

開発経過報告書（2018/9～2019/2 末）

「地域内交通を支える小型電動バスの開発」

1 開発目的とコンセプト

開発意図等に関しては、以下の計画書を参照のこと

https://www.tajima-ev.com/pdf/tajima_evbus_180827.pdf

2 開発の実績(2018/2 末時点 継続開発中)

全体図

試作車両の全体が分かる画像を以下に記載する。



完成状態 CG(オープンタイプ)



試作車両



試作車両の室内(エコパ走行試験時)

開発状況一覧

2019/2/28 時点での、開発目標と開発状況と達成度の一覧を下に示す。

	達成目標 (申請時)	開発項目	開発結果	達成度
シンプル 低コスト 車体	シンプルラダーフレーム	曲げ強度と低床の両立	FEM解析を用いて、最適化	○
		高精度溶接	治具レス組み立て手法の開発成功	○
		シンプル化	大断面フレームを用いて簡素化達成	○
		組み立て費の低減	コスト算出済 組み立て費低減確認	○
	軽量高遮熱 プラスチックキャビン	積層構成の最適化	薄肉化設計 試作実施	○
		遮熱設計	発砲コアサンドイッチ構造 試作実施	○
		デザイン性と高精度	3次元モデルを用いた設計製造実施	○
	CNF (セルローズナノファイバー) 内装部品	素材確保	王子HDのCNFフィルム使用	○
		物性確認	TP試験実施 物性確認	○
	自動運転対応した操作系	内装部品試作(成形技術)	熱プレス成型により平板を試作	△
		機械的接続(ステア)	設計済 3次元CAD検討済	○
		機械的接続(ブレーキ)	設計済 3次元CAD検討済	○
		スペース確保(ステア)	設計済 3次元CAD検討済	○
	コネクテッドシステム	スペース確保(ブレーキ)	3次元CAD検討済み	○
		車両情報表示	androidOSにて試作、評価済	○
		車両情報記録	androidOSにて試作、評価済	○
車両情報通信		androidOSにて試作、評価済	○	
48Vモータ駆動ユニット	モータモジュール	モーターメーカーと共同実施 走行済	○	
	減速比30ギアボックス	内製ギアケース作成 走行済	○	
	低圧電池パック	リユースLi電池使用 走行済	○	
4輪独立駆動制御システム	車両制御コンピューター	機能安全+独自ソフトウェア 走行済	○	
	複数モーター制御	4輪8モータ CAN接続 走行済	○	
ニーズへの 対応	中型自動車への適合	全長7000mm以内 全幅2500mm以内 最低地上高150mm以上 乗車定員29人以内	全長6950mm(CAD設計値) 全幅2298mm 最低地上高250mm(空車時) 乗車定員23人	○
	車椅子対応	通路幅800mm以上 フラットキャビン	通路幅800mm(最小部) 車椅子部分はフラット	○
	その他	室内高 1750mm以上 椅子幅 380mm以上 ドア幅 800mm以上	室内高1848mm(主要部) 室内高1769mm(最小部) 椅子幅 411mm(最小部) ドア幅 852mm	○
	自動運転への対応	自動運転対応した操作系 を参照		
	コネクテッド対応	コネクテッドシステム を参照		
	快適性	振動	駆動系防振マウント 走行確認済	○
		騒音	伝達再放射音なし、ギア直接放射音あり	△
		遮熱	発砲コアサンドイッチ構造ルーフ製造	○
		風除け	ウインドシールド装備 走行確認済	△
		雨除け	雨天時に側窓から雨がに入る 走行確認済	×
利便性	乗降性 250mm以下	一段当たり250mm	○	
	通路歩行	試作車にて評価 問題なし	○	
	非常ドアへのアクセス	試作車にて評価 容易	○	
電動駆動系	走行性能	最大速度60km/h以上	58km/h ほぼ設計値 走行確認済	○
		電費取得(50km/h定常)	5.0km/kWh(40km/h定常 空車) 4.5km/kWh(50km/h定常 計算値による推定)	○
		航続距離100km/h以上	206km(40km/h定常 空車) 184km(50km/h定常推定 空車)	○
	重量	重量(見積もり2163kg)	2070kg(一部部品が無い状態)	△
		前後重心位置取得	前輪1024.5kg 後輪1046.5kg	○
		重心高さ	未取得	未
傾斜路	登坂角度	スロープ登坂10.5%実績 限界値未取得	未	
	発進/停止角度	スロープ登坂10.5%実績 20%未取得	未	
充電時間	200V×20V普通充電	未取得	未	
※走行試験時条件 8モータ、4電池パック、乗員1名				

