

平成31年度

セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務

(社会実装に向けた CNF 材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～)

成果報告書

令和2年3月

国立大学法人 京都大学

平成 31 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 材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～)
成果報告書
要約

1. 業務の目的

自動車分野において、部品や製品の軽量化でのエネルギー効率改善による二酸化炭素排出削減を目的とし、セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）の特性を生かした用途（部材や部品）を提案するとともに、CNF を利用・複合化した樹脂材料について材料から自動車最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施する。4 年間のプロジェクトとして最終年度である。

2. 業務の概略と実施体制

業務としては、①CNF 材料の成形と材料定数（各種物性値）の評価及び CNF 材料の提供、②CNF 材料の成形加工性評価及び部品・部材の性能評価、③CNF 材料の低圧成形加工性評価、④CNF 構造要素モデル及び高濃度 CNF 材料成形品の試作と性能評価、⑤CNF 材料成形品の車両実装に関する評価及び最終試作車の車両構想の検討、⑥社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証、⑦プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 材料・部材の総合評価の 7 グループの体制からなるメンバーで実施した。参画機関は以下の 22 機関である。

参画機関：京都大学、サステナブル経営推進機構（令和元年度 10 月から産業環境管理協会より分離・独立）、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、宇部興産（株）、（株）昭和丸筒／昭和プロダクツ（株）、利昌工業（株）、（株）イノアックコーポレーション、キョーラク（株）、三和化工（株）、ダイキョーニシカワ（株）、マクセル（株）、（株）デンソー、トヨタ紡織（株）、アイシン精機（株）、トヨタ自動車東日本（株）、（株）トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、東京大学、産業技術総合研究所

平成 30 年度と同様の参画機関である。

3. 業務内容

3.1 CNF 材料の成形と材料定数評価及び CNF 材料の提供

変性した CNF と樹脂の混練による複合材料を、各参画機関の必要とする量と物性に合わせて供給した。PA6（ナイロン 6）-CNF 複合材料は年間 2,010kg をアイシン精機、マクセルなどに供給した。特に、アイシン精機向け材料については高温部（インテークマニホールド）に適用出来るよう、耐熱性能の改善を行った。PP（ポリプロピレン）-CNF 複合材料は年間 3,100kg をトヨタ紡織、ダイキョーニシカワ、イノアックなどに供給した。CNF 紙は金沢工業大学、利昌工業、昭和丸筒・昭和プロダクツに供給した。

3.2 CNF 材料の成形加工性評価及び部品・部材の性能評価

CNF 複合材料は曲げ弾性率の高さ、寸法安定性、透明性などの特徴を生かし、各種の自動車部品を試作・評価した。また新たに PA6-CNF 複合材料を三次元造形（3D プリンター）に用いるための最適条件を特定した。具体例として①PA6-CNF10%*の粉体材料から最終試作車のバンパーサイド、ホイ

ールフィンを 3D プリンターにより試作した。②PA6-CNF15%からインテークマニホールドを射出成形により試作しガラス繊維に比べ 10%以上の軽量化を達成した。③PP-CNF10%からドアアウター、ドアトリム、パケトレフフロントカバー、スポイラー、アンダーカバー（以上 5 点は最終試作車搭載）、エアコンケース、インパネを射出成形により試作し、いずれも 10%以上の軽量化を達成した。④PC-CNF15%から射出プレス成形することにより、ルーフパネル、バックウィンドウ（以上 2 点は最終試作車搭載）を試作した。既存 PC に比べ 25%薄板化ができ、また無機ガラスと比べ 50%以上の軽量化を達成した。

*PA6-CNF10% : PA6 複合材料総重量に対する CNF 比率 10%を意味する

3.3 CNF 材料の低圧成形加工性評価

CNF 製エンジンフードの従来 RTM 工法に連続セルローズ繊維の部分補強をすることにより、曲げ剛性は 1.5 倍に向上、アルミニウム製に比べ 20%の重量減を確認した。大型のボデー骨格を VaRTM (Vacuum Assisted RTM) 工法により試作し、その一部を最終試作車に搭載した。

3.4 CNF 構造要素モデル及び高濃度 CNF 材料成形品の試作と性能評価

CNF 紙製ハニカムコアと CNF シートを接着剤で貼り合わせる工法により、最終試作車のボンネットアウターを作製した。同寸法の高張力鋼板より約 7 倍の曲げ剛性になり、約 68%の軽量化を確認した。

アルミパイプと CNF 紙の組合せで最終試作車のルーフサイドレールを試作し搭載した。同外径の SUS パイプの曲げ強度は約 70%で、約 37%の軽量化を確認した。

3.5 CNF 材料成形品の車両実装に関する評価及び最終試作車の車両構想の検討

東京モーターショー2019（令和元年 10 月 24 日-11 月 4 日）用最終試作車の自然由来を感じさせるデザイン、和のイメージである車両構想を検討し、車両コンセプトを決めた。13 個の CNF 適用部材を選定し、これまでに明らかにした材料定数に基づき、従来品相当の剛性及び締結構造となるように車両全体並びに各部材を設計した。車両重量は 1,050kg であり、同型の標準車 (1,250kg) からの軽量化を確認した。

3.6 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証

CNF 活用による直接的な軽量化と、エンジンのダウンサイジングなどの二次軽量化効果を合わせて、車両 1 台あたり 16%の軽量化並びに 11%の燃費改善効果が可能であることを確認した。

3.7 プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 材料・部材の総合評価

円滑な事業運営にあたり、プロジェクト運営推進委員会を設置し、進捗管理を実施した。また、情報共有のため参画機関全員が集合する全体会議を定期的で開催した。

本事業の普及・啓発を目的とする広報活動を、展示会への出展やシンポジウムでの講演などを通して行った。特に東京モーターショー2019（令和元年 10 月 24 日-11 月 4 日）、エコプロ展（令和元年 12 月 5 日-7 日）では最終試作車の展示や試作部材の展示、講演においてアピールできた。

これらの活動の進捗を踏まえて、将来の CNF の製品への市場投入ロードマップを作成した。

業務実施期間

平成 31 年（2019 年）4 月 1 日～令和 2 年（2020 年）3 月 31 日

FY2019 Entrusted Work for Performance Evaluation Project of Cellulose Nanofiber
(Demonstration, Evaluation, and Verification for Introduction of CNF Materials for Social
Implementation: Automotive Field)

Report
Summary

1. Aim of the project

Applications (materials and parts) were proposed for utilizing cellulose nanofiber (CNF), and a thorough evaluation was conducted of the full process from material to automotive final product for resin materials that use or are composites of CNF with the aim of reducing carbon dioxide emissions by improving energy efficiency through reducing the weight of parts and products in the automotive field. This is the final year in a 4 year project.

2. Summary and implementation of the project

This project involved (1) molding of CNF materials, evaluation of material constants, and provision of CNF materials; (2) evaluation of the moldability of CNF materials and performance evaluation of parts and materials; (3) evaluation of the low-pressure moldability of CNF materials; (4) prototyping and performance evaluation of CNF structural element models and high-concentration CNF material molded parts; (5) evaluation of vehicle implementation of CNF molded parts and investigation of concept for final prototype vehicle; (6) evaluation and verification of the CO₂ reduction effect of products utilizing CNF for implementation in society; and (7) information management related to project promotion and overall evaluation of CNF materials and parts. The participating institutions are listed below.

Participating institutions: Kyoto University; Sustainable Management Promotion Organization (separated and independent from Japan Environmental Management Association for Industry on October 2019); Kyoto Municipal Institute of Industrial Technology and Culture; Kanazawa Institute of Technology; Nagoya Institute of Technology; Akita Prefectural University; Ube Industries Ltd.; Showa Marutsutsu Co., Ltd. / Showa Products Co., Ltd.; RISHO KOGYO CO., LTD.; INOAC CORPORATION; Kyoraku Co., Ltd.; SANWA KAKO CO., LTD.; DaikyoNishikawa Corporation; Maxell, Ltd.; DENSO CORPORATION; TOYOTA BOSHOKU CORPORATION; Aisin Seiki Co., Ltd.; Toyota Motor East Japan, Inc.; TOYOTA CUSTOMIZING & DEVELOPMENT Co. Ltd.; The University of Tokyo; and National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

These institutions are essentially the same as in 2018.

3. Project details

3.1 Molding of CNF materials, evaluation of material constants, and provision of CNF materials

The required quantity of composite material formed by mixing modified CNF into resin was supplied to each participating institution. Annually, 2,010 kg of nylon 6 (PA6)-CNF composite materials were supplied to Aisin Seiki, Maxell, etc. Annually, 3,100 kg of polypropylene (PP)-CNF composite materials were supplied to TOYOTA BOSHOKU, DaikyoNishikawa, INOAC, etc. CNF paper was supplied to Kanazawa Institute of Technology, RISHO KOGYO, and Showa Marutsutsu / Showa Products. Ube Industries Ltd. improved PA6-CNF for intake manifolds.

3.2 Evaluation of the moldability of CNF materials and performance evaluation of parts and materials

Various automotive parts were prototyped and evaluated considering characteristics of CNF composite materials such as improved flexural modulus, excellent dimensional stability, and excellent transparency. Additionally, the optimal conditions for the novel use of PA6-CNF in 3D printing were determined and parts were prototyped. As a specific example, the bumper side and wheel fin of the final prototype vehicle were fabricated using a 3D printer from PA6-CNF10%* powder material. An intake manifold was fabricated via injection molding from PA6-CNF15% and was found to have a reduction in weight of over 10% compared to glass fiber. A door outer, door trim, package tray front cover, spoiler, under cover (the above five pieces were mounted in the final prototype vehicle), air conditioner casing, and instrument panel were prototyped by injection molding using PP-CNF10%, and a reduction in weight of over 10% was found in all cases. A sunroof and back door glass (the above two pieces were mounted in the final prototype vehicle) were produced by injection press molding from polycarbonate (PC)-CNF15%. It was found that the plates were 25% thinner compared to existing polycarbonate, and at least 50% lighter than inorganic glass.

* PA6-CNF10%: 10% represents CNF ratio to PA6 composite total weight

3.3 Evaluation of the low-pressure moldability of CNF materials

By performing partial reinforcing using continuous cellulose fiber during the conventional resin transfer molding (RTM) method for a CNF engine hood, the bending stiffness was found to have increased by 1.5 times while the weight was reduced by 20% compared to aluminum. A large body frame was produced via vacuum assisted RTM (VaRTM), and part of this frame was mounted in the final prototype vehicle.

3.4 Prototyping and performance evaluation of CNF structural element models and high-concentration CNF material molded parts

The engine hood for the final prototype vehicle was fabricated by attaching CNF paper to honeycomb sheet using adhesive. The bending stiffness was increased by approximately 7 times while the weight was reduced by approximately 68% compared to high tensile steel plate of the same dimensions. Roof side rails for the final prototype vehicle were fabricated and mounted using a combination of aluminum pipe and CNF paper. It was found that the bending strength was approximately 70% of that of stainless-steel pipe with the same outer diameter, while the weight was reduced by approximately 37%.

3.5 Evaluation of vehicle implementation of CNF material molded parts and investigation of concept for final prototype vehicle

A vehicle concept with a Japanese feel using a design that reflects a natural origin was explored for the development of the final prototype vehicle for the Tokyo Motor Show 2019 (October 24 to November 4, 2019), and the vehicle concept was then decided. The design was executed by selecting the 13 parts that use CNF and obtaining the fastening structure and equivalent stiffness from the material constants. The vehicle weight was measured to be 1,050 kg, which was lighter than a standard vehicle of the same model (1,250 kg).

3.6 Evaluation and verification of the CO₂ reduction effect of products utilizing CNF for social implementation

As a result of the secondary weight reduction due to downsizing of the engine because of the weight reduction of the vehicle body, it was shown that a weight reduction of 16% and a fuel consumption improvement of 11% per vehicle were obtained by utilizing CNF material.

3.7 Information management related to project promotion and overall evaluation of CNF materials and parts

A project operation promotion committee was established, and progress management was performed for smooth management of the project. Furthermore, plenary conferences were held periodically for all members of the participating institutions to come together to share information.

Publicity activities were performed with the aim of dispersing information and raising awareness about this project, such as displays at exhibitions and talks at symposia. In particular, the accomplishments were advertised through exhibiting the final prototype vehicle, exhibiting and giving talks about prototype parts at the Tokyo Motor Show 2019 (October 24 to November 4, 2019), EcoPro Exhibition (December 5 to 7, 2019) .

Based on the progress of these activities, we created a market release roadmap for future CNF products.

Project period

April 1, 2019 to March 31, 2020

目次

第 1 章	CNF 材料の成形と材料定数評価及び CNF 材料の提供	
1.1	CNF 材料の材料定数評価及び材料提供 (京都大学、(地独) 京都市産業技術研究所)	5
1.2	自動車部品成形用 CNF 複合材料 (ポリアミド系) の組成検討及び材料提供 (宇部興産株式会社)	11
第 2 章	CNF 材料の成形加工性評価及び部品・部材の性能評価	
2.1	CNF 材料の成形加工性の評価 (京都大学、(地独) 京都市産業技術研究所)	14
2.2	発泡射出成形法における CNF 材料 (ポリアミド系及びポリプロピレン系) の成形加工性の評価及び自動車部品の試作検討 (ダイキョーニシカワ株式会社)	20
2.3	発泡射出成形法における CNF 材料 (ポリプロピレン系) の成形加工性の評価、自動車部品の試作検討、及び内装表皮材への CNF の添加・性能確認 (株式会社イノアックコーポレーション)	24
2.4	ブロー成形における CNF 材料の成形加工性の評価及び自動車部品の試作検討 (キョーラク株式会社)	28
2.5	バッチ発泡法における CNF 材料の成形加工性の評価 (三和化工株式会社)	33
2.6	加飾性評価 (マクセル株式会社)	37
2.7	自動車用空調部品用途に向けた CNF 材料の評価 (株式会社デンソー)	42
2.8	自動車用ドア部材用途に向けた CNF 材料の評価及び自動車部材の試作検討 (トヨタ紡織株式会社)	46
2.9	自動車エンジン部材用途に向けた CNF 材料の評価 (アイシン精機株式会社)	51
2.10	自動車部品用途に向けた CNF 複合透明材料の評価及び自動車部品の試作検討 (トヨタ自動車東日本株式会社)	55
第 3 章	CNF 材料の低圧成形加工性評価	
3.1	自動車用大物部材の試作検討及び RTM (Resin Transfer Molding) 成形の評価 (金沢工業大学、株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント)	59
3.2	RTM (Resin Transfer Molding) 成形法に適する CNF 材料の評価 (金沢工業大学、京都大学)	61

第4章	CNF 構造要素モデル及び高濃度 CNF 材料成形品の試作と性能評価	
4.1	CNF 材料の接着・接合評価 (名古屋工業大学)	65
4.2	CNF 材料の構成と構造の最適化 (秋田県立大学)	71
4.3	CNF パネル及び CNF ハニカムボードの成形加工条件の最適化と特性解析 (利昌工業株式会社)	73
4.4	3次元 CNF ハニカム成形品の成形加工性の最適化及び自動車部品としての評価 (利昌工業株式会社)	78
4.5	CNF パイプの作製及び構造部材用パイプの試作と評価 (株式会社昭和丸筒/昭和プロダクツ株式会社)	81
第5章	CNF 材料成形品の車両実装に関する評価および最終試作車の車両構想の検討	
5.1	最終試作車の構造の検討 (京都大学、株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント)	85
5.2	最終試作車用部品の製作と軽量化評価及び最終試作車の製作 (株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、京都大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)	87
第6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	
6.1	CO ₂ 削減効果に関する評価 (一般社団法人サステナブル経営推進機構)	92
6.2	CNF 部品実機搭載における CO ₂ 削減効果評価 (一般社団法人サステナブル経営推進機構)	96
6.3	CNF 部品の導入による CO ₂ 削減効果シミュレーション技術の検討 (東京大学)	99
6.4	CO ₂ 削減効果の将来予想 (2030 年) (国研) 産業技術総合研究所)	103
第7章	プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 材料・部材の総合評価	
7.1	情報管理及び共同実施機関間の調整 (京都大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)	107
7.2	CNF の早期社会実装に向けた市場投入計画の策定 (京都大学、金沢工業大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)	108
7.3	CNF の早期社会実装に向けた広報活動 (京都大学、(地独)京都市産業技術研究所、金沢工業大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)	114

7.4 プロジェクト推進委員会の運営	123
(京都大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)	
第8章 本業務で用いる略語、用語の解説	124
巻末資料	127

はじめに

セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）は、木材等の植物を原料とし、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。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、自動車を構成する 2~3 万の部品の中から、CNF の特性を活かした用途（部材や部品）を提案し、CNF 活用製品の性能評価や活用時の CO₂ 削減効果を評価・検証することを目的とする。

図 1 に事業の概念図を、図 2 に業務の流れを示す。セルロースナノファイバー（CNF）から自動車までの一連の流れを俯瞰した評価を実施する。

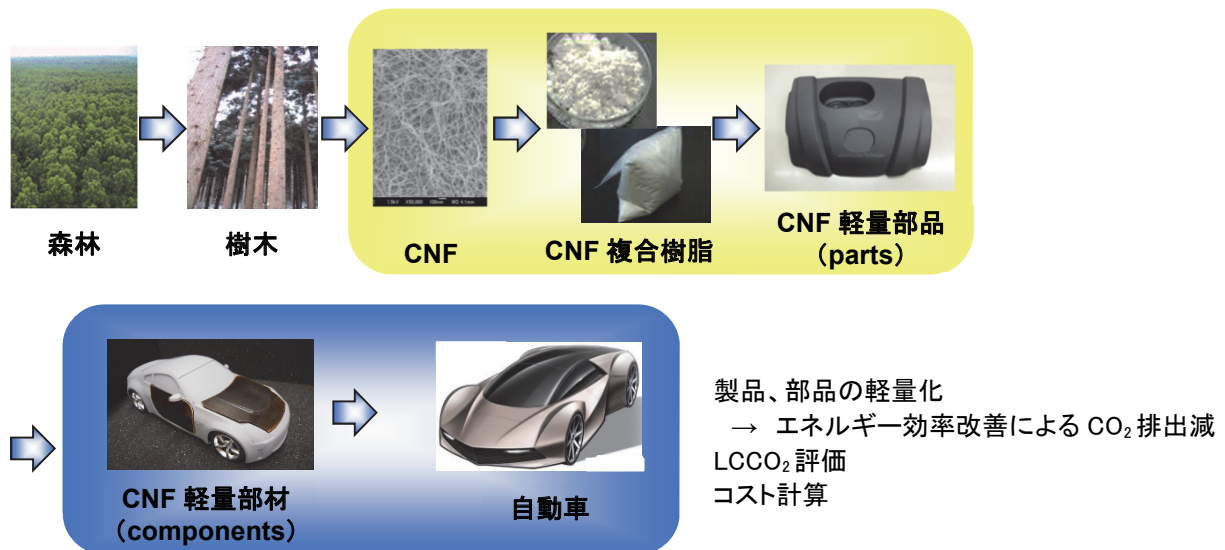
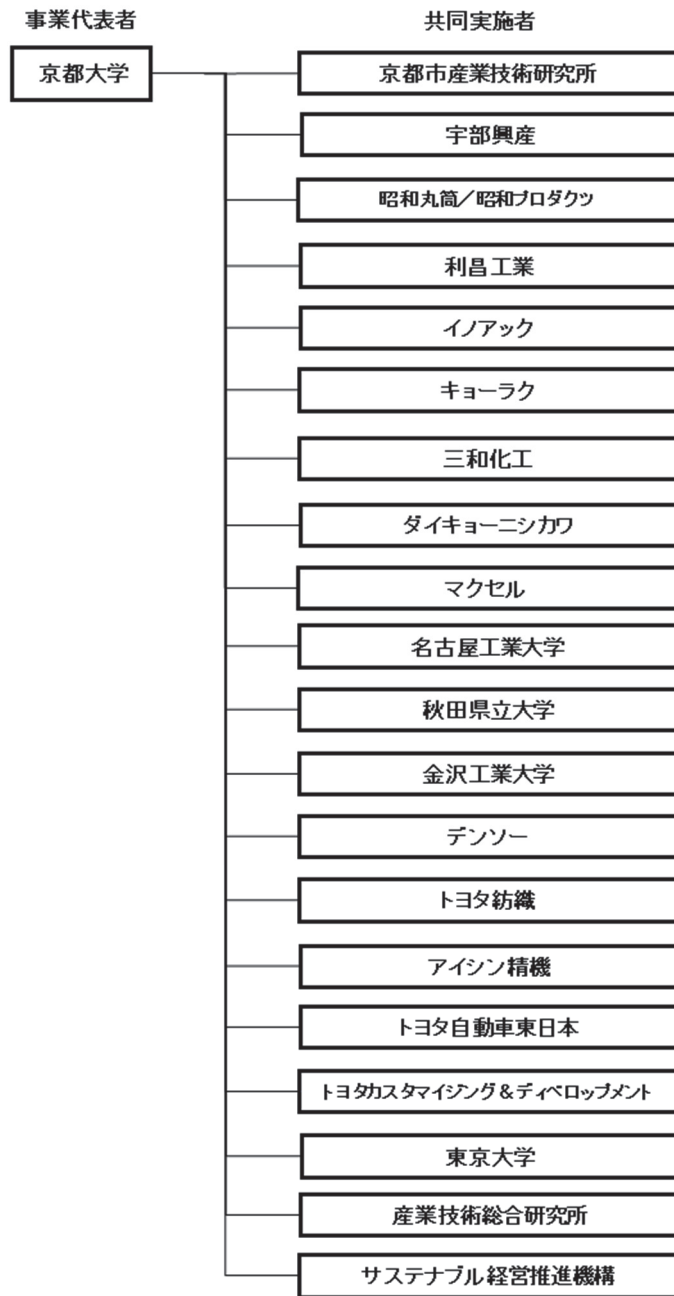


図 1 事業の概念図

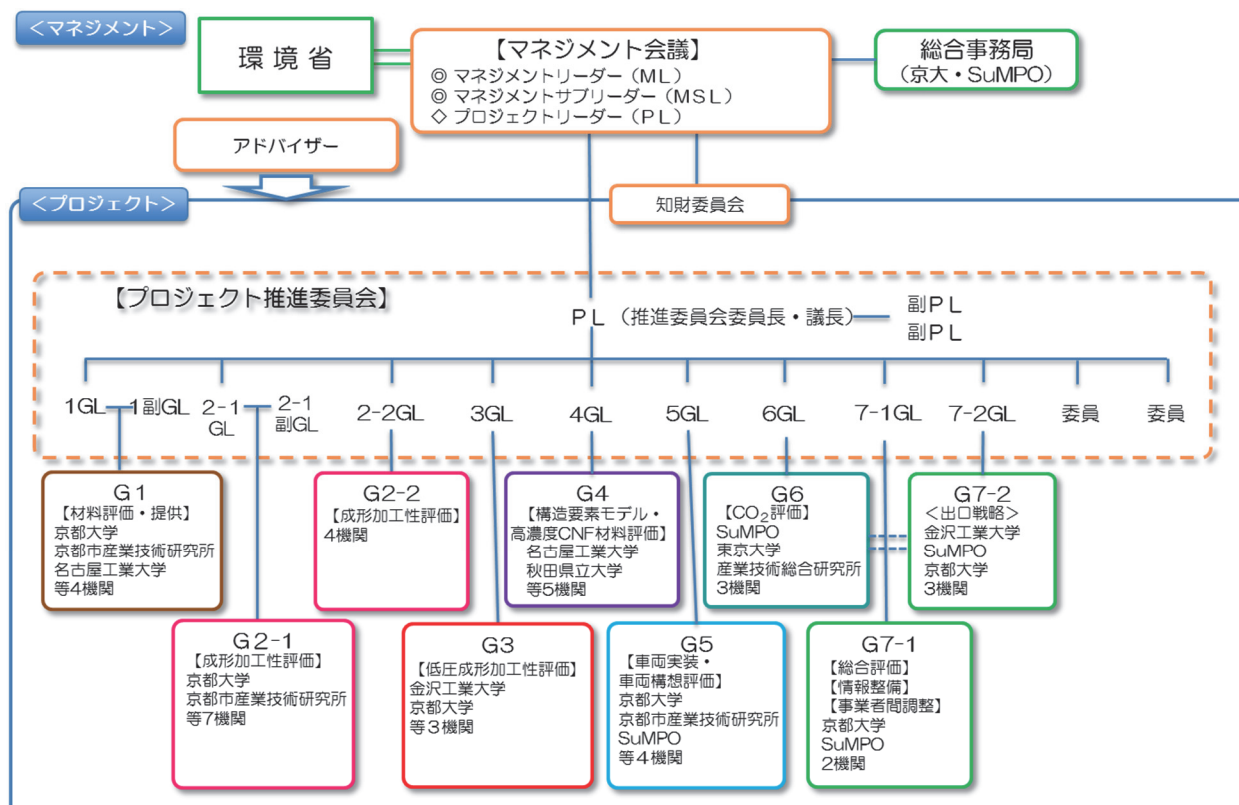
- (1) CNF 材料の成形と材料定数評価及び CNF 材料の提供
- (2) CNF 材料の成形加工性評価及び部品・部材の性能評価
- (3) CNF 材料の低圧成形加工性評価
- (4) CNF 構造要素モデル及び高濃度 CNF 材料成形品の試作と性能評価
- (5) CNF 材料成形品の車両実装に関する評価および最終試作車の車両構想の検討
- (6) 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証
- (7) プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 材料・部材の総合評価

図 2 業務の流れ



本業務は、図3に示した通り、国立大学法人京都大学が事業代表機関となり、アイシン精機株式会社、公立大学法人秋田県立大学、株式会社イノアックコーポレーション、宇部興産株式会社、学校法人金沢工業大学、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、国立大学法人京都大学、キョーラク株式会社、一般社団法人サステナブル経営推進機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所、三和化工株式会社、昭和プロダクツ株式会社、株式会社昭和丸筒、ダイキョーニシカワ株式会社、株式会社デンソー、国立大学法人東京大学、株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、トヨタ自動車東日本株式会社、トヨタ紡織株式会社、国立大学法人名古屋工業大学、マクセル株式会社、利昌工業株式会社の21機関を共同実施者とし、京都大学を含めた22機関からなるコンソーシアムによる業務体制で実施した。また、業務推進体制（マネジメント体制）を図4に示す。

図3 実施体制



SuMPO: 一般社団法人サステナブル経営推進機構

図4 業務推進体制

運営にあたり、各グループリーダー、学識経験者、自動車メーカーを構成員とするプロジェクト推進委員会を設置し、業務の進捗確認、事業者間の調整を行った。プロジェクト推進委員会の委員名簿を下記に示す。また、コンソーシアム全体の情報共有を目的とし、全実施機関による全体会合等を設置し、2か月に1回実施した。

プロジェクト推進委員会 委員名簿

職位	氏名	所属、役職
委員長	臼杵 有光	京都大学 生存圏研究所 特任教授
副委員長	矢野 浩之	京都大学 生存圏研究所 教授
委員	影山 裕史	金沢工業大学 大学院工学研究科 高信頼ものづくり専攻 教授
		京都大学 大学院工学研究科 工学研究科長・工学部長、 副理事、化学工学専攻 教授
委員	仙波 健	京都市産業技術研究所 研究副主幹
		京都大学 生存圏研究所 ナノセルロース産学官連携マネージャー
委員	栗山 晃	名古屋工業大学大学院工学研究科 おもひ領域 特任教授

永井 隆之	トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 第1材料技術部 部長
服部 順昭	東京農工大学 名誉教授
鈴木 幸弘	株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント 研究開発部 主査
神崎 昌之	一般社団法人 サステナブル経営推進機構 LCA センター 所長

第1章 CNF 材料の成形と材料定数評価及び CNF 材料の提供

1.1 CNF 材料の材料定数評価及び材料提供（京都大学、（地独）京都市産業技術研究所）

マトリックス樹脂材料としてポリアミド 6 (PA6) およびポリプロピレン (PP) を選定し、セルロースナノファイバー (CNF) との複合マスターバッチを調達し、グループ G2-1 の各機関に射出成形用材料、および 3 次元造形用材料として提供した。提供した材料について、強度物性、流動性などの材料定数を測定するとともに、市販の繊維強化材料を充填した複合樹脂材料と強度物性を比較検討した。加えて自動車用部材として実用化の際に重要な評価項目である衝撃性能、VOC、燃焼性の 3 項目について計測評価を実施した。CNF シートは自動車の構造用パイプなどの材料としてグループ G4 の各機関へ、また RTM (Resin Transfer Molding) 成形材料としてグループ G3 の機関へ提供した。

1.1.1 CNF 材料の調達と提供

(1) 樹脂-CNF 複合マスターバッチの調達とコンパウンド、および各機関への提供

前年度から A 社の PA6-CNF 複合樹脂の量産試作プラントが稼働しており、今年度も前年度に引き続き同社製品 (CNF 含有率 30% のマスターバッチ) を調達した。PP-CNF 複合樹脂については、前年度と同じく CNF 含有率が 50% のマスターバッチを B 社から調達した。コンパウンドについて、PA6-CNF は H 社と U 社、PP については H 社、あるいは提供先の機関が指定する外注コンパウンドメーカーが実施した。図 1.1-1 に平成 31 年度に提供した材料の仕様、調達量、提供先などをまとめた。PA6-CNF を 2,010kg、PP-CNF を 3,100kg (CNF10% 含有率として換算した量) を合わせて参画機関 7 社に提供した。

表 1.1-1 提供した樹脂-CNF ペレットの量と提供先

樹脂-CNF 複合材料	CNF 製造機関	CNF種類	CNF含有率	コンパウンド	H31年度 調達量		提供先 (参画機関)
					CNF量	ペレット量 (CNF10%換算)	
PA6-CNF	A社	アセチル変性CNF (耐熱型)	30%(マスターバッチ) →10,15%	H社 U社	201 kg	2,010 kg	ダイキョーニシカキ、 キョーラク、マケル、 アイシン
PP-CNF	B社	ASA変性CNF (ポリオレフィン用)	50%(マスターバッチ) →5~20%以上	H社 各機関の外注先	310kg	3,100 kg	キョーラク、イノアック、 トヨタ紡織、 ダイキョーニシカキ

(2) CNF シートの提供

CNF シート (A) および CNF シート (B) の 2 種類のシート材料を提供した。CNF シート (A) は電子部品として使用されているマイクロファイブシルセルロースシートであり、自動車ボディの構造用パイプおよびボンネット用 CNF100%ボードとサンドイッチ積層するためのハニカムコアを形成する材料として、それぞれグループ G4 の (株) 昭和丸筒・昭和プロダクツ (株)、利昌工業 (株) へ提供した。CNF シート (B) は、CNF の解繊度を高めると同時に接着剤への含浸性を高めたシートであり、RTM (Resin Transfer Molding) 成形による自動車ボンネットやフロア部材等の材料として、グループ G3 の金沢工業大学に提供した。

1.1.2 CNF 材料の材料定数評価

(1) 平成 31 年度に提供した樹脂 (PP) -CNF 複合材料の強度評価

自動車部材としてニーズが高いのは、ドアトリムやダッシュボードなど内装材に使用されている PP 樹脂である。要求される性能として、曲げ強度、曲げ弾性率に加えて衝撃強度、燃焼性、VOC 発生量などが挙げられる。表 1.1-1 に示した平成 31 年度に提供した PP-CNF 複合材料の曲げ強度、曲げ弾性率、および衝撃強度の評価結果を表 1.1-2 に示す。PP-CNF10% 複合材料の曲げ強度、曲げ弾性率は PP ニート (100%) 樹脂に比べてそれぞれ 16%、42% 向上しているが、衝撃強度はシャルピー強度、アイゾット強度とも一桁低下している。これは使用部位によっては大きな問題となる。NEDO プロジェクト (プロジェクト名: 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発、期間: 平成 25 年 9 月~令和 2 年 2 月) や PP-CNF マスターバッチを製造している B 社を中心に、衝撃強度の大きいブロック PP 樹脂と CNF の複合化により衝撃強度の向上が検討されており、その成果が待たれる。また

表 1.1-2 提供した PP-CNF 材料の強度物性などの評価

材料	CNF製造機関 (マスターバッチ製造)	コンパウンド	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (MPa)	シャルピー衝撃強さ (KJ/m ²)	アイゾット衝撃強さ (KJ/m ²)	燃焼速度 (mm/min.)	燃焼試験適合性 燃焼速度が 102 (mm/min.) 以下
PPニート		H社	52.0	1950	10.6	11.8	49.5	適合
PP-CNF10%	B社	H社	60.4	2780	1.2	1.6	59.8	適合

自動車部材の試験条件に合わせた燃焼試験の結果も表 1.1-2 に示したが、PP-CNF10%の場合、燃焼速度は PP ニートとほぼ同等で自動車部材として問題がないことがわかった。

次に、PP と PP-CNF の VOC 発生量の測定をおこなった。その結果を表 1.1-3 に示す。PP-CNF10%場合、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドが PP ニートにくらべて高めであるが、この値は、マスターバッチ製造時、あるいはコンパウンド時に適当な添加剤を混入することにより、基準値まで下げられるレベルである。B 社において、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドを分解、吸収する添加剤の検討がすすめられておりその効果は確認されている。B 社で VOC を低下する検討が進められている。

表 1.1-3 VOC 発生量測定試験結果

測定成分	ブランク値	VOC発生量 (μg/試験片)	
		PP	PP/CNF10%
ホルムアルデヒド	<0.06	<0.06	0.26
アセトアルデヒド	<0.06	0.1	1.22
トルエン	<0.03	0.03	0.03
キシレン	<0.03	<0.03	<0.03
エチルベンゼン	<0.03	<0.03	<0.03
スチレン	<0.03	<0.03	<0.03
テトラデカン	<0.03	0.41	0.2
フタル酸-n-ブチル	<0.03	<0.06	<0.06
フタル酸ジ2-n-エチルヘキシル	<0.03	<0.06	<0.06

1.1.3 ベンチマーク試験

本検討は市販、試作されている 2 種のセルロース繊維強化材料と 2 種の CNF 強化 CNF 強化材料の合計 4 種の材料についてこれらが自動車材料としての性能を備えているかを参画機関に示し、各部材への適用可能性の選択肢を広げるために実施した。

供試材料について

ここ約3年の間に、製紙メーカー、プラスチックメーカー、コンパウンドメーカーなどが市販、テストサンプル配布、もしくは試作した下記4種類のセルロース繊維、CNFもしくはパルプ強化ポリプロピレン (PP) 材料を入手した。

材料 A: 30wt%CNF 含有マスターバッチ (MB) である。ナノ分散性が高いと言われている。

材料 B: 50wt%セルロース繊維含有 MB である。解繊性、ナノ分散性はそれほど高くないが、実用性のある物性と白色度が高いことを特徴としている。

材料 C: 40wt%セルロース含有 MB である。まだテスト段階の材料であるが、PP-CNF 系材料において長年の生産実績を持つコンパウンダーの材料である。

材料 D: 10wt%CNF 含有材料である。京都プロセスにより生産され、すでに CNF の濃度を 10%に希釈済み材料である。

材料 A~D は原料である植物、分散性、白色度、価格が大きく異なっており、各々特徴を持っている。

材料の調整および試験片成形について

材料 A、B、C に PP ホモポリマー(曲げ弾性率 1970MPa、曲げ強度 53.6MPa、Izod 衝撃強度 1.88kJ/m²) を加え二軸混練機により混合、希釈し、セルロースあるいは CNF の濃度量を 10wt%に調整した。混練条件は、シリンダー温度 180°C、スクリュウ回転数 200rpm とした。材料 D については、既に CNF の濃度が 10wt%であるためそのまま使用した(マトリックスには同じ PP ホモポリマーが使用されている)。これらの 10wt%セルロース、あるいは CNF 強化 PP ペレットを射出成形機によりシリンダー温度 180°Cにて短冊型試験片(幅 10mm、長さ 80mm、厚み 4mm)に加工した。

試験について

射出成形により得られた短冊形試験片について、曲げ試験、Izod 衝撃試験、荷重たわみ温度 (HDT) 試験、線熱膨張係数 (CTE) 試験を実施した。以下に試験条件を示す。

曲げ試験：試験速度 10mm/min、支点間距離 64mm

Izod 衝撃試験：ハンマー容量 2.75J

HDT 試験：速度 2°C/min、負荷応力 0.45MPa

CTE 試験：5°C/min

分散セルロースの観察

材料 A~D について、セルロースあるいは CNF により 10wt%希釈済み PP を熱プレスにより薄膜化し、偏光顕微鏡を用いて観察した。

試験結果および考察

曲げ試験と Izod 衝撃試験：

曲げ試験により得られた曲げ応力-曲げひずみ曲線を図 1.1-1 に示す。材料 A、B、C を CNF 濃度を 10wt%に希釈するのに使用するとともに、材料 D のマトリックスである希釈用 PP は、曲げ試験において破断せず、その曲げ弾性率・曲げ強度・Izod 衝撃強度は各々 1970MPa・53.6MPa・1.88kJ/m² で

あった。10wt%のセルロースあるいはCNFにより強化された材料A~Dでは、材料によって曲げ応力-ひずみ曲線の挙動が大きく異なった。材料AおよびDは、各々大凡5%および6%の曲げひずみにおいて破断したが、材料BおよびCは破断しなかった。破断しなかった材料BおよびCは曲げ弾性率が各々2360、2210MPa、曲げ強度が59.4、52.8MPaであり、希釈ホモPPからの曲げ弾性率の増加率は10~20%、曲げ強度の増加率は10%までであった。それに対して、材料Aは曲げ弾性率が2830MPa、希釈PPからの増加率は44%、曲げ強度は61.7MPa、希釈PPからの増加率は15%と材料BおよびCよりも高い値となった。さらに材料Dは曲げ弾性率、曲げ強度は評価材料の中で最も高く、各々3560MPa、78.7MPa、希釈用PPからの増加率は各々81%および47%であった。Izod 衝撃強度については、希釈用PP、材料A、BおよびCは何れも2kJ/m²未満であったのに対して材料Dのみ3.73kJ/m²となった。

このようにセルロースあるいはCNF添加量を10wt%と同一にしても、製造メーカーが異なることにより大きく曲げ特性および耐衝撃性が異なることが確認された。一般に高弾性率の材料は、耐衝撃性が低くなることが多いが、材料Dは他の材料よりも高剛性、高強度且つ高耐衝撃性を発現した。この要因については、後述の偏光顕微鏡観察により考察する。

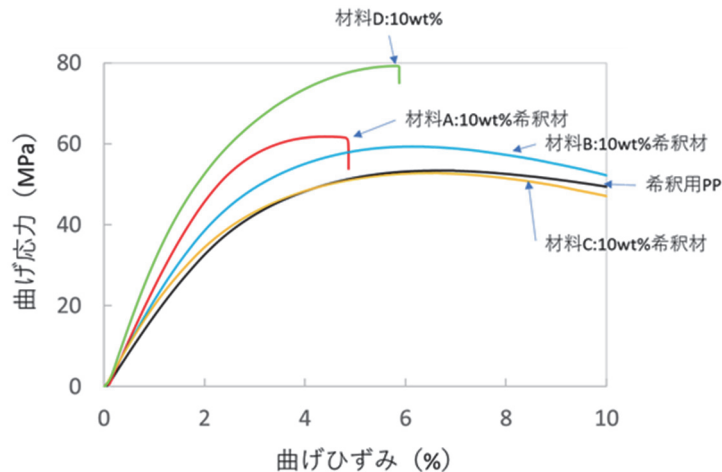


図 1.1.-1 曲げ応力-ひずみ線図

荷重たわみ温度 (HDT) 試験 :

HDT 試験により得られたたわみ-温度線図を図 1.1-2 に示す。何れの材料とも 80℃を超えると急激にたわみ量が増加していた。希釈用 PP についても同様の挙動であることから、マトリックスである PP の特性が 80℃以上以降の急激なたわみ量の増加に影響していると言える。希釈用 PP の HDT は 121℃、材料 A、B および C は 125~127℃であり、セルロースあるいはCNFを10wt%添加しても HDT は 4~6℃しか向上しなかった。それに対して材料 D は 148℃であり、希釈用 PP から 27℃の大きな HDT 向上が得られた。材料 D についても、80℃を超えると大きくたわみ量が増加しているが、その増加が CNF により抑えられていると推察される。材料 D における HDT の向上についても、後述の偏光顕微鏡観察により考察する。

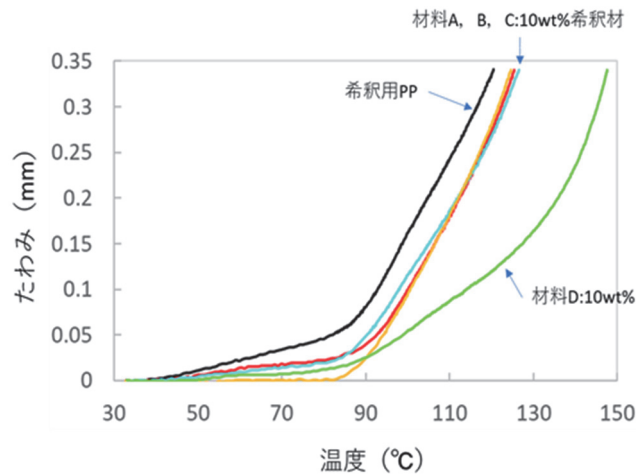


図 1.1.-2 たわみ—温度線図

線熱膨張係数 (CTE) 試験 :

CTE 試験により得られた変位量—温度曲線を図 1.1-3 に示す。この曲線において傾きの小さな材料ほど CTE が小さく優れた材料であることがわかる。CTE を算出した結果、希釈 PP が 82.0ppm/K であった。材料 B および C は、各々 81.1 および 81.8ppm/K であり、希釈 PP と同等であった。それに対して材料 A は、70.2ppm/K であり、明らかな CTE の向上が確認できた。さらに材料 D では 57.9ppm/K まで大きく向上した。この傾向は、図 1.1-1 の曲げ試験結果と全く同様の傾向であった。材料 D における CTE の向上についても、後述の偏光顕微鏡観察により考察する。

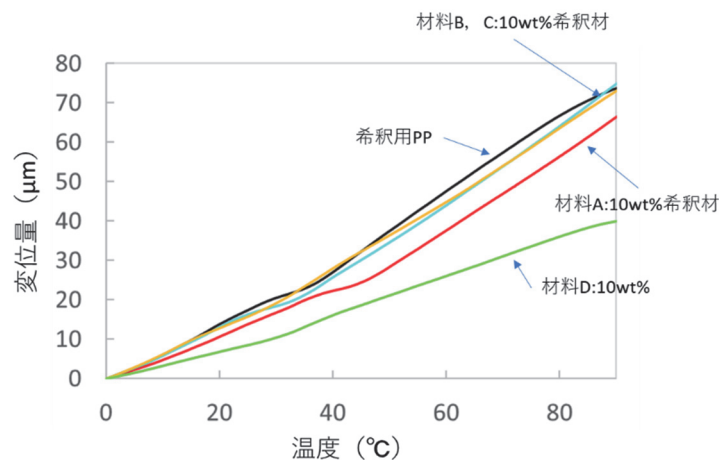


図 1.1.-3 変位量—温度線図

偏光顕微鏡観察 :

図 1.1-4 に偏光顕微鏡観察により得られた観察写真を示す。材料 A~D においてセルロース繊維あるいは CNF の形状および分散状態に大きな差が見られた。繊維長は材料 D が最も大きく、次いで A、B、C の順であった。分散の程度については C が最も分散されており、次いで B、A、D の順であった。セルロースあるいは CNF は混練中に破断しながら分散していくことから、繊維長と分散性は相反する傾向を示している。図 1.1-5 に拡大観察した観察写真を示す。C および D については、数 μm 以上のセルロース繊維ははっきりと白く形状が確認でき、その数 μm 以上のセルロース繊維の間に微

細化されたサブミクロン以下のナノファイバーが存在している。A および B は、直径数 μm 以上の繊維の間には微細化されたサブミクロン以下のナノファイバーは存在していない。図 1.1-4 の低倍率の顕微鏡観察では、D よりも分散されているように見受けられたが、ナノファイバーがほとんど存在していない。C については、ナノファイバーが存在しているが、繊維長が短くなっている。

以上の偏光顕微鏡観察結果と図 1.1-1~1.1-3 までに示した物性との相関を考察する。曲げ特性と CTE 試験結果における材料間の優劣の順位は全く同様であった。繊維長が長い D および A は、B および C よりも優れ、ナノファイバー化が進んでいる D は他の材料よりも優れていた。HDT においても A、B および C は、希釈 PP から数 $^{\circ}\text{C}$ の向上しか得られなかったが、材料 D は 20°C 以上向上し、これも繊維長の長い繊維およびナノファイバーの存在によるものと結論付けられる。

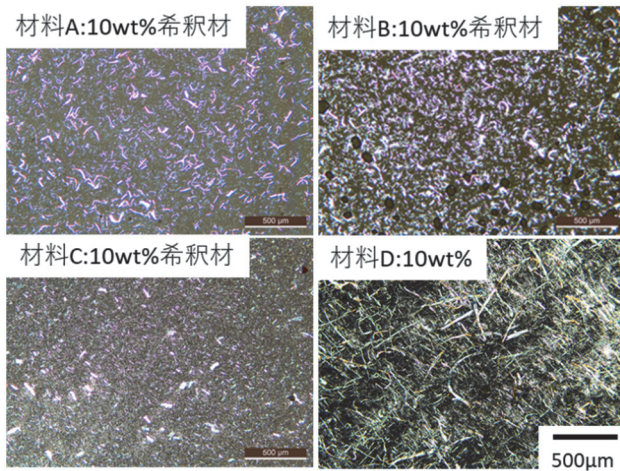


図 1.1.-4 偏光顕微鏡観察写真—低倍率

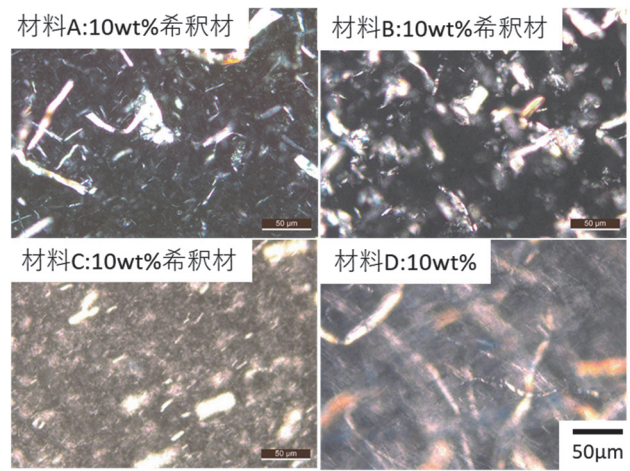


図 1.1.-5 偏光顕微鏡観察写真—高倍率

まとめ：

最終試作車、および自動車用部材に用いるにあたっての最重要な判断基準である曲げ特性、HDT、CTE 試験を行った。その結果、全材料の共通の問題点は、耐衝撃性が不十分であることである。ただ材料 D はその中でも約 $4\text{kJ}/\text{m}^2$ の衝撃強度を発現し且つ曲げ特性、さらに HDT、CTE も高い。よって、PP-CNF 複合材料の選定においては本委託事業で採用してきた製法である京都プロセスに一定の優位性があることを確認した。今後は衝撃吸収剤を添加することにより、耐衝撃性を向上させ、強度・弾性とのバランスを取り、自動車部材への適用の可能性を広げていくことが重要である。なお、本検討の結果は、最終試作車のドアアウター、ドアトリムの作成に反映した (2.8 を参照)。

1.2 自動車部品成形用 CNF 複合材料（ポリアミド系）の組成検討及び材料提供 （宇部興産株式会社）

自動車部品の成型加工に適する CNF 複合樹脂材料（ポリアミド系）の組成について検討を行った。具体的には、共同実施機関であるアイシン精機株式会社からの耐熱性能の向上要求に応じて、耐熱処方検討を行い、自動車部品開発検討（エアークマニホールド）に使用する材料を要求に応じて試作、提供した。また、CNF 複合樹脂材料（ポリアミド系）の材料定数評価の為、その機械物性を汎用エンジニアリングプラスチックと比較した。

1.2.1 自動車部品成形用 CNF 複合材料（ポリアミド系）の組成検討

本検討は、アイシン精機株式会社からの材料の耐熱性能の向上要求に対して行ったものである。検討した材料の組成は、既にアイシン精機株式会社にて試作、評価が進められている PA6-CNF15% をベースとした。PA6-CNF30% マスターバッチ（MB）を事務局より入手し、宇部興産製 PA6 を混合、これに耐熱剤を処方して、宇部興産所有の二軸押出機にて希釈混練し、作製した。耐熱剤処方は、宇部興産でのエアークマニホールド向け材料の処方技術をもとに検討した。

宇部興産にて試験片を成形し、アイシン精機株式会社に提供した。同社にて試験片の耐熱処理を行い、その試験片を用いて ISO527-1 に準拠した引張試験評価を行い、各熱処理時間毎の引張強度の保持率を評価した。なお、耐熱剤処方の効果の確認のため、京都大学にて作製した耐熱処方のない複合材と比較した。図 1.2-1 に結果を示す。

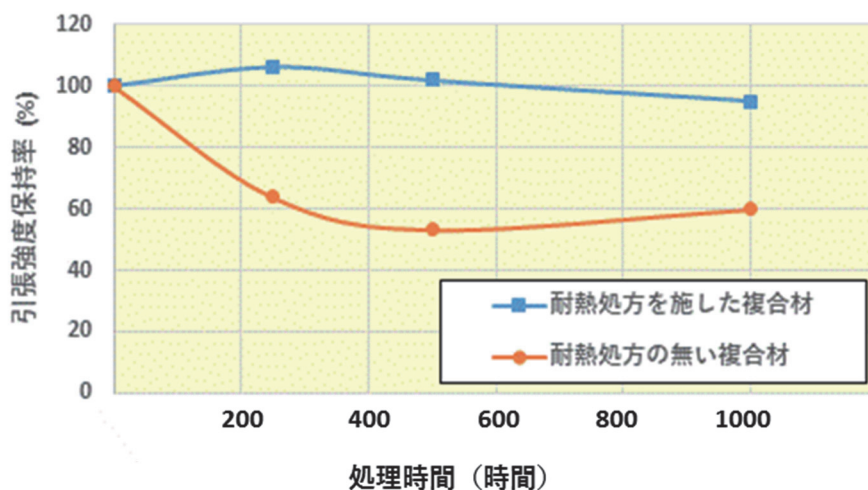


図 1.2-1 PA6-CNF15%複合材の耐熱老化性評価結果(アイシン精機株式会社提供)

検討した耐熱処方を施した複合材は、耐熱処方がないものに比べ、引張強度保持率が大幅に向上した。CNF 複合樹脂材料において、耐熱老化性に対して効果のある耐熱処方を見出すことができた。

1.2.2 自動車部品成形用 CNF 複合材料（ポリアミド系）の材料提供

1.2.2.1 PA6/CNF 複合材料の作製、提供

2019 年 5 月から、アイシン精機株式会社にて自動車部品検討に使用する PA6/CNF 複合樹脂材料を先方からの要求に応じて試作、提供した。表 1.2-1 に、提供材料の時期と提供量を示す。

表 1.2-1 材料提供

No	組成	耐熱処方	試作日	Lot	提供量(kg)
1	PA6/CNF15%	有り	2019 年 5 月	G29501X	100
2			2019 年 6 月	G29708X	100
3			2019 年 8 月	G29801X	150
4			2019 年 10 月	G29X01X	150
5			2019 年 12 月	G29Z04X	150

1.2.2.2 自動車部品成形用 CNF 複合材料（ポリアミド系）の物性評価

製造、提供した材料の機械物性評価(引張強さ、引張破壊ひずみ、曲げ強さ、曲げ弾性率、シャルピー衝撃強度)を行った。規格は全て ISO に準拠した。結果を表 1.2-2 に示す。ロット間の物性のばらつきは少なく、安定した材料供給ができた。

表 1.2-2 提供材料の機械物性

Lot	引張強さ	引張破壊	曲げ強さ	曲げ弾性	シャルピー衝撃強度(KJ/m ²)	
	(MPa)	ひずみ(%)	(MPa)	率(MPa)	ノッチ有	ノッチ無
	ISO 527		ISO 178		ISO 179	
G29501X	101	3.6	149	4660	2.2	42
G29708X	105	3.3	158	4800	2.3	42
G29801X	105	2.9	157	4860	2.6	42
G29X01X	106	3.0	157	4860	2.6	42
G29Z04X	105	2.8	157	4830	2.3	41

1.2.2.3 自動車部品成形用 CNF 複合材料（ポリアミド系）と汎用エンジニアリングプラスチックの物性比較

CNF 複合樹脂材料（ポリアミド系）を宇部興産にて試験片を成形し、機械物性を測定した。密度を考慮した比強度と比弾性率の関係、および衝撃強度を密度に対してプロットしたグラフを図 1.2-2 に示す。いずれの値もナイロン 6 の値を 100 とした場合の数値で示した。同様に各種汎用エンジニアリングプラスチックの値を算出して比較した。

PA6/CNF15%の比強度と比弾性率の関係は、他のエンジニアリングプラスチックと同様であった。

また、耐衝撃性は他のエンジニアリングプラスチックと比べて低い水準であった。PA6/CNF15%の比強度と比弾性率の関係は、他のエンジニアリングプラスチックと同様であった。また、耐衝撃性は他のエンジニアリングプラスチックと比べて低い水準であった。更なる物性向上のためには、原料パルプやマスターバッチからの研究開発が必要となる。具体的には、混練にてパルプがより解繊し易くなるように原料パルプを改良すること、混練技術の開発によりパルプを更に解繊させ、その CNF の分散性を向上させることなどがあげられる。また、樹脂との複合化の最適処方を検討することも必要と考えられる。

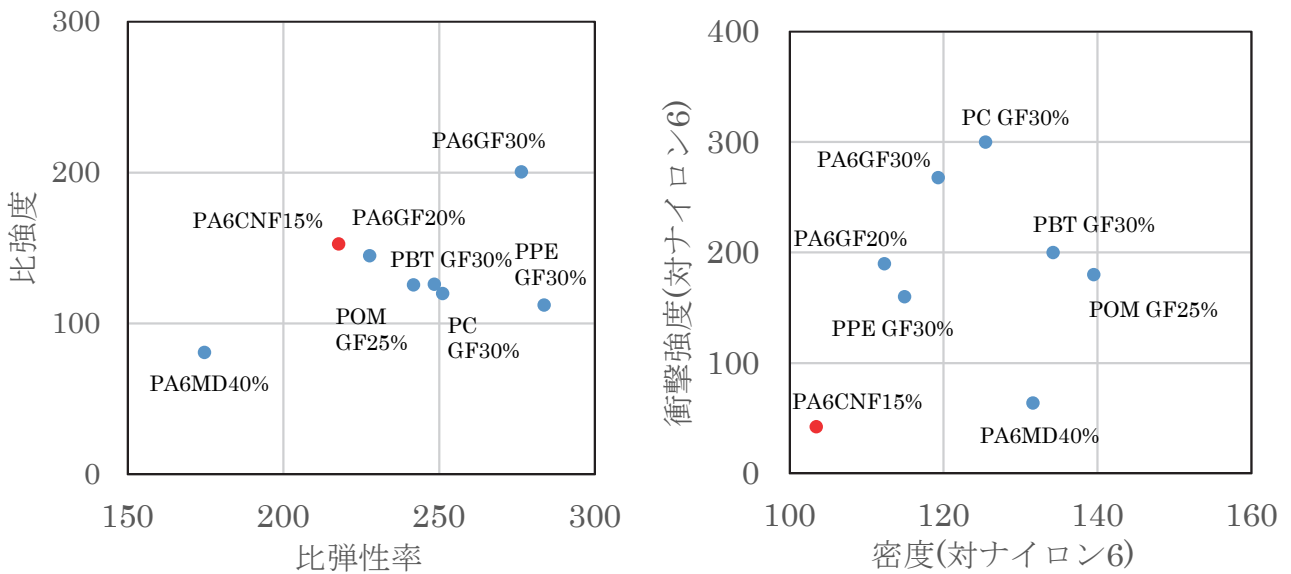


図 1.2-2 自動車部品成形用 CNF 複合材料(ポリアミド系)と汎用エンジニアリングプラスチックの物性

(PBT=ポリブチレンテレフタレート樹脂、PPE=ポリフェテレンエーテル樹脂、
 PC=ポリカーボネート樹脂、POM=ポリアセタール樹脂、
 GF=ガラス繊維、MD=モーダル繊維 (レーヨンの一種))

