

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

非接触で鉄道車両に電力を供給する

非接触給電はケーブルの接続なしで電力を伝送することが可能なため、電力供給において、安全性、利便性、メンテナンス性の向上が期待できます。脱炭素に向けて電化が進められ、蓄電池を搭載したモビリティが増える将来を見据えると、非接触給電によって蓄電地を容易に充電する技術の開発が望まれます。ここでは、鉄道総研で開発している車両用非接触給電装置について概説するとともに、車載コイルの軽量化に関する取り組みについて紹介します。



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



坂本 泰明
Yasuaki Sakamoto
浮上式鉄道技術研究部
電磁システム研究室
主任研究員

はじめに

近年、脱炭素社会に向けて、ガソリン自動車から、電気自動車(EV)や燃料電池自動車(FCV)への移行の動きが加速しています。EVの普及においては、航続距離の延伸や充電時間の短縮が課題となりますが、この課題を解決する方法として、非接触給電(ワイヤレス給電)によって、EVの車載蓄電池に走行中に給電(充電)する技術の研究開発が盛んに行われています。

鉄道分野においては、脱炭素や省メンテナンスを目的として、蓄電池電車

の導入が進んでいます。鉄道総研では、この蓄電池電車への簡便な充電方法として、車両用非接触給電装置の研究開発を行っています。ここでは、車両用非接触給電装置について概説するとともに、現在取り組んでいる車載コイルの軽量化について紹介します。

非接触給電の概要

非接触給電には、いくつかの方式¹⁾がありますが、車両用非接触給電装置では、比較的大容量の電力伝送が可能な、電磁誘導方式を採用しています。

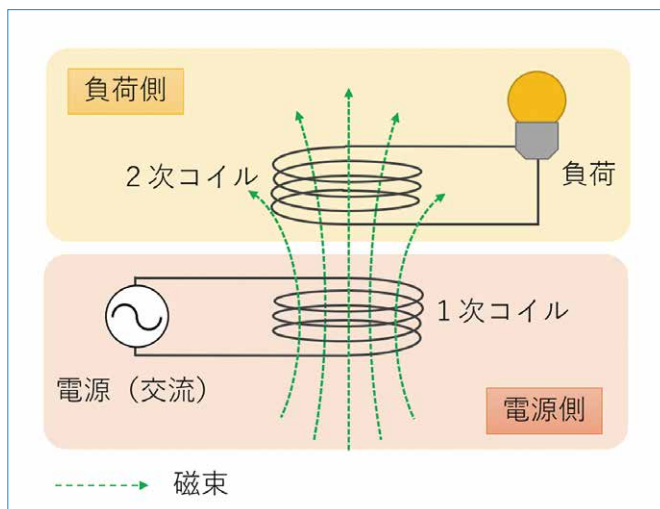


図1 非接触給電の原理

図1に電磁誘導方式非接触給電の概念図を示します。一方のコイルから発生した磁界がもう一方のコイル周辺の磁界を変化させることで、電磁誘導による電圧がコイルに発生します。この発生電圧に電球のような負荷を接続すると、電球を光らせることができます。このような原理で、空間を介して非接触で電力を伝送することができます。

このようにコイルと磁界を使って電力を伝える機器として、身近なものでは変圧器があげられます。非接触給電は、変圧器と比較して、コイル同士の間隔が小さいため、大きな電力を効率的に伝送するには、回路にコンデンサーを追加したり、使用する交流周波数を高くしたりするといった工夫が必要になります。

具体的には、交流電源の周波数は数kHz～数MHzが使われます。このような周波数ではコイルで意図しない損失が生じてしまうため、それを防ぐ電線を選ぶなどの対策が必要です。また、コイル間で発生する磁界が周辺の給電に寄与しない導体に作用すると、導体内部で渦電流（参照）が発生して損失になります。このため、システムの設計では、これらの損失要因に配慮して周波数、コイル形状などを決定する必要があります。