技術開発項目概要

主要な技術開発成果についての概要を下記に一覧で示す。詳細については、次ページ以降に示す。

主たる技術課題と技術成果一覧

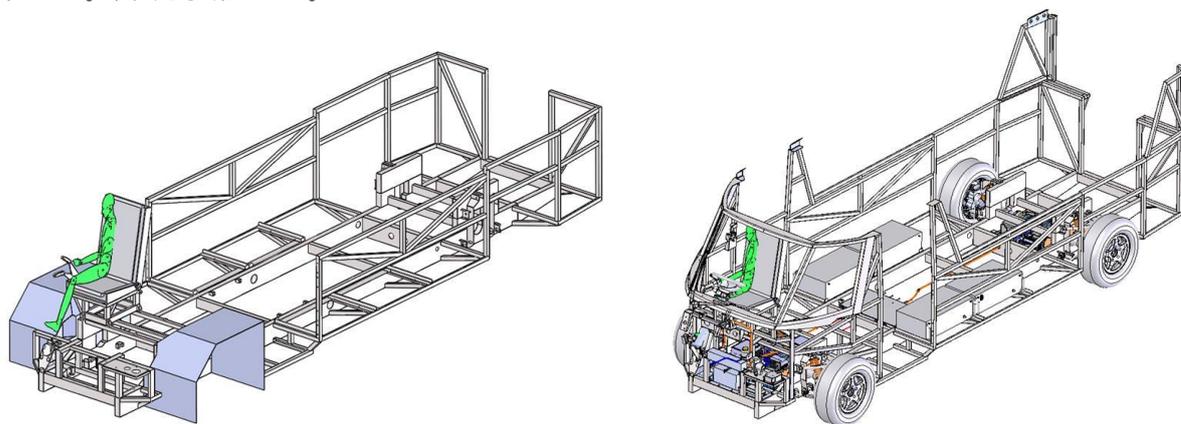
技術課題	手法(達成目標)	主たる技術成果
ASSYコスト削減 軽量化	シンプルラダーフレーム の開発	薄肉大断面ラダーフレームの 設計試作を実施 治具レス高精度組み立て手法の確立 FRPパネルの剛接合による ハイブリッドモノコック構造の実現
意匠の検討が必要 高精度な製造が必要 自動車用に軽量化	軽量高遮熱 プラスチックキャビン の開発	3次元デジタルデータによる、 意匠、設計、試作、手法の確立 発砲コアサンドイッチ構造による 軽量と高遮熱の両立
環境負荷低減 成形性や物性の確認	CNF (セルロースナノファイバー) 内装部品	CNF/PP/CNFサンドイッチ構造の 曲げ剛性向上の効果確認 上記構造による試作品を 車両内装に採用
自動運転ニーズ への対応	自動運転対応した操作系	当社にて実績のある自動運転システム (ステアサーボ、ブレーキアクチュエー タ、LiDAR)の取り付けのための改造が 可能な事を確認
遠隔での リアルタイム 車両情報収集	コネクテッドシステムの 開発と搭載	一台の機器で、 車両情報表示、車両情報記録、 車両情報通信、を実現
排気ガスゼロ 高い安全性 (R100認証不要)	48Vモータ駆動ユニット (大減速比、分散モータ)	サプライヤと共同でモータを試作評価 モータを複数接続できる 大減速比のギアボックスを開発 リユースリチウムイオン電池セル を用いた電池パックを開発
デファレンシャルと プロペラシャフトの 排除による低床車両	4輪独立駆動制御システム	堅牢な車両用コンピュータに対して、 当社独自のプログラムを構築し、 試験走行に成功 4輪を独立してトルク制御可能で スムーズな走りを実現

開発項目詳細

シンプルラダーフレーム

曲げ強度と低床を両立するために、FEM 解析を実施し、最適化を行った。シンプル化の目的も考慮し、2本の 200mm×60mm×t=2mm の薄肉角鋼管を車両の前後に通貫させる構造とした。このラダー構造で縦曲げに対抗するとともに、前後からの衝突荷重に対しても効率よく対処する。また、FRP 製の床板等をラダー構造に構造用接着剤とリベットにて剛結合することで、水平面内のせん断荷重を負担させるハイブリッドモノコック構造とした。水平面内のトラス(筋違)を排除できるため軽量化と製造のシンプル化に有効である。

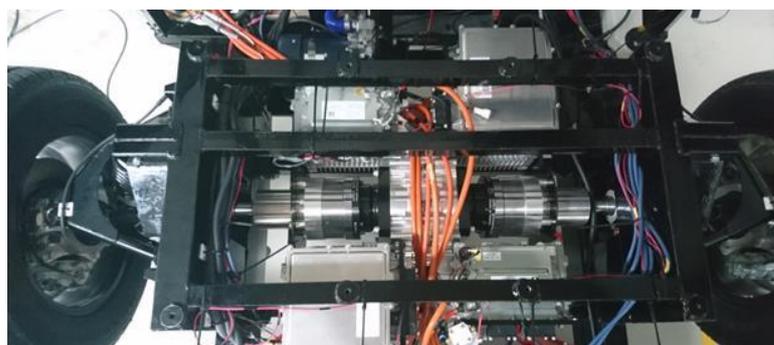
サスペンション、駆動モジュール、等の荷重はラダーフレームに入力する。電池パックは椅子下に搭載し、駆動ユニットとジャンクションボックスは防水化して床下に搭載することで、スペース効率に優れた一般配置を実現した。椅子を支える車体外周のカゴ状の鋼材構造は、可能な限り水平垂直に設計し、製造を容易とした。下図を参照のこと。



ラダーフレーム 3次元 DMU(左)、シャーシ全体(右)、



ラダーフレーム(左)、FRP 床面の剛結合(右)



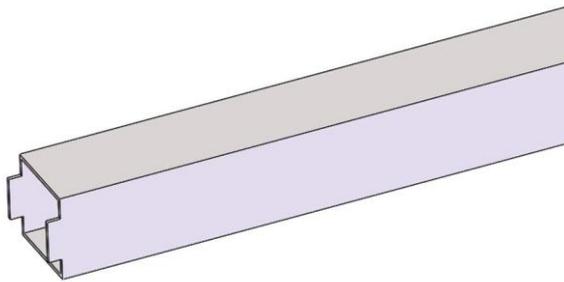
組み付け過程 床下の駆動ユニット

パワーステアリングシステムについて、重量級車両に対応した電動パワーステアリングシステムは市場に存在せず、専用システムを開発する必要がある。リスク回避の点から、既存の油圧パワーステアリングギアボックスを利用し、油圧ポンプを電動駆動する、油圧/電動パワーステアリングシステムを開発した。試走により機能確認を実施した。下図参照のこと。



油圧ポンプ及び油圧配管、電動モータ及び配線

高精度な溶接を簡素な方法で確保するために、鋼材をレーザーカットする際に、凸凹やホゾを作りこんでおき、パズルのような嵌め合いで仮組する「治具レス溶接」手法を開発した。結合位置精度はレーザーカット加工公差+素材板厚公差を合わせて、 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内で実現可能。下図参照のこと。



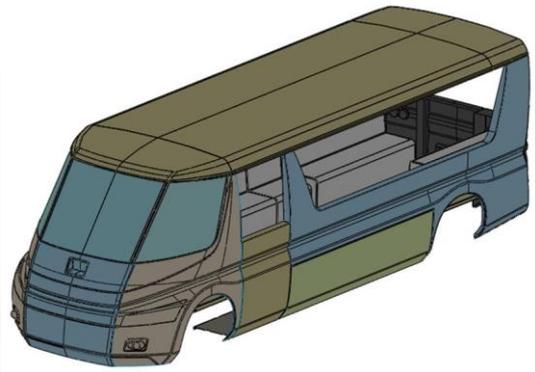
治具レス溶接 設計(左) 製造(右)

