

【課題名】エネルギー密度を向上した大型車用EVシステムの開発と大都市路線バスへの適用実証（委託）

【代表者】 熊本大学 松田俊郎

【実施年度】 平成30～令和2年度

①課題概要

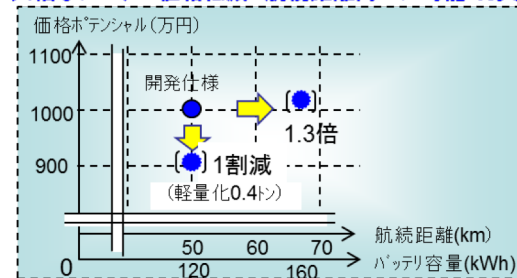
①【課題の概要・目的】

H28～H30年度に開発を進めてきた「大型車用EVシステム技術」を土台として、バッテリーのエネルギー密度向上、大容量減速機、100kW級急速充電器対応等の新技術を織り込んで、路線バスとしての適用性を大きく向上した大型車用EVシステムを開発し、バスの保有台数が多い大都市圏でのEVバスの適用性を実証し、EVバス、トラックの迅速な普及拡大を可能とする。

<EVバスの目標値>

- ・1充電航続距離 70km
- ・バッテリー電力容量 160kWh
- ・モータ出力 200kW
- ・大都市路線バスとしての実用性
- ・目標価格
1000～1100万円@2020年
600～700万円@2025年

バッテリーのエネルギー密度向上技術の適用に成功すれば
大幅なシステム価格低減/航続距離向上が可能である。



②【技術開発の内容】

A1.【大都市圏での路線バスの性能計画と実証試験】

バッテリーエネルギー密度向上で航続距離を1.3倍化し、急速充電時間を半減可能な技術を搭載したEVバスの大都市での適用性を横浜市バス路線で評価すること。

A2.【エネルギー密度向上大容量バッテリーシステム技術開発】

バッテリー電力容量 160kWh(40kWh/パック)を実現可能なエネルギー密度を向上したバッテリー技術を開発し実用化すること。認証を取得すること。

A3.【高出力モータシステム(大容量減速機技術開発)】

車両の変速機を廃止して、大幅な軽量化とレイアウトの改善、車両適用性向上を可能とする大容量減速機を開発し実用化すること。

A4.【100kW級急速充電対応システム技術開発】

A5.【車両設計製造技術開発】

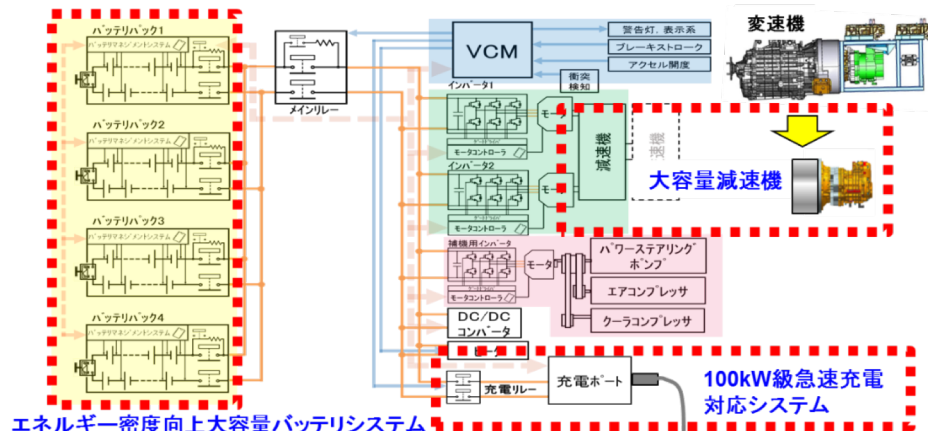
(A1～A5全体で実用化レベルに2020年度に到達見込み)

B. 開発要素のシステム統合と、C.その実証

- ・目標価格のターゲットを1000万円(160kWh)、900万円(120kWh)とにおいて、バッテリーや充電対応新規部品の開発とシステム全体のコスト最適化を検討する。
- ・横浜市営バス路線で本技術を搭載した実証試験車を走行させて、実用性を評価する。既存バス路線をEVバスがどこまでカバーできるかが重要な評価項目であり、定期的に運行路線を変えながら、多くの路線の評価をまとめる予定である。

