

# 日本におけるワイヤレス給電システムの技術動向と今後の展望\*

## Technical Progress of Wireless Power Transfer Systems in Japan

横井 行雄<sup>1)</sup> 居村 岳広<sup>2)</sup> 高橋 俊輔<sup>3)</sup>  
Yukio Yokoi Takehiro Imura Shunsuke Takahashi

Wireless Power Transfer (WPT) is one of important technologies to realize new EV and PHEV ages. New electric energy based mobility using WPT which allows light-weighted on-board battery, will open new world. Japan activity of theoretical study and technology development on WPT is now leading in the world to realize new mobility world. On this report we review Japanese activities based on JSAE committee of WPT Systems. Theoretical study, Study of Human Safety, Activity on Evaluation Test, Progress of Standardization are reviewed.

**Key Words :** (Standardized) EV and HV Systems, On Board Charging System, Filling Infrastructure, Standardization (Free) Wireless Power Transfer Systems, Exposure Assessment [A3](#)

### 1 はじめに

ワイヤレス給電は次世代エネルギー戦略の要の一つであるEV・PHVが本格普及期を迎えるにあたって、重要な技術となりつつある。東日本大震災の直後に公表された「省エネルギー技術戦略2011」でも運輸部門の重要技術に取り上げられている。ワイヤレス給電が実用化した暁には、従来のガソリン自動車とは異なった、モータ駆動、キャパシタなどの蓄電素子と組み合わせた新しい概念の車社会の到来が期待されている<sup>(1)</sup>。この分野の実用化に向けた要素技術の研究開発は日本が世界をリードしてきている。本稿ではワイヤレス給電システム技術部門委員会での活動を中心に、日本における技術動向と今後の展望を報告する。

### 2 理論的研究動向

従来より電磁誘導方式のワイヤレス給電の研究がされてきたが、2007年にMITより大きなエアギャップで高

効率を実現できる磁界共鳴方式の電力伝送が発表され、ワイヤレス給電の技術は一気に注目を集めた。同時にこの時期は、電気自動車(EV)の普及が現実味を帯び始めてきた時期でもあり、EVへのワイヤレス充電への研究に向け各機関が動き始めた時期でもある。

本章では、磁界共鳴と電磁誘導の理論的研究動向について述べる。まず、磁界共鳴であるが、磁界共鳴は電磁誘導の条件を絞った回路トポロジーと一致することが指摘されているが<sup>(2)</sup>、発見の経緯や大エアギャップかつ高効率の電力伝送を容易に実現できることなどから別の技術として分類されている。この磁界共鳴の発表後、筆者らは磁界共鳴と電界共鳴の現象を等価回路で記述できる報告をした<sup>(3)(4)</sup>。これにより、電力伝送効率最大化の計算が可能になり<sup>(5)</sup>、また、等価回路の共振周波数が $1/2\pi\sqrt{LC}$ で表現されることから、コイルの巻き数によって共振周波数を変化させ、kHz帯で共振させることができることを実証した<sup>(6)</sup>。kHz帯で動作させると高効率の電源や整流器を確保しやすいというメリットがある。そして、送信コイルと受信コイルの間に中継コイル(図1)を挿入することで電力伝送距離を延長できる技術が相次いで発表された<sup>(7)(8)</sup>。中継コイルについても、等価回路理論で説明できることが示されている(図2)<sup>(9)</sup>。また、電源をインバータにした場合の電力伝送効率を検討する報告<sup>(10)</sup>など、磁界共鳴に関して近年は多くの報告がある。さらには、13.56 MHzにおいても高効率でワ

\* 2012年5月25日受付

1) 長野日本無線㈱

E-mail: yokoiyukio@aol.com

2) 東京大学大学院 新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻  
(277-8561 柏市柏の葉5-1-5 新領域基盤棟7H1)

E-mail: imura@hori.k.u-tokyo.ac.jp

3) 昭和飛行機㈱ IPS・EV事業室

(196-8522 昭島市田中町600)

