

平成 29 年度環境省委託業務

平成29年度

セルロースナノファイバー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

平成 30 年 3 月

国立大学法人 京都大学

平成 29 年度環境省委託業務

平成29年度

セルロースナノファイバー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

平成 30 年 3 月

国立大学法人 京都大学

平成 29 年度セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務
(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。

2. 業務の概略と実施体制

業務としては、① CNF 複合化材料の提供と定数の明確化、②成形加工性評価、③構造要素モデルの試作・評価、④小型部材の試作・評価、⑤大物部材の試作・評価、⑥軽量部材の実機搭載・評価、⑦車両実装に関する車両構想の評価、⑧ CO₂ 削減効果の評価、⑨プロジェクト推進に関する情報管理の 9 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 21 機関である。

参画機関: 京都大学、産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、(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) セイロジャパン、(株) デンソー、トヨタ紡織 (株)、トヨタテクノクラフト (株)、アイシン精機 (株)、東京大学、産業技術総合研究所

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 を樹脂に混練した複合材料を各参画機関に必要量を供給できた。樹脂はポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリアミド 6 (ナイロン 6、PA6)、ポリアセタール (POM)、ポリカーボネート (PC) である。CNF 添加量は 5-30wt% であり、機械的強度などの自動車用材料として検討すべき物性値を提示し最適配合量を検討した。サンシャイン耐候試験を実施し、光や水分による劣化が抑制されていることを初めて明らかにした。

また、CNF100%板状成形体および CNF パイプについて評価した結果、自動車用途への展開可能性があることを見出し、構造要素モデル及び成形加工性評価の段階に移行した。

3.2 CNF 材料の成形加工性評価

CNF 複合材料は射出発泡成形により微細な気泡ができ、特に曲げ弾性率の向上が認められることが分かった。これは自動車用途として更なる軽量化が期待できるため、具体的な部品金型により成形した。PA6-CNF10%を用いてトランクリッドの垂直部分の成形を行い、10%以上の軽量化を確認した。また CNF の水分散液から脱水、加熱加圧工程により CNF100%の板材ができることが分かり、その技術によりトランクリッドの水平部分を成形した。これらの部品を用いてトヨタ 86 の部品置換を実施した。

また PA6-CNF 素材はめっきを施すことにより面衝撃強度が向上することを見つけ、発泡体でも可能なこ

とから 20%程度の軽量化ができることが分かった。

3.3 CNF 構造要素モデルの試作と性能評価

パイプ用、ボード用、紙コア用に適した CNF ペーパーを選定し、そのペーパーを接着剤で張り合わせるにより曲げ強度がアルミニウム並みの CNF ペーパーボードが作製できた。またアルミパイプと CNF ペーパーの組合せで車の骨格構造を作製できる目途をつけた。

3.4 CNF 小型部材の試作・評価

自動車部材として 1) 空調部品、2) 内装部品、3) エンジン回り部品の試作評価を実施した。1) PE-CNF5%を用いてエアコンケースを試作した。ゲート数を増やすことで正常な形状の部品が得られた。発泡成形品は 7%軽量化できた。2) PP-CNF10%を用いてドアトリムを試作した。曲げ弾性率が PP の 1.7 倍であるため板厚を 20%弱薄肉化でき、車両全体での軽量化効果は約 13%と試算された。VOC 発生量が増大したため、その低減対策が必要であることが分かった。3) PA6-CNF15%を用いてインテークマニホールドを試作した。従来の GF30%と比べ 13%の軽量化と表面平滑性が確認できた。耐衝撃性の向上が必要であることが分かった。今後更なる性能評価を実施する。

3.5 CNF 大物部材の試作・評価

CNF シートにエポキシ樹脂を含浸させる RTM 工法によりトヨタ 86 用のエンジンフード（ボンネット）の試作を行った。従来品と比較して 30% 程度の軽量化が確認できた。RTM（Resin Transfer Molding）工法が、CNF を使用した際でも大物部材を作る方法であることを初めて実証した。

3.6 CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価

トヨタ 86 のエンジンフードとトランクリッドを CNF 複合素材により置換することにより、軽量化の効果を確認する予定であり、現状では各部材が出来上がった段階である。その前段階として現号のトヨタ 86（重量 1,270kg）に NCV 採用時の軽量化相当（約 10%）のウェイト 120kg を搭載し燃費使用量の差異確認を実施した。燃費消費は約 1 割の軽量化で 20% 減少することを確認した。

3.7 CNF 車両実装に関する車両構想の評価

来年度以降に製作を検討している最終試作車の 3D デザインを完成させた。来年度には具体的な設計図に落とし込む予定である。

3.8 社会実装に向けた CNF 活用製品の CO2 削減効果の評価・検証

コンソーシアムメンバーから各部材の素材構成、成形方法、部材重量およびベースラインの情報提供を受け、LCCO2 排出量を試算しフィードバックすることにより、開発目標の設定に資するプロセスの目途がついた。特に影響が大きいと考えられる原料パルプの生産について、その上流の工程を含めたシミュレーションモデルの検討を行い、原材料調達から化学修飾までの CNF の製造原単位を推算した。

3.9 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に開催した。

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。特にエコプロ 2017 展（平成 29 年 12 月 7 日 -9 日）、ナノセルロースシンポジウム 2018（平成 30 年 2 月 27 日）では実物の展示と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 市場投入計画案を作成した。

業務実施期間

平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

2017 Cellulose Nanofiber Performance Evaluation Work Outsource Project
(Proving, Evaluation, and Verification for Introduction of CNF Materials for Social Implementation -
Automotive Field)
Report
Summary

1. Aim of the project

In the automotive field, applications (materials and parts) were proposed for utilizing the properties of 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 with CNF with the aim of reducing carbon dioxide emissions by improving energy efficiency through reducing the weights of parts and products.

2. Summary and system of implementation of project

The project was performed by members in a system of nine groups corresponding to the following: (1) providing CNF composite materials and clarifying constants, (2) molding processability evaluation, (3) prototyping and evaluation of structure element models, (4) prototyping and evaluation of small parts, (5) prototyping and evaluation of large parts, (6) mounting and evaluation of reduced-weight parts in actual vehicles, (7) evaluation of vehicle concept for vehicle implementation, (8) evaluation of CO₂ reduction effect, and (9) information management related to project promotion. There were 21 participating institutions as follows.

Participating institutions: Kyoto University, Japan Environmental Management Association for Industry, Kyoto Municipal Institute of Industrial Technology and Culture, Kanazawa Institute of Technology, Nagoya Institute of Technology, Akita Prefectural University, SHOWA MARUTSUTSU Co., Ltd., RISHO KOGYO Co., Ltd., INOAC CORPORATION, KYORAKU Co., Ltd., SANWA KAKO Co., Ltd., DaikyoNishikawa Corporation, Maxell, Ltd., SAEILO JAPAN, INC., DENSO CORPORATION, TOYOTA BOSHOKU CORPORATION, TOYOTA TECHNOCRAFT Co., Ltd., AISIN SEIKI Co., Ltd., THE UNIVERSITY OF TOKYO, and National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

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. The resins were polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyamide 6 (nylon 6, PA6), polyacetal (POM), and polycarbonate (PC). The amount of CNF added was 5 to 30 wt%, and the optimal composition was evaluated by indicating the physical properties values that need investigation for automotive materials, such as mechanical strength. Sunshine weathering tests were conducted, and it was shown for the first time that degradation by light and moisture is suppressed.

Furthermore, the results of evaluating CNF100% plate-shaped molds and CNF pipe highlighted that there was a possibility of developing CNF for automotive applications, and we moved onto the stage of evaluating structural element models and molding processability.

3.2 Molding processability evaluation of CNF material

CNF composite materials are able to produce a fine foam by injection foam molding, and it was found that this increases the bending elastic modulus in particular. Since this is expected to further reduce the weight for automotive applications, molding was performed using molds for specific parts. Molding of the vertical parts of a trunk lid was performed using PA6-CNF10%, and a weight reduction of over 10% was confirmed. Furthermore, it was found that CNF100% plate can be formed by the process of dewatering and applying heat and pressure to an aqueous dispersion, and the horizontal parts of a trunk lid were molded using this technology. This was used to perform parts substitution in a Toyota 86.

Furthermore, it was found that the side impact strength of PA6-CNF elements can be increased by plating, and since this is also possible with foam elements, it was shown that the weight can be decreased by around 20%.

3.3 Prototyping and performance evaluation of CNF structural element models

CNF paperboard was fabricated with a bending strength on the same level as aluminum by selecting CNF paper that is suitable for pipes, boards, and paper cores, and cementing that paper by using adhesive. Furthermore, this highlighted the idea that the backbone structure of a vehicle can be fabricated by a combination of aluminum pipe with CNF paper.

3.4 Prototyping and evaluation of CNF small parts

Prototype evaluation was conducted of the following automobile parts: (1) air conditioning parts, (2) interior trim parts, and (3) engine-related parts. For (1), an air conditioning case was test manufactured using PE-CNF5%. A normally shaped part was obtained by increasing the number of gates. The foam molded part reduced the weight by 7%. For (2), door trim was test manufactured using PP-CNF10%. Since the bending elastic modulus is 1.7 times that of PP, the part thickness could be reduced by slightly less than 20%, and it was calculated that the weight reduction effect over an entire vehicle would be approximately 13%. The amount of VOCs that were emitted increased, which showed that measures to reduce this are needed. For (3), an intake manifold was test manufactured using PA6-CNF15%. A weight reduction of 13% compared to the conventional GF30% and a smooth surface were found. However, it was also found that an increase in impact resistance is needed. Further performance evaluation will be conducted in the future.

3.5 Prototyping and evaluation of CNF large parts

An engine hood (bonnet) for a Toyota 86 was test manufactured using the resin transfer molding (RTM) process to impregnate CNF sheet with epoxy resin. A weight reduction of around 30% compared to the conventional part was found. This verified for the first time that the RTM process is also a method for creating large parts even when using CNF.

3.6 Mounting and performance evaluation of CNF reduced-weight parts in actual vehicles

It is planned to check the weight reduction effect of replacing the engine hood and trunk lid in a Toyota 86 with CNF composite material, and at the current stage, each of the parts has been completed. As a

preliminary stage, a weight of 120 kg, which is equivalent to the weight reduction (approximately 10%) if nanocellulose vehicle (NCV) were adopted in the current model Toyota 86 (weight 1,270 kg), and the difference in fuel consumption was checked. It was found that the fuel consumption decreased by 20% when the weight was decreased by approximately 10%.

3.7 Evaluation of vehicle concept for CNF vehicle implementation

The 3D design of the final prototype vehicle that is being investigated for manufacturing next fiscal year or later was completed. This is planned to be incorporated into specific design diagrams next fiscal year.

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

The idea for the process that contributes to setting development goals came from calculating the LCCO₂ emissions and getting feedback after receiving the information provided by the consortium members about the material structure, molding method, element weight, and baseline information for each element. For the production of the raw material pulp that is expected to have a large effect in particular, a simulation model that includes the upstream processes was investigated, and estimates were made of CNF manufacturing raw material units from raw material procurement to chemical modification.

3.9 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 spreading the word through education about this project, such as through displays at exhibitions and talks at symposia. In particular, the strengths were advertised through exhibiting the actual parts and giving talks at the EcoPro 2017 Exhibition (December 7 to 9, 2017) and Nanocellulose Symposium 2018 (February 27, 2018).

Draft plans for introducing CNF into the market in the future were created based on the progress of these activities.

Project period

April 1, 2017 to March 31, 2018

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、金沢工業大学、 （地独）京都市産業技術研究所）	4
1.2	CNF パネルの作製及び評価（利昌工業（株））	9
1.3	CNF パイプの作製及び評価（（株）昭和丸筒、昭和プロダクツ（株））	12
第 2 章	CNF 材料の成形加工性評価	
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）	15
2.2	発泡射出成型法における CNF 材料（ポリアミド系）の成形加工性の評価 （ダイキョーニシカワ（株））	19
2.3	発泡射出成型法における CNF 材料（ポリプロピレン樹脂系）の成形加工性の評価 （（株）イノアックコーポレーション）	22
2.4	ブロー成形における CNF 材料の成形加工性の評価（キョーラク（株））	26
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））	30
2.6	加工性シミュレーション（（株）セイロジャパン）	33
2.7	加飾性評価（マクセル（株））	37
第 3 章	CNF 構造要素モデルの試作と性能評価	
3.1	CNF 材料の接着・接合評価（名古屋工業大学）	41
3.2	CNF 材料の構成と構造の最適化（秋田県立大学）	45
3.3	ハニカムサンドイッチパネルの試作と評価（利昌工業（株））	47
3.4	構造部材用パイプの試作と評価（（株）昭和丸筒 / 昭和プロダクツ（株））	50
第 4 章	CNF 小型部材の試作・評価	
4.1	空調部品用途に向けた CNF 材料の評価（（株）デンソー）	54
4.2	ドア部材用途、シート部材用途に向けた CNF 材料の評価（トヨタ紡織（株））	57
4.3	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））	61
第 5 章	CNF 大物部材の試作・評価	
5.1	大物部材試作検討及び RTM（Resin Transfer Molding）成形の評価 （トヨタテクノクラフト（株）、金沢工業大学）	65
5.2	CNF 材料の長期信頼性評価、破壊モード評価（金沢工業大学）	69
第 6 章	CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価	
6.1	CO ₂ 削減のための部品の軽量化目標の評価検証（トヨタテクノクラフト（株）、 金沢工業大学）	73
6.2	CNF 部品基本構造等の検討（トヨタテクノクラフト（株））	75
6.3	CNF 部品の組み付け技術の検討と実機搭載評価（トヨタテクノクラフト（株））	77

第7章	CNF 車両実装に関する車両構想の評価	
7.1	最終試作車の車両構想等の検討のための国内外先進事例の明確化 (トヨタテクノクラフト(株))	81
7.2	最終試作車の車両構造及び組み付け技術の検討(トヨタテクノクラフト(株)、 金沢工業大学)	82
7.3	CNF 車両の社会実装に向けた CNF 車両の市場投入方策の検討(金沢工業大学)	85
7.4	最終試作車の車両構想の検討(京都大学、金沢工業大学、トヨタテクノクラフト(株))	88
第8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	
8.1	試作する自動車の CO ₂ 削減効果に関する評価(産業環境管理協会)	92
8.2	CNF 部品実機搭載における CO ₂ 削減効果評価(産業環境管理協会)	94
8.3	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)	97
8.4	CO ₂ 削減効果の将来予想(2030年)(産業技術総合研究所)	100
第9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	
9.1	情報管理及び共同実施者間の調整(京都大学、産業環境管理協会)	104
9.2	CNF の早期社会実装に向けた時系列での開発実証及び市場投入計画の策定(京都大学)	105
9.3	プロジェクト推進委員会の運営 京都大学、産業環境管理協会	106
9.4	普及・啓発	107
第10章	本年度業務の課題と今後の方針	110
第11章	本業務で用いる略語の解説	111
	巻末資料	113

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。

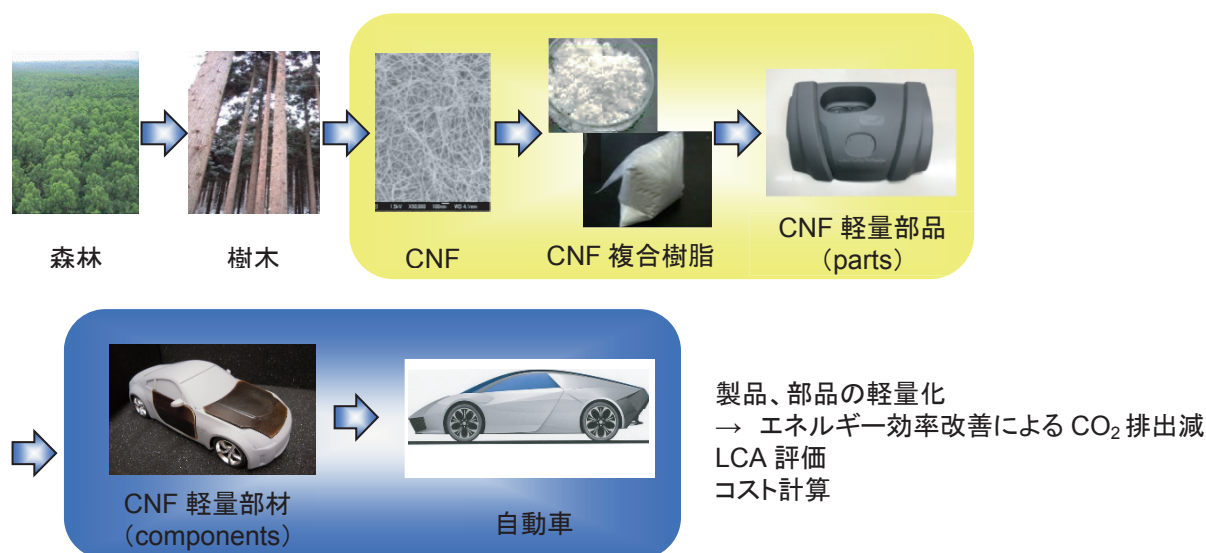


図 1 事業の概念図

- (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
- (3) CNF 構造要素モデルの試作と性能評価
- (4) CNF 小型部材の試作・評価
- (5) CNF 大物部材の試作・評価
- (6) CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価
- (7) CNF 車両実装に関する車両構想の評価
- (8) CNF 活用製品の CO₂ 削減効果の評価・検証
- (9) 情報管理と CNF 材料・部材の総合評価

図 2 業務の流れ

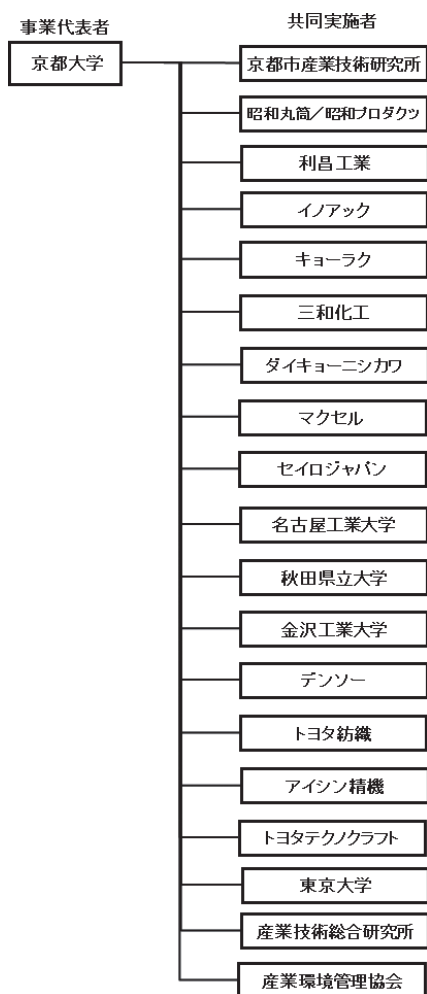


図 3 実施体制

本業務の実施にあたっては、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、地方独立行政法人京都市産業技術研究所、株式会社昭和丸筒、昭和プロダクト株式会社、利昌工業株式会社、株式会社イノアックコーポレーション、キョーラク株式会社、三和化工株式会社、ダイキョーニシカワ株式会社、マクセル株式会社、株式会社セイロジャパン、国立大学法人名古屋工業大学、公立大学法人秋田県立大学、学校法人金沢工業大学、株式会社デンソー、トヨタ紡織株式会社、アイシン精機株式会社、トヨタテクノクラフト株式会社、国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般社団法人産業環境管理協会の 21 機関を共同実施者とし、京都大学を含めたコンソーシアムによる業務実施体制を構築した。

また、業務推進体制（マネージメント体制）を図 4 に示す。分野別に 9 つのグループに分けて実施した。

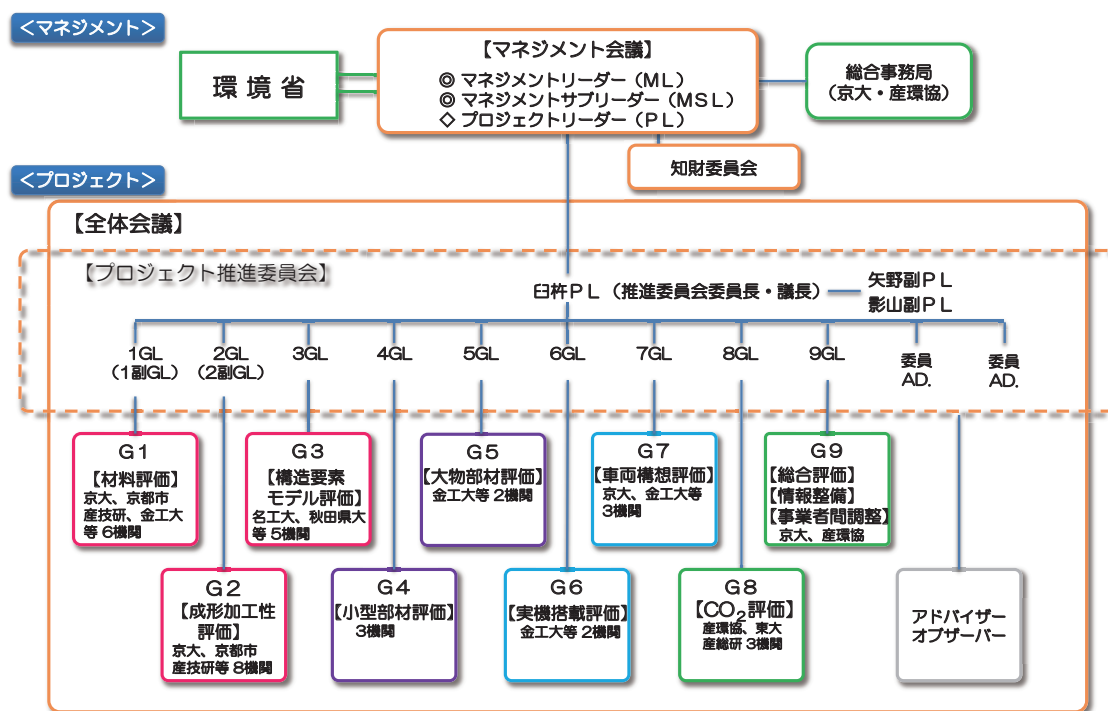


図 4 業務推進体制

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回開催した。

事業推進委員会 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
	大嶋 正裕	京都大学 大学院工学研究科 教授
	仙波 健	(地独) 京都市産業技術研究所 主席研究員
	奥平 有三	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
	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
	間瀬 清芝	トヨタ自動車(株) 有機材料技術部 部長 (H29.4～12)
	永井 隆之	トヨタ自動車(株) 有機材料技術部 部長 (H30.1～3)
	服部 順昭	東京農工大学 名誉教授
	鈴木 幸弘	トヨタテクノクラフト(株) スポーツ車両開発部 コンポジット開発室 室長
	神崎 昌之	(一社) 産業環境管理協会 LCA 事業推進センター 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、金沢工業大学、（地独）京都市産業技術研究所）

ポリアミド 6（PA6）、およびポリプロピレン（PP）マトリックス樹脂材料について、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入手し、コンパウンドメーカーに製造依頼した樹脂－CNF 複合ペレット材料をグループ 2、4 の参画機関へ成形材料として提供した。提供した材料について、強度物性などの材料定数測定を行うとともに、さらなる強度物性の向上を狙いとし、コンパウンドプロセスの条件を検討した。また、樹脂－CNF 射出成形材料について耐候試験を行い、CNF を複合することにより光照射に起因する樹脂劣化が抑制されることを確認した。

また、CNF シートを自動車の構造用パイプなどの材料としてグループ 3 へ、また RTM（Resin Transfer Molding）成形材料としてグループ 5 へ提供した。

併せて、試作車の部材成形に供することを狙い、金型を用いずに成形できる 3D プリンター用の材料として樹脂－CNF 複合材料が適用可能であることを確認した。

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

京都大学 NEDO プロジェクト、京都市産業技術研究所、星光 PMC（株）、日本製紙（株）、三井化学（株）から樹脂－CNF のマスターバッチを調達し、（株）ロンビック、（株）ヘキサケミカル、（株）吉川国工業所などの外注メーカーにコンパウンドを依頼し、樹脂/CNF 複合ペレットを作製した。樹脂としては、PA6 および PP を用いた。ペレットの CNF 含有率は 5 ～ 20% として、グループ 2、4 の各参画機関に材料提供を行った。図 1.1-1 に平成 29 年度に提供した材料をまとめた。PA6-CNF を 650 kg、PP-CNF を 1500 kg（CNF10%含有率として換算した量）参画機関（合計 8 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	H29年度 調達量		提供先 (参画機関)
					CNF量	ペレット量 (CNF10%換算)	
PA6-CNF	京都大学	アセチル化変性	30%(マスターバッチ)→ 5,10,15%	ヘキサケミカル(株)	50 kg	500 kg	ダイキョーニシカワ、 キョーラク、マセル、 アイシン、セイロジヤパン
	日本製紙	CNF（耐熱型）	15%	日本製紙外注	15 kg	150 kg	
PP-CNF	星光PMC	ASA変性CNF (ポリレフィン用)	50%(マスターバッチ)→ 5～20%	ロンビック(株) 各機関	140 kg	1400 kg	キョーラク、イノアック、 トヨタ紡織、 ダイキョーニシカワ
	三井化学外注		10%	三井化学	10 kg	100 kg	

（2）CNF シートの提供

CNF シートとして、表 1.1-2 に示す 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ィブリルセルロースシートで、グループ 1 の（株）昭和丸筒・昭和プロダクツ（株）へ自動車の構造用パイプへの応用材料として提供した。CNF シート（B）は叩解紙と呼ばれるもので、グループ 5 の金沢工業大学に RTM（Resin Transfer Molding）成形による自動車ボンネット用の材料として

提供した。両応用とも、強度に加えて接着剤の含浸性が要求される。(A) (B) とも CNF の繊維径は数 10 ～ 数 100nm である。RTM 成形の場合、幅 16mm、長さ 50mm の短冊状の CNF シートをランダムに積層する必要があるため、CNF シート (B) については、自動積層プロセスに適用できるよう CNF シートを 16mm 幅に特殊スリッターで切断した後、提供した。

表 1.1-2 提供した CNF シート

CNF種類	引張破壊応力 (MPa)		引張破壊ひずみ (%)	厚(mm)	面重量 (g/m ²)
CNFシート (A)	巻取り方向	103	4.0	0.031	46
	直角方向	49.5	8.2		
CNFシート (B)	巻取り方向	52.9	2.1	0.041	26
	直角方向	22	3.7		

1.1.2 CNF 材料の材料定数評価

(1) 平成 29 年度に提供した樹脂 -CNF 複合材料の強度評価

表 1.1-3 に平成 29 年度に提供した PA6-CNF、および PP-CNF 複合材料の強度物性評価結果を平成 28 年度に提供した材料、およびニート樹脂の物性と比較して示す。複合材料の CNF 含有率は 10%とし物性を比較した。PA6-CNF に関して、CNF の解繊の程度と相関が高い指標である曲げ弾性率については、平成 29 年度に提供した材料は 4.32GPa であり平成 28 年度提供材料の 4.29 GPa と同程度であるが、コンパウンドの吐出量は 9kg /hour と約 50%増加している。また、(表への記載は省略したが) ロットごとの強度物性のばらつきが小さくなっている。PP/CNF については、曲げ弾性率が 2.30GPa から 2.72GPa と約 18%増加している。強度、引張弾性率も増加しており、自動車用成形部品に使用した場合、更に軽量化につながる事が期待される。また、平成 28 年度はマスターバッチの CNF 含有率が 30%であったが、平成 29 年度は 50%になり、各参画機関の特有樹脂で希釈混練した場合、特有樹脂の含有率が高めることができる。この結果、強度以外の物性の制御が容易になり、成形品質の向上につながる事が期待される。

表 1.1-3 提供した樹脂 /CNF ペレット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 (GPa)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)	MFR (g /10min.)	備考
PA6ニート				103	2.53	49.2	2.68	18	
PA6-CNF 10%	H28年度 提供材料	京大、京都市産技研 アセチル化変性CNF (京大)	吉川国工業所	145	4.29	104	4.52	12	
	H29年度 提供材料	京大、京都市産技研 アセチル化変性CNF (京大)	ヘキサミカル(株)	144	4.32	100	4.71	3.1	コンパウンド条件検討 (スクリー形状、温度、圧力、速度 等)により吐出量 6kg/h → 9kg/h (50%UP)。安定して曲げ弾性率 4.3GPa発現。
PPニート				52.0	1.95	30.9	2.11	41.0	
PP6-CNF 10%	H28年度 提供材料	星光PMC (株) ASA変性CNF (星光PMC)	ロンビック (株)	57.3	2.3	44.6	2.51	5.9	マスターバッチは CNF30%の粉末状態
	H29年度 提供材料	星光PMC (株) ASA変性CNF (星光PMC)	ヘキサミカル (株) 各参画機関	60.4	2.72	41.8	2.65	24.7	マスターバッチのCNF含有率が50% のペレットになり、各参画機関の使 用樹脂で混練可能。

(2) PA6-CNF 複合材料の強度物性向上の検討

樹脂中の CNF の解繊度が向上すれば、複合材料の強度、弾性率が増加し、最終的に成型部品の軽量化につながる。平成 29 年度に提供した複合材料の CNF は、原料として NUKP (Nadelholz Unbleached Kraft Pulp) とよばれる針葉樹末晒パルプを持っていた。京都市産業技術研究所では京大と連携し、針葉樹のなかでも解繊性が高いと予想されるトドマツパルプを原料としてアセチル化変性 CNF を試作した（平成 29 年度 30kg 試作）。このトドマツパルプ CNF を PA6 と複合した。図 1.1-1 に CNF の PA6 内における繊維の分散状態の観察写真を示す。白いモヤの部分はナノレベルに解繊されていると考えられる。このように分散状態を顕微鏡写真で確認しながら、樹脂との複合時のコンパウンド条件を変え、複合材料の高強度化を狙いとして試作を繰り返した。トドマツパルプ CNF を使用した試作材料の強度物性を表 1.1-4 に示す。曲げ弾性率が 4.73GPa、引張弾性率が 5.25MPa となり、表 1.1-3 に示した。NUKP 使用 PA6-CNF10% の曲げ弾性率 4.32 GPa、引張弾性率 4.71MPa と比較してそれぞれ 9.4%、11.1% 増加した。強度も 4 ~ 16% 増加しており、トドマツパルプを利用した CNF を樹脂強化に使うことにより、成形品の更なる軽量化につながる事が期待できる。

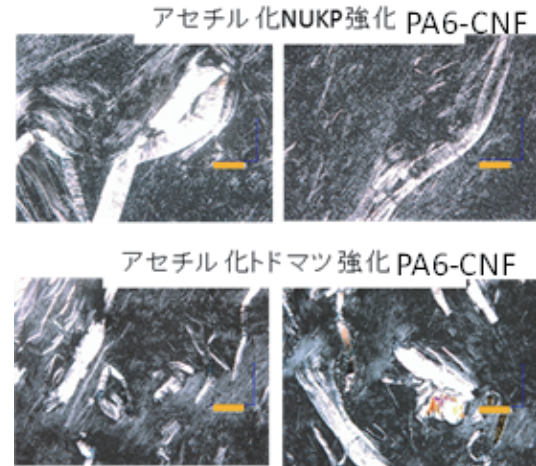


図 1.1-1 CNF の分散状態
※スケールバーは 50 μ m

表 1.1-4 トドマツパルプ使用 PA6-CNF10% の強度物性評価

樹脂/CNF 複合材料	CNF 製造機関 (マスタートラック製造)	コンパウンド	物性 (PA6/CNF10%)				
			曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)	MFR (g /10min.)
PA6-CNF トドマツ パルプ使用	京都市産技研、京大 アセチル化変性CNF (京大)	ヘキサケミカル (株)	150	4.73	116	5.25	3.25

(3) PP6-CNF 複合材料の強度物性向上の検討

コンパウンドメーカーであるヘキサケミカル (株) にて実機により作製した CNF 強化 PP 材料を評価し、京都市産技研作製のラボ品との比較を行った。分散剤として PLA (ポリ乳酸) を使用した。非強化ポリプロピレン (日本ポリプロ (株) MA04A) と比較して、ヘキサケミカル (株) での希釈材料 PP-CNF10% () 及び京都市産業技術研究所希釈コンパウンド PP-CNF10% (PLA 使用) は、図 1.1-2 に示すように大きく曲げ弾性率及び曲げ強度が向上した。しかしながら、ラボ品 (京都市産業技術研究所) と実機品 (ヘキサケミカル製造品) では物性差があり、今後の改善が必要である。

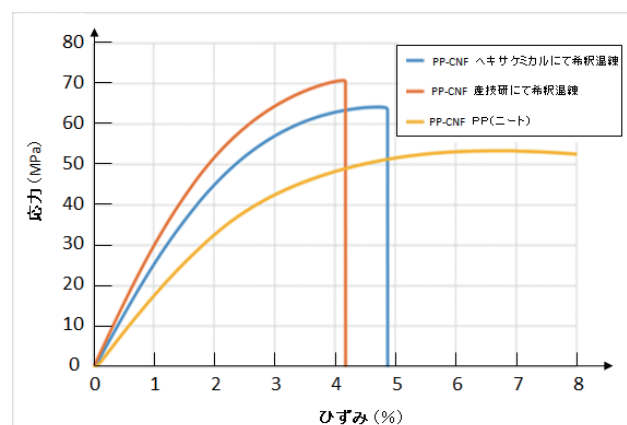


図 1.1-2 CNF 強化 PP 材料におけるヘキサケミカル作製実機品と京都市産技研作製ラボ品の曲げ試験時の応力 - ひずみ線図

(4) 樹脂材料の小スケールでの試作及び供給

樹脂 -CNF 複合材料のめっき技術の開発をグループ 2 のマクセル（株）が担当している。この技術の開発においては、様々なプラスチックへの無電解めっきを実現できる可能性があり、これまで成功している PA6 マトリックス以外の材料についての検討が必要である。そこで代表的なめっき材料であるポリカーボネート/アクリロニトリル - ブタジエン - スチレン共重合体アロイ（PC-ABS）の CNF 複合材料を試作し、マクセル（株）に提供した。作製材料を表 1.1-5 に示す。PL2010 は代表的なメッキグレードの PC-ABS 材料であり、CNF と複合することにより曲げ率 1870 → 3210MPa、曲げ強度 66.9 → 87.2MPa まで向上した。PL2010 はめっき及び CNF 添加により大きく物性が向上した。

表 1.1-5 マクセル（株）へ提供した CNF 強化 PC-ABS 材料の組成と物性

Sample number	Composition	Flexural test(MPa)		Izod impact energy (kJ/m ²)	
		Modulus	Strength	2.75J-N	5.5J-R
PL2010	PL2010	1870	66.9	55.18	NB
PC31	PL2010/(PL2010粉/AcNBKP=70/30)=66/33	3210	87.2	5.48	33.5
PL2010メッキ	PL2010-メッキ	5980	96.5	45.61	NB
PC31メッキ	PL2010/(PL2010粉/AcNBKP=70/30)=66/33-メッキ	6810	91.3	4.02	12.6

(5) 耐候試験と強度劣化の評価

樹脂は太陽光紫外線の照射や雨水により、強度が劣化する。樹脂 -CNF の複合材料に対して、サンシャイン耐候試験を行い、試験前後の強度物性を比較することにより劣化の定量的評価を行った。

1) 耐候試験条件

サンシャイン耐候試験の照射光のスペクトラムを図 1.1-3 に示す。樹脂劣化の寄与が大きい紫外線の波長領域に近い 350 ～ 420 μ m 範囲（可視光の低周波数領域）の放射照度が太陽光に比べて高い。今回の暴露時間は 1400 時間とした。これは 日本の平均照射量の 1 年 3.5 ケ月分に相当する。光については連続照射するが、60 分のうち 12 分間は光に加えて同時に水を噴霧した。

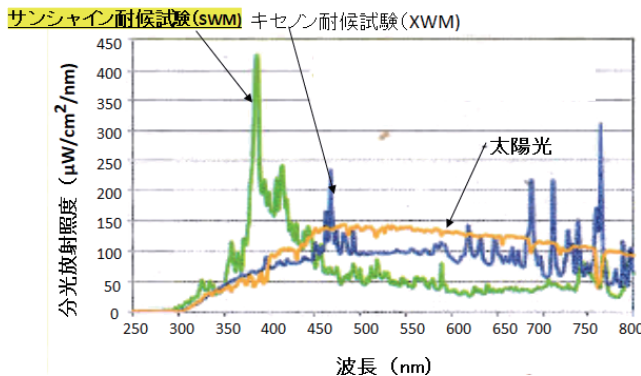


図 1.1-3 サンシャイン耐候試験の照射光スペクトル

2) サンシャイン耐候試験前後の強度

PA6 ニート、PA6-CNF10%、および PP ニート、PP-CNF10% の 4 種類の材料について、耐候試験前、耐候試験後（1400 時間）の曲げ試験、引張試験、アイゾット衝撃試験を行った。低減率（%）を式 1.1-1 で定義した。

$$\text{低減率 (\%)} = \frac{\text{耐候試験前の値} - \text{耐候試験後の値}}{\text{耐候試験前の値}} \quad \text{式 1.1-1}$$

強度物性の計測値、低減率（%）を表 1.1-6 に 4 種類の材料ごとに示した。低減率は、PA6、PP ともニート樹脂に比べて CNF を複合した材料のほうが低い。この傾向は PP のほうが顕著である。例えば、曲げ強度について PP ニートは 76% の低減率であるが、PP-CNF10% は 38%、また、曲げ弾性率は PP ニー

トは54%の低減率であるが、PP-CNF10%は13%の低減率である。アイゾット衝撃試験の結果は紙面の都合上省略したが、同様の傾向を示した。PPニートはアイゾット衝撃値に関して50%の低減率であるが、PP-CNF10%は27%の低減率である。CNFをナノレベルで複合することにより、光（あるいは水分）による劣化が抑制されると結論づけられる。この劣化抑制メカニズムの解明は、今後の課題

表 1.1-6 耐候試験前後の樹脂 /CNF 複合材料の強度劣化

PA6 ニート、PA6-CNF 曲げ試験（上）、 PP ニート、PP6-CNF 曲げ試験（上）、引張試験（下）の結果

	耐候試験前		耐候試験後 サンシャイン1400時間	
	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (Gpa)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (Gpa)
			低減率 (%)	低減率 (%)
PA6 ニート	103	→ 2.53	36.5 → 65%	0.79 → 69%
PA6- CNF10%	126	→ 3.73	59.9 → 52%	1.81 → 51%

	耐候試験前		耐候試験後 サンシャイン1400時間	
	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (Gpa)	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (Gpa)
			低減率 (%)	低減率 (%)
PP ニート	65.4	→ 2.39	15.4 → 76%	1.09 → 54%
PP- CNF10%	76	→ 3.65	47.2 → 38%	3.16 → 13%

	耐候試験前		耐候試験後 サンシャイン1400時間	
	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (Gpa)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (Gpa)
			低減率 (%)	低減率 (%)
PA6 ニート	49.2	→ 2.68	35.4 → 28%	0.98 → 63%
PA6- CNF10%	93.6	→ 4.52	63.9 → 39%	2.15 → 42%

	耐候試験前		耐候試験後 サンシャイン1400時間	
	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (Gpa)	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (Gpa)
			低減率 (%)	低減率 (%)
PP ニート	41.8	→ 2.55	8.02 → 80%	0.98 → 61%
PP- CNF10%	48.7	→ 3.86	38.7 → 20%	4.28 → -11%

であるが、自動車部品の耐久性を考慮した設計において、また、リサイクルを想定するうえでも非常に有利な特性であるといえる。

1.1.3 3D プリンター用 CNF 材料の適用性の調査

本プロジェクトにおいて、CNF を使用した自動車用部品を用いた試作車（コンセプトカー）を作ることが一つの狙いである。ただし、すべての部品の成形のために金型を製作するのはコスト面で難しい。そこで、樹脂 -CNF 複合材料を用いて 3D プリンターによる自動車部品の成形可能性を見るためグループ 3 の名古屋工業大学栗山教授と調査を行った。その結果を表 1.1-7 にまとめた。特に粉体を用いた 3D 成形は、樹脂 -CNF 複合材料において、CNF の含有率が 20 ～ 30% の高粘度材料も成形できるため、非常に高強度の部品が成形できる可能性がある。次年度は、樹脂 -CNF 複合材料を用いた 3D プリンターによる試作成形を行う予定である。

表 1.1-7 樹脂 -CNF 複合材料の 3D プリンター材料への適用性調査

3Dプリンターの種類	概要	調査した企業 (所在地)	企業の特長	現在の状況
フィラメント 積層成形	フィラメント（通常 径 1.75mmのPLA）を積層し成形する。	ホッティポリマー (株) (東京都墨田区)	フィラメント製造から成形まで可。 大型部品は接合で対応。	PP-CNFでフィラメント作製検討依頼。
粉体成形	樹脂粉末（PA6）で形を形成し、レーザーで溶融、冷却時固結。 ナイロン樹脂が主材料。	(株) アスペクト (東京都稲城市)	自動車部品実績有。	PA6-CNFのDSC計測により適合性確認（融点と再結晶温度の差が必要）。 PA6-CNFの粉体化（凍結粉碎で40μm程度）可能。 CNFの高含有率化（～30%）可能 →高強度化。
樹脂射出機+ 3D成形機	射出成型機のヘッドを3次元的に移動させ、成形する。	エス・ラボ (株) (京都府長岡京)	自動車部品用の大型プリンターを製造中 (1.5×2.5m程度対応可)	PA6-CNF、PP-CNFで成形可能性検討依頼。

1.2 CNF パネルの作製及び評価（利昌工業株式会社）

CNF100%、および CNF を少量のフェノール樹脂で改質した板状成形体を作製し、それらの曲げ強度、曲げ弾性率および吸水率を JIS-K6911（熱硬化性樹脂プラスチック一般試験方法）に基づいて評価した。また、線形力学に基づく破壊靱性試験から CNF 板状成形体の耐亀裂性を明らかにした。

一方、自動車外板部材等に適用が期待できる大型の CNF100% 材による 3 次元成形体の製法条件を見出し、この手法に基づきトヨタ 86（トヨタ自動車（株）製）のトランクカバー上面を CNF100% 材の成形体で試作した。

1. CNF100%、フェノール -CNF 複合板状成形板の作製

CNF 板状成形体の試験片厚さはすべて 3.0 mm として試作した。CNF100% 板状成形体は、固形分 10% の水分散 CNF スラリーを所定の寸法（340x340 mm）で予備成形し、脱水の後、加熱加圧成形して作製した。

フェノール -CNF 複合板状成形体は、固形分 10% の CNF 水分散スラリーとレゾール型フェノール樹脂溶液を、成形体の CNF 固形分換算で樹脂量 5 から 20% になるように予め混合し、所定の寸法に成形後、脱水して加熱加圧成形により作製した。

2. CNF 成形体の力学特性評価

2-1. 曲げ強度、曲げ弾性率

JIS-K6911 の試験片寸法に基づき、下記寸法の試験片を板状成形体から切り出して作製した。なお、試験片は、通常環境での使用を想定し、成形後に 23℃ /50% で 48 時間以上放置してから作製している。

厚さ：3.0 mm 幅：10 mm 長さ：100 mm

試験は、島津製作所製オートグラフ AG-5kNX を用い、支点間距離 48 mm、試験速度 1.5 mm / 分で実施した。の曲げ強度の結果は図 1.2-1 に、曲げ弾性率の結果は図 1.2-2 にそれぞれ示す（次頁）。なお、結果は全て n=6 の平均値を示している。

曲げ強度及び曲げ弾性率は、5% のフェノール樹脂添加時に CNF100% 成形体よりやや上昇し、フェノール樹脂の添加量が多くなれば特性が低下していく傾向を示した。

2-2. 吸水率測定

JIS-K6911 に基づき、試験片を下記の寸法に切り出し作製した。なお、試験片の前処理は 2-1 項と同様に実施した。

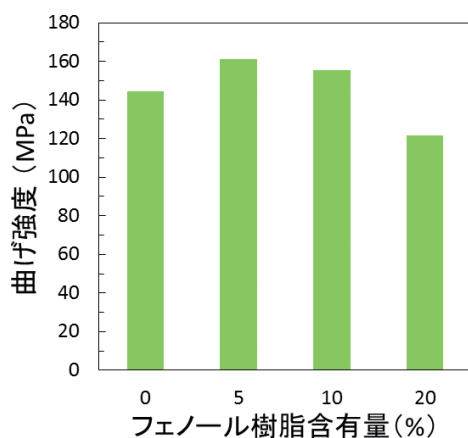


図 1.2-1 曲げ強度の結果

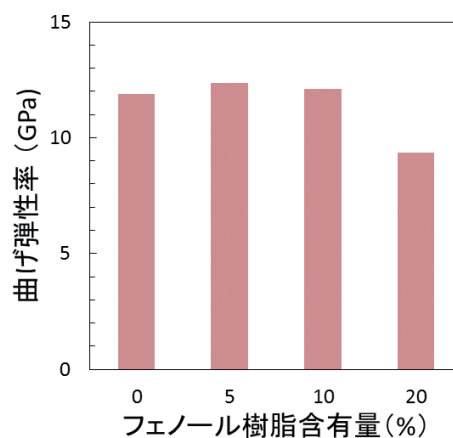


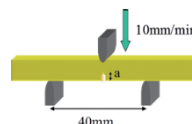
図 1.2-2 曲げ弾性率の結果

吸水処理は、23℃ /50% の環境下で純水に 24 時間浸漬した。結果は図 1.2-3 に示す。CNF 成形体の吸水率は、フェノール樹脂の含有量の増加に伴い顕著に低下した。

2-3. 破壊靱性試験

線形力学に基づく破壊靱性値は、ASTM-E399 に基づき実施した。試験片寸法及び形状は下記の通り。

厚さ：3.0 mm 幅：10 mm 長さ：50 mm



切断後の試験片中央にダイヤモンドカッターで予め切欠きを入れた後、カミソリの刃を滑らして予備亀裂 (a) を付与した。支点間距離 40 mm、試験速度 10 mm / 分にて破壊試験を実施し、破壊時の荷重から破壊靱性値 (K_{IC}) を算出した。結果は図 1.2-4 に示す。CNF 成形体の破壊靱性値はフェノール樹脂含有量が 10% までは 4.5 と高い値を示した。

