

EV 社会におけるワイヤレス電力伝送技術と磁気技術

藤崎 敬介
(豊田工業大学)

Wireless Electric Power Transmission Technology and Magnetics in EV Society
Keisuke Fujisaki
(Toyota Technological Institute)

EV の構成要素

環境負荷低減技術として EV 社会の実現が期待されており、現時点の現実解としてハイブリッド EV 車が普及している。図 1 は、従来のガソリン車から、HEV 車、BEV 車、走行充電 EV 車、超電導リニアまでの構成の変遷を示したものである。機械工学から電気工学への主要技術の変遷、および車両技術から地上（インフラ）技術への変遷といった潮流がうかがえる。これらの中で経済原理的に実用化するのは、最初のエンジン車と建設中の超電導リニアと言え、部品点数の少なさからいって納得できる^{1,2)}。

車両は移動体で、エネルギーを供給し続ける必要があり、エンジン車ではガソリンなどを車に搭載して移動しているが、超電導リニアでは地上のインフラ設備より車両に電気エネルギーを供給して駆動している。ガソリンなどはエネルギー密度が高いので、車の搭載は可能であるが、現行のバッテリーのエネルギー密度の低さを考えると、バッテリーのみ駆動は現時点では難しいところがある。

ワイヤレス電力伝送と磁気技術

電気エネルギーのエネルギー伝達方法は、電磁場を介しての非接触作用で、モータがその例といえる。移動体へのエネルギー供給を機械的な接触で行うと、アークの発生や摩耗が発生し、メンテ、大きさ、安全性の点で望ましくない。DC モータから AC モータへの実質的な推移は DC-M のもつブラシの存在である。このため、地上にある電気エネルギーを車両に供給する方法は、電磁場を介しての非接触作用、つまり非接触充電（ワイヤレス電力伝送）が電気工学の本質的な動向といえる。非接触の充電ができれば、走行充電も実現可能であり、超電導リニアは地上からのエネルギー供給を電磁力付与にしたものといえる。

ワイヤレス伝送では、電磁場現象ではあるが、高周波とは言えそこではモータ同様に「磁気」を介してのエネルギー伝送であり、大きな磁束密度を得、漏れ磁場を少なく集中させるためには、強磁性体の使用が期待される。

しかしここでも動作周波数が MHz 程度と極めて大きく、高周波磁気の問題がパワエレ磁気同様に生じてしまう。本シンポジウムを磁気学会にて開催する意義はそこにあり、多くの研究者への期待がかかっている。

参考文献

1) 藤崎敬介編著「モータ駆動システムのための磁性材料活用技術」コロナ社, 2018.9.
2) Editor: Keisuke Fujisaki, "Magnetic Material for Motor Drive System", Springer-Nature, 2019.12.

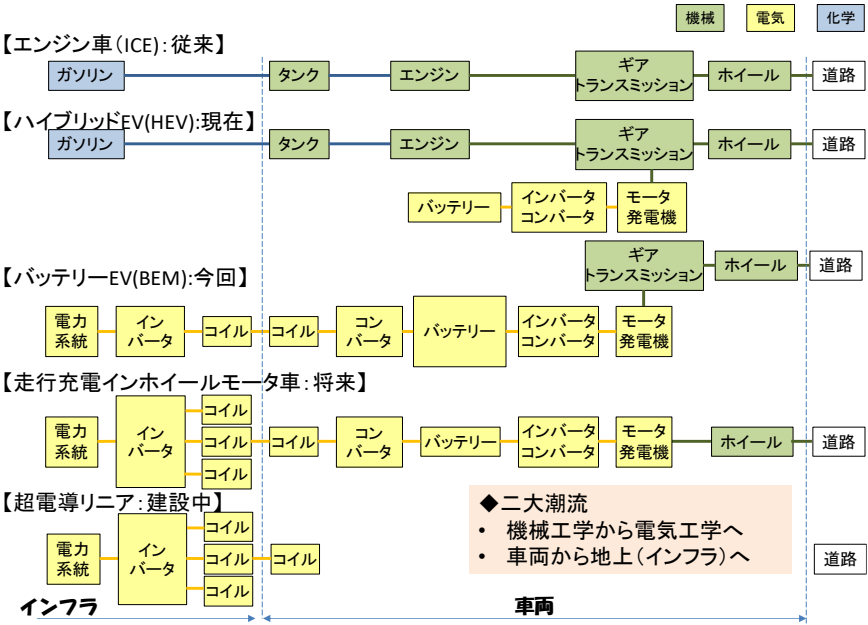


図 1. エンジン車からガソリン車への構成の変遷
(車両とインフラの形態、主要な要素技術)

