

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420256

研究課題名(和文) 機械式立体駐車場におけるEV&PHV非接触給電システムの開発

研究課題名(英文) Contact-less AC Power Supply System for EV/PHV in Parking Tower

研究代表者

平木 英治 (Hiraki, Eiji)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：20284268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、低公害車としてEVやPHVが実用化され、急速に普及し始めている。それに伴い充電施設等のインフラ整備の観点から、立体駐車場ではビル側から絶縁された移動駐車パレットへ物理的に接触することなく電力供給する方法が検討。パレットが所定の位置まで移動した後、PHVはパレットに設置されたACコンセントから給電を行う。このとき、パレットの位置決め精度の問題から接触による電力の供給が困難なため、非接触給電が不可欠となる。本研究では、立体駐車場非接触給電システム用高周波リンクAC-ACコンバータを提案し、シミュレーションおよび実験により、提案回路の有用性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In tandem with the penetration of PHV as well as EV, contact-less power supply system in parking towers have become important subjects. In parking towers, EV and PHV are charged on the traveling pallets, supply power is to be transmitted from the building to travelling pallets. In this paper, high-frequency link AC-AC converter for contact-less power supply system in parking tower is newly proposed and its basic operation and performance have been demonstrated from computer aided simulation and experiment.

研究分野：パワーエレクトロニクス

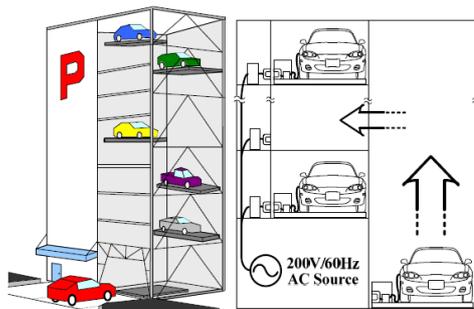
キーワード：電気自動車 非接触給電 機械式立体駐車場

1. 研究開始当初の背景

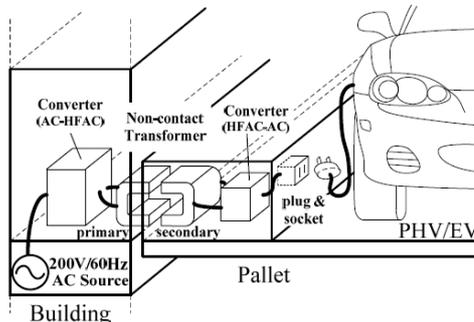
近年 環境負荷が少ない自動車として PHV (Plug-in Hybrid Vehicle) や EV(Electric Vehicle)が実用化され、急速に普及し始めている。それに伴い、全国各地の道の駅や高速道路のパーキングエリア等に急速充電設備が構築されるなど、充電インフラの充実が急速に進んでいる。一方で、ユーザの使用形態を鑑みると、都市部に多数存在する機械式立体駐車場における充電インフラの確保を早急に確保する必要があるのは言うまでもない(市街地でのショッピングはもちろんのこと、機械式立体駐車場を有するホテルや居住用マンションも多数存在する)。

図 1 に、機械式立体駐車場に PHV&EV への給電機能を設けたイメージ図を示す。機械式駐車場では、車両は入口に設置された移動パレット上に駐車される。この時、車両の AC コンセントと移動パレットに設置された充電プラグを接続する。その後、車両が搭載されたパレットが所定の位置まで移動した後に車両の充電が始まる。この時、ビル本体の交流系統から移動パレットに向けて電力が供給される必要があるが、現状では移動パレットの位置決め精度を充分に取ることができず、上下奥行き方向にそれぞれ 10mm 前後のズレや隙間が発生する。したがって、ビル本体から移動パレットへの給電には電気的接点を設ける接触式給電方式を導入することが難しく、電磁誘導を使った非接触給電方式が必要となる(図 1(a)参照)

図 2(a)に、立体駐車場ビル本体の交流系統から移動パレットへと電力を供給する非接触給電システムの一般的な回路構成を示す。50Hz もしくは 60Hz の 200V 交流は、ビル

