

## 非接触給電システムの技術開発動向

長谷川 均\*      柏木 隆行\*  
坂本 泰明\*      笹川 卓\*

### The Results of a Survey on the Non-contact Power Supply Systems

Hitoshi HASEGAWA      Takayuki KASHIWAGI  
Yasuaki SAKAMOTO      Takashi SASAKAWA

Recently, a carriage monorail and battery buses using a non-contact power supply system have been put to practical use. The linear transformer system can feed electricity to moving or rotating equipments without involving abrasion and heavy maintenance. Of course, this system may be applied to railway systems. However, compatibility and interoperability are taken seriously in railway systems, accordingly it may be difficult to make drastic changes in the railway vehicle and infrastructure. In this paper, we report a survey result of domestic and foreign non-contact power supply systems, keeping in view its practical use in railway system.

キーワード：非接触給電，変圧器，発電機，高周波電力変換，車上電源

#### 1. はじめに

近年，感電の心配や摩耗がなく，移動体や回転体にエネルギー供給の可能な非接触給電技術を用いた電池バスや工場内搬送装置の実用化が進んでいる。これらの背景には，燃料を搭載した内燃機関等に対する地球温暖化防止に資する省エネルギー効果，安全性，保守性への期待がある。一方，最近の半導体の高速スイッチングに見られるようなパワーエレクトロニクスの発達，電磁界解析技術の高度化，磁性材料の進歩など，非接触給電技術に欠かせない要素が発達してきている。

非接触給電は，接触集電や燃料を搭載した内燃機関等に比べて，エネルギー密度が低いという欠点がある。この点を考慮しても余りある長所が見出せる場合に，非接触給電を適用するべきである。これら周辺技術の発達は，この問題を解決する糸口となってきたため，実用化例が散見されてきていると考えられる。

当然，非接触給電技術を鉄道システムの各要素へ適用することが考えられる。本報告は，鉄道システムへの非接触給電装置の適用の可能性を検討するために，文献及び訪問により内外の実用化例を中心に調査したものである。

#### 2. 非接触給電の分類と開発動向

非接触給電とは，一次側（送り出す側）から二次側（受け取る側）に空間を通して電力を受け渡すものである。

一次側と二次側に相対的な運動がない場合には，電線などを接続すれば電力は容易に伝達される。このため，非接触給電を使用するのは，相対的な運動をしつつ，移動体や回転体に電力を送る時である。電磁気的に見ると，空間（空中や真空中）では，導電率や透磁率が導体や磁性体に比べて格段に低いため，空間を通過できる電力密度は低くなってしまふ。この現象は効率や力率の低下を招く。これが，非接触給電が接触集電より不利な原因である。

非接触給電の方式は原理上からみて，下記に分類される。

- ① 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として変換する
- ② 変圧器方式   ： 一次側と二次側を磁界で結合し，電磁誘導にて電力を送る
- ③ 電磁波方式   ： 空間を電磁波（マイクロ波等）のエネルギーにて伝達する
- ④ その他       ： 磁気共鳴法，電界による方法など

ここで，①以外の方法は基本的に電界－磁界の相互作用によるエネルギー変換で，Maxwellの電磁界方程式の範疇である。この他，非接触給電とは表現しないが移動体上に電力を給電する手法としては，電池や発電機を搭載する方法も考えられる。

発電機方式は，そもそも移動体の運動エネルギーによるため，移動体自体に別の方法で速度を与えなければならない。磁気浮上列車のような地上一次のリニアモーター

\* 浮上式鉄道技術研究部（電磁力応用）

システムなどの特殊な用途に限られる。

変圧器方式は、非接触給電の中では最も一般的な方式である。一次側と二次側の磁気的な結合が良くないと、電源周波数を数kHz～数十kHzと高く取らなければならず、力率・効率が悪くなる。また大きなギャップに対して磁気的な結合が悪くなる。高い周波数領域を使用するため、さまざまな損失が発生し、電線やコアの材質、構成方法、電力素子の選択に細心の注意を要する。