③【システム構成】

システム構成は、従来の「大型車用EVシステム」の枠組みを踏襲し、その構成要素である「エネルギー密度向上大容量バッテリーシステム」、「大容量減速機」「100kW級急速充電対応システム」等を開発し、車両性能を評価する。



エネルギー密度向上大容量バッテリーシステム

大容量減速機

100kW級急速充電対応システム

100kW級急速充電器

信頼性、安全性の確認
→ECE R100-02試験の実施

④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値:

バス事業者に環境性、実用性が高く低燃費のEVバスを提供すること。

○目標となる仕様及び性能:

1充電で70km走行し実用性の高いEVバス(=システム仕様:バッテリー容量160kWh、モータ出力200kW)を販売1000～1100万円(EV化差額分)で販売可能とすること。(もしくはバッテリー容量120kWh仕様を差額900～1000万円で購入可能とすること)

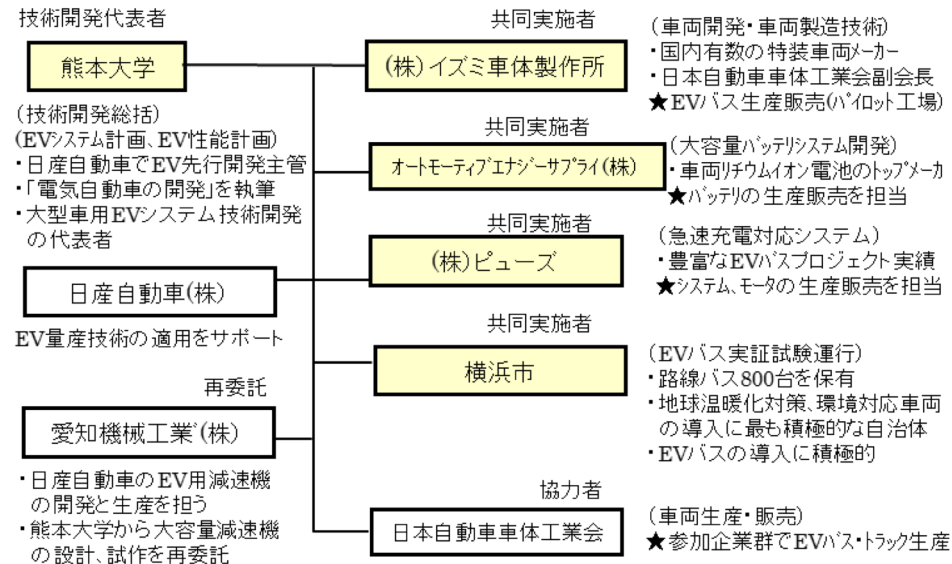
○開発工程のリスク・対応策:

100kW級急速充電器の低価格化が遅れるとEVバス普及のマイナス要因となる。
⇒CHAdeMO規格の低価格サプライヤーと連携して開発を進める。

(2) 実施計画等

①【実施体制】

熊本大学を代表者とした産学官連携体制で、技術開発と実証を行い、共同開発企業を核とした生産事業体制に移行する。



②【実施スケジュール】

H30年度にエネルギー密度を向上した大型車用EVシステムを開発し、H31年度に実証試験を実施する。(R2年度を延長申請し3年間実施した) (単位:千円)

技術開発内容	H30年度	R1年度	R2年度
A1.性能計画	(17,689)	(29,447)	→
A2.大容量バッテリーシステム	(80,378)	(2,562)	→
A3. 大容量減速機	(30,000)	(5,750)	→
A4. 急速充電対応システム	(42,210)	(30,142)	→
A5.車両設計、製造技術	(24,145)	(16,976)	→
C. 実証試験	(13,526)	(28,272)	→
合計 : 実績金額を事後追記	176,214	94,454	76,218

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	イズミ車体製作所(日本自動車車体工業会各社) : EVバス、トラック オートモーティブエナジーサプライ(株) : バッテリーシステム (株)ピューズ : EVシステム、モータ
--------------	---

- ・2019年度からEVバス生産(少量)を開始する。
- ・2020年度以降の普及拡大期では、日本自動車車体工業会に参画する車両製造会社で横断的にEVバス・トラックの生産・供給を行う。

○事業展開における普及の見込み(路線バスのみを記載)

