

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

非接触で 車両に電力を送る

非接触で電力を送ることができる非接触給電は、浮上式鉄道をはじめ近年は自動車や搬送機などの電力供給手段としても研究が進められています。本稿では、非接触給電の方式、システムの特長などに触れながら、鉄道での技術開発動向を概観するとともに、在来鉄道への応用に向けた研究成果などについて紹介します。



柏木 隆行
Takayuki Kashiwagi
浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
主任研究員
[専門分野] リニアモータ
タ応用、非接触給電

はじめに

近年、スマートフォン（スマホ）の普及が進み、従来の携帯電話に比較して長時間操作を行うことが多くなり、以前よりも頻繁に充電をするようになったという方も多いかと思います。スマホの充電では、コネクタの接続は面倒ですし、クレードルも置き方によってはうまく充電できないことがあるなど不便を感じることもあるかと思います。これらの課題に対応すべく、Qi（チー）という非接触でスマホなどに充電を行うための規格が作られ、利用している方からはとても便利だという声も聞こえてきます。

電車の運行には、車両に電力を送る必要がありますが、現在ではその役割をパンタグラフや集電靴が担っています。鉄道では、高電圧の部分が露出しており、感電や地絡（ショート）が起る可能性や、摩耗部分があるため、定期的な検査や交換が必要となるなどの課題があります。スマホと同じように電車にも非接触で電力を送れば、これらの課題に対応することが可能となります。

非接触給電とは

通常、電気エネルギーは電線を通して送りこまれますが、電車など移動体へ電力を送る場合はブラシなどを用いて導体同士を接触させる必要があります。一方、変動する電流（交流）を導体（コイル）に通電すると、変動する電磁場を生じます。電磁場は空間を伝搬することが可能であり、変動する電磁場中に導体（コイル）を設置すると、導体に起電力を生じ、導体に負荷をつなぐことで、負荷に電力を供給することが可能となります（図1）。これが非接触給電の基本原理です。非接触給電は、変動する電流や磁場の発生方法により何種類かの方式に区別できますが、その主なものを表1に示します。

発電機方式は、移動体の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して電気を取り出しており、初期のJRマグレブで走行試験が行われ、中国で営業運行中のトランスラピッドでも使用されていますが、停止時には給電できないため、バッテリーなどと組み合わせることが必要となります。変圧器方式は、非接触給電としてよく用いられる方式で、携帯電話や電動歯ブラシなど小規

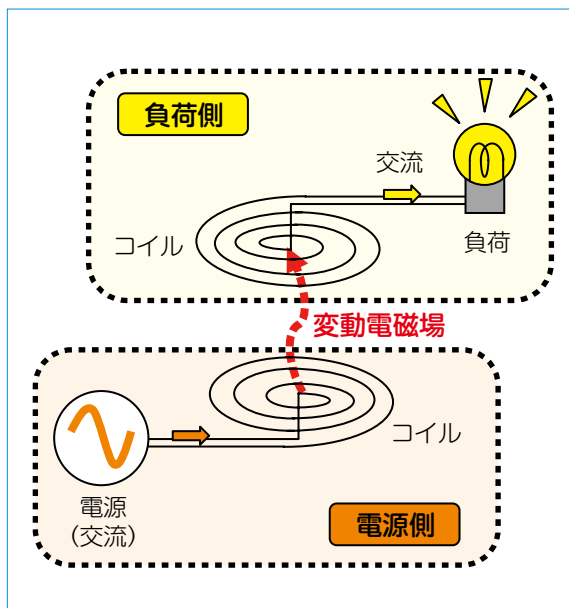


図1 非接触給電の基本的な原理

表1 非接触給電の方式

方式	原理	実用・試験例など	特徴
発電機方式	移動体などの運動エネルギーを電気エネルギーに変換する	JR マグレブ（初期）、トランスラピッド	静止時に電力伝送不可
変圧器方式	送電側と集電側を磁場で結合し、エネルギーを送る	JR マグレブ、トランスラピッド、電動バス、携帯電話、髭剃、電動歯ブラシ他	近距離、大電力伝送
電磁波方式	マイクロ波などを用い、電磁波でエネルギーを送る	電動トラック、宇宙空間太陽光発電送電	長距離、大電力伝送
磁界共鳴方式	磁界共鳴により、電磁波でエネルギーを送る（電磁波方式の一つと見ることが出来る）	MIT の伝送実験	中距離、中規模電力伝送

