

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

バッテリー搭載車両に非接触で給電する

近年、走行用バッテリーを搭載した鉄道車両が電化区間から非電化路線に乗り入れる形態の営業運転を始めています。これらの車両は電化区間や折り返し駅でパンタグラフから集電しバッテリー充電を行います。新たな給電方式の選択肢のひとつとして、簡素な設備で設置自由度が高くメンテナンスフリーであり、また走行中・停車中を問わずシームレスな給電が可能な非接触給電システムの開発を行っています。ここでは、システムの概要と所内試験線での原理実証試験について紹介します。



依田 裕史
Hiroshi Yoda
前 浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
研究員
[専門分野] 数値解析, 非
接触給電, リニアモーター,
超電導磁気浮上式鉄道



浮田 啓悟
Keigo Ukita
浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
副主任研究員
[専門分野] 非接触給電,
超電導磁気浮上式鉄道

はじめに

電気鉄道は環境負荷が小さく、また省エネルギーな交通機関です。一般的に鉄道車両への給電は、架線や第三軌条に対し、パンタグラフに代表される車載の集電装置を接触させることにより行われるため、定期的なメンテナンスが必要であり、また充電部が露出していることから、異物介在による地絡や感電の懸念があります。鉄道車両への非接触給電の適用によって、これらの課題が解消できる可能性があります。

自動車分野においては、近年の環境規制強化やバッテリー性能の向上にもなう電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッドカー (PHV) の普及を背景に、利便性の高い充電方式として数kW級の非接触給電技術が注目され、技術開発ならびに規格策定が進められています。非接触給電技術の鉄道への適用においては、自動車用と比較して10倍から100倍の給電容量が必要となり、また、損失要因となる鋼鉄レールが至近に存在するといった相違から、鉄道分野独自の技術開発が必要とされています。ここでは、鉄道総研で開発を進めているバッテリー搭載車両向け非接触

給電システムについて紹介します。

走行用バッテリーを搭載した鉄道車両

近年、走行用バッテリーを搭載した鉄道車両の開発が進展し、国内でもいくつかの非電化路線に導入され営業運転を行っています。これら車両には大きく二つの種類があります。一つは発電用ディーゼルエンジンを搭載したディーゼルハイブリッド車両で、ハイブリッド自動車と同じく、減速時の回生エネルギーを蓄え再利用したり、エンジンを高効率領域で運転することにより、燃費と環境負荷低減を実現しています。もう一つはバッテリーのみを搭載し、蓄えた電力のみで走行を行うバッテリー電車で、電気自動車 (EV) に相当し、走行時に温室効果ガスや大気汚染物質を排出せず、一般的な電車のようにメンテナンスが容易であるという特徴があります。車載バッテリーへの充電は減速時の回生エネルギーを利用するほか、搭載されたパンタグラフを使用し、電化区間に乗り入れて走行しながら行います。さらに、非電化区間の折り返し駅に設けられた剛体架

線を用いた急速充電設備による充電もあわせて行われています。

鉄道総研では、これらバッテリー搭載車両への充電方式の選択肢の一つとして、簡素な設備で設置自由度が高くメンテナンスフリーであり、また走行中・停車中を問わずシームレスな給電が可能な非接触給電システムを提案しています。

非接触給電の原理と特徴

非接触給電の方式にはさまざまなものがあります¹⁾が、電磁場により空間を介してエネルギーを伝送するため、接触式に比べ一般的に伝送効率が劣ります。ここでは最も広く用いられており、また鉄道総研で開発を進めている変圧器方式の原理と特徴について説明します。図1に一般的な変圧器の構造と変圧器方式非接触給電の概要を示します。一般的な変圧器は一次巻線と二次巻線を共通の鉄心に巻き付けた構造となっており、交流電流が作り出す変動磁束を通じて、分離された二つの電気回路間で電力伝送を行います。磁束がほぼ漏れなく鉄心に閉じ込められるため、高い伝送効率が得られます。

一方、変圧器方式非接触給電では、変動磁束の通り道となる鉄心が分離されている、あるいは省略されている点が異なります。これにより空間を隔てて、非接触で電力伝送を行うことができます。うえ、原理上互いの運動状態による影響がないため、地上側のコイルを移動方向にわたって連続的に設置すれば、移動しながらでも給電することができます。しかしながら、二つの巻線(コイル)の間から漏れてしまう磁束が多くなります。これらの磁束は電力伝送に寄与しないだけでなく、周囲の導体にうず電流(☞参照)を生じさせ、損失を生じます。したがって、伝送効率が低下します。