- ・対象市場規模) 国内路線バスは約6万台(日本バス協会乗合バス保有統計)
- ・想定事業規模) 普及期には、年間2~4千台を生産し、2030年に普及台数3万台。
- ・販売目標) 1000~1100万円(2020年) 600-700万円(2025年)(@160kWh仕様)
- ・運用コスト) 大型バスの電費予測値は0.88km/kWh {ディーゼルバスとの燃費差額は74万円であり、8~14年間で回収可能。(@軽油116円/L, 商用電力24円/kWh)}

○年度別販売見込み(路線バスのみを記載)

【提案時当初計画】

年度	2020	2025	2030
目標販売台数(台)	100~500	2~3000	3~4000
目標累積販売台数(台)	100~500	14000	30000
目標販売価格(円/台)	1000	700	600

【現時点見込み】 バッテリーの一部主要部品を調達できず、代替となる当該部品を新規開発した上での生産可能時期は2027年以降の見込みである。

年度	2027	2023	2030	2050
目標販売台数(台)	500 (販売開始)	0	2000	0 (2034年に販売終了)
目標累積販売台数(台)	500	0	3500	15500
目標販売価格(円/台)	1800	—	1100	—

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・早期社会実装の為、現在の路線バス運行ダイヤにそのまま適用できる性能実現が重要であり、大都市圏での実証が望まれる。(本技術開発はこれに依るもの)
- ・導入初期は販売1000万円程度なので、導入加速の為、国の補助継続を期待。

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- 1) バッテリー容量160kWh、モータ出力190kW、充電100kWに対応可能で変速機不要の大型車用EVシステムを開発し、利用者と登降坂が多い横浜市で実証試験を行った。
- 2) 実証試験の結果、「路線バスとしての実用性は十分である」と評価された。
動力性能(登坂含む)、運転容易性、静粛性、揺れの少なさは、ディーゼルバスより優れる評価であり、EV路線バスの新たな付加価値にできることを確認した。
- 3) CO2削減効果はディーゼルバス比▲37.9%。(年間4万km走行時▲16トンに相当)
- 4) EVバス大量運行時の電力インフラ課題と充電コスト低減可能性を検討した。
- 5) いろいろな車両製造工場でEVバスを生産可能とする為の標準化を実施した。
- 6) 大量生産時の量産価格が目標1100万円を達成する見通しがあることを確認した。
- 7) 実証試験車披露セレモニーやエコライフフェア2021等で積極的な広報活動を行った。

項目	実証評価
動力性能	◎ 運転士の殆どが良い評価
運転容易性	◎ 同上
静粛性/乗り心地	◎ 利用者の7割が従来比良い評価
冷暖房	○ 利用者の殆どが従来比同等の評価
車両レイアウト	○ 利用者の不満無し
車両の操作性	○ (～▲ さらなる改善の要望あり)
航続距離	○ 最低SOC 38.7%で余裕あり
充電	○ (～▲ さらなる改善の要望あり)

②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(装置/システム)1台当たりのCO2削減量(t-CO2/台・年)	13トン/台・年
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	10年

年度	2020	2025	2030
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	0.6	18	39
累積CO2削減量(万t-CO2)	0.6	56	211
CO2削減コスト(円/t-CO2) (2020年度は不要) =環境省から受ける補助総額(円)÷当該年度までの累積CO2削減量(t-CO2)		573(1287)*	152(341)*

【現時点見込み】

開発品(装置/システム)1台当たりのCO2削減量(t-CO2/台・年)	16トン/台・年
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	10年

年度	2027 (販売想定年度)	2030	2050
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	8	32	生産無し
累積CO2削減量(万t-CO2)	8	56	248
CO2削減コスト(円/t-CO2)	6.88万円	6.88万円	—

③【成果発表状況】

- ・実証試験のプレスリリース(2020年10月) 熊本大学が報道発表。3紙に記事掲載
- ・実証試験車披露セレモニー(2020年10月) 熊本大学と横浜市が試験車の展示、試乗と技術説明を実施(TVニュース報道、新聞、専門誌、WEBで多数の記事掲載と動画配信)
- ・ブリヂストンとのプレスリリース(2020年10月) 熊本大学とブリヂストンから、横浜実証試験で使用するタイヤの共同開発を発表
- ・環境省エコライフ・フェア2020(2020年12月～2021年1月) 熊本大学からWEB出展
<https://www.kumamoto-u.ac.jp/whatsnew/sizen/20201204>
- ・国土交通省 電動化勉強会(2021年1月) 実証試験状況とEVバスの可能性を報告
- ・普及型EVバス技術開発講演会(2021年3月) 熊本の産学官100名にWEB講演
- ・モータシンポジウム2021(2021年7月) 熊本大学から横浜実証試験の成果を発表
- ・自動車技術会論文集(2021年7月) 本事業成果を技術論文として発表(松田俊郎他)