温故知新-SDGs ワイヤレス給電の未来への道程

松木英敏、佐藤文博*

(東北大、*東北学院大)

New insights through old experiences: sustainable future of WPT

H. Matsuki and F. Sato*

(Tohoku Univ., *Tohoku Gakuin Univ.)

はじめに

スマートフォンへの WPT が身近に大きな市場を形成し、機械的接触・電気的非接触が主流になっている。WPT のさらなる進展のためには改めてワイヤレスの持つ特質を振り返ることも必要かもしれない。それはやはり「電波」ではなく「場」による機械的・電気的非接触 WPT の実現であり、交通分野を例に紹介する。

非接触給電と交通システムとの相性

いわゆる EV に対する給電目的は、電車とは異なり、電動力への給電ではなく搭載蓄電池への充電である。したがって WPT による走行中給電目的は搭載蓄電池の蓄電容量維持とみなすのが適当である。

まず一人乗り EV（以後モビリティと称する）を対象とし、走行中給電区間通過前後で蓄電容量が変化しない条件を求める（Fig. 1）。単位距離走行時の

消費電力量 S_{uk} を定義し、給電区間通過時に消費する電力量を走行中 WPT 充電電力で補償したとすればその値 P_C は Fig.1 中に示すようにモビリティ速度 v に比例する値となり、走行中給電区間長 L には依存しない値となる。

給電区間を走行する速度を設定速度 v_c とすれば、その速度前後で蓄電容量の維持状態を制御できることになる。このことを示すのが Fig. 2 である。モビリティ速度 v が設定速度 v_c よりも速ければ電池残量は減少するが、反対に遅ければ電池残量は増加し「満タン」状態に向かうこととなる。したがって制御のための設定値は v_c となる。

Fig. 2 では供給電源を太陽光パネル(ソーラー)とした。ソーラーは電流源であるため、その制御にはもともと蓄電池が必須であり、走行中給電をオフグリッドで構成できる長所がある。

Fig. 3 はそのことを実証するための予備試験結果である。給電区間一カ所を有する走行路を設定し、モビリティによる往復走行を繰り返した結果、給電区間のない場合に比べ往復回数が2往復分増加したことが認められた。

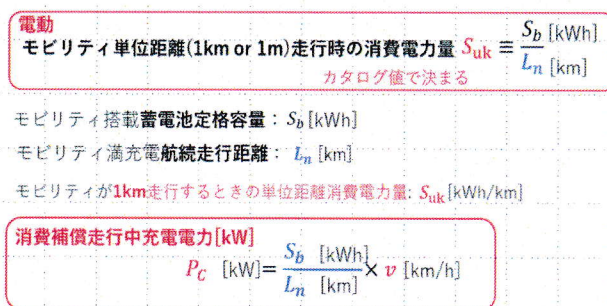


Fig.1 Power-consumption per unit distance of the mobility.

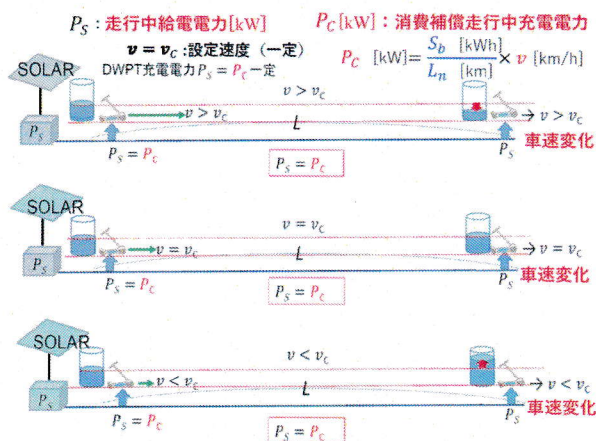


Fig.2 Driving power-consumption compensation utilizing WPT.

