

開発の目的(背景や動機)

目的

当社が培ってきた電気自動車(EV)の設計開発能力と、独自に企画した浮揚式津波シェルターの開発で得た大型 FRP(ガラス繊維強化プラスチック)構造物の低コスト一体成型技術を下敷きとして、次世代自動車の実用化に必要な技術開発を行うことで、早期の社会課題を実現する。よって「地域内交通を支える小型電動バスの開発」を実施する。



図 4-(1)-1 EV、浮揚式津波シェルターと小型電動バス設計案(右)

ターゲットとニーズ

研究開発の成果を早期に社会に還元するために、既存市場における課題を解決し代替需要を獲得する。初期のターゲットを以下とする。

日本における乗り合いバス事業用向けの車両として

国土交通省作成の「人口減少や少子高齢化の進展と乗合バスのネットワークやサービスの確保・維持・改善」によれば、乗り合いバス事業者の 71%が赤字事業者であり、地方自治体による財政的支援の負担が、特に市町村において年々増加している。

地方の路線バスの経営悪化による路線縮小(平成 20 年度からの 5 年間で 7、231km 減少)が深刻であり交通弱者に困難をもたらしている。経費は、運転手確保のための人件費、燃料油脂費、車両償却費、車両修繕費、となっており、これらの削減が課題である。

また、20 代の大型自動車第 2 種免許保有者数が、40 年前の 1/10 の水準であり、ドライバーの確保が困難となっている点も新たな課題である。

また、乗合バスの乗客数はピーク時の 40%まで低下しており、自治体が運営するコミュニティバスでは小型バス(車長 7m 車幅 2.0~2.3m 乗客 29 名以下)の採用が増加している。

これらの課題を解決するため、「地域内交通を支える小型電動バス」を開発する。

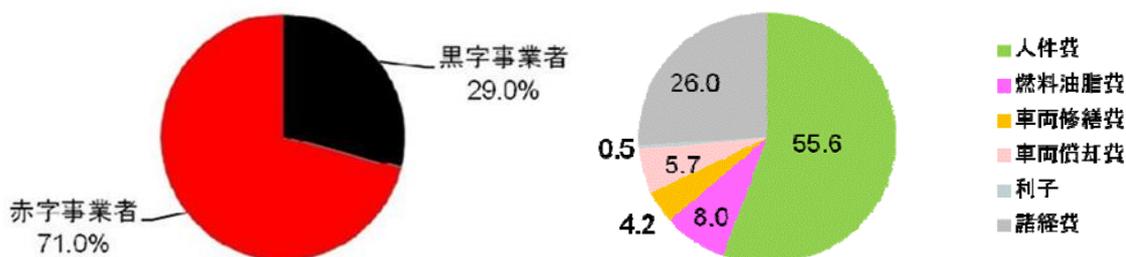


図 4-(1)-2 乗り合いバス事業者の収支状況(左) 営業キロ当たり経費割合(右)

静岡県における同様課題の解決に向けて、平成 30 年度に静岡県による「しずおか自動運転 showCASE プロジェクト」が発足し、当社も超小型モビリティ規格電動車両を用いて参加予定である。自動運転技術の実証や課題抽出等の成果が大いに期待されるプロジェクトだが、現実に静岡県の地域交通に関する社会問題を解決するためには、より輸送力があり自動運転技術の導入がしやすい電動車両が必要となる。「地域内交通を支える小型電動バス」により静岡県内の地域交通維持の

要望に応えることが可能と考えている。

国においては、首相官邸が主導する未来投資会議 2018 での成長戦略として無人自動運転バスを全国 100 箇所に展開することを KPI(主要業績評価指数)に盛り込んだ。全国的にも自動運転技術の導入がしやすい電動車両の需要が発生する。



図 4-(1)-3 「しずおか自動運転 showCASE プロジェクト」発足式の様子(左)
実験車両タジマジヤイアン(右)

コンセプト

コンセプトイメージを図 4-(1)-4 に示す。特徴について以降に記述する



図 4-(1)-4 コンセプトイメージ図

1 シンプル低コスト車体

車両償却費を低減するために、鋼材の金型プレス製造に比較して高価な設備が不要で精度良く製造可能な鋼材ラダーフレームを開発する。

大型部品を一体成形可能な GFRP 成形による部品数の少ないキャビンを開発する。GFRP の大型成形品は静岡県内の他者企業が得意とするボートやプールでも用いられており、静岡県内で量産が可能である。