模な装置では既に実用化されています。電磁波方式は、宇宙空間における太陽光発電のエネルギーを地上へ送電する方式として検討が行われてきていましたが、近年では長距離伝送が可能であるという特長から、電動トラックへの適用を目指した給電試験も行われています。磁界共鳴方式は、マサチューセツ工科大学（MIT）が2007年に発表し、従来の非接触給電には無い、中距離・中規模電力・高効率送電が行えるという特長を持った方式として注目を浴び、携帯電話への適用をはじめ、小型機器への適用が検討され始めています。

非接触給電は、接触部を持たないため、安全性やメンテナンスに関して優れた特長を有しますが、実用化されたものは小規模なものが多く、大電力を送電するもので実用化されたものはほとんどありません。その理由として、空間を通してエネルギーの伝達を行う必要があることから、エネルギー伝送密度（同じ面積で送れるエネルギー量）が低く、大電力を送るには相応の面積が必要となり機器が大型化すること、

またエネルギー伝送密度を向上させるために高周波電流（数kHz以上）が用いられますが、高周波電流を用いることにより各種損失が増大してしまい伝送効率が低下してしまうこと、さらには電力変換器や特殊な電線を使用することから高コストとなってしまうことなどが挙げられます。

したがって、非接触給電によって得られるメリットを理由に、単純に現在用いられている接触給電の装置をそのまま非接触給電に置き換えることは必ずしも得策とは言いきれず、非接触給電が実用化したものは、水が掛かる場所での給電が必要になる電動歯ブラシなど、接触給電では実現が困難なものが多いのも実情です。

鉄道での開発状況

非接触給電を鉄道に適用する場合、真っ先に考えられることは、電気鉄道を架線の無いシステムにするということが挙げられます。非接触給電を採用することで、安全性の向上がはかれ、メンテナンスが容易となり、また集電

装置による騒音の問題も解決される可能性があります。一方、前項で述べたように、高価で、かつ効率が低くなってしまうという課題があるため、残念ながら現状では単純に架線集電を置き換えることは現実的ではありません。

しかしながら、他に代替手段が無い状況においては、そういった課題を乗り越えて採用される例があり、浮上式鉄道はその代表格と言えます。高速で走行する車両への給電は接触方式では物理的に困難が多く、初期のJRマグレブの走行試験や中国で営業運行が行われているトランスラピッドでは、高速走行時に発電機方式による集電が行われています。

景観を重視するヨーロッパでは、歴史的建造物などが存在する地区での架線を嫌い、架線レストラムの導入が始まっています。実用化されているものは、第三軌条を用いたものですが、気象条件や環境に影響を受けやすいといった指摘もあり、ボンバルディア社によって2010年からドイツのアウグスブルクでPrimoveシステムと呼ばれ

る非接触給電装置によるトラムの試験走行が行われています。

韓国では、電動バスの非接触給電技術を鉄道へ応用し、2013年に五松駅で180kW程度の非接触給電デモンストラーションを実施しています。トラムへの適用を皮切りに、高速鉄道への使用も視野に入れた開発を行っています。

鉄道総研での開発

鉄道総研が非接触給電の適用先として着目しているものの一つに、非電化区間向けのバッテリートレインや、ハイブリッド気動車といった蓄エネルギー媒体を持った車両があります。近年実用化されつつあるこれらの車両では、蓄エネルギー媒体自体の重量が重く、軽量化が望まれています。これらの車両へ多頻度の充電を行うことで蓄エネルギー媒体の搭載量を軽減することが可能となり、安全性・メンテナンス性・運用の容易さから、充電方法として非接触給電を用いることが考えられます(図2)。現在は、駅停車時の充電を想定していますが、駅付近の低速走行時にも充電することも考えられます。

非接触給電を鉄道へ応用する場合の課題として、

- (1) レールにより車両が拘束されているため、地上-車両間の位置の正確さを得やすいものの、車両限界や建築限界といった制約から設置面積や場所が限られること
- (2) 地上設備については長尺となるものが多く、より低コストとなる構成にする必要があること
- (3) 電力伝送コイル間の空隙長を維持しやすい車両下部へ非接触給電装置を設置する場合、近傍に磁性体であるレールがあるため、磁場漏れにより損失の原因となりうること(図3)

