

令和 2 年度環境省委託業務

令和 2 年度セルロースナノファイバー等の先進部材・技術を活用し
たグリーンスローモビリティの社会実装に向けた性能評価事業
委託業務成果報告書

令和 3 年 3 月

事業者代表：エナジーシステムサービスジャパン（株）
（旧社名：日立バッテリー販売サービス（株））
共同実施者：太洋産業貿易（株）

令和2年度セルロースナノファイバー等の先進部材・技術を活用したグリーン スローモビリティの社会実装に向けた性能評価事業委託業務仕様書目次

要旨(日・英)

第1章. 業務の概要

- 1.1 業務の背景と目的
- 1.2 業務の内容
- 1.3 業務の期間
- 1.4 業務実施体制
- 1.5 業務実施の流れ

第2章. 業務成果報告

- 2.1 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの開発
 - 2.1.1 CNF を活用したグリーンスローモビリティ用ドアパネル・窓と、比較対象
用ドアパネル・窓の製作（エナジーシステムサービスジャパン株式会社、
太洋産業貿易（株））
 - 2.1.1.1 製作する車両の仕様
 - 2.1.1.2 ドアパネルの製作
 - 2.1.1.3 窓の製作
 - 2.1.1.4 製作の過程
 - 2.1.2 CNF を活用した熱可塑性樹脂のコンソール製作（エナジーシステムサービ
スジャパン株式会社、太洋産業貿易（株））
 - 2.1.2.1 熱可塑性樹脂コンソールの製作
 - 2.1.2.2 コンソールの設置
 - 2.1.3 充電ステーションと交換式バッテリーの開発（エナジーシステムサービス
ジャパン株式会社、太洋産業貿易（株））
 - 2.1.3.1 充電ステーションの開発
 - 2.1.3.2 交換式電池の開発
 - 2.1.3.3 オペレーションシステムの開発
- 2.2 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの長期間の二地域での走行実証
（太洋産業貿易（株））
 - 2.2.1 走行実証の条件
 - 2.2.2 走行実証の様子
 - 2.2.3 ドアパネルの性能検証

- 2.2.4 窓の性能検証
- 2.2.5 熱可塑性樹脂コンソールの性能検証
- 2.2.6 ドア付きグリーンスローモビリティの快適性・安全性評価
- 2.2.7 交換式バッテリーシステムの性能検証
- 2.2.8 走行時の記録
- 2.2.9 IoT を活用したオペレーションシステム
- 2.3 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティのテストコースでの走行実証
(エナジーシステムサービスジャパン株式会社)
 - 2.3.1 走行実証のコースレイアウト及び走行条件
 - 2.3.2 走行車両
 - 2.3.3 走行期間
 - 2.3.4 検証内容
 - 2.3.5 結果
- 2.4 グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた
検証エナジーシステムサービスジャパン株式会社、太洋産業貿易（株）
 - 2.4.1 CNF 部材のグリーンスローモビリティへの導入可能性と課題、その解決策
 - 2.4.2 交換式バッテリーシステムと IoT を利用したオペレーションシステムの導
入可能性
 - 2.4.3 CO2 削減効果の算出と考察
- 2.5 グリーンスローモビリティ以外の脱炭素型地域交通システムへの CNF 部材および
交換式バッテリー・IoT システムの活用可能性調査（太洋産業貿易（株））

第3章. まとめと今後の方針

要旨(日本語)

本業務では、実際の使用環境・形態を想定した機能を具備したグリーンスローモビリティを対象として、セルロースナノファイバー(CNF)部材を活用した状態で長期間の走行実証を実施し、自動車分野におけるCNF 部材の社会実装に向けた課題抽出と解決策の検証を行うとともに、グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証を行うことを目的とする。

(1). CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの製作

本業務では、令和元年度に開発したグリーンスローモビリティの仕様を基礎とし、CNF 部材の性能を明確に比較評価するため、下記の材料を用いてドアパネルおよび窓を製作した。

- ・ ドアパネル：従来の自動車で利用されている鋼製と、ガラス繊維の FRP 製
- ・ サイド窓：CNF 非導入ハードコート塗装によるポリカーボネート（以下、PC とする）
リア窓に関しては CNF 導入、非導入ハードコート塗装による PC を用いた。また、令和元年度では熱硬化性樹脂を用いて CNF 補強繊維を含有した FRP 素材を開発したが、本年度は CNF を活用した熱可塑性樹脂も使用し、コンソールを製作した。

充電ステーションについては、令和元年度の仕様を基礎として交換式電池の充電、車載電池も充電可能とした。交換式電池は、簡便に手作業で交換できるよう、既製品の一部改善を行った。IoT システムを開発し、次の機能を実装した。

- ・ コースを周回中の車両が、オンデマンドで乗車したい客をピックアップできること
- ・ 電池消耗時に安心して充電ステーションに行き、直接充電又は充電済電池に交換すること。

(2). CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの長期間の二地域での走行実証

(1)で開発したグリーンスローモビリティを使って、二地域での長期間の走行実証を行った。走行実証を行う地域は、気候・地域・交通状況的に対照的な条件で、中山間地域の代表として岡山県美作市上山地区周辺、市街地の代表として神奈川県平塚市太平洋産業貿易平塚工場周辺とした。岡山県美作市では 10 月と 12 月、神奈川県平塚市では 11 月と 1 月に実施した。

走行実証後にドアパネル、窓、コンソールの状態について目視で確認をしたところ、CNF 導入 FRP ドアパネルの FRP 接合面での割れと「そり」が見られた。評価検証により、CNF 導入 FRP は素材の剛性（弾性率）が不足しており、枠となるフレーム等の補強を加えるか、リブ構造等による剛性アップが必要と考えるが、面材としての利用には問題ないことを考察した。

CNF 導入ハードコート PC について目視確認では変化は見られなかったため、評価検証を行ない、CNF 導入ハードコート PC が通常ハードコート PC と遜色ないこと、さらに、長期にわたる走行実証によっても使用に問題ないことを確認した。

ドア付きグリーンスローモビリティの快適性・安全性についてゴルフカートと比較したところ、ドアパネルの設置によって安心感があることや、温熱環境的な快適性が高いことが明らかになった。

交換式バッテリーシステムでは、電池（車両、交換用の両方とも）状態をモニター・指示できる管理システムであることがドライバーだけでなく運営者の管理業務の双方において有用であることが明らかになった。

(3). CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティのテストコースでの走行実証

二地域での走行実証の後に、CNF 導入 FRP のドアパネルで歪みが生じたことから、鋼フレーム+CNF 導入 FRP のドアパネルを作製し、悪路における走行での破損につながる耐久性を検証するためテストコースにて走行実証を行なった。鋼フレームによって補強したドアパネルは、目視の確認では変化は見られず、形状安定性に問題はないと言える。

(4). グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証

(1)～(3)の結果から、CNF 導入ハードコート PC と CNF 導入熱可塑性樹脂についてはグリーンスローモビリティの他の部材でも応用可能性があることを考察した。CNF 導入 FRP は、鋼などで補強した上で、面材としての導入可能性があることを考察した。

交換式バッテリーと IoT を利用したオペレーションシステムについては、地域にあわせて組み合わせる（車両の走行状態、電池の状態に加えて運行形態による必要情報）ことで安心したオペレーションが可能となることを考察した。

また、CNF 部材を導入することにより、資源、製造、廃棄リサイクル時と運用時において CO2 削減効果があることが明らかになった。また、グリーンスローモビリティを電池交換式とすることにより運用時に CO2 削減効果があることも明らかになった。

(5). グリーンスローモビリティ以外の脱炭素型地域交通システムへの CNF 部材および交換式バッテリー/IoT システムの活用可能性調査

脱炭素型地域交通システムの可能性として、EV カーシェアリング、EV デマンド交通、EV 軽貨物配送サービスが挙げられることを調査した。

Summary

The objective of this project is as follows:

- 1) To develop Green Slow Mobility equipped with functions that assume the actual usage environment and form.
- 2) To conduct a long-term driving demonstration using cellulose nanofiber (CNF).
- 3) Identify issues and verify solutions for the social implementation of CNF materials in the automotive field.
- 4) Verify the establishment of a decarbonized regional transportation system using Green Slow Mobility.

(1). Manufacture of Green Slow Mobility using Cellulose Nanofiber

For the Green Slow Mobility (GSM), we used last year's specifications as a basis. In order to compare and evaluate the performance of Cellulose NanoFiber (CNF) materials, we manufactured door panels and windows using the following materials.

- Door panels: steel and glass fiber reinforced plastic (GFRP)
- Side windows: Polycarbonate (PC) with non-CNF hard coating
- Rear window: PC with and without CNF hard coating

Last year, we developed FRP material containing CNF reinforcing fibers using thermosetting resin, but this year, we also used thermoplastic resin utilizing CNF to manufacture the console.

This year, the charging station is capable of charging replaceable batteries and on-board batteries based on the last year's results. We have improved the existing replaceable batteries so that they can be replaced easily without any tools. We have developed an IoT system to implement the following functions:

- Pick up passengers on-demand during the circling a course
- When the battery is depleted, go to a recharging station and directly recharge or replace the battery with a rechargeable one.

and when the battery is depleted, to go to a charging station and directly charge or replace the battery with a charged one.

(2). Long-term driving demonstration of Green Slow Mobility using CNF in two regions

We conducted a long-term driving demonstration in the following two areas.

- The area around the Kamiyama district in Mimasaka City, Okayama Prefecture (representative of a mountainous area): October and December 2020
- Around the Hiratsuka Plant in Hiratsuka City, Kanagawa Prefecture (representative of an urban area): November 2020 and January 2021

The purpose of this long-term driving demonstration is to confirm the durability of GSM manufactured in (1). The condition of the door panels, windows, and console were visually checked after the driving demonstration. The FRP door panels with CNF were found to be cracked at the FRP joint surface. The FRP door panels were also deformed, indicating that the rigidity of the material was insufficient. It is necessary to reinforce the material with a frame or a rib structure. However, there is no problem in using it as a surface material.

There was no change in the CNF hard-coated PC by visual observation. Through evaluation and verification, we confirmed that the CNF hard-coated PC is comparable to the non-CNF PC. There was no problem with its use in the long-term driving demonstration.

The comfort and safety of GSM with doors was compared with that of a golf cart. It was found that the door panels provided reassurance and high level of thermal comfortness.

For the replaceable battery system, it became clear that a management system that can monitor and indicate the battery status would be useful for both the driver as well as the operator's management tasks.

(3). Driving demonstration of Green Slow Mobility using CNF on the test course

After the driving demonstration in two regions, we manufactured a door panel made of steel frame and CNF-integrated FRP. In order to verify the durability of the door panels on rough roads, we conducted a driving demonstration on a test course. No change was observed in the door panel by visual inspection, indicating that there is no problem in shape stability.

(4). Verification for the Establishment of a Decarbonized Regional Transportation System Using Green Slow Mobility

Based on the results of (1)~(3), we considered that CNF hard-coated PC and thermoplastic resin utilizing CNF could be applied to other components of green slow mobility, and CNF-introduced FRP could be introduced as a surface material after being reinforced with steel or other materials.

For the operation system using replaceable batteries and IoT, we discussed the possibility of operating the system as a transportation system by changing the combination depending on the region.

It was also found that the introduction of CNF has the effect of reducing CO₂ emissions during resource, manufacturing, and disposal recycling, as well as during operation. It was also found that the green slow mobility system with replaceable batteries has a CO₂ reduction effect during operation.

(5). Feasibility study on the use of CNFs and replaceable batteries/IoT systems for decarbonized regional transportation systems other than green slow mobility

We investigated the possibility of EV car sharing, EV demand transportation, and EV light cargo delivery services as potential decarbonized regional transportation systems.

第1章業務の背景と目的

1.1 業務の背景と目的

セルロースナノファイバー（以下、CNF）は、植物由来のカーボンニュートラルな材料で、高い比表面積と空孔率を有していることから、軽量でありながら高い強度や弾性を持つ素材として、様々な基盤素材への活用が期待され、精力的な開発が進められている。特に、高強度材料（家電製品筐体等）や高機能材料（住宅建材、内装材等）への活用は、軽量化や高効率化等によるエネルギー消費の削減に繋がるだけでなく、製品の付加価値向上にも寄与することから、一部製品において採用が進んでいる。

しかしながら、大きなCO₂削減効果が期待できる自動車分野は、一般的に部材に要求される性能水準や評価基準が高いことから、他分野と比較して導入の難易度が高い。このため、自動車分野でCNF部材の普及促進を図るためには、長期間の耐久試験や実車両における評価等を通じてその有効性を実証していくことが不可欠である。

また、環境省では、環境負荷の少ないグリーンスローモビリティ※を地域交通の脱炭素化に資する移動手段として捉え、その活用方法について、持続可能な事業モデルを創出することが重要であると考え。グリーンスローモビリティは、その特徴からCNF等の先進部材・技術との相性が良く、これらを組み合わせることは更なるCO₂削減だけでなく、持続可能性を有する脱炭素型地域交通システムの確立に繋がると期待できる。そこで、本業務では、実際の使用環境・形態を想定した機能を具備したグリーンスローモビリティを対象として、CNF部材を活用した状態で長期間の走行実証を実施し、自動車分野におけるCNF部材の社会実装に向けた課題抽出と解決策の検証を行うとともに、グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証を行うことを目的とする。

※グリーンスローモビリティ：電動で、時速20km未満で公道を走ることが可能な4人乗り以上のモビリティ

1.2 業務の内容

(1) CNF部材等を活用したグリーンスローモビリティの開発

本業務では、昨年度開発したCNF活用のグリーンスローモビリティ用ドアパネルおよび窓に対して、長期における走行実証でCNFの性能を明確に分析・評価するため、異なる材料を用いてドアパネルおよび窓を製作し、比較検証を行う。また、熱硬化性樹脂だけでなく、CNFを活用した熱可塑性樹脂を開発し、性能評価を行うこと。交換式バッテリー管理システムについては、昨年度開発したバッテリー管理システムを前提に充電ステーションを開発し、走行実証で有用性を検証する。具体的には以下の事項を実施する。

1) CNF を活用したグリーンスローモビリティ用ドアパネル・窓と、比較対象用ドアパネル・窓の製作

令和元年度に開発した CNF 導入ドアの比較対象の材料として、下記の材料を用いたドアを製作する。

- ・ドアパネル：従来の自動車で利用されている鋼製と、ガラス繊維の FRP 製
- ・サイド窓：CNF 非導入ハードコート塗装によるポリカーボネート（以下、PC とする）

また、新たにリア窓で CNF 導入、非導入ハードコート塗装による PC を用いる。

以上の比較対象の材料を用いて、下表の車両 2 台を製作する。

表 1.2 製作する車両

	サイド右側(前部・後部)		サイド左側(前部・後部)		リア
	ドアパネル	窓	ドアパネル	窓	窓
車両 (あ)	鋼	CNF 非導入ハードコー トの PC	CNF 導入の FRP	CNF 導入ハー ドコート の PC	CNF 導入ハー ドコート の PC
車両 (い)	ガラス繊維 FRP	CNF 非導入ハー ドコー ト PC	CNF 導入の FRP	CNF 導入ハー ドコート の PC	CNF 非導入ハー ドコー トの PC

2) CNF を活用した熱可塑性樹脂のコンソール製作

令和元年度は、熱硬化性樹脂を用いて、CNF 補強繊維を含有した FRP 素材を開発した。しかし、マテリアルリサイクルのし易さなど環境負荷低減には、熱可塑性樹脂が妥当である。よって、本年度は CNF を活用した熱可塑性樹脂のコンソールを製作し、その性能を検証する。

3) 充電ステーションと交換式バッテリーの開発

グリーンスローモビリティのバッテリー管理システムのプロトタイプを前提とした充電ステーションの開発を行うことで、グリーンスローモビリティを地域交通システムとして運用する際に、効率の良いバッテリー交換・充電を可能にするシステムを構築する。具体的には、交換式電池が準備されていて、充電を可能にする。車載電池も充電可能とし、充電状況、充電口の空き状況や使用予定終了時間を発信できる。充電ステーションとオペレーションシステムを統合して運用試験を行う。

(2) CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの長期間の二地域での走行実証

(1)で開発した、CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティを使って、長期間の走行実証を行う。具体的な走行実証の条件、検証内容は以下のとおり。

1) 走行実証の条件

- ・ 地域：気候・地形・交通状況的に対照的な条件の、中山間地域と都市近郊市街地の2地域で走行実証を行う。
- ・ コース：グリーンスローモビリティが地域交通システムとして使用されることを想定した、地域内を走行するコースとする。
- ・ 走行状況：乗車人数や走行頻度など、実利用に近い状況での走行実証を行う。
- ・ 実施期間：気温が比較的高い時期（9月、10月頃）と気温が比較的低い時期（12月、1月頃）にそれぞれの地域で行う。

2) 検証内容

① ドアパネルの性能検証

- ・ 鋼製、CNF 導入の FRP、ガラス繊維の FRP のドアパネルそれぞれについて、走行実証中、目視による損傷の有無や、ドアヒンジ付近の緩みなどについて確認を行う。

② 窓の性能検証

- ・ サイドドアの窓：CNF 導入、非導入ハードコート塗装による PC それぞれについて、走行実証中、窓のスライド等による傷の有無を目視で確認する。傷が多い場合は、ヘイズや透過率を装置で測定し、定量的に把握することも検討する。
- ・ リア窓：CNF 導入、非導入ハードコート塗装による PC それぞれについて、雨天時にワイパーの使用などによる傷の有無を目視で確認する。傷が多い場合は、ヘイズや透過率を装置で測定し、定量的に把握することも検討する。

③ 熱可塑性樹脂コンソールの性能評価

- ・ 走行実証中、目視にて紫外線や振動により変化が生じるかを検証する。

④ ドア付きグリーンスローモビリティの快適性・安全性評価

- ・ ドア付きグリーンスローモビリティ車両（あ）（い）の冬季における温熱環境性能、走行時の安全性を検証するため、ドアなしのグリーンスローモビリティとの第三者のモニターによる乗車比較を行う。

⑤ 交換式バッテリーシステムの性能検証

- ・ バッテリー運行管理システムにより、走行時のバッテリー残量・バッテリーの交換頻度・充電の時間について確認し、実利用に近い状況の中でのバッテリー運行管理システムの有用性を検証する。

⑥ 走行時状況の記録

- ・ ①～⑤の検証にあたり、走行日の天候、外気温、車内の気温、紫外線強度について計測する。

(3) CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティのテストコースでの走行実証

悪路における走行実証で、ドアの破損につながる耐久性を検証するため、エナジーシステムジャパン（株）が保有するゴルフカートのテストコースにて、耐久性確認のテスト走行を行う。

1) 走行実証の条件

- ・ 複数の路面環境を模擬したテストコースにおける走行実証を実施する。
- ・ 120 時間程度の走行時間を確保する。（1 日の走行時間は 4 時間程度）

2) 検証内容

- ・ 走行時の状況を記録する。
- ・ ドアパネル、窓について走行毎に傷・割れが生じないかを確認し、記録する。

(4) グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証

(2) (3) での走行実証での結果を踏まえ、グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けて必要な機能やシステムを整理する。

- ・ CNF 部材の導入については、(2) (3) での走行実証での結果を踏まえ、CNF 部材がグリーンスローモビリティに導入可能かを判断する。
- ・ 耐久性、耐候性、経年変化で課題が見られた場合は、解決策を提案する。
- ・ さらに、検証の結果から、CNF 導入が可能な部材と部材の軽量化について整理し、グリーンスローモビリティに CNF 部材の導入が進むことによる CO2 削減効果を資源、運用、リサイクル、応用範囲の拡大という 4 つの観点で算出する。
- ・ 充電ステーションを含めた交換式バッテリーシステムについては、効率的な運用が可能かどうかを検証する。

(5) グリーンスローモビリティ以外の脱炭素型地域交通システムへの CNF 部材活用可能性調査

既往研究などの文献調査、実地調査から、グリーンスローモビリティ以外の脱炭素型地域交通システムの事例を調査し、CNF 部材の活用が可能であることを検討する。

1.3 業務の期間

令和2年8月1日～令和3年3月31日

1.4 業務の実施体制

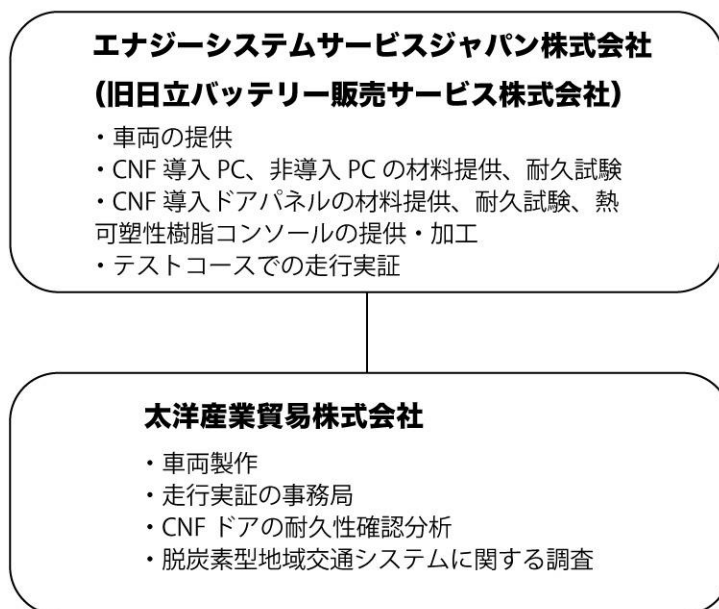


図. 1.4 実施体制図

1.5 業務実施の流れ

業務実施の流れを下記に示す。

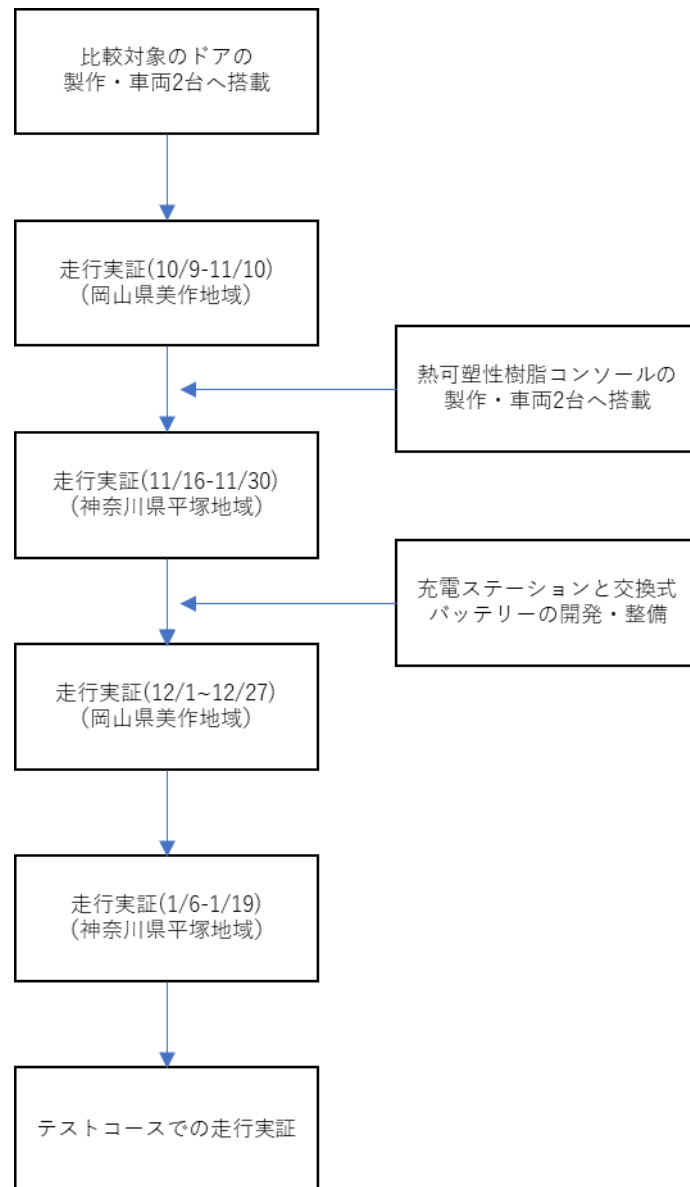


図 1.5 業務フロー

第2章 業務成果報告

2.1 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの開発

2.1.1 CNF を活用したグリーンスローモビリティ用ドアパネル・窓と、比較対象用ドアパネル・窓の製作

2.1.1.1 製作する車両の仕様

本業務において作製する車両は、原則的に「令和元年度セルロースナノファイバー等を活用したグリーンスローモビリティの導入実証委託業務」に於いて作製された仕様を踏襲するが、令和2年度の最新法規に基づく変更及び令和元年度の実績に基づく改善を施した。法規改正に基づく項目は、オートライト機能の追加である。

令和元年度の実績に基づく改善項目は、室内への隙間風流入軽減、ドアロック能力の向上、ワイパー能力の向上及び電池交換方式の改善である。

また、CNF 部材の耐久性能等検証のため二台の車両をそれぞれ次のように製作した。

- 1号車 左側（運転席側）CNF 部材使用ドア、CNF コーティング済ポリカーボネート窓
右側（助手席側）鋼製ドア、CNF コーティング無ポリカーボネート窓
後部スクリーン CNF コーティング済ポリカーボネート
- 2号車 左側（運転席側）CNF 部材使用ドア、CNF コーティング済ポリカーボネート窓
右側（助手席側）ガラス繊維 FRP ドア、CNF コーティング無ポリカーボネート窓
後部スクリーン CNF コーティング無しポリカーボネート