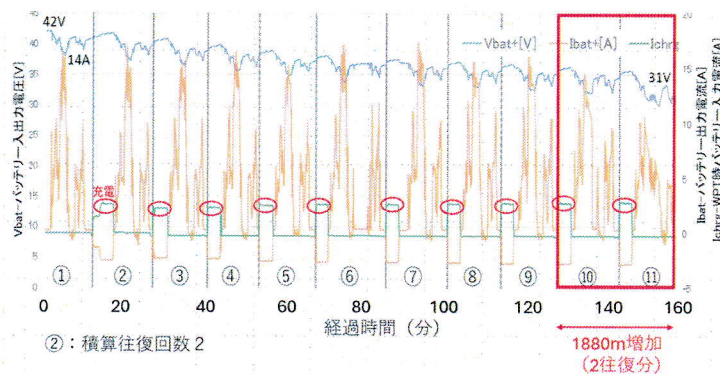


Fig.3 Power consumption compensation effect by the WPT repetition charge.

イノベーションに向かう先進磁気応用の磁界共鳴ワイヤレス給電

細谷 達也

(株式会社村田製作所, 名古屋大学)

Magnetic field resonance wireless power transfer using advanced magnetic applications for innovation

Tatsuya Hosotani

(Murata Manufacturing Co., Ltd., Nagoya University)

はじめに

近年、ワイヤレス給電 (WPT, wireless power transfer) の研究開発は活発化している。電気接続なしに電力を供給するワイヤレス給電の機能は、様々な製品や用途に展開できる。これまでにない製品や新しいビジネス、そして新産業を期待する。革新的な技術や発想により新たな価値を生み出して社会に大きな変化をもたらすイノベーションにより、未来社会や産業の発展に貢献することを目指す。

本稿では、イノベーションを志向するワイヤレス給電テクノロジーの概要を示し、磁気応用による先進的な磁界共鳴ワイヤレス給電の開発事例を解説する。

ワイヤレス給電テクノロジーと新しい事業開発

ワイヤレス給電による新しい事業開発では、提供技術による顧客価値の創造が必要である。商品やサービスによる付加価値と収益とを整合させ、社会価値と経済価値の好循環を生み出す。用途開拓では、多くの場合、利便性だけでは経済合理性の成立は難しい。有線給電は、①電力効率、②シンプルさ、③コストにおいてワイヤレス給電よりも圧倒的に優れる。イノベーションを目指す新規事業開発では、市場や顧客のニーズよりも強いペインポイントが必要である。ペインポイントは、「お金を払ってでも解決したいポイント」と定義できる。新しい事業開発では、1.テクノロジーの進化、2.ペインポイントを捉えた課題設定、3.複数企業が協働して新しい価値を創る共創事業の3つが成功の鍵となる。開発プロセスでは、①優れた課題発見、②課題の深い理解、③技術開発と試作評価のサイクルを回し、仮説検証による軌道修正を繰り返して成功に導く。

ワイヤレス給電テクノロジーをFig.1に示す。事業展開に向けて技術は進化している。筆者らは、ワイヤレス給電の開拓者として、世界に先駆けて、1994年に磁界共鳴技術、1995年に電界共鳴技術を開発し、2011年には産業発展を目的に、磁界・電界共鳴技術の実用化に必要な基本的な特許を出願して登録している。ペインポイントを捉えた技術開発により社会課題の解決を目指す。ワイヤレス給電分野では、現在までに国内外300件以上の特許を登録し、新たに特許ライセンサー事業なども進めている。

磁界共鳴ワイヤレスの先進開発

磁界共鳴ワイヤレス給電技術の先進開発の事例①、②を解説する。

事例①では、「紙の電子化」、「カード多機能化」を狙う。厚さ0.75mmのカードに受電ユニットを搭載し、例えば、指紋認証電子機能により本人のみが使用できる。高度セキュリティの社会課題を解決する。二次電池ありとなしの両方を開発している。送電では、既存の誘導式読み書き装置 (NFC, Near Field Communication) を利用できる。送電装置の用意は不要である。

事例②では、世界に先駆けて、BMI (Brain Machine Interface) 脳波計装置の開発と、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) 患者に向けた臨床試験の準備を進めている。頭蓋骨内インプラントワイヤレス給電によりQOL (Quality of life) を向上させ、有線給電における感染症問題の社会課題を解決する。