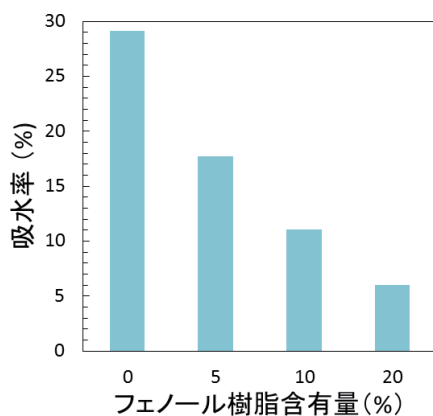


図 1.2-3 吸水率の結果

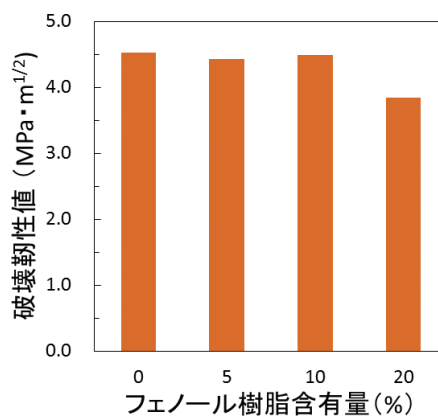


図 1.2-4 破壊靱性試験の結果

3. CNF100% のトランクカバーの試作

自動車外板のような鋼板（比重 7.85）を CNF 成形体（比重 1.5）で置換できれば、剛性等価とした場合でも重量比で約 50% 程度の軽量化が期待できる。そこでこの目的を達成するために、3 次元の CNF 大型成形体を試作した。

既存車であるトヨタ 86 のトランクリッドを対象として選定し、部材形状の CFRP 型を用いることで、CNF100% からなる大型の 3 次元成形体の試作に成功した（図 1.2-5 参照）。

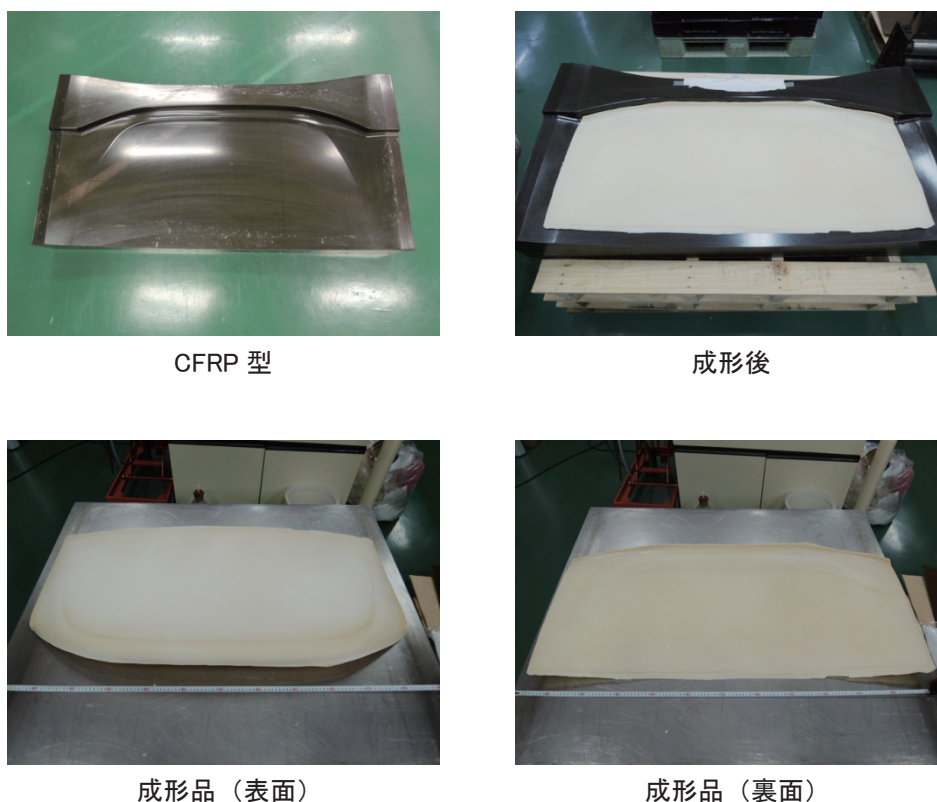


図 1.2-5 CNF100% 大型 3 次元成形体

4. まとめと次年度の課題

本年度は、CNF100% 板状成形体および CNF 高含有のフェノール樹脂複合体を作製し、その力学試験を実施した。

大幅な軽量化が期待できる自動車外板部材に CNF100% 成形体等を適用できる可能性を示すため、トヨタ 86 のトランクカバーを CNF100% 成形体で試作した。

5. 次年度の予定

CNF100% 成形体およびフェノール樹脂と CNF の複合成形品の物性の環境依存性や長期耐久性などの評価を実施する。

大型の 3 次元 CNF 成形体の作製条件の最適化を進め、様々な大型部材の試作を進めていく。

1.3 CNF パイプの作製及び評価（株式会社昭和丸筒、昭和プロダクツ株式会社）

CNF パイプに適した接着剤の選定と評価を行った。自動車用部材としては強度の他に耐水性・耐熱性が重要であり、これらの特性を CNF パイプに持たせるため、熱硬化性の接着剤を選定した。水系の接着剤は塗布しやすいが、乾燥時に水分が抜けにくく、残存水分によって熱硬化時にパイプが層間剥離してしまうため、乾式で CNF シートを巻く方法を採用した。

1. 接着剤について

通常の紙管では、酢ビ系の接着剤が操作性良く、古くから使用されている。昨年度は酢ビを用いてパイプを作製した。やはり操作性は良く、接着剤塗布から巻きつけ、乾燥までの工程も大きな問題なく作製が可能であった。しかし、自動車部材用接着剤という観点では、耐水性・耐熱性が低いため、使用に適していない。自動車部材に適した接着剤を選定し、評価する必要がある。耐水性・耐熱性を考慮すると、熱硬化性の接着剤が候補に挙げられ、水系の熱硬化性接着剤の評価を行った。水系熱硬化性接着剤は木材の接着で多用されており、水系であることから酢ビ系接着剤と同様の塗布方法が可能と考えられる。また、CNF と同じセルロース系の材料を接着剤に用いることで、水素結合による接着も考えられ、変性セルロースでの評価も行った。

2. 積層板での評価

パイプ作製の前に積層板を作製し、変性セルロースと水系熱硬化性接着剤使用による効果を確認した。

積層板の作製方法

CNF シートに接着剤又は変性セルロースを塗布し、余分な接着剤を取り除く。その上に新たな CNF シートを重ね、接着剤を塗布し、CNF シートを重ねる。この作業を繰り返した後、プレス機で加熱しながら乾燥させ、接着させる。

比較として、CNF シートと酢ビ系接着剤、上質紙と酢ビ系接着剤でも積層板を作製し、曲げ試験を行った。変性セルロースは酢ビ系よりも強度、弾性率ともに大きくなっているが、水系熱硬化性接着剤は上質紙を上回ってはいるが、変性セルロースや酢ビ系よりも低い物性となった。

表 1.3-1 接着剤別積層板の曲げ試験結果

接着剤	CNF シート			上質紙
	水系熱硬化性 接着剤	変性 セルロース	酢ビ系	酢ビ系
密度 (g/cm ³)	1.35	1.46	1.38	1.18
最大点荷重 (N)	92.4	40.4	43.7	20.1
曲げ強度 (MPa)	118	145	125	70
曲げ弾性率 (MPa)	9,862	12,701	10,558	9,304

3. CNF パイプの作製と曲げ試験結果

パイプ作製方法としては、次のようになる。

酢ビ系接着剤、変性セルロース

希釈した酢ビ系接着剤又は変性セルロースを CNF シートに塗布し、余分な接着剤を除いた後に、芯となる紙管に巻きつける。この作業を所定の厚みになるまでくり返し、乾燥させる。

水系熱硬化性接着剤

乾燥までは上記と同じ。その後、加熱させて熱硬化させる。

曲げ試験の結果を表 1.3-2 に示す。CNF シートを用いることで、曲げ強度と曲げ弾性率は上質紙に比べ高強度となっているが、積層板で得られた弾性率と比較するとかなり低い状態であった。積層板は乾燥時にプレス機で圧縮させており、その結果シート同士が密に接着しているため、強度が上がったと考えられる。パイプの場合、筒状に均等に圧力をかけることは難しく、特に水系熱硬化性接着剤の場合、熱硬化時の加熱によって、パイプ内部に残存している水分が蒸発することでシート間で層間剥離が発生し、強度低下の要因となっていると考えられる。

表 1.3-2 CNF パイプの曲げ試験結果

※ CNF シートの酢ビ系接着剤、上質紙、アルミは過去データより引用

接着剤	CNF シート			上質紙	(参考) アルミ
	水系熱硬化性 接着剤	変性 セルロース	酢ビ系	酢ビ系	
内径 (mm)	7.9	7.9	6	12	6
外径 (mm)	9.4	9.3	10	15	8
曲げ強度 (MPa)	50	33	81	18	189
曲げ弾性率 (MPa)	4,841	3,237	4,731	404	51,479

4. 角パイプの作製と乾燥方法の検討

CNF パイプとして、角形のパイプも自動車部材として使用できる可能性があるため、角パイプの作製を行った。角パイプの作製方法は丸パイプと同じであるが、角形の紙管を用いている。CNF シートを巻きつけ、乾燥後に角パイプを確認すると、シートが簡単にめくれる部分があり、層間剥離していることがわかった。(図 1.3-1)

丸パイプの場合は均等な圧力で CNF シートを巻きつけることが可能であるが、角パイプでは、角部と平面部で圧力のかかり方が異なり、その結果圧力の弱い部分が接着不足となり、層間剥離が発生してしまっている。丸パイプよりも角パイプのほうが層間剥離を起こしやすいため、角パイプで乾燥方法について検討した。

通常、パイプをそのまま乾燥すると、表層部分から乾燥する。CNF シートは繊維間の隙間がほとんどない密な構造で、乾燥時は繊維が凝集しさらに密になり隙間がほとんどなくなってしまう。そのため、内部の水分が抜けにくくなってしまふ。そこで、パイプの内部から加熱し、内側から外側に向かって乾燥していくように試みた (図 1.3-2 参照)。



図 1.3-1 角パイプの層間剥離



図 1.3-2 パイプの乾燥（内側から外側へ）

乾燥後に曲げ試験で強度を確認したところ、パイプの強度はかなり低くなっていたが、面部分を切り出して積層板として測定すると、通常乾燥での曲げ強度が 47MPa、内部加熱での曲げ強度が 150MPa と改善がみられた。しかし、内部加熱の方法では、乾燥時間に長時間（24 時間以上）を要し、パイプ作製するにあたって非効率的となっている。

5. 乾式での CNF シート巻きつけ検討

水系熱硬化性接着剤は耐水性・耐熱性に優れているが、水分の除去が課題となっている。乾式で CNF シートを巻くことができれば、水分による層間剥離を抑えることが可能と考えられ、CNF シートに熱硬化性接着剤を塗布乾燥し、乾式で巻くことを検討した。

利昌工業（株）から提供を受けた積層板の評価では曲げ強度が 20% 上昇し、また密度も低く、これまでで最も状態の良い積層板が得られ、熱硬化性接着剤を CNF シートに塗布した乾式での巻き方を採用した。

第 2 章 CNF 材料の成形加工性評価

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）

これまで蓄積した熱可塑性樹-CNF 複合材料の強度、流動性などの基礎物性をもとに、実機における発泡成形プロセスの条件を絞り込むため、実験室において種々の条件で試作した発泡成形体の評価を実施し、その結果をグループ 2 の各機関に提供した。また、各機関が実機を用いて試作した発泡成形体について、物性評価や内部観察を行い、フィードバックすることにより、軽量・高強度の自動車部材の成形試作に貢献した。

1. PA6-CNF、PP-CNF 材料の発泡成形性の評価

1-1 発泡射出成形条件の最適化と試験片作製

PA6 系材料について、発泡射出成形条件の改善を行った。ベント室素ガス圧力、フィーダー送り量、コアバック条件を変更することで、より表面が平滑で白い（気泡が微細な）発泡体を得ることが出来た。得られた気泡径も図 2.1-2 の通り微細で均一なものとなった。この結果はトランクリッド等の自動車部材の試作成形条件選定の参考になった。



図 2.1-1 PA6 コアバック 2 倍発泡体の外観
(左：改善前，右：改善後)

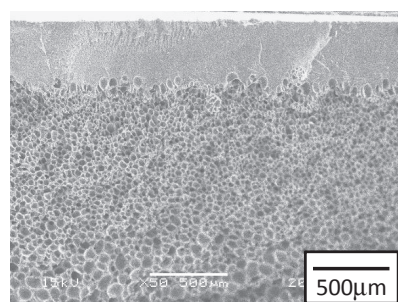


図 2.1-2 改善後の PA6 コアバック
2 倍発泡体の断面気泡構造

1-2 曲げ試験，荷重たわみ温度，線熱膨張率などの測定評価

変性 PA6-CNF 発泡体の基本的な機械的特性として引張特性と曲げ特性の関係について評価を行った。射出成形により作製した平板から MD 方向の試験片を作製し引張試験及び 3 点曲げ試験を実施した。表 2.1-1 に示す通りソリッド、発泡体いずれも CNF 複合化により弾性率・強度が上昇したが上昇度合いは引張試験よりも 3 点曲げ試験の方が高かった。また、3 点曲げ試験は引張試験に比べて強度が高く出る傾向があった。さらに、3 点曲げ試験において発泡品は発泡倍率が上昇するにつれて、弾性率，特に強度が高く出る傾向が認められた。これは曲げ特性においては表層のスキン層の特性が強く反映されるためと考えられる。実際の成形試作品では変形方向による特性の違いを把握して部材を作製する必要がある。この結果はトランクリッド試作品の肉厚の決定の参考データとして活かされた。

表 2.1-1 PA6、PA6-CNF 材料発泡体の引張試験と 3 点曲げ試験の比較

試験方法	材料	成形方法	比重 (23℃) [-]	弾性率 [GPa]	強度 [MPa]	比弾性率		比強度	
						絶対値 [GPa]	引張に対する比 [-]	絶対値 [MPa]	引張に対する比 [-]
引張	PA6	ソリッド	1.13	2.68	76.56	2.68	—	67.81	—
		コアバック2倍発泡	0.56	0.94	25.46	1.69	—	45.51	—
	Ac-CNF10%/PA6	ソリッド	1.17	3.90	82.22	3.34	—	70.40	—
		コアバック2倍発泡	0.60	1.44	26.73	2.40	—	44.59	—
3点曲げ	PA6	ソリッド	1.12	2.68	127.2	2.38	0.89	113.1	1.67
		コアバック2倍発泡	0.56	1.61	59.80	2.85	1.69	106.0	2.33
	Ac-CNF10%/PA6	ソリッド	1.17	4.01	149.7	3.44	1.03	128.4	1.82
		コアバック2倍発泡	0.60	2.42	68.05	4.07	1.69	114.2	2.56

2. グループ 2【成形加工評価】各社による CNF 材料成形品の評価

2-1 PP-CNF 射出発泡体の評価

グループ 2 内企業で試作した PP-CNF 射出成形品の X 線 CT・偏光顕微鏡観察、及び同発泡射出成形品の曲げ試験、耐衝撃性試験を行った。未発泡成形品の X 線 CT・偏光顕微鏡観察は図 2.1-3 の通りであり、解繊された繊維とともにところどころ凝集体が観察された。

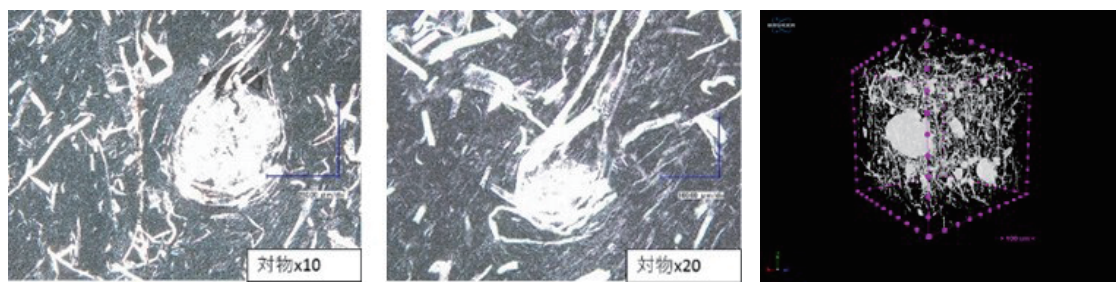


図 2.1-3 変性 CNF/PP 材料の偏光顕微鏡画像（左）と X 線 CT 画像（右）

また、発泡体について気泡径は、曲げ弾性率・曲げ強度・シャルピー衝撃エネルギーいずれも 190℃よりも 180℃の方が大きかった。高い成形温度による材料の劣化も考慮する必要があることが分かり、自動車内外装部材成形の際の条件決定の参考になった。

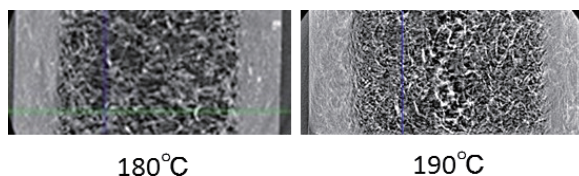


表 2.1-2 変性 CNF/PP 発泡体の機械的特性

発泡温度 [℃]	曲げ弾性率 [GPa]	曲げ強度 [MPa]	シャルピー (2J) [kJ/m ²]
180	1.08	25.2	1.90
190	1.04	24.1	1.76

図 2.1-4 変性 CNF-PP 発泡体の X 線 CT による断面気泡観察

2-2 PA6-CNF の発泡射出成形品の収縮率測定

PA6-CNF の成形収縮率とその経時変化（約 2 ヶ月）を測定した。結果は、図 2.1-5 に示す通り CNF の複合化により MD の収縮率は減少、TD の収縮率は若干増加した（CNF の配向を示唆）。また、コアバック発泡により MD、TD いずれの収縮率も増加（厚み方向に膨張した影響）した。さらに時間経過にともなう吸水率の増加に比例して、成形収縮率が減少することが明らかになった。この結果は、トランクリッド試作品の金型寸法決定の際の参考データとして活用された。

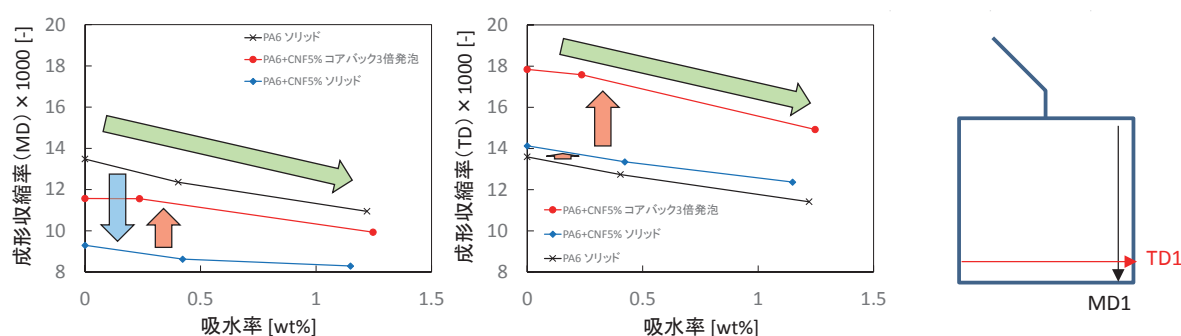


図 2.1-5 PA6-CNF5% 発泡体の吸水率と線熱膨張率の関係
(左：MD 方向，中：TD 方向，右：計測箇所)

3. G3【構造要素モデル評価】における接着試験用射出発泡成形体の供給作と成形試験

PA6 及び PA6-CNF10% の材料について、平板形状の未発泡体及びコアバック 2 倍発泡体を作製した。成形は低圧発泡射出成形機を用いて、射出ノズル温度：250℃、金型温度：80℃、窒素ガス圧力：7MPa で行った。この平板はカットした後、グループ 3 の名古屋工大に提供した。これらは自動車構造部材としての観点から、種々の材料との接着性評価に用いられた。

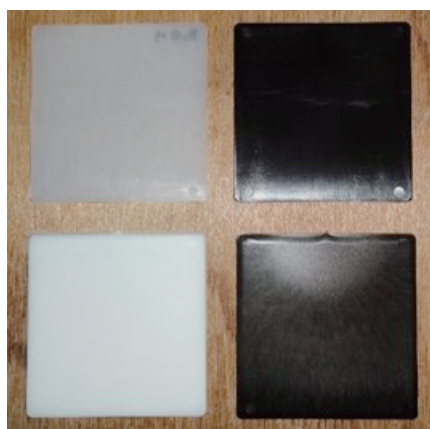


図 2.1-6 成形品外観（上段左より PA6 未発泡体、PA6-CNF10% 未発泡体、
下段左より PA6 コアバック 2 倍発泡体、PA6-CNF10% コアバック 2 倍発泡体）

4. 総括

PA6-CNF について、発泡射出成形条件の最適化、及び各種測定評価を行った。また、グループ 2 各社による CNF 複合材料成形品の評価や、グループ 3 における接着試験用射出発泡成形体の供給を行った。次年度は、京都プロセスをはじめ種々の CNF 材料の発泡成形性を評価し、気泡が微細で、未

発泡体よりも高い比弾性率・比強度が得られる条件を見出す他、グループ 2 各社による CNF 複合材料成形品の評価を引き続き行い各社のコンセプトカー部材の試作にフィードバックを行っていく予定である。

2.2 発泡射出成形法における CNF 材料（ポリアミド系）の成形加工性の評価（ダイキョーニシカワ株式会社）

・ソリッド成形：基礎物性の物性評価を実施し、曲げ特性：CNF の補強効果が高い、衝撃性：CNF を添加すると低下する傾向が分った。

・発泡成形：大型成形機（MuCell 機）で成形した際、スクリュートルクが 100%に達し、計量自体が出来ない現象が発生した。メカニズム・原因究明の検証も含め、本材料の成形工法の確立を行った結果、大型成形機で成形出来る目途が立った。

1. ソリッド成形 基礎物性の評価

1-1. 曲げ弾性率 測定結果

- ・PA6-CNF、PA6-GF について、各フィラーの添加量毎に物性を測定した。その結果、CNF は GF 繊維と比較し物性補強効果が高い傾向となり、等剛性では 12%重量低減が可能となった（予測）。

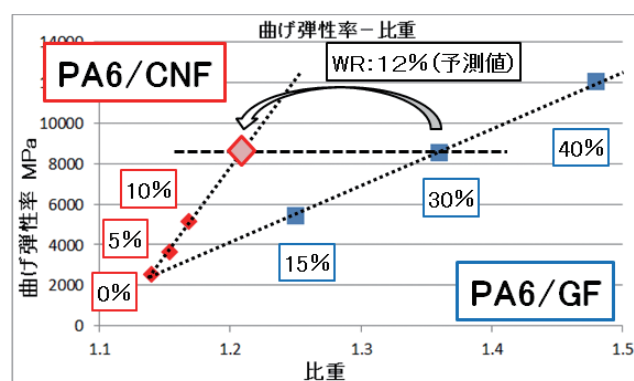


図 2.2-1 曲げ弾性率 比較結果

1-2. 衝撃性（IZOD）測定結果

- ・曲げ弾性と同様に GF 繊維と比較。CNF を添加すると衝撃性が低下する傾向となった。このことについて、原因究明、物性向上が必要と考える。

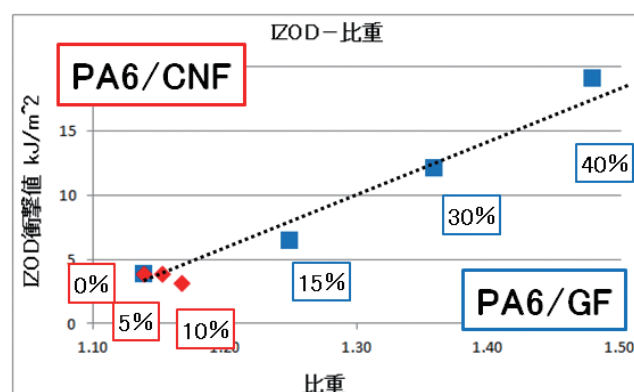


図 2.2-2 衝撃性能 比較結果

2. 発泡成形評価

- ・大型成形機で計量が出来なくなる現象に対し、材料・成形工法の両面で検証を実施した。

2-1：母材 PA6 の低分子量化

- ・溶融粘度を下げる為、母材の PA6 を低分子量に変更し、溶融粘度を測定（図 2.2-3）。粘度が低下しており、本材料を用いて成形検証を行った結果、トルク低減に効果が見られた為（図 2.2-4）、

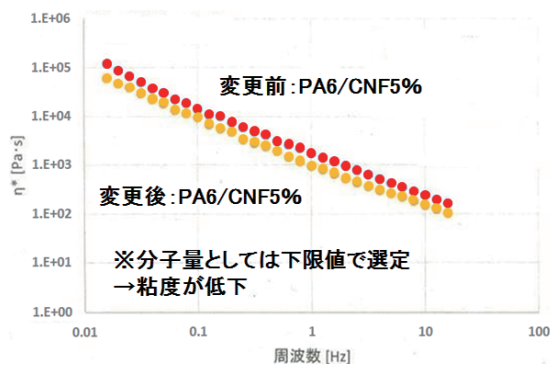


図 2.2-3 母材変更 溶融粘度測定

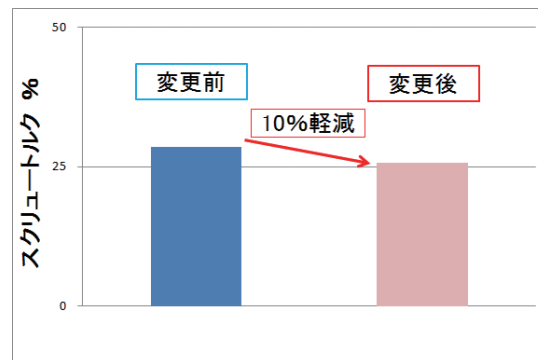


図 2.2-4 成形検証 トルク量比較

2-2：滑材の変更

- 従来使用していた滑材：A 滑材に対し、B 材：樹脂の溶融粘度を低下する効果の有る材料に変更し、成形検証を行った結果、トルク軽減に効果が見られた為、B 滑材を採用した。

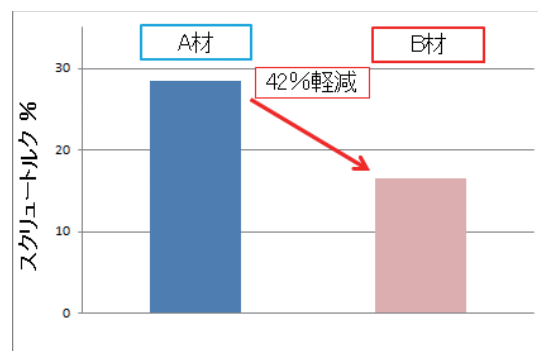


図 2.2-5 成形検証 滑材の変更

2-3：熱分解の影響調査

- 熱分解の残渣が影響していると予測し、熱分解分析を実施。酸素雰囲気下では残渣量が増加する結果となったが（表 2.2-1）、残渣の成分分析手段、残渣の発生を無くす手段が現時点で得られていない為、成形工法での対策として窒素パージを実施した結果（図 2.2-6）、本工法ではトルクの軽減に効果が見られなかったが、トルクへの影響懸念はある為、継続して、残渣分析や残渣削減の対策手段の検討が必要と判断する。

表 2.2-1 熱分析 残渣量

酸素	熱分解 残渣量
無し	2.6%
有り	11.4%

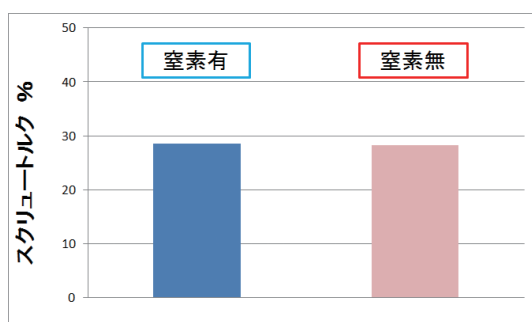


図 2.2-6 成形検証 窒素パージ

2-4：飢餓供給工法の検証

- ・スクリュートルクを低減する手段として、飢餓供給を検証（図 2.2-7）シリンダーへの樹脂供給量を下げると、トルクも低減して行き（図 2.2-8）、本工法も有効な成形手段である事が解った。

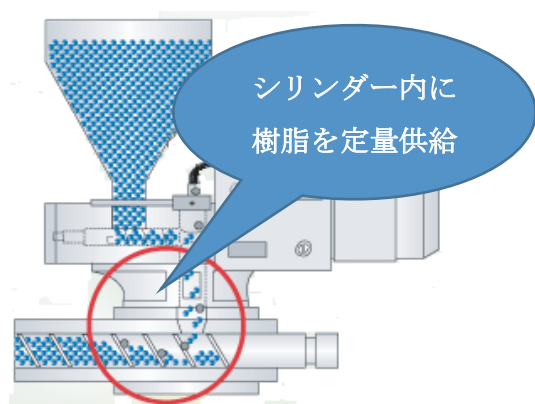


図 2.2-7 飢餓供給設備

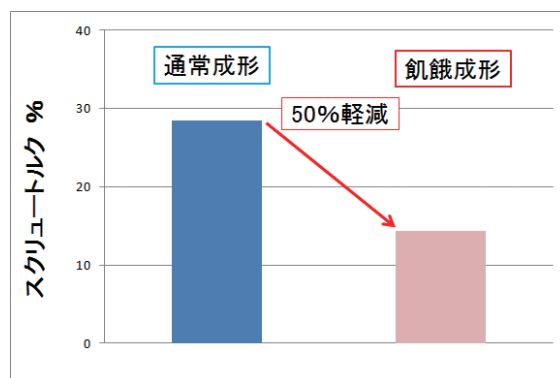


図 2.2-8 飢餓供給設備 検証結果

3. 大型成形機での再検証

- ・これまでの検証で得られた材料処方、成形工法を用いて、再度大型成形機で成形を実施した。
⇒低粘度 PA6、内部滑材の添加。飢餓供給設備の使用。
結果、大型成形機においても連続成形が可能となり、発泡成形サンプルの成形が実施出来た。（図 2.2-9、図 2.2-10）



図 2.2-9 PA6-CNF5%
MuCell 発泡成形品
トランクリッドロー

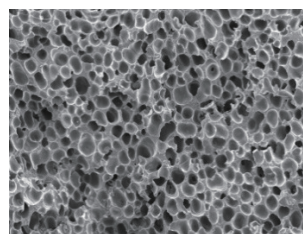


図 2.2-10 発泡断面
2 倍発泡 (t2.2 → t4.4)
発泡セル径：約 70 μ m

4. 今後の予定

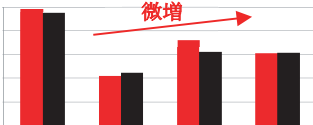
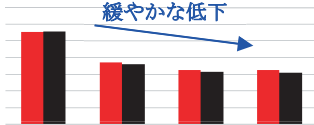
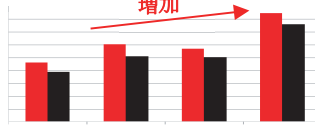
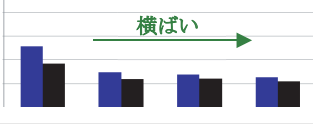
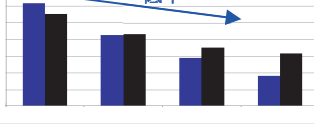
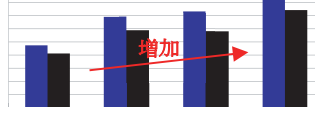
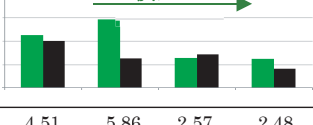
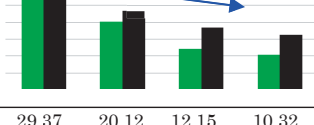
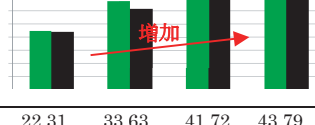
- ・PA6-CNF 材 発泡成形品の物性評価を行う。
- ・PP-CNF 材 ソリッド、発泡成形品の成形性、基礎物性評価、及び製品化検証を行う。

2.3 発泡射出成形法における CNF 材料（ポリプロピレン樹脂系）の成形加工性の評価（株式会社イノアックコーポレーション）

発泡ダンベル金型（平成 28 年度作製）を用い、昨年度に引き続き、基礎物性評価を実施し、完了。初期物性（特に衝撃性）の向上を図る為、ベース PP 樹脂材の選定・基礎物性データの評価を実施。また、製品金型の設計・手配（7 月～12 月）を行い、完成した製品金型を用いて、新たに選定した PP 樹脂を用いて 3D 成形品を作製（12 月）・製品物性評価を行った。

1. テストピースによる基礎データ＜初期 - 熱老化後（135℃×200 時間）＞

車室内の製品に熱が掛かった場合を想定し、テストピースを使用して熱老化後の物性を確認した。初期 - 熱老化後もほぼ同様の傾向を示しているが、CNF を添加すると熱老化後の引張り比強度は初期評価と比べて低下している。今後の製品評価においては、必要に応じて確認していく必要があると考えられる。

試験片タイプ	ダンベル				平板打抜き				平板打抜き			
試験項目	シャルピー衝撃強度 [kJ/m ²]				引張り 比強度 [MPa/(g/cm ³)]				曲げ 比強度 [MPa/(g/cm ³)]			
発泡倍率	Foam 低発泡 → 高発泡				Foam 低発泡 → 高発泡				Foam 低発泡 → 高発泡			
PP												
物性値	9.83 (9.52)	4.17 (4.45)	7.20 (6.20)	6.09 (6.15)	27.60 (27.82)	18.52 (17.98)	16.25 (15.75)	16.30 (15.53)	23.17 (19.50)	30.20 (25.51)	28.53 (25.20)	42.26 (38.02)
CNF 5wt%												
物性値	5.14 (3.69)	2.98 (2.40)	2.78 (2.42)	2.53 (2.19)	30.92 (27.73)	21.35 (21.60)	14.53 (17.64)	9.21 (15.83)	23.69 (20.58)	34.47 (29.37)	36.54 (29.13)	42.82 (37.05)
CNF 10wt%												
物性値	4.51 (4.04)	5.86 (2.53)	2.57 (2.90)	2.48 (1.67)	29.37 (30.38)	20.12 (23.34)	12.15 (18.38)	10.32 (16.20)	22.31 (21.97)	33.63 (30.78)	41.72 (41.91)	43.79 (41.28)

※ 括弧内は初期評価の値

図 2.3-1 初期 - 熱老化後の物性比較

2. PP 樹脂材の選定

従来使用していた PP 材では CNF を添加してもシャルピー衝撃強度が減少していた為、耐衝撃性を有する PP 材（シャルピー衝撃値：45kJ/ m²）をベース材として使用して、シャルピー衝撃強度の向上を検討した。

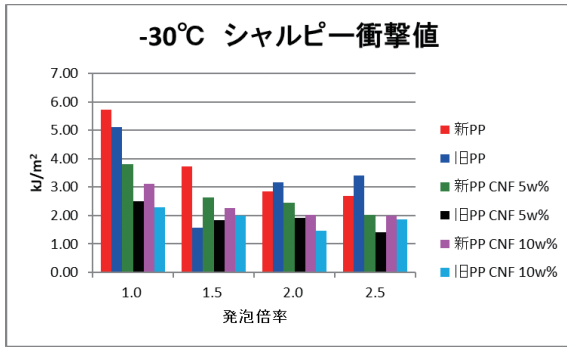


図 2.3-2 新旧 PP 材シャルピー衝撃試験 (−30℃) 結果

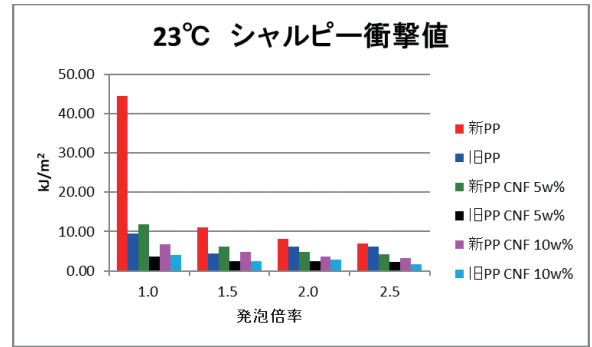


図 2.3-3 新旧 PP 材シャルピー衝撃試験 (23℃) 結果

上記の結果より、いずれの成形条件においても新しく検討した PP 材は従来の PP 材に比べてシャルピー衝撃強度が高くなり、基礎物性が向上したことが確認できた。従って、本 PP を使用して 3D 成形品を作製し、各物性を評価することとした。

3. 3D 成形品の寸法評価

3D 成形品における CNF 添加の影響を確認する為、専用の金型を新しく作製した (図 2.3-4)。また、成形品の寸法を確認する為の治具も新しく作製し (図 2.3-5)、設計サイズとの差を確認した。

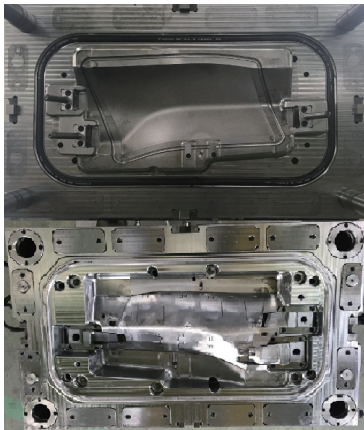


図 2.3-4 金型写真

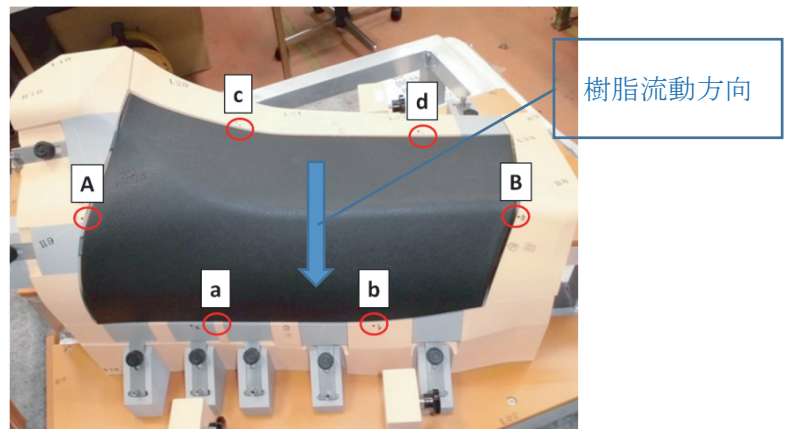


図 2.3-5 寸法確認用の治具

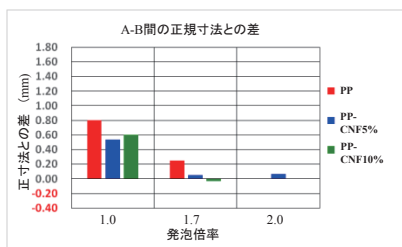


図 2.3-6 A-B 間の寸法測定の結果

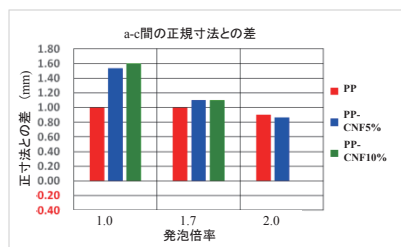


図 2.3-7 a-c 間の寸法測定の結果

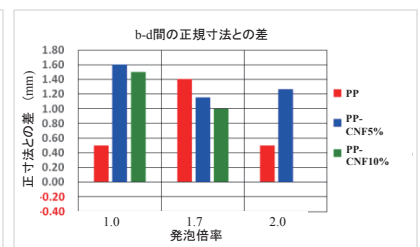


図 2.3-8 b-d 間の寸法測定の結果

※図 2.3-6 ~ 図 2.3-8 は PP-CNF 10w% の発泡倍率 2.0 の測定データなし

CNF を添加することで、成形品の成形収縮特性が異なった。CNF 未添加に比べ、樹脂の流れ方向と直角方向で収縮の挙動が異なっている（図 2.3-4 ～図 2.3-8）。CNF コンパウンド材は配向特性を有し、成型型作製の際には、配向を考慮した型の作製が必要である。

4. 3D 成形品の剛性評価

成形品を固定する為の専用の試験治具（図 2.3-9）を新しく作製して、CNF を添加した成形品の剛性をオートグラフを使用して評価した。

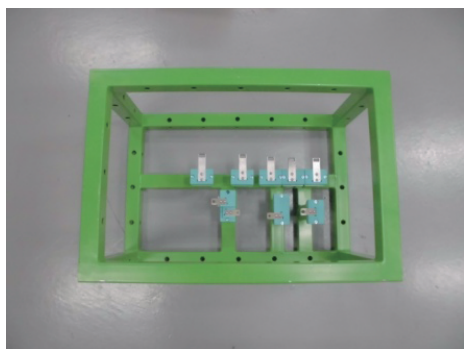


図 2.3-9 成形品固定用の試験治具



図 2.3-10 成形品の測定箇所①と②

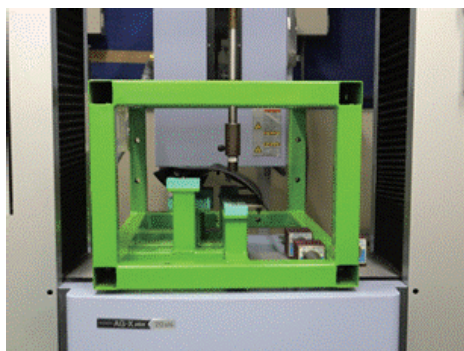


図 2.3-11 オートグラフによる剛性試験

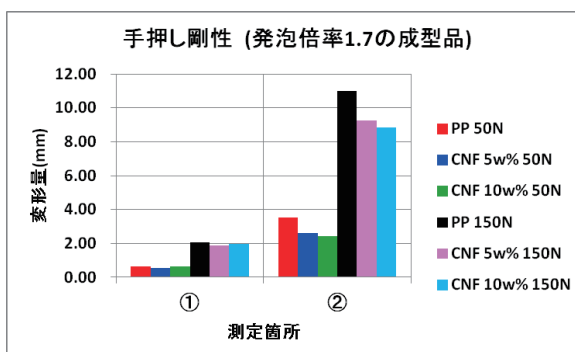


図 2.3-12. オートグラフによる測定結果

測定箇所①は、CNF の添加による影響をほとんど受けていないのに対して、測定箇所②は、CNF の添加に伴い変化量が低減していることが確認された。測定箇所①は成形品の形状要因が大きく寄与し、CNF の影響を確認すること難しい一方、測定箇所②は①より形状剛性が低くストロークが大きい為、CNF の添加による影響を確認できた。

5. 3D 成形品の落錘試験評価

CNF を添加した成形品の衝撃性を落錘試験にて確認した。

図 2.3-13 より CNF の添加による衝撃性への影響は少なく、成形性の影響を確認する為に、引き続き試験後のサンプルの破断面観察を行う。

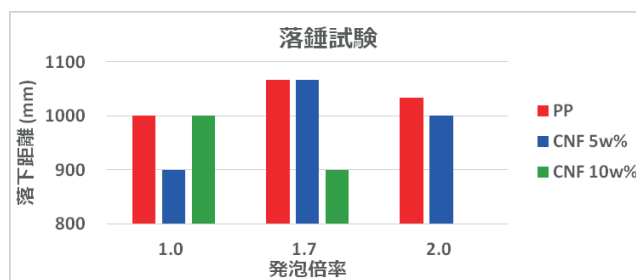


図 2.3-13 落錘試験の結果

※図 2.3-13 において CNF 10w% の発泡倍率 2.0 の測定データなし

6. VOC 試験

CNF を添加した成形品の VOC を評価した。CNF を添加したものからは、アセトアルデヒドが多く検出された。今回検出したアセトアルデヒドは CNF 由来であると考えれるが、今後はアセトアルデヒドがどの過程で発生するのかを特定する必要がある。

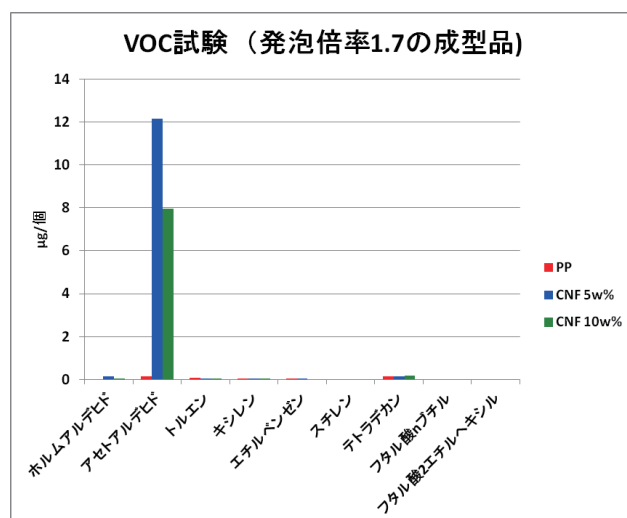


図 2.3-14. VOC 試験の結果

2.4 ブロー成形における CNF 材料の成形加工性の評価（キョーラク株式会社）

平成 28 年度に製作した自動車用トランクボード形状の金型を用いて試作評価を実施しブロー成形における CNF 材料の成形性を確認した。併せて PP に添加する他のフィラーであるタルク、GF のサンプルを作製し CNF との収縮率、剛性を比較した。CNF は吸湿による発泡現象が生じるため、予備乾燥条件を検証した。またリサイクルによる粘性や機械物性変化を確認した。なお、ブロー成形での具体的な自動車部品としてシートバック形状を考案、金型を製作中であり試作を計画している。

1. 平成 28 年度製作設備を用いた試作

平成 28 年度に作成した自動車用トランクボード金型（図 2.4-1、キャビティ長軸方向 1000mm、短軸方向 500mm）を用いてブローグレードの PP に CNF を 10% 添加した材料で試作を実施した。成形において CNF 材は PP 単体と同等の肉厚（薄肉時平均 0.8mm）でもリブ形状によるピンホールの発生はなく成形が出来たため本形状でのブロー成形性は十分であることが確認できた。併せてタルク、GF に関しても同等の比率を添加しサンプルを作製、収縮率および剛性比較した。結果、収縮率は表 2.4-1 に示す値となり、CNF は GF 程大きくないが若干の配向がみられた。