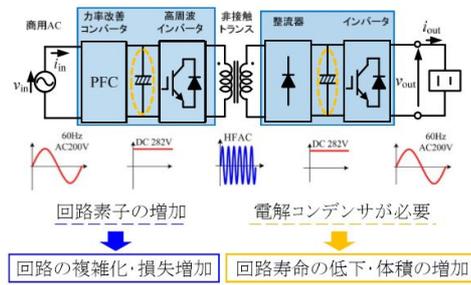


(a) 立体駐車場

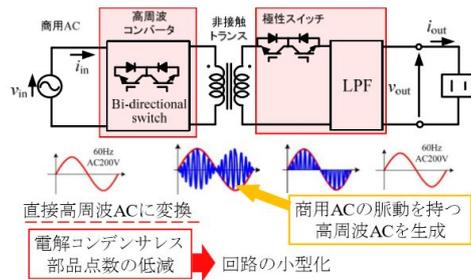


(b) 非接触給電システム

図 1 立体駐車場非接触給電システム概念



(a) 一般的な非接触給電



(b) 提案する非接触給電

図 2 立体駐車場非接触給電システム構成

本体で一旦直流に変換された後に高周波交流に再変換され、非接触トランスへ供給される。この時、入力移動パレット側では非接触トランスからの出力を一旦直流に変換した後に PWM インバータで再度 50Hz/60Hz の交流に変換され、車両に供給される。したがって、複数段の変換回路を経由するため、部品点数の増加および電力損失の増加が問題となる。また DC 部に電解コンデンサが必要となるため、装置の大型化や短寿命化といった問題も生じてくる。

2. 研究の目的

これらの問題を解決する手段として申請者が提案するシステムは、商用 AC から直接高周波 AC への変換を実現する単純な回路構成からなる新しい非接触給電システムである。提案システムは、図 2(b)に示すように商用交流を直接高周波 AC に変換するが、この高周波 AC は商用 AC の 50/60Hz の脈動を有しており、脈動ごと高周波トランスを介して移動パレット側へ伝達する。移動パレット側でダイオードと LPF からなる単純な回路により脈動成分すなわち商用 AC を取り出し車両へ供給する、という考え方である。提案方式を導入することにより、一般的な非接触給電システムと比較して圧倒的な簡素化が可能であり、回路の小型化や低コスト化、高効率化が期待できる。

- 本研究の Key 技術となるのは、
- 商用 AC から高周波 AC へ変換する電力変換回路
- 10mm の位置ズレに対応可能な高周波トランス

であるが、(a)の電力変換回路について申請者はこれまでに研究してきた高周波誘導加熱

(IH)用インバータ技術をそのまま利用することができる。これまでの研究成果から図 2(b)に示す提案型非接触給電方式を構想したとも言える。(b)の高周波トランス技術に関しても、IH 開発で培ってきた磁場解析技術が大いに役立つはずである。

本申請では、提案回路の優位性を実証的に裏付け、早期の実用化を目指していくことを目的とした。

3. 研究の方法

本申請研究は 以下に示すステップに分け、段階を踏んでいくことにより着実かつ迅速に研究を推進する。

:高効率の非接触給電システムを実現するには、非接触トランスの漏れインダクタンスに起因する無効電流の補償が不可欠となる。特に本研究対象では、移動パレットの位置決め精度の荒 さから、トランスギャップが変動するため漏れインダクタンスは一様でないため、工夫が必要である。そこで、磁気エネルギー回生スイッチセルとして知られる MERS 回路を可変容量型アクティブキャパシタ(漏れインダクタンス補償回路)に見立て、申請者が提案する双方向スイッチ型 1 ステージ電力変換回路と連携させることを考えている。パワエレ回路シミュレータ PSIM を駆使して動作解析を行い、最適回路設計指針を明確にする。

また、本システムの構築に必要な不可欠な双方向スイッチ素子の実現方法(逆素子型×並列方式 or 逆導通型×直列方式)の差による動作特性の違いも明らかにする。双方向素子単体での $i-v$ 特性評価に加えて、回路へ導入した場合の高速スイッチング動作特性及び、デバイス損失を具体的に計測して評価する。