軽量高遮熱プラスチックキャビン

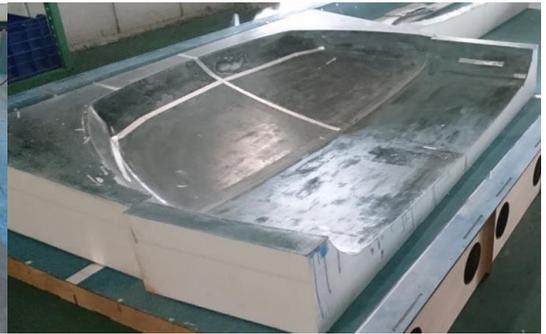
当社の標準的な車両外板の製作方法は、1/1 マスターを手加工しながら意匠デザインを決定し、1/1 マスターから反転型の作成、製品の作成、の順である。しかし、車体が大きい事と開発スケジュール短縮のため、新たな手法に取り組んだ。以下に示す。

- 1 3次元デジタルデータにて意匠モデルを複数作成し、映像でデザイン評価
- 2 意匠モデルデータを活用し、3次元製造モデルを設計
- 3 3次元製造モデルのデータを用いて、直接に簡易メス型を製造(CAD/CAM システム)
- 4 簡易メス型により製品を製造

これらの手法により、開発期間と材料の大幅短縮と、CAD/CAM 製造による高精度な部品製造を行った。また運転席の視界、ドア開閉の動作、等の検証をデジタル空間で実施し、試作車の完成度を高めた。下図を参照のこと。



デジタルデータによる、3次元意匠モデル(左)、3次元製造モデル(右)



CAD/CAM 製造による簡易メス型、木部(左)、発砲フォーム切削部(右)

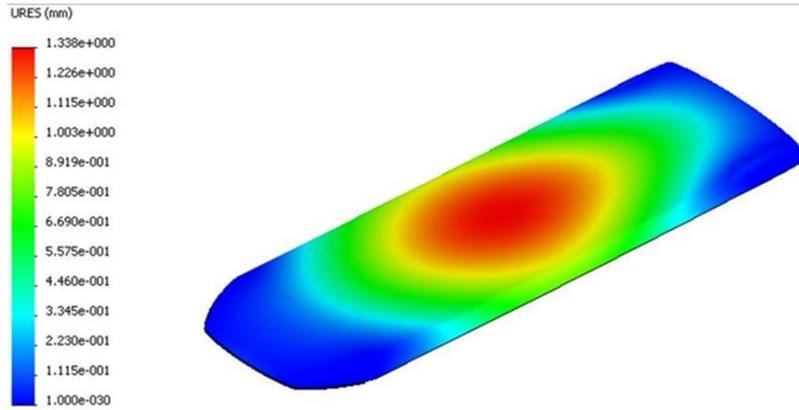


簡易型による GFRP 成形品

屋根部分は FEM 解析により、GFRP サンドイッチ構造のみで十分な剛性を確保できる目途があったため、金属フレームを無くし、軽量化した。また、屋根フレームレスのため車内を立って歩ける室内天井高さとして 1850mm を確保しつつ低車高を実現した。また、サンドイッチ構造のコア材には、フォーマック(アクリル系独立発砲フォーム)を 30mm 用いることで、高い遮熱性を確保した。コア材の熱伝導率は 0.0238W/mK であり、一般的な住宅用断熱材よりも高い性能である。

その他の部分の外板は当社の津波対策シェルターで実績のある GFRP サンドイッチ構造をベースに大幅に積層構成を簡略化及び薄肉化した。発砲フォームコアやコアマットを挟み込んで成形してサンドイッチ構造とすることで十分な面外剛性やネジリ剛性を確保した。下図を参照のこと。

条件 周辺ソリッド t=5mm 一般部サンドイッチ 2.5mm/30mm/2.5mm 上下4G 前後支持
結果 最大変位 1.3mm



ルーフ剛性解析



ルーフ(室内側)

屋根は 6.5m×2.1m の一体成型、サイドパネルは 5m×2.1m の一体成型と、大型一体成型技術を用いることで、組み立て精度確保、接合部(強度不安箇所)の削減、部品点数削減、ASSY 工数削減の効果があった。また、船舶に用いられる材料であり、塗装等によらず本質的に耐久性が高く、メンテナンスコスト削減の見込みである。下図を参照のこと。



GFRP の大型一体成型技術

ウインドスクリーンは、ポリカーボネート素材に対して両面を表面硬化処理を行い、2次元曲げをして弾性接着剤にて固定した。印象的な意匠を盛り込みつつ、軽量さ、低コストさ、を達成した。また、運転手の着座位置からの、前方及び側方の視界、バックミラーを介した車両側面及び後方視界、視界のゆがみ、について問題のない事を確認した。下図を参照のこと。



表面硬化ポリカーボネート製ウインドスクリーン (ドライバー視点からの写真)



表面硬化ポリカーボネート製ウインドスクリーン (外からの写真)

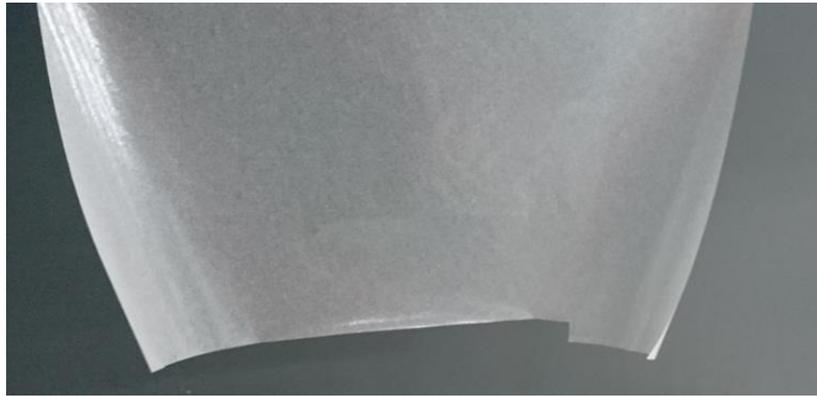
バス等の旅客輸送車両には、室内灯の装備が必要である。消費電力低減のために、LED 照明を検討した。中央通路の室内高を犠牲にすることなく灯火を配置するために、ルーフの両サイドに細長い照明を並べる設計とした。照明器具として、静岡県内の車両用 LED 灯火の主要企業である株式会社日星工業製のスリムライトを用いた。下図を参照のこと。