非接触給電の鉄道への適用

近年、蓄電池電車の導入が進められ、営業運転が始まっています。ディーゼ

磁気結合（結合係数）

2つのコイルがあるとき、一方のコイルから発生した磁束がもう一方のコイルに貫通する比率。磁気結合が高いほど、効率のよい電力伝送ができます。

渦電流

金属などに磁束が貫通すると、渦状の電流が誘導される現象。



図2 非接触給電による再生可能エネルギーの活用

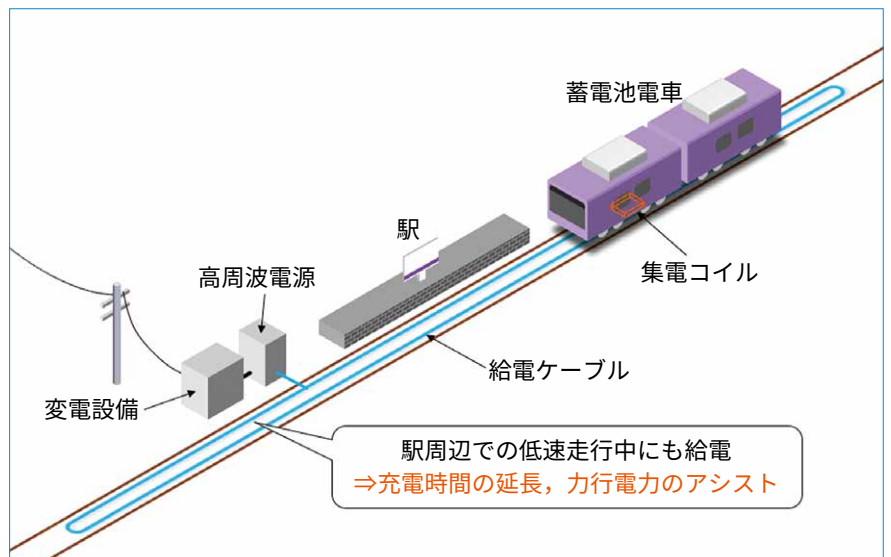


図3 駅に設置する非接触給電システムの構成

ルエンジンで駆動される気動車から蓄電池電車に車両を入れ替えることで、直接的に環境負荷を低減できるため、今後の蓄電池電車の適用拡大が期待されます。また、気動車が走行する区間は、郊外の場合が多いため、今後、沿線に設置された風力発電や太陽光発電による再生可能エネルギーが利用可能になると考えられます。そこで、発電したエネルギーを、近くを走行する蓄電池電車に充電することで、送電ロスを抑えた再生可能エネルギーの有効活用が実現できると考えられます(図2)。蓄電池電車を新しく線区に導入する

場合、線区の長さや勾配の条件によっては、必要な蓄電池量が大きくなることが考えられます。これを解決するには、運行中に、途中の複数の駅やその前後で充電を行うことで、始発駅から終着駅までに必要な蓄電池搭載量を削減することができます。

このような多頻度の充電を行う場合、途中駅での充電は、パンタグラフの上げ下げのような煩雑な操作を行うことなく実施できる、非接触給電が適当と考えられます。

図3に駅に設置する非接触給電システムの構成を示します。駅とその前後

数百メートルの区間に、給電用のケーブルを設置し、駅での停車中および、駅への進入、出発時（走行中）に給電を行います。給電ケーブル設置区間に車両が進入すれば自動で給電が開始され、迅速かつ容易に給電が行えます。

このように、駅周辺の低速走行中に給電を行うことで、駅停車中のみ充電する場合よりも充電時間を長くすることができます。充電時間増加により、充電装置の容量を小さくしても、必要な電力量の充電を行うことができます。充電装置の容量が下がれば、電源設備のコスト抑制が期待できるだけでなく、駅停車時間に大容量の急速充電を行う場合と比較して、充電時の蓄電池への熱的な負荷が軽減され、蓄電池の長寿命化が期待できます。また、駅を出発した際の力行中に、蓄電池と非接触給電で力行電力を分担することで、電池の最大出力が抑制され、蓄電池搭載量の削減、長寿命化が期待できます。なお、駅以外にも上り勾配などの力行電力が大きい区間に部分的に給電ケーブルを設置しても、同様に力行電力を分担することができます。

