



走行中給電に向けたMHz帯電力伝送技術の開発

Development of MHz Band Wireless Power Transfer Aim for Dynamic Wireless Power Transfer

鶴谷直樹*
Naoki Tsurutani

山崎広行*
Hiroyuki Yamazaki

武脇広和*
Hirokazu Takewaki

〈概要〉

カーボンニュートラル社会に向け電気自動車の航続距離の向上などに貢献する技術として走行中給電が注目されている。我々は走行中給電の実現に必要なワイヤレス電力伝送技術において、大きく分類して2種類ある方式のうち電界結合方式について開発を進めている。今回、ワイヤレス電力伝送技術において必要な要素であるカプラについて、発熱対策などを行うことにより大電力化を図り、10 kW級の大電力伝送を達成したので報告する。

1. はじめに

地球温暖化の阻止に向け温室効果ガス排出量の削減が求められている。自動車産業においても電気自動車(以下EV)を中心としたゼロエミッション車の普及による排出量削減が図られている。EVの普及に向けては航続距離の向上や軽量化に向けたバッテリーの必要容量低減、充電時間の短縮、充電時のケーブル接続の手間削減などが課題である。

これらの課題を解決するために走行中給電が期待されている。走行中給電は、走行あるいは停止しているEVへワイヤレス電力伝送し、バッテリーやキャパシタなどの蓄電体への充電もしくは直接モータを駆動させる技術である。ケーブルに接続することなく電力を供給できるほか、走行時の給電によりバッテリー容量の低減や航続距離の向上などに寄与することができる¹⁾。

走行中給電ではkHzやMHzの周波数帯を活用して研究開発が進められているが、特にMHz帯ではkHz帯と比較してシステムの小型軽量化に繋げることができる。一方で、表皮効果や近接効果に代表される導体中で損失が生じる要因により高効率化が難しいことなど、kWを超える大電力化はより困難となる。

本稿では、MHz帯を用いた電界結合方式のワイヤレス電力伝送において、カプラ構造を見直すことにより高効率、大電力化を図り10 kW級の大電力伝送を達成したので報告する。

2. 走行中給電技術

2.1 走行中給電システム

走行中給電で想定されるシステムの一例を図1に示す。

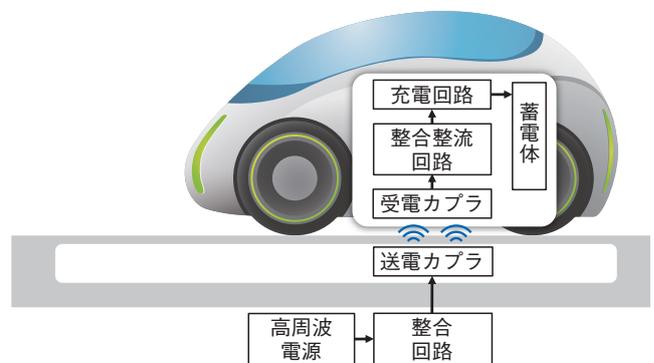


図1 走行中給電システム
Dynamic wireless power transfer system.

高周波電源より入力される電力を高効率に蓄電体へ供給する為、送電カプラ前段の整合回路にてインピーダンス整合させる。その後、カプラにてワイヤレス電力伝送を行う。ここで、カプラとはワイヤレス電力伝送における送受電部のことである。

受電カプラ後段の整合整流回路で高周波電力を直流に変換し、充電回路を経て蓄電体に充電される。

2.2 走行中給電に必要な電力

従来の停止しているEVに対し充電スタンドから電力を供給する場合に比べ、走行中給電ではエネルギーを消費している動体に対し電力を供給することから大きな電力が必要となる。ここで、図2に走行中給電に必要なとされる電力を示す。

* 研究開発本部 自動車・エレクトロニクス研究所
次世代自動車製品開発部

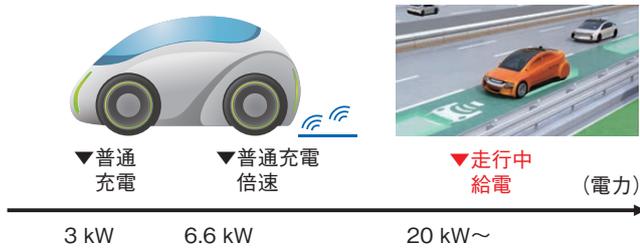


図2 走行中給電に必要とされる電力
Required power for dynamic wireless power transfer.