電磁波方式は、長距離の伝送には優れているが、途中に障害物がある場合に遮蔽や吸収、障害物の発熱などの問題があり、断面積当たりの電磁波のエネルギー密度を制限しなければならず、受電設備（二次側）が大規模になってしまう。空気中では特定の波長の電磁波は吸収されやすいため、実用的な帯域としてはマイクロ波が適当と考えられている。

その他、実験室レベルで①～③に属さない原理の非接触の電力伝達が提案されてきているが、動力に使用できるような規模の電力を給電するには至っていないようである。

図1に非接触給電の規模と各方式の適用領域を引用する。変圧器方式（電磁誘導型と記載）は広い範囲で電力を包括できるが、伝送距離（ギャップ）が比較的小さいことが分かる。

最近の文献などから、鉄道への適用を念頭に、車両等を駆動するような比較的大きな規模の非接触給電の研究開発例について抽出したものを表1に示す。方式としては変圧器方式が多く、自動車、鉄道、搬送機などに適用が期待されている。

表1 主な非接触給電の研究開発例（順不同）

箇所	方式	適用先
トランスラピッド <sup>2)</sup>	発電機/変圧器	磁気浮上列車
JR <sup>3)</sup>	発電機	
ボンバルディア <sup>4)</sup>	変圧器	LRT
交通安全研究所 <sup>5)</sup>	変圧器	鉄道/LRT
九州大学 <sup>6)</sup>		
横浜国大 <sup>7)</sup>		
ダイフク <sup>8)</sup>	変圧器	搬送機
埼玉大学 <sup>9)</sup>	変圧器	自動車/バス
アイシン精機		
豊田自動織機		
早稲田大学 <sup>10)</sup>		
東北大学 <sup>11)</sup>		
昭和飛行機		
日野自動車 <sup>12)</sup>		
東海大学		
同志社大学		
ワンフラ		
EPFL <sup>13)</sup>		
オークランド大学 <sup>14)</sup>	変圧器	自動車/搬送機
MIT <sup>15)</sup>	磁場共鳴	家電
東京大学 <sup>16)</sup>		
米国DOE <sup>17)</sup>	電磁波	送電
日立メディコ <sup>18)</sup>	変圧器	医療機器