また、内装材に用いる FRP の強化繊維として、セルロースナノファイバー (CNF) への置換を研究する。CNF は、静岡県で盛んな製紙業で使用するパルプを原料としているため、静岡県で原材料を生産できる可能性が高い。自動車リサイクル法による廃棄段階においても、GFRP よりも安価で環境負荷の無い処分が可能であり、環境保全に繋がる。

2 ニーズへの対応

県内自治体の地域内路線で運用しやすいように、小型バス(全長 7.0m 以下、座席数 29 座以下)の規格とする。また、今後の更なる高齢化に対応するために、椅子での乗車を可能とし県内の分散集落における交通弱者の移動手段を確保する。そのために、電動車両の特性を生かして小型の駆動系を分散配置することで、キャビン内の低床化とフラット化を両立する。一回の充電による走行距離は 100km を目標とする。当該車両の開発拠点である「タジマ袋井国際次世代自動車センター」の最寄りの袋井市自主運行バス路線である「山梨・中東遠総合医療センター線」の一日の走行距離 82.8km(13.8km×3 往復)を上回る水準とした。

また、事業用運用を想定して、コネクテッドシステム(車載無線通信機によるリアルタイム遠隔車

両データ収集)を搭載する。また、将来の自動運転システムに対応できる車両とする。

3 低運用コストの電動駆動系

燃料油脂費を削減するため、効率の良い電動駆動系とする。電動駆動系は、排気ガスの後処理装置等が不要なため、車両修繕費の削減にも効果的である。車両修繕費の削減のため、長期の運用で電池の交換費用が発生しないように、長寿命の電池を採用する。日本においては 2017 年より電池パックの保安基準(国連協定規則第 100 号 以降 R100) が適応され、延焼保護、衝突保護、など防爆施設による大規模な認証試験を行う必要がある。比較的少数生産となるバス車両においては、上記対応の開発費が商品価格に乗れば競争力が無い。また、上記に対応するために強固なバッテリーケースが必要となり重量が増加する。よって R100 認証不要となる 60V 未満の電池システムとする。60V 未満の低電圧に反して増大する電流を分散するため、車輪ごとにモータとインバータを持つ、分散配置が可能な駆動ユニットを開発する。電圧低下はインバータの耐電圧要求を下げインバータコスト低減にもつながる。

当社の強み

1 電動車両(EV)のパワープラントから構造まで、設計と製造の実績

0.6kW の原付規格 4 輪 EV、8kW の超小型モビリティ規格 4 輪 EV、普通車の EV コンバート、1100kW の高性能レース用 EV まで、コンセプト立案、デザイン、解析、設計、製造、登録(ナンバー取得)の実績がある。使用する部品の特性や価格、製造法の特徴について熟知している。設計ノウハウ、シミュレーションツール、製造機械類、があり、開発の実現性が高いと考えている。図 4-(1)-5 を参照のこと。

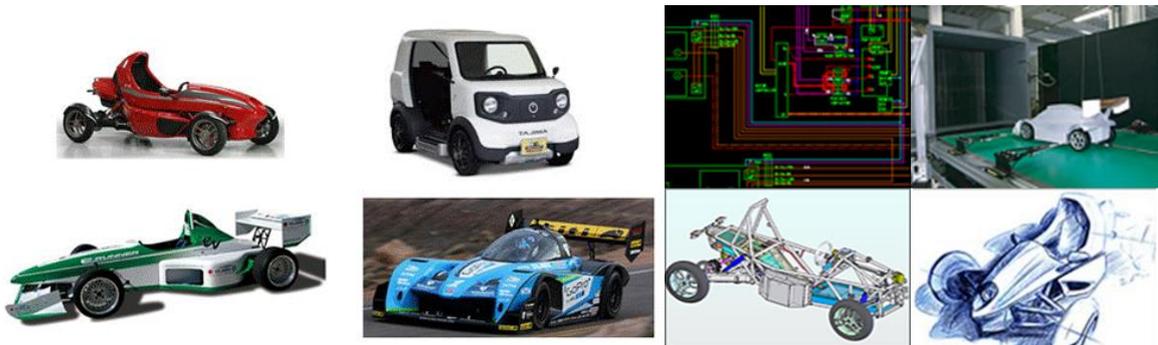


図 4-(1)-5 過去に開発した電動車両群(左) 自社開発の過程(右)