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

- ・2021年度からの生産・販売を想定していたが、エンビジョンAESCのバッテリーパックの一部主要部品をサプライヤーから調達できない状況であり、代替となる当該部品を新規開発した上での生産可能時期は2027年以降の見込みである。

○事業計画修正シナリオ

年度	2021	2025	2027	2030
従来計画	生産開始			
年間生産台数	100～500	2～3000	2～3000	3～4000
修正計画見通し			生産開始可能時期	
年間生産台数			2027～2029年度は年間500台	2030年度は2千台 2031～2034年度は3千台

○シナリオ実現上の課題

- ・代替部品(BMS)の開発
- ・新車EVバス(中国製)に対する価格競争力(事業開始初期の少量生産時の価格)



○参考資料1 CO2削減効果について

<ディーゼルバス>

横浜交通局の浅間町営業所の年間平均走行距離は120km程度なので年間走行距離を4万kmとする。

浅間町営業所のディーゼルバスの平均燃費は2.5km/Lなので、軽油CO2排出係数 2.58kgCO2/Lから1kmあたりCO2排出量は **1.032kg/km**。

以上から、年間CO2排出量は1台 **41.28トン**と試算される。

<EVバス>

実証試験車の実証試験期間の総充電電力量は5733.28kWh、軽油使用量(プレヒータ)は15L、走行距離(営業外運行含む)は4005kmだったので、実証試験期間の電力CO2排出量は2.488トン(@東京電力2020年度実績排出係数0.434kg-CO2/kWh)、軽油CO2排出量は0.039トンと試算される。

両者をあわせた全体のCO2排出量は2.527トン、1kmあたりCO2排出量は **0.631kg/km**と試算されるので、年間CO2排出量は1台**25.23トン**となる。

<効果>

上記の差から、EVバスによる年間CO2削減効果は**16トン**と試算。

○想定する販売台数について

- ・国内潜在市場規模:ディーゼル路線バスの市場保有は現状6万台(バス協会統計)から、2027~2030年度には5万台に減少、2050年度には0台と想定する。
- ・EVバスの生産台数想定は、2027年度:500台、2028年度:500台、2029年度:500台、2030年度:2000台、2031年度~2034年度 各3000台(ライフで生産累計15500台)とする。
(累計生産台数は、2027年度:500台、2028年度:1000台、2029年度:1500台、2030年度:3500台、2031年度:6500台、2032年度:9500台、2033年度:12500台、2034年度:15500台)

○販売開始年(2027年)時点の削減効果 (試算方法パターン C,II-i)

- ・2027年度の販売数は500台。
- ・開発機器1台当たりのCO2削減量:16トン年(ディーゼルバスは41.28トン年)
- ・削減原単位:ディーゼルバスの軽油CO2排出係数 2.58kg、EVバスの電力CO2排出係数0.434kg-CO2/kWh
- ・単年度CO2削減量:500台の生産で、0.8万トン/年、10年間で**8万トン**の削減量。
- ・累積CO2削減量:500台の生産累計で、0.8万トン/年、10年間で**8万トン**の削減量。
- ・CO2削減コスト:6.875万円/トン(=1台販売価格は1100万円 / 1台の10年間CO2削減量は160トン)

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン C,II-i)

- ・2030年度までに期待される普及量:3500台(=2027年度:500台、2028年度:500台、2029年度:500台、2030年度:2000台)
- ・開発機器1台当たりのCO2削減量:同上・削減原単位:同上
- ・単年度CO2削減量=2000台の生産で、3.2万トン/年、10年間で**32万トン**の削減量。
- ・累積CO2削減量:3500台のEVバスが年間5.6万トンのCO2を削減。10年間で**56万トン**の削減
- ・CO2削減コスト:6.875万円/トン(=1台販売価格は1100万円 / 1台の10年間CO2削減量は160トン)

○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン C,II-i)