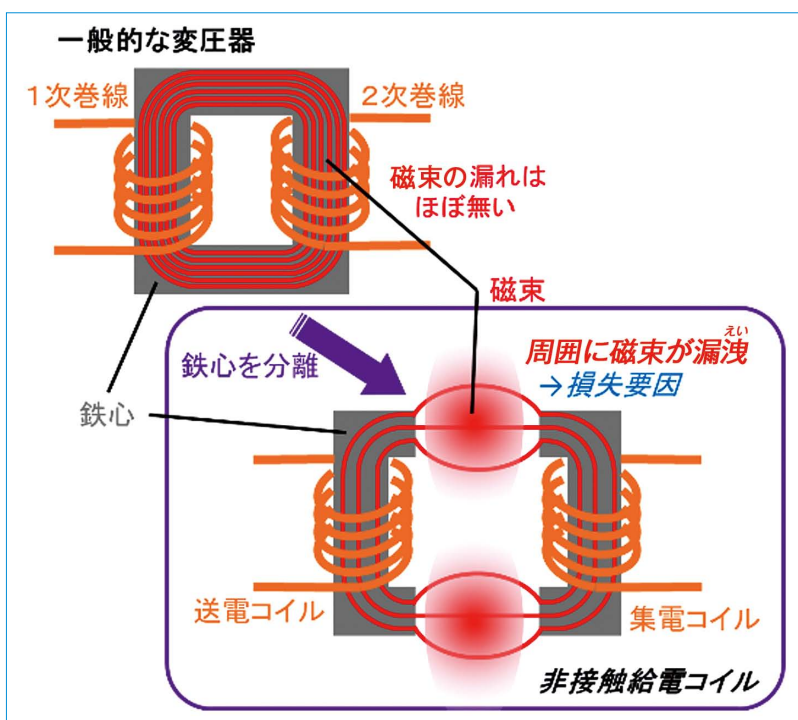


図1 変圧器方式非接触給電の概要

低下してしまう伝送効率に対して、通電周波数を高めることでこれを補うことができますが、高周波電流に起因する損失増大を抑制するため、リッツ線(☞参照)とよばれる特殊な電線を使用する必要があります。また、電源

に関する高周波を出力できるイン

バーターを使用する必要があります。以上のように、非接触で電力伝送が可能であるというメリットに対し、特別な電線と電源を用いる必要があり、伝送効率を高めることが難しいというデメリットがあります。

☞ うず電流

時間変動する磁場は誘導起電力を生じるため、変動磁場を取り囲む導体のループがあると、そこにはその磁場を排除するような電流が流れます(レンツの法則)。塊状の導体では、貫通している磁場を取り囲むよううず状に、また、磁場の侵入を妨げようとする結果、表層に集中して電流が流れます。電流が集中する部分の厚みは表皮深さとよばれますが、これは電気抵抗が小さく透磁率(磁束の通しやすさ)が大きいほど、また変動磁場の周波数が高いほど薄くなります。とくに、鋼鉄のように導体でかつ透磁率が大きな材質が高周波磁場中に置かれた場合、表皮深さが非常に薄くなり電流密度が高くなるため、大きなジュール損失と発熱を生じます。この効果を積極的に利用しているのが高周波焼き入れで、対象物を高周波磁場中に置くことで、表層を局所的に加熱し焼き入れを行います。

☞ リッツ線

一般的に導体に高周波電流を通電すると、電流が導体周縁部に集中し(表皮効果)、損失が増加してしまいます。この表皮効果による損失は、導体を細かく分割し、互いに絶縁された素線の集合体とすることで低減することが可能ですが、単純に各素線を並行に束ねて構成した場合、各素線が作り出す磁場の影響で電流分布が不均一となり(近接効果)、特定の素線にのみ集中して電流が流れるため、表皮効果と同様に損失が増加してしまいます。これらの損失(交流抵抗損失)は、絶縁された素線を束ね、撚りを施した構造のリッツ線を使用することで抑制することができます。