図2に示す通り、走行中給電では約22 kW以上の電力をワイヤレスで送る必要がある²⁾。そのため、カプラについても大電力化が必須となる。

3. ワイヤレス電力伝送技術

3.1 磁界結合方式と電界結合方式

ワイヤレス電力伝送には磁界結合方式と電界結合方式の大きく2種類の方式がある。磁界結合方式はコイルの電磁誘導の原理を活用し、電力伝送を行う。近年では携帯端末などへ適用されたQi規格が既に存在し、また米国SAEにおいて3.7 kW, 7.7 kW, 11 kWの出力クラスに関する規格化検討がなされる³⁾など、電界結合方式と比較して規格化が先行している。また、共振現象を活用し長距離大電力伝送に強みがある。一方主に磁界を媒体とすることから周囲の金属物体を誘導加熱するなどのデメリットもある。

電界結合方式は対向する送電電極と受電電極において、コンデンサと同様の原理として送電電極に高周波電力を入力した際に電極間に生じる電界により電力伝送を行う。主として電界を媒体とすることから周囲の金属物体を誘導加熱しにくく、また電極の構造によっては形状的な製作自由度が高く、位置ずれに強いことを特長とする。一方で、大電力用途においては電極に高電圧が印加されるため、絶縁の観点から大電力伝送には不向きとされている。

ここで、表1にそれぞれの方式の特徴を、図3に走行中給電に適用した場合の概観図を示す。

表1 磁界結合方式と電界結合方式の比較
Comparing inductive power transfer and capacitive power transfer.

	磁界結合方式	電界結合方式
kW級電力伝送	kHz帯で実績多数	絶縁破壊による制約
伝送距離	~数m	~数十cm
金属異物に対する安全性	磁気により誘導加熱が生じる	誘導加熱しにくい
走行中給電における高周波電源の数量	台数多数必要	台数少数の可能性

図3に示す通り磁界結合方式を走行中給電に適用した場合、道路中に埋設された多数の送電コイルからEVに搭載された受電コイルへ電力を送る。各コイルに対し高周波電源を必要とするためコストの増大が懸念される。

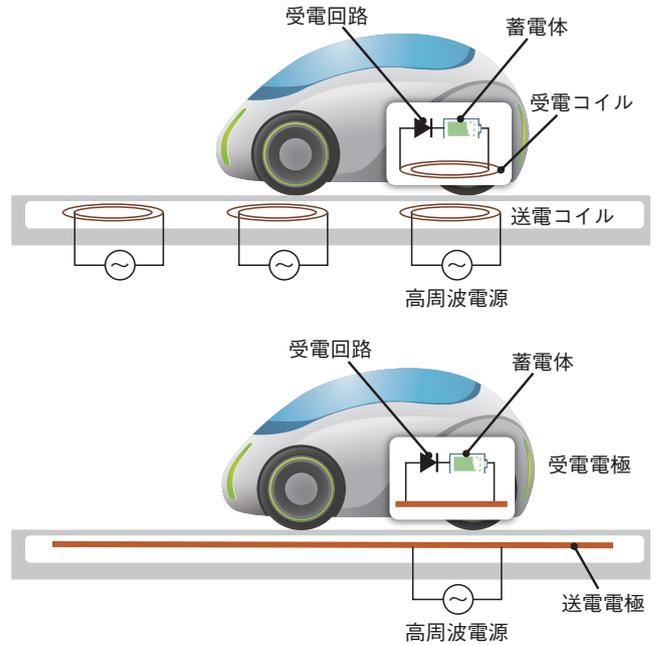


図3 走行中給電システムの概観図
(上: 磁界結合方式, 下: 電界結合方式)
Overview of dynamic wireless power transfer.
(above: Inductive power transfer, below: Capacitive power transfer)

一方電界結合方式では、道路中に埋設された数mの送電電極とEVに搭載された受電電極を介して電力を送ることができる可能性があり、磁界結合方式と比較して高周波電源の台数を少なくできる。

3.2 周波数について

走行中給電に適用される周波数帯として、SAEで標準化が検討された85 kHz帯(79 kHz~90 kHz)やISMバンドを活用した6.78 MHzや13.56 MHz帯などが検討されている。表2にkHz帯とMHz帯の特長を示す。

表2 kHz帯とMHz帯における各方式の特長
Characteristics of each method for frequency band^{3), 4)}.

	kHz帯	MHz帯
磁界結合方式	・kW超の電力伝送実績多数 ・規格先行 ・フェライトコア必要、コイル大型	・フェライトコア不要、コイル小型化により重量小
電界結合方式	・400kHz帯で国内電波法省令化 ・伝送距離短い、カプラ大型	・Q値向上により高効率に伝送距離を向上 ・カプラの小型化

走行中給電においては航続距離などの観点からカプラの小型化は重要な要素の一つであり、MHz帯を活用することで小型化を実現することができる。この点を踏まえ、本研究では小型軽量化、金属物体の誘導加熱低減、高周波電源の設置台数の削減の観点から13.56 MHz帯の電界結合方式を開発することとした。電界結合方式を走行中給電へ適用するためには、まずは10 kW級のワイヤレス電力伝送が可能であることを実証する必要がある、システムを構成する各要素のうち、カプラの大電力化に取り組むこととした。