LRT : Light Rail Transit

### 3. 非接触給電の具体的な適用例

以下、非接触給電の具体的な適用例について、個別に述べる。

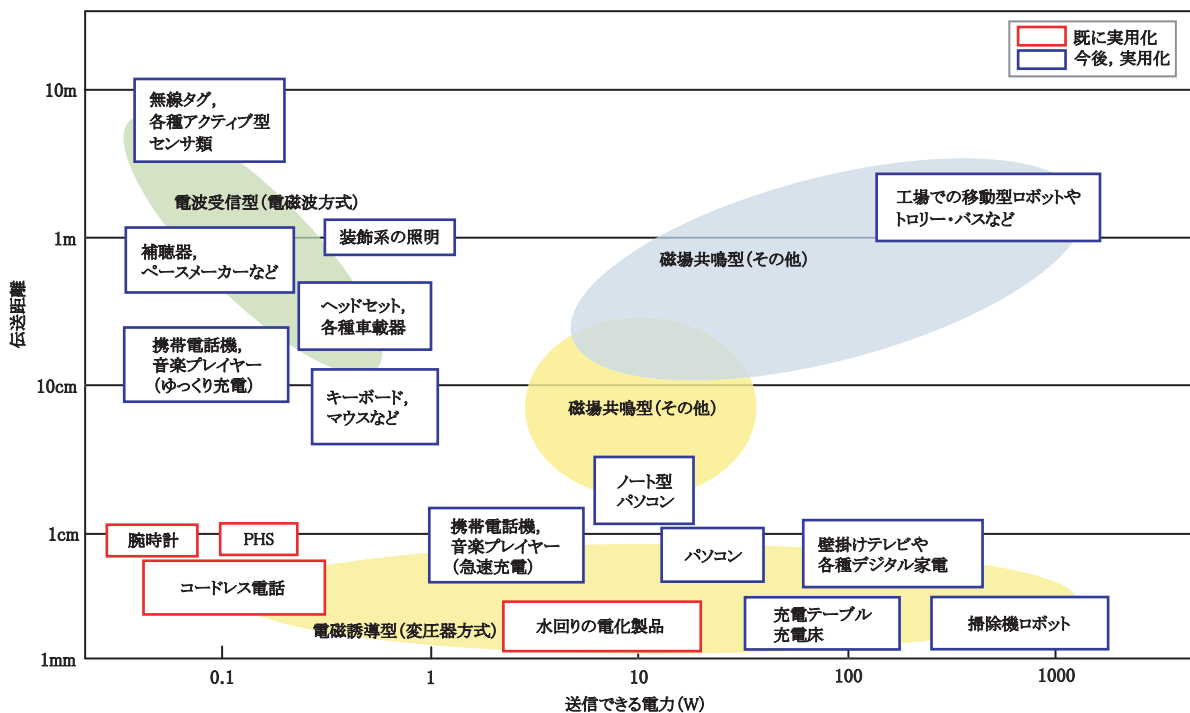


図1 非接触給電の適用領域（文献1）のデータを元に筆者加筆

### 3.1 鉄道等への応用

#### 3.1.1 トランслаピッドの車上電源 (図2)

トランслаピッドはドイツで開発された磁気浮上列車で、中国上海の空港アクセス用として実用化されている。磁気浮上としては、常電導磁石による吸引方式が採用されている。この列車の車両は、地上設備と完全に非接触で走行するため、車上のサービス電源や常電導磁石に供給する電力を非接触給電により得ている。高速走行中は、発電機方式により、ギャップ中の高調波磁界を利用して電力を得ている。上海の営業線では、停止中は、接触集電により電力供給しているが、ドイツの試験線において、変圧器方式により停止中も完全非接触で給電する試験が行われている。

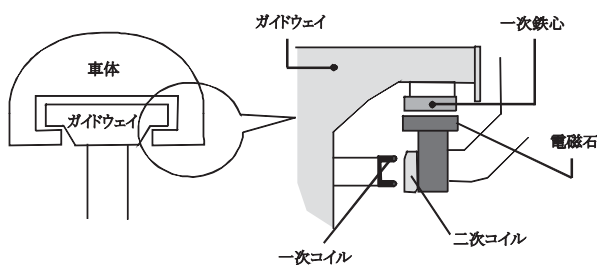


図2 トランслаピッドの非接触給電装置<sup>2)</sup>

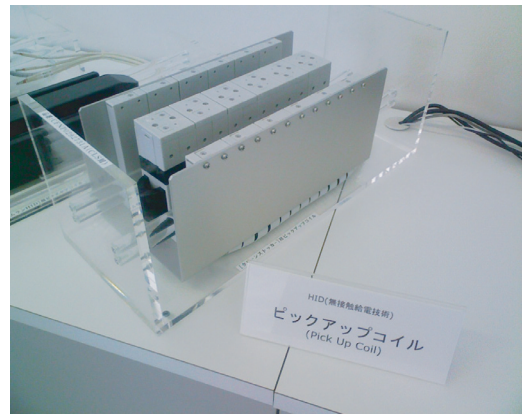


図4 搬送機用二次コイル

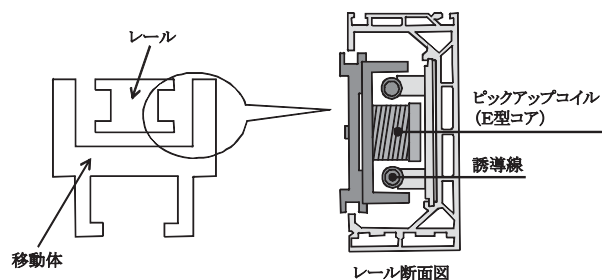


図5 搬送機用非接触給電装置<sup>8)</sup>

#### 3.1.2 ボンバルディア社のLRT (図3)

鉄道車両製造業者のボンバルディア社が、LRTに非接触給電を適用すべく開発を進めている。LRTは環境問題や高齢化問題への対策として欧州を中心に導入がはかられている。路面電車及びLRTの問題点として、街中に架線を敷設しなければならず、景観等で難色を示される場合がある。ボンバルディア社では、一次コイルをレール間の地中に埋め込み、非接触給電を行うことで、この問題に対応することを考えている。試験線での実車走行が行われている。