図 2.1.1.1-1 に製作した車両の外観図を示す。

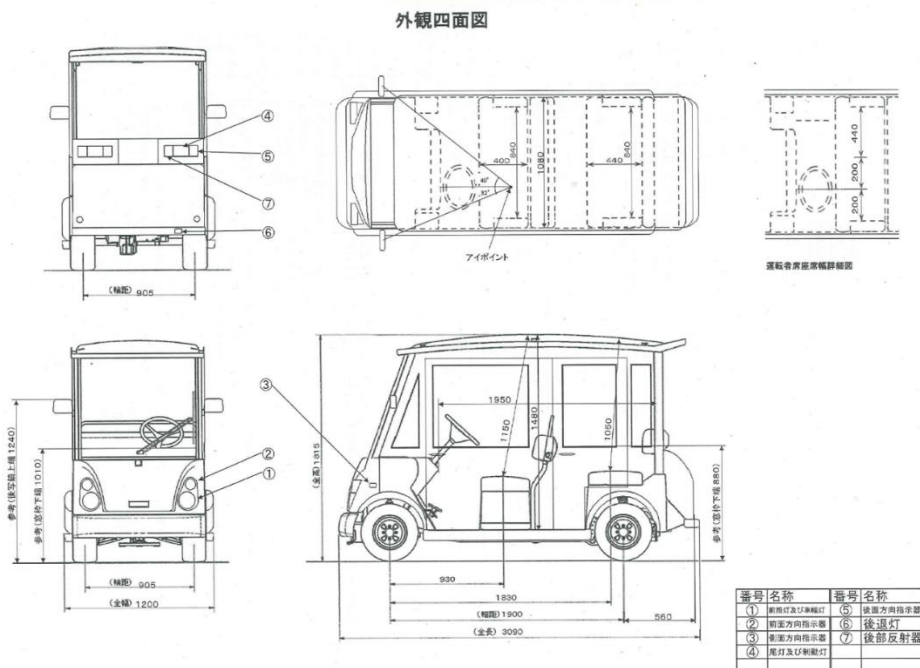


図 2.1.1.1-1 「外観四面図」

図 2.1.1.1-2 「改造自動車等審査結果通知書」に車両諸元を示す。

第10号様式 (表面)

2 軽検東京改第25号
令和2年10月 5日

株式会社 NSピークルインダストリー 殿

軽自動車検査協会
東京主管事務所長

改造概要等説明書(改造自動車等審査結果通知書)

[指示事項]

- ・検査の際は、本紙を提示すること。
- ・本車両は、製造番号「B1912994010」の1台限りとする。※モータ「DM430-04D」
- ・車台番号及び原動機型式は、職権打刻を受けること。
- ・内装材難燃性基準適合検討書を提出すること。

[特記事項]

- ・本改造は最高速度20km/h未満の自動車として検討を行った。

主要諸元比較表

標準車種の類別等を記載する。()

(改造車・試作車・組立車)

項目	標準車	改造車	基準・限度	項目	標準車	改造車	基準・限度
車名	—	組立		乗車定員人	—	4	≤4
型式	—	組立		最大積載量 kg	—	—	≤350
自動車の種別	—	軽自動車		前前軸重	—	300	(kg)
用途	—	乗用		前後軸重	—	—	(kg)
車体の形状	—	箱型		後前軸重	—	—	(kg)
燃料の種類	—	電気		後後軸重	—	500	(kg)
原動機型式	—	職権打刻		計	—	800	(kg)
総排気量(L)又は定格出力(kW)	—	3.0kW		最大安定傾斜角度°	左	52	一般≥35°
長さ m	—	3.090	≤3.40m		右	51	その他≥30°
幅 m	—	1.200	≤1.48m	タイヤ前後軸	—	205/50-10 6PR	(920 kg)
高さ m	—	1.815	≤2.00m	タイヤ後前軸	—	—	(kg)
軸距 m	—	1.900		タイヤ後後軸	—	205/50-10 6PR	(920 kg)
輪距 m	前軸	—	0.905	前軸荷重	空車	41.3	≥18(20%)
	後軸	—	0.905	積車	—	37.5	
室内又は荷台の内幅 m	長さ	—	1.950	リヤ・オーバーハング m	—	0.560	≤1/2(2/3) (1.266m)
側面の寸法	高さ	—	1.480	荷台オフセット m	—	—	
車両重量 kg	前前軸重	—	240	最小回転半径 m	—	3.1	≤12m
	前後軸重	—	—				
	後前軸重	—	—				
	後後軸重	—	340				
	計	—	580				

能力強度等検討書

制動力	踏力 220 N	19km/h	4.6 m	車軸強度	σB/σ	400 / 21.3	= 18.8 ≥1.6
空気圧	230.0 kPa			σY/σ	245 / 21.3 <td>= 11.5 ≥1.3</td> <td></td>	= 11.5 ≥1.3	
推進軸強度	σB/σ	41 / 12.4 <td>= 3.29 ≥1.6</td> <td>操縦装置強度</td> <td>σB/σ</td> <td>400 / 217.1 <td>= 1.84 ≥1.6</td> </td>	= 3.29 ≥1.6	操縦装置強度	σB/σ	400 / 217.1 <td>= 1.84 ≥1.6</td>	= 1.84 ≥1.6
車軸強度	σY/σ	25 / 12.4 <td>= 2.01 ≥1.3</td> <td>緩衝装置強度</td> <td>σB/σ</td> <td>1775 / 706 <td>= 2.52 ≥1.6</td> </td>	= 2.01 ≥1.3	緩衝装置強度	σB/σ	1775 / 706 <td>= 2.52 ≥1.6</td>	= 2.52 ≥1.6
				σY/σ	1636 / 706 <td>= 2.32 ≥1.3</td> <td></td>	= 2.32 ≥1.3	
				制動装置強度	σB/σ	245 / 87.5 <td>= 2.80 ≥1.6</td>	= 2.80 ≥1.6
				連結装置強度	σB/σ	— / — <td>= — ≥1.6</td>	= — ≥1.6

注1：能力検討欄は、該当しないものは—、省略したものは×を記入すること。

注2：指示事項欄又は能力強度等検討書欄は、必要に応じて指示欄又は項目を追加・削除することができる。

注3：現車審査の際は、通知書及び改造部分詳細図等の添付資料を提示すること。

(日本工業規格 A列4番)

図 2.1.1.1-2 「改造自動車等審査結果通知書」

尚、電池室の改造に関しては本業務における車両改造上の重点項目であった。
これについては、「2.1.3.2 交換式電池の開発」で詳述する。

2.1.1.2 ドアパネルの製作

グリーンスローモビリティの部品・製品の軽量化技術を開発することを目標に植物由来のセルロースナノファイバー（CNF）を用いたドアパネルに用いる FRP 素材の開発を令和元年度の事業で実施した。従来 FRP は、不飽和ポリエステル樹脂とガラス繊維によるものが一般的であるが、ガラス繊維の真比重は約 2.5 に対し、炭素繊維は約 1.8、セルロースは約 1.5 と最も軽い補強繊維用素材であると言える。

セルロースナノファイバーの繊維強度は若干他の素材に劣るものの、弾性率はガラス繊維の約 2 倍となる 140GPa の性能を持っている。各強度を比重あたりに換算すると、CNF の比強度が最も高く補強繊維としても優れた可能性を有していることから、軽量化に寄与することが可能である。また、植物由来の材料であることから、持続型資源として環境負荷の少ない材料である。本開発は、一般的にガラス繊維が用いられる FRP 部材の補強繊維を CNF 等セルロース系材料に置き換えることで、鉄製ドア部品に対して、さらに軽量化を図ると共に、環境負荷の少ない材料として提供するものである。また、一般的に FRP は熱硬化性樹脂を用いることからマテリアルリサイクル利用は困難であり、ガラス繊維製 FRP は、焼却時に大量の焼却灰が発生するため、サーマルリサイクルによる熱回収の際にも大量に発生する焼却灰が問題となる。

一方、CNF 及びセルロース系不織布を利用した FRP は基材であるセルロースが燃焼可能であることから、これまで埋め立て処理しか廃棄方法のなかったガラス繊維、炭素繊維等の FRP 素材を、CNF を含めた有機系天然繊維で代替することでサーマルリサイクル利用を可能にすることができる。

CNF とセルロース系不織布を利用した FRP の素材構成技術は、今後多様化される部品成型の一つの手法として有効な技術であると考ええる。

具体的な方法としては、一般的な FRP がガラス繊維不織布に不飽和ポリエステルを含浸して成り立つ材料であるのに対して、汎用のセルロース系不織布に CNF の含まれる不飽和ポリエステルを含浸した FRP 部材を作成した。令和元年度と同様に、セルロース系不織布としては天然の麻系繊維不織布である FLAXMAT F300HD（図 2.1.1.2-1）を採用した。

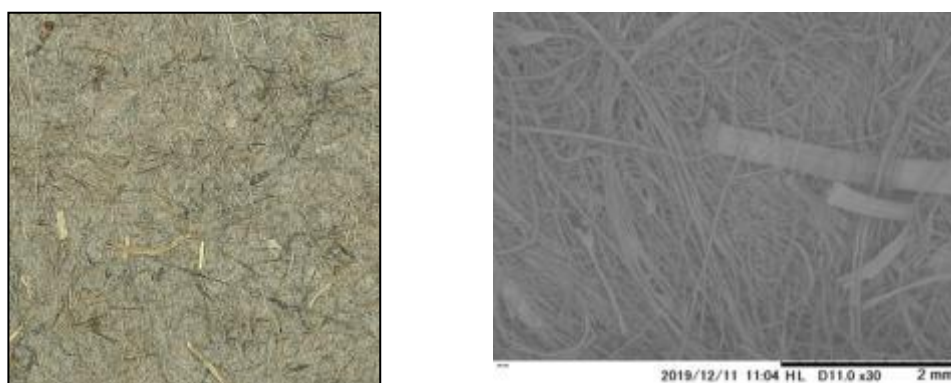


図 2.1.1.2-1 麻系天然繊維の不織布外観及び SEM 画像

バインダーである熱硬化性樹脂は、不飽和ポリエステルに CNF を添加することで強度の向上を図っている。CNF は親水性であるため、樹脂との密着性向上を目的にシランカップリング剤を添加した樹脂材料を用いた。

令和元年度の検討結果から、表 2.1.1.2-1 の仕様を用い CNF 配合不飽和ポリエステルをセルローズ系不織布に含浸した FRP 素材をハンドレイアップ成形にて作成した。ハンドレイアップ法は、成形型に不織布を、人手によって樹脂をハケやローラーで含浸させ、脱泡しながら積層し、さまざまな形状に柔軟に対応できる成形法であり、小ロット生産に適した方法であるため、本事業ではこの方法を採用した。これらの組成・手法により、一般的なサイドドアに採用されている鋼板と比較して 6 分の 1 以下の比重：1.24 g/cm³ でありながら、鋼板の比強度（引張降伏点強度/比重）：18kN・m/kg に対して、46kN・m/kg を達成する素材構成となり、令和 2 年度のグリーンスローモビリティ用ドアパネル用素材にもこの組成・手法を採用した。

表 2.1.1.2-1 CNF を利用したドアパネル用 FRP 素材の仕様

種類	品番	メーカー	配合量
不飽和ポリエステル	リゴラック258BQTN	昭和電工(株)	98.8部
CNF	Wfo-UNDP	(株)スギノマシン	1.0部
シランカップリング剤	KBM-503	信越化学工業(株)	0.2部
硬化剤	カヤメックM	化薬ヌーリオン(株)	1.0部
セルローズ系不織布	FLAXMAT F300HD	Eco-Technilin社	2プライ

※プライ数：FRP 化する際の基材（不織布）の枚数

ドア作製に於いては、令和元年度の作製実績通りの工程で作製した。ドアパネルは CNF 入りガラス繊維材料 2 層を積層し、ドアヒンジ及びドアノブ装着部については鋼材にて補強し、平面の補強には、ファイバー製 L アングルを使用してリブを立てた。ただし、本業務に於いては令和元年度業務の実績から ドアロック機能の強化とヒンジの強化を図り鋼材（SPHC 鋼厚さ 0.8 mm）による強化部を広げた。（図 2.1.1.2-2 参照）



図 2.1.1.2-2 ドア補強材の様子

しかしながら、上山地区での実証試験走行にてドアのひずみが発生し、ドアパネル接合部に亀裂が入り始めたことから、ドア枠を鋼材にて作成しその枠に CNF 入り材料にて製作したパネルを張り付ける対策を取った。ドア枠は、SPHC 鋼厚さ 1.2 mmにて製作した。（図 2.1.1.2-3、-4 参照）



図 2.1.1.2-3 鋼製ドア枠



図 2.1.1.2-4 CNF パネルと鋼製枠接着

新たな対策品は、前部用ドアについては天日に晒すことで変形を計測することとし後部用ドアについては実車に取り付け耐久試験走行を行った。前部ドア計測方法は、1月12日から29日まで、平日の日中決まった片面を南向きに太陽に晒す周囲の6点を決め基準板（水平板）からドア上面までの距離を計測を行なった。



図 2.1.1.2-5 計測の様子（緑テープの位置で計測）

表 2.1.1.2-2 計測記録抜粋

環境省Doorカート【計測記録】

日付	曜日	天気	最高気温	時刻	①	②	③	夕			
			最低気温					時刻	①	②	③
1月12日	火	晴れ	6 1	8:30	43	42	40.5	16:30	43.6	41.8	40.5
1月13日	水	晴れ	12 0	8:30	43.6	42	40.5	17:00	43.6	42	40.5
1月14日	木	晴れ	15 1	8:30	43.9	42	40.5	16:50	44	42.2	40.4
1月15日	金	曇り	8 3	8:30	43.8	42	40.5	16:50	43.8	42	40.6
1月18日	月	晴れ	8 1	8:30	43.8	42	40.5	16:50	43.4	41.7	40.7
1月19日	火	晴れ	9 -2	8:30	43.4	41.9	40.5	16:50	43.8	41.9	40.8

結果は、次のとおり、鋼製ドア枠により 安定した形状が保てることが分かった。

1 月 12 日（開始日）6 点の 最小 40.5mm（計測点③） 最大 44.9mm（計測点⑥）

1 月 29 日（最終日）6 点の 最小 40.4mm（計測点③） 最大 44.9mm（計測点⑥）

なお、改善結果の詳細は走行試験の結果と合わせて 2.3 項で後述する。

2.1.1.3 窓の製作

従来の自動車用窓ガラスに代わる透明かつ軽量な材料として、本事業ではハードコート処理を施した PC 樹脂を採用しており、ハードコートへの CNF 導入と PC 窓の作製概要について下記に示す。

CNF は PC 窓の透明性を維持するため、繊維幅の小さい TEMPO 酸化 CNF（セレンピア TC-01A、日本製紙）を用い、ハードコート並びに PC 窓の耐久性を向上させることを目的として、プライマーとトップコートの 2 層から成るハードコートのうち、プライマー層に導入した。CNF はプライマー層と複合化するにあたり、ポリエチレングリコール（SUNBRIGHT MEPA-20H、日油）にて表面修飾を行い¹⁾、プライマー液の主溶媒（PGM）に分散させた後（図 2.1.1.3-1 左）、昨年度の検証結果を踏まえて、プライマー固形分比で 0.5%となるように混合した。このプライマー液を用いて PC 基板（パンライト PC-1111、帝人）にプライマー層を成膜した後、トップコートを成膜し、「CNF 導入ハードコート PC」とした（図 2.1.1.3-1 右）。PC は、サイドウィンドウに 3 mm、リアウィンドウに 4 mm の厚みの基板を用いた。

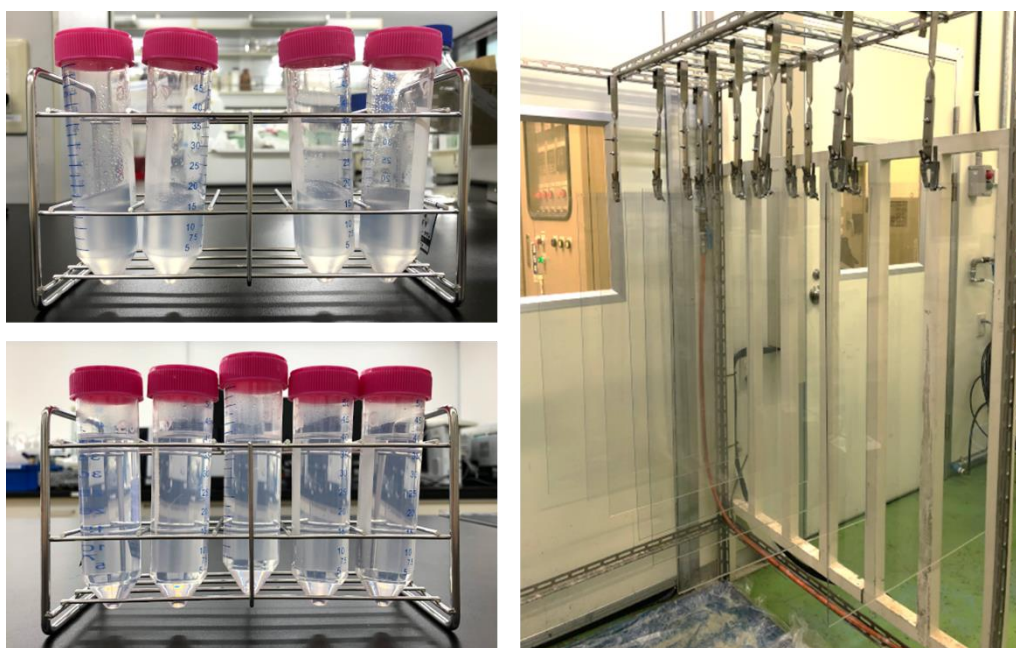


図 2.1.1.3-1 プライマー導入用 PGM 分散 CNF（左上：未処理 CNF、左下：表面処理 CNF）と CNF 導入ハードコート PC 板（右）

PC 窓は、1 号車、2 号車とも左側（運転席側）に CNF 導入ハードコート PC 板を使用し、右側（助手席側）は比較対照として通常のハードコート PC 板を使用した。その固定については、窓枠をアルミ材にて製作し鋼製のピラー及び各ドアに固定した（図 2.1.1.3-2）。また、ワイパー傷の比較のために、1 号車のリアウィンドウを CNF 導入ハードコート PC 板

で作製し、2号車を通常のハードコートPC板で作製した。ワイパーは軽自動車で多用され実績のあるリアウィンドウ用ワイパーを取り付けた（図2.1.1.3-3）。



図 2.1.1.3-2 窓枠と窓の製作



図 2.1.1.3-3 ワイパーユニットとリアウィンドウ全景

1) Shuji Fujisawa et. al., Biomacromolecules 2013, 14, 1541-1546

2.1.1.4 製作の過程

本業務にて使用する車両は、令和元年度と同様にエナジーシステムジャパン社製の 5 人乗りゴルフカートであり基本性能は変わらない。（図 2.1.1.4-1 参照）



図 2.1.1.4-1 ベースカート

このベースカートに対して、規則上必要な種々装備改造及び本業務に必要な改造を加えた。（図 2.1.1.4-2、-3、-4 参照）

- 保安灯をはじめとする各種灯火類とサイドミラーの装備
- 側面衝突安全にかかわる車幅拡張
- シート材質、サイズの変更と乗車定員の変更
- 承認済フロントガラスの装備とワイパーの設置
- リアスクリーンの装備とワイパー設置
- ドア及び窓設置のための側面ピラー等の新設
- ドア及び窓の製作
- 電池交換式とするための電池室改造
- IoT 機器の設置
- シートヒーター及び温水暖房装置の装備
- 冬季用スタッドレスタイヤの準備



図 2.1.1.4-2 側面補強、スライド式電池室、車幅拡張



図 2.1.1.4-3 完成車（車検取得後）



図 2.1.1.4-4 暖房装置（左）とコンソール及び IoT（右）

2.1.2 CNF を活用した熱可塑性樹脂のコンソール製作

2.1.2.1 熱可塑性樹脂コンソールの製作

平成 27 年～29 年度に実施した環境省委託事業「セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業（セルロースナノファイバー添加ウッドプラスチックによる自動車内装部品の軽量化）」で得られた成果を元にトクラス株式会社が開発した「ウッドナノプラス」をコンソールボックスの材料として利用した。

CNF は、その高いパフォーマンスから、自動車部品としても期待されているが、CNF 自体のコストや使い勝手（CNF は含水状態）の問題から実用化するためには、多くの時間を要する。本材料は、ナノサイズとミクロンサイズが共存する木質系フィラー材料をポリプロピレン等熱可塑性樹脂に均一に分散させた成型加工用材料であり、木質系フィラー材料中には CNF が含まれる他、下記写真（図 2.1.2.1-1）に示すようなナノサイズの毛羽立ちをもつ（フィブリル化した）木粉が含まれている。この特徴のある木質フィラーを利用し、ウッドプラスチックの軽量かつ高強度という特徴を残しつつも、短所であった耐衝撃性を性能アップさせている。

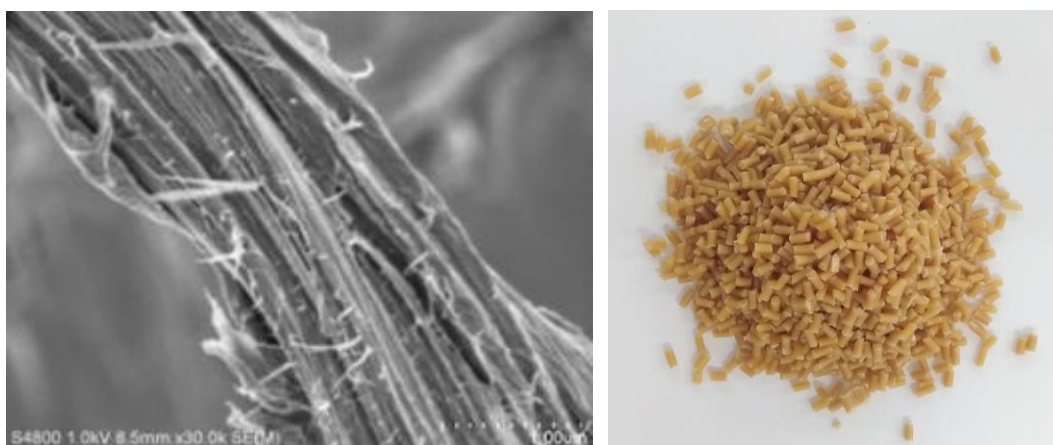


図 2.1.2.1-1 ナノフィブリルを有する木粉とそのコンパウンド

自動車内装部品として採用されているタルク充填プラスチックに対しても軽量・高強度な特性を有する（表 2.1.2.1-1）。また、材料強度の向上に伴い、材料の強度面での軽量化に結びつけるだけでなく、強度アップを活かした部材構造の変更による軽量化も可能となる材料である。

表 2. 1. 2. 1-1 各種フィラー配合品との物性比較

フィラー	PP単体 (ホモ)	タルク	汎用木粉	ウッドナノプラス
		25%	25%	25%
比重	0.9	1.08	1.00	1.00
曲げ強度[MPa]	45.8	61.2	66.7	67.7
曲げ弾性率[GPa]	1.4	3.4	2.9	2.7
ノッチ無し衝撃強度 [kJ/m ²]	41.2	18.3	15.8	25.6

上記の特性を有すことから、今回グリーンスローモビリティのコンソールボックス用材料として利用し、車載検証用として射出成型により製作した。製作したコンソールボックスの形状、寸法を図 2. 1. 2. 1-2 に示す。

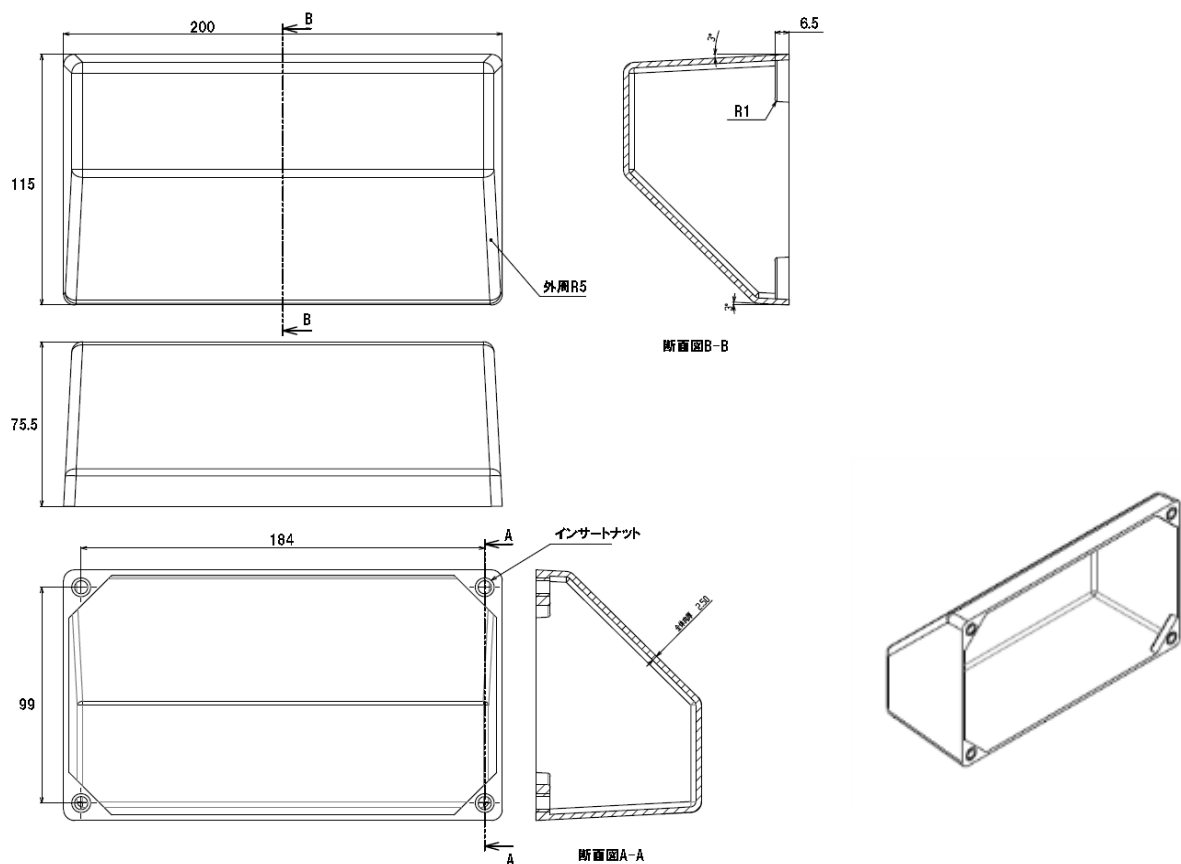


図 2. 1. 2. 1-2 コンソールボックス形状

射出成型に用いたコンソールボックス用金型及び射出成型機（230 t 射出成型機 プラスター Si-230V 東洋機械金属株式会社製）をそれぞれ図 2.1.2.1-3、図 2.1.2.1-4 に示す。

射出成型用の樹脂材料はタルク 25%PP の代替を想定し、「ウッドナノプラス」として CNF 含有木粉 25%、ベース樹脂には耐衝撃性を考慮し、ブロックタイプの PP にてコンパウンドされた材料を用いた。コンソールボックスの射出成型条件を表 2.1.2.1-2 に示す。



