

EV におけるワイヤレス給電の最近の動向

Recent Trends in wireless power transfer system for EV

高橋 俊輔

Shunsuke Takahashi

昭和飛行機工業株式会社 IPS・EV 開発室

Showa Aircraft Industry, IPS/EV business Department

Abstract

Although the spread of charge infrastructures is indispensable to the spread of EV, there are some subjects in the contact-type charging system used widely now, and a wireless charging system has come to be used. So, this paper describes the recent trends in various wireless power transfer systems, status of the electric maicro-bus wireless charging system that are currently operating, and dynamic charging as the future direction.

1. はじめに

省エネルギー、地球温暖化防止のためプラグイン・ハイブリッド車（PHEV）や電気自動車（EV）を普及させる上で、家庭や賃貸駐車場のコンセントからの普通充電のほかにガソリン・スタンドのように街中や高速道路のサービス・エリアで急速充電できる充電設備の充実が欠かせない。現状では車両外の電源から車両にケーブルで繋ぐ接触式であるが、接点の汚れや摩耗へのメンテナンスの必要性、雨中での操作の安全性、重いコネクタや硬いケーブルの操作性などの点から、地上に置いたコイルに跨るだけで充電できるとワイヤレス給電による方式が注目を浴びている。

EVに使用可能と考えられるワイヤレス給電方式としては、①マイクロ波方式、②電磁誘導方式、③磁界共鳴方式の3種類が挙げられるが、最近、出力はまだ小さいものの電界共鳴方式および回転磁石による低周波数でのワイヤレス給電なども発表されている。これら主要方式の動向と、すでに運用されているシステムの紹介と課題、今後の方向性として走行中給電について紹介する。

2. ワイヤレス給電システムの動向

マイクロ波は距離により拡散する傾向があるため、送電電力に対し受電利用可能電力が非常に小さい。そこで、拡散した無線電力を拾い集めるためにアンテナを大きくする必要があり、EVなどのモバイル用途としては大きさの制約が出てくる。電磁波は空間を飛ばさなくても、導体で囲われた導波管の中を伝搬させることができる。このような方法で2006年に京都大学と日産自動車がハイパーミニにマイクロ波源として電子レンジ用の安価なマグネトロン5本を使って1kWの電力をEVの床面に取り付けた81素子のレクテナアレイに放射、充電には成功したが、最大90Wの電力しか得られなかった。この充電効率の低さは、①伝送空間でのマイクロ波の大きな漏れ電力、②レクテ

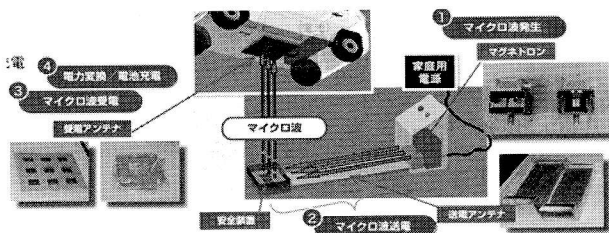


Fig.1 Wireless charging system for EV using microwave

ナアレイの低い効率、③複数のスロットアンテナから放射されるマイクロ波の位相の不揃い、などが原因である。三菱重工業は2006年から3年間、新エネルギー・産業技術総合研究開発機構（NEDO）の委託を受けて、マイクロ波方式充電システムに取り組んだ。効率向上のため、一般商用電力網からの6.6kV交流電源を交直変換してマグネトロンで6.6kV直流発振電圧にしたり、マグネトロンの発熱を回収、給湯に利用してエネルギー効率を高めたが、総合効率は38%しか得られなかった（Fig.1）。2012年、ボルボテクノロジー・ジャパンと日本電業工作は4m離れて直接、電気トラックに10kWクラスのマイクロ波を使ってワイヤレス誘電ができる効率80%のレクテナを試作したが、まだ電波暗室での実験段階でアンテナサイズも0.8m×1.2mと大きく、電磁放射への人体防護を含め実用化はこれからである。

電磁誘導方式のワイヤレス給電は1970年代から米国で開発が始まり、1995年フランスのPSAが発案したTulip計画において、地上に設置した送電コイル上にEVが跨り、車両床面に設置した受電コイルとの間で充電するとともに、通信システムで充電制御を行うという、現在のものと殆ど変わらないシステムがほぼ完成したが、電磁波漏洩の問題があった。製品化されたEV用のワイヤレス充電システムとしては、GMが開発した「Magne Charge」と呼ばれる最大出力6kWのパドル型のものがあり、1993年に豊田自動織機にて国産化され国内数百台、国外に数千台以上が販売されたが、1次コイルに相当するパドルを2次コイルとなるインレット部に差し込まねばならず、コネクション操作が不要というワイヤレス給電の特徴を損ねる構造をしていたため、広く普及するには至らなかった。大電力で、地上コイルに跨るだけで容易に充電できるシステムとしてはWam