また、荷重試験（温度 23℃、試験速度 50mm/min、ロードセル 25kN、4 点受け）を実施したところ、CNF は PP 単体と比較して荷重 1000N での変位量が 19%減少したが、タルク、GF とは大きな差異がみられなかった（図 2.4-2）。今回は、リブの向きが成形での樹脂の流れ方向に対して直角であるため、フィラー配向の影響があると考えられ今後リブの方向を流れ方向とした形状での評価を計画している。

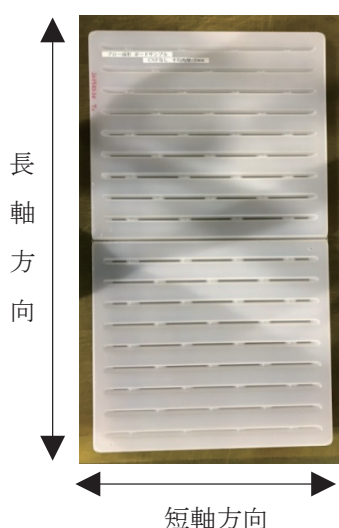


図 2.4-1 試作形状

表 2.4-1 フィラーごとの収縮率

	PP	PP+ タルク 10%	PP+GF10%	PP+CNF10%
MD	14.2/1000	10.8/1000	5.3/1000	10.5/1000
TD	14.9/1000	10.9/1000	13.7/1000	13.7/1000

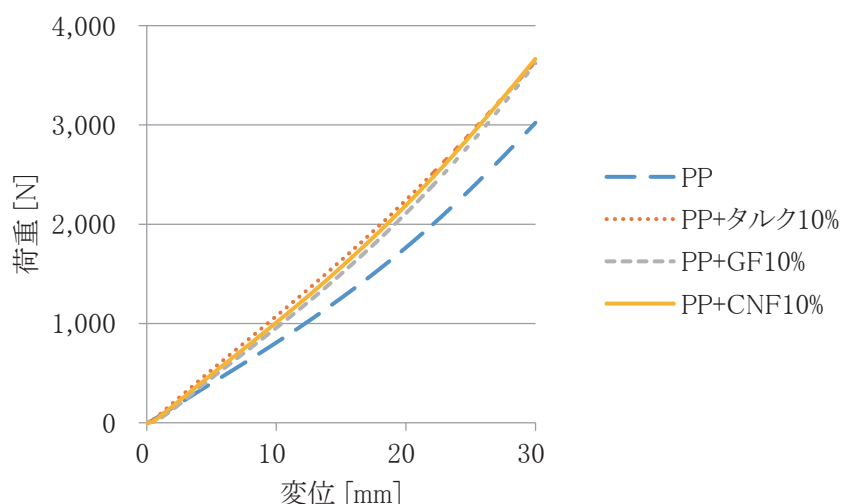


図 2.4-2 荷重試験結果

2. CNF 含有樹脂の成形に適した形状の検討

上記 1 での試作において、CNF 材料は一般の自動車用ブロー成形品で薄肉である平均肉厚 0.8mm で成形が可能であった。本形状のリブ部のブロー比等を一つの基準とし、今後の自動車用部品の設計に反映する。

3. 成形前処理条件の確立

当初は、吸水性が高い PA6 で検討をする予定であったが、PP に CNF を添加して試作した際に CNF の吸湿が原因と思われる発泡現象が見られたため、PP での乾燥条件を優先して検討した。成形前の乾燥時間と水分率との関係を調査すべく、試験条件として CNF MB (CNF 50%) を恒温槽 (40℃、湿度 80%) で 24 時間養生させたのちに 100℃の乾燥機 (熱風乾燥、除湿乾燥) にいれ時間ごとの水分率をカールフッシャー法、温度 200℃で測定した (表 2.4-2)。また、水分率の測定と同時に CNF MB を実際の使用時と同様に CNF10% となるように希釈して小型押出機 (スクリー径 φ 25mm) での押出試験を行い、気泡の有無を確認した。乾燥時間と水分率との関係を図 2.4-3 に示すが、乾燥時間 5 時間後、水分率 0.4% 以下で発泡がみられなくなっており、本結果から PP-CNF 材料に必要な乾燥条件が明らかとなった。

表 2.4-2 試験条件

養生条件	温度 40℃、湿度 80%、24 時間
乾燥条件	温度 100℃
水分率測定温度	200℃

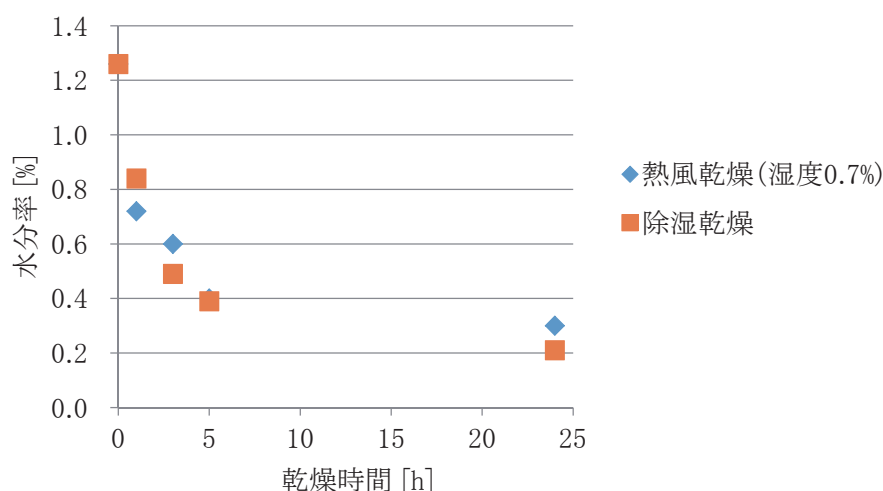


図 2.4-3 乾燥による水分率の変化

4. 具体的ターゲット品の検討・金型製作・試作評価

東京モーターショーに展示するサンプルの具体的なイメージを作るため、プロジェクトメンバーと意見交換を行い、自動車搭載部品としてシートバック形状を考案、金型を製作している。2018 年 3 月中に完成後試作を実施する予定である。



図 2.4-4 シートバック形状

5. CNF ベースレジン原料の検討

CNF 材料での試作においてセルロース由来のにおい、焼けの問題があり京都大学と情報交換した。その結果、上記は成形温度に起因すると考えられ 200℃以下が望ましいとのことであった。

また、ブロー成形は 50% 以上のバリが発生するため、リサイクルによる物性変化を確認すべく、リサイクル回数と MFR、引張弾性率との関係を調査した。今回、小型押出機（スクリー径 φ 25mm）を用いて、温度 200℃で押出したものをリサイクルしている。そのリサイクル材で試験片を作製し、引張試験と MFR（規格：JIS K7210、測定温度 190℃、荷重 2.16kg）の測定を行った。

試験結果を図 2.4-5、図 2.4-6 に示す。CNF は引張弾性率、降伏点強度共にリサイクル後の変化は見られなかった。また、MFR に関しては、無添加の PP に比べ、リサイクルに伴う MFR の変化が小さかった。今回の評価から CNF はリサイクルによる顕著な物性変化は見られないことがわかり、今後実成形にて検証を実施する予定である。

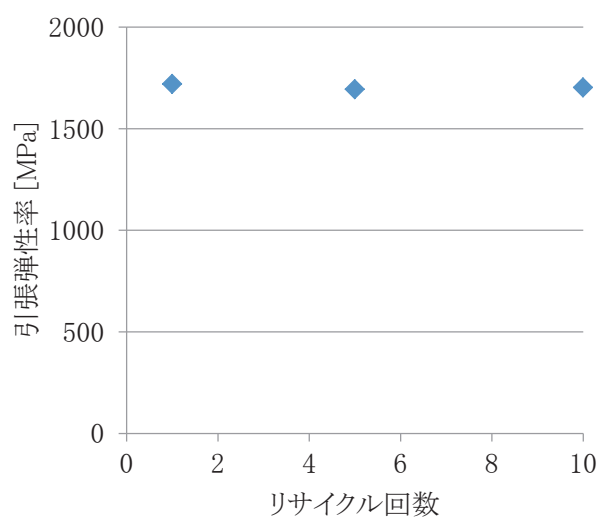


図 2.4-5 リサイクルによる引張弾性率の変化

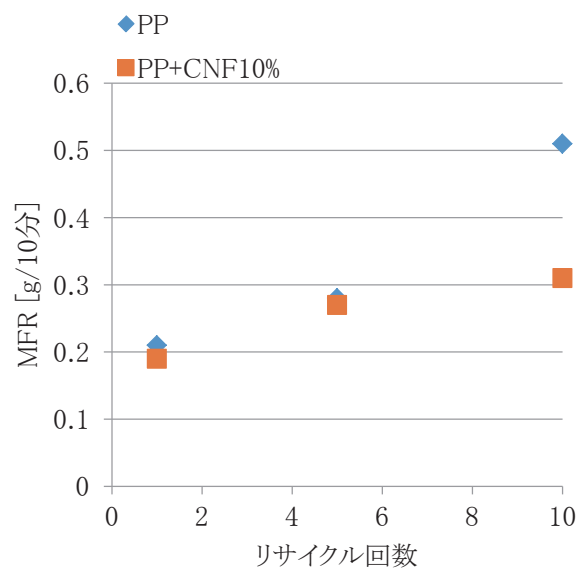


図 2.4-6 リサイクルによる MFR の変化

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）

バッチ発泡の 1 段発泡（15 倍以下の発泡体）・2 段発泡（20 倍以上の発泡体）の配合及び条件を検討し優位性をみつけだすことにより、自動車部品等への応用を検討した。

- ① 現状での混練方法で分散性を評価した。
- ② 混練条件の絞り込みにより分散性の改善を行った後、熱圧縮成形方法での実機生産の可能性を確認した。
- ③ 低密度ポリエチレン（LDPE）、高密度ポリエチレン（HDPE）ベースでの発泡成形体の物性評価を実施した。
- ④ 試作した成形体の垂直入射吸音率を測定し、自動車用内装材としての適用性を検討した。

1. CNF の分散性

2 軸押し出し機の強練りスクリューで、CNF マスターバッチ 10、20、30、50phr 品をテスト。それをベースに配合剤を投入して発泡した結果分散性は特に問題ないと判断した。発泡性においても問題なく狙いの発泡倍率（15 倍程度）に仕上がった。

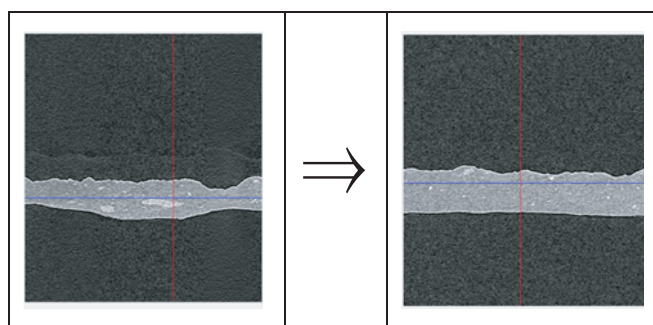


図 2.5-1 CNF マスターバッチ 20phr 混練時の X 線 CT 画像

2. 熱圧縮成形性確認

30 倍発泡の CNF マスターバッチ 20phr 入りのサンプルを作り試作金型を用いて成形した。発泡成形体を試作後、金型で圧縮し熱をかけて形を作り冷却して取り出す方法を用いた。成形異常等の問題はみられず、生産可能と判断した。

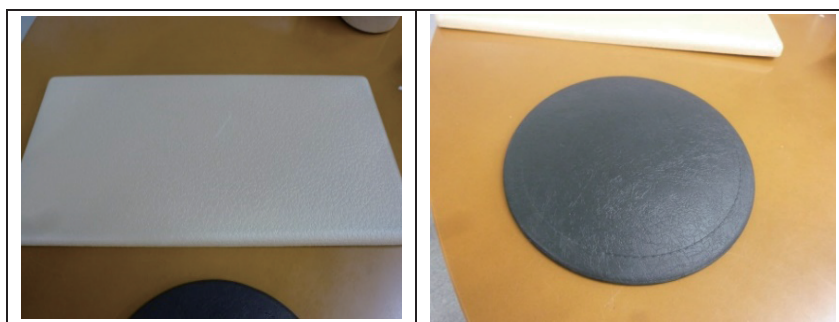


図 2.5-2 熱圧縮成形による試作品

2. 試作品の物性評価

表 2.5-1 1 段発泡のベース樹脂 LDPE・HDPE での物性比較

測定項目	単位	LDPE (CNF0%)	LDPE (CNF8%)	HDPE (CNF0%)	HDPE (CNF8%)
見かけ密度	g/cm ³	0.083	0.085	0.095	0.94
引張強度	MPa	1.15	1.3	1.82	2.08
伸び	%	145	150	130	157
25%圧縮強度	kPa	135	160	393	368
寸法安定性 (100℃)	%	-6.2	-1.0	——	——
寸法安定性 (110℃)	%	-30.4	-4.0	-1.5	-1.0
寸法安定性 (120℃)	%	——	——	-3.4	-2.5

* 寸法安定性については LDPE・HDPE ベースのもので改善が見られる。

樹脂融点以上での耐熱性は期待できない。

LDPE で 116℃・HDPE で 127℃である。但し、圧縮状態は CNF の有無で異なる。

CNF の添加がない場合は架橋していても溶けているような状態である。

* 引張強度については、CNF の添加がある場合、1.1 倍程度の強度向上がみられる。

* その他熱伝導率等の測定も行ったが有り無しの数値で、0.047W/m・K で同じであった。

熱伝導率は発泡倍率によって決定される (30 倍発泡品で 0.033W/m・K である)。

* ガス透過度を測定。CNF の有無で差がある (表 2.5-2 参照)。

気泡内のガスが逃げないので、寸法安定性の改善に繋がっている可能性がある。

表 2.5-2 試作成形品のガス透過度の測定

LDPE	LDPE + CNF (CNF4%)
1.32 × 1.0E-9 cm ³ ・cm/ (cm ² ・s・cmHg)	8.60 × 1.0E-10 cm ³ ・cm/ (cm ² ・s・cmHg)

(窒素ガス、80℃で測定)

* カーボンとの併用で強度アップになる情報からテストした結果、曲げ強度が顕著に上昇した。

表 2.5-3 試作成形品のガス透過度の測定

	単位	No.1	No.2	No.3	No.4
CNF マスターバッチ添加量	phr	0	30	30	30
カーボン量	phr	0	0	5	10
曲げ強度	MPa	5.3	5.6	7.8	10.4

3. 連続気泡成形体の垂直入射吸音率、および音響透過損失の計測結果について

CNF マスターバッチ 10、20、30phr 添加することによる吸音特性の違いを確認した。

JIS A 1405-2 : 2007 に準拠し、垂直入射率・透過損失を測定。

使用機器：日本音響エンジニアリング(株)製 WinZacMTX

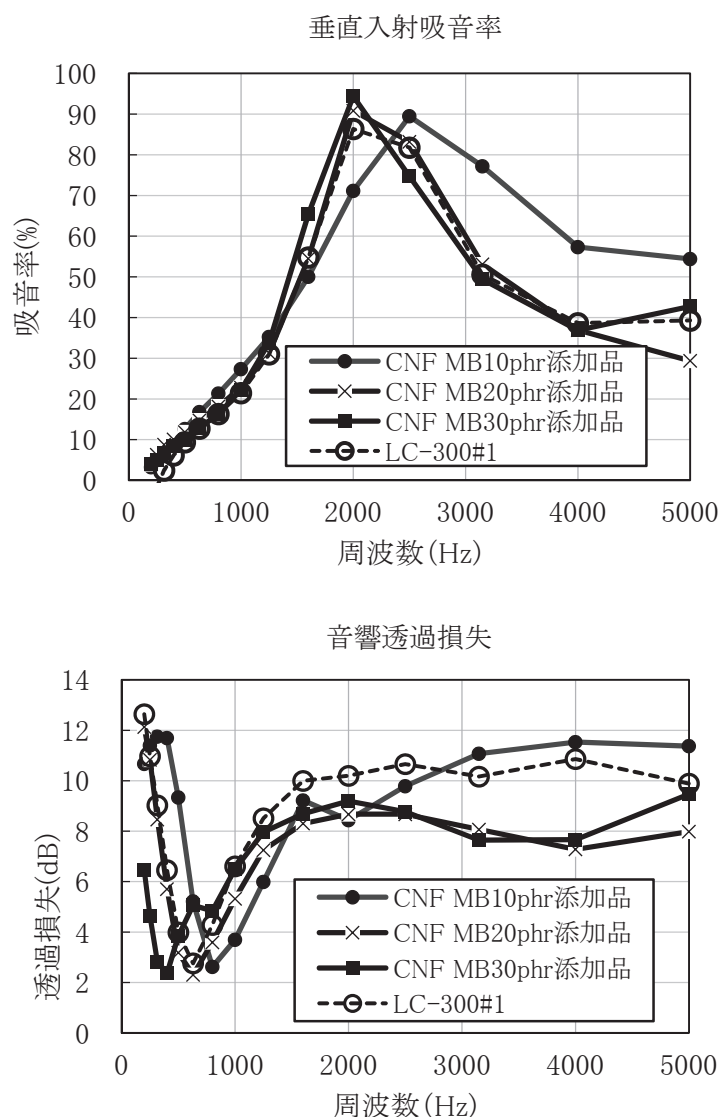


図 2.5-3 連続気泡成形体の垂直入射吸音率（上図）、および音響透過損失（下図）

現状品と CNF 添加品とを比較したが、顕著な差は見られない。今回は高周波数領域用の直径 25mm の音響管を用いて計測したが、今後、500Hz 以下の低周波数領域での有意差を見るため、直径 100mm 程度の音響管を用いて吸音率の計測を行う予定である。また、残響室をもちいて、ランダム入射吸音率の計測も行い、吸音性能のより精度の高い評価を実施する。

成形体の形状的には、練り込みだけではなく表面に CNF を含浸させるサンプルや、膜振動による吸音性能向上を狙って表面を融かして皮を付けるサンプルを試作し、吸音率を測定する。

4. 今後の展開

ゴム系発泡体に CNF を添加し、吸音断熱効果に高い材料の開発を行う予定である。

2.6 加工性シミュレーション（株式会社セイロジャパン）

ポリアミド 6 (PA6) マトリックス材料の CNF5% 材料の粘度・比熱・熱伝導率・PVT 特性等の物性値測定検証を行った。測定した樹脂特性をもとにラゲッジゲートの成形性（充填特性）を確認し、バルブタイミングのコントロールで型締め力の最適化を行った。次に、成形条件を変えてコアバック開始時点での中心温度のばらつきを抑えた条件出しをおこなった。また、PA6-CNF10% 試作品の Mucell 試験片を制作し、発泡状態を CT スキャンで観察、画像処理で発泡径および密度の数値化を行い発泡パラメーターを求めた。PA6-CNF5% の試験片を製作し発泡状態を CT および SEM で観察、画像処理で数値化しコアバック解析の動作テストを行った。PA6 ニート（ベース材）での Mucell 成形でサンプルを製作し、CNF5% の発泡状態比較を行った。以上の評価結果をグループ 2、3 の参画機関に提供することにより、実機を用いた自動車部材成形時の迅速な条件出し、および成形品の高品質化につなげた。

1. CNF 発泡解析 I

(1) 成形材料の材料定数の PA6-CNF5% と 10% の粘度比較

図 2.6-1 に PA6 CNF10%（赤）および CNF5%（青）の粘度曲線を示す。CNF10% は、5% と比べて 中せん断領域以下で粘度が高くなる傾向があり、流動降伏値は大きくなることが測定された。5% は、10% に比べて流動性が良いことが分かった。ラゲッジゲート試作では、CNF5% でテストした。

セイロジャパン H29 年 NCV プロジェクト成果報告書 図

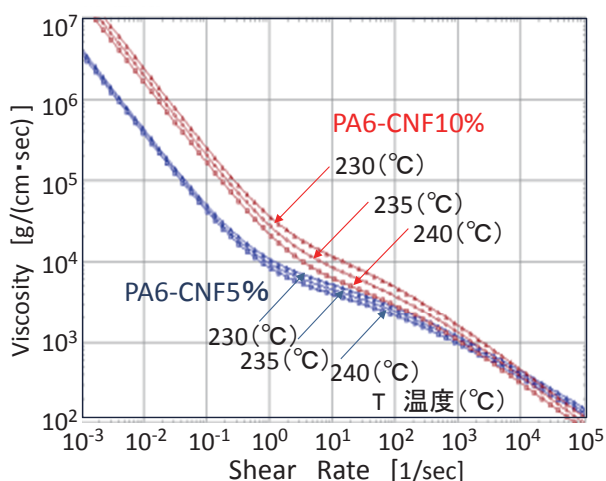


図 2.6-1 粘度曲線

(2) シミュレーション（ラゲッジゲートの充填時の型締め最適化）

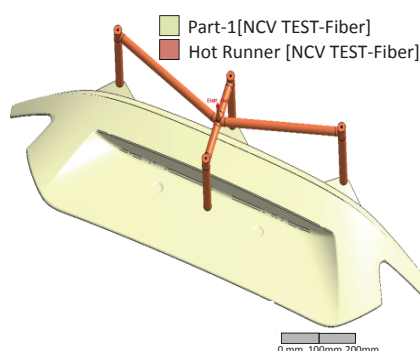


図 2.6-2 解析モデル

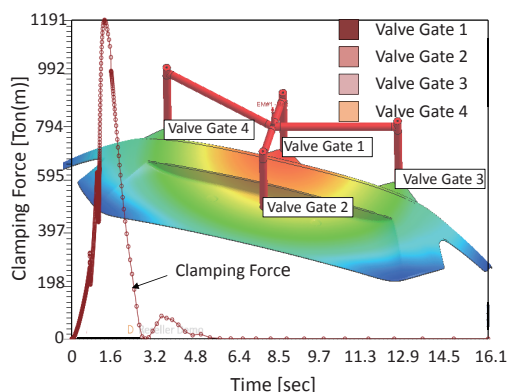


図 2.6-3 解析結果 型締め力

PA6-CNF5% の材料での充填解析を図 2.6-2 のモデルで行い、ウエルドおよび型締め力が成形機仕様の 1300ton 以下になるように最適化をおこなった。バルブタイミングおよび保圧圧力の最適化で 1190 トンの型締め力で成形ができる条件を検証した（図 2.6-3 参照）。

(3) シミュレーション（ラゲッジゲート コアバック開始時の温度最適化）

Mucell 成形部品ラゲッジゲート解析（ダイキョーニシカワ㈱担当部品）比較

- ①射出時間 1s 保圧 0.5s 40Mpa バルブタイミング制御 樹脂温度 250 度
- ②射出時間 2s 保圧 0.5s 40Mpa バルブタイミング制御 樹脂温度 250 度（No.7）
- ③射出時間 3s 保圧 0.5s 40Mpa バルブタイミング制御 樹脂温度 250 度（No.8）
- ④射出時間 2s 保圧 0.5s 40Mpa VG1 のみの充填 樹脂温度 250 度（No.9）
- ⑤射出時間 2s 保圧 0.5s 40Mpa VG2 のみの充填 樹脂温度 250 度（No.10）
- ⑥射出時間 2s 保圧 0.5s 40Mpa バルブタイミング制御 樹脂温度 260 度（No.11）

保圧終了時の中心温度分布と固化比率を比較検討

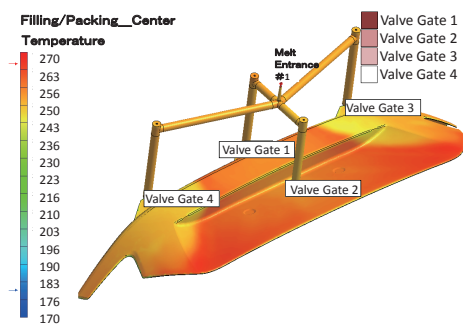


図 2.6-4 コアバック開始時中心温度

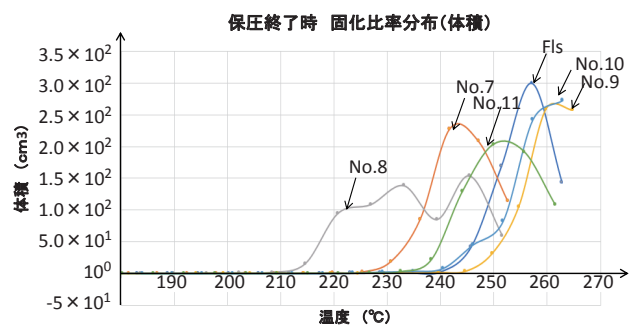


図 2.6-5 中心温度分布曲線

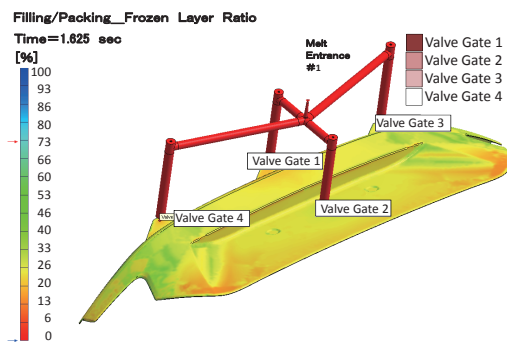


図 2.6-6 コアバック開始時固化比率分布

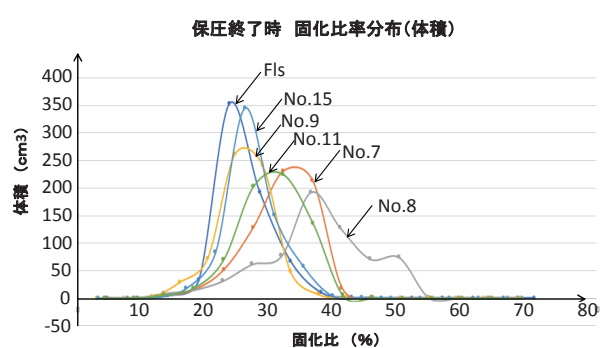


図 2.6-7 固化比率分布曲線

図 2.6-5 から③ No.8 充填 3 秒は、中心温度分布がばらつきが大きく安定しないと考えられる。④⑤一点充填は、せん断発熱で中心温度が高くなり発泡セルが大きくなる可能性大。② No.7 は温度ばらつきが小さく発泡の均質化に良いと判断される。図 2.6-7 から③ No.8 充填 3 秒は、固化比率分布がばらつき発泡が安定しない。② No.7 は固化層がばらつきが少なく平均 30%程度でコアバック時表面品質が良いと判断される。以上の解析結果から②（No.7）の成形条件を推奨した。

(4) 発泡パラメータの最適化

解析パラメータ

樹脂：PA6-CNF10%

形状：JIS A1 ダンベル形引張試

験片（図 2.6-8）

測定位置：中央部

ガス：N2 0.3%

発泡率 6%～15%

発泡剤：N2

【成形条件】

シリンダー温度 225℃

金型温度 70℃

射出速度 100 mm /s

軽量化率 6%、10%、15%

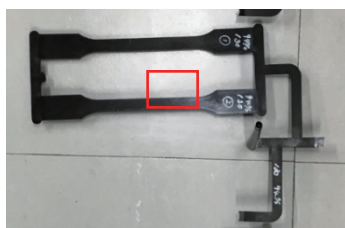


図 2.6-8 ダンベル試験片観察位置

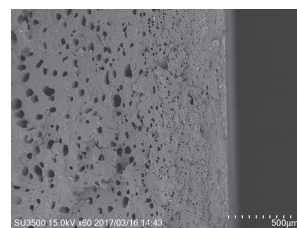


図 2.6-9 SEM 画像

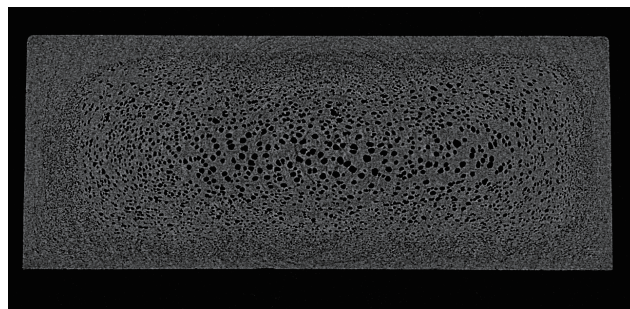


図 2-6-10 CT スキャン画像

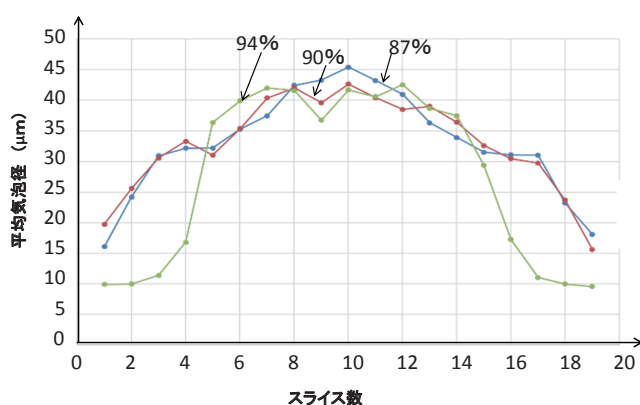


図 2.6-11 CT 観測 気泡径分布

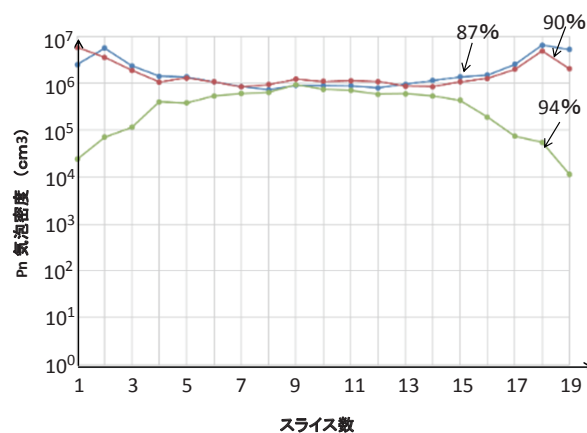


図 2.6-12 気泡密度分布

CT 画像（図 2.6-10）から発泡セルの肉厚方向の気泡径（図 2.6-11）と密度分布（図 2.6-12）を画像解析で求めた。平均径 40 μm 以下で発泡していることが観察された。PA6CNF10% 材は、発泡に適していると判断される。CT での画像気泡解析解像度が 10 μm なので SEM での確認画像を図 2.6-9 に示す。

(5) 樹脂流動解析ソフトでの解析結果

Moldex3D R15 でダンベル試験片（図 2.6-8）を最適化解析した結果を図 2.6-13 および図 2.6-14 に示す。

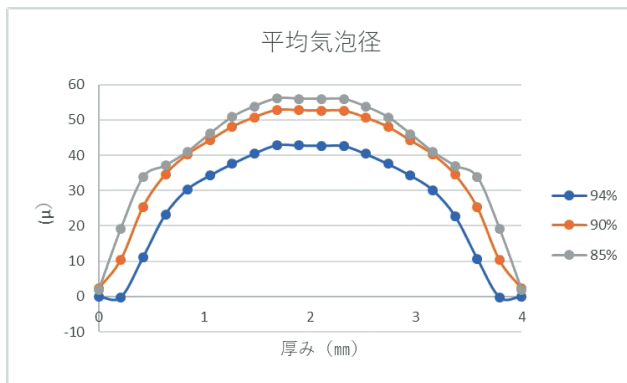


図 2.6-13 平均気泡径分布解析結果

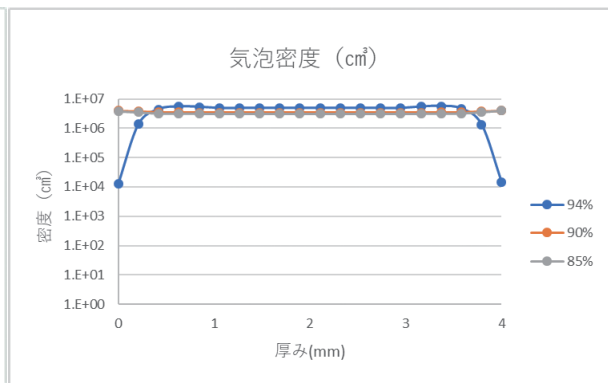


図 2.6-14 気泡密度分布解析結果

2. まとめ

パラメータの最適化により発泡解析の気泡径および密度を予測することができ、事前検証に利用することで生産性の向上に寄与することができる準備ができました。今後の課題としては、コアバック成形へのさらなる対応が必要で、気泡の偏心に対応した画像処理（3D 化）および、解析ソフトのパラメータの最適化が必要と考えられ、次年度はその課題の解決を行うことを計画している。

2.7 加飾性評価（マクセル株式会社）

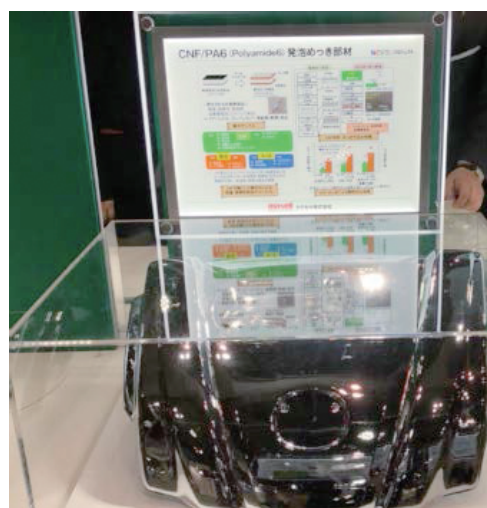
平成 28 年度は CNF の金属イオンの吸着効果を利用した、環境負荷の大きいエッチングを不要とする“パラジウム（Pd）イオンめっき”により、PA6-CNF の機械強度が大きく向上することを明らかにした。本年度は、めっき前処理の改善により大型部品（PA6-CNF エンジンカバー）へのめっきプロセスを確立するとともに、シャルピー衝撃強度に加え面衝撃強度も向上することを見出した。従来の PC/ABS めっき部品では衝撃強度が低下する課題があるため、PA6-CNF めっき部品はフロントグリル等、自動車の安全に影響する部品に適用できる可能性があるかと推定される。また本めっきプロセスは CNF パネル（1.2 CNF パネルの作製及び評価、利昌工業（株）担当）に適用可能なことを明らかにした。

1. PA6-CNF 大型めっき部品対応の検討

一般的な自動車の大型めっきラインでは、浴槽の温度や反応性の均一性を維持するため、液循環やエアバブリングをはげしく行う。Pd イオンめっきで同様な液攪拌を行うとめっきに反応むらが生じた。要因として CNF の最表面濃度および Pd の吸着力が弱いと推定された。対策として、Pd の吸着力を高める前処理液を開発し、液循環時のめっき反応むらを改善した。対策しためっきプロセスおよび前処理液を用いた実証試験をパイロットライン（浴槽 200L）にて行った。その結果、エンジンカバーの発泡成形品に自動車の意匠めっきを成膜、歩留り（4/4OK）およびつきまわり性が良好にめっき可能なことを実証した（図 2.7-1、ダイキョーニシカワ（株）作製の発泡成形品）。成形品のバリ取り部や発泡成形によるブリスター部以外におけるめっき被膜の不良は見られず、密着強度も良好であった。



(a) 200L ラインでのめっき試作
（電解銅めっき後）



(b) エコプロ 2017 でのサンプル展示

図 2.7-1 PA6-CNF エンジンカバーめっき品

2. PA6-CNF めっき部品の面衝撃強度向上の実証

デュポン衝撃試験により面衝撃強度の発泡成形/めっきによる影響を調べた結果を図 2.7-2 に示す。破壊エネルギーはサンプルが 50% 破壊 ($n = 20$) される荷重と落下高さにより求められる。図 2.7-2 に示す通り、コアバック 2 倍発泡およびめっきにより面衝撃強度が向上した。衝撃吸収はめっきよりも発泡による効果が高いと思われる。そのため、発泡めっき部品はめっきがボトルネックとなり、めっき部品同等になったと考えられる。試験後の 8cm 角のサンプル外観を図 2.7-3 に示す。ソリッド成形品はクラックが入るが、発泡、めっき品ともに凹みが生じるのみであった。発泡品は内部の発泡層にて、めっき品は表層のめっき界面にて衝撃を吸収するものとされる。

次に、従来の PC/ABS めっき品との衝撃強度の比較を行った結果を図 2.7-4 に示す。PC/ABS は CNF 有無ともにエッチングを従来法にて行い、触媒付与は Pd イオン法にてめっき膜を形成した。PC/ABS は CNF 混合品においてもめっき膜形成により衝撃強度が低下した。

これら結果より、PA6-CNF のみ、めっきにより衝撃強度が向上した原因はめっき/樹脂界面の影響と推定される。

図 2.7-5 (b, c) の模式図および断面 SEM 像に示す通り、PA6-CNF はめっき粒子が樹脂内部に浸透したコンポジット層を有する。この層が衝撃吸収機能を有すると考えられる。一方、PC/ABS はブタジエン成分の抽出により形成された凹凸上にめっきが析出した界面となる (図 2.7-5 (a))。CNF 混合樹脂もめっき液が浸透しにくいため、界面の状態は変わらないと推定される。これらメカニズム解明および材料の横展開は、平成 30 年度も継続して実施していく予

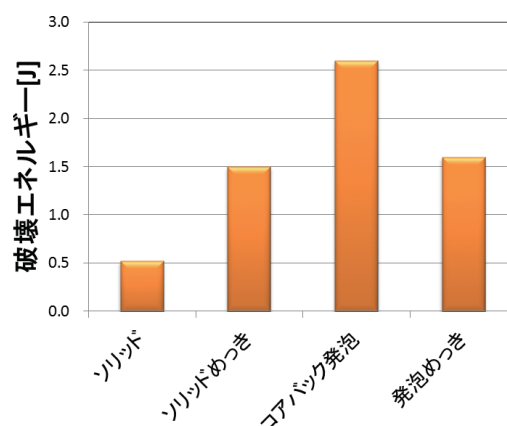


図 2.7-2 デュポン式面衝撃試験結果
基材/ニッケルリン (NiP): $1 \mu\text{m}$ /銅 $20 \mu\text{m}$ /
ニッケル (Ni): $10 \mu\text{m}$ (以下も同様な膜構成)

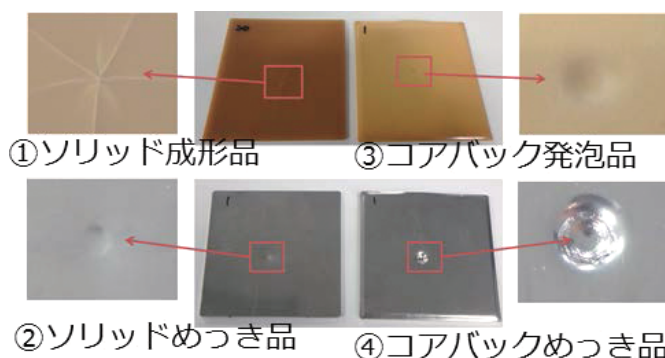


図 2.7-3 衝撃試験サンプル

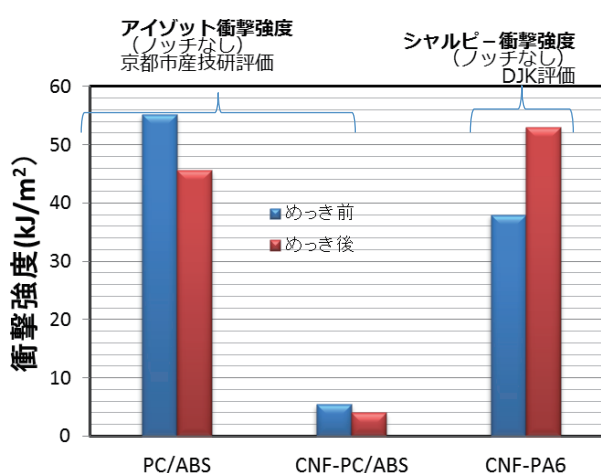


図 2.7-4 衝撃強度結果
(ダンベル試験片)

定である。



図 2.7-5 めっき / 樹脂界面の模式図、SEM 像

3. PA6-CNF の発泡めっき部品の軽量化効果

各部材における曲げ弾性率を図 2.7-6 に示す。PA6-CNF のめっき品は従来の ABS めっき品に対して約 2 倍の剛性を有する。また、1.5 倍コアバック発泡品（比重 33% 減）は従来の ABS めっき部品と同等の曲げ弾性率であり、20%程度軽量化できることが推察された。

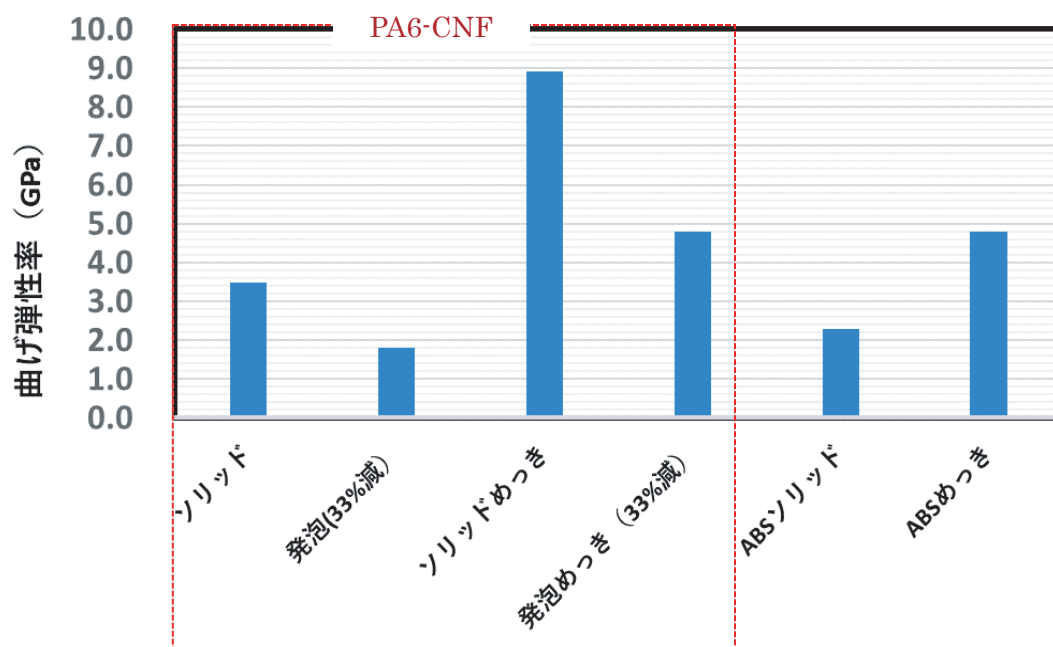


図 2.7-6 各部材の曲げ弾性率（ダンベル試験片）

4. CNF パネルへのめっき

利昌工業株式会社が作製した CNF パネルへの Pd イオンめっきによるめっき試作を検討した。前述した前処理を行うことにより、剥離しないめっき膜の形成が可能となった。フェノールを混合したほうが、めっき反応性は低下するが密着強度が高まることがわかった。フェノール混合により CNF の触媒吸着効果は低下するが、過度な吸水が抑制されるためと推定される。曲げ試験の結果（利昌工業株式会社評価）を図 2.7-7 に示すが、CNF のプレートに仕上げめっきを行ったサンプルは、強度、弾性率ともに大きく向上した。また、表面を研磨したほうが、めっき反応性、曲げ強度および弾性率ともに高くなった。利昌工業株式会社の見解では、表面をフェノールが覆うため、研磨により最表面が適度な CNF 濃度になるためと考えられる。

CNF パネルへのめっきによる吸水抑制や強度向上の最適化および大型部品への対応等はプロジェクト全体の状況により、利昌工業株式会社と連携し継続検討する。

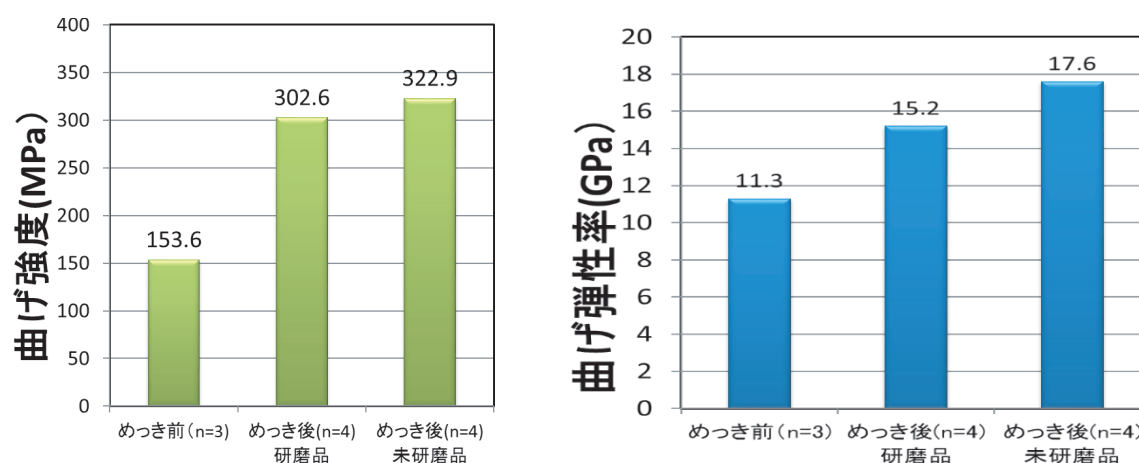


図 2.7-7 CNF パネルめっき品の曲げ試験結果
フェノール樹脂 20%-CNF:80%混合板 板厚 1mm
・めっき厚 : Cu20 μ m/Ni10 μ m
・試験は JIS-K6911 に準拠 支点間距離 : 厚みの 16 倍

第3章 CNF 構造要素モデルの試作と性能評価

3.1 CNF 材料の接着・接合評価（名古屋工業大学）

構造部材用ハニカムサンドイッチボードの設計については、先ず CNF ペーパー自体の強度測定を行い、パイプ用、ボード用、紙コア用に適した CNF ペーパーの選定を行った。次に、丸パイプと六角パイプの接着強度の比較試験を行い、六角パイプの方が 3 ～ 4 倍接着力が高くなることを見出した。さらに、構造部材用ハニカムサンドイッチボード作製のための接着剤の選定を行い、ボードとパイプの接着には H 社製のシート状 1 液エポキシ系接着剤が優れていることを見出した。以上の結果、ハニカムボード作製に必要な接着剤の選定はほぼ完了した。

CNF ペーパーを接着剤で貼り合わせる事によって、曲げ強度がアルミ並みの 230MPa もある CNF ペーパーボードが作製できることを見出した。CNF ペーパーボードは、水浸漬等で強度低下が起こるが、表面にアルミ箔を貼り合わせる事で、水の影響をほとんど受けない様にできることも明らかにした。しかし、一方 CNF ペーパーボードの欠点として板面方向への接着せん断強度が著しく弱いことも判明し、今後車のボディー外板等に使用するためには、この欠点の改良が必要であることも分かった。