非接触給電システム

鉄道総研で開発を行っている鉄道車両用非接触給電システムの概要を図2に示します。本装置は左右レール間に設置される給電コイル、車両床下に設置される集電コイル、給電コイルに電力を供給する高周波インバーター装置と、過剰な電圧を抑制する無効電力補償コンデンサー、直流出力のための整流回路から構成されます。給電コイルは一般的な矩形や円盤状ではなく、一条のケーブルを8の字形状に敷設する構造となっています。これは走行中でも給電を行えるようレール方向に長尺とした場合のコスト低減を狙った、鉄心レスのコイルです。集電コイルも同様に8の字形状ですが、4ターン巻となっており、また、磁気結合増加および車体に対する磁気シールドを目的としたフェライト製バックヨークを有しています。この8の字コイルの特徴として、レール近傍や周囲への漏れ磁束の低減効果があります。図3に示すように、給電コイルのそれぞれのコイル辺(ケーブル)が作る磁場は、レール付近や周辺部では弱め合い、レール間中央部で強め合います。また、給電コイルの作る磁場はレール間で総和がゼロとなるため、左右のレールが2本の輪軸で短絡されて形成されるループ回路に電流が誘起されず、単純な矩形コイルと比較して損失を低減できます(図4)。

所内試験線での原理実証

ここまでに紹介した鉄道車両用非接触給電システムについて、一般的な20m級車両1両あたり300kWの集電が可能なシステムを設計しました。設計コンセプトの概要を図5に示します。この設計を基に、集電容量を6分の1に縮小した原理実証用装置を製作し、所内試験線にて試験を行いました²⁾。