- ・2050年度までに期待される最大普及量:2027年~2034年の生産総台数は15500台
- ・開発機器1台当たりのCO2削減量:同上・削減原単位:同上
- ・単年度CO2削減量:2050年度は生産無し
- ・累積CO2削減量:2034年度に15500台のEVバスが10年間で24.8万トンの削減。10年間で**248万トン**の削減
- ・CO2削減コスト:6.875万円/トン(=1台販売価格は1100万円 / 1台の10年間CO2削減量は160トン)

○参考資料2 事業化計画について

① ユーザーニーズ及び市場の現状と想定される今後の動向

- ・現時点、国内で保有される路線バスは6万台前後であるが、バス事業者が2050年CO2排出ゼロ実現に向けて、補助金等を活用しながら、環境対応車両の導入を開始すると予測。
- ・中国製EVバスの国内市場導入が進むと予測。(BYDは2030年まで2千台の販売が目標。価格は4千万円で将来は▲4割減の報道)

② ①を踏まえたコスト目標と事業採算性の見通し

- ・本事業は、バス事業者が、中古市場で流通する安価なディーゼルバスをEVバスに改造した車両を購入する、もしくは、保有するディーゼルバスをEVバス化することを想定し、日本自動車車体工業会の参画会社がEVバスの改造と販売を行うスキームであるが新車EVバスに対する価格競争力上、EV化のアップ分を+1000万円～2000万円(少量生産時)程度に抑える必要がある。
- ・生産開始時期(後述)が2027年に遅れるという機会損失により、事業の総生産台数は1.5万台(当初計画は3万台)に見直す。

③ 量産化・販売計画

- ・2021年度からの生産・販売を想定していたが、エンビジョンAESCのバッテリーパックの一部主要部品をサプライヤーから調達できない状況であり、代替となる当該部品を新規開発した上での生産可能時期は2027年以降の見込みである。

④ シナリオ実現上の課題

- ・代替部品(BMS)の開発
- ・新車EVバス(中国製)に対する価格競争力
(事業開始初期の少量生産時の価格が課題)

年度	2021	2025	2027	2030
従来計画	➡ 生産開始			
年間生産台数	100～500	2～3000	2～3000	3～4000
修正計画 見通し			〔➡ 生産開始可能時期〕	
年間生産台数			2027～2029年度は 年間500台	2030年度は2千台、 2031～2034年度は 3千台

○参考資料3 その他 : 開発内容(1)

技術開発の狙い

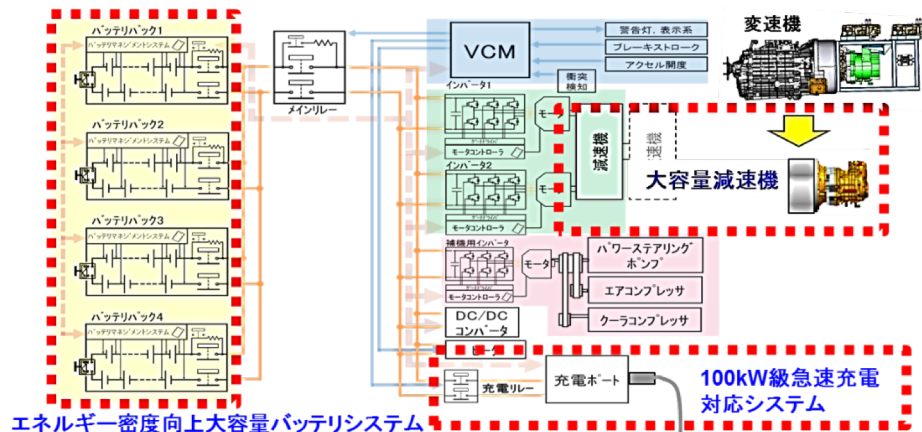
- 1) 低価格EVバスの普及拡大 (EV化価格+1100万円)
- 2) 排気ゼロ、CO2排出ゼロの公共交通実現
- 3) 地方創生 (改造EVバス、トラック生産)

技術開発の特長

- 1) 低床フロア路線バスに適用可能な技術開発
- 2) 乗用車のEVアセットを活用した低価格化技術
- 3) EV先進技術を活用し路線バスの実用性を向上
- 4) 全国 of 車両工場で生産可能な技術
- 5) EVバス大量運行の仕組み、技術

