

# 未来型電動バスの開発動向

## Development Trend of an Electric Bus for the Future

西山敏樹\*

Toshiki Nishiyama

Faculty of Urban Life Studies, Tokyo City University

### Abstract

Keio University in Japan has developed a prototype large sized “Electric Full Flat Floor Bus” (ELFB). Taking the field test results into consideration as well, it is also revealed that ELFB has the specifications to meet most of the existing bus service requirements. Introducing the concept and technology of the integrated platform that motors, inverters, batteries and controllers are installed under the ELFB’s floor can lower the minimum height from ground to floor, construct a full flat cabin, and improve the universal design performance. So it turned out that trial ride monitor 380 persons show high concern and a willingness to pay for introduction of the service which reduces resistance of a change or movement.

*Key words*: Electric Low and Full Flat Floor Bus (ELFB); Universal Design; Ecological Design; Integrated Platform; Public Transportation Services

### 1 はじめに

近年、2020年のオリンピックをはじめとした日本の国際化や高齢化、障がい者増加等を念頭に、おもてなし度の高い社会の構築が従前以上に期待される様になった。基本的な人権に移動の権利、つまりモビリティを含める動きも出ている。まさに人類の幸福度を上げる究極の目的を達成する上では、モビリティを汎用的にしっかりと確保しホスピタリティの質的な向上を果たすことが、当面の一つの重要な社会的目標になる。そこで筆者は、モビリティ+ホスピタリティで「モビ

リティ学」という学問を作り、移動権を着実に確保し、ホスピタリティレベルの高い社会に繋げる新学問を提唱している。

そうした中で私は、社会システムデザインでも重視される「価値観」、「技術」、「制度」のバランスを考えながら、未来に必要とされるユニヴァーサルデザインとエコデザインが融合した電動バスの研究を行っている。高い技術力と深い人間味にあふれるモビリティ社会での電動バスのあり方について、開発事例等を交えながら皆様と共有したい。

\* 東京都市大学 都市生活学部 准教授

## 2 電動低床フルフラットバスの試作開発

### 2.1 現在のエンジンバスの問題

読者の皆様は、従来ツーステップ方式が主流であった路線バスが、ワンステップ又はノンステップとなり、低床化が進んでいる事は既にお気づきのはずである。併せてバスの車体に、大きく「ワンステップ車です」とか、「ノンステップ車です」と書いてあるのに、車輪の後部に行くほど急なステップがある矛盾に気づいているはずである。実際車輪の前部にしかワンステップ、又はノンステップの部分が無いため、車内の移動がしにくいという苦情がバス事業者に多数寄せられていることは、あまり知られていない。

1960年代中期からは特例を除き国内のバス車輪はリヤエンジン式になり、後部エンジンの小型化にも限界があり現在のワンステップバスやノンステップバスには、その名に反して大きな段差がつくようになった。エンジンを小型化しターボエンジンとの併用で完全ノンステップ化を果たす事例も数例はあったが、エンジンレイアウトと車輪デザインが難しく、最後列のシートをカットせざるを得ない為に、コストが高騰して導入はごく少数に限られた。エンジン式バスでは排ガス抑制が難しいばかりでなく、完全ノンステップ化との並立も難しい状況のままで今日に至っており、ホスピタリティレベルの向上が期待できない状況であった。これを問題意識とし、人と地球に優しいユニヴァーサルデザイン、エコデザインが融合したバスについて筆者は研究するようになった。

### 2.2 電車のモーター車のような新しいバスの発想

この喫緊の課題を前提とし、著者の西山が教員として所属してきた慶應義塾大学では、大型電動フルフラットバスの研究開発を進めてきた〔2009年度環境省産学官連携環境先端技術普及モデル策定事業「電動フルフラットバスの地域先導的普及モデル策定とシステム化の実証研究」研究代表者は清水浩慶應義塾大学環境情報学部教授(当時)で、西山は本研究のサブリーダーとして当該車輛試作に関わる様々な実務を担当した〕。

本研究開発の中心的技術は「集積台車」である。当時の研究代表者以下慶應義塾大学のグループでは、永年電気自動車の開発を続けてきた。その基本的概念は、エンジンをモーターに換装するいわゆるコンバート型電気自動車でなく、ゼロから電気自動車専用のプラットフォームを開発することである。その独創性は、走行に必要な機器の電池やモーター（各ホイールの内側

に小型のモーターを取り付けて、大型モーター一つと同じ走行力を維持するインホイールモーター式）、インヴァーター等を電車のモーター車の様に、床下に配置するところにある。この技術を慶應義塾大学では集積台車と名付けた（図1）。

本技術をバスに用いれば、利用可能な車室の拡大や、インホイールモーターと多くのリチウムイオン電池による一充電走行距離の伸長、社会的要請であるバリアフリー性の確保等が同時に実現され、利用者サイドのホスピタリティレベルの向上につながる（図2）。