第2章 CNF 材料の成形加工性評価及び部品・部材の性能評価

2.1 CNF 材料の成形加工性の評価（京都大学、（地独）京都市産業技術研究所）

2.1.1 CNF 材料の成形加工性の評価

CNF/熱可塑性樹脂材料の発泡成形性の評価：気泡が微細で、未発泡体よりも高い比弾性率・比強度が得られる成形条件を見出すことが狙いである。

京都プロセス材料 CNF/PP を用いて平板形状での発泡射出成形検討を行った。発泡剤は窒素ガスを用いて 90mm×90mm の平板状に成形した。板厚は初期厚 2mm で射出を行い、コアバック発泡により厚みを増加させて密度を低下させた。CNF 含有率は 10wt% を上限に検討した。2 倍発泡体の断面気泡構造を図 2.1-1 に示す。

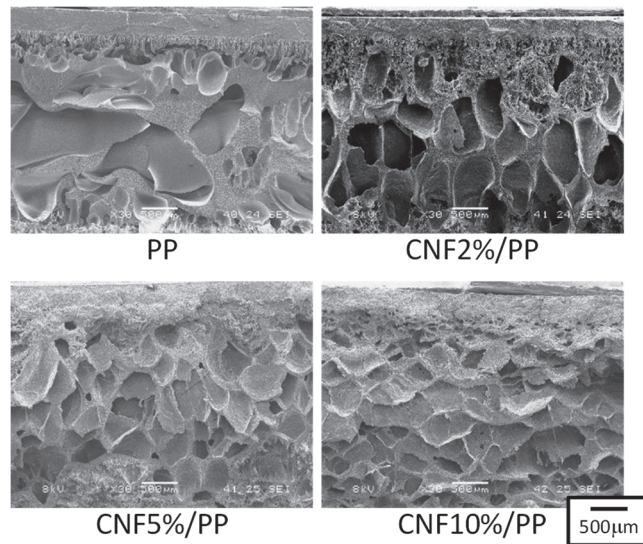


図 2.1-1 京都プロセス CNF/PP のラボスケール発泡射出成形体の断面気泡構造

CNF の含有率を増加させると、同発泡倍率の発泡体における気泡は微細・均一化した。PP-CNF10wt% において $\phi 100\sim 500\mu\text{m}$ 程度の気泡を有していることが分かった。また、3 点曲げ試験の結果を図 2.1-2 に示す。ここで比曲げ弾性率、比曲げ強度は同じ重量あたりの弾性率、強度の大きさを示す。

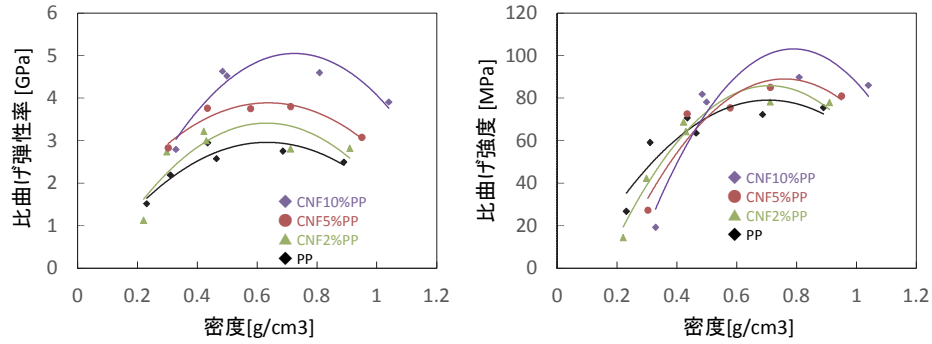


図 2.1-2 京都プロセス CNF/PP のラボスケール発泡射出成形体の 3 点曲げ試験結果

図 2.1-2 の近似曲線から判断すると、CNF の含有率にかかわらず、密度 0.4g/cm^3 以上で未発泡体よりも高い比曲げ弾性率を示すが、密度 0.6g/cm^3 以上で未発泡体よりも高い比曲げ強度が得られることが分かった。この範囲であれば発泡により厚みは増加するものの同じ重量で高い特性が得られる。

また PP-CNF10%発泡体及び PP ソリッドの 3 点曲げ試験及びデュポン式衝撃試験の結果を表 2.1-1 に示す。ここで、デュポン式衝撃試験は 1/2 インチの撃ち型及び受け台を使用し 300g のおもりを落として亀裂が入る高さを測定した。また、各試料の耐衝撃エネルギーの値を (重さ) × (重力加速度) × (高さ) により計算した。PP-CNF10%発泡体は PP ソリッドに比べて、耐衝撃性は低下するものの、約半分の密度で同じ曲げ弾性率を有することから、剛性を維持しつつ大幅な部材の軽量化が期待される。

表 2.1-1 京都プロセス CNF10%/PP 発泡体の 3 点曲げ試験及びデュポン衝撃試験結果

材料	成形方法	密度 [g/cm ³]	3点曲げ試験				デュポン衝撃 (300g)	
			弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	比弾性率 [GPa]	比強度 [MPa]	[mm]	[J]
PP	ソリッド	0.90	2.2	67.2	2.5	74.7	100	0.3
CNF10%/PP	コアバック発泡	0.50	2.3	39.0	4.5	78.2	50	0.1

2.1.2 G2【成形加工評価】 各社による CNF 材料成形品の評価-各社の成形品性能向上

G2 グループの企業が試作した大型部材の評価を行った。PP-CNF10%材料のコアバック発泡射出成形により製造された約 $1150\text{mm} \times 250\text{mm}$ の部材となる。部材の断面気泡構造を図 2.1-3 に示す。MD、TD 方向 (MD は、樹脂の流れ方向、TD は樹脂の流れと直角の方向) とともに $100 \sim 500\mu\text{m}$ 程度の気泡が確認され、ラボスケールと同等の気泡状態が確認できた。

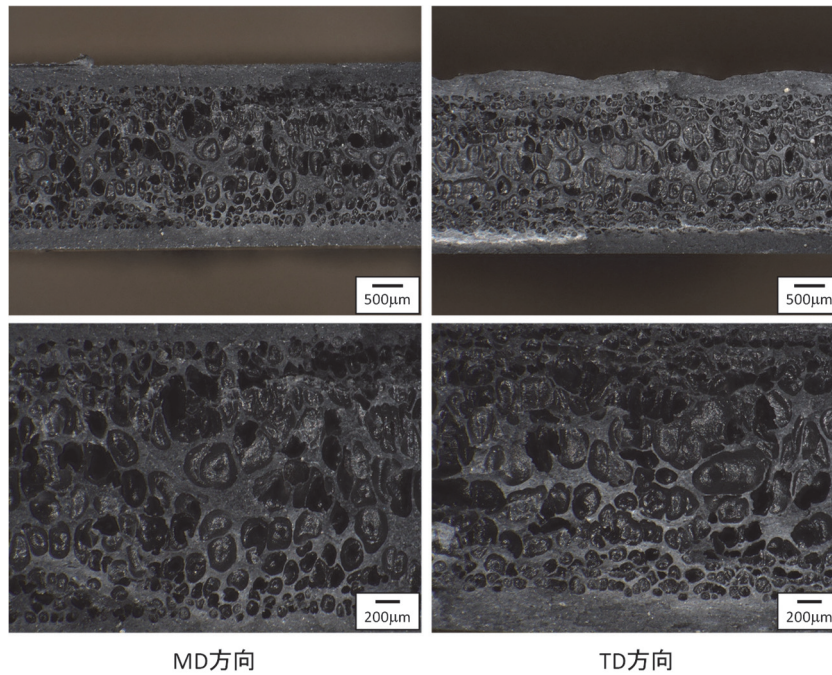


図 2.1-3 CNF10%/PP 発泡射出成形大型部材の断面気泡構造

MD 及び TD 方向の 3 点曲げ試験及びデュポン式衝撃試験の結果を表 2.1-2 に示す。ここでデュポン式衝撃試験については、300g のおもりでは最大高さ（1000mm）でもサンプルが破壊されなかったため、1kg のおもりを使用した。①のラボスケールでの結果（表 2.1-1）と比較すると、曲げ弾性率・曲げ強度は低いものの、デュポン衝撃試験におけるエネルギーは大幅に上昇しており、自動車部材に要求される特性を反映した材料・構造設計となっていることが分かる。

表 2.1-2 CNF10%PP 発泡射出成形大型部材 3 点曲げ試験及びデュポン衝撃試験結果

方向	密度 [g/cm ³]	3点曲げ試験				デュポン衝撃 (1kg)	
		弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	比弾性率 [GPa]	比強度 [MPa]	[mm]	[J]
MD	0.66	1.4	21.7	2.1	33.1	550	5.4
TD	0.67	1.1	18.6	1.6	27.7		

2.1.3 市販 CNF 複合材料使用製品の評価

CNF 複合材料発泡体が使用されている製品 2 種類の評価を行った。各々の製品から異なる部位の発泡体 2 種類ずつを採取し Ft-IR を用いて化学構造の測定を行った結果を図 2.1-4 に示す。

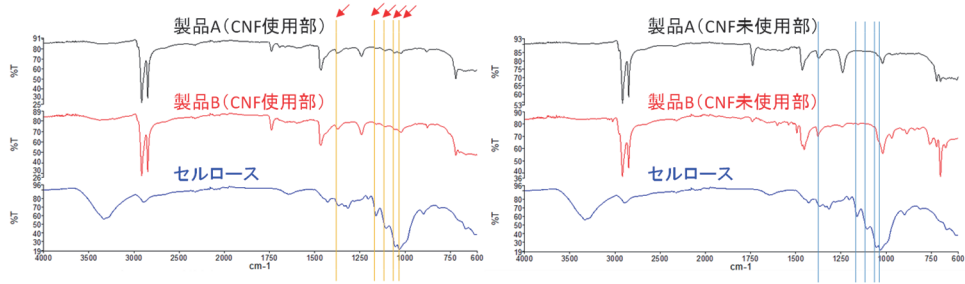


図 2.1-4 CNF 複合材料使用製品に用いられている発泡体の Ft-IR

Ft-IR の結果から、製品の一部にセルロースを使用していることが示唆される。Ft-IR レベルでは製品 A と製品 B とで含有量に顕著な差は見られない。各種発泡部材の断面気泡構造を図 2.1-5 に示す。

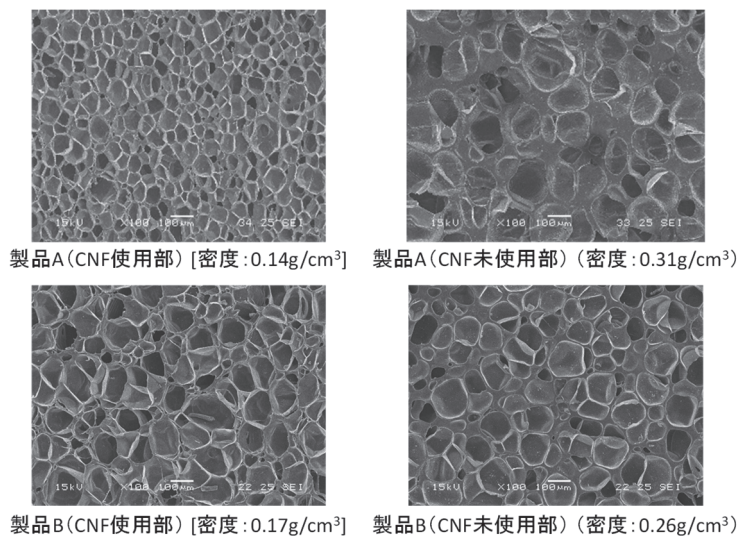


図 2.1-5 CNF 複合材料使用製品に用いられている発泡体の断面気泡構造

CNF 使用部と未使用部のベース材料が異なる可能性があるため一概には言えないが、CNF 使用部は低密度ながら微細な気泡が得られている。繊維は気泡内部に露出することなく、微細で気泡壁と一体化していることが示唆される。

圧縮試験の結果を図 2.1-6 に示す。軟質発泡体として一般的な EVA フォーム（密度 0.1g/cm^3 ）の結果も比較のため併せて示す。初期厚みの 50% 厚みまで 10mm/min で圧縮してから同じ速度で初期厚みまで戻すまでの荷重を測定した。CNF を含有している発泡体は低密度であるが、応力の立ち上がり大きい。製品 B の方が全体的に圧縮応力の高い発泡体を使用されている。

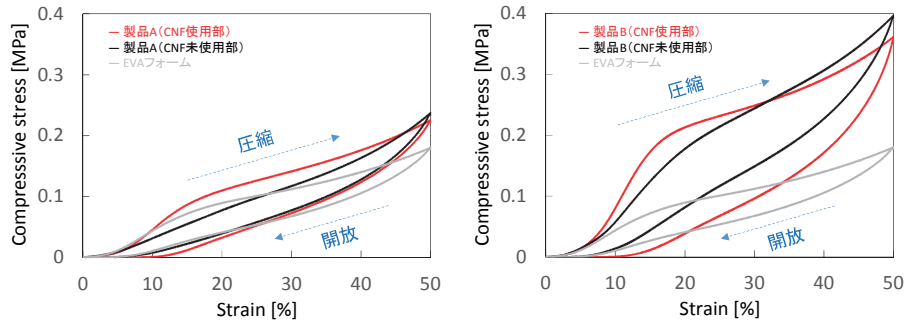


図 2.1-6 CNF 複合材料使用製品に用いられている発泡体の圧縮試験結果

続いて圧縮疲労試験の結果を図 2.1-7 に示す。0.05±0.0125MPa の応力を 50Hz で負荷した際の応答から、サイクル数に対する貯蔵弾性率 E' 、 $\tan\delta$ 、へたりにを計算した。ここでへたりは、サイクル 200 時の厚みに対する厚みの減少割合とした。

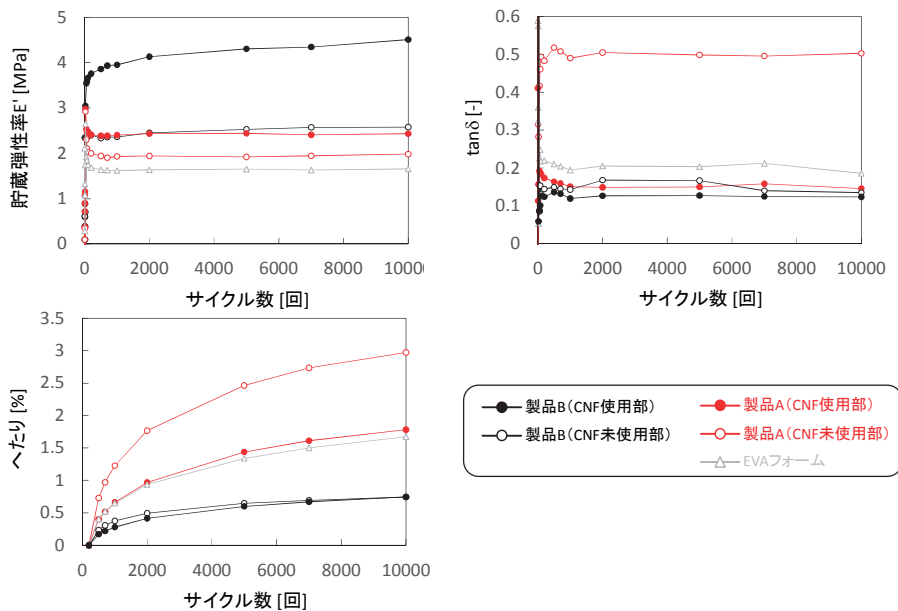


図 2.1-7 CNF 複合材料使用製品に用いられている発泡体の圧縮疲労試験結果

製品 A、B いずれも CNF 使用部は、EVA フォームと比較すると、高弾性率、低 $\tan\delta$ (高反発) になっていることが分かる。その傾向は製品 B の方がより顕著である。また、製品 B に関しては、へたりに関しても製品 A や EVA フォームよりも耐久性が高くなっていることが分かる。この結果を踏まえ、CNF 複合材料発泡体の自動車材料への展開の可能性については、

- ・へたり強い軟質材料を活かしたウェザーストリップへの適用
- ・軽量・高剛性な微細発泡体が高剛性を活かしての各種芯材として利用などが期待される。

2.1.4 3次元造形用樹脂-CNF 材料と造形

前年度の調査・検討により、種々の3次元造形法のうち自動車用部材用3次元造形法として粉末床溶融結合法が最適であり、材料として樹脂 - CNF 複合粉体材料を使用することにより、軽量高強度の部材が成形可能であることがわかった。

① 3次元造形用粉体材料、および造形のプロセス

表 2.1.3 に PA6-CNF 複合粉体材料の製造および造形プロセスを示す。PA6-CNF30%のマスターバッチを用いて希釈・コンパウンドを行うことにより、所定の CNF 含有率を有するペレットを製造する。そのペレットを冷凍粉碎することにより粉体材料を製造する。微粒子 (38 μ m以下) の篩分級による除去は非常に手間のかかるプロセスであるが、成形品質のばらつきを抑えるため一般的に行われている。しかし PA6-CNF 複合粉体材料については、微粒子除去プロセスを実施しない場合でも、ばらつきの少ない成形体が製造可能であることがわかった。

表 2.1.3 PA6-CNF 複合粉体材料の製造および造形プロセス



② 複合粉体材料の平均粒径

粉末床溶融結合法は粉体層の形成とレーザー照射の繰り返しにより造形する方法である。今回の試作では、積層する粉体層の層厚は150 μ mとしたが、この場合、平均粒径は約55~65 μ mが最適である。今回、使用した各粉体材料の平均粒径は58~61 μ mの範囲にあった。

③ 成形体の機械特性の評価

図 2.1-8 に 3次元造形で試作した成形体の曲げ弾性率、曲げ強度を示す。CNFの含有率が5%の時、物性値は最大となり、それぞれ2.73GPa、90.6MPaの値となった。この物性値はPA6の射出成形品とほぼ同等の値であり、自動車用部材として強度的に問題ないといえる。

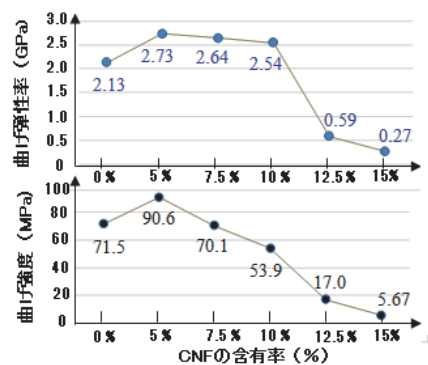


図 2.1-8 3次元造形体の機械特性

④ 自動車部材の3次元造形

バンパーフィン (図 2.1-9 参照) とホイールフィン (図 2.1-10 参照) の2種類の部品をPA6-CNF複合粉体材料を用いて3次元造形により製作し、試作車に組み込んだ。両部品は強度、寸法精度とも実用的に問題がなかった。塗装についても従来の自動車部品の仕様が適用できることがわかった。

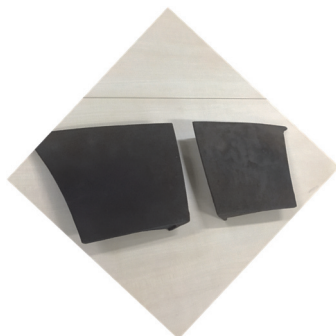
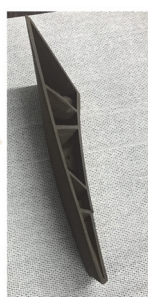


図 2.1-9 バンパーフィン



3次元
造形部品
(塗装済み)

図 2-1-10 ホイールフィン

2.2 発泡射出成形法における CNF 材料（ポリアミド系及びポリプロピレン系）の成形加工性の評価及び自動車部品の試作検討（ダイキョーニシカワ株式会社）

前年度まで、同プロジェクトにて樹脂補強フィラーであるガラス繊維、タルク、CNF の添加率を変えた場合の基礎物性、フィラーの配向性、表面粗さを比較評価した結果、CNF はガラス繊維同等以上の補強効果、および良好な表面平滑性を発現することが分かった。又、PP-CNF 材を材料とした発泡成形性の検討の結果で、CNF の核剤及び増粘効果により発泡セルが微細化することが分かった。

今年度は、自動車部品への実装に向けて、インストルメントパネル（インパネ）への適用性の検討として、高温物性、線熱膨張係数、熱変形温度、長期耐熱・耐湿評価を実施し、従来材同等の性能を確認した。

又、PP-CNF 材は従来のインパネ材に対して、比剛性の向上により比重、板厚を低減でき目標としていた 15% の軽量化を達成した。

2.2.1 PP-CNF の高温物性評価

高温時の物性比較として、PP-CNF 材と PP-タルク材の高温（80℃）の曲げ弾性率、曲げ強度の評価を実施した。試験片については、ベース PP（ホモ）に対して、フィラー添加率を変えて試作した。

高温時の曲げ弾性率、曲げ強度の測定結果を図 2.2-1、図 2.2-2 に示す。

同比重で PP-タルク材に対して、PP-CNF 材は高温時の曲げ弾性率、曲げ強度が高く、タルクより補強効果が高いことが明らかになった。

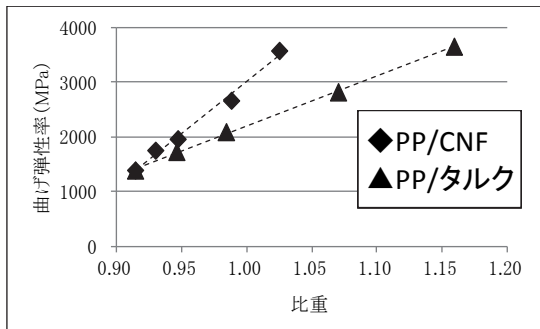


図 2.2-1 曲げ弾性率(80℃)

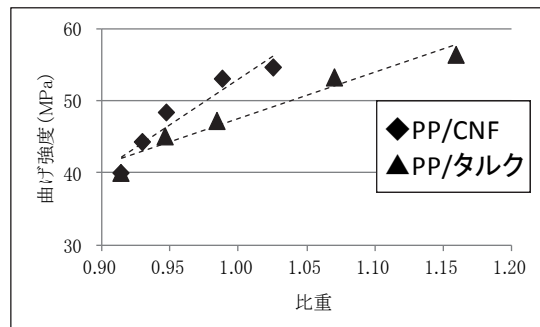


図 2.2-2 曲げ強度(80℃)

2.2.2 線熱膨張係数、熱変形温度の評価

ベース PP（ホモ）に対して、CNF とタルクで補強した PP 複合材の線熱膨張係数を評価した。

図 2.2-3 に示す通り、PP-CNF 材は、PP-タルク材に対して線熱膨張係数が小さいことが分かった。

又、耐熱性の評価として、熱変形温度を評価した。変形温度の評価結果を図 2.2-4 で示し、PP-CNF 材は変形温度が高く、熱による変形を抑えることが分かった。

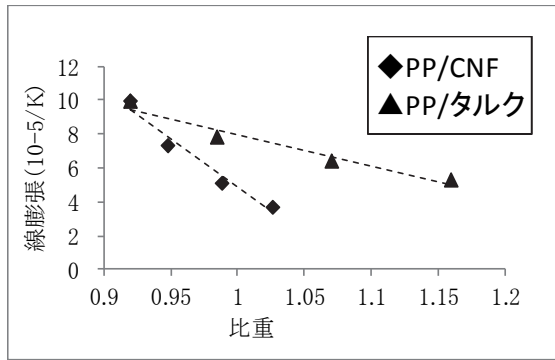


図 2.2-3 線熱膨張係数

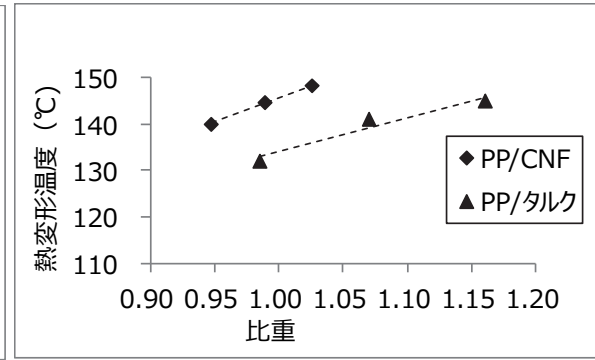


図 2.2-4 熱変形温度

2.2.3 インstrumentパネル (インパネ) コアの成形品作製

大型成形品の自動車への実装化、および展示会向けのサンプルの製作の成形性、部品スペック評価を行い、続いてインパネの開発型を用いて成形トライを実施した。図 2.2-5 にインパネ成形品の写真を示す。

従来のインパネ材 (PP-タルク) に対して、流動性、成形性、外観 (ウェルドライン、バリ) に関して同等以上で問題なく、射出成形可能であることが分かった。軽量化検討結果を図 2.2-6 に示した。従来のインパネ材に対して、剛性の増加による比重と板厚低減で 16%の軽量化を達成した。今後、発泡成形を検討することにより、さらなる軽量化が可能であることが分かった。



図 2.2-5 インパネコアの写真

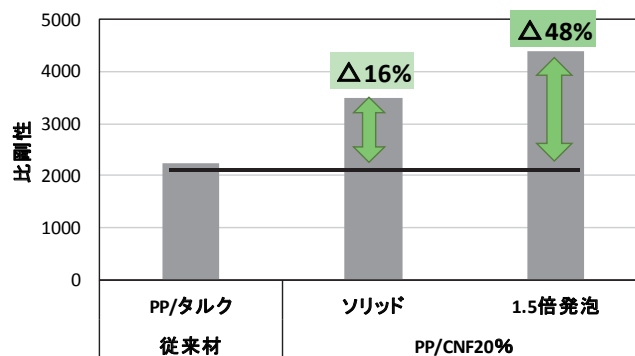


図 2.2-6 インパネの軽量化

2.2.4 長期耐熱評価 (90°C 1000Hr)

PP-CNF 材のインパネへの適性評価として、PP/タルク材と長期耐熱評価を実施した。90±1°Cの条件に調整した恒温槽に試験片を設置した。200Hr 毎に取り出し、標準状態 (23°C、RH50%) で 1Hr 放置後、物性評価を実施した。耐熱時間と曲げ弾性率、Izod 衝撃評価結果を図 2.2-7、図 2.2-8 に示す。

耐熱時間とともに、曲げ弾性率はやや増加し、Izod 衝撃は低下しないことが明らかになった。

長期耐熱評価にて、PP-CNF 材は問題がないことを確認した。

しかし、従来のインパネ材に対して PP-CNF 材は、Izod 衝撃が低く、耐衝撃性の改良が必要である。

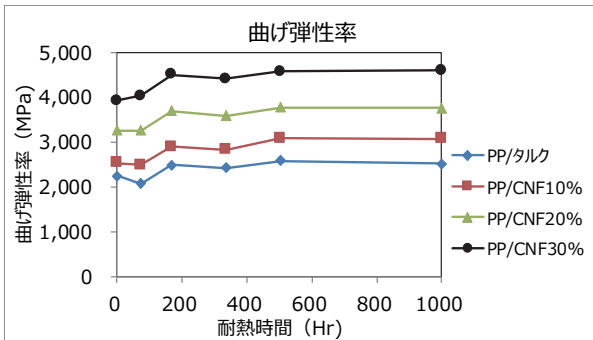


図 2.2-7 耐熱時間と曲げ弾性率

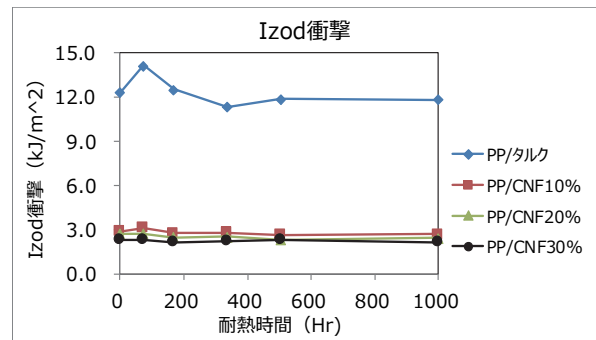


図 2.2-8 耐熱時間と Izod 衝撃

2.2.5 長期耐湿評価 (80°C 湿度 95% 1000Hr)

インパネ適性評価として、長期耐湿評価による吸水率、物性評価を実施した。図 2.2-9 に耐湿試験と吸水率を示す通り、PP-タルクに対して PP/CNF は耐湿時間とともに吸水率が増加し、セルロース添加量の増加とともに増加する傾向である。

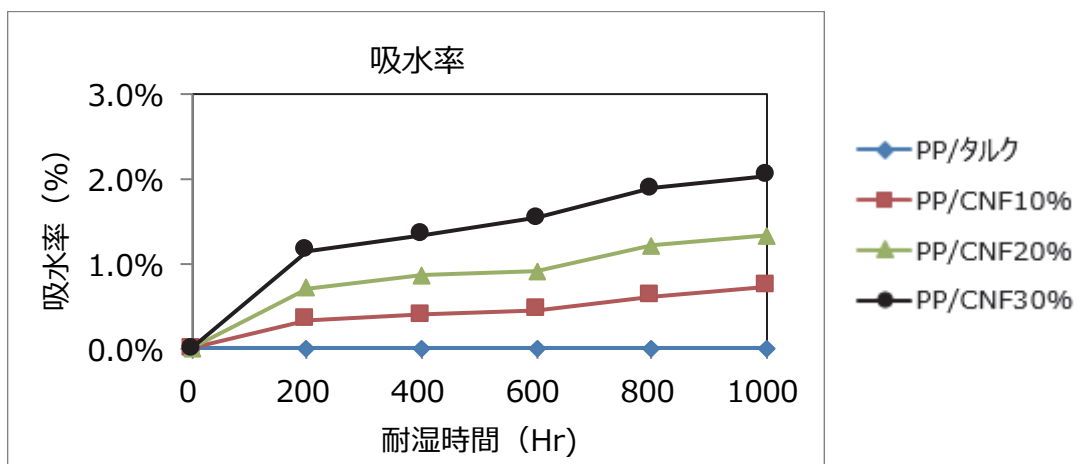


図 2.2-9 耐湿時間と吸水率

耐湿後の 200Hr 毎に、試験片を取り出し曲げ弾性率、Izod 衝撃の評価を実施した。

長期耐湿後の曲げ弾性率、Izod 衝撃結果を図 2.2-10、2.2-11 に示す。曲げ弾性率は、耐湿時間の増

加とともに低下し、CNF 添加量の増加とともに低下は大きい。Izod 衝撃は、長期耐湿環境下でも物性が低下しないことが分かった。

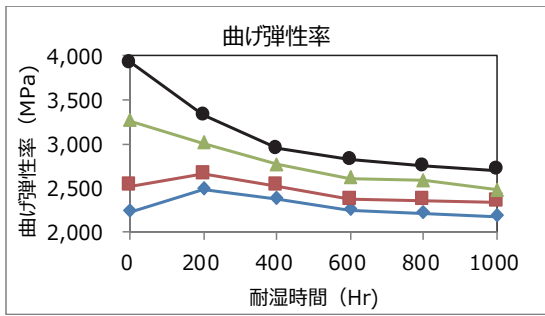


図 2.2-10 耐湿時間と曲げ弾性率

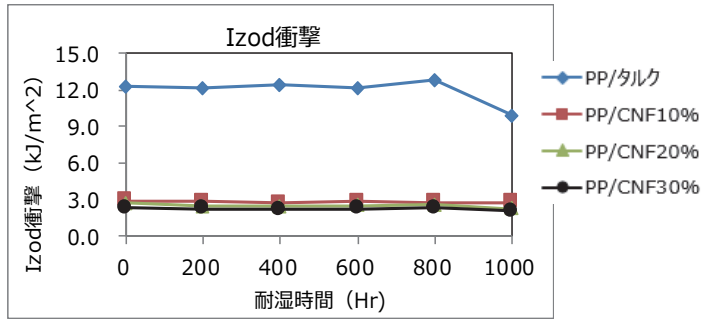


図 2.2-11 耐湿時間と Izod 衝撃

物性低下の要因として、PP 樹脂の熱劣化により分子量の低下が生じることが考えられる。これを確認するため GPC による分子量測定を実施した。分子量測定結果を図 2.2-12 に示す。耐湿時間とともに PP の分子量低下は無く、PP 樹脂の劣化に起因する曲げ弾性率の低下は生じないことがわかった。

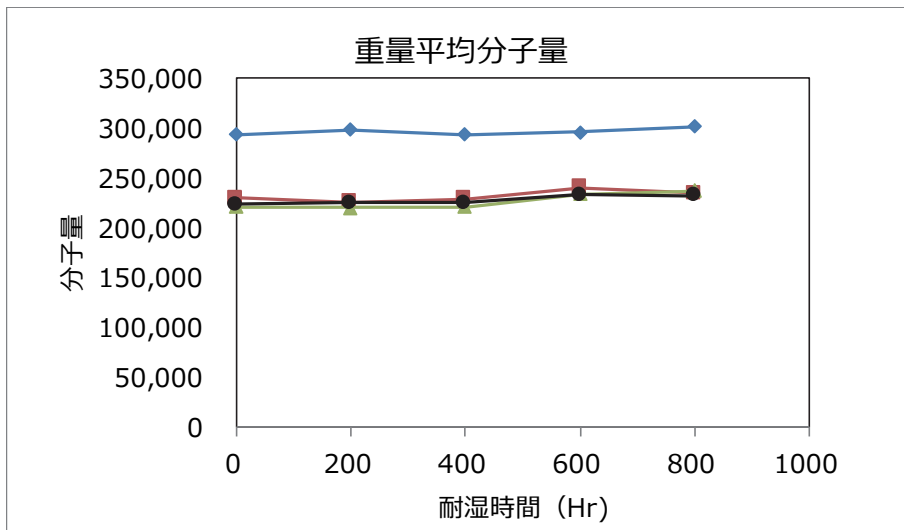


図 2.2-12 耐湿時間と分子量

2.3 発泡射出成形法における CNF 材料（ポリプロピレン系）の成形加工性の評価、自動車部品の試作検討、及び内装表皮材への CNF の添加・性能確認（株式会社イノアックコーポレーション）

昨年度までは、トヨタ 86 の C ピラーを基にした小物部品での CNF の添加・性能確認を行ってきた。本年度は、大物部品である最終試作車用内装部品のパケトレフロントカバー形状で成形性を確認し、得られた成形品で性能評価を行い、CNF の内装トリムへの展開について検討した。

内装表皮材として要求される一般物性については、引張強度や熔融張力等が向上することは既に確認済みである。本年度は、車両内装部品として求められる性能についての追加評価を実施した。

2.3.1 最終試作車用パケトレフロントカバーの成形確認

パケトレフロントカバー（図 2.3-1）で発泡射出成形を実施し、CNF10%の添加有無で成形品の外観に差異は無く、成形条件についても変更なく成形ができた。また、発泡状態（図 2.3-2）については、CNF10%添加品のほうが発泡セルの状態が細かく、製品端末部ほど発泡状態の差が顕著にみられた。これは CNF が発泡の際の核となり細やかな泡が生じやすく、破泡しにくい為と考えられる。

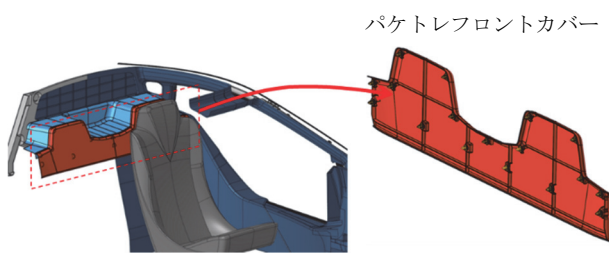


図 2.3-1 パケトレフロントカバーイメージ

	製品一般部	製品端末部
PP		
PP/CNF 10%		

図 2.3-2 発泡状態

2.3.2 パケトレフロントカバー製品中の CNF 分散性確認

製品の物性へ大きく影響する CNF の分散状態について、CNF10%添加したサンプルにて X 線 CT 測定で製品のスキン層および内部発泡層について分散性を確認した。製品中には数 $10 \mu\text{m}^3$ 程度の CNF が多く検出された（50%以上）。下図表 2.3-1 にスキン層と発泡層の分散測定範囲と CNF の体積を示す。

測定範囲中 $10 \mu\text{m}^3$ 以上の大きさの CNF 体積比はスキン層が 8.15%、発泡層が 3.98%であり、添加量（10%）に対して発泡層では CNF 体積比が低い値になった。確認できた CNF 以外はナノサイズとして存在していると推定される。

製品中には CNF 添加量の 5 割以上が $10 \mu\text{m}^3$ で存在しているため、製品の収縮の異方性や耐衝撃値へ影響していると考えられる。

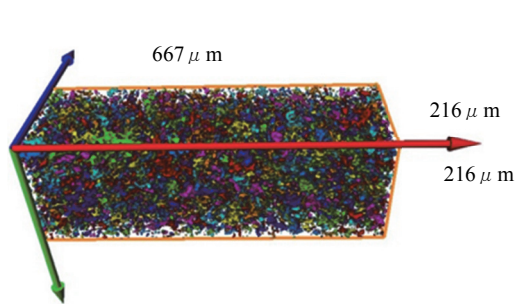


図 2.3-3 スキン層_測定範囲

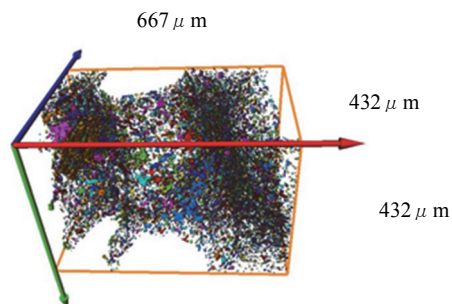


図 2.3-4 発泡層_測定範囲

表 2.3-1 測定範囲中の CNF 体積

	スキン層	発泡層
CNF 体積中央値[μm^3]	40.47	32.91
最大体積[μm^3]	19483.5	26276.3
最小体積[μm^3]	10.08	10.08
標本数	13868	18763

*最小体積 $10.08 \mu\text{mm}^3$ は測定限界

2.3.3 パケトレフロントカバーの性能試験結果

・ 燃焼性試験

下図に初期及び加熱老化後の燃焼性試験結果を示す。

初期・加熱老化ともに基準を満足した。

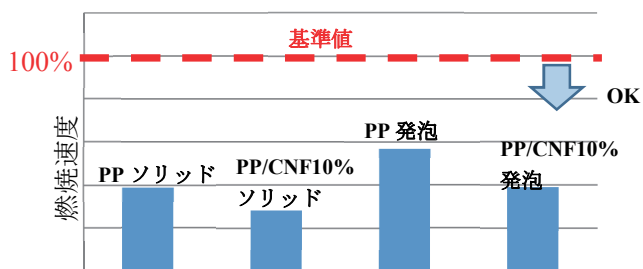


図 2.3-5 燃焼性試験 初期

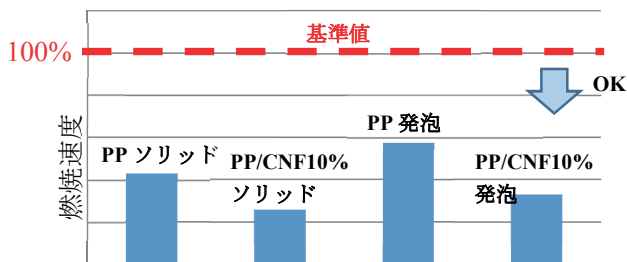


図 2.3-6 燃焼性試験 加熱老化

・ 落錘衝撃試験 (-30°C)

下図 2.3-7 に-30°Cで実施した落錘衝撃試験結果を示す。

CNFを添加することで耐衝撃性は低下するが、ベースPPに耐衝撃性の高いものを選定することで、製品として使用可能なレベルにすることができた。PPソリッドとPP発泡の測定結果は、測定限界値の為に同じ値となっている。

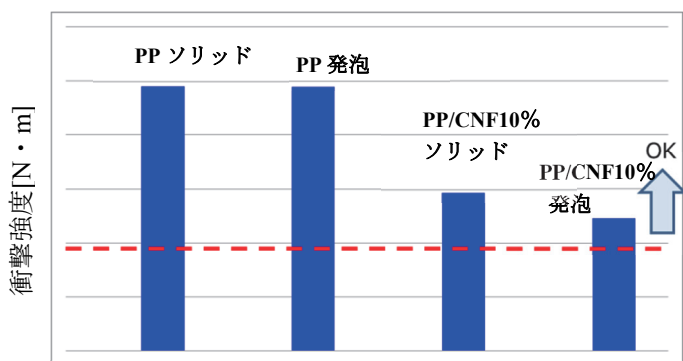


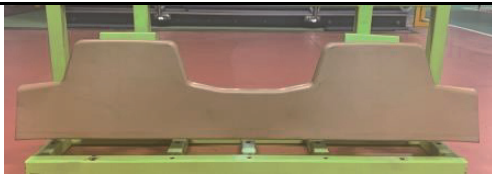

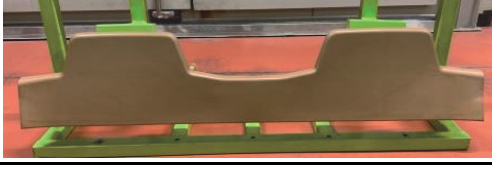
図 2.3-7 落錘衝撃試験結果

・耐久試験

内装トリムで一般的に実施される耐久試験結果を下記に示す。

各試験後外観に白化、割れ等の異常は認められなかった。

表 2.3-2 耐久試験結果

評価サンプルの仕様	PP/CNF10% 発樹脂射出完了後コアバックして厚みを t1.5⇒2.5mm に変化		判定
振動試験 -30℃	試験後 外観		白化、割れ等 外観異常なし 合格
冷熱繰り返し試験 25℃-80℃	試験後 外観		白化、割れ等 外観異常なし 合格
耐熱試験 80℃	試験後 外観		白化、割れ等 外観異常なし 合格

2.3.4 樹脂添加型抑制剤による VOC 対策 検討結果

H30 年度の懸念点として挙げた抑制剤の塗り跡残り対策として、樹脂添加型抑制剤の検討を行った。

H30 年度に使用したアミン系抑制剤と新たに二酸化ケイ素系抑制剤をそれぞれ樹脂中に練り込んだマスターバッチを作製して、CNF10%入り PP 樹脂に添加し、評価用サンプルを作製した。作製したサンプルの VOC 量を測定したが、マスターバッチ添加有無での VOC 発生量の差はなく、VOC (特にアセトアルデヒド) 低減効果は検証できなかった。これは、抑制剤が樹脂中に埋もれ、表面から発生する VOC に対しては効果がないと考えられる。

樹脂添加型抑制剤を使用することで外観上の問題は解決するが、VOC 低減効果は得られなかった。

2.3.5 内装表皮材性能確認

・性能試験結果

内装表皮材で一般的に実施される性能試験結果を下記に示す。

ガラス霞試験で付着物があり合格判定とはならなかった。付着物はカルボン酸、炭化水素の複合物であり、CNF MB 中の添加材、処理剤の含有成分と推定され、材料での対策が必要である。

表 2.3-3 表皮材料 性能試験結果

評価項目	ブルーム性	ガラス霞度	におい	燃焼性	耐油性	耐油脂汚染性	加熱収縮率
TPO	○	○	○	○	○	○	○
TPO/CNF10%	○	×	○	○	○	○	○

・内装表皮材中の CNF 分散性確認

表皮材でもパケトレフロントカバー同様に TPO/CNF10%の分散性の確認を X 線 CT で確認した。

パケトレよりも凝集した CNF が多くみられたため、分散性は PP よりも低い結果であった。

分散性向上のため、押し出しの際の練り工程の改良、あるいは表皮加工前の原料で事前混練りが必要である。

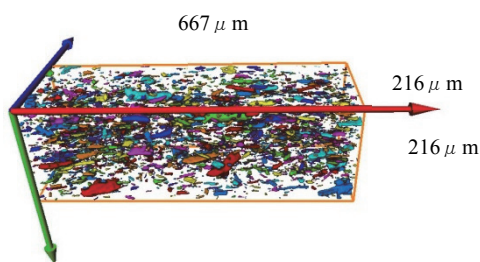


図 2.3-8 表皮材_測定範囲

表 2-3-4 測定範囲中の CNF 体積

	表皮材
CNF 体積中央値[μm^3]	39.05
最大体積[μm^3]	40646.5
最小体積[μm^3]	10.08
標本数	3386

2.3.6 令和元年度成果まとめ

・大物内装部品としての見込み

課題であった衝撃強度については、ベース PP での強化によりパケトレフロントカバーとしての一般的な要求値は達成できた。残課題としては、VOC の発生量がある。低減対策としては、H30 年度で検証した「後工程での抑制剤塗布」を行うか、或いは材料面での対策による VOC 抑制の検討が今後必要である。

・内装表皮材としての見込み

内装表皮の課題としてガラス霞であることが分かった。これについては、CNF MB 無添加表皮材で発生していない事から CNF MB 中の添加材、処理剤の成分と推定される。上記同様、材料での対策が必要である。

2.4 ブロー成形における CNF 材料の成形加工性の評価及び自動車部品の試作検討 (キョーラク株式会社)

前年度までに得られた CNF の機械物性や流動特性の知見を基に、今年度は CNF を含む樹脂原料を用いて自動車部材を作成し、同部材を最終試作車に搭載し、走行することを最終目標として成形加工性の評価を進めた。対象部材はリアスポイラーとアンダーカバーの二点に絞り、いずれも CNF による剛性改善効果を期待し、製品の軽量化を狙った。

前者リアスポイラーは昨年度末に一度試作し概形は得られていた。今年度は周辺部材と組み付けるための金具インサート成形や部材色の変更等を実施し、最終試作車に搭載できるレベルの成形品を得ることが出来た。当部材は主材を PP に限定して評価を進め現行の主材である ABS からの代替を目指した。

後者アンダーカバーは昨年度末に金型が完成、今期より試作を行い評価を開始した。スポイラーに比べ製品投影形状の短手寸法が大きく、製品重量も大きいためパリソンの形成及び板厚調整が困難であった。当部材は PP と PA6 の 2 種類の材料で試作を行ったが、前者のみ附型を達成。コンセプトカーには PP-CNF10%材によるアンダーカバーを搭載、アルミ製現行品に対し異物接触時の不快音を抑制する効果が認められた。PA6-CNF についてはブロー成形で使用する際の課題（臭気等）が挙げられた。

東京モーターショー2019 では上記両部材の単体展示も行った。リサイクル性や市場での回収方法といった問い合わせは多かったものの、カーメーカーや部品メーカーからの直接の引き合いはなかった。

2.4.1 PP 使用時の成形条件

前年度までに CNF 含有原料を使用する際、成形温度が 230°C程度であると変性（ヤケ）が発生し、樹脂が変色するとともに強い臭気が発生することを確認していた。そこで今年度は樹脂の変性を極力抑制するため図 2.4-1 の様な混練の弱い深溝フルフライトスクリュを使用するとともに、低い押出温度（210°C）を採用。アキュームレータも押出機と同様 210°Cに設定した。

原料は汎用ブローグレードである EC9（ノバテック PP）と京都プロセスにより混練した CNF50% PP 原料 T-NC610 を 80/20 でブレンドし、樹脂総量における CNF 濃度を 10%に希釈した。昨年度までに実施した試作において CNF 濃度が増加すると樹脂の延展性が低下し成形が困難になることから、CNF の濃度を 10%に設定して成形を実施することとした。

試作にはΦ100mm 押出機、型締機は 120 トン、ダイ内アキュームレータ付帯機を使用。なお乾燥条件については昨年度得られた結果を基に 105°C設定かつ 12 時間以上とした。

今年度、キョーラク株式会社が目標とする成形物はスポイラーとアンダーカバーの 2 点。いずれも総バリ成形によるブロー製法で作成する。当製法で得られる製品重量はパリソン全体重量の約 4 割である（製品にならないバリ部が 1 ショット樹脂の約 6 割を占める）ため、バリを構成する樹脂を工程内リサイクルすることが前提となる。（パリソン＝ペレット状のプラスチック原料をブロー成形に溶かしてパイプ状にしたもの。バリ＝金型の接合部の隙間へ漏れでた樹脂が固まったもの。成形後、とり除く必要がある。）この観点において CNF は剛性強化剤として非常に効果的であることが昨年度ま

での試作検討で得られていた (*1) ため、今年度の試作ではバージン 20%リサイクル 80%の割合でブレンドした原料を使用した。なお本評価においては、成形終了後に冷却が完了した樹脂を粉碎機(15馬力・Φ10mm スクリーンメッシュ)を用いて細かくしたフレーク状樹脂片をリサイクル材としてバージン材と混合しパリソンを形成した。

(*1) フィラーを代表するガラスファイバーはリサイクルを繰り返すと繊維が切断され剛性改善効果が低下するが、CNF ではリサイクル使用しても強度低下が見られなかった。

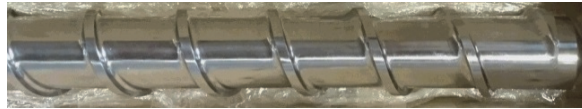


図 2.4-1 深溝フルフライトスクリュ(φ100mm)

2.4.2 CNF10%含有 PP 製リアスポイラーの成形

昨年度、PP-CNF10%配合にて一度スポイラーの試作を実施していた(図 2.4-2) ため、今期は同部材の改良及び仕様変更を行った。

まず相手部材との接続部位の仕様を検討。金型上は成形時に組付部材をインサートする手法と、成形後に組付部材を挿入する方法の 2 種類から選択できる構成としていた。当初の設計ではリアスポイラーの側面にナットを設け周辺部材と組み付ける構造となっていたが、株式会社トヨタカスタマイジングアンドディベロップメント(以下 TCD 社)と相談し車輛地面側に組付ナットを設けることとした。

そこで今期、4 種類(サイズは M5 と M6 の 2 種類×ナットタイプ 2 種類)のセレートナットを用意しインサートトライを実施。CNF 無添加時に比べインサートナット用のスライドピン周りの離型が悪いという課題があったものの、製品としては問題なくナットを挿入することができた。

最終試作車に搭載する部品は塗装する方針であったため、TCD 社に納めるサンプルは黒色にすることになった。黒色マスターバッチ(カーボンブラック)1部を添加し成形を実施した。CNF とカーボンブラックの分散性にも問題は認められず、一度の試作で成形条件が得られた。

ここで得られた M5 セレートナットをインサートした黒色リアスポイラーを最終試作車部品として TCD 社へ提出し、後日表面処理及び塗装を経て最終試作車へ搭載された。



図 2.4-2 リアスポイラー車輛天面側(年度初め)



図 2.4-3 リアスポイラー車輛地面側(年度初め)



図 2.4-4 リアスポイラー車輛天面側(最終)



図 2.4-5 リアスポイラー車輛地面側(最終)

2.4.3 アンダーカバーの成形

アンダーカバーの成形型は昨年度末に完成したため、今年度から試作及び評価を開始した。スポイラーはPP+CNF10%に材料を限定し評価を行っていたが、アンダーカバーはPA6+CNFとPP+CNFの2種類の材料で成形を試みた。

PA6+CNFは宇部興産株式会社から供給されたCNF濃度10%材を使用した。事前に原料の流動特性や機械物性を入手していたため、直接ブロー成形による評価から開始した。ブロー成形実験では、事前のデータより樹脂の流動性が高いため、延展性が悪く、パリソンを形成することができなかった。樹脂の流動性の再度調整と現場で発生した臭気の改善が課題である。

PP+CNF10%を原料とした際のアンダーカバーの試作条件は、リアスポイラー成形時とほぼ同じ。当部品は塗装を行わないが、車輻下面に組付けられる部品であるため周辺部品と同じ黒色に着色することとなった。当初プレス機を用いフィン部の穴加工を用いて行う構想であったが、納入数量が少なくて済むことになったため、ナイフを用いた手仕上げにより孔を形成した。フィンの外周に設けられたコンプレッション部にΦ5mm及びΦ6mm孔を設け、車輻搭載時の周辺部品と締結した。同孔もドリルを用い人手により仕上げ加工を施した。



図 2.4-6 アンダーカバー試作品

2.4.4 東京モーターショー2019への出展

東京モーターショー2019へ事業全体で最終試作車の出展に加えて、個別の部品展示エリアも併設された。キョーラク株式会社からはCNF10%含有PPスポイラー（着色無し）、CNF無PPスポイラー（着色無し）、CNF10%含有PPアンダーカバー（着色黒）、中空見本用スポイラー切断片の4点を個別の部品展示エリアに展示した。

部品展示エリアにて寄せられた質問は「CNFリサイクルの可否」「CNFとカーボンの違い」「量産実績の有無」「上市後の回収方法」に関する内容が多かった。



図 2.4-7 最終試作車後方



図 2.4-8 部品単体展示エリア



図 2.4-9 部品エリア来客状況

2.4.5 成形品の寸法評価（成形時収縮率の確認）

部品同士の組付けを行う際は、それぞれの寸法が規定範囲内に収まっていることが大前提である。一方で樹脂は成形後に収縮するため、ブロー成形においては成形後に発生する寸法変化分を加味した金型を製作する必要がある。そこで今回製作したリアスポイラー及びアンダーカバーについて、それらの金型寸法から、CNF 含有材の実収縮率を測定した。スポイラーを対象とした際の測定部位を図 2.4-10 に、測定結果を表 2.4-1 に示す。

ガラスファイバーと同様フィラー配向の影響により MD よりも TD の方が大きく収縮する事前予想を立てていたが、逆転する結果となった。パリソン厚みを 0.5mm 変化させた際も MD、TD ともに同等の収縮を示した。

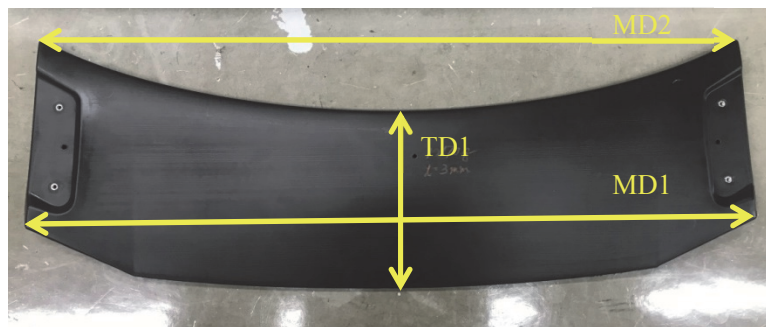


図 2.4-10 スポイラー寸法測定部位

表 2.4-1 製品収縮率

パリソン 厚み	試行数	MD1(金型寸法 879.9mm)		MD2(金型寸法 869.9mm)		TD1(金型寸法 223.7mm)	
		製品実測値	樹脂収縮率	製品実測値	樹脂収縮率	製品実測値	樹脂収縮率
3.0mm	1	869.6	1.2%	859.6	1.2%	221.9	0.8%
	2	869.2	1.2%	858.7	1.3%	221.6	0.9%
	3	868.6	1.3%	859.0	1.3%	221.7	0.9%
	平均	869.1	1.2%	859.1	1.2%	222	0.9%
3.5mm	1	868.9	1.3%	859.0	1.3%	221.9	0.8%
	2	869.0	1.2%	859.0	1.3%	221.4	1.0%
	平均	869.0	1.2%	859.0	1.3%	221.7	0.9%

2.4.6 成形品の寸法評価（高温高湿環境下での寸法変化確認）

CNF 原料を実際の成形品に使用する場合、使用環境による寸法変化を評価しておく必要がある。そこでリアスポイラーの切出片（150mm×50mm）を用い CNF10%を含む PP と CNF を含まない PP とを雰囲気温度 40℃、環境湿度 80%の恒温恒湿槽に 48 時間静置し、試験前後の寸法変化を比較した。

その結果、CNF 無添加時の線膨張率 $5.58 \times 10^{-5}/K$ に対し、CNF10%添加時の線膨張率は $3.95 \times 10^{-5}/K$ 。CNF の添加により約 30%の寸法安定化（線膨張率低下）を確認できた。

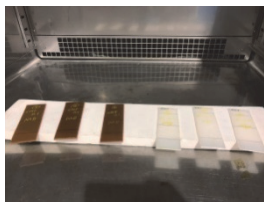


図 2.4-11 恒温槽内線膨張確認状況

2.5 バッチ発泡法における CNF 材料の成形加工性の評価（三和化工株式会社）

EPDM ベースに CNF を添加したマスターバッチを外部（豊田合成株式会社）から調達し、当社 EPDM フォームに添加して物性を評価し、優位性を確認し、同時に成型用材料への使用を検討した。

高柔軟性であるポリエチレンフォームに、星光 PMC 株式会社のポリエチレン・EVA ベースの CNF マスターバッチ（40%）を 10% 添加することにより、引張強度の向上を確認した。この発泡体を用いて軽量で高強度のシートクッションを当社熱圧成型方法で作成の可能性を検討した結果、当社成型条件で作成可能であることを確認した。このシートクッションを東京モーターショー2019に出展した。自動車部材への応用については規格のクリアなどの課題があるが、自動車部品以外の成形品には使用可能であると考えている。座っていただいた一般の人からは、硬さがあり良いとの評価を自動車分野以外での商品展開の可能性を見出した。

2.5.1 EPDM フォームについて

最初のマスターバッチは、CNF が凝集しており、発泡体になったときにホールとなって表れ使用できるレベルではなかった。その後、改良され凝集物がなくなりフォーム化の問題点が解決された。物性評価においては熱的安定性に改善が見られた。しかし、引張特性や圧縮特性などその他の物性では CNF の優位性を見いだせなかった。

圧縮特性では EPDM 中に CNF が分散することにより強度が上がり圧縮特性が改善することを期待したが、圧縮履歴曲線の図より 80% 圧縮後の復元時応力が CNF 試作品は低くなりへタリが見られた。発泡体は発泡時の樹脂粘度が重要な物性であり、発生したガスを保持しながら発泡時の膨張に追従する伸びが必要とされる。CNF 試作品は CNF 添加による増粘分を考慮し、架橋剤による架橋度を調整し発泡体を作成したが、このため、EPDM の化学架橋度が低くなったことが原因と推測される。

今後は、さらなる測定項目の見直しや添加量増加などのテストを行っていく予定である。（表 2.5-1 の物性比較、図 2.5-1 の圧縮履歴曲線参照）

表 2.5-1 物性比較

試験項目	単位	ブランク	CNF 試作品
見掛け密度	kg/m ³	150	120
引張強さ	MPa	0.21	0.17
熱的安定性（60℃）	%	-9.2	-3.1
熱的安定性（80℃）	%	-21.0	-9.2
熱的安定性（100℃）	%	-35.0	-14.8

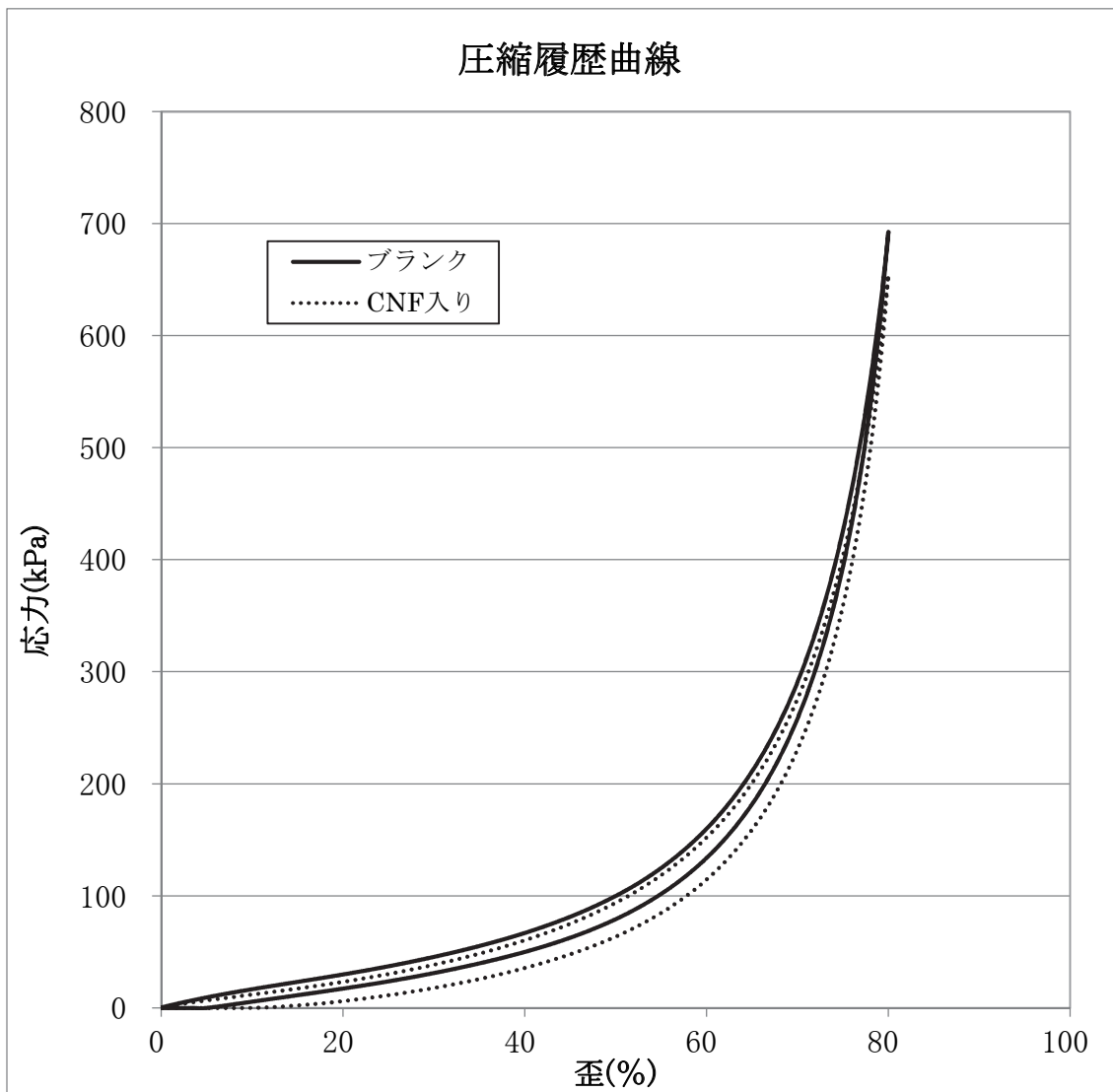
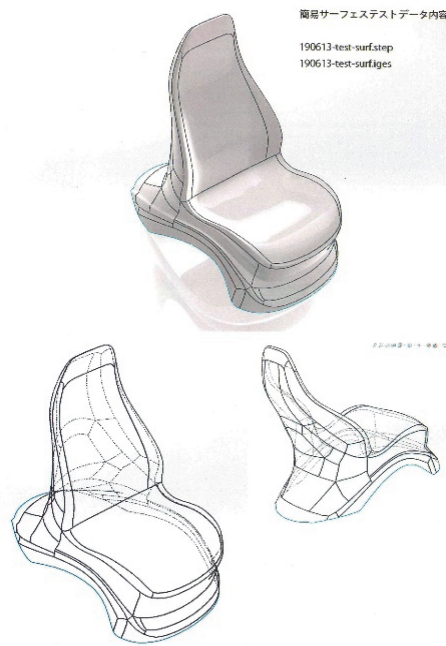


図 2.5-1 EPDM 発泡体 CNF 添加による応力比較

2.5.2 展示を目指した成形品の試作

① 当社成型設備に入る大きさで作成するため、3分割（ヘッドレスト・背・座）で未来的なデザインを実現するため、京都のデザイナーに相談した。打ち合わせを繰り返したのちに最終形状が決定した。その後アルミ金型を製作して熱圧縮成形にて加工性を確認した。平成30年度の成果報告では、発泡（分解）に時間がかかるが、条件調整で生産は可能であった、と報告したが、今回の成形では特に問題なかった。

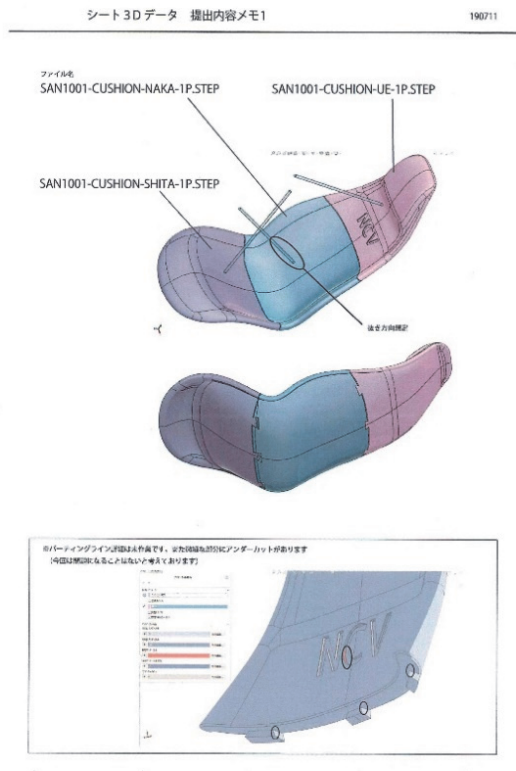
1) 原案 (イメージ案) (図 2.5-2)



未来の車のイメージ。
流線形のイメージ。

図 2.5-2 展示用成形品の原案

2) シート 3 分割案 (図 2.5-3)



一体成型では大きい。
座面、背もたれ、ヘッド
の分割。

図 2.5-3 シート 3 分割案

3) FRP 型 (土台)

外部の加工会社に依頼した。強度を上げるために後ろの凹みを大きくした。



図 2.5-4 FRP 型土台

② 表面に当社グリップ性のあるフォームに CNFMB (CNF マスターバッチ) 20%添加して内部に 30 倍発泡のポリエチレンフォームに CNFMB20%を添加したものを挟んだサンドイッチ構造の成形体を熱圧縮成型方法で作成した。この方法は、厚さが変わる成型品に用いる方法で、厚い部分の内部に発泡体を多く入れることによって風合いを同じようにすることができる。発泡体の調色は可能であり、黒・赤・黄緑色で今回作成した。



図 2.5-5 最終展示品

2.6 加飾性評価（マクセル株式会社）

前年度の成果として、CNF を利用しためっき手法により CNF-POM 樹脂、CNF-ABS 樹脂めっき品の衝撃強度が向上すること、CNF-PA6 の発泡成形めっき部材の面衝撃強度が向上することを実証した。そして、めっき界面の形態観察から樹脂/めっき界面のコンポジット層形成が衝撃強度向上に寄与することを明らかにした。今年度は、CNF 樹脂と非強化、ガラスフィラー強化材等の汎用樹脂材料との比較評価を行った。それにより、CNF-PA6 を用いた発泡めっき部品は従来の ABS めっき部品に対し 20%以上の軽量化が可能であり、比曲げ弾性率が約 1.7 倍となることがわかった。さらに、CNF の熱膨張係数低減効果により、高い熱衝撃耐性を有することを実証した。これら機能を有するフロントグリルを模したミニチュアグリル形状のめっき部品を東京モーターショー2019 等で展示した。

2.6.1 CNF 樹脂発泡めっき品と汎用樹脂めっき部材の比較評価

CNF-PA6 樹脂発泡めっき品の部材長所や課題を抽出するため、CNF 以外の汎用樹脂めっき部材との比較評価を実施した。成形品比重、めっき品比曲げ弾性率や信頼性試験（ヒートショック試験）より、CNF 発泡めっき品の軽量化、剛性、外観等等の特徴について調べた。

(1) 発泡成形条件の最適化

発泡成形品の発泡倍率と曲げ弾性率には相関関係があることが知られている。本検討では、コアバック法による CNF-PA6 樹脂発泡成形めっき品の作製にあたり、めっき前の成形品厚み（発泡倍率）、比曲げ弾性率の関係性について厚さ 2 mm の平板成形品を用いて評価した。比曲げ弾性率は弾性率を比重で除した値であり、比重の異なる材料間での比較を行う上での指標となる。発泡倍率と曲げ弾性率、比曲げ弾性率の関係を図 2.6-1 に示す。本検討では、発泡成形品が発泡倍率 1.5 倍条件（成形品比重 0.77g/cm^3 ）で比曲げ弾性率が最大となることが分かった。

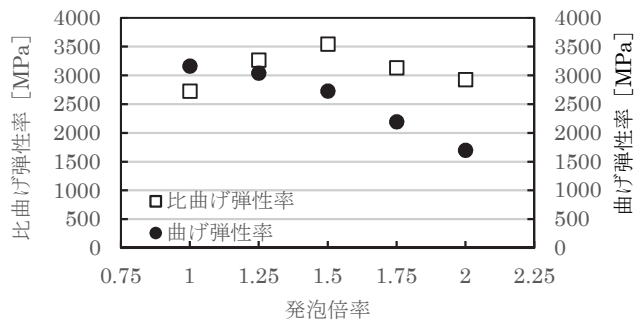


図 2.6-1 発泡成形品倍率と比曲げ弾性率曲げ弾性率の関係

(2) 軽量化効果とめっき品の比曲げ弾性率

CNF-PA6 発泡成形品の軽量化、剛性向上効果を検証する為、成形品の比重、めっき前後での比曲げ弾性率等について汎用樹脂材料との比較評価を実施した。比較用の樹脂材料としては、ABS 樹脂、非強化 PA6 樹脂、GF30%強化 PA6 樹脂を用いた。ABS 樹脂は自動車部材をはじめ一般的なめっき部材で使用される樹脂であり、非強化 PA6、GF 強化 PA6 樹脂は、これまで報告してきた CNF-PA6 樹脂めっき品と同じく、Pd イオン法でめっき可能な材料である。各樹脂で平板形状の成形品、めっき品を作

製した。CNF-PA6については発泡成形品を作製し、発泡倍率は比曲げ弾性率が最大となる1.5倍に設定した。CNF-PA6樹脂発泡成形品の比重と、めっき前後での比曲げ弾性率について比較した。各材料とも下地めっき上のめっき組成は、銅めっき(20 μm)、ニッケルめっき(10 μm)、光沢クロムめっき(<1 μm)としている。図2.6-2に各基材の成形品の比重を、図2.6-3にめっき前後での比曲げ弾性率測定結果を示す。CNF-PA6発泡品の成形品比重は0.77 g/cm^3 であり、ABS樹脂に対し、20%以上の軽量化効果が得られることが分かった。また、同発泡成形品のめっき後比曲げ弾性率は8GPaでありABS樹脂めっき品に比べ1.7倍、非強化PA6樹脂めっき品に比べ1.1倍向上し、GF30%PA6樹脂めっき品と同等の値であった。CNF-PA6樹脂めっき基材に用い、発泡条件の最適化を図ることで、従来めっき部材に対する軽量化効果が高く、GF強化樹脂と同等の比曲げ弾性率を有するめっき部材が作製出来ることを明らかにした。

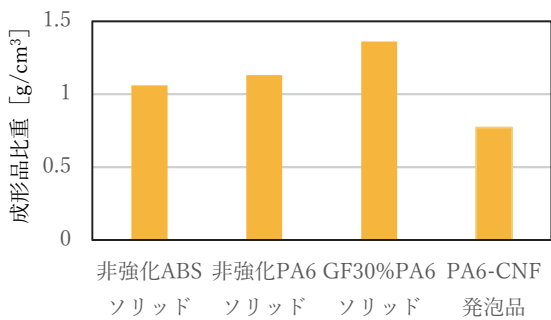


図 2.6-2 成形品比重

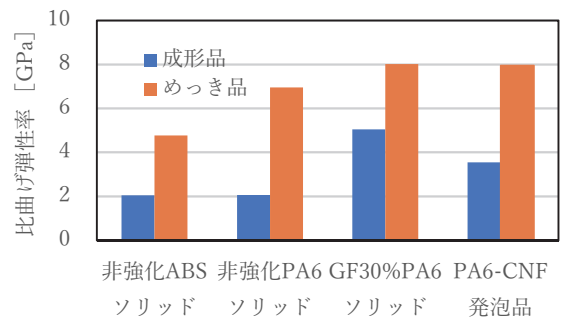


図 2.6-3 めっき基材条件 比曲げ弾性率

(3) めっき信頼性評価

CNF-PA6樹脂、非強化PA6、GF30%強化PA6樹脂を用いて、ミニチュアグリル形状のめっき部材を作製した。試験温度として-35 $^{\circ}\text{C}$ 、および85 $^{\circ}\text{C}$ を設定し、各工程30分保持10サイクルのヒートショック試験を実施し、有形状サンプルでのめっき信頼性を比較評価した。ヒートショック試験試験後のサンプル写真を図2.6-4に示す。ヒートショック試験では、非強化PA6樹脂基材の一部にめっき膜の膨れが発生し、CNF-PA6樹脂、GF30%強化PA6樹脂については、めっき膜の膨れは確認されなかった。同めっき基材を切り出し、成形品とめっき品での線膨張係数を測定した。図2.6-5にめっき前後での樹脂材料と線膨張係数の関係を示す。いずれの基材もめっき膜形成により、基材の線膨張係数が小さくなっている。また、めっき膜の膨れが発生した非強化PA6樹脂では、成形品とめっき品での

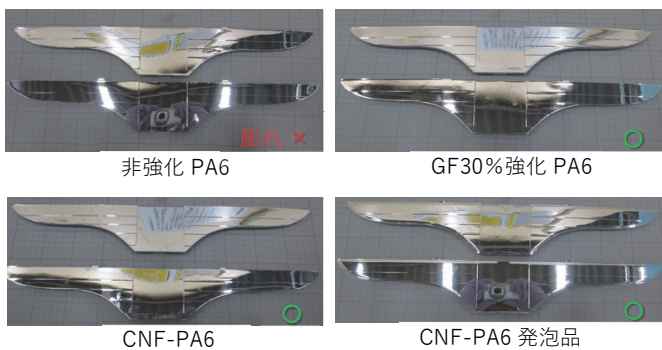


図 2.6-4 ヒートショック試験後のめっき品外観

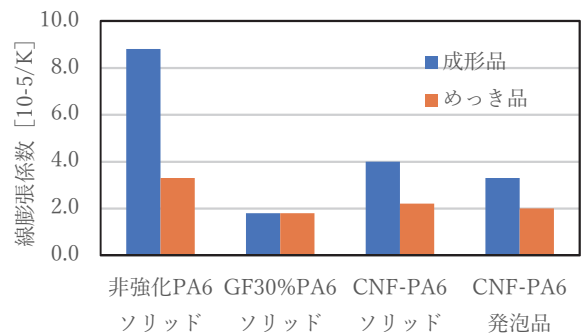


図 2.6-5 樹脂材料と線膨張係数の関係

線膨張係数の差が大きい結果となった。本検討における PA6 樹脂を用いためっき品では、めっき前後での基材線膨張係数の差が、ヒートショックの試験におけるめっき信頼性に影響を与えていることが明らかであり、GF 同様 CNF 添加により樹脂の線膨張係数が小さくなり、温度変化による樹脂とめっき金属膜との収縮差が小さくなったことで、めっき膜の耐環境性が向上したと推察される。なお CNF-PA6 発泡めっき品については、100 サイクル追加で同試験を実施し、めっき膜の膨れが発生しないことを確認した。これより CNF-PA6 (発泡) めっき部品は自動車部品に要求される高い信頼性を有していると思われる。

(4) めっき品外観

CNF-PA6 樹脂と他樹脂材料で作製した平板形状の光沢クロム仕上げめっき品の外観を目視にて比較した。各部材のめっき外観を図 2.6-6 に示す。めっき品の表面の光沢感は、従来 ABS 樹脂めっき品が最も良好で、非強化 PA6 樹脂、CNF-PA6 樹脂ソリッド成形品、CNF-PA6 発泡成形品、GF30%樹脂の順であった。ABS 樹脂と非強化 PA6 樹脂はともに非強化樹脂であるが、非晶性樹脂である ABS 樹脂のほうが結晶性樹脂である PA6 樹脂に比べ金型面の転写性に優れる為、良好な表面性を得ることが出来ると考えられる。また、CNF 樹脂はフィラーサイズが小さく、GF 強化樹脂めっき品との比較では表面性に優れるものの、非強化樹脂との比較では、CNF 由来の微小な表面のザラツキにより表面性が劣る結果となる。光沢めっき仕上げを想定した場合、CNF 樹脂めっき品外観にはまだ課題が残っており、今後、材料での金型転写性向上等の施策が必要であると考えられる。

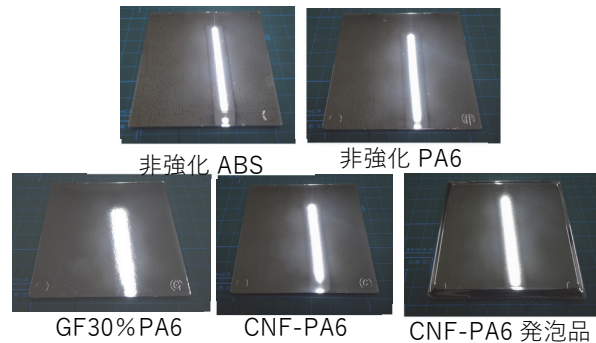


図 2.6-6 樹脂基材による光沢クロムめっき後の表面外観

2.6.2 ミニチュアグリル発泡めっき部材の作製

発泡剤に窒素ガス等の不活性ガスを用いる物理発泡成形品では、基材の表面にガスの流れ模様（スワールマーク）が発生しやすい。これらスワールマーク起因の表面荒れがめっき後の成形品外観にも影響を与えることが懸念される。発泡成形品の表面外観を改善する簡便な手法としては、カウンタープレッシャー成形法や断熱金型が一般的に知られている。今年度、金型をカウンタープレッシャー仕様に改造し、CNF-PA6 樹脂発泡成形品におけるスワールマーク低減効果を検証した。作製した発泡成形めっき部材は東京モーターショー2019 等で展示した。

(1) カウンタープレッシャー法による発泡成形品の外観向上の検討

本検討では、発泡成形品の発泡剤と型内への導入ガスに窒素を用いた。樹脂を発泡させるための成形機シリンダー導入ガス圧力は 6MPa とし、型内導入ガスの圧力条件は 1MPa とした。図 2.6-7 にカウンタープレッシャー法有無での発泡成形品の外観とゲート近傍部の顕微鏡観察像を示す。カウンタープレッシャー法により基材ゲート通過直後の成形品表面外観が改善されており、CNF-PA6 樹脂の発泡成形品において、カウンタープレッシャー法がスワールマーク低減に有効な手法であることが確認された。作成した発泡成形品を用いて、マット調の外観を有するサテンめっき仕上げのサンプルを作製した。作製したサンプルの外観を図 2.6-8 に示す。同部材は東京モーターショー2019をはじめとする各種展示会に出展した。

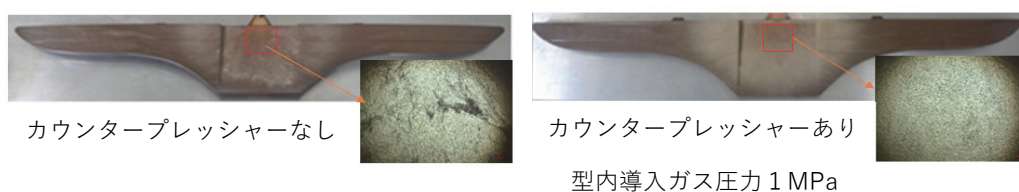


図 2.6-7 カウンタープレッシャー有無での発泡成形品の外観の違い



図 2.6-8 ミニチュアグリル形状のコアバック発泡めっき品(サテンメッキ仕上げ)

2.6.3 めっき品質に与える因子の調査

CNF めっき部材実用化に向け、CNF 樹脂材料がめっき膜形成に与える影響等を調査した。本検討では、CNF30%濃度のマスターバッチを非強化 PA6 樹脂とのドライブレンドにて CNF10%と 5%濃度となるよう希釈調整した材料と、CNF10%濃度に調整されたコンパウンド材料を用いて、ミニチュアグリル形状の発泡成形品を作製した。コンパウンドの有無や CNF 添加量の違いによる下地めっきの被覆性能を評価した。結果を図 2.6-9 に示す。コンパウンド材ではめっき未着箇所が発生していないが、マスターバッチ希釈材料はいずれも基材裏面にめっき未着箇所が発生した。また CNF5%よりも CNF10%濃度のほうが、未着範囲が大きかった。当該箇所は、成形時に樹脂アウトガスが溜まりやすい箇所であり、成形時のアウトガスが成形品表面に付着し、めっき膜の形成を阻害したと推定される。アウトガスの種類等については十分に分析できていないが、材料調整時のコンパウンド工程における

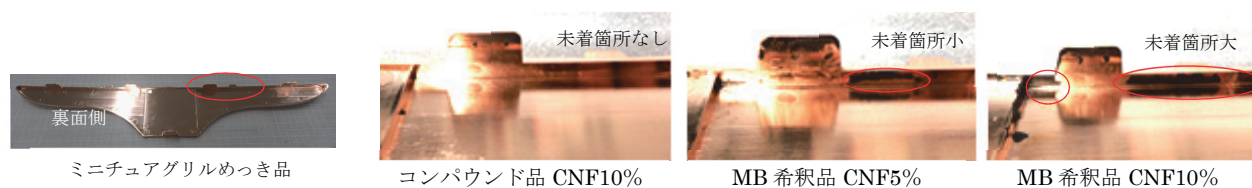


図 2.6-9 CNF 材料の違いによるめっき未着箇所の差

脱気促進や、成形金型でのガスベント設計の最適化により、アウトガス由来によるめっき未着箇所等が低減されめっき品の品質の向上が図れると考えられる。

2.7 自動車用空調部品用途に向けた CNF 材料の評価（株式会社デンソー）

トヨタ 86 のエアコンケースの形状をベースに、CNF 材料の適用に向けた成形上の課題、機械的な構造上の課題を明らかにするため、CNF とポリオレフィンの複合材料を用いた発泡成形および成形品の評価を実施した。試験片形状を用いて、機械特性および成形性に次いで重要である燃焼性およびマテリアルリサイクル性の観点で CNF が与える影響を評価した。CNF による耐燃焼性向上の結果、発泡エアコンケースでも燃焼性の目標を満足する可能性を確認した。マテリアルリサイクルによる VOC の悪化が見られ、リサイクル無しの CNF 材料でも現行材（PP-タルク）に対して 10 倍程度多く発生した。これに関しては、CNF 材料の改良及び成形樹脂温度の低減による対策を検討していく。

2.7.1 CNF の燃焼性への影響把握

発泡成形品の燃焼性に CNF が与える影響を明らかにするため、平板状の試験片（縦 130mm×横 355mm×厚 2mm、図 2.7-1）を発泡（MuCell）成形にて作成し、燃焼速度を評価した。なお、成形方式としてはショートショット法を用いた。試験片は、ショート箇所がない状態を維持できる下限量以上の樹脂充填量を用いた。結果を以下に示す。

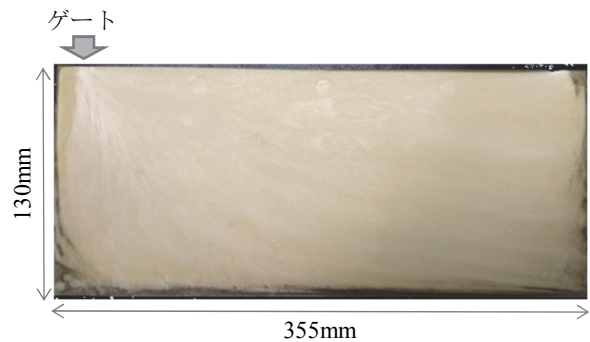


図 2.7-1 平板試験片形状

【評価結果】

発泡率 $(1 - (\text{発泡体の重量} / \text{未発泡体の重量})) \times 100$ の増加に伴い燃焼速度は増加した。現行材（PP-タルク）を 10wt%軽量化した際の燃焼速度は未発泡時に対して約 20%速くなり、目標を満足できなかった。一方で CNF 配合により燃焼速度は遅くなり、PP-CNF5%材料の燃焼速度は現行材に対し約 30%遅くなった。その結果、PP-CNF5%材料は 10wt%発泡率（気泡の体積割合が 10%になるように発泡）においても燃焼速度の目標を満足した（図 2.7-2）。

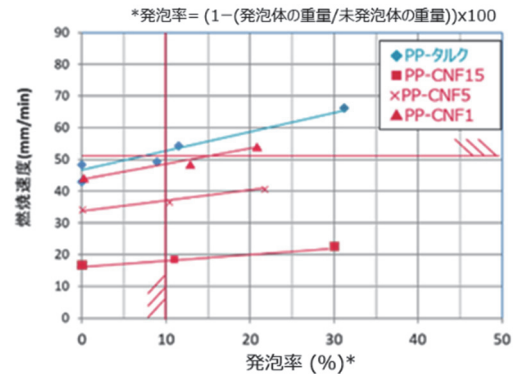


図 2.7-2 PP-CNF の燃焼速度

【考察・所見】

CNF 材料を用いることで、燃焼性を満足しながら 10wt%以上軽量化した発泡エアコンケースの可能性があると考えられる。

燃焼速度が遅くなった要因としては、PP-CNF 材料は燃焼時に火炎の着いた熔融した樹脂の粘度が高いことでドリップが抑制され、その結果燃焼速度が抑制されたと推定される（図 2.7-3）。

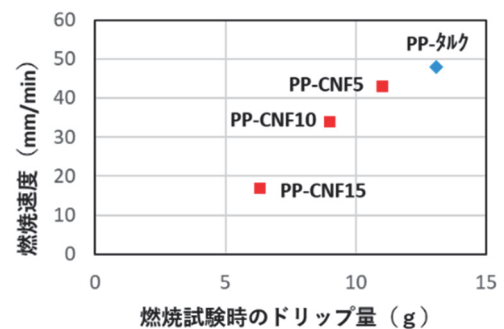


図 2.7-3 ドリップ量と燃焼速度

2.7.2 マテリアルリサイクル性評価

発泡（MuCell）成形にて 10wt%発泡させた平板状試験片（縦 150mm×横 350mm×厚 2mm）を作成した。次に得られた試験片を破砕機にて破砕し、破砕片を成形材料として用いて発泡（MuCell）成形にて 10wt%発泡させた平板状試験片を作成した（これをリサイクル1回とする）。以後4回リサイクルを繰り返して、リサイクル回数と発泡体の物性、発泡構造、VOC を評価した。

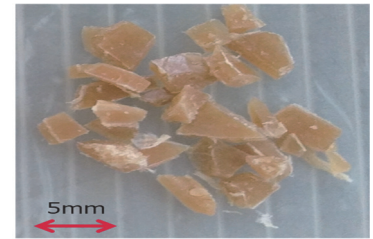


図 2.7-4 リサイクル材料

【評価結果】

リサイクル回数と共に 10wt%発泡時の曲げ弾性率は低下し、4回リサイクル時には約 10%程度低下した（図 2.7-5）。一方で気泡構造のうち機械物性に寄与が大きいとされる気泡サイズについてはほとんど変化が見られなかった（図 2.7-6）。また VOC は現行材（PP-タルク）に対し 10 倍程度多く発生した。加えてリサイクル回数とともに増加した（図 2.7-7）。

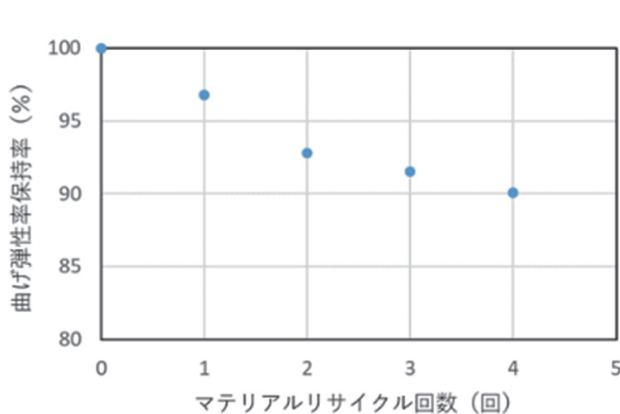


図 2.7-5 リサイクル時の曲げ弾性率変化

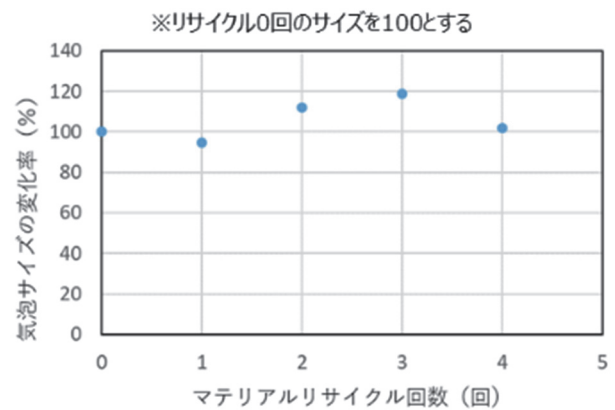


図 2.7-6 リサイクル時の気泡サイズ変化

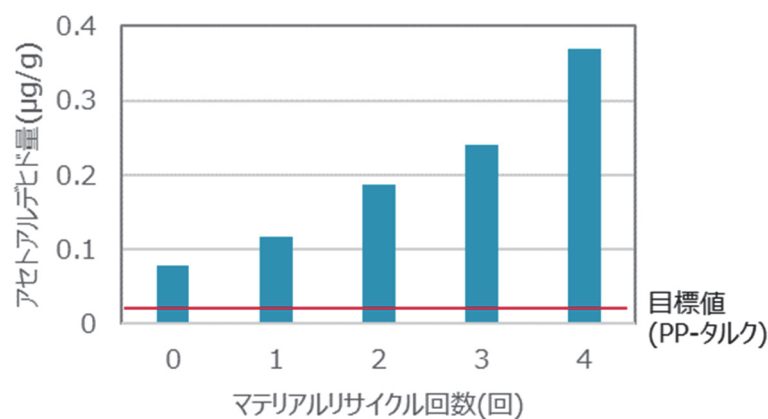


図 2.7-7 リサイクル時の VOC 発生量変化

【考察・所見】

マテリアルリサイクルによる発泡成形では機械物性の低下および VOC の増加が確認された。この要因としてマテリアルリサイクルの繰り返しによる、成形時の熱履歴やせん断ストレスの増加等が挙げられる。これらのストレスにより CNF 中のセルロース構造や樹脂との親和性付与のための化学修飾部が劣化するために徐々に物性が低下したと考えられる。VOC が増加した原因についても同様に、劣化により生成した有機成分が VOC として検出されたと考えられる。

これらの観点で CNF 材料の改良及び成形樹脂温度の低減による対策、及び製品要求を満足できる新材料に対するマテリアルリサイクル材の混合割合の検討を進める。

2.7.3 CNF 材料を用いたエアコンケースの成形性および軽量化効果の把握

CNF 材料（ここでは PE-CNF10 を使用）と発泡成形（MuCell）の組み合わせによるエアコンケースの成形性と軽量化効果について検証を行った。本プロジェクトでは製品全体で重量を 10wt%以上軽量化することを目標に掲げているため、エアコンケースを構成する主要部品の形状およびサイズが変わっても軽量化効果が発現できるかの検証を行った。前年度にエアコンケースの構成部品の 1 つであるブロワケースの上側について軽量化率の目標（10wt%以上）を達成しており、今回はその金型設計及び成形の知見をもとに、さらに複雑形状や大型の構成部品への展開を検討した。その結果を以下に示す。

【評価結果】

CNF の熱劣化を抑制するため樹脂（シリンダ）温度を 180℃で行ったところ、一部の大型部品でショート部が発生した（例、ブロワケース下側）。そこで、樹脂（シリンダ）温度を 200℃まで上げたところ、ショート部が無くなることを確認できた。その結果、エアコンケース全体で 10wt%以上の軽量化を達成できた（表 2.7-1、図 2.7-8、9）。

表 2.7-1 構成部品の軽量化率

構成部品	特徴	シリンダ温度 [°C]	量産仕様部品重量 [g]	CNF 材の発泡部品重量 [g]	軽量化率* [%]
①ヒータケース (R側)	複雑形状	180	494	439	11.1
②ヒータケース (L側)	複雑形状	180	533	485	9.0
③ブロワケース (上側)	昨年度試作品	180	388	334	13.9
④ブロワケース (下側)	大型	200	651	599	8.0
⑤吸気ダクト (R側)	流動抵抗部 (メッシュ部) 有	200	162	144	11.1
⑥吸気ダクト (L側)	流動抵抗部 (メッシュ部) 有	200	206	186	9.7
合計			2434	2187	10.1

*(1-(CNF材の発泡部品重量/量産仕様の部品重量))x100

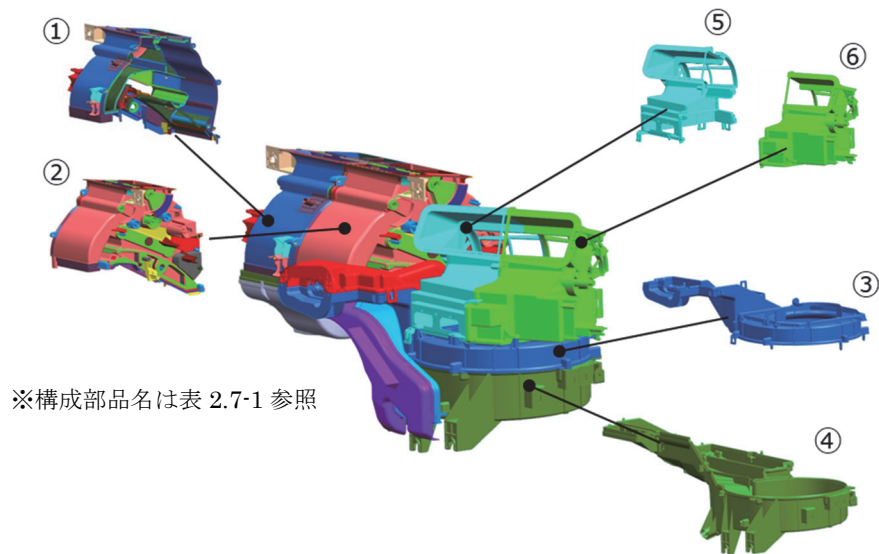


図 2.7-8 エアコンケースの構成部品

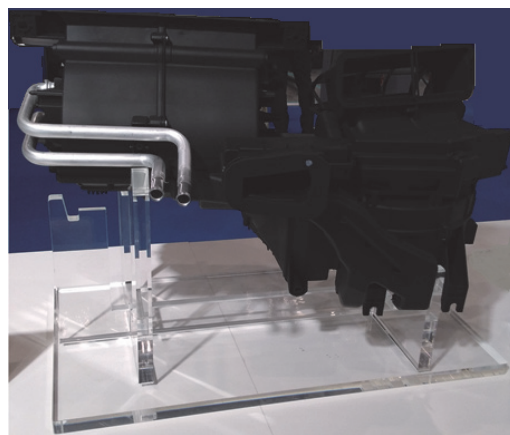


図 2.7-9. CNF 材料のエアコンケース

【考察・所見】

構成部品の一部で樹脂（シリンダ）温度を上げる必要があったが、検討した全ての構成部品でショット部を発生させることなく成形品を作成でき、エアコンケース全体で 10wt%の軽量化を達成できることを確認できた。今後、樹脂材料に加わる熱負荷を抑制するため、金型内の樹脂流動性を上げるための形状の追加等の対策を検討していく。

2.8 自動車用ドア部材用途に向けた CNF 材料の評価及び自動車部材の試作検討 (トヨタ紡織株式会社)

ドアトリムの基本性能である剛性と耐衝撃性を両立させるため、従来よりドアトリムで使用している PP 樹脂をベースとした PP/CNF 材料 (CNF 配合率 5~20wt%) を作製し、物性評価を実施した結果、実機成形での成形性と軽量化の効果が確保出来る CNF 配合率 10wt%とした。しかし、耐衝撃性に関し課題が残った。本年度は耐衝撃性に関する課題を解決すべく改良を実施した。また、最終試作車向けのドア部材 (ドアアウターとドアトリム) を射出成形試作型にて成形し最終試作車向けの品質を確保する条件にて成形し提供した。

2.8.1 ドアトリムとしての耐衝撃性の必要性

自動車の衝突試験で最も車室内へのダメージが大きいとされる「斜めポール側突試験」(国土交通省「道路運送車両の保安基準」)において、ドアトリムが破損し意匠面に割れ(シャープエッジ)が発生し乗員を傷つける可能性があるため、割れ(シャープエッジ)が発生しない材料、形状にする必要がある。

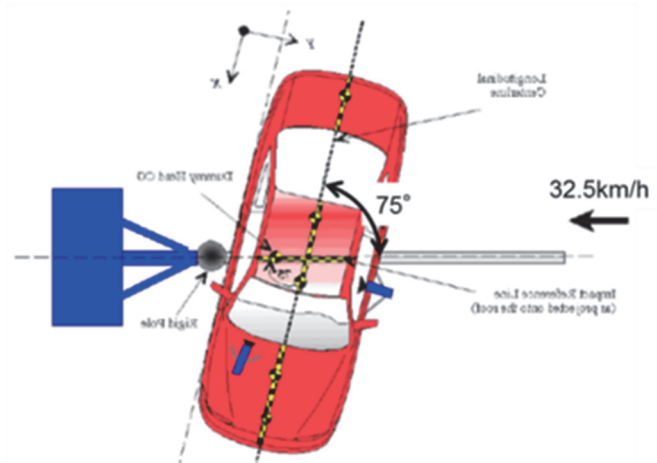


図 2.8-1 斜めポール側突試験概略図

斜めポール側突試験後の車両(図 2.8-2 参照)はドア付近が大きく変形し車室内側へ突出しドアトリムも大きく変形する。従って、ドアトリムは高い耐衝撃性を有する材料で構成しなくてはならない。

当社では、実車側突試験を模したドアトリム単体の衝撃試験を実施しているが、昨年度までの材料での評価では大きい範囲で割れ(シャープエッジ)が発生(図 2.8-3 参照)したため、材料改良を実施しレベル向上を狙う。

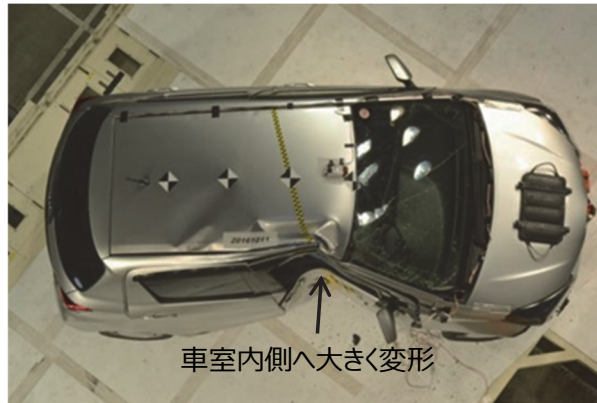


図 2.8-2 斜めポール側突試験後車両(例)

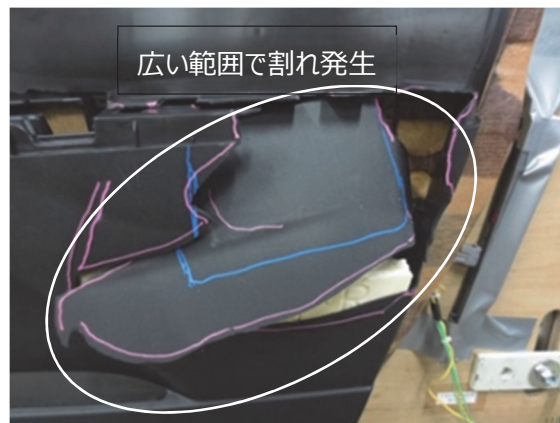


図 2.8-3 昨年度までの材料での斜めポール側突試験を模した
ドアトリム単体衝撃試験後状態(基準を満たさず)

2.8.2 改良材物性比較

改良材を試作し物性の比較を行った。

改良前のシャルピー衝撃強度(ノッチあり)は約 4kJ/m^2 で射出成形時の型への充填性の目安となるバーフロー流動長の値は 654mm に対し、改良材のシャルピー衝撃強度(ノッチあり)は約 9kJ/m^2 でバーフロー流動長は 440mm となった。

改良材のバーフロー流動長の値は改良前と比較し若干短いですが、実物大ドアトリム型による射出成形試作では問題(ショートショット等)なく成形可能であった。

改良材を既存ドアトリム型にて射出成形し、実車側突試験を模したドアトリム単体の衝撃試験を実施した。

結果は、昨年までの材料と同様に割れは発生したが割れの程度は相対的に軽微であり割れが発生した範囲も狭い(図 2.8-4、2.8-5 参照)。従って、材料改良により耐衝撃性のレベルは向上したと判断した。

また、耐衝撃試験は形状にも大きく起因するため、設計段階で衝撃力を上手く分散する形状にする事で更なるレベルアップも期待出来る。



図 2.8-4 改良材でのドアトリム単体での耐衝撃試験後サンプル



図 2.8-5 改良材でのドアトリム単体での耐衝撃試験後サンプル(割れ部位拡大)

2.8.3 最終試作車向けドアトリム及びドア外板の作成・提供



図 2.8-6 最終試作車向けドアトリム基材(加飾前)

従来よりドアトリムに使用している PP に CNF を 10% 添加した材料を射出成形にて成形した。ショートショットや意匠面の変形等の不具合も無く良好な部材が得られた。

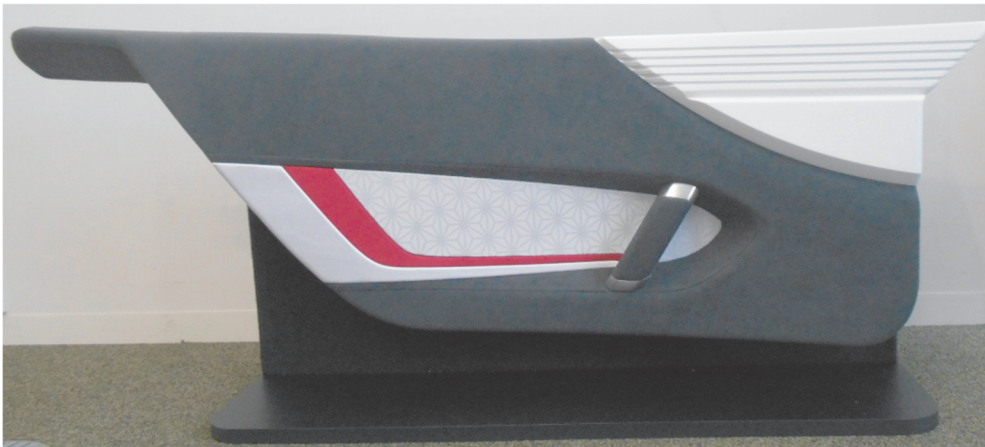


図 2.8-7 最終試作車向けドアトリム

図 2.8-6 のドアトリム基材にトヨタカスタマイジング&デベロップメント様にて表皮貼り付け、部品組付け等の加飾を施し図 2.8-7 最終試作車へ搭載した。



図 2.8-8 ドアトリム&ドア外板一体手提げモック

モーターショーブースに来場された方が「軽さ」を体感出来る様、ドトリムとドア外板を一体化し、簡単に持ち上げられるモックを作成し（図 2.8-8 参照）、多くの来場者に PP-CNF 材の「軽さ」を体感頂いた。

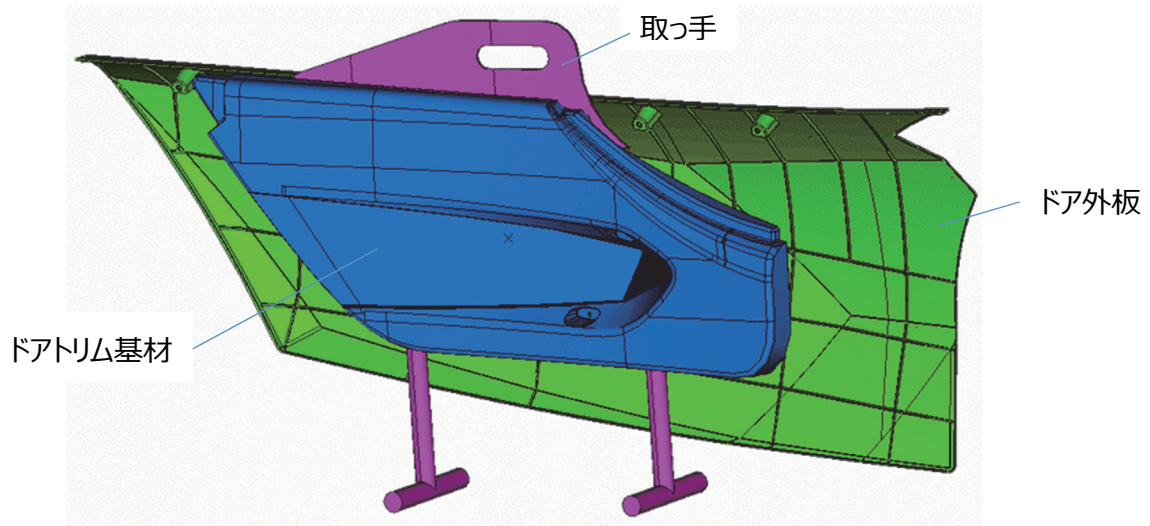


図 2.8-9 ドアトリム&ドア外板一体手提げモックコンセプト

簡単に持ち上げられるモックはドアトリム基材とドア外板基材とで構成され、両部品をアルミ製の取手状の部品を介して締結し一体化させた構造とした（図 2.8-9、2.8-10 参照）。

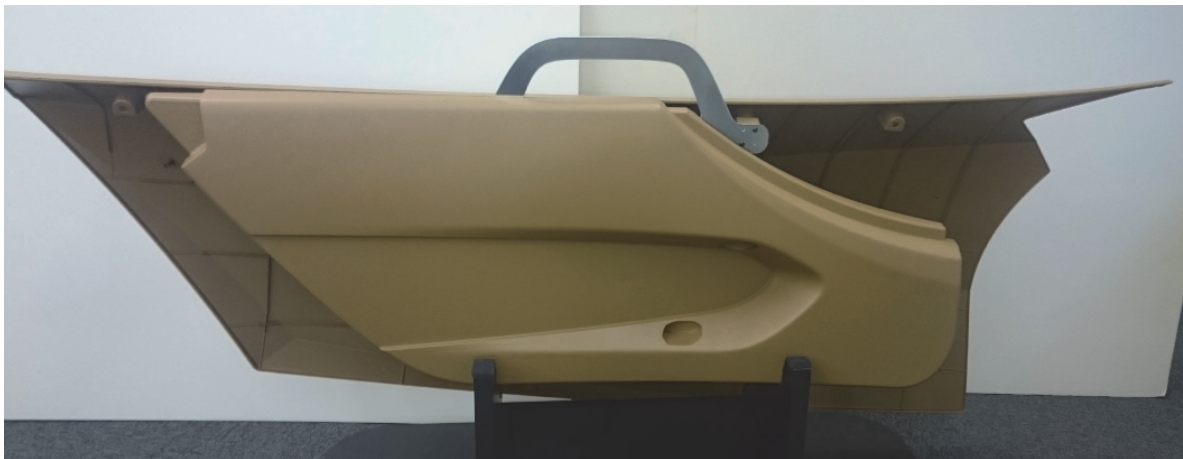


図 2.8-10 ドアトリム&ドア外板一体手提げモック写真

上記モックは、東京モーターショー2019以降の報告会でも展示。

2.9 自動車エンジン部材用途に向けた CNF 材料の評価（アイシン精機株式会社）

エンジン部材であるインテークマニホールド（以下インマニ）に向けた PA6-CNF 材料の評価のため、課題である機械特性と吸水性に対して、材料、工法での対策を検討し、効果を確認した。又、部材製造工程における電力消費量を実測し、CO₂排出量に対する効果を現行材と比較評価した。

2.9.1 材料配合による耐吸水性の向上

前年度までの評価より、PA6-CNF 材料は吸水性が課題であることが分かっている。そこで吸水を抑制するための配合剤を選定した。材料の製造は宇部興産（株）に依頼し、CNF の充填率が 15%^{※1} の対策材を入手、評価した。（結果は図 2.9-1、図 2.9-2 参照）。

全ての対策材で吸水率が低減しており、吸水を抑制することができた。また対策材 2 は、初期強度の低下を抑制でき、吸水後の強度も上昇している。しかしながら、製品の信頼性を確保するためには、更に改良を行う必要がある。

※1 PA6-GF30%（現行材）と同等の強度が期待できる CNF 添加量を論文データより算出。

※2 PA6-GF30%の初期引張強度を 100 とした場合の強度を表記。

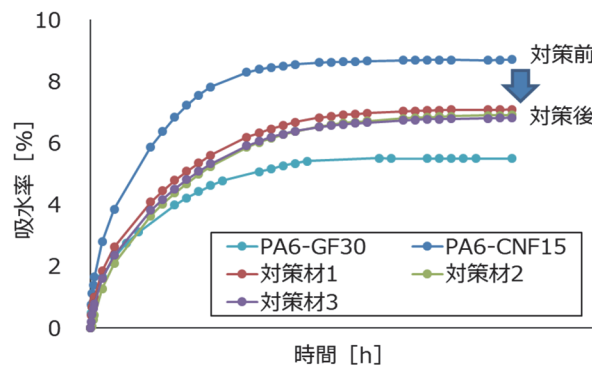


図 2.9-1 対策材の吸水抑制効果

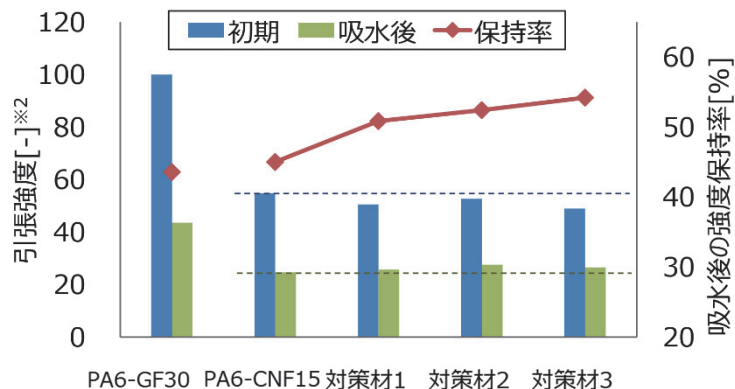


図 2.9-2 対策材の機械特性

2.9.2 工法検討による耐圧強度の向上

前年度までの評価より、現行の溶着方法（以下、現工法）で溶着した PA6-CNF 材料のインマニは、

主な要求特性である耐圧特性が基準値に未達であり、数 $10\mu\text{m}$ サイズの繊維の塊りが破壊起点部で確認された（図 2.9-3 参照）。溶着時に CNF が凝集することが要因のひとつとして考え、溶着時での CNF の凝集が抑制できる溶着方法（以下、対策工法）を選定・適用し、テスト形状で溶着強度が向上することを確認した。そこで本年度は、対策工法を用いてインマニを試作し、耐圧強度を評価した。また溶着部における CNF の充填量を分析し、耐圧強度向上のメカニズムを調査した。

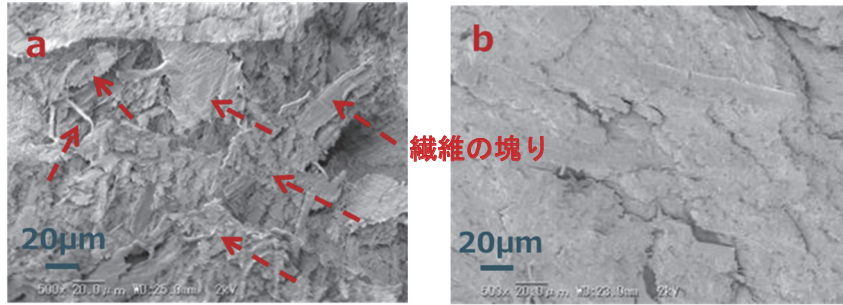


図 2.9-3 耐圧評価後破面の観察結果(a:破壊起点部、b:破壊起点周辺部)

1) 対策工法の基礎評価

PA6-CNF 材料テストピースの溶着試験を各種条件にて行い、対策工法の基礎評価を実施した。溶着では溶着時における溶着部の熔融状態が重要な為、温度と熔融状態の確認も行った。溶着部の強度と熔融状態から、対策工法における溶着部の最適温度条件を明確にした。（図 2.9-4 参照）

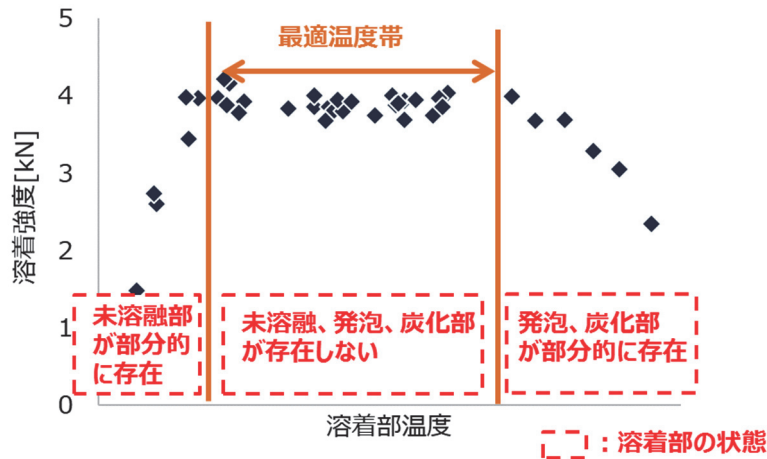


図 2.9-4 対策工法での PA6-CNF 材料の基礎評価結果

2) 対策工法を用いたインマニの試作と耐圧強度の評価

インマニのアップ-ミドル及びミドル-ロアを溶着するため、溶着治具を製作し、溶着部の温度と熔融状態を確認しながら、溶着試験を実施した。インマニの溶着面は、平面では無く 3 次元形状の為、初めは、全ての溶着部の温度を最適温度帯に制御することができず、未熔融部や発泡、炭化部が混在した。そのため溶着治具の修正や条件の調整を繰り返し行い、図 2.9-5 の通り、全ての溶着部温度を最適温度帯に制御する条件を明確にした。その条件にてインマニを溶着し、耐圧強度を評価した。結果は図 2.9-6 参照。

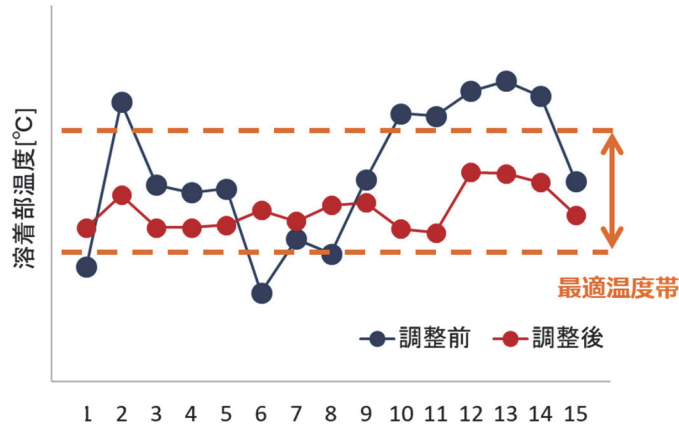


図 2.9-5 調整前後のインマニ(ロア)溶着部温度(任意の 15 点)

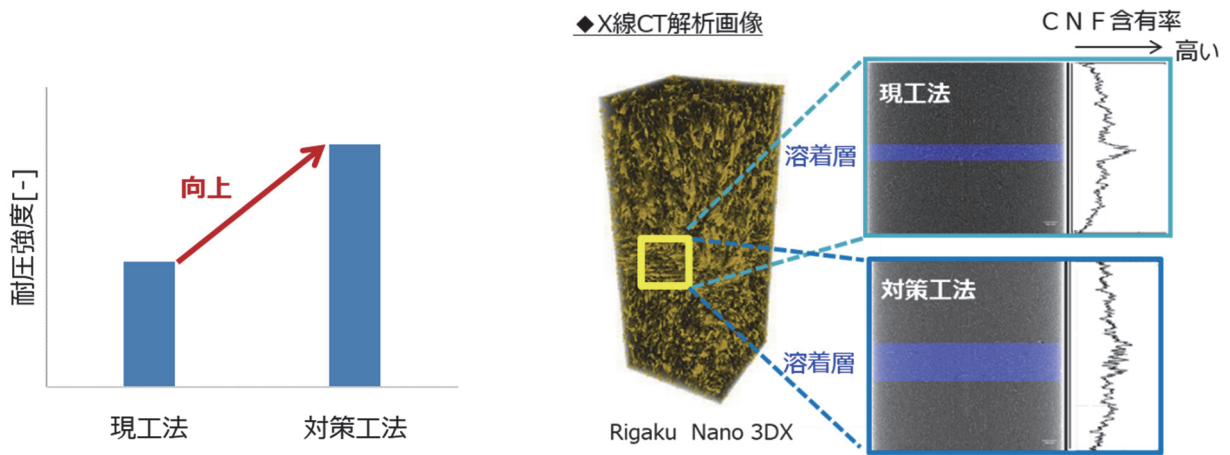


図 2.9-6 現工法と対策工法の
インマニ耐圧強度の比較

図 2.9-7 現工法と対策工法の溶着部
CNF 含有率の比較

対策工法の適用で、インマニの耐圧強度向上が確認できた。今回得られた向上率の最大値と、過去得られた耐圧強度の最大値を用いて算出した耐圧強度は、初期基準値を満足することから、インマニの初期性能に対して達成の目途があることが確認できた。

メカニズムについては、現工法と対策工法の溶着部の CNF 含有率の比較より、現工法で確認された CNF 含有率のピークが、対策工法では軽減されているため (図 2.9-7 参照)、溶着時における CNF の凝集抑制により、耐圧強度が向上したと考えられる。

今後、材料改良による強度向上、吸水抑制による信頼性確保のほか、生産量や品質安定性の確保など、残存課題の早期解決と応用製品の探索を継続し、実用化に向けた開発を加速する必要がある。

2.9.3 部材製造工程での CO₂ 排出量の評価

CNF 材料活用による LCCO₂ 排出量の低減効果を検証するため、インマニの製造工程である成形工程と溶着工程での電力消費量を実測し、インマニ 1 個当たりの CO₂ 排出量を現行材料と比較評価した（図 2.9-8 参照）。CNF 材料活用により、現行工法では、約 10%、対策工法では約 5%、CO₂ 排出量が低減できることが分かった。尚、今後、製造効率を向上することで、更なる低減が可能と考えられる。（走行時、廃棄時を含めた LCCO₂ 排出量の効果は、第 6 章参照。）

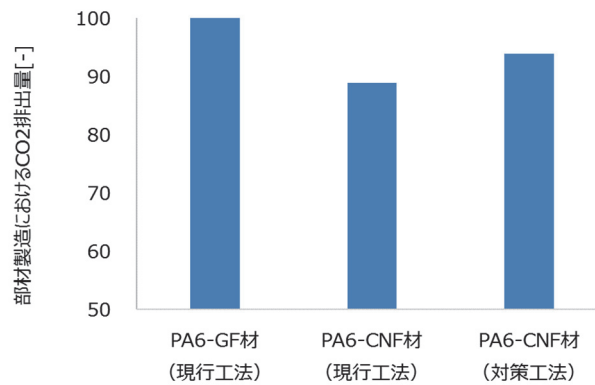


図 2.9-8 部材製造工程での CO₂ 排出量の比較評価結果

2.10 自動車部品用途に向けた CNF 複合透明材料の評価及び自動車部品の試作検討 (トヨタ自動車東日本株式会社)

弊社協業先との共同検討により作製した、ポリカーボネート/アクリルアロイ樹脂材料（以下、PC/PMMA）とセルロースナノファイバー（以下、CNF）との複合材料を用いて、NCV 最終試作車の外装部品を試作し、評価を行った。試作対象部品はバックウィンドウ、ルーフパネルの2部品で、いずれも軽量化目標を『無機ガラス比で 50%または樹脂ガラス比で 20%以上』とし、製品化にあたっての品質目標を『外観品質および常態時の手押し剛性感が量産樹脂ガラス相当であること』として材料、板厚等の設計を行った。

2019 年 3 月末時点で課題であった製品外観不良について、その後の材料改良により不良を解消し東京モーターショー2019 へ出展した。同製品について機械物性および自動車外装部材に要求される耐久品質評価を行い、その評価結果及び、本開発材の実用化に向けた主要課題について報告する。

2.10.1 最終試作製品（東京モーターショー2019 出展製品）の概要

最終試作製品（以下、CNF 試作品と表記）と量産樹脂ガラスの代表物性値を表 2.10-1 に示す。

表 2.10-1 東京モーターショー2019 出展製品の代表物性値

項目	単位	量産樹脂ガラス	CNF 試作品 (CNF13%複合品)
製品板厚	(mm)	5.0	3.9
曲げ弾性率	(MPa)	2.1	4.4
比重	(kg/m ³)	1.2	1.23
ヘイズ値	(%)	<1.0	3.2
熱膨張係数	(ppm/°C)	65~75	32
剛性値	—	263	261
質量指数	(%)	100	80

軽量化については質量指数にある通り、目標であった 20%の低減を達成した。常態時の手押し剛性感については剛性値を評価指標とし量産樹脂ガラス同等であること確認しており、目標を達成している。一方で外観品質について、透明性の指標としてヘイズ値（濁度）を用いて評価しており、量産樹脂ガラスの 1.0 に対し 3.2 と 2 ポイント程度悪化する結果となった。CNF 試作品のヘイズ値に占める CNF 添加影響については、ベース樹脂（PC/PMMA）成形品のヘイズ値が 1.6 程度であることから、差分の 1.6 程度と概算された。

CNF 試作品の CNF 添加による補強効果について、曲げ弾性率の計測結果を図 2.10-1 に示す。曲げ弾性率測定は温度 23±2°C、湿度 50±10%に保たれた恒温室内で実施している。CNF 試作品は無添加の PC/PMMA に対して曲げ弾性率が約 2.1 倍、破断点伸度が 1.5 倍にそれぞれ向上した。熱膨張率に

については、ベース樹脂の PC/PMMA が 72ppm/°C に対し CNF 試作品は 32ppm/°C と 50% 程度に低減できた。

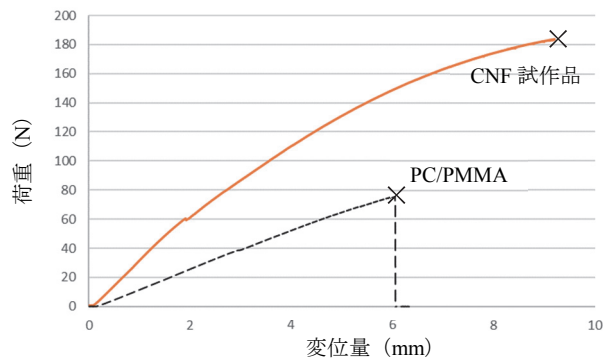


図 2.10-1 CNF 添加による物性向上効果

2.10.2 自動車用部材としての品質評価

前述の特性値を持った CNF 試作品について、自動車外板用途への適用を想定し実車相当の組付け状態を再現し加熱変形試験を行った。試験の供試品は CNF 試作品とそのベース樹脂成形品 (PC/PMMA、t5.0mm) の 2 種類を用い、CNF 添加による耐熱性を比較した。試験手順は以下①～⑨による。

【試験手順】

- ① 鋳鉄製フレームの接着面と製品裏面の接着部をイソプロピルアルコールを用いて脱脂し乾燥
- ② フレーム接着面にウィンドウシールド用接着剤 (横浜ゴム製ハマタイト WS-272) を 8mm 幅で塗布
- ③ フレーム接着面と製品裏面の面間隙が 4mm となる様、治具で固定し室温環境下で 48 時間養生
- ④ 3 次元計測器 (Artec 社製) を用いて製品外形寸法を計測
- ⑤ 恒温試験槽を用いて製品を 90°C×24 時間ソーク (ソークは一定温度に保つこと)
- ⑥ ソーク開始 15~18 時間後に加熱炉内で④と同手法で測定を実施
- ⑦ 24 時間ソーク終了後、製品が十分に常温に戻っていることを確認し、④と同手法で測定を実施
- ⑧ 恒温試験槽を用いて製品を 90°C×15 時間、-30°C×8 時間交互に 4 回繰り返しソーク
- ⑨ ソーク終了後、製品が十分に常温に戻っていることを確認し、④と同手法で測定を実施

本評価において最も顕著な変位差が生じたルーフパネル評価の手順⑥時点の鉛直方向変位量の計測結果を図 2.10-2 に示す。計測時点の製品温度はベース樹脂成型品、CNF 試作品ともに 90±1°C であった。図中の色分布は変位量の多寡を示しており、緑色が最も変位量が少なく、赤色になるにつれて上方に変位し、青色になると下方変位していることを示す。ベース樹脂成型品では破線で示した範囲内が最も大きく変位しており、最大で 2.89mm 上方に変位していた。また連続する一般面 (黄色部) の変位量はおおよそ 1.4~1.8mm 程度、次いで隣接する一般面 (緑色部) は 0.2~0.7mm 程度と、製品

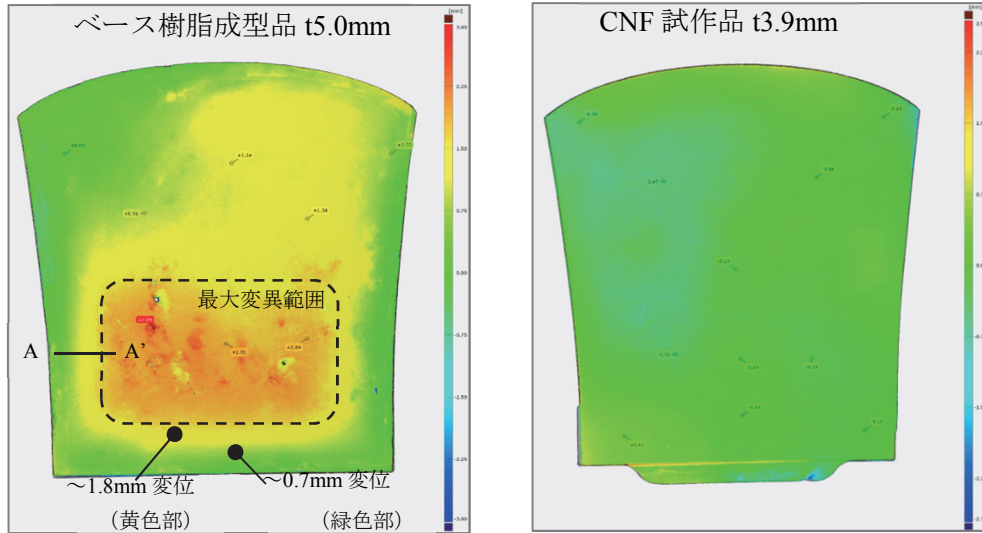


図 2.10-2 耐熱変形量の比較(90°C熱間測定)

外縁部に近付くにつれて変位量は小さくなっていった。製品外縁部はウレタン接着剤でほぼ完全に拘束されていることもあり変位量は小さいが、例えば図 2.10-2 の A-A'断面のように、拘束部から大きな変位点までの距離が比較的近く、狭い範囲で極端な変位勾配となっている部位では目視評価において局部的な歪みが確認された。一方でCNF 試作品は、最大で 0.3mm 程度とほぼ変形せず、色味分布からも分るように極端な変位勾配も無く、目視での外観異常も確認されなかった。このような大判樹脂パネルの熱変形について、製品の組付け方法を、例えばクリップ締結のように、熱による部材の膨張収縮を吸収できる方法に変更することで変形を緩和することは可能であるが、外界からの止水処理や振動による打音の防止など、追加で部品や構造を設定する必要性が生じる可能性がある。一方、本試作品のように熱影響に鈍感なパネル材が実用化されれば、接着剤の全周固定で組付けと同時に止水等の機能担保が可能となり、構造の簡素化や質量低減に寄与できるものと期待する。

CNF 添加による耐衝撃性影響について、図 2.10-3 に示す。本試作では薄肉かつ大面積の製品を成形する必要があった為、まず第一に成形性確保、次いで CNF と樹脂との界面相溶性向上を狙いにポリカーボネートとアクリルをアロイ化した樹脂を用いた。その為、CNF 未添加の場合であっても製品は脆性破壊するが、CNF を添加することでシャルピー衝撃値が 23°C 常態時で約 45% 向上した。

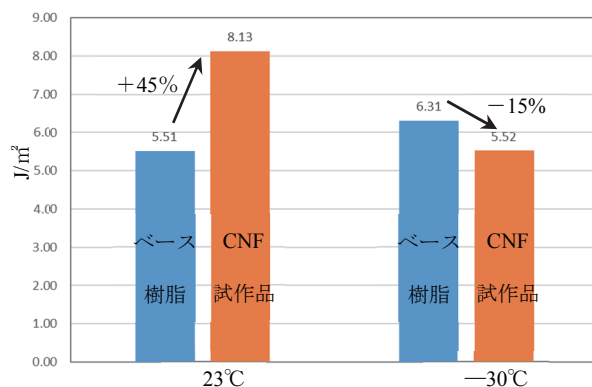


図 2.10-3 シャルピー衝撃試験結果

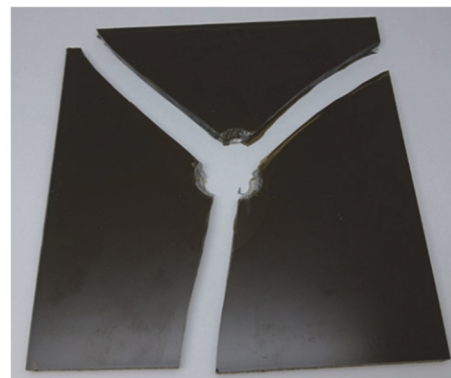


図 2.10-4 CNF 試作品の破壊形態

一方、 -30°C 低温条件下においては無添加のベース樹脂よりも約 15%衝撃値が低下する結果となった。次にデュポン衝撃試験機を用いて CNF 試作品の破壊形態を確認した。半径 6.3mm の撃芯に 1 kg の重りをセットし、同半径の受け座に 120mm 角の試験片をセットして 50 cm 高さから評価した際の結果を図 2.10-4 に示す。本試験において、無添加のベース樹脂と CNF 試作品は同様の形態で破壊し、図 2.10-4 のようにシャープな破面を形成した。これは自動車窓ガラス法規である UN - R43 に記載のある耐衝撃試験、耐貫通性試験を満足しない結果である。主たる原因は流動性向上を狙いに配合したベース樹脂中のアクリル成分であると考えられるが、実用化に向けた今後の課題として材料、工法の両面から改良に取り組んでいきたい。

次に CNF 試作品の外観耐久品質について評価する為、試験片を 90°C の熱風乾燥炉内に 400Hr 静置し、その前後の色差 (L、a、b、 ΔE)、光線透過率 (Tt) および濁度 (Hz) を計測、算出した。



図 2.10-5 CNF 添加品(初期)

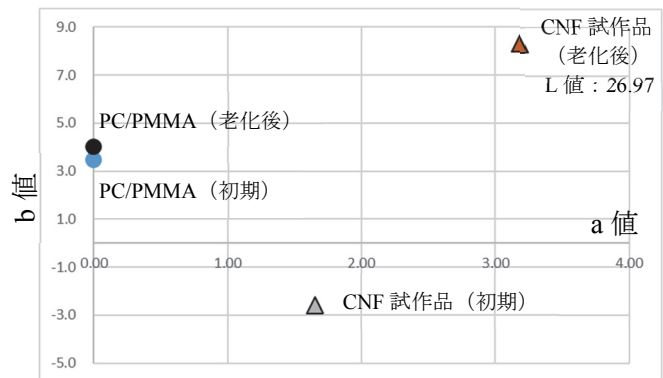


図 2.10-6 加熱老化による部材の変色

図 2.10 - 6 および 7 に各試験項目の計測結果を示す。CNF 試作品は熱影響によって大幅に色差が生じそれによって光線透過率も低下する結果となったが、一方で濁度はほとんど悪化しなかった。色差の主な原因は CNF 中に含まれる極微量のヘミセルロース等に発色官能基が生じたものと推察するが、このような変色は自動車外板部材、ガラス用途において許容される商品力ではない為、実用化には CNF の耐熱性向上が非常に重要な課題であると再認識した。

以上から、CNF 補強した透明樹脂材料の実用化には、脆化傾向の改善と色調変化の抑制が先ずいで対応すべき最重要課題であり、これらの課題を解決することで自動車窓ガラスに限らず多種多様な使途が期待できる。

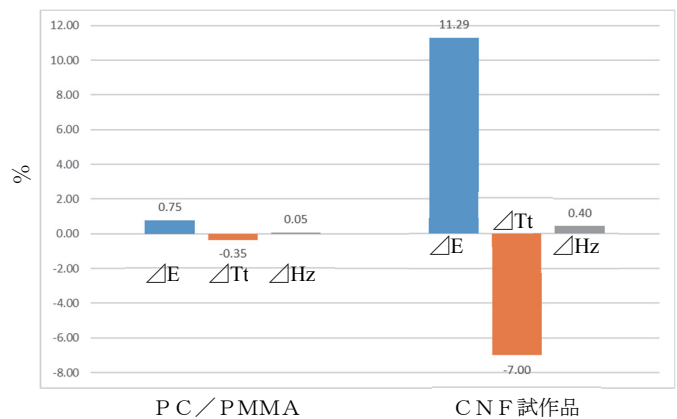


図 2.10-7 色差、光線透過率、濁度の変化率

第3章 CNF 材料の低圧成形加工性評価

3.1 自動車用大物部材の試作検討及び RTM (Resin Transfer Molding) 成形の評価 (金沢工業大学、株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント)

CNF を使用し、高圧の射出成形ではできない大型の構造部材を狙い、(株)トヨタカスタマイジング&ディベロップメントとともに CFRP 等の成形方法で採用されている RTM 低圧一体成形の量産の可能性を評価した。これまで、RTM 用 CNF ペーパー (阿波製紙製) にエポキシ樹脂を注入含浸・硬化したアウター、インナー一体型のエンジンフードを同時成形できることを確認した。今年度は、耐衝撃性について材料構成を見直し、改良を図った。

また、前述の開発した CNF 基材構成と成形法をもとに、更に大型構造部品としてフロアを試作した。この場合は、簡易 RTM 成形である VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) 方式をとった。成形時間はかかるが、より低圧成形ができ、大面積の成形が可能になった。これを東京モーターショー2019 にて展示を行い、自動車関係企業だけではなく、多くの産業のメーカーと接触することができた。

製品仕様に合わせた評価が必要であるが、60%以上の軽量化ができ、走行時の CO₂ 削減効果が大きいことを確認できた。ただ、素材の製造時の LCCO₂ やコストが当面の課題であり、早期にこれらを明確化する取り組みが期待される。

3.1.1 RTM エンジンフードの耐衝撃強度の改善

前年度までに、RTM 用 CNF ペーパーを改良し、材料構成の最適化や成形条件の最適化を通して、樹脂の含浸性や品質改善を図った。その結果、価格や成形時間といった量産の課題はあるものの、60%以上の軽量化や、歩行者保護に期待でき、破面の鋭利性や破壊時の飛散の少ないエンジンフードを試作で

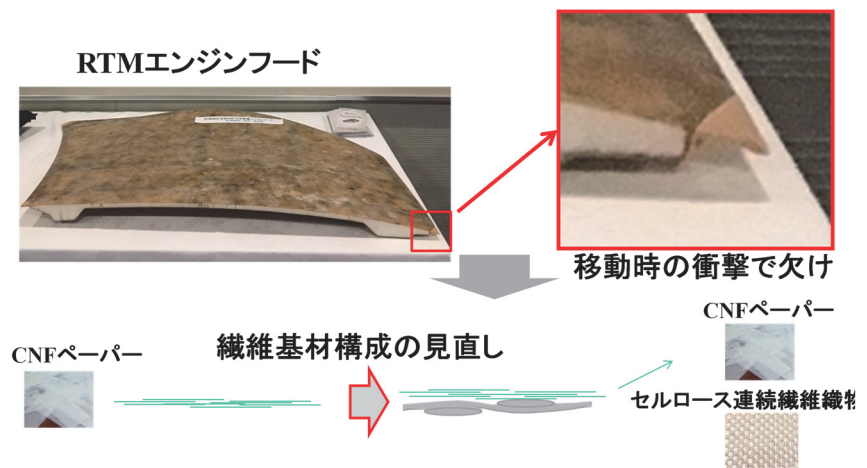


図 3.1-1 耐衝撃特性の改善

きた。ただ、長期耐水性と耐衝撃特性が懸案事項である。いずれも現状、素材側の CNF の改質は難しく、それぞれ、撥水コーティング、およびセルロース連続繊維の積層を考える必要がある。図 3.1-1 に耐衝撃特性改善の方法を示した。CNF ペーパーの積層に更にセルロース繊維織物を必要な個所に部分的に積層することで、衝撃特性が大きく改善できることを確認できた。

3.1.2 VaRTM フロア試作による更なる大型化の可能性検討

今年度は、エンジンフードよりも更に大きなフロアの試作として、成形時間はかかるが、より低圧成形が可能な VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) 成形を試みた。図 3.1-2 に成形型の写真を示す。VaRTM は CFRP や FRP といった繊維複合材料では多く採用されている成形法であるが、RTM に比べて更に低圧 (大気圧) 成形となるため、炭素繊維やガラス繊維よりも含浸性が出にくい CNF ペーパーでフル含浸可能かが懸念された。そのため、エポキシ樹脂よりも低粘度のラジカル重合型の樹脂を採用し、樹脂注入孔の位置を工夫した。ラジカル重合型の樹脂は反応性に富むことから、含浸中に反応し液粘度が急激に上がり、含浸不能となることから、多点注入にて樹脂の流動可能な粘度 (一般には 300mPa/s) を超えないように成形を行った。その結果、図 3.1-3 に示すような大型の一体成形フロアが得られた。ボイドや未含浸は見当たらず、表面平滑性の高い成形品が得られた。含浸性を高めるためにケナフ不織布や断面係数を上げるためにコアマットを必要な部位に配置し、同時成形した。

このフロアを東京モーターショー2019の環境省ブースに展示した結果、多くの部品メーカーや乗用車系以外の製造メーカーと対話できた。また、ベンチャー的な自動車メーカーからは、特殊車両用途に向けての引き合いがあった。

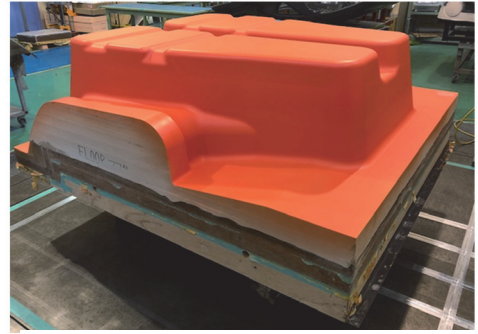


図 3.1-2 VaRTM 成形型



図 3.1-3 VaRTM 成形によるフロア

3.1.3 まとめ

CNF 自動車製品として RTM 成形による大型部品の試作に挑戦してきた。その結果、大型エンジンフードとフロアを成形することができた。アルミよりも 1.5 倍以上の剛性が得られたことから、様々な材料のエンジンフードとの曲げ剛性を等価にした場合を比較してみた (表 3.1-1)。その結果、CFRP 製に近い軽量化が期待できることが分かった。ただ、現状、CNF の価格はスポット価格であり、将来の量産化に向けてのコスト試算も行っていく必要がある。

表 3.1-1 様々な材料のエンジンフードの特性比較

	CFRP	アルミ材	鋼材	CNF _(RTM成形)
曲げ剛性 G	100	100	100	(100)
比重	19	35	100	17
重量	30	53	100	(36)
材料単価	2000	400	100	スポット価格
材料コスト	600	210	100	—

鋼材を100とした場合の比較

3.2 RTM (Resin Transfer Molding) 成形法に適する CNF 材料の評価 (金沢工業大学、京都大学)

RTM 成形したエンジンフード材料の試験片レベルの信頼性評価として、前年度は強度や弾性率の温度依存性、吸水特性、燃焼性や VOC を評価したが、今年度は、長期的耐久性評価として、疲労強度、クリープ、各種耐薬品性を評価した。また、時間—温度換算則からの曲げ強度予測や内部観察による強度予測を行った。結果、CNF ならではの傾向が一部見られたが、一般的な製品としての品質は確保できたと考えている。ただ、製品毎に使用環境は異なるため、採用するには、更に多くの項目や条件で評価する必要がある。

前年度は、強度や弾性率の温度依存性、吸水特性、燃焼性や VOC などの短期的な評価を実施したが、今年度は、以下の一般的な長期的信頼性評価を実施して、自動車部品としての可能性を評価した。

3.2.1 長期信頼性評価 (疲労強度、クリープ、耐薬品性)

疲労とクリープ試験結果をそれぞれ図 3.2-1 および図 3.2-2 に示したが、ともに 120°C 環境下にも関わらず、それぞれ 10⁷ 回、1000 時間までの試験が可能なことを確認した。また、図 3.2-3 および図 3.2-4 の耐薬品性においては、ブレーキオイルにおいて重量増加とそれに伴う強度低下がみられたが、高温試験にもかかわらず、1000 時間までほぼ変化が認められないことを確認した。

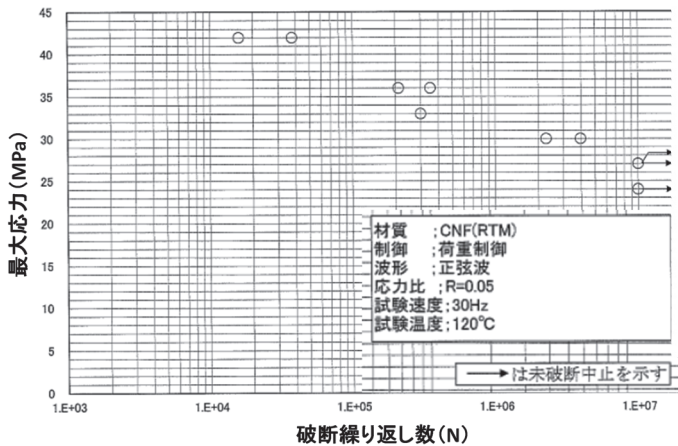


図 3.2-1 最大応力と破断繰返し数の関係

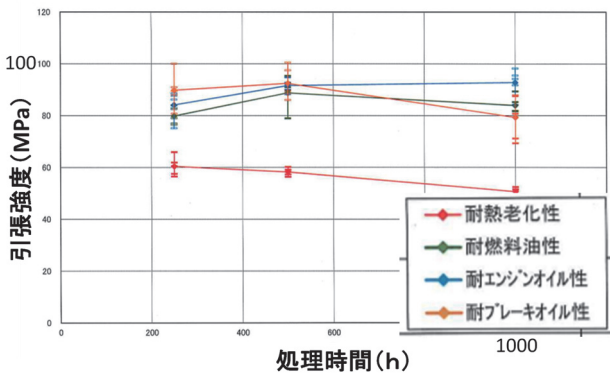


図 3.2-3 各種処理時間と引張強度

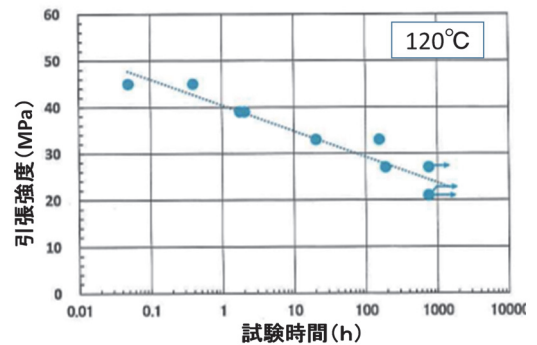


図 3.2-2 応力破断時間線図

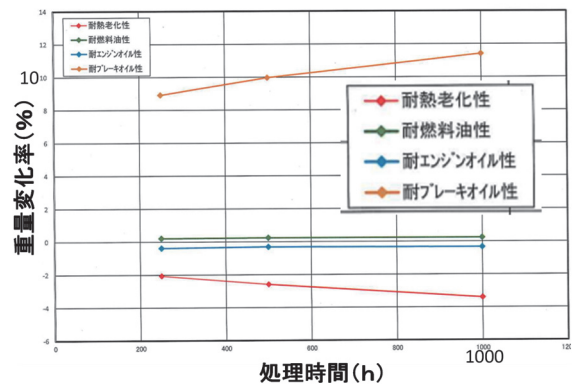


図 3.2-4 各種処理時間と重量変化率

3.2.2 長期信頼性評価（時間-温度換算則）

RTM 成形材料の曲げ強度の温度依存性を評価し、樹脂の粘弾性特性に成立する時間-温度換算則を適用して曲げ強度の長期低下について評価した。図 3.2-5 に粘弾性試験から得られた貯蔵弾性係数の周波数依存データをシフトして合成したマスター曲線を示す。図 3.2-6 は、そのシフト量を示す因子である。また、図 3.2-7 に静的曲げ強度と温度の関係を示したが、先ほどのシフト因子に従い、温度を時間に換算し図 3.2-8 の静的曲げ強度のマスター曲線を得た。ランダム配向の CFRP と同じように時間とともに強度は低下する傾向を示した。この低下の程度は、樹脂分子の運動が大きく変化するガラス転移温度 (T_g) によって決定されると考えられ、部品の寿命要求に合わせた T_g の樹脂を選択する必要がある。今回の結果とエンジンフードでの使用を考えると、もう少し T_g の高い樹脂が好ましいと推測できる。

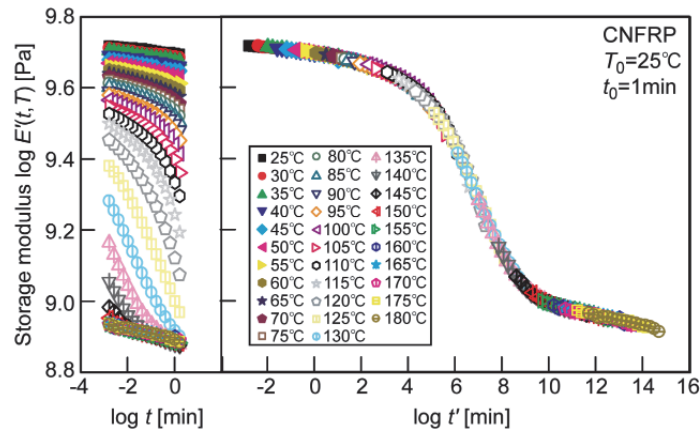


図 3.2-5 貯蔵弾性係数のマスター曲線

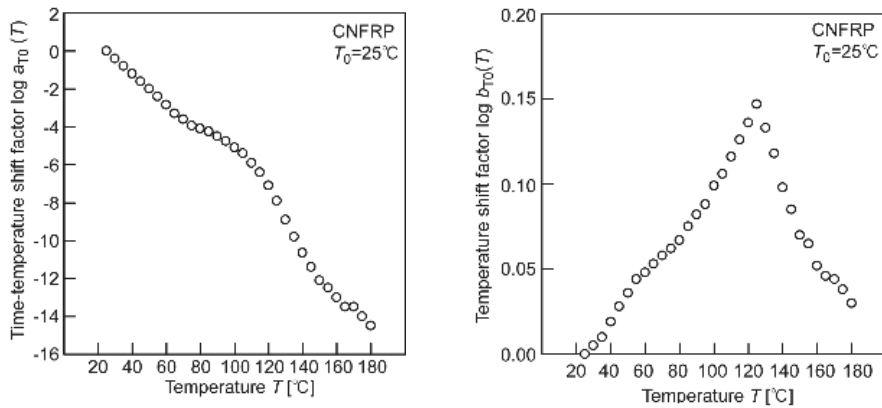


図 3.2-6 マスター曲線作成時の移動因子

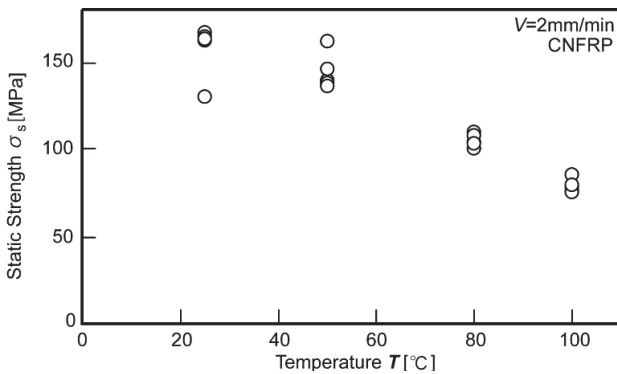


図 3.2-7 静的曲げ強度と温度の関係

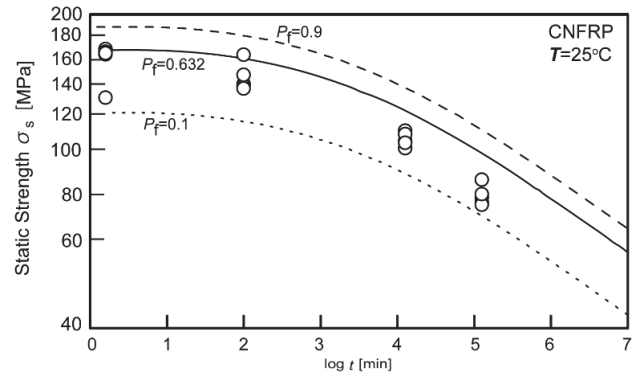


図 3.2-8 静的曲げ強度のマスター曲線

3.2.3 信頼性評価（材料内部観察）

今年度は最終試作試験片から集束イオンビーム（FIB）加工機で断面を加工し、マクロな形態・構造を走査イオン顕微鏡像（SIM）像にて、ミクロな評価を透過電子顕微鏡（TEM）および走査型透過電子顕微鏡（STEM）にて行った。

図 3.2-9 は試料断面の低倍率（ $\times 1200$ ）、図 3.2-10 は高倍率（ $\times 10000$ ）の FIB/SIM 像である。図中、上側が表面側に対応している。視野の明暗コントラストは、紙材、バインダー、および樹脂と思われる層と考えられる。これまでの試作材料に比べて、層間のボイド（図中黄色の矢印）が劇的に少ないことが確認できた。

次に FIB 加工機により断面を薄片化（厚さ $\sim 200\text{nm}$ 程度）し、TEM 観察および STEM 観察によりミクロな構造を確認した。図 3.2-11～図 3.2-13 は試料断面の TEM 像である。なお、TEM 像の視野範囲は最低倍率でも数 μm であるため、一つの試験片から複数の断面観察試料を作製して、断面視野上に構造が確認できたものを観察した。

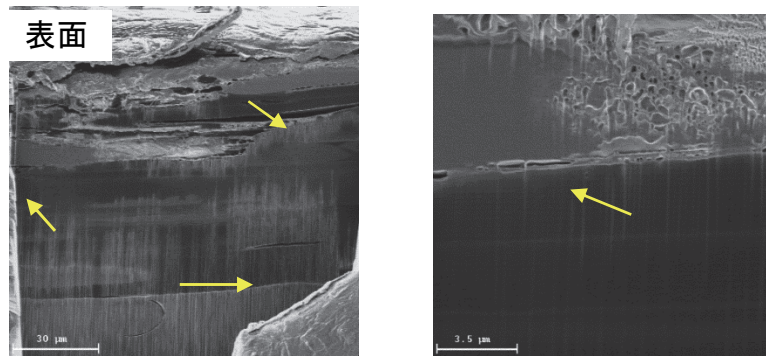


図 3.2-9 SIM 像 低倍率($\times 1200$) 図 3.2-10 SIM 像高倍率($\times 10000$)

図 3.2-11 より、視野全面にわたってコントラストの変化がほとんど見られない像であることがわかる。これらの像は明視野像であり、電子回折像も非晶質からのハローパターン（注）であったことから、確認された視野内に結晶性の構造がないことがわかる。図 3.2-12 から、表面側に若干の暗部が確認されたものの（図中黄色の矢印）、結晶構造は有しておらず、元素分析でも特筆すべき元素は検出されなかったことから、他の明るいコントラストの材料よりも高密度な樹脂系の材料、あるいは非晶の CNF であると推察される。また、試料中（図 3.2-13）に周囲の材料とは明らかに異なる 20nm 程度の粒状あるいは柱状の非晶質構造体が見られた（図中黄色の矢印）。この構造体は図 3.2-3 上に数 μm 間隔で数か所観察されており、バインダーあるいは CNF の非晶質部分である可能性が考えられる。

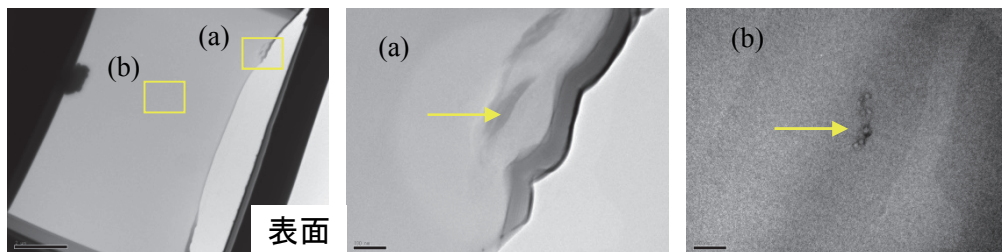


図 3.2-11 試料断面の TEM 像

図 3.2-12 試料断面の TEM 像

図 3.2-13 試料断面の TEM 像

以上の結果から、最終試作試験片は層間のボイドが少なく、接着強度は改善されていると考えられる。また、樹脂などの低密度材料で一様に満たされた領域において、非晶の CNF あるいはバインダーと思われる構造体が数 μm 間隔で分散しており、それらの構造体の界面には目立った空隙ではなく、更に材料中に固定化され、過去の試験片と比べて破壊の起点にはなりにくい状態にあると推察できる。

3.2.4 まとめ

前年度の短期的品質評価に対し、今年度は、長期的信頼性評価を試験片レベルにて実施した。疲労強度、クリープ、耐薬品性の評価からは、自動車部品として期待できるレベルであることが分かった。しかし、時間-温度換算則による強度予測においては、エンジンフードに採用する際の樹脂選択において、耐熱性を考慮した方が良いことが分かった。更に、内部マイクロ観察からは、前年度試作品に比べ、欠陥が低減していることが推察された。ただし、採用検討に移るにあたっては、それぞれの製品の置かれる環境条件や負荷条件に対する評価が必要である。

(注) ハローパターン (halo pattern) ; 電子線を試料に照射することで得られた回折パターンから結晶構造を調べる手法である電子線回折において、試料が非晶質構造の場合、結晶構造のような明瞭な回折スポットやはっきりとした同心円状のパターンは観測されず、ぼんやりとした同心円状のパターンを形成する。これをハローパターンと称する。

第4章 CNF 構造要素モデル及び高濃度 CNF 材料成型品の試作と性能評価

4.1 CNF 材料の接着・接合評価（名古屋工業大学）

CNF ペーパーをコアに用い CNF ボードで張り合わせた CNF ハニカムサンドイッチボード（以後 CNF ハニカムボードと略す）で飛躍的に軽いサンドイッチボードが作成でき、CNF ハニカムボードで試作車のボンネットを利昌工業（株）で作成することとなった。そのための、コアとボードの接着剤と CNF ハニカムボードと補強板の接着剤の選定を行った。CNF ボードと CNF ペーパーコアとの接着はこれまで同様、シート状熱硬化エポキシ系接着剤を用いることになっていた。ところが平面引張強さの測定で、サンプルによって著しく強度の弱いものが見られた。よく観察するとシート状接着剤とコアとの接着不良が一部で見られた。この原因はシート状接着剤の膜厚が $100\mu\text{m}$ と薄く、コアとの接触が十分でなかったためだとわかった。シートを2枚にして $200\mu\text{m}$ の厚膜にして接着することで安定した接着性能が得られることが分かった。CNF ハニカムボードと補強板との接着については利昌工業（株）で CNF ハニカムボードを作成頂き、（株）トヨタカスタマイジング&ディベロップメント（以後 TCD と略す）で中塗り塗装をして頂いた、実際に張り合せる仕様のテストピースを用いて平面引張接着試験を行って接着剤を選定した。常態の接着性能の他、 -40°C の低温、 80°C の高温でも接着性能を測定し、作業性なども加味して2液ウレタン系接着剤を選定した。

構造用 CNF パイプについてはスパイラルに巻いても強度低下がほとんどないことが分かった。本年度は曲がったアルミ管に CNF ペーパーを巻いて、曲がったアルミ/CNF ペーパー複合管（以後 AI/CNF パイプと略す）を昭和プロダクツで作成し、試作車のサイドレールとして搭載することとなった。搭載される AI/CNF パイプの湿度による強度低下の程度を評価した。AI/CNF パイプ全体としては、 $40^{\circ}\text{C}\times 90\%$ 湿度下で7日間保管した場合73%まで強度低下は見られたが、この範囲なら実用上の問題はないと判断される。ただし、CNF ペーパーのみの強度は44%と著しく低下することが分かり、パイプの最表面にアルミ箔などを接着して巻いて、湿度の侵入の防止をした方が良いという事も分かった。

CNF を添加した各種プラスチック部材の接着・接合評価については、CNF 添加ポリプロピレン（以後 CNF 添加 PP と略す）を用いたドア外板と補強板との接着工法の検討を行った。難接着体である PP を接着するため各種接着剤の中から、接着性能、作業性など観点から2液ウレタン系接着剤を選定した。接着工法としては、基材の CNF 添加 PP でできた外板の接着部位をプラズマ処理をしてさらにプライマーを塗布して、接着剤を塗布するという工法で安定した接着ができることが分かり、TCD での技術指導も行った。

CNF 添加 PP の安定した接着のためにはプラズマ処理が不可欠であったが、その理由を探るため、走査型 X 線光電子分光（XPS）による測定を行った。その結果プラズマ処理をすると、接着に関わる官能基である $-\text{CO}$ 基が増加し、 $-\text{COO}$ 基が生成していることが分かった。これらの官能基とプライマー中のイソシアネート基などと反応して接着強度を向上させていることが示唆された。

CNF 添加ポリカーボネート（以後 CNF 添加 PC と略す）は試作車のルーフに使用される。ルーフとボディーの接着は、実績のある 1 液ウレタン系接着剤で接着することになっていた。接着性能は接着厚みと大きく関係するため、接着厚みと接着性能の関係を調べた。その結果 5mm 以下になると接着強度が高くなるが界面破壊を起こしやすくなることが分かり、5mm 以上の接着厚みの確保が望ましいことが分かった。

CNF 添加ナイロン 6（以後 CNF 添加 PA6 と略す）についても接着性能試験を行った。新たに 2 液アクリル系接着剤で評価を行ったところ、CNF 無添加と添加では接着性能に大きな差が認められた。CNF 添加 PA6 はヒートショック（-40℃×90 分と 100℃×30 分を繰り返す）でも接着性能の低下は見られず、CNF 添加により接着性が向上していることが確認できた。さらに XPS での分析でも、-CO- のような官能基の増加がみられ、CNF の水酸基が関与して接着性能を向上していることが示唆された。

4.1.1 構造部材用ハニカムサンドイッチボードの設計

CNF ペーパーをコアにしたボンネット用ハニカムボードの試作が利昌工業（株）で進められている。これを試作車に搭載するためには、フランジ等の取り付け治具がつけれるように補強板を接着し

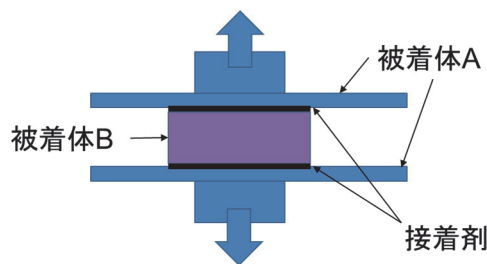


図 4.1-1 平面引張接着強さ試験の模式図

て張り合わせる必要がある。関係機関と相談した結果、ボード外装面に影響を出さないために柔軟性のあるウレタン系の接着剤が良いという事で、4 社から供試を受けその評価を行った。その試験方法を図 4.1-1 にその測定結果を表 4.1-1 に示す。左図に示すように平面引張試験により接着剤を選定するのが今回の場合一番適していると考え、図のような平面引張試験用の治具を作成して試験を行っ

表 4.1-1 各種CNF部材の平面引張試験結果

接着するもの 被着体A/被着体B/被着体A	接着剤	引張強度 (MPa)		破壊形態
		初期	ヒートショック 50回	
CFRP/CNF板/CFRP	I社2液ウレタン(I)	8	10	CNF板材破
CFRP/CNF板/CFRP	I社2液ウレタン(II)	7.7	6.8	CNF板材破
CFRP/CNF板/CFRP	E社1液ウレタン(柔)	2.1	1.8	CNF板材破・AF
CFRP/CNF板/CFRP	E社1液ウレタン(硬)	4	3.8	CNF板材破
CFRP/CNFハニカムボード/CFRP	G社1液ウレタン	0.9	—	接着剤凝集破壊
CFRP/CNFハニカムボード/CFRP	E社1液ウレタン	1.5	1.3	ハニカムボード材破
CFRP/CNFハニカムボード/CFRP	I社2液ウレタン(I)	1.9	2	ハニカムボード材破
CFRP/CNFハニカムボード/CFRP	I社2液ウレタン(II)	1.9	1.6	ハニカムボード材破
Al板/CNFハニカムボード/Al板	I社2液ウレタン(I)	2.1	2	ハニカムボード材破
Al板/CNFハニカムボード/Al板	I社2液ウレタン(II)	2.1	1.6	ハニカムボード材破
Al板/CFRPアルミハニカム/Al板	I社2液ウレタン(I)	>7.2	—	Al/CFRP面の界面破壊
Al板/CFRPポリイミドハニカム/Al板	I社2液ウレタン(I)	>2.2	—	Al/CFRP面の界面破壊
Al板/CFRP発泡アクリルハニカム/Al板	I社2液ウレタン(I)	1.6	—	発泡アクリル材破

ヒートショック試験：-40℃×90分と100℃×90分を繰り返す。

た。

I社1液ウレタン以外はCNF板を破壊する程度以上の接着強度が得られた、特に2液ウレタン系が強度が高かった。実際のハニカムボードで試験をすると、ハニカムボードがコアとボードの間で破壊が起こるが、50回のヒートショック試験でも特に問題がないと判断された。1液ウレタン系接着剤は、空気中の湿気と反応して硬化するため、接着剤を中まで硬めるためには5日以上の日数を要しその間動かすことができないという問題が有った。I社2液ウレタンについては当初は（I）だけであったが、2液の接着剤を混合して被着体に塗布し張り合わせるまでの時間（可使時間）が15分と短く、ボンネット組み立ての際に大きな問題となることが想定されたため、I社に依頼して可使時間を1時間程度に延ばした処方のもを試作してもらったものである。以上のスクリーニングの結果から、I社2液ウレタン（II）で試作車のボンネットと補強板の接着を行う事とした。

次に接着された部品が使われる環境での性能を評価しておく必要があるので、I社2液ウレタン（II）について、ヒートショック前後で、さらに常温、-40℃と80℃での平面引張試験を行い、環境性能評価を行った。その結果を表4.1-2に示す。

表 4.1-2 CNF ハニカムボード用接着剤の環境性能評価

平面引張強さ測定条件	引張強さ(Mpa)		破壊状態
	初期	ヒートショック後	
常温	1.9	1.6	ハニカムボード材破
-40℃	2.8	2.9	ハニカムボード材破
80℃	1.7	1.7	CF

接着剤：I社2液ウレタン系（II）接着剤
 被着体：CFRP板／CNFハニカムボード／CFRP板
 ヒートショック：-40℃×90分と100℃×90分を50回繰り返し返した。
 破壊状態：CNF板破壊＝CNF板一層破壊、CF＝接着剤の凝集破壊。

-40℃の低温では、接着剤の弾性率が高くなって、引張強さは常温に比べて高くなる。逆に80℃と高温になると、接着剤の弾性率が低下して、引張強さは低下する。ヒートショックによる影響もほとんどないことも確認できた。この接着剤なら、ハニカムボードと補強板との接着を行っても問題がないことが確認されたので、TCDにその旨連絡をして実際の接着をしてもらう事にした。

次にA1/CNFパイプについては、スパイラルにCNFペーパーを巻いても平巻きと変わらない強度が出せる事がわかり、曲がったアルミパイプにらせん巻きをすることで曲管の作成ができる可能性が見いだせた。そのため試作車のサイドレールをA1/CNFパイプで作成する事となった。パイプの強度を最大にするためには、CNFペーパー同士の接着を浮きや隙間が発生しない様に巻き硬める事が重要である。パイプに巻いた接着剤のついたCNFペーパーに如何に圧力をかけるかが、パイプの曲げ強度を上げるポイントである。平板で測定したところ、5Kg/cm²程度の圧力をかければ、アルミと同等の強度に達する事が分かった。アルミの熱線膨張率は35×10⁻⁶/Kで有るのに対し、CNFペーパーは9×10⁻⁶/Kと小さく、この差を利用すれば、アルミパイプに強くCNFペーパーを巻き締めることができると考えられる。したがって、使用する接着剤は熱硬化型でできるだけ高温硬化できるものが良く、利昌工業（株）から高温硬化のフェノール系接着剤の紹介がありこの用途に適していることが分かった。その接着剤を用いたサイドレール用のA1/CNFパイプの作製は昭和プロダクツ（株）で

行われた。

このようにして作成される AI/CNF パイプは湿度等の影響で強度変化が起こる可能性が有る。その影響を調べるため昭和プロダクツ（株）より供試された接着剤付き CNF ペーパーを、9mmφのアルミパイプにラセン巻きを行い 170℃で 30 分加熱硬化させた。さらにその上に接着剤付き CNF ペーパーをらせん状に巻いて硬化させる作業を計 3 回行った。最後に 170℃で 1 時間加熱し完全に接着剤を硬化させ、表記の環境下に 7 日間保管して曲げ強度を測定した。

表 4.1-3 アルミ/CNF 複合パイプの保管環境の影響評価

パイプ種類	保管環境条件	曲げ強度 (Mpa)	曲げ強度低下率 (%)	曲げ力 (N)	アルミを除いた曲げ力 (N)	曲げ力低下率 (%)
アルミパイプ	室温放置	291		640		
AI/CNFパイプ	40℃×15% 7日間	184	100	1,035	395	100
	室内7日間	176	95	980	340	86
	40℃×90% 7日間	134	73	413	173	44

AI/CNF パイプそのものの強度は、40℃×90%の湿度下に 7 日間置いても、40℃×15%で 7 日間保管したものを 100%として、75%の強度を保持している。その点では実用範囲であると考えられる。しかし、アルミパイプの強度分を除いた、CNF ペーパーパイプのみの強度だけでは、40℃×90%に 7 日間保管すると、元の強度の 44%にまで低下していることがわかる。この結果から、特に CNF ペーパーを厚く巻くような AI/CNF パイプを作成する場合は、最後にアルミ箔等を巻いて接着し、湿度を通さないような工夫が必要だと考えられる。

4.1.2 CNF 部材の接着接合法の選定

CNF が添加された色々な樹脂で、試作車用の成型加工部品が作成されようとしている。その中で、CNF を添加したポリプロピレン (CNF 添加 PP と略す) でドアをはじめとした部品作成が進んでいる。ポリプロピレン (PP) は接着が難しい難接着材料として知られており、CNF 添加 PP でできたドアの外板と補強板との接着工法を検討することになった。

一般に販売されている PP 用接着剤と言われるものは、少なくとも PP に対してプライマー処理がプラズマ処理が必要である。CNF 添加 PP についてもその必要性の検討を行った。プラズマ処理だけで接着できるアクリル系接着剤はあったが、この接着剤は 2 液配合型で、配合後可使時間が 5 分程度と短く、張り合せるまでの時間が 5 分以上かかると接着性能が低下すると言った傾向がみられた。プライマーだけで接着できるものとしてはシアノアクリル系接着剤もあったが、ヒートショックにかかるとはがれるという不具合が発生した。これらの結果から、作業する時間が十分に取れる可使時間が長い 2 液ウレタン系接着剤で接着することとした。この接着剤を使用する場合、先ず CNF 添加 PP にプラズマ処理をして、その後 1 日以内にプライマーを塗布し接着するという工程で安定した接着性能が得られることが分かった。本工法によるドアの組み立てを TCD に提案し、その技術指導も行った。

表 4.1-4 CNF 含有 PP のせん断接着強さ試験結果

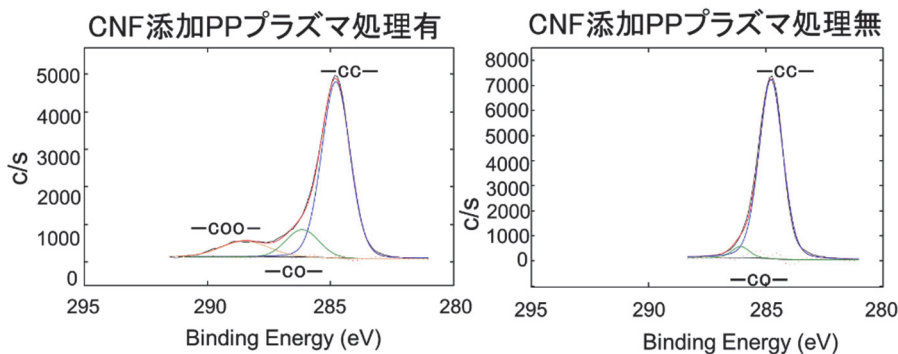
接着剤	被着体	プラズマ処理	プライマー処理	ヒートショック (回)	せん断強度 (MPa)	破壊状態
A社2液アクリル系	PP/PP	無	無	0	0.7	AF
A社2液アクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	無	0	2.6	PP材破
A社2液アクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	無	50	2.6	PP材破
A社2液アクリル系	PP(CNF)/CFRP	有	無	0	2.7	PP材破
A社2液アクリル系	PP(CNF)/CFRP	有	無	50	2.8	PP材破
B社2液ウレタン系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	有	0	2.5	PP材破/AF
B社2液ウレタン系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	有	50	2.5	材破
B社2液ウレタン系	PP(CNF)/CFRP	有	有	0	2.7	PP材破
B社2液ウレタン系	PP(CNF)/CFRP	有	有	50	2.5	PP材破
I社2液ウレタン系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	有	0	2.5	PP材破/AF
I社2液ウレタン系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	有	50	2.5	PP材破
I社2液ウレタン系	PP(CNF)/CFRP	有	有	0	2.6	PP材破
I社2液ウレタン系	PP(CNF)/CFRP	有	有	50	2.7	PP材破
I社2液アクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	無	0	2.6	PP材破
I社2液アクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	有	無	50	2.6	PP材破
I社2液アクリル系	PP(CNF)/CFRP	有	無	0	2.9	PP材破
I社2液アクリル系	PP(CNF)/CFRP	有	無	50	2.8	PP材破
T社シアノアクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	無	有	0	2.6	PP材破
T社シアノアクリル系	PP(CNF)/PP(CNF)	無	有	20	0.0	装置内剥離
T社シアノアクリル系	PP(CNF)/CFRP	無	有	0	2.9	PP材破

ヒートショック：-40℃×90分と100℃×90分の繰り返し。

被着体：PP=ポリプロピレン、PP(CNF)=CNF添加PP、CFRP=カーボンファイバー強化プラスチック

破壊状態：AF=界面破壊 CF=凝集破壊 材破=試験板の破壊。

CNF 添加 PP にプラズマ処理をした時の、基材表面の化学的変化を調べるため、走査型 X 線光電子分光 (XPS) による分析を行った。その結果を図 4.1-2 に示す。CNF 添加による-C-O-結合は観察されるが極僅かでこれでは接着性能を確保するのは難しいと思われる。一方、プラズマ処理をすると、-C-O-結合の増加や、-C-O-O-結合の生成などが見られ、これがプライマーに含まれる-N=C=O (イソシアネート基) との反応し接着性が向上したものと考えられる。



分析装置：走査型X線光電子分光分析装置PHI X-tool(アルバック・ファイ)
 分析条件：ナローC1s[298-280eV] N1s[410-392eV] O1s[543-525eV] Ca2p[361-343eV] パスエナジー112.0eV
 分析試料：PP(CNF)プラズマ処理有・無

図4.1-2 走査型X線光電子分光によるプラズマ処理CNF添加PPの分析

今回試作車のフロントグリルのアンダーフィンなどに CNF 添加 PA6 が使われているが、接着工法での接合は行われていない。ただし、将来を考えると接着工法に適した接着剤の選定も必要である。昨年ま

での検討で、CNF 添加 PA6 はウレタン系接着剤などを使えばプライマーなしで接着できることは分かった。ただし、ウレタン系接着剤は金属などにつけるためにはプライマーが必要で有り、接着強度も一般的には低い。今回新たに 2 液アクリル系接着剤での接着試験を行った。結果を表 4.1-5 に示す。

表 4.1-5 CNF 添加 PA6 と無添加 PA6 の接着性能比較試験

被着体	プライマー処理	ヒートショック(回)	せん断強度 (Mpa)	破壊状態
PA6(CNF)/PA6(CNF)	無	0	3.7	PA6材破
PA6(CNF)/PA6(CNF)	無	50	3.9	PA6材破
PA6(CNF)/CFRP	無	0	7.3	PA6材破
PA6(CNF)/CFRP	無	50	6.3	PA6材破
PA6(CNF)/Fe	無	0	8.1	PA6材破
PA6(CNF)/Fe	無	50	2.3	PA6 AF/材破
PA6(CNF)/Al	無	0	8.0	PA6 AF・材破
PA6(CNF)/Al	無	50	5.9	PA6材破
PA6/PA6	無	0	3.4	PA6 AF
PA6/PA6	無	50	3.1	PA6 AF
PA6/CFRP	無	0	7.3	PA6 AF
PA6/CFRP	無	50	0.1	両面AF
PA6/Fe	無	0	6.6	PA6 AF
PA6/Fe	無	50	0.0	PA6 AF
PA6/Al	無	0	6.7	PA6 AF
PA6/Al	無	50	0.4	PA6 AF

接着剤:C2液アクリル系接着剤。

被着体:PA6(CNF)=10%CNF添加PA6、PA6=CNF無添加PA6、Al=A-6061P-T6、Fe=SPCC-SD。

ヒートショック:-40°C×90分と100°C×90分の繰り返し回数。

破壊状態:AF=界面破壊 CF=凝集破壊 材破=試験板の破壊。

CNF 添加 PA6 は明らかに接着強度が高く、ヒートショックなどの虐待試験でも接着性能は低下しない。しかし CNF の入っていない PA6 では異種材料との接合において、ヒートショック後の接着強度が著しく低下し、破壊形態も界面破壊 (AF) となることが分かった。この結果から、明らかに CNF 添加 PA6 は接着性能が高くなっていることが分かった。その原因を探るべく XPS を測定したところ、セルロースに起因するとみられる-CO-基が増加しており、これが接着剤と何らかの反応をして接着性能を向上させたのではないかと考えられた。

4.2 CNF 材料の構成と構造の最適化（秋田県立大学）

自動車構成要素材料として高濃度で CNF を含有するスラリー脱水型の CNF 材料およびシート積層型 CNF パイプの 2 種類の材料についてそれらの応用を検討した。

スラリー-CNf 材料については主に最終試作車用の材料提供に向けた技術提言を実施した(第 4.3 項、第 4.4 項参照)。CNF パイプについては前年度に最終試作車実装用として作成された材料の性能評価などを行った(第 4.5 項参照)。いずれの材料についても、将来的な社会実装に向けて必要となる材料設計・評価方法や課題解決のための提案・助言を行った。

4.2.1 アルミ-CNf 複合パイプの製造技術・性能評価手法への提言

昨年度末に作成した最終試作車のルーフサイドレールに使用するアルミ-CNf 複合パイプなどは、長スパンの曲げ部材として用いる。これらの曲げ性能をより正確に把握・評価するため、試験用パイプの外径より 1mm 程度大きい内径を持つ金属管を用いてスパンを延長して 4 点曲げ試験をする方法を考案した(図 4.2-1)。このとき、荷重点間の上下面にひずみゲージを貼り、その曲げひずみと荷重から弾性率を得た。その結果、最終試作車に実装したものとほぼ同じ



図 4.2-1 CNF パイプの 4 点曲げ試験

断面を持つ CNF/アルミ複合パイプが外径 30mm で肉厚が 1mm ステンレス管の 80%程度の荷重性を持つことが明らかになった。この結果から、断面の設計等を最適化することで同等以上の荷重性をより軽量の構造で得られる可能性があることが明らかになった。また、コントロール値に用いたアルミ管やステンレス管の試験の弾性率値を見ると、この延長管を利用した方法はこれまでの手法に比べ文献値に近い値が得られており、正確性が高い評価方法であることが確認できた。ただし、条件間の試験値の相互関係については他の方法と差異は無かったため、改良効果の検証などの相対比較時にはより簡単な 3 点曲げなどの手法をとっても問題ないと考えられた。

社会実装に向けた生産技術の実用的改良点の検討として、シート積層後の圧縮に伴う不整(皺や隙間などの発生)を防止する目的で前年度に考案したプレラミネート法を工業的手法で行ったときの効果を検証した。従来の実験室的手法によってプレラミネートしたもの、および新しく工業装置を用いてプレラミネートした外径約 12mm の CNF/アルミ複合パイプの 2 種類のパイプを作成し、その物性を 3 点曲げ試験で比較した。その結果、比弾性率で 30%以上の曲げ性能の向上が見られた。このことから、プレラミネート法の力学性能への向上効果が昨年度評価したものより高いことが明らかになった。

さらに、現状の CNF 管製造技術における加熱硬化時間の短縮方法について、これまでの逐次圧縮・最終硬化による方法から、接着剤の熱可塑性樹脂の性質を利用した仮接着・完全巻き上げ・最終硬化による方法に変更することを提案し、その効果を検証した。結果、加熱に必要な時間を従来の 1/3 以下にしても物性的に遜色のない材料が得られることが明らかになった。また、この手法を応用することで CNF リボンのプレヒートによる連続成型への可能性を見出すことができた。

4.2.2 高濃度 CNF 材料を用いたハニカムパネルの評価・材料最適化

最終試作車にボンネット外装として実装する CNF ハニカム材料の表層材となる 100%CNF スラリー成形材料を成形するための大型の吸引板を設計し、秋田県立大学木材高度加工研究所が有する NC ルーターを用いて加工を行った。吸引板の試作にあたり、300mm 角の小サンプルを用いて実験を繰り返し行い、吸引経路や吸引条件について種々の条件を検討し、最適化を行った。検討に際しては、ミニ実験の盤面寸法をユニット化して、最終的にこれを多面展開することでボンネット用材料の成形に必要な大寸法に合理性を持って対応できるよう配慮した。この結果を共同実施機関と共有して大型化することで、結果的に小サイズのサンプルを用いた実験とほぼ同じ手法、ほぼ同じ経過時間にて脱水・成形が可能であることが確認できた。

さらに将来的な社会実装に向け、建材などで標準的な 3×6 尺 (1820mm×910mm) 寸法のニーズに対応できることを検証するべく、この寸法での成形についても取り組み、これまでと同様に脱水できることを確認するとともに、平板を得るための乾燥法に対してコア脱水治具を用いた新しい技術を考案し、3×6 尺サイズで 2 倍の乾燥効率を得ることに成功した。さらに、これら種々の検討や実証実験の結果、CNF の均質化やスラリーの脱水過程、最終の材料物性に原料 CNF の解繊状況や分散、保存状況などの影響がかなり強く反映することを見出し、今後の社会実装に向けて将来的な検討課題を提起することができた。

4.3 CNF パネル及び CNF ハニカムボードの成形加工条件の最適化と特性解析 (利昌工業株式会社)

前年度から引き続いて、水に分散した CNF スラリーを脱水・加熱加圧成形して得られる成形品（以下、100%-CNF 成形品）の効率的な製造条件を検証した。製造条件の効率化に伴い、100%-CNF 成形品の物性は当初より安定するようになった。

自動車部材でも特に大型の部品は、軽量化が最重要課題なため、軽量で剛性が確保できるハニカムサンドイッチ構造を提案した。一般的なハニカムサンドイッチ構造は、図 4.3-1 に示すように紙やアラミド不織布、アルミなどからなるハニカムコアを強度のある GFRP や CFRP を表裏に張り合わせた構成となっている。この構成にすることで、材料の厚さを大きくすることができ、かつ内部が中空になるので、比剛性を著しく大きくすることができる。

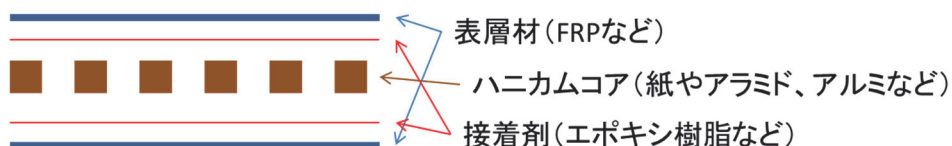


図 4.3-1 ハニカムサンドイッチ材の構成例

したがって、本事業では、薄くて軽量である構造として、100%-CNF 成形品をスキン材に用い、CNF 紙で試作した CNF 紙ハニカムをコア材として用いたハニカムサンドイッチ構造を提案し、この構造材の自動車部材としての適用性の検証を行う。この準備として次の項目を検討した。軽量の自動車部材として適用の検証を行うための準備として、次の項目を検討した。

- ①100%-CNF 成形品の材料定数の測定。
- ②100%-CNF/CNF-ハニカムのサンドイッチパネルの試作と材料定数の測定。
- ③大判成形条件の検討。

4.3.1 100%-CNF 成形品の材料定数の測定

市販品の CNF は、1～30%程度の固形分で水に分散した状態で提供される。一般に市販されている CNF 原料を用いて 100%-CNF の板を試作した。これまでの検討で、水に分散した CNF から脱水する過程で、材料の均一度が材料物性に影響することが分かってきている。購入してきた CNF スラリーを予備攪拌することで成形する際の均一性を、向上させて、100%-CNF 板材を作製した。

I. CNF 原料

- A 品：10%固形分の CNF 水スラリー
 - B 品：2%固形分の CNF 水スラリー
- (いずれも同一の製造元)

II. 100%-CNF 板の作製

CNF スラリーをシート状に予備成形し、固形分を 20%程度まで脱水した後に、SUS 製の鏡面板に挟んでさらに加圧して脱水した。その後、150℃に昇温し、4MPa で保持し成形体を得た。

III. 試験片寸法と試験条件

力学試験は、いずれも JIS-K6911 に準拠した。CNF 成形品は吸湿の影響で力学物性が大きく変わる可能性があり、曲げ試験については、80℃で 12 時間真空乾燥させた試験片を全乾状態として、また、乾燥後に湿度 50%、23℃で 48 時間放置した試験片を常態とした。

曲げ試験片は、厚さ 1.0mm の板を 25×50mm に切り出した。試験は、支点間距離を 16mm、試験速度 0.5mm/分の条件で実施した。

引張試験片は、厚さ 0.5mm の板から下記寸法のダンベル形状を切り出し、試験片中央部に必要に応じてひずみゲージを張り付けた。試験は、つかみ具間距離 110mm、試験速度 5mm/分で実施した。

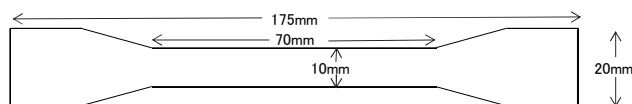


図 4.3-2 引張試験片

IV. 結果

表 4.3-1 100%-CNF 板材の曲げ試験結果

		曲げ弾性率 (GPa)	曲げ破壊応力 (MPa)
A 品	全乾	11.1	245.2
	常態	10.6	208.2
B 品	全乾	10.5	316.7
	常態	9.9	224.5

表 4.3-2 100%-CNF 板材の引張試験結果

		ヤング率 (GPa)	引張破壊応力 (MPa)	ポアソン比
A 品	常態	14.1	112.0	0.30
B 品	常態	16.6	142.9	0.30

固形分濃度の異なる CNF 水スラリーを 2 種用い、材料物性を評価した結果、2%-固形分で供給される B 品を用いた 100%-CNF 板材のヤング率、引張強度、曲げ強度は 10%-固形分の A 品よりも大きくなることが分かった。A 品と B 品は、原料パルプから CNF に解繊する時の仕込濃度の違いがあり、低い濃度で解繊されている B 品の方が CNF の解繊度が高いのではないかと推測される。また、A 品と B 品を同一濃度に希釈した場合、B 品の方が粘度が大きくなったことから、それぞれの解繊度の違いが生じていると考えられる。

さらに、B 品の予備脱水にかかる時間は A 品の約 3 倍となり、作業性、生産性を考慮した場合、よ

り高い物性を求めなければ、A品の方が扱いやすい。したがって、A品を用いてハニカムサンドイッチ材を試作することにした。

4.3.2 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ材の物性測定（4点曲げ）

ハニカムサンドイッチ材の力学特性は、表層材の厚さやコア厚さ、セル寸法などの影響を受ける。したがって、実用部材を設計するためには、様々な構成のハニカムサンドイッチ材を事前に評価することが重要となる。本項では、最終試作車のボンネットアウトターに適用した構成の材料物性を求めるとともに、いくつかのハニカムサンドイッチ材の構成についての物性を評価した。

なお、CNF ハニカムサンドイッチ材は、通常環境での使用を想定しているため、物性測定は常温のみとした。

I. CNF 原料

A品： 10%固形分のCNF水スラリー

II. 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ材の作製

50 μ m厚のCNF紙で別途作製したセル寸法が3.3mmで、20重量%のフェノール樹脂を含浸させたハニカムコアをエポキシ樹脂系シート接着剤を用いて第4.3.1節と同じように作製した100%-CNFの板材を接着した。接着張り合せは真空バギング法にて実施した。比較として、0.5mm厚のガラスフェノール積層板（GFRP）を表層材に用いたハニカムサンドイッチ材も作製した。

III. 試験片寸法と試験条件

ハニカムサンドイッチ材の評価として、ASTM-C393に準拠し、4点曲げ試験を実施した。本試験により得られる情報は、コアのせん断強度や接着強度、破壊たわみ等であり、実用時の負荷に近い力学物性となる。

ハニカムコアや表層材により試験片の厚さは異なるが、試験片幅は厚さの2.5倍（試験規格は2倍以上）、試験片長は200mmとした。また、試験速度は5mm/分とした。

IV. 結果

表 4.3-3 CNF ハニカムサンドイッチ材の 4 点曲げ試験結果

表層材種	表面厚さ (mm)	コア厚さ (mm)	見かけの弾性率 (GPa)	線形限界応力 (MPa)	線形限界たわみ (mm)	最大応力 (MPa)	破壊モード*
CNF	0.3	3.0	6.4	32.7	6.0	62.0	△
	0.3	9.0	2.7	15.9	2.9	31.0	△/□
	0.5	3.0	7.9	44.7	6.2	84.0	△
	0.5	9.0	3.3	14.7	2.4	31.7	○
	0.5	19.0	1.1	5.0	1.4	7.1	○
GFRP	0.5	3.0	14.8	56.8	4.3	121.0	◇
	0.5	9.0	5.7	20.8	1.8	29.2	○

*破壊モード表記：

コアのせん断破壊：○、表面材（引張側）破壊：△、コアの座屈：□、接着層の破壊：◇

CNF/CNF ハニカムサンドイッチ材の 4 点曲げ試験では、コアの厚さと表層材の厚さで破壊モードが異なることが分かった。ハニカムコアの厚さが 3mm の場合は、破壊は主に曲げ変形時の引張側が破断する。一方、ハニカムコアが厚くなると、ハニカムコアのせん断破壊が支配的となった。表層材に CNF と比べて高強度、高弾性の GFRP を用いた時は、表面材は破壊せずコアの破壊もしくは表層材とハニカムコアとの接着層での破壊となった。

CNF ハニカムサンドイッチ材を実使用する際、その安全性を考慮するためには、破壊モードをコア破壊、接着破壊になるように設計することが重要であり、今後の課題として、CNF ハニカムサンドイッチ材の表層材の厚さやコアの厚さ、接着剤の選定など、最適な組み合わせの検討が必要である。

4.3.3 大判 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ材の試作

100%-CNF ハニカムサンドイッチ材は、軽量で高い剛性を有する材料として内装や建築材料、什器などへの応用展開が期待できる。広範な分野での使用を想定した場合、規格寸法で製造できることが重要となるため、100%-CNF のハニカムサンドイッチ材を、建築材料等の規格である 910×1820mm（3×6 尺）で試作した。

試作は A 品の CNF 原料を用い、成形寸法を大きくした以外はこれまで通りの板材の手法と同様に実施した。また、秋田県立大学と共同し、同学所有の 1000×2000mm の熱プレス機で 0.3mm の 100%-CNF 板材を成形した。100%-CNF 板と 9mm 厚のハニカムコアは真空バギング法で接着した。大判の CNF 板およびハニカムサンドイッチ材は問題なくできることがわかり、今後の発展性が期待できる。



図 4.3-3 910×1820 mm の CNF ハニカムサンドイッチ材

4.3.4 100%-CNF 成形体の加工性確認

100%-CNF は用途が拡大に伴って、その加工性を問われることがある。100%-CNF の加工性を評価する目的で、最終試作車の 1/43 のモデルを用いて、CNF の積層ブロックからの削り出し加工を検討した。CNF の積層ブロックは、0.5mm の 100%-CNF 板と紙フェノールプリプレグを積層し、加熱加圧成形にて作製した。加工評価は 5 軸の NC 加工機を用い、エンドミル刃にて行たところ、精度良く切削できることが分かった。



図 4.3-4 CNF 積層ブロック



図 4.3-5 加工試験後(側面)

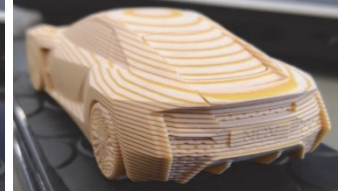


図 4.3-6 加工試験後(後面)

4.3.5 まとめ

100%-CNF 材の基礎物性、ハニカムサンドイッチ化、大型成形品の可能性、最後に CNF の加工性について評価、実証した。本検証をもとに、100%-CNF 部材とともに自動車部材として社会実装につながるよう材料の開発を続けていく。

4.4 3次元 CNF ハニカム成形品の成形加工性の最適化及び自動車部品としての評価 (利昌工業株式会社)

自動車のボンネットアウターなどの水平部材は、軽量化と剛性の両立が求められる。100%-CNF 成形品をボンネットアウターのような大型の水平部材に適用しようとするれば、CNF は鋼板に比べて曲げ弾性率が小さいので、剛性を確保するためには厚くする必要がある。CNF 成形体の剛性を厚さ 0.7mm の鋼板と同等以上に設計するためには、CNF 成形品の厚さは 2mm 以上となる。鋼板と比べて CNF 成形品単独の構造でも、軽量化は可能であるが、より軽量化を目指すため、最終試作車のボンネットアウターは、軽量性と剛性を両立できるハニカムサンドイッチ成形品とすることを提案した。

これまでの検討で、100%-CNF の 3 次元大型成形品は試作できていたため、本年度はこの 100%-CNF 成形品を用いた CNF/CNF ハニカムサンドイッチ構造のボンネットアウターを試作し、最終試作車に実装することで、100%-CNF 成形品の実用化の可能性を示した。

4.4.1 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ構造のボンネットアウターの設計

100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ構造は、表層材の厚さやコアの厚さ、セルの寸法の影響で物性が大きく変化する。最終試作車のボンネットアウターは、水平部材であり、さらに外寸が大きくなったわみやすい構造となるので、材料の耐たわみ性を重視し、材料剛性の観点から構成を再検討した。

表 4.4-1 には、100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ材の重量と見かけの曲げ弾性率をそれぞれ示す。

表 4.4-1 コア厚さ 3.0mm の CNF ハニカムパネルの材料特性値

コア厚さ (mm)	表層厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)	曲げ弾性率 (GPa)	比弾性率	曲げ強度 (MPa)
3.0	0.3	0.32	4.3	13.4	35
	0.5	0.46	7.6	16.5	72
	0.8	0.58	9.4	16.2	117

これらの結果より、材料の密度と曲げ弾性率から求められる非弾性率が最も大きい組み合わせである 0.5mm の CNF 表層材と 3mm 厚さのコアとの組み合わせでボンネットアウターの試作を検証した。

4.4.2 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチ構造のボンネットアウターの試作

原料の CNF は、市販品の固形分 10% の CNF が水に分散したスラリーを使用し、第 4.3 項で検討したように予備脱水の前に十分攪拌してスラリー全体を均一化してから用いた。

I. 100%-CNF のボンネットアウター表層材の作製

CNF スラリーを予め特殊な手法により予備脱水してボンネットアウターの CFRP 型で賦型し、一定圧力下で乾燥・成形した。



図 4.4-1 成形直後(CFRP 型上)

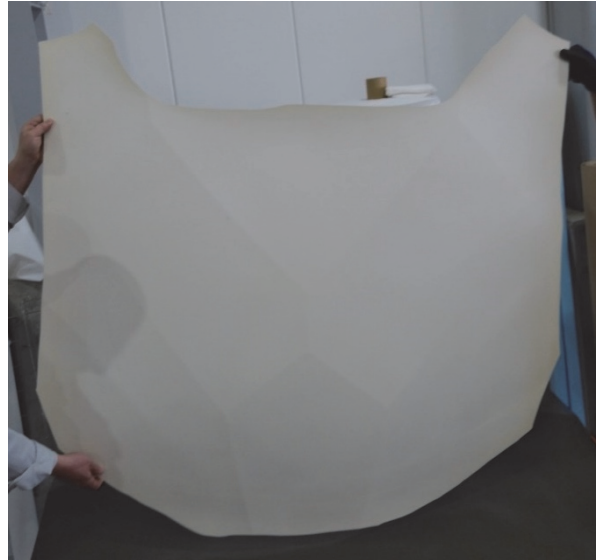


図 4.4-2 100%-CNF のボンネットアウター表層材

II. 100%-CNF のボンネットアウター表層材 CNF ハニカムコアの接着と部品化

トヨタカスタマイジング&ディベロップメント様にて、100%-CNF のボンネットアウター成形体 2 枚を製品寸法に切り出した後、周囲に CFRP のプリプレグを配置し、エポキシ樹脂系シート接着剤を用いて CNF ハニカムコアをサンドイッチして、真空バギング成形にて接着した。

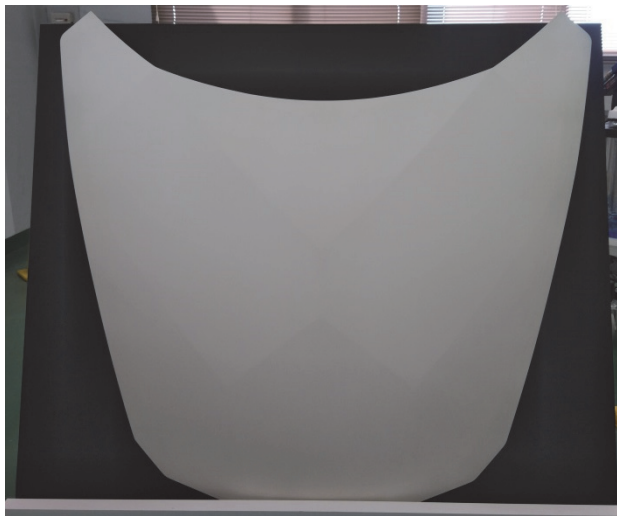


図 4.4-3 最終試作車の CNF ハニカムボンネット(未塗装)



図 4.4-4 CFRP と接着し下地塗装後(裏面)

試作品の 100%-CNF/CNF ハニカムサンドイッチのボンネットアウターは、4mm 厚さとなり、CFRP 端末処理込みの実測重量で 3.0 kg となり、同一寸法の 0.7mm 厚の鋼板と比べて約 68%の軽量化を達成した。また、厚さと弾性率から求められる剛性は、0.7mm 厚の鋼板の約 7 倍となった。

4.4.3 最終試作車の展示

本試作品は、(株) トヨタカスタマイジング&ディベロップメントにて最終試作車のボンネットとして実装され、東京モーターショー2019にて展示した。併せて、未塗装の100%-CNF/CNFハニカムサンドイッチ構造のボンネットアウターも展示した。



図 4.4-5 最終試作車(東京モーターショー2019)



図 4.4-6 ボンネット部品展示

4.4.5 まとめ

本事業では、100%-CNFの板材や3次元成形体の成形技術を発展させ、100%-CNF成形品を応用した自動車外板部材の軽量化と試作・実証を目的とした。東京モーターショー2019で展示された最終試作車のボンネットアウターは、軽量化と高剛性を両立したハニカムサンドイッチ構造として、CNFハニカムコアを100%-CNF成形体でサンドイッチして総厚を4mmとして試作した。これにより、最終試作車のボンネットアウターは、同寸法のハイテン鋼板と比較して約7倍の剛性になり、約68%もの軽量化を達成できた。

本検討で実証した100%-CNF成形品やそのハニカムサンドイッチ構造は、高い剛性を有しているが、水や湿度の影響を受け易く、材料物性が通常環境下よりも低下するなどの課題を有している。したがって、自動車や建築物の内装材、什器などの用途開発を進めながら、今後の技術のさらなる研究・開発を進めることが重要である。

4.5 CNF パイプの作製及び構造部材用パイプの試作と評価 (株式会社昭和丸筒／昭和プロダクツ株式会社)

前年度、自動車に用いる構造用のパイプとして、アルミパイプに CNF シートを巻きつけた複合仕様で、最終試作車用のルーフサイドレールを作製した。今年度は CNF を使用した複合パイプに関する様々な特性評価や、アルミを用いない仕様のパイプ作製にも取組み、CNF を用いたパイプの特性を評価し、自動車用部材への可能性について検討を進めた。

4.5.1 CNF パイプの特性評価 強度

φ32mm サイズのパイプ（アルミと複合化）を作製し、秋田県立大学にて 4 点曲げ試験を実施した。CNF パイプは CNF シート部分の厚み 1mm と 2mm を作製し、外径が全て同じになるようにした。

アルミの強度を 100 として強度比をグラフ上に表すと、CNF シート 2mm 厚みで、強度はステンレスの 75%に留まったが、強度と重量の比率では最も高くなり、軽量化率は 35%となった。

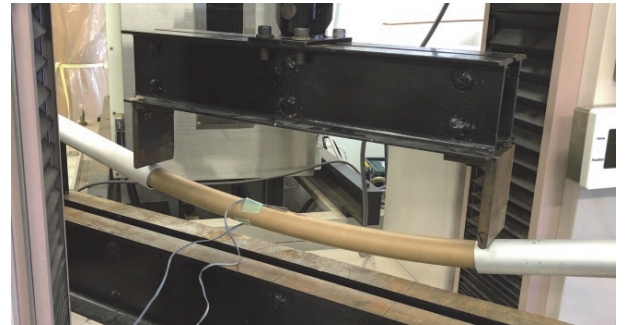


図 4.5-1 4 点曲げ試験

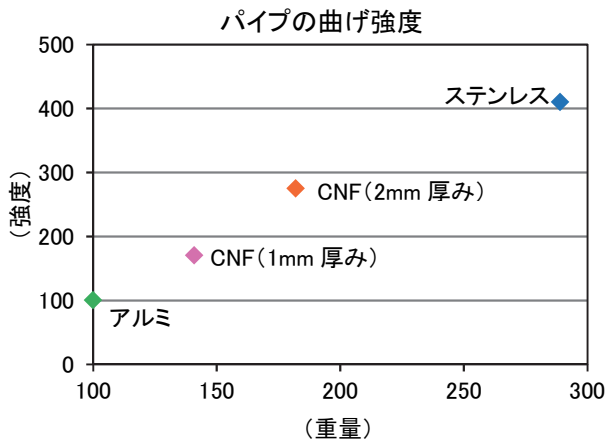


図 4.5-2 4 点曲げ試験強度比較

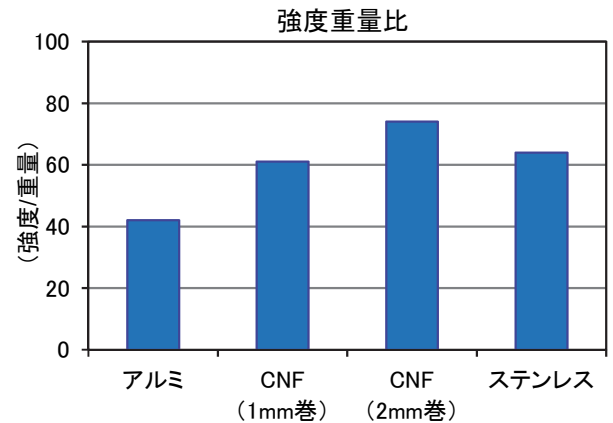


図 4.5-3 各種パイプの強度重量比

また、温度と水分の影響についても試験を行った。80℃と-40℃の各環境温度下で曲げ試験を行ったところ、23℃下と比べて 80℃では強度が 25%低くなり、-40℃では 9.5%強度が高くなった。この強度差（特に高温下）は接着剤に起因しているものと考えられる。昨年度に熱老化性の試験を行い、熱老化については劣化はみられなかったが、高温の状況下では接着剤成分の影響により強度が下がることがわかった。

多湿条件下（温度 40℃、相対湿度 90%）では、水分率が 23℃下より 1%程度増加し、強度は 8%低

くなった。耐水性が求められる場合はコーティング等を施して水分の侵入を防ぐ必要がある。

4.5.2 CNF パイプの特性評価 熱的特性

FMVSS（連邦自動車安全基準）No.302に基づき、CNF シートで作製した積層板にて燃焼性試験を実施したところ、自己消火（炎を近づけても消えてしまう）という結果が得られた（図 4.5.2-1 参照）。CNF シートの巻き方検討により、層間の隙間がほとんどない密な構造となっているため、酸素の供給がなく燃え広がらない状態になっている。加えて、引火温度は 350℃、自然発火温度は 450℃（いずれも JIS K 7193 準拠）であり、燃焼しにくい素材であるといえる。



図 4.5-4 燃焼性試験後の状態

熱による寸法変化を調べるため、CNF パイプでの線膨張係数の測定を行った。一般的に金属は熱による寸法変化が大きい素材であるが、CNF パイプのように複合化させると、CNF がアルミの伸長を抑えるため、寸法変化はアルミ単体の 1/2 に抑えることができた。

表 4.5-1 CNF パイプの平均線膨張係数(×10⁻⁵/K)

	アルミニウム	ステンレス	CNF パイプ (厚み 1mm)	CNF パイプ (厚み 2mm)
50~100℃	2.3	1.6	1.2	1.6

※作製した CNF パイプからアルミと一緒に試験片を切り出して測定

CNF 積層板での熱伝導率の測定では、CNF シートには繊維の配向性があるため、厚み方向、繊維方向、直行方向の 3 方向でそれぞれ測定を行った。繊維の配向と同じ向きで最も熱伝導率が高く、厚み方向で低くなることが判明した。同じセルロースからなる木材や紙よりも熱伝導率は上がっており、繊維の大きさや配向性、積層における隙間のない構造が影響していると考えられる。

表 4.5-2 CNF 積層板の熱伝導率(W/m・K)

厚み方向	繊維方向	直行方向
0.20	2.31	1.44

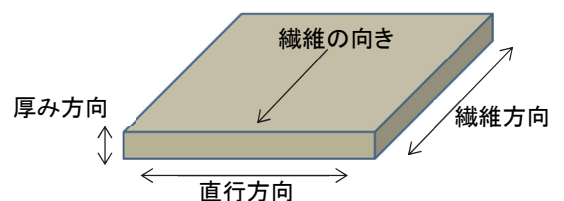


図 4.5-5 熱伝導率測定の方法

表 4.5-3 (参考)各種材料の熱伝導率(W/m・K)

アルミニウム	210	ポリエチレン	0.33
ステンレス	15	木材	0.12
ガラス	1.4	紙	0.05

4.5.3 アルミ複合 CNF パイプの特徴

昨年度は CNF パイプの特性評価として、振動減衰、熱老化性の試験を行った。その結果、振動を抑える効果があり、また熱による劣化にも耐えうることがわかった。さらに、今年度の特性評価を加えると以下のようなになる。

表 4.5-4 CNF パイプの特性一覧

強度	破壊強度はステンレスの 75%だが 35%の軽量化
環境温度	高温で強度は下がるが、熱老化性は劣化等なし
耐水性	吸湿性があり、強度が下がる
燃焼性	自己消火するため燃えにくい
寸法安定性	アルミの熱膨張を抑える（寸法安定性の向上）
熱伝導性	木材や紙よりも熱伝導性はあり、方向によって異なる
振動特性	振動を抑える効果がある

強度としては金属と同レベルには至っていないが、CNF パイプは CNF の高強度な特徴、セルロースが持つ特性（熱に強い、振動吸収性）が反映されており、金属にはない特徴を持ったパイプとなっている。ただし、耐水性については吸湿により強度低下してしまうため、耐水性が求められる用途についてはコーティング等の対策が必要となる。

4.5.4 アルミなし CNF パイプの検討

自動車部材用途として、他部品と接続しやすくするためにアルミとの複合仕様で作製、評価を進めてきたが、今後のさらなる用途展開として、金属を使用しない CNF パイプの作製にも取り組んだ。一般的な紙で作製したパイプ（紙管）に比べ、非常に高強度なパイプが得られた。



図 4.5-6 CNF パイプ(アルミなし)

表 4.5-5 CNF パイプ(アルミなし)の破壊強度(N)

	CNF パイプ	紙管
偏平圧縮強度	660	300
軸圧縮強度	660	180

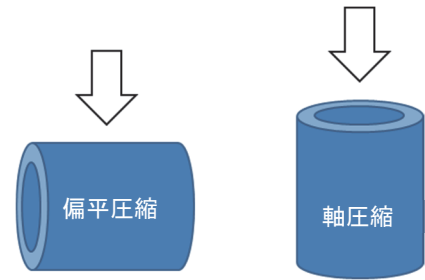


図 4.5-7 偏平圧縮と軸圧縮

4.5.5 事業化へ向けての検討

パイプの製造については、従来の紙管製造方法を応用し、半自動の巻き付け装置を社内にて設置し、量産化のための検討を進めている。従来の紙管製造方法では、ラセン巻きでストレート形状であればパイプ径や厚みを、用途に合わせた製造が可能である。

自動車用部材の他、セルロースの絶縁性を活かして電材関係や、スポーツ用具（軽量、高強度、振動特性）、建築・土木関係（軽量、高強度、断熱性）の分野への展開が見込まれる。材料の供給や CNF パイプの基本スペックを策定し、サンプル提供の体制を整え、事業化へ向けて継続して取り組んでいく。

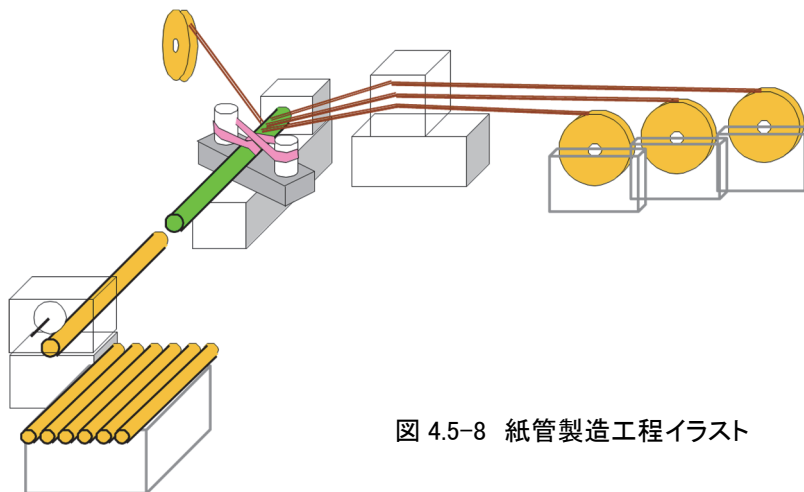


図 4.5-8 紙管製造工程イラスト

第5章 CNF 材料成形品の車両実装に関する評価および最終試作車の車両構想の検討

5.1 最終試作車の構造の検討（京都大学、株式会社トヨタカスタマイジング&ディベ ロップメント）

本業務（1）、（2）、（3）、及び（4）（P1、図2参照）で得られた、CNF材料の材料定数情報、成形加工性評価結果、部材性能評価結果、接着・接合性評価結果を反映させて、実機搭載可能な車両構造を検討した。また、CNF部品を可能な限り搭載した最終試作車の製作に向け、車体・部品設計、組み付け技術、最終意匠、加飾等を検討した。（図5.1-1～8参照）。

その結果を反映した最終試作車の設計を行った。（図5.1-9参照）

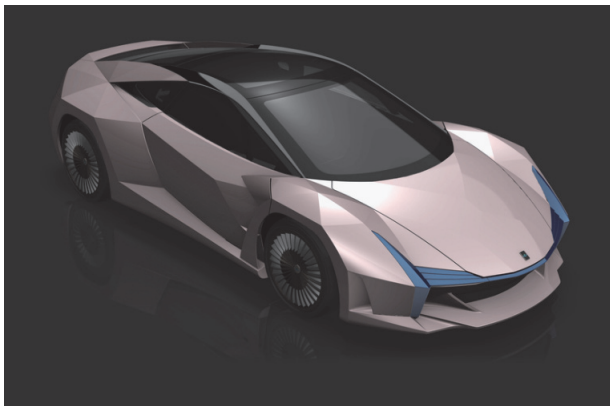


図 5.1-1 最終試作車最終意匠（前）



図 5.1-2 最終試作車最終意匠（後）

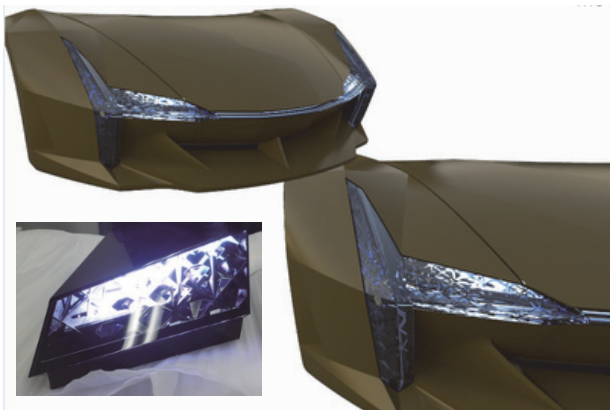


図 5.1-3 加飾部品の例（ヘッドランプ）

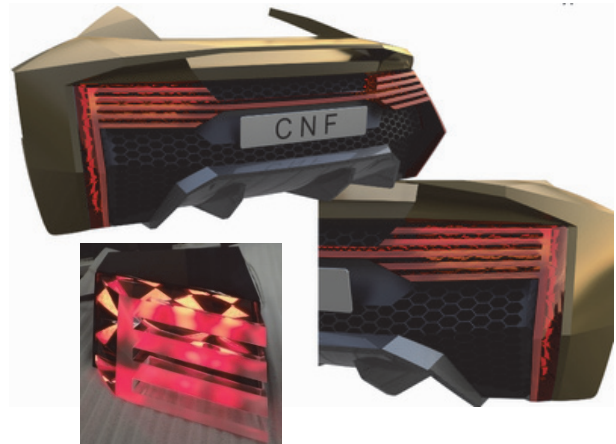


図 5.1-4 加飾部品の例（リヤコンビランプ）



図 5.1-5 加飾部品の例（ホイール部品）



図 5.1-6 加飾部品の例（エンブレム）



図 5.1-7 加飾部品の例(内装)



図 5.1-8 加飾部品の例(メーター)

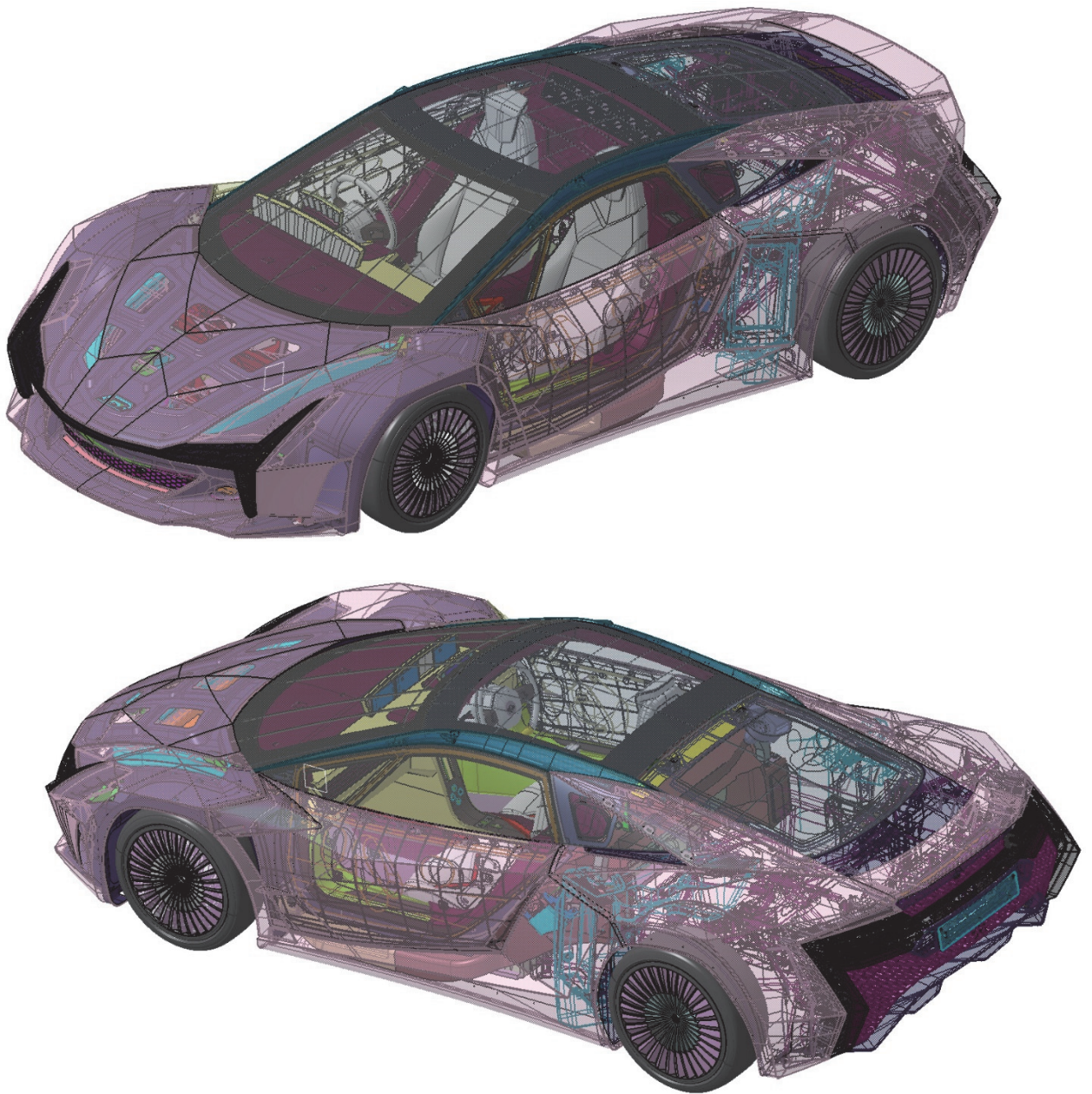


図 5.1-9 最終試作車構造 3D モデル作成結果

5.2 最終試作車用部品の製作と軽量化評価及び最終試作車の製作

(株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント、京都大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)

最終試作車製作の日程を図 5.2-1 に示す。

CNF ボンネットアウター等の車両構成部品の製作方法の検討と部品製作を行った。(図 5.2-2 参照)
 本業務 (2)、(3)、及び (4) (P1、図 2 参照) で性能評価を行った CNF 活用部材を最終試作車へ実装した。車両実装の作業性等について、本業務 (2)、(3)、及び (4) との担当とも情報を共有し評価を行った。(図 5.2-3~5 参照)

完成した車両の整備、運転を行い、計画通りに走行および展示を行った。(図 5.2-6~7 参照)

また、図 5.2-8 で CNF 外装適用部位、図 5.2-10 で内装適用部位を示し、特に図 5.2-9 で示す外装水平面の 60%以上の面積に CNF 部材を適用した。

試作した CNF 部材の軽量化効果を表 5.2-1~2 に示す。軽量化効果については、本業務 (7) ③にて詳述する。

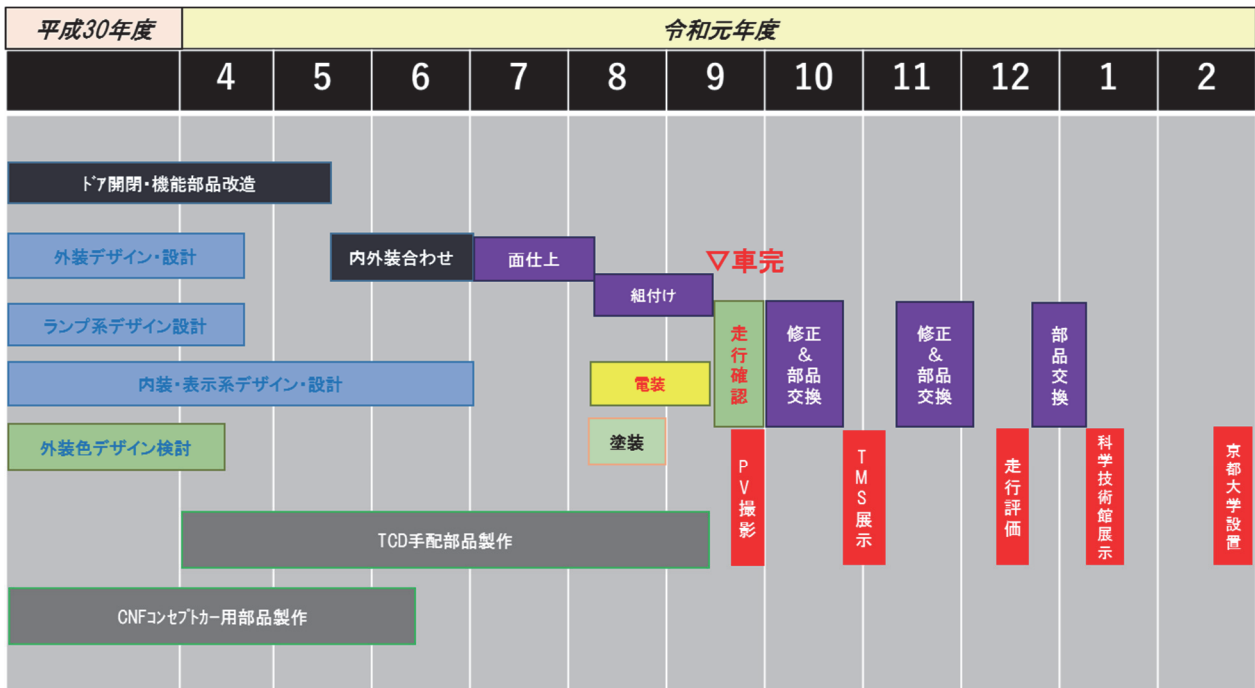


図 5.2-1 最終試作車日程

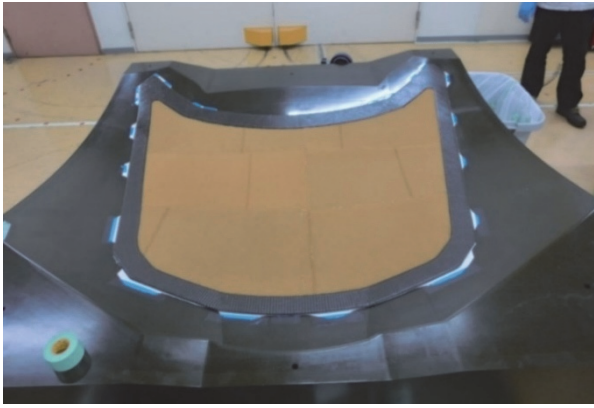


図 5.2-2 CNF 部品施策の例(ボンネット接着)



図 5.2-3 CNF 外装部品号和せ作業



図 5.2-4 CNF 部品塗装



図 5.2-5 内装加飾組付状態



図 5.2-6 コース走行



図 5.2-7 東京モーターショー2019 展示

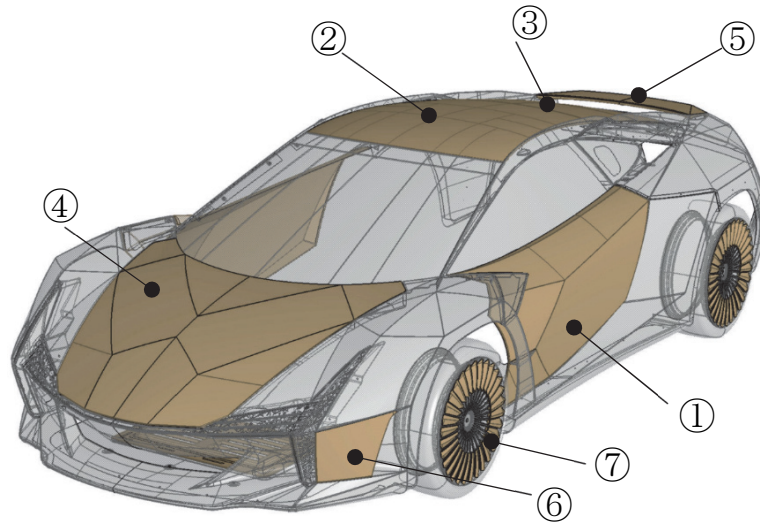


図 5.2-8 CNF 適用部位 (外装部品)

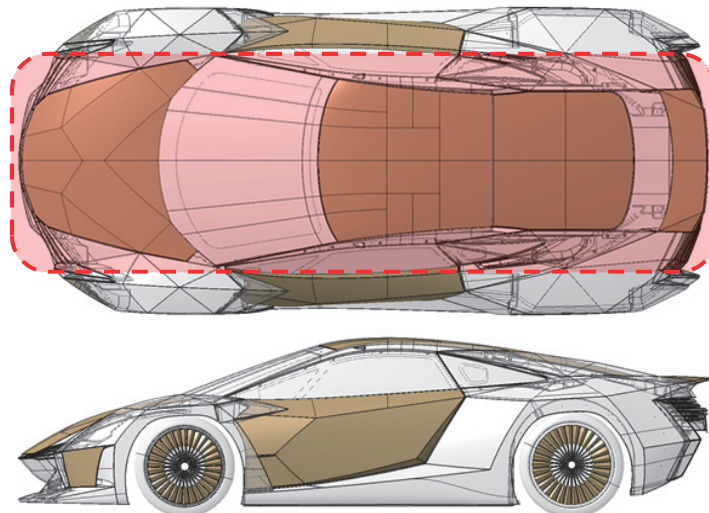


図 5.2-9 CNF 適用部位 (水平面外装部品:破線枠部)

表 5.2-1 CNF 部品軽量化効果 (外装部品)

	部材	材料	成形加工法	質量 [g]	板厚 [mm]	表面積 [mm ²]	従来品材料	従来品質量 [g]	軽量化質量 [g]	軽量化率 [%]	
①	ドアアウターパネル	PP - CNF10%	射出成形	LH	2,388	3	783,941	鋼板	4,954	△ 2,567	52
				RH	2,356						
②	ルーフパネル	PC - CNF10%	射出圧縮成形	4,960	4	948,700	鋼板	5,995	△ 1,036	17	
③	バックドアガラス	PC - CNF10%	射出圧縮成形	3,930	4	711,060	ガラス	7,380	△ 3,450	47	
④	ボンネット(アウター)	CNF100%	加熱加圧成形+真空バック成形	4,781	4	892,478	鋼板	5,640	△ 859	15	
⑤	リアスポイラー	PP - CNF10%	ブロー成形	1,415	4	529,453	PP	1,686	△ 271	16	
⑥	フロントバンパーサイド	PA6 - CNF10%	積層造形(3Dプリンター)	LH	610	3	173,800	PA6	594	16	△ 3
				RH	630						
⑦	ホイールフィン	PA6 - CNF10%	積層造形(3Dプリンター)	FR	26	3	8,421	PA6	23	2	△ 8
				RR	32						
合計				21,128		4,057,677		31,848	△ 10,724	34	

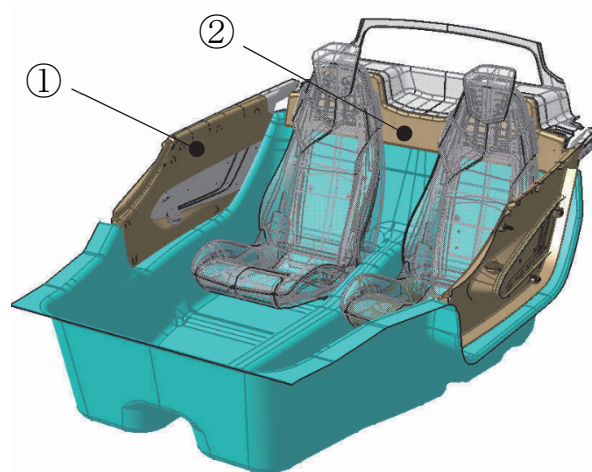


図 5.2-10 CNF 適用部位(内装部品)

表 5.2-2 CNF 部品軽量化効果(内装部品)

(参考 平成30年度報告資料)

部材	材料	成形加工法		重量 [g]	板厚 [mm]	表面積 [mm ²]	従来品材料	従来品重量 [g]	軽量化重量 [g]	軽量化率 [%]
① ドアインナートリム	PP - CNF10%	射出成形	LH	928	3.2	390818	PP	1138	△ 210	18
			RH	918				1138	△ 220	19
② バケトレフロントカバー	PP - CNF10%	射出成形		610	3	252915	PP	720	△ 110	15
合計				2456		643733		2996	△ 540	18

第6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

地球温暖化への対策として世界全体が脱炭素化社会にシフトしつつある中、自動車の燃費規制の高度化が進む中、車両の軽量化の方策を見出すことが重要な位置づけにある。そこで本事業においては、CNF 技術の適用を通じて車両重量を 7%程度軽量化し、燃費を 10%向上させるという事業目標が掲げられた。

また従来、内燃機関自動車においてはライフサイクル全体での CO₂ 排出量 (LCCO₂) に対して圧倒的に走行段階の寄与が大きいことから CO₂ 排出量の削減のために燃費の向上、あるいは各種パワーtrainの開発がなされ、走行段階の寄与は相対的に低減される傾向にある。そのため、自動車を構成する素材の開発にあたっては、軽量化に基づく走行段階の燃費 (あるいは電費) の向上と、製造段階をはじめとするその他の段階における温室効果ガス排出量とのバランスを考慮しながらライフサイクルでの全体最適化を図ることが求められている。そこで本事業においては、CNF 技術の適用を通じて、自動車のライフサイクルを通じて CO₂ 排出量が増加しないことを副次的な目標とした。NCV プロジェクトで得られた知見やその他の最新情報に基づき CO₂ 削減効果を可能な限り高精度で評価することが求められる。

まず、第 6.1 項では、自動車 1 台あたりの LCCO₂ 排出削減効果の確認結果を示す。次に第 6.2 項では特定の自動車部材を例に、部材あたりの LCCO₂ 排出削減効果の評価する。これらの評価では全ての一般的な材料の資源採掘から素材製造まで (Credle to Gate) の CO₂ 排出量を把握する必要があるため、革新材料であり文献値のない CNF 自体の製造時 CO₂ 排出量を本事業で検証した。この結果を第 6.3 項に述べる。さらに第 6.4 項では第 6.1 項で確認した車両レベルでの評価結果を起点にさらに解析を進め、日本における乗用車全体の LCCO₂ 削減効果を確認した結果について述べる。

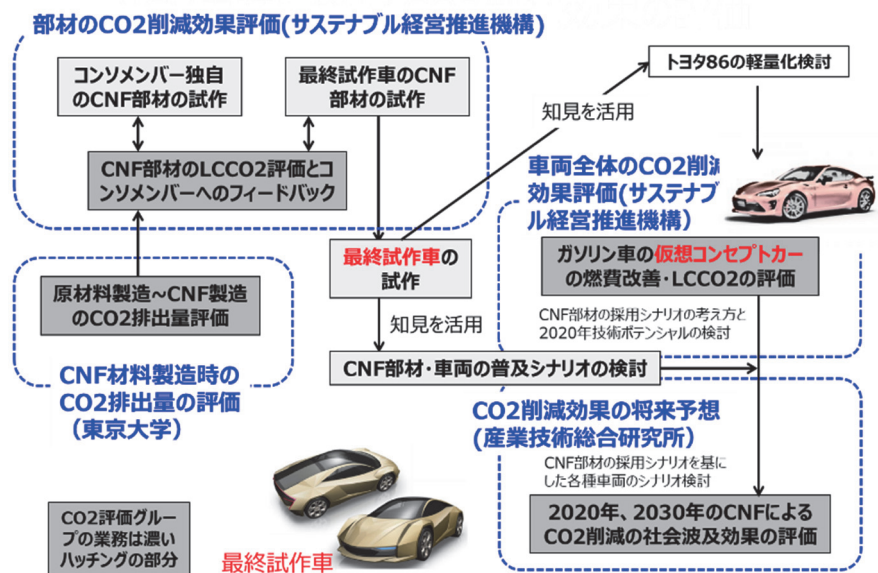


図 6-1 CO₂ 評価グループの業務構成

6.1 CO₂削減効果に関する評価（一般社団法人サステナブル経営推進機構）

ガソリン車への CNF 材料適用ポテンシャルを検討するため、CNF 活用部材の開発状況も踏まえて、CNF を最大限活用し軽量化を追求した車両の燃費改善効果と、ライフサイクルを考慮した CO₂ 削減効果の評価・検証を行った。

6.1.1 軽量化による燃費改善効果のシミュレーション

平成 30 年度にエンジンダウンサイジングの効果を加味した軽量化による燃費改善効果シミュレーションを JC08 ホットモードで行った。平成 31 年度は同一の車体（トヨタ 86=仮想コンセプトカー）において、異なる走行パターン（WLTC ホットモード）を走行した場合、燃費改善効果にどのような違いがあるかを検討することにより、車体軽量化とエンジンダウンサイジングの燃費に及ぼす効果に、ある程度の汎用性があるかを検証した。これにより、燃費特性の解析結果の汎用性を高め、走行段階の CO₂ 削減効果、および、LCCO₂ 削減効果の評価に資することとした。エンジンのダウンサイジングのシミュレーションに際しては、軽量化前後で主要な機能である走行性能（加速性能）が同等となるようにした。すなわち、車両重量軽量化により走行抵抗が減少すると、車両の動力性能を同等に維持したまま小出力エンジンの搭載が可能となる。一般に、大出力エンジンを低負荷で使用するより、小出力エンジンを高負荷で使用するほうが燃費は優れている。ここで、高速道路への流入における加速性能を確保することを前提に、静止状態から新東名高速道路の制限速度である 110km/h までの加速時間を同一（8.3 秒）とするエンジン性能（最大トルク）を両者の間で同一となるよう設定した。このシミュレーションにより、車両重量を 10%低減することにより、JC08 燃費(L/100km)は約 8.19%低減し、WLTC 燃費(L/100km)は約 7.20%低減する結果を得た。燃費測定方法として、長年使われており燃費情報の蓄積のある JC08 モードの代わりに 2018 年度から WLTC モードが国内で適用されている。冷機状態、アイドリング時間比率などの条件設定を通じて、WLTC モード燃費は JC08 モード燃費に比べて実際に使用するときの燃費に近い内容になっている。

6.1.2 CO₂削減効果の評価

これまでに本プロジェクトで確立した技術に基づき、既存の市販ガソリン車の内外装部材を、CNF 活用部材へと最大限置換した車体（仮想コンセプトカー）をモデルとして設定し、検証することで、自動車に CNF を活用した際の軽量化効果並びに燃費改善効果を算出し、走行段階の CO₂ 削減効果、および LCCO₂ 削減効果の評価・検証した。置換対象部材と置換方法、それぞれの部材の重量は表 6.1-1 の通り。この置換対象の選定は NCV プロジェクトの検討結果と車両関係の専門家の助言に基づいた。従来部材重量は市販ガソリン車の実機を分解して素材別重量を測定した。

軽量化効果を算出するにあたり、次の 2 つの効果を検討した。1 つ目の効果は「車両の部材を現行材料から CNF 複合材へと置換することで得られる一次的軽量化」、2 つ目の効果は「1 つ目の直接的な軽量化を考慮した設計の最適化によって得られる二次的軽量化」である。

表 6.1-1 軽量化モデル

部材名称	従来部材材質	従来部材重量[kg]	CNF 部材の素材	CNF 部材重量[kg]	CNF 部材の成形方法
フェンダーパネル、トランクパネル、RHドアパネル、LHドアパネル	鋼	56	PA6/ CNF10%	29	射出圧縮成形
ホワイトボディ (BIW)	鋼	269	エポキシ/ CNF10%	189	RTM
ボンネット (フード)	鋼	7.14	エポキシ/ CNF	7.14	RTM
サイド・リアガラス	ガラス	15.4	PC/ CNF15%	7.7	射出圧縮成形
インタークマニホールド	アルミ	6.0	PA6/ CNF15%	3.0	射出成形
樹脂部材 (PP)	PP	30	PP/ CNF10%	24	射出成形
置換部材重量 小計		384		259	
その他の共通部材 (エンジン、ミッション、タイヤ、ホイール、シャフト等)	786				
車両重量 合計		1165		1045	

1つ目の直接的な効果を表 6.1-1 に基づき算出すると、既存の市販車の部材の一部を CNF 活用部材に置換することで 125kg/台の一時的な軽量化効果が得られることが分かった。次に2つ目の二次的な効果では、CNF 活用部材への置換により車両全体が軽量化することで、例えば車体のボデーを支える足回りの強度を下げるができるなどの最適化設計により 63kg/台の波及的な軽量化効果が得られることが期待できる。

1つ目の CNF 部材への置換による一時的な軽量化と、それに伴う2つ目の二次的な軽量化効果を合わせると、総合的に 188kg/台の軽量化効果が得られた。これは車両重量比で 16%の軽量化率となり、仮想コンセプトカーの燃費改善率は 11%となった。これにより、目標の燃費改善率 10%を上回った。

自動車に関する CO₂ 排出削減を考える場合、CNF 等の原材料の調達から、車両の製造、廃棄までのライフサイクル全体を考慮することが重要である。今回の LCCO₂ 削減効果の算定では、従来自動車 (ベースライン: BL) ケースと、仮想コンセプトカー (NCV) 6 ケースの合計 7 ケースで評価を行った (表 6.1-2)。仮想コンセプトカーの評価ケースとして、後述の東京大学チームによる量産時を前提としたシミュレーションの結果から、CNF 製造までの温室効果ガス排出原単位 (高位・低位)、部材製造段階での二次的軽量化効果 (含める・含めない)、使用済み部材の処理方法 (サーマルリサイクル・マテリアルリサイクル) の 3 パラメータを変えて、6 ケースとした。走行段階については廃車までに年 1 万 km の走行を 10 年間続けるシナリオを採用した。

表 6.1-2 評価ケース

ケース番号		CNF 複合樹脂製造 までの温室効果ガス 排出原単位	二次的軽量化の考慮	使用済みプラスチック部材 の廃棄・リサイクル処理
BL	従来自動車	-	-	サーマルリサイクル
NCV1	仮想コンセプトカー	高位	-	サーマルリサイクル
NCV2			○	マテリアルリサイクル
NCV3				
NCV4		低位	-	サーマルリサイクル
NCV5			○	マテリアルリサイクル
NCV6				

LCCO₂ 評価結果を図 6.1-1 に、従来自動車と仮想コンセプトカーの各ケースとの LCCO₂ の差分を図 6.1-2 に示す。従来自動車ケース (BL) と比べて、仮想コンセプトカー (NCV#) では部材製造段階や廃棄・リサイクル段階で従来自動車と比べて増加するケースもあったが走行段階での CO₂ 排出削減効果が大きいため、いずれのケースでも LCCO₂ 削減効果が認められた。その削減量はライフサイクル全体で約 900~2,500kg-CO₂e/台と算定された。代表的なケースとして NCV2、NCV5 においては、ライフサイクル全体で 1 台当たり 2t の CO₂ 排出削減量と推定された。ライフサイクル段階別では、走行段階の削減寄与が最も大きかった。

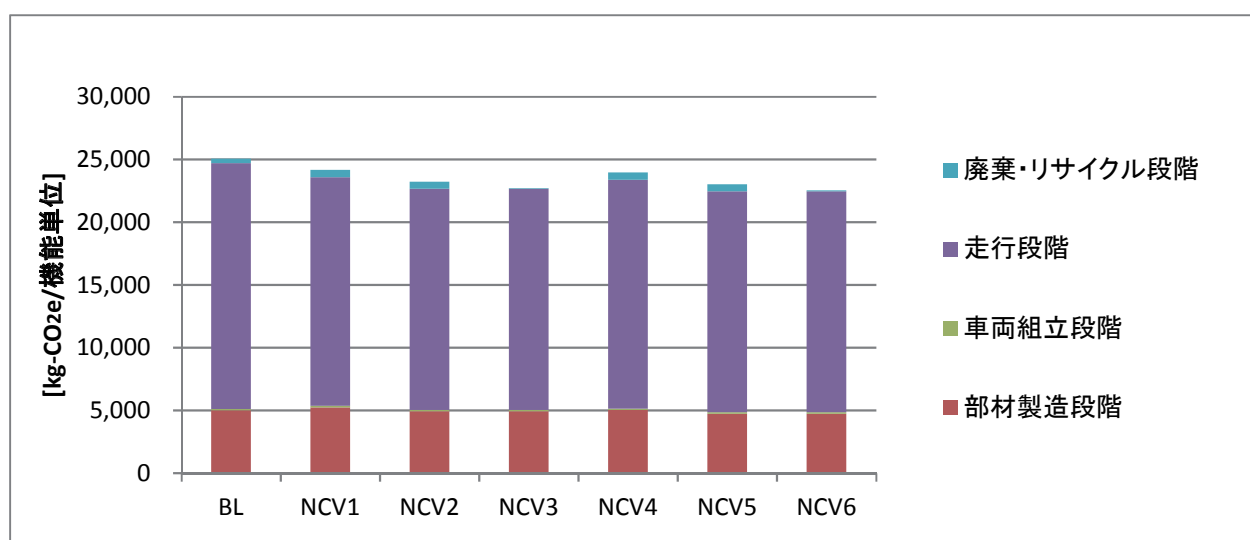


図 6.1-1 ライフサイクル温室効果ガス排出量 (LCCO₂) (WLTC モード)

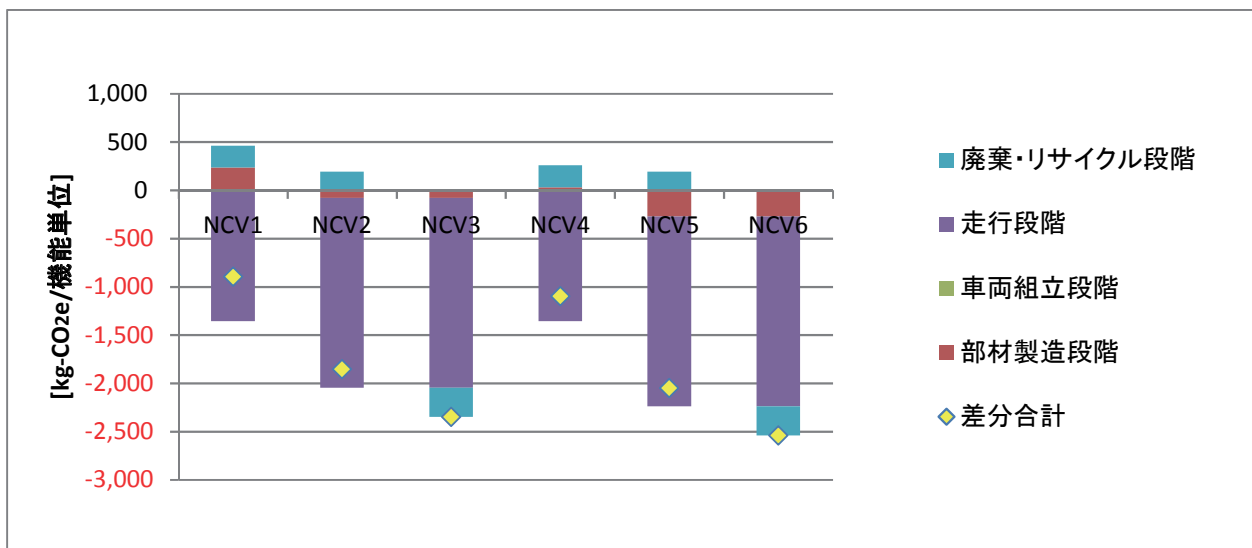


図 6.1-2 従来自動車と各 NCV ケースの LCCO₂ の差分 (WLTC モード)

6.2 CNF 部品実機搭載における CO₂削減効果評価（一般社団法人サステナブル経営推進機構）

各製造プロセスの CO₂ 排出量に関わる情報を収集するとともに、試作した部品についてサイトデータ等を元にした CO₂ 削減効果の評価を実施した。

6.2.1 CNF 部材試作に関する情報収集

平成 30 年度に引き続き、試作品の評価に必要な確認項目についてコンソーシアムメンバーから更新情報を得た。算定にあたり、プロセスの新規性が高く一般的なデータが無い 2 つの部材について、当該メンバーの合意を得て試作サイトのデータ収集を行った。

6.2.2 CNF 部材の LCCO₂削減効果の算定

コンソーシアムメンバーの情報に基づいて、試作品の部材単位の LCCO₂ 削減効果を算定した。算定結果をコンソーシアムメンバーにフィードバックし、CO₂ 排出量削減効果の観点から各 CNF 部材の試作成果のとりまとめを支援した。図 6.2-1 に代表的な算定例としてインテークマニホールド（エンジンに空気を送り込むパイプおよび補機類）について、従来部材であるアルミ製、ガラス繊維強化プラスチック製と CNF 部材との比較結果を示す。基本的な算定条件は第 6.1 節と同じとした（ただし、二次的軽量化は考慮せず）。CNF 部材の評価ケースについては製造段階（パルプ生産から射出成形まで）、および廃棄リサイクルの CO₂ 排出量の推計値を高位（低位）に見積もった場合の 2 水準とした。ここでは高位を焼却時の熱回収、低位をマテリアルリサイクルとして想定している。算定結果としては、部材 1 個あたりの LCCO₂ 削減効果はガラス繊維強化プラスチック並となった。CO₂ 削減に貢献しているのは走行時の軽量化による燃費向上であった。CNF 部材は量産化やプロセスの最適化等によりさらなる CO₂ 排出削減の余地が見込まれる。ガラス繊維強化プラスチックは繊維が劣化するためマテリアルリサイクルに不向きであるが、CNF 部材はリサイクルで物性が下がりにくい特性があるため社会システムが整備されればマテリアルリサイクルによる CO₂ 削減の余地が見込まれた。

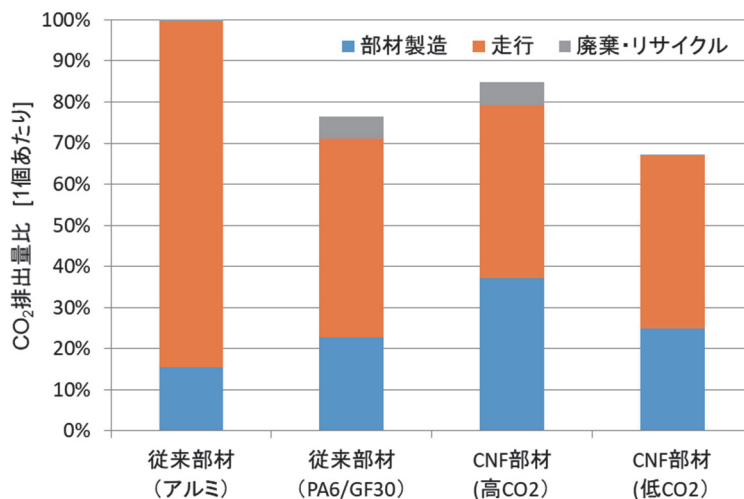


図 6.2-1 従来自動車と各 NCV ケースの LCCO₂ の差分 WLTC モード

その他の部材の評価も含め、評価を通じてコンソーシアムメンバーとの対話を通じて、さらなるLCCO₂削減効果の改善ポイントを抽出した（表 6.2-1）。

表 6.2-1 LCCO₂削減効果の改善ポイント

原材料調達段階	樹脂加工段階	走行段階	廃棄・リサイクル段階
<ul style="list-style-type: none"> ● 京都プロセスCNFに関してはマスターバッチを介さない一貫生産 ● 樹脂投入量の削減（薄肉化、発泡倍率向上） ● 原材料樹脂の変更（製造時に CO₂ 排出量の少ない樹脂で同等機能を持つ部材開発） ● CNF 製造時の CO₂ 排出量削減 ● CNF 素材そのものの機能向上 	<ul style="list-style-type: none"> ● 歩留まり向上 ● 工程内リサイクル ● エネルギー効率向上 ● 成形サイクルの向上 	<ul style="list-style-type: none"> ● さらなる軽量化 ● 生涯走行距離の長い車両分野における CNF 部材適用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用済み品のリサイクルの社会システム構築 ● マテリアルリサイクルリサイクル材の用途開発

参考文献

1. LCI データベース IDEA v2.2, 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会とLCA 研究グループ, 一般社団法人 産業環境管理協会

6.2.3 CNF の有効性

冒頭で述べたように、第 6 章では車両 (6.1) 及び部材 (6.2) の評価を主軸としている。ここでは車両および部材のライフサイクル評価を通じて見えてきた CNF の有効性について述べる。

ただし、2050 年以降といった長期的な視野で真に持続可能な社会を実現するには、地球温暖化を食い止めるだけでは達成しえるものではない。真に資源が循環し、復元可能な環境影響の範囲で、過度の我慢や抑制を前提とせずに、持続的に生産と消費が維持されるような社会システム、経済システム、技術システムを目指すことが不可欠である。自動車産業も例にもれず、喫緊の対策が必要とされる地球温暖化のみの議論で持続可能性が目指せるわけではない。この点で CNF は以下の点でも、その有効性が期待される。

1. 再生可能な資源としてバイオマテリアルである CNF の活用はこうした方向性に合致するとともに、複合化する樹脂としてバイオマスプラスチックについてその活用を検討すべきである。ただし、植物由来原料については水資源消費や土地利用といった環境影響で枯渇性資源とのトレードオフが生じることにも留意が必要であり、農林業の持続性に貢献しうる社会経済構造が必要となる。
2. 軽量の自動車部材として期待されるガラス繊維や炭素繊維を含む繊維強化複合樹脂製部材はマテリアルリサイクルやサーマルリカバリーに不向きであり、適材適所な活用が求められるが、CNF であればマテリアルリサイクルを想定した用途への応用が期待できる。
3. 将来的に安価で安定した再生可能エネルギーを用いる前提にたち、CNF と熱可塑性樹脂の複合材の材料リサイクルの特性を最大限生かすことが求められる。そのためには材料リサイクルの社会制度を確立することも必要である。
4. CNF はバイオマス材料として大気中の CO₂ を固定している。一定量が社会にストックされた場合の CO₂ 固定量、いわゆる HWP (Harvested Wood Products : 伐採木材製品) としての CO₂ 固定量の定量化は検討に値する。
5. 木質バイオマス由来の CNF は、その活用を通じて森林資源の持続的な管理に資することが期待される。山林の未利用材が放置されている現状があるなかで、パルプの需要が増加することで切り捨て間伐材の有効活用につながる。

以上の観点から CNF 材料を持続可能なシステムで活用していくためには、温室効果ガスを削減可能であることを前提とした上で、他の環境性、社会経済性といった観点からの評価を実施するが望まれる。

6.3 CNF 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（東京大学）

CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証に向けて必要となる量産時の CO₂ 排出量を試算するためのシミュレーション技術を検討する。平成 31 年度はこれまでに開発してきたモデル・シミュレータを用いて、CNF 活用製品の原単位を、製造方法や用途といった類型を考慮しながら算定し、CNF 生産に由来するライフサイクルインベントリを、幅を持った値として提案する。

6.3.1 CNF 強化樹脂製造プロセスのシミュレータの要件

CNF 強化樹脂の量産時の CO₂ 排出量を試算するシミュレーション技術を構築するために、CNF 強化樹脂製造プロセスにおいて入力される原料やユーティリティ（電力・熱・水など）と、出力される廃棄物や副産物の種類と量を特定する必要がある。図 6.3-1 に CNF 強化樹脂製品の製造プロセスに関するモデリングとシミュレーションの概要を示す。

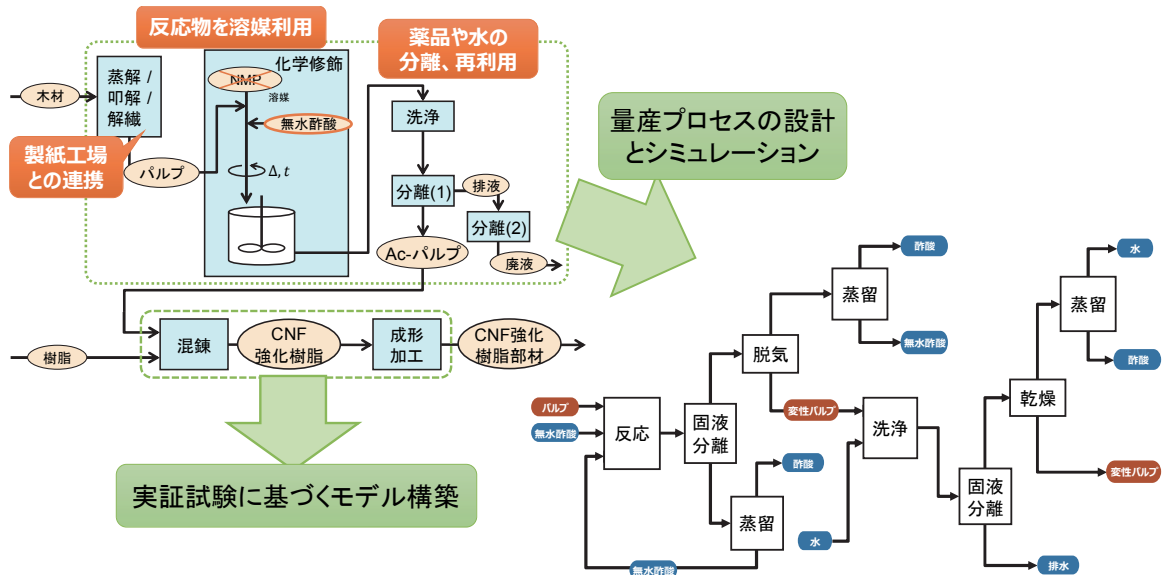


図 6.3-1 CNF 強化樹脂製品製造プロセスのモデリングとシミュレーション

平成 29 年度には、アセチル化パルプと樹脂の混練による CNF 強化樹脂製造プロセスを対象として、その単位操作と入出力の概要を特許情報¹⁾に基づいてプロセスモデルを検討し、平成 30 年度は特に化学修飾プロセスに着目して、その量産プロセスの複数案を検討した。平成 31 年度は、これまでに構築したモデルに基づいて、アセチル化パルプの製造時 CO₂ 排出原単位を特定するとともに、混練、成形加工プロセスに関して、実証試験の調査とデータに基づいてインベントリ推算のためのモデル構築を行うこととした。また、実証装置の調査分析および参画事業者との議論により、将来的な技術開発やプロセス改善による CO₂ 排出削減の可能性を検討した。これにより原料調達から CNF 強化樹脂製品製造までの CO₂ 排出量について、変動性や不確実性と将来的な削減を考慮した幅のある値として提案可能とする。

6.3.2 CNF 強化樹脂製造プロセスのインベントリ推算モデル構築

(1) アセチル化パルプ製造（パルプ生産＋化学修飾）

クラフトパルプなどの木材由来パルプ中セルロースの水酸基を無水酢酸で化学修飾（アセチル化）することでアセチル化パルプが得られる。

パルプについては生産量や入手可能性を考慮して、製紙工場から得られるパルプを想定した。製紙プロセスの CO₂ 排出量は、生産規模や各種紙製品の生産割合、利用可能な黒液、廃棄物由来燃料等の使用条件などによって大きく変動することがわかっており²⁾、平成 29 年度には CNF 生産のライフサイクル CO₂ 排出量のうち製紙条件による変動幅を、製紙プロセスのモデリングとシミュレーションに基づいて特定済みである。

実証試験においては、パルプをリファイナーによって一次解繊してから化学修飾が行われている。実証設備における消費電力測定を実施し、含水パルプ 1kg 処理に必要な電力量を特定可能なモデルを構築した。

化学修飾プロセスについては、これまでの検討におけるプロセスシミュレーションにより、未反応の無水酢酸および副生する酢酸を蒸留によって分離、精製、再利用することで、大幅に無水酢酸消費量およびそれに起因する CO₂ 排出量を削減できることが分かっている。平成 30 年に使用したモデルではアセチル化反応の反応機構には既往の文献値が用いられていたが、平成 31 年は本事業で適用されている反応条件に準拠した実験データを反映できるようモデルを改良した。プロセス代替案としては、反応後の未反応溶液回収、脱気ガスからの化成品回収、乾燥ガスからの酢酸回収の 3 つの単位操作プロセスについて有無の組合せを検討した。

(2) 混練、希釈および射出成形

アセチル化パルプと基材樹脂の混練により、マスターバッチ (MB) が製造され、MB をさらに基材樹脂との混練により希釈することで、成形材料として使用する CNF 濃度のペレットが調製される。このペレットを射出成型機などで成形加工することで自動車部材などが製造される。これら製造工程に起因する CO₂ 排出量を推算可能とするために、MB 生産用と希釈用それぞれの混練機および射出成型機の実機の消費電力量を測定し、それぞれ MB 1kg、ペレット 1kg、部材 1 個の製造にかかる電力消費量および CO₂ 排出量を推算可能なモデルを構築した。モデル化の対象としては、参画事業者によってサプライチェーンの大部分をカバーすることができる CNF 強化 PA6 を使用したインテークマニホールドを選択した。なお、電力以外に、圧縮空気や冷却水などが定常的に消費されていたが、全体に及ぼす影響が十分に小さいことを実機調査により確認した上でモデル化の対象からは除外した。

(3) プロセス改善による CO₂ 削減可能性の検討

以上のサブプロセスはいずれも実証試験として運用されており、普及段階に至るまでにプロセス改善とそれに伴う CO₂ 排出削減の可能性を含んでいる。実証試験でのプロセス調査や、類似の既存製品の量産プロセスとの比較、参画事業者の技術者との議論などを通して、将来的に実現可能なプロセス

改善を下記のように想定した。

- 一次解繊：製紙工場の既存リファイナー処理に統合可能
- 化学修飾：未反応無水酢酸、副生酢酸の回収と再利用を実施
- 混練および希釈：スケールアップと生産条件のチューニングにより、量産既存品の希釈プロセスと同等まで効率化
- 射出成形：金型冷却の機構を量産機同等にグレードアップすることで、成形品 1 個当たりの所要時間を短縮し、ヒーターの消費電力を削減

6.3.3 CNF 強化樹脂製自動車部材の製造時 CO₂ 排出量評価

ここまでで構築したシミュレーションモデルを用いて、CNF 強化樹脂製自動車部材の製造時のインベントリを推算し、ライフサイクル CO₂ 排出量を計算した。また、パルプ生産における変動性および将来的なプロセス改善による CO₂ 排出量の変動幅を特定した。評価バウンダリには原料採取から自動車部材の製造までを含む Cradle-to-gate の評価とし、自動車の走行、廃棄（またはリサイクル）を含む Cradle-to-grave 評価のためのデータとして用いることができるようにした。フォアグラウンドデータは各プロセスのシミュレーションに基づいて特定しており、バックグラウンドデータは LCI データベース IDEA v2.2³⁾ から取得した。CO₂ 排出量の評価結果を図 6.3-2 に示す。素材生産にはパルプと基材樹脂の製造を含む。成形加工には MB 混練、希釈、射出成形を含む。

素材生産における CO₂ 排出高位ケースと低位ケースの差は、パルプ製造における変動に起因するものであり、紙製品の需要や廃棄物燃料の発生量に依存するため、技術開発によらない要素である。

化学修飾においては、高位・低位ケースのいずれにおいてもアセチル化直後に発生する未反応無水酢酸の回収は実施している。これを行わない場合には、化学修飾プロセスのみに起因する CO₂ 排出量では高位ケースのさらに約 9 倍となるため、量産化においては未反応無水酢酸の回収は必須であるとみなし、両ケースで回収実施としている。高位と低位の差は脱気時および乾燥時の成分からの化成品回収方法の差によるものである。化成品回収プロセスを増やすことで消費エネルギーは増大するが、無水酢酸および酢酸の回収による CO₂ 排出削減効果がそれを上回る。

成形加工においては、高位ケースでは実証設備における MB 混練機に準拠したインベントリを採用したが、低位ケースでは工業的に実施されている希釈プロセスと同等の効率で混練が可能になるとみなした。実証設備では吐出量が工業プロセスに比べて小さいため、単位量あたりのエネルギー消費が

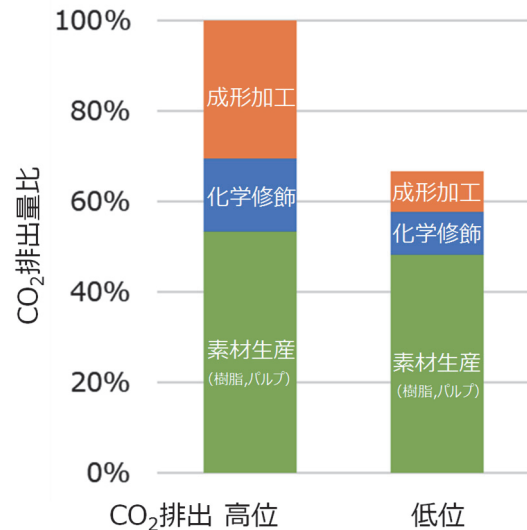


図 6.3-2 CNF 強化樹脂製自動車部材の製造時 CO₂ 排出量

相対的に大きくなり、そのライフサイクル CO₂ への影響度は比較的大きいことがわかった。

以上のように、各プロセスに対応したシミュレーションモデルを構築し、生産条件による変動や将来的な変動を考慮することで、製造プロセスにおける CO₂ 排出量を幅のある値として提案することを可能とした。

6.3.4 参考文献

- 1) 特許第 6091589 号
- 2) Naofumi Miyata, Yasunori Kikuchi, Masahiko Hirao, Scenario Analysis on Pulp and Paper Flow for the Design of Paper Recycling System, Proceedings on the 9th International Conference on EcoBalance, 2010
- 3) LCI データベース IDEA v2.2, 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ, 一般社団法人 産業環境管理協会

6.4 CO₂削減効果の将来予想（2030年）（（国研）産業技術総合研究所）

CNF（Cellulose Nanofiber）複合材料の自動車用部材の技術見通しと市場導入見通しをもとに、フォアキャストリングにより、軽量化シナリオを作成するとともに、2030年までのNCV普及シナリオをもとに、NCV（Nano Cellulose Vehicle）の波及導入数を推定した。軽量化シナリオに基づいて、車種別のNCV1台あたりのCO₂削減量を求め、これにNCV普及シナリオから推定される将来の波及導入数を乗じて、2030年における日本国内における乗用車からのCO₂削減量を試算した。現時点（2020年）での技術即ち2030年までに幅広く社会実装される見込みの技術を適用した自動車が2022年度以降の自動車生産台数の10%を常時占めるとした場合、2030年度に販売した乗用車からのCO₂排出総量を1%程度削減できることが見込まれた。

6.4.1 軽量化シナリオの作成

資源エネルギー問題の観点や地球温暖化対策の必要性から、自動車関連産業におけるCO₂排出削減に向けた取り組みが求められており、電気自動車（EV）をはじめとする次世代自動車の開発が急ピッチで進められている。車体の軽量化は、ガソリン車だけでなく、次世代自動車の燃費（電費）向上をもたらすため、今後さらに必要とされる技術開発である。

昨年度は、CNF（Cellulose Nanofiber）複合材料の自動車用部材への適用可能性に関するヒアリング（図6.4-1）を行い、得られた回答をもとに、2030年時点での技術レベル（2050年までの社会実装）（以下、2030年技術レベルと記載）に基づいた、NCV（Nano Cellulose Vehicle）の軽量化シナリオをフォアキャストリングにより作成するとともに、CNF部材適用部位の重量変化の想定値より得られた車両軽量化（差分）の結果から、ライフサイクルCO₂排出量について、従来自動車との差分を計算した。本年度は、2030年技術レベルだけでなく、2020年時点での技術レベル（2030年までの社会実装）（以下、2020年技術レベルと記載）に基づいたCNF部材適用可能性を検討するとともに、GV（ガソリン車）、HV（ハイブリッド車）、PHV（プラグインハイブリッド車）、EV（電気自動車）について、CNF部材を適用した車両一台あたりのライフサイクルCO₂排出量を計算することを試みた。総重量1,210kgの既存市販GVを、アンケート資料作成の際に参考とした分類レベルリまで分解し、自動車部品全体の素材と重量を把握した。内外装部材をCNF活用部材へと最大限置換すると仮定して、昨年度のヒアリング結果を再度精査し、分解された部品一覧とCNF部材設定部位を対応させ、軽量化対象部材の重量からCNF部材適用による軽量化重量を計算した（表6.4-1）。HV、PHV、EVについては、それぞれの車種に特有な部品以外はGVと共通である仮想車を想定した。軽量化率は、2020年技術レベルで10.3%（GV（表6.4-1））、9.4%（HV）、8.8%（PHV）及び9.2%（EV）、2030年技術レベルで13.5%（GV（表6.4-1））、12.2%（HV）、11.5%（PHV）及び12.0%（EV）となった。また、CNF複合材への置換による軽量化により、車両全体にもたらされる波及的な軽量化（二次的軽量化）を考慮した場合、軽量化率は2020年技術レベルで15.5%、2030年技術レベルで20.2%（GV（表6.4-1））と試算された。

参考車種 GV: 86 ZN6-E2B7, HV: PRIUS ZVW30-AHXEB, PHV: PRIUS ZVW35-BHXEB, EV: LEAF ZE0

Parts fan
https://partsfan.com

の参考車種における中分類を元作成（名称等は一部変更）しているため、車種ごとに掲載しない部品をリストに含む。

ボディ	1. 2020年時点で技術的にはCNF部材適用が実現可能で、2030年までの社会実装が見込まれる				2. 2030年時点で技術的にはCNF部材適用が実現可能で、2050年までの社会実装が見込まれる				(左記のシナリオで○が付いたものに対して) 対象部品名及び素材名称				(左記のシナリオで○が付いたものに対して) 対象部品の想定重量(kg)				(左記のシナリオで○が付いたものに対して) 軽量化部品として使用するCNF複合材料の組成(%表示)				(左記のシナリオで○が付いたものに対して) 軽量化部品として使用するCNF複合材料部品の重量(kg)				
	GV	HV	PHV	EV	GV	HV	PHV	EV	GV	HV	PHV	EV	GV	HV	PHV	EV	GV	HV	PHV	EV	GV	HV	PHV	EV	
1 サスペンションロンスピンバ&アンダカバー																									
2 スペアホイールキャリア																									
3 フロントバンパ&バンパステー																									
4 リアバンパ&バンパステー																									
5 ラジエータグリル																									
...																									
...																									
...																									
44 リアモルディング																									
45 ボデーストラップ																									
46 マッドガード&スポイラ																									
47 フェユエルタンク&チューブ																									
48 アセルレータリンク																									

計154分類(ボディ48分類、電気的49分類、駆動・シャシー29分類、ツール・エンジン・フェール28分類)

図 6.4-1 CNF 複合材料の自動車用部材への適用可能性に関するヒアリング資料

表 6.4-1 CNF 複合材料の自動車部材への適用による軽量化シナリオ

部材名称	シナリオ1 2020年時点で技術的にはCNF部材適用が実現可能で、2030年までの社会実装が見込まれる							シナリオ2 2030年時点で技術的にはCNF部材適用が実現可能で、2050年までの社会実装が見込まれる										
	従来部材重量 [kg]	従来部材材質	CNF部材重量 [kg]	CNF部材の素材	CNF部材の成形方法	軽量化重量 [kg]	軽量化率 (ベース車の車両重比)	軽量化率 (従来部材比)	軽量化率の根拠	従来部材重量 [kg]	従来部材材質	CNF部材重量 [kg]	CNF部材の素材	CNF部材の成形方法	軽量化重量 [kg]	軽量化率 (ベース車の車両重比)	軽量化率 (従来部材比)	軽量化率の根拠
フェンダーパネル、トランクパネル、ドアパネル	55.98	鋼	28.52	PA6/CNF10%	射出圧縮成形	△28	△2.3%	△49%	曲げ剛性等価とした設定 (TCD資料)	シナリオ1と同様に軽量化率を設定								
ホワイトボディ (BW)	269.4	鋼	158.93	エポキシ/CNF	RTM	△81	△6.7%	△30%	最終試作車の車体フロア部材成形実績およびトヨタ86エンジンフード試作品の剛性がアルミ以上であったことから。	269.38	鋼	158.93	エポキシ/CNF	RTM	△110	△9.1%	△41%	CFRPと同等の剛性を達成した設定 (TCD資料)
ボンネット (フード)	7.14	アルミ	7.14	エポキシ/CNF	RTM	0	0%	0%	トヨタ86エンジンフード試作品の剛性がアルミ以上であったことから	シナリオ1と同様に軽量化率を設定								
サイド・リアガラス	15.4	無機ガラス	7.7	PC/CNF15%	射出圧縮成形	△7.7	△0.64%	△50%	最終試作車の部材成形実績から	シナリオ1と同様に軽量化率を設定								
フロントガラス	/									12.2	無機ガラス	6.1	PC/CNF15%	射出圧縮成形	△6.1	△0.50%	△50%	ヒアリング結果から
インテークマニホールド	6.02	アルミ	3.01	PA6/CNF15%	射出成形	△3.0	△0.25%	△50%	試作実績から。なお、既にPA6/ガラス繊維製の部材が市販されているが、トヨタ86の場合はアルミ製であったため、現物に即して評価した。	シナリオ1と同様に軽量化率を設定								
樹脂部材 (PP)	30.5	PP	24.4	PP/CNF10%	射出成形	△6.1	△0.50%	△20%	軽量化率は部材メーカー4社試作実績 (10-16%) をもとに設定	シナリオ1と同様に軽量化率を設定								
その他樹脂	/									11.14	PA66, ABS	8.91	樹脂/CNF10%	射出成形	△0.5	△0.04%	△20%	PPと同等にCNF部材が成形できるとした設定
小計	384		259			△125	△10.3%			408		245			△163	△13.5%		

トヨタ86 (ベース) : 1210kg/台

仮想最終試作車 : 1085kg/台、二次的軽量化あり : 1022kg/台

トヨタ86 (ベース) : 1210kg/台

仮想最終試作車 : 1047kg/台、二次的軽量化あり : 965kg/台

6.4.2 CO₂排出量の試算方法

システム境界は製造段階、走行段階、廃棄・リサイクル段階までとした。CO₂排出量の計算にあたっては、産総研が整備しているインベントリデータベース²⁾を利用して求めた。その際、①部材加工時の歩留まり率95%、②自動車組立段階でのエネルギー投入量等はNCVと従来自動車の間で差がない、とした。走行段階のCO₂排出量に与える影響は、①GVは車両軽量化によってエンジンの小型化（排気量の縮小）を加味し、市販車全体の車重-燃費曲線の傾向に近い燃費シミュレーションを行うことによって得られた燃費改善率（6.1.2での検討結果）を用いて、②HV, PHV, EVは市販車の燃費・電費の情報をもとに想定した燃費・電費改善率（PHV, EVについては電源構成予測³⁾を考慮）を用いて、それぞれ試算した。なお、生涯走行距離は100,000kmとし、PHVのCO₂排出量はプラグイン走行とハイブリッド走行半々で算出した。廃棄・リサイクル段階では、樹脂は廃棄物発電、ガラスはリサイクルを想定した。

新車台数と初度登録年度別保有台数から計算した残存率および将来人口予測を参考に将来の新車台数と初度登録年度別保有台数を推測するとともに、次世代自動車/乗用車の比率を予測し、2030年度までの次世代車の台数と初度登録年度別保有台数を推計した。車種別のCO₂排出量に推定された将来の波及導入数を乗じることにより、2030年における日本国内における乗用車からのCO₂削減量を試算した⁴⁻⁹⁾。また、物量連関表を用いて、NCV普及シナリオに基づいた将来のNCV普及が産業構造変化へ与える影響を評価した。

6.4.3 試算結果

図6.4-2及び図6.4-3にNCVと従来自動車とのライフサイクルCO₂排出量の比較を示す。二次的軽量化を考慮すると、GVにおいてCO₂排出量が12%（2020年技術レベル）および17%（2030年技術レベル）削減できるという試算が得られた（材料リサイクルを含む）。また、EVにおいても、ガソリ

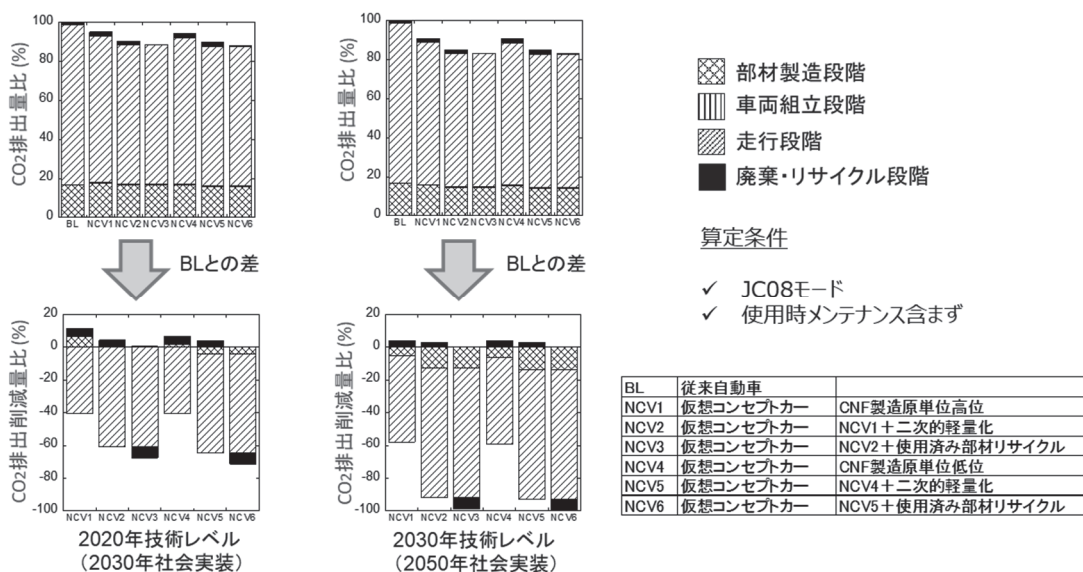


図 6.4-2 2020 年技術レベルおよび 2030 年技術レベルで CNF 部材を適用した場合における GV 一台あたりの CO₂ 排出量の変化

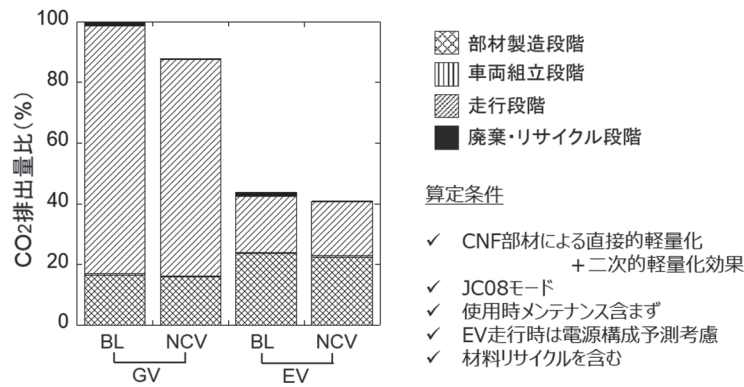


図 6.4-3 CNF 部材を適用した場合における一台あたりの CO2 排出量の変化 (2020 年技術レベル)

ン車に比べて減少量は少ないものの、CNF 部材の適用によりライフサイクル CO₂ 排出量が削減された。NCV の導入により、EV へのシフトによる CO₂ 排出量削減への相乗効果が期待できる。

さらに、車種の割合、保有台数を考慮して、フォアキャスティングにより、1 台あたりの CNF 部材の適用箇所のシナリオを検討した。この適用シナリオにより想定される車両軽量化率を算定し、車種別の CO₂ 排出量の変化を加味した日本国内における乗用車からの CO₂ 排出削減量を試算した。NCV 普及シナリオを、定常的に生産台数の 10% が 2020 年技術レベルの NCV として 2022 年度から市場に投入されるとした場合、2030 年度に販売した乗用車からの CO₂ 排出総量を 1% 程度削減できることが見込まれた。また、物量連関表を用いた試算により、従来車から NCV へのシフトに伴い、電力消費量増加及び鋼板使用量削減に起因する各産業への影響が大きくなることが示唆された。

参考文献

- 1) Partsfan (<https://partsfan.com>)
- 2) AIST: IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis): (<http://idea-lca.jp>)
- 3) 経済産業省「長期エネルギー需給見通し」(平成 27 年 7 月)
- 4) 国土交通省「乗用車保有台数の推計」
- 5) 自動車検査登録情報協会「乗用車の平均車齢推移表」
- 6) 国立社会保障人口問題研究所「日本の将来推計人口」
- 7) 経済産業省「次世代自動車戦略 2010」
- 8) 一般社団法人次世代自動車振興センター「EV 等販売台数統計」
- 9) 一般社団法人次世代自動車振興センター「EV 等保有台数統計」

第7章 プロジェクト推進に関する情報管理と CNF 材料・部材の総合評価

7.1 情報管理及び共同実施機関間の調整(京都大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)

共同実施者間の円滑な業務の推進及び本業務全体の目的の達成に向け、本業務で発生する情報を総合的に管理し、共同実施者間の業務の調整を行うための会合を 46 回実施した。各会合の内容と参加者を表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1 共同実施者間の業務の代表的な調整会合

開催日	開催時間	内容	場所	参加者
2019年4月5日	14:00~17:00	塗装に関する会議	日本ペイント・オートモーティブコーティングス(株)	利昌工業、TCD、トヨタ紡織、金沢工業大学、JEMAI、京都大学
2019年4月11日	16:00~18:00	試作評価に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 2号館 221会議室	三和化工、JEMAI、京都大学
2019年4月15日	15:00~17:00	試作評価に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 151会議室	トヨタ紡織、京都大学
2019年4月25日	10:30~12:30	塗装に関する会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	利昌工業、名古屋工業大学、TCD、JEMAI、京都大学
2019年4月26日	10:00~12:00	車両軽量化に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 121会議室	トヨタ紡織、TCD、アイシン精機、産業技術総合研究所、金沢工業大学、JEMAI、京都大学
2019年4月26日	14:00~17:30	第1回全体会合	名古屋ダイヤビルディング 1号館 171会議室	全参画機関
2019年5月17日	11:00~12:00	PVに関する会議	トヨタ産業技術記念館	JEMAI、京都大学
2019年5月21日	14:00~16:00	塗装に関する会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	利昌工業、名古屋工業大学、TCD、JEMAI、京都大学
2019年5月29日	10:00~12:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	昭和丸筒/昭成プロダクツ、JEMAI、京都大学
2019年5月29日	15:00~17:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	宇部興産、JEMAI、京都大学
2019年6月5日	16:30~18:00	進捗会議	(株)デンソー 名古屋オフィス	デンソー、JEMAI、京都大学
2019年6月20日	10:00~12:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	マクセル、JEMAI、京都大学
2019年6月20日	15:00~17:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	TMEJ、JEMAI、京都大学
2019年6月21日	10:00~12:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	トヨタ紡織、JEMAI、京都大学
2019年6月27日	10:00~12:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	イノアックコーポレーション、JEMAI、京都大学
2019年6月27日	13:00~15:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	ダイキョーニシカワ、JEMAI、京都大学
2019年6月27日	15:00~17:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	三和化工、JEMAI、京都大学
2019年6月28日	10:00~11:00	塗装に関する会議	(株)トヨタカスタマイジング&ディベロップメント 名古屋工場	TCD、京都大学
2019年6月28日	14:00~17:15	第2回全体会合	名古屋ダイヤビルディング 2号館 222会議室	全参画機関
2019年7月8日	15:30~17:30	試作評価に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 151会議室	トヨタ紡織、京都大学
2019年7月11日	13:00~15:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	京都市産技研、JEMAI、京都大学
2019年7月11日	15:00~17:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	キョーラク、JEMAI、京都大学
2019年7月26日	13:30~15:30	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	金沢工業大学、JEMAI、京都大学
2019年7月29日	17:30~19:30	マネジメント会議	JEMAI	JEMAI、京都大学
2019年8月5日	13:00~15:00	進捗会議	名古屋工業大学	名古屋工業大学、京都大学
2019年8月7日	10:00~12:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	産業技術総合研究所、JEMAI、京都大学
2019年8月7日	13:00~15:00	進捗会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	利昌工業、JEMAI、京都大学
2019年8月27日	13:00~15:00	PVに関する会議	トヨタ産業技術記念館	JEMAI、京都大学
2019年8月30日	10:00~11:00	車両軽量化に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 122会議室	TCD、JEMAI、京都大学
2019年8月30日	11:00~12:00	マネジメント会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 122会議室	金沢工業大学、JEMAI、京都大学
2019年8月30日	14:00~17:00	第3回全体会合	名古屋ダイヤビルディング 1号館 171会議室	全参画機関
2019年9月11日	10:00~12:00	PVに関する会議	トヨタ産業技術記念館	JEMAI、京都大学
2019年9月20日	10:00~12:00	進捗会議	秋田県立大学	秋田県立大学、京都大学
2019年9月24日	10:00~12:00	PVに関する会議	トヨタ産業技術記念館	JEMAI、京都大学
2019年9月27日	10:00~12:00	材料に関する会議	京都市産業技術研究所	京都市産業技術研究所、京都大学
2019年10月4日	10:00~12:00	広報に関する会議	トヨタ自動車東日本(株) 東富士総合センター	TMEJ、京都大学
2019年10月8日	15:00~17:00	材料に関する会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	宇部興産、京都大学
2019年10月11日	16:00~17:00	試作評価に関する会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室 (電話会議)	TMEJ、京都大学
2019年10月16日	15:00~17:00	試作評価に関する会議	(株)イノアックコーポレーション 桜井事業所	イノアックコーポレーション、京都大学
2019年10月17日	14:00~17:00	第4回全体会合	イノホール	全参画機関
2019年11月12日	10:00~12:00	材料に関する会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	宇部興産、京都大学
2019年11月19日	15:00~17:00	LCAに関する会議	名古屋ダイヤビルディング 2号館 221会議室	SuMPO、京都大学
2019年12月20日	10:30~12:30	試作評価に関する会議	名古屋ダイヤビルディング 1号館 151会議室	三和化工、京都大学
2019年12月20日	14:00~17:30	第5回全体会合	名古屋ダイヤビルディング 1号館 171会議室	全参画機関
2020年1月15日	13:00~17:20	2019年度 NCV プロジェクト 成果報告会	科学技術館	全参画機関
2020年2月26日	13:30~17:30	第6回全体会合	環境省のWEB会議システムを使用	全参画機関

7.2 CNF の早期社会実装に向けた市場投入計画の策定 (京都大学、金沢工業大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)

低炭素社会実現の観点から CNF 材料及び CNF 部材の総合的な評価・検証を実施するとともに、自動車を始めとする産業分野における CNF の早期社会実装に向けて、車づくり技術や経済・環境・社会性などの観点、昨年度プロジェクトで作成した部品管理表の充実、品質や時間軸に対しての期待度等を解析し、市場投入計画の検討を行った。現時点で軽量化効果は比較的小さいものの、技術完成度が高く、現在の自動車構造に取り入れやすいカテゴリ-A の技術は、詳細な製品化計画を作成していく必要がある。CNF 使用量が大きく、軽量化などの効果も出やすく大型骨格の一体成形部品が狙えるカテゴリ-B は現状の量産車に展開するには生産性の改善が必要となること、100%CNF 材料など CNF の特徴をより生かすことを狙ったカテゴリ-C は生産性および信頼性等評価を十分に行う必要があることから、いずれも現状の量産車よりは、将来の自動車要求に照準を合わせた開発が望ましい。

7.2.1 車づくりの技術について

前年度は、CNF を自動車に市場投入するには、質と量の両面からの解析が必要であるとした。その中で、自動車の最も大きな負の遺産である CO₂ 問題を解決するには、材料として、走行時の CO₂ 排出を抑制するために軽量であること、また、素材および素材製造時の CO₂ 排出量を抑制できることが要求としてあげられることを述べた。

今年度は、もう少し様々な角度からみることでより、一連の車づくりに対し、CNF の位置づけについて整理した。

図 7.2-1 に前述のこれから必要な軽量（比重）と素材製造時の CO₂ 排出量の関係を理想や現状の素材と比較した。各素材の改善は進められているものの現状主流の素材と理想との乖離は大きく、CNF 強化樹脂のような素材が期待される。

図 7.2-2 に資源の観点から、全世界での年間生産量（自動車以外も含む）と年代（歴史）との関係を整理した。木は軽く、鉄の生産量と歴史を合わせ持つ材料である。植物成分である CNF の意味は資源的には極めて大きいと言える。

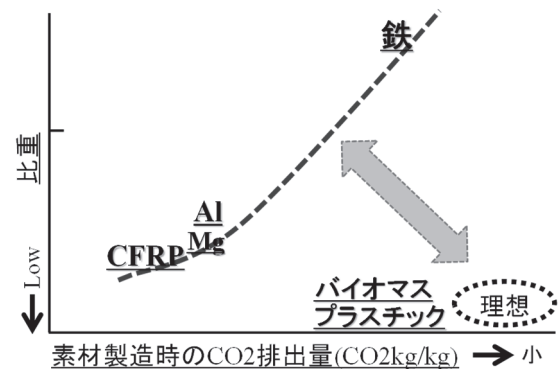


図 7.2-1 素材の観点

(日経ものづくり技術者塾講演会 2017.6 杉田・影山より)

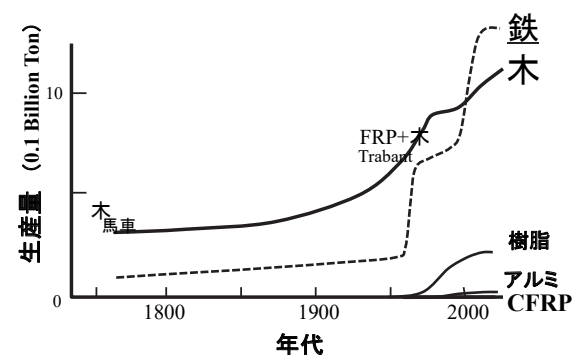


図 7.2-2 資源の観点

(日経ものづくり技術者塾講演会 2017.6 杉田・影山より)

図 7.2-3 に設計の観点から整理した。最近の車構造は部品点数の大幅削減で部品が大型化してきている。図はその試作の一例であり、もともとは CFRP と GFRP と金属類のマルチマテリアル構造を採っている。ここで板要素の GFRP を CNF 強化複合材に置き換えられれば、更に軽量化でき、リサイクルしやすくなることが期待される。CNF 強化複合材料は、植物系軽量高強度等方性材料として設計面からも注目されるものと考えられる。

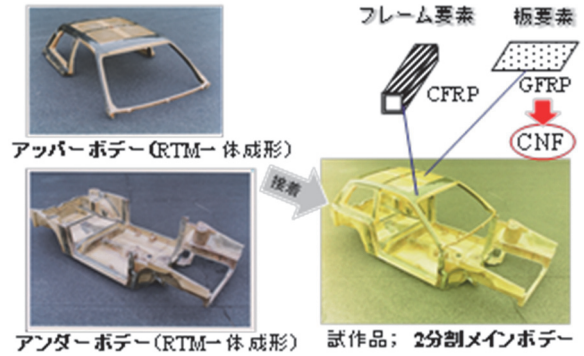


図 7.2-3 設計の観点

(日経ものづくり技術者塾講演会 2017.6 杉田・影山より)

図 7.2-4 に成形の観点から整理した。今回、射出成形だけでなく、様々な成形法を試み、内外装や垂直外板だけでなく、大型の水平外板やフロアに至るまで、CNF 強化プラスチックで成形できることを実証した。現状の大量生産型から将来の少量多品種生産型まで可能と考える。

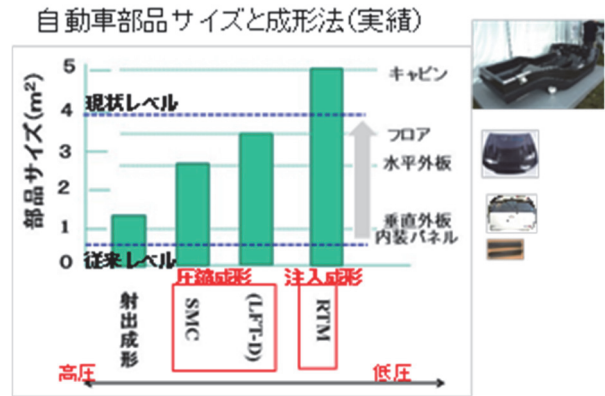


図 7.2-4 成形の観点

(日経ものづくり技術者塾講演会 2017.6 杉田・影山より)

7.2.2 環境・経済・社会性について

CNF のカーボンニュートラル性から、マテリアルリサイクル以外に CNF 配合量によっては、燃やせる材料と言える可能性がある。その場合は、サーマルリサイクルが有効であり、廃棄処理をすぐに行えば、海洋プラスチックごみ問題の解消策になることも考えられる。

CNF の原料である木や植物、海洋資源は日本有数の保有資源である。図 7.2-5 に将来の日本をイメージした。情報管理や AI 等が進み、自動車が大きく変革することは間違いないが、同時に地域（地方）が注目されるものと考えられる。地域には日本有数の資源があり、出口側との連携が成り立てば、地域型サプライチェーンが構築され、地域の海洋、森林を含めた現在眠っている資源も活性化すると考えられる。経済面からは、このような地域が活性化すれば、循環型社会が構築されることになる。

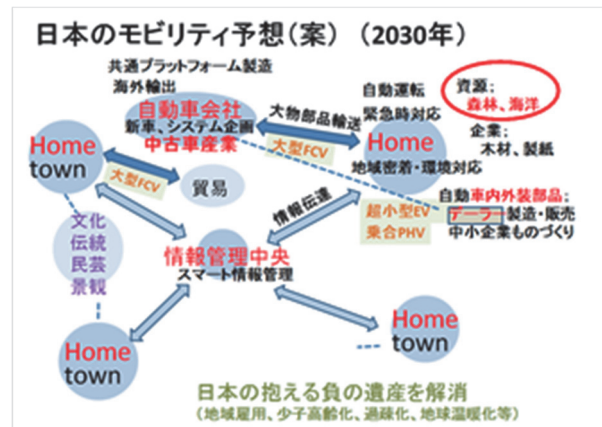


図 7.2-5 経済・環境・社会性からの観点

(日経ものづくり技術者塾講演会 2017.6 杉田・影山より)

7.2.3 各試作品の期待度

各章で示してきたように、CNF の使用が期待できる自動車部品は数多い。ここでは、品質面や時間軸で整理し、全体としての傾向をまとめてみた。

① 品質面からの整理

表 7.2-1 に示すとおり当初の期待に対して以下の実証ができた。

- ・軽量化は 10~60%で可能
 - ・LCA に関して従来材料より良好
 - ・コストに関しては量産化を想定した検討が必要である。
 - ・ナノ繊維化の特徴から、表面平滑性、ウエルドレス、低そり、低引け、透明部材展開に期待できる。
 - ・製造面に関しては、既存の量産設備がそのまま使えることを確認できた。
- 懸案事項として以下の項目が挙げられる。

- ・耐衝撃性
- ・長期信頼性
- ・におい、VOC
- ・燃焼性

これらの項目に対しては将来の使用環境に合わせた評価は部品ごとに行う必要がある。

以上のように、品質面において、当初の予想を大きく外れる結果にはならないことが確認でき、試作品においても CNF のうれしさを反映できること、懸案事項が明らかになった。

表 7.2-1 CNF 部材の品質(期待と懸案に対して)

期待効果	・高強度・高剛性⇒軽量化 ・セルローズ⇒LCA良好 ⇒低コスト	10%~60%の軽量化を確認 LCA的にも意味は大きい 量産化の可能性の追求が必要
	・ナノ繊維⇒表面平滑性 ⇒ウエルドレス ⇒低そり、引け ⇒透明部材展開	大なり小なりの効果を確認
	・汎用設備の使用可能 等	期待を確認
懸案事項	・他の品質(衝撃特性) ・長期信頼性(吸水劣化) ・におい・VOC ・燃焼性 等	致命的でないことを確認 吸水、衝撃には部品によって 注意は必要

表 7.2-2 CNF 部材の商品化カテゴリー(時間軸)

カテゴリーA 2025~		
既存樹脂部品からの代替 (10%以上軽量化) 射出成形部品 (京都プロセス+既存成形)		
<p>▶ 射出成形(PP)</p>  <p>ドアトリム ポリプロピレン(PP)-CNF10% トヨタ紡織(株)</p>	<p>▶ 射出成形(PA6)</p>  <p>インテークマニホールド(吸気部品) ナイロン6(PA6)-CNF15% アイシン精機(株)</p> <p>材料はNEDOからの提供品を使用</p>	<p>▶ 射出発泡成形(PA6)</p>  <p>トランクリッド ローア ナイロン6(PA6)-CNF5% ダイキョーニシカワ(株)</p> <p>材料はNEDOからの提供品を使用</p>
<p>▶ 射出発泡成形(PP)</p>  <p>スポイラー ポリプロピレン(PP)-CNF5% (株)イノアックコーポレーション</p>	<p>▶ 射出発泡成形(PP)</p>  <p>スポイラー ポリプロピレン(PP)-CNF10% (株)イノアックコーポレーション</p>	<p>▶ 射出発泡成形(PP)</p>  <p>(株)デンソー</p>

カテゴリーB 2030～

鉄等の強度骨格部品からの代替（50%以上軽量化）
既存複合材成形法（RTM、SMC等）

RTM低圧成形（大型一体成形）



エンジンフード
50%CNFペーパー
エポキシ樹脂

マルチマテリアル化（CNF+CFRP）



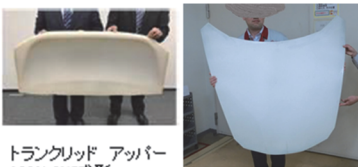
フロア
50%CNFペーパー（阿波製紙製）
エポキシ樹脂
+
CFRP部分補強

金沢工大、トヨタカスタマイジング&ディベロップメント

カテゴリーC 2035～

CNFの特徴を最大限活かす部品（50%以上軽量化）
CNF特徴を最大限活かす各種成形

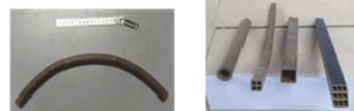
▶ 独自成形（100%CNF成形体）



トランクリッド アッパー
100% CNF成形

利昌工業(株)

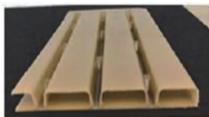
▶ シートワインディング



ビーム等補強加工
紙管+CNFシート

(株)昭和丸筒
昭和プロダクツ(株)
秋田県立大学
名古屋工業大学

▶ ブロー成型（デッキボード等）



デッキボード
ポリプロピレン(PP)+CNF10%

キョーラク(株)

▶ めっき加工（射出成形後）



エンジンカバー
ナイロン6(PA6)+CNF

部品はNEDOから
の提供品を使用

マクセル(株)

▶ 透明部材（グレーディング材）



トヨタ自動車東日本(株)

▶ 3Dプリント部材



京都大学、名古屋工業大学

② 時間面からの整理

予め、各試作品を分類し、3 つに分けたカテゴリーを第 7.1 節と第 7.3 節に提案した結果、シーズ側とニーズ側の意見を解析し易くなった。更に、東京モーターショー2019 での第 7.1 節および第 7.3 節の活動の結果を反映した結果、3 つのカテゴリーの特に時間軸が見えてきた。表 7.2-2 にその結果を示す。

カテゴリーA は、主に現状の樹脂部品の軽量化を更に促進することを狙った内外装や垂直外板を対象とする射出成形技術（京都プロセス）で、早期採用、量産に挑戦する普及・定着を意識した領域である。

カテゴリーB は、現状の鉄等からなる大型骨格部材の置き換えで大きな軽量化を狙ったメインボデー構成部品を対象とする低圧成形技術（新規開発）で、中期的な位置づけの可能性追及を意識した領域である。

カテゴリーC は、CNF の特徴を製品に最大限盛り込むことを狙ったもので、長期的な位置づけではあるが、軽量化と同時に本質の追及を意識した領域である。

このように、第 7.1 節および第 7.3 節と協力して品質面、時間面で整理することにより、各試作品は、投入時期は異なるが 3 つのカテゴリーに分けられ、それぞれ意味を持った市場投入が期待できることが分かった。

7.2.4 いくつかの市場投入計画（案）

本章第 7.2.1 項及び第 7.2.2 項の CNF の意味を考慮しながら、また、第 7.1 節での各実施機関との調整や 7.3 の広報活動から得られた結果を更に分析し、東京モーターショー2019 で得たフューチャーカーの情報を考慮し、3 で得たカテゴリーに対し、カテゴリー別に市場投入計画（案）を検討した。

7.2.4.1 カテゴリーA の市場投入計画（案）

他のカテゴリーに比べ軽量化効果は小さいが、技術的にも、設備面でも最も量産に近い領域であり、3 で述べた通り、CNF の普及・定着を狙い、早期に量産化を狙うのが望ましい。素材製造時の CO₂ 排出量に対しては、現在の石油系プラスチックからバイオマスプラスチックへの代替を図るなど、まだまだ技術的な改善が望まれる。CNF の先駆者として早期市場投入を行いながら、並行して技術改善を行うなどの進め方が必要と考えられる。この領域に求められるのは、継続した量産である。量産できるようなサプライチェーンの構築も重要になってくる。

また、フューチャーカーと現行車両の構造や考え方を良く照らし合わせた進め方が重要である。将来は、熱マネージメントの一環として断熱性が重要視されるはずである。単なる射出成形技術だけではなく、現在実施中の発泡機能を積極的に追加するなどのマルチ機能化などを考慮した開発も並行して行うのが好ましい。

この領域は現行車両の部品を対象とし、フューチャーカーの動向を見定めながら、本技術が更に展開できる対象を探索するのが最も良い進め方と考える。よって、まずは、現在のティア 1 (Tier1) が中心となり、量産化と技術開発を同時にすすめるのが相応しいと考える。

7.2.4.2 カテゴリーBの市場投入計画（案）

フューチャーカーのプラットフォーム共有構造や大型一体成形、高寿命化などを考えると、大量生産性には課題があるが、省スペースで省リソースの生産も考えられ、最も将来に近い技術であるとも考えられる。よって、現在の量産車の構造に適用するのではなく、フューチャーカーの開発につながるような進め方が好ましいと考える。現在多くのフューチャーカーの研究プロジェクトが実施されているが、これらとコラボレーションするのが望ましいと考える。

対象としては、フューチャーカーのプラットフォームやバス・トラックなどの大型部品、特殊車両が面白い。また、新規技術であることからの信頼性や一体成形によるマルチマテリアル化等を考えると、スローモビリティのメインボデーなども興味深い。また、災害時のシェルターバスなどにも大型成形性が活かせると考えられる。更には、最大限の軽量化が必要となる空飛ぶ車への応用も期待される。

以上、現状車両に無理に展開するよりは、フューチャーカーへの展開を考えるのが技術の特徴として得策と考えられる。また、地域を有効活用した図 7.2-5 のようなサプライチェーンを今から構築していくことも重要である。

7.2.4.3 カテゴリーCの市場投入計画（案）

少し開発に時間がかかると思われるが、CNFの本質に関わることであり、これもまた先を読み、技術を完成していく必要がある。前述したが、フューチャーカーでも、スローモビリティのように使用環境がマイルドな車両も存在することから、現状の量産車のような品質や信頼性は要求されなくなることも考えられ、そのあたりを当面のターゲットとしても良いのではないかと考える。また、これも前述した図 7.2-5 のような地域の活性化等につなげても面白いと考える。

今は将来を見据えつつ、しっかり技術を蓄積していくことが重要である。また、例えば透明樹脂ガラスの代替を考えた場合、なぜ、先行している透明樹脂ガラスがそれほど普及できていないのかを解析することも重要である。ハードコート要求のレベルの高さなどが足かせになっているケースもあり、CNF添加などで表面硬度を上げられないかなどの追及も面白いと考える。

これもまた、現状車両に無理に展開するよりは、フューチャーカーや地域への展開を考えるほうが技術の特徴として得策と考えられる。

7.2.5 まとめ

目標の軽量化はもちろん、様々な観点から、CNFの意味を考え、品質と時間軸に対して3つのカテゴリーに分けて出口との関係を探ってきた結果、各カテゴリーに対しての理想的な進め方が見えてきた。

CNFを自動車に展開する場合、将来の自動車用構成材料として認められ、定着するには、全てのカテゴリーの技術を完成する必要がある、本結果をもとに関係者間で十分な対話を行うことが重要と考えられる。

7.3 CNF の早期社会実装に向けた広報活動

(京都大学、(地独)京都市産業技術研究所、金沢工業大学、一般社団法人サステナブル経営推進機構)

CNF の早期社会実装に向けて、本プロジェクトの成果を効率的かつ効果的に社会に発信することで、自動車分野をはじめとした民間企業等における CNF 市場への新規参入の促進を目的として、プロジェクト成果の広報活動を展開した。

上記の目的のもと、本年度は国内で開催された展示会に 6 回出展した他、国内外において 9 のイベントにてプロジェクト成果を公表・発信した。加えて、プロジェクトパンフレットの作成・配布、最終試作車のプロモーションビデオ (PV) の作成・上映、プロジェクトのホームページの刷新を行った。こうした広報活動を通して得られたメーカーやユーザーからの評価を受けて、CNF の早期社会実装に向けた市場投入計画の更新を実施した。

7.3.1 国内等で開催される展示会の出展

プロジェクト最終年度となる本年度は、NCV (ナノセルロース自動車) および CNF 活用軽量部材の可能性を社会に提案することを目的として、自動車業界の展示会を中心に以下の 6 つ展示会にて本プロジェクトの成果を発信した。

(1) 人とくるまのテクノロジー展 2019 横浜

開催情報	開催期間：2019年5月22日(水)～2019年5月24日(金) 開催場所：パシフィコ横浜 来場者数：95,900名
出展の狙い	本展示会は自動車業界の第一線で活躍する技術者・研究者のための自動車技術の専門展であり、自動車技術展としては国内最大の規模を誇る。自動車業界におけるプロジェクトの認知度向上と自動車部材への CNF 活用の関心の獲得を図った。
出展の内容	①CNF 部材の展示、②タペストリー展示 (CNF 部材の展開イメージ予想図)、③パンフレットの配布、④PV の上映
出展の成果	プロジェクトとしては初めての自動車技術専門展への出展であり、自動車業界にプロジェクト成果を発信することで、同業界の CNF という新素材への認知度と関心を高めることに貢献した。同展示会のアンケート結果においても「印象に残った展示製品」に「CNF 製品」が挙げられた。

(2) 人とくるまのテクノロジー展 2019 名古屋

開催情報	開催期間：2019年7月17日(水)～2019年7月19日(金) 開催場所：ポートメッセなごや (名古屋市国際展示場) 来場者数：45,514名
出展の狙い	上記の横浜展同様、自動車業界では最大の注目を集めている自動車技術展であり、横浜展での出展に引き続き、自動車業界からのプロジェクト成果の評価を受けることで、同市場における今後の CNF 普及の可能性を調査した。


出展の内容	①モックアップの展示、②タペストリー展示（プロジェクト概要図、CNF 部材の展開イメージ予想図、CNF 紹介図）、③パンフレットの配布、④PV の上映
出展の成果	自動車業界からの更なる関心を獲得するために、モックアップの展示と各展示 CNF 部材サンプルに製品化ステージの段階を示すアイコンを表示した。横浜展と比較すると、完成車メーカー及び部品メーカーからの来場者も多く、CNF 部材サンプルへの関心と評価を獲得した。同展示会のアンケート結果においても、「今後希望するテーマ」に「セルロースナノファイバー」が挙げられた。

(3) BioJapan2019

開催情報	開催期間：2019年10月9日（水）～2019年10月11日（金） 開催場所：パシフィコ横浜 来場者数：17,512名
出展の狙い	国内外より製薬企業のみならずバイオ関連企業、研究機関が一堂に会する展示会であり、生物資源や生物工学技術を応用して社会課題を解決するバイオエコノミーを展示会の一つのテーマに掲げている。プロジェクト成果を海外およびバイオ関連企業に発信することで、CNF 市場の裾野の拡大を図った。
出展の内容	①モックアップの展示、②プロジェクト成果の発表（講演）、③タペストリー展示（プロジェクト概要図、CNF 部材の展開イメージ予想図、CNF 紹介図）、④パンフレットの配布、⑤PV の上映
出展の成果	製薬、ヘルスケア関連の出展の中心となる中での自動車部材の展示であったため、来場者から高い注目を集めた。海外からの来場者、ヘルスケア分野の来場者も多く、海外やバイオエコノミー業界における CNF への関心を得た。

(4) 東京モーターショー2019

開催情報	開催期間：2019年10月24日（木）～2019年11月4日（月） 開催場所：東京ビッグサイト（青海展示棟） 来場者数：1,300,900名
出展の狙い	自動車に関する最新の技術やデザインを紹介する見本市であり、世界5大モーターショーの1つである同展示会に最終試作車を初披露することで、自動車業界、メディア、ユーザーに NCV と CNF の可能性を提案した。
出展の内容	①最終試作車の展示、②CNF 部材の展示、③パンフレットの配布、④PV の上映
出展の成果	本展示会にて初のお披露目となった最終試作車は、多くの来場者の注目を集めた。特に材料である CNF が木からできていること、CNF がクルマの軽量化、CO ₂ 削減に貢献するという点に多くの来場者が高い関心を持って見学しており、次世代素材として期待されている CNF の社会実装に向けた期待の声も上がった。自動車関連業界の企業からも、CNF について問い合わせがあるなど、プロジェクトの集大成を効果的に発信したことで、プロジェクトおよび CNF の認知度および関心を飛躍的に向上させることに貢献した。

出展の様子		
-------	---	---

(5) ふじのくにCNF総合展示会

開催情報	<p>開催期間：2019年11月19日（火） 開催場所：ふじさんめっせ大展示場 来場者数：約1,000名</p>
出展の狙い	<p>CNFに特化した展示会であり、用途開発企業、CNF製造企業、CNF製造用機械関係企業、分析企業、大学・研究機関等が出展する。CNF製品の開発に取り組んでいる企業との意見交換等を通して、CNFの早期社会実装の加速化を図った。</p>
出展の内容	<p>①モックアップの展示、②パンフレットの配布、③PVの上映、 ④タペストリー展示（CNF部材の展開イメージ予想図）</p>
出展の成果	<p>静岡県は2015年よりCNF製品の開発を支援するふじのくにCNFフォーラムを設立・運営しており、同展示会でもCNFに関心が高い、あるいはCNF製品開発に既に取り組んでいる来場者が多く、他分野でのCNF製品の視察とCNF市場の更なる成長に向けた情報交換を実施した。</p>

(6) エコプロ 2019

開催情報	<p>開催期間：2019年12月5日（木）～2019年12月7日（土） 開催場所：東京ビッグサイト 西ホール 来場者数：147,653名</p>
出展の狙い	<p>アジア最大規模の環境総合展示会である。東京モーターショー2019に引き続き、多くの分野の企業関係者、児童生徒、一般消費者が来場する同展示会に最終試作車を出展することで、プロジェクト成果をより広く発信することを図った。</p>
出展の内容	<p>①最終試作車の展示、②CNF部材の展示、③パンフレットの配布、 ④PVの上映</p>
出展の成果	<p>東京モーターショー2019に続いて、多くの来場者および出展企業から好評を受けた。特に小中学生からの関心が高く、多くの将来世代に対して、近い未来に木からクルマが作られる可能性がある驚きと興奮を与えられたことは、大きな成果であったと認識している。</p>

7.3.2 国内外における公表

本年度は展示会の出展を通じた、自動車メーカーやユーザーといったサプライチェーンの川下側への成果の発信に加えて、国際会議、学会、材料・新技術分野の展示会等における積極的なプロジェクト成果の発信・展示を実施した。今後 CNF 製品普及の更なる加速化には、CNF という素材に対する世の中の関心や材料の安定調達体制の環境整備が重要となる。そこで、以下の 9 の国内外のイベントでプロジェクト成果を公表することで、海外およびサプライチェーンの川上側の CNF の関心の獲得とプロジェクトの認知度向上を図った。

1	TAPPI Nano 2019 【幕張メッセ】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年6月3日～2019年6月7日 ・公表：①プロジェクト成果の発表（講演）
2	G20 イノベーション展 【軽井沢プリンス 特設展示場】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年6月14日～2019年6月16日 ・公表：①モックアップの展示 <li style="padding-left: 20px;">②PV の上映 <li style="padding-left: 20px;">③プロジェクト成果の展示（パネル展示）
3	GSC シンポジウム 【東京国際フォーラム】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年6月24日～2019年6月25日 ・公表：①プロジェクト成果の発表（講演） <li style="padding-left: 20px;">②プロジェクト成果の展示（ポスター展示）
4	Automotive Designer's Night Tokyo/2019【AXIS ビル（六本木）】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年10月23日 ・公表：①CNF 部材サンプルの展示 <li style="padding-left: 20px;">②PV の上映 <li style="padding-left: 20px;">③TMS 出展の告知（ポスター展示）
5	第27回ポリマー材料フォーラム 【ウインク愛知】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年11月22日 ・公表：①プロジェクト成果の発表（講演） <li style="padding-left: 20px;">②プロジェクト成果の展示（パネル展示） <li style="padding-left: 20px;">③CNF 部材サンプルの展示
6	COP25 JAPAN PAVILION 【IFEMA Convention Center】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2019年12月4日～2019年12月13日 ・公表：①CNF 部材サンプルの展示 <li style="padding-left: 20px;">②プロジェクト成果の発表（パネル展示）
7	2019年度成果報告会 【科学技術館】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2020年1月15日 ・公表：①最終試作車の展示 <li style="padding-left: 20px;">②CNF 部材サンプルの展示 <li style="padding-left: 20px;">③プロジェクト成果の展示（パネル展示） <li style="padding-left: 20px;">④PV の上映
8	第414回生存圏シンポジウム 【科学技術館】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2020年1月16日 ・公表：①プロジェクト成果の発表（講演） <li style="padding-left: 20px;">②最終試作車の展示 <li style="padding-left: 20px;">③CNF 部材サンプルの展示 <li style="padding-left: 20px;">④プロジェクト成果の展示（パネル展示） <li style="padding-left: 20px;">⑤PV の上映

9	Nano tech 2020 【東京ビッグサイト】	<ul style="list-style-type: none"> ・日程：2020年1月29日～2020年1月31日 ・公表：①プロジェクト成果の発表（講演）
---	------------------------------	---

7.3.3 印刷物・動画・Web コンテンツの作成

自動車業界への発信を念頭に、これまでのプロジェクトで得た成果・知見を基に、CNF活用自動車部材を①製品、②技術、③成形方式の3テーマに整理する形で、自動車分野における製品展開イメージ未来予想図を作成し、タペストリー及びパンフレットとして展示、配布した。



図 7.3-1 平成 31 年度 NCV プロジェクトパンフレット

東京モーターショー2019での最終試作車の公開に向け、最終試作車のプロモーションビデオ(PV)を製作し、東京モーターショー2019の開催日に合わせて環境省 YouTube チャンネルにて公開した。展示会の来場者からも好評を受けるとともに、YouTube やメディアによって海外でも配信されている。なお、PVの製作に当たっては、撮影場所としてトヨタ産業技術記念館と参画機関である宇部興産株式会社の協力を得た。

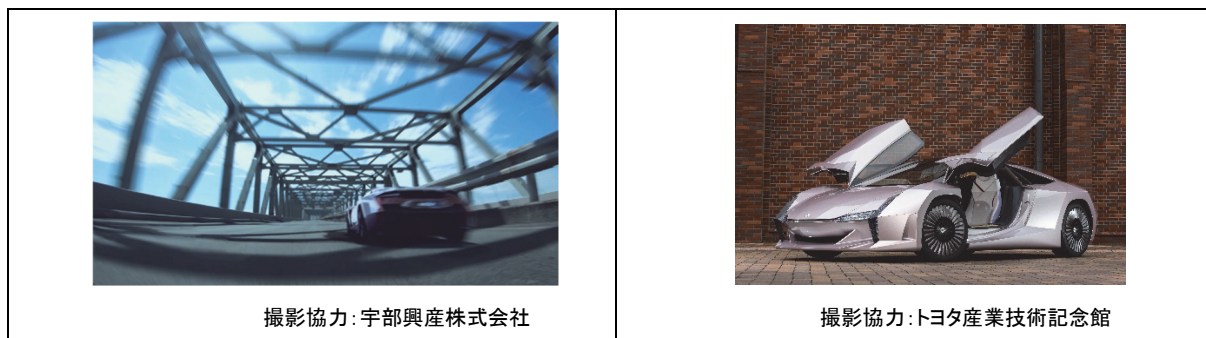


図 7.3-2 最終試作車プロモーションビデオの制作

また、これまでに出展した展示会等において、来場者からプロジェクト概要やプロジェクト成果に係る資料についての多くの問い合わせを受けていたことから、東京モーターショー2019の開催に合わせてプロジェクトのホームページ(HP)の刷新を行った。更新されたHPでは、これまでプロジェクトが作成したパネルやポスターの内容を掲載するとともに、各参画機関が作成した成果パネルの電子ファイルを収納することにより、プロジェクトの成果を広く発信した。

7.3.4 市場投入計画の評価と更新

上記の広報活動、特に自動車業界を中心とした展示会への出展を通して市場から得た評価を受けて、市場投入計画の再評価と更新を実施した。市場投入計画については、第 7.2 項に記述した。

7.3.5 対外発表一覧

平成 31 年度の本事業関連の対外発表は 91 件あった。詳細一覧を表 7.3-5 に示す。

表 7.3-5-1 平成 31 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
1	利昌工業株式会社	吉岡達也	雑誌	2019 年 4 月	広報誌「RISHO NEWS」に掲載
2	金沢工業大学	影山裕史	雑誌	2019 年 5 月	「車載テクノロジー 5 月号」に掲載
3	金沢工業大学	影山裕史	雑誌	2019 年 5 月 22 日～ 5 月 24 日	Web Journal 2019 「高機能フィルム市場の現状同行と将来展望」に掲載
4	京都大学	臼杵有光	講演	2019 年 5 月 27 日	「技術の祭典 テクノロジーNEXT 2019」にて講演
5	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	北川和男、横田久幸	展示	2019 年 5 月 28 日、 5 月 29 日	CNF 展示会 「セルロースナノファイバーの最前線 2019 in 大阪」にて展示
6	京都大学	小尾直紀	講演	2019 年 6 月 6 日	「TAPPI Nano 2019」にて講演
7	京都大学	矢野浩之	講演	2019 年 6 月 25 日	「第 8 回 JACI /GSC シンポジウム」にて講演
8	京都大学	臼杵 有光	展示	2019 年 6 月 25 日	「第 8 回 JACI /GSC シンポジウム」にてポスター展示
9	金沢工業大学	影山裕史	講演	2019 年 6 月 25 日	サイエンス&テクノロジー主催のセミナー「セルロースナノファイバーの製造・複合化技術と応用展開」にて講演
10	金沢工業大学	影山裕史	新聞	2019 年 6 月 25 日	化学工業日報に掲載
11	利昌工業株式会社	吉岡達也	雑誌	2019 年 7 月	広報誌「RISHO NEWS」に掲載
12	金沢工業大学	影山裕史	講演	2019 年 7 月 1 日	「ナノファイバー学会第 9 回年次大会」にて講演
13	金沢工業大学	影山裕史	新聞	2019 年 7 月 2 日	化学工業日報に掲載
14	京都大学	矢野浩之	WEB	2019 年 9 月 8 日	英国 BBC の京都大学のドキュメンタリー番組に出演
15	利昌工業株式会社	吉岡達也	展示	2019 年 7 月 12 日～ 2020 年 7 月 12 日	大阪科学技術館にてパネル展示
16	利昌工業株式会社	奥村浩史	展示	2019 年 7 月 17 日	「セルロースナノファイバー in 東北」にて展示
17	ダイキョーニシカワ株式会社	山田浩明、堂河内健児、金成彦	展示	2019 年 7 月 17 日～ 7 月 19 日	「人とくるまのテクノロジー展 2019」にて展示
18	京都大学	臼杵有光	新聞	2019 年 7 月 19 日	化学工業日報に掲載
19	金沢工業大学	影山裕史	講演	2019 年 8 月 20 日	原財団のセミナー「セルロースナノファイバーの社会実装に向けた政策と動向」にて講演
20	金沢工業大学	附木貴行	雑誌	2019 年 8 月 23 日	金沢工業大学革新複合材料研究開発センター アニュアルレポート 2018 に掲載
21	株式会社イノアックコーポレーション	—	ホームページ	2019 年 9 月	株式会社イノアックコーポレーションのホームページに掲載
22	京都大学	小尾直紀	講演	2019 年 9 月 10 日	企画展「Cellulose Nano Fiber」にて講演
23	金沢工業大学	影山裕史	講演	2019 年 9 月 10 日	富士市産業経済部産業政策課主催のセミナー「新産業創出研究セミナー第 1 回」にて講演
24	京都大学	矢野浩之	講演	2019 年 9 月 19 日	日本木材学会 2019 年度木質物性研究会 秋のシンポジウム「私の木材物理学」にて講演
25	金沢工業大学	附木貴行	講演	2019 年 9 月 26 日	「第 68 回高分子討論会」にて講演
26	京都大学	矢野浩之	新聞	2019 年 10 月 18 日	読売新聞に掲載
27	京都大学	臼杵有光	講演	2019 年 10 月 10 日	「BioJapan2019」にて講演
28	一般社団法人サステナブル経営推進機構	—	ホームページ	2019 年 10 月 16 日	一般社団法人サステナブル経営推進機構のホームページに掲載
29	ダイキョーニシカワ株式会社	—	ホームページ	2019 年 10 月 17 日	ダイキョーニシカワ株式会社のホームページに掲載
30	トヨタ自動車東日本株式会社	王子ホールディングス株式会社	ホームページ	2019 年 10 月 23 日	王子ホールディングス株式会社のホームページに掲載
31	宇部興産株式会社	—	ホームページ	2019 年 10 月 23 日	宇部興産株式会社のホームページに掲載
32	京都大学	臼杵有光	PV	2019 年 10 月 23 日	「オートモーティブデザイナーズナイト」にて PV を上映
33	利昌工業株式会社	—	展示	2019 年 10 月 23 日	「オートモーティブデザイナーズナイト」にて展示

34	秋田県立大学	—	ホームページ、ツイッター	2019年10月24日	秋田県立大学のホームページ・ツイッターに掲載
35	京都大学	—	ホームページ	2019年10月29日	京大生研研究所のホームページに掲載
36	トヨタ自動車東日本株式会社	—	ホームページ	2019年10月30日	トヨタ自動車東日本株式会社のホームページに掲載
37	京都大学	臼杵有光	講演	2019年10月30日	「第17回糖鎖科学コンソーシアム(JCGG)シンポジウム」にて講演
38	秋田県立大学	—	ホームページ、ツイッター	2019年10月31日	秋田県立大学のホームページ・ツイッターに掲載
39	金沢工業大学	阿波製紙株式会社	ホームページ	2019年11月	阿波製紙株式会社のホームページに掲載
40	金沢工業大学	影山裕史	雑誌	2019年11月	日経BP社「テクノロジー・ロードマップ2020-2029」にて掲載
41	京都大学	矢野浩之	講演	2019年11月1日	関西民放クラブにて講演
42	京都大学	矢野浩之	講演	2019年11月6日	「第6回ヘキサケミカルカンファレンス」にて講演
43	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	北川和男、横田久幸	展示	2019年11月8日、11月9日	「産業振興フェア in いわた」にてポスター展示
44	京都大学	大嶋正裕	講演	2019年11月8日、11月9日	京都大学同窓会丸の内交流会にて講演
45	京都大学	矢野浩之	講演	2019年11月10日	「2019 TAC Meeting」にて講演
46	京都大学	大嶋正裕	講演	2019年11月11日	京都大学技術職員研修会にて講演
47	京都大学	奥平有三	講演	2019年11月12日	「プラスチック成形加工学会第27回秋季大会」にて講演
48	京都大学	臼杵有光	講演	2019年11月12日	「第401回ゴム技術フォーラム月例会」にて講演
49	金沢工業大学	附木貴行	講演	2019年11月13日	「プラスチック成形加工学会第27回秋季大会」にて講演
50	一般社団法人サステナブル経営推進機構	神崎昌之	講演	2019年11月16日	「第6回ナノセルロース塾」にて講演
51	京都大学	臼杵有光	講演	2019年11月16日	「第6回ナノセルロース塾」にて講演
52	三和化工株式会社	—	展示	2019年11月19日	「ふじのくにCNF総合展示会」にて出展
53	アイシン精機株式会社、株式会社デンソー、トヨタ紡織株式会社、利昌工業株式会社、金沢工業大学	アイシン精機株式会社 湯浅功一、株式会社デンソー 後藤伸哉、トヨタ紡織株式会社 鬼頭修、利昌工業株式会社、奥村浩史、金沢工業大学 附木貴行	講演	2019年11月22日	「第28回ポリマー材料フォーラム」にて講演
54	京都大学	矢野浩之	講演	2019年11月25日、11月29日	集中講義：京都発「構造用セルロースナノファイバー強化樹脂」にて講演
55	利昌工業株式会社	奥村浩史	講演	2019年11月26日	「CNF実用化事例紹介セミナー」にて講演
56	キョーラク株式会社	仁科燦	展示	2019年11月27日	トヨタ自動車東日本株式会社の展示会にて出展
57	京都大学	奥平有三	講演	2019年11月27日	シーエムシー出版+AndTech 共催セミナー「植物由来原料を用いたアロイブレンド・コンポジット技術の最新動向と自動車への展開」にて講演
58	京都大学	臼杵有光、矢野浩之、小尾直紀	新聞	2019年11月29日	日本経済新聞に掲載
59	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	北川和男、横田久幸	雑誌	2019年12月1日	「粉体技術2019年12月号」にて掲載
60	利昌工業株式会社	奥村浩史	講演	2019年12月4日	日本接着学会東北支部講演会にて講演
61	トヨタ紡織株式会社	羽柴正典	講演	2019年12月5日	「第4回ナノセルロース展セミナー」にて講演
62	京都大学	矢野浩之	講演	2019年12月5日	月刊ソフトマター12月号に掲載
63	秋田県立大学	—	雑誌	2019年12月5日	「木材加工最前線(第88号)」に掲載
64	トヨタ自動車東日本株式会社	—	雑誌	2019年12月5日	月刊ソフトマター12月号に掲載
65	京都大学	臼杵有光、奥平有三	講演	2019年12月6日	「第4回ナノセルロース展セミナー」にて講演
66	昭和プロダクツ株式会社	神田智賀	講演	2019年12月6日	「第4回ナノセルロース展セミナー」にて講演
67	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	仙波健	講演	2019年12月6日	「第4回ナノセルロース展セミナー」にて講演

68	一般社団法人サステナブル経営推進機構	神崎昌之	講演	2019年12月6日、 12月7日	エコプロ2019の環境省ブースにて講演
69	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	横田久幸	雑誌	2019年12月13日	京都市産技研情報誌「ちえのわ22号」に掲載
70	金沢工業大学	附木貴行	講演	2019年12月20日	高分子学会 グリーンケミストリー研究会にて講演
71	京都大学	臼杵有光	講演	2019年12月26日	「第407回生存圏シンポジウム第4回生存圏アジアリサーチノード国際シンポジウム」にて講演
72	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	仙波健、伊藤彰浩、北川和男	雑誌	2020年1月1日	強化プラスチック誌に掲載
73	京都大学	臼杵有光	雑誌	2020年1月1日	「東海化学工業会新年号」に掲載
74	利昌工業株式会社	吉岡達也	雑誌	2020年1月1日	広報誌「RISHO NEWS」に掲載
75	宇部興産株式会社	—	社内報	2020年1月6日	宇部興産株式会社の社内報に掲載
76	利昌工業株式会社	吉岡達也	展示	2020年1月15日～ 1月17日	「カーエレクトロニクス技術展」にてパネル展示
77	京都大学	臼杵有光、小尾直紀	TV	2020年1月16日 (取材日)	テレビ朝日「グッド! モーニング」に出演
78	京都大学	臼杵有光	講演	2020年1月16日	「第414回生存圏シンポジウム第13回生存圏フォーラム特別講演会」にて講演
79	金沢工業大学	影山裕史	講演	2020年1月16日	「第414回生存圏シンポジウム第14回生存圏フォーラム特別講演会」にて講演
80	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	北川和男	雑誌	2020年1月20日	富士市CNFプラットフォーム情報誌に掲載
81	金沢工業大学	影山裕史	講演	2020年1月21日	高分子学会 webinar にて講演
82	金沢工業大学	影山裕史	講演	2020年1月22日	「ふじのくにCNFフォーラム第3回セミナー」にて講演
83	株式会社トヨタカスタマイジング&ディベロップメント	松井拓也	社内報	2020年1月29日	「TCD たより 2020 冬号」に掲載
84	京都大学	臼杵有光	講演	2020年1月29日	「nano tech 2020」にて講演
85	京都大学	臼杵有光、小尾直紀	新聞	2020年1月30日	読売新聞に掲載
86	京都大学	奥平有三	展示	2020年1月29日～ 1月31日	「3D プリンティング&AM 技術の総合展」にて展示
87	地方独立行政法人京都市産業技術研究所	仙波健	雑誌	2020年2月	プラスチックエージ誌に掲載
88	京都大学	小尾直紀	雑誌	2020年2月10日	月刊誌「MATERIAL STAGE」2020年2月号に掲載
89	三和化工株式会社	—	展示	2020年2月13日、 2月14日	「京都ビジネス交流フェア展示会」にて展示
90	京都大学	臼杵有光	講演	2020年2月18日	「ふじのくにCNFフォーラム第7回セミナー」にて講演
91	京都大学	矢野浩之	雑誌	2020年3月1日	国立科学博物館発行「milsil (ミルシル)」に掲載

平成 31 年度の本事業関連の特許出願は 1 件あった。詳細一覧を表 7.3-5-2 に示す。

表 7.3-5-2 平成 31 年度の特許出願

出願番号	出願人	発明の名称
特願 2019-177911	京都大学、名古屋工業大学	三次元造形用粉体材料、三次元造形物及び三次元造形物の製造方法

7.4 プロジェクト推進委員会の運営

プロジェクトの推進を実効あるものにするために、本業務に参画する企業・大学等の関係者、または有識者を構成員とするプロジェクト推進委員会を設置し、3回開催した。実施状況を表 7.4-1 に示す。

表 7.4-1 プロジェクト推進委員会の実施状況

開催日	開催時間	場所	内容
2019年4月26日	13:00~13:50	名古屋ダイヤビルディング1号館122会議室	今年度の運営方針及び年間計画について、他
2019年8月30日	13:00~13:50	名古屋ダイヤビルディング1号館131会議室	LCCO ₂ の進捗及び今後の計画について、他
2019年12月20日	13:00~13:50	名古屋ダイヤビルディング1号館131会議室	LCCO ₂ 及び今後の進め方について

第 8 章 本業務で用いる略語、用語の解説

8.1 略語の解説

本業務で用いる略語を解説する。

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene	アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合体樹脂
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic	炭素繊維強化プラスチック
CNF	Cellulose Nano Fiber	セルロースナノファイバー
CNF-100%		CNF のみの成形体
CT	Computed Tomography	コンピュータ断層検査
CTE	Coefficient Thermal Expansion	熱膨張率
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectropy	赤外分光法
EPDM	Ethylenpolypropylen Dienemonomer	エチレンプロピレンジエンゴム
EV	Electric Vehicle	電気自動車
EVA	Ethylene Vinyl Acetate	エチレンビニルアセテート樹脂
FRP	Fiber-reinforced Plastic	繊維強化プラスチック
GF	Glass Fiber	ガラス繊維
GPa	Giga Pascal	ギガパスカル (圧力の単位) 10 ⁹ Pa (Pa = N/m ² = ニュートン毎平方 m)
GV	Gasoline Vehicle	ガソリン自動車
HDT	Heating Load-Difflection Temperature	荷重撓み温度
HV(HEV)	Hybrid (Electric) Vehicle	ハイブリッド電気自動車
HWP	Harvested Wood Products	伐採木材製品
Izod		アイゾット衝撃試験値
LCA	Life Cycle Assesmennt	ライフサイクルアセスメント
LCI	Life Cycle Inventory	LCA を実施するためのデータベース
L,*a,*b, ΔE		色を数値で表すときのパラメーター
MFR	Melt Flow Rate	メルトフローレート、溶融プラスチックの流動性の大きさ
MD	Modal	モーダル (レーヨンの一種)
MD	Machine Direction	流れ方向、縦方向
MuCell		微細射出発泡成形 (アメリカ TREXEL Inc. の商品名)
MPa	Mega Pascal	メガパスカル (圧力の単位) 10 ⁶ Pa (Pa = N/m ² = ニュートン毎平方 m)
NEDO	New Energy and Industrial Development Organization	国立研究開発法人 新エネルギー産業技術総合開発機構

NCV	Nano Cellulose Vehicle	ナノセルロース自動車
PA6	Polyamid6	ポリアミド6、ナイロン6
PA6-CNF	Polyamid6- Cellulose Nano Fiber	CNFを分散したポリアミド6樹脂
PA6-CNF10%	Polyamid6- Cellulose Nano Fiber10%	CNFを重量比で10%分散したポリアミド6樹脂
PBT	Polybuthylenterephthalate	ポリブチレンテレフタレート
PC	Polycarbonate	ポリカーボネート
PE	Polyethylene	ポリエチレン
PHV	Plug-in Hybrid Vehicle	プラグインハイブリッド自動車
PMMA	Polymethylmethacrylate	ポリメチルメタクリレート樹脂
POM	Polyoxymethylene	ポリアセタール樹脂
PPF	Polypropylene	ポリプロピレン樹脂
PP-CNF		CNFを分散したポリプロピレン樹脂
PP-CNF10%		CNFを重量比で10%分散したポリプロピレン樹脂
PMMA	polymethylmethacrylate	ポリメチルメタクリレート樹脂
PC	Polycarbonate	ポリカーボネート
PC/ABS	Polycarbonate/Acrylonitrile Butadiene Styrene	ポリカーボネート樹脂とアクリロニトリルブタジエンスチレン共重合体樹脂のアロイ樹脂
PE	Polyethylene	ポリエチレン
PHR, phr	Per Hundred Resin	主たる樹脂の重量を100として、その他の添加剤などの重量あらわしたもの
PHEV	Plug-in Hybrid Vehicle	プラグインハイブリッド自動車
RTM	Resin Transfer Molding	樹脂注入成形法
SIM	Scanning Ion Microscope	走査型イオン顕微鏡
STM	Scanning Tunneling Microscope	走査型電子顕微鏡
TEM	Transmission Electron Microscope	透過型電子顕微鏡
TD	Transverse Direction	(MDに対して) 垂直方向
Va-RTM	Vacume Assisted-Resin Transfer Molding	真空樹脂注入成形法
VOC	Volatile Organic Compound	揮発性有機化合物
TED	Transmission Electron Diffraction	電子回折法
TEM	Transmission Electron Microscope	透過型電子顕微鏡
TD	Transverse Direction	(MDに対して) 垂直方向
UPR	Upper	上部
VOC	Volatile Organic Compound	揮発性有機化合物

8.2 用語解説

本業務で用いる用語を解説する。

- 1) エンジニアリングプラスチック： 機械強度や耐熱性を向上させたプラスチック。自動車部品や、電気電子部品のように工業用途に使用される。
- 2) コンパウンド： 樹脂に各種副資材、添加剤、着色剤などを配合して混練すること。
- 3) ブロック PP： ポリエチレンを分散したポリプロピレン。ポリエチレンの周りにゴム層があるため高い衝撃特性を発現する。
- 4) マスターバッチ： 所定の割合で強化材料、繊維、顔料などを練りこんだ樹脂材料。
- 5) RTM (Resin Transfer Molding)： 雌、雄一対の成形型内に強化基材や必要に応じてインサート材（ウレタンフォーム、ボルト等）を設置し、型を閉締した後、樹脂注入口より樹脂を注入して強化基材に含浸させて成形する方法。

巻末資料 1

人とくるまのテクノロジー展 2019 名古屋、BioJapan2019、

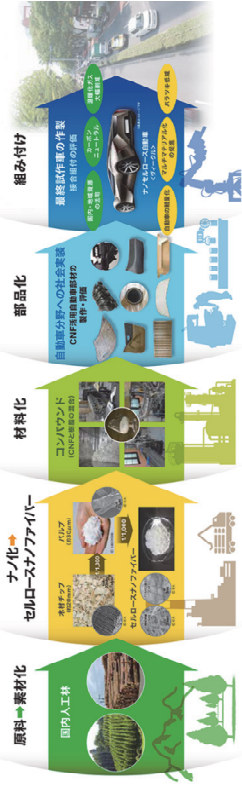
東京モーターショー2019、ふじのくに CNF 総合展示会

パンフレット

NCV Nano Cellulose Vehicle プロジェクト



原料から部品へ～木材がナノセルロース自動車になるまでの生産フロー～



■ 東京都 NCVプロジェクト 参加機関・企業

■ 実行
環境省 地球環境局地球環境課 地球環境化学対策課
■ 研究機関
京都大学 生物圏研究所 生物材料機能分野
〒611-0011 京都市西京区 116P / <http://www.its.hkyudo.ac.jp/ncv/>

巻末資料 2

人とくるまのテクノロジー展 2019 横浜、
人とくるまのテクノロジー展 2019 名古屋、BioJapan2019、
ふじのくに CNF 総合展示会、2019 年度成果報告会、

第 414 回生存圏シンポジウム

タペストリー

採用時期

2020年

部品展開

エンジン周辺部材
軽量化率 ≧10%

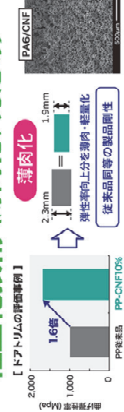


内外装部材
軽量化率 ≧10%

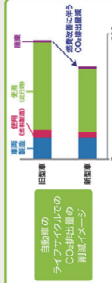


技術展開

軽量化技術 (薄肉化、発泡等)



LCAの
効果確認
⇒追究



マルチマテリアル化技術
(異材接合技術含む)

法規対応 (VOC、燃焼性等)
FMVSS規格を満足

低コスト生産技術 (素材低コスト化、汎用設備化等)
汎用設備使用可

成形方式

量産化対応
(汎用成形、射出成形等)



化学変性
パルプ

樹脂
ペレット

↑ 混練



CNF
ペレット

【プロジェクト 参画機関・企業】





クルマナノセルロース・ヴァイークル



垂直外板部材
軽量化率 ≒10%

水平外板部材
軽量化率 ≒50%

軽量化技術 (金属代替等)

様々な部品への展開が可能

長期信頼性確保 (耐水性等)

耐水性は十分な評価が必要

環境対応車との融合技術

大量生産への挑戦

自動運転との融合技術

安全性、電波特性付与

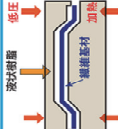
流通最適化技術

サブライチェーン最適化、地域社会活性化等



成形

大型化対応
(低圧成形・RTM等)



INDAC

KYORAKU

DN
ダイエーニシカフ株式会社

三和化工株式会社
SANWA KAGAKU CO., LTD.

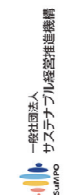
MAXELL

AISIN

DENSO
Crafting the Core

トヨタ紡織株式会社
TOYOTA TEXTILE CORPORATION

CNF (セルロースナノファイバー) 活用自動車部品 展開イメージ未来予想図



巻末資料 3

東京モーターショー2019、ふじのくに CNF 総合展示会、

エコプロ 2019、第 414 回生存圏シンポジウム

プロジェクト紹介カード

表紙



中面

CNFを活用した、軽量化自動車の製造にチャレンジ!

※2020年に10%超の軽量化をめざす

樹脂素材

内装材・外装材の内装材の可能な厚み短め
ボディ、エンジン、構造部材へ適用

- PP、PA 素材を使用する
- 部分CNF混入が、実用化による軽量化を実現

金属素材

外装の可能な厚み短め
ボディ、エンジン、構造部材へ適用

- 金属部材より比重が小さいことを生かす
- 強度と耐熱性を見極める

その他

ガラス等

- 透明樹脂をCNFにより強化
- 透明性を生かした部材の活用をのぞく

CNF (セルロースナノファイバー)とは
植物由来の次世代素材。木質から化学的・機械的処理により取り出したナノサイズの繊維状物質で、軽さ、強度、耐衝撃性など様々な面で、環境負荷が少なく、既に自動車、家電、住宅、建材などへ活用され、新たな普及を期待されています。

環境省 Rinnō Cellulose Vehicle Project

折り位置

折り位置

裏面

- 環境省 NCVプロジェクト 参画機関・企業
- 京都大学
 - マクセル株式会社
 - 宇都宮産業技術研究所
 - アイシン精機株式会社
 - 株式会社昭和瓦葺/昭和プロダクツ株式会社
 - 株式会社デンソー
 - 名古屋工業大学
 - トヨタ防衛株式会社
 - 利昌工業株式会社
 - トヨタ自動車日本株式会社
 - 秋田県立大学
 - 金沢工業大学
 - 株式会社イノアックコーポレーション
 - 株式会社トヨタカスタマイジング&ティハロップメント
 - キョーラク株式会社
 - 東洋大学
 - ダイキョーニシガン株式会社
 - 産業技術総合研究所
 - 三和化工株式会社
 - 一般社団法人
 - サステナブル経営推進機構

巻末資料 4

2019 年度成果報告会、第 414 回生存圏シンポジウム

(東京モーターショー2019 より、ホームページに掲載)

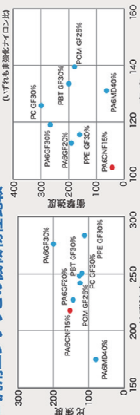
成果報告パネル

自動車部品成形用CNF複合材料(ポリアミド系)の 組成検討及び材料提供

■軽量化

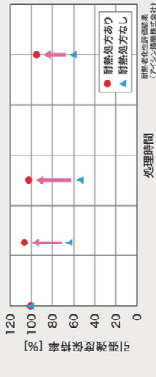


■汎用エンジニアとの機械物性比較



異なる性能向上への開発開発が必要、特に産業用途
用途、形状のみならずバリエーションが50種類開発が必要

■自動車部品に適する耐熱処方



耐熱(熱に対する劣化)性能は、大幅に向上
耐熱性能が劣り
耐熱性能がよし

■組成検討

京都プロセス



材料提供



山間部



宇部興産大橋



CNF強化樹脂の自動車材料への展開

■ベンチマーク試験

さまざまなCNF強化材料が、試作、市販されている。これらの特徴、特性を正しく理解し、自動車材料としての活用を促進するために、同じ試験装置、試験方法により以下の評価を実施した。

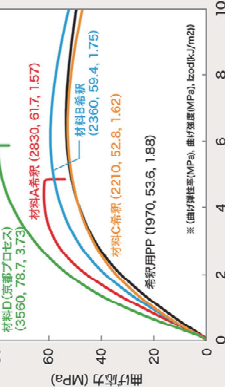
■供試材料

- 材料A: 30wt%セルローズMB
- 材料B: 50wt%セルローズMB
- 材料C: 40wt%セルローズMB
- 材料D (京都プロセス): 10wt%セルローズ
- 材料A、B、Cは10mmPPにより10wt%に希釈、Dは射出成形により試験片に成形加工。

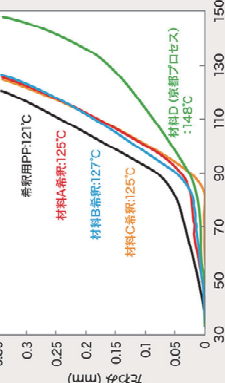
■実測試験

- 曲げ試験: 速度10mm/min、支点間距離64mm / Izod衝撃試験: ハンマー容量2.75J
- 荷重たわみ温度試験(HDT): 速度2°C/min
- 分岐セルローズの観察: 偏光顕微鏡

■曲げ試験

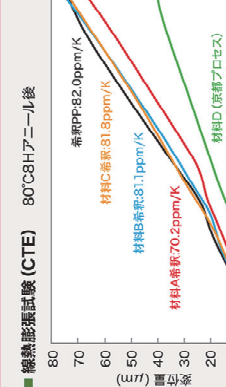


■荷重たわみ温度試験 (HDT) 80°C8Hアニール後

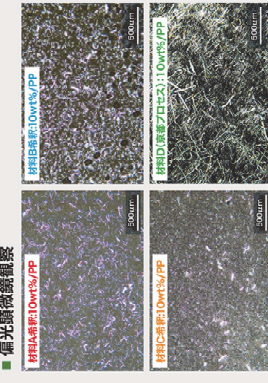


■弾性率、強度: D>A>B>C・伸び: B=C>D>A・衝撃: D=A=B=D

■線熱膨張試験 (CTE) 80°C8Hアニール後



■偏光顕微鏡観察



■繊維長: D>A>B>C・微細化: C>B>A>D

結果のまとめ

- 繊維長が長いと曲げ弾性率、強度が高い
- 繊維長が小さいと衝撃性が低下し伸びが劣る
- HDT、CTEとも繊維長が重要

自動車材料への展開の可能性について

- 材料A、Dは曲げ弾性率、強度が高く、特徴のある材料
- 何れも衝撃性が不足
- 耐熱変形、熱膨張は良好

耐衝撃性の向上を
試みながら、弾性率、強度
を維持することが重要



カテゴリー
内装部材

部品名
バケトレ Fr ガバー

材料
PP+
CNF10w%

成形方法
射出+発泡成形

加飾内装トリム / 剛性アップ・軽量化の実現

- 目的**
- PPへCNF添加することによる製品強度の向上
 - CNFの核剤効果による微細発泡成形軽量化の実現
 - 強度向上分 樹脂重量の削減による製品の軽量化

- 目標**
- 軽量化率 20%以上
 - 生産性 現行同等
 - 品質 内装トリムとしての耐衝撃性確保
VOC (特にアセトアルデヒド) 規格内
 - コスト CNF50w% マスターバッチ 面積
550円/kg以下 (20% 軽量化より試算)

目標達成時期 (見込み) 3 - 4, 2025年

現状	外観	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		① CNF10w% 添加により剛性 13% UP ② CNFの添加+発泡核剤により剛性 4.0% UP	剛性がUPした分の樹脂重量の削減が見込める	内装品でCNFを使用する場合、VOC 必須品 (CNF マスターバッチ) での対策が必要。 ※ 核剤
断面		CNFの核剤効果による微細発泡	CNFが樹脂中の樹脂中で核剤として発泡核剤効果をもつ一分子以上の樹脂核剤の形成	重量は CNF マスターバッチを配合した際の CNF 分散性 → 分散性向上により発泡核剤の形成を抑制する。
CNF		CNFの分散と繊維結晶	樹脂中に CNF がランラン分散する事で樹脂核剤が出来る。また、均一な剛性を確保。	CNFの不均一分散による剛性のバラツキ

VOC 対策 CNF マスターバッチ材料でのトライ & 低減効果検証



カテゴリー
内装部材、垂直 / 水平外板部材

部品名
インストルメントパネル、リアゲート

材料
PP/CNF、
PA/CNF

成形方法
射出成形、
発泡成形

自然の力で、更なる軽量化と付加価値向上を!

- 目的**
- 内装部材 (インストルメントパネル)、
外板部材 (リアゲート) の量産可能性追求

- 目標**
- 軽量化率 ▲20% ~ ▲50%
 - 生産性 現行同等の加工性確保
 - 品質 鏡面平滑性確保、発泡持不具合レス
 - コスト 現行同等

目標達成時期 (見込み) 1 - 3, 2023年3月 4, 2030年

現状	外観	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		軽量・高剛性	① 樹脂化率 ▲20%以上 ② スーパー化 ▲50%以上 ③ 樹脂中の加工性確保	① 剛性 (耐衝撃性) 低下に伴う 剛性化効果の期待 ② 収縮率 ③ CNF 混入による平滑性低下
断面		発泡セル 均一化・微細化 (核剤効果)	① 低比重 ② 高剛性 ③ 高弾性 ④ ヒタ・ノリ防止	③ CNF 混入、不均一分散による 剛性セル不均一 ④ 発泡化による耐衝撃性低下 ⑤ スーパーマークのレベル低下
CNF		CNFの分散、分散	① 低比重 ② 高剛性 ③ 高弾性 ④ カーボンニュートラル効果	③ 収縮性 ④ 長期剛性 ⑤ 剛性 ⑥ におい・VOC ⑦ 材料コスト

- ・物性、機能性改善 (CNF 分散性向上、発泡セルの制御、マトリクス樹脂改良)
- ・SPEC 適合性評価 (長期耐熱性、耐湿性、耐燃性、VOC)
- ・発泡外配改善 (CNF 分散性向上、発泡工法条件最適化、マトリクス樹脂改良)
- ・材料コスト (コスト調査、予測、材料の安定供給)



カテゴリー
外装部材

部品名
アンダーカバー

材料
PP+CNF

成形方法
ブロー成形

CNF含有PPを用いたアンダーカバーの量産性追求

目的 CNF含有PPを用いたアンダーカバーの量産性追求

- 目標**
1. 軽量化率 10%以上
 2. 生産性 現行同等
 3. 品質 現行品同等
 4. コスト 現行品同等

目標達成時期(見込み) 1.2025年 2-4.2030年

現状

部品	外装	ポイント	期待効果	懸念事項
	<ul style="list-style-type: none"> 中空軽量製品 CNF添加により剛性強化 形状自由度は従来フローと同等 リサイクル性に関わる 	<ul style="list-style-type: none"> 軽量化率10%以上(弾性率向上に伴い薄肉化) 現行設備にて量産可能 リサイクル時の物性低下が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 成形時や部品燃焼時の臭気発生 CNF材の分散不良 	
	<ul style="list-style-type: none"> 中空軽量製品 吸音効果有 	<ul style="list-style-type: none"> 強度向上 吸音周波数帯の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 繊維配向による剛性や吸音の異方性 粉末処理工具の寿命低下 	
	<ul style="list-style-type: none"> 環境由来材料 ナノメートルオーダーの繊維 	<ul style="list-style-type: none"> 弾性率向上 流動特性改善 	<ul style="list-style-type: none"> 臭気やVOCの発生 高コスト 吸水量のバラツキ 	

- 今後**
- 必要品質評価や軽量化効果の確認
 - 吸音特性の調査
 - 懸案品質(吸水性、燃焼性、におい・VOC等)の重要度確認
 - LCA効果の検証
 - コスト概算



環境省
Ministry of the Environment



NCV
Nippon Challenge for Value Project



カテゴリー
外装部材

部品名
リアスポイラー

材料
PP+CNF

成形方法
ブロー成形

Challenge for the Better

目的 CNF含有PPを用いたリアスポイラーの量産性追求

- 目標**
1. 軽量化率 10%以上
 2. 生産性 現行同等
 3. 品質 現行品同等
 4. コスト 現行品同等

目標達成時期(見込み) 1.2025年 2-4.2030年

現状

部品	外装	ポイント	期待効果	懸念事項
	<ul style="list-style-type: none"> 中空軽量製品 CNF添加により剛性強化 形状自由度は従来フローと同等 リサイクル性に関わる 	<ul style="list-style-type: none"> 軽量化率10%以上(弾性率向上に伴い薄肉化) 現行設備にて量産可能 リサイクル時の物性低下が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 成形時や部品燃焼時の臭気発生 CNF材の分散不良 	
	<ul style="list-style-type: none"> 中空軽量製品 吸音効果有 	<ul style="list-style-type: none"> 強度向上 吸音周波数帯の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 繊維配向による剛性や吸音の異方性 粉末処理工具の寿命低下 	
	<ul style="list-style-type: none"> 環境由来材料 ナノメートルオーダーの繊維 	<ul style="list-style-type: none"> 弾性率向上 流動特性改善 	<ul style="list-style-type: none"> 臭気やVOCの発生 高コスト 吸水量のバラツキ 	

- 今後**
- 必要品質評価や軽量化効果の確認
 - 吸音特性の調査
 - 懸案品質(吸水性、燃焼性、におい・VOC等)の重要度確認
 - LCA効果の検証
 - コスト概算



環境省
Ministry of the Environment



NCV
Nippon Challenge for Value Project



カテゴリー 表面改質部材

部品名 めっき部品 (フロントグリル、ドアハンドル等)

材料 CNF-PA6

成形方法 射出(発泡)成形

CNFとめっき発泡技術の複合化による軽量高剛性部材

- 目的** CNF 意匠部品 (ドアハンドル、グリル等) 量産の可能性検討 (CNF-PA6 樹脂を用いためっき、発泡成形技術の複合化による軽量高剛性部材)
- 目標** 1. 軽量化率 現行 ABS 樹脂めっき品に対し 20~30% (発泡成形品)
2. 生産性 現行品同等
3. 品質 現行品同等
4. コスト 現行品同等
- 目標達成時期 (見込み) 1. 2020 年 3 月 2. 2025 年 3 月 4. 2030 年 3 月

部品	外観	ポイント	期待効果	懸念事項
めっき部品	めっき部品の表面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	軽量化 高剛性 めっき部品の表面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	発泡率 10~15% (発泡率) めっき部品の表面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	めっき部品の安定性 生産性 めっき部品の表面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子
断面	めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	軽量化 高剛性 めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	発泡率 10~15% (発泡率) めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	めっき部品の安定性 生産性 めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子
CNF	めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	軽量化 高剛性 めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	発泡率 10~15% (発泡率) めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子	めっき部品の安定性 生産性 めっき部品の断面に CNF を含んだ樹脂が塗布されている様子

実物による実用性評価の充実
① 必要品質評価 ② めっき基材表面品質の向上
③ 軽量化以外のうれしさの評価 ④ 生産性 ⑤ コスト概算



環境省
Ministry of the Environment

NCV
Newly Challengeable Vehicle Product

カテゴリー 内装部材

部品名 シートクッション

材料 ポリエチレン フォーム

成形方法 加熱圧縮成型法

CNF 添加で高発泡・高強度

- 目的** 表面強度アップと軽量化
- 目標** 1. 軽量化率 10~15% ぐらいの軽量化
2. 生産性 現状の加熱圧縮成型方法と同じ生産性
3. 品質 現状レベル
4. コスト 現状と同レベルか、5% ぐらいのアップ率
- 目標達成時期 (見込み) 1. 不明 2. 3. 達成済み 4. CNF のコスト及び添加量による

部品	外観	ポイント	期待効果	懸念事項
シートクッション	シートクッションの外観	内側に 30 倍発泡 品の強度を入れ、 厚みに 15 倍発泡品 で包んで成形	表面の強度アップ 形状崩壊しない クッション芯むれ対策	CNF コスト
断面	シートクッションの断面	発泡セル 均一化・微細化 <成形用> ボックスカーパー 製品名 <断熱材用> <吸音材用>・断熱材めし>	① 高強度 ② 断熱性向上 ③ 騒音ノ、低付け ④ 貯蓄性向上 ⑤ 吸音性向上	① 発泡機対応性 ② コスト (DE/CNF 化)
CNF	CNF の断面	CNF マスターハンズ 押出し機で押出す ことにより均一化されている ことを確認	① セル径の高微細化 ② セル径の高微細化・ 均質化	① 発泡による品質バラつき ② 発泡機 ③ 長期耐久性能 ④ 断熱性・VOC ⑤ 吸音性 ⑥ コスト (CNF 価格不定)

出来上がったコンテナ部材の断熱材・吸音材 (風切音低減) として使用できる。
EPDM フォームでの成形でさらなる風合いのアップ。



環境省
Ministry of the Environment

NCV
Newly Challengeable Vehicle Product



カテゴリー エンジン周辺部品
 部品名 インテークマニホールド
 材料 PA6-CNF15
 成形方法 射出成形

環境にやさしいインテークマニホールド

樹脂材料の補強繊維をGFからCNFに置き換え、樹脂部品の更なる軽量化と持続可能な社会の実現(SDGs)に貢献する

- 目的**
- 目標**
1. 軽量化率 10%以上(対 PA6-GF30)
 2. 生産性 現行射出材同等レベル
 3. 品質 製品要求品質確保
(耐圧強度、寸法等の初期及び長期信頼性)
 4. コスト 2030年までに現行材料と同等程度

目標達成時期(見込み) 3-4) 溶着強度 2020年3月 4) コストは特異点込み

部品	外觀	ポイント	期待効果	留意事項
部品		・材料の比重低減 ・内面平滑性の向上 ・射出成形可能 ・溶着可能	1. 軽量化率: 13%(2.2→1.9g) PA6-GF30とPA6-CNF15の機械物性同等の場合 3. 車検認定済 2. 現行品並みの生産確保(既存設備使用可)	1.3. CNFの吸水、溶集
断面		・繊維配向の低減	3. 溶着強度向上→耐圧強度向上 3. フェルト→樹脂層の向上 2. 底ソリ	2. 流動性の制御
CNF		・CNFの使用 ・ナノ繊維の分散	3. 材料強度の向上	1.3. CNFの吸水、溶集 1.3. 耐熱性 2. 成形時のこぼい 4. コスト (CNF 価格不足)

- 今後**
- 1.3. 設計形状最適化による寸法安定性の確保と耐圧性能の向上検討
 2. CNF材料の成形と溶着の最適条件見極め
 4. CNF材料のコスト調査



カテゴリー 内装部品
 部品名 エアコンケース
 材料 ポリオレフィン-CNF
 成形方法 射出発泡成形

トヨタ86エアコンケース/大型・複雑形状での軽量化実現

低比重・高剛性なCNFを複合させたポリオレフィン-CNF樹脂材料を発泡成形させ、必要な機械物性(剛直性)を満足しながらも軽量(10%以上)なエアコンケースを作成する

- 目的**
- 目標**
1. 軽量化率 現行品 (PP-タルク材料) に対し、10wt%以上
 2. 生産性 現行品と同等レベルのサイクルタイム
 3. 品質 製品に必要な機械物性(剛直性)を満足する
 4. コスト 現行材料に対するコストアップ10%未満

目標達成時期(見込み) 1.2019年度 2.2023年度 3.2019年度 4.2030年度

部品	外觀	ポイント	期待効果	留意事項
部品		射出発泡成形品(厚み、複雑形状、裏面形状の組み合わせ)による10wt%以上の軽量化 射出成形による成形可能	軽量化10wt%以上 ・CNFによる材料の比重低減 ・発泡による発泡の低比重化 ・発泡率(1/2以下) ・均一発泡によるソリ低減 射出成形 ・発泡の発泡密度が使用可能 発泡の流動性 ・CNFの剛直性によって、発泡の流動性をコントロール ・CNF添加による均一発泡	・更なる軽量化が必要な機械物性(剛直性)との両立 ・発泡時、加水分解時の物性や寸法への影響 ・成形時の耐ストレスによるVOC生成 ・炭素化に伴う、生産性(サイクルタイム、発泡時間の短縮)
断面		ポリオレフィン-CNF複合材料の発泡成形品		
CNF		ナノ繊維化	発泡性、高剛性材料 ・CNFによる材料の比重低減 ・CNFによる発泡性改善 ・グロブ化に伴う生産性が向上できる LCCO2 ・発行されるCO2	CNF等の発泡対応 ・発泡性 ・VOC CNFが加工コスト

今後





カテゴリ
内装部材

部品名
ドアトリム

材料
PP-CNF

成形方法
射出成形

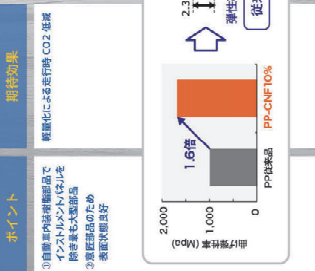
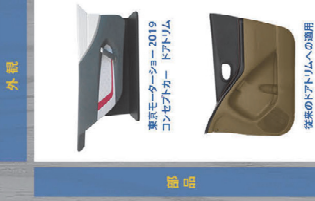
PP-CNF10%材で現行ドアトリムと同等性能 & 同生産性で軽量化15%以上

軽量化による走行時CO₂排出削減

1. 軽量化率 15%
2. 生産性 従来と同等
3. 品質 従来と同等
4. コスト 従来と同等

目標達成時期(見込み) 1. 2021年度末 2. 2023年度末 3. 2021年度末 4. 2030年度末

現状



- ・耐衝撃性能向上対策実施
- ・長期耐久性確認
- ・射出成形による連続生産性確認



カテゴリ
水平外板部材

部品名
バックアウインドガラス、ルーフレール

材料
ポリカーボネート
およびアクリルアロイ樹脂+
セリレンカクアノアノアノアノ

成形方法
射出圧縮成型

CNF補強樹脂ガラス

CNF車両ガラス量産の可能性検討

1. 軽量化率 無機ガラス比50%、樹脂ガラス比20%
2. 生産性 現行射出材同等レベル
3. 品質 現行製品要求同等
4. コスト 未定

目標達成時期(見込み) 1. 4.2030年以降

現状



- ・市場適正品質の確保、耐久性性能評価
- ・材料コストの低減検討(CNFの低コスト化、ハードコートレス化)



カテゴリー
水平外板部材

部品名
エンジンフード

材料
CNF 紙 /
エポキシ樹脂

成形方法
RTM (Resin Transfer
Molding)
低圧成形

CNF ペーパー使用 RTM 低圧成形エンジンフード

目的 CNF 大型軽量構造部品 (エンジンフード以上) 量産の可能性追求

- 目標
1. 軽量化率 50% 以上
 2. 生産性 型占有時間: 10 分
 3. 品質 走行可能レベル
 4. コスト 同等以下 (対スチール型)

目標達成時期 (見込み) 1-3, 2020 年 3 月 4, 2025 年

現状

部品	外觀	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		CNF 繊維大径 エンジンフード 水質特性	①軽量化率: 50%以上 (14→8kg) ②高耐 CO2 透過性 (1.5 倍削減) ③一部樹脂 (低熱化) ④交差入射角の向上 ⑤断熱性, NVH 向上	①部品成形後の残留樹脂 ②歩行音低減, 振動低減 ③成形時の圧縮, 専用脱模設備 ④成形性 ⑤樹脂エネルギー消費 (PDP) ⑥コスト (成形装置の自動化) ⑦カーボンニュートラル達成の阻害
断面		高剛性基・ 中間層密着 CNF ハーバ/ エポキシ樹脂 セルローズ 繊維繊維素材 界面密着	①歩行音低減 ②歩行音低減 ③歩行音低減 ④歩行音低減 ⑤歩行音低減 ⑥歩行音低減 ⑦歩行音低減	①歩行音低減 ②歩行音低減 ③歩行音低減 ④歩行音低減 ⑤歩行音低減 ⑥歩行音低減 ⑦歩行音低減
CNF		CNF ハーバ/ 短繊維 (カフト) カーボン繊維 カーボン繊維 CNF 重合バインダ	①歩行音低減 ②歩行音低減 ③歩行音低減 ④歩行音低減 ⑤歩行音低減 ⑥歩行音低減 ⑦歩行音低減	①歩行音低減 ②歩行音低減 ③歩行音低減 ④歩行音低減 ⑤歩行音低減 ⑥歩行音低減 ⑦歩行音低減

- 今後
- ① 更なる大型一体成形の可能性探求 (フロア成形機)
 - ② 成形性向上 (含: 潤滑剤添加等)
 - ③ 軽量化以外のうれしげ (断熱, NVH 等) の詳細評価
 - ④ 懸念事項 (吸水, EMI, 安全性等) の重要度確認
 - ⑤ 防水浸透性評価
 - ⑥ コスト調査・予測
 - ⑦ LCA のうれしげ検討



カテゴリー
バンパーフィン,
ホイールフィン

部品名
バンパーフィン,
ホイールフィン

材料
PA6/CNF10%
複合材料

成形方法
3Dプリンター成形
粉末床溶融結合法

金型不要で複雑形状が思いのまま CNFで軽量、高強度達成

目的 金型不要で射出成型で成形できない複雑形状部品も成形可能
射出成型品同等の強度を達成

- 目標
1. 軽量化率 射出成型品より 10% 以上 軽量化 (成形品のガラス化による)
 2. 生産性 生産性を追い求める部材には対応できないが、小部品であれば、小型部品であれば生産効率のアップは可能
 3. 品質 射出成型品と同程度の品質
 4. コスト 粉末化コストを現状の 1/5 以下

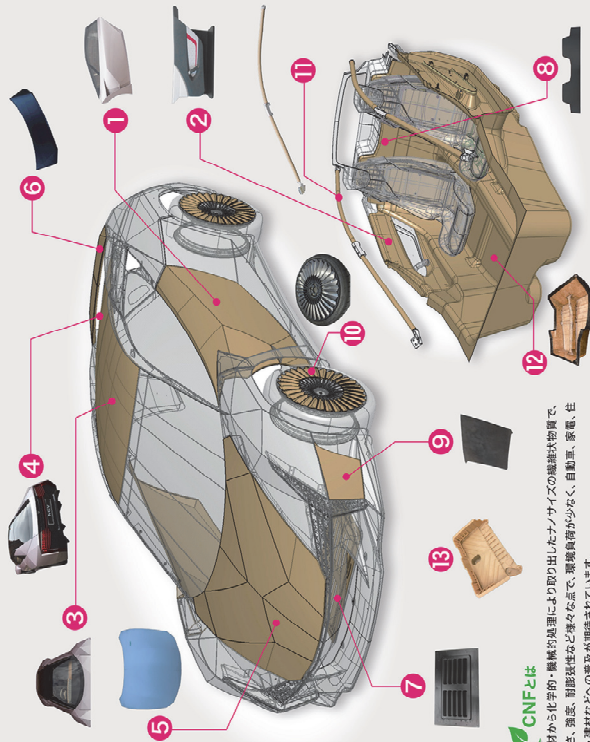
目標達成時期 (見込み) 3, 2023 年 4, 2025 年

現状

部品	外觀	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		中空構造で 軽量化	構造設計により 更に軽量化が可能	寸法の経時変化
部品		デザイン性の高い 形状が可能	世界で唯一の デザインが可能	

木からつくったミライのクルマ

植物由来の次世代素材CNF活用で、軽量化にチャレンジ!



CNFとは
木材から化学的・機械的処理により取り出したナノサイズの繊維状物質で、軽さ、強度、耐衝撃性など様々な面で、鉄鋼が少なく、自動車、家電、住宅・建材などへの普及が期待されています。

部材名	主要樹脂	CNF混入比率	成形加工法	事業担当者
1 ドアウッターパネル	PP (ポリプロピレン)	10%	射出成形	トヨタ紡織
2 ドアトリム	PP	10%	射出成形	トヨタ紡織
3 ルーフパネル	PC (ポリカーボネート)	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車(日本)
4 バックドアガラス	PC	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車(日本)
5 ボンネット	CNF	100%	加温加工成形+真空バグ成形	利島工業
6 リアスポイラー	PP	10%	ブロー成形	キョーラク
7 フロントアンダーカバー	PP	10%	ブロー成形	キョーラク
8 バテトレフロントカバー	PP	10%	インアック	イノアック
9 フロントバンパーサイド	PA6	10%	積層成形 (3Dプリンター)	京都大学
10 ホイルフィン	PA6	10%	積層成形 (3Dプリンター)	京都大学
11 ルーフサイドレール	CNF	100%	CNFシート巻き付け	昭和丸筒/昭和プロダクツ
12 フロア部材	EP (エポキシ樹脂)	30~50%	RTM (Resin Transfer Molding)	金沢工業大学/ICD
13 バッテリーキャリア	PP	20%	射出成形	トヨタ車体 (P以外の他社)



協力機関: NEDO
※CNF自動車部材の製作には、リノ/CNFプロジェクトの成果を活用しています。

カテコリー
その他

部品名
フロア

材料
CNF 紙 /
エポキシ樹脂

成形方法
VaRTM (Vacuum Resin Transfer Molding)
低圧成形

軽量化効果の大きなCNF製大型骨格部品への挑戦

目的 CNF 大型軽量構造部品 (フロアサイズ) 成形の可能性判断

- 目標達成時期 (見込み) 1-3. 溶着強度 2020年3月 4,2040年
1. 軽量化率 50% 以上 (対スチール)
 2. 生産性 型占有時間: 1時間以上
大型一体成形可能 (他材料のインテグレート成形)
 3. 品質 成形機検討のみ ただし、素材の特性を活かした材料構成を考慮
 4. コスト 同等以下 (対スチール製)

現状

部品	外觀	ポイント	期待効果	懸念事項
外観	CNF 繊維フロア 炭素繊維部分特徴 大型一体成形フロア 木質特性	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①基本性能特性の評価 ②成形機検討のみ ③成形機検討のみ ④成形機検討のみ ⑤成形機検討のみ ⑥成形機検討のみ ⑦成形機検討のみ ⑧成形機検討のみ ⑨成形機検討のみ ⑩成形機検討のみ ⑪成形機検討のみ ⑫成形機検討のみ
断面	炭素繊維部 CNF パーパ エポキシ樹脂 セルローズ 炭素繊維部 コア材	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①基本性能特性の評価 ②成形機検討のみ ③成形機検討のみ ④成形機検討のみ ⑤成形機検討のみ ⑥成形機検討のみ ⑦成形機検討のみ ⑧成形機検討のみ ⑨成形機検討のみ ⑩成形機検討のみ ⑪成形機検討のみ ⑫成形機検討のみ
CNF	CNF パーパ 炭素繊維部 ケナフ不織布 CNF 製のパイナ	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①軽量化率: 50%以上 ②成形時間短縮 →炭素繊維は繊維軸上 →炭素繊維 CO2 固定 ③軽量化率: 50%以上 → LCA, コスト削減 ④新素材: NVH 向上	①基本性能特性の評価 ②成形機検討のみ ③成形機検討のみ ④成形機検討のみ ⑤成形機検討のみ ⑥成形機検討のみ ⑦成形機検討のみ ⑧成形機検討のみ ⑨成形機検討のみ ⑩成形機検討のみ ⑪成形機検討のみ ⑫成形機検討のみ

①大型一体成形の更なる可能性追求 (CFRP や金属インサート成形による部分増強などのマルチマテリアル化構想)
→基本部品特性確保 ②成形性向上 (多点注入 RTM 成形や含浸性改善等)
③軽量化以外のうれしき(断熱, NVH 等)の詳細評価 ④懸念品質(吸水, EMI, 安全性等)の重要度確認
⑤防水浸透性評価 ⑥コスト削減・予想 ⑦ LCA のうれしき追求

今後

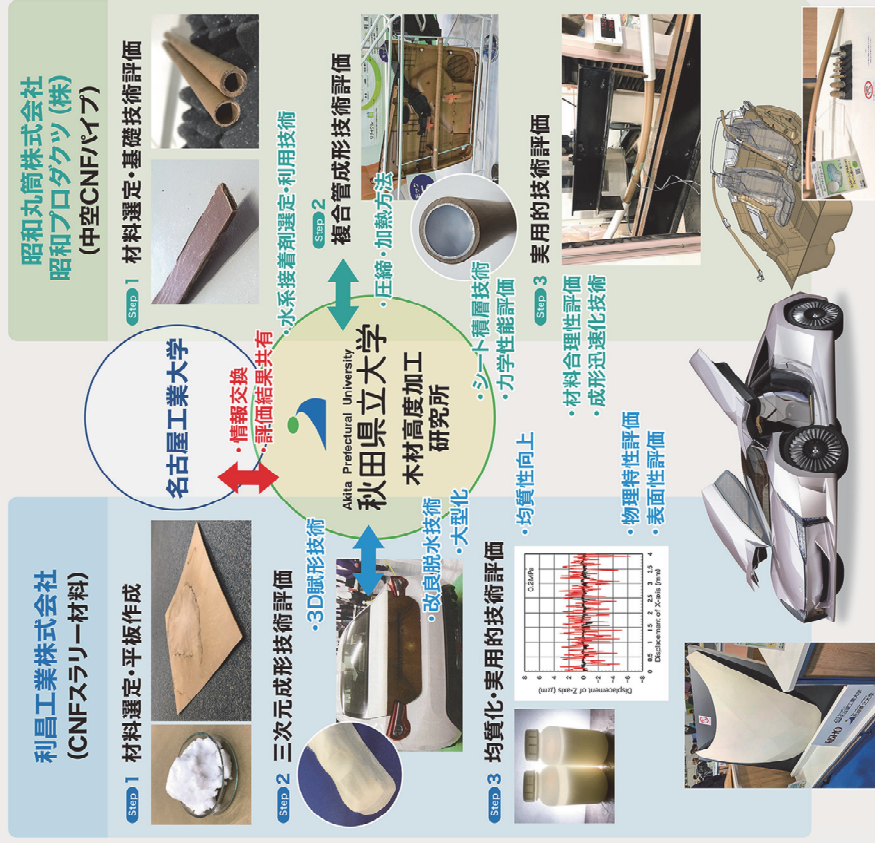


秋田県立大学 (木材高度加工研究所)



(G3) CNF構造要素モデル及び高濃度CNF材料成型品の試作と性能評価

「CNF材料の構成と構造の最適化」のミッションの下、名古屋工業大学をグループリーダーに、利昌工業(株)および昭和丸筒・昭和プロダクツ(株)とともに高CNF含有材料の実用化技術の最適化を図るとともに、作成される材料の性能評価を行う。



環境省
Ministry of the Environment



環境省
Ministry of the Environment

環境省
Ministry of the Environment

環境省
Ministry of the Environment



名古屋工業大学 (接着・接合研究所)

(G4) CNF構造要素モデル及び高濃度CNF材料成型品の試作と性能評価

秋田県立大学、利昌工業(株)、昭和プロダクツ(株)や他のプロジェクト参加企業と協力して要素モデルでハニカム構造、パイプフレーム構造を試作し構造性能を評価すること。さらにCNF材料による成形品の接合性を評価すること。

CNFハニカムボードによるエンジンフード作製
CNFハニカムボードの接着試験

接着剤	接着強度 (MPa)
接着剤A	1.2
接着剤B	1.8
接着剤C	2.1
接着剤D	2.5
接着剤E	3.2

ヒートショックも問題ない!

CNFペーパー/アルミ複合パイプの作製

ラセン巻きでも十分な強度が出せる!

アルミパイプ	外径 (mm)	内径 (mm)	壁厚 (mm)	重量 (g/cm)	強度 (MPa)	剛性 (GPa)
アルミパイプ	7.0	7.0	0.0	11.75	1.65	127.9
アルミ/CNFペーパー複合パイプ	7.0	7.0	0.1	11.95	1.65	127.9

CNF添加PPを用いたドアトリム用接着工法の開発
接着剤X線分光分析

PP添加PPで処理 + フライヤー塗布して接着!

接着剤	接着強度 (MPa)
接着剤A	1.2
接着剤B	1.8
接着剤C	2.1
接着剤D	2.5
接着剤E	3.2



環境省
Ministry of the Environment

環境省
Ministry of the Environment

環境省
Ministry of the Environment

カテゴリー
芯・中空部材

部品名
ルーフサイド
レール

材料
CNFシート、
アルミ

成形方法
シートファイ
ディング

セルロースとアルミの複合 フレーム用新規パイプ

目的 CNF サブフレーム (ルーフサイドレール等) 量産の可能性評価

- 目標**
1. 軽量化率 効果予想 (対スチール)
 2. 生産性 CFRP ルーフサイドレール同等以上 (ストレートパイプ形状に限定)
 3. 品質 現行品 (スチール) と同等
 4. コスト CFRP ルーフサイドレール同等以下 (将来期待)

目標達成時期 (見込み) 1-3.2019年3月 4. 将来見込み

部品	外觀	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		• 軽量化率向上 • 生産性向上 • 品質向上	① 軽量化率 (期待): 30%以上 (対スチール、形状同等比較) ② 生産性の向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待)	① 品質低下 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 軽量化率 (期待) への対応
断面		• マルチコアアルミ構造 (CNF/アルミの2層)	① 軽量化率向上 (期待) ② 生産性向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待)	① 軽量化率 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 品質向上 (期待) への対応
CNF		• CNFシート • 接着剤 • 環状アルミ	① 軽量化率向上 (期待) ② 生産性向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待)	① 軽量化率 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 品質向上 (期待) への対応

- 今後**
- ① 軽量化効果の検証化
 - ② 巻き取りの時間、作業性検討
 - ③ 懸念事項の重要度確認 (防水性等)
 - ④ 環内アルミの加工コスト確認、コストの位置づけ把握

目的 持続・循環型資源の有効活用

- 目標**
1. 軽量化率 80%以上 (対スチール)
 2. 生産性 FRP製トランクリッド同等
 3. 品質 FRP製トランクリッド同等
 4. コスト FRP製トランクリッド同等

目標達成時期 (見込み) 1.2025年 2-4.2030年

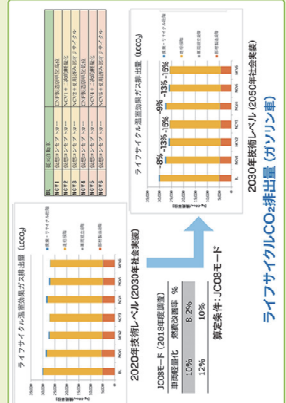
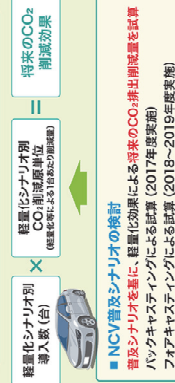
部品	外觀	ポイント	期待効果	懸念事項
部品		軽量化率向上 (期待) 生産性向上 (期待) 品質向上 (期待)	① 軽量化率 (期待): 80%以上 (対スチール) ② 生産性の向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待) ⑤ 対腐食性向上 (期待) ⑥ 寿命向上 (期待) ⑦ エネルギー消費削減 (期待)	① 軽量化率 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 品質向上 (期待) への対応
断面		100% CNF 繊維材 (0.5mm CNF/アルミコア: 3.0mm エポキシ樹脂接着剤)	① 100% CNF 繊維材 (期待) ② 生産性向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待) ⑤ 対腐食性向上 (期待) ⑥ 寿命向上 (期待) ⑦ エネルギー消費削減 (期待)	① 軽量化率 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 品質向上 (期待) への対応
CNF		CNF 専用	① 軽量化率向上 (期待) ② 生産性向上 (期待) ③ 品質向上 (期待) ④ NVH 向上 (期待) ⑤ 対腐食性向上 (期待) ⑥ 寿命向上 (期待) ⑦ エネルギー消費削減 (期待)	① 軽量化率 (期待) への対応 ② 生産性の向上 (期待) への対応 ③ 品質向上 (期待) への対応

- 今後**
- ① 以下の実施による寄与の可能性を判断
 - ② 必要品質の評価 → 軽量化効果の検証
 - ③ 軽量化以外のうれしさ (断熱、NVH 等) の評価
 - ④ 懸念事項 (防水性、可燃性、EMI 等) の評価
 - ⑤ LCA のおられし検討

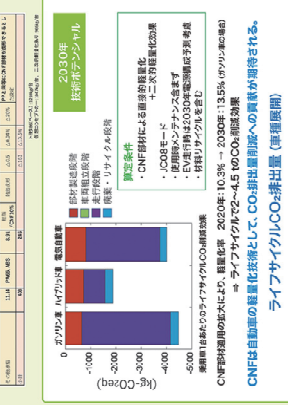
CO₂削減効果の将来予想 (2030年)

- 目的**
 - ・ CNF部材の適用可能性を考慮して作成した軽量化シナリオ、NCV普及シナリオに基づき、将来のCO₂削減効果を試算する。
- 方法**
 - ・ CNF部材の市場見通しと技術見通しをもとに軽量化シナリオを作成するとともに、EV時代を見据えた2030年までのNCV普及シナリオを算定し、NCVの波及導入数を推定する。
 - ・ 軽量化シナリオに基づいてNCV1台あたりのCO₂削減量を求め、これにNCV普及シナリオから推定される将来の波及導入数を乗じることにより、将来のCO₂削減効果を試算する。

NCV普及シナリオの検討及び将来CO₂削減効果の試算

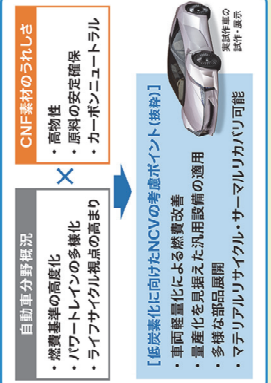


車種	2020年基準値 (t-CO ₂ e/台)	2030年削減率 (%)	2030年削減率(軽量化シナリオ) (%)
COE	1,200	10.3%	13.5%
COE-1	1,100	10.3%	13.5%
COE-2	1,000	10.3%	13.5%
COE-3	900	10.3%	13.5%
COE-4	800	10.3%	13.5%
COE-5	700	10.3%	13.5%
COE-6	600	10.3%	13.5%
COE-7	500	10.3%	13.5%
COE-8	400	10.3%	13.5%
COE-9	300	10.3%	13.5%
COE-10	200	10.3%	13.5%



量産化を見据えたCNF技術の適用による乗用車のCO₂排出量削減効果を確認

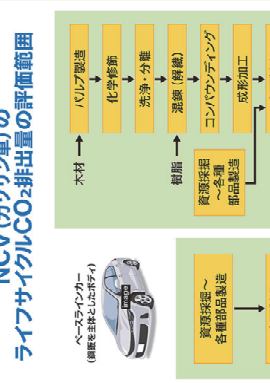
NCVプロジェクトにおける部材・更車試作



CO₂排出量削減効果を検証

・本事業の目的に鑑みて気候変動への影響のみを評価	16%
・検証対象は実試作車と別に仮想コンセプトカーを設定 (相対的削減率をベース)	11%
・シミュレーションと実測を組み合わせたLCA	
■ NCV(ガソリン車)の2020年技術ポテンシャル	
車重軽量化率 (二次的軽量化を含む)	16%
燃費改善効果(エンジンのダウンサイジング含む)	11%
ライフサイクルCO ₂ 排出量 (CNF効果的軽量化シナリオ)	2 t-CO ₂ e/台

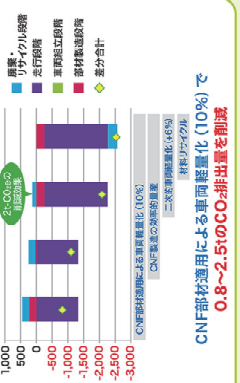
<2020年技術ポテンシャル>のライフサイクルCO₂排出量の評価範囲



CO₂排出量削減効果の例 (部材ライフサイクル)



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



社会実装に向けたCNF活用製品のCO₂削減効果の評価・検証 CNF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

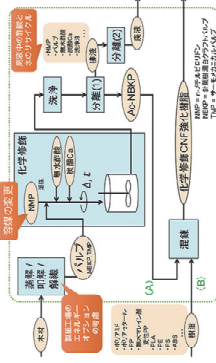
東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座
菊池 康紀、兼松 祐一郎

概要

- CNF活用製品のCO₂削減効果の評価・検証に向けて必要となる量産時のCO₂排出量を試算するためのシミュレーション技術を検討
- 平成29-30年度は特に影響が大きいと考えられる原料パルプの生産と化学修飾プロセスのシミュレーションモデル構築を中心に実施
- 混練・成形加工プロセスについては実機調査に基づく評価を実施

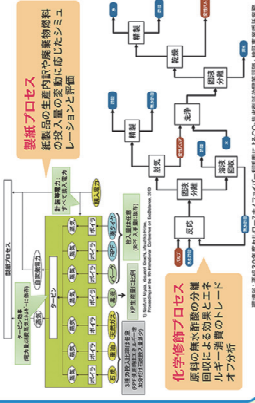
シミュレーションモデルの構築

実験室規模の特許情報に基づき、化学工学的知見から量産時のプロセスを再構築



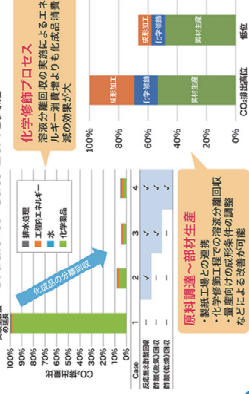
製紙/化学修飾プロセスの評価

製紙条件や化学修飾プロセスの構成の変更によるエネルギーおよび化成品の消費量の変化を検討



ライフサイクルアセスメント

原料調達から部材生産までを対象としたCradle-to-Gate LCAを実施



まとめ

- 製紙条件の変動にともなうLC-CO₂への影響を定量化した
- 化学修飾の工業的プロセスを設計し、化成品やエネルギーの入出力をモデル化、定量化した
- 混練、成形に關して実機調査に基づきLC-CO₂を定量化した
- 将来的な技術開発による改善の可能性およびそのLC-CO₂への影響を検討した

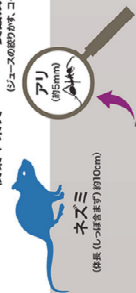
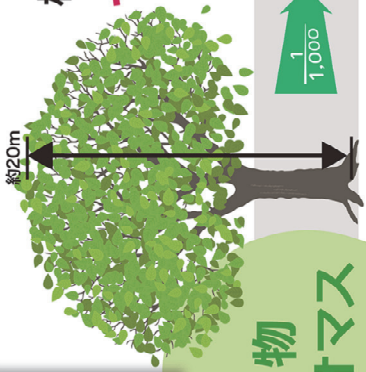
巻末資料 5

エコプロ 2019

NCV プロジェクト展示ブース・ストーリーボード、LCA のパネル

ココが
植物由来の次世代素材
セルロースナノファイバー(CNF)のスゴイ!

どうやって
つくるの？
原料は木材を
はじめとした植物



セルロース
ナノファイバー
約3~20nm

ナノ化
微細化

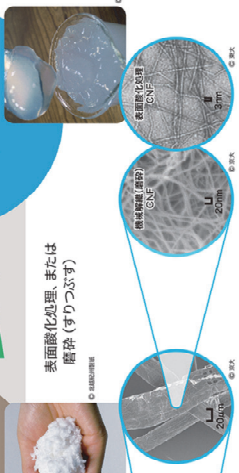
1 / 1,000

木材繊維
(パルプ)
約30μm

パルプ化
木材繊維を取り出す

1 / 1,000

木材チップ
約20mm



機械ですりつぶす、または薬品でパルプ以外を溶かす

表面酸化処理、または摩擦(すりつぶす)

【関連機関】
◎国立研究開発法人資源科学研究所 木質資源研究室
◎中大・東大・京大・早大等 繊維学部 繊維科学
◎日本繊維産業協会
◎Cellulosemate (株)Cellulosemate社

紫外線
反射剤の粒子
(100nm)

カレシ
酸子
(1nm)

花粉
(200nm)

菌糸
(1mm)

1mm

1m

大きさの領域

1mm

10km

1m

1,000,000,000 m

木からつくる自然なクルマ



環境省
Ministry of the Environment

NCV Nano Cellulose Vehicle プロジェクト



SDGs
Society 5.0
パリ協定
地域循環共生圏
CE100 RE100

セルロース
植物が作る
自然由来の資源

環境浄化
二酸化炭素吸収
酸素放出
国内人工林

炭素固定

**セルロース
ナノファイバー**
Cellulose Nano Fiber

- 木材成分の 5割
- 鋼鉄の 5倍の強度
- ガラスの 1/50の熱膨張



自動車分野への社会実装

CNF活用自動車部材の製作・評価



セルロース
植物が作る
自然由来の資源

環境浄化
二酸化炭素吸収
酸素放出
国内人工林

炭素固定

ナノセルロース
軽く強い
ナノ材料

- 木チップ (約20mm) → 11,000
- バルブ (約30μm) → 17,000



自動車分野への社会実装

CNF活用自動車部材の製作・評価



バイオ

- カーボンニュートラル
- 国内・地域資源の活用
- 温暖化ガスの大幅削減
- 自動車の軽量化
- ナノセルロース自動車
- ハラツギ低減
- マルチマテリアルの促進

自動車分野への社会実装

CNF活用自動車部材の製作・評価



バイオ

- カーボンニュートラル
- 国内・地域資源の活用
- 温暖化ガスの大幅削減
- 自動車の軽量化
- ナノセルロース自動車
- ハラツギ低減
- マルチマテリアルの促進

環境省
NCVプロジェクト
参事機関・企業

協賛機関: NEDO ※ CNF自動車部材の製作にはリゾ/CNFプロジェクトの成果を活用しています

京都大学
京都工機化学会社
三和化工機株式会社

宇都宮県株式会社
UBE

宇都宮県株式会社
AISIN

株式会社 昭和汽筒
DENSO
Crafting the Core

株式会社 昭和汽筒
RISHO

株式会社 昭和汽筒
KIT
金沢工業大学

株式会社 昭和汽筒
KYORAKU

株式会社 昭和汽筒
INDAC

株式会社 昭和汽筒
産総研

株式会社 昭和汽筒
東京大学

株式会社 昭和汽筒
産総研

Nano Cellulose Vehicle (NCV) の ライフサイクルアセスメント (LCA)

量産化を見据えたCNF技術の適用による乗用車のCO₂排出量削減効果を確認

NCVプロジェクトにおける部材・実車試作

自動車分野概況

- 燃費基準の高度化
- パワートレインの多様化
- ライフサイクル視点の高まり

CNF素材のうれしさ

- 高物性
- 原料の安定確保
- カーボンニュートラル

実試作車の試作・展示

【低炭素化に向けたNCVの考慮ポイント(抜粋)】

- 車両軽量化による燃費改善
- 多様な部品展開
- 量産化を見据えた汎用設備の適用
- マテリアルリサイクル・サーマルリカバリ可能

CO₂排出量削減効果を検証

- 本事業の目的に鑑みて気候変動への影響のみを評価
- 検証対象は実試作車と別に仮想コンセプトカーを設定(鋼鉄ボディの車両をベース)
- シミュレーションと実測を組み合わせたLCA

NCV(ガソリン車)の2020年技術ポテンシャル

車両軽量化率(二次的軽量化含む)	16%
燃費改善効果(エンジンのダウンサイジング含む)	11%
ライフサイクルCO ₂ 排出量(CNF効率的量産シナリオ)	2t-CO ₂ e/台

※算定条件は下記

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

ベースラインカー
(鋼鉄を主体としたボディ)

資源採掘～
各種部品製造

車両製造

走行

廃棄・リサイクル

木材 → パルプ製造 → 化学修飾 → 洗浄・分離

樹脂 → 混練(解織) → コンパウンディング → 成形加工

資源採掘～
各種部品製造

車両製造

走行

廃棄・リサイクル

ベースライン(トヨタ86) ← 差を削減効果として評価 → 仮想コンセプトカー

算定条件

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

CNF部材を最大限搭載した仮想コンセプトカー

工業的製造プロセスの設計とシミュレーション

実験条件の延長に基づく従来の評価ではCNF材料はプラスチック等に比べて生産時のCO₂排出は多いと考えられていた

⇒ 工業的製法による大幅なCO₂排出削減の可能性を見出した

■ 特許情報を参考として工業プロセスを設計+シミュレーション

工業的プロセスによる化学薬品のリサイクルが効果的かつ必須

CO₂排出量削減効果の例(部材ライフサイクル)

インテークマニホールド(アイシン機構)

- ライフサイクル全体のCO₂排出量はガラス繊維強化プラスチック並に
- CNF部材はリサイクルで物性が下がりにくい(ガラス繊維はリサイクル不可)
- CNF部材は量産化やプロセスの最適化等によりさらなるCO₂排出削減の余地あり

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

2t-CO₂eの削減効果

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

**<2030年技術ポテンシャル>
CO₂排出量削減効果の将来予想(車種展開)**

2030年までに技術的に可能になると想定される部位をCNF部材とした場合の、乗用車1台あたりのライフサイクルCO₂削減効果(材料リサイクル、二次的軽量化考慮時)

- CNF部材の適用可能性の拡大に伴う軽量化の進展(2020年:10.3% → 2030年:13.5%(ガソリン車の場合))により、ライフサイクルで2~4tのCO₂削減効果。
- GV(ガソリン車)のみならずハイブリッド車(HV)・電気自動車(EV)についてもCNF技術の有効性を確認。

⇒ 自動車の軽量化技術として、CO₂排出量削減への貢献が期待される

2tのCO₂って、どのくらい?



杉の木 142本分のCO₂吸収効果です

杉1本で1年間に約14kgのCO₂を吸収してくれます

CNFをつかってクルマを軽くするとCO₂(二酸化炭素)の排出を約2t減らせます!

※CNFの活用により10%軽量化したときの、現行の鋼板車とのライフサイクルで比較した自動車1台あたりCO₂削減量

人工林の「伐る、使う、植える、育てる」で大気中のCO₂削減に貢献



環境省
Ministry of the Environment

巻末資料 6

人とくるまのテクノロジー展 2019 名古屋、BioJapan2019、
平成 30 年度成果報告会、第 414 回生存圏シンポジウム
タペストリー(プロジェクト概要、CNF とは)

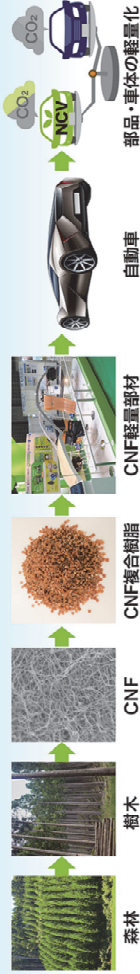
次世代素材CNF（セルロースナノファイバー）を活用し、2020年に自動車で10%程度の軽量化を目標とするプロジェクト（2016年10月26日スタート）

京都大学が代表事業者となり、計22の大学、研究機関、企業等で構成されるコンソーシアムにより、サプライチェーンの最適化を実現

CNFを活用した材料、部品、自動車部品等の製品開発、及び各段階の性能評価、CO₂削減効果の評価・検証を実施

国内市場規模が大きく、CO₂削減効果期待できる自動車（内装、外装等）分野において、材料、製品メーカーと連携。
CNF軽量化材料の用途開発を進め、実機搭載によるCO₂削減効果（例：燃費改善）等の性能評価と早期社会実装に向けた導入実証を遂行

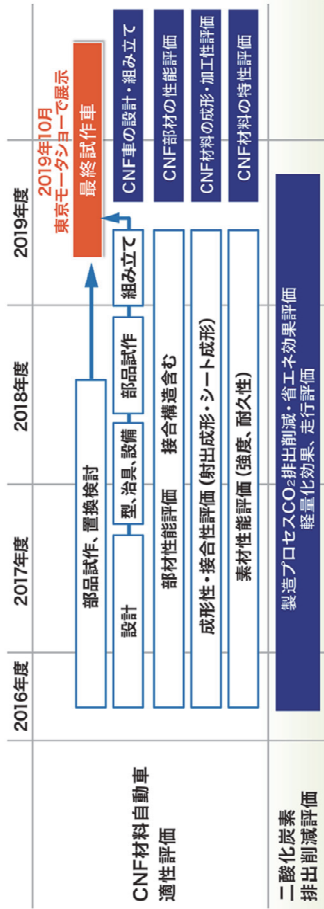
部材をCNF材料で試作し強度等の性能評価



- 検討課題
- 1 材料定数・材料提供
 - 2 加工性評価
 - 3 要素モデル評価
 - 4 部材評価
 - 5 実機搭載
 - 6 車両コンセプト作成
 - 7 CO₂削減効果
 - 8 CNF製品総合評価

*CNF材料については、先行して開発を行っているNEDOプロジェクト品等様々な機関から提供されている材料を評価予定

実現可能なCNF部材について製品活用時のCO₂削減効果の評価・実証



金属素材

外板（エンジンフード等）の可能性を見極め、ボディ、エンジン、構造部材へ発展
・金属部材より比重が小さいことを生かす
・強度と耐熱性を見極める必要あり

樹脂素材

内装材・外装材の既存樹脂素材は可能ならば全面的に代替
・PP、PA素材を使用する部位は限りなくCNF複合材で代替
・薄肉化による軽量化を実現



その他

ガラス等
・透明樹脂をCNFにより強化
・透明性を生かした部材の活用

材料評価から実機搭載までを一貫通貫で実施、早期社会実装に向けて貢献する

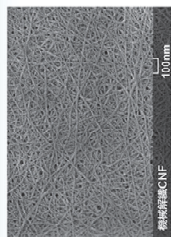
セルロースナノファイバー CNF

を活用して 低炭素で循環型の社会へ

セルロースナノファイバー CNFの特徴



- 木材など、植物を原料とする新素材
- 植物から取れるセルロース（パルプなど）を化学的・機械的処理により数〜数十ナノメートルに微細化したナノ繊維
- 軽くて強い（鋼鉄の1/5の軽さで5倍の強度）
- 大きな比表面積（250m²/g以上）
- 線膨張率が低い（ガラスの1/50程度）



セルロースナノファイバー (CNF) 100nm

全ての植物細胞壁の構成成分で、植物繊維をナノサイズまで細かくほぐすことで得られる

copyright University of Cambridge
1988. Artwork by Nick Harrington

二酸化炭素 CNFでCO₂排出量を削減し地球温暖化対策を推進

原料調達

CNFの原料は、国内に豊富にあるカーボンニュートラルな森林や植物バイオマス

* 森林は国産のCO₂を吸収してセルロースを抽出するが、植物材料は吸収したCO₂を排出しない。



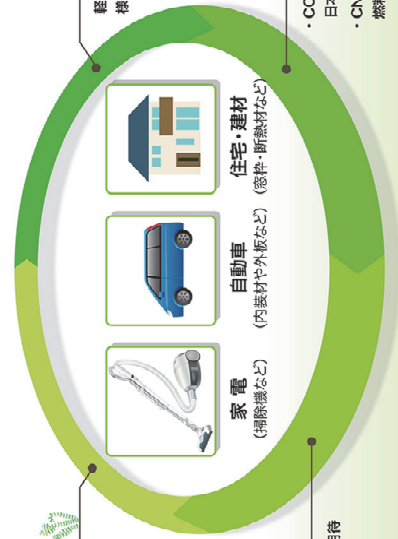
製造

軽量、高強度、伸熱膨張などCNFの特性を生かし、様々な製品を製造



リサイクル

リサイクル性が高く、新しい循環型材料として期待



家電
(掃除機など)

自動車
(内装材や外装など)

住宅・建材
(窓枠・断熱材など)

利用

- ・ CO₂排出量の少ないCNF製品を多く利用するほど、日本のCO₂排出量削減に貢献
- ・ CNF製品による自動車部品などの軽量化により、化石燃料使用量の削減