2 大型 FRP 構造の量産実績

浮揚式津波対応シェルターの開発で得た大型 FRP 構造設計技術、生産技術を小型電動バスのキャビンに転用する。シェルターより小型電動バスは寸法が一回り小さい。サンドイッチ構造により、軽量さと十分な強さを両立しており、遮熱効果や、部品数の低減による工数減も見込め、メス型製造のため安定した形状品質を確保可能である。座席配置もシェルターでの実績と共通性がある。図 4-(1)-6 を参照のこと。

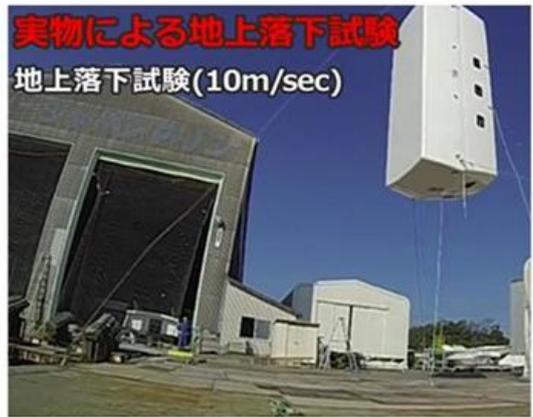


図 4-(1)-6 タジマ 浮揚式津波洪水対策シェルター SAFE+600 シリーズ

3 静岡県内での実証実験の成果を反映可能

電動車両に関する静岡県内の実証実験に積極的に参加してきた実績があり、本年度もタジマジャイアンを用いた実証実験を予定している。過去の実証実験で得た知見を反映できる。

- ・袋井市での電動コンバート車両の実証実験(2011年 (株)NTN と共同)
- ・静岡県「ふじのくに EV・PHV タウン構想」での実証実験(2012年 (株)NTN 静岡県共同)
- ・超小型モビリティ規格 EV「NTN:タジマ」での実証実験(2015年 三重県等)
- ・超小型モビリティ規格 EV「タジマジャイアン」での非接触給電実証(2018年実施中)
- ・超小型モビリティ規格 EV「タジマジャイアン」でのカーシェアトライアル(2018年予定)
- ・超小型モビリティ規格 EV「タジマジャイアン」での「しずおか自動運転 showCASE プロジェクト」への参加(2018/5/28 発足会)



図 4-(1)-7 「NTN:タジマ」を用いた三重県伊勢市での実証実験の様子

4 静岡県内で 30 年に及ぶものづくり実績

当社の研究・開発・設計・製造の拠点は全て静岡県西部の磐田市と袋井市にあり、30年に及ぶ歴史の中で培った地域企業との協力体制により多様な開発業務が可能となっている。表 4-(1)-1 に当社のものづくりに関する沿革を示す。

表 4-(1)-1 当社のものづくり関連の沿革

- 1988年 静岡県磐田郡に研究開発室を開設
- 1990年 静岡県磐田郡に「竜洋ファクトリー」完成
- 1994年 竜洋ファクトリー敷地内に「テクニカルセンター・エンジン動力室」が完成
- 1995年 竜洋ファクトリー敷地内に「テクニカルセンター・モデリングルーム」が完成
- 1997年 竜洋ファクトリー敷地内に「デザイン棟」が完成
- 1997年 竜洋ファクトリー敷地内に国内最大規模の 1/3 スケール風洞実験設備が完成
- 2005年 株式会社タジマモーターコーポレーションへ社名変更

2007年 竜洋ファクトリーにオートクレーブを導入し複合材部品成形を内製化
2010年 竜洋ファクトリーを「静岡磐田 R&D センター」に改称
2015年 静岡県袋井市に「タジマ袋井国際次世代自動車センター」を開設