図 2.1.2.1-3 コンソールボックス用金型



図 2.1.2.1-4 230 t 射出成型機 プラスター Si-230V（東洋機械金属株式会社製）

表 2.1.2.1-2 射出成型条件表

温度条件	℃	ノズル	C4	C3	C2	C1
	設定	200	200	195	190	185

射出速度(min-1)	背圧(MPa)	1 次圧 (MPa)	保圧(MPa)
80	5	80	40

これらの条件を元に、射出成型によって得られたコンソールボックス成型品を図 2.1.2.1-5 に示す。



図 2.1.2.1-5 コンソールボックス成型品（塗装無し）

2.1.2.2 コンソールの設置

本業務では、ガラス繊維 FRP（＃450 ガラスマット及び熱硬化性樹脂製）で作製されたコンソールと CNF 入り熱可塑性樹脂で作製されたコンソールの比較を行う。

その方法は、同一な車内環境に於いて前部窓からの直射日光（紫外線）及び車両の振動により生じる差異を目視にて観察することとされているため、両者がほぼ同一の条件となるように運転席前部に並べて設置した。

また、ガラス繊維 FRP 製のコンソールは車検対応として各種表示灯などを装備した。一方、熱可塑性樹脂製コンソールは、表示灯などは装備せず塗装のみ同一とした状態で設置した。

図 2.1.2.2-1 左手前は成型した表面状態のコンソール、右奥側は塗装前処理を施した状態である。

塗装は、ガラス繊維 FRP、熱可塑性樹脂製ともにプライマー処理の後、トップコート処理しさらにクリアコート処理を施した。



図 2.1.2.2-1 熱可塑性樹脂製コンソール

塗装材料は

プライマー： シッケンズ社製 アクリルポリエステル樹脂系

ハードナー： ポリイソシアネート樹脂系

ベースコート：シッケンズ社製 1 液型低溶剤ソリッドベースコート

トップコート：レゾナール社製

速乾ウレタンクリヤー

を使用した。

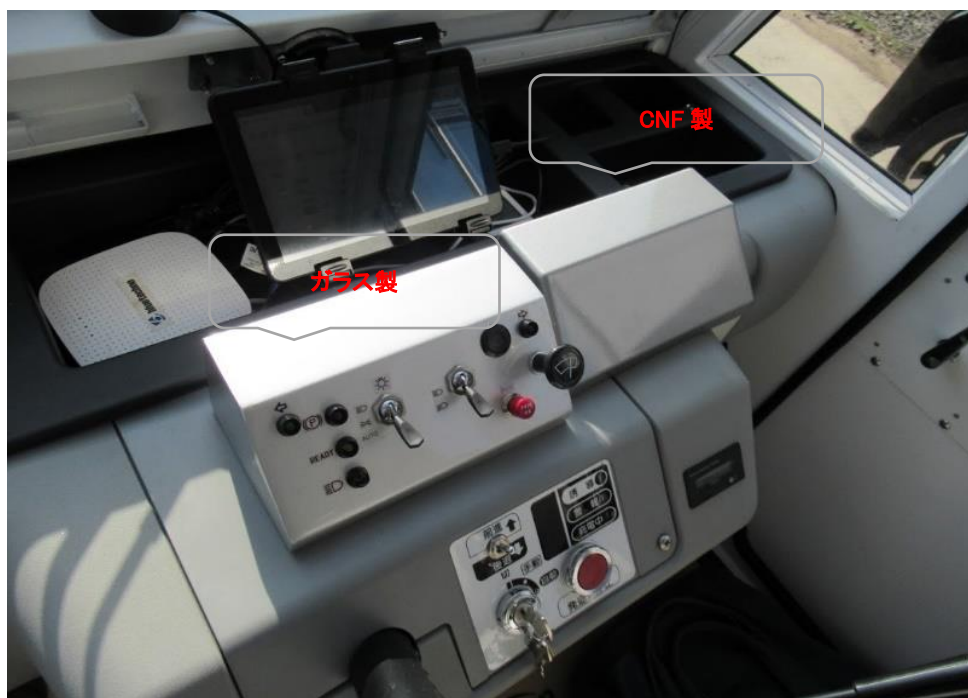


図 2.1.2.2-2 ガラス繊維 FRP (左) 熱可塑性樹脂 (右)

2.1.3 充電ステーションと交換式バッテリーの開発

2.1.3.1 充電ステーションの開発

本業務では令和元年度に実証試験された充電ステーションを基礎に次のような運用要求を基に開発を行った。

- 急速充電は行わない、普通充電時間 8 時間を標準とする
- グリーンスローモビリティ車両本体に搭載された電池に充電できること
- 充電ステーションに交換用（充電済または充電中）電池を置くこと
- 交換用電池は、常に充電されること
- 車両から降ろされた交換用（空）電池が充電できること
- 電池交換のために必要な機能を有する安全な電池収納箱を設置すること
- 基幹電力線に大きな負担をかけないこと

- サイネージで操作と状態表示がされること
- 基幹電力線以外に再生エネルギーから充電可能な設計とすること（実装は将来）
- 充電中の電圧、電流の状態がモニターできること
- IoT を介して充電ステーションの空き状況、電池及び充電状態がモニターできること

2.1.3.1.1 基礎となる必要電力量とインバーター能力の算定

車両搭載電池及び交換用予備電池ともに 48V25Ah タイプを 4 本使用する。

故に、空状態から満充電までに必要な電力量は

$$48V \times 25Ah \times 4 \text{ (本)} = 4,800Wh$$

となる。これを 8 時間にて完了するためには、 $4,800Wh \div 8h = 600W$ の能力のある充電器が必要でありこれは、

$$600W \div 48V = 12.5A \quad \text{----- ①}$$

となる。一方、本業務で使用するリン酸鉄電池は充電開始時 15.4A の電流で充電を開始する仕様であるので、充電開始時の最大電流は

$$48V \times 15.4A \times 4 \text{ (本)} = 2,957W \quad \text{----- ②}$$

であり、基幹電力線が 100V とすると

$$\text{②} \div 100V = 29.57A \rightleftharpoons 30A \quad \text{----- ③}$$

となる、基幹電力線が 200V とすると

$$\text{②} \div 200V = 14.79A \rightleftharpoons 15A \quad \text{----- ④}$$

である。想定される実証地の設備を考慮すると、100V30A の確保は現用施設に大きな影響を与える。空調設備用として単相 200V30A が設備されていることが確認できたので 本業務で開発する充電ステーションは 200V 仕様とし、車載電池又は交換用予備電池のいずれかのみを充電する、つまり車載電池と交換用予備電池の同時充電は行わないこととした。また、充電器本体は 200VAC 入力から 48VDC 最大 62A(②より)、定常時 12.5A(①より)の出力が可能な インバーターを装備する。

2.1.3.1.2 交換用（充電済）電池の取出しと、交換（空）電池の格納方法検討

電池交換の基本手順を次のように想定し設計した。

- (1) 充電ステーションのサイネージで交換用電池確認をし、電池収納スペースを開く
- (2) 車両の電池室ドアを開けて電池を取り出す
- (3) 取出した交換（空）電池を、充電ステーションの空き電池棚に収納し結線する
- (4) 充電ステーションの交換用（充電済）電池の結線を外し車両に搭載し結線する
- (5) (2)、(3)、(4)を繰り返す（左右の電池室）
- (6) 充電ステーションのサイネージで収納した電池状態を確認し、充電開始する

この為、充電器本体とドア操作などのある電池収納箱は別体として設計した。

電池4個を1ユニットとして同時交換するが、そのための棚を一つにして引き出すと、総重量45Kg程の電池が移動し電池収納箱転覆の恐れがある。そのため、一列当たり電池2個を収納する引出し式棚を二列二段に並べ 最大8個を収納できるスペースを確保した。常に4個の電池が乗っている段と常に空の段となり交換手順の間違いを防ぐことができる。また、電力線 及び 電池BMS (Battery Management System) データ線 のコネクタは、車載側と同じ形式の物を使用する。

2.1.3.1.3 充電ステーションサイネージ（操作）の検討

サイネージは、次の要件で開発した。

- タッチパネル式ディスプレイを使用する
- 基本操作画面と、メンテナンスができる画面モードを有すること
- 系統電力線と再生エネルギー（将来装備）の2系統が選べること
- 充電先は、車両搭載電池か電池収納箱内の電池化を選択できること
- 充電中の各系統の電圧電流充電量などが表示されること
- 充電中の各電池（車載4個、電池収納箱8個）の状態が表示されること

これらの機能を統合し、IoTを介した通信機能を持たせた充電ステーションを総合的に操作できるものとした。また、充電ステーション本体正面に サイズ10.9インチのタッチパネル式ディスプレイを装備した。

2.1.3.1.4 製作した充電ステーション及びサイネージ

前項までの検討結果に基づき、数種類の形状をデザインし検討した結果以下に示すような充電ステーション（図2.1.3.1.4-1、-2）及び サイネージ画面（図2.1.3.1.4-3）を作製した。

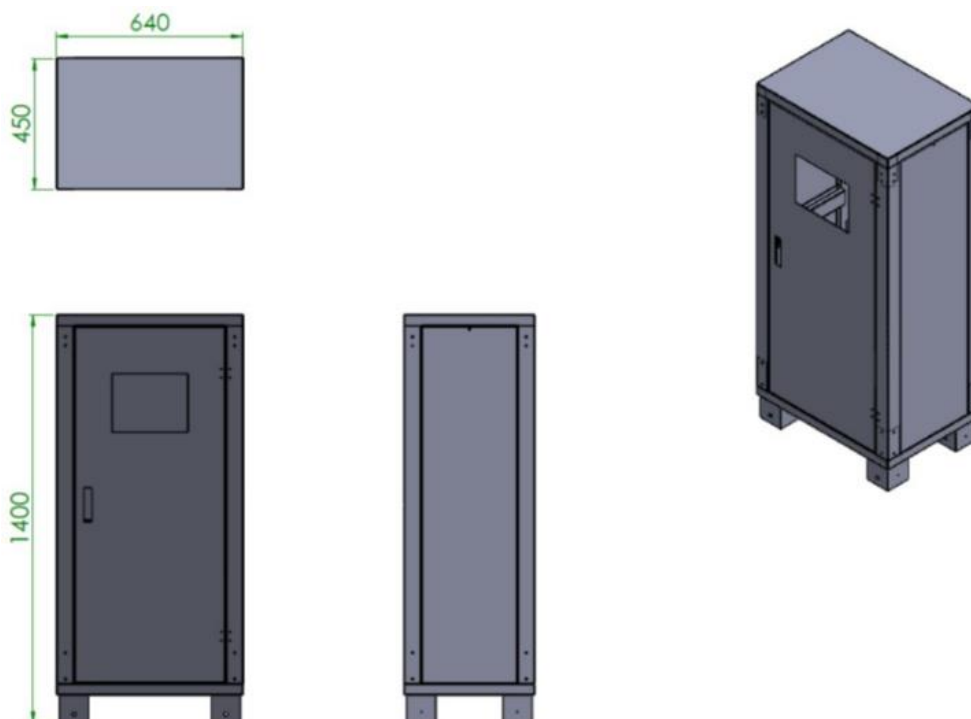


図 2.1.3.1.4-1 充電ステーション本体外観図

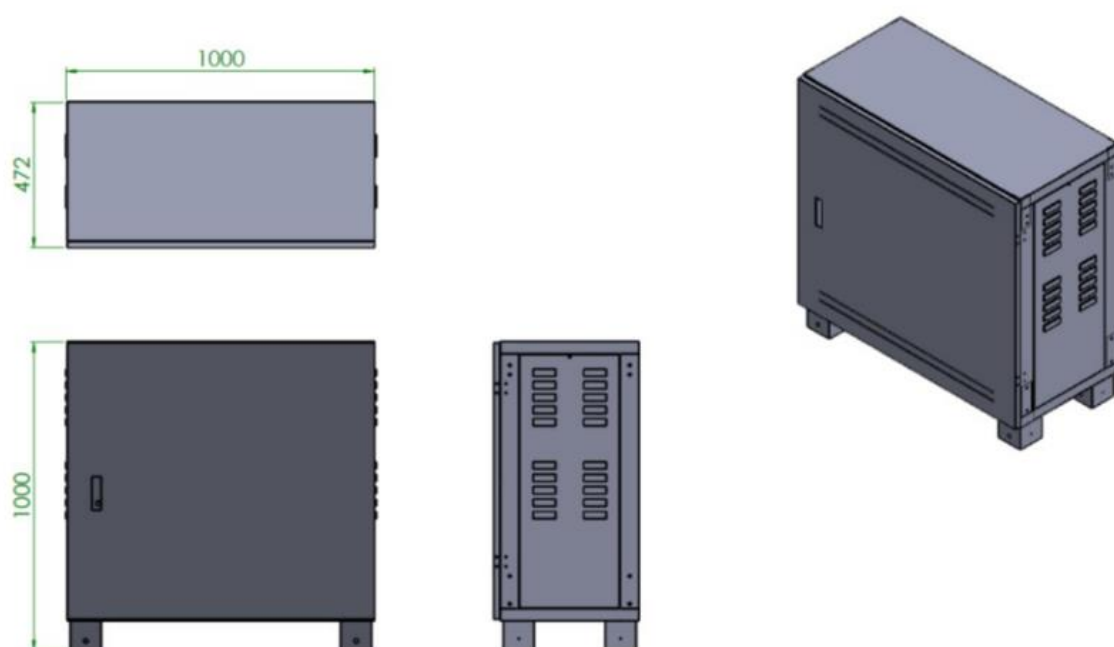
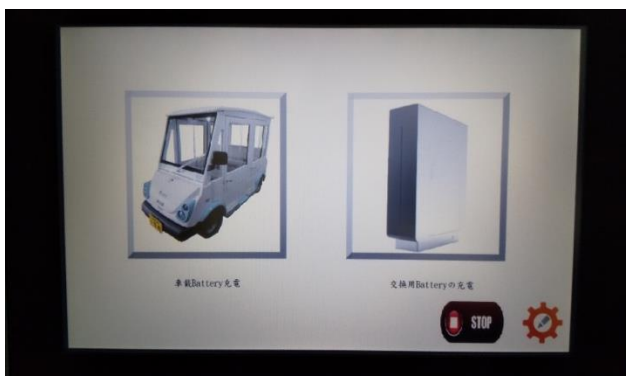


図 2.1.3.1.4-2 交換用電池収納箱外観図

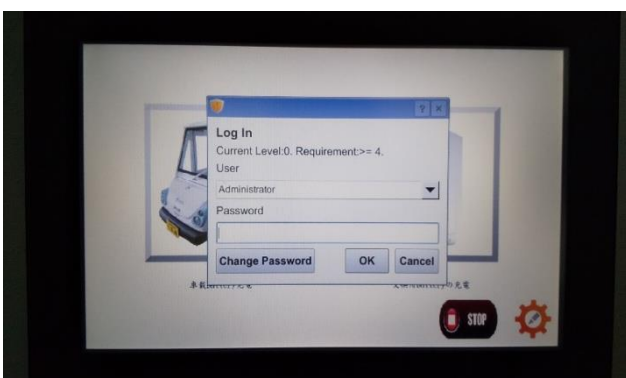
充電ステーションは、少なくとも雨が直接かからない屋根下に設置することを前提に機器は防滴仕様とした。



(1) 基本画面

この画面で充電先を選択する車載電池充電（左：車両タッチ） 交換用電池充電（右：電池収納箱タッチ）を選択する。

裏モード（メンテナンスモード）に行く場合は右下赤丸をタッチする。



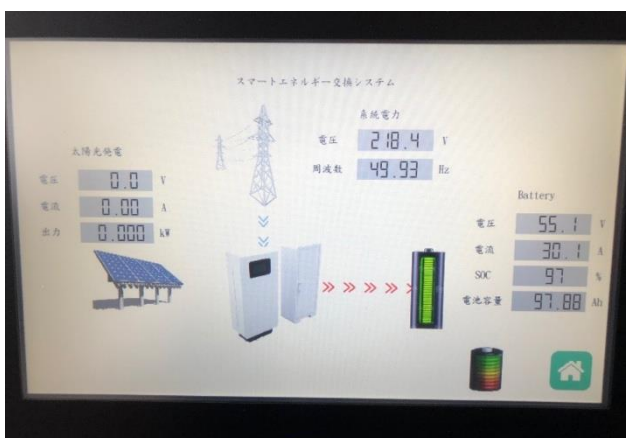
(2) メンテナンスモード

ここでログインすると、メンテナンスモードに入れる。



(3) 車載電池充電

車載電池充電用ケーブルを車両に接続し、ここで開始（START ボタン） 終了/中断（STOP ボタン）を選択する。



(4) 交換用電池充電

交換用電池充電を選択すると、この画面となり充電中の電池状態などの情報が表示される

図 2.1.3.1.4-3 サイネージ画面

2.1.3.2 交換式電池の開発

本業務に於いては全く新しい電池パッケージを試作するのではなく、既製品の中から条件に合う電池を選定し一部改善するという方法をとった。また、機械力に頼ることなく簡便に手作業で交換でき、充電ステーションでの作業時間はガソリンスタンドでの停車時間にほぼ同じと想定し、5分ないし10分で完了することを目標とした。

この前提で、交換式とするための開発を車体電池室の構造、電池の選定と扱い法、及び充電ステーションの交換用電池収納箱（2.1.3.1項にて既述）について検討した。

2.1.3.2.1 車両電池室の構造と電池の選定

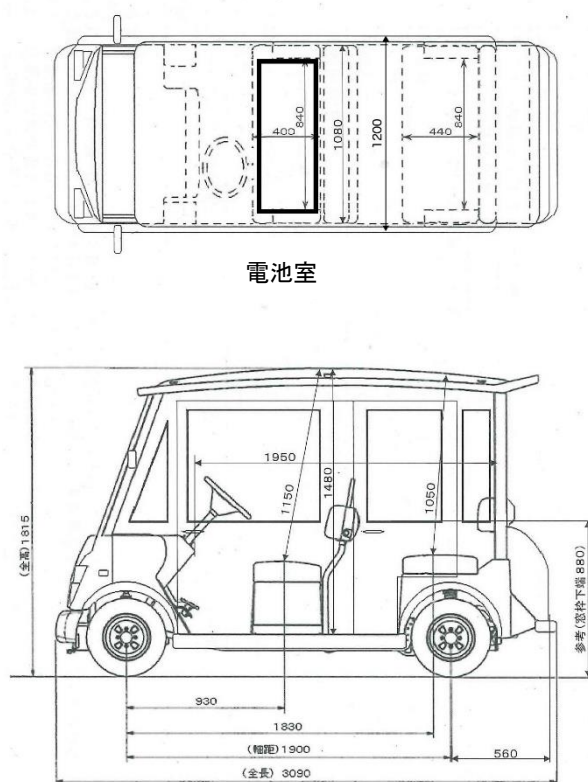


図 2.1.3.2.1-1 電池室

規則により車載電池は、車体最外側より 130 mm 以上内側になければならない。従って、本業務では、左図（図 2.1.3.2.1-1）太黒線枠に示す場所（840 mm x 400 mm）が電池室として使用可能な最大範囲である。この範囲内で、電池を納めかつ交換時電池を引出せる構造とするためには、電池収納ラック、スライド機構及びロック機構を納める余積を取る必要がある。よって、そのための余積を前後各 30 mm、左右各 50 mm 取ると 740 mm x 400 mm のスペースで電池を納めなければならない。

一方、車両基本性能上電池容量は 48VDC/100Ah が必要でありこれに該当する電池候補は、

- ① 12Vx4 直列を必要数並列
- ② 24Vx2 直列を必要数並列
- ③ 48V を必要数並列

のいずれかとなる。

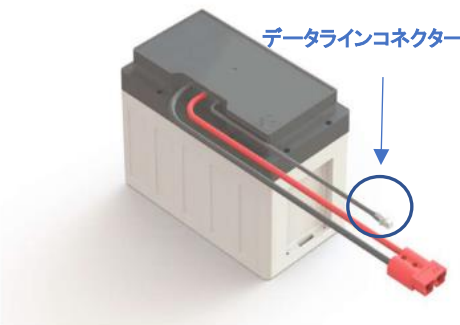
また、交換作業を手作業でやるとすると電池単体の重量は最大でも 15 kg、可能であればできるだけ 10Kg に近い電池であることが望ましい。

これらの諸要素を検討の結果、寸法、電池容量共に規定内に収まる BLUE TECHNO 社製 リン酸鉄タイプ リチウムイオン電池 48VDC/28Ah BLPL0351608PA 型電池を採用した。電池詳細は、表 2.1.3.2.1-1 のとおりである。ただし、本電池のデータラインコネクター

(表中の青丸) は、頻繁に取り外すことを想定したものではないため、交換時の利便性と確実な接続が可能なワンタッチタイプに変更した。(図 2. 1. 3. 1. 2-2 参照)

表 2. 1. 3. 2. 1-1 電池仕様

リチウムイオン電池-48V28Ah LiFePO4



電気特性	
定格電圧	48V
定格出力	28Ah
抵抗 (ACIR 1KHz)	< 40 mΩ
容量 (1C 流出 @ 25℃)	1300Wh
<small>サイクル寿命 >2000 サイクル 放電容量は定格容量の70%に達します 1C 流出 /0.5C 流出 @ 25℃</small>	

C-Rate	1C	
温度	Ah	%
-10℃	24	86%
-5℃	26	93%
0℃	27	97%
25℃	28	100%
45℃	28	100%

機械仕様	
モデル	BLPL0351608PA1-01
長さ	318 mm
幅	178 mm
高さ	220 mm
重量	15 kg
ターミナル	BMC2MS ^{#1}
通信インターフェース	RS-485 ^{#2}
ケースの材質	PC-ABS
IP 評価	IP65
<small>#1: 指定された顧客に従う事ができます。 #2: カスタマイズできます。</small>	

操作慣行	
標準充電パラメータ	CC-CV
標準充電電圧	57.6V
標準充電電流	14A
最大連続充電電流	28A
標準放電電流	28A
最大連続放電電流	56A
最大瞬間放電電流 (ピーク時 < 150ms)	200A
充電環境	-10℃ ~ 45℃
放電環境	-10℃ ~ 45℃
保管環境	-10℃ ~ 45℃



図 2. 1. 3. 2. 1-2 コネクター (左：改善前 右：改善後/ワンタッチコネクター)

2.1.3.2.2 電池扱い法の検討

車載電池を取り出すそして新しいものを装着する機構を考えるに際して、重要な要素は「電池取り扱いの簡便性」と「電池の強固な固定」の両立である。

そのために考慮した要素は「電池取り扱いの簡便性」に関しては、「車内で交換は行わない」を大原則として

- (1) 車外に電池を引出し、その状態で 両手で持ち上げることができる
- (2) その状態のままで、交換電池収納箱に設置できる
- (3) 交換用電池も同様に 収納箱から引出された状態で、両手で持ち上ることができる
- (4) そのままの状態で 車両に載せられる
- (5) 各ソケットは簡単に操作でき及び電線類が邪魔にならない

であり、

「電池の強固な固定」に関しては

- (1) シャーシへの固定は 電池を収納するラックとシャーシの結合で行う
- (2) 電池収納ラックと電池の固定は、道具を使わずに解除、またロックできる
- (3) 電池室保護する（車外からアクセスする鍵付きドアを設ける）

である。

検討の結果、

- ・ スライド式電池収納ラックを作製し、電池は手で固定解除できるボルト固定式とする
- ・ スライド式電池収納ラックは、プッシュボタン式のロック機構で固定・解除する
- ・ 電池重量を考慮し、スライドの強度を確保するため、左右から各 2 個の電池を操作する
- ・ 鍵付きドアを左右二か所に設ける

とした。電力線の結線/取り外しに関しては、高電流の流れることを考慮すると 採用した電池にも標準で使われている「アンダーソン」タイプを使用することとした。

その結果、電池に関しては 交換式のための改造はなく BMS データライン用コネクタ一の変更以外は 標準のまま使用することとした。

また、重量に関しては 電池重量 15 kg を限度としているが、手作業ではほぼ限界の重量である。コネクタ類に関しては、オリジナルの方式を開発すれば さらに簡便で かつ 信頼性のあるものを開発できると考えるが、本業務に於いては 規制品で かつ 実績と信頼性のある製品のみで検討した。

2.1.3.2.3 製作した車両電池室と充電ステーション交換電池収納箱

前項までに検討結果、製作した車両電池室と充電ステーション交換電池収納箱完成写真を以下に示す。（図 2.1.3.2.3-1）



電池トレーのロックを解除し
電池ラックを引き出した



固定ボルトを外し 電池を降ろした



電池の固定ボルト（手で操作可能）
電池トレー解除ロック（赤丸）



アンダーソンコネクター（赤）
BMS データラインコネクター（黒）



充電ステーション交換電池収納箱内部
上段電池 4 個・下段電池 4 個 がユニット



電池ラックを引き出した
（上段 4 個の電池を引出した）

図 2.1.3.2.3-1 車両/充電ステーション電池室

2.1.3.3 オペレーションシステムの開発

本業務では、令和元年度に開発した IoT 利用電池管理システムの成果を発展させ、『コースを周回中の車両が、オンデマンドで乗車したい客をピックアップできる
また、電池消耗時に安心して充電ステーションに行き、直接充電する又は充電済電池に交換することができる』ことを目標にシステムを開発した。

その開発要素は、次の四項目である。なお、車載電池のデータをクラウドに上げるシステムは、令和元年度に開発済みでありその成果を流用する。

- (1) 運営センターからドライバーに指示できること
- (2) 車両ドライバーが 情報を得られること
- (3) 充電ステーションの状態が運営センターで分かること
- (4) 上記を達成するため、クラウド上に種々システムを開発する