日星工業製スリムライト(12V) 連結して使用可能

CNF(セルロースナノファイバー)内装部品

本年度の時点では CNF は高価で入手性が悪いことが分かった。わずかな分量で物性の向上が図れる手段として、樹脂の板の両面に薄い CNF フィルムを接合し、サンドイッチ構造を構成することにした。引張方向には、CNF の含有比率分しか強度や剛性は向上しないため効果は薄い、曲げ方向に対しては表面付近の素材の影響が大きいと見込める。フィルム状 CNF は下図を参照のこと。



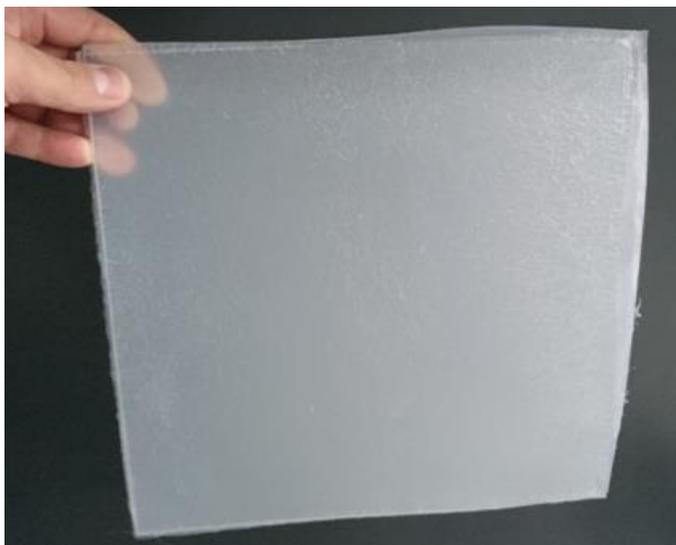
CNF フィルム

CNF フィルム/PP(4mm)/CNF フィルムの強度試験用テストピースを成形した。部品製作の際に、樹脂板の成形と CNF フィルムによるサンドイッチ構造化を同時に実施できるように、熱プレス成型とした。熱プレス成型は静岡県森町にある株式会社キャップの保有する TAM 成形機により精密に温度を管理し実施した。静岡県の浜松工業技術支援センターにて、PP 単板と CNF/PP/CNF サンドイッチ板の、引張試験と 3 点曲げ試験を行い、物性を比較した。引張試験結果に有意な差は見られなかった。サンドイッチ板に占める CNF の体積比率は約 2.5%であるため妥当である。曲げ試験結果については、曲げ強度、曲げ剛性ともに向上した。特に、曲げ剛性については、平均で約 20%の向上が確認できた。下図を参照のこと。

材質	曲げ強度(MPa)		曲げ弾性率(Gpa)	
	PP	PP+CNF	PP	PP+CNF
1	45.04	46.25	1.531	1.720
2	45.15	48.95	1.490	1.622
3	44.40	47.65	1.416	1.840
4	44.36	48.29	1.406	1.857
5	45.15	46.90	1.503	1.717
平均	44.82	47.61	1.469	1.751
標準偏差	0.362	0.961	0.049	0.087
最小	44.36	46.25	1.406	1.622
最大	45.15	48.95	1.503	1.857
材質	引張強度(MPa)		引張弾性率(Gpa)	
	PP	PP+CNF	PP	PP+CNF
1	30.69	29.54	1.324	2.002
2	31.49	29.54	1.651	1.349
3	31.77	29.98	1.525	1.422
4	30.15	30.47	1.353	1.257
5	30.27	30.87	1.944	1.344
平均	30.87	30.08	1.559	1.475
標準偏差	0.649	0.523	0.226	0.269
最小	30.15	29.54	1.324	1.257
最大	31.77	30.87	1.944	1.475

テストピース試験結果

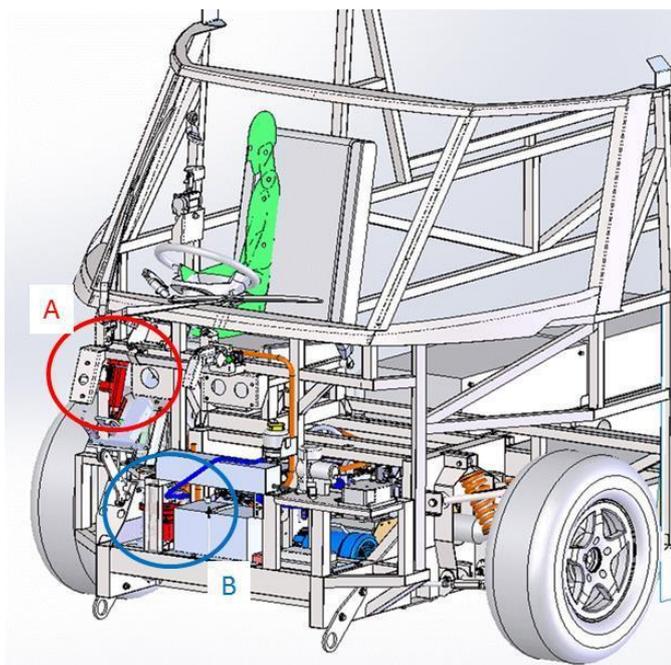
室内の化粧パネルは、曲げ剛性が設計要件となるため、CNF/PP/CNF サンドイッチ構造の特性が有効に活用できる。形状については、テストピース成形の際に、線膨張差によるシワなど課題があったため、成形の容易な平板とした。CNF フィルム/PP(2mm)/CNF フィルムのサンドイッチ構造による、室内化粧パネル(平板)を試作した。下図を参照のこと。



