

特 集 論 文



独立車輪方式による人に優しい超低床ライトレール車両（LRV）用台車ならびに次世代 LRV 開発

Development of the Bogie for the First Domestic 100 % Low-Floor Tram and the Next Stage of the Low-Floor Tram

星 光 明^{*1}
Mitsuaki Hoshi

大久保吉喜^{*2}
Yoshiki Ookubo

村 上 信 之^{*2}
Nobuyuki Murakami

新 井 徳 泰^{*3}
Tokuhito Arai

河 野 浩 幸^{*4}
Hiroyuki Kono

有 賀 寛 泰^{*5}
Hiroyasu Aruga

人にやさしい快適な都市内交通として新世代の超低床ライトレール車両（LRV）が注目されている。当社は国産初の独立車輪方式を採用した LRV 用台車を開発し、広島電鉄(株)において、グリーンムーバー max と名づけられた超低床 LRV は順調に運行されている。台車の開発においては、海外メーカ製車両との差別化や客先ニーズを満足するよう、電動台車と従台車をそれぞれ専用設計とし、多岐にわたる設計検討と徹底した技術検証を行なった。その結果、完成度の高い車両開発を実現した。また、現在、当社は次世代 LRV として二次電池を搭載した架線レス LRV や、より市内運行に適した車両の開発にも着手しており、100%超低床 LRV の更なる市場拡販を目指している。

1. は じ め に

2005 年 3 月 30 日から、日本初の独立車輪方式の 100 % 超低床 LRV が広島の街で運行を開始した。グリーンムーバー max と名づけられた車両は、構想からおよそ 5 年、様々な問題を克服して具現化したものである。本稿ではそのキーコンポーネントとなった、独立車輪方式の台車開発の歩みと車両の概要、更に今後ますますの発展が期待される次世代 LRV の開発について述べる。

2. 開発コンセプト

グリーンムーバー max は当社・近畿車輛(株)・東洋電機製造(株)の 3 社が共同して開発を担当し、運用面のアドバイスということで広島電鉄(株)も加えた 4 社で開発を進め、日本の国土、社会にふさわしい LRV (Light Rail Vehicle) を日本の技術で開発・製造することを目指した。

そのコンセプトとして、① Ultimate (究極の)、② User friendly (人にやさしい)、③ Urban (都市の) の 3 点を挙げた。このコンセプトにちなんで、このプロジェクトを U³ プロジェクトと名づけ、台車・ブレーキ・内／外装を当社が、デザイン・車体・接続部・運転室を近畿車輛(株)が、そして電機品・制御・駆動装置を東洋電機製造(株)が担当して開発した。

快適な都市内交通、それも環境にも市民にも優しく、街のシンボルとなるものとして新世代の都市交通システム LRT (Light Rail Transit) は注目を集めており、とりわけ、それまでの路面電車の概念を大きく超える、高性能でスタイリッシュ、そしてバリアフリー化された超低床車両は、既に欧米の各都市で導入され、その有効性が高く評価されている。

しかし、100 % 超低床 LRV は、独立車輪台車などの技術開発面で欧州メーカが先行しており、日本に導入されたものは海外メーカ製や、海外技術を導入し一部を製作した車両に限られていた。

そのため、運用性やメンテナンス性などから一刻も早く日本の実情に合わせた国産車両開発が期待されていた。今回、初めて国産技術で開発した 100 % 超低床 LRV は、車両長 30 m、5 車体（3 台車）連接の構成。台車は、国土交通省の支援を得て設立された“超低床エルアールブイ台車技術研究組合”の研究成果をベースに、当社が標準軌道（軌間：1 435 mm）用に、開発から設計、製作、検証までを行い、バリアフリー化、低騒音・低振動、低速から高速までの幅広い走行性能などを実現した。