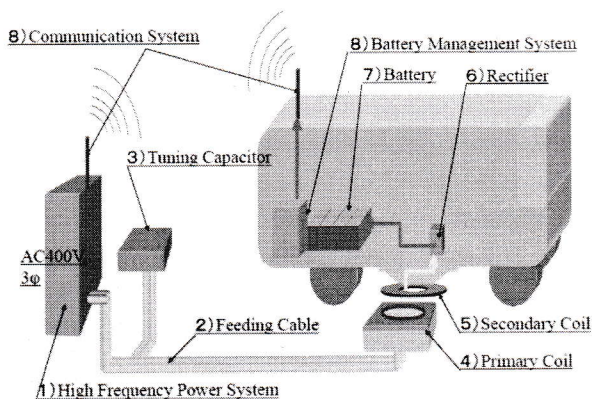


Fig.2 System diagram of electromagnetic inductive charging

pler製の「Inductive Power Transfer : IPT」があり、最大出力30kWで、欧州ではトリノやジェノバの電気バス用として2002年以降数十台が採用され、日本でも日野自動車のIPTハイブリッドバスや早稲田大学の先進電動マイクロバス（WEB-1）などに採用された（Fig.2）。Wampllerとコンソーシアムを組む三井物産が来夏から英国南部のミルトンキーンズ市の1路線・全8台をこのバスに置き換え、始発や終点など3カ所のバス停で乗客を待つ間の10分間程度充電することで、充電のために車庫に戻すことなく電動バスを終日運行させる事業を開始すると発表している。2005年、昭和飛行機工業はIPTハイブリッドバスやWEB-1の経験を元にNEDOの委託を受けて、出力30kWでIPTよりも小型で総合効率が92%と高く、ギャップも倍の100mmとした「Inductive Power Supply: IPS」を開発し、ミニカー用1kWから、EV用の10kW、マイクロバス用30kW、大型バス用の50kWからLRTや新交通システム用の150kWまで展開している。EV普通充電用3kW程度のものは国内外で各社により開発が進められていて、日産は2014年の標準搭載に向けての開発を、パイオニアも開発を進めている。海外ではWampllerと同系列のHaloIPTがコイル形状を改善して200mm以上のギャップのものを開発したが、2011年QualcommにM&AされQualcomm HaloIPTとして、ロンドンでワイヤレス給電EVプロジェクトを進めている。また、SEW-eurodriveやAUDI、Vhahle、Evatranなどがそれぞれ独自の製品を発表している。

磁界共鳴方式は、2007年にMITが、2m離れた距離で60Wの電力を送ることに成功し、一躍注目を浴びた。これは、送信側と受信側のコイルを高Qにして電磁的に同じ周波数でLC共振させ、空間に蓄積される磁気エネルギーを通して電力伝送をする磁気共鳴の技術を活用していて、その基本原理は新しいものではないものの給電方式としては新たな方式といえる。MITの技術を商業化することを目的に2007年に設立されたWiTricityは、2010年にDelphi Automotive SystemsとHEVやEVの自動ワイヤレス充電器の共同開発について合意をし、その後もトヨタ、三菱自動車、IHIなど各社と技術提携をして、出力は3.3kW、エアギャップ180mm、水平方向位置ずれ±200mmで85%の効率を持つワイヤレス給電の製品化を目指し（Fig.3）、2011年の東京モーターショーでは三菱自動車はiMiEVにIHIのワイヤレス給電システムを搭載して展示した。TDKはシボレーボルトに出力3kW、ギャップ15～20cm、効率80～90%、位置ズレ20cm以下であれば充電可能というシステムを搭載し、今後は20kWまで目指すとのことである。



Fig.3 Magnetic resonance system for EV

3. 運用試験から見える利便性と課題

EVはグローバルなためにワイヤレス給電システムの interoperability が求められ、現在、IEC/ISO の場で標準化の議論が各国間で進められている。EVに比べローカルなコミュニティバスは標準化の進展にかかわらず、ワイヤレス給電システムの採用が容易なため、海外を含め幾つかの運用実績がある。

日本では早稲田大学が中心となり、2002年より‘少量電池・高頻度充電・航続距離延長’コンセプトのWEBシリーズの開発とそれによる環境改善の研究を続けており、2008年から各地でワイヤレス給電システムを使った電動バスの運用実験を行っている。2008年に奈良市内でIPS搭載のWEB-1と接触急速充電式電動バスの2台の電動バスを使い、奈良公園一帯を巡回する観光用周遊バスの社会実験を実施し、どちらの電動バスでもCO₂排出削減効果は同じであったが、充電の利便性の点ではワイヤレス充電システムに軍配が上がった。2009年にWEB-1のみを使いIPSを2か所設置しての実証試験を実施した。1台はバスターミナルでの充電を意識して奈良県庁に設置し、毎回必ずSOC(充電率)70%まで充電を行う。もう1台はバス停で乗客が乗降する間の充電用として春日大社に設置、途中経路の渋滞度合いにより充電時間を‘充電なし・1分間充電・2分間充電’の3パターン設定した。春日大社1分間充電、空調なしの条件で試験を行った結果、1周5.5kmのルート周回に約30分を要し、春日大社での1分間充電と県庁にてSOCを70%まで回復するのに要した約6分の充電時間の計7分弱のIPS充電を行うことで連続的に走行可能であることが示され、短距離走行・高頻度充電コンセプトが実証された。