試作した CNF/PP/CNF サンドイッチ板

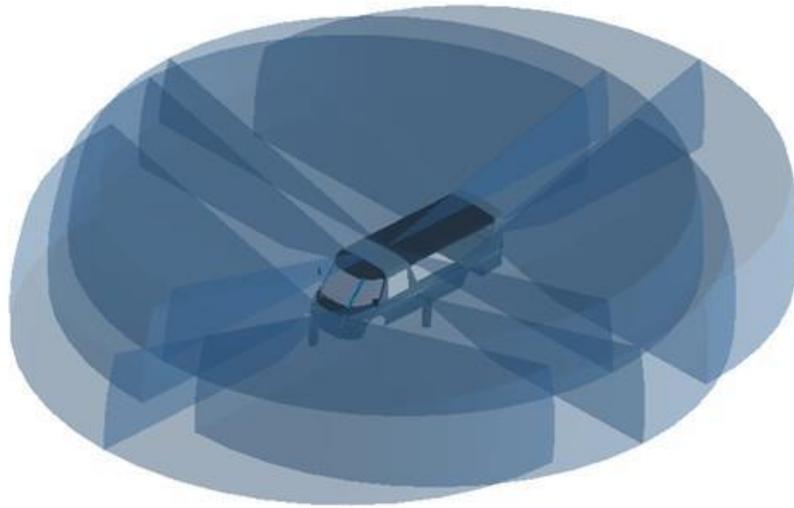
自動運転に対応した操作系

手動操縦装置を残した自動運転に対応した操作系を構築するために、当社で実績のある方法として、ステアリング及びブレーキペダルにアクチュエータを追加する設計検討を行った。あらかじめアクチュエータの操作力を入力できるハードポイントを設け、アクチュエータの搭載スペースを確保する。3次元 DMU(デジタルモックアップ)にてアクチュエータをモデル化して組み込むことで、上記を評価する。手動操縦装置とアクチュエータの共存が可能であることを確認した。下図を参照のこと。



A:ブレーキペダル操作アクチュエータ B:ステアリング操作アクチュエータ

また、自動運転走行時に周辺監視や自己位置推定に必要な LiDAR(光測距センサ)の配置を検討した。下図を参照のこと。



LiDAR 視野のシミュレーション図

コネクテッドシステム

3つの機能を持つコネクテッドシステムを開発した。ハードウェア下図参照のこと。



コネクテッドシステム 車載状態

1つ目は車両情報表示(メーター)の機能。

保安基準上必要な速度計を始めとし、SoC(電池残量)、Ready 表示、トランスミッション(D/N/R)、ターンシグナル表示、各種エラー表示、積算距離計表示を行う。下図参照のこと。



表示機能

2つ目は車両情報記録(タコグラフ)機能。

旅客輸送業に用いる車両には、速度等の記録をする義務が課せられる場合がある。また、本車両はモータ数や電池パック数が多く、異常時に速やかに原因を追究するためにも、各要素部品の動作状況を記録しておくことが望ましい。また、本車両は試作車であることから、試験走行時の運動性能として、速度、加速度、位置、方位、を定量的に記録し評価することが望ましい。上記の情報は毎秒10回のサンプリングレートでシステム内に記録されると共に、画面に表示することも可能である。記録する内容と表示画面について下図を参照のこと。

取得元	項目名
CANデータ (CAN ID 0x761~0x768)	モーター温度 1から8
	インバーター温度 1から8
	モーター回転数1から8
	ファン動作 1から8
	モーターエラー 1から8
CANデータ (CAN ID 0x771~0x776)	電池温度 1から6
	電池電圧 1から6
	電池電流 1から6
	電池SoC 1から6
	電池エラー 1から6
スマホ内蔵センサ	GPS 緯度
	GPS 経度
	GPS 高度
	GPS 速度
	GPS time
	コンパス (方位)
	加速度 X
	加速度 Y
	加速度 Z
エンジニアリング画面入力	車両ID
	運行パターン
システム	システム日付

記録される車両情報



The screenshot shows a 'MeterDisplay' application interface with a table of battery data for six units (No.1 to No.6). The table columns are: 電池温度 (Battery Temperature), 電池電圧 (Battery Voltage), 電池電流 (Battery Current), 電池SOC (Battery SOC), and 電池エラー (Battery Error). All values are currently 0.0.

	電池温度	電池電圧	電池電流	電池SOC	電池エラー
No.1	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0
No.2	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0
No.3	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0
No.4	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0
No.5	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0
No.6	0.0 °C	0.0 V	0.0 A	0.0 %	0

車両情報表示画面(一部抜粋)

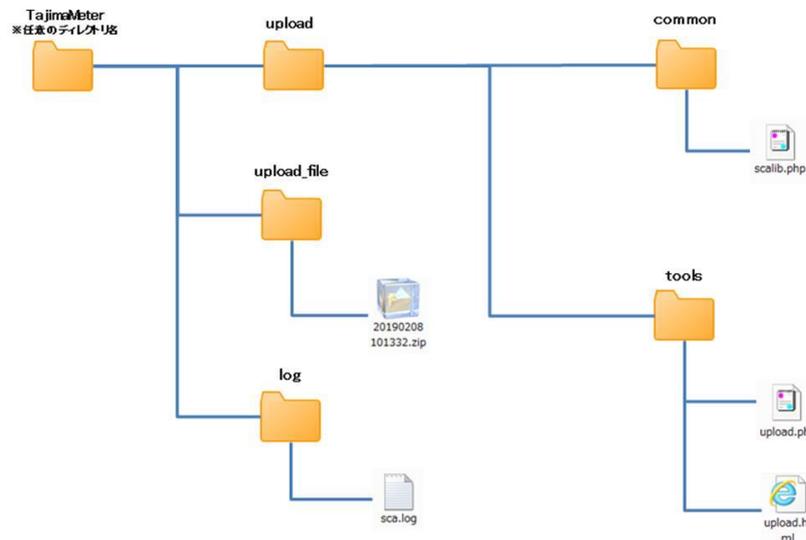
3つ目は車両情報通信(コネクテッド)機能。

地域の移動手段としての利便性を向上させるために、バスが今どこにいるのかを、利用者が個人のスマートフォンなどで確認できることが望ましい。そのためには、バス側から現在地等の情報を、走行中に無線でサーバー等に送信する必要がある。