3. 独立車輪方式台車の開発の歩み

100 % 超低床 LRV 開発のカギを握ったのは独立車輪方式の台車。通常、左右の車輪の間は車軸でつな

^{*1} プラント・交通システム事業センター交通システム・機械技術部車両・機械設計課長

^{*2} プラント・交通システム事業センター交通システム・機械技術部車両・機械設計課

^{*3} プラント・交通システム事業センター交通システム・機械技術部空制装置設計課

^{*4} 技術本部広島研究所メカトロニクス研究室

^{*5} 技術本部長古屋研究所デザインセンター

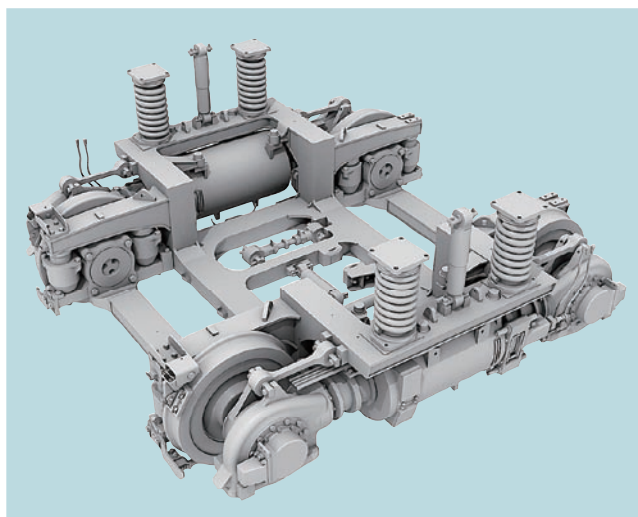


図1 モータ付き電動台車鳥瞰図

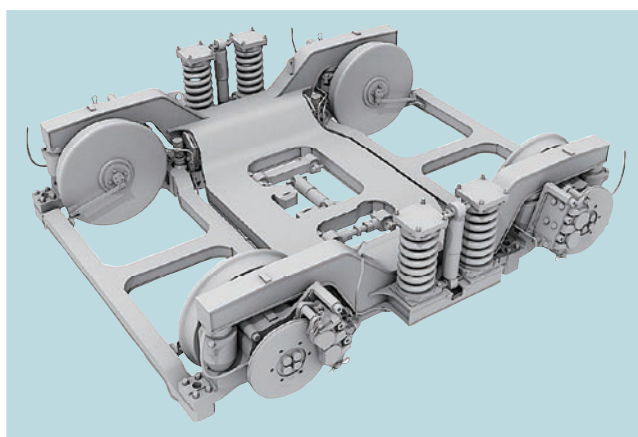


図2 従台車鳥瞰図

がっており、床面の高さは車軸の高さによって決められてしまう。そのため、台車には車軸のない独立車輪方式を採用、モータ付き電動台車（図1）は、車輪の外側に電動機や駆動装置を配した。この台車方式より、出入口部の床面高さは、停留所からステップなしで直接乗り込める 330 mm（通路部 360 mm）を実現した。さらに、台車構造をコンパクト化し、台車直上の客室通路幅は 880 mm と海外メーカ製 LRV と比べて 50mm 拡大している。また、モータが設置されない従台車（図2）では、台車構造を専用設計とすることによって、客室通路幅を 1 120 mm と大幅に拡大することができた。これにより乗客の乗降時移動がスムーズになるとともに、見通しの良い開放感のある室内空間とすることも可能となった。

また、台車の構成部品として弾性車輪を採用し、振動・騒音の軽減を図ったものとし、ブレーキは電気ブレーキ、油圧ブレーキ、レールブレーキの 3 タイプを装備し、モードの切替え時でもショックが少なく、どんな条件でも安全に停止できるものとした。

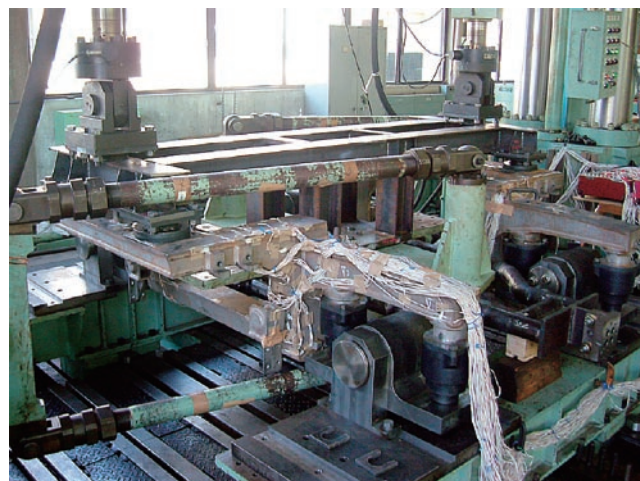


図3 電動台車枠の静荷重試験



図4 従台車枠の静荷重試験

台車は車両の中でも最重要部品のため、台車のメインである台車枠の強度については、FEM 解析→静荷重試験（図3、図4）→疲労試験→実稼動応力測定というステップで検証した。特に、静荷重試験と疲労試験は先行試作の台車枠で実施し、その試験結果を量産設計に反映した。静荷重試験は電動台車枠で約 280 点、従台車枠で約 250 点の応力を測定し、強度的に問題無いことを確認した。疲労試験は各々の台車枠に、約 1 ヶ月間連続で 300 万回の繰り返し荷重を負荷し、亀裂・永久歪の発生が無いことを磁粉探傷試験で確認した。また、疲労試験後の台車枠を切断し、内部の溶接についても問題無いことを確認した。

本台車の検証を目的に、当社プラント・交通システムセンター和田沖工場内に 900 m の LRV 専用となる走行試験線を建設し、徹底した技術検証を行い完成度の高い車両開発を実現した（図5）。

試験線では、加減速性能や走行安全性を検証するための車体挙動、台車や車体の各部の強度測定するとともに、乗り心地や室内外騒音なども計測し、快適性



図5 試験線での走行試験

の検証も行った。特に、独立車輪方式台車については、走行安定性を検証するためにカメラによる車輪挙動の観測や、脱線に対する安全性を検証するために輪重及び横圧を測定し、問題無いことを確認した。輪重及び横圧の測定方法については、独立車輪での測定方法を確立させ特許を出願した。

