

架線・バッテリーハイブリッドLRVの開発

車両制御技術研究部 駆動制御
研究室長 小笠 正道

1. はじめに

架線・バッテリーハイブリッド電車は、架線または車載バッテリーのいずれか、あるいはその両方から駆動エネルギーを得て走行し、またブレーキ時の回生エネルギーを上記電源のいずれかまたはその両方に返還することでエネルギーの有効活用が可能な、電源ハイブリッド型電車である。従って無架線区間では、バッテリーのみのエネルギーによる架線レス駆動が可能である。

2000年度から2004年度まで実施した将来指向課題テーマ「電力リサイクル車両」では、リチウムイオン二次電池を搭載した架線・バッテリーハイブリッド電車の技術を開発し、回生エネルギー有効利用や無給電走行などの車載蓄電技術による種々の有用性を実験的に検証してきた。

本研究では上記成果を継承した上で、架線・バッテリーハイブリッドLRVそのものを開発製作し実現した。車載バッテリーのエネルギーのみで無架線区間を連続走行可能とするため、数km間隔の途中駅等で短時間にエネルギー補給を行う、急速充電技術の開発を行なった。また、実路線走行時の消費電力量や寒冷地でのバッテリー性能確認、1充電走行距離などのデータを取得した。ここでは、これら技術と走行試験結果について概説する。

2. 架線ハイブリッド（架線レス）蓄電型電車は無架線区間をバッテリー走行する意義

バッテリー走行を行なうことによるメリットは以下のとおりである。

(1) 環境面

電気駆動のため排ガスを出さない走行が可能であり、エンジン方式に比べて街中の低公害化が図られる。パンタグラフの摺動音が気になる箇所や、架線と帰線レールに流れる高調波が課題となる箇所では、集電を行わずに走行することで課題を解決できる。

また、場所により架線敷設を省略することで、都市景観の保全、改善が可能となり、観光資源価値の向上に寄与することができる。

(2) サービス面・運用面

無架線区間や、架線区間でも電圧の異なる直流電化区間や交流電化区間へは、バッテリー駆動による乗入れ走行を行なうことで、電源面での直通運用（インターオペラビリティ）が可能となる。その結果、乗換え低減による旅客利便性向上が見込まれる。

また、架線停電などの非常時には、自車バッテリーの電力による自力移動が可能のため、旅客閉じ込め防止も可能となる。

(3) 建設・保守面

架線設置設備費用の低減や、架線設備保守のための費用低減が見込まれる。

また、上下寸法が狭小な場所で架線高さの問題から線路敷設ができない場合がある。このような場所でバッテリー走行を前提とすれば新たな路線建設が可能となり、公共交通ネットワークの拡充に役立つ。併用軌道の交差点では、架線設備の高さが大型自動車の走行を妨げている実例があり、自動車交通障害防止の観点から交差点だけでも架線をはずすことは有効である。

3. 急速充電で無架線走行を可能とする車両を実現するために開発した要素技術

図1にバッテリー駆動可能な電車の特長と実現課題技術を示す。開発した要素技術のうち重要な部分は以下のとおりである。

- (1) 大電流で充電を行なうため、既存インフラとの整合性と旅客が容易に触れない構造を考慮し、剛体架線によるパンタグラフを介した接触充電方式とした。

このとき、剛体架線トロリとパンタグラフ摺板が、動かないヒートスポットとなる充電点で溶着を起こさないことが重要である。大電流による溶着を防ぐ部材組合せを確認する必要があった。

- (2) 動力用とは別に、営業車に必要な空調等のサービス電源分も賄うためのバッテリーエネルギーの大容量化（72kWh）を行なった。また、急速充電対応可能なバッテリーの高パワー化（600kW）を行なった。さらに、大電流急速充電時のバッテリー発熱による寿命縮減を避けるため、バッテリー温度上昇抑制策として、モジュールごとの空冷ファン風量設定、セル間隔設定を実験的に求めた。
- (3) 架線集電とバッテリー蓄電のハイブリッド構成により、停車中の大電流急速充電（高パワー）が可能となる、充電用電力変換器の大容量化（600kW 電流可逆チョップ 2 台構成、および制御アルゴリズムの開発）を行なった。また、1500V 架線と 600V 架線に対応可能な複電圧化（チョップ入出力反転による直流中間回路 750V 化）を施すことで走行できる対象路線なるべく限らないようにした。

4. 架線・バッテリーハイブリッド LRV 試験電車

開発した各要素技術を織込み、国内最小級寸法車両へ、バッテリー、充放電機能付き電力変換器の艤装を行った。営業線走行可能な架線ハイブリッドのバッテリー駆動型超低床 LRV 車両として製作、具現化した（図2）。