E-mail: s-takahashi@showa-aircraft.co.jp

イヤレス充電でき、かつ1 kWで実現可能であることが電気自動車へのワイヤレス充電という実機をもって実証されている<sup>(11)</sup>。13.56 MHzは電源や整流器での効率悪化が問題になることが指摘されてきたが、電源側もしくは受電側のアクティブな整合回路によって、それを打開すべく検討されている報告もある<sup>(12)(13)</sup>。周波数の選定が重要であることが頻繁に指摘されるが、ISMバンドである13.56 MHz、海外でのISMバンドである6.78 MHz、そして、十〜百数十kHz周辺の報告が多く、いずれの周波数においても活発な研究開発が行われている。各々メリットはあり、MHzでは装置の小型化が可能であり、また、kHzでは高効率システムを安価に実現することができるため、できる範囲で広い周波数において電力伝送ができる社会システムとなることが望まれる。

一方、電磁誘導方式に関しても、近年、コイル形状を平型やH型に巻くことにより、コイル面積を小さくできる技術が報告されているなど、非常に実用化に迫った技術報告がされている<sup>(14)</sup>。また、電磁誘導方式においてもLCブースタを用いて、電力伝送距離を大きくできることが報告されている<sup>(15)</sup>。また、電磁誘導方式ではマイクロバス用に30 kW、大型バスでは50 kW、新交通システムや路面電車用に150 kWの大電力のものが開発されている。

将来は、これら技術を発展させて、走行中充電を実現

させたいという期待もある。一般的なEVにおける一充電走行距離は200 kmに満たないため、走行中充電への期待が高まっている。これは、サービスエリアの1カ所のみで、50 kW級の急速充電を数十台同時に行うことを想定すると、MW級の充電施設を各サービスエリアに備え付ける必要があり、このことを避けたいという意図ももっている。海外では、韓国のKAISTが電磁誘導方式を用いて走行中のバスや車への充電実験を一大プロジェクトとして精力的に行っている。一方、日本では、昭和飛行機工業、日産、東北大学がNEDOの補助金を得て走行中給電の研究を進めている<sup>(16)</sup>。また、電界結合を用いての走行中充電の報告がある。タイヤ内のスチールベルトと路面に設置された金属板間での電力伝送である<sup>(17)</sup>。このように、走行中充電の研究報告も増えてきている。

### 3 安心・安全に向けた研究動向

数kWクラスの電力を取り扱うEV及びPHEV用のワイヤレス電力伝送の実用化・普及のために、安心・安全の確保は必須の要件である。とりわけ放射電磁界の人体への影響の評価は、無線を利用する機器にとり重要である。この点、国際的にはICNIRPでのガイドラインが示され、国内では電波防護指針が示されている。しかしワイヤレス電力伝送が、近傍界であり、相対的に低い周波数を利用するために、測定方法が十分に確立されていない。磁界強度分布に関する検討が進められ、指針を遵守する範囲が明らかにされてきている<sup>(18)</sup>(図3、図4)。さらにシステム近傍に位置する生体への電磁界暴露について、人体モデルを用いた体内電磁界分布解析など基本指針に立ち返った安全確保のための評価研究が、NICT(情報通信機構)をはじめとして国内外で精力的に進められている<sup>(19)</sup>。



図1 中継コイルの電球点灯実験<sup>(9)</sup>

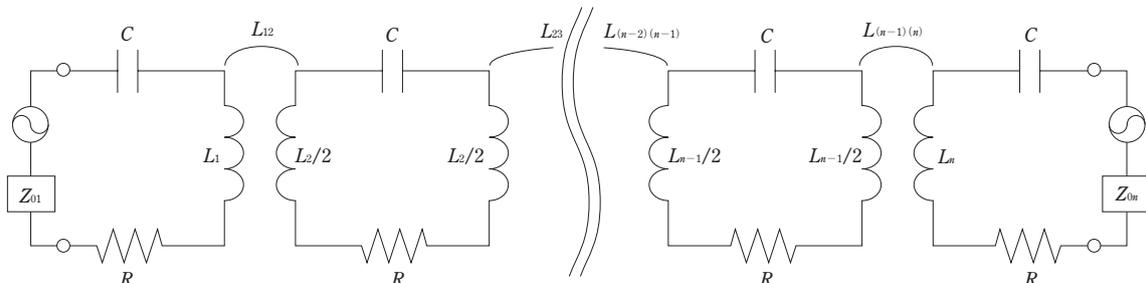


図2 中継コイルの等価回路図<sup>(9)</sup>

#### 4 実証試験動向

米国 Qualcomm Halo が 2012 年にロンドンでタクシーなど 50 台の EV を使って電磁誘導式ワイヤレス給電の実証試験を行っており、2011 年の東京モーターショーでは三菱自動車が出し、IHL/Witricity の磁界共鳴式ワイヤレス給電システムを搭載した i-MiEV を発表、2012 年のニューヨークモーターショーでは日産が電磁誘導式のワイヤレス給電システムを搭載したインフィニティ LE コンセプト(図 5)を発表しているが、EV・PHEV はグローバルな存在なので後述する国際標準化活動の進展がワイヤレス給電を世界的に普及させる鍵となる。それに比べバスはローカルに使われることが多く、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、海外を含めいくつかの試行運用実績がある。