目標とする研究成果

研究成果として以下を達成することを目標とする。

1 シンプル低コスト車体の開発

以下の開発項目を持つ試作車1台を、設計、試作し、製造費(購入費、工数)を分析する。

- ・必要な強度と高さを最小化した「シンプルラダーフレーム」
- ・GFRP サンドイッチ構造による「軽量高遮熱プラスチックキャビン」
- ・新素材である「CNF(セルロースナノファイバー)内装部品」の搭載
- ・将来の自動運転システムの搭載を可能とする「自動運転対応した操作系」
- ・遠隔でのリアルタイムな車両情報収集を可能とする「コネクテッドシステム」を搭載
- ・分散配置可能な「48V モータ駆動ユニット」とその「4輪独立駆動制御システム」

2 ニーズへの対応

製造した試作車の以下の項目を評価する

- ・小型バス(道路交通法上の中型自動車、道路運送車両法上の普通自動車)への適合を評価する。
- ・車椅子対応部分について国土交通省の「ノンステップバス標準認定」への適合を評価する。
- ・自動運転への対応可否を評価する。
- ・コネクテッド機器の機能を評価する。

代表的な評価基準を以下に示す。

寸法 全長 7000mm 以内 全幅 2500mm 以内 最低地上高 150mm 以上

室内高 1750mm 以上 椅子幅 380mm 以上 ドア幅 800mm 以上

車椅子対応 通路幅 800mm 以上 フラットなキャビンの床

快適性 振動、騒音、遮熱、風除け、雨除け

利便性 乗降性、通路歩行、非常ドアへのアクセス

自動運転対応 ステア、ブレーキ、アクセル、へ電動アクチュエータの介入可否

コネクテッド 位置、速度、電池電圧、のリアルタイムでの遠隔データ集約

3 低運用コストの電動駆動系の開発

試作車の走行試験により以下の評価をする。

最大速度 60km/h 以上 (設計最大速度 71km/h)

重量、前後重心位置、重心高、の取得

登坂能力 15%傾斜路での走行能力確認

電費の取得(50km/h 定常走行等)

航続距離性能 100km 以上 (50km/h 定常走行等)

200V×20V 普通充電による充電時間

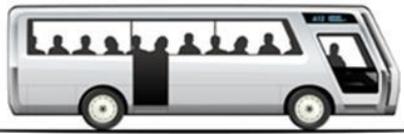
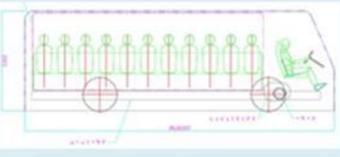
研究開発する製品・技術の比較（新規性・優位性・市場性・他との比較）

市場における優位性

既存のディーゼルエンジンの小型バスと、タジマ超小型 EV ジャイアンと、小型電動バスを比較する。小型電動バスについては、鉛電池を用いた場合と、本開発で用いるリチウムイオン電池の比較を加えた。表 4-(3)-1 を参照のこと。

- ・自動運転への適応性は、応答性の良い加速制御、回生ブレーキによる減速制御、多数のセンサーや制御装置を動作させておくためのバッテリー容量、で EV が有利である。
- ・エミッションや騒音や振動に関しても、EV が有利である。
- ・輸送力に関して、タジマジヤイアンは小型低速で低コストであり自動運転の先行研究を行うには適するが、実用となる輸送力はなく、小型バスが必要とされる。
- ・GFRP キャビンは、型による安定した生産、自由度の高い造形、遮熱、軽量で有利である。
- ・電動駆動系は、左右を貫通する車軸やエンジンが車両後方に存在しないため低床化とフラットフロアの両立が可能で有利である。
- ・燃料費(電気代)で有利である。
- ・車両取得費、燃油費(電気代)、維持費(電池交換コスト)のトータルで、リチウムイオン電池を採用した小型電動バスが最も有利である。