こうした電気自動車用プラットフォームである集積台車の概念と技術は、まさにバス事業に強く要請されているユニヴァーサルデザインとエコデザインの融合

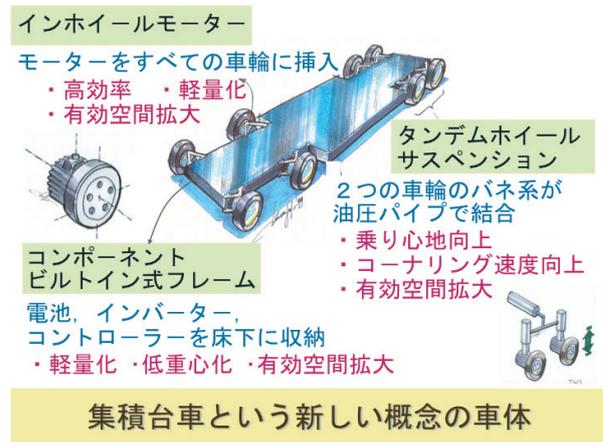


図1 電車のモーター車のような電気自動車を作る概念「集積台車」

走行に必要な装置を床下に完全収納して、車室を広く確保しようとする電気自動車の新しいデザイン概念である。これを利用することで、フルフラットなノンステップバスの製作も可能となる。

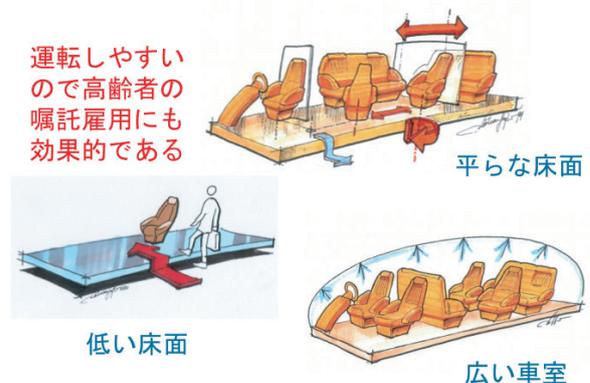


図2 集積台車をバス車輪に用いることの3つのメリット

という重要課題の解決に資するものである。そこで、研究代表者以下慶應義塾大学では、集積台車技術を活用した大型電動フルフラットバスの開発とその普及戦略構築を研究してきた。

### 2.3 試作の概要

慶應義塾大学で2009年から2011年にかけて試作した大型電動フルフラットバスは、産（いすゞ自動車株式会社）、公（神奈川県，社団法人神奈川県バス協会と協会バス事業者）、学（慶應義塾大学）の体制を軸として進めてきた。開発では、西山が中心となり慶應義塾大学側と産・公の意見交換機会を増やし、現実性のあるバスに仕立てる様に努めた。

安全で安心、強固な車体とすることは、公共交通車輻用の路線バスを作り上げる上で重要である。車体には、アルミニウムやポリカーボネートを使用し、可能な限りの軽量化を実施した。台車には、新規開発のダイレクトドライブ式のインホイールモーターを装着させ、損失が低減し効率の高い駆動を実現させた。開発した大型電動フルフラットバスの仕様は、表1の通りに整理される。試作車で白ナンバーのために、定員は49名に当時の制度上制限されているが、実際は定員70名のキャパシティを持つ車輻である。

電動フルフラットバスに対するバス事業者側の大きな関心事が、一充電の航続距離である。一充電航続距離は、横浜市内での実証走行の結果121 kmである。神奈川県バス協会の会員12事業者に筆者がヒヤリング調査を行ったところ、会員バス事業者の車輻が1日あたり入庫から出庫まで、平均120 km程度走ることが判った。2011年度から2012年度までの実証走行の結果も加味すると、既存の大体のダイヤ要件（通常

の運行で求められる航続距離や各種サービスの提供）を満たせることも判明した。集積台車の概念及び技術を導入することで最低地上高も抑えられ、ユニヴァーサルデザインの水準を向上させることも可能である。図3が試作した大型電動フルフラットバスのフロントビューで、図4が車内である。実証走行試験のモニター380名の内、7割のモニターが電動低床フルフラットバスを総合的に高く評価し、車の量産と普及を期待している。

### 2.4 電動フルフラットバスの導入効果

社団法人神奈川県バス協会によると、既存大型ノンステップバス（全長10.5 mで全幅2.5 m水準）は1 kmの燃費は平均38円とのことであった（試作当時、以下同）。一方で、試作した大型電動低床フルフラットバスは同じ大型サイズで1 km 8円（夜間電力使用時）で走る。電動化で1 kmあたり約30円の燃料面のメリットが認められている。路線バスは、全国的に