また、バス事業者側は、バスの運行状況を適切に把握し、乗り心地、法定順守、定時性、電池残量、異常時対処、等のサービスを向上させる必要がある。そのためには各車両からのリアルタイムの車両情報が必要となる。特に自動運転を行う際には重要となる。記録する内容とサーバーのフォルダ構成について下図を参照のこと。

取得元	項目名
CANデータ (CAN ID 0x701)	Vehicle_Speed(車速)
	モーター温度
	Shift Position
	12V電源
	充電状態
	Ready
CANデータ (CAN ID 0x711)	モード状態
CANデータ (CAN ID 0x721)	SOC
	電圧
	電流
CANデータ (CAN ID 0x750)	WRNアイコン
	WRN文字
内部処理で取得	ODDメーター値
スマホ内蔵センサ	GPS 緯度
	GPS 経度
	GPS 高度
	GPS 速度
	GPS time
	コンパス (方位)
	加速度 X
	加速度 Y
	加速度 Z
エンジニアリング画面入力	車両ID
	運行パターン
システム	システム日付

無線送信される車両情報



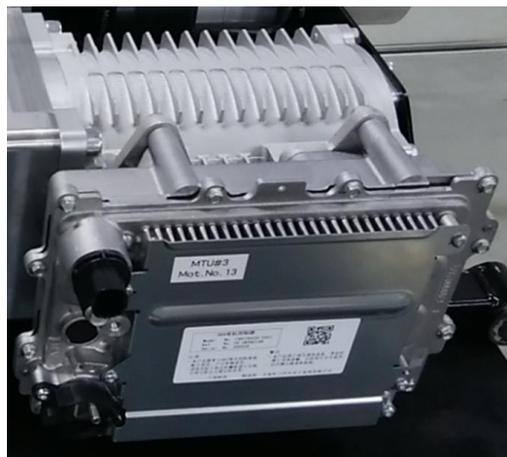
データ保存のためのサーバーのフォルダ構成

48V モーター駆動ユニット

国内大手電機メーカーが試作中の 48V モーター/インバータユニットを用いた。相互に仕様を確認し、調整を行いながら、両者立ち合いの元に、開発中のバスの VCU(車載コンピュータ)から制御することに成功した。テスト用の接続ボードを用いて、前進、後進、最大回転数、回生、非常停止モード、などを確認した。下図参照のこと。



テスト用ボード



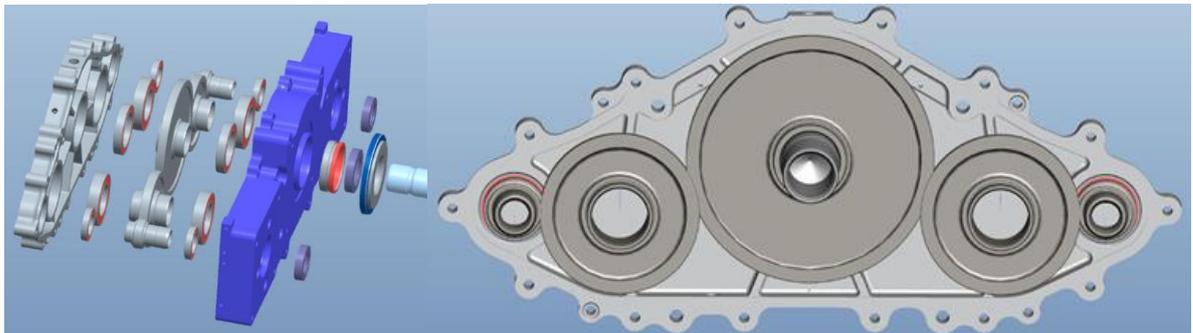
モーター/インバータユニット(詳細仕様の開示不可)

モジュール設計思想に基づき、小型のモーター/インバータユニットを、車体重量に合わせて数を配置して必要な出力を確保するギアボックスを開発した。各輪あたり2モーター(前後各4モーター)、合計8モーターのシステムとした。8モーターは本システムの最大モーター数であり、個数を減らすことで、より低速な車両や小型の車両にも用いることが出来る設計である。モジュールはサブフレームに固定され、サブフレームは車体に

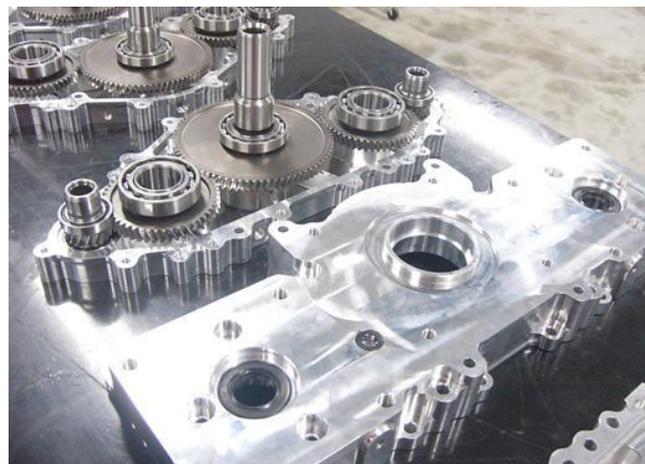
防振搭載することで、振動の車内への伝達を防いでいる。また、モジュール全体を防水仕様として床下に搭載し、客室スペースを圧迫するのを防いだ。下図参照のこと。



ギアボックスにより連結された4モータユニット これを前後に2ユニット搭載する
ギアボックス詳細については、各輪あたり2モータの動力を連結してドライブシャフトに出力、小型のモータの採用、モータの高効率化、の目的のために大減速比(約30)の2入力1出力2段減速器を開発した。大減速比で想定されるギア騒音を低減させる目的で、ハスバ歯車を用いた。下図参照のこと。



減速器3次元モデル 全体図(左) ギアトレーン設計(右)



組み立て中の試作ギアボックス

モジュール設計思想に基づき、同型の電池パックを複数用いる設計とした。合計4つの電池パックを並列接続するシステムとした。各電池パックは個別で使用可能であり、個数を減らすことで、より低速な車両や小型の車両にも用いることが出来る設計である。各電池パックの定格は、電圧 52.5V、電流容量 195Ah、容量 10.24kWh、最大出力 390A、重量 94kg である。フォーアールエナジー製のリユース電池セルを採用することで、高性能のラミネート型リチウムイオン電池セルを用いながら、低コストを実現した。初期評価用の1個と、車載用の4個、合計5個を製造した。