表 4-(3)-1 市場における優位性比較表

比較表	既存の小型バス	タジマジヤイアン	小型電動バス 「鉛電池」	小型電動バス 「リチウム電池」
写真				
自動運転 対応容易性	△(ディーゼルエンジン)	○(電動)		
エミッション	△ポスト新長期規制	○ゼロエミッション		
低騒音低振動	×リアエンジン	○(電動 フロント集約)		
輸送力	△(座席定員18名)	×(2人)	○(座席定員20名)	
フレーム	スペースフレーム	スペースフレーム	ラダーフレーム	
キャビン品質	△手作業板金	○樹脂成型パネル	○FRPサンドイッチ(遮熱性で省エネ有利)	
低床化	○超低床(ノーステップ)	-	△低床(1ステップ)	
フラット化	 ×3段フロア	-	 ○フラットフロア(リア車軸貫通なし)	
燃料費(電気代)	× 363万円		○ 147万円	
電池交換費	無し		× 200万円(4回)	無し
車両取得費	×1500万円	131万円	850万円	1010万円
総コスト(5年)	× 1863万円	-	△ 1197万円	○ 1157万円

※計算条件は以下

1日走行距離 82.8km、年間 356日、法定耐用年数 5年、燃費 5km/L、電費 3.1km/kWh、
充電ロス 10%、電気代 27.5円/kWh、軽油代 120円/L

電気代は中部電力の電力量料金(300kWhを超える区分)、軽油価格は直近の実勢価格とした。

袋井市自主運行バス「山梨・中東遠総合医療センター線」の一日走行距離とした。

リチウムイオン電池の価格と寿命は、採用を予定している SCiB 電池の値とした。

新規性

次世代自動車に必要とされる CASE (Connected、Autonomous、Shared、Electric) への対応について以下のように開発を計画しており、新規性がある。

Connected

車載通信機を含むコネクテッドシステムを開発する予定である。システムにより、車両の位置、速度、電池残量、等を遠隔地より把握する計画である。

Autonomous

平成30年度からタジマジヤイアン(表4-(3)-1参照)を試験車両として名古屋大学の誘導制御技術により実施する「しずおか自動運転 showCASE プロジェクト」を参考として、操舵系の電動駆動仕様を決定し自動運転システムからの指令に対応可能な車両として製造する。

Shared

コネクテッドシステムを利用して、ネット上のアプリケーションからの予約などを可能とする計画である。

Electric

電動専用に車両構造や配置を最適化して開発する予定である。

その他

CNF(セルロースナノファイバー)強化樹脂部品を用いた普通自動車は世界初と考えている。

分散配置可能な電動駆動系や、低電圧電池パックは、多数の車種に展開が可能である。将来は静岡県内企業にも販売することでEVの設計を容易にし、新たなEV企業を生み出すことが可能となる。

研究開発の具体的な内容(方法)

1 研究項目（新技術・技術的特色） と研究内容

「シンプルラダーフレーム」

シンプル、軽量、低床、を両立するために FEM 解析を用いて曲げ強度等を計算しながらラダーフレーム形状を最適化する。現時点での想定荷重設定による解析で、構造としての成立性を確認中である。図 4-(5)-1 を参照のこと。

フレームの溶接治具については、シャシフレーム部品が一度にセットできる専用の溶接治具を鋼材で製造する予定である。レーザーカットした鋼板等を組み合わせ、溶接作業性と寸法精度を両立する。

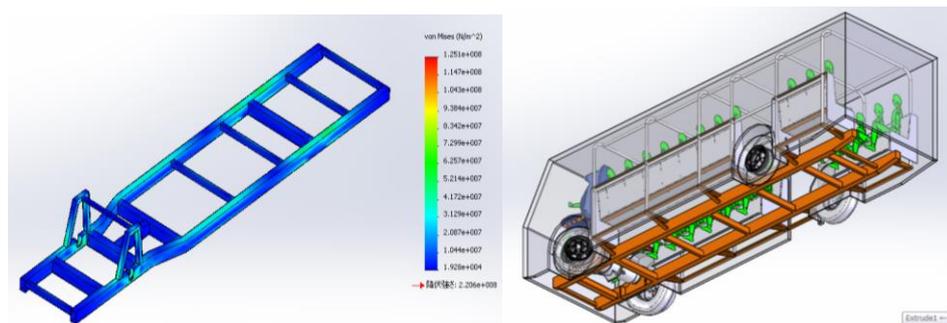


図 4-(5)-1 フレーム解析による最適化作業

「軽量高遮熱プラスチックキャビン」

FRP サンドイッチ構造の FEM 解析技術を用いて、自動車用に断面構成を最適化し、軽量化を図る。ルーフにおいてはサンドイッチ構造のフォームコアでの断熱性能も設計対象とする。図 4-(5)-2 を参照のこと。また、部品干渉などの不具合を事前に防止するために、部品の三次元 CAD モデルを作成し、コンピューター上で DMU(デジタルモックアップ)を作成し評価する。過去開発品の 3D DMU を図 4-(5)-3 に示す。高精度製造のために、CAD/CAM システムにより直接メス型を作成する。