などが挙げられます。

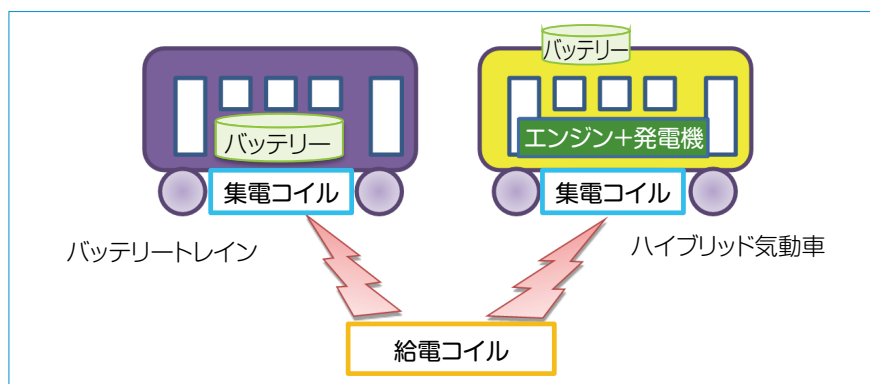


図2 非接触給電の鉄道への適用例

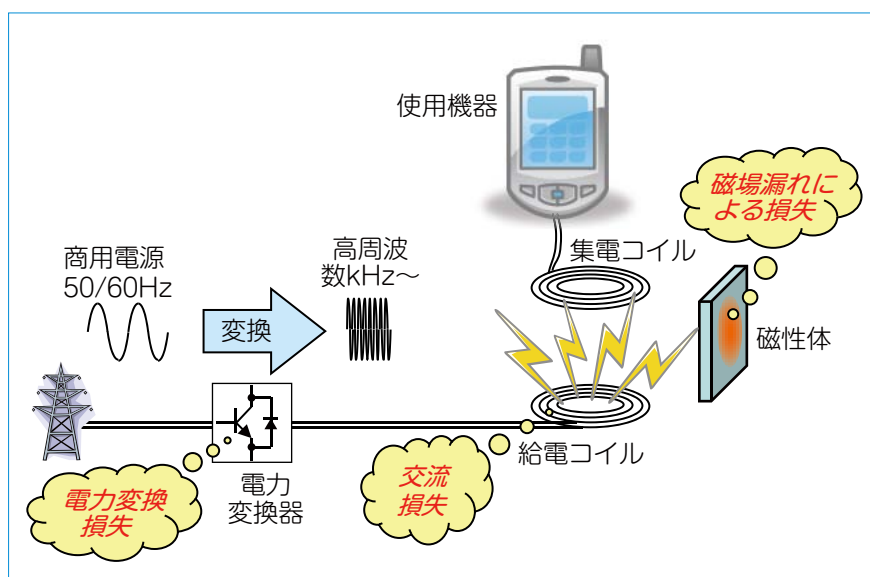


図3 非接触給電における損失

(1) と (2) に関しては、限られた面積で送電電力を増やすには、少しでも損失を減らし、高効率な伝送を行うことが望まれます。非接触給電における損失で大きな割合を占めるのが、電力変換器における半導体素子などによる電力変換損失と、高周波電流を通電することにより給電コイルや集電コイルで発生する交流損失があります(図3)。前者については、近年、炭化珪素(SiC)

を用いた素子が実用化されるに至り、従来のシリコン(Si)を用いた電力変換器に比較して、大幅な損失低減が可能となる見込みが立ってきました。一方、後者の交流損失は表皮効果や近接効果(※参照)といった高周波を通電した際に起こる特有の現象により増大するものであり、特に大電力を送るために断面積の大きな線材を用いると近接効果によって大きな交流損失が発

※ 表皮効果や近接効果

高周波の電流を電線に流すと、通電する電流が作る磁場の影響により、電流が導体断面の表面部分に集中してしまいます。この現象を表皮効果と呼びます。また、電流が流れる電線同士が近付いている場合にも同様の現象により、電線相互の電流に影響を及ぼしあい、この現象は近接効果と呼ばれます。どちらも直流を通電する場合よりも電線の抵抗が大きくなり、損失が増大してしまいます。