2008 年に小容量電池搭載の WEB-1 + ワイヤレス充電



図 3 1 kW クラス磁界共鳴ワイヤレス給電評価 EV<sup>(11)</sup>

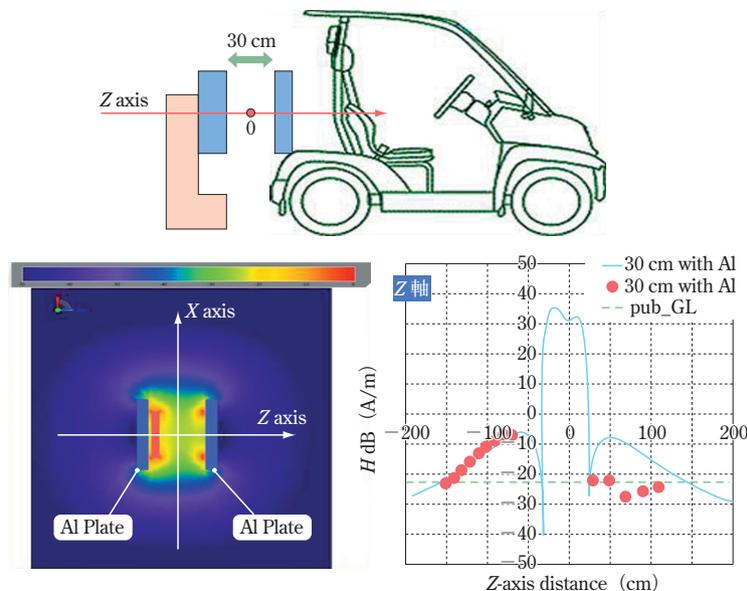


図 4 磁界分布シミュレーションと実測比較<sup>(18)</sup>

システムと大容量電池搭載の電動バス + CHAdeMO 式急速充電器の 2 台の電動バスを使い、奈良県庁に充電装置を設置し、春日大社を含む奈良公園一帯を巡回する 1 周 5.5 km の観光用周遊バスの社会実験を実施した。実証走行試験の結果、どちらの電動バスでも CO<sub>2</sub> 排出削減効果は確認できたものの、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。そこで 2009 年には WEB-1 のみを使い、再度実証走行試験を行った。試験ではワイヤレス充電システムを 2 か所設置した。一つはバスターミナルでの充電を意識して県庁に、もう一つ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した。充電条件として、県庁では毎回必ず SOC 70% まで充電を行い、春日大社では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。その結果、春日大社での 1 分間充電と県庁にて SOC 70% まで充電するのに約 6 分、計 7 分間のワイヤレス充電を行うことで、走行時間約 30 分、1 周 5.5 km のルートを連続的に走行可能であることが示された。WEB-1 のリチウムイオン電池容量は三菱自動車の 4 人乗り i-MiEV の 16 kWh より少ない 12 kWh、さらに 3 倍の車両重量と定員 12 名でありながら、充電は繰り返すもののアップダウンの大きな奈良公園内を 1 日中運用できる。すなわち、WEB-1 のコンセプトである“小容量電池・高頻度充電・航続距離延長”が実証された<sup>(20)</sup>。

長野駅と善光寺間で運行されている「ぐるりん号」



図5 インフィニティ LE コンセプトの充電(提供: 桃田健史氏)



図6 充電コイルに向かう WEB-3(撮影: 高橋俊輔)

