

バッテリー電車による非電化区間の脱炭素化と給電システム



依田 裕史

Hiroshi Yoda

浮上式鉄道技術研究部
磁気浮上研究室
副主任研究員



田口 義晃

Yoshiaki Taguchi

車両技術研究部
駆動システム研究室
主任研究員

はじめに

非電化区間における鉄道の脱炭素化の手法としては、当該区間の電化によるディーゼル車両の電車への置き換えや、ディーゼル車両の電動化などが挙げられます。ただし前者の場合、電化設備への初期投資や、その維持管理が継続的に必要となるといった課題があります。このため近年では、パワーエレクトロニクス技術の進歩と相まって、バッテリー式電気自動車(BEV: Battery Electric Vehicle)のように、運行に必要な電力をバッテリーに蓄えて非電化路線を走行できるバッテリー電車の導入が進められています¹⁾²⁾。

一方で、その航続距離は数十kmと短いため、1日の運用の中で複数回の再充電が必要となります。このため、ディーゼル車両の単純な置き換えはできず、充電時間を考慮したダイヤや給電インフラの整備が必要となる場合があります。これはバッテリー電車の導入における一つの障壁となっています。

本記事では、バッテリー電車の給電システムについて概説するとともに、鉄道総研が開発した鉄道車両用非接触給電システムや、多点給電による車載蓄電池搭載量削減の可能性について紹介します。

バッテリー電車への給電システム

走行用蓄電池の充電方法

バッテリー電車を運行するためには、車載蓄電池を充電するインフラが必要になります。

自家用BEVの運用においては、日常的な使用の際には、自宅の出力数kW程度のコンセントにより、BEVを使用しない夜間などに時間をかけて普通充電を行います。また、週末などの長距離走行の際には、高速道路のサービスエリアなどに設けられた充電ステーションの出力数十～数百kWの急速充電器により、休憩中の30分程度の間で追加充電を行い、航続距離を回復します。

このため、近年のBEV開発においては、航続距離確保のための蓄電容量の拡大だけでなく、短時間でより大きな航続距離回復を実現できるよう、急速充電への耐久性の高い蓄電池の採用や、単位セル当たりの電流低減による発熱の抑制などがトレンドとなっています。また、そのような急速充電性能の高いBEVの普及に対応し、急速充電器に関しても大出力化が進んでいます。

急速充電器のコネクター形状や最大出力、車両との通信プロトコルなどに関する規格は、国際規格に準拠しつつ、地域や自動車メーカーにより複数が提案されています。

また、非接触給電(あるいはワイヤレス給電



図1 剛体架線とパンタグラフによる給電

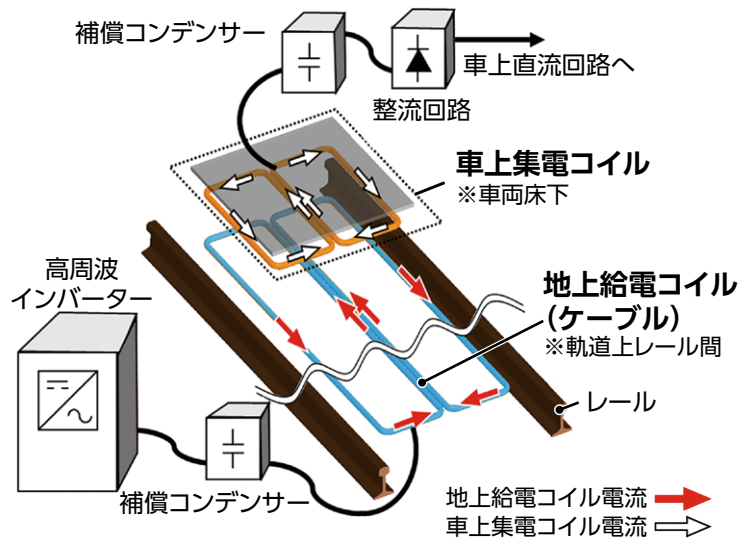


図2 鉄道車両用非接触給電システム（鉄道総研にて開発）

WPT: Wireless Power Transfer) システムについても、普通充電クラスの出力についてはすでに国際規格が策定されています。今後製品化が進むとともに、普通充電用から先行して普及していくことが見込まれます。また、急速充電クラスの出力をもつWPTシステムについても、バスなどの大型車向けとして開発が行われており、バッテリー電動バスとの組み合わせによる試験運用が国内外で実施されています。

バッテリー電車の運用と給電

一方、鉄道車両であるバッテリー電車の場合、これとは大きく異なる運用方法が求められます。可能な限り多くの時間、車両を営業に供するためには、BEVにおける自宅での充電のように、夜間停泊中に翌日の運用に必要な電力量を充電する運用が理想的といえます。しかし、残念な