電池パック内には、温度センサ、電流センサ、電圧センサ、BMS(バッテリーマネジメントシステム)、ヒューズ、を搭載し、安全な運用を可能とした。内部構造の詳細については開示不可。外観について、下図参照のこと。



電池パック

電池パックの車両への搭載は、サイドハッチを開けて外から容易にアクセスが可能、主動力と信号の両方にコネクタ接続を採用、とすることで、安全な作業性を確保し、また電池の入れ替えなども可能とした。搭載高さは水没時の安全性などを考慮し、床面より上に設置した。電池パック下面の地上からの高さは、空車時 450mm(実測)、満員乗車時に 400mm(設計値)である。



サイドハッチ(開き状態)と電池パックの搭載状況

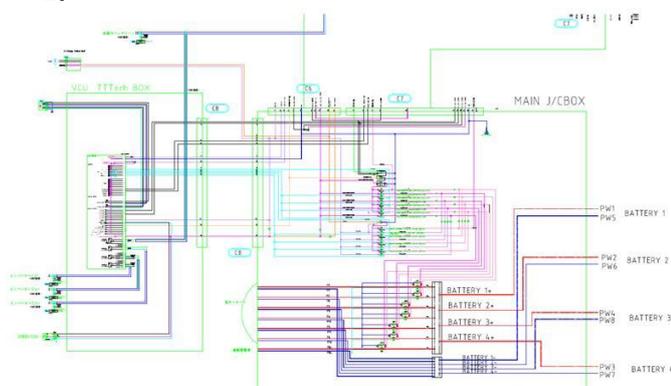
4 輪独立駆動制御システム

防水防塵の堅牢な車載 VCU に独自のプログラムを開発した。プログラムを保有していることから継続的な機能拡張が可能である。また、本 VCU は機能安全を確保する専用基板が内蔵されており、信頼性が高い。VCU と主要な要素部品は自動車業界標準の耐ノイズ性能が高いシリアル通信である CAN によって接続し制御されている。下図参照のこと。



堅牢 VCU(車両制御ユニット)

8 個のモータは 4 つの指令系統に分かれ、4 輪を独立制御が可能である。前後左右のタイヤは機械的に接続されておらず、各輪は回転トルク目標に対するサーボ追従制御のため、低速でもスムーズな旋回が可能である。また、デファレンシャルギアを用いない方式のため、泥濘や雪道でも 4 輪が駆動力を確実に発揮できる。下図参照のこと。



回路図概要

VCU からの指令に基づき、電池パック 4 個、モータ/インバータユニット 8 個、各種補器、に電力を供給するジャンクションボックスを開発した。モータ/インバータへの電力供給は、メインコンタクトとサブコンタクトを用いて突入電源を防ぎつつ、異常時には VCU からの指令で電力供給を遮断できるシステムとした。車載状態でもジャンクションボックスを開けて整備できる、防水仕様として床下に格納することで乗客スペースを圧迫しない、という特徴がある。下図参照のこと。



床下搭載状態の防水ジャンクションボックス(整備フタを開けた状態)

中型自動車への対応

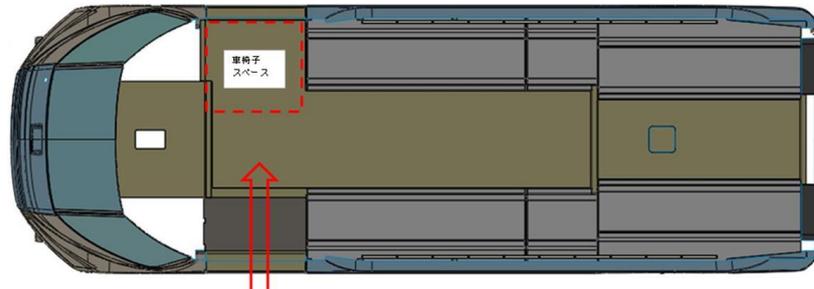
寸法は、長さ 6950mm(CAD 設計値)、幅 2298mm(実測値)、最低地上高 250mm(空車時)であり、基本的な仕様は中型自動車を満たす。

乗員数は、計画通り、乗客用座席 20 人分、乗客用立ち乗りスペース 2 人分(もしくは車椅子 1 台

分)、乗員座席 1 人分、の 23 人乗りである。

車椅子対応

中央に通路が縦貫する。通路幅は、主要部が 950mm、最小部で 800mm、となっている。車椅子スペースはサイドドアから入った最短距離に確保し、一般乗客の動線と分離している。車椅子の移動部分の床はフラットである。下図参照のこと。



車椅子スペース位置

歩道(段差 150mm)からフロアまで、装備するスロープ(1800mm)を設置した際の傾斜は約 8 度である。下図参照のこと。



歩道相当高さから車椅子用スロープを設置した様子

その他

室内高は、主要部で 1848mm(実測)であり一般的な身長乗客が立って移動するのに問題ない事を確認した。後部座席の部分は、1769mm(実測)となっており、目標値以上ではあるが、やや圧迫感がある。椅子の幅は各 411mm(最小部)以上確保しており、運輸車両法上問題ない。

サイドドアの幅は 852mm である。自走用車椅子に必要な幅(約 750mm)、介護用車椅子に必要な幅(約 650mm)、を上回っている。

快適性

振動・騒音に関しては、駆動ユニットをサブフレームに固定したうえでラダーフレームに防振マウントした。固体伝達によるパネル共振などは発生しない事を確認した。4 輪ダブルウィッシュボーンサスペンションにより、しなやかな乗り心地を確保している。下図参照のこと。



サスペンション及び操舵系

遮熱に関しては、発砲コアフォームサンドイッチ構造により、高い断熱性を確保する設計ではあるが、走行試験を実施したのが冬季であったため、効果を確認できなかった。

風よけに関しては、運転手にはフロント及びサイドのウインドシールドを装備した。乗客用のサイドウインドは本試作では設定しなかった。事業者によってはサイドウインドを要求とすることが考えられるため、オプションで設定できるように窓枠部分に十分な寸法余裕を確保した。下図参照のこと。雨については、屋根からの滴下が室内に入らないような設計考慮をした。