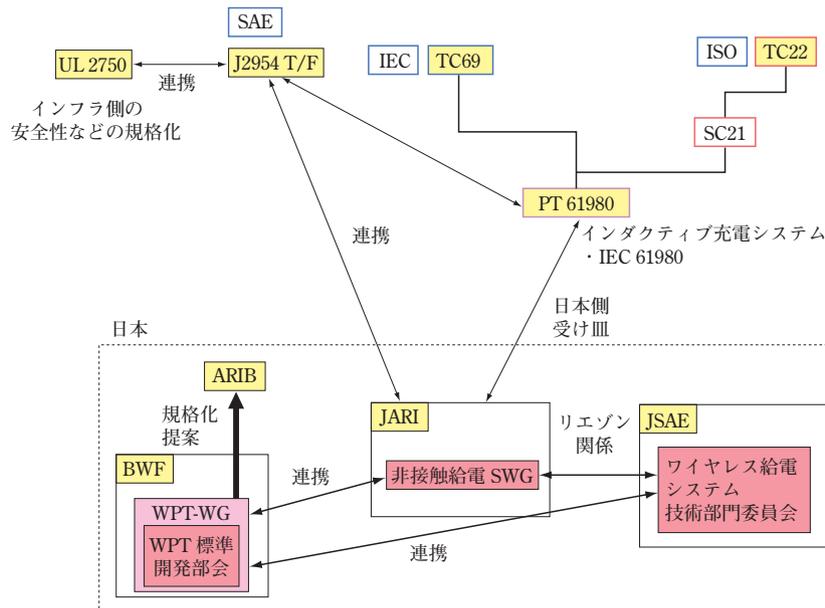


図7 標準化動向マップ(EV関係)<sup>(21)</sup>

に2011年から3年間、ワイヤレス充電される電動バス、WEB-3とWEB-4の2台を投入、国内で初めて有料で走行させるとともに、バス及びワイヤレス充電システムのメンテナンス性についての検証を行っている。搭載しているリチウムイオン電池のタイプや、容量、電圧の違う2台のバスが1台のワイヤレス充電システムにおいて、路車間通信を行うことで問題なく充電できることも確認されている(図6)。

大型のワイヤレス充電式ハイブリッドバスでは、路上設置の課題解決に向けて2011年に東京駅と晴海間をシャトル運行する都バスの東京駅南口バスターミナル路上に、また同年の東京モーターショーではビッグサイト及び豊洲のバスターミナル路上にコイルを設置し、他の車両による踏みつけなどに対する耐久性や地上コイルの直上にバスが停車することができるかの正着性について実証試験が行われ、問題なく運用できることが確認された。

## 5 標準化に向けた動向

EV及びPHEVへの適用に限らずワイヤレス給電の実用化、普及促進のためには、標準化を推進し、利用周波数、送受電コイル配置あるいは相互接続性、安全確保要件などの共通の基盤の整備が重要である<sup>(21)</sup>。

国際的には、IEC-TC69(電気自動車、電動車両)に2011年11月NP(新テーマ)が提起され、ISO TC22と連携して標準化活動が開始された。米国SAEもWGを組織し、安全面でULとの役割分担のもとで標準化の作業が進んでいる。対応した国内審議機関として、JARIが充電WGの下に非接触充電SWGを設置し検討・提案を行っている。EV関連の標準化動向マップを図7に示す。他方、家電関係ではBWF(ブロードバンドワイヤレスフォーラム)がワイヤレス電力伝送WGに標準開発部会を組織して、ARIBなどと連携し標準化検討を進め

ている。国際的には米国CEA, IEC-TC100(マルチメディア機器)及びIEC-TC109(人体防護)もワイヤレス給電に関わる標準化の検討に着手している。

自動車用ワイヤレス給電システムと電波法制度を踏まえた検討及び利用できる周波数(スペクトラム)の標準化も重要である<sup>(22)</sup>。周波数の国際共通化のためにはITUでの検討が必要であり、主管庁レベルでの推進が期待されている。

## 6 今後の展望

以上報告したように、ワイヤレス給電システムの技術研究は日本がリードしてきており、引き続きその役割が期待されている。理論面で磁界共鳴方式と電磁誘導方式を統合的に捉える理論の構築、及び走行中給電の実現を見据えた研究の一層の進展が見込まれる。実用化に向けた利用可能周波数の絞り込みが進んでおり、基本指針に基づく人体防護に関わる影響評価の研究も進んでいる。駐停車中のワイヤレス給電に留まらず、走行中給電についても、実証試験を積み重ねることで安心・安全なEV・PHEV用のワイヤレス給電システムが構築される日も間近に迫っている。さらにワイヤレス給電により搭載型電池の必要性が薄まり、電気エネルギーを活用した新しい車の形が見えてくると期待している。