構造用 CNF パイプの設計として、金属パイプとの複合化を検討した。アルミパイプに CNF ペーパーを接着剤を塗布して巻くことで、アルミ /CNF ペーパー複合パイプが簡単に作製できる。得られた、丸棒パイプはアルミより軽く、曲げ強度の強いパイプができる可能性があることが分かった。他の金属パイプについても、同じような結果が得られた。アルミパイプに、CNF ペーパーを巻きつけたアルミ /CNF ペーパー複合パイプで、車の骨格構造の一部を造れる可能性が見出せた。

トランクリッド作製の接着剤の選定を行い、トランクリッドに使われる、ナイロン 6、CNF 板、CFRP のいずれも接着するためにウレタン系のプライマーを塗布することで一定の接着強度が得られ、組み立てに必要な接着剤の選定ができた。

1. 構造部材用ハニカムサンドイッチボードの設計

CNF 含有紙（以後 CNF ペーパーと呼ぶ）は抄紙段階で CNF の一部が抄紙方向に配向するため、引っ張る方向によって強度が異なる。表 3.1-1 に各種 CNF ペーパーの引っ張りせん断強度の結果を示す。この結果より、パイプに巻く CNF ペーパーとしては、薄くて強度がある N 社 25 μ の CNF ペーパーが、何枚も重ねて貼る。CNF ペーパーボードや、サンドイッチパネルの紙コア用には、紙厚の厚い N 社 60 μ の CNF ペーパーが適していることが分かった。

表 3.1-1 CNF 紙の引張せん断強度

CNFペーパーの種類	破断強度(MPa)		
	抄紙方向(MD)	垂直方向(TD)	紙面に垂直方向
N社10 μ	60	38	—
N社25 μ	103	51	12
N社30 μ	105	61	11
N社40 μ	111	58	13
N社60 μ A	111	30	9
N社60 μ B	112	33	11
N社80 μ	80	26	11
O社40 μ	53	22	13
コピー紙90 μ	43	22	21

次に、ハニカムコアの形状について検討した。これまでは、丸い筒状のコアで有った。これだとパイプ同士の接着面積が小さく、コア同士の接着強度が弱く、コアの曲げ強度が上がらない恐れがある。そこで、六角形のパイプを昭和プロダクツ㈱に作製して頂き、その接着強度（表 3.1-2）を測定した。面積当たりの接着強度は接着剤の種類によって多少変わるが、丸パイプと六角パイプとの差はほとんど見られない。しかし、接着力は2倍から4倍と丸パイプに比べ明らかに六角形のパイプの方が高い値を示している。これは、明らかに接着面積が丸パイプに比べ六角形のパイプの方が大きいことによるものである。この結果から、ハニカムコアの形状は六角形にするのが望ましい。しかし、実際に六角パイプの作製が難しいことを考えると、CNF パイプが容易に変形する程度の巻き数にとどめ、パイプが変形してパイプ同士の接着面積ができるだけ大きくできるような設計が好ましいと考えられる。究極は、CNF ペーパー 1 枚でコアを作る紙コアがボードを軽くできる可能性がある。紙コアによる CNF ハニカムボードの作製は、コア用の CNF ペーパーを紹介して利昌工業㈱に依頼した。

表 3.1-2 CNF パイプ同士の接着試験

接着剤		CNF丸パイプ			CNF六角パイプ		
		接着力(N)	接着強度(MPa)	破壊状態	接着力(N)	接着強度(MPa)	破壊状態
A社	熱硬化EP	96	2.0	CF	204	1.7	CF
B社	熱硬化EP	77	1.6	CF	192	1.6	材破
A社	2液EP	58	1.2	CF	144	1.2	AF
C社	2液EP	67	1.4	CF	216	1.8	CF
D社	2液EP	67	1.4	CF	300	2.5	材破
G社	酢ビ系	144	3.0	CF	312	2.6	CF

CF:接着剤の凝集破壊 材破:CNFパイプの材料破壊 AF:接着界面での界面破壊

2. CNF ボードの接着性能評価

CNF と CNF パイプ用接着剤は、昨年に引きつづき探査を進めた。トヨタテクノクラフト株式会社から紹介を受けた H 社製シート状エポキシ系接着剤について接着強度試験を実施した。このシート状接着剤は、

樹脂製網に接着剤を含浸させシート状にした接着剤で、CNF 板に貼ると接着剤によって CNF 板が強化され、せん断力が板全体に分散され接着強度が高まることが分かった。これまでの、エポキシ系接着剤では CNF パイプと板の接着強度は最高で 5.5MPa であったが、この H 社製シート状接着剤を用いると 7.8MPa とこれまでで一番高い強度となることが分かった。

3. 構造用 CNF パイプ用接着剤の選定

構造用 CNF パイプを実現するには、まず CNF ペーパーを貼り合わせて十分な強度が出る接着剤が必要である。これまでのパイプ用に検討した接着剤の中で接着強度の割合良かった、1 液熱硬化エポキシ系と、2 液室温硬化エポキシ系を選んで CNF ペーパーを何枚も重ねて貼り合わせ、CNF ペーパーボードを作製しその曲げ強度を測定した。いずれの接着剤でもアルミ並みの 200MPa 以上の曲げ強度の CNF ペーパーボードが作製できた。実用性を考えると、抄紙方向に平行と垂直とを交互に貼り合わせる事になり、その強度は両者の中間程度の 150 ～ 180MPa になると考えられる。今後、そのような試験も行う予定である。

CNF ペーパーボードの欠点の一つは吸湿により著しく強度が低下する事である。例えば、CNF ペーパーボードを水に 3 日浸漬しておくと、曲げ強度は乾燥状態の 7%程度にまで低下する。これについては、アルミ箔などを貼り合わせる事によって防止できることが分かった。もう一つの欠点として、板面方向に引っ張ると、1MPa 程度の弱い力で、ペーパー間の層間剥離が起こる事である。これについては、車のボディー等の外板に使用するためには改良が是非必要である。

先に選定した接着剤で 2 液室温硬化型エポキシ系接着剤を用いて、金属パイプとの複合化による構造用パイプの可能性を検討した。

表 3.1-3 アルミ /CNF ペーパー角パイプの曲げ試験結果

		アルミ 単独	アルミ/CNFペーパー複合パイプ				
			N社25 μ			N社40 μ	N社60 μ
内 径	mm	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
外 径	mm	10.0	12.3	14.6	16.5	12.6	12.7
曲げ強度	N	1,060	1,680	2,470	3,260	1,670	1,520
曲げ応力	MPa	266	169	130	116	150	135
曲げ弾性率	GPa	38.9	13.3	4.9	3.0	10.8	7.5

測定条件:3点曲げ スピード:5mm/min 支点間距離:80mm 曲げ弾性率:10～100N

使用する CNF ペーパーは、腰の弱い薄いペーパーが適している。巻いたときにペーパー間での隙間ができていくことから、強度低下が少ないことが分かった。アルミに CNF ペーパーを巻けば巻くほど曲げ強度は向上する。ただし、管が肉厚になる分曲げ応力は低下するが、紙を巻く方が軽量化できることから、金属に CNF ペーパーを巻いた複合パイプは、自動車の一部の構造部材として使用できる可能性が有るものと考えられる。この様な異種材料の複合化で心配される、熱膨張率の違いが顕著に現れるヒートショック等での強度低下が懸念されたが、-40℃→80℃のヒートショックを 50 サイクルかけたが強度低下は見られなかった。アルミパイプだけでなく、ステンレスパイプ、真鍮、鋼、真鍮などの金属パイプでも同様の結果が得られた。

4. CNF 部材の接着・接合方法の選定

トランクリット組み立てのための接着剤の選定を行った。予備試験段階で、ナイロン 6 (PA6) に良く付く接着剤が見つからず、プライマー処理を検討した。その結果、自動車塗膜用に使用されるウレタン系プライマーで効果があることがわかった。プライマーの乾燥時間を検討した結果、プライマー塗布後 2 時間で接着剤を塗って貼り合わせることで安定した結着強度が得られることが分かった。その結果を表 3.1-4 に示す。接着・接合設計として、いずれの接着剤でも良いが、ギャップを 2mm 取ることから、E 社ウレタン系接着剤で接合できるよう接着面積等を計算する必要がある。

表 3.1-4 トランクリット用接着剤選定試験結果

接着剤	被着体	せん断接着強度 (MPa)	破壊状態
A社 2液エポキシ系 接着厚み<0.1mm	CNF板/CNF10%発泡PA6	4.4	発泡PA6材破
	CNF板/CNF10%未発泡PA6	6.1	未発泡PA6材破
	CNF板/発泡PA6	3.5	CF/AFP6
	CNF板/未発泡PA6	4.3	CF/AFP6
	CNF板/CFRP	9.6	CNF板材破
	CFRP/CNF10%発泡PA6	4.6	発泡PA6材破
	CFRP/CNF10%未発泡PA6	9.3	未発泡PA6材破
	CFRP/発泡PA6	5.6	発泡PA6材破
	CFRP/未発泡PA6	5.9	CF
E社 1液ウレタン系 接着厚み=2mm	CNF板/CNF10%発泡PA6	3.0	発泡PA6材破
	CNF板/CNF10%未発泡PA6	4.0	CF
	CNF板/発泡PA6	3.0	発泡CNF材破/CF
	CNF板/未発泡PA6	4.0	CF
	CNF板/CFRP	4.3	CF
	CFRP/CNF10%発泡PA6	3.3	発泡PA6材破
	CFRP/CNF10%未発泡PA6	4.1	CF
	CFRP/発泡PA6	3.9	CF
	CFRP/未発泡PA6	4.2	CF

①何れの被着体にもプライマーを塗布し、2時間養生した後に接着剤を塗布して固定した。A社接着剤は25℃2日、E社接着剤は25℃5日養生しせん断試験を行った。

②CF:接着剤の凝集破壊 材破:材料破壊

3.2 CNF 材料の構成と構造の最適化（秋田県立大学）

昨年度に引き続き、CNF 材料のうち、特に構造部の要素材料となる中空 CNF パイプについて、力学性能を向上させるための材料構造の考案および圧縮・接着法などの成形技術について提言・評価を行った。また、CNF スラリー材料の 3 次元成形技術に関わる圧縮法などの基礎的技術の提言を行い、雌型成形による基礎的な 3D 成形技術の構築に成功した。

1. CNF パイプの評価および成形技術の改善

CNF パイプ成形に利用可能な水系接着剤として、木材接着に一般的に使われているレゾールタイプの水溶性アルカリフェノール・ホルムアルデヒド樹脂接着剤（以下、「PF」とする）を選定し、その利用技術の開発を行った。

PF 利用の基礎的知見として、十分な接着性能を得るために必要な接着剤添加量（CNFP 重量あたりの固形分含浸量）を明らかにする目的で、CNF ペーパー（以下、「CNFP」とする）を PF で接着した平板積層材の成形実験を行った。その結果、接着剤含浸量は PF の希釈率によって制御できること、1MPa 程度の圧縮圧力の下では、PF の含浸量が CNFP 重量の 15%以上とすれば欠膠のない接着層が得られること、圧縮圧力を 5MPa 程度まで高めれば、PF の硬化特性を利用し前乾燥をした乾式成形法でも成形が可能であること、CNFP の配向性を高めることで CNF 積層材の性能向上が期待できることなどを明らかにした。

CNFP を積層接着する材料では、特に層間の接合性能を得ることが困難であることから、PF が水系の接着剤であることを利用し、PF を塗布する際の接着前処理技術、すなわち接着界面となる CNFP の表面を湿式にて微小に荒らして層間の接着性を向上させる技術を考案した。また、CNF パイプの積層接着工程について、水分制御による接着凝集力の向上を意識し、予備乾燥と加熱効果からなる新しい乾燥法を導入した。これらの技術に関し、昭和プロダクツにおいて CNF パイプによる実験を行った結果、従来のものに対して 50%以上の曲げヤング率向上と 150MPa の曲げ強さを持つ CNF パイプを成形できることが明らかになった。

2. 矩形 CNF 管の成形に関する検討

材料展開の拡大を意図し、矩形の中空断面を持つ CNF 管材料の成形を検討する中で、矩形材料により適した成形技術について、いくつかの提案を行った。その中で、スライドキーなどを用いて内型を変形させることで、容易に脱型できる型導入の提案や、加熱乾燥方向（内層→外層）の意識向上と表面乾燥防止を徹底することの検討により、壁弾性率・強度が向上できる可能性が明らかになった。一方で、ワインディング法による矩形成形については、平面部の圧縮技術開発の必要性が示唆され、新たな装置導入などの措置が必要であることが明らかになった。

3. 乾燥接着時における圧縮操作

PF を用いた CNFP の湿式成形法は、乾燥のタイミングを制御することで、CNFP の自己収縮による層間の密着力の発現が期待できるが、一方で、成形時に CNFP が一時的に湿潤状態となり、再乾燥による変形制御が困難であることなどの理由から、エポキシ塗工 CNFP による乾式成形法の適用が検討された。乾式成形法では湿式に比べ、巻き上げのみによる層間の脱気と密着を得ることが困難なため、巻き上げ

時の脱気方法と後圧縮技術を考案した。

パイプ成形時の CNFP 巻き込み位置に溶剤を配置しながら巻き上げることで、湿式同様の仮接着性と脱気効果を得ることに成功した。また、巻き上げ後の CNF パイプ外層に弾性材料からなるベルトを緊張しながら巻き上げることで圧縮効果を得る方法を考案し、12GPa を超える弾性率を持った CNF パイプを得ることが可能となった。これについては、今後、最適なベルト材料の選定や仕様の検討により、さらなる効果向上を検討することを考えている。

4. アルミ管内蔵 CNF パイプの成形

従来の CNF パイプでは、主に CNF 含量を増加させる目的で、心材となる円筒形マンドレルを成形後に抜き取ってきた。このため、円筒パイプでは紙管を巻き上げコアにする方法を、矩形材料では変形により後脱型できる型を使用する手法を検討してきた。しかし、これらの方法で得られる材料は、シェルが非常に薄いため、曲げ载荷時に円筒シェルの座屈が先行し、CNF の力学性能を十分に発揮できていない可能性があった。解決法としてシェル厚さを増加させることが考えられたが、エレメント材料である CNFP の厚さが非常に薄いことから、厚肉管を成形するために積層数を多くすることは容易ではない。

これらの問題を解決し、且つ、構造接合などでの既存技術適用を容易にする目的で、巻き上げ時の芯材料をアルミ薄肉管とし、それを材料内にそのまま残す技術を考案した。結果、曲げ破壊時の破壊形態がこれまでのシェル座屈優先から曲げ破壊主体に移行させることに成功し、CNF の引張性能を十分に発揮させることが可能となり、コンセプトカーへの適用においてはこの形態を軸に考えていくこととなった。

5. CNF スラリー材料の基礎的な 3 次元成形技術の検討

CNF スラリーを乾燥・硬化させた材料については、当初はハニカム材料の表裏板として利用するための要素として検討されてきたが、その優れた質感をコンセプトカーに導入するべく、3 次元成形法の検討がなされることとなった。スラリー材料を 3 次元成形する際には脱水スラリーシートが用いられるが、このスラリーシートが各種操作時に損傷するのを防ぐ目的で、メッシュシートによる被覆技術を提案した。この技術により、シートが曲げ変形する際の引張変位を拘束でき、操作時のシート切れを最小限に止めることができるようになった。

3 次元での賦形に関しては、先のメッシュ併用により雄型による成形がある程度可能ということは想定されたが、自動車分野での雄型成形はあまり一般的ではなく、最終的な賦形性や後加工工程の低減には、CFRP などに用いられている雌型による成形を適用が適当であると考えられた。そこで、粘性材料を用いて成形時にスラリーシートに掛かる引張負荷を軽減する賦形技術を考案し、極端な深絞り形状でない限り、雌型でも 3 次元賦形できる技術が得られた。併せて、厚紙を用いた簡易成形シミュレーション技術を考案することで、予め成形の可否や難易を図ることができるようになった。この技術については、最終的なコンセプトカー部品成形までに今後も検討を続けていく。

3.3 ハニカムサンドイッチパネルの試作と評価（利昌工業株式会社）

自動車の構造要素材料への適用を目的とした、軽量で高強度材料となりえる CNF 製ハニカムサンドイッチパネルの試作と物性評価を実施した。コア材として、CNF 製筒（グループ 1 昭和プロダクツ株式会社の提供）ならびにクラフト紙ハニカムに、エポキシ樹脂系の接着剤シートを介して表裏に CNF-100%板状成形体を張り合わせることでハニカムサンドイッチパネルを作製した。また、クラフト紙の代わりに CNF ペーパーを用いたハニカムコアを試作した。

その他、昭和プロダクツ（株）における CNF パイプ製造の効率化向上のため、CNF ペーパーにエポキシ系接着剤を直接塗工した基材試作し同社に提供した。また、構造要素モデルとして重要な接合性の評価のため、名古屋工業大学に CNF 板状成形体を提供した。

1. CNF-100% 板と、CNF パイプおよびクラフト紙ハニカムサンドイッチパネルの試作

ハニカムサンドイッチパネルは、コア厚さ 10 mmとした CNF パイプおよびセルサイズ 3.3 mmのフェノール樹脂含浸クラフト紙ハニカムに、エポキシ樹脂系接着シートで 1.0 mmの CNF-100% 板材を張り合わせた後、真空バギング成形法で作製した。

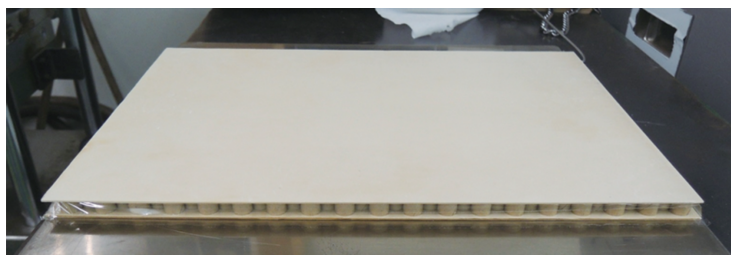


図 3.3-1 CNF パイプ /CNF サンドイッチパネル

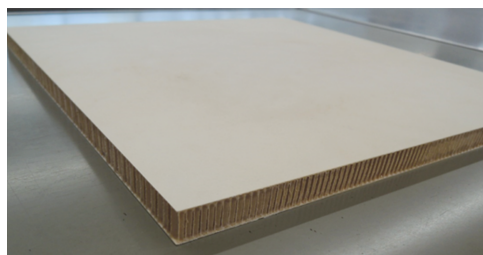


図 3.3-2 クラフト紙 /CNF サンドイッチパネル

2. ハニカムサンドイッチパネルの力学特性評価

ハニカムサンドイッチパネルの 3 点曲げ試験は、ASTM-C393 の試験条件に基づき、下記寸法の試験片を切り出した。なお、試験片は、通常環境での使用を想定し、成形後に 23℃ /50% で 48 時間以上放置してから作製している。

厚さ：12 mm

幅：25 mm

長さ：250 mm

3 点曲げ試験は、島津製作所製オートグラフ AG-5kNX を用い、支点間距離 150 mm、試験速度 1.0 mm / 分で実施した。曲げ強度および曲げ弾性率の結果は表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 ハニカムサンドイッチパネルの曲げ試験結果と密度

	単位	CNF パイプ /CNF 板	紙ハニカム /CNF 板	紙ハニカム /GFRP (比較材)
曲げ強度	MPa	58.5	24.1	20.5
		65.2	22.0	20.8
		53.2	23.5	22.4
曲げ弾性率	GPa	6.6	3.6	3.8
		6.7	3.4	3.8
		6.5	3.5	3.9
密度	g/ cm ³	0.59	0.26	0.23
破壊モード	-	表層破壊 (引張側)	コア破壊	コア破壊

CNF パイプのサンドイッチパネルは密度は大きいですが、コアの強度が高いため紙ハニカムよりも高強度を示した。紙ハニカムを用いたサンドイッチパネルは、コアの座屈破壊強度が先行するため、CNF および GFRP とともに表層材によらず同程度の強度となった。

3. CNF ハニカムコアの試作

クラフト紙ハニカムではコアの強度が破壊の律速となるため、コア強度の向上を目的として、クラフト紙の代わりに CNF ペーパーを用いてハニカムコア（セルサイズ 3.3 mm）を試作した。このハニカムコアは、厚さ 2.0 mm から製造できる。また、重量は 10 mm 厚さで 45g/m² 程度であり軽量で高強度のコア材となりうる。



図 3.3-3 ハニカムコア（未展張、2.0 mm 厚）



図 3.3-4 ハニカムコア（展張後、10 mm 厚）

4. まとめ

本年度は、CNF-100% 板状成形体を表層材に用いて、CNF パイプコアおよびクラフト紙ハニカムコアのサンドイッチパネルの試作と、その力学試験を実施した。

ハニカムコアの強度向上を目的として、CNF ペーパーのハニカムコアを試作した。

5. 次年度の予定

サンドイッチパネルの強度と密度の目標値を明確にして CNF 筒コアおよび CNF 板状成形体の最適重量を設計し、軽量で高強度なサンドイッチパネルを試作する。

CNF ペーパーハニカムコアを用いたサンドイッチパネルの作製と強度試験を実施する。

3.4 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)

CNF パイプの構造部材用として、フレーム類が該当し、フレームの作製では強度の他に三次元的な加工が必要とされる。紙管では三次元的な加工を施すことは難しいため、CNF パイプの芯としてアルミパイプを用い、そのパイプの作製と評価を行った。CNF シートの巻きつけには乾式の方法を採用し、評価したが、巻きつけ時に発生するわずかな隙間によって膨れによる物性低下が発生するため、パイプの熱硬化時にゴムを巻きつけて圧力をかけることで、曲げ弾性率を上げることが可能となった。

1. フレーム用パイプの作製

ルーフサイドレールやドアフレームといった自動車のフレーム類にはアルミパイプが使用されている。アルミパイプを CNF パイプに置換える際に課題となる項目として、パイプの加工が挙げられる。ルーフサイドレールでは三次元的な加工をしており、CNF パイプでも同様の加工が必要となる。現在は紙管に CNF シートを巻いてパイプを作製しているが、紙管を変形させることは難しい。そこで、芯となるパイプをアルミパイプにすることで、曲げ加工が行いやすくなると考えた。芯にアルミパイプを使用することで、アルミの加工性と強度の向上が見込めるため、アルミパイプに CNF シートを巻き、曲げ試験を行うこととした。



図 3.4-1 CNF アルミパイプ

2. CNF アルミパイプの曲げ試験結果

アルミ丸パイプ、アルミ角パイプに熱硬化性接着剤を塗布した CNF シートを巻き、熱硬化させ、曲げ試験を行った。(表 3.4-1、表 3.4-2)

CNF シートの巻量を増やすことで曲げ強度は上がっているが、アルミの強度には至っていない状態であった。

また、熱硬化後はパイプが膨らんでしまっており(図 3.4-2)、CNF シート間の隙間にある空気が加熱によって膨張して層間剥離を起こし、強度に影響していると考えられる。



図 3.4-2 熱硬化後のパイプ膨れ

表 3.4-1 CNF アルミ丸パイプの曲げ試験結果

	アルミ単体	CNF アルミパイプ		
		巻量少	← → 巻量多	巻量多
密度 (g/cm ³)	2.44	1.59	1.64	1.54
最大点荷重 (N)	746	1,510	1,982	2,435
曲げ強度 (MPa)	256	195	215	208
曲げ弾性率 (MPa)	36,244	6,840	5,836	4,379

表 3.4-2 CNF アルミ角パイプの曲げ試験結果

	アルミ単体	CNF アルミパイプ		
		巻量少	← → 巻量多	巻量多
密度 (g/cm ³)	2.18	1.37	1.40	1.05
最大点荷重 (N)	1,322	2,166	2,787	3,577
曲げ強度 (MPa)	254	146	164	116
曲げ弾性率 (MPa)	33,815	1,899	3,400	602

3. 熱硬化時のパイプ膨らみ検討

熱硬化時の加熱によって、シート間に残存する空気が膨張し、パイプの膨れを発生させ、この隙間が物性を落としており、膨れを抑えることで強度アップが期待できる。

熱硬化時にパイプに圧力をかけることで膨れを抑えられるか、ゴムを巻きつけて加熱し、曲げ試験を行った（表 3.4-3）。

ゴムの巻きつけ量を変えてテストしたところ、曲げ強度はわずかな上昇であるが、曲げ弾性率はゴムの巻きつけ量によって上昇がみられ、効果が確認できた。しかし、ゴムの巻きつけ量が増えると、パイプ表面にシワが目立つようになり（図 3.4-3）、CNF シートを巻きつける際に空気が入り込んでいる可能性が高い。空気を排除しながら CNF シートを巻き、ゴムを巻きつけて圧力をかけることで、より強固にシートが接着し、

強度アップすると考えられる。



図 3.4-3 ゴム巻きつけ後のシワ

表 3.4-3 熱硬化時のゴム巻きつけによる効果

	CNF アルミパイプ		
ゴム巻きつけ	巻きつけ少 ←—————→ 巻きつけ多		
最大点荷重(N)	4,489	4,970	4,679
曲げ強度(MPa)	91	106	109
曲げ弾性率(MPa)	1,612	2,777	3,065

4. ハニカムサンドイッチパネル用パイプの作製

CNF 製のハニカムサンドイッチパネルを作製するにあたり、ボード部分とハニカムサンドイッチパネルの作製は利昌工業株式会社、コア部分のパイプ作製を昭和プロダクツが作製する。

ハニカムコア用のパイプとして、下記表 3.4-4 のような仕様が考えられ、各仕様で軸圧縮強度を測定した。5 種類の仕様のうち、最も強度の高い仕様（No.5）でハニカムコアを作製し、利昌工業株式会社がサンドイッチパネルを作製した。

表 3.4-4 ハニカムコア用パイプの軸圧縮強度

	仕様	軸圧縮強度 (N)
1	紙管のみ	224
2	紙管を熱硬化性接着剤溶液に含浸(低濃度)	275
3	紙管を熱硬化性接着剤溶液に含浸(高濃度)	220
4	紙管に CNF シート巻きつけ(熱硬化性接着剤溶液、低濃度)	783
5	紙管に CNF シート巻きつけ(熱硬化性接着剤溶液、高濃度)	842

5. ハニカムサンドイッチパネルの軽量化

上記で作製したハニカムサンドイッチパネルは、紙ハニカムと GFRP のサンドイッチパネルに比べて強度が約 3 倍、曲げ弾性率が約 2 倍という、非常に高強度なサンドイッチパネルが得られた。しかし、密度が紙ハニカムと GFRP のサンドイッチパネルよりも大きいため、軽量化するためにパイプの仕様を検討していく。

第4章 CNF 小型部材の試作・評価

4.1 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、成形上の課題、機械的な構造上の課題を明らかにすべく、CNF とポリエチレンの複合材料を用いた発泡成形および評価を実施した。エアコンケース用材料としての機械物性（弾性率）の目標にはまだ不足で改良が必要である。これは NEDO プロで実現した優れた物性（未発泡時）がスケールアップ品では得られていないことが要因と推定される。成形上の課題については、複雑形状および大物形状部品としてそれぞれヒーターケースおよびブロアケースの金型にて発泡（MuCell）成形性を評価し、ゲート点数やガス抜け等の構造上の改良によりショート箇所のない正常な形状の部品を成形できることを確認した。一方で、所望の発泡倍率を得ることができず、形状・成形・材料面での更なる改良が必要である。

1. CNF 複合材料選定

エアコンケース試作用材料として、複数の PE-CNF 材料を強度物性および発泡成形性の観点から検討したが、NEDO プロで実現した優れた物性の PE-CNF 材がスケールアップ品では得られておらず、材料メーカーの PE - CNF 材料のベンチマークも推進中である。

【評価方法】

図 4.1-1 に示す平板形状（355x127x2mm）の未発泡サンプル（射出成形）及び発泡させたサンプル（MuCell 成形）を作製し、切削により得た試験片について発泡倍率および物性を評価した。

【評価結果】

- ・ PE-CNF 材料は未発泡時 / 発泡時ともに目標物性（PP- タルク材料レベル）に対し乖離が大きく、適用には物性改良が必要であることが分かった（図 4.1-2）。高弾性率な PA6-CNF 材料を参考として評価したところ、目標物性を満足する可能性を有することが分かった。製品化にはコスト低減が必要と考えられる。

- ・ ゲートからの流動長が遠いほど発泡倍率が大きくなることが分かった（図 4.1-3）

- ・ 気泡サイズに分布が見られ、粗大な気泡（100 μ m 以上）が存在していることを確認した（図 4.1-4）。

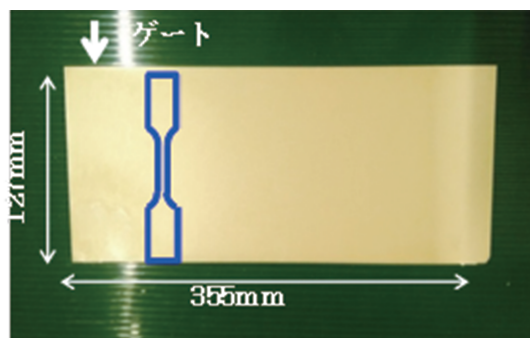


図 4.1-1 材料評価用サンプルと切削試験片イメージ

【考察・所見】

- ・ 気泡の微細化は発泡体物性の改良に有用であることから、材料・加工の観点で発泡微細化を進める。
- ・ 機械物性に加え成形性の改良も進める。これらの物性は CNF サイズ、分散性が影響するため、ポリマーと CNF の両面からの改良を進める。

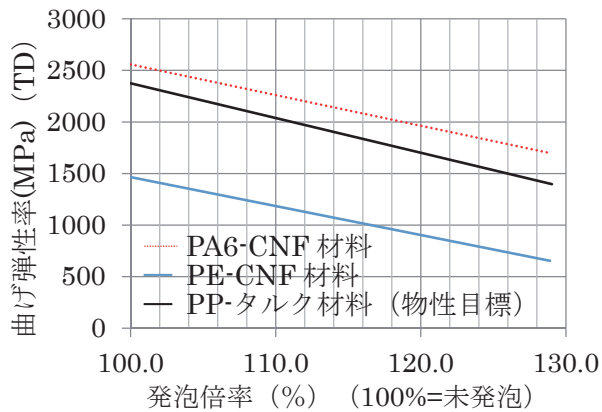


図 4.1-2 発泡倍率と物性の関係

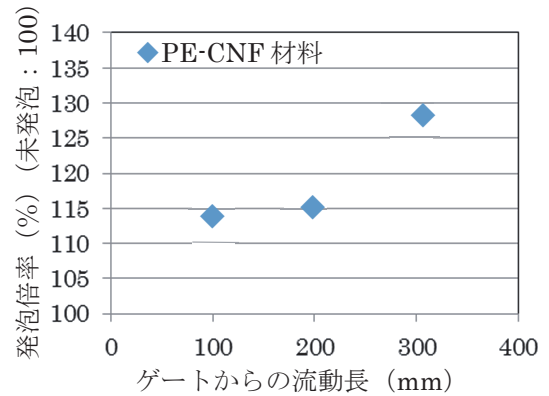


図 4.1-3 ゲートからの流動長と発泡倍率の関係
(N2:1.0wt%、t=2.0mm)

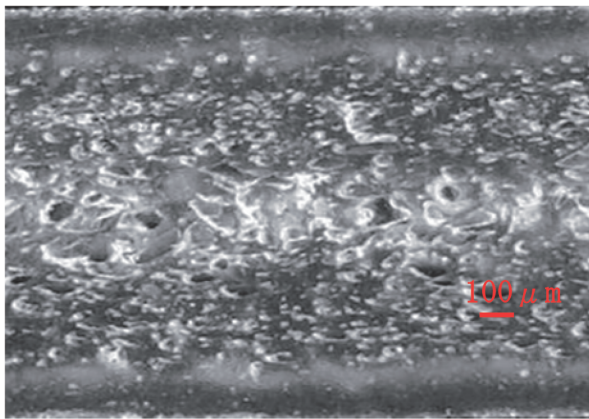


図 4.1-4 発泡状態観察結果 (PE-CNF)
(発泡倍率:108%)

2. 金型の試作と成形試験の実施

複雑形状および大物形状における CNF 材料の成形成立性を評価するため、トヨタ 86 のヒーターケース（多数のリブを有する）およびブローケース（エアコンケースの構成部品の中で最大サイズ）用金型を作製し、発泡（MuCell）成形を実施した。結果を以下に示す。

【評価結果】

- ・ CNF 材料の低流動性を考慮してゲート数を増やすことでショート箇所の無い正常な形状の部品を得ることができた（図 4.1-5、図 4.1-6）。正常な形状の部品を得るためのゲート点数は、ヒーターケースでは 4 か所（3 か所新設、現行 1 か所）、ブローケースでは 5 か所（5 か所全て新設、現行 2 か所）であった。
- ・ 発泡成形品の軽量効果は 7%程度（目標：10%以上）であった。
- ・ 製品から切出した試験片の発泡倍率と物性は、平板成形品の評価で得られた関係と良く一致した（図 7）。

【考察・所見】

- ・ CNF 材料について、複雑形状や大物形状においても、ゲート点数を増やすことで成形成立性を有することを確認した。

・この製品形状では発泡が十分に進まず、軽量効果が不十分であった。今回、流動性確保のためゲート点数を増やしたが、ゲート部は製品部に対し大きく発泡していた。このことから、成形時には、熔融した樹脂の発泡が製品部に届くまでに進んでしまい、製品部を流れる際には十分な量のガスが樹脂中に残存していなかったためと考えられる。また、製品板厚も 2mm 未満の薄肉部が大半を占めており、発泡層の厚さが十分でない可能性も考えられる。構造・成形面で改良を進める一方で、材料側においても一層の高流動化が必須であると考ええる。

・流動長により発泡倍率が異なることから、部品内で発泡倍率がばらつくことに由来する物性のばらつきが懸念される。今後、部品中の高応力箇所を考慮した製品形状やゲートなど型構造の最適化を進める。

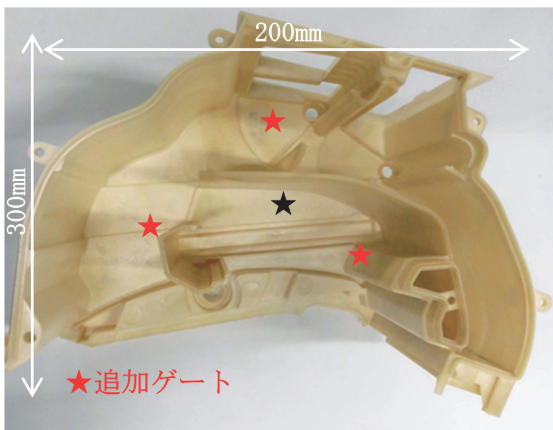


図 4.1-5 ヒーターケース発泡成形体
(成形温度：190℃、PE-CNF5%)

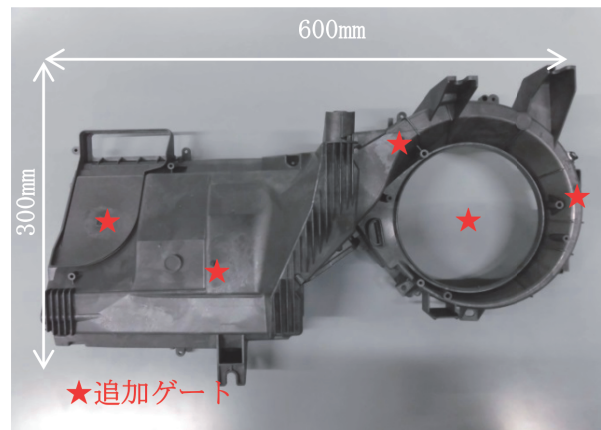


図 4.1-6 ブロアケース発泡成形体
(成形温度：200℃、PE-CNF5%)

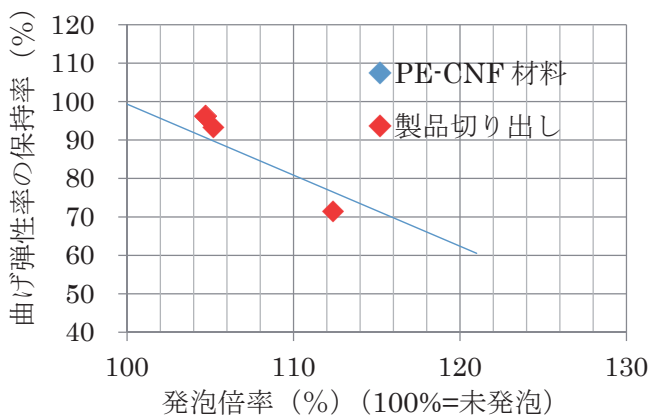


図 4.1-7 発泡倍率と弾性率の関係

4.2 ドア部材用途、シート部材用途に向けた CNF 材料の評価（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、自動車内装向け PP 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。CNF 配合率 10wt% の PP/CNF 材料については、実機で射出成形し、ドア製品形状での成立性を確認するとともに、軽量化効果の試算、性能評価を実施。また、X 線 TC 画像や TEM 画像を解析し、CNF の解繊・分散状態を定量評価した。

1. 自動車内装向け PP をベースとした PP/CNF 材料の作製と物性評価

CNF マスターバッチと自動車内装向け PP※を 2 軸押出機で混練し、CNF 配合率 5 ～ 20wt% の PP/CNF 材料を作製。その物性評価の結果を表 4.2-1 に示す。CNF 配合率の増加に伴って、曲げ試験、引張試験における強度、弾性率が向上する一方、シャルピー衝撃強度、流動性が低下する傾向が見られた。

※実機で射出成形できるよう、自動車内装向け PP の中でも特に流動性の高いものを使用

表 4.2-1 PP/CNF 材料の物性評価結果

試験項目		単位	CNF配合率(wt%)				
			0	5	10	15	20
曲げ試験	曲げ強さ	MPa	24.0	30.9	34.5	38.2	42.6
	曲げ弾性率	MPa	1000	1370	1690	2040	2440
引張試験	引張強さ	MPa	21.0	20.3	22.8	25.2	28.0
	引張弾性率	MPa	1050	1360	1660	1990	2370
シャルピー衝撃試験 (ノッチあり)	衝撃値(23℃)	kJ/m ²	12.0	6.1	4.1	3.1	2.5
	衝撃値 (-30℃)	kJ/m ²	4.0	2.1	1.8	1.5	1.3
線膨張係数 (30～120℃)	MD	10 ⁻⁵ /℃	-	9.4	7.4	6.0	5.2
	TD	10 ⁻⁵ /℃	-	18.2	18.0	18.3	18.0
流動性	MFR	g/10min	60	40	25	18	12

2. ドア製品形状での成立性の確認

CNF 配合率 10wt% の PP/CNF 材料が実機での射出成形要件（MFR 約 25g/10min 以上）を満たしていることから、これを用いてドアトリムを成形したところ、欠肉等の問題なく成形が可能であった。（図 4.2-1）



図 4.2-1. 実機で射出成形したドアトリム
(CNF 配合率 10wt%)

3. CNF の配合による軽量化効果の試算

ドアトリムの軽量化は、材料の剛性（曲げ弾性率）を維持したまま板厚を低減することで実現する。

CNF 配合率 10wt% の PP/CNF 材料を用いた場合、曲げ弾性率が PP の 1.7 倍に向上するため、板厚を従来の 2.3mm から 1.9mm まで低減でき、これによる軽量化効果は車両 1 台（ドア 4 枚）あたり約 13wt% と試算される。

4. ドア製品形状での性能評価

各評価試験に供試したドアトリム試験体の詳細を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 性能評価試験で用いたドアトリム試験体の詳細

水準	試験体	配合率(wt%)	板厚(mm)
1	PP従来品	PP=100	2.3
2	CNF10%配合品	PP/CNF=90/10	1.9

(1) 側突試験

ドアトリムのロアー部に決められた形状のデバイスを衝突させる側突試験を実施した。（n=2）

従来品（PP）では乗員側へ破断面（シャープエッジ）が発生することはなかったが、CNF10% 配合品ではデバイス衝突部位が打ち抜かれて大破し、破断面が発生し規格に未達であった（図 4.2-2）。原因について検討中（後述）。

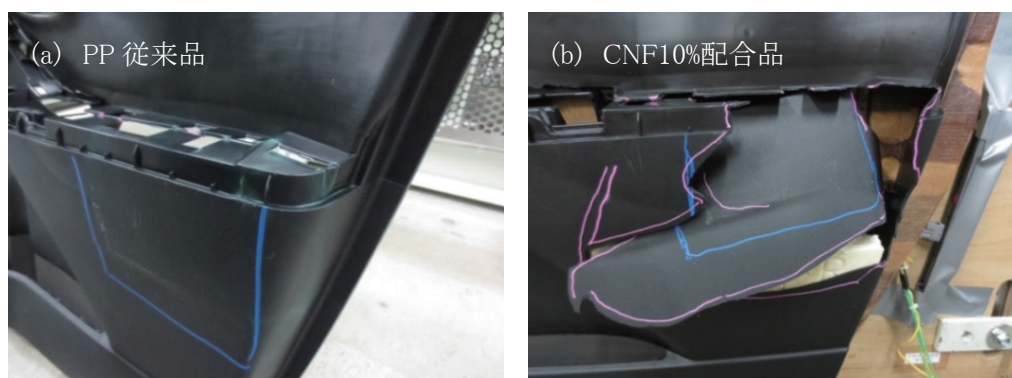


図 4.2-2 側突試験後のドアトリム (a) PP 従来品、(b) CNF10% 配合品

(2) 落錘試験

ドアトリムを固定治具に取り付け、-15℃の雰囲気中に所定の時間放置した後、鋼球を落下させる落錘試験を実施。（n=3）CNF10% 配合品は、側突試験と同じ部位に鋼球を落下させた際に、基準のトルク以下で割れが発生し、今回の実験では規格には未達であった。原因について検討中（後述）。

(3) VOC 発生量の測定

射出成形直後のドアトリムから試験片を切り出してサンプルバッグに入れ、60℃で 4 時間加熱した後、発生した気体を GC-MS で分析。（n=3）測定結果を図 4.2-3 に示す。CNF10% 配合品は、PP 従来品に比べてホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの発生量が非常に多く、自動車内装品として使用するためには低減対策が必須であることが明らかとなった。

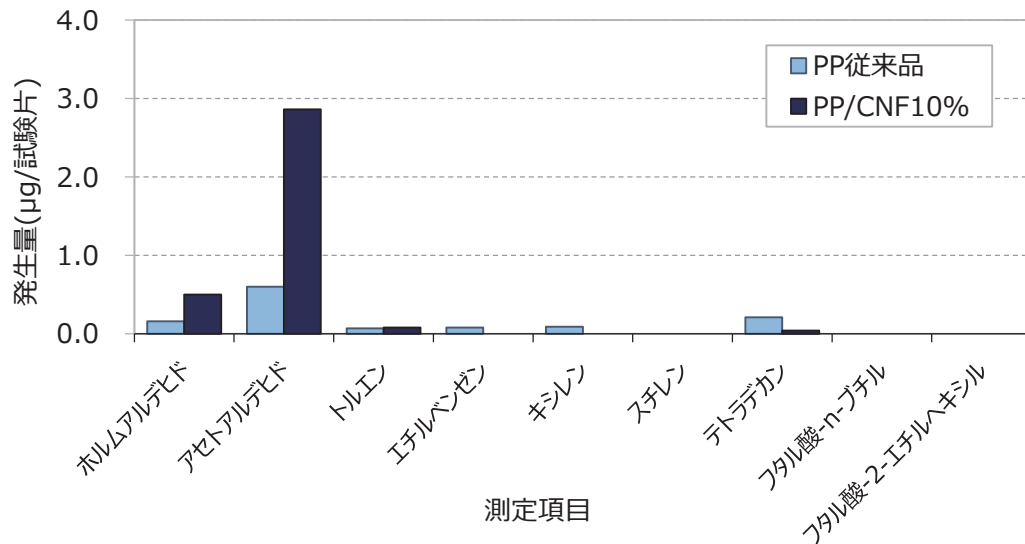


図 4.2-3 ドアトリムから発生した VOC の測定結果

5. CNF の解繊・分散状態の定量評価

側突試験や落錘試験の結果から、PP/CNF 材料はドアトリムに必要とされる耐衝撃性を満たしていないことが明らかとなった。耐衝撃性に影響する因子の一つとして、CNF の解繊・分散状態が考えられることから、X 線 CT や TEM による観察と画像解析を行い、CNF の解繊・分散状態の定量評価を実施。

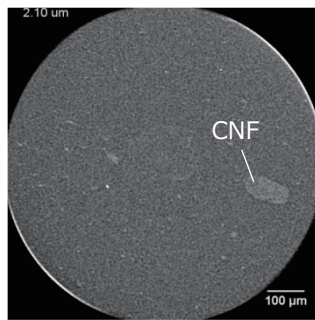
- ・観察試料： CNF 配合率 10wt% の PP/CNF 射出成形品
- ・観察部位： ダンベル中央部の表層付近
- ・試料の数： X 線 CT (n=3)、TEM (n=5)



図 4.2-4 X 線 CT および TEM における観察部位

射出成形品の X 線 CT 画像、TEM 画像を図 4.2-5 に示す。X 線 CT 画像より、幅数 μm ～数十 μm の CNF が試料全体に散在している様子が観察され、CNF が十分に解繊されていない可能性が示唆された。図 4.2-6 に TEM 画像を基に測定した CNF 幅の分布を示す。TEM は視野範囲が狭いため、ナノサイズ（幅 $1\mu\text{m}$ 以下）に解繊された CNF を解析の対象としたが、その中でも CNF 幅には大きなばらつきがあることがわかり、これも耐衝撃性の低下の原因の 1 つであると推察される。