環境省の補助を受け、2011年11月から2014年3月までの予定で、長野駅と善光寺間を結ぶ長野市街地循環バス「ぐるりん号」に、新規に開発されたWEB-3とWEB-4が投入され、国内で始めて有料で運用されている。この電動バスに使われているIPSの仕様は出



Fig.4 WEB-3 and Primary coil of IPS

力 30kW、総合効率 92%、コイル間ギャップ 140mm で、バリアフリーのためのバスのニーリング機能を利用して車体側のコイルを地表面から 120mm まで下げることができるため、1 次側のコイルは地面と面一に設置することができ、充電における運用の利便性が上がっている (Fig.4)。搭載している Li イオン電池のタイプ、容量、電圧などの違う 2 台の電動バスが、長野駅近くの駐車場に設置した 1 台の IPS において、路車間通信を行うことにより問題なく充電できることが確認されている。このような長期間、電動バスを営業運行する例は日本初の試みであり、すでに電動バスは実用化の域に達したと言える。

EV 用ワイヤレス給電システムの 1 次コイルを公道上に設置するにあたっては、道路法第 32 条、道路交通法第 77 条により道路管理者と所轄警察署の許可が必要であるが、コイルの耐荷重や表面のスリップ性、ケーブルの埋め込み深さなどの各種道路要件が明確に規定されていないため、現状ではすぐに道路設置できる状況ではなく、長野でも駐車場などに設置せざるを得なかった。そこで、国土交通省では、コイル全面を樹脂コンクリートで覆うなどの対策を施したコイルを使い、2011 年に東京駅南口バス停留所やビッグサイトバス停留所の道路上に 1 次コイルを設置し IPS ハイブリッドバスにワイヤレス充電を実施し、道路上設置における課題の把握が行われた。

4. 将来技術としての走行中給電

1 充電走行距離が少ない EV の究極の給電機能は、走行中給電となる。LRT のように、道路下に埋め込んだ給電線から電磁誘導電力を受電するシステムは 1980 年代の米国の PATH プロジェクトに始まったが、漏れ磁束が大きな問題であった。韓国の KAIST や

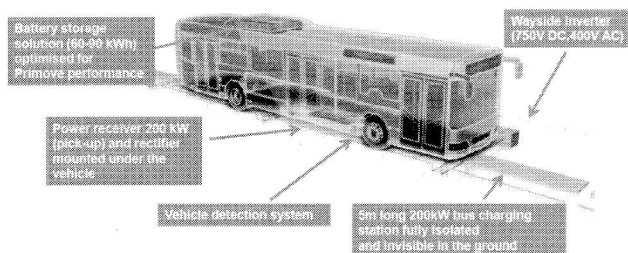


Fig.5 Dynamic charging of PRIMOVE system by Bombardier

(Source : Document of Christian Kohel in FTEV 2012)

Bombardier がコイルをセグメント化し、スイッチングにより車両下のコイルのみに通電することで、電磁放射を抑えるシステムを発表している (Fig.5)。これらはいずれも電磁誘導方式で、大ギャップの電力伝送を行う場合はコイル径が大きくなるとともに、スイッチング方式を利用するにしても漏洩電磁波の抑制に問題がある。そこで電磁誘導方式と比較して利用する磁場がずっと弱く、それでいてより長い距離を伝送できる磁界共鳴方式はシステムの遠方に電磁波の形で流出するエネルギーが少ないため、電磁波漏洩が少ないと考えられる。昭和飛行機工業は日産自動車、東北大学とともに 2009 年から 4 年間、NEDO の補助を受けて、磁界共鳴を使った走行中給電システムを開発中で、路面給電で 45cm 離して 2kW の電力を総合効率 77% で給電できるとしている。2020 年頃までには交差点や駅前のタクシープールに設置し、2050 年頃までには高速道路での走行中給電を目指している。

5. おわりに

資源の枯渇を見据えた石油価格の上昇や、環境意識の高い欧州での取り組みも始まろうとしている今、日本においても早急に規制緩和をして、すでに実用化の域に達している日本発のワイヤレス給電方式の電動バスの普及を進めるべきであり、地球環境保全に不可欠な EV の普及に向け、その利便性において大きな夢を持つワイヤレス給電システムのさらなる発展を望んでいる。