上記四項目の係わりは、下図 2.1.3.3-1 オペレーションシステム概略図の通りである。

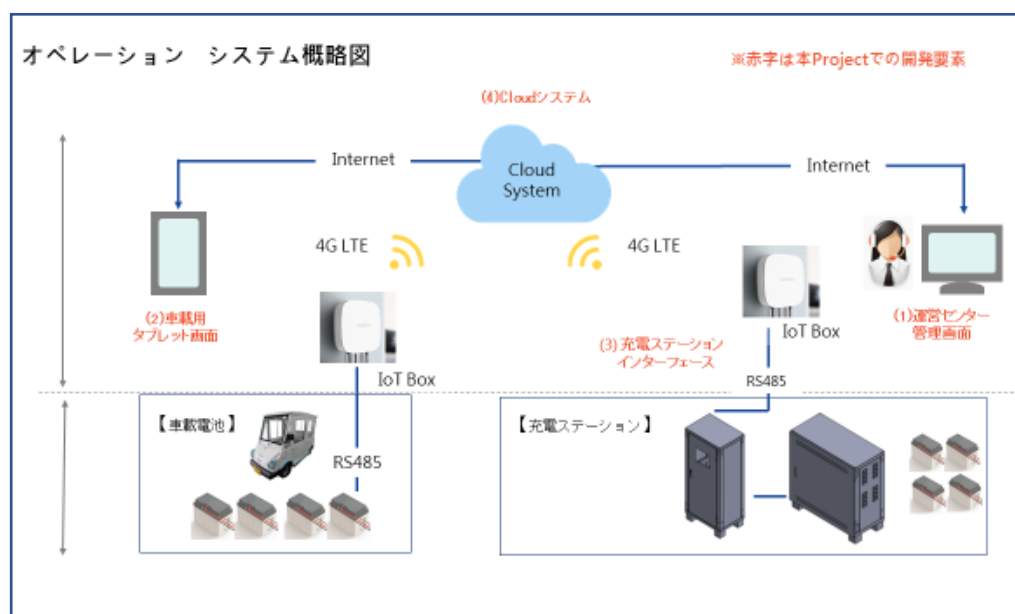


図 2.1.3.3-1 オペレーションシステム概略図

車両位置及び搭載電池情報と充電ステーションの各種情報は IoT BOX を利用してデータ回線を経由してデータをクラウド上に保存し、車載及び運営センターでの表示を含めた機能は、クラウドに保存されたデータを利用した別プログラムで運営し各末端は Wi-Fi を経由して通信する。

(1) 運営センターの管理画面

運営センターでは、各種情報の確認と、オンデマンドで予約した乗客の情報をドライバーに指示・確認できる

(1)-1 運営センター用管理画面-1



図 2. 1. 3. 3-2 運用センター用管理画面-1

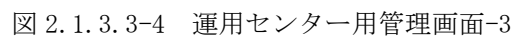
(1)-2 運営センター用管理画面-2



図 2. 1. 3. 3-3 運用センター用管理画面-2

③ 充電ステーション画面

- ・ 全充電ステーションを表示
- ・ 各ステーションのステータス、出力電圧/電流状態、および交換電池の残量、車載充電の電池残量と残り必要時間を表示



車載画面では、ドライバーが 予約客情報を受信し、確認する。また、乗客乗り降りさせたら乗客数を増減し、運営センターに乗客数情報を報告する。

① Log in 画面

② 車載用タブレット画面

ログイン

アカウント

A58F60

パスワード

ログイン

車両

電圧/電流

電圧/電流

予約確認

予約確認

予約確認

図 2.1.3.3-5 車載用タブレット画面-1

(2)-2 車載用タブレット画面-2

③ 予約乗客確認画面

予約のあった乗客の詳細情報を確認し、確認ボタンを押して、確認済であることを運営センターに通知

車両 No. A9BF60 最終更新時刻: 15:54

No.	乗客名	電話番号	予約希望	送迎順番	住所	予約確認
1	乗客 1	0999-123-456	15:10	1	岡山県xx市	<div>map</div> <div>予約確認</div> <div>未済</div> <div>確認</div>

車両 No. A9BF60 最終更新時刻: 15:54

No.	乗客名	電話番号	予約希望	送迎順番	住所	予約確認
1	乗客 1	0999-123-456	15:10	1	岡山県xx市	<div>map</div> <div>予約確認</div> <div>済</div>

図 2.1.3.3-6 車載用タブレット画面-2

(3) 充電ステーションのインターフェース

充電ステーションの情報は、下図（図 2.1.3.3-7）のように車載電池データの送信と同じ NEXT DRIVE 社製の IoT BOX 機能を使用してクラウドに上げる。

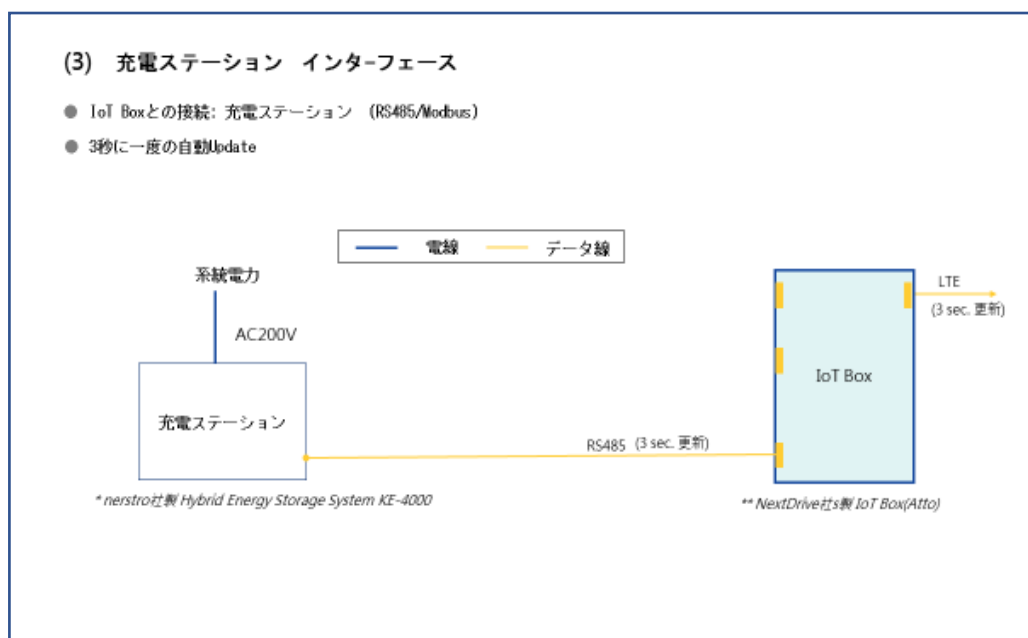


図 2.1.3.3-7 充電ステーション インターフェース

(4) クラウド内のシステム構築

クラウドでは、下図（図 2.1.3.3-8）に示すような構成でシステム構築した。

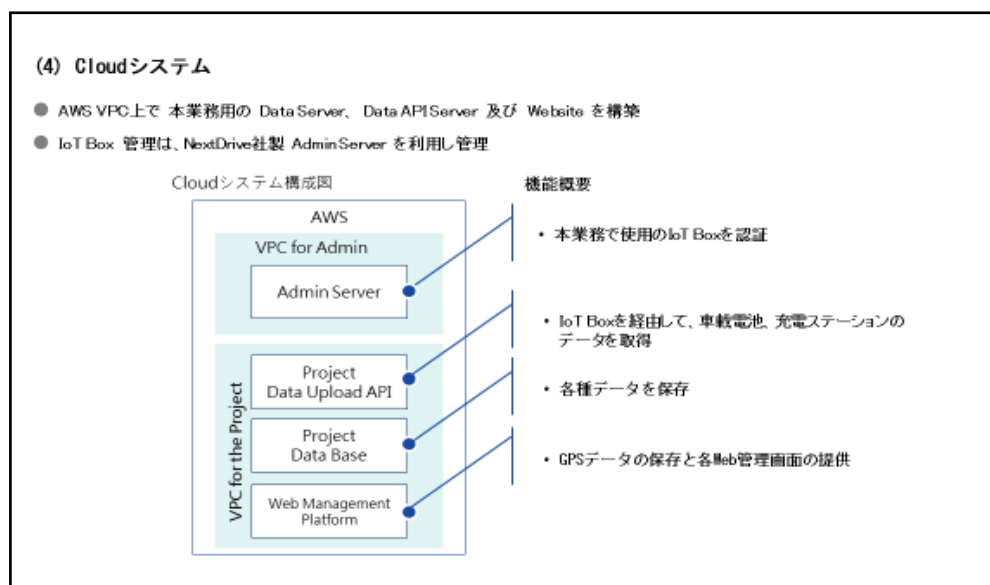


図 2.1.3.3-8 クラウドシステム

参考： 令和元年度に開発した車載インターフェースの構成を下図に示す

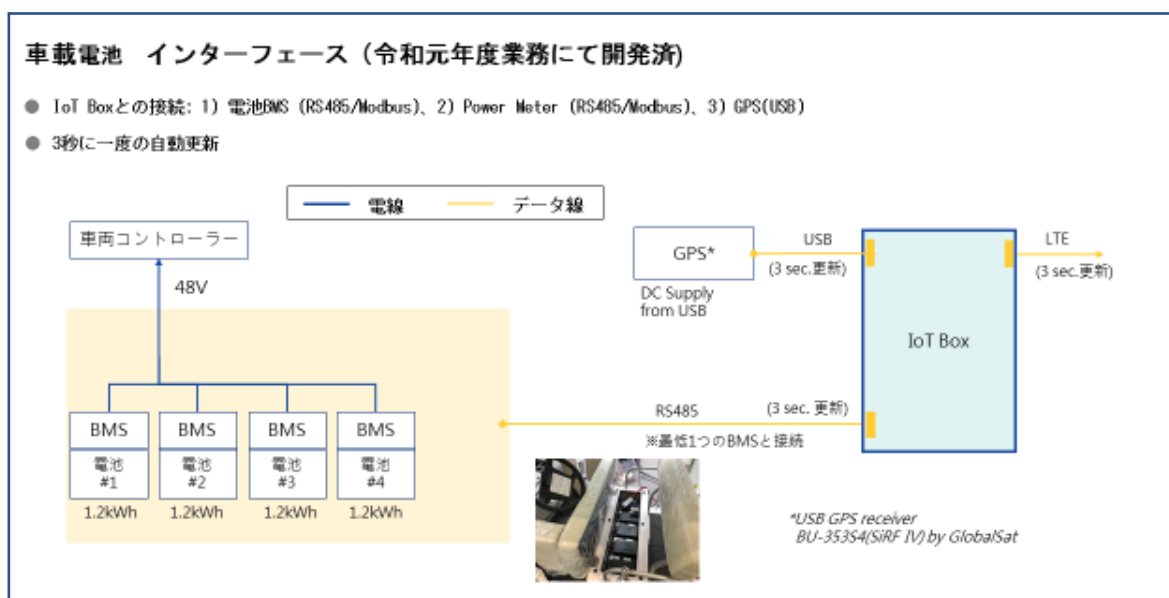


図 2.1.3.3-9 車載電池インターフェース

2.2 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティの長期間二地域での走行実証

2.2.1 走行実証の条件

2.1.1 で開発したグリーンスローモビリティについて、CNF 部材の性能の検証と、交換式バッテリー管理システム、充電ステーションの有用性を検証するために二地域での走行実証を行なった。

1) 走行地域

走行実証を行う地域については、気候・地形・交通状況的に対照的な条件の地域として、下記を選定した。

- ・ 中山間地域の代表：岡山県美作市上山地区周辺
- ・ 市街地の代表：神奈川県平塚市太洋産業貿易平塚工場周辺

2) 地域の概要

それぞれの地域の気候・地形・交通状況の概要と地図を下記に示す。

表 2.2.1-1 走行実証の地域概要

地域	気候	地形	交通状況
岡山県美作市 上山地区	10 月の平均気温は 15.8 度、12 月の平 均気温は 4.5 度。 (令和 2 年度、和気 市の記録)	標高差の大きい山間 地帯。	交通量は全般的に少 なく、主に住民もし くは工事車両が通行 する。
神奈川県平塚市太洋 産業貿易平塚工場付 近	11 月の平均気温は 13.7 度、1 月の平均 気温は 4.7 度。(令 和 2 年度、海老名市 の記録)	相模川の下流域の平 野部で高低差が少な い。	県道などの幹線道路 では交通量は多い が、住宅地内の道路 は交通量が少ない。



図 2.2.1-1 岡山県美作市上山地区周辺の地図

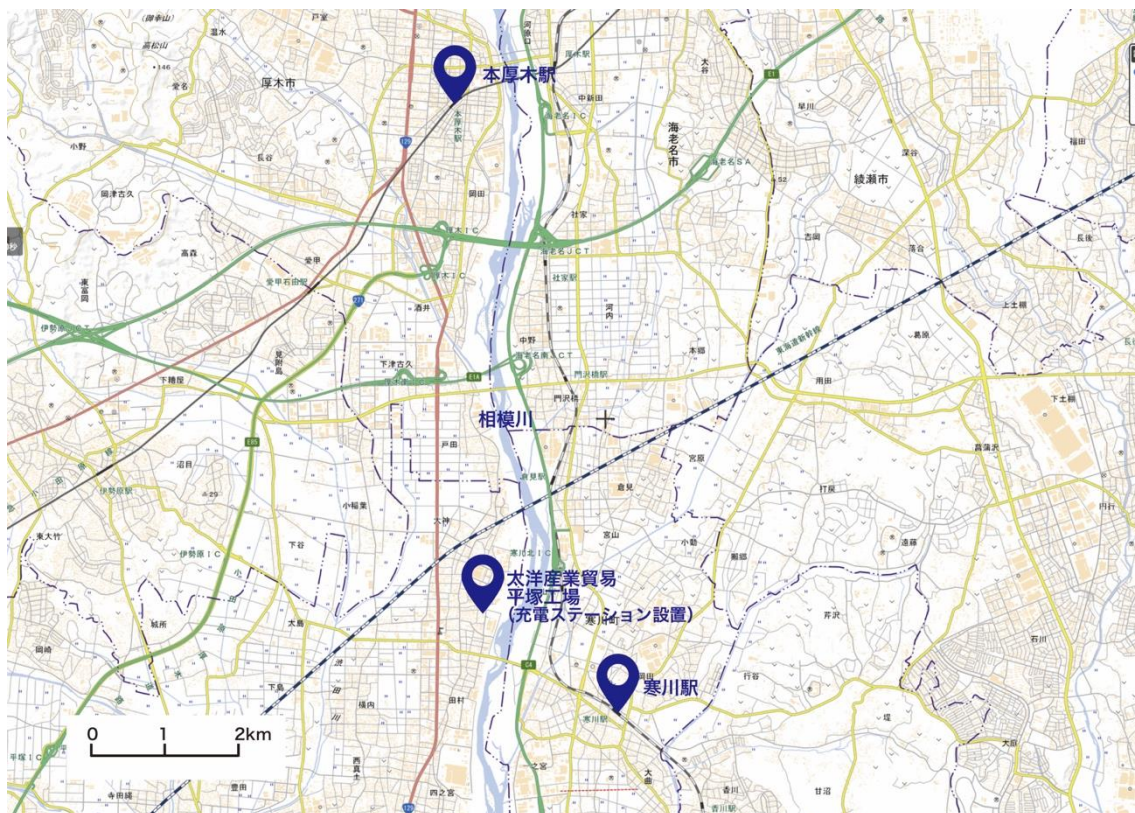


図 2.2.1-2 神奈川県平塚市太平洋産業貿易工場付近の地図

3) 走行実証のスケジュール

当初、実施期間については、気温が比較的高い時期（9月、10月）と気温が比較的低い時期（12月、1月）にそれぞれの地域で行う予定であったが、車検の取得に当初の予定から一ヶ月以上長く時間がかかり、10月初旬の取得となったことから、走行実証は10月初旬開始となった。また、神奈川県平塚市では、走行の前に車のメンテナンス、不具合の整備に時間を要したため、岡山県美作市に比べて走行の期間が短くなっている。

表 2.2.1-2 走行実証実施日程

	10月	11月	12月	1月
岡山	走行実証 10/9～11/10		走行実証 12/1～12/27	
神奈川		走行実証 11/16～ 11/30		走行実証 1/6～1/19

4) 走行実証の方法

いずれの地域においても、グリーンスローモビリティが地域交通システムとして使用されることを想定し、実利用に近い状況での走行実証を行った。交換式バッテリーについては、各地域の拠点となる場所に設置した。主な利用用途、利用範囲、について下記に示す。

岡山県美作市での走行実証

- ・利用用途：地域住民の買い物、会合等の送迎、子供の通学、来客の観光案内、夜間の獣害対策の見回り等
- ・利用範囲：交換式バッテリーの設置場所である大芦高原温泉雲海、上山棚田団サテライト事務所を（図 2.2.1-1 参照）拠点として、和気駅や、スーパーマーケット、小学校等

神奈川県平塚市での走行実証

- ・利用用途：工場の従業員による工場周辺の走行
- ・利用経路：交換式バッテリーの設置場所である大洋産業貿易平塚工場（図 2.2.1-2 参照）を拠点として、住宅街、寒川駅、相模川河川敷等

2.2.2 走行実証の様子

岡山県美作市上山地区での走行実証の様子



図 2.2.2-1 子供の通学送迎の様子



図 2.2.2-2 高齢者の会合への送迎の様子



図 2.2.2-3 幼稚園への通学送迎の様子



図 2.2.2-4 ナイトサファリの様子



図 2.2.2-5 来訪客の観光送迎の様子



図 2.2.2-6 高齢者への会合への送迎の様子

神奈川県平塚市での走行実証の様子



図 2. 2. 2-7 工場付近での走行の様子



図 2. 2. 2-8 IoT システムの実証の様子



図 2. 2. 2-9 充電ステーションを使用する様子



図 2. 2. 2-10 環境省の視察の様子



図 2. 2. 2-11 相模川河原での走行の様子



図 2. 2. 2-12 寒川駅周辺での走行の様子

2.2.3 ドアパネルの性能検証

「2.1.1.2 ドアパネルの製作」にて作製したドアパネルについて公道走行テストにおける性能劣化について外観調査での検証を行った。公道実走後（12月1日）の CNF 添加 FRP を利用したドアパネルの状況を図 2.2.3-1 に示す。写真に示されるように、CNF 添加 FRP 材料について外観異常として、ドアパネルの FRP 接合面での割れが見られた。また、ドアパネルのそりについては、鋼製ドアには見られていないが、ガラス繊維 FRP と CNF 添加 FRP には若干のそりが見られており、ガラス繊維 FRP と比較しても、CNF 添加 FRP の方が、そりが大きい状況が伺えた。



図 2.2.3-1 公道走行後の割れ、反りの発生

公道実走後のドアパネルについて、車両から取り外し、「そり」の程度、接合部の状況、積層面の層間剥離の有無について確認を行った。

測定方法は図 2.2.3-2 に示すように、直線加工しているアルミ板を用い、ドアパネルと「そり」の状況について測定した。測定結果を図 2.2.3-3 に示す。ドアパネルの水平方向については、製作時の表面平滑度程度の凹凸はみられるものの、ほぼ直線であった。一方垂直方向については、ヒンジ側にて、1.95mm、 ドアハンドル側にて 1.20mm の「そり」が発生した。測定結果は車両実装時よりも数値が小さい結果となっている。

この点については、本測定は水平面にドアパネルを置いた状況で測定しており、実際は垂直方向での取付けとなる点等の違いによるものと考えられる。



図 2.2.3-2 ドアパネルの「そり」測定状況

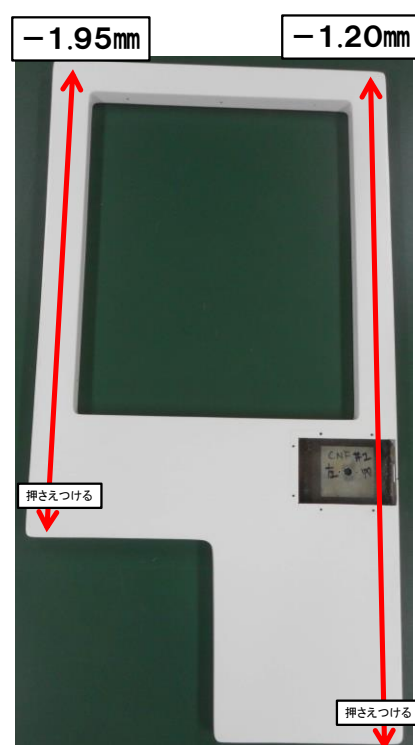


図 2.2.3-3 ドアパネルの「そり」測定結果



図 2.2.3-4 ドアヒンジの取付箇所状況

ドアヒンジの取付箇所（図 2.2.3-4）を観察しても特に大きな破損は見られておらず、車両実装の状態との差異は、「素材の剛性（曲げ弾性率）＝荷重に対するたわみ特性」不足に起因したものと考えられる。

また、この「そり」については、程度の大小はあるもののガラス繊維 FRP でも見られており、FRP の樹脂材料の「クリープ特性」と「素材の剛性（曲げ弾性率）」に起因し、ドアを閉めた際のドアパッキンの反力や、自重を支える力（曲げ弾性率）の不足によるものと考ええる。

次にドアパネルの接合部の状況について、断面観察を行った結果を図 2.2.3-5、図 2.2.3-6 に示す。



図 2.2.3-5 異常のなかったドアパネル接合部



図 2.2.3-6 割れの見られたドアパネル接合部

図 2.2.3-6 に示すとおり、割れ部分ではパテと FRP 断面との界面剥離が発生していた。これは接合部のパテとの接着強度不足に起因し、公道実走時の振動等により接着面が剥離したものと考ええる。ガラス繊維 FRP には見られていない現象であり、ガラス繊維とセルローズ系繊維に対するパテの接着力の差に起因したものと考えられる。

対策として、物理的な接合方法とするか、接合部も FRP にてオーバーレイする等の製造方法、設計方法の変更が必要と考える。また、コーナー部において、セルローズ系不織布が追従していない様子が伺え、コーナー部の成型には課題があると考ええる。

接合部以外のその他の部位についても、切断を行い、積層断面の観察を実施した。測定箇所と拡大観察した結果を図 2. 2. 3-7 に示す。観察の結果からは、一部 FRP 成型時に残った気泡がみられるものの、公道実走によるセルローズ系不織布と樹脂の層間剥離等は見られなかった。

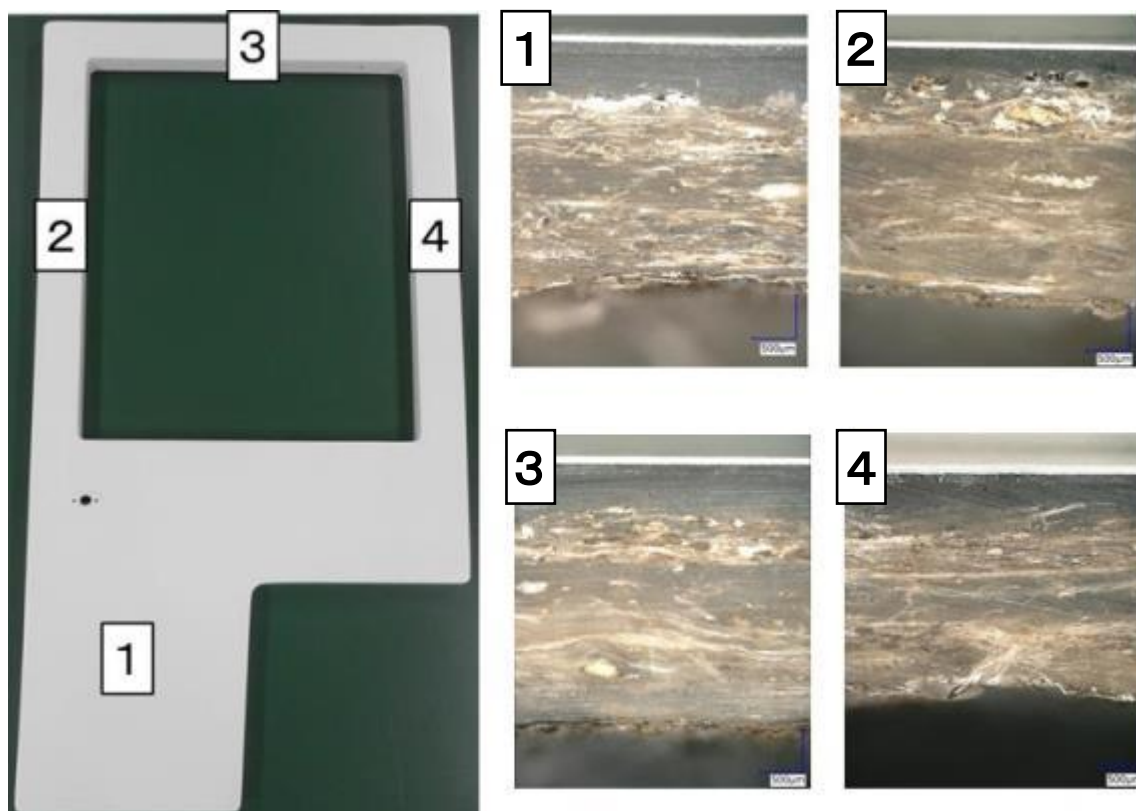


図 2. 2. 3-7 接合部以外の積層断面状況（測定箇所とその断面）

今回は、短期間の公道実走の為、長期にわたり積層剥離がないか、疲労試験機を用いて疲労強度（繰り返し応力に対する破壊強度）の測定を実施した。疲労試験詳細を以下に示す。

・材料及び試験片

本実験では、CNF 添加系セルローズ不織布強化不飽和ポリエステル樹脂の材料を用い、試験片寸法は、幅 10 mm×長さ 80 mm×厚み 2 mm の試験片サンプルを用いた。

・装置及び実験方法

曲げ疲労試験を、両振り（応力比 $R = -1$ ）の実験を行うために、各サンプルの凹み側（表側）と凸側（裏側）の両方の曲げ試験を3回ずつ行った。

曲げ疲労試験には、疲労耐久試験機（FRDS-20、有限会社旭製作所）を用いた。試験能力は ± 100 N、最大振幅は ± 7.5 mmである。また、曲げ疲労試験の治具は図 2.2.3-8 に示す治具を試作した。静的曲げ試験と同様に、圧子半径は $r=5$ mm、支持点の半径は $r=2$ mm、支点間距離は $l=32$ mmとし、サンプルは上下から挟みこまれるように設計した。尚、両端支持部は回転支持となっているため、モーメントは発生しない様に工夫した。そのため、静的3点曲げ試験と同様の試験の実施が可能であると仮定して疲労試験を行った。疲労試験の条件として、室温下にて、荷重制御による両振りの3点曲げ疲労試験（応力比 $R = -1$ ）とし、周波数 10 Hz、最大繰り返し回数は 10^6 回とした。同じ設定荷重に対して、3回試験を行い、各試験片寸法から、曲げ応力を算出し、曲げ応力（S）と疲労破壊した繰り返し数（N）の関係を表す S-N 曲線を得た。