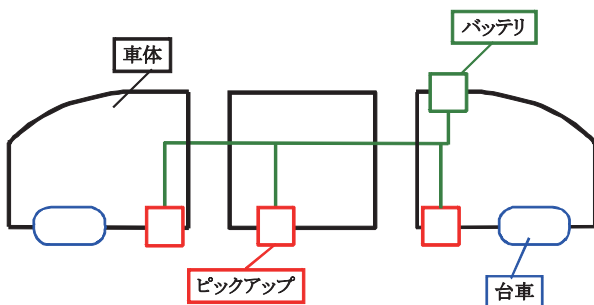


図3 LRT用非接触給電装置の構成<sup>4)</sup>

### 3.2 搬送装置への応用 (図4, 図5)

半導体工場のクリーンルーム内では、シリコンウエハの搬送などを行う搬送装置 (搬送用モノレール) の、粉塵は嫌われる。接触集電による集電シューやトロリ線の

摩耗を原因とする粉塵は製品の品質に深刻な影響を与える問題となる。そこで、非接触給電 (無接触給電と呼ばれる) による装置が開発された。

逆にオイルミストや粉塵が発生するような工場においては、接触集電では、集電シュー表面にオイルミストや粉塵が付着して、集電能力が低下する問題がある。非接触給電ではこのような問題がないため、使用されている。

これらは、極端にきれいな場所もしくは汚れた場所で使用されているという事例を示すものである。

### 3.3 自動車等への応用 (図6)

電池をエネルギー源とする自動車やバスでは、一定距離走行した後は、当然、充電を行わなければならない。これまで、電池への充電は、有線のカプラを接続して行われてきた。非接触方式のカプラというものも存在するが、いずれのカプラ方式でもエネルギー密度、電力密度とも急速充電に十分耐えうる性能を有している。しかし、カプラの取り外しの煩雑さ、感電の危険性、接点の導通不良などを考えると、カプラを用いない非接触給電の採用を視野にいれなければならない。充電時には、車両底面に設置された二次コイルと、充電ポイントに設置された一次コイルが対面し、非接触で給電が行われる。自動車は、二次元に移動できるものであるため、位置合わせがことのほか難しく、またギャップの調整や充電指令情報の車上-地上間のやり取りなどにシステムの特徴がある。

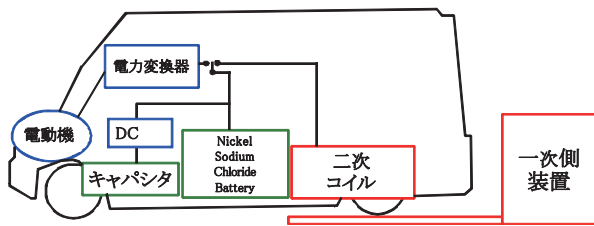


図6 非接触給電を利用した電池バスの例<sup>10)</sup>

#### 4. おわりに

非接触給電は、接触集電に比べると、伝達されるエネルギー密度が小さいため、現在のところ接触集電で行っているシステムをそのまま非接触給電に置き換えることは得策とは言えない。一方で、特殊な環境であるクリーンルームや逆に汚損した場所、景観に配慮しなければならない状況などでは、既に実用化の域に達している。また、磁気浮上列車のように超高速で運行されるものについては、摩耗や騒音などの面で接触集電を採用することが難しいため非接触給電は必須である。さらに非接触給電は感電の心配や腐食による性能劣化がないことも長所の一つであり、この分野での利用価値は高く、電動歯ブラシやシェーバなどの水気のある場所での小容量の非接触給電は既に実用化されており、的を射た使用方法と考えられる。