非接触給電装置の構成

図4に鉄道総研で開発を行っている車両用非接触給電装置の概要図を示します。本装置は、左右レール間に敷設した給電ケーブル（地上）と、集電コイル（車両に搭載）で構成します。走行中給電を行うため、長尺となる給電ケーブルは鉄心を設けずにケーブルのみを敷設する簡素な構造とし、コスト低減を図っています。他方、集電コイルには磁気結合の向上と車載機器の磁気シールドとして鉄心を取り付けています。コイルの形状は、8の字コイル形状を採用しています。8の字コイル形状は、左右レール間の中心部の磁界を強めることで集電能力を高める効果

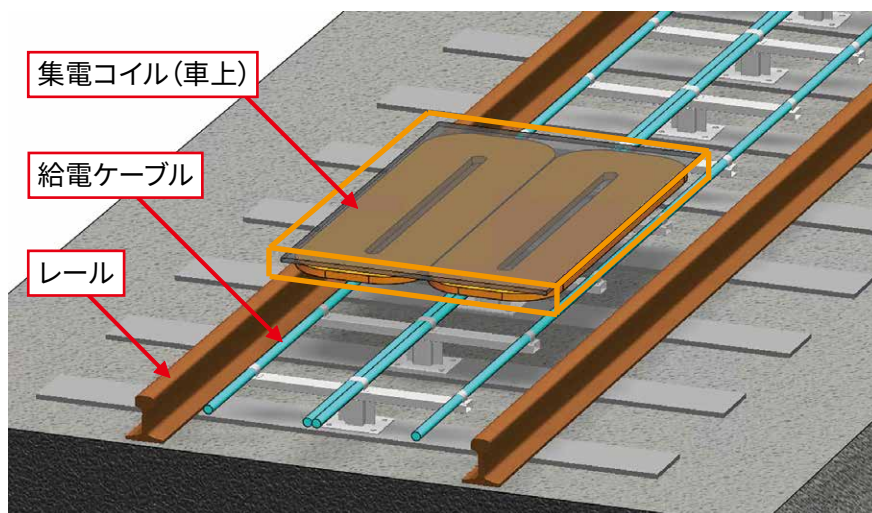


図4 非接触給電装置

とともに、コイル外部への不要な磁界を低減する効果があります。

鉄道総研では、車両用非接触給電装置を試作し、試験電車でコイルを搭載して電力伝送試験を実施しました（図5）。試験の結果、約40kWの電力を停車中、走行中にかかわらず安定して伝送できることを実証しています²⁾。

車載集電コイルの設計

車両用非接触給電装置において、車載する集電コイルは、既存の車両への搭載を容易にするため、小型軽量であることが求められます。集電コイルを小型化する場合、単位コイルあたりの集電電力が増大するため、空間の磁界が強まり、鉄心の使用量の増大が見込まれます。一方で、車載される集電コイルは軽量化の観点から比重の大きい鉄心の使用量を最低限としたいため、鉄心の形状を最適化する必要があります。本装置では、レールで発生する損失の抑制が重要なため、鉄心形状の最適化においては、鉄心の重量、コイル間の磁気結合に加えて、レールで発生する損失も同時に考慮することが求められます。さらに、鉄心はさまざまな形状にできるため、探索すべき形状が非常に多岐に及びます。そこで、