先進磁気応用により、事例①は、NFC装置がつくる磁束を利用し、距離40mmの電力伝送に成功している。事例②は、電磁界共鳴の形成により生体適合金属チタン筐体内への給電に成功。解析と実験より、電磁誘導技術と比較して、①脳波計の体積70%以上低減、②金属チタン筐体での電力損失90%以上低減、③温度上昇2℃以内を達成する画期的な成果を得ている。



Fig.1 WPT technology

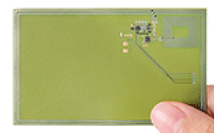


Fig.2 WPT Electronic card

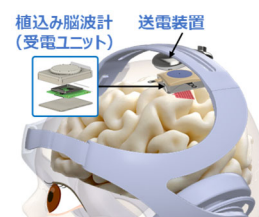


Fig.3 WPT BMI system

走行中ワイヤレス給電の課題と実現可能性についての紹介

居村 岳広
(東京理科大学)

Introduction to the Challenges and Feasibility of Dynamic Wireless Power Transfer

Takehiro Imura
(Tokyo University of Science)

はじめに

走行中ワイヤレス給電 (DWPT : Dynamic Wireless Power Transfer) の実現可能性について、経済成立性、DWPT 用高速独立協調制御、電気特性と機械特性を両立したコイル埋設技術について紹介する。

経済成立性

高速道路に DWPT を導入するに当たって必要な費用算出は DWPT 実現において非常に重要である。透明性のある合理的な情報に基づいた算出を行った結果、現在の技術において約 3 億円/km 程度の見通しを立てることが可能となった。コストの内訳からコイル価格の重要性が示唆される。そして、コイル構成を変更するコスト低減効果が高いことも分かった。

高速独立協調制御

DWPT は 100km/h の高速走行をしながら走行中ワイヤレス給電を行う。1m のコイルの場合、100km/h では 36ms でコイル上を通過する。この間に送電側システムは車両側の受電コイルを検出して電力を送り、受電側は受電電力を制御し、更に車が過ぎ去ったら送電側は電力供給を終えないといけない。これらを通信を基に行うことは安全面、技術面から難易度が高いため、強調しつつお互い独立制御をしなければならない。待機電力を大幅に低減できる速度推定を用いた電力供給技術を開発した。

電気と機械特性を考慮したコイル埋設技術

道路面は走行安全性を担保するため、DWPT はコイルをアスファルト下に埋設する必要がある。停車中ワイヤレス充電はコイルは地面上に設置するために、伝送距離は短く出来るが、DWPT に関しては停車中ワイヤレス充電より必然的に伝送距離がのびるため、効率の低下が生じる。また、道路の影響でコイルの電気特性は悪化する。そのため、効率を向上させ DWPT に必要な電力供給が可能なシステム開発が必要である。一方で、機械特性の観点から最低 10 年以上使える道路設計が必要であり、道路の耐久性についても考慮する必要がある。この電気特性と機械特性の両立が重要となり、20 年を超えるコイルとその埋設方法を開発した。

まとめ

DWPT を実現するに当たって重要な 3 つの課題は、経済成立性、DWPT 用高速独立協調制御、電気特性と機械特性を両立したコイル埋設技術である。これらに対する研究開発の成果について紹介した。

参考文献

- 1) Kanta Kobayashi, Takehiro Imura and Yoichi Hori, "A Method for Reducing Standby Losses by Vehicle Detection and Switching Control in a System Configuration for Multiple Vehicles in Dynamic Wireless Power Transfer", IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo 2023(WPTCE), San Diego CA USA, June. 2023.
- 2) Naoya Sasa, Takahiro Yamahara, Seho Kim, Takehiro Imura, Grant Covic, Yoichi Hori, Hiroyuki Mashito, Hiroki Tanaka, "Thermal Modelling of IPT Coil Embedded in Resin for the Roadway", 2024 IEEE WIRELESS POWER TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXPO (WPTCE2024), Kyoto, Japan, May. 2024.