変圧器方式の非接触給電においては、電力装置としては非常に高い周波数の領域で使用するため、渦電流による損失や電磁雑音の問題も生じる。この問題は、これまでの商用周波数では経験のないことであるが、近年のパワーエレクトロニクスの発達や解析技術の進歩がこの問題の解決の糸口を見つけてくれることになるだろう。

調査の結果、非接触給電は各分野で盛んに開発が行われてきており、将来的に有望な技術の一つであることが分かった。また、実用化例からみて技術的には電力容量等を考慮しても、非接触給電装置の鉄道システムへの適用の可能性は十分にあると判断できる。ただし、鉄道システムにおいては、互換性等が重要な要素であるため、非接触給電のような新規の装置は、どの部分に適用することで長所を生かせるかをよく検討の上、使用することが重要なことと考えられる。

#### 謝辞

最後になりましたが、現地調査に快くご協力していただきました、ダイフク研究研修センター内藤様、早稲田大学紙屋先生、御助言をいただきました横浜国立大学河村先生、東北大学松木先生、東京大学堀先生に感謝いたします。

#### 文献

- 1) NIKKEI ELECTRONICS 2007.3.26 より
- 2) M. Bauer et. al., "Inductive Power Supply (IPS) for the Transrapid", Maglev 2006, pp471-476, September 2006.
- 3) T. Murai, S. Fujiwara, H. Hasegawa, K. Nemoto, H. Watanabe, Y. Furukawa, M. Shinobu, M. Igarashi, S. Inadama, H. Akagi, M. Oki, "Development of Linear Generators for Superconducting Maglev", Maglev '98, pp. 262, April 1998.
- 4) Von Dipl et al., Induktive Fahrstromubertragung "PRIMOVE" steht kurz vor der Einsatzreife, Verkehr und Technik 2009 Heft 5.
- 5) 水間 他：都市間軌道系交通システムの走行特性評価シミュレータの開発，電気学会研究会資料，TER-07-41
- 6) 安次富 他：リニアモータ兼用非接触集電装置の等価回路定数についての考察，平成20年電気学会全国大会，5-229
- 7) 黒田 他：移動体用非接触給電システムにおける高効率化検討および移動時の特性測定，電気学会研究会資料，SPC-07-30
- 8) 谷澤 他：無接触給電搬送システムの技術と新市場，DAIFUKU NEWS, 2001, No.161, pp. 10-13
- 9) 松下 他：直列および並列共振コンデンサを用いた移動型非接触給電システム，電気学会研究会資料，SPC-07-29
- 10) 紙屋 他：電動車両用非接触急速誘導充電装置の開発と性能評価（第1報），自動車技術会春季学術講演会，2007年4月
- 11) H. Matsuki et al., Stable Energy Transmission on Moving Loads Utilizing New CLPS, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 32, No. 5, 1996.
- 12) 市川 他：非接触給電ハイブリッドバス実証試験車の開発，自動車技術，Vol. 62, No. 11, 2008
- 13) M. Jufer, Electric Drive System for Automatic Guided Vehicles Using Contact-free Energy Transmission, 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC).
- 14) Grant A et al., A Three-Phase Inductive Power Transfer System for Roadway-Powered Vehicles, IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 54, No. 6, DECEMBER 2007.
- 15) Marin Soljagic 他：電力を無線伝送する技術を開発実験で60Wの電球を点灯，NIKKEI ELECTRONICS, 2007.12.3, pp. 117-128
- 16) 小柴 他：ワイヤレス・エネルギー伝送技術，電気学会誌，July 2009, vol. 129, Number 7
- 17) DOE, "Satellite Power System Concept Development and Evaluation Program: Reference System Report", DOE/ER-0023 (1978).
- 18) 柴田 他：X線CT装置用100kW級非接触給電回転トランスの設計検討，平成21年電気学会全国大会，2-132