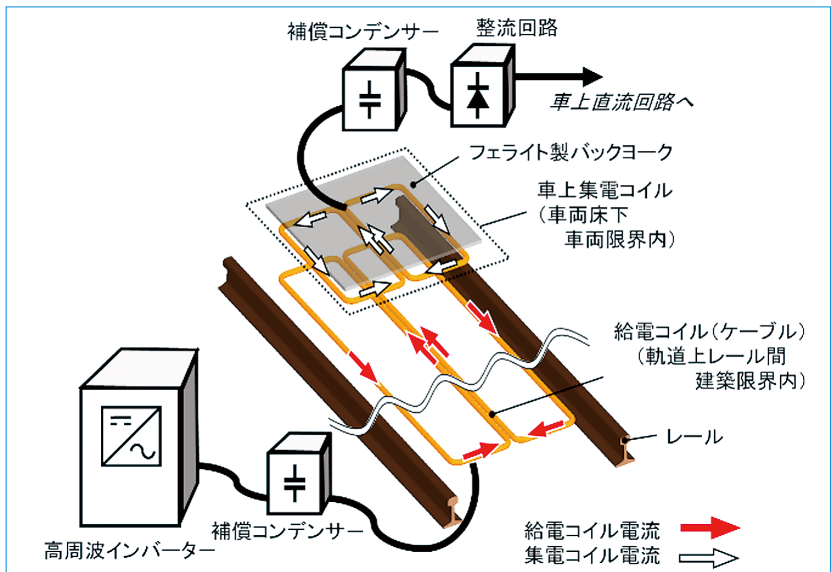


図2 鉄道車両用非接触給電システムの概要

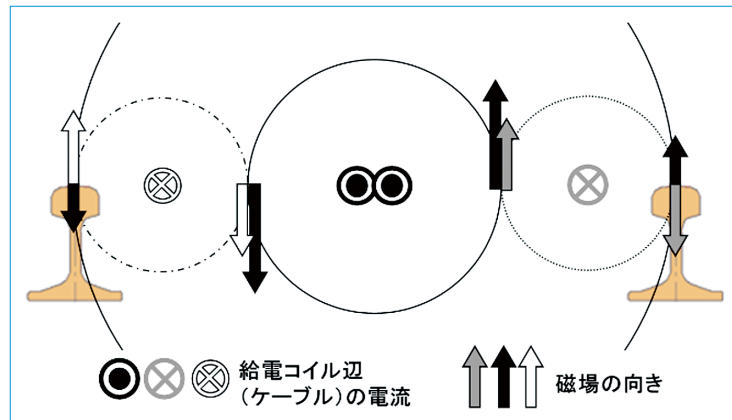


図3 8の字給電コイルによる磁場の様子

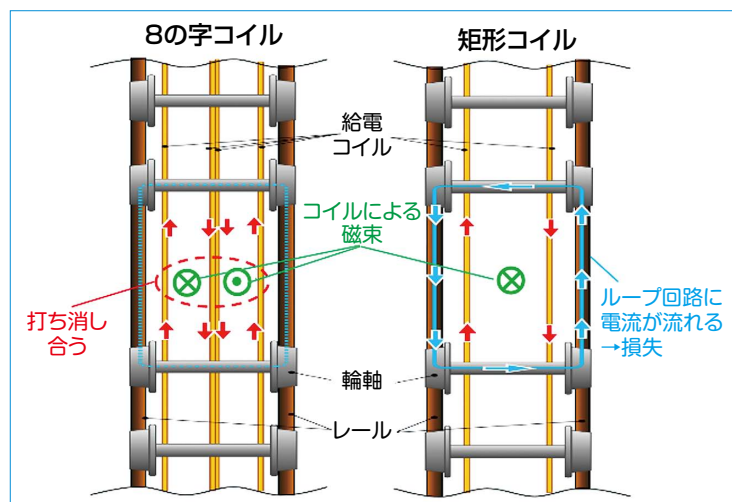


図4 8の字給電コイルによる損失低減効果

図6に製作した給電コイルの敷設状況を示します。本試験においてはレール間への敷設に汎用品の樹脂製ケーブルラックを使用しましたが、実用化に向

けて専用の固定架台の開発も進めています。図7に製作した集電コイルの試験車両床下への搭載状況をそれぞれ示します。設計コンセプトでは1車両の

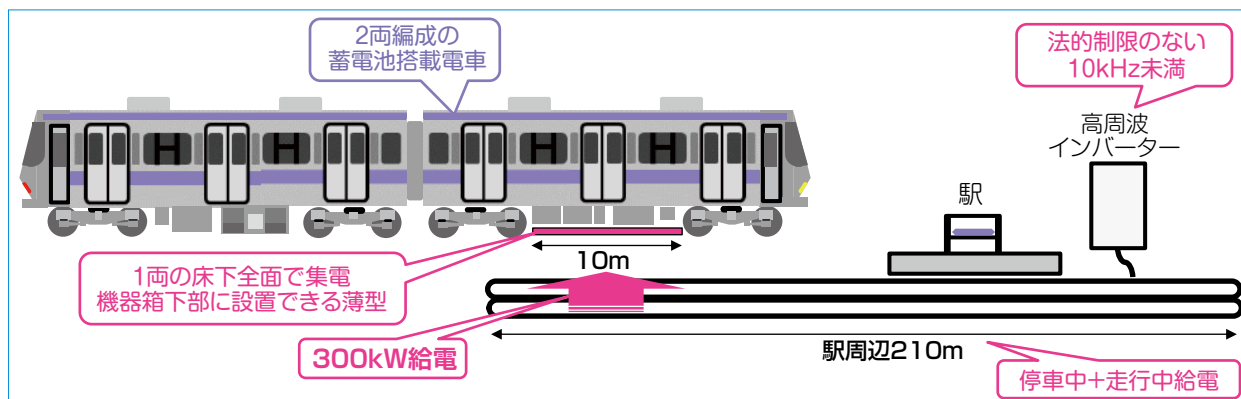


図5 非接触給電システムの設計コンセプト

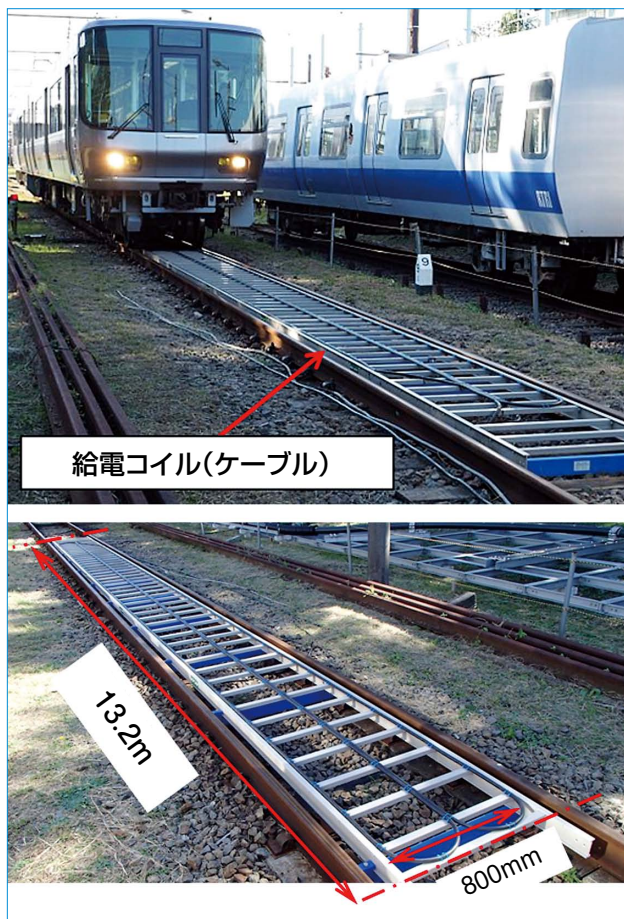


図6 所内試験線に敷設した給電コイル

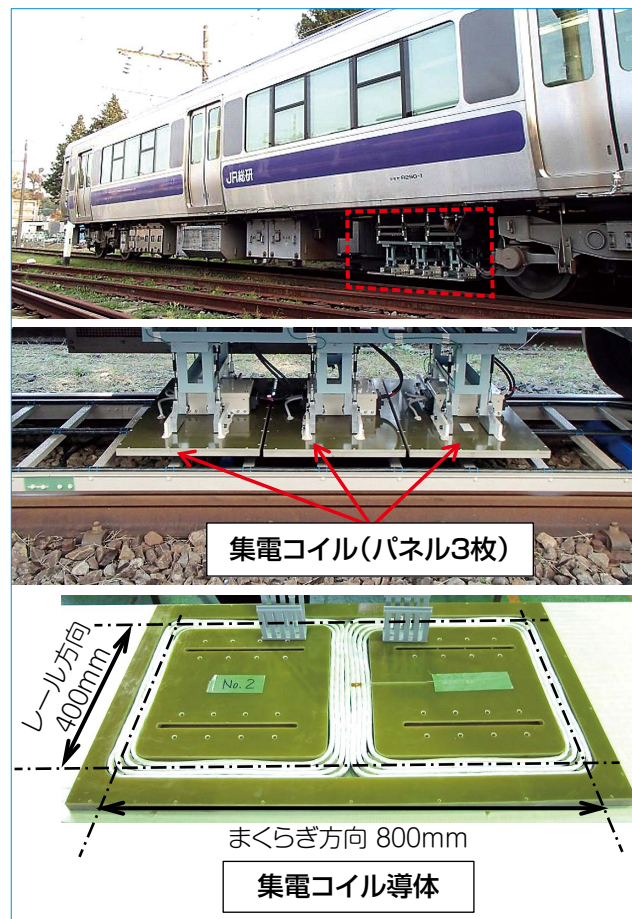


図7 試験車両に搭載した車載集電コイル

床下全面に搭載することで300kWの集電性能を発揮しますが、パネル状に分割された構造の集電コイルの搭載数を少なくすることで、基本設計はそのままに集電容量を縮小しています。

これらを用いた試験の結果、停車中・走行中を問わず約40kWの電力伝送を確認しました。また、車載の走行用バッテリーへの充電や車両補器類への給電についても実証しました。

まとめ

簡素な設備で設置自由度が高くメンテナンスフリーであり、また走行中・停車中を問わず給電が可能な、バッテリー搭載車両向け非接触給電システムの原理実証試験を行い、所定の性能を確認しました。引き続き実用化に向け、車載集電コイルの小型化を中心に研究開発を進めています³⁾。[RRR]

文献

- 1) 柏木隆行：非接触で車両に電力を送る，RRR，Vol.70，No.10，pp.20-23，2013
- 2) 柏木隆行，浮田啓悟，坂本泰明，加藤佳仁：鉄道車両用非接触給電装置の電力供給性能検証，鉄道総研報告，Vol.29，No.11，pp.35-40，2015
- 3) 依田裕史，坂本泰明，柏木隆行，笹川卓：高電力密度非接触給電システム用コイルの設計，鉄道総研報告，Vol.33，No.5，pp.17-22，2019