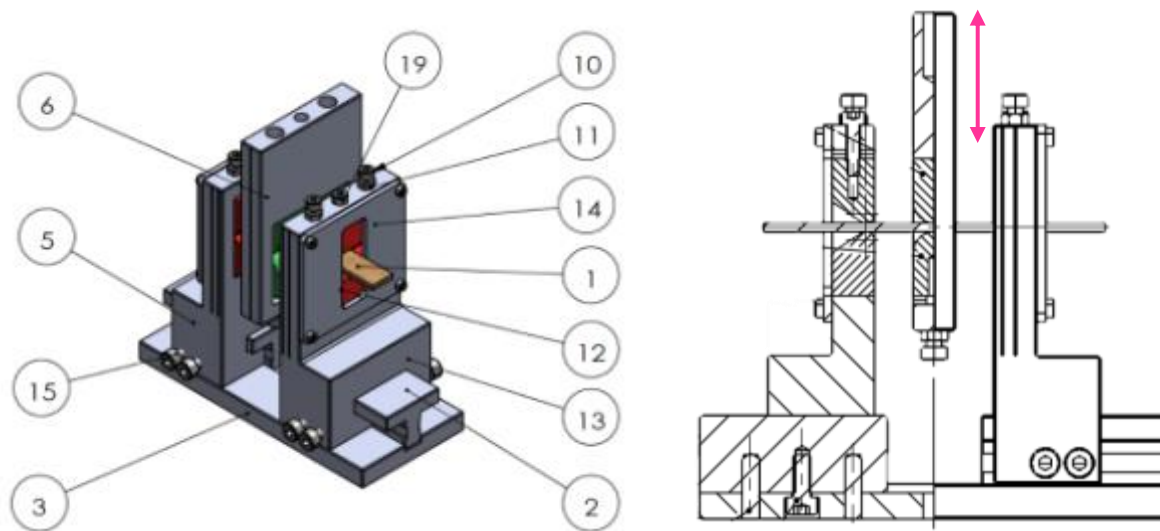


図 2.2.3-8 曲げ疲労試験の治具

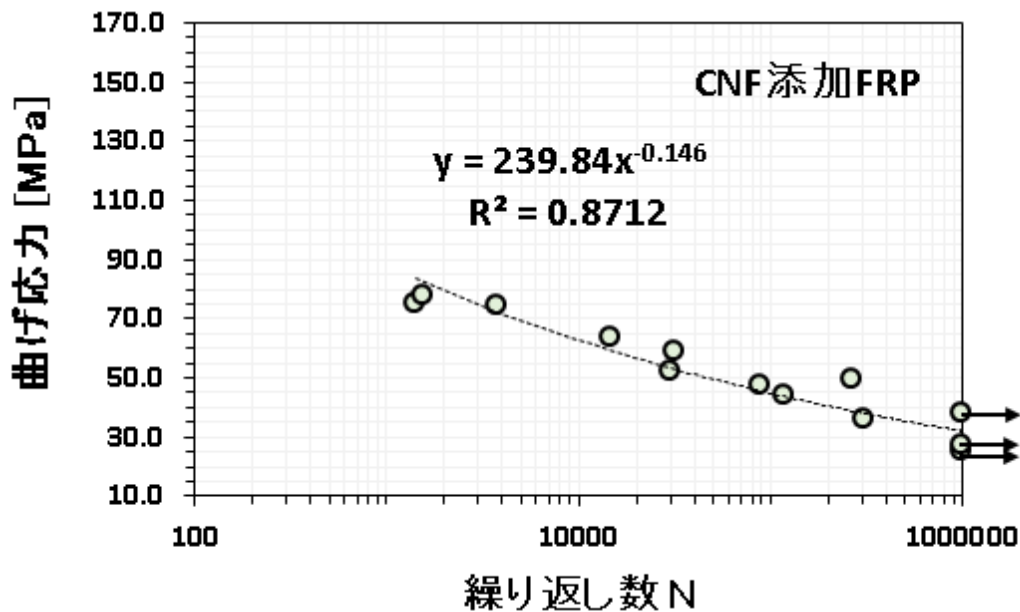


図 2.2.3-9 曲げ疲労 S-N 曲線

得られた S-N 曲線を図 2.2.3-9 に示す。縦軸は疲労試験時の最大曲げ応力（正）を示し、横軸は破断したときの繰り返し回数を対数軸で示した。10⁶回で破断しなかったサンプルに対しては、「→」にてプロット上に示した。

CNF 添加系の試験片の S-N 曲線は応力の低下に伴い、S-N 曲線の傾きが徐々に緩やかになる傾向を示し、曲げ応力が約 38MPa において最大繰り返し数では破壊しない結果となった。

疲労による破壊現象は、低い応力でも亀裂が進展し、破壊に至る現象である。このことから曲げ応力が約 38MPa 以内となる構造設計を行うことで、長期間での使用においても材料破壊には至らないと考えられる結果が得られた。

・まとめ

「そり」は材料クリープによるものと考えられる。素材の剛性（弾性率）が不足しており、枠となるフレーム等の補強を加えるか、リブ構造等による剛性アップが必要と考える。

今回使用した CNF 添加 FRP は比強度としては、優れた材料であるが、単位体積当たりの強度は、鋼板及び、ガラス繊維 FRP に劣ることから、部材設計において上述のような設計面での配慮が必要と考える。

また、現状の組成ではコーナー部における追従性に課題があると思われること、積層間剥離は見られていないことから、面材としての利用には問題ないものとする。

2.2.4 窓の性能検証

CNF 導入ハードコート PC の性能について、実施した評価内容とその結果を下記に示す。評価試験は、JIS R3211「自動車用安全ガラス」に規定される「有機ガラス」に適用される品質項目（表 2.2.4）および、JIS R3212「自動車用安全ガラス試験方法」を参考にした。適用される項目のうち、本年度は、昨年度実施した試験を除き、CNF を導入したプライマーの品質が影響する可能性が高い項目を選択した。また、耐久性評価としてヒートサイクル試験を追加した。

表 2.2.4 自動車用安全ガラスの品質評価項目（有機ガラスに適用される項目のうち、

表 2.2.4 品質項目（●：本年度実施した項目、✓：昨年度実施した項目）

品質項目 \ ガラスの種類	有機ガラス	合わせガラス	部分強化ガラス	強化ガラス	ガラス-プラスチック
厚さ	○	○	○	○	○
破片の状態	--	--	○	○	--
耐衝撃性	●	○	--	○	○
耐貫通性	--	○	--	--	○
ヘッドフォーム（人頭模型）衝撃	--	○	○	--	○
耐摩耗性	✓	○	--	--	○
耐熱性	--	○	--	--	○
耐光性	--	○	--	--	○
耐湿性	●	○	--	--	○
可視光線透過率	✓	○	○	○	○
透視ひずみ	✓	○	○	○	○
二重像	○	○	○	○	○
色の識別	○	○	○	○	○
耐薬品性	○	--	--	--	○
耐燃焼性	●	--	--	--	○
耐候性	●	--	--	--	--
寸法安定性	●	--	--	--	--
温度依存性	--	--	--	--	○

2.2.4.1 耐衝撃性

PC 窓の耐衝撃性評価は落球試験にて実施した。厚さ 3 mm、300×300 mm サイズの試験体を専用治具に固定し、2 m の高さから質量 226 g、直径 38 mm の鋼球を自然落下させ、試験体の破損状態を確認した（図 2.2.4.1）。落球は試験体 1 枚に対し 1 回とし、各 3 枚実施した。試験の結果、CNF 導入、非導入ハードコート PC とともに、鋼球の落下点において試験体の裏面に図 2.2.4.1（右写真）に示すような直径 2～3 mm の放射状のひび割れが見られた。表面には損傷はほとんどなく、鋼球の衝撃時に凸に歪んだ裏面のハードコートに亀裂

が生じたと考える。有機ガラスの合格基準は、試験体の分裂または鋼球が通るサイズの穴や裏面まで達する欠損がないことであり、本試験体はこの基準を満たす結果であった。

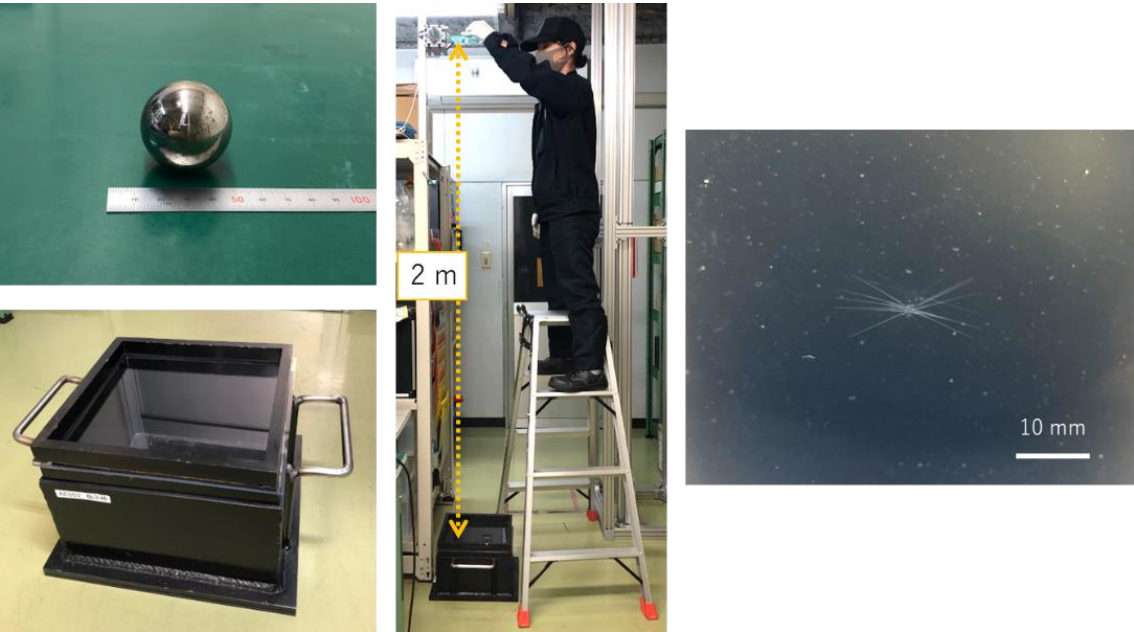


図 2.2.4.1 落球試験の様子（左：鋼球と試験用治具、中央：落球試験の様子、右：鋼球落下点の試験体裏面のひび割れ）

2.2.4.2 耐湿性

次に、耐湿性の評価について示す。試験は JIS R3212 の条件に従い、厚さ 3 mm、300×300 mm の試験体を、温度 50℃、湿度 95%に設定した恒温恒湿器（LHU-114、エスベック）に 14 日間静置して行った。評価はヘイズメーター（SH-7000、日本電色工業）にて、試験前後の光透過率とヘイズ（曇り度）を測定した他、目視にて試験体の外観変化を確認した。測定の結果を表 2.2.4.2 に示す。CNF 導入、非導入に関わらず、試験後の試験体の光学特性は試験前から目立った変化もなく、高湿度環境に対する不具合は見られなかった。またハードコートの変色およびつやの減退、ひび割れ等の変化も見られず、ハードコート PC の耐湿性が良好であることを確認した。

表 2.2.4.2 耐湿性試験前後の試験体の光学特性

	通常ハードコート PC		CNF 導入ハードコート PC	
	全光線透過率	ヘイズ	全光線透過率	ヘイズ
試験前	91.7%	0.1%	91.2%	0.8%
試験後	91.7%	0.1%	91.2%	0.4%

2.2.4.3 耐燃焼性

次に、耐燃焼性の評価について示す。試験は JIS R3212 の条件に従い、厚さ 3 mm、70×150 mm の試験体を各 3 枚供した。図 2.2.4.3-1 に示すように、試験体端部の角に高さを調整したガスバーナーの炎を接触させて 30 秒間保持し、炎を取り除いた後、試験体の燃焼速度を測定した。試験の様子を図 2.2.4.3-2 に示す。燃焼速度は、炎が第一標線に達してから第二標線に達するまでの時間を測定するが、初めの点火で第二標線に達する前に消火した場合は、再度 30 秒点火させる。PC 自体は自己消火性の燃えにくい素材であるのに対し、ハードコートや CNF は比較的燃えやすく、試験体としては燃焼性が高くなっている可能性が懸念されたが、試験の結果、いずれの試験体も 1 回目および 2 回目の点火でも第二標線に達する前に自然消火した（図 2.2.4.3-3）。そのため、燃焼速度は測定不能であり、CNF 導入ハードコート PC においても高い耐燃焼性を示した。

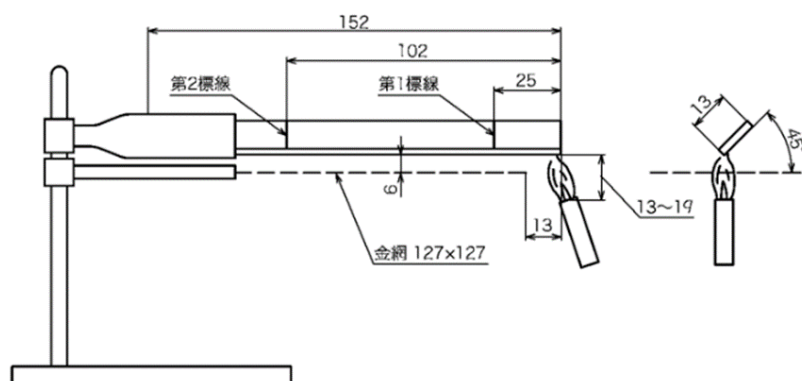


図 2.2.4.3-1 燃焼性試験の条件（単位：mm）

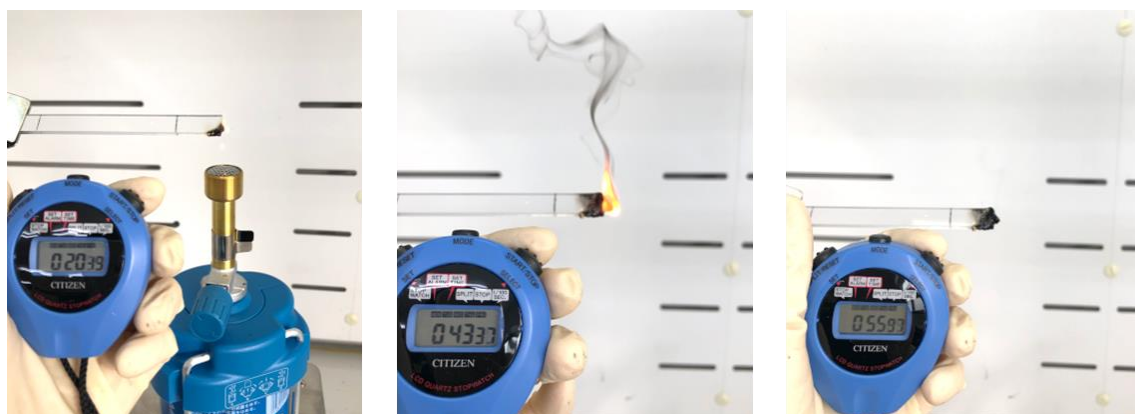


図 2.2.4.3-2 燃焼性試験 1 回目点火時の様子（左：点火時、中央：燃焼時、右：消火時）

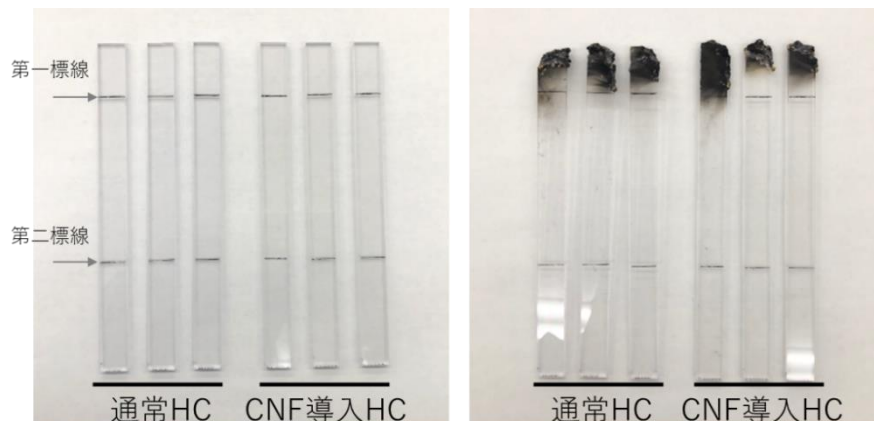


図 2.2.4.3-3 耐燃焼性評価用の試験体（左：試験前、右：試験後）

2.2.4.4 耐候性

次に、耐候性評価について示す。昨年度、CNF 添加濃度別の性能評価を超促進耐候性試験機（メタルハライドランプ）にて実施したが、本年度は太陽光線に近いキセノンランプ式耐候性試験機（スーパーキセノンウェザーメーターSX75、スガ試験機）を用いて評価した。試験体は厚さ 3 mm、70×75 mm とした。プログラムは、温度 68℃、湿度 50% 雰囲気下にて、波長 300～400 nm 域の放射照度を 60 W/m² とし、照射のみの 102 分および照射と水噴射の 18 分の計 120 分を 1 サイクルとして、これを 1418 サイクル行い、太陽光 2 年分の露光量に相当する約 612 MJ/m² を暴露した。試験体は経過観察のため随時取り出して、ヘイズメーター（NDH4000、日本電色工業）にてヘイズおよび光透過率と、色差計（SA4000、日本電色工業）にて初期の黄色度からの変化量を示す黄変度を測定した他、セロハンテープの引き剥がしによるハードコートの実着性評価や、目視による外観の観察を行った。試験結果を図 2.2.4.4 に示す。ヘイズと光透過率は、CNF 導入、非導入に関わらず初期値からの大きな変化は見られず、また黄変度においては変化率が 0.5% 以内と、紫外線劣化の影響が非常に少ないことを示した。また、ハードコートの密着性やクラック等の外観不良および、CNF 導入による性能低下や不具合は見られず、耐候性は良好であることを確認した。

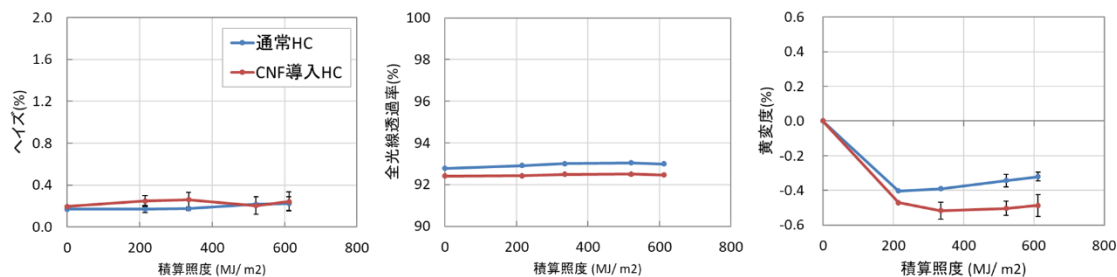


図 2.2.4.4 耐候性試験における各種性能変化

2.2.4.5 寸法安定性

次に寸法安定性評価について示す。試験は JIS R3212 の条件に従い、厚さ 3 mm、152×152 mm の試験体用い、温度 72℃、湿度 73%で 24 時間保持した後、23℃、73%で 2 時間保持し、試験前からの試験体の反り量を測定した。反り量は、スキマゲージを用いて定盤と試験体との間隔を測定した。表 2.2.4.5 に示すように、試験前後の通常ハードコート PC と CNF 導入ハードコート PC の反り量はそれぞれ 0.02 mm と 0.03 mm のごくわずかな変化であり、JIS で規定される 1.3 mm 以下の合格基準を十分に下回り、高温高湿度の雰囲気下でも形状が安定していることを確認した。

表 2.2.4.5 寸法安定性試験の結果

	試験前反り量	試験後反り量	変化量
通常ハードコート PC	0.10 mm	0.12 mm	0.02 mm
CNF 導入ハードコート PC	0.05 mm	0.08 mm	0.03 mm

2.2.4.6 耐ヒートサイクル性

次に、耐ヒートサイクル性について示す。本試験は、本年度、寒冷地の走行試験と並行し、繰り返す環境温度の変化に対するハードコートの耐久性を評価することを目的とした。試験は、厚さ 3 mm、100×100 mm サイズの試験体を用い、恒温恒湿器（ARS-1100-J、エスベック）にて図 2.2.4.6-1 に示すプログラムを 1 セットとして、5 セット実施した。評価は、1 セット終了毎に試験体の光透過率およびヘイズ、黄変度を測定した。結果を図 2.2.4.6-2 に示すとおり、ヘイズ、光透過率は試験期間を通してほぼ一定であり、顕著な劣化等は見られなかった。また黄変度については、試験後半で試験体の黄色みが増す傾向があり、これは高温に晒されたことによる熱焼けと推測しているが、変化率はわずかに 0.1%程度であり、目視で確認できる程度の劣化は見られなかった。したがって、CNF 導入の影響による欠陥もなく、試験体のヒートサイクルにおける耐熱性は良好であることを確認した。

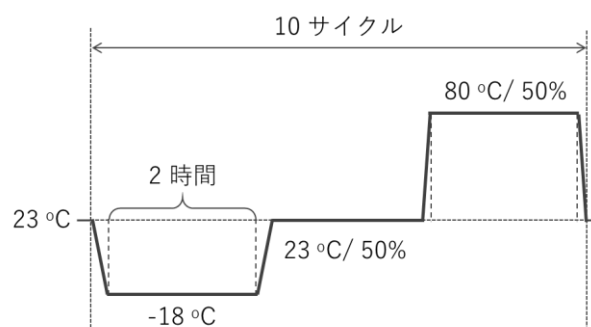


図 2.2.4.6-1 ヒートサイクル試験条件

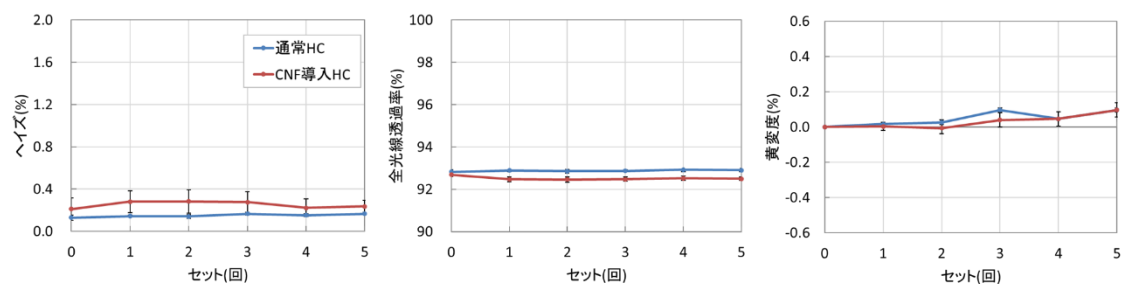


図 2.2.4.6-2 ヒートサイクル試験における各種性能変化

2.2.4.7 走行試験窓の性能評価

以上のラボ評価と合わせて、実証試験車両に乗せた PC 窓の性能評価の結果を示す。

2.1.1.3 項で作製した実証試験前の CNF 導入ハードコート PC 窓は、試作レベルの塗工環境のため一部トップコートでヘイズ 1.5%程度の白濁が見られるも、車載品の光透過率およびヘイズは 92.4%と 0.7%であった。これに対し、2 地域で実証試験が終了した後のそれらは 92.3%と 0.6%で大きな変化も無く、またドア窓及び車両側面窓全体としても開閉による傷や曇りは認められなかった。またリアウィンドウにおいては、実証試験中でのワイパー作動に加え、下記の 3 段階でワイパー試験（図 2.2.4.7）を実施したが、いずれの段階でも傷は観察されず、車両用ガラス窓として耐傷付き性が強く、視認性が高く保たれることを確認した。

- (1) 乾いた状態でワイパー使用 30 分間
- (2) 水道水を噴霧しながらワイパー使用 30 分間
- (3) 水道水に研磨剤 #1600 を混ぜたものを噴霧しながらワイパー使用 30 分間



ドライで稼働中



水道水で稼働中



噴霧器



研磨剤



研磨剤入りで稼働中



研磨剤入りで 30 分後

図 2. 2. 4. 7 ワイパー試験の様子

2.2.5 熱可塑性樹脂コンソールの性能検証

「2.1.2.1 熱可塑性樹脂コンソールの製作」にて作製したコンソールボックスについて公道走行テストにおける性能劣化について外観調査での検証を行った。

車載については図 2.2.5-1 コンソールボックス設置状況 に示すとおり、従来のコンソールボックスと並べて設置した。



図 2.2.5-1 コンソールボックス設置状況



図 2.2.5-2 静荷重試験装置 テンシロン RTG1250

目視確認した結果、破損や亀裂の発生など外観上の大きな変化を伺うことはできなかった。外観上の差異は確認できなかったことから、追加の検証として、公道実走に使用した

もの（使用後）と、使用しなかったもの（使用前）で物性比較を実施した。材質劣化の程度評価として使用前と使用後（公道実走後）のコンソールボックスより、強度測定用に試験片を切り出して、静荷重試験装置 テンシロン RTG1250（図 2.2.5-2）を用いて曲げ強度試験、引張強度試験を実施した、それぞれの結果を図 2.2.5-3、図 2.2.5-4 に示す。

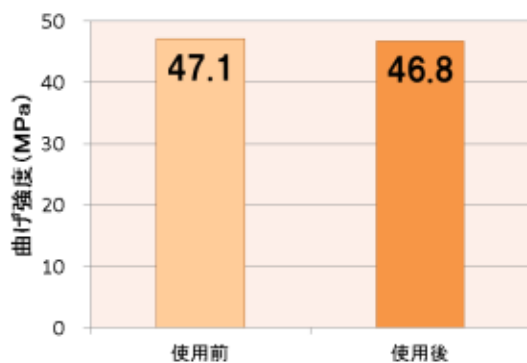


図 2.2.5-3 曲げ強度の比較

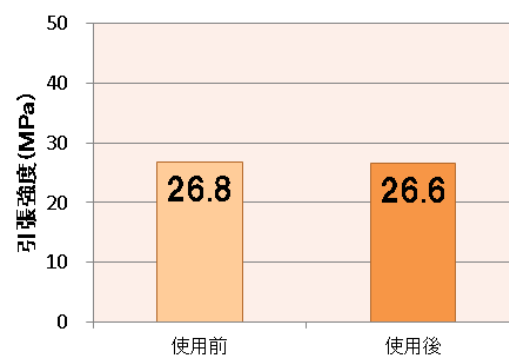


図 2.2.5-4 引張強度の比較

それぞれの結果が示す通り、曲げ試験結果、引張試験結果において使用の前後で大きく物性値には差が見られていない結果となった。

今回の公道走行試験では、内装材としての利用であること並びに、表面塗装をしていることから、紫外線や雨の影響は少なく、主に車内の室温環境からくる影響のみであり、P P 及び CNF 含有木粉が主成分である本材料において耐久性の問題は少ないと考えられる。しかしながら、今回の実証は短期間ということもある為、今後、更なる長期間での車両実装確認は必要であると考ええる。

