

第34回

ワイヤレス給電

はじめに

浮上式鉄道は、走行時に車両が浮いて走るという特徴から、車上の電源も地上設備から切り離れた状態で使用されます。地上一次方式の浮上式鉄道では、駆動用の電力は地上コイルから与えられますが、照明や冷房などの電源が車上に必要です。このためさまざまなワイヤレス給電システムが検討されてきました¹⁾。例えば、誘導集電、内燃機関、燃料電池や蓄電池などです。ここでは、これまでの検討経緯と、これからの展望、派生した技術について述べます。

浮上式鉄道の種類と車上電源

リニアモーターによって車両を走らせる鉄道にはさまざまな方式が検討されてきました。リニアモーターは、車両と地上設備の間に直接かつ非接触で電磁力を働かせることができるため高速走行や急勾配を登ることができます。また、従来の車輪方式では、天候や車両の条件により駆動力や制動力が制限されてしまいますが、リニアモーターではそのようなことはありません。

このような特徴から、最高速度500km/hに達するような超高速の鉄道や急勾配を登り降りする新交通システム、地下鉄などに適用が期待されています。

表1に主なリニアモーターカーの種類とその方式を示します。リニアモーターカーと言うと超高速で走る超電導リニアやドイツの開発したトランスラピッドがまず思い浮かびますが、低速のシステムとしてHSSTやリニア地下鉄などが実用化されています。

表1にあるとおり、リニアモーター駆動と磁気浮上はセットで検討されることが多いですが、リニア地下鉄のように、車輪で車体を支持して、浮上しない方式もあります。車輪で支持する場合の車両への電力供給は、在来の鉄道と同じように、架線-パンタグラフ-車輪-レールを使って行えます。

表1を再度見てください。HSSTなどの低速システムではモノレールなどで使用されている接触集電装置が使用されています。接触集電装置は集電レールと呼ばれる良導体でできたレールを地上に敷設し、車両には小型のパンタグラフを付け接触しながら電気を送る装置です。接触集電装置は給電できるエネルギー密度が非常に高く、すぐれた装置ですが、摩耗や高速走行時での離線の問題があります。このため、高速走行するリニアモーターカーである超電導リニアやトランスラピッドでは採用することができません。高速走行するためには、何らかの方法で非接触で効率よくエネルギーを送ることを考えなければいけないわけです。

表1 リニアモーターカーの種類と車上電源方式

駆動方式	支持方式	種類	車上電源方式	
			走行時	停止時、低速走行時
地上一次方式	磁気浮上	トランスラピッド（実験線）	誘導集電	誘導集電、接触集電
		トランスラピッド（上海営業線）	誘導集電	接触集電
		超電導リニア	誘導集電、タービン発電機	タービン発電機、接触集電
車上一次方式	鉄車輪	HSST（リニモ）	接触集電	接触集電
		地下鉄リニア（大江戸線など）	接触集電	接触集電

※ 試験的に実施された方式も含む



図1 Wardenclyffe Towerのデザインされた手提げ袋(ニコラ・テスラ博物館)

ワイヤレス給電方式の検討

ワイヤレス給電方式検討の歴史は古く、1901年にニコラ・テスラによって大陸間で非接触で電力伝送をする、ウォーデンクリフ・タワー(Wardenclyffe Tower, 図1)という壮大な構想がありました。テスラは、交流の高周波発電機を開発して、非接触電力伝送を試みましたが、残念ながらこの計画は資金面で研究中断となってしまいました。

ワイヤレス給電の必要性は自動車を想像していただくとわかりやすいのですが、例えば電気自動車を作っても、コンセントにつながったままでは、目的地まで走っていきることができません。電気自動車では、二次電池に蓄電し、その蓄えた電気化学エネルギーによりモーターを回して走行します。現在の主流はガソリン車ですが、これは、炭化水素の持っている化学的なエネルギーを燃料タンクに蓄えていることになります。

ワイヤレス給電方式は、大きく分けて2つに分類されます(図2参照)。燃料搭載方式(エネルギー蓄積方式)と非搭載方式です。電気自動車は前者の典型的な例で、充電設備(ポイント)で蓄積されたエネルギーを走行中に消費するものです。この方式の長所は、エネルギー供給設備がポイントでよいので地上設備が簡素化されるということです。一方で、燃料供給や充電に時間がかかったり、途中でエネルギーがなくなってしまう恐れがあるといった短所もあります。このため、連続的にエネルギーを供給する方式が求められます。これが、二つ目に掲げた、燃料非搭載方式です。図には風力発電や太陽光発電なども記載していますが、この2つの方式は、エネルギー密度が小さいなどの欠点がある