MHz 帯 WPT におけるコイル設計例

関屋 大雄

(千葉大学大学院情報学研究院)

Design example of coupling coils for WPT at MHz band

Hiroo Sekiya

(Graduate School of Informatics, Chiba University)

はじめに

6.78MHz, 13.56MHz 等は ISM(Industrial Scientific and Medical Band)バンドと呼ばれる。この周波数帯はパワーエレクトロニクス（以降、パワエレ）においては高周波帯に分類され、したがって、無線電力伝送 (Wireless Power Transfer: WPT) においても高周波パワエレの技術を適用することが重要である。高周波帯パワエレ回路において、もっとも重要なのはスイッチング損失を低減することであり、磁性素子設計はソフトスイッチング条件に拘束される。一方で、結合コイルはそれ自身の損失を最小化することも求められ、高周波 WPT のコイル設計にはこの両面からの条件を満足する最適化が必要である。本稿では、それを実現するための一方法を示し、設計例によりその妥当性を示す。

高周波 WPT

図 1 に WPT の回路モデル例を示す。WPT において、結合コイルは自己インダクタンス、結合係数、等価直列抵抗でモデル化される。ISM バンド WPT においては、磁界共鳴方式を採用し、結合コイルは空芯となる。磁界共鳴方式は受電側で結合コイルの自己インダクタンスと完全共振を取ることで、送電側から見た受電回路の等価抵抗 R_r を大きくする。この等価抵抗 R_r と送電コイルの等価直列抵抗 r_t は直列関係となり、かつ、同じ送電電流が流れることから、この抵抗の比が効率を決める。このとき R_r 、 r_t はともに結合コイルパラメータの関数で表されるため、最適なコイル設計パラメータが存在する。さらに送電コイルの自己インダクタンスはスイッチング損失を低減するための条件を満足しなければならない。

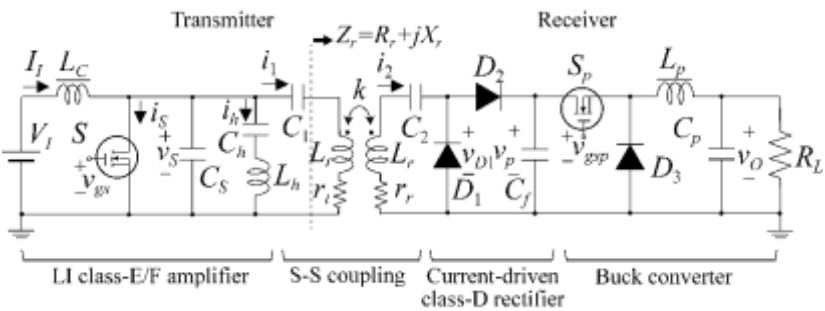


図 1 : WPT 回路構成例[1]

設計例と実装

例えば結合コイルをソレノイド型とする場合、自己インダクタンスは長岡係数を用いた近似式、結合係数（相互インダクタンス）は Neumann の式、そして、等価直列抵抗は Dowell の式でモデル化することにより、コイルの物理パラメータ（コイル径、コイル長、線径、巻数）から電気パラメータに変換できる。これにより、結合コイルと回路の最適設計を同時に行える。設計仕様として、入力電圧 80V、出力電圧 16.8V、送電周波数 6.78MHz、コイルの許容サイズ直径 50mm、高さ 16mm 中で電力伝送効率を最大化する最適化を行った。その結果表 1 の最適設計値を得た。図 2 に実装回路を示す。実験波形は理論予測と良好な一致を見せ、実験検証により、最適設計が行えていることが確認できる[1]。

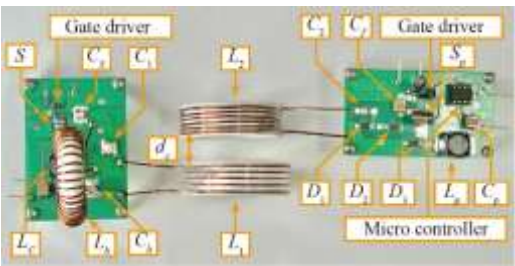


図 2 : 実装回路

表 1 : 最適コイル設計値

N_t	N_r	d_{wt}	d_{wr}
6	6	1.22 mm	1.02 mm

[1] Y. Komiyama, et. Al. “Analysis and Design of High-Frequency WPT System Using Load-Independent Inverter With Robustness Against Load Variations and Coil Misalignment,” *IEEE Access*, Jan. 2024.