コンピューターによる2つの最適化手法（遺伝的アルゴリズム（図6参照）、トポロジー最適化（図7参照））を組み合わせることにしました。これにより、鉄心の厚みや幅を単純に変化させる探索方法に比べ、網羅的な形状探索を行うことができ、形状が得られた要因を分析することで設計に有用な知見を得ることが期待できます。計算結果の例として、図6に、モデル同士の集電電力を同一とした場合の、集電コイルの進行方向長さ、集電コイル重量の関係を示します。図の点線は、コイル進行方向長に対してもっとも軽量のコイルの計算結果をつなげた線であり、点線から、コイル進行方向長さ、コイル重量にはトレードオフがあることがわかります。設計者は図中の点線に近い鉄心の形状を選択することで、そのコイルサイズに対して、もっとも軽量

図6 遺伝的アルゴリズム

生物の進化の過程を参考とした最適化手法。新幹線の先頭形状を決める際にも用いられました。

図7 トポロジー最適化

ある設計領域において、指定した目的や制限に基づいて、最適な材料の分布を求める最適化手法。



図5 試験電車を用いた実証試験の様子

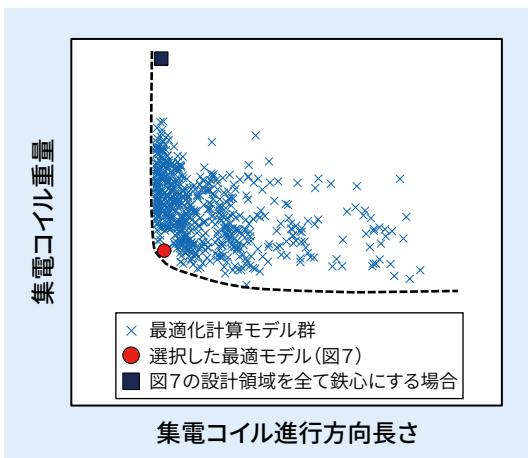


図6 最適化計算結果の例

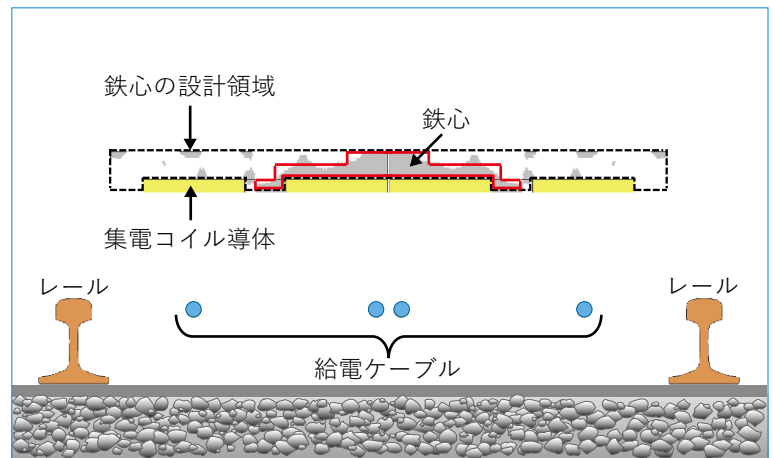


図7 最適モデルの鉄心形状

になる鉄心形状を得ることができます。例えば、コイルの小型化を重視した場合、図中の赤点のモデルが適当であるといえます。図7に赤点のモデルの鉄心形状を示します。灰色が鉄心、白色が空気を示しています。灰色部分を参考として、作りやすさを考慮した鉄心形状を考えると、赤線で囲った部分のような形状になります。この鉄心形状にすることで、図中の設計領域をすべて鉄心にする場合に対して、大幅にコイル重量を削減できることが示唆されています。

おわりに

ここでは、鉄道総研で開発中の車両用非接触給電装置の概要を説明するとともに、車載コイルの軽量化への取り組みとして最適化手法を用いた車載コイルの鉄心形状の検討について紹介しました。本装置を蓄電池電車の充電装置として適用することで、蓄電池電車の航続距離の延伸や、搭載蓄電池量の削減に貢献できると考えています。今後、コイル当たりの集電電力を向上したコイルの試作および実証試験を行い、より導入しやすい非接触給電装置を提

案する予定です。

なお、一部の成果は早稲田大学との共同研究によるものです。[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