4. 車 両 諸 元

グリーンムーバー max の車両諸元を表1に示す。車両本体には、列車情報システムを搭載し、そのモニタを運転台に置くことによって運転台コンソールの小型化、スイッチ類の集約化、またモニタを使つての設定、メンテナンス・故障表示など運転・保守支援を図り、運転と接客を行う運転士のワークロードを下げることを狙った。

車両制御には省エネルギー性の高いVVVFイン

表1 車両諸元表

構 成	5車体3台車連接超低床車
定 員 (人)	149 (座席 56)
重 量 (t)	33.9
寸 法 (mm)	長30000×幅2450×高3450
床面高さ・低床率 (mm)	360 (出入口部 330)・低床化率 100%
電気方式 (v)	DC 600
軌 間 (mm)	1435
最高運転速度 (km/h)	60
加速度 (km/h/s)	3.5
常用減速度 (km/h/s)	4.8
非常減速度 (km/h/s)	6.0
主制御装置	2レベル IGBT-VVVF インバータ 回生発電ブレンディングブレーキ方式
ブレーキ装置	機械 (油圧) 式ブレーキシステム 回生・発電ブレーキ 保安ブレーキ (トラックブレーキ)、 デッドマン装置
主電動機	三相かご形誘導電動機 100kW×4台
台 車	軸なし左右独立回転車輪台車

バータ装置を用い、電動機個別制御方式を採用し、駆動台車の外側に配置された 100 kW のモータ (4 台／1 編成) による左右の車輪の回転数差、車輪径差によるトルクアンバランスを吸収して、快適な走行性能を発揮させるようにしている。

車体には、路面を走る車両としての安全性、剛性、メンテナンス性などを考慮し鋼製を選択し、徹底した軽量化によって強くて軽い車体を完成させた。中間車をフローティング構造とした5車体3台車構成で、各車体を結ぶ接続部は、高い信頼性をねらいながら、軽量でコンパクト、メンテナンス低減を迫及したものである。

車両のデザインについては、新しい国産の低床車両として、新鮮さと同時にお客様に親しみを感じていただけるデザインとするため、先頭形状を中心に、柔らかさ、丸みをテーマとしたデザインとした。

インテリアデザインは癒しの空間をコンセプトにデザインをまとめたものであり、車体内外には、広島市のシンボルである“もみじ”のモチーフを配置し、これによって路面電車に求められる地域性を強調することとした。

5. 次世代 LRV 開発について

以上、グリーンムーバー max の概要と台車開発の歩みについて紹介した。2007 年 3 月までに、グリーンムーバー max は7編成が広島市の街に導入され、市民に愛される路面電車として広く認知されるまでになった。

本開発による 100 %超低床 LRV の国産化により、日本各都市への LRV 普及に弾みを与えたと考えるが、現在、当社は 100 %超低床 LRV の更なる市場拡大を目標に、次世代 LRV の開発にも着手している。

一つ目はリチウムイオン二次電池を搭載した架線レス／架線レスハイブリッド LRV である。架線がなくなることによる路線景観の向上や、回生失効防止によるエネルギー回収率向上などのメリットなどから、既に多くの研究機関や車両メーカーを中心に検討が行われている。欧州では部分区間であるが、二次電池を用いた架線レストラムの営業運行も開始された。

当社においても、広島電鉄(株)より、旧車を貰い受け社内試験線を用いた各種走行試験を行い(図6)、システム検討や走行性能、バッテリー寿命などの検討を行なっている。

二つ目はグリーンムーバー max より車両編成数をコンパクトにした車両の開発である。グリーンムーバー max は車両長 30 m、5 車体 (3 台車) 連接の構成となっているが、車両長 18 m、3 車体 (2 台車)



図6 架線レス試験車両

連接の構成とし、市内運行に適した車両開発を目的としている。

また、三つ目として、技術開発のみでなく、内外装デザインを中心とする次世代コンセプトデザインの提案も積極的に進めている。路面電車は街のシンボルとなることから、スタイリッシュなデザインが求められており、当社においても次世代 LRV として相応しいデザイン検討を社内デザイナーを活用している。

図7は次世代 LRV の新コンセプト車両の外観イメージ図である。

6. お わ り に

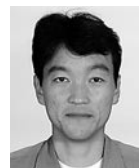
以上、国産初 100 %超低床 LRV 用台車開発の歩みと、次世代 LRV 開発について紹介した。100 %超低床 LRV の開発は、独立車輪方式台車を始め、既存の車両とは違う要素が多く、技術検証は多岐にわたったが、国産化を達成し、日本国内の LRV 市場の発展に



図7 次世代 LRV コンセプト外観図

貢献できたものとする。今後は、更に技術熟成を行うと共に、次世代 LRV 開発を推進し、国産の低床車両が各地で導入されることを期待してやまない。

おわりに、国産初の 100 %超低床 LRV の開発に、多大なご指導を賜った広島電鉄(株)はじめ、台車技術研究組合、近畿車輛(株)、東洋電機製造(株)各位に厚くお礼申し上げる。



星光明



大久保吉喜



村上信之



新井徳泰



河野浩幸



有賀寛泰