車体は、車長 12.9m の単車体で、一般的なボギー台車を用いた部分超低床車両であり、レール面からの乗降口および床面高さは 350mm、超低床部はスロープのないフルフラット構成である。4 軸全てが電動軸で、空転滑走を抑制しつつ高い加減速度を得るとともに、鉄道線走行を見越した速度 70km/h 以上の性能を持つ。

バッテリーは定格電流の 20 倍電流による急速充放電が可能なマンガン系リチウムイオン二次電池を用いており、定格 600V-120Ah（72kWh）で冷却系や遮断器等の保護システムも全て含めて約 2 トンの質量である。車両前後端のスラント部から優先的にモジュールを配置し、残りを乗務員席近傍に配置した。

バッテリー駆動型電車の特長

- ① 急速充電媒体の使用
 - ・回生エネルギー回収率増加
 - ・建設&保守コストの低減
 - ② 架線敷設の省略箇所
 - モーダルシフト容易化（インフラコスト削減）
- ・停車中急速充電 & 連続走行 → 省エネ

実現すべき必須技術

数km毎に、停留所で急速充電しながら走行する技術

- ① 接触式急速充電技術
 - ・急速充電部の構造
 - ・急速充電時のリチウムイオン電池の冷却
- ② 試験用 LRV 電車
 - ・車載充電可能な電力変換器
 - ・急速充電と回生効率の試験評価

図1 バッテリー走行実現のための開発項目



図2 架線・バッテリーハイブリッド LRV

5. 鉄道総研所内での走行試験

5.1 停車中のバッテリー急速充電

所内試験線に建植した、停留所に見立てた 3m 長さの剛体架線下で開発した新車 LRV を停車させ、パンタグラフを介して、急速充電試験を行った (図 3)。

路線途中の停留所を模擬したバッテリー電流 1000A で 60 秒間の充電では、距離約 8km、空調使用時約 4km 以上相当の走行エネルギーを充電できた (表 2)。また、折返し駅を模擬した電流 500A・3 分以上の充電では、距離約 12km 相当の充電が可能であった。

運行ダイヤに影響を与えない停車時間で必要な電力量を供給できることを明らかにした。また、剛体トロリとパンタグラフ摺板との間での溶着発生はなく、充電時のバッテリー温度上昇は 3°C に抑制できた。



3m長の剛体架線(1500V)からパンタグラフを介して、停車中LRVのバッテリーを急速充電

図 3 1500V 剛体架線からの 600kW 急速充電

表 2 急速充電で充填できた走行電力量

バッテリー充電電流と継続時間	バッテリー端子での充電電力量	1急速充電当りの走行距離 (空調なしの場合)	1急速充電当りの走行距離 (空調最大負荷時)
1000A × 61秒	35.6MJ (バッテリー容量の 13.7%)	7.9km 相当	4.0km 以上
500A × 3分16秒	56.9MJ (バッテリー容量の 21.9%)	12.7km 相当	6.4km 以上

5.2 バッテリーのみでの 1 充電走行距離

250m ごとの速度 40km/h までの発進停止の連続により、ほぼ満充電状態から空調非使用の状態、2 時間 4 分 40 秒、距離 32.8km を走行した。バッテリー容量の 56.5% を使用し、電源回生率 (回生電力量を、力行電力量と補機電力量の和で除したもの) 48% 以上の値が得られた。

6. 軌道事業者営業線 (札幌市交通局軌道線) における走行試験

6.1 札幌市交軌道線における走行試験のパターン例 (図 4)

片道 8.5 km の路線 1.5 往復 (入庫分を併せると 25.8km) を基本単位として 1 日当り 3 往復または 4.5 往復の試験を行った。架線・バッテリーハイブリッドモードを基本としており、架線電流 200A を超えるパワー分は全てバッテリーから供給した。変電所から取る電流を抑制しつつ高加減速を実現している。また、バッテリーのみでの走行試験も実施した。

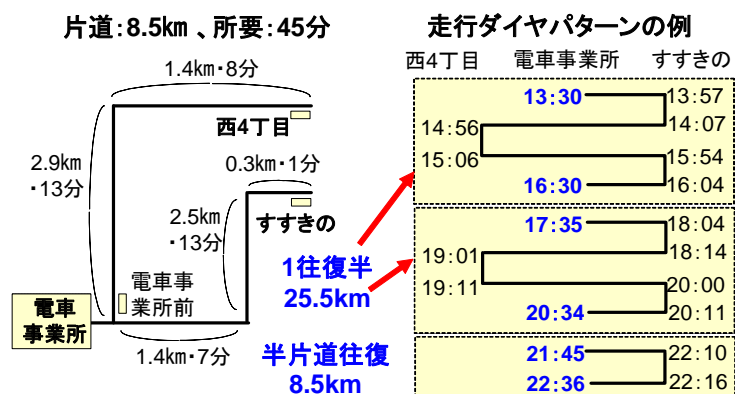


図 4 試験電車の走行ダイヤパターン

(停留所間のランカーブは、入庫以外は営業ダイヤと同等)