図3 慶應義塾大学で試作した大型電動低床フルフラットバスのフロントビュー



図4 慶應義塾大学が試作をした大型電動低床フルフラットバスの車内  
試作のために後部座席下に段差が若干残ったものの、車内の後部までフルフラットな通路になった。

表1 慶應義塾大学で試作した大型電動低床フルフラットバスの仕様

項目	仕様
全幅	2,490 mm (大型級)
全長	10,050 mm (大型級)
全高	2,730 mm (通常バス比 -300 ~ 400 mm)
定員	計49人 (座席定員21名 (運転席含), 立席28名)
重量	11,800 kg (総重量) 8,600 kg (空車重量)
床面地上高	270 mm (バリアフリー対応)
一充電走行距離	121 km (標準の路線バスの走行距離は120 km/日以内)
交流電力消費率	900 Wh/km (燃料消費6 km/lに相当)
登坂力	13.5% (山岳地帯のバス路線の最大勾配は9.6%)
最高速度	60 km/h (路線バスで求められる最高速度)

見ると現状の平均で1日120 km、1年間300日走行する。すなわち30円×120 km×300日とすれば、大型バス1台あたりで年間108万円の燃費削減効果がある。これはランニングコストの大幅な削減に繋がる。都市部の大型バスは全国平均で、現状12年で廃車時期を迎える。1台のライフパンで見れば、年間108万円×12年で約1300万円の燃費を12年間で抑制可能である。大型バスを500台保有する会社ならば、代替で年間約5億円の燃費削減効果が生まれる訳である。これは、既存のノンステップ大型バス(エンジン)のイニシャルコストの実に約25台分に相当する額である。

さらに、電動バスは部品点数が少ないため、総ランニングコストから燃費を差引いた残りのランニングコスト(部品関係維持費を指す)の約50%を現状から削減可能である(アメリカ Electric Power Research 研究所調査)。これに基づいて部品関係維持の費用削減額を試算すると、大型で年間約77万円の削減が可能となる。併せて、既存の内燃機関タイプの大型バスから排出される二酸化炭素排出量は、1 kmあたりで0.61 kg(国土交通省の2009年度データ)となっている。電気自動車は、走行時に二酸化炭素を排出しないが、これに加え発電時の二酸化炭素の排出を考慮しても、多くの二酸化炭素排出を削減でき、沿線にもより良い影響を与える。営業運転の模擬走行データを基にCO<sub>2</sub>削減効果を試算した結果、一般のディーゼル路線バスから電動低床フルフラットバスに置き換わった際の年間CO<sub>2</sub>の排出削減量はエアコンの使用

時で24.2%~48.6%、エアコン不使用時で34.9%~52.5%の削減可能性である事が判った。こうして、大型電動低床フルフラットバスは利用者のみならず、バス事業者への効果も大きい。私が調べたところ、バスの運賃は、80%から85%が運転手等の人件費に回る事業者も多い。これに併せて一度定年を迎えたベテラン運転手を時給制運転手又は嘱託運転手で雇用するケースも増えている。60歳を超えた運転手には、部品点数が少なくオートマチックな電動バスの方が運転し易くミスも減るものと予想されている。大型電動低床フルフラットバスは、モータリゼーションで経営が厳しいバス事業自体に貢献する車と言える。

### 3 未来への展開~建物内に入れるバスサービスの提案~

これから排ガスと騒音を抑制できる電動車輛の活躍の幅が広がることに、異を唱える方は少ないだろう。この排ガスと騒音が出ないというメリットは、建物の中に入れるという革新性を持っている(図5)。従前の車は、排ガスと騒音があり建物の中に入り難かった。上記の試作車輛の実証走行での調査で、380名のモニターに質問したところ、電動バスを駅構内等へ延伸することで、乗り換え抵抗が小さくなるのであれば、平均で現行運賃の約3割増しの運賃を許容する(=最大3割増の運賃の支払意思がある)との評価も得られた。市民は一定の支払意思をもって電動バスの建物内への延伸までを期待している。



図5 電動バスがショッピングセンターに乗り入れたイメージ  
これからは買い物袋をもって遠くのバス停に向かう必要がなくなるかもしれない。乗り換え時の抵抗が減る。



図6 京都急行バスが導入した中国BYD製のK9電動量産車  
幅が、元々は2.55mの仕様であるが、国内法規では大型バスの幅が2.5m指定であり少々ナロー仕様になった。

## 4 おわりに

日本では、まさしく技術のガラパゴス化が進み、海外で進んでいるバス車輛の電動化に大きな遅れをとっている。しかし、そうした中で、中国製の量産型電動バスを日本の法制度に合うように改造し、積極導入する画期的な事業者も出てきた。現在、インホイールモーターを採用した中国製電動バスが、京都急行バスに5台登場して活躍を始めている（図6）。従前の日本の電動バスと言えば、エンジン車の改造試作車が少数走る程度だったが京都急行バスの車は中国 BYD 製の K9

という量産販売車である。京都で導入された車輛は、全長 12 m、幅 2.5 m、高さ 3.25 m、ホイールベース 6.1 m、総重量 19 t、駆動方式が後輪インホイールモーター式、電池容量 324 kWh であり、フル充電 250 km 以上の走行が可能とのことである。こうしてインホイールモーター方式の電動バスが、日本の国内でも、少しずつではあるが注目されつつある。この電動バス導入の動きを着実に捉え、ユニヴァーサルデザイン・エコデザインの融合を更に進めて行きたいものである。