4. 大電力向け電界結合型カプラの開発

4.1 カプラ構造

現在開発しているカプラの構造を図4に示す。平板電極と共振用のコイルから構成されており、また各電極はシールド筐体と絶縁カバーに覆われている。カプラは電極及びコイルの特性により13.56 MHzで共振するよう構築した。

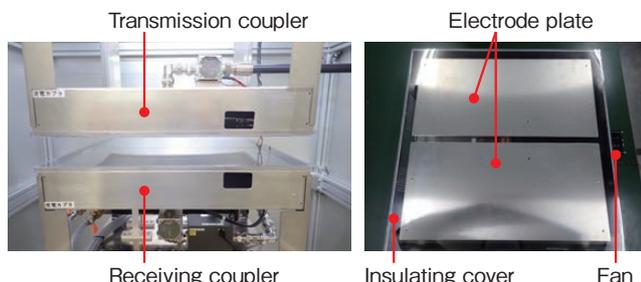


図4 開発したカプラ構造
(左: 送受電カプラ, 右: 送電カプラの形状)
Developed coupler structure.
(left: Transmission/Receiving coupler, right: Only transmission coupler)

4.2 コイルの発熱対策

当社ではこれまでもカプラの大電力化に取り組んでおり、2020年に4.7 kWの電力伝送を達成している⁵⁾。その際に更なる大電力化に向けては、コイルの発熱対策が必要であることがわかり、コイル構造の見直しを行った。

これまでは通常の丸型芯線を用いたコイルを使用していたが、新たに図5に示す平角線を巻いたエッジワイズコイルを使用することとした。



図5 エッジワイズコイル
Edgewise coil.

扁平形状のため放熱性に優れるほか、丸型芯線と比較して良好な高周波特性を持つ。一方で加工性に劣るためインダクタンスを連続的に変化させることが困難となる。そのためコイルの特性により共振周波数を13.56 MHzに高精度に合わせることが困難となるが、今回カプラの電極構造を検討し13.56 MHzで共振するよう設計した。

4.3 カプラ特性

開発したカプラの伝送特性をネットワークアナライザにて測定した。開発したカプラにおいては、送受電間距離を53 mmとした時13.56 MHzにおいて伝送特性が最適化される。その際のカプラの透過、反射特性を図6に示す。

図6において、S21は透過特性、S11、S22はそれぞれ送電側、受電側の反射特性を表す。S21の結果から、微小信号におけるカプラの伝送効率は92.7%と分かる。

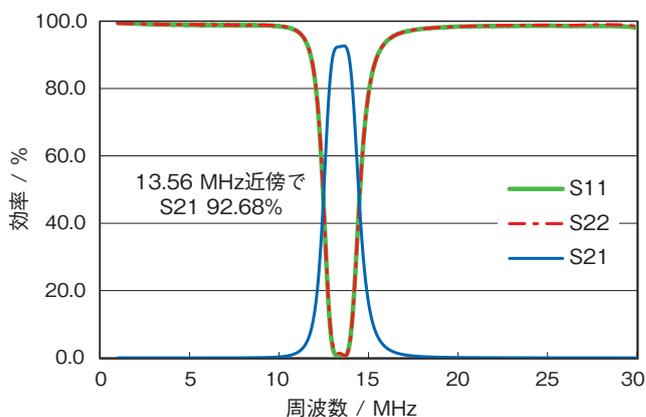


図6 透過、反射特性の評価結果
Transmission characteristic.

5. 10 kW級電力伝送試験

図4で示したカプラについて、電力伝送試験を実施した。ここで、試験系について図7に示す。

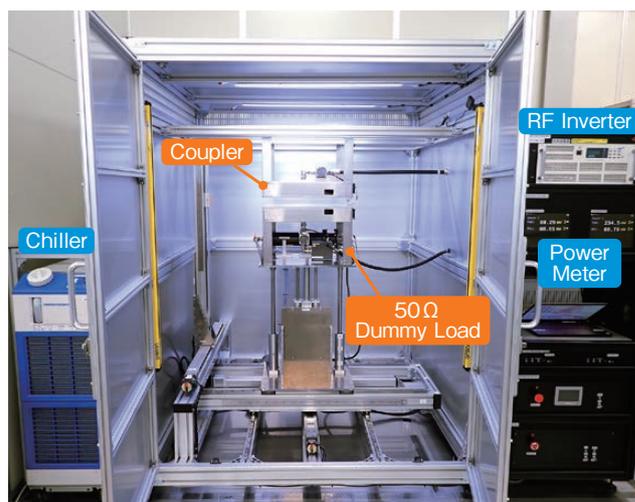


図7 10 kW級電力伝送システム
10 kW-class power transfer system.