: 上下奥行き方向にそれぞれ 10mm 前後のズレや隙間発生する移動パレットとビル間で電気エネルギーを伝送する高周波非接触トランスのデザインを、磁場解析ソフト JMAG を駆使して行う。これまでに、対向型や円筒型のトランスが提案されているが、本研究対象のように特定用途で最適なトランス形状を模索する。この際、磁場解析ソフト回路シミュレータをリンクさせてトータルで評価する必要がある。そのため PSIM と JMAG 間では、お互いのデータをやり取りするインターフェイスが用意されており、これを利用する予定である。また、解析結果からトランス試作を行い、ガウスメータを使って実証的な確認を行う。

:ここまでのステップによって明らかになった設計指針をもとに実証装置を構築し評価を行い、問題点を洗い出し、その対応策を検討・実施する。以上の結果を整理し、先行方式に対する優位性を明らかにする。

4. 研究成果

:高効率の非接触給電システムを実現する双方向スイッチ型 1 ステージ電力変換回路に

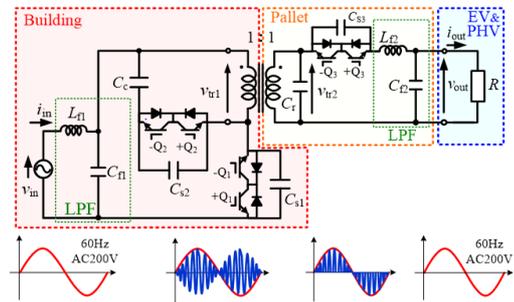
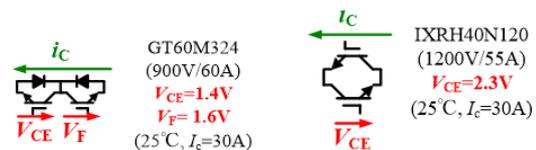


図 3 1 ステージ高周波リンク AC-AC コンバータ

ついて、非結合部の漏れインダクタンスを補償するキャパシタ成分の追加方法を PSIM シミュレーションおよび作成した実証機による試験によって検討した。その結果、当初予定していた MARS 型アクティブキャパシタは不要であり、非接触トランス一時側の並列キャパシタのみで補償可能であることを明らかにした。

:回路を構成する 3 つの双方向アクティブ半導体スイッチングデバイスセルに関して、導通損失低減を目的として逆導通型 MOSFET の直列接続型スイッチングセルと逆阻止型 MOSFET の並列接続型スイッチングセルを実証回路において比較検討した(図 4)。その結果、直列接続型スイッチングセルに対して、並列接続型スイッチングセルの導通損失は若干減少するものの、スイッチング動作時において、逆阻止 MOSFET のみに見られる瞬時逆電流によるスイッチング損失が大幅に増加し、結果として従来型の逆導通 MOSFET を用いた直列接続型スイッチングセルを用いた方が、回路効率が高いことが判明した(図



(a)逆導通型 (b)逆阻止型

図 4 検討した双方向スイッチセル

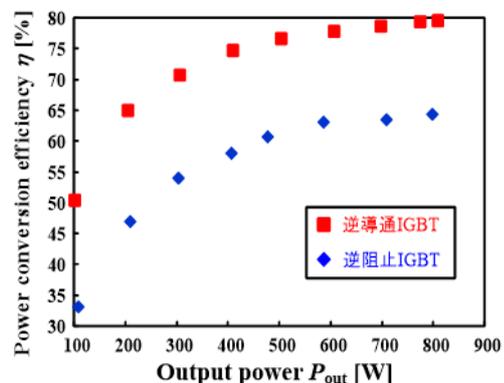
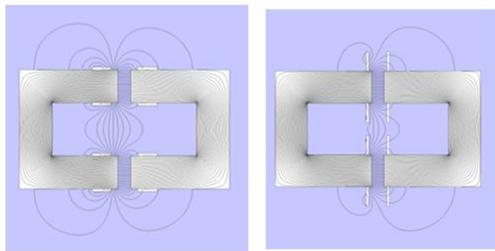
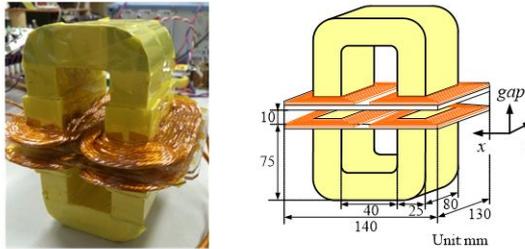