がら現在の蓄電池の性能では、一日の運用を賄いきれるほどの容量をもった蓄電池を搭載する車両設計は困難であり、運用中の追加充電が必要となります。これに対し、現在国内で導入されているバッテリー電車は、いずれもパンタグラフを搭載し、電化区間にて架線からの電力により、走行中・駅停車中に充電を行っています。それに加えて、非電化区間末端駅に図1のような短い架線設備を設け、折り返しの長時間停車中に急速充電を行っているケースもあります³⁾。また、海外においても同様の充電方式が用いられているほか、途中停車駅での急速充電を前提とした運用を行っている車両もあります。

パンタグラフ以外の給電方式

鉄道においても、パンタグラフ以外の給電方式、すなわちコネクター接続や非接触給電の適

表1 各給電システムの比較

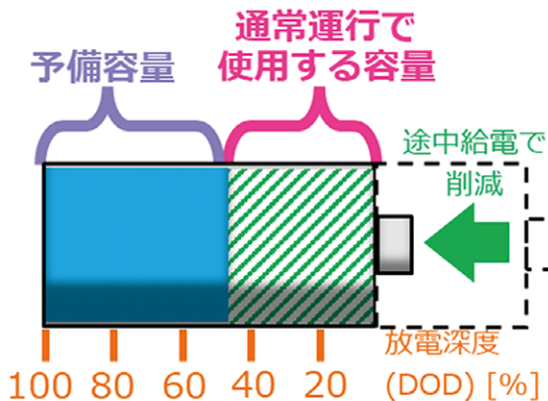
	メンテナンス性	給電動作の容易さ (短時間給電への適合性)	大出力化 (急速充電への適合性)	導入コスト	新規導入の容易さ
架線+パンタグラフ 電化区間在線中に (走行中)給電充電用 架線からの“点”給電	△ ・接触部の摩耗 ・機械的可動部あり ・課電部が露出	○ ・“点”給電の場合機械的 操作(パンタ昇降)が必要	◎ ・一般的なすり板で、 1/パンタあたり500kW 前後の給電が可能	○ ・鉄道用き電設備が必要	◎ ・既存鉄道システムに内包
コネクタ接続 (BEVで一般的) 停車中に電源と車両を ケーブルで接続	○ ・電気接点の消耗	△ ・コネクタ脱着が必要 ・ケーブルが重い	△ ・ケーブルの高電圧化や 水冷化が必要 ・重量増で取り回しが悪化	○ ・普及技術の活用で 低コスト化の可能性	○ ・車両側が対応すれば、 BEV向け量産品の導入可
非接触給電システム (ワイヤレス給電/WPT) 軌道上と車両床下の コイルを対向させ給電	◎ ・摩耗なし ・機械的可動部なし ・課電部露出なし	◎ ・機械的操作が不要 ・停車中～走行中問わず シームレスに給電可能	○ ・コイルなど車載機器が 大型・高電圧化 ・送電効率向上が難しい	△ ・鉄道用としては 一定の技術開発が必要 ・高周波機器が高価	△ ・既存設備との両立性 (軌道保守作業への影響 信号機器への電磁影響)

大容量蓄電池 + 大出力給電設備 —拠点設置・急速充電—

蓄電池(大容量)

蓄電池に求められる特性

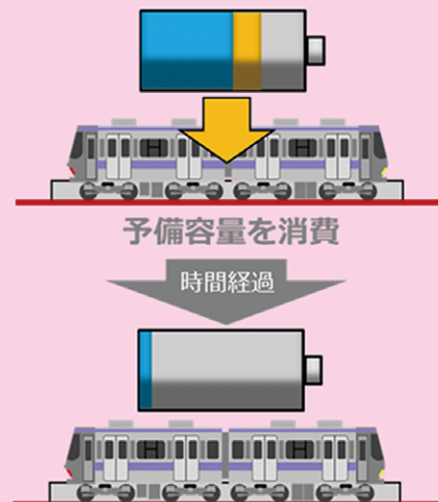
- ✓ 高い容量密度
- ✓ 急速充電耐性



急速充電

異常時の長時間

給電設備まで移動できない可能性があるため、蓄電池の予備容量から抑止中の補機電力を給電



小容量蓄電池

+

低出力給電設備

— 多点設置・高頻度充電 —

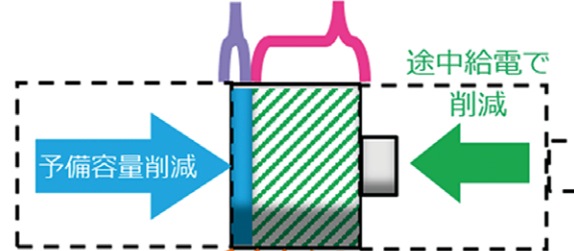
蓄電池(小容量)

