2 平成 28 年度の対外発表一覧

公表機関名	公表者	公表方法	公表日	公表の内容詳細
ダイキョーニシカラ株式会社	—	ホームページ	協定書締結後	会社ホームページに掲載、報道機関に配信
金沢工業大学	影山裕史 教授	雑誌	2017.1.11	日経 Automotive 2017 2月号 58～59 ページに記事掲載、日経 BP 社より取材
金沢工業大学	影山裕史 教授	新聞	2017.2.2	日経産業新聞朝刊記事掲載、日経より取材
京都大学	矢野浩之 教授	講演	2017.2.17	ALCA/NEDO 合同シンポジウム「次世代セルロースナノファイバーの創出に向けて」での講演
三和化工株式会社	吉田典生 社長	新聞	2017.2.20	化学工業日報社の取材
金沢工業大学	影山裕史 教授	講演	2017.2.20	革新的イノベーション創出プログラム(CO I S T R E A M) 先端複合材料公開シンポジウムでの講演
金沢工業大学	影山裕史 教授	新聞	2017.2.23	日本経済新聞社の取材
京都大学	矢野浩之 教授	講演	2017.2.24	生存圏ミッションシンポジウム・フラッグシップ共同研究発表での講演
京都大学	臼杵有光 特任教授	新聞	2017.2.28	日刊工業新聞社の取材
京都大学	矢野浩之 教授	講演	2017.2.28	生産技術振興協会アライアンス委員会におけるナノ技術応用分科会講演会での講演
京都大学	矢野浩之 教授	講演	2017.2.28	CNF 展示会「セルロースナノファイバーの最前線」における特別講演会
京都大学	矢野浩之 教授	講演	2017.3.2	日本繊維機械学会ナノファイバー研究会「ナノファイバー研究会公開講演会」での講演
京都大学、金沢工業大学	矢野浩之 教授 影山裕史 教授	講演	2017.3.13	Nanocellulose Symposium 2017での講演
金沢工業大学	影山裕史 教授	講演	2017.3.21	一般社団法人 日本産業機械工業会主催の 3R リサイクルセミナーにて「炭素繊維強化樹脂 (CFRP)、セルロースナノファイバー (CNF) と自動車の未来」について講演

第6章 本年度業務のまとめと課題の整理 ((一社)産業環境管理協会)

6.1. 本年度業務のまとめ

本年度業務における評価・検証項目と成果を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 平成 28 年度評価・検証項目と成果

仕様書番号	実施項目	年度目標	成果
(0) 【全体目標】	走行時CO2削減率10%以上のCNF車評価・検証	<ul style="list-style-type: none"> ・部品軽量化目標の設定 ・部品基本構造の検討 ・種車用部品試作準備 ・最終試作車の車両企画の考え方を提案 	<ul style="list-style-type: none"> ・種車(トヨタ86)の部品構成を分析し、CNF材料部品へ置換した場合の軽量化効果のシミュレーションツールを作成し、軽量化目標の設定を進めている。この情報をもとに、重点課題①と連携し、軽量化効果評価用に置換部品の試作準備を進めた(試作候補部品を選定した上で部品概略図を作成し、活用技術の協議を実施)。 ・樹脂製ベンチマーク車の分析やCO2削減効果の評価に必要な文献調査、上記の車両構造評価等を行い、CNFの早期社会実装につながるCNF車の試作計画を策定。
(1) CNF軽量部品の実機搭載・性能評価(重点課題②-6) 実施機関名:トヨタテクノクラフト(株)、金沢工業大学、名古屋工業大学			
(1)-①	CO2削減のための部品の軽量化目標の設定	<ol style="list-style-type: none"> 1)トヨタ86(種車)の現行部品の検討 2)軽量化目標の設定 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 86部品を対象とした、CNF材料による軽量化効果のシミュレーションツールを作成。 2) 重点課題①より材料特性を入手し、軽量化目標値を設定
(1)-②	CNF部品基本構造等の検討	国内外現地情報収集 <ol style="list-style-type: none"> 1)軽量化技術開発動向、技術領域等の検証 2) CNF部品の基本構造の検討 3)置換部品の設定と重点課題①へのフィードバック 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 樹脂製骨格部品製造メーカー訪問(オーストリア、チェコ) CNF材料を使用した自動車部品の動向調査(フランス、スイス) 2) 樹脂製の自動車外板7種の分析、骨格1種の剛性評価。 3) 86現行部品の検討と軽量化目標のリストから、置換部品候補を設定(2部品:トランクリッド、エンジンフード)。
(1)-③	CNF軽量部品の試作に向けた検討およびCNF軽量部品の組み付け技術の検討	<ol style="list-style-type: none"> 1) CNF軽量部品の試作に向けた検討 2) CNF軽量部品の組み付け技術の検討 3) CNF部材組立のための適切な接着・接合法の検討 4) 組立のための異種材料との接着・接合データ取得 	<ol style="list-style-type: none"> 1) CNF部品の試作のために、重点課題①の機関3社程度と打合せ。(日立マクセル、利昌工業、昭和プロダクツ、ダイキョーニシカワ、トヨタ紡織、イノアック、キョーラクと協議実施済) 部品評価のための試作要請部品5部品の設定:エアコンケース、ドアトリム、インテークマニホールド、インストルメントパネル、Cピラー 2) 2部品の組付け技術の検討を行い、1部品(トランクリッド)の計画図を作成。 3) 構造用接着剤、シール材等多種類の接着剤を10社に依頼し、CNF材料の接着評価。 4) 異種接着評価用テストピース(SST、CF、ALなど)の評価
(2) 社会実装に向けたCNF活用製品のCO2削減効果の評価・検証(重点課題②-7) 実施機関名:(一社)産業環境管理協会			
(2)-①	CNF部品実機搭載におけるCO2削減効果評価方法の検討	<ol style="list-style-type: none"> 1) 文献データの収集 2) 一部部品のCO2排出量の削減効果の評価 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 既存部品およびCNF代替部品の物性値、CO2排出原単位等、下記第3項のCO2排出量削減効果の評価に必要なデータを文献調査を行い収集。 2) 選定した自動車の一部部品について製造段階、走行段階、廃棄リサイクル段階のCO2排出量の削減効果を、上記調査情報を踏まえ評価。