2.2.6 ドア付きグリーンスローモビリティの快適性・安全性評価

グリーンスローモビリティ（以下、GSM と略す）として、初めてドアと温風暖房装置及びシートヒーターを搭載した車両（以下、ドア付き GSM と略す）であり本業務において幅広い層の人々にドライバーまたは乗客として利用してもらった。（表 2.2.6-2 ドライバー・乗客年代別表参照）実証試験地域であった岡山県上山地区の人々は、過去に超小型モビリティヨタ「コムス」を使用した実証試験、ガソリン車を使った送迎サービスなどを経験しており、ドライバーも乗客もそれらの車両との比較をもとにコメントしてもらった。

使用形態は、地域住民の送迎、児童生徒の送迎、来客の観光案内、買い物、夜間の獣害対策見回り等、地域の生活のあらゆるシーンで試験走行してもらった。

一方、平塚地区での実証試験では開発関係者を主体とした試験であり、かつ都市の往来の激しい中での走行であり上山とは全く違う環境でのデータが得られた。

両実証試験地区の違いについては、2.2.8 項にて後述する。

ここでは、集めた感想意見をまとめ、次の三ケースでの対比を基に評価を進める。

- （１）雨除けのみの一般的な GSM やコムス と ドア付き GSM の対比
- （２）ガソリン車等の一般車両 と ドア付き GSM の対比
- （３）中山間地域・地方小都市 と 大都市郊外地域 での要件の対比

- （１）一般的 GSM とドア付き GSM の対比

表 2.2.6-1 ドア付きとドア無しの対比

項 目	ドア付き GSM	一般的 GSM
安心感	ドアがあり安心	布ベルト、鎖のみで不安
解放感	窓が大きく十分開けている	雨除けがなければ開放的だが、雨除けを下すと閉塞感ある
雨風	隙間風は少しあるが 快適	雨除けビニールだけでは 雨風入ってくる
寒さ	温風とシートヒーターで 快適 特にシートヒーターは良い	冬は寒くて乗りたくない
開閉	ドア開閉は楽	ビニールシートの開閉は面倒
美 観	可愛い、遊園地の乗り物のように 運転してみたくなる 乗りたい	まるでゴルフカート 雨除けビニールが美しくない
振動、音	ドアの振動、がたがた音がする 注意喚起の音がうるさい(法規上必要)	注意喚起の音は同左

注） ドアのあることで、室内が暖かく暑い位であったとのコメントもあり

本業務において収集したドア付き GSM に関する意見と、令和元年度業務に於いて調査した際のドア無し GSM に関する意見をまとめると上記（表 2.2.6-1）のようになる。

ドアに関する意見以外を除くと、ドアがあることによる安心感と快適感について高い評価を受けている。また、本業務に於いてはドアだけでなく、暖房装置も搭載したことが 冬季における高評価を得ている。

従って、たとえ短距離の乗車を想定する GSM であっても 着座して移動するに際し この安心感と快適感は 必須の要素であり、ドアと暖房装置については必要な装置であると考ええる。ただし、本業務に於いては、重量軽減とあくまでも簡易のドアとすることで設計したが、乗客意見にもあったように ドアの振動対策を含め より満足感を得られる構造・機構について今後、継続開発必要と考える。

（２） ガソリン車等の一般車両とドア付き GSM の対比

一般車の場合、特に老人送迎時乗り降り補助が必ず必要であり、かつ時間もかかる上に非常に気を使う。その点で、利用者からの意見として、ドア付き GSM は後席の座席位置が高く、ちょうどお尻の位置にある。また、前席背面の手摺を持てるので、お年寄りでもお尻を支点に「くるっと」自分で回って乗り降りできるとの意見があった。このため、運転手は、送迎時乗り降りの時間が大いに短縮できただけでなく安全であるという意見があった。なお、走行性能、室内快適性などはそもそも比較にならないので省略する。

（３） 中山間地域・地方小都市と大都市郊外地域での要件の対比

運転手からは、最高速度 20Km 未満の低速であることから、優速で接近する後続車に関する意見が多い。典型的な様子を以下の図に示す。



図 2.2.6-1 路肩によける



図 2.2.6-2 少ない交通量

中山間地域・地方小都市では、後続車がある場合路肩によける（図 2.2.6-1、-2 参照）ことで、あるいは 対向車が少ないので簡単に抜いてもらえため、後続車は気にはなるが、大きく迷惑をかける事はない。また、低速であるがゆえに、幼児乗車時に安心感があるとの意見もあった。



図 2.2.6-3 狭い生活路



図 2.2.6-4 駅進入路

都市近郊では、狭い生活路において幅の狭い GSM の特徴が生かされ、対向車と簡単にかかわせる。一方で、繁華街のみならず一般道は交通量が多いため、すぐに後続車が詰まってしまふ。そのため、GSM は頻繁に退避したうえで後続車を追い越させる必要があった。これは、ドライバーにとってかなり気を使う運転であり常に後方に注意が必要であった。

つまり、GSM が一般車より幅の狭い乗り物である利点は生活路に於いては 都市でも中山間地域でも大いに発揮できると言える。

一方で、一般道路の走行に於いて、自転車並み、または自転車より遅い低速車（時速 20Km 未満）であることによる発生する後続車の停滞問題は、中山間部のような交通量の少ない地域では、上述したように 路肩へ寄るなどの対処で対応できると考えるが、本業務で実証走行した平塚地域のような都市部においては 現状ではかなり難しい問題であり、

- 一般道の流れに沿った運転のできる最高速度への法規上の速度要件変更
- 運行地域の制限・選択

と言った二方面（構造・法規と運用法）から、解決の方向を検討する必要があると考える。

従って、現状の走行性能のままを前提とすると

- 都市近郊、中山間部を問わず 生活路に於いては GSM の利点を生かして活用できる
- 中山間地域であれば 一般道走行もほぼ問題なく運用可能
- 都市近郊では、一般道走行は退避できる余裕のある道路などに限って運用できると考える。

ラストワンマイルと言われる都市近郊の住宅街であれば、この要件に十分合致すると考えられるので、今後その様な地域での継続した実証走行が必要と考える。

参考資料：本業務で乗車した ドライバー・乗客の年代別表

表 2.2.6-2 ドライバー・乗客年代別表（カッコ内は女性の人数）

	幼児	小学生	中学生	10代	20代	30代	
ドライバー				0	2(1)	11(1)	
乗客	6	3	3	5(3)	6(1)	21(7)	
	40代	50代	60代	70代	80代	90代	合計
ドライバー	6(2)	2(0)	6(4)				27(8)
乗客	6(4)	4(1)	4(2)	5(4)	7(7)	3(0)	73(29)

2.2.7 交換式バッテリーシステムの性能検証

計画通り作製した車両電池室・電池トレイ、充電ステーション、交換用電池、電池収納箱そして電池を以て電池交換を実証した。

上山で実施した最初の試験（開発者以外での最初）において、電池室ドアを開けた後電池トレイの引き出しに手間取った。原因は電源ケーブルの長さともめ方が適正でなく場合によって引っかかることが原因と判明した。

また、収納時には電池トレイロックが入りにくいことが分かり、平塚工場にて精査したところ IoT 関連機器データ線及び電力線が、場合によって干渉することが判明した。



図 2.2.7-1 鍵で電池室ドアを開ける



図 2.2.7-2 ケーブルが引っ掛かる（改善前）

充電ステーションの交換電池収納箱に関しては、箱とトレイに関しては特に問題なかったが、鍵解除プログラムと充電シーケンスに関するソフトウェアのバグが発見された。いずれも、平塚工場へ帰った後改善した。

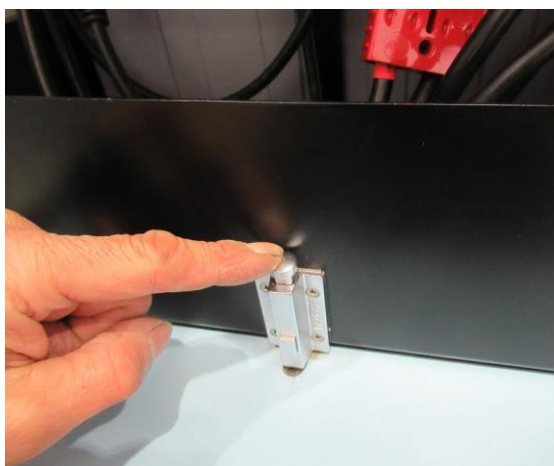


図 2.2.7-3 電池トレイロック (改善後)



図 2.2.7-4 ケーブル類まとめ方 (改善後)

改善後に行った数回の電池交換試験結果では交換に要する時間は6分前後であった。これは、ほぼ計画した期待値とおりであり、本業務における目標は達成している。

また、運営管理画面で表示される交換電池の状態情報、あるいは、充電中電池の充電完了時間予測情報は、運営管理者にとって非常に有効であった。



図 2.2.7-5 交換用電池の状態



図 2.2.7-6 満充電までの残り時間予測

また、充電ステーションにおいては、交換用電池の充電状態が確認できるため、ドライバーにとって安心感があった。

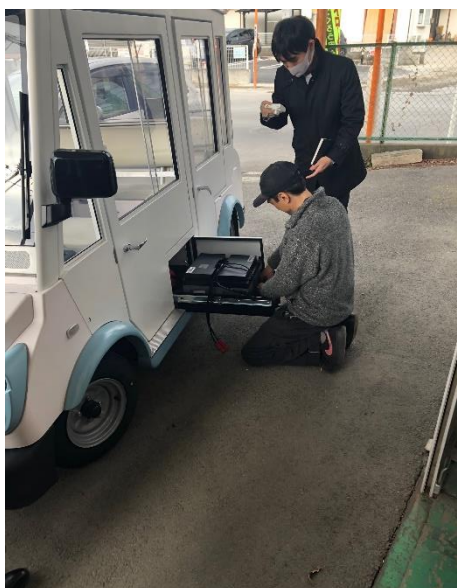


図 2.2.7-7 改善後の電池交換試験



図 2.2.7-8 サイネージに電池状態が表示される

本業務において、交換式電池開発には、電池及びその充電器だけではなく、電池（車両、交換用の両方とも）状態をモニター・指示できる管理システムを同時に持つことが非常に有益であることが実証された

2.2.8 走行時の記録

実証期間を通して、雨天走行は一度しかなく秋から冬であったので酷暑もなかった。

実証走行期間中に実施した、近距離送迎等の通常使用の他上山（11 月、12 月）、平塚（11 月、2 月）共に各 2 回の長距離走行を実施した。特に、両地区の特徴が出るコースであり、グリーンスローモビリティの可能性について検討するモデルとなるコースであったので、この走行試験について詳述する。

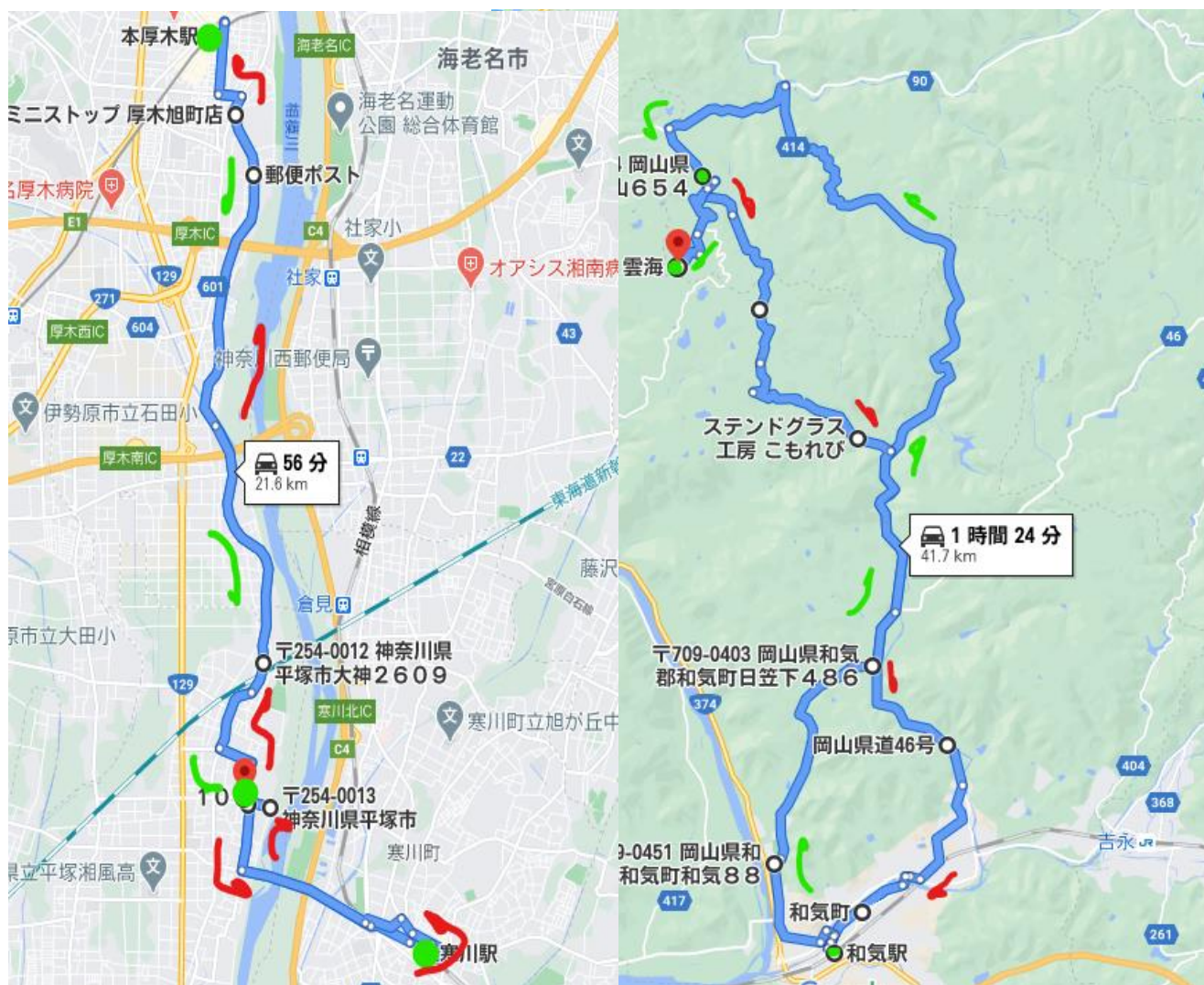


図 2.2.8-1 耐久試験走行路（左：平塚、右：上山）

各コースの特徴

上山コース： 上山棚田団サテライト事務所→和気駅→414 号線経由で棚田団雲海事務所
標高差 480m（和気駅：海拔 20m、雲海事務所：海拔 500m）が大きい
往路、ほぼ下りの山道と地方道で交通量は少ない
復路、ほぼ上りの地方道で交通量は少ない、上山地区内は急こう配がある



図 2.2.8-2 上山コース（山道と地方道）

平塚コース： 平塚事務所→寒川駅→相模川河原→本厚木駅→平塚事務所
 標高差 9m（平塚事務所：海拔 10m、本厚木駅：海拔 19m）ほぼ平坦コース
 往路、復路とも交通量の多い通りでトラック、バスも頻繁に通る
 住宅と商店や工場などが混在する郊外の都市である



図 2.2.8-3 平塚コース（寒川駅前と県道）

両実証走行コースには大きな違いがあるが IoT を介してクラウドに保存した走行データを

解析するとその結果は、次の表のようにまとめられる。

表 2.2.8-1 長距離走行試験のまとめ

場所	実施日	電池残量		電圧		走行距離	気温	暖房
		開始時	終了時	開始時	終了時			
上山	11 月 10 日	99%	27%	54.7V	49.5V	41.8 k m	12.9- 13.6℃	無し
	12 月 27 日	98%	15%	54.6V	48.6V	42.5 k m	2.9- 5.0℃	使用
平塚	11 月 26 日	88%	65%	54.5V	51.5V	22.1 k m	17.2- 18.5℃	無し
	2 月 2 日	98%	72%	54.6V	50.4V	22.1 k m	7.5- 10.2℃	シートヒーターのみ

なお、11 月 10 日は規定コース走行終了後引き続き電池残量を使い切るまで山道走行を実施し、最大走行距離数 55Km を確認した。

表 2.2.8-2 クラウド保存データの一部

	A	C	D	E	G	N	O	P	Q	R	S
1	統合	A9BF60									
2	Date	車両ID	充電中	充電完了	フローテ	Time	GPS	SOC	BMS 電流値 (x4) (A)	電流計 電流値 (A)	電流計 電圧値 (V)
1914	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:35	\$GPGGA,024	94	40.0	21.1	52.4
1915	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:38	\$GPGGA,024	94	18.0	18.9	52.4
1916	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:42	\$GPGGA,024	0	0.0	20.2	52.4
1917	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:45	\$GPGGA,024	94	24.4	24.8	52.3
1918	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:48	\$GPGGA,024	94	24.8	23.9	52.3
1919	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:51	\$GPGGA,024	94	22.8	19.5	52.4
1920	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:54	\$GPGGA,024	93	20.4	3.5	52.7
1921	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:44:57	\$GPGGA,024	93	16.4	23.8	52.3
1922	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:00	\$GPGGA,024	93	20.8	31.3	52.2
1923	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:04	\$GPGGA,024	93	21.2	20.0	52.4
1924	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:07	\$GPGGA,024	93	19.6	19.7	52.4
1925	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:10	\$GPGGA,024	93	20.0	19.8	52.4
1926	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:13	\$GPGGA,024	93	22.4	23.5	52.3
1927	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:16	\$GPGGA,024	93	24.4	4.2	52.7
1928	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:19	\$GPGGA,024	93	43.2	31.9	52.2
1929	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:22	\$GPGGA,024	93	34.0	39.5	52
1930	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:26	\$GPGGA,024	93	42.4	40.3	51.9
1931	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:29	\$GPGGA,024	93	34.4	33.6	52
1932	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:32	\$GPGGA,024	93	27.6	21.4	52.3
1933	2020-11-10	A9BF60	0	0	0	10:45:35	\$GPGGA,024	93	14.0	12.5	52.5

この結果から

- (1) 本業務で開発した車両の一充電当たり走行距離は標高差のある中山間地域で約

55Km、都市近郊の平坦地で約 90Km であり、机上計算とほぼ同等であった。

- (2) 電池残量を比較すると低温環境、暖房使用時は電池消費が 12%程度増えている。これは、暖房単体での机上の電力消費量が全体の 8%であることから電池性能に低温環境が影響を与えているのが原因と考えられる。

2.2.9 IoT を使用したオペレーションシステムの検証

一部、2.2.7 項でも述べたが、本業務におけるオペレーションシステムは、特に運営者の管理業務においてその有効性が確認された。すなわち

- 車両位置の常時、地図上でモニターが可能
- 走行中車両の電池残量が分かるので、的確に運行指示できる
- 乗客数の確認ができるので、新たな乗車希望者受入れ判断が容易
- 乗車希望者の情報を車両側に伝達できる
- 充電ステーションの状態が把握できる
- 交換電池の状態や充電時間予測が分かる
- 電圧/電流データから走行状態がおおよそ分かる

例えば、下図(図 2.2.9-1)の表示では 2 台の車両が走行中で、マイナスの電流値であるのでブレーキを踏んでいるのかあるいは緩い下り坂を走行していることが分かる。

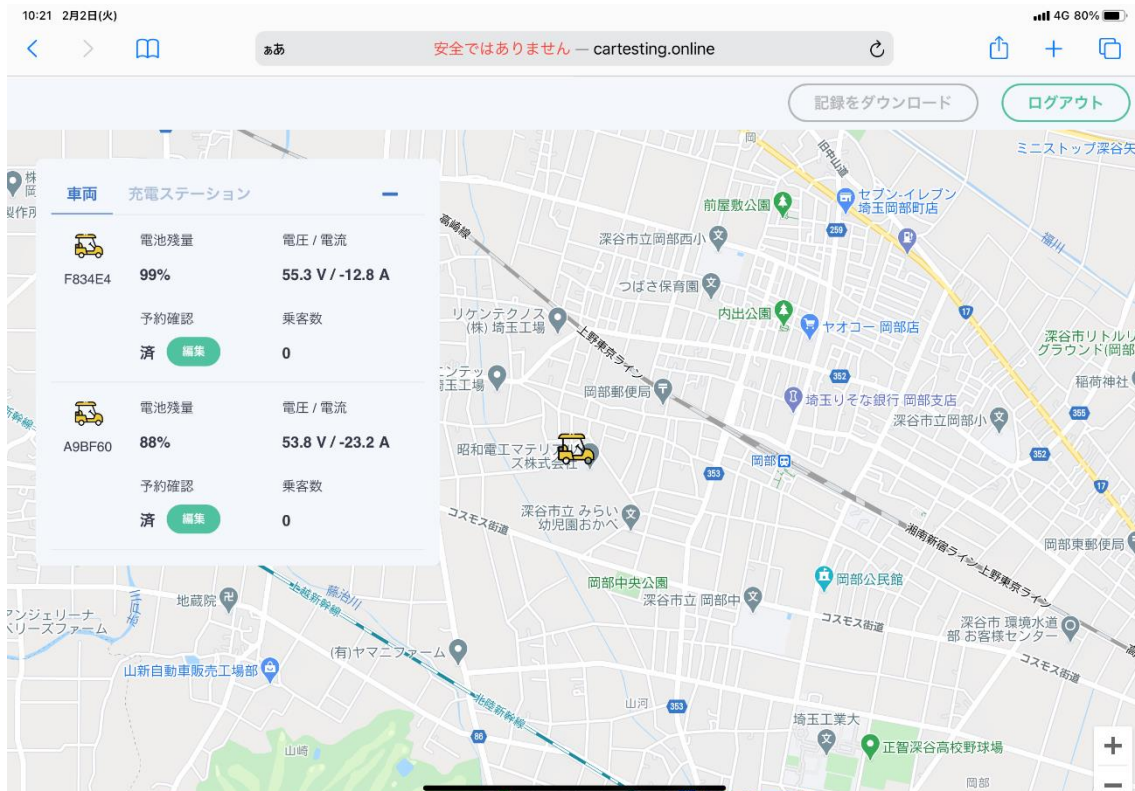


図 2.2.9-1 管理画面

車載のシステムにおいては、

- 乗客情報を管理者と双方向通信で確認しあうこと
- 車載電池の状態をモニターできること
- 地図によりある程度ナビの役割を果たすこと

を目標にシステムを開発した。

表示内容と機能(図 2.2.9-2 参照)については十分有効と判断されるが、ドライバーによるオペレーションの有効性を確かめることは難しかった。

その主たる原因は、

- 選定したタブレット画面がやや小さい(5 インチを採用)
- コンソールに置いたタブレット画面が日光の反射がきつく見難い
- コンソール上のタブレット設置位置が座席からやや遠い

である。

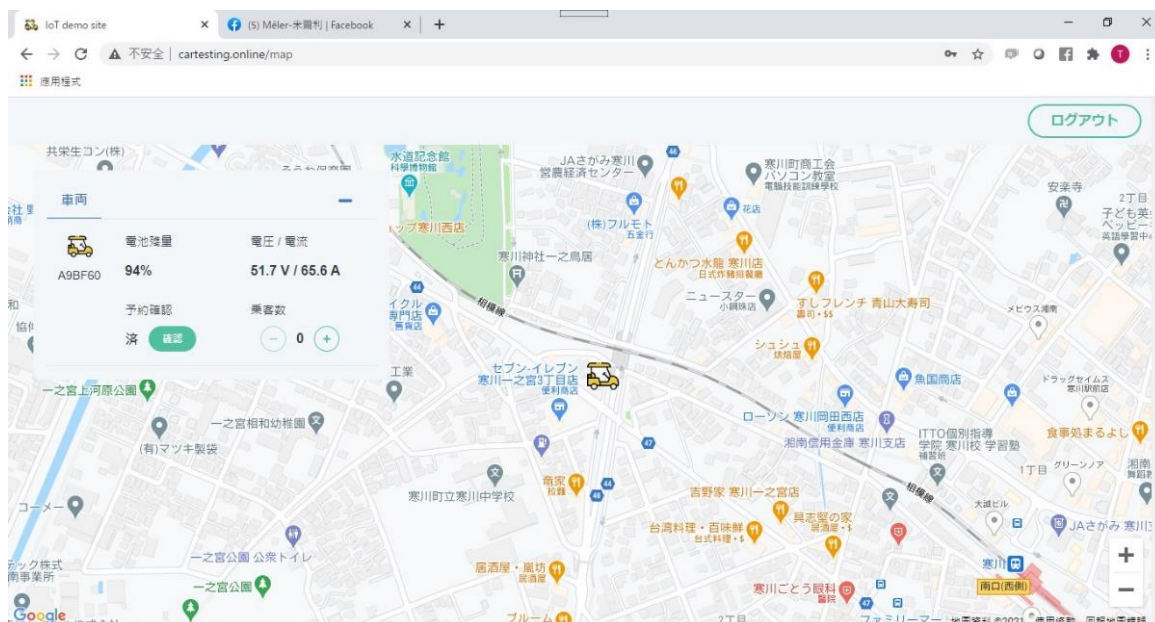


図 2.2.9-2 車載画面の一例(機能は充分であった)



図 2.2.9-3 コンソール付近

左図(図 2.2.9-3)からも分かるように、タブレット画面が光っている。また、ゴルフカーのコンソールは運転者からかなり離れていることも分かる。

今後、この点を改善するには、カートコンソールのデザイン変更を始め、種々検討していく必要がある。

今後の継続開発が必要である。

2. 3 CNF 部材等を活用したグリーンスローモビリティのテストコースでの走行実証

2. 3. 1 走行実証のコースレイアウト及び走行条件

二地域での走行実証の後に、CNF 導入 FRP のドアパネルで歪みが生じたことから、鋼フレーム+CNF 導入 FRP のドアパネル（2. 1. 1. 2 参照）を作製した。このドアパネルに関して、悪路における走行実証での破損につながる耐久性を検証するため、エナジーシステムサービスジャパン（株）が保有するゴルフカートのテストコースにて、①登り勾配 20 度 A→B 間よりスタートし、②下り勾配-15 度 B→C 間、③登り勾配 10 度 D→E 間、④下り勾配-5 度 E→F 間、⑤下り勾配-6 度 G→H 間、⑥左 4mR 横勾配-10 度 H→I 間、⑦右 4mR 横勾配-10 度 H→I 間、⑧左 3.5mR 横勾配-6 度 H→I 間、⑨右 3.5mR 横勾配-5 度 H→I 間、⑩下り勾配-5 度 I→J 間。⑪登り勾配 5 度 K→L 間、⑫下り勾配-5 度 L→M 間、⑬登り勾配 10 度 M→N 間、⑭下り勾配-10 度 N→O 間、⑮登り勾配 10 度 P→Q 間を含む 1 周 300m コースを合計 120 時間の走行を目指して走行実証を行った。