蓄電池に求められる特性

- ✓ 深い放電深度での繰り返し使用においても劣化しにくい
- ✓ 高い出力密度

通常運行で

予備容量 使用する容量



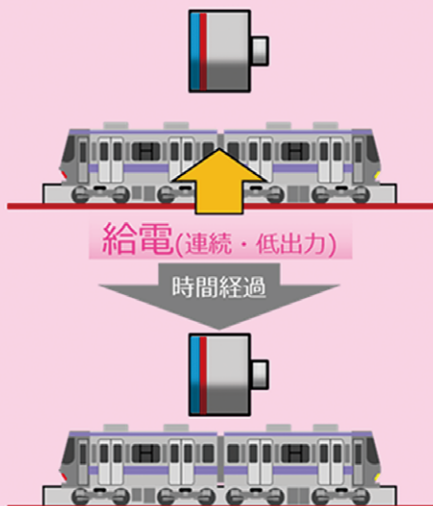
100 80 60 40 20 (DOD) [%]

放電深度

充電

抑止時の対応

最寄りの給電設備まで
移動できる前提で
給電設備から連続的に
抑止中の補機電力を給電



用が考えられます。それら各給電方式の得失の比較について、表1に示します。それぞれ一長一短がありますが、現在のところパンタグラフが主流となっているのは、既存の鉄道システムに容易に導入でき、また、大出力給電による急速充電に向いているためです。したがって、より低出力での給電であれば、BEV用急速充電器の活用により低コスト化が期待できるコネクタ給電や、省メンテナンス化が図れるWPTシステム(図2)の適用が可能になると考えられます。

途中給電設備による 車載蓄電池搭載量の削減

車載蓄電池は重量物で大きな^き積装スペースを占有し、また現在のところ非常に高価でもあります。そのため、その搭載量を削減することは、車両設計の自由度と導入コストの面で大きなメリットがあります。そのための方策として、停車駅など、運行区間の途中にも給電設備を設けることが考えられます。一方で、給電設備の設置コストとのバランスを考える必要があります。これに対し、以下の2つのアプローチが考えられます(図3)。

アプローチ①：大出力拠点給電

給電設備の設置数を抑制するアプローチとして、現在導入されているような、大容量の蓄電池を搭載した車両を前提にしつつ、いくつかの途中駅にも給電設備を設けることが考えられます。この場合、追加した給電設備の数に応じて、運行で使用する電池容量を減らすことができます。したがって、その分の搭載蓄電池容量を削減できますが、必ずしも大きな割合とはなりません。実際に搭載されている車載蓄電池は、想定された車両運用で使用する電池容量に対し、大幅に余裕をもたせているためです。この理由は主に次の2点です。

理由① ダイヤが乱れた際の長時間抑止時に、空調や照明などの補機消費電力を賄う。

理由② 放電深度(DOD)を小さくし劣化の進行を抑制する。

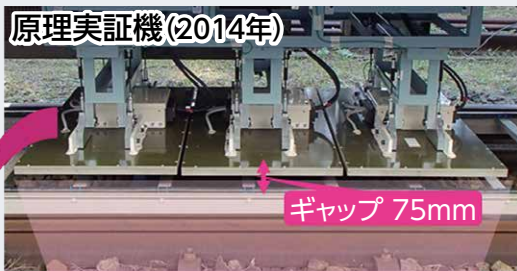
また、短い停車時間で急速充電を行えるよう、大出力の給電システムを備える必要があり、さらに大容量受電設備の整備も必要になることから、一か所あたりの設置コストが課題になります。

アプローチ②：低出力多点給電

別のアプローチとして、より低出力の給電設備を全停車駅などに多数設置することが考えられます。この場合、一層運行に必要な電力量を減らすことができるだけでなく、先に述べた予備容量を大きく削減できる可能性があります。これは、運行中つねに列車の最寄りに給電設備が存在することを前提に、長時間抑止時には、至近の給電設備設置箇所まで移動することで、そこから連続的に補機消費電力の供給を受けるといった運用が考えられるためです。この場合、理由①により確保されていた余裕分に関しては削減することが可能です。一方で、この余裕は理由②にも関係しており、これを削減してしまうと通常運用時の放電深度が増大し、一般的には蓄電池寿命に悪影響を与えてしまいます。したがって、このアプローチによる車載蓄電池容量の削減には、大きな放電深度での繰り返し使用においても劣化しにくく、かつ高い出力密度を確保できる蓄電池^{コラム}を採用することが