(a) X線CT画像



(b) TEM画像

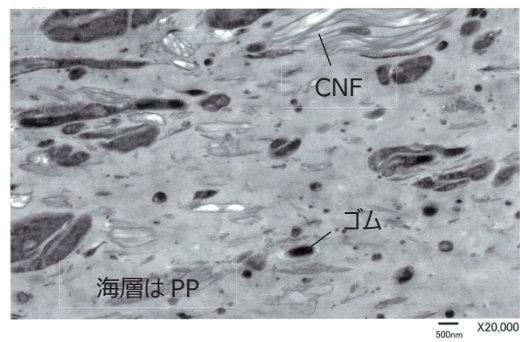


図 4.2-5. CNF 配合率 10wt% の PP/CNF 射出成形品 (a) X線CT画像、(b) TEM画像

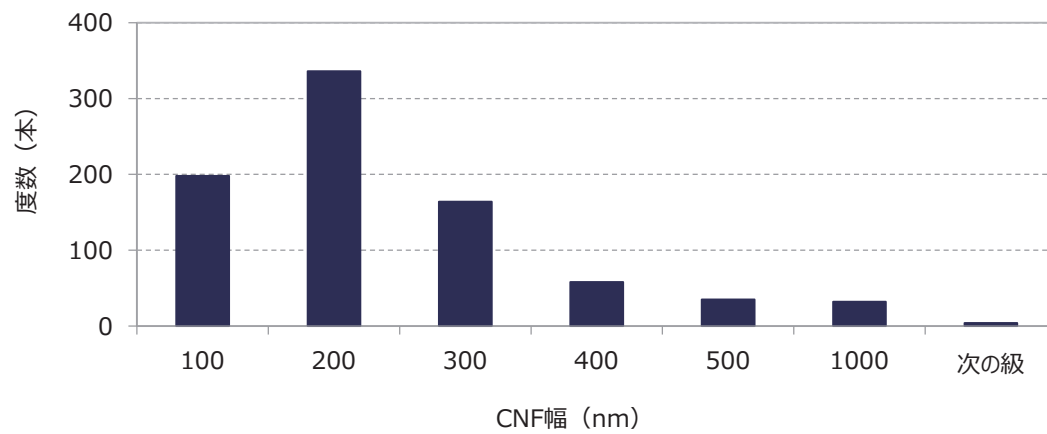


図 4.2-6 TEM 画像を基にした CNF 幅の測定結果

4.3 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）

1 CNF による強度特性及びエンジン環境への適合性についての現行材料との比較評価

現行材料（PA6-GF30%）強度に相当する PA6-CNF 材料の配合把握のために、GF の併用も含め各種配合による強度特性評価と比重換算による軽量化効果の算出を行なった。次いでエンジン部材用途を想定した PA6-CNF15% 材料の初期特性と長期信頼性評価を実施して課題の抽出を行なった。

1.1. PA6-GF30% の強度に相当する PA6-CNF 材料の配合把握と軽量化効果の算出

PA6-GF 系、PA6-CNF 系、PA6-（CNF+GF）系※¹ の計 9 配合の強度特性評価と吸水率測定を実施した（図 4.3-1、図 4.3-2 参照）。(LotA)

調湿による影響を考慮しなければ京大データ※² より PA6-GF30% に相当する配合は PA6-CNF15% と想定していたが、PA6-CNF 材料の強度は低く、実際には GF を併用した PA6-（GF20%+CNF10%）が同等強度であった（軽量化率 6.7%）。また PA6-GF 材では GF 配合率の増加に伴い吸水率が低下しているのに対し、PA-CNF 材は CNF 配合率の増加に伴い、吸水率も増加しており、調湿後においては CNF の補強効果が得られていない（CNF の吸水が要因と推定される）。

※ 1 CNF は 10% で固定

※ 2 「京都プロセスへの道」記載データ（表 1 曲げ強度を参照）

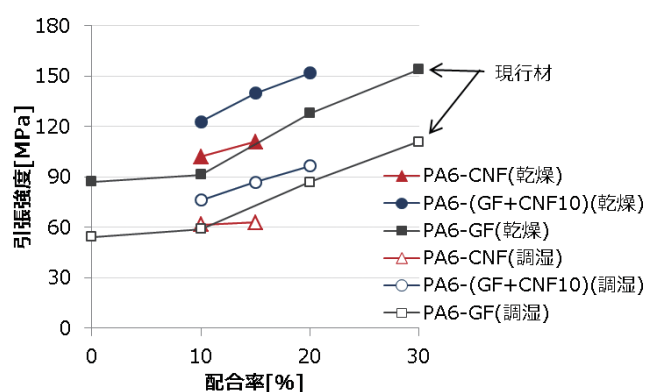


図 4.3-1 PA6-CNF 材料配合と強度との関係

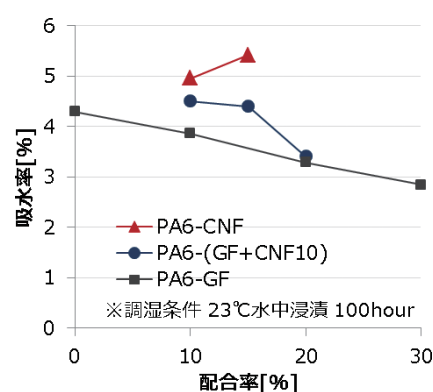


図 4.3-2 PA6-CNF 材料配合と吸水率の関係

PA6-CNF 材料の強度が全体的に低かった要因調査のために京大データ※² と同じ Lot の材料（LotB）を入手し、強度評価と補強繊維の状態比較を実施した。

（表 4.3-1、図 4.3-3 参照）

材料強度は LotB のほうが LotA よりも高いが、PA6-GF20% よりも低かった。CNF の解繊状態は LotB のほうが LotA よりも良好であり、CNF の解繊不足が主要因と推定される。但し成形工程での解繊や試験片形状の違いによる影響の可能性も考えられる。また LotB においても数十ミクロン単位の未解繊繊維が見られ、CNF の解繊状態の改良により更なる強度向上の可能性はある。

表 4.3-1 PA6-CNF 材料の Lot 別強度の比較結果

	PA6-CNF10% LotA	PA6-CNF10% LotB	PA6-GF20% —
引張強度[Mpa]	102	111	128
GF材を基準とした場合の比率[%]	80	87	100
曲げ強度[Mpa] ^{※2}	No Data	160	175
GF材を基準とした場合の比率[%]	—	91	100

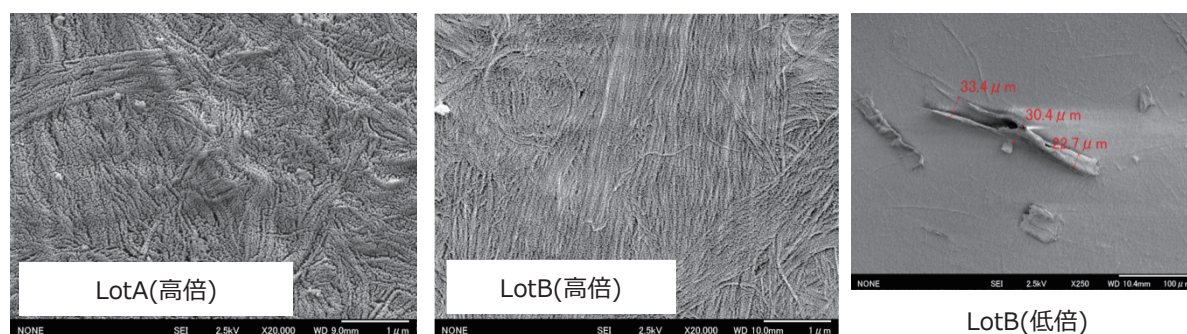


図 4.3-3 成形品から抽出した CNF 繊維の SEM 画像比較

1-2. エンジン部材用途を想定した PA6-CNF15% の初期特性評価

PA6-CNF 材料の強度は低かったが、今後の材料改良による強度改善があると仮定し、PA6-GF30% 相当の強度を期待する PA6-CNF15% の温度依存性 (LotC) と異方性 (LotD) の比較評価を実施した (表 4.3-2、表 4.3-3 参照)。

温度依存性は PA6 の熱特性に依存するため同等 (図 4.3-4 参照) であった。強度・弾性率は 15 ～ 50%、衝撃強度は約 90%、PA6-GF30% よりも小さく、材料面での改良を期待したい。

一方、繊維の配向方向による強度・弾性率・成形収縮率の変化は PA6-GF30% よりも小さく、異方性が小さい材料のため、製品のそり低減などのうれしさが期待できる。(平板成形品のそり低減効果は図 4.3-5 参照)

引張試験後の破面調査 (図 4.3-6) より、通常試験片、溶着試験片とも未解繊の繊維が破壊の起点となっている、溶着試験片では起点部の繊維状態が通常試験片と異なっており、振動溶着時の摺動摩擦による繊維の凝集が起こっている可能性がある。次年度は、振動溶着条件の検討のほか、新たな溶着工法による強度向上を検討したい。

また繊維表面における樹脂の付着が見られないため、繊維と樹脂の密着性をさらに向上できれば強度・弾性率の更なる向上が期待できる。

表 4.3-2 PA6-CNF15% の初期特性評価結果 (LotC)

項目	単位	温度 [℃]	PA6-CNF15%	PA6-GF30%
引張強度	[MPa]	—	図4参照	
引張破壊歪み	[%]	-30	1.9	ND
		23	2.1	4
		80	8.5	19
		120	12.2	11
引張弾性率	[MPa]	-30	5674	8400
		23	6289	7450
		80	2508	3980
		120	1777	3310
ウエルド部引張強度	[MPa]	23℃	47	95
ウエルド部引張破壊歪み	[%]	23℃	0.90	1.5
溶着部引張強度	[MPa]	23℃	45	71.6
溶着部引張破壊歪み	[%]	23℃	1.1	1.3
曲げ強度	[MPa]	23	167	231
曲げ弾性率	[MPa]	23	5958	7010
ノッチ付 シャルピー衝撃強度	[J/m2]	-40	1.38	11.6
		23	1.70	17

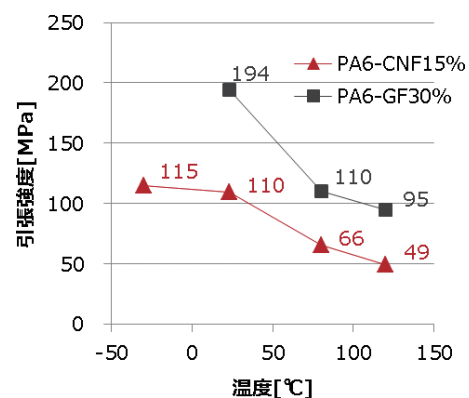


図 4.3-4 引張強度の温度依存性

表 4.3-3 平板成形による PA6-CNF15% の異方性評価結果 (LotD)

項目	単位	条件	配向	PA6-CNF15%	PA6-GF30%
引張強度	[MPa]	23℃	MD	101	140
			TD	85	100
引張破壊歪み	[%]	23℃	MD	3.0	4.2
			TD	2.9	3.7
引張弾性率	[MPa]	23℃	MD	4940	7190
			TD	3610	4950
成形収縮率	[%]	キャビティー 内圧40MPa	MD	0.3	0.2
			TD	0.5	0.5
			MD/TD	0.6	0.5
そり量	[mm]	—	—	2.8	3.2

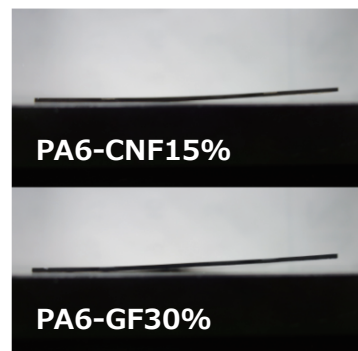


図 4.3-5 そり量の比較

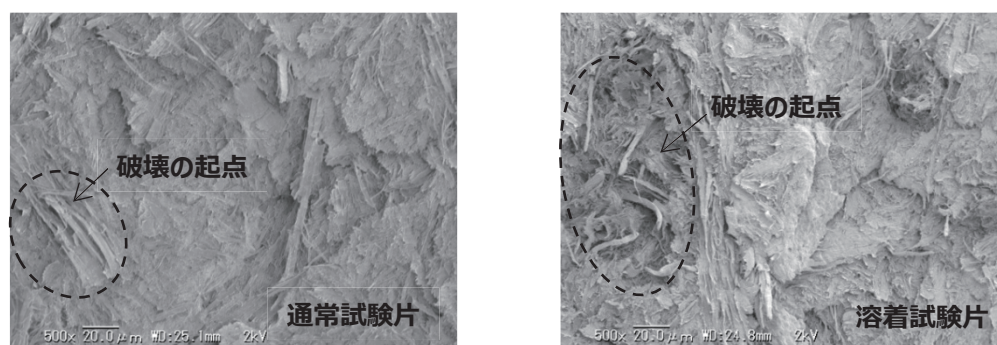


図 4.3-6 引張試験後の破面状態の比較

1-3. エンジン部品用途を想定した PA6-CNF15% の長期信頼性評価

高温下での長期信頼性について PA6-GF30% との比較評価を実施した (図 4.3-7、図 4.3-8 参照)。

強度は初期強度の影響により小さいが、耐疲労性、耐クリープ性は PA6-GF30% と同等であった。

また耐熱老化性は改善が必要であり、PA6-CNF に最適な熱安定剤処方 of 明確化が課題である。耐薬品性は、親油性である燃料油、エンジンオイルは同等だが、親水性であるブレーキ液は、PA6-GF30% よりも早期に物性が低下した。これは吸水後強度の低下と同様に CNF が親水性であることが要因と考えら

れる。

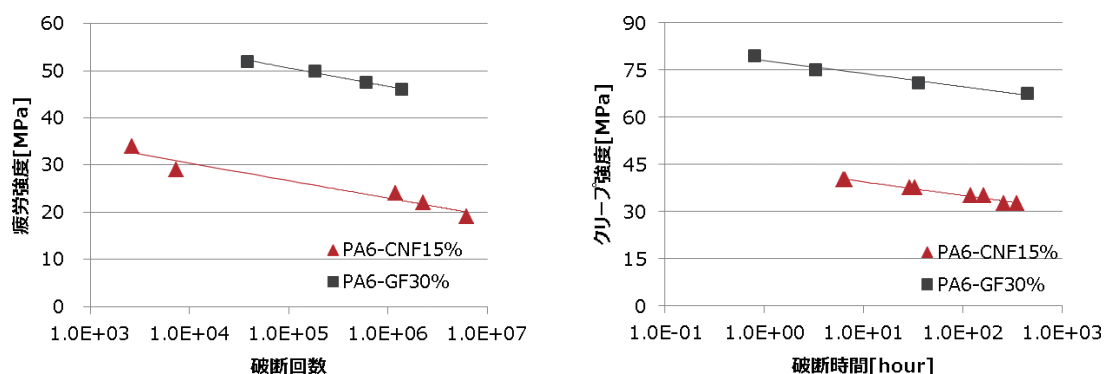


図 4.3-7 エンジン想定環境での耐クリープ性と耐疲労性

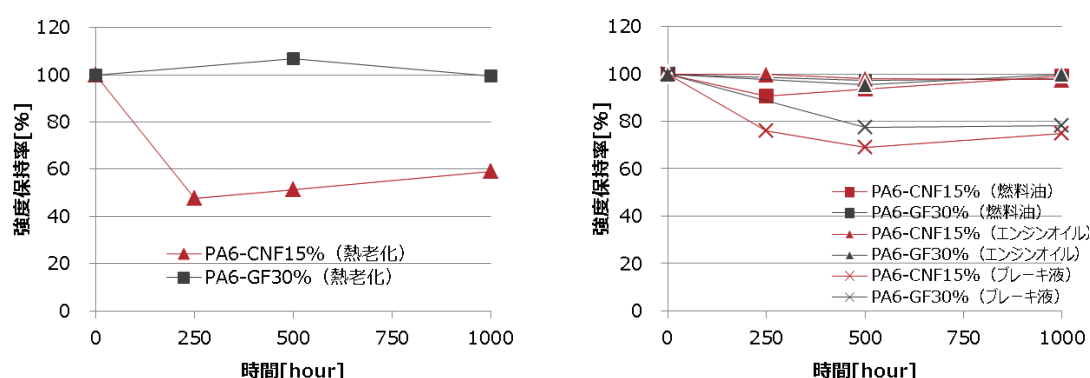


図 4.3-8 エンジン想定環境での耐熱老化性及び耐薬品性

2 エンジン関係部材の試作トライと CNF 材料の成形課題の抽出

(概要)

UPPER、MIDDLE、LOWER の 3 部品から構成されるインテークマニホールドのうち、UPPER 部品の試作トライと成形課題の抽出を行なった。

(詳細)

1. インテークマニホールド (UPPER) の試作

CNF/ ポリアミド材料は CNF の高充填化と推奨成形温度 (230℃) から樹脂の流動性低下が懸念されるため、実際の成形機を用いた流動性の比較とインテークマニホールド (UPPER) の成形を行った。

PA6-GF30% に対して PA6-CNF15% の流動性は低下したが、ショートショット、外観不良はみられず、インテークマニホールドは問題なく成形できた。

また PA6-GF30% に対して 13% の軽量化と表面平滑性向上 (目視) が確認でき、軽量化による燃費向上の他、空気抵抗の低減により、エンジンのパワー向上が期待できる。次年度は MIDDLE、LOWER の成形と 3 部品の溶着を行い、製品としての適用性評価を実施する。



図 4.3-9 インテークマニホールド (UPPER)

第5章 CNF 大物部材の試作・評価

5.1 大物部材試作検討及び RTM (Resin Transfer Molding) 成形の評価 (金沢工業大学、トヨタテクノクラフト株式会社)

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、トヨタテクノクラフトとともに CFRP で注目されている RTM を中心とした低圧成形の可能性を評価。今年度は昨年度の試験片から要素モデル型にて行った課題を受け、トヨタ 86 用のエンジンフードの試作・評価に挑戦した。結果、CNF 系は樹脂の含浸性などで CFRP と同様にはいかないこと、ただ、工夫次第では、CNF の特性を引き出しながら、成形性が大幅に改良できる CNF 基材構成があることを理解できた。次年度は、RTM 用の CNF 基材構成を提案しながら、エンジンフードなどの大型構造部材としての量産の可能性を追求する予定である。

1. CNF 基材用素材の選択、試作

前年度の知見をもとに、賦形性、樹脂の含浸性、層間剥離性が改良できる CNF 基材のアイデアとして、CFRP の RTM 成形で用いられている基材構成をまず、トライすることとした。解繊 CF (炭素繊維) の SMC に見られる短冊状解繊 CF をランダムに積層した繊維基材構成である。構成材料の仕様を図 5.1-1 に示す。短冊状として CNF ペーパーを用いた。CNF ペーパーは、エンジンフードの要求特性を見込んで、弾性率が高く中強度のものを選択した。その

CNF ペーパーの表面には CNF を 5% 以上含有した数十 μm の径のプリフォーム用バインダー (約 50 μm 径) を散布した。このプリフォーム用バインダーには、プリフォーム時の固定性やマトリックス樹脂 (RTM 用エポキシ樹脂) の流動性を向上さす空間の確保、層間剥離対策効果を期待した。更に、短冊状 CNF ペーパーの下にケナフ不織布を配置させた。ケナフ不織布も RTM 時の流動性を高める樹脂流路を確保する目的と堆積した CNF ペーパーが崩れないようにするためである。

2. CNF 基材の試作・評価

CNF ペーパーを短冊状にカットし、ケナフ不織布のシート面にランダムに堆積させた。平均して CNF ペーパーの短冊が 2 から 3 層になるように堆積させた (図 5.1-2)。装置は短冊 CFRP 基材試作メーカーの協力を得、実施した。装置の制約として試作可能な基材寸法を 600 mm 角とした (図 5.1-3)。CNF ペーパーにカットする際にプリフォーム用バインダーも同時に CNF ペーパー上に適量を散布した。堆積後の CNF ペーパー間には所定のバインダーが入っていることを確認した。

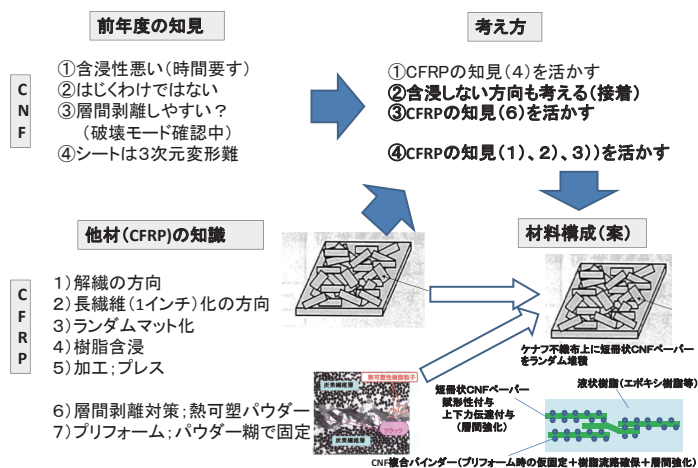


図 5.1-1 CNF 構成材料 (基材) の提案



図 5.1-2 CNF 基材



図 5.1-3 CNF 基材 (600 mm角)

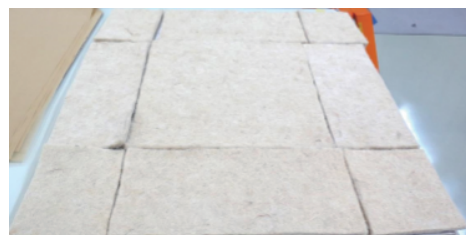


図 5.1-4 エンジンフード用 CNF 基材



図 5.1-5 バギング

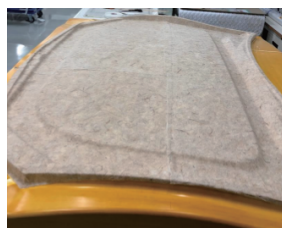


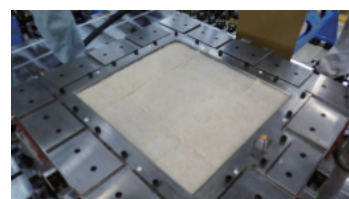
図 5.1-6 プリフォーム

3. RTM 用プリフォームの試作・評価

エンジンフードの構成は CNF アウターパネル、CNF インナーパネル用から構成されるため、それぞれのパネルをエンジンフードの大きさになるよう 600 mm 角の CNF 基材を 9 枚用意し、これを 2 層重ね、CNF 含有率が約 20% になるようにプリフォームした (図 5.1-4)。導入したそれぞれのプリフォーム型にエンジンフード用 CNF 基材をセットし、100℃ 程度でバギング (図 5.1-5) し、型の形状に沿わせて冷却することで固定化した (図 5.1-6)。取り扱いには十分注意は必要であったが、プリフォームの移動時に形が崩れることはなかった。

4. RTM 成形予備実験 (HP-RTM 成形)

エンジンフードの構成は CNF アウターパネル、CNF インナーパネル、中間層の発泡材のため、前年度に導入したサンドイッチパネル型を用い、BMW i3 の CFRP ボデーやレクサス RCF の CFRP エンジンフードで採用された HP-RTM (高圧 RTM) 成形をトライした。図 5.1-7 にエポキシ樹脂含浸前のプリフォームと注入後硬化させたサンドイッチパネルを示す。また、サンドイッチパネルの評価として、三点曲げ試験を図 5.1-8 に示す。表面の状態も良く、発泡体への樹脂の侵入も認められず良好な CNF サンドイッチパネルを得ることができた。課題の CNF の樹脂含浸性は大きく改善できたが、まだ CFRP の注入条件では、倍以上の注入時間を要することがわかり、量産条件を満足するには、更なる対策が必要であることが分かった。また、サンドイッチパネルの三点曲げ評価からは、エンジンフードの必要特性のデント性に対して十分な剛性と歩行者保護としての壊れやすさが期待できる結果を得ることができた。



注入後



図 5.1-7 サンドイッチパネル (HP-RTM)



図 5.1-8 サンドイッチパネル評価

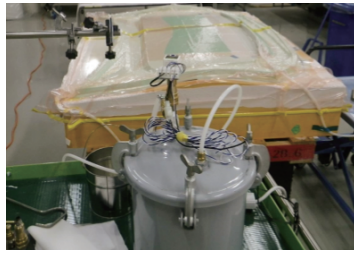


図 5.1-9 VaRTM 成形

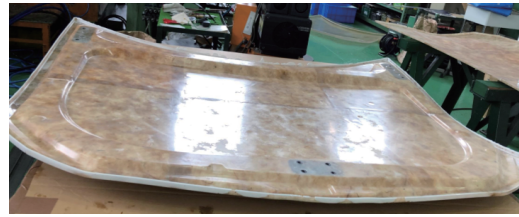


図 5.1-10 アウター、インナー、発泡体を接着



図 5.1-11 RTM 成形



図 5.1-12 RTM 一体成形

5. RTM 成形実験

前述した予備試験の結果を基に、エンジンフードの試作を行った。当初、試作は HP-RTM 方式を予定していたが、樹脂の注入性の不足から、図 5.1-9 の VaRTM 成形と図 5.1-11 の RTM 成形にて試作を行った。VaRTM は、基材を減圧し、樹脂を大気圧で注入する方式で、アウター、インナーパネルをそれぞれ試作し、中間層の発泡体を接着にて接合した。RTM はアウター、インナーパネル用プリフォームおよび発泡体を一体で型にセットし、ギアポンプにて約 0.2MPa の圧力で型内に樹脂を注入した。いずれもエアースポットは見られなかった。ただ、成形時間は HP-RTM で見込んだ 10 分以下は満足できず、30 分以上の時間を要した。成形時間短縮には、注入時間を大幅に短縮する必要があると、CNF 基材構成などの最適化と、成形条件の見直しが必要と考えている。Va-RTM 品は、接着時の引けによって、表面が波打つ部分が発生したが条件を詰めれば解決する問題と考えている。また、表面の含浸状態は局所的に完全含浸できていないところが RTM 成形品に見られたがこれも条件をしっかりと詰めて行けば、対処可能と考えている。成形後、カットし、断面を観察した結果では、い

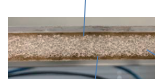
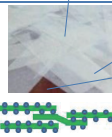
暫定目標	①成形寸法; >エンジンフード ②軽量化率; >50% (対スチール) ③性能; 走行可能レベル ④生産性; <10分/個 (現状CFRP実力) ⑤材料コスト; <500円/kg (将来見込み)				
現状		外観	ポイント	期待効果	懸案事項
部品			①軽量大エンジンフード クラッシュライン	②軽量化 (14→8kg) 走行時CO2低減 ③前突時乗員保護	②更に改良必
	断面		高弾性率・中強度 CNFペーパー/ エポキシ樹脂 厚肉発泡体	③デント性 ③歩行者保護 ③非シャープエッジ破面 ③破材飛散防止	
	CNF素材		CNFペーパー (短冊状) ケナフ不織布 CNF配合バインダ (花王製)	④脱脂性 ④樹脂含浸性 (30分) ④プリフォーム固定 ③クラック伝搬抑制	⑤コスト (情報不足) ③塗装 (エア、水分含有) ④更に改良必
今後	②更なる軽量化 (CNF含有量UPによる剛性向上) ④成形性向上 (Wet Molding等による含浸時間短縮等) ③コスト調査・予想 ⑤塗装性評価				

図 5.1-13 量産化の可能性と課題

ずれの成形も中間層の発泡体内部に樹脂が入り込んだ形跡は認められなかった。重量測定の結果では、他の特性との兼ね合いも調べる必要性はあるが、約 8 kg であり、鋼板の 14kg に対し 40% 以上の軽量化が認められた。

6. 自動車用エンジンフードとしての可能性評価と今後

エンジンフードの試作により、成形時間、外観など、量産に対して改善点があることが分かった。ただ、図 5.1-13 に示すように仮目標の 10 分以下の成形時間は未達であるが、今後の工夫によって更に改善できる可能性があることも分かった。また、重量も仮目標の軽量化率 50% 以上に若干未達（図 5.1-13）ではあるが、CNF 紙の形態や配合割合を最適化することによって改善が期待できる。ここでは、更に自動車用エンジンフードの機能としての可能性を見てみたい。図 5.1-13 にも示したように、前突時の乗員保護としては、エンジンフードに折れ曲がる機能が必要であり、効果の確認は必要であるが、鋼板同様にクラッシュアブルラインを設けた。また、積雪時、手押し時などの変形を抑えるためのデント性に対しては、高弾性率 CNF 基材構成と中間層の発泡体の厚肉化で全体の面剛性を高めた。単純な計算では、鋼板構成の数倍程度の剛性確保が可能であると考えられる。また、歩行者保護として、歩行者をはね、頭部がエンジンフードに直撃した際にもダメージを最小限にすることが義務付けられている。高強度すぎても問題が発生するため、適度に壊れることも必要になる。そのため、今回は中強度の CNF 繊維構成をとっている。また、直撃時破壊時に鋭利な破面が発生した場合、頭部のけがや出血に発展するため、破面の解析は重要である。図 14 に簡易的ではあるが、今回のサンドイッチ構成の曲げ破面を示した。表層の CNF 基材層は、発泡体にしっかり接合し、鋭利な破面は観測されなかった。歩行者保護の観点からも有効と考えている。また、破壊状態から、粉々に分散するようなモードは見られず、事故時の処理や後続車のバーストといった懸念に対しても、良い方向の材料であることが分かった。



図 5.1-14 破面

ただ、量産には、図 5.1-13 の懸案事項に示したような塗装性やコストといった評価も必要であり、これらについての解析、改良も必要になってくる。CNF は水分含有しやすい材料であり、塗装時のブリードアウトが懸念される。塗装システム自体を変える必要性も考えておかなければならない。コストについては将来量産時に向けた低価格化の方向と可能性を見極め、推定することが重要と思われる。特に CNF 素材メーカーとの対話の充実が肝要である。以上を来年度の課題としたい。

5.2 CNF 材料の長期信頼性評価、破壊モード評価（金沢工業大学）

CNF は新材料であり、市場の長期信頼性データはほとんど皆無である。そうした中、材料の長期信頼性を簡便に評価する手段として、試験片レベルで行う粘弾性評価がある。ただ、適用できる材料とできない物があり、今回、CNF を用いた RTM 成形材料の粘弾性挙動を調査した。結果、貯蔵弾性係数は著しい時間および温度依存性を示し、その時間依存性と温度依存性の間には時間－温度換算則が成立することがわかった。これより、種々の温度で計測した力学特性より長期における力学特性を推定できると考えられる。今後は、この時間－温度換算則の強度に対する適用性を検討する予定である。

一方、破断面の観察に関しては、破断前の状態について、前年度の光学顕微鏡観察によるマクロ観察や透過電子顕微鏡（TEM）によるミクロ観察の結果を受け、今年度は、同様のサンドイッチパネル表面材のマクロ、ミクロの形態・構造観察を、SEM、FIB/SIM、および TEM により行い、CNF 紙、樹脂のマクロな断面形態や多層構造を明らかにした。各部材の特定箇所（紙とバインダーとの界面など）の微細構造観察に関しては、FIB 加工では観察領域が狭いため、十分な観察ができなかった。今後、マイクロームにより得られる広い切片を用いて、SEM（または FIB/SIM）および TEM 観察を行うことが必要であると思われる。

A. 材料の長期信頼性

1. 実験方法

RTM 成形サンドイッチパネルより表面材を切り出し、長さ 50mm、幅 6.4mm、厚さ 1.6mm の短冊形状に加工した。動的粘弾性試験にはレオメトリックス社製 RSA- III を用いた。試験温度は $T=25 \sim 200^{\circ}\text{C}$ の範囲で、試験片に周波数 $f=0.01\text{Hz} \sim 10\text{Hz}$ の正弦波による 0.06% の定ひずみ振幅を加え、種々の温度における損失正接 $\tan \delta$ および貯蔵弾性係数 E' を求めた。

2. 結果および考察

損失正接 $\tan \delta$ と温度の関係（周波数 $f=1\text{Hz}$ ）を図 5.2-1 に示す。これより、 $\tan \delta$ は温度の上昇とともに増大し、 130°C 近傍でピークとなり、その後、低下する。これより、この表面材に使用した樹脂のガラス転移温度は 130°C 近傍になると推定される。貯蔵弾性係数 E' と温度の関係（周波数 $f=1\text{Hz}$ ）を図 5.2-2 に示す。

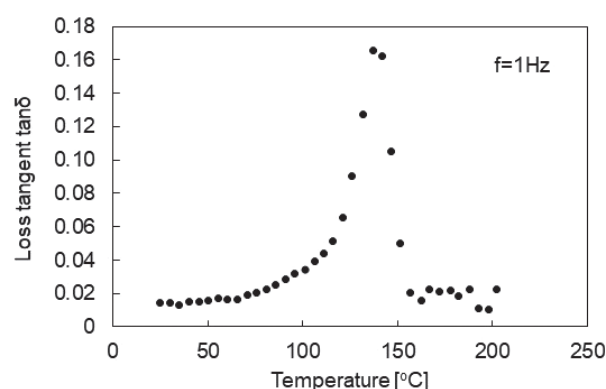


図 5.2-1 損失正接 $\tan \delta$ と温度の関係 ($f=1\text{Hz}$)

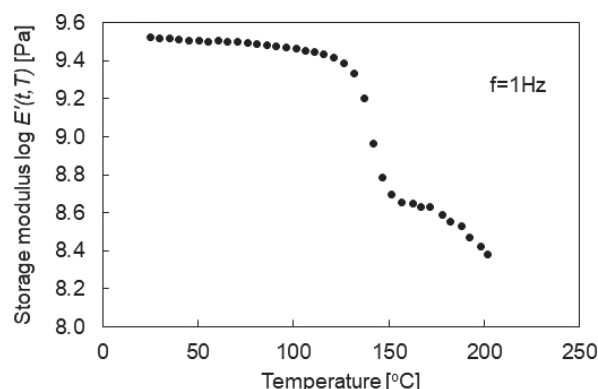


図 5.2-2 貯蔵弾性係数 E' と温度の関係 ($f=1\text{Hz}$)

これより、 E' は温度の上昇とともに低下し、130℃近傍より急激に低下する。

各温度で計測した $\tan \delta$ と対数時間 t ($=1/f$) の関係を図 5.2-3 の左側に示す。各温度における $\tan \delta$ を対数時間軸に対して平行移動して求めたマスター曲線を図 3 の右側に示す。対数時間軸の平行移動量である時間-温度移動因子 $a_{T0}(T)$ を図 5.2-4 に示す。これより、1 本の滑らかなマスター曲線を求めることができることから、 $\tan \delta$ の時間依存性と温度依存性の間には時間-温度換算則¹⁾ が成立する。

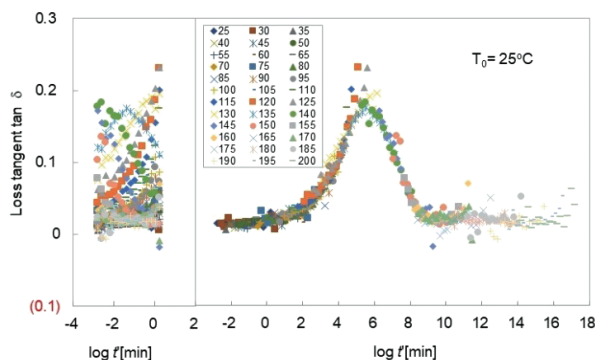


図 5.2-3 損失正接 $\tan \delta$ のマスター曲線

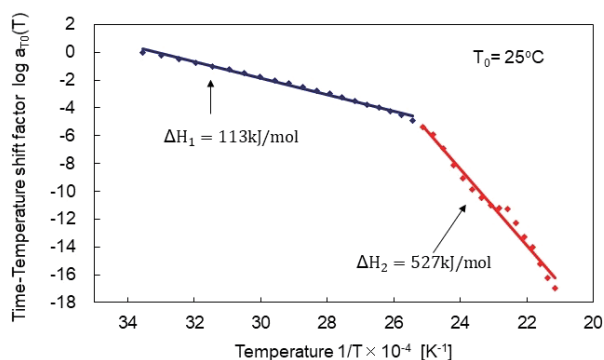


図 5.2-4 時間-温度移動因子

各各温度で計測した E' と対数時間 t ($=1/f$) の関係を図 5.2-5 の左側に示す。各温度における E' に対して図 5.2-4 の $a_{T0}(T)$ を適用して横軸に移動し、互いに重なり合うように縦軸にも平行移動して求めた E' のマスター曲線を図 5.2-5 の右側に示す。これより、1 本の滑らかなマスター曲線が求められることから、 E' の時間依存性と温度依存性の間には $\tan \delta$ と同じ時間-温度換算則が成立する。図 5.2-6 には縦軸に対する平行移動量である温度移動因子 $b_{T0}(T)$ を示す。

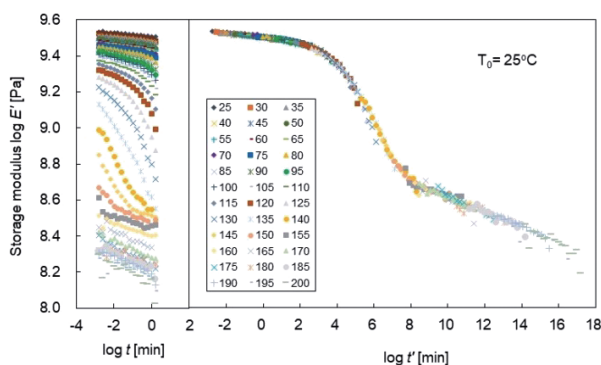


図 5.2-5 貯蔵弾性係数 E' のマスター曲線

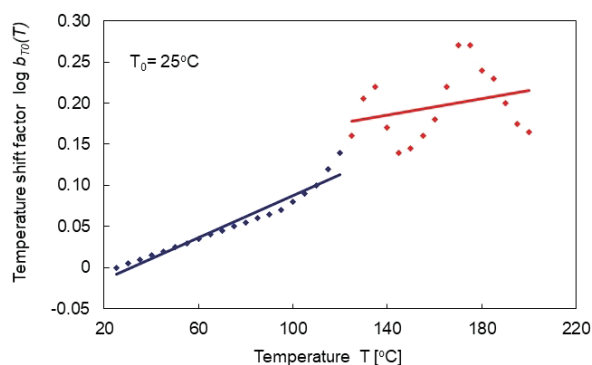


図 5.2-6 温度移動因子

3. おわりに

サンドイッチパネル表面材の粘弾性挙動を調査した。貯蔵弾性係数は著しい時間および温度依存性を示し、その時間依存性と温度依存性の間には時間-温度換算則が成立することがわかった。これより、種々の温度で計測した力学特性より長期における力学特性を推定できると考えられる。今後は、この時間-温度換算則の強度に対する適用性を検討する予定である。

参考文献)

- 1) 宮野 靖, 中田政之, 繊維強化プラスチックの耐久性, 共立出版 (2017)

B. 破断面の観察

1. RTM 成形サンドイッチパネル表面材の断面マクロな形態観察 1： SEM 観察

ここでは、サンドイッチパネル表面材の断面のマクロな形態観察を SEM で行った結果について述べる。図 1 は、断面の低倍率の SEM 像である。図中、上側が表面側に対応している。視野の下部には、発泡材と思われるポーラスなコントラスト領域が観察される。上部は、CNF 紙の領域と考えられるが、特に CNF 紙材が折り重なるような層状のコントラストやバインダーに対応するようなコントラストは見られない。これは、SEM 像は、二次電子によるもので、主として表面の凹凸を反映した像になるためと考えられる。また、発泡材側には、V 溝と思われる凹部が図の中央やや左側に観察される。

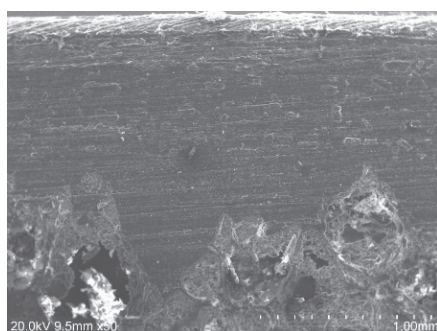


図 5.2-7

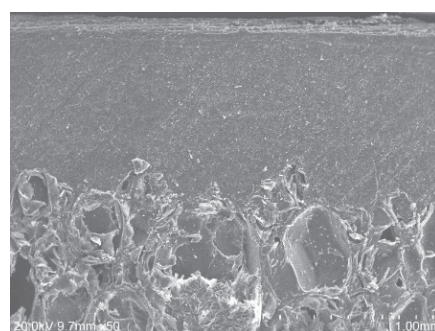


図 5.2-8

また、低倍率の断面 SEM 像も図 5.2-8 に示す。この場合も、図 5.2-7 と同様に、発泡は観察されたが、CNF 紙材などのコントラストは見られなかった。

2. サンドイッチパネル表面材の断面マクロな形態観察 2： FIB/SIM 観察

ここでは、サンドイッチパネル表面材の断面について、FIB/SIM によるマクロな形態観察を行った結果について述べる。図 5.2-9 は、断面の低倍率の FIB/SIM 像である。図中、上側が表面側に対応している。視野の上部には、CNF 紙材、バインダー、および樹脂と思われる層が交互に明暗コントラストを繰り返している様子がうかがえる。この結果から、FIB/SIM 像では、原子番号の違いによる明暗のコントラストが現れることが分かる。

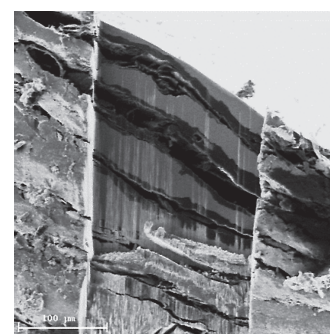


図 5.2-9

3. サンドイッチパネル表面材の断面のミクロな微細構造観察： TEM 観察

部材の断面 TEM 用の薄片試料の作製は、これまで述べた FIB 加工により行ってきた。SIM 像観察では、深く大きな穴を掘っていくのみのため、時間があれば数百 μm 程度までは掘り進むことができる。一方、TEM 用サンプル作製では、両側から削り、厚さ $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ まで薄くする必要がある。そのため、表面から深い領域までの薄片化は、試料のそりなどの問題で困難で、深さ $5 \sim 10 \mu\text{m}$ が限界である。今回は、表面付近から断面 TEM 試料を試みに作製し、観察した。その結果を図 5.2-10 に示す。図中、白のスケールが $1 \mu\text{m}$ に対応する。この領域は、全て同一の材料と思われる、電子線回折像中に halo パターンのみ観察される

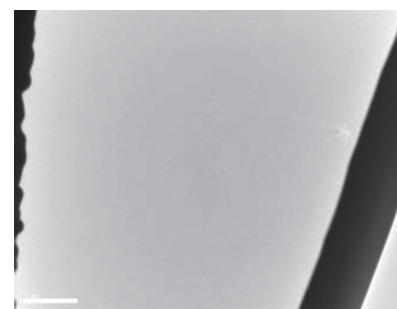


図 5.2-10

ことから、何らかの非晶質材（CNF 紙材、樹脂など）と考えられる。

4. 課題と今後の取り組み

以上述べたように、FIB 加工による断面 TEM 試料作製では、サンプルにおける、CNF 紙材とバインダー、樹脂などとの界面の微細構造観察には限界があることが判明した。次年度は、部材の TEM 評価では、ダイヤモンドナイフによる TEM 用切片の作製を試みることにする。このようにして作製した大面積の薄片試料を用いて、1) SIM 像観察により TEM 観察すべき箇所（CNF 紙材とバインダー界面など）の特定、2) TEM 明視野像法の他に、電子線回折法（TED）、高分解能 TEM（HRTEM）法、および走査型 TEM（STEM）/ エネルギー分散型 X 線分析（EDS）を併用して、試験片の詳細な微細構造の観察・分析を行っていく。また、各種試験を行った試料の観察・分析・評価を行い、試験時に内部で起こった現象（ファイバの破断、弾性変形、空洞形成など）の解明を進めていく。

第 6 章 CNF 軽量部品の実機搭載・性能評価

6.1 CO2 削減のための部品の軽量化目標の評価検証（トヨタテクノクラフト株式会社、金沢工業大学）

材料定数情報、成形加工性評価結果、接着性評価結果の情報提供を受け、軽量化シミュレーションを行い、トヨタ 86 試作車用部品（ボンネット、トランク）軽量化目標を設定した。

① 86 ボンネット、トランク質量目標値の検討

6.2 で検討を行ったボンネットとトランクリッドについて、実際に製作する各部材の材料特性から、各部材の質量を計算した。（表 6.1-1、表 6.1-2）

表 6.1-1 ボンネットフード質量目標値

No	名称	表面積 or体積		材質	板厚(t)	比重	重量(g)	個数	質量×個数(g)
①	フードアウト	1,397,000	mm2	CNF / ケナフ	1	1.5	2,096	1	2,096
②	フードインナ	1,450,000	mm2	CNF / ケナフ	1	1.5	2,175	1	2,175
③	コア材	20,918,021	mm3	フォームック ロハセル等	-	0.1	2,092	1	2,092
④	ナットプレートA	14,456	mm3	SPCC SS400	-	7.9	114	1	114
⑤	ナットプレートB	16,326	mm3	SPCC SS400	-	7.9	129	2	258
⑥	ストライカー	17,262	mm3	SPCC SS400	-	7.9	136	1	136
							合計		6,871

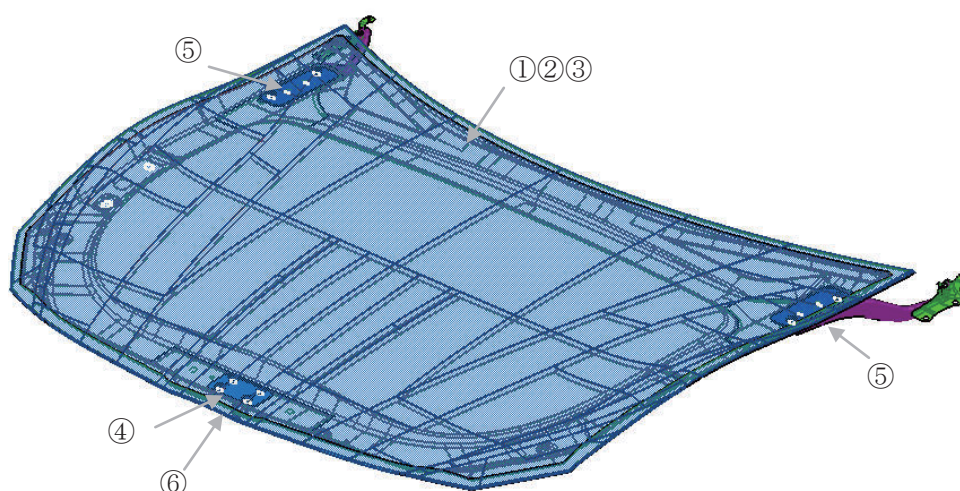


図 6.1-1 ボンネット部品構成

表 6.1-2 トランクリッド質量目標値

No	名称	表面積 or体積		材質	板厚(t)	比重	重量(g)	個数	質量×個数(g)
①	アウターパネル(UPR)	492,319	mm2	CNF100 %	2	1.5	1,477	1	1,477
②	アウターパネル(LWR)	324,901	mm2	PA+CNF 10%	2.2	1.3	929	1	929
③	インナーパネル	686,647	mm2	CFRP	0.88	1.5	906	1	906
④	ナットプレートC	7,386	mm3	SPCC SS400	-	7.9	58	2	117
⑤	ナットプレートD	7,386	mm3	SPCC SS400	-	7.9	58	2	117
⑥	ナットプレートE	8,072	mm3	SPCC SS400	-	7.9	64	1	64
⑦	プレート	3,300	mm3	SPCC SS400	-	7.9	26	2	52
⑧	接着剤	636,000	mm3	ハマタイト	2	1.03	655	1	655
							合計		4,317