表 6.1-1 平成 28 年度評価・検証項目と成果（続き）

仕様書 番号	検討項目	年度目標	成果
(2) 社会実装に向けたCNF活用製品のCO2削減効果の評価・検証(重点課題②-7) 実施機関名:(一社)産業環境管理協会			
(2)-②	CNF軽量部品の導入によるCO2削減効果シミュレーション技術の検討	1) 量産時のCO2排出量の試算方法の検討	1) CNF製造プロセスの量産時のCO2排出量の試算方法を検討し、必要となるデータ収集項目を抽出。
(2)-③	試作する自動車のCO2削減効果に関する評価方法の検討	1) 既存の自動車のCO2排出量削減効果に関わる文献調査 2) 調査方法および調査結果の開示方法の検討	1) 自動車の素材代替時等のCO2排出量削減効果の評価について、文献調査。 2) CO2排出量削減効果の開示にあたっての課題を抽出。
(2)-④	CO2削減効果の将来予想(2030年)	1) CNF車両普及シナリオの策定方法の検討 2) CO2排出量削減効果についての社会全体への波及効果の評価の枠組みを検討	1) CNF車両普及シナリオの策定方法の検討。 2) IDEAマトリックスを活用した産業影響評価、シナリオ全体のCO2排出量削減効果や輸出入データにより評価する。
(3) CNF車両実装に関する車両構想の評価(重点課題②-8) 実施機関名:金沢工業大学、トヨタテククラフト(株)、(一社)産業環境管理協会			
(3)-①	最終試作車の車両構造および組み付け技術の検討	最終試作車の車両構造、車体・部品設計、組み付け技術等を検討	・樹脂製の骨格1種の剛性評価。 ・樹脂製ベンチマーク車の構造の分析。 ・「大部屋活動」を7回実施し、重点課題②参画機関だけでなく、重点課題①の参画機関と構造、設計、組み付け技術を協議。
(3)-②	CNF車両の社会実装に向けたCNF車両の市場投入方策の検討	1) 現状のCNFおよび自動車を取り巻く環境の動向調査から市場投入に関する情報を入手 2) 将来のCNFおよび自動車を取り巻く環境の予測から市場投入に関する情報を入手	1) ・原料、材料、自動車の現在の動向調査を行い、市場投入に向けた課題を整理。 ・国内外取り組み情報から、課題に対応するための具体的な方策を整理。 2) 2030年の将来想定からアプローチし、市場投入に向けた課題を整理。
(3)-③	最終試作車の車両構想の検討	CNF軽量部品を搭載した最終試作車の車両構想の検討	・(3)-①の検討結果および(3)-②の結果から、最終試作車の車両構想を検討 ・「大部屋活動」を実施し、重点課題②参画機関および、重点課題①の事業代表機関と車両構想を検討。
(3)-④	最終試作車の車両構想等の検討のための情報収集	国内外現地情報収集(車両構想等の先進事例に関する現地情報収集)	・樹脂骨格部品を量産しているメーカー(オーストリア、チェコ)を訪問し、量産への課題を調査。 ・海外におけるCNF部品の動向調査(フランス、スイス)