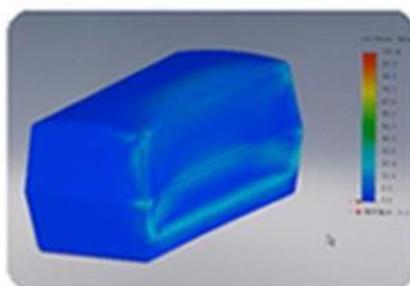


図 4-(5)-2 FRP サンドイッチ構造の解析手法(過去シェルター開発時)

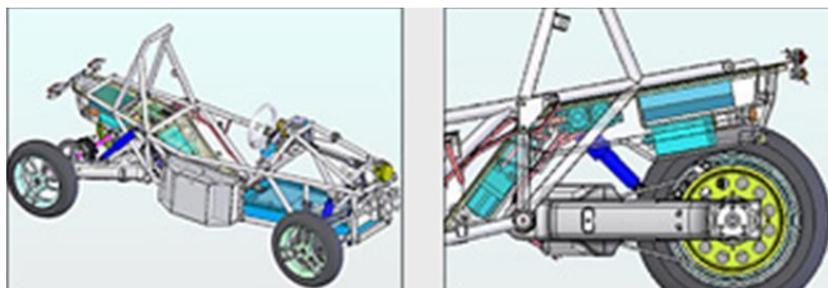


図 4-(5)-3 デジタルモックアップによる精密な詳細設計(過去の別車両開発時)

「CNF(セルロースナノファイバー)内装部品」

自動車リサイクル法を見据えた次世代材料セルロースナノファイバー(CNF)の研究については、当該材料の知見と産業化実績の豊富な、静岡県富士工業技術支援センターの製紙・CNF科に引き続き助言を求める。素材入手と成形目途があり、製造数が見込める部材として、CNF強化熱可塑樹脂を熱プレス成型(TAM 成形)することで内装部材(乗客椅子の座面)を製造する。静岡県森町の株式会社キャップと共同でCNF強化熱可塑樹脂の成形技術を確認する。強度、成形精度、風合い、等を評価する。図 4-(5)-5 を参照のこと。車体の座席配置案を図 4-(5)-6 に示す。

TAM 成形システムとは、株式会社キャップが静岡県産業振興財団の実施する新成長産業戦略的育成事業の平成 25 年、26 年度の事業化推進助成事業を受けて開発した、炭素繊維強化樹脂の成形手法である。高周波電流により金型温度を精密に制御することで、通常の射出成型より低い圧力での成形を可能とし、金型費の低減が可能となる。