50 Ω測定系として、13.56 MHzにおける最大送電電力10.1 kWまでの電力伝送試験結果を、**図8**に示す。

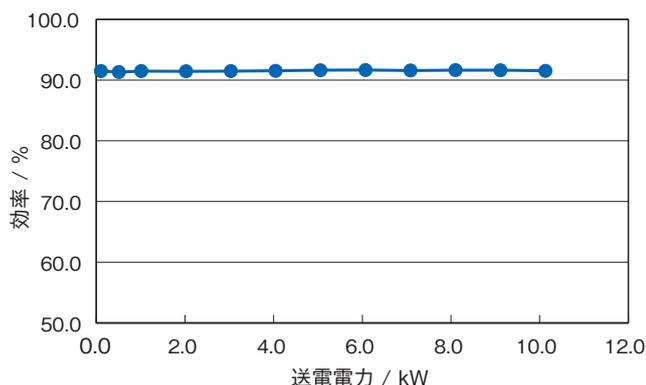


図8 送電電力10 kWまでの電力伝送試験結果
10 kW-class power transfer.

図8の結果に示されるように、最大送電電力10.1 kWにおいて効率91.5%での電力伝送を達成できた。

6. 連続電力伝送試験

次に、同試験系およびカプラを用いて送電電力10 kW級の45分間連続電力伝送試験を実施した。結果を**図9**に示す

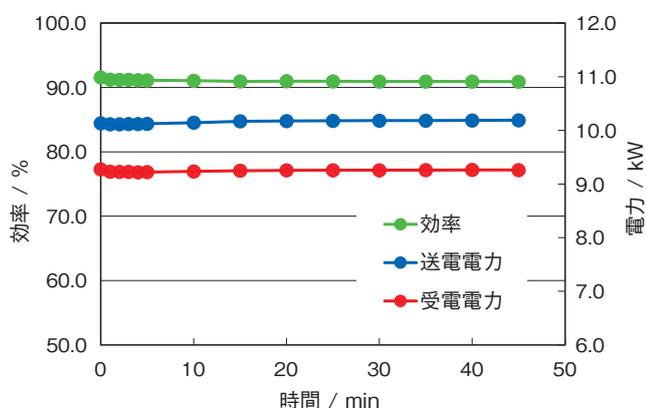


図9 10 kW級の45分間連続電力伝送試験結果
45-minutes continuous transfer 10 kW class.

図9の結果に示されるように、送電電力10.1 kWにおいて連続伝送を達成できた。45分間経過後の伝送効率は90.8%となった。

7. おわりに

13.56 MHz帯電界結合型カプラの大電力化に取り組み、10 kW級の電力伝送を確認した。カプラ構造を見直し、また絶縁カバーを付けた状態において効率90.8%で45分間連続伝送を達成した。

現在カプラの電力伝送は四方を金属板で囲んだ実験系で行っているが、今後の展望として、漏洩電磁界や放射ノイズ対策を進め、車体への適用を検討するとともに走行中給電への適用に向けて動体へのkW級電力伝送の実証を目指す。

謝辞

本研究の一部は内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略イノベーション創造プログラム (SIP) の「MHz帯基盤技術開発」(管理法人: JST) によって実施されました。

参考文献

- 1) 永井永寿, 清水 修, 藤田稔之, 藤本博志, 郡司大輔: 走行中ワイヤレス給電における給電能力向上による送電コイル敷設率の低減, 自動車技術会論文集, 52 (2), 2021, 450-455.
- 2) 東京理科大学 居村研究室 HP>論文誌>山田悠人, 居村岳広, “走行中ワイヤレス給電における車両別要求電力とバッテリー残量の簡易モデル”, 自動車/交通・電気鉄道合同研究会, (Sep.24, 2021). (参照日: 2023年2月13日)
<https://www.rs.tus.ac.jp/imura.lab/publication用pdf/走行中給電における車両別要求電力とバッテリー残量の簡易モデル.pdf>
- 3) 名雪琢弥: ワイヤレス電力伝送の規格・法令, 電気学会誌, 141 (12), 2021, 754-757.
- 4) 増田 満, 楠 正弘, 梅上大勝, 服部文哉, 山本真義: 共振電界結合によるワイヤレス電力伝送, エレクトロニクス実装学会誌, 18 (5), 2015, 327-330.
- 5) 古河電工HP>ニュースリリース>世界初 電界共振結合で4.7kWのワイヤレス電力伝送に成功(2020年1月27日). (参照日: 2023年2月13日)
https://www.furukawa.co.jp/release/2020/kenkai_200127.html