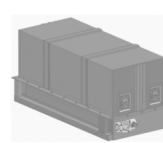
A1. 大都市圏での路線バスの性能計画

EV化目標価格+1100万円、バッテリー容量160kWh、モータ出力190kW、急速充電100kWに対応し、変速機不要の大型車用EVシステムを計画



A2. 大容量バッテリーシステム

- ・正極にNMCを採用し1パックで40kWhを実現
- ・パック4基を並列接続して160kWhの容量で、1充電航続距離70km (@電費0.7km/kWh)



容量	40kWh
電圧	360V
サイズ	512×1113×502 mm
質量	300kg

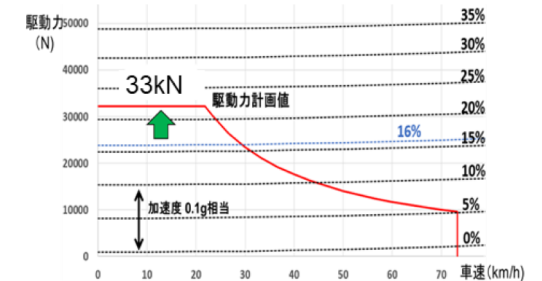
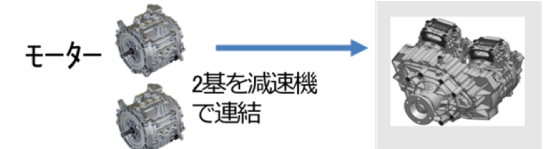
A4. 100kW急速充電対応EVシステム

100kW充電対応のEVシステムを開発し充電時間を短縮



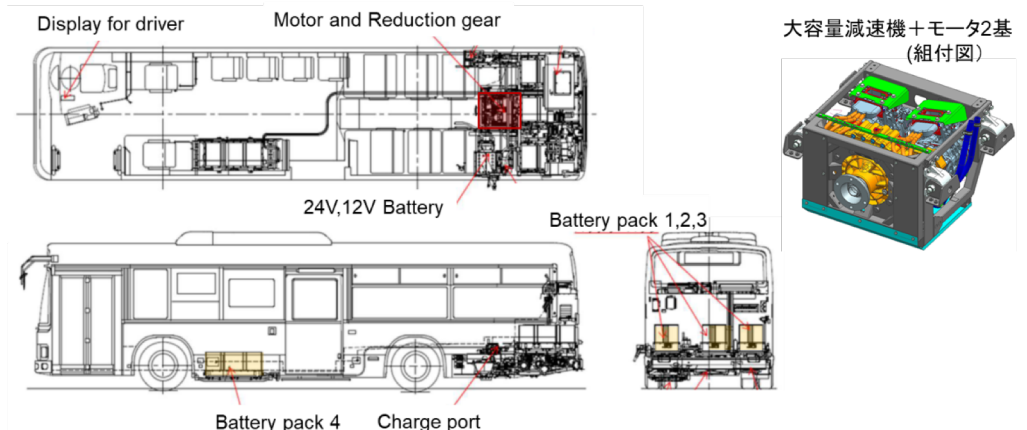
A3. 高出力モータシステム(大容量減速機)

モータ2基を連結し出力190kW、最大トルク3000Nmを発揮する大容量減速機を開発し変速機廃止



A5. 車両設計製造技術開発(低床フロアEVバスレイアウト)

低床フロアのEVバスレイアウトを開発すると共に車両製造技術を標準化



○参考資料3 その他：開発内容(2)

C. 実証試験

- 1) 試験期間: 2020年10月～2021年1月末
- 2) 営業運行: **3995km**、輸送人員: **15937名**
- 3) 走行路線: 横浜市交通局浅間町営業所の所管路線
(曜日毎に異なる路線を運行)

(金曜日の例)



4) 実証試験車



5) 実証試験車披露セレモニー (2020年10月27日)



6) 実証試験結果概要

「路線バスとしての実用性は十分である」と評価された。動力性能(登坂含む)、運転容易性、静粛性、揺れの少なさは、ディーゼルバスより優れる評価だった。

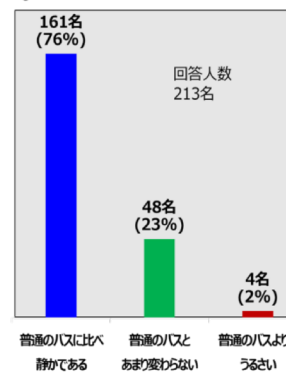
記号の意味
(ディーゼルバス比)
◎ 優れている
○ 並み/実用性有り
▲ 劣る/改善要