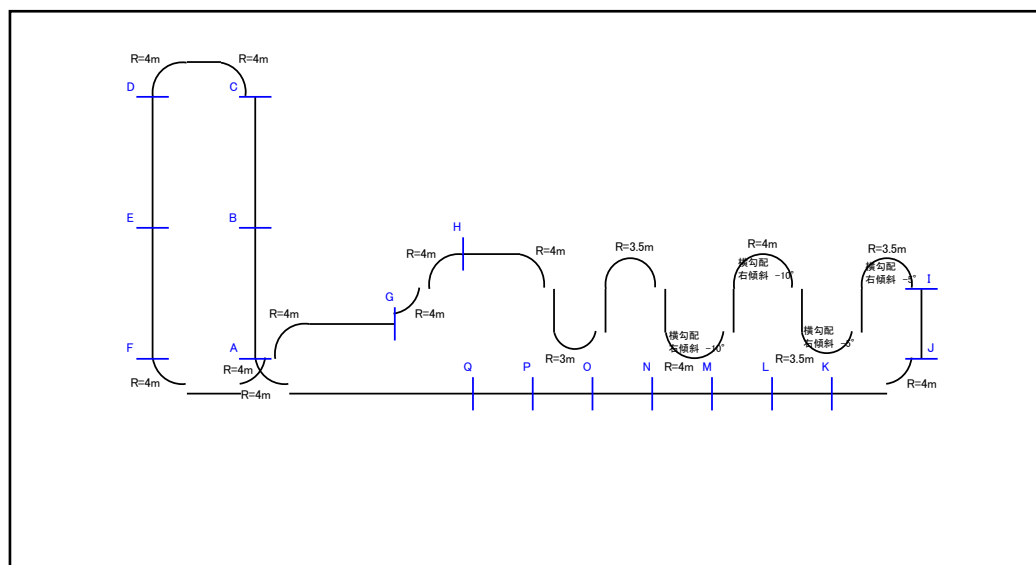


図 2. 3. 1-1 テストコース平面図

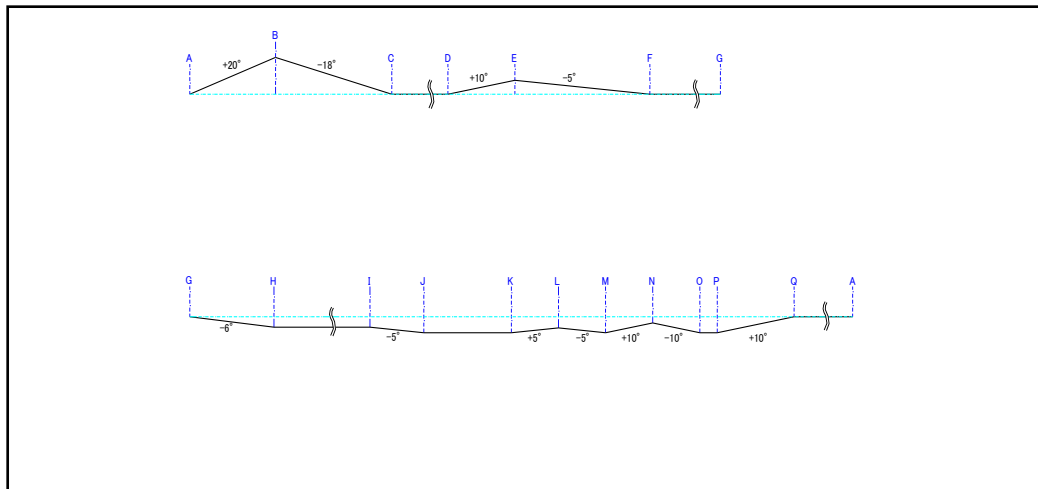


図 2.3.1-2 テストコース縦断面図

2.3.2 走行車両

走行車両については、運転席側後方のドアパネルに関して、2.1.1.2 の鋼材の枠+CNF 導入 FRP のドアパネルに変更して設置した。その他のドアパネル、部材に関しては当初の通りとした。

表 2.3.2 走行に使用した車両の仕様

	サイド右側	サイド左側
前部	当初の通り (ガラス繊維 FRP+CNF 非導入ハードコート PC)	当初の通り (CNF 導入 FRP+CNF 導入ハードコート PC)
後部	当初の通り (ガラス繊維 FRP+CNF 非導入ハードコート PC)	鋼フレーム+CNF 導入 FRP に変更 (CNF 導入 FRP+CNF 導入ハードコート PC)

2.3.3 走行期間

走行期間は、1 月の神奈川県平塚市での走行が完了した後の、1 月 28 日から 2 月 26 日にかけて実施した。

2.3.4 検証内容

走行時の状況を記録するとともに、ドアパネル、窓について走行毎に傷・割れが生じないか確認し記録した。

表 2.3.4-1 検証記録表①

N O	日 付		試験 日数	天候	自動走行時の条件								
					走行前気温（℃）		充電 容量 表示 （％）	走行開始 時間 （h）	走行終了 時間 （h）	走行後気温（℃）		放電後 残容量 表示 （％）	走行時間 当日 （h）
	外気温 アナログ計	室内気温 デジタル計			外気温 アナログ計	室内気温デ ジタル計							
1	1月28日	木	1	みぞれ	-	-	98	10:00	16:00	-	-	98	6.0
2	1月29日	金	2	晴れ	-	-	98	9:30	16:30	-	-	95	4.0
3	1月30日	土											
4	1月31日	日											
5	2月1日	月	3	晴れ	5	5.2	98	10:00	16:00	7	13.5	95	6.0
6	2月2日	火	4	晴れ	9	10.9	98	10:00	16:30	10	13.5	23	6.5
7	2月3日	水	5	晴れ	10	12.3	96	9:30	16:30	9	12.8	20	7.0
8	2月4日	木	6	晴れ	10	14.3	87	15:25	15:26	10	13.2	80	-
9	2月5日	金	7	晴れ	9	25.3	85	10:00	17:00	11	14.3	15	7.0
10	2月6日	土											
11	2月7日	日											
12	2月8日	月	8	晴れ	7	8.3	85	10:55	15:35	8	12.6	0	4.6
13	2月9日	火	9	晴れ	3	3.1	94	9:30	17:30	7	11.4	10	8.0
14	2月10日	水	10	晴れ	8	6.7	87	10:10	16:10	12	14.3	0	6.0
15	2月11日	木	11	晴れ	7	7.9	95	10:00	16:00	11	13.9	0	6.0
16	2月12日	金	12	晴れ	10	10.5	85	9:45	16:45	12	13.1	0	7.0
17	2月13日	土											
18	2月14日	日											
19	2月15日	月	13	雨	10	9.4	94	9:30	17:30	10	11.1	5	8.0
20	2月16日	火	14	晴れ	12	14.2	92	11:40	12:00	16	16.2	84	0.3
21	2月17日	水	15	-	-	-	-	:	:	-	-	-	-
22	2月18日	木	16	晴れ	5	5.8	100	9:30	17:30	8	12.6	8	8.0
23	2月19日	金	17	晴れ	7	7.2	98	9:45	17:15	8	11.8	10	9.5
24	2月20日	土											
25	2月21日	日											
26	2月22日	月											
27	2月23日	火	18	晴れ	9	10.1	100	9:30	17:30	5	8.7	10	8.0
28	2月24日	水	19	晴れ	8	10.4	100	9:45	17:15	12	13.1	3	7.5
29	2月25日	木	20	晴れ	7	9.5	100	9:00	16:00	13	14.3	15	7.0
30	2月26日	金	21	曇り	6	6.8	100	10:00	14:00	12	12.5	95	4.0
31	2月27日	土											
32	2月28日	日											
合 計													120.4

表 2.3.4-2 検証記録表②

NO	日 付		自動走行距離 0.3 km/周 (カント)		紫外線 (n m) 測定値	確認項目 自動走行に伴う 外観確認 (材質変化 有/無)	備 考
	月 日	曜日	周回数 (カント)	走行距離 当日 (km)		①左側前ドア 傷・割れ 有無 ②左側後ドア 傷・割れ 有無 ③右側前後ドア 傷・割れ 有無 ④コンソール・リヤウインドウ 傷・割れ 有無	
1	1月28日	木	2	0.6	1.0	①②③④ 傷・割れ なし	自動走行不可、調査及び対応 (追突防止配線不具合)
2	1月29日	金	3	0.9	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	試験コース内、q11箇所にて脱線多発 自動走行中断
3	1月30日	土					
4	1月31日	日					
5	2月1日	月	2	0.9	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	試験コース内、q11箇所に鉄板追加脱線対応済み
6	2月2日	火	103	30.9	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	脱線対応済みにて、自動走行開始
7	2月3日	水	119	35.7	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	強風 (突風発生) のため、自動走行中断
8	2月4日	木	-		3.0	①②③④ 傷・割れ なし	試験コース内カート脱線及び故障発生のため、調査
9	2月5日	金	121	36.3	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	
10	2月6日	土					
11	2月7日	日					
12	2月8日	月	78	23.4	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	試験コース内 (N-14) 5度登坂頂点にてパワールリ低下 (2-2) 発生停止
13	2月9日	火	132	39.6	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	
14	2月10日	水	101	30.3	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	
15	2月11日	木	102	30.6	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	試験コース内 (C-10) 20度登坂中間地点にてパワールリ低下 (2-2) 発生停止
16	2月12日	金	120	36.0	3.0	①②③④ 傷・割れ なし	
17	2月13日	土					
18	2月14日	日					
19	2月15日	月	133	39.9	1.0		
20	2月16日	火	6	1.8	4.0		強風 (突風発生) のため、自動走行中断
21	2月17日	水	-	-	-	①左前ドアCFN樹脂側上下部 ロック穴に合わずドアノブ故障	大強風 (突風発生) のため、自動走行中止
22	2月18日	木	134	40.2	4.0	①左前ドアノブ故障、②③④変化なし	
23	2月19日	金	128	38.4	4.0	①左前ドアノブ故障、②③④変化なし	
24	2月20日	土					
25	2月21日	日					
26	2月22日	月					
27	2月23日	火	102	30.6	4.0	①左前ドアノブ破損、②③④変化なし	強風 (突風発生) のため、走行一時中断
28	2月24日	水	127	38.1	3.0	①左前ドアノブ破損、②③④変化なし	
29	2月25日	木	120	36.0	5.0	①左前側面亀裂発生確認、②③④変化なし	
30	2月26日	金	4	1.2	3.0		修了確認
31	2月27日	土					
32	2月28日	日					
合 計			1,637	491.4			



図 2.3.4-1 A-B 間走行



図 2.3.4-2 B-C 間走行



図 2.3.4-3 D-E 間走行



図 2.3.4-4 E-F 間走行



図 2. 3. 4-5 G-H 間走行



図 2. 3. 4-6 H-I 間走行①



図 2. 3. 4-7 H-I 間走行②



図 2. 3. 4-8 H-I 間走行③



図 2.3.4-9 I-J 間走行



図 2.3.4-10 J-K 間走行



図 2.3.4-11 L-M 間走行



図 2.3.4-12 ドアの割れ確認
(2月25日)

2.3.5 結果

1月28日より実証走行を開始し、毎日の走行終了時にドアパネル及び窓の傷・割れを目視で確認を行った結果、サイド左側前部（CNF 導入 FRP のドア）に関しては、側面の割れ（亀裂発生）やドアノブの故障が発生し、二地域における走行実証時よりも損傷が大きくなった。鋼フレームによって補強したドアパネルについては、走行前後に外観調査をしたところ、変化は見られず、形状安定性に問題は見られないと言える。下記に走行実証前後の鋼フレームで補強したドアパネルの写真を示す。（図 2.3.5-1、図 2.3.5-2）また、走行実証中に2回雨が降りワイパーを使用したけど、CNF 導入ハードコート PC についても傷などは見られなかった。



図 2.3.5-1 走行実証前の様子



図 2.3.5-2 走行実証後の様子

2.4 グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証

2.4.1 CNF 部材のグリーンスローモビリティへの導入可能性と課題、その解決策

2.4.1.1 CNF 導入ハードコートの PC について

本事業で窓材として使用した PC は、車体の軽量化による燃費性能向上 (CO₂ 排出量削減) に大きく貢献できることから、昨今、ガラスに代わる樹脂グレージング素材として期待されている。窓の総面積が広いほど樹脂グレージングによる車体軽量化の効果は大きく、ガラスに比べて成形性も良いため、高いデザイン性にも対応できる。さらに PC は強化ガラスよりも割れにくく、外部からの衝撃にも強いので、安全性にも優れている。一方、法規の面では、2015 年に UNECE (国連欧州経済委員会) にてフロントウィンドウへの樹脂ガラスの使用が認可されたことにより、ECE 規格が適用される日本でも、車両のすべての窓部に樹脂ガラスが使用できるようになっている (米国では不可。2021 年 2 月時点)。しかしながら樹脂グレージングがあまり普及していない理由には、コストの他に PC の表面が傷つきやすく、それを保護するハードコートの耐久性の課題がある。ECE 規格や JIS の自動車用安全ガラスの品質規格の中でも、主に耐久性能に関する耐摩耗性と耐候性の両立が困難とされており、樹脂グレージングにおける課題となっている。

令和元年度では、CNF 導入ハードコート PC の材料評価は、テーパー摩耗試験による耐傷付性とメタルハイドランプによる耐候性において、通常ハードコート PC と同等の良好な結果であり、かつ、耐熱性においては通常品よりも優れていることが示された。これを踏まえ、本年度は実使用環境に近い条件での評価として、ワイパーによる耐傷付性とキセノンランプによる耐候性を検証し、CNF 導入ハードコート PC が通常ハードコート PC と遜色ないこと、さらに、長期にわたる走行実証によってもグリーンスローモビリティのドア窓・リア窓としての使用に問題ないことを確認できた。

CNF 添加の対象としたプライマーは PC 基板にトップコートを成膜するための下地であるが、単にトップコートの密着性改善の役割だけでなく、プライマーの厚みや物性、耐久性もハードコート全体の性能に関係すると考えており、耐熱性評価の結果は、CNF がハードコートの耐久性向上に寄与した可能性を示唆している。したがって今後は、窓材だけでなく、メーターパネルなどのプラスチック内装部品やヘッドランプのような透明部品への応用が期待できる他、CNF 導入をコーティング剤にしたことにより、ドアハンドルといった耐候性や耐摩耗性が求められる部品にも展開できると考える。

一方、CNF 導入ハードコートの課題としては、通常ハードコートと比較して遜色ない品質であるが、0.5%程度の CNF 添加では通常品からの性能改善幅が小さいことが挙げられる。これは、CNF の表面修飾剤の性質と CNF の配合量の関係および、CNF のプライマー層のみへの導入などが影響していると推測する。

CNF 導入プライマーを作製するにあたり、本事業では先行技術を参考に、CNF 表面に高分子量の修飾剤 (PEG : ポリエチレングリコール) を付加して CNF のプライマーへの分散を可

能にしているが、その組成としては、高強度の CNF を軸にして周りを PEG に厚く覆われた構造になっている。すなわち、CNF をプライマーの補強材として添加するとき、強度低下の原因にもなり得る CNF の表面修飾剤も持ち込まれることになり、プライマー層中で CNF の補強効果が十分に生かされていないことが考えられる（図 2.4.1.1）。したがって、PEG の代わりに比較的分子量かつプライマーと馴染みの良い組成の修飾剤を用いることができれば、少ない添加量でもプライマー層中の CNF 濃度を相対的に増やすことができ、また CNF の添加量を増やしても修飾剤の影響を抑えられるため、より高強度のプライマー層が得られると考える。さらに、塗料毎に最適な修飾剤の選定あるいは CNF との複合方法を見出してトップコートにも CNF を導入できれば、ハードコート表面の直接的な改良が見込める他、プライマーとトップコートの両方からハードコートの耐久性能改善が可能になると考える。

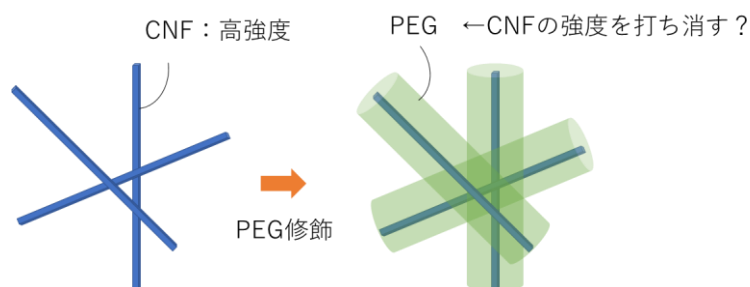


図 2.4.1-1 CNF 表面修飾剤の影響

2.4.1.2 CNF 導入の FRP について

令和元年度では、CNF 導入 FRP に関して、セルロース系不織布に CNF 配合不飽和ポリエステルを含浸した FRP 素材をハンドレイアップ成形し、一般的なサイドドアに採用されている鋼板と比較して 6 分の 1 以下の比重：1.24 g/cm³ でありながら、比強度（引張降伏点強度/比重）：46 kN・m/kg を達成する素材構成を見出した。

本仕様をグリーンスローモビリティ用ドア素材の材料として採用し、鋼製ドアに比べ軽量化が達成され、短期間の走行ではあるが、低速走行においてはドアとして十分な強度と考えられる結果が得られた。

今年度の長期にわたる走行実証と検証実験により、材料クリープによるそりや FRP 素材同士の接合部において割れが発生した。このことから、本材料は比強度に優れるものの、曲げ弾性率（剛性）は鋼板、ガラス繊維 FRP よりも低い為、リブ構造による補強や、鋼材との複合化補強など構造設計面での考慮が必要である。ただし、軽量化効果が失われないように配慮が必要である。また、積層材料の層間剥離は見られていないことから、面材としての利用は可能と考える。

上記課題に対して、本業務では、ドアに対して図 2.4.1-1 に示す鋼製枠を作製し、それに CNF 導入 FRP で作製した面材を接合するという改善策を実施した結果、形状安定性に問題は見られなかった。

このような結果から、グリーンスローモビリティのドアパネルへの導入は面材としての利用が可能であることがわかった。

今後は、ドアパネルだけでなくボンネット、トランクカバーといった部材においても、面材としての導入が可能であり、少ロット、大型品を得意とするハンドレイアップ成形法が、CNF 自体の市場導入初期段階では経済面を含めて有効な方法と考える。

また、比強度が高い利点を活かし、積層厚を厚くし、強度・剛性を高めることで、車体の構造部材への導入可能性も考えられるが、軽量効果が失われないように、重量増と強度・剛性のバランスを取った設計や、鋼材との組み合わせが、解決策となりうると考える。



図 2.4.1-2 鉄製ドア枠

2.4.1.3 CNF 導入熱可塑性樹脂について

自動車内装樹脂部品に採用されているタルク充填プラスチックに対して、軽量・高強度な特性を有する材料として木質系フィラー材料中には CNF が含まれるウッドプラスチックを用い検証を行った。今年度の長期にわたる走行実証と検証実験により、外観不良や強度劣化が確認されなかったことから、コンソールボックス用の材料として CNF 入りウッドプラスチックコンポジット（WPC）の導入は可能であることがわかった。

今後は、コンソールだけでなく他の小型内装樹脂部品（トレイ、グローブボックス部品）にも導入が可能だと考えられる。

また、大型部品としてインストルメントパネル等にも導入可能性が考えられるが、大型成型品の場合、射出成形金型投資も大きくなることから、グリーンスローモビリティのような小ロット生産には不向きである。解決策としては、投資負荷の小さい、前述の CNF 添加 FRP との併用で部品の適用範囲を増やしていくことが考えられる。

2.4.2 交換式バッテリーシステムと IoT を利用したオペレーションシステムの導入可能性

令和元年度で実施した交換式バッテリーシステムは、交換が可能となったことでバッテリー切れ等の万が一に際して有効であることは実証できた。

本業務に於いては、交換作業の利便性と GSM オペレーションの中で特に管理者の業務に役立てることを目的とした IoT を利用したオペレーションシステムを組み合わせることで、

- 車両と充電ステーションの状態確認
- 電池の状況把握（車載電池、充電ステーション、交換用電池）
- 乗車希望者情報の運転者への伝達と確認

を、長期間にわたる走行実証と検証試験により 確認した。

その結果、使用者からは次のような意見が上がった

管理者の意見

- ・ 車両位置と電池残量が分かるのは安心感も含めて非常に有効である
- ・ 乗車希望者情報の伝達に関しては 可能であることは確認できたが、やや煩雑
- ・ 運転者からの乗車人数確認情報は有効であった
- ・ 充電完了時間の目安が表示されるのは非常に良い
- ・ 地図情報と電流の情報を見ることで、道路の様子が分かる（坂の程度、状態など）

運転者の意見

- ・ 電池残量が表示されるのは非常に良い（安心である）
- ・ 目的地、充電ステーション位置表示など簡易的なナビとしてもある程度は使える
- ・ 乗車希望者情報を見たり、確認操作するには 情報表示装置がもう少し大きい方が良い

- ・ 画面に光が反射して見づらい

特に、GSM としては長距離を走行する場合、あるいは、集落を何周も周回して会合参加者の送迎を行う場合など、バッテリー状態と車両位置がオペレーションシステム上で確認できることは非常に便利であった。

交換式バッテリーシステムを GSM に本格的に導入するに際しては、その地域にあったオペレーションシステム（車両の走行状態、電池の状態に加えて 運行形態による必要情報）を組み合わせることで必要最小容量の電池を搭載した軽量の GSM で 安心したオペレーションが可能となると考える。

ただし、本業務に於いては、運転者用の車載表示装置を小型タブレットとしたために、画面反射や操作の利便性に改善すべき点を残した。

今後、更に利用実績を積むことで、管理者用ソフトウェアの更なる改良と車載装置の改善が必要である。

2.4.3 CO2 削減効果の算出と考察

2.4.3.1 CO2 削減効果の考え方

CO2 削減効果については、グリーンスローモビリティに対して、CNF 部材を導入した交換バッテリー式 EV 車両と、通常の自動車で利用される部材を導入した EV 車両を比較して CO2 削減効果を算出することとする。

比較車両を整理すると下表のとおり。

表.2.4.3.1 CO2 削減効果を算定するための車両の整理

	サイド右側(前部・後部)		サイド左側(前部・後部)		リア	コンソール
	ドアパネル	窓	ドアパネル	窓	窓	
CNF 部材導入車両(交換式バッテリー EV)	鉄鋼枠＋CNF 導入の FRP	CNF 導入ハードコート PC	鉄鋼枠＋CNF 導入の FRP	CNF 導入ハードコート PC	CNF 導入ハードコート PC	CNF 導入熱可塑性樹脂
比較車両(EV)	鋼製	CNF 非導入ハードコート PC	鋼製	CNF 非導入ハードコート PC	CNF 非導入ハードコート PC	PP (ポリプロピレン) 熱硬化性樹脂

また、表.2.4.3.1 で整理した車両に対して、以下の段階での CO2 削減効果を算出する。

- ① 資源・製造・廃棄リサイクル時の削減効果
- ② 運用時の削減効果

なお、このとき部材の中で活用されている CNF についてはカーボンフリーとして扱うこととする。

2.4.3.2 資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 削減効果

環境省が提供しているサプライチェーンの CO2 排出原単位データベース (https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate_tool.html#no07) を活用して、資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 削減効果を算出する。

(1) 窓

比較車両における窓は CNF 非導入ハードコート PC としており、CNF 部材導入車両における窓は CNF 導入ハードコートの PC いる。そのため、CNF 導入の有る無しで大きな変わりは

ないため CO2 削減効果の検討対象外とすることとした。

(2) ドアパネル

比較車両におけるドアパネルは鋼製としているため、鋼の資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 排出量を算出する。

ドアパネルに関する重さについては実証実験から下表の通り。

表 2.4.3.2 材料別ドア質量

材 料 名	前部ドア (Kg)	後部ドア (Kg)
CNF 入り FRP	5.80	5.20
鋼 製	12.30	11.20
CNF 板+鋼製ドア枠	10.30	9.00
ガラス繊維 FRP	5.40	5.30
鋼製ドア枠のみ	4.90	4.30
アルミ製ドア枠(参考)	1.70	1.48

鋼の資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 排出量原単位は、排出原単位データベースによると、鑄鉄品及び鍛工品（鉄）として 3.493076406t-CO2eq/t である。

また、今回のドアパネル全体の重さを計算すると、

$$\begin{aligned} (\text{前部ドアパネル } 12.30\text{kg/台} + \text{後部ドアパネル } 11.20\text{kg/台}) \times 2 &= 47\text{kg/台} \\ &= 0.047\text{t/台} \end{aligned}$$

これに鑄鉄品及び鍛工品（鉄）の CO2 原単位をかけると、

$$\begin{aligned} 3.493076406\text{t-CO}_2\text{eq/t} \times 0.047\text{t/台} &= 0.164174591\text{t-CO}_2\text{eq/台} \\ &= \text{比較車両のドアパネルの CO}_2 \text{ 排出量} \end{aligned}$$

である。

一方、CNF 部材導入車両におけるドアパネルの鉄鋼枠+CNF 導入の FRP における FRP は熱硬化性樹脂である。熱硬化性樹脂の CO2 排出量原単位は排出原単位データベースによると 3.655351872 t-CO2eq/t である。

今回の窓全体の重さ（t）で計算するが、CNF については少量なので重量としてはカウントしないこととすると、

$$\begin{aligned} & (\text{前部ドアパネル PC (10.30-4.90) kg/台} + \text{後部ドアパネル PC (9.00-4.30) kg/台}) \times 2 \\ & = 20.2 \text{ kg/台} = 0.0202 \text{ t/台} \end{aligned}$$

これに熱硬化性樹脂の CO2 原単位をかけると、

$$3.655351872 \text{ t-CO}_2\text{eq/t} \times 0.0202 \text{ t/台} = 0.064272606 \text{ t-CO}_2\text{eq}$$

また、鋼製ドア枠の重さは

$$\begin{aligned} & (\text{前部ドアパネル 4.90 kg/台} + \text{後部ドアパネル 4.30 kg/台}) \times 2 = 18.4 \text{ kg/台} \\ & = 0.0184 \text{ t/台} \end{aligned}$$

これに鋳鉄品及び鍛工品（鉄）の CO2 原単位をかけると、

$$3.493076406 \text{ t-CO}_2\text{eq/t} \times 0.0184 \text{ t/台} = 0.064272606 \text{ t-CO}_2\text{eq/台}$$

CNF 導入の FRP とドアパネルの鉄鋼枠の CO2 排出量を足すと

$$\begin{aligned} & = 0.138110714 \text{ t-CO}_2\text{eq/台} \\ & = \text{CNF 部材導入車両におけるドアパネルの CO2 排出量} \end{aligned}$$