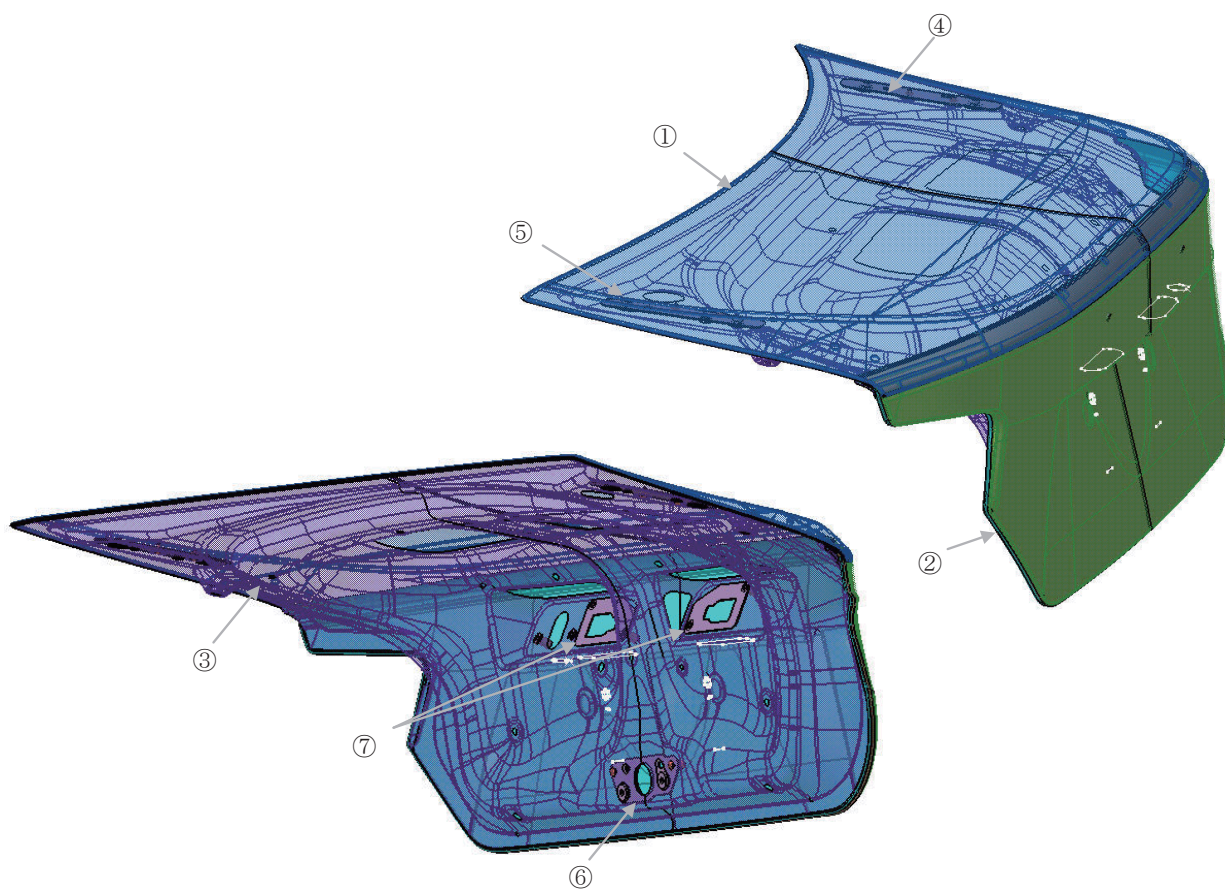


図 6.1-2 トランクリッド部品構成

6.2 CNF 部品基本構造等の検討（トヨタテクノクラフト株式会社）

トヨタ 86 用 CNF 部品の基本構造を検討し、部材試作に必要な評価・検討結果をグループ 2、3、4、5 にフィードバックした。また、AUTOMOTIVE CIRCLE に参加して自動車構造体の軽量化技術情報を技術開発動向技術領域等を明確化した。

①ボンネットフード構造

平成 28 年度の試算結果から、目標質量の 6.5kg ～ 7kg 程度となる構造を検討した。

市販実績のある樹脂製（CFRP 製）ボンネットと剛性が同等で目標質量となるような材料の板厚や特性を検討した。また、部品点数、型費、接着作業を削減するため、CNF 製表皮で発泡フォームコアをサンドイッチした構造とした。

簡易的な CAE モデルで、材料に求められる基本的な材料特性や板厚について、市販車用 CFRP 製ボンネットと CNF ボンネットに等しい分布荷重を负荷した際の変形量を相対比較した。（図 6.2.3）サンドイッチ構造化で断面 2 次モーメントは増したが、CNF10%ではヤング率が低く変形量が 3 倍程度となるため、CNF 表皮のヤング率を 15GPa 程度まで上げる必要があると思われる。

これらの結果については、グループ 2、3、4、5 へフィードバックした。



図 6.2-1 ボンネットフード

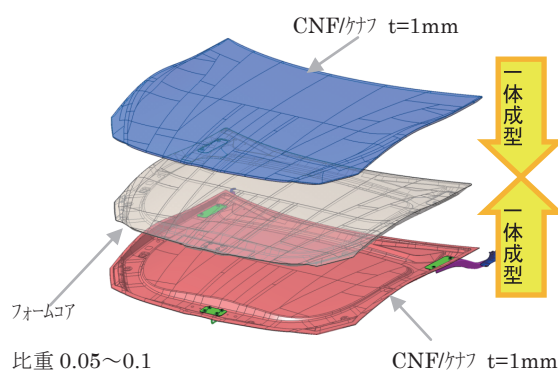
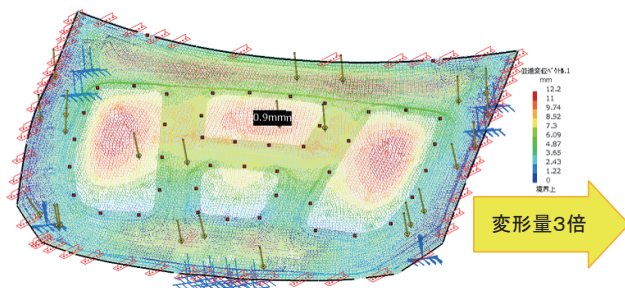


図 6.2-2 ボンネットフード構造

CFRP 製(市販用)

材質: CFRP ヤング率 $E=50$ (GPa)



CNF 製(NCV 用)

材質: CNF10% ヤング率 $E=5$ (GPa)

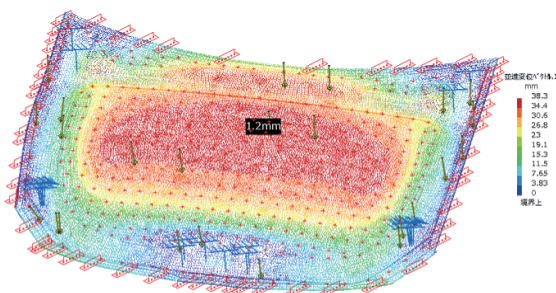


図 6.2-3 ボンネット剛性比較

②トランクリッド構造

平成 28 年度の調査結果とプロジェクトの過去の実績から、樹脂製トランクリッドは CNF 補強の樹脂によるコアバック発泡成形を基本とした。今回使用出来る型締め機的能力や型費からトランクの後面部をダイキョーニシカワ（株）の発泡成形とした。その他、トランクリッド上面については、ヤング率や強度の高い利昌工業（株）の CNF100%のシートで成形とした。ヒンジやロックの付くインナーパネルは型費を抑えつつ試作実績のある CFRP でトヨタテクノクラフトが製作した。これらの部材は名工大の接着剤の評価結果を参考にトヨタテクノクラフトで接着を行った。



図 6.2-4 トランクリッド

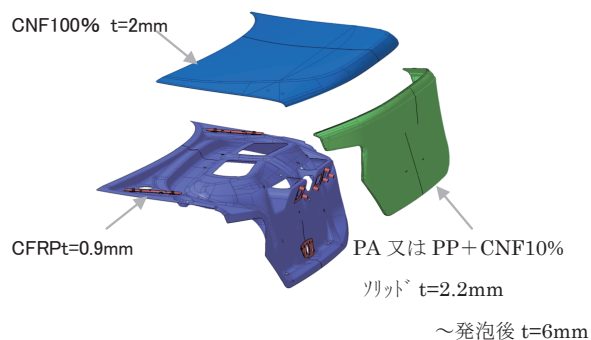


図 6.2-5 トランクリッド構造

③自動車構造体の軽量化技術情報を技術開発動向技術領域等を明確化

AUTOMOTIVE CIRCLE における車体軽量化技術事例

- ・新型 AUDI A8 における複数素材（金属・樹脂テーラードマテリアル）構造



図 6.2-6 テーラードマテリアル構造

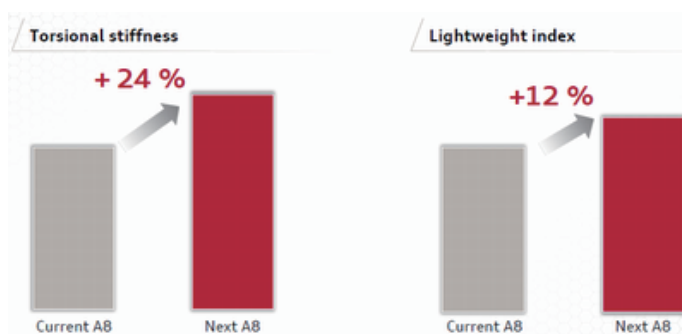


図 6.2-7 新旧車体剛性向上代・軽量化代

6.3 CNF 部品の組み付け技術の検討と実機搭載評価（トヨタテクノクラフト株式会社）

トヨタ 86 の現行部品の置換用 CNF 部品の、トヨタ 86 への組付け技術を検討し、また、試作した CNF 部品をトヨタ 86 に実機搭載して評価検証を行う。

① CNF 部品の組み付け技術の検討

トヨタ 86 の現行部品の外形や固定部の締結構造を参考にして CNF 部品を設計した。従来の樹脂部品同様に締結部分はボルトの軸力に耐えられる様に、鋼材製の補強部品を取付けた。

現行部品の外形を参考に行っているため、組付け作業性も現行品同様であり、容易に部品の交換が可能である。

表 6.3-1 部品試作日程

平成 29 年度	～7	8	9	10	11	12	1	2	3
ボンネット成形 (低圧 RTM 成形)	設計 (TC)		型製作、成形 (KIT、TC)						
トランク成形 (射出成形、真空プレス)	設計 (TC)		型製作、成形 (DNC、利昌、TC)						
部材接着、車両組付								接着 (TC)	

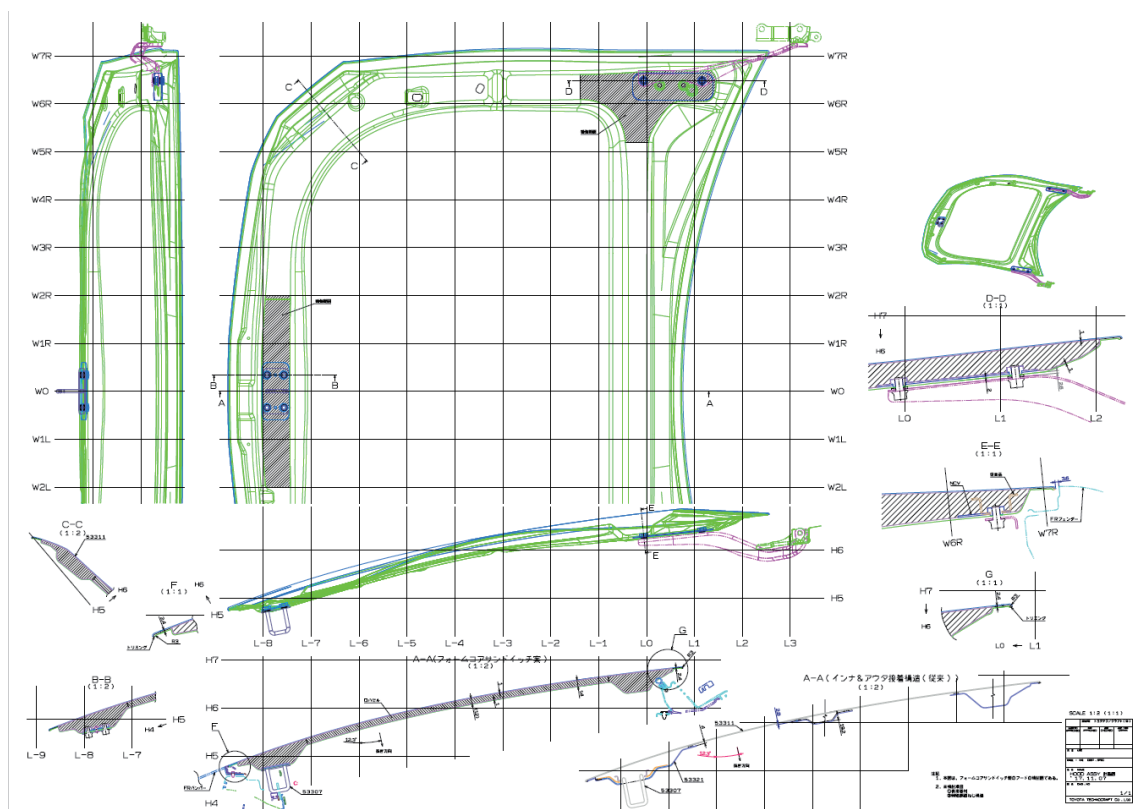


図 6.3-2 ボンネットフード組立図

(結果)

表 6.3-2 走行試験結果 (ラップタイム)

標準状態			120kg追加		
Lap	Time(Sec)	Time(Sec)	Lap	Time(Sec)	Time(Sec)
1	48.12	47.33	11	46.06	46.22
2	46.43	47.33	12	46.32	46.14
3	46.83	45.66	13	46.35	46.29
4	46.73	46.17	14	45.53	46.59
5	45.58	46.42	15	46.31	46.07
6	46.20	45.86	16	45.41	46.42
7	45.89	46.57	17	46.66	46.56
8	45.19	45.83	18	46.28	45.78
9	46.39	46.18	19	46.14	46.56
10	45.90	46.12	20	46.22	46.34

表 6.3-3 走行試験結果 (燃費)

	標準状態	120kg追加
平均タイム	46.23s	46.32s
総走行距離(GPS)	17,436m	17,448m
使用燃料量(ECU)	2.5L	3.0L
燃費換算	6.97 L/km	5.82 L/km

表 6.3.3 の結果から燃費に換算すると、今回の条件では車重が 120kg (1 割) 軽くなることで、燃料消費が 20% 弱の減少した。

表 6.3-4 走行試験結果 (ヨー変化)

条件	①標準	②標準+120kg
ハンドル舵角	小	大
進行方向角度変化(ヨー)	滑らか	粗い
車両姿勢	安定	不安定

⇒ 回頭性能(車の曲がりやすさ)の向上が認められた



図 6.3-5 回転軸定義

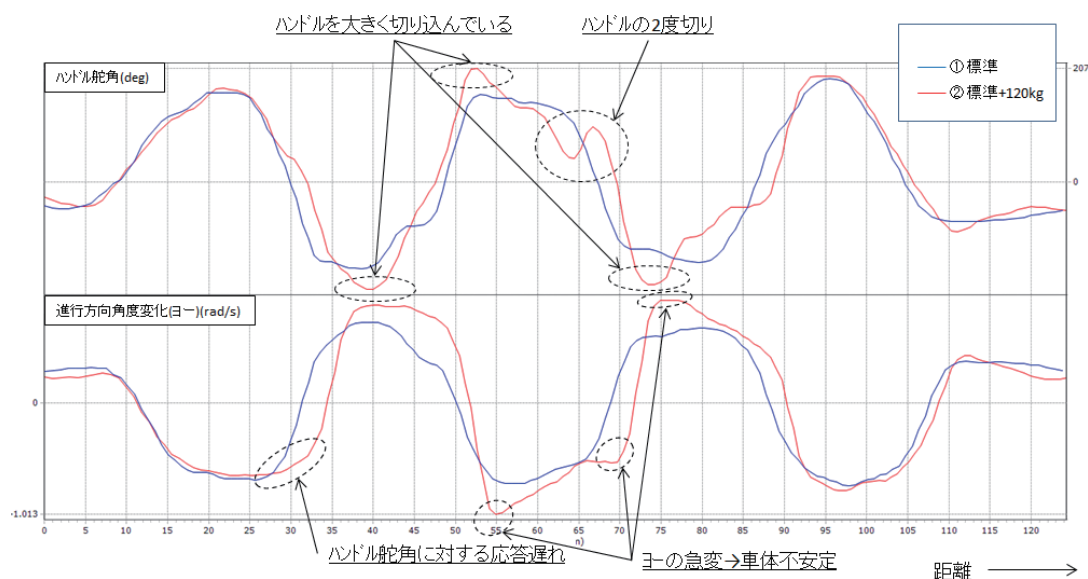


図 6.3-6 走行試験結果 (ヨー変化)

ロールについて

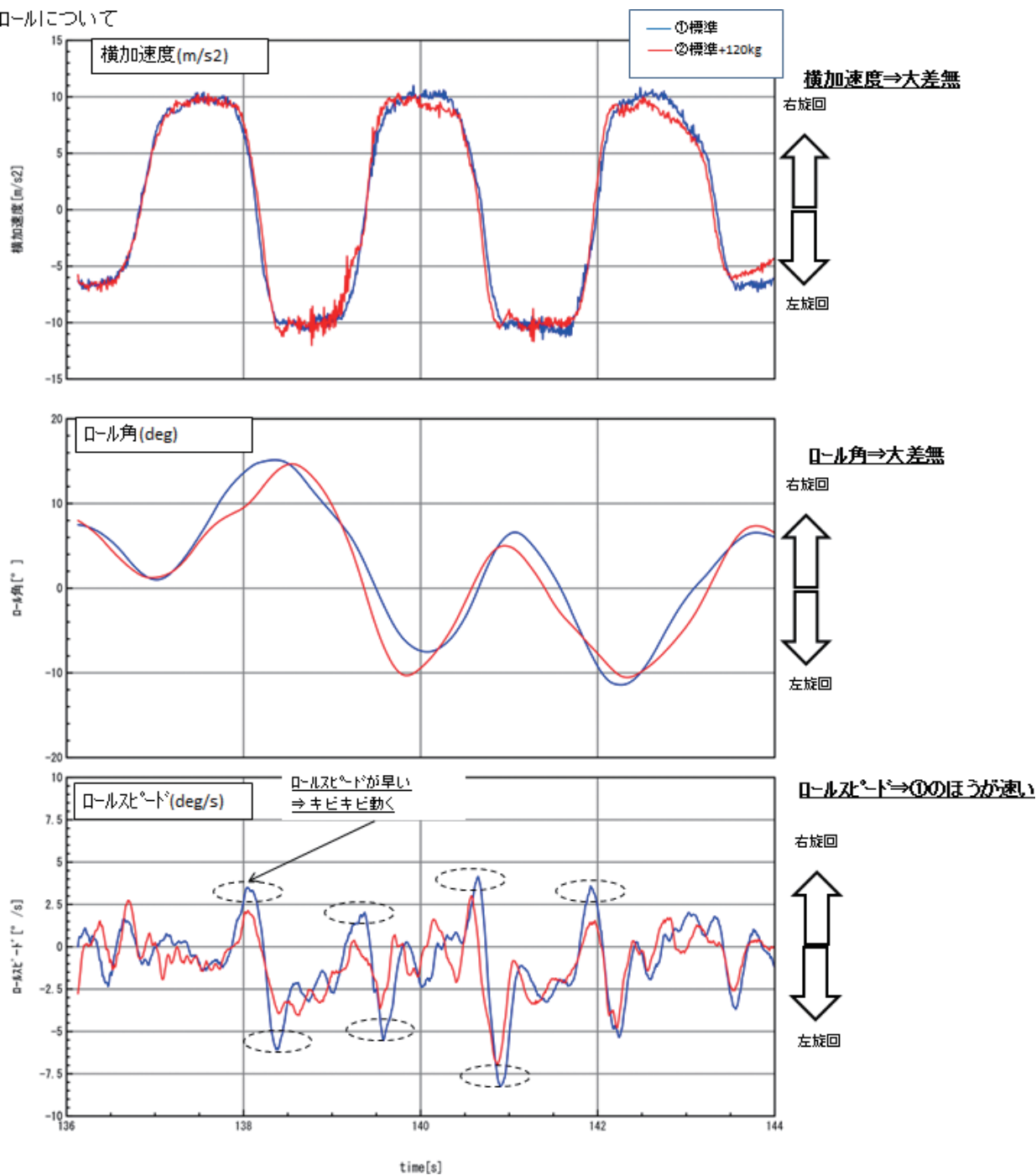


図 6.3-7 走行試験結果（横加速度、ロール変化）

図 6.3-6 の結果から、車重が 120kg 重い条件ではヨー方向の応答の遅れ、ハンドル操作角が大きくなったり、ハンドルの 2 度切りをしていることが判る。また、図 6.3-7 の結果からは、ロール角速度は車重が軽い条件の方が早くキビキビとした挙動となり操縦性が良くなる事が確認できた。

また、走行評価の一環として、プロジェクトメンバーも実際に車両を運転することで、燃費以外にも操縦安定性が向上することで、運転し易くなり結果的に安全性向上につながる事を体験して戴いた。

第 7 章 CNF 車両実装に関する車両構想の評価

7.1 最終試作車の車両構想等の検討のための国内外先進事例の明確化 トヨタテクノクラフト（株）

IAA（International Automobil-Ausstellung）でのコンセプトカーデザイン最新事例
＜コンセプトカーデザイントレンド＞

- ・ ヘッドランプ / リヤコンビランプ：LED での平面パネルでの模様などでの立体感デザイン
- ・ グリル：立体的グリルから平面的、柄模様、プラスチック感デザイン
- ・ バンパー：両サイドはシャープエッジでの空力デザイン
- ・ ドア：未来コンセプトカーは目立ち度、大開口でのインパクト
- ・ アウターミラー：ミラーレス（カメラ）多数、通常ミラーはエアロデザイン
- ・ 外装パネル：空力フィンなどのデザイン多数
- ・ ルーフ：アッパーはフラットサーフェイス処理での一体感デザイン多数
- ・ 内装：自動運転でのステアリング収納、大型液晶パネル
- ・ 外装塗装：ツートンカラー車種多数
- ・ ホイール：柄模様デザイン多数
- ・ 素材感：EV のイメージがプラスチック感多い⇒初代 iMAC イメージ
- ・ 装飾：メッキ装飾は高級車のみで LED での光装飾が多数



図 7.1.1 欧州メーカーコンセプトカーデザイン

7.2 最終試作車の車両構造及び組み付け技術の検討（トヨタテクノクラフト株式会社、金沢工業大学）

最終試作車の車両構造、車体・部品設計、組付け技術等を検討しつつ、最終試作車の軽量化目標を検討した。

最終試作車の使用用途に、コースでの実走行とモーターショー等の展示会が含まれる事を考慮して構造を検討した。構成部品の CNF 化については今年度の部品成形評価の結果を反映させて、来期の詳細設計に反映させる。

表 7.2-1 主骨格構成部品（案）

No	名称	構成内容
①	樹脂製骨格	樹脂骨格+サブフレーム
②	フロントカウルトップ	樹脂アッパーボデー
③	ロッカー部	CNF 板での補強
④	フロントフロア	CNF ハニカムパネル接着
⑤	ルーフサイドレール	金属+CNF シートで補強したリンフォース
⑥	ルーフリンフォース	樹脂アッパーボデー

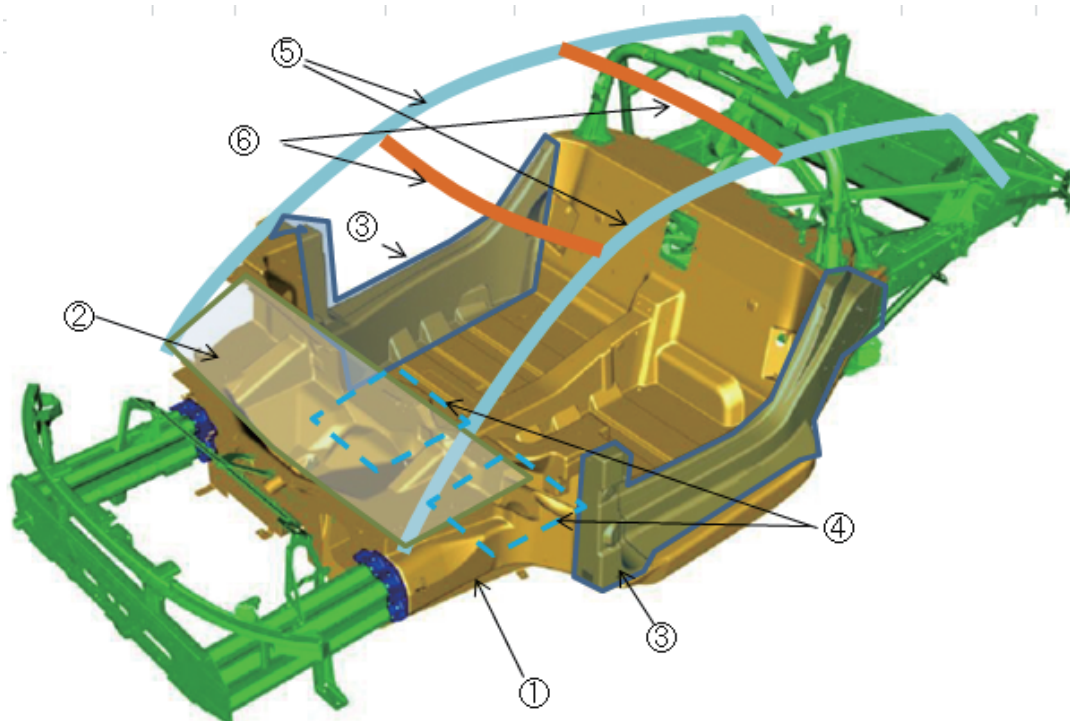


図 7.2.1 骨格構成部品配置（案）

7.4 最終試作車コンセプトデザインよりパーツ分割構成を検討した。

表 7.2-2 外装部品構成（B 案）（10 月検討意匠）

No.	部品名(仮)	個数	表面積(mm ²)	L(mm)	W(mm)	H(mm)
1	フードアウト	1	946990	1100	1190	
2	Fr_フェンダー	左右各1	809280	809280	610	610
3	Fr_SIDE_FIN	1	351020	530	740	110
4	Fr_CTR_LIP	1	280570	600	590	50
5	Fr_グリル(バンパー)	1	259380	700	1300	200
6	Fr_LED	左右各1		150	20	470
7	H/Lamp	左右各1		80	380	40
8	ドアアウター	左右各1	983580	1260		720
	ドアフレーム	左右各1		1260		720
9	ドアインナー	左右各1	983580	1260		720
10	サイドウインド1	左右各1	30340	320		180
11	サイドウインド2	左右各1	312150	1140		310
12	ウインドシールド	1	1172000	1170	1250	110
13	ルーフ	1	930550	1080	910	80
15	バックドアウインド	1	1217000	1370	850	160
16	バックドアフレーム	1		1370	850	160
17	ルーフサイドレール	1		3140	1340	450
18	QTR パネル	左右各1	283330	1540	450	
19	Rrフェンダー	左右各1	1137000	1700		740
20	Rr バンパー	1	1179000	650	1840	640
21	Rr バンパーLWR	1	614040	330	1470	260
22	Rr コンビランプ	左右各1		110	180	240

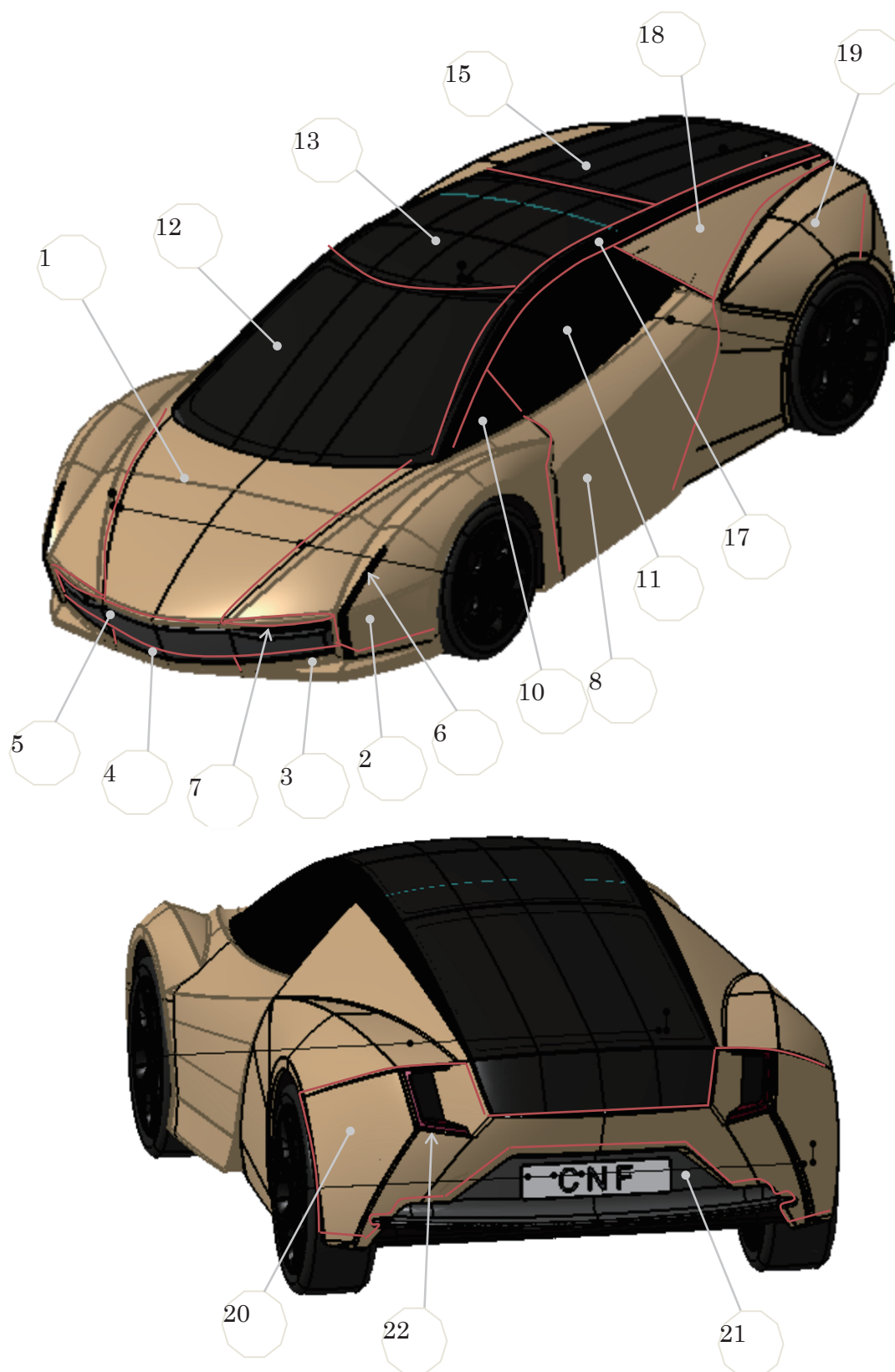


図 7.2-2 外装部品構成 (B 案) (10 月検討意匠)

7.3 CNF 車両の社会実装に向けた CNF 車両の市場投入方策の検討（金沢工業大学）

本プロジェクトのキーワードである自動車、LCA、軽量化が現在、今後、どのような関係にあり、どのように求められるであろうかを整理し、その方向性から本プロジェクト、すなわち CNF の自動車への導入の可能性追求の意味をもう一度振り返ってみた。結果、2030 年ころから素材製造時の CO₂ 排出が問題視されるようになり、木材成分を原料とする CNF のようなカーボンニュートラルが可能な材料が注目されるだろうこと。また、今のうちから、素材の LCA やコストに関して製紙会社とイメージ作りを行う必要性を確認することができた。

1. 自動車の緊急課題

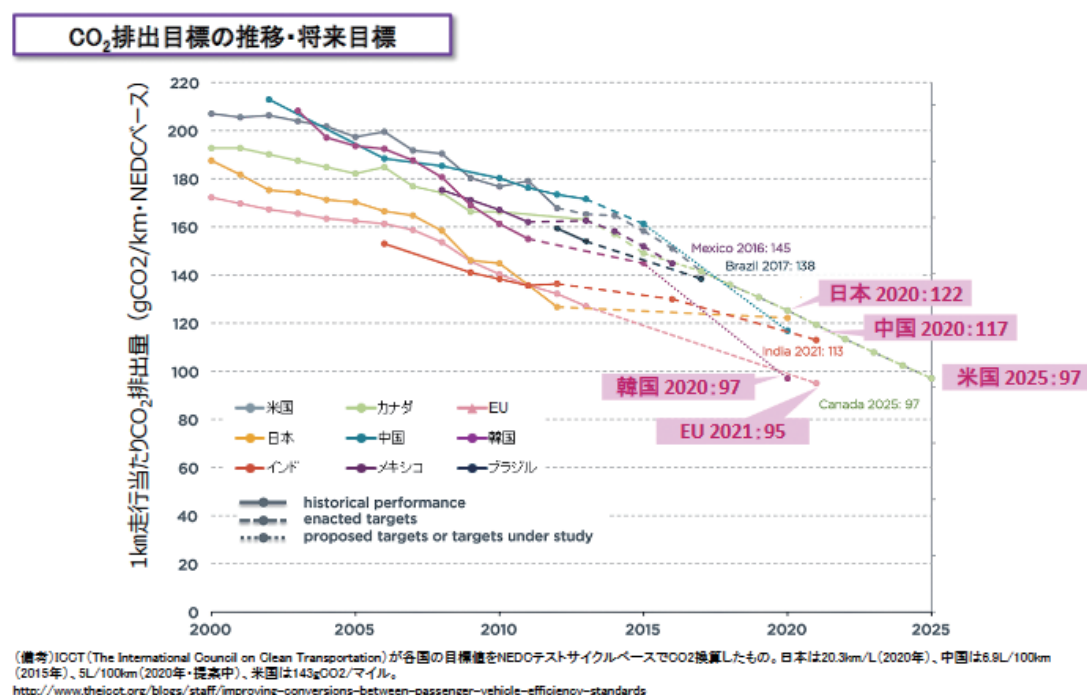


図 7.3-1 各国の自動車走行時 CO₂ 排出量規制（環境省 web ページより）

昨今、電気自動車（EV）など電動化車両の普及機運がフランス、中国、インドなどを中心に世界的に高まってきた。それを受け、欧州ではボルボ、フォルクスワーゲンなどが、日本でも、ホンダ、トヨタが電動化の方向を具体的に示すようになってきている。その引き金になっているのが、図 7.3-1 に示した各国の自動車走行時 CO₂ 排出量規制であり、最も厳しいのが EU 規制で 2020 年だけでなく、2030 年の規制量も最近出てきたようである。これは、大型車両の燃費をプリウス並みにするレベルであり、自動車会社の緊急課題になっている。

2. 自動車の取り組み

走行時の CO₂ 排出量を抑制するには、パワートレインの見直しや軽量化が重要であり、各社、電動化などの環境対応車開発を実施している。そうした中、軽量化のため軽量材料の開発が急務であり、CFRP が注目されていることも理解できた。電動化するとバッテリーの重さを相殺するだけの軽量化も必要であり、CFRP 化は Must な存在にもなっている。ただ、CFRP は、NEDO の革新炭素繊維の開発のように大

きく改善する方向であるがまだ高価であり、図 7.3-2 に示したように生産量や歴史といった観点から整理した例を見ると、急激に増えてはいるが構成材料の主流である鉄の尺度には到底及ばないことが分かる。そのため、適材適所の考えから、マルチマテリアル化の方向での開発が今後中心となっていくだろう。

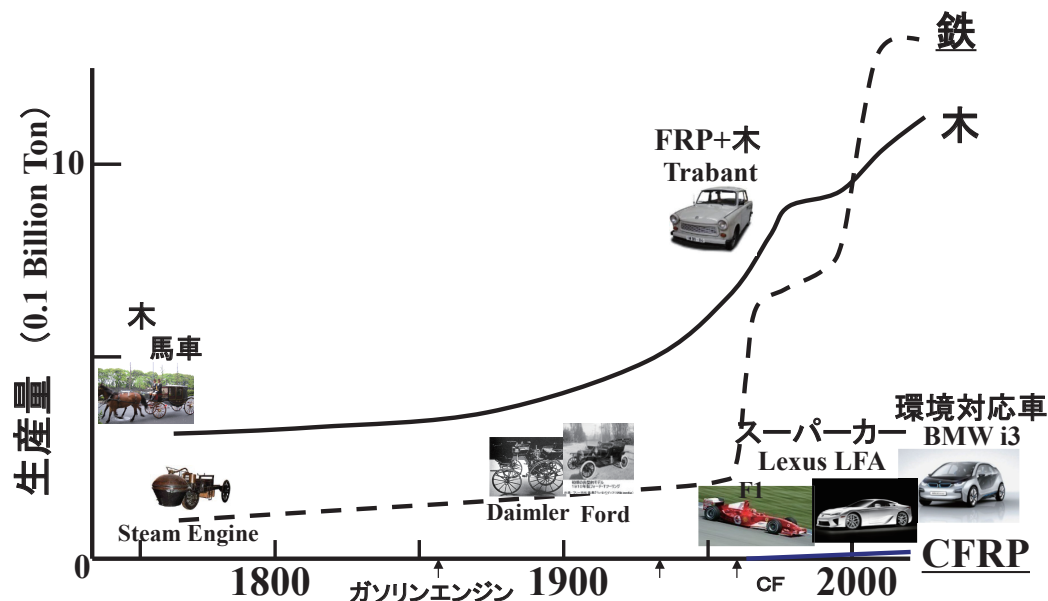


図 7.3-2 素材と生産量、歴史
日経ものづくり 技術者塾（影山講演）より

3. 自動車の将来に向けての本質的課題

トヨタ自動車の「トヨタ環境チャレンジ 2050」および図 7.3-3 の「LCA の将来ビジョン」などを見ると、2030 年くらいには緊急課題の走行時の CO_2 排出量は大きく改善されてくるのが分かる。これは電動化や軽量材料の導入によるものであることは前述のとおりである。問題はその後とに隠されている。図に示されたように 2050 年にかけて動力源（水素等）を作る際に発生する CO_2 や成形、組立時の CO_2 発生量も走行時の CO_2 排出量だけではなく、大幅に低減している。一つだけ低減できていないのが素材製造時の CO_2 排出量である。この低減には、軽量材料の導入は直接は意味がない。素材そのものの CO_2 原単位が意味を持つ。素材の LCA は鉄が極めて優れている。CFRP も改善できているとはいえ、化石燃料を原料とすることから素材の LCA 的には鉄に劣る結果となり、CFRP を使えば使うほど素材の CO_2 発生量が全体の発生量に占める割合が大きくなるという、2030 年までとは全く異なった取り組みが必要になってくる。すなわち、2030 年くらいからは、素材の LCA も考慮した材料開発、選択が重要な課題となるはずである。

4. CNF 導入の意味

自動車と軽量化、LCA の関係を時間軸で追いかけてみた。CNF は軽量材料であり、2030 年までの軽量化による走行時の LCA 対策に貢献できるかもしれない。ただ、他の軽量材料の CFRP やアルミに対して技術蓄積が少なく、2030 年までの間で優位性を出せるとは考えづらい。一方、2050 年以降の素材の LCA に関しては、CFRP の CF やアルミが電力の塊であることを考えると、カーボンニュートラルであるということから大きな意味を持ってくるものと容易に考えられる。技術的に遅れているが、将来コスト的にも優位に立てる可能性のある CNF を早期に社会実装するためには、このカーボンニュートラルの優位性も早くから考慮していくことが肝要のように思われる。そのためには、メリットになる可能性があるコストと LCA につ

いて早期に見通しを立てる必要性があり、要の製紙会社に入り込んだ調査が必要と考えている。来年度は、製紙会社の現場との情報交換、解析をしっかり行いたい。

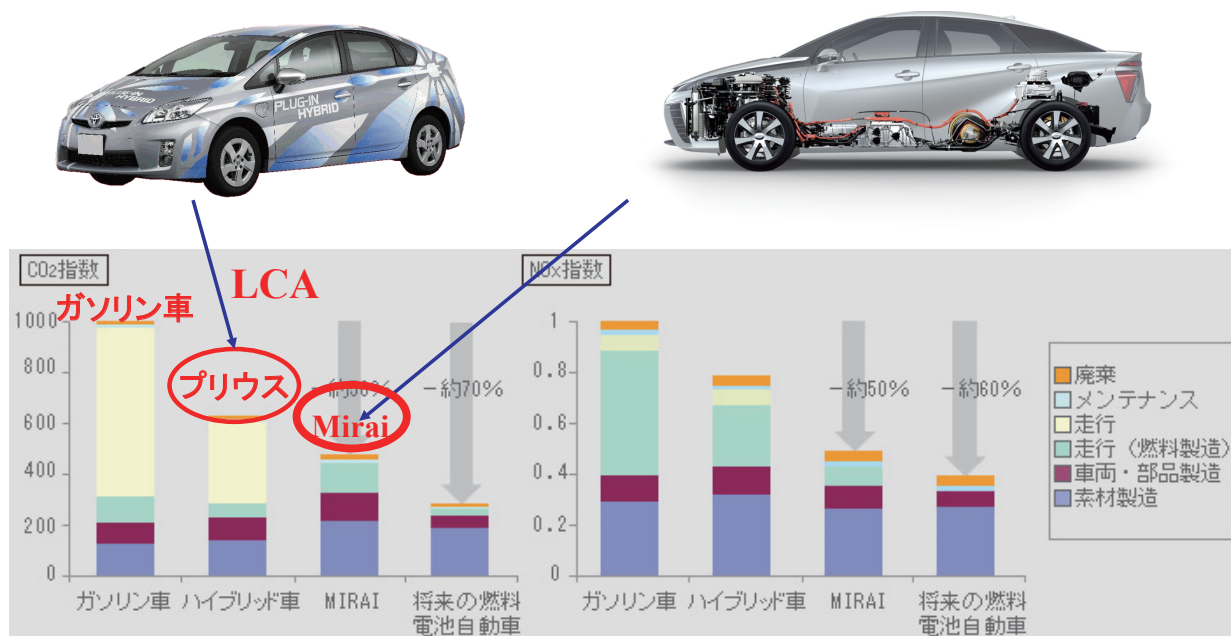


図 7.3-3 自動車 LCA の将来ビジョン (トヨタ自動車の例) (トヨタ自動車 HP より)

5. まとめ

自動車の現状の緊急課題が走行時の CO₂ 規制であること、また本プロジェクトの目的であることを理解した。電動化の他、軽量化のため軽量材料の開発が急務であり、CFRP が注目されていることも理解できた。ただ、CFRP は鉄に比べるとコスト、生産量、歴史などにおいて劣勢であり、鉄に置き換われるだけの実力はまだまだ不足している。そうした中、CNF は木材成分であることから、軽く、コスト的にも潜在的な魅力があり、なんといっても生産量や歴史において鉄に勝るとも劣らない素材であることを再認識した。

ただ、走行時の CO₂ 排出規制に対して目途が立つだろう 2030 年を境に、LCA 対策が本格化し、材料に求められる課題が材料自身が持つ CO₂ 発生量に移行することが十分に読み取られる情報があることを理解した。すなわち、環境の将来戦略としては、軽量化だけでなく、今のうちから LCA 全体を考えていくことが肝要と考えられる。その点、カギを握るのが製紙会社の現場であり、来年度はキーワードの素材の LCA とコストに関し現場との対話と解析を強化していくことが、自動車用 CNF の早期社会実装解明につながってくるものと考えられる。

7.4 最終試作車の車両構想の検討（京都大学、金沢工業大学、トヨタテクノクラフト株式会社）

7 章 1-3 項の検討を踏まえ、CNF 部品を最大限に搭載した最終試作車の車両構想を検討した。

本プロジェクトのコンセプトを体現するための外装と内装のデザインを複数案検討し、プロジェクト内の意見をヒアリングした。その結果、「自然」「調和」「工芸」のキーワードでデザインを絞り込んだ。