サイドウインドウ窓枠部分

利便性

ステップは、一段目が地上から 243mm(設計値)、フロアが地上から 417mm(設計値)に抑えられており、一段の幅は 250mm 以下であり乗り降りが容易である。

中央に通路が縦貫する。通路幅は、主要部が 950mm、最小部で 800mm、となっている。横向き設置の両サイドの椅子に乗客が座った状態でも、通路歩行に問題ないことを確認済。通路の後端は非常ドアとなっている。下図参照のこと。



ステップ(左) 通路(右)

走行性能

静岡県小笠山総合運動公園(通称 エコパスタジアム)の第9駐車場を貸し切って走行試験を行った。整備の都合等から、フロントパネルは取り外した状態で走行を行った。下図を参照のこと。最高速度について、58km/hであった。モータの回転数を12000rpm(60km/h相当)で制限しているため妥当である。エコパスタジアムの350m程度の直線を最大加速で5往復したが、周囲気温17度に対してモータ温度23度であり昇温は6度であった。駆動系の上限温度に十分な余裕があることと、電力から駆動力へのエネルギー変換の効率が高いことが確認できた。

電費について車両速度が40km/h一定の条件で取得した。直線距離が限られているため50m/h一定での走行と計測は困難であるため。電費は5.03km/kWhである。搭載電池の定格容量は、40.95kWhであるため、電費から計算される航続距離は206kmである。

満車状態での推定重量は約1.8倍となるため消費電力も増加する。電池は容量の70%程度の範囲での運用が寿命の観点から好ましい。この2点を盛り込んだ場合の推定航続距離は80kmとなる。

50km/h一定での電費について、30km/h一定、40km/h一定、の電費を元に、2次関数として推定すると、4.5km/kWhとなり、推定航続距離は184.3kmとなり、目標の100kmを超える見込みである。スムーズで容易な加減速と旋回、既存ディーゼル車両に比べて低振動を確認した。



エコパスタジアム 第9駐車場を走行中の様子



走行中の運転席の様子



走行中の、操舵系、車輪、サスペンション、の様子

重量

車両重量(乗員乗客なし)は、1950kg を目標として開発したが、設計段階の積算見積もりで 2163kg と推定された。設計重量の増加と別途モータ最大出力の低下の懸念があったため、変更届によりモータ使用数を 6 個から 8 個に増加させ、加速性能の維持を目的とした設計変更を行った。試作後の実測では、走行試験段階で 2070kg の結果であった。フロントフェンダー等の一部部品が無い状態での試験であったため、完成状態では設計見積もりに近い重量となる。ライバルと想定した同等規模のディーゼルエンジン搭載路線バス(日野自動車ポンチョ)の車両重量(乗員乗客なし)が 5186kg なのに対して、十分に軽量である。重量の前後配分は、前輪 1024.5kg 後輪 1046.5kg であった。

傾斜路

トレーラーへの積み込みの車載スロープ(勾配 10%)を自走し評価した。走行、停止、発進、が可能である。20%傾斜での停止試験については未実施である。下図参照のこと。



車両と車載スロープ

充電時間

モータ/インバータユニットに DCDC コンバータと Charger が組み込まれている。単体での充電機能確認を実施した。しかし、試作車での充電時間取得試験は未実施である。

3 事業化に向けて

車両について

試作した車両は、性能評価終了後に内外装の仕上げを行い、2019年5月頃から販売促進用のデモンストレーションに活用し、試乗会などを通して事業者にEVバスの特性の認知を広げる計画である。また、保安基準への確認及び登録作業を進める。当初は速度を20km/h未満に制限し、保安基準の低速緩和要件での登録を目指す。

また、自動運転への対応を当初より考慮したEVであり、車両制御も当社が開発しており改造が容易なことから、自動運転車両としての事業化も可能である。

車両の各部品の外部向けの図面を整備して、サプライヤーに製造参加を求める。

また、本事業の23人乗り電動バス用に開発した要素部品のうち、以下に関しては単独での発売、もしくは他車種への展開が可能と考えている。

48V モーター駆動ユニット

モジュール式设计のため、開発した大減速比ギアボックスに接続するモーターの個数を変えることで、様々な車両に搭載可能である。車両コンピュータへの情報接続も自動車業界標準のCAN(拡張性の高い汎用通信規格)のため、移植が容易である。

開発した技術を用いて検討している車両は以下である。

8モーター：23人乗りバス

4モーター：23人乗りグリーンスローモビリティ(20km/h未満)

2モーター：8人乗りグリーンスローモビリティ(20km/h未満)

2モーター：2人乗り超小型モビリティ規格パーソナルカー

2モーター：1人乗り超小型モビリティ規格デリバリーカー

下の写真は、開発中の1人乗り超小型モビリティ規格デリバリーカーのデザインスケッチである。



計画中の車両

48V リチウムイオン電池パック

モジュール式设计のため、個数を変えることで様々な車両に搭載可能である。車両コンピュータへの情報接続も自動車業界標準のCAN(拡張性の高い汎用通信規格)のため、移植が容易である。また、リユース電池セルを用いており、価格競争力がある。

開発した技術を用いて企画している車両は以下である。

4パック：23人乗りバス

2パック：23人乗りグリーンスローモビリティ(20km/h未満)

2パック：8人乗りグリーンスローモビリティ(20km/h未満)

1パック：2人乗り超小型モビリティ規格パーソナルカー

1パック：1人乗り超小型モビリティ規格デリバリーカー

1パック：道路測量車、キャンピングカーなど、当社の特装車事業部での電源としての利用

コネクテッド機器

パネルモジュール式设计のため、様々な車両に搭載可能である。車両コンピュータへの接続も自動車業界標準の CAN (拡張性の高い汎用通信規格) のため、移植が容易である。ソースファイルを保有しておりソフトウェアの変更だけで機能拡張できるため、顧客に合わせた柔軟な対応を低コストで行うことが可能である。