項目	実証評価
動力性能	◎ 運転士の殆どが良い評価
運転容易性	◎ 同上
静粛性/乗り心地	◎ 利用者の7割が従来比良い評価
冷暖房	○ 利用者の殆どが従来比同等の評価
車両レイアウト	○ 利用者の不満無し
車両の操作性	○ (～▲ さらなる改善の要望あり)
航続距離	○ 最低SOC 38.7%で余裕あり
充電	○ (～▲ さらなる改善の要望あり)

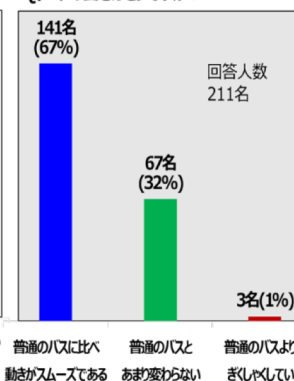
7) 利用者評価

静粛性・乗り心地について、7割の利用者がディーゼルバス比優れると回答

Q) 音の静かさはどうですか？



Q) 車の動きはどうですか？



8) 消費電力量と電費

平均電費は0.81km/kWh

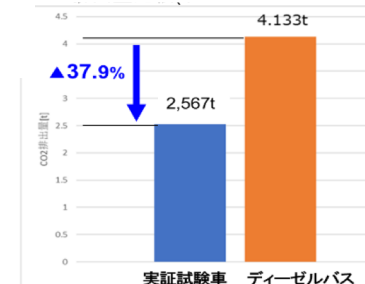
運行距離 (km)	3955
総消費電力量 (kWh)	4882
電費 (km/kWh)	0.81

消費電力量の構成比

部位	構成比
PTCヒータ	23%
DCDC(電装)	16%
エアコンプレッサ 2%	
パワステ・ACコンプレッサ	14%
駆動系	45%

9) CO2排出量

ディーゼルバス比
▲37.9%の削減



CO2排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- ・ 評価点 6. 4点(10点満点中。(10点:特に優れている、8点:優れている、6点:問題ない、4点:多少問題がある、2点:大きな問題がある))
- ・ 評価コメント

〔評価された点〕

- バッテリーのエネルギー密度向上、大容量減速機、100kW級急速充電器対応等の新技術を搭載して路線バスとしての適用性を大きく向上させた大型車用EVシステムを開発し、横浜市において3,955kmに及ぶ実証実験を行い、運転手や乗客から好評を得るなど種々の評価を通じてEVバスの有効性を示し、開発目標を100%達成した点は評価できる。

〔今後の課題〕

- 本事業では、開発した電動バスを2021年度から生産・販売する予定であったが、バッテリーパックを調達できない状況となり、代替品を新規開発した上での生産可能時期を2027年以降の見込みとしている。しかしながら、これは大幅な遅延であり、市場性自体が失われることが大いに懸念される。本事業での成果を活用し、別途相当品の調達に努めるなどして、早急に対応策を立案し生産開始時期の遅れを最小限とする努力を行い、市場投入を早める可能性を探るべきである。
- 開発技術の社会実装の検討においては、運転手の評価だけでなく、最も本質的な課題である事業者のEVバスの価格に対する受容性についての情報を示すことが必要である。

〔その他特記事項〕

- 学(熊本大学)、産(複数の企業)ならびに地方自治体(横浜市)が連携して、産学自治体連携で所期の成果を挙げたことは評価できる。
- プレスリリース、講演会、論文誌と多方面で開発成果を発表していることは評価できる。

〔事業化に向けたコメント〕

- 現時点から海外メーカーとの競合や競争力を認識する必要がある。2027年生産開始ではEV化のトレンドに乗り遅れるだけでなく、海外製EVの台頭などのために生産開始以降の計画が大きく減退する可能性も考えられる。生産開始までの遅れをできるだけ短縮することを検討するよう要望する。
- 東京電力等の蓄電池に知見を持つ事業者が実証に参加していることから、ボトルネックとなっている蓄電池部品について、コンソーシアム参加企業がそれぞれ対応策を検討し、早期に事業化するための計画を策定すべきである。