### 参考文献

- (1) Yoichi Hori : Novel EV Society based on Motor/Capacitor/Wireless. THU-KS-1, IMWS-IWPT2012, Maym 2012/05/23
- (2) 居村岳広ほか：非接触電力伝送における電磁誘導と電磁界結合の統一的解釈, 電気学会自動車研究会, VT-09-007, p. 35-40 (2009.1)
- (3) 居村岳広ほか：電磁界共振結合による伝送技術, 電気学会誌, Vol. 129, No. 7, p. 414-417 (2009)
- (4) 居村岳広ほか：等価回路から見た非接触電力伝送の磁界結合と電界結合に関する研究—共振時の電磁界結合を利用したワイヤレス電力伝送—, 電学論D, Vol. 130, No. 1, p. 84-92 (2010)
- (5) 居村岳広ほか：等価回路から見た磁界共振結合におけるワイヤレス電力伝送距離と効率の限界値に関する研究, 電学論D, Vol. 130, No. 10, p. 1169-1174 (2010)
- (6) 居村岳広ほか：kHz～MHz～GHzにおける磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送用アンテナの提案, 電子情報通信学会総合大会(2010.3)

- (7) 柏木一平ほか：第3のコイルを用いた磁気共鳴型無線電力伝送の効率改善, 電気通信情報学会総合大会, B-1-31 (2010.3)
- (8) 橋口宜明ほか：磁界共鳴型ワイヤレス給電用中継デバイスの開発, 電気通信情報学会総合大会, B-1-25 (2010.3)
- (9) 居村岳広：磁界共振結合のワイヤレス電力伝送における中継アンテナの等価回路化, 電学論D, Vol. 131, No. 12, p. 1373-1382 (2011)
- (10) 山口和也ほか：0オーム系システムのベクトルネットワークアナライザによる測定～結合共振器型WPTシステムの設計～, 信学技報, WPT2011-23 (2011.12)
- (11) Yukio Yokoi, et al. : Development of kW Class Wireless Power Transmission System for EV Using Magnetic Resonant Method, 1st International Electric Vehicle Technology Conference(2011.5)
- (12) 日下佳祐ほか：磁界共振結合による非接触給電用高周波電源に適用するスイッチング整合回路の基礎検討, 平成23年電気学会東京支部新潟支所研究発表会, IV-09, p. 65 (2011)
- (13) 日下佳祐ほか：磁界共振結合による非接触給電に適用する高入力力率バッテリー充電回路の提案, 平成24年電気学会全国大会, Vol. 4, p. 176-177 (2012)
- (14) 千明将人ほか：電気自動車用非接触給電トランスの新コア構造と鉄損のモデル化, 電学論D, Vol. 132, No. 1, p. 9-16 (2012)
- (15) 田倉哲也ほか：電磁誘導型非接触給電における効率と性能指標の関係, J. Magn. Soc. Jpn., 35, p. 132-135 (2011)
- (16) 佐藤剛ほか：走行中非接触給電システムの開発, 自動車技術会春季学術講演会論文集, No. 5-12, 20125159 (2012.5)
- (17) 花澤理宏ほか：タイヤ内スチールベルト道路埋設導体間の静電容量を用いた走行中給電, 信学技報, WPT2011-17 (2011.10)
- (18) 堀内ほか：kWクラス磁界共鳴ワイヤレス電力伝送における電磁界シミュレーションと磁界分布計測の退避評価, 自動車技術会春季学術講演会論文集, No. 5-12, 20125391 (2012.5)
- (19) 和氣加奈子ほか：ワイヤレス給電システム近傍の人体内ばく露評価, 自動車技術会春季学術講演会論文集, No. 5-12, 20125392 (2012.5)
- (20) 荻路貴生ほか：先進電動マイクロバス交通システムの開発と性能評価, 自動車技術会春季学術講演会論文集, No. 52-10, 20105128, p. 5-8 (2010)
- (21) 庄木裕樹：ワイヤレス電力伝送技術の実用化のための制度と標準化, 自動車技術会春季学術講演会論文集, No. 5-12, 20125389 (2012.5)
- (22) 小林哲：ワイヤレス給電に適用される電波法制度の現状と課題, 日経ワイヤレス給電シンポジウム2012 (2012.4)

## フェース



横井行雄



居村岳広



高橋俊輔