である。よって、1 台あたりのドアパネルについては、

比較車両のドアパネルの CO2 排出量 0.164174591 t-CO2eq/台

$$\begin{aligned} - & \text{CNF 部材導入車両におけるドアパネルの CO2 排出量 } 0.138110714 \text{ t-CO}_2\text{eq/台} \\ & = 0.026063877 \text{ t-CO}_2\text{eq/台} \\ & = \text{CNF 部材導入のドアパネルにおける CO2 排出削減量} \end{aligned}$$

となる。

(3) コンソール

比較車両におけるコンソールは PP（ポリプロピレン）であり、熱硬化性樹脂である。熱硬化性樹脂の資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 排出量を算出する。

熱硬化性樹脂の資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 排出量原単位は、排出原単位データベースによると 3.655351872 t-CO2eq/t である。

また、今回のコンソールの重さは、139g/台であり 0.000139t/台である。

これに熱可塑性樹脂の CO2 原単位をかけると、

$$\begin{aligned} 3.655351872\text{t-CO}_2\text{eq/t} \times 0.000139\text{t/台} &= 0.000508094\text{t-CO}_2\text{eq/台} \\ &= \text{比較車両のコンソールの CO2 排出量} \end{aligned}$$

である。

一方、CNF 部材導入車両におけるコンソールの CNF 導入熱可塑性樹脂であり、CO2 排出量原単位は排出原単位データベースによると 1.288466916t-CO2eq/t である。

今回のコンソールの重さ (t) で計算するが、CNF については少量なので重量としてはカウントしないこととすると、コンソール CNF 導入熱可塑性樹脂の重さは 139g/台であり 0.000139t/台である。

これに熱可塑性樹脂の CO2 原単位をかけると、

$$\begin{aligned} 1.288466916\text{t-CO}_2\text{eq/t} \times 0.000139\text{t/台} &= 0.000179097\text{t-CO}_2\text{eq/台} \\ &= \text{CNF 部材導入車両におけるコンソールの CO2 排出量} \end{aligned}$$

である。よって、

$$\begin{aligned} &\text{比較車両のコンソールの CO2 排出量 } 0.000508094\text{t-CO}_2\text{eq/台} \\ - &\text{CNF 部材導入車両におけるコンソールの CO2 排出量 } 0.000179097\text{t-CO}_2\text{eq/台} \\ &= 0.000328997\text{CO}_2\text{-t/台} \\ &= \text{CNF 部材導入のコンソールにおける CO2 排出削減量} \end{aligned}$$

となる。

(4) 一台当たりの資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 削減効果

前述までの算出から、一台当たりの資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 削減効果は、

$$0.026063877\text{t-CO}_2\text{eq/台} + 0.000328997\text{CO}_2\text{-t/台} = 0.026392874 \text{ CO}_2\text{-t/台}$$

となる。

2.4.3.3 運用時のCO2削減効果

(1) 各種材料による窓・ドアパネル・コンソールの重量比較

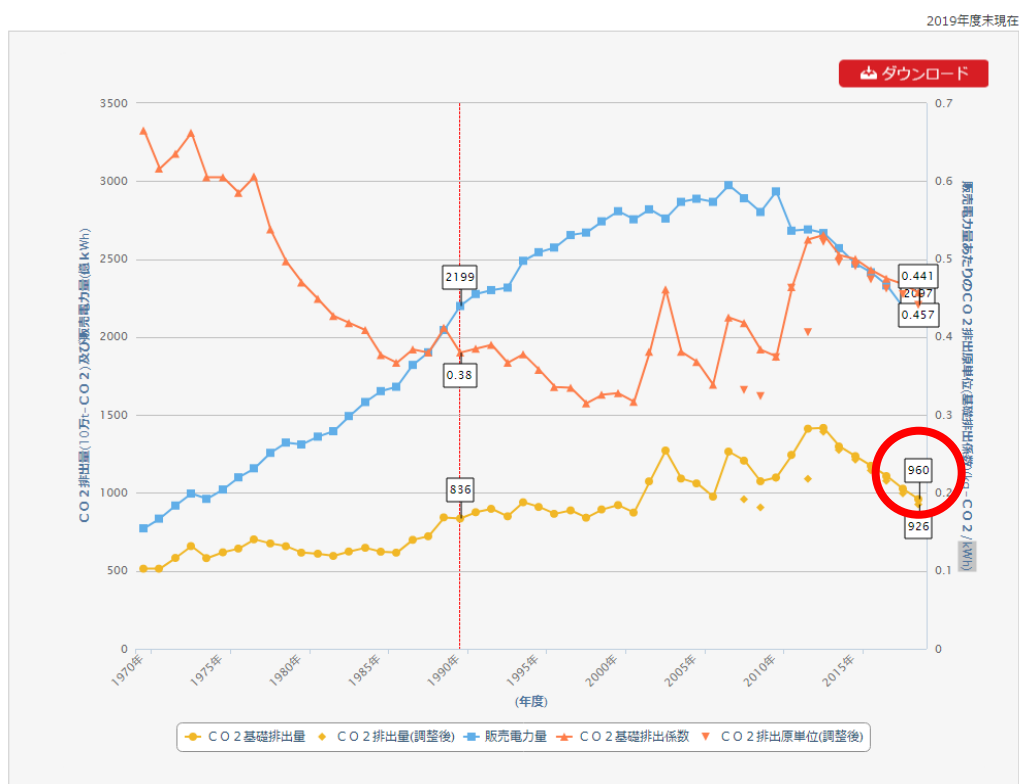
窓とコンソールについては、2.4.3.2で述べたように、重さに差はないため対象外とする。

ドアについて比較対象車両の鉄製ドアとCNF板+鋼製ドア枠を比較すると
一台あたりのドアの重量差

$$= ((12.30-10.30)+(11.20-9.00)) \times 2 = 8.40\text{Kg/台} \quad \text{----- ①}$$

令和元年度業務における実証試験結果によれば、本業務で使用した車両では

重量10Kg 当たりバッテリー消費量は0.15%増える ----- ②



(注) 1. 2015年度以前は東京電力株式会社の値。2016年度からは東京電力エナジーパートナー株式会社の値。
2. CO2基礎排出の算定にあたっては、「地球温暖化対策の推進に関する法律」上の「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」に準拠。
3. 「CO2基礎排出量」「CO2基礎排出係数」は炭素クレジットや再生可能エネルギーの固定価格買取制度に伴う調整を反映前のCO2排出量およびCO2排出係数。
※固定価格買取制度では、原則全ての需要家が使用電力量に応じたサーチャージを負担していることから、環境価値も全ての需要家に公平に分配することとされており、関連する国の規定に従い、CO2排出係数およびCO2排出量へ反映している。
※国に確認した中で、2019年度のCO2排出原単位(調整後)を、0.442kg-CO2/kWhから0.441kg-CO2/kWhへ訂正。CO2排出基礎排出係数を、0.458 kg-CO2/kWhから0.457 kg-CO2/kWhへ訂正。(2020年11月30日訂正)

図 2.4.3.3 CO2 排出量原単位 (赤丸 2019 年実績)

また、東京電力発表による 2019 年の CO2 排出量原単位は (表 2.4.3.3 参照)

0.441kg-CO₂/kWh である ----- ③

故に、①、②、及び ③より、1 台のドアパネルにおける kWh 当たりの CO₂ 削減量は

$$(8.40 \div 10.00) \times 0.0015 \times 0.441 \text{kg-CO}_2/\text{kWh} = 0.00055566 \text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台}$$

となる。

(2) 電池交換式とすることによる比較

2.2.8 項の結果から本業務で使用した車両一充電当たりの走行距離は中山間地域で約 55Km であり、都市部平坦地で約 90Km であった。よって実利用される際の日当たりの走行距離を 100km と仮定し、日中に数回電池交換して運行するとしたら、電池搭載量は半分でも成り立つと考えられる。

本事業では、1 台当たり 15Kg の電池 4 本を搭載しているので、

$$\text{交換式でない場合の電池重量} = 15\text{Kg} \times 4 = 60\text{Kg}$$

半分とすると

$$\text{交換式の場合の電池重量} = 15\text{Kg} \times 2 = 30\text{Kg}$$

また、電池交換式用 引き出し式トレイ重量は 片側 5.78Kg (図 2.4.1.2.1-1 参照) があるので

$$\text{両側で } 5.78\text{Kg} \times 2 = 11.56\text{Kg}$$



図 2.4.1.2.1-1 引き出し式トレー重量

従って電池交換式の場合の重量軽減は

$$60\text{Kg} - (30\text{Kg} + 11.56\text{Kg}) = 18.44\text{Kg}$$

この重量差による CO2 排出量の差は、(1) と同様の計算をすると 1 台の交換式バッテリーにおける kWh 当たりの CO2 削減量は

$$(18.44 \div 10.00) \times 0.0015 \times 0.441\text{kg-CO}_2/\text{kWh} = 0.001219806\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台}$$

が電池交換式とすることによる CO2 排出量削減量となる。

(3) 一台当たりの運用時の CO2 削減効果

前述までの算出から、一台当たりの資源・製造・廃棄リサイクル時の CO2 削減効果は、

$$0.00055566\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台} + 0.001219806\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台} = 0.001775466\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台}$$

となる。

2.4.3.2 将来展開したときの CO2 削減効果

グリーンスローモビリティの展開が見込める地域は、事業性の観点から、一定の利用者数が確保できるようマイカー移動ができなくなりつつある高齢者が多く住み、居住地からの近距離低速の移動先にスーパー、クリニックや医療施設、理髪店、教育施設、習い事教

室、飲食店などがある住宅地内、いわゆるオールドタウンと言われる古いニュータウン内を想定している。ニュータウンの特徴は、山を切り開くことでできた丘陵地（・が丘、・・・台という名の地名が多い）と、切り開いた時の土砂で埋め立てられてできた平坦地であり、本事業で実証試験走行した中山間の丘陵地と都市近郊の平坦地は、このニュータウンの特徴に合致した地域となっている。

「古いニュータウン」を1975年以前に入居が開始されたニュータウンとし、国土交通省の「全国ニュータウンリスト」から抽出すると947ヶ所となる。そのうち、同じく国土交通省の「国土数値情報作成調査」における「山地」と「丘陵地」の面積率を都道府県ごとに算出した上で、都道府県別のニュータウン数に面積率を乗じたものを丘陵地のニュータウン数と仮定すると、その数は588ヶ所となる。整理すると、

古い丘陵地ニュータウンの数：588ヶ所

古い平坦地ニュータウンの数：359ヶ所

である。

(1) 古いニュータウンに展開された場合の資源・製造・廃棄リサイクル時のCO₂削減量
それぞれのニュータウンに車両が1台配置されると仮定すると、資源・製造・廃棄リサイクル時のCO₂削減量は

$$0.026392874\text{CO}_2\text{-t} \times 947 \text{ヶ所} = 24.99405206\text{t-CO}_2$$

(2) 古いニュータウンに展開された場合の運用時のCO₂削減量

それぞれのニュータウンに車両が1台配置されると仮定し、5年間運用された場合と仮定してCO₂削減量と算出する。

2.2.8項の結果から本業で実証試験走行した中山間の丘陵地と都市近郊の平坦地における走行距離1Km当たりの消費電力は、

$$\text{丘陵地} = 4.8\text{Kwh} \div 55\text{Km} = 0.087\text{Kwh/Km}$$

$$\text{平坦地} = 4.8\text{Kwh} \div 90\text{Km} = 0.053\text{Kwh/Km}$$

であり、一日の走行距離を100kmとしてそれぞれのニュータウンに7年間運用（仮にゴルフカートの耐用年数の7年間を採用）と仮定すると、

$$\text{丘陵地} = 0.087\text{Kwh/Km} \times 100\text{km/日} \times 365 \text{日} \times 588 \times 7 \text{年間} = 13,070,358\text{Kwh/7年間}$$

$$\text{平坦地} = 0.053\text{Kwh/Km} \times 100\text{km/日} \times 365 \text{日} \times 359 \times 7 \text{年間} = 4,861,399\text{Kwh/7年間}$$

よって、合計 17,931,757Kwh/7 年間の CO2 削減量は、

$$\begin{aligned} 0.001775466\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \cdot \text{台} \times 17,931,757 &= 31,837\text{kg-CO}_2 \\ &= 31.83722399\text{t-CO}_2 \end{aligned}$$

(3) CO2 削減効果のまとめ

7 年間運用されることを想定した CNF 部材活用の交換式バッテリーのグリーンスローモビリティが全国の古いニュータウンに平均 1 台ずつ配置されたときの、資源・製造・廃棄リサイクルも含めた CO2 排出削減量は、

$$24.99405206\text{t-CO}_2 + 31.83722399\text{t-CO}_2 = 56.831\text{t-CO}_2$$

となる。

2.5 グリーンスローモビリティ以外の脱炭素型地域交通システムへの CNF 部材および交換式バッテリー/IoT システムの活用可能性調査

2.5.1 対象となる脱炭素型地域交通システムの条件

はじめに CNF 部材・交換式バッテリー/IoT システムが適する地域交通システムの条件を整理し、対象となり得る地域交通システムを整理する。CNF 部材に関しては、車両の大きさや1日の走行距離が耐久性に影響し、導入可能性の検討項目となると考えられる。また、交換式バッテリーに関しても、車両の大きさや1日の走行距離、走行エリアや一回の走行距離が有用性に影響し、検討項目となると考えられる。

(1) 車両の大きさ

本事業で対象としたグリーンスローモビリティに近い車両の大きさとして、一般乗用車以下の大きさの車両を想定する。理由としては下記が挙げられる。

- ・ CNF 部材、特に CNF 導入 FRP に関しては、車両が大きい、即ちドアパネルや面材としての面積が大きくなるほど、鋼材との複合化補強など構造設計面での考慮が必要で、軽量化効果が小さくなると考えられる。
- ・ バッテリーに関しては、車両が大きく、バッテリー1個の重量が大きくなる場合、もしくは搭載されるバッテリー量が多くなる大型車両では人力での交換は限界があり、不向きである。

【対象外となる交通システム】

- ・ 中型・大型トラック車両での運送業
- ・ 中型バス・大型バス車両での路線バス、貸切バス

(2) 一日の走行距離

一日の走行距離に関しては、50km 以上 100km 以下となる交通システムを対象とする。理由としては下記が挙げられる。

- ・ CNF 部材に関しては、本事業では1日の走行距離が最長でも 50km 程度の走行実証を行ったため、それ以上の長距離の耐久性に関しては不明である。
- ・ 交換式バッテリーに関しては、一日の走行距離が長距離である場合、バッテリーの交換を行う頻度が高くなり、交通システムとしての利便性が低くなる。また、1日の走行距離が 50km 以下など短い場合は、1日の間で充電を行う必要がなく、バッテリーが交換式であるメリットが低くなる。

【対象外となる交通システム】

1日の走行距離が 100km 以上の長距離である場合

- ・ 中型バス、大型バスなどの長距離運送業

1 日の走行距離が 50km 以下等の短距離である場合

- ・ ホテルや福祉施設などの、貸切運送
- ・ ネットスーパーの配達等、地域の事業者での配送業

(3) 走行エリア

CNF 部材に関して影響は少ないと考えられるが、交換式バッテリーについては、当初から全国的に整備されることは難しく、特定のエリア内（市区町村内程度）から普及していくと考えるのが妥当である。よって、特定エリア内での交通システムを対象と考える。

【対象外となる交通システム】

- ・ レンタカー

(4) 一回の走行距離

CNF 部材に関して影響は少ないと考えられるが、交換式バッテリーについては、人力で交換する前提であるため、車両に積載する電池の容量が出来るだけ小さいことが望ましい。つまり充電ステーションに立ち寄る一回の走行距離が 50km 以下となる交通システムを対象と考える。

【対象外となる交通システム】

- ・ タクシー

2.5.2 対象となり得る交通システム

上述の 2.5.1 の条件で対象となる主な交通システムを整理すると以下の 3 つがあげられる。いずれの車両に関しても、2.4 で考察したように、CNF 部材は導入可能だと考えられる。例えば、CNF 導入 FRP に関してはドアパネルだけでなくボンネット、トランクカバーといった部材においても、面材としての導入可能性がある。また、CNF 導入熱可塑性樹脂に関しては、コンソールだけでなく小型内装樹脂部品（トレイ、グローブボックス部品）にも導入が可能だと考えられる。CNF 導入ハードコートに関しては、窓材だけでなく、耐候性や耐摩耗性が求められるヘッドランプやドアハンドルの他、メーターパネルなどの内装部品への導入可能性が考えられる。

交換式バッテリーと IoT システムに関しては、具体的に下記のような理由で適していると考えられる。

(1) EV カーシェアリング

カーシェアリングは、一般乗用車が活用されている。複数の会員に利用されるため一日の平均走行距離も 50km 以上は必要である。カーステーションに返却する必要があるため、遠出には向かず、特定エリア内（市区町村内程度）の走行のために利用されることが多い。貸出料金が 15 分など短時間で設定されているので、短時間借りが多く、一回の走行距離も短いのが特徴である。

カーシェアリング車両を電動化する際は、カーステーションで充電する運用となる。このとき、返却された直後の次の利用時に車両の充電が不足する可能性があることが課題となっている。この課題への対応として、交換式バッテリーのシステムの導入は有効である。また、IoT システムに関しては、管理者・利用者ともに車両の電池残量・充電ステーションが把握できることは利便性が高い。ただし、カーシェアリング専用のシステム開発が必要である。



図．2.5.2-1 電動車両のカーステーション

出所：一般社団法人大崎エリアマネジメントホームページより抜粋

(2) EV デマンド交通

乗り合い型のデマンド交通では、トヨタ自動車のハイエース等、大型の一般乗用車が活用されることが多い。走行距離に関しては、一定の利用数があれば一日に 50km 以上となる。また、区域運行として、一定の区域を特定した交通システムが義務付けられるため、特定エリア内（市区町村内程度）の走行となる。

走行の予約や呼び出しがない時間帯は、車両が待機する運用になるため、一回の走行距離は短い。

デマンド交通の車両を電動化した際、設定した待機場所で充電をすることとなる。この

ときの課題は、予約や呼び出しに対応した運行をする際、充電が不十分であることが想定されるため、待機場所に交換式バッテリーのシステムを整備することが有効である。IoT 管理者・利用者ともに車両の電池残量・充電ステーションが把握できることは利便性が高い。



図. 2.5.2-2 デマンド車両の例（写真はガソリン自動車）

（３）EV 軽貨物個配サービス

軽貨物の個配サービスでは、住宅地への配達となるため一般乗用車か軽自動車が活用される。昨今の EC の需要増大により、貨物量が増大しているため、一日の走行距離は 50km を超えることが多い。

配送ルートに関しては、配送拠点から一定のエリア内への輸送となるため、特定エリア（市区町村内程度）の走行となっている。荷物の積み替えのために配送拠点に都度戻る運用になるため、一回の走行距離は短い。

住宅地への往訪では、車両の騒音や排気ガスのことを考えると電動化は有効と考えられる。ただし、個配の車両は配送拠点に戻り荷物を積み替えるとすぐに次の配送に向かう必要があるため充電時間の確保に課題があるため、配送拠点に待機場所に交換式バッテリーのシステムを整備することが有効である。IoT システムに関しては、管理者・利用者ともに車両の電池残量・充電ステーションが把握できることは利便性が高い。

第3章. まとめと今後の方針

本事業の目的は、主に以下の2つの検証である。

- ① 自動車分野における CNF 部材の社会実装に向けた課題抽出と解決策の検証を行う
- ② グリーンスローモビリティを利用した脱炭素型地域交通システムの確立に向けた検証を行う

以上の検証を行うため、実際の使用環境・形態を想定した機能を具備したグリーンスローモビリティを対象として、「CNF 部材を活用した状態で長期間の走行実証」、および「脱炭素型地域交通システムとして交換式バッテリーシステムと IoT を活用したオペレーションシステムの実証」を、中山間地域の代表として岡山県美作市上山地区周辺、市街地の代表として神奈川県平塚市太洋産業貿易平塚工場周辺の二か所で実施した。

それぞれの検証結果についての、まとめと今後の方針は、以下の通りである。

3.1. CNF 部材のグリーンスローモビリティへの導入

搭載した CNF 部材は、窓に対して CNF 導入ハードコートの PC、ドアパネルに対して CNF 導入の FRP、コンソールに対して CNF を活用した熱可塑性樹脂、の3つである。

3.1.1 CNF 入りハードコートの PC の窓について

2019 年度から進めてきた CNF 導入ハードコートに対する耐摩耗性と耐候性評価（メタルハライドランプ）、2020 年度本事業で進めた耐ワイパー傷付性と耐候性評価（キセノンランプ）は非導入品と共に良好な結果であった。かつ、耐熱性評価においては CNF 導入品において非導入品よりも優れた結果を得ている。今後は、実用化にむけた取り組みを進めてよい段階となったと考えられる。

また、CNF 導入ハードコートは窓材だけでなく、耐候性や耐摩耗性が求められるヘッドランプやドアハンドルの他、メーターパネルなどの内装部品へも応用できるため、CNF を塗料に導入したことによる水平展開の広がりも期待できることを考えると、様々な分野での活用に向けた補助や助成事業を展開することで、その普及を後押しする政策が望まれる。

3.1.2 CNF 導入 FRP のドアパネルについて

長期にわたる走行実証と検証実験により、材料クリープによるそりや FRP 素材同士の接合部において割れが発生した。このことから、本材料は比強度に優れるものの、曲げ弾性率（剛性）は鋼板、ガラス繊維 FRP よりも低い為、リブ構造による補強や、鋼材との複合化補強など構造設計面での考慮が必要だと判明した。

上記課題に対して、本業務では、ドアに対して図 2.4.1-1 に示す鋼製枠を作製し、それに CNF 導入 FRP で作製した面材を接合するという改善策を実施した結果、形状安定性に問題は見られなかったため、グリーンスローモビリティのドアパネルへの導入は面材としての利用が可能であることがわかった。

今後は、ドアパネルだけでなくボンネット、トランクカバーといった部材においても、面材としての導入が可能であり、比強度が高い利点を活かし、積層厚を厚くし、強度・剛性を高めることで、車体の構造部材への導入可能性も考えられるが、軽量効果が失われないように、重量増と強度・剛性のバランスを取った設計や、鋼材との組み合わせが、解決策となりうると考えられる。今後はグリーンスローモビリティのドアパネル以外でも面材としての導入を検証し、実用化にむけた検討を進めていく段階になったと考えられる。

3.1.3 CNF を活用した熱可塑性樹脂のコンソールについて

長期にわたる走行実証と検証実験により、外観不良や強度劣化が確認されなかったことから、コンソールボックス用の材料として CNF 入り WPC の導入は可能であることがわかった。今後は、コンソールだけでなく他の小型内装樹脂部品（トレイ、グローブボックス部品）にも導入が可能だと考えられる。

また、大型部品としてインストルメントパネル等にも導入可能性が考えられるが、大型成型品の場合、射出成形金型投資も大きくなることから、グリーンスローモビリティのような小ロット生産には不向きであり、投資負担の小さい、前述の CNF 添加 FRP との併用で部品の適用範囲を増やしていくことが考えられる。今後は、小型内装樹脂部品への導入にむけた取り組みや、大型部品への導入検証を進めていく段階になったと考えられる。

3.1.4 CNF 部材のグリーンスローモビリティへの導入の今後の方針

前述の 3.1.1 から 3.1.2 の結果の通り、今後 CNF 部材のグリーンスローモビリティへの導入は、研究開発から実用化へステップアップする段階になったとして、その導入の検討を進めている民間企業などに対して、政策的な支援を展開するのが有効と考えられる。

3.1.5 ドア付きグリーンスローモビリティの快適性・安全性

ドアがあることによる安心感と快適感で高い評価を得ており、特に暖房装置も搭載したことによる冬季における評価が高い。

短距離の乗車を想定する GSM であっても着座して移動するに際し、この安心感と快適感は必須の要素であり、ドアと暖房装置については必要な装置であると考え。ただし、本業務に於いては、重量軽減とあくまでも簡易のドアとすることで設計したが、乗客意見にもあったようにドアの振動対策を含め より満足感を得られる構造・機構について今後、継続開発必要と考える。

また、GSM の一般道路の走行に於いて、自転車並み、または自転車より遅い低速車（時速 20Km 未満）であることによる発生する後続車の停滞問題は、都市部においては 現状ではかなり難しい問題である。一般道の流れに沿った運転のできる最高速度への法規上の速度要件変更や、運行地域の制限・選択と言った二方面（構造・法規と運用法）から、解決の方向を検討する必要があると考える。

3.2. 交換式バッテリーシステムと IoT システム

交換作業の利便性と GSM オペレーションの中で特に管理者の業務に役立てることを目的とした IoT を利用したオペレーションシステムを組み合わせることで、下記の有用性を長期間にわたる走行実証と検証試験により確認した。

- 車両と充電ステーションの状態確認
- 電池の状況把握（車載電池、充電ステーション、交換用電池）
- 乗車希望者情報の運転者への伝達と確認

その結果、使用者の意見から、交換式バッテリーシステムを GSM に本格的に導入するに際しては、その地域にあったオペレーションシステム（車両の走行状態、電池の状態に加えて 運行形態による必要情報）を組み合わせることで 小容量の電池を搭載した軽量の GSM で安心したオペレーションが可能となることがわかった。ただし、本業務に於いては運転者用の車載表示装置を小型タブレットとしたために画面反射や操作の利便性に改善すべき点を残したため、今後は更に利用実績を積むことで管理者用ソフトウェアの更なる改良と車載装置の改善が必要であり、研究開発の段階から実用化へステップアップする段階となったと言える。

3.2.3 脱炭素型地域交通システムの今後の方針

脱ガソリン車がグローバルで進む中、わが国でも 2030 年代半ばにはすべての新車をハイブリッド車（HV）か電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）にする方針が発表されている。今後車両の電化はより進み、交換式バッテリーの必要性は高まると考えられ、本事業で取り組んだ意義は高い。

ただし、本事業の結果としては、まだ技術面の改善や運用面にあわせたシステム設計などの改善が必要であり、グリーンスローモビリティ以外にも適用可能性のある地域交通システムの余地もあるので、地域内の適用できる各交通システムの連携も模索しながら、政策的に研究開発を続けていく必要がある。

令和 2 年度環境省委託業務

「令和 2 年度セルロースナノファイバー等を活用したグリーンスローモビリティの導入実証委託業務成果報告書」成果報告書

令和 3 年 3 月 エナジーシステムサービスジャパン株式会社

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。