表 6.1-1 平成 28 年度評価・検証項目と成果（続き）

仕様書番号	検討項目	年度目標	成果
(4)プロジェクト推進に関する情報管理とCNF製品の総合評価(重点課題②-9) 実施機関名:(一社)産業環境管理協会			
(4)-①	情報管理および事業代表者間・共同実施者間の調整	1) CNF材料やCNF自動車等に関する情報の管理 2) 業務実施者間、共同実施者間の業務調整	1) 自動車の軽量化目標に係るデータを収集・整備。 重点課題①業務より、各樹脂別の材料定数、成形加工評価結果データを共有。 2) 重点課題①および②を一体的に実施するため、グループ業務調整会合として「大部屋活動」を設置し、業務分担の調整、全体スケジュールの設定を実施。 重点課題①と横断的に各機関間の打合せ会合を設定・実施し、評価結果の共有、今後の方針や細部の具体的業務等を調整、適宜決定。
(4)-②	CNFの早期社会実装に向けた時系列での開発実証及び市場投入計画の策定	1) 総合的な評価 2) 時系列での開発実証及び市場投入計画の策定	1) 業務(1)～(3)の評価結果より総合的に評価。 2) 初期段階の開発実証にかかる時系列計画の原案策定(2020年)。 中長期(2030年まで)の開発実証および市場投入計画の項目を検討。
仕様書番号(5)～(9) 実施機関名:(一社)産業環境管理協会			
(5)	グループ業務調整会合の実施	・開催場所: 東京・横浜、金沢、京都、名古屋 ・開催時期: 11月～3月/ ・開催回数: 12回程度	・東京(6)、横浜(1)、金沢(1)、京都(5)、名古屋(3)にて計16回実施済。
(6)	事業推進委員会への参画	・開催場所: 東京、名古屋、京都/ ・開催時期: 11月～3月/ ・開催回数: 3回程度	・京都(1)、名古屋(1)、東京(1)にて実施済
(7)	普及・啓発	・国内で開催される展示会への1回程度の出展	・12/8～10 東京国際展示場にて開催のエコプロ2016展に専用小間で出展。加えて、同時開催のナノセルロース展にパネル展示 ・国内各種メディア掲載(新聞、雑誌、Web、講演)。
(8)	協議・打ち合わせ	・環境省への進捗報告と事業内容の打合せ(適宜)	・進捗状況の報告および業務内容の詳細について打合せを実施(面談形式4回、電話等多数)
(9)	報告書の作成	・業務内容や成果のとりまとめ ・報告書の作成	・各機関からの報告書とりまとめ

6.2. 本年度業務の課題と今後の方針

重点課題①「社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証」では CNF 軽量材料を提供し、その成形方法や部材としての評価を実施した。そこから材料や部材を受け取り、自動車に仕上げることで、自動車としての CO₂ 削減効果を見極めること、車両構想をつくること重点課題②の大きなテーマである。4 年計画の初年度であり、まずは大きな戦略ストーリーを作ること、実際の種車（市場に出ている車）を選択し、部材を CNF 材料で置換してコンセプトの正当性を見極めること、世の中の動向をベンチマークして車両構想に組み込むことを実施した。いずれの課題に対しても大まか年度目標は達成できているが、以下のような課題があり、今後の方針を検討した。

(1) CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価

5.1 で記述したように NCV の戦略ストーリーを重点課題①と共有することにより、種車（トヨタ 86）において試作すべき部品を明確とすることができた。また、重点課題①の部材担当との直接打合せをもとに、設計に留意すべき点（たとえば表面性状など）や CNF ならではの構造提案（たとえば紙管やシートなど）も出てきた。今後はこれらの提案を設計に生かしていくことが課題であり、来年度以降更なる議論を進めて取り組む予定である。接合に関しては、まだ、材料寄りの評価ではあるが、接合の作業現場を十分考慮した信頼性評価も必要になることが分かってきた。本件も来年度以降、実験を進める中で評価を行なっていきたい。また、最終年度の NCV コンセプトカーに向けた個別の作戦ストーリーを立てる必要があるので早急に行う予定である。

(2) 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証

重要な走行時の CO₂ の評価については、日本自動車研究所等との議論により、方向性がほぼまとまった。自動車会社の要望からはゼロエミッションへの挑戦が重要なことが分かってきている。重点課題①の材料側からの CO₂ 排出量の情報収集もある程度は可能となってきた。ただ、量産を想定している 2030 年の生産システム、車両構造、車両寿命などを如何に予想し、ケーススタディするかが課題であり、今後は(3)の車両構想と十分な連携をとりながら進める必要がある。

(3) CNF 車両実装に関する車両構想の評価

堅実路線、大胆な将来予想、現場の声評価など、幅広い観点で分析を実施した。構造的にもマネジメント的にも少しずつではあるがキーワードが出つつある。ここも、やはり量産を想定した 2030 年をどこまで予想できるかがカギと考えられ、(2)の CO₂ 評価グループと議論・共有しながら進めることが重要と考えられる。大胆な CNF ならではのビジネスモデル等も LCA やコストを評価するうえで課題であり、解析を充実していく方針である。特にキーワードについての解析を急ぎたい。

(4) プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 製品の総合評価

たたき台制度（その場で考えるのではなく、意思を伝えるための描写を事前に行い、それをもとに相手に伝える）や、大部屋活動（全員が集まり、特に普段接することの少ない業種の担当と議論し、悩みを分かち合う場、居れば全体が見えてくる場）などにより、重点課題②内の共通意識が大きく向上したと感じている。重点課題①とのコミュニケーションを最大限図っていくことが課題である。今後は重点課題①②の連携、統合も含めて推進していく予定である。