6.2 総走行距離

2007 年 11 月 22 日から 2008 年 3 月 7 日までの間、延べ 40 日に亘り本線走行を行なった。この期間における電車事業所構内も含めた総走行距離は 2,196km、本線走行距離は 2,083km のうちバッテリー走行分が 413km (約 20%) であった。

6.3 バッテリーのみの無給電 走行距離

バッテリーのみでの1充電走行距離は、空調暖房（平均外気温度マイナス2℃の時に空調温度20℃設定）動作状況下で25.8kmの値を得た（図5）。試験ダイヤが路線1.5往復（25.8km）ごとに入庫する設定となっており、ほぼ満充電からの走行でバッテリー容量（72kWh）の58%（42kWh）を使用、1.5往復を約3時間で走行した（図6）。

このとき、バッテリー温度上昇は5℃で収まり、寿命に与える温度上昇を抑制できている。空調動作状態での無給電走行が充分可能であることを示している。

また、駆動インバータの回生効率（回生電力量/力行電力量）は41%であり、最も良いとされる山手線級のエネルギー回収率が実現できている。

6.4 低温起動試験

低温降雪環境下で夜間に屋外留置した後の朝に、バッテリー温度マイナス5℃（外気温度マイナス10℃）などの低温状態での起動試験を行った。起動直後から主電流通電が可能であった。

7. まとめ

実車走行の結果、架線・バッテリーハイブリッドLRVの導入により10%程度の省エネ効果が得られることが分かってきた。途中でのバッテリー交換等も一切無かった。

また、2008年3月9日には、公募抽選で一般市民の試乗会が札幌市交通局主催で行なわれた。

今後、Hi-tramを用いた高速走行試験や急速充電試験の繰返しによる信頼性向上、車両のみならずシステムとしての架線レス鉄道の実現へ向けた展開により、都市間、都市内の交通改善に寄与できると考えている。

なお、本研究開発は、経済産業省からの交付金を原資とし実施する「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の一つとして、2005年度から2007年度までNEDO技術開発機構の委託契約に基づき実施した。

最後に、営業線での試験走行をご快諾頂くとともに多大なご協力を頂いた札幌市交通局殿に、あらためて深く感謝致します。

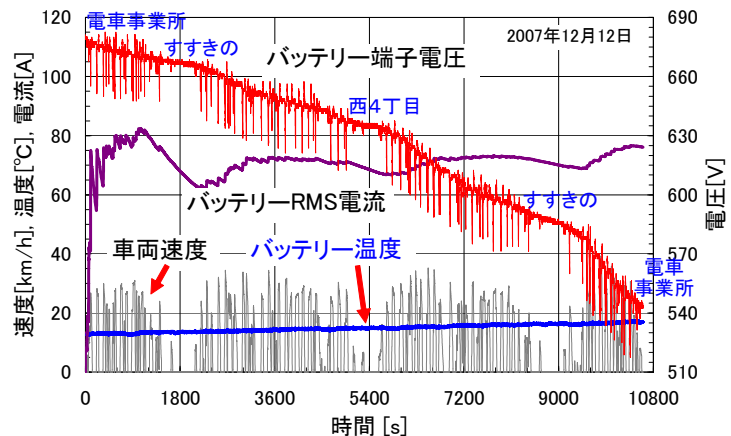


図5 軌道事業者線における営業ダイヤでのバッテリー走行
(無給電走行距離1.5往復=25.8km)

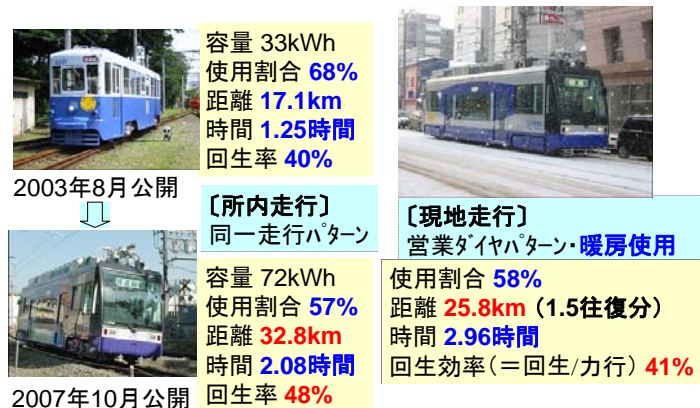


図6 無給電バッテリー走行での1充電走行可能距離