コラム「さまざまなリチウムイオン電池」

現代は、スマートフォンをはじめとする電子機器から掃除機のような家電、BEV、大きなものでは鉄道車両、船舶まで、ありとあらゆる電気機器がリチウムイオン電池(LIB)で駆動される時代ですが、用途や必要性能に応じてさまざまな特性のLIBが存在します。LIBの特性は、バッテリーセルの構造や製造手法などのメーカー特有の技術や、LIBを構成する正極・負極や電解液に使用される材料に依存しています。材料と特性の関係は複雑ですが、製品例としてはマンガン系や3元系は大容量向けでエネルギー密度・出力密度が高く、チタン酸系は耐久性に優れ、リン酸鉄系は経済性に優れたものが存在します。安全性など各種特性が向上すると期待されている全固体LIBについても研究開発が進められています。



同等性能のまま
占有寸法 1/3
ギャップ 2倍

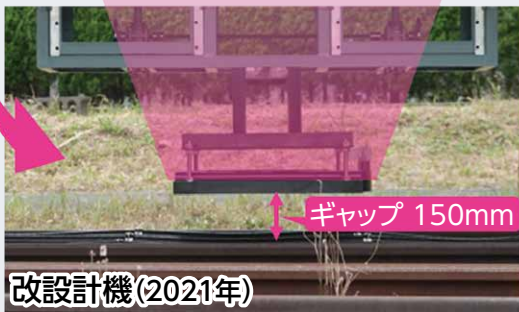


図4 鉄道車両用WPTシステムの改設計



車上コイル
(試験用50kW級)

地上コイル
(試験用約7m)

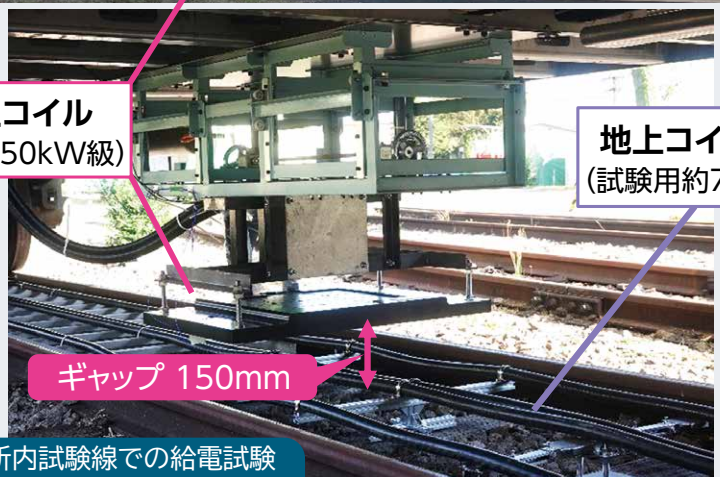


図5 所内試験線での給電試験

重要です。また、給電設備数が増加するため、出力の抑制とともに一か所あたりの設置コストを低減することが重要になります。これに対し、一部の給電設備については異常時の補機給電に特化した極低出力のものにするという方策が考えられます。

鉄道車両用非接触給電システムの開発

鉄道総研では2012年度より、給電システムの一つの選択肢として、鉄道車両用WPTシステムを開発しています⁴⁾。これは図2に示すような構成で、レール間に敷設した地上コイルに高周波電流を通電することで、車両床下に搭載した車上コイルに、文字通り非接触で電力を供給できるシステムです。WPTシステムは非接触で摩擦がないため、メンテナンスの負担が低減されることが期待されます。また、課電部の露出や機械的可動部がないため、安全性・信頼性も高いシステムです。さらに、地上コイルを線路に沿って長く敷設すれば、走行中も停車中と同様に給電することができます。

2021年度には、より実用的なシステムの姿として、従前より車上コイルを大幅に小型化しつつ、地上コイルとの離隔を、従前の75mm

から150mmへ、2倍に広げる改設計を行いました(図4)。また、改設計機の性能評価試験を実施し、設計通りの電力伝送性能(約1.5m長の車上集電コイルに対し、150kWの電力を90%以上のコイル間効率で伝送)を発揮できることを確認しています(図5)。

おわりに

鉄道の脱炭素化への貢献が期待される、非電化区間におけるバッテリー電車の普及には、航続距離の増大が必要不可欠です。鉄道総研では、他モビリティの電動化の進展や、車載用蓄電池の技術開発動向などを注視しつつ、多点給電設備による車載蓄電池削減方法の深度化や、鉄道車両用非接触給電システムの開発などに取り組んでまいります。RRR

文献

- 1) 小笠正道：バッテリー電車の最近の動向，鉄道総研報告，Vol.29，No.9，pp.51-60，2015
- 2) 田口義晃，門脇悟志：車載蓄電池で車両の環境性能を向上する，RRR，Vol.75，No.7，pp.8-11，2018
- 3) 早坂高雅，白木理倫：バッテリー電車充電用架線の保全周期を提案する，RRR，Vol.76，No.9，pp.16-19，2019
- 4) 依田裕史，浮田啓悟：車上集電電力密度を向上した鉄道車両用非接触給電システム，鉄道総研報告，Vol.36，No.6，pp.13-19，2022