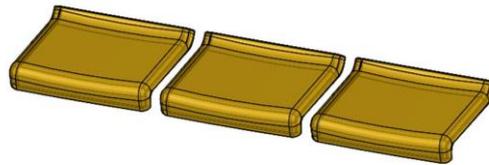


図 4-(5)-5 GFRP(既存シェルターの材料)から CNFTP(本事業)に置換した座面

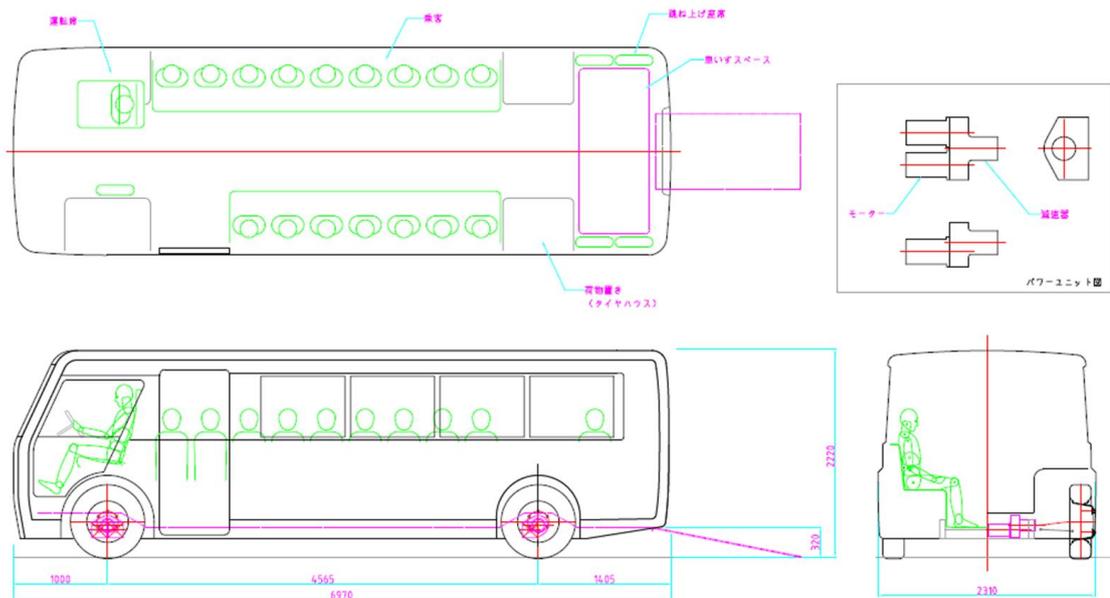


図 4-(5)-6 車体における座席の一般配置図

「自動運転対応した操作系」

静岡県の実施する「しずおか自動運転 showCASE プロジェクト」において、当社が保有する超小型 EV であるタジマジヤアン(図 4-(1)-3 を参照)を用いた自動運転実証試験に参加する予定である。上記プロジェクトへの参加を通じて、車両を自動運転システム(ティアフォーAIpilot + AutoWare ソフトウェア)へ対応するように改造する予定である。ティアフォーの自動運転システムを図 4-(5)-7 に示す。その際の経験を生かして、本事業の小型 EV バスには、あらかじめ自動運転対応が容易に行える仕様で設計する。

ステアリングは、通常のパワーステアリングに加えて、ステアリングホイール角度に関するサーボ追従制御機能を持つ電動アクチュエータを追加可能な仕様とする。

ブレーキは、ブレーキ圧センサと、ブレーキペダルストロークに関するサーボ追従制御機能を持つ電動アクチュエータを追加可能な仕様とする。

アクセルについては、車内通信ネットワークを介して指令を送ることができるように、割り込み用の信号端子を設ける。



図 4-(5)-7 ティアフォー 自動運転システム(他社車両に搭載時の様子)

「コネクテッドシステム」

コネクテッド機器を車体に搭載する際の電気接続に起因する各種不具合の懸念については、当社が保有する超小型EVであるタジマジヤアン(図 4-(1)-3 を参照)に先行して搭載し、動作確認試験を行い、不具合出しと対策を実施することで、小型電動バスの開発と並行して完成度を高めるとする。

「48V モータ駆動ユニット」

地域内交通の最高速度と重量車両に必要なトルクを得るために、減速比 30.5 の大減速比の専用ギアボックスを開発する。平歯車と遊星歯車を組み合わせてコンパクトに大減速比を実現する。図 4-(5)-8 に社内の金属加工機を示す。鋳造については専門業者への外注による製造を含む。4輪にそれぞれ同じ駆動システムを搭載することで、量産効果によりコスト低減を目指す。車両の走行性能に関しは、各要素部品のわずかな性能差よりも、全体に過不足の無いバランスの良いシステム設計と、目標仕様に合わせた最適化が重要である。試作車の製造前の段階で、コンピューター上で走行シミュレーションにより加速性能や電力消費量を評価可能な技術を有する。ソフトウェアは、Carsim8.2 を用いている。図 4-(5)-9 に当社の別のEV車両で実施したシミュレーションの結果を参考として示す。