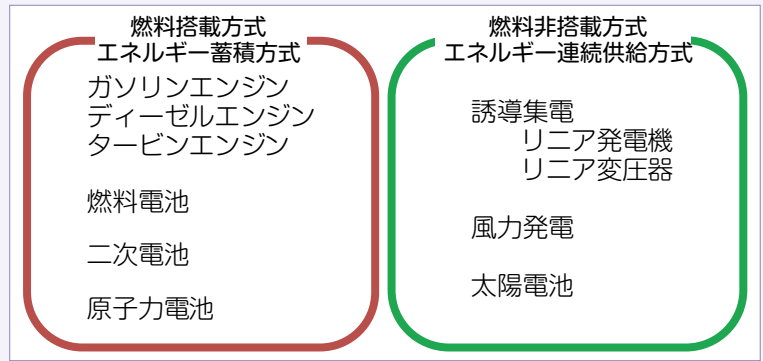


図2 ワイヤレス給電方式のいろいろ

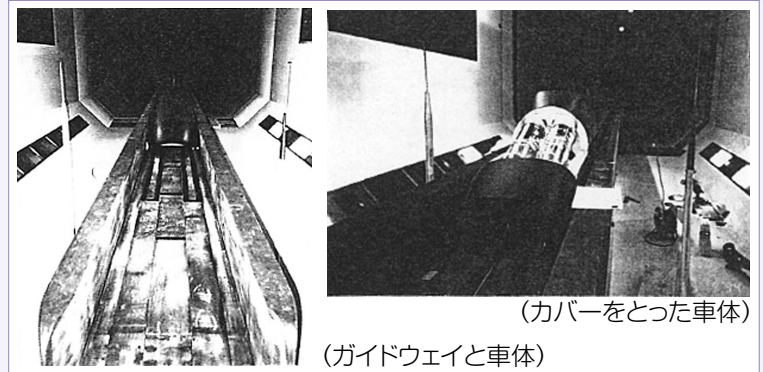


図3 RATの風洞試験の様子

あり、車上電源として十分なエネルギーを供給できません。燃料搭載方式の短所長所とまったく逆なのが、誘導集電方式であり、地上設備が複雑になるものの、連続的にエネルギーを供給でき、途中で燃料切れの心配もありません。

このような背景があるため、高速で走行する浮上式鉄道においては、誘導集電方式が検討されています。誘導集電方式にも、リニア発電機方式、リニア変圧器方式、磁気共鳴方式などの種々の方式がありますが、ここでは、詳細については割愛します。

鉄道総研での開発経緯

鉄道総研では、浮上式鉄道用のワイヤレス給電方式の研究を古くから手掛けてきました。実際に定置試験などを行ったものだけでも、アーク集電、風車発電(RAT: Ram-Air Turbine)、燃料電池発電、誘導集電(リニア発電機方式)などが挙げられます。

RATは、航空機などで使用されている方式で、小さな風車を車両に搭載し、空気の圧力でタービンを回すものです。発電されるエネルギーは空気の圧力の形で供給されることとなります。図3の写真は、1994年ころに1/5模型を使用して、当時の航空宇宙技術研究所の大型風洞を借用し実施した試験の様子です。試験結果としては、高速走行時には所定の電力が得られることが検証できましたが、異

物混入対策や騒音対策が必要であり、速度依存性が大きい（速度の3乗に比例）などの課題が残りました。

燃料電池は、燃料搭載方式の一つであり、燃料として水を搭載し、空気中の酸素との化学反応により、直接電力を得ることができる装置です。燃料電池本体からは、反応物質として水蒸気が放出されるだけで、排気ガスや二酸化炭素を出さないというクリーンな電源装置です。図4は2000年ころに、燃料電池の対環境性のアピールのために、庭園鉄道に搭載し、走行させた模様です。実際に人を乗せて燃料電池により走った列車としては世界で初めてのものです。このようにクリーンなエネルギーとして、浮上式鉄道の車上電源としては有力な候補ですが、水素の備蓄方法や漏えい時の安全性の確保などの課題が残されています。

誘導集電装置の開発は、宮崎実験線（1980年ころ）から行われています。宮崎実験線では当初、対向浮上方式というコイル配置が採用されており、リニア発電機方式の誘導集電には適したシステムでありました。その後、磁気浮上システムそのものの高効率化を目的として、側壁浮上方式に変更になったため、リニア発電装置にとっては、電力を十分に得られないという課題が発生しました。

そこで、側壁浮上方式のリニアモーターカーにおいても十分な電力が得られるリニア発電機の開発が進められました。図5の写真は1995年ころに行われた、リニア発電機の実験棟での定置試験の様子です。写真の左側が地上コイルに見立てた磁界発生装置、右側の茶色の厚みが薄いコイルが車上の集電コイルです。リニア発電機は、車両が走

行することによって発生する高調波磁界を電磁誘導の形で、車上で発電するもので、車両の速度に応じて電力が変化します。また力率が悪いので、力率改善コンバーターなどの開発も並行して行われました。最終的に定置試験により所定の出力が得られることが確認され、走行試験に供されました。

今後のワイヤレス給電

超電導リニアに関しては、電磁誘導方式（リニア変圧器方式）が、平成23年9月に開催された、国土交通省の超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会により「車上電源として実用化に必要な技術が確立している」との技術評価を受けました。

先に述べたとおり、ワイヤレス給電は、浮上式鉄道のみならず、鉄道や電気自動車、搬送装置、モバイル機器にも適用可能な技術です。現在の二次電池は重量や容量の制約が多いため、給電技術の発展が望まれています。