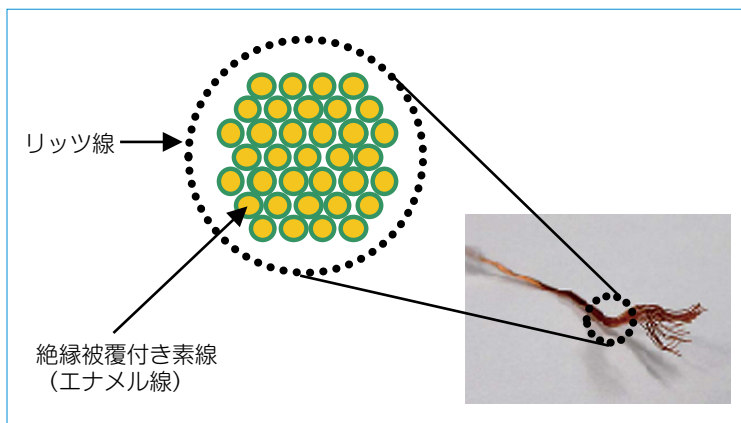


図4 リッツ線

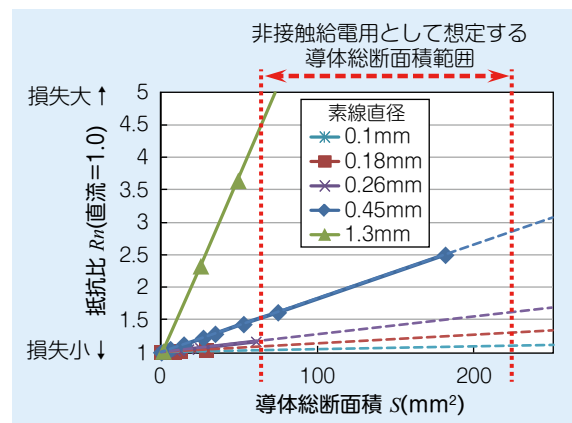


図5 導体総断面積と抵抗比

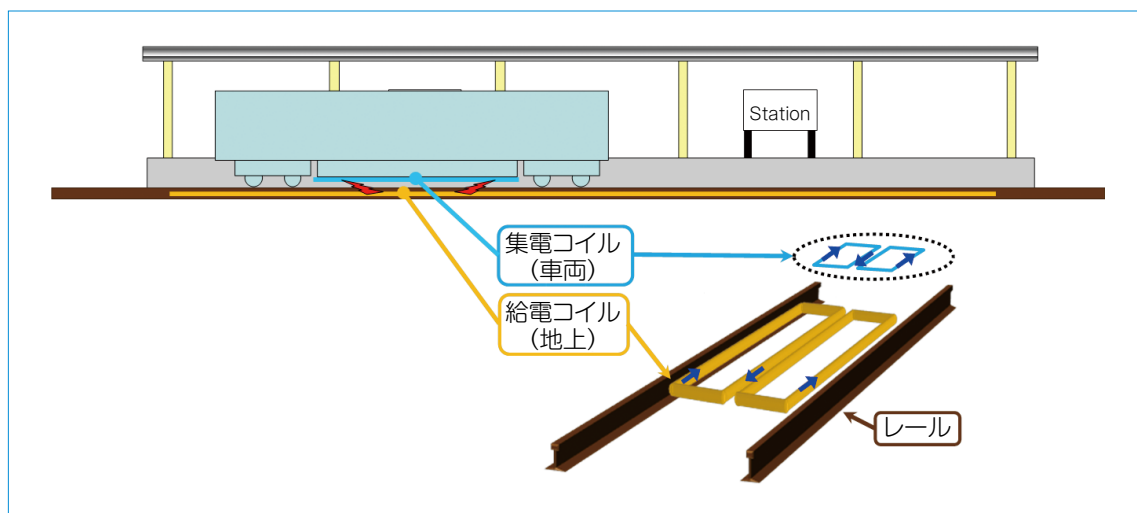


図6 8の字コイル

生します。この交流損失を低減するために、コイルの線材として細い絶縁被覆付き素線（エナメル線）をより合わせたリッツ線（図4）が用いられますが、リッツ線は通常の線材に比べ高価であるため、特に長尺となる地上設備を採用する場合にはそのコストに注意を払う必要があります。

(3) に関しては、給電コイルによって発生する電力伝送のための磁場を集電コイルのみに到達させ、周囲のレールに到達し難くするような構成をとる必要があります。

鉄道総研では、これらの課題に対応するために、計算機を用いた磁場解析シミュレーションを行い、(1)と(2)に対して、非接触給電に必要な導体総

断面積を持つ線材における適切な素線直径のリッツ線（図5）やコイル形状¹⁾を、(3)に対しては8の字コイルを用いること（図6）などの構成案²⁾を提案しています。これらの検討結果を元に、今後予備試験を経て、来年度には鉄道総研構内の試験線で車両への給電試験を行う予定です。

おわりに

非接触給電は、安全性が高くメンテナンスが容易など優れた特長を持っていますが、まだまだ解決しなければならない課題が数多くあります。一方、これらの課題が解決した暁には、種々の鉄道向けの低騒音・メンテナンスフリーの給電装置が実現可能となるなど、

大きく花開く可能性を持った技術と言えます。蓄エネルギー媒体を持った車両への給電などの技術開発を通じ、非接触給電技術の発展に貢献してまいります。**RRR**

文献

- 1) 柏木隆行，長谷川均，加藤佳仁，坂本泰明，浮田啓悟：非接触給電コイルにおける導体の近接効果による損失の検討，鉄道総研報告，Vol.27，No.7，pp.29-34，2013
- 2) 柏木隆行，長谷川均，坂本泰明，加藤佳仁：在来方式鉄道用非接触給電装置に用いるコイルの構成，鉄道総研報告，Vol.26，No.5，pp.41-46，2012