3軸横型マシニングセンタ
Mazak NEXUS 5000



3軸縦型マシニングセンタ
MORI SEIKI SV500

図 4-(5)-8 社内で保有する加工機の一部

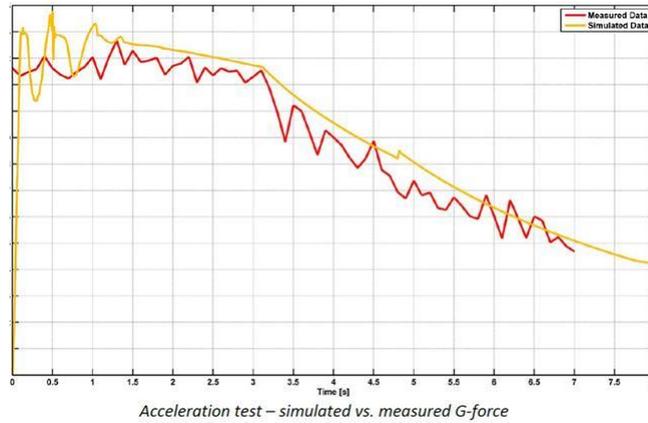


図 4-(5)-9 Carsim シミュレーション結果(参考 当社の別の EV 車両での先行例)

「4 輪独立駆動制御システム」

駆動力制御については、多種多様な EV 車両を開発してきた実績がある。VCU(ビークルコントロールユニット)のプログラミング、シーケンス制御、補機類の制御、インバータの設定を社内で行う。また、現在、東京大学の堀・藤本研究室と、本事業の EV とは別の高出力 EV を用いて 4 輪の駆動力配分について、Matlab Simlink によるシミュレーションや解析を用いた共同研究を実施中である。トラクション制御や旋回時の左右回転数差制御などで課題が発生した場合は、同研究成果を応用して解決を行う。

評価

駆動力や出力の定量的な評価は、社内の設備で実施する。図 4-(5)-10 を参照のこと。走行試験は、開発拠点と同じ袋井市にあるエコパ(静岡県立小笠山総合運動公園)の一部を借りて実施する。平成 30 年 5 月 28 日に、エコパを近未来技術の実証フィールドとして活用するための「エコパドリームプロジェクト協議会」がタジマモーターも参加し設立された。同拠点を次世代自動車産業の聖地とすべく、試験環境の改善や安全基準作成等に協力していく。エコパドリームプロジェクト協議会のメンバーについて図 4-(5)-11 に示す。



図 4-(5)-10 社内の設備による駆動力試験の様子



図 4-(5)-11 エコパドリームプロジェクト イメージ図

販売体制

タジマモーターコーポレーションを含むタジマグループでは、EV に特化した事業化・販売を行う新会社として、2018/4/4 「株式会社タジマ EV」 を設立した。既に法人向けに販売を開始した超小型モビリティ EV の「タジマジヤイアン」と相乗効果を図りながら事業化・販売を行っていく。また、静岡県内外の次世代公共交通に関する実証実験等にも積極的に参加しユーザー候補である自治体やバス会社への認知を広げる。販売後の整備やサポートについては、全国に 15 店舗ある直営のタジマストアや、営業網を活用して対応を行う。



タジマグループの支援

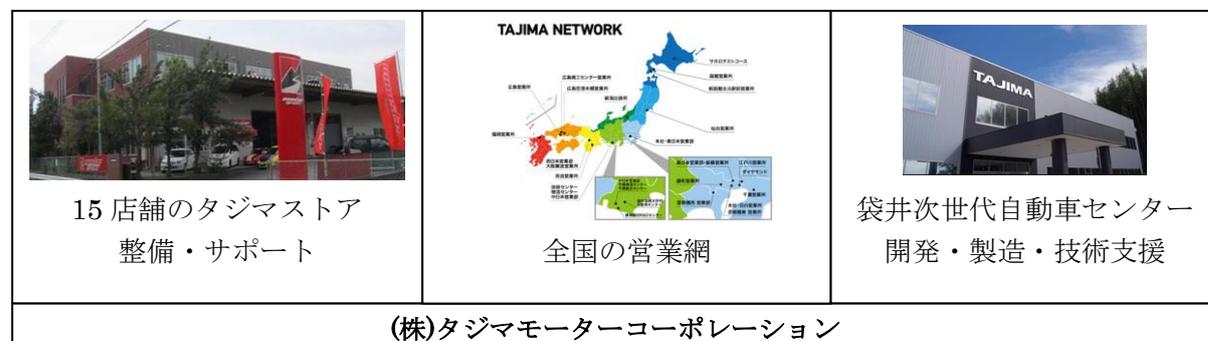


図 5-(3)-2 販売体制