図6は、在来鉄道へ誘導集電装置を適用した場合の概念図です。パンタグラフによる接触集電に対して、しゅう動部分がないため、メンテナンスが楽になる、パンタグラフの風切音がなくなる、感電などの危険がなくなるなどの長所があります。今後、十分な電力が得られるかなどの検証が必要となります。

最近の工場では、精密機械などの組み立てを行ううえで、じんあい塵埃を少なくする必要があります。工場内の搬送装置では、



図4 燃料電池によるデモ走行



図5 リニア発電機の定置試験の様子

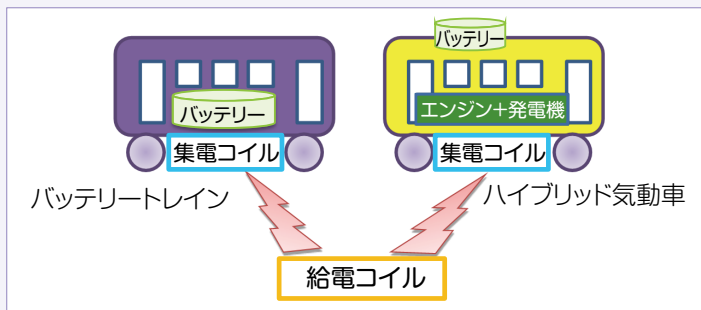


図6 誘導集電装置の在来鉄道への適用 (RRR 2013年 10月号)

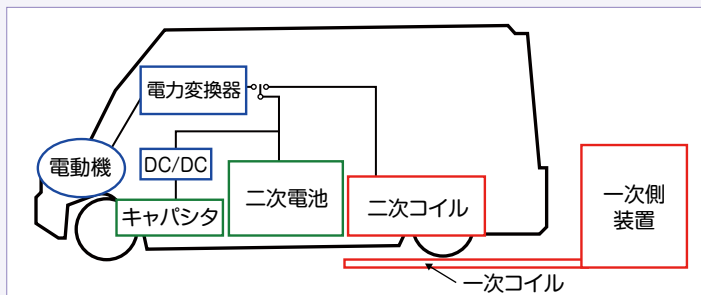


図8 電池バスへの誘導集電の適用例



図7 搬送装置用誘導集電装置 (ダイフク工業)

接触集電による塵埃の発生を抑えるため、非接触の電力供給装置が開発されました²⁾。図7の写真は、電力を授受するための、搬送装置のピックアップコイルです。地上に設置されたループコイルに高周波の電流を流し、搬送機上に電磁誘導作用でエネルギーを伝達するリニア変圧器方式です。この装置はもともとクリーンな工場での使用を前提としていましたが、逆に油ミストなどが発生する工場でも離線の心配がなく使用できるということで適用範囲が広がっています。

誘導集電の電気自動車の充電装置への適用は、各自動車メーカーで盛んに検討されています。現行の電気自動車では、カプラーと呼ばれる一種のコンセントを充電設備から自動車に接続させ車上の二次電池に充電を行います。この方式では、急速充電などの大容量の充電装置に対応できる一方で、カプラーの抜き差しを使用者自らが行わなければなりません。

これを例えば、駐車場の下に一次側コイルを設置し、車上に二次側コイルを搭載し、電磁誘導にて、エネルギーを伝達できるとすると、駐車場に止めている間に充電が完了するというシステムができます。

図8には、実際に電気バスを用いて行われた早稲田大学による実証試験の装置構成を示します³⁾。一次側装置から給電された電力は二次コイルで集電され、整流されたのち、二次電池 (Nickel Sodium Chloride Battery) に蓄えられます。走行時には二次電池からのエネルギーで電動機を回し

て走ります。もちろんブレーキをかけた場合は、電動機は発電機となり、回生エネルギーを二次電池が蓄積します。

車の止める位置によって、一次側コイルと二次側コイルがずれてしまった場合に電力伝送できるか、漏れ磁界を低減できるかなど、まだ課題が残っていますが、近い将来このようなシステムができると電気自動車の発展にもつながると予想されます。

【 おわりに 】

浮上式鉄道の車上電源ということで、話は始まりましたが、これに適用するワイヤレス給電については、効率の問題、電磁環境の問題など多々ありますが、リニアモーターカーだけでなく、今後さまざまな分野に活用できる潜在能力を秘めています。1世紀以上も前に、大陸間でワイヤレス給電を試みた人もいますが、このような壮大な計画を夢見ながら、誘導集電の行く末が楽しみです。

(長谷川均/浮上式鉄道技術研究部 低温システム研究室)

文献

- 1) 鉄道総研編：超電導リニアモーターカー，交通新聞社，1997
- 2) 谷澤，内藤：無接触給電搬送システムの技術と新市場，DAIFUKU NEWS, No.161, 2001
- 3) 昭和飛行機工業，早稲田大学，交通安全環境研究所，東北大学：非接触給電装置の研究開発，NEDO成果報告書，2007～2008年度エネルギー有効利用基盤技術実用化開発