図 5 双方向セル構成による効率の違い



(a)分割巻 (b)重畳巻

図 6 検討した巻線形状



(a)外観 (b)寸法図

図 7 試作した非接触トランス

5)。この瞬時逆電流の発生理由は現在の処不明である。しかしながら、この二つの実証実験により、本研究における双方向スイッチ型 1 ステージ電力変換回路の基本回路トポロジーと双方向スイッチングセルの構成を図 3 に示す回路構成で FIX することができた。

：非接触給電トランスの巻き線形状について、JMAG ソフトウェアを駆使することで最適形状を明らかにすることができた(図 6)。た

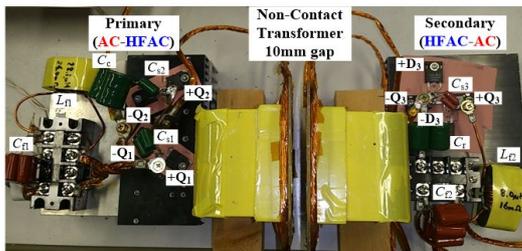


図 8 試作した実証機

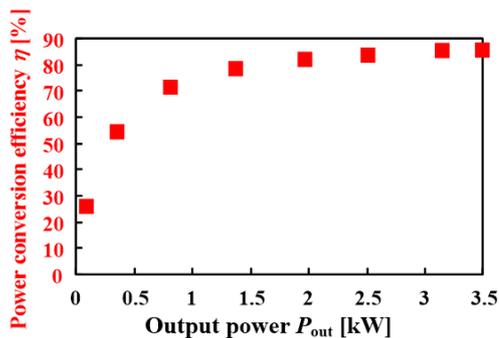


図 9 電力変換効率特性

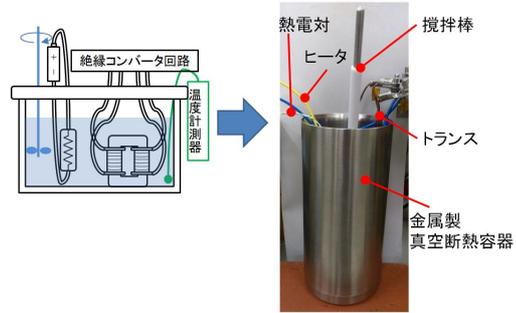


図 10 熱量計測に基づくトランス損失計測システム

だし、トランスコア形状を U-U コアベースとしており、このコア形状が最適であるかどうかは別途検討が必要である。図 5 に示す試作トランスにより、コアの位置ズレ(上下方向 $\pm 5\text{mm}$ 、左右方向 $\pm 5\text{mm}$ 、)に対し、結合係数 k の最小値は 0.63 を維持できており、所定の回路動作を満足することを確認している。またギャップ方向のずれに対しても、最大 15mm までは $k > 0.6$ を満足しており、良好な動作を実証機により確認することができている。

以上、検討した回路トポロジーおよび非接触トランスの組み合わせで図 8 に示す試作実証機を構築し、3.14kW の電力伝送時におけるトータルの電力変換効率は 85.7% を達成した(図 9)。

：上記 ~ により、機械式立体駐車場における EV&PHV 非接触給電システムの開発において、その根幹となる新提案の ステージ AC-AC 電力変換回路の実用化には、電力変換効率の向上が不可欠であることが判明した。その損失の内訳を掌握すべく、非接触トランスで発生する電力損失の計測を試みた。その結果、電圧センサおよび高周波カレントプローブによって計測した非接触トランス入出力電圧・電流波形に基づく損失計算では、総合的な計測結果を得ることが極めて難しいことが判明した。そこで、回路動作を単純化すべく、1 ステージ AC-AC 電力変換回路を高周波リンク絶縁型 DC-DC コンバータに置き換え、トランスの電圧・電流波形から損失を求めるのではなく、トランスの発熱量から発生損失を計測する手法を検討した。構築した実験系を図 10 に示す。その結果、実動作と総合的な損失値を算出することが可能となった。

：上記 の結果より、JMAG ソフトウェアを使用した講習はトランス巻線の最適形状を明らかにしたが、その物理的意味合いについて考察を行い、漏れ磁束の発生による相互インダクタンスの低減具合が、巻き線形状の差による磁路長の違いによって説明できることを明らかにした。

：本提案システムを試作評価する際、負荷となる EV&PHV 車載充電装置は力率改善機能 (PFC) を有していることから、見かけ上の

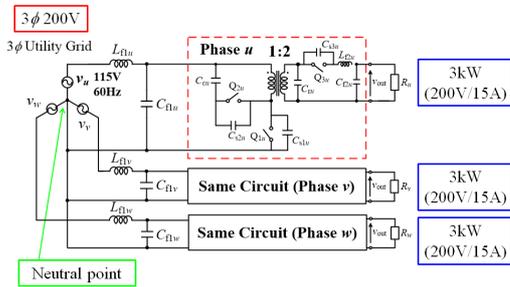


図 11 三相電力線への接続方法

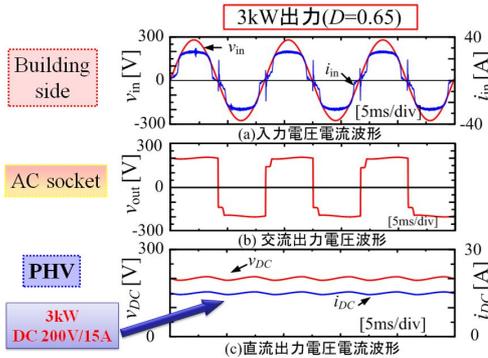


図 12 PFC機能を持たないEV充電器への給電時動作波形

抵抗性負荷として扱ってきた。しかしながら、実際には負荷を純抵抗として表現できるような、強力な PFC 機能を持たない場合も十分考えられる。そこで、負荷回路を容量性入力整流器負荷とした場合、主に系統電源側にとどのような影響が出るかを評価した。その結果、EV 車載充電器側への出力電圧波形が整流器負荷の影響で大きく歪むものの、充電動作自体に影響を及ぼすものではないこと、系統側入力への影響は、力率が若干落ちるものの、電力会社が制定するガイドラインを大きく上回っており、なんら問題ないことが実証できた。

：本提案システムは単相交流を電源としている。しかしながら、提案システムは立体駐車場を想定しており、設置台数が増えるとトータルの電力をまかなうためには三相交流動力線を電源とするのが望ましいと考えられる。その際、三相電源に対して、単相回路をどのように接続すべきかを検討した。その結果、三相動力線各相に分散して複数基の非接触給電システムを接続すること(図 11)、各相の消費電力のばらつきは、相関電流バランスを導入することで、十分に対応可能であることがわかった。

以上の結果を踏まえると、本研究課題で提案・開発してきた立体駐車場で EV&PHV を充電可能とする 1 ステージ型非接触 AC-AC ダイレクトコンバータシステムは、今後の EV&PHV 普及に大いに役立つ技術である。

5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計 1 件)

河野真吾, 平木英治, 田中俊彦, 岡本昌幸: 「立体駐車場非接触給電システム用高周波リンク AC-AC コンバータ」, 電気学会論文誌 D, 査読有, 134 巻, No. 2, 2014, pp. 139-146

〔学会発表〕(計 1 件)

白川知秀, 梅谷和弘, 平木英治: 「熱量計測に基づいた絶縁コンバータ用高周波トランスの損失測定法」電気学会産業応用部門大会, 2015 年 9 月 4 日, 大分大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平木 英治 (HIRAKI, Eiji)
岡山大学 大学院自然科学研究科 教授
研究者番号: 20284268

(2) 研究分担者

田中 俊彦 (TANAKA, Toshihiko)
山口大学 大学院理工学研究科 教授
研究者番号: 00179772

(3) 連携研究者

()
研究者番号:

(4) 研究協力者

梅谷 和弘 (UMETANI, Kazuhiro)
岡山大学 大学院自然科学研究科 助教
研究者番号: 60749323