（図 7.4-1、図 7.4-2、図 7.4-3）

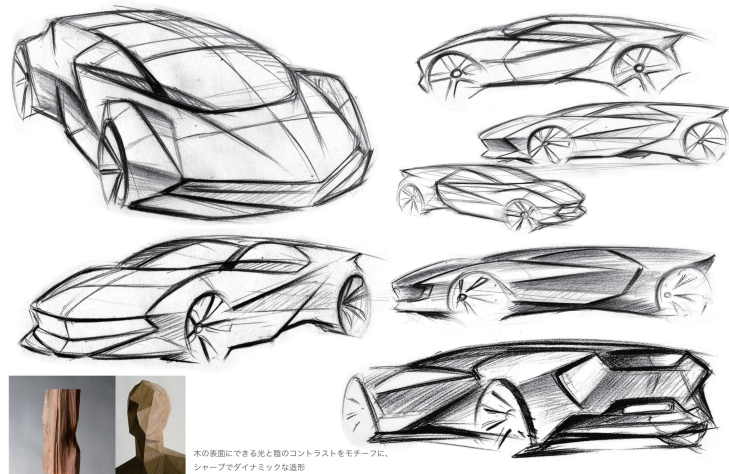


図 7.4-1 外装デザインスケッチ（木彫のイメージ）（29 年 10 月検討）

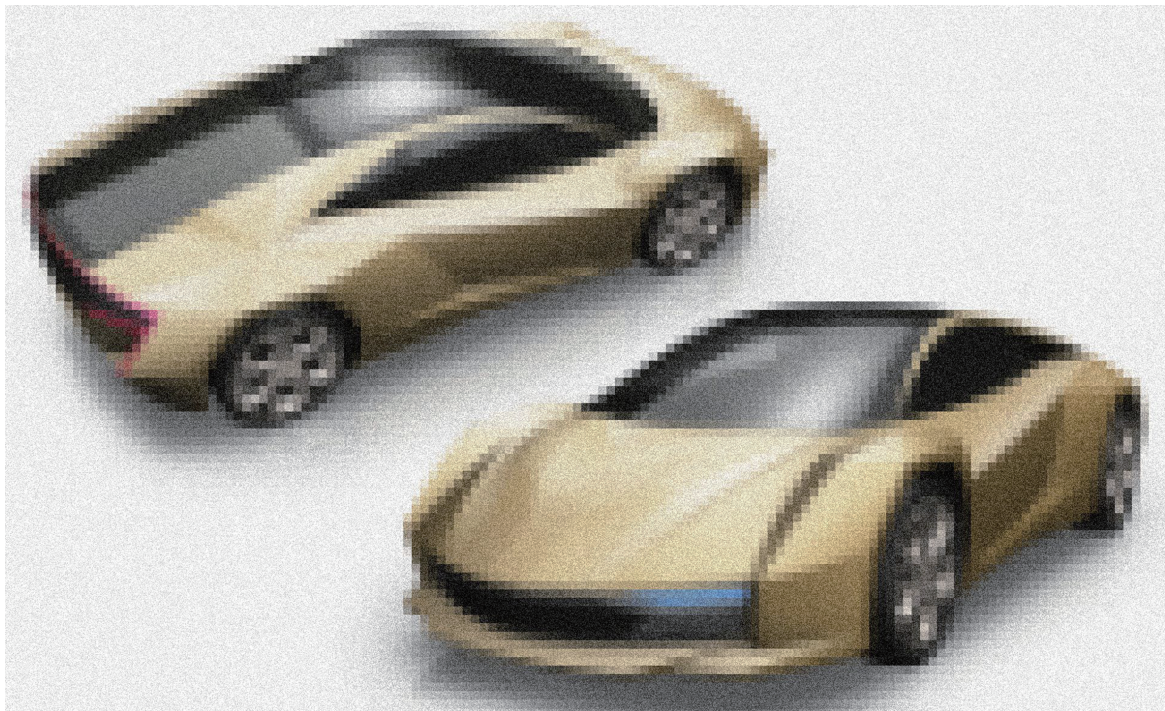


図 7.4-2 外装レンダリングイメージ

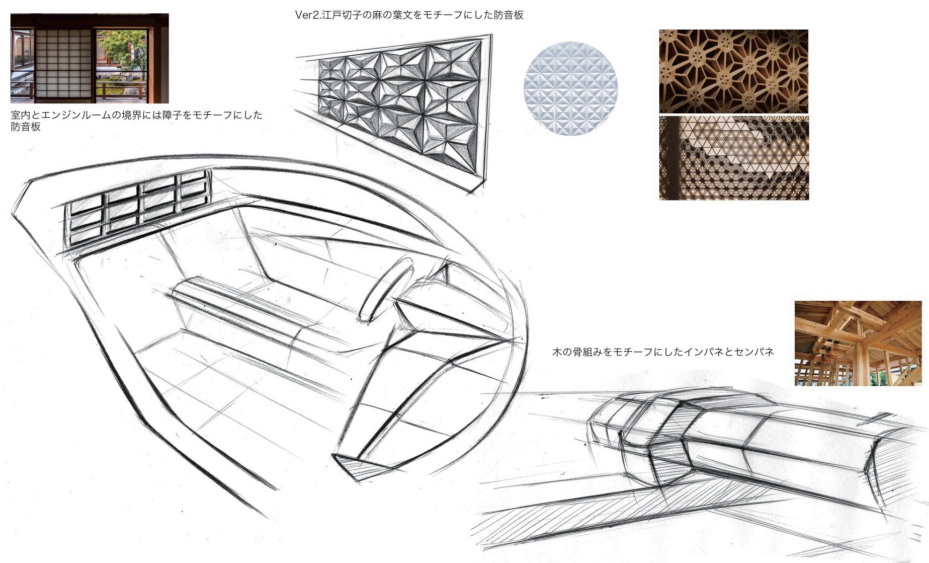


図 7.4-3 内装デザインスケッチ（木組み工芸のイメージ）（29 年 12 月検討）

また、ベース車両の外装、骨格、搭載品形状に合わせて意匠面データを作成するため、外形の 3D 計測を行った。その結果と現状の外装意匠を重ね合わせることで、今後は干渉部確認を行いながら意匠面データの修正を行える様にした。（図 7.4-3）

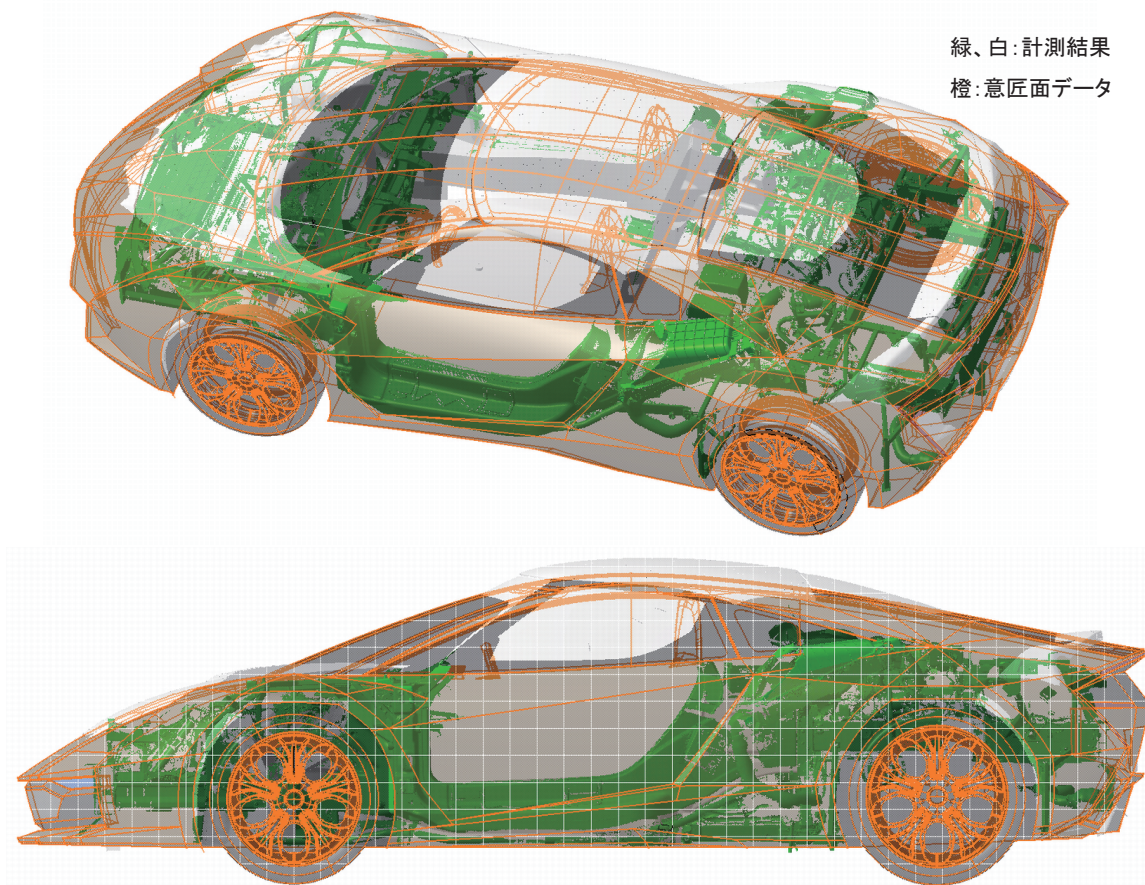
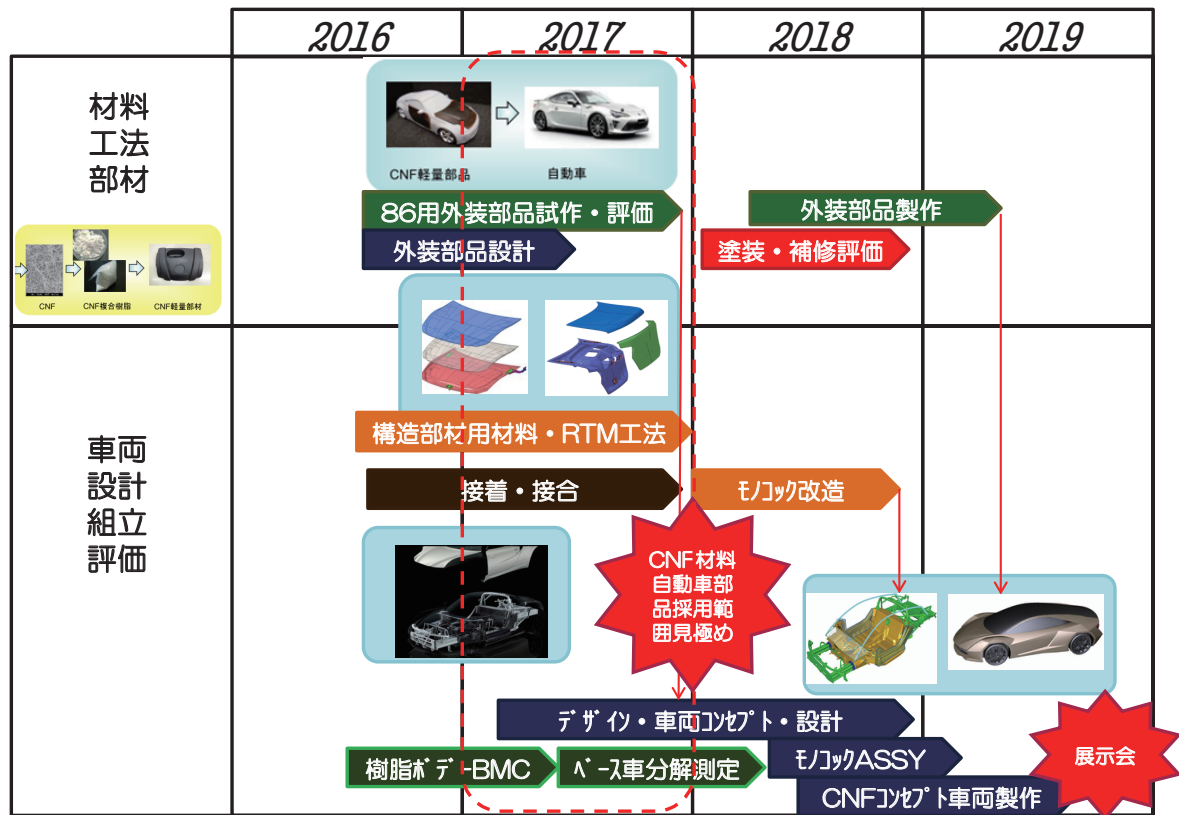


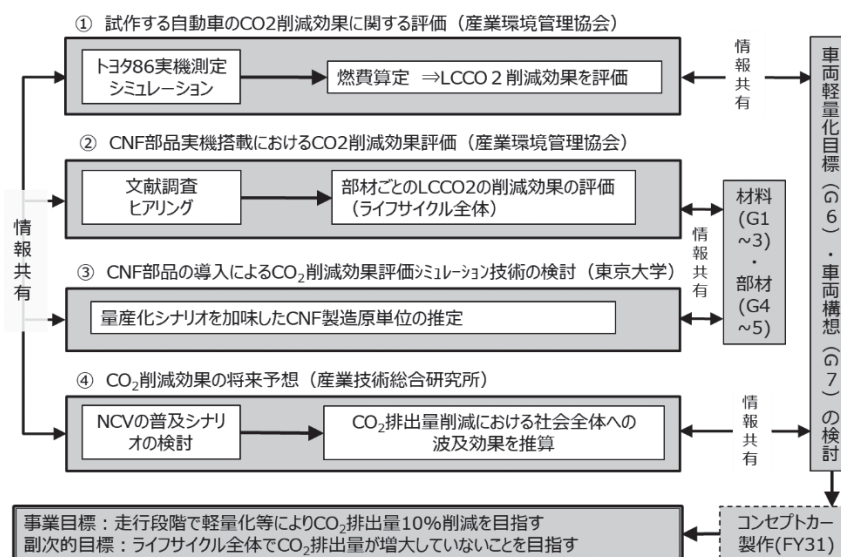
図 7.4-4 3D 計測結果とレンダリングデータの重ね合せ

また、平成 31 年度の展示会への車両展示を前提とした大日程を検討して、プロジェクト内で日程や期限についての共有をした。



第 8 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

本章の今年度の作業の全体像を以下に示す。図中の①～④の表記は本報告書の（8）項の下位四項目の番号に対応する。



CO₂ 評価グループ 平成 29 年度実施内容

< CO₂ 評価グループの平成 29 年度業務概要 >

- ・[項目①] トヨタ 86 について燃費試験を行い特定のエンジンについて重量依存性（車両重量 25% 減で燃費 5.9% 改善）を得た。今後、エンジンを変更しない場合と、エンジンの最適化も加味した場合との両パターンの検討を進める（産業環境管理協会）。
- ・[項目①] 項目③を受けトヨタ 86 軽量化時の LCCO₂ 排出量の削減量を検討し、トヨタ 86 を CNF 部材で 10%軽量化した場合、一定の前提条件の下で LCCO₂ 排出量の削減が見込まれる結果となった（産業環境管理協会）。
- ・[項目②] コンソーシアムメンバーから各部材の素材構成、成型方法、部材重量およびベースラインの情報提供を受け、LCCO₂ 排出量を試算しフィードバックすることにより、開発目標の設定に資するプロセスの目途がついた（産業環境管理協会）。
- ・[項目③] 特に影響が大きいと考えられる原料パルプの生産について、その上流の工程を含めたシミュレーションモデルの検討を行い、原材料調達から化学修飾までの CNF の製造原単位を推算した（東京大学）。
- ・[項目④] 長期 CO₂ 排出量削減目標からバックキャスティングにより、車種別の CO₂ 削減シナリオ及び軽量化シナリオを作成し、原料に占める CNF 複合材料の割合を含め 2030 年における GV の軽量化目標を導出した。（産業技術総合研究所）。

8.1 試作する自動車の CO₂ 削減効果に関する評価（産業環境管理協会）

A 燃費改善による CO₂ 削減効果の算定

種車の CNF 代替前の走行段階の燃費を実測し、軽量化に基づく燃費改善による CO₂ 排出量削減効果を算定した。

1. 燃費改善におけるベースラインの検討

CNF 代替前の種車として、トヨタ 86（排気量 2000cc、フロントエンジン・リアドライブ、6 速マニュアル車、等価慣性重量 1360 kg）を用いた。日本自動車研究所のテストコースに走行抵抗を測定したところ、転がり抵抗 163.7 N、空気抵抗 0.03648 N/(km/h)² であった。これをベースラインとし、2. で燃費に影響を与える因子（等価慣性重量、空気抵抗、転がり抵抗）を変化させた場合も含めた走行燃費を測定する。

2. 走行試験およびシミュレーション

日本自動車研究所のシャシダイナモメータにおいて燃費試験を実施した。公定排出ガス試験法である JC08 モードにより、供試車両の燃費を確認したところ、11.73 km/L であった。次期排出ガス試験法である Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure（WLTP）の WLTC モードにて、供試車両の燃費を確認したところ、13.45 km/L であった。

次に、土研 PN3 モードを用いて等価慣性重量を変化させたところ、車両重量 25% 減で燃費 5.9% 改善、車両重量 50% 減で燃費 10.4% 改善となった。

最後に、ホットモードかつ標準車両諸元による燃費試験データをもとに、車速と駆動力に対する燃費マップを作成し、燃料消費率の推定が可能となる燃費プログラムを作成した。

3. CO₂ 削減効果のとりまとめ

燃費に影響する因子を変化させた場合の燃費の変化率を推計したところ、燃費改善目標 10% を車両軽量化のみで達成しよう考えると、約 50% の軽量化が必要となり現実的ではない。そのため、転がり抵抗や空気抵抗の改善も合わせて検討する必要があることが分かった。また一般的な傾向としては車両軽量化とエンジンの小型化（排気量低減）の間に一定の相関が存在するので、この点を加味した評価も検討が必要である。

B 総合的な軽量化の CO₂ 削減効果の算定

LCCO₂ 排出量の中で寄与度の大きい走行段階と素材製造段階についてそれぞれ実測および化学シミュレーションによる推算を行いこれをもとに CNF 導入による車両軽量化時の LCCO₂ 排出量を算定した。

1. ライフサイクルにおける CO₂ 排出量削減効果のベースラインの検討

トヨタ 86 について軽量化前をベースラインとし、車体重量 10% 軽量化後の LCCO₂ 排出量と比較することで軽量化効果を算定した。軽量化に必要な代替材料は CNF を 10% 混合した PA6 とし、射出成形で製造するものと仮定した。CNF 製造時の CO₂ 排出量については東京大学チームの結果を採用し、量産化前提としたシミュレーションの結果から取りうる低めのケース（ケース 1）と高めのケース（ケース 2）を採用した。走行段階については① A の結果に基いた。廃棄・リサイクル段階については、CNF 複合材

料のリサイクル方法が確立されていないことから、全量焼却し、その熱による廃棄物発電（発電効率10%）というシナリオを設定した。

2. (8) ① Aにおける走行時のCO₂排出量と(8) ②、③における各ライフサイクル段階のCO₂排出量の統合

軽量化によるLCCO₂削減効果について、前述の条件に基づき算定した結果を図8.1-1に示す。トヨタ86実機の燃費測定結果を踏まえ、CNF製造原単位を大きめに見積もっても（軽量化ケース2）CNF導入による軽量化で少なくともLCCO₂排出量が増加しない結果となった。軽量化による走行時のCO₂排出量削減効果に対し、素材製造段階および廃棄・リサイクル段階ではCO₂排出量の増加が予想される。今後LCCO₂排出量削減の種々の取組をシナリオに組み込んだ評価結果を提示し開発目標の設定に資することとする。

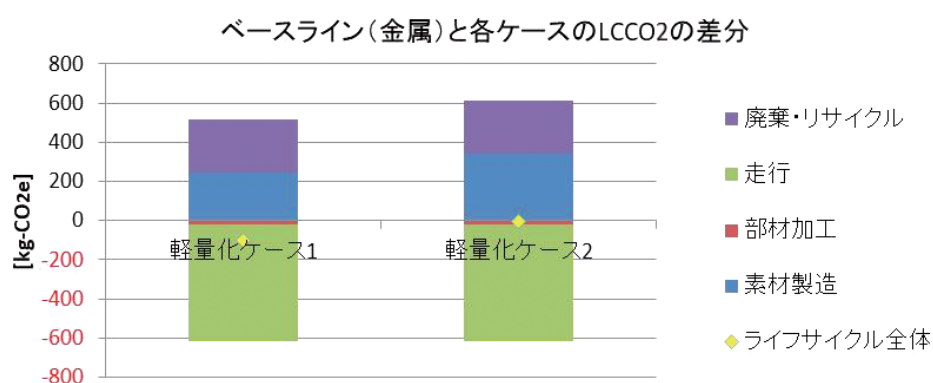


図 8.1-1 軽量化による LCCO₂ 排出量削減効果

8.2 CNF 部品実機搭載における CO₂ 削減効果評価（産業環境管理協会）

A 各製造プロセス情報の収集

自動車全体に加えて部材単位での LCCO₂ 排出量を推定し、CNF 部材とベースライン（比較対象となる従来部材）との比較を行うことで部材の試作目標の導出に資することとする。

1. 素材に関する文献調査

平成 28 年度は CNF 材料についての文献調査を実施したが、今年度はこれを補完する情報として、近年環境配慮型素材として開発・普及が進みつつあるバイオプラスチックの動向を調査する。将来的には、バイオプラスチックは CNF に配合されたり、競合素材として比較対象に上がってくる可能性がある。しかし、バイオプラスチックの信頼できる CO₂ 排出量は整理されていないため、バイオプラスチック製造時の CO₂ 排出量を調査した。その結果、主要なバイオプラスチック製造時の CO₂ 排出量を整理することができた。ただし、土地利用・改変に伴う CO₂ 排出量の扱いなど、評価手法の相違があるため、結果のみの比較には注意を要することが明らかになった。

2. 成形加工プロセスに関するヒアリング

CNF 部材の試作段階では、それを構成する各種プロセスの条件は流動的である。また、原料への特殊な配合品が添加される可能性もあり、高い信頼性をもって商用生産時のプロセス条件・原料等を把握することは困難である。しかし、開発の初期段階から CO₂ 排出量が大きく増加することが懸念されるプロセス（ホットスポット）をあらかじめ把握し、対策を検討することが、円滑な商用化に際し重要である。そこで、本年度は CNF 部材を試作したコンソーシアムメンバーに表 8.2-1 に示すヒアリングを行った。射出成型により試作品を製造した A 社・B 社については、自社で成形加工している既存部品をベースラインとした場合、成型加工プロセス自体の CO₂ 排出量は増加の方向にはない見込が得られた。今後、さらに他メンバーの試作品製造を受けヒアリングを行う。

表 8.2-1 試作品の成形加工プロセスについてのヒアリング結果

	A 社	B 社	C 社
装置の方式	射出成型	射出成型	常圧焼き締め
試作品の原料構成	PP/CNF（10%）、発泡無	PA6/CNF（15%）、発泡無	CNF（100%）
従来品の原料構成	PP、発泡無	PA6/GF（30%）、発泡無	従来品無
従来品に比べた電力消費量増減の見込と理由	成形加工時は増減無しの見込だが混練/希釈時に増加の見込	削減傾向の見込み。樹脂温度が従来より低くなるため。	（加熱時間の短縮、量産化検討が将来的な課題）
従来品に比べた固形廃棄物増減の見込	増減無しの見込。	増減無しの見込。	—
従来品に比べた固形廃棄物の系内リサイクル	系内リサイクルした場合に物性が維持されるかが要確認。	不明。	—

B 部材ごとの CO₂ 削減効果の算定

1. LCCO₂ 排出量の評価

(1) 射出成型プロセスにおけるサイトデータに基づく LCCO₂ 排出量の算定

自動車 1 台の LCCO₂ 排出量を削減するには、部材単位で見ても CNF 添加により LCCO₂ 排出量が削減されることが必要である。試作の条件だしを行っている現段階では詳細な部材製造データを把握することは困難であるが、最低限の情報をもとに簡素な LCCO₂ 排出量の評価を実施した。なお、本検討は商用生産時のプロセスを関係者が推測したものであるため、将来の実態を予測したものではない。

評価対象として前述の表 8.2-1 の A 社試作品について簡略化された収集項目(表 8.2-1 および表 8.2-2)に留めデータ収集した。試作品は CNF 添加により強度を維持しつつ軽量化を図ったものであり、自動車部材としての機能単位はベースラインと共通して「製品 1 個」とした。その結果、CNF 添加による LCCO₂ 排出量削減の効果が認められることが示唆された(表 8.2-3)。

表 8.2-2 試作品(射出成形)の事例

	試作品	ベースライン
素材	PP/CNF 10% 発泡無し	PP 発泡無し
部材重量	約 1300g/個	約 1500g/個

表 8.2-3 試作品(射出成形)の LCCO₂ 排出量変化量

ライフサイクル段階	CO ₂ 排出量変化量(kg-CO ₂) =試作品-ベースライン
製造段階	0.8
走行段階	-1.0
廃棄・リサイクル段階	-0.3
合計	-0.5

算定条件：自動車生涯走行距離、自動車部品の生涯ガソリン消費量は 122,158km、1.75L/kg (JAPIA LCI 算出ガイドライン)、CNF 原料製造工程は東京大学チームの結果を参照、また、射出成型プロセスのエネルギー消費量・固形廃棄物量・系内リサイクル量は CNF 添加によっても変化無しとした。なお、廃棄リサイクル段階においては全量焼却し、一部熱回収するとした。

(2) RTM プロセスにおけるサイトデータに基づく LCCO₂ 排出量の算定

RTM :Resin Transfer Molding (樹脂注入成形法) による LCCO₂ 排出量に関するサイトデータを得た。RTM では、コア材の表裏を樹脂流動通路を刻んだ基材ではさみ、基材に樹脂を含浸して硬化する。今回の事例では、コア材として発泡樹脂シート、基材として CNF を含むシート、基材に含浸する樹脂としてエポキシ樹脂を用いている。RTM はモールドキャリア、金型温調器、注入機(樹脂加温+樹脂循環ポンプ)、コンプレッサー、注入機専用チラー、モールドキャリア・金型用チラーといった機器によって構成され、それぞれの機器における電力消費量を実測した。

さらに、同じ表面積の自動車部材として、ベースラインを鋼板、試作品を RTM による CNF 複合部材として、LCCO₂ 排出量の削減効果を調べた。その結果を表 8.2-4、5 に示す。CNF 添加による LCCO₂ 排出量削減の効果が認められる結果とはならなかったが、次のような CO₂ 排出量削減の余地があることが分かった。すなわち、製造段階では材料使用量の削減、樹脂等の材料選択、成形サイクルタイムの短縮、廃棄・リサイクル段階ではリサイクルの技術・社会制度の開発などである。また大型部材の一体成形による成型プロセスの製造時 CO₂ 排出量低減や、部材物性の向上に基づく軽量化による燃費改善の検討の必要性が示唆された。

表 8.2-4 試作品（RTM）の事例

	試作品	ベースライン
素材	鋼板	CNF 複合材
部材重量	-	25%削減
表面積	約 550,000mm ²	

表 8.2-5 試作品（RTM）の LCCO₂ 排出量変化量

ライフサイクル段階	CO ₂ 排出量変化量 (kg-CO ₂) = 試作品 - ベースライン
製造段階	4.7
走行段階	-3.3
廃棄・リサイクル段階	2.6
合計	4.0

算定条件は表 8.2-3 に同じ。

2. 削減効果のとりまとめ

試作品の製造条件を確立する途上の現段階で LCCO₂ 排出量の観点を盛り込むためには部材試作者と LCCO₂ 排出量算定者のコミュニケーションが重要である。全体会合・個別会合を通じて、試作品の製造プロセスの LCCO₂ 排出量に関わる上記のやりとりを行ったところ、部材製造に関わるコンソーシアムメンバーの立場として、製造プロセスの条件出しに諸課題を抱えつつも、LCCO₂ 排出量がこれまで考慮事項に入っていなかったというコメントや LCCO₂ 排出量の観点からの CNF 部材のメリット創出への期待が確認された。

おわりに①項の自動車単位、②項の部材単位における、LCCO₂ 排出量削減効果の検討状況を表 8.2-6 に示す。

表 8.2-6 CNF 導入による LCCO₂ 排出量削減効果の検討状況

	LCCO ₂ 排出量削減ポテンシャル	現時点のベースライン (参考)	2030 年のベースライン
自動車	トヨタ 86 を CNF 部材の置換により 10%軽量化した場合を算定した。	トヨタ 86 の実機 エンジン小型化を加味する検討が必要。	2030 年の燃費のシナリオ設定について要検討。
CNF 部品	射出成型、RTM 成型について評価し、試作における考慮事項を抽出した。	製造されている同等品	CNF 部材がなければ 2030 年に主流となっていると予想される材料で製造される同等品について要検討。

ハッチングは平成 29 年度に実施した項目を示す。

8.3 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 29 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について、その上流の工程を含めたシミュレーションモデルの検討を中心に実施する。その他の化学修飾、混練、成形加工等の下流工程については、他の業務の成果と連携しながら進める。

1. CNF 強化樹脂製造プロセスのシミュレータの要件

CNF 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 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を特定する必要がある。そこで、CNF 製造プロセスの単位操作と入出力の概要を特許情報 [1] に基づいて特性化した。CNF 製造プロセスのブロックフローダイアグラムを図 8.3-1 に示す。原料とするセルロースは製紙工場から得られるパルプが利用可能である。製紙プロセスの CO₂ 排出量は、生産規模や生産する紙製品の量的バランス、黒液の生産量と使用量、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 [2] いるため、CNF 生産のライフサイクル CO₂ 排出量も製紙の条件によって変動する。そこで、製紙条件を反映した CO₂ 排出量の計算が可能な製紙プロセスモデルを構築する。

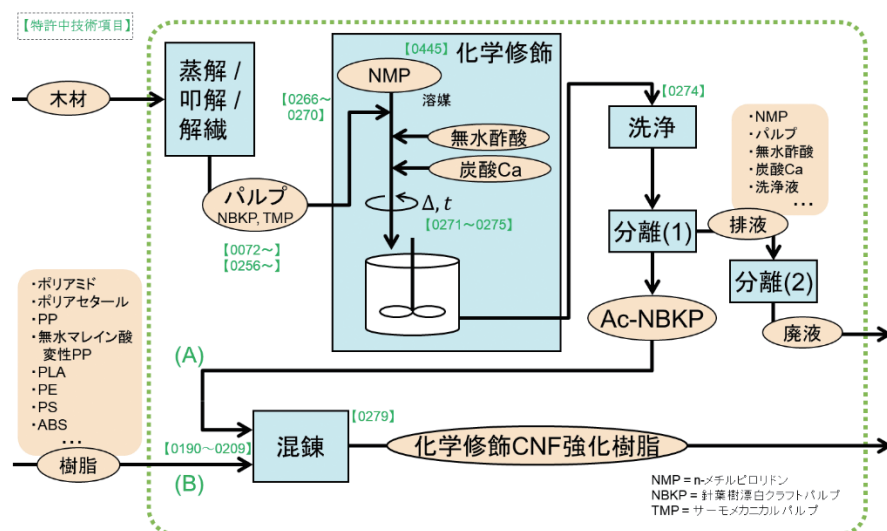


図 8.3-1 特許情報 [1] に基づく CNF 製造プロセスのブロックフローダイアグラム

また、参照した特許における製法は、実験室規模の製法であり、量産化においては、大規模生産に適したプロセスを化学工学的観点から再構築する必要がある。例えば、特許中では溶媒として用いられている n-メチルピロリドンは、高価であり、大規模生産で単価を低く抑えたい材料の生産において大量使用に必ずしも適するとはいえない。さらに、未反応原料のリサイクルやユーティリティの利用率向上によって、環境性や経済性を向上できる可能性があるが、追加の分離プロセス等を要するため、一概には判断できず、シミュレーションからその効果を試算し、適用する技術オプションを決定する必要がある。

2. 製紙条件を反映した製紙プロセスのインベントリ計算

製紙工場において選択可能なエネルギーオプションを図 8.3-2 に示す。原料パルプを木質チップから得た場合、製紙工場ではリグニンを苛性ソーダで溶出させて得た黒液が利用可能となる。ここで、脱墨パルプの使用量が増加すると、黒液の生産量が減少し、単位パルプ量あたりではその他の燃料の投入量が増大する。多くの製紙工場では石炭をはじめとする固形燃料を投入できるフィーダとボイラーを有しており、バークや廃タイヤ、RPF（Refused Paper & Plastic Fuel）などを燃料として使用可能である。この廃棄物由来の固形燃料を用いる量も変動するものであり、同じ製紙工場においても紙製品の国内需要の変動や固形燃料の原料である廃棄物の排出量などによって大きく変化する。これらの不確実性を製紙工場で CNF 原料パルプを生産する場合に考慮する必要がある。なお、製紙工場とは独立してパルプを生産する場合には、黒液や廃棄物ボイラーを利用できず、すべて化石資源から供給することが想定される。

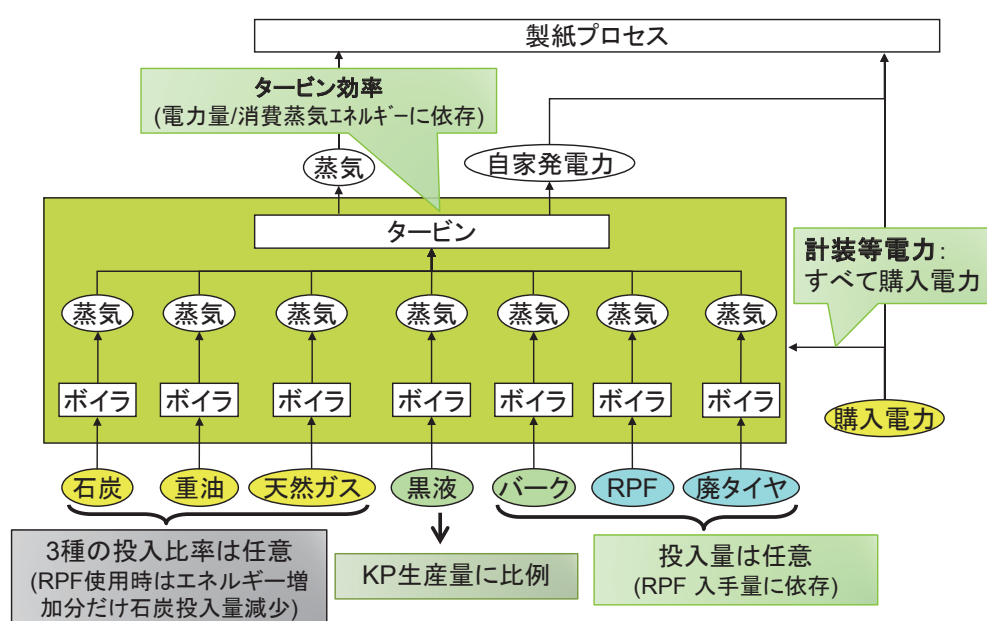


図 8.3-2 製紙プロセスにおけるエネルギーオプションの例 [2]

3. 化学修飾 CNF 製造の CO₂ 排出量

図 8.3-3 に化学修飾 CNF 製造の CO₂ 排出量の計算結果を示す。評価範囲は木材調達、パルプ製造、化学修飾までを対象とした Cradle-to-Gate LCA を実施しており、以降の樹脂との混練から成形、使用、廃棄は含んでいない。パルプ製造に関するインベントリ計算には前章で示した製紙プロセスモデルによる計算結果を用いた。化学修飾に関するインベントリは既往の研究に示されたプロセスモデルおよび計算結果 [3] に基づいて推算した。1 kg の化学修飾 CNF 生産時の温室効果ガス（Greenhouse gas: GHG）排出量を CO₂ 等量で示している。

パルプ製造による GHG 排出については、生産条件によって 3 倍程度変動する。この解析では化学修飾プロセスについては全製紙シナリオ共通で同一プロセスを前提としているが、製紙工場の条件によって副生される電力と熱の量が変動し、その利用量と利用可否によって化学修飾プロセスに対して外部から投入すべきエネルギーが変化する。化学修飾プロセスを製紙工場に併設しない場合や、パルプそのものを製紙工場から得ない場合には、大規模な熱電併給プロセスからユーティリティを供給できない。これによって、化学修飾プロセスの GHG 排出量は 1.5 倍程度変動する。合計値では、排出量最大の別設置ケー

ス是最小のベースケースの約 2 倍となっている。

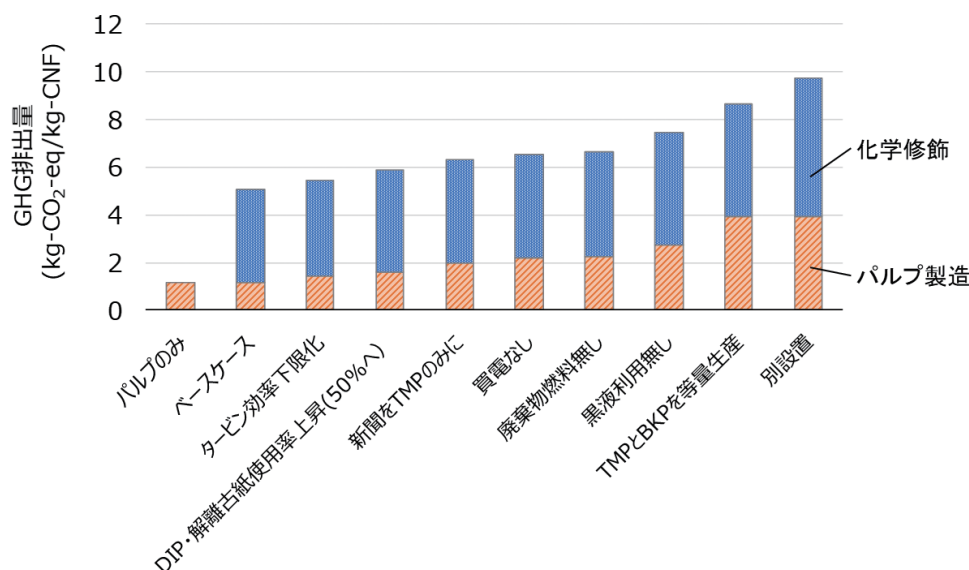


図 8.3-3 化学修飾 CNF 製造の GHG 排出量

4. 量産時の CNF 製造プロセスモデル詳細化の方針

ここまでの検討により、化学修飾プロセスを 1 条件に限定した上で、製紙条件を複数考慮し、図 8.3-4 のように化学修飾 CNF 生産における GHG 排出量を幅のある値として算出した。化学修飾プロセスについては、既往研究で構築されたモデル [3] の分析により、以下のような技術オプションを検討することで CO₂ 排出量を削減できる可能性があると考えられる。

- (1) 洗浄プロセスの水量削減による水消費量および分離エネルギーの低減
- (2) 残留した酢酸の精製と、無水酢酸の再製造
- (3) 加熱 / 冷却における熱回収

これらを考慮した化学修飾プロセスのモデル詳細化により、量産化時の条件に即した、現実の値に近い排出量の算出が可能となる。混錬および成形のプロセスについては、樹脂特性に関する評価結果に基づきながら、従来型のプロセスとの差異を明らかにしていく必要がある。

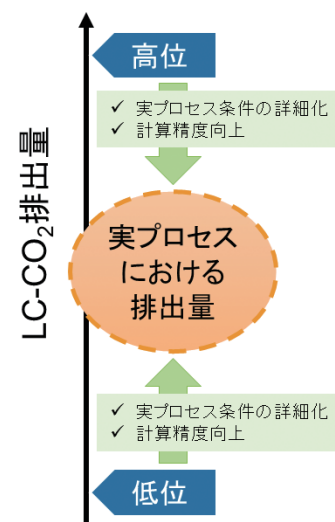


図 8.3-4 CO₂ 排出量の範囲

5. 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. 菊池康紀, 兼松祐一郎, シミュレーションに基づくインベントリデータの推算 - バイオマス由来化成品製造の事例, 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 東京, 2018

8.4 CO₂ 削減効果の将来予想（2030 年）（産業技術総合研究所）

次世代自動車などの普及シナリオを参考に、NCV に関して普及シナリオを検討した。車種の割合、保有台数、車種別の CO₂ 排出量を考慮して、2050 年の CO₂ 排出量削減目標からバックキャストにより、車種別の CO₂ 削減シナリオ及び軽量化シナリオを作成し、分析を行った。その結果、① 2020 年における GV の軽量化目標（10%）は、車体・外装・内装・足周りの鋼鉄材料の約 28%を CNF 複合材料に置換し、樹脂を CNF 含量約 25%の樹脂に置換することで達成可能、及び、② 2030 年における GV の軽量化目標（25%）は、車体・外装・内装・足周りの鋼鉄材料の約 73%を CNF 複合材料に置換し、樹脂を CNF 含量約 43%の樹脂に置換することで達成可能、という試算結果を得た。

1. 普及シナリオの設定

エネルギー制約の高まりや地球温暖化対策の必要性、グローバル競争力強化の観点から、電気自動車や燃料電池車をはじめとする、次世代自動車の開発が進められている。自動車の「軽量化」は燃費向上だけではなく、加速、停止などの走行性能の向上にもつながり、自動車メーカーとしては非常に重要な技術開発である。軽量化等による走行段階の 1 台あたり削減量を CO₂ 削減原単位とし、これにシナリオ設定に基づいた将来の波及導入数を乗じることで、社会への波及的な CO₂ 削減効果が得られる。CNF 車両普及シナリオとして、昨年度、調査を行った次世代自動車で検討されている普及シナリオのうち、従来車の軽量化や低コストが進むシナリオ^{1) 2)}を採用した。各自動車の占める割合を、2020 年は GV (80%)、HEV (12.5%)、PHEV (3.7%)、EV (3.7%)、FCV (0.1%)、2030 年は GV (64%)、HEV (25%)、PHEV (5%)、EV (5%)、FCV (1%) と設定したときの、CNF 複合材料による自動車軽量化の目標シナリオについて検討を行った。

2. CO₂ 排出削減量シナリオの設定

政府の中長期目標、運輸部門の地球温暖化対策、及び統計資料^{3) - 7)}に基づいて、自動車の CO₂ 排出量削減目標を 1990 年度比 8.6%（2020 年）、及び 1990 年度比 30.7%（2030 年）と設定し、将来乗用車の保有台数増減⁸⁾を考慮することにより、自動車の車種別の CO₂ 削減シナリオ（図 8.4-1）を作成した。なお、PHEV の CO₂ 排出量はフレンジ走行とハイブリッド走行半々で算出した。

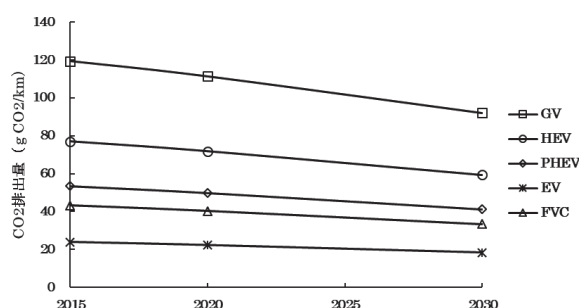


図 8.4-1 CO₂ 削減シナリオ

3. 軽量化シナリオの設定

2020 年、2030 年の電源構成予測^{9) 10)} (表 8.4-1)、自動車の燃費改善目標に対する軽量化の貢献比率を既往文献¹¹⁾ を参考に車種ごとに設定して、自動車の軽量化シナリオ (図 8.4-2) を設定した。

表 8.4-1 今後の電源構成シナリオ

	2015年	2020年 ⁹⁾	2030年 ¹⁰⁾
石油	11.1%	14.4%	3.0%
天然ガス	54.0%	29.7%	27.0%
石炭	24.0%	28.1%	26.0%
原子力	1.4%	16.7%	21.0%
その他	9.6%	11.2%	23.0%

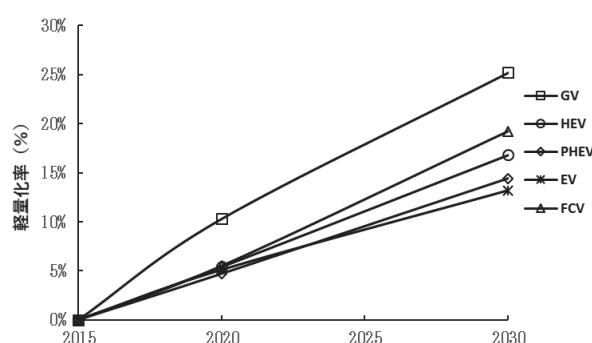


図 8.4-2 電源構成を考慮した自動車の軽量化シナリオ

4. 試算結果

従来車の材料構成を表 8.4-2 のように設定した場合における、従来車の車体・外装・内装・足周りの目標軽量化率を試算した結果を図 8.4-3 に示す。CNF 複合材料の物性、技術進展、また CFRP 材料による自動車の軽量化の先行研究^{12) ~ 15)} を参考にして、この目標軽量化率を達成するために必要となる CNF 複合材料の置換率を試算した。その結果、①従来車の車体・外装・内装・足周りの鋼鉄材料の約 28%を CNF 複合材料に置換、樹脂を CNF 含量約 25%の樹脂に置換することにより、2020 年の目標軽量化率（10%）を達成可能、及び、②従来車の車体・外装・内装・足周りの鋼鉄材料の約 73%を CNF 複合材料に置換、樹脂を CNF 含量約 43%の樹脂に置換することにより、2030 年の目標軽量化率（25%）を達成可能、との試算結果が得られた。また、シナリオ分析結果に基づく、IDEA マトリックスを用いた産業影響評価を実施するために必要となるデータベースの整備を実施した。

表 8.4-2 対象となる従来車の部位と材料構成

		車両重量の 割合	材料の内訳			
			鉄	アルミ	樹脂	その他
軽量化対象	車体	26%	100%			
	外装	7%	88%	12%		
	内装	11%	0%	25%	75%	
	足周り	22%	91%			9%
軽量化対象外	パワートレイン	25%	85%	15%		
	電装品・その他	9%				100%
車両重量の割合		100%	73%	8%	8%	11%

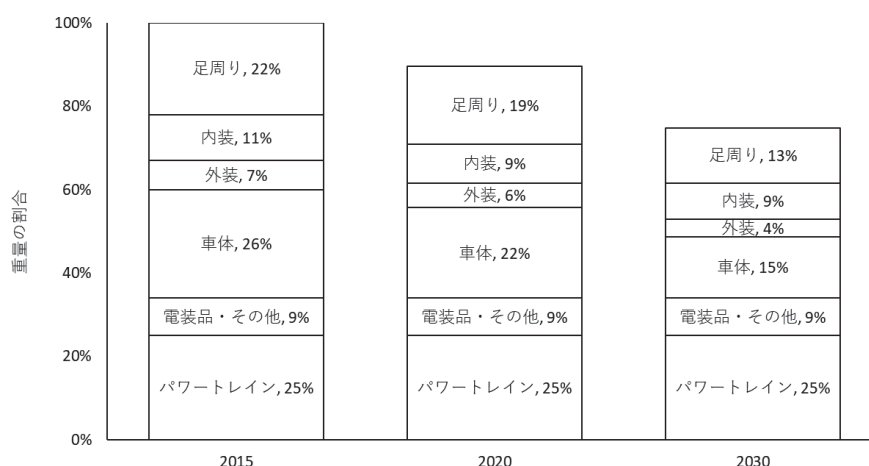


図 8.4-3 従来車の各部位における軽量化率

5. 参考文献

1) 経済産業省「次世代自動車戦略 2010」

http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/material/pdf/strategy_summary_version.pdf

2) 自動車産業にみる中小企業のパラダイムシフト 調査研究報告 No.124, 平成 22 年 12 月, ISSN 1342-5927

3) 環境省・2050 年を見据えた 温室効果ガスの大幅削減に向けて

https://www.env.go.jp/policy/kikouhendou/kondankai01/02_siryou1-1.pdf

4) 国土交通省・運輸部門における地球温暖化対策

http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/038_01_00.pdf

5) 2050 年までに日本の運輸部門 CO₂ を約 70% 削減する対策について

http://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/3ef/1st/pdf/1st3EF_k_matsuhashi.pdf

6) 日本自動車工業会・運輸部門の温暖化対策

http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/IPCCsymposium2015_mogi.pdf

7) 国土交通省統計資料

<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/index.html>

- 8) 国土交通省・乗用車保有台数の推計
<http://www.mlit.go.jp/road/kanren/suikai/4-6.pdf>
- 9) 富士通総研
<http://www.fujitsu.com/jp/group/fri/column/opinion/201104/2011-4-4.html>
- 10) 経済産業省・長期エネルギー需給見通し（平成 27 年 7 月）
http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf
- 11) 車体軽量化に関わる構造技術、構造材料に関する課題と開発指針の検討
<http://www.nedo.go.jp/content/100751047.pdf>
- 12) 圖子 博昭, CFRP による自動車軽量化の長期的 CO₂ 削減効果
<http://j-t.o.oo7.jp/lab/t/2001M-zushi-ppt.pdf>
- 13) 炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを開発—量産車の車体軽量化が可能に
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100221.html
- 14) 矢野浩之. セルロースナノファイバーとその利用. 日本ゴム協会誌, 85 (12), 376-381 (2012)
- 15) 第 200 回生存圏シンポジウム・第 7 回バイオ材料プロジェクト セルロースナノファイバーを用いた高機能で GREEN な研究開発「未来の自動車は“植物”で創る」(2012 年 3 月)

第9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

本章では、平成29年度に開催した各種会議体等の設置・運営について概説する。

9.1 情報管理及び共同実施者間の調整

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会合を合計37回実施した。代表的な会合の内容と参加者を表9.1-1に示す。

表 9.1-1 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
2017/4/4	13:00～18:00	プロジェクト推進委員会準備会議	産業環境管理協会 会議室	金沢工大、JEMAI、京大
2017/4/12	9:00～12:00	事業代表者会合	京都大学 宇治キャンパス HW502室	金沢工大、JEMAI、京大
2017/4/28	13:00～15:00	第一回全体会合	名古屋ダイヤビルディング会議室 223号室	全参画機関
2017/5/11	9:00～17:00	成果報告会	富士スピードウェイ P2駐車場	全参画機関
2017/5/24	14:00～17:00	第一回マネジメント会議	産業環境管理協会 会議室	京大、JEMAI
2017/6/19	16:30～18:00	コンセプトカー事前検討会議	TKPガーデンシティ京都(京都タワーホテル)2F 会議室 皐月	京大、金沢工大、JEMAI
2017/6/19	18:00～18:30	第二回マネジメント会議	TKPガーデンシティ京都2F会議室 皐月	京大、JEMAI
2017/6/20	16:30～19:00	コンセプトカー検討会議	名古屋ダイヤビルディング会議室 251号室	京大、金沢工大、TTC
2017/6/26	9:00～12:00	グループリーダー会合 [V-Cube会議]	①京都大学宇治キャンパス HW502室 ②産業環境管理協会 会議室	京大、京都市産技研、名工大、TTC、JEMAI
2017/6/27	13:00～15:00	グループリーダー会合	金沢工業大学 虎ノ門キャンパス	京大、金沢工大、JEMAI
2017/6/29	11:00～12:00	第三回マネジメント会議	名古屋ダイヤビルディング会議室 223号室	京大、JEMAI
2017/6/29	14:00～18:00	第二回全体会合	名古屋ダイヤビルディング会議室 223号室	全参画機関
2017/7/7	17:00～18:00	コンセプトカーデザイン画事前検討会議 [V-Cube会議]	①京都大学宇治キャンパス HW502号室 ②産業環境管理協会 会議室 ③金沢工業大学 虎ノ門キャンパス 影山研究室 ④トヨタテクノクラフト(株) 会議室	JEMAI、環境省、金沢工大、TTC
2017/7/10	10:00～12:00	コンセプトカーデザイン画検討会議 [V-Cube会議]	①(株)童夢 会議室 ②産業環境管理協会 会議室 ③京都大学宇治キャンパス HW502号室	TTC、金沢工大、JEMAI、京大、環境省、
2017/7/25	11:45～12:30	第四回マネジメント会議 [V-Cube会議]	①京都大学宇治キャンパス HW502号室 ②産業環境管理協会 会議室 ③豊田中央研究所	JEMAI、京大
2017/7/27	15:00～17:00	コンセプトカー検討会議	トヨタテクノクラフト(株) 湘南テクニカルセンター	京都市産技研、名工大、TTC、JEMAI、利昌工業、昭和プロダクツ、秋田県立大、京大
2017/8/4	13:00～18:30	第五回マネジメント会議	京都大学宇治キャンパス HW502号室	JEMAI、京大
2017/8/22	10:00～12:00	グループリーダー会合 [V-Cube会議]	①京都大学宇治キャンパス HW502号室 ②産業環境管理協会 会議室 ③金沢工業大学	名工大、TTC、JEMAI、金沢工大、京大
2017/8/25	13:00～17:30	第三回全体会合	TKP 神田駅前ビジネスセンター ミーティングルーム5C	全参画機関
2017/9/5	13:00～18:00	第六回マネジメント会議	京都大学宇治キャンパスHW502号室	JEMAI、京大
2017/10/19	10:30～13:30	コンセプトカー検討会議	コートホテル新横浜 会議室	TTC、JEMAI、京大
2017/10/20	14:00～16:30	コンセプトカー部材選定会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	金沢工大、JEMAI、京大
2017/10/27	14:00～18:00	第四回全体会合	キャンパスプラザ京都2階 第1会議室	全参画機関
2017/11/16	16:00～18:00	コンセプトカーデザイン検討会議	株式会社童夢	TTC、JEMAI、京大
2017/12/1	13:00～18:00	コンセプトカー会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	京都市産技研、利昌工業、昭和プロダクツ、名工大、秋田県立大学、ダイキョーニシカワ、トヨタ紡織、TTC、京大
2017/12/21	10:00～12:00	第七回マネジメント会議	名古屋ダイヤビルディング 252会議室	JEMAI、京大
2017/12/21	12:30～13:45	グループリーダー会合	名古屋ダイヤビルディング 252会議室	京都市産技研、名工大、金沢工大、TTC、JEMAI、京大、環境省
2017/12/21	14:00～17:30	第五回全体会合	名古屋ダイヤビルディング 223会議室	全参画機関
2018/1/12	10:00～19:00	第八回マネジメント会議	京都大学 宇治キャンパス HW502室	JEMAI、京大
2018/2/9	14:00～17:20	第六回全体会合	エッサム神田ホール1号館 3階 第5会議室	全参画機関

9.2 CNF の早期社会実装に向けた時系列での開発実証及び市場投入計画の策定（京都大学）

本年度は、CNF 材料の成形加工性や材料定数評価を実施するとともに、各種の構造要素モデルや部品の試作・評価を実施した。樹脂から CNF 部材への転換の観点から、ドアトリム、インテークマニホールド、エアコンケース等を試作・評価し、軽量化効果があることを検証した。また、金属から CNF 部材の観点から、トヨタ 86 の部品置換向けとして、エンジンフードとトランクリッドを試作し、軽量化効果を検証した。又、要素技術モデルとして、CNF シート、CNF パイプ、ハニカムボード等の試作・評価を行った。これら各グループの評価検討結果を踏まえ、自動車分野における CNF 材料の導入に関する総合評価・検証を行い、時系列での市場投入計画の策定を行った（図 9.2-1）。

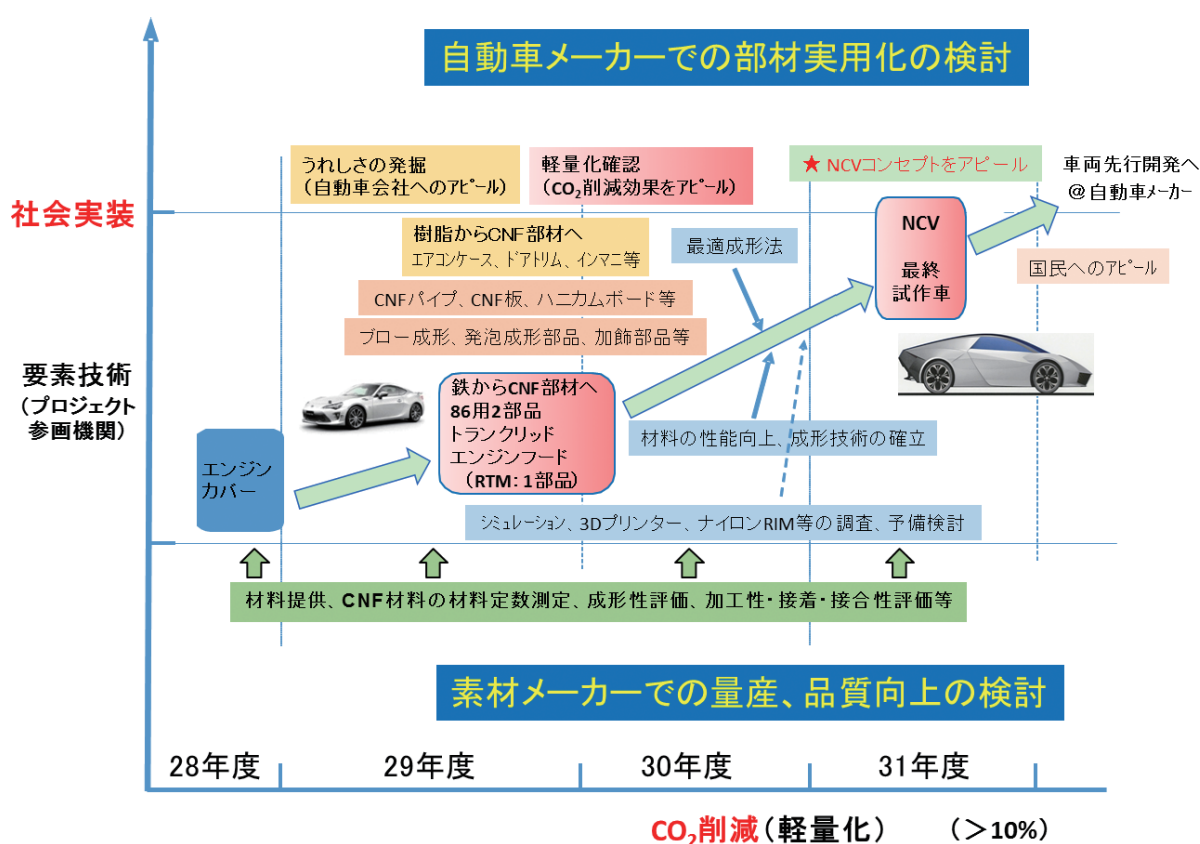


図 9.2-1 時系列での市場投入計画（案）

9.3 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 9.3-1 に示す。

表 9.3-1 プロジェクト推進委員会の実施状況

開催日	時間	場所	主な議題
2017/6/29	13:00~13:50	名古屋ダイヤビルディング会議室 223号室	進捗状況と課題について
2017/10/27	13:00~13:50	キャンパスプラザ京都 2階 第2会議室	環境省 セルロースナノファイバー（CNF）の次世代素材活用推進事業について 他
2018/2/9	13:00~14:20	エッサム神田ホール1号館 3階 第会議室	中間評価について 他

9.4. 普及・啓発

平成 29 年度事業では、本事業の普及・啓発を目的とする広報活動として主に以下の取り組みを行った。

9.4.1 ふじのくに CNF 総合展示会への出展

CNF に関係する企業や大学・研究機関の出展する総合的な催しとして 2017 年 10 月 19 日（木）に静岡県のふじさんめっせ大展示場でふじのくに CNF 総合展示会が開催され、パネル出展を行った。個別商談スペースが設けられている等、来場者には CNF をビジネスとして捉えている方が多く、そういった層に本事業をアピールできたことは CNF の社会実装に向けて重要な布石を打ったといえる。

9.4.2 エコプロ 2017 ～環境とエネルギーの未来展～への出展

2017 年 12 月 7 日（木）～ 12 月 9 日（土）にかけてセルロースナノファイバー及びそれに関連する技術の普及を目的に東京ビッグサイトで開催されたエコプロ 2017 ～環境とエネルギーの未来展～に環境省 ナノセルロースヴィークル（NCV）プロジェクト（小間番号 4-035）として出展した。昨年度は「環境省 / 世界を変える先導的技術の開発・実証と社会実装」としてパネルのみの出展を行ったが、今年度は NCV プロジェクトとして単独出展を行い、パネル及びサンプルを展示した。参画機関の説明員がブースを訪れた来場者にサンプル等の説明をし、実際に触れて頂くことで、現段階での本事業の成果を実感して頂くことができた。また、本事業は CNF の社会実装に向けての環境省の取り組みとして高い注目を集めていることと、2 年目を迎え、環境意識の高い層に周知されていったこともあり、NCV プロジェクトに関するパンフレットは 3 日間で 2000 部を配布でき、本ブースはとても盛況であった。今回のエコプロ展への出展において、本事業は大きく存在感を示し、普及・啓発という目的を果たすことができた。

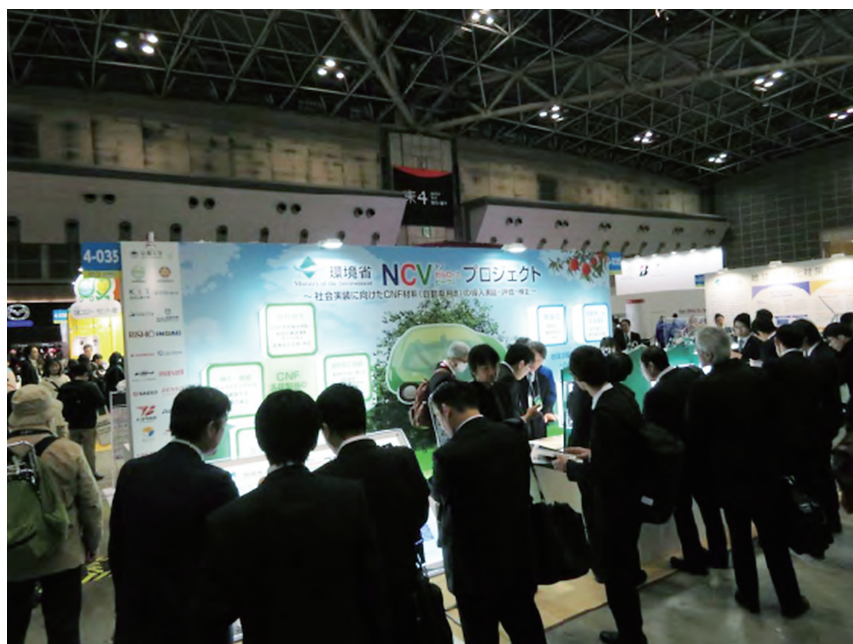


図 9.4.2-1 出展ブースの様子①

9.4.3 第2回ナノセルロース展への出展

同じくエコプロ 2017 ～環境とエネルギーの未来展～の中で CNF と CNC（セルロースナノクリスタル）の専門展示会として開催された「第2回ナノセルロース展」（小間番号 4-904）にも昨年度に引き続きパネル出展を行った。また、12月9日（土）に開催されたセミナーの「ナノセルロース研究最前線 ～国プロの研究進捗・成果報告～」では環境省のプロジェクト報告の一つとして「社会実装に向けた CNF 材料の自動車分野への導入実証・評価・検証」のタイトルで臼杵有光 PL が講演し、パネル展示ゾーン及びセミナーの会場は多くの来場者で賑わった。環境意識の高いエコプロ展の来場者の関心を集めることができ、本事業及び CNF の概念を普及する発信源として大きく貢献することができた。

9.4.4 Nanocellulose Symposium 2018 / 第 365 回生存圏シンポジウムへの出展

2018 年 2 月 27 日（火）に京都テルサで開催された Nanocellulose Symposium 2018 / 第 365 回生存圏シンポジウムにパネル及びサンプルを出展した。「CNF 材料を俯瞰する—原料検討から自動車まで—」のプログラムのもと、本事業の取り組みとして、小尾直紀 ML が「プロジェクトの概要と進捗」のタイトルで講演し、また、利昌工業（株）奥村浩史氏が材料評価の立場から、トヨタ紡織（株）羽柴正典氏が自動車部材を評価する立場から、それぞれ「セルロースナノファイバーを主成分とした板材料等の開発」と「植物繊維及びナノセルロースの自動車内装部品への適用」のタイトルで講演を行った。来場者は事前申し込みで 600 名の定員が早々に満席となり、当日は CNF の社会実装に向けた最新技術や取り組みが発表され、会場は大変盛り上がりを見せた。本ブースもかなり盛況であり、事業広報の目的を達成することができた。

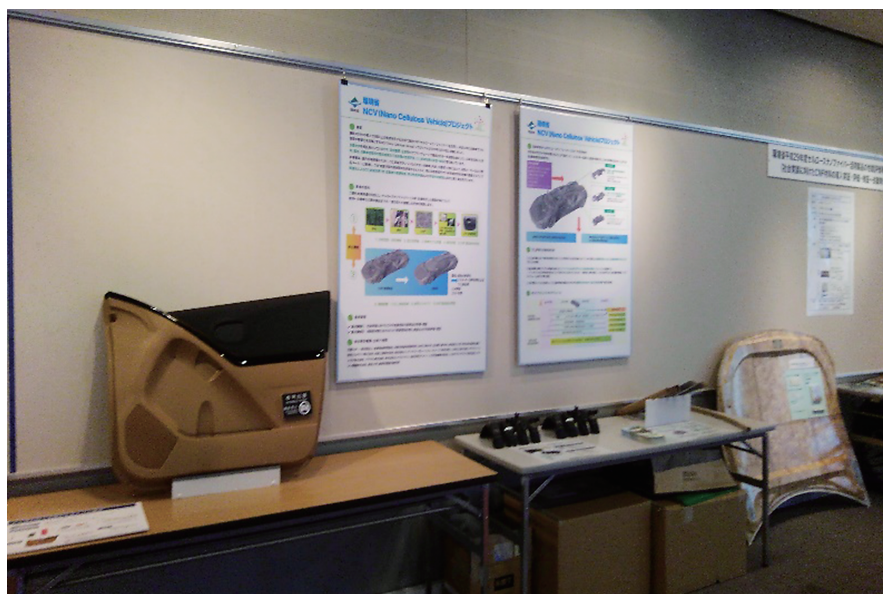


図 9.4.4-1 出展ブースの様子②

9.4.5 普及・啓発

平成 29 年度の本事業関連の对外発表は 32 件あった。詳細一覧を表 9.4-1 に示す。

表 9.4-1 平成 29 年度の对外発表一覧

公表機関名	公表者	公表方法	公表日	公表の内容詳細
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2017.5.25	「島津製作所試験機100周年記念講演・謝恩会」にて自動車分野向けの複合材料について講演
日立マクセル株式会社	副技師長 遊佐敦	新聞	2017.6.27	日刊工業新聞社の取材
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2017.6.28	日経BP社ものづくり技術者塾主催のセミナーにて「1兆円市場を見込む新材料「セルロースナノファイバー」を学ぶ」というテーマでの講演
株式会社イノアックコーポレーション	グローバル技術本部 技術管理部 西村 浩之	展示	2017.7.4	公益社団法人 新科学技術推進協会主催の「JACI/GSCシンポジウム」での展示
株式会社イノアックコーポレーション	G自動車関連事業本部 開発本部評価技術部 鈴木 裕明	展示	2017.7.6～7	トヨタ自動車㈱向けの開発品展示会「イノアック展示会2017」での展示
金沢工業大学	革新複合材料研究開発センター 研究員 附木 貴行	新聞	2017.7.29	北國新聞社の取材
株式会社イノアックコーポレーション	G自動車関連事業本部 開発本部評価技術部 鈴木 裕明	展示	2017.9.6	トヨタ自動車㈱向けの開発品展示会「イノアック展示会2017」での展示
株式会社セイロジャパン	システム部 ModlexSC マネージャー 後藤 昌人	発表	2017.9.28	セイロジャパン広島地区ユーザー交流会会での発表
京都大学 京都市産業技術研究所 トヨタ紡織株式会社	特任教授 臼杵有光 仙波 健 鬼頭 修	講演	2017.9.13	素材・機械・技術展示会N+(エヌプラス)セミナー「機能性フィルム研究会 共催例会」にて、「セルロースナノファイバー材料の可能性と自動車産業における期待」というテーマのパネラーとしてNCVプロジェクトを紹介
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2017.9.15	日経ものづくり主催のものづくりパートナーフォーラム in 大阪 2017にて「自動車とCNF(セルロースナノファイバー)― 期待と課題 ―」について講演
金沢工業大学	教授 影山裕史	新聞	2017.9.22	日刊工業新聞社の取材
京都大学	奥平有三	展示	2017.10.19	「ふじのくにCNF総合展示会」での展示
三和化工株式会社	佐原正明	展示	2017.10.19	「ふじのくにCNF総合展示会」での展示
三和化工株式会社	佐原正明	展示	2017.10.24～28	IPFJapan2017(国際プラスチックフェア)での展示
株式会社セイロジャパン	システム部 ModlexSC マネージャー 後藤 昌人	セミナー	2017.10.26	IPFJapan2017(国際プラスチックフェア)【第9回】での発表
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2017.11.21	日経ものづくり主催のものづくりパートナーフォーラム 2017 東京開催にて「自動車とCNF(セルロースナノファイバー)― 期待と課題 ―」について講演
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2017.12.1	独立行政法人日本学術振興会 繊維・高分子機能加工第120委員会 第128回講演会にて「自動車におけるセルロースナノファイバーのシーズ ― 炭素繊維から眺めると見えてくるもの ―」について講演
マクセル株式会社	技術統括本部技術開発部 副技師長 遊佐敦	講演	2017.12.1	平成29年度ふじのくにCNFプロジェクト推進事業 技術講演会にて「新たな発泡射出成形技術とその応用展開」について講演
京都大学、利昌工業、昭和プロダクツ、キョーラク、マクセル、トヨタ紡織、アイシン精機	—	展示	2017.12.7～9	エコプロ2017～環境とエネルギーの未来展【第19回】への成果物の展示
京都大学	特任教授 臼杵有光	セミナー	2017.12.9	第2回ナノセルロース展 セミナー「ナノセルロース研究最前線～国プロの研究進捗・成果報告～」での講演 講演タイトル:社会実装に向けたCNF材料の自動車分野への導入実証・評価・検証
利昌工業株式会社	管理本部 広報担当 吉岡達也	広報誌及びウェブサイト	2018.1.10～	利昌工業の広報誌 RISHO NEWS 及びウェブサイトへエコプロ2017での様子を掲載
利昌工業株式会社	管理本部 広報担当 吉岡達也	展示	2018.1.17～1.19	第10回国際カーエレクトロニクス技術展にて展示
金沢工業大学	教授 影山裕史	講演	2018.1.26	(地独)京都市産業技術研究所主催の「CNFナショナルプラットフォーム事業キックオフ シンポジウム」にて講演 講演タイトル:セルロースナノファイバーへの期待と課題-自動車を中心に-
京都大学	教授 矢野浩之	講演(インターネット配信)	2018.1.30	高分子学会webinarにて講演(インターネット配信)エコプロ2017環境とエネルギーの未来展で展示した成果物(利昌工業(株)、トヨタ紡織(株)、アイシン精機(株)、マクセル(株)等)についての報告
京都大学	小尾直紀	講演	2018.2.27	第365回生存圏シンポジウム、ナノセルロースシンポジウム2018にて「NCVプロジェクトの概要と進捗」について講演
利昌工業株式会社	奥村浩史	講演	2018.2.27	第365回生存圏シンポジウム、ナノセルロースシンポジウム2018にて「セルロースナノファイバーを主成分とした板材料等の開発」について講演
トヨタ紡織株式会社	羽柴正典	講演	2018.2.27	第365回生存圏シンポジウム、ナノセルロースシンポジウム2018にて「植物繊維及びナノセルロースの自動車内装部品への適用」について講演
京都大学	教授 矢野浩之	TV	2018.2.27	ABC朝日放送「キャスト - CAST -」
マクセル株式会社	技術統括本部技術開発部 副技師長 遊佐敦	展示	2018.2.28	第365回生存圏シンポジウム、ナノセルロースシンポジウム2019にてエンジンカバーとボスターの展示
京都大学	教授 矢野浩之	講演	2018.3.5	(一社)プラスチック成形加工学会主催の第55回技術交流会において「パルプ直接混練法」京都プロセスへの道について講演
京都大学	教授 矢野浩之	講演	2018.3.8	スウェーデン王立工科大学(KTH)のセミナーにおいて「Melt-processing of thermoplastic cellulose nanocomposites」のタイトルで講演
京都大学	教授 矢野浩之	TV	2018.3.25	株式会社ワック制作・BSフジ放送「ガリレオX」
京都市産業技術研究所	主席研究員 仙波 健	広報誌	2018.3	プラスチック成形加工学会誌にて座談会「セルロースナノファイバー材料の可能性と自動車産業における期待」-についての報告

第 10 章 本年度業務の課題と今後の方針

4 年計画の 2 年目である。初年度は、重点課題①（社会実装に向けた CNF 軽量材料の開発及び評価・検証）と重点課題②（自動車分野における CNF 軽量部品の導入実証および性能評価・検証）という 2 つの重点課題がありその連携で実施したが、今年度は一つのプロジェクトとして実施した。各グループ間の連携は良好で、それぞれの年度目標は達成できた。残された課題と今後の方針については以下のとおりである。

・ CNF 複合材料そのものに関する改善

2 年間で自動車用部材・部品を提案し、今までに得られている CNF 複合材料を用いて試作、評価を実施した。その結果、素材そのものの課題があることも分かってきた。たとえば自動車用途として更なる耐衝撃性の向上、量産性の検討、使用時の VOC の低減などである。これらは CNF からの改良だけではなく、樹脂素材そのものの改良（たとえば分子量、組成の最適化、添加剤の改善など）も必要になってくる。将来、CNF 複合材料を社会実装するためには CNF 素材メーカーだけではなく、樹脂素材メーカーの参画も必要であり、来年度に向けては素材から自動車までの一連の流れを見据えた参画機関の再検討を行う予定である。

・ 新規部材に関する提案とその実施形態

今までは外装部品、内装部品、エンジン部品に関しての提案、試作、評価を実施してきたが、透明部材に関する検討は未着手であった。現在使用されている無機ガラスを樹脂ガラスに代替することは自動車の軽量化を考えると大きなテーマである。近年、CNF と透明樹脂との複合化において剛性の向上が報告されているため、その技術を本プロジェクトに取り入れて今まで以上の自動車軽量化に取り組んでいく予定である。

・ 自動車として社会実装するための評価、検証

自動車として完成させて社会実装するためには、総合的な評価、検証が必要となってくる。今までは部材、部品ごとでの検証を実施していたが、今後は自動車に組み込んだ総合的な評価、実証が求められる。そのためには走行可能な自動車を試作して総合評価をすることと、それらの知見を有する自動車メーカーなどの参画が求められる。

全体

4 年計画の半分が終了し、CNF の自動車用途への展開が判断できるようになってきた。2030 年を見据えて CNF 活用技術は必須のアイテムであり、残り 2 年で実用化の目途付けを完了させたいと考えている。自動車での実用化は 5 年から 10 年先だと思われるが、世界に先駆けて日本から実用化例を発信するよう努力していきたい。

CNF を製造する製紙メーカーから最終の自動車メーカーまでの協力体制の下で、低炭素持続社会を構成する CNF 新産業の構築を考えていくことが必要である。

第 11 章 本業務で用いる略語の解説

本業務で用いる略語を解説する。

Ac-NUKP	Acetylation Nadelholz Unbleached Kraft Pulp	アセチル化変性針葉樹未晒クラフトパルプ
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
ASA	alkenyl succinic anhydride	アルケニルこはく酸無水物
Assy	Assembly	自動車で複数の部品で出来ている部材
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
CTR	Center	中央
DSC	Differential Scanning Calorimeter	示差操作熱量測定
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectrometry	エネルギー分散型 X 線分光器
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FIB/SIM	Focused Ion Beam/Scanning Ion Microscope	収束イオンビーム / 走査イオン顕微鏡
FCV	Fuel Cell Vehicle	燃料電池自動車
FIN		フィン。自動車の部品の一種で空力学的な抵抗を考慮した部品
Fr	Front	前部
GF	Glass Fiber	ガラス繊維
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
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
HDPE	High Density Polyethylene	高密度ポリエチレン
HEV	Hybrid Electric Vehicle	ハイブリッド電気自動車
H/Lump	Head Lump	自動車の前照灯
HP-RTM	High Pressure-Resin Transfer Molding	高圧樹脂注入成形法
HRTEM	High Resolution Transmission Electron Microscope	高分解能透過型電子顕微鏡
KIT	Kanazawa Institute of Technology	学校法人 金沢工業大学
LCA	Life Cycle Assessment	ライフサイクルアセスメント
LCCO ₂	Life Cycle CO ₂	製造物の製造、使用時、解体、廃棄を通じて発生する二酸化炭素の排出量
LED	Light Emitting Diode	発光ダイオード
LDPE	Low Density Polyethylene	低密度ポリエチレン
LIP		バンパー下部の部材
LWR	Lower	下部
MFR	Melt Flow Rate	メルトフローレート、熔融プラスチックの流動性の大きさ
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）
RPF	Refuse Paper & Plastic Fuel	主に産業系廃棄物のうち、マテリアルリサイクルが困難な古紙及び廃プラスチック類を主原料とした高品位の固形燃料
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）
NCV	Nano Cellulose Vehicle	ナノセルロース自動車
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
NUKP	Nadelholz Unbleached Kraft Pulp	針葉樹未晒クラフトパルプ
PA6	Polymid6	ポリアミド 6、ナイロン 6
PA6-CNF		CNF を分散したポリアミド 6 樹脂
PA6-10%		CNF を重量比で 10% 分散したポリアミド 6 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
PLA	Polylactic Acid	ポリ乳酸
POM	Polyoxymethylene	ポリアセタール樹脂
PP	Polypropylene	ポリプロピレン
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
QTR (Panel)	Quarter (Panel)	車体外板の一部を指し、ドアとトランクリッドに挟まれた箇所
Rr	Rear	後部
RTM	Resin Transfer Molding	樹脂注入成形法
SEM	Scanning Electron Microscope	走査型電子顕微鏡
SPCC		冷間圧延鋼板の一種
STEM	Scanning Transmission Electron Microscope	走査型透過電子顕微鏡
TC	Toyota Techno Craft	トヨタテクノクラフト株式会社
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

巻末資料 1

CNF 総合展示会、ナノセルロースシンポジウムパネル資料



環境省

NCV (Nano Cellulose Vehicle)プロジェクト



概要

鋼鉄の5分1の軽さで5倍以上の強度を有する次世代素材CNF(セルロースナノファイバー)を活用し、平成32年に自動車で10%程度の軽量化を目標とするNCV(Nano Cellulose Vehicle)プロジェクトが2016年10月26日に始動しました。

京都大学を委託先として21の大学、研究機関、企業等のサプライチェーンで構成される一気通貫体制により、CNFを活用した材料、部材、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・検証に取り組んでいます。

本事業は、国内市場規模が大きく、CO₂削減ポテンシャルの大きい自動車(内装、外装等)分野において、材料メーカーおよび製品メーカーと連携し、CNF軽量材料の用途開発を実施するとともに、特に自動車部門でCNF軽量材料を実機に搭載することで軽量化によるCO₂削減効果(例:自動車の燃費改善)等の性能評価および早期社会実装に向けた導入実証を行います。

事業の目的

二酸化炭素削減を目的とし、セルロースナノファイバー(CNF)を複合化した樹脂材料について材料～自動車など最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施します。



重要課題

- ✓ 重点課題① 社会実装に向けたCNF軽量材料の開発及び評価・検証
- ✓ 重点課題② 自動車分野におけるCNF軽量部品の導入実証および性能評価・検証

参加研究機関・企業21機関

京都大学、一般社団法人 産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、株式会社昭和丸筒／昭和プロダクツ株式会社、利昌工業株式会社、株式会社イノアックコーポレーション、キョーラク株式会社、三和化工株式会社、ダイキョーニシカワ株式会社、マクセル株式会社、株式会社セイロジャパン、株式会社デンソー、トヨタ紡織株式会社、トヨタテクノクラフト株式会社、アイシン精機株式会社、東京大学、産業技術総合研究所



環境省

NCV (Nano Cellulose Vehicle)プロジェクト

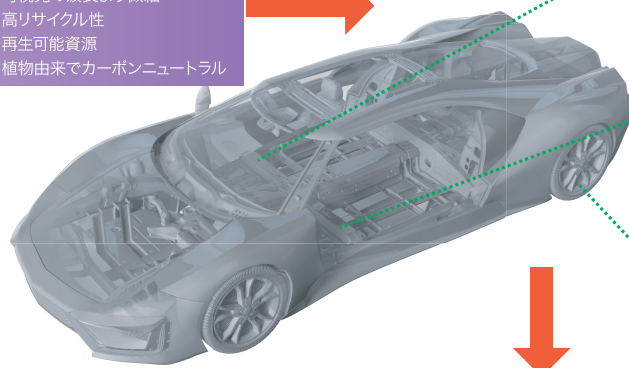


自動車部材へのセルロースナノファイバー (CNF) の活用検討

2020年までにCNF材料を導入することが可能で、かつ、エネルギー起源CO₂削減が期待され、CNFの特徴を活かすことができる自動車部位を検討する。

CNF の特徴

- ・鋼鉄の5倍の強度、5分の1の軽さ
- ・低線膨張 (石英ガラス並み)
- ・可視光の波長より微細
- ・高リサイクル性
- ・再生可能資源
- ・植物由来でカーボンニュートラル



樹脂素材

内装材・外装材の既存樹脂素材は限りなく代替

- ・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

金属素材

外板 (ドア等) を代替可能であれば、ボディ、エンジン、構造部材へ

- ・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

その他

タイヤ、ガラス等

- ・タイヤをCNFを用いたカラータイヤへ
- ・ガラスをCNFにより強化
- ・透明性を生かした部材の活用

部材をCNF材料で試作し強度等の性能評価

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

CO₂評価の主要実施内容

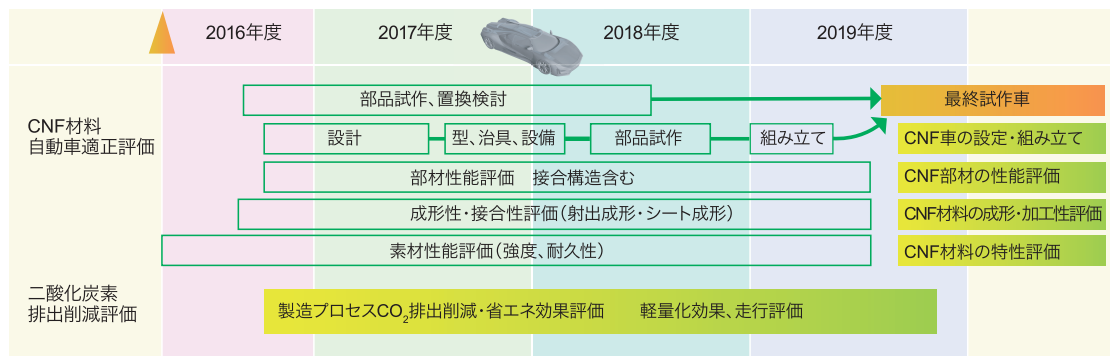
① CO₂排出量において最も寄与度の大きいことが想定される走行段階において、CNF代替による軽量化等によるCO₂削減効果を10%以上とすることが目標。

② 製造段階、廃棄リサイクル段階を加味したライフサイクル全体で見てもCO₂排出量が増加していないことを確認する。

→ ベースラインとCNF車両の双方について各プロセスにおいてエネルギー・原料投入量を把握し、これに由来するCO₂排出量を試算し、サプライチェーン全体で合算・評価。

③ CNF普及シナリオを加味した、CO₂削減効果の観点からのCNF自動車の社会全体への波及効果の評価・検証を実施。

NCVプロジェクトのスケジュール



巻末資料 2

第 2 回ナノセルローズ展・アカデミックゾーン パネル資料



環境省

NCV (Nano Cellulose Vehicle)プロジェクト

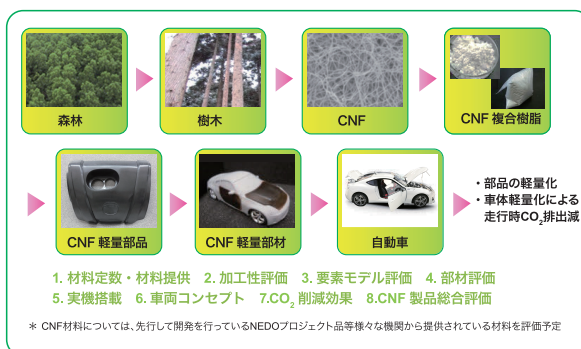
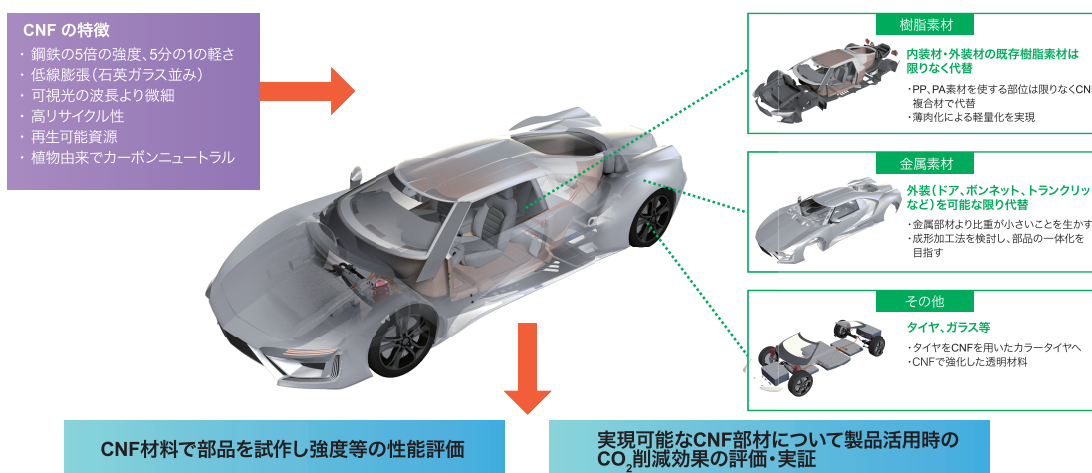


概要

鋼鉄の5分の1の軽さで5倍以上の強度を有する次世代素材CNF(セルロースナノファイバー)を活用し、平成32年に自動車で10%程度の軽量化を目標とするNCV(Nano Cellulose Vehicle)プロジェクトを平成28年10月より実施しています。

京都大学が代表事業者となり、計21大学、研究機関、企業等で構成されるコンソーシアムを形成し、サプライチェーンの一气通貫体制により、CNFを活用した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・検証に取り組んでいます。

本事業は、特に国内市場規模が大きく、CO₂削減ポテンシャルの大きい自動車(内装、外装等)分野において、材料メーカーおよび製品メーカーと連携し、CNF軽量材料の用途開発を実施するとともに、特に自動車部門でCNF軽量材料を実機に搭載することで軽量化によるCO₂削減効果(例:自動車の燃費改善)等の性能評価および早期社会実装に向けた導入実証を行います。



	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度		
CNF材料 自動車適正評価						
		部品試作、置換検討			最終試作車	
		設計	型、治具、設備	部品試作	組み立て	CNF材の設定・組み立て
		部材性能評価 接合構造含む				CNF部材の性能評価
		成形性・接合性評価(射出成形・シート成形)				CNF材料の成形・加工性評価
CO ₂ 排出 削減評価		素材性能評価(強度、耐久性)			CNF材料の特性評価	
		製造プロセスCO ₂ 排出削減・省エネ効果評価		軽量化効果、走行評価		

材料評価から実機搭載までを一気通貫で実施、早期社会実装に向けて貢献する

参加研究機関・企業21機関

京都大学、一般社団法人 産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、株式会社昭和丸筒、昭和プロダクツ株式会社、利昌工業株式会社、株式会社イノアックコーポレーション、キョーラク株式会社、三和化工株式会社、ダイキョーニシカワ株式会社、マクセル株式会社、株式会社セイロジャパン、株式会社デンソー、トヨタ紡織株式会社、トヨタテクノクラフト株式会社、アイシン精機株式会社、東京大学、産業技術総合研究所

巻末資料 3

広報資料（リーフレット）



- 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〜数千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)
- 熱変形が少ない(ガラスの1/50程度)

NCVプロジェクト 参画機関・企業

トヨタ テクノロジ株式会社

■ 発行 環境省 地球環境局地球温暖化対策課
地球温暖化対策事業室

■ 事業代表 京都大学 生存圏研究所 生物材料機能分野
機関 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ncv/>

R70 持続可能な社会の実現
環境省 地球環境局

NCV ナンセルロース ビークル プロジェクト

CNFを活用し低炭素で循環型の社会を実現

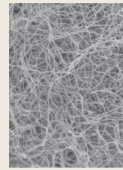
環境省
Ministry of the Environment

NCVプロジェクトとは？

銅鉄の5分の1の重量で5倍以上の強度を有する次世代素材**CNF（セルローズナノファイバー）**を活用し、平成31年度に自動車で10%程度の軽量化を目標とする**NCV（Nano Cellulose Vehicle）**プロジェクトを平成28年10月より実施しています。

京都大学が代表事業者となり、大学、研究機関、企業等、計21機関で構成されるコンソーシアムを形成し、サプライチェーンの「気通貫体制」により、CNFを活用した材料、部品、自動車、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・検証に取り組んでいます。

本事業は、特に国内市場規模が大きく、CO₂削減ポテンシャルの大きい自動車（内装、外装等）分野において、材料メーカーおよび製品メーカーと連携し、CNF軽量材料の用途開発を実施するとともに、特に自動車部門でCNF軽量材料を実機に搭載することで軽量化によるCO₂削減効果（例：自動車の燃費改善）等の性能評価および早期社会実装に向けた導入実証を行います。



CNF



CNF複合樹脂



CNF軽量部品



CNF軽量部品



自動車

材料物性の評価

NEDOプロジェクト提供材料、委託コンパウンド材料等の各種評価

加工性評価

- ・射出成型
- ・ブロー成型
- ・発泡成型
- ・RTM 等

部材の評価

各部品・部材に求められる性能の評価

CNFを活用した自動車用材料、部材、部品のCO₂削減段階・走行段階の評価・検証

CNFの自動車分野への応用

CNF活用製品の性能評価

地球温暖化対策への貢献

材料特性
CNF添加複合樹脂、独自の構造要素モデル等を、従来品と比較・検証

接合・接着
マルチマテリアル化を構築する技術の確立

成形加工技術
・各成形方法に適した材料選定
・CNF添加複合樹脂、CNF高含有フレートの加工

軽量化
薄肉化／複数部品の一体化

自動車による社会実装
走行時CO₂排出量の削減

生産技術
複数部品の一体化

シミュレーション技術
成形加工性向上

森林資源の活用
原材料CO₂排出量の削減
国内の森林（木材）など植物バイオマスを活用



巻末資料 4

エコプロ 2017 展（ブース背景、LED パネル）



鋼鉄の5分の1の軽さで5倍以上の強度を有する次世代素材**CNF**（セルロースナノファイバー）を活用し、平成31年度に自動車で10%程度の軽量化を目標とする**NCV**（Nano Cellulose Vehicle）プロジェクトを平成28年10月より実施しています。

京都大学が代表事業者となり、**大学、研究機関、企業等**、計21機関で構成されるコンソーシアムを形成し、サプライチェーンの一気通貫体制により、**CNFを活用した材料、部材、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**に取り組んでいます。

本事業は、特に国内市場規模が大きく、CO₂削減ポテンシャルの大きい**自動車（内装、外装等）分野**において、材料メーカーおよび製品メーカーと連携し、**CNF軽量材料の用途開発**を実施するとともに、特に自動車部門でCNF軽量材料を実機に搭載することで**軽量化によるCO₂削減効果（例：自動車の燃費改善）等の性能評価および早期社会実装**に向けた導入実証を行います。

樹脂素材

- ・PP、PA素材を使用する部位は限りなくCNF複合材で代替
- ・連肉化による軽量化を実現

外装（ドア、ボンネット、トランクリッドなど）を可能な限り代替

- ・金属部材より比重が小さいことを生かす
- ・成形加工法を検討し、部品の一体化を目指す

金属材料

タイヤ、透明材料等

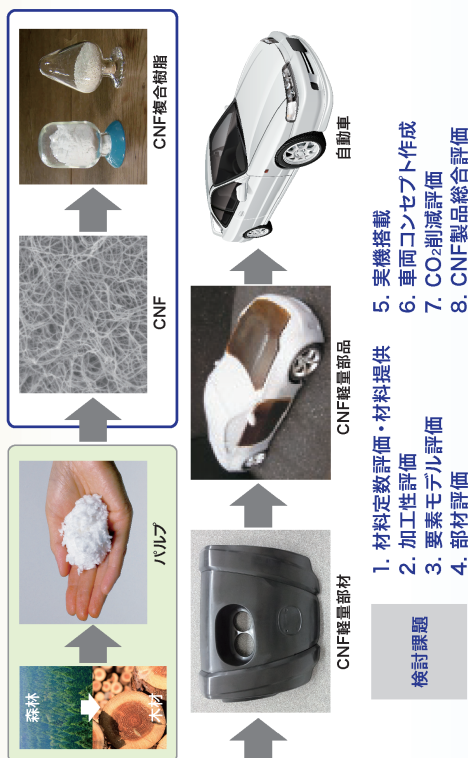
- ・タイヤをCNFを用いたカラータイヤへ
- ・CNFで強化した透明材料

その他

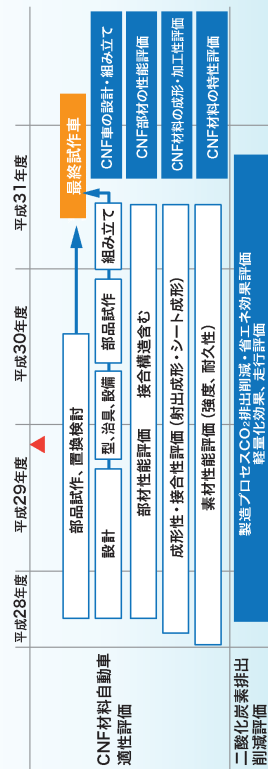
（参加研究機関・企業21機関）

京都大学、産業環境管理協会、京都市産業技術研究所、金沢工業大学、名古屋工業大学、秋田県立大学、株式会社昭和丸筒、昭和プロダクツ株式会社、利昌工業株式会社、株式会社インフレーション、キョーラク株式会社、三和化工株式会社、ダイキョーニシカワ株式会社、マクセル株式会社、株式会社セイロジャパン、株式会社デンソー、トヨタ紡織株式会社、トヨタテクノクラフト株式会社、アイシン精機株式会社、東京大学、産業技術総合研究所

CNF材料による自動車用部材の試作・性能評価



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



リサイクル適性の表示: 印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています