

電気自動車向け非接触充電システムの開発

Development of a Wireless Charging System for Electric Vehicles

徳 良 晋	技術開発本部総合開発センタープロジェクト部	主査
村 山 隆彦	技術開発本部総合開発センタープロジェクト部	
上 田 章雄	技術開発本部総合開発センタープロジェクト部	
高 津 裕二	技術開発本部総合開発センタープロジェクト部	
新 妻 素直	技術開発本部総合開発センタープロジェクト部	主幹

近年、地球温暖化などの環境問題や石油など化石燃料の枯渇傾向を背景として、電気自動車への取組みが世界中でなされている。当社では、2011年から、電気自動車向け非接触充電技術を開発している。磁界共鳴方式を採用し、3 kW を超える電力を 20 cm 離れて電力効率 90% 以上で送電可能なことが実証されている。この技術を用いることによって、利用者がケーブルを接続することなく電気自動車への充電が可能になり、電気自動車の利便性を高めることができる。本稿では、非接触充電システムの開発状況について述べるとともに、スマートハウスと連携させて家庭内エネルギー管理システム (HEMS) の一部として発展させる構想について述べる。

Recently, electric vehicles have been attracting much attention as a means to reduce global warming and to save natural resources such as oil. IHI has been developing a wireless charging technology for electric vehicles (EV) since 2011. We have adopted magnetic resonance technology for the wireless charging system, and have demonstrated that it is able to transfer up to 3.3 kW of electrical power over a distance of 20 cm at more than 90% efficiency. This technology will enable EV users to charge the battery without having to connect any cables, making EV much more user-friendly. In this paper, we report on our current progress toward the development of this system, including a test EV mounted with the wireless charging system. We also describe our plans for the development of an efficient interactive power transfer system with smart house technology.

1. 緒 言

近年、地球温暖化などの環境問題や石油など化石燃料の枯渇傾向を背景として、電気自動車 (EV) への取組みが世界中でなされている。EV の方式として、車載バッテリーからの電力供給によってモータのみで駆動するタイプ (ピュア EV) と、車載バッテリーとモータ駆動とエンジン駆動とを組み合わせたプラグインハイブリッド (PHEV) タイプが実用化されているが、いずれのタイプも充電用ケーブルを車につなぐことによって車載バッテリーへの充電を行う。そのため、手に物を持っているとケーブルをつなげにくい、雨の日に濡れたケーブルが地面の土で汚れて手や服にドロがつく、などの不便が想定される。

一方で非接触充電は、離れて置かれた送電装置と受電装置の間で電力を伝えることができる技術である。非接触充電を利用することによって、EV を充電装置の上に停車するだけで充電できるようになるため、手に物を持ってい

も雨の日でも容易に車載バッテリーを充電することができ、EV の利便性を高めることができる。EV が普及することで、環境問題の解決にも寄与すると考える。

当社では、2011年にEV向け非接触充電技術の開発に着手している。要素試験から開始し、現在は、非接触充電機能を有するEVを試作し、テストを行っている。

開発中の非接触充電は磁界共鳴方式であり、3 kW を超える電力を 20 cm 離れて電力効率 90% 以上で送電可能なことが実証されている。

磁界共鳴方式は、2007年にマサチューセッツ工科大学 (MIT) の Marin Soljačić らによって提案された方式である。その後、MIT の技術を引き継いだ WiTricity Corporation (アメリカ) と当社が IP (知的財産) ライセンス契約を結び共同開発を進めている。

本稿では、非接触充電の要素試験および車載試験について述べ、さらに、スマートハウスと連携させて家庭内エネルギー管理システム (HEMS: Home Energy Management System) の一部として発展させる構想について述べる。

2. 非接触充電の原理と基本構成

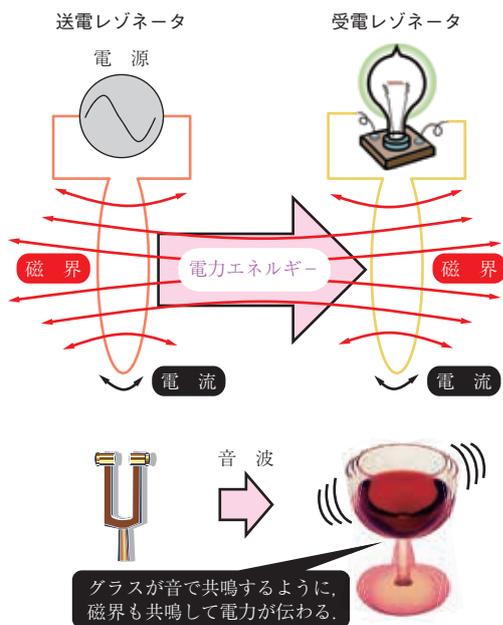
2.1 非接触充電の原理

非接触充電にはさまざまな方式がある。当社では、電気回路共振を積極的に利用し、充電できる距離を延ばす磁界共鳴方式を採用している。MIT が提唱した磁界共鳴方式の概念を第 1 図に示す。

送電用の 1 次側コイルと共振回路（以下、送電レゾネータと呼ぶ）、および受電用の 2 次側コイルと共振回路（以下、受電レゾネータと呼ぶ）を対向させ、送電レゾネータに交流電流を流すことによって送電レゾネータの周りに磁界を発生させる。磁界の一部は受電レゾネータに達し、受電レゾネータ内に誘導電流が流れる。ワイングラスに音波を当てるとガラスが共鳴して大きな振動が生じるように、共鳴現象を利用して、送電レゾネータと受電レゾネータが特定の周波数で共振して大きな電力を効率良く伝送することが可能になる。

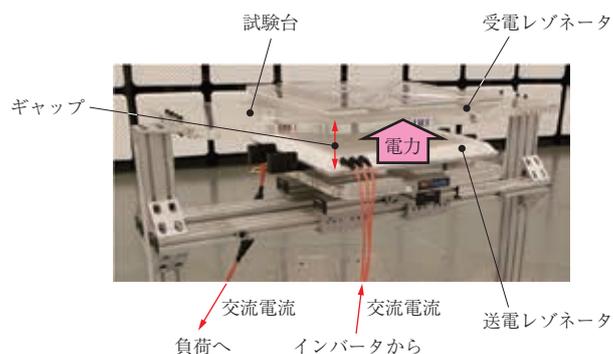
2.2 非接触充電の基本構成

非接触充電の基本構成を第 2 図に示す。インバータから数 10 ～ 150 kHz の電流を送電レゾネータへ供給し、送電レゾネータと受電レゾネータ間では磁界を介して電力が伝送され、受電レゾネータから出力される電流を負荷へ供給する。



第 1 図 磁界共鳴方式の概念

Fig. 1 Conceptual diagram of magnetic resonance technology



第 2 図 非接触充電の基本構成

Fig. 2 Basic configuration of a wireless charging system

3. 非接触充電技術の開発状況

次のようなステップで開発を進めている。

(1) 要素試験

原理検証のため、基本構成要素のみで試験台上で試験する。

(2) 車載試験

周囲の金属部材の影響や、バッテリー充電状態の影響を評価するため、停車状態で非接触充電を試験する。

(3) システム評価試験

停車位置の変動の影響や、充電開始と終了の手順・異常検出手順を検証するため、駐車場に停車、充電開始、充電状態の監視、充電完了、駐車場から出発といった一連の操作を行い試験する。

3.1 要素試験

非接触充電の基本構成要素を試作し、第 2 図に示すように試験台上に送電レゾネータと受電レゾネータを対向配置して試験した。

送電レゾネータと受電レゾネータの間のギャップは 15 ～ 20 cm である。要素試験では、バッテリーの充電状態の変動による影響を除去するため、バッテリーの代わりに一定の負荷を接続して試験した。3.3 kW の電力（EV の充電に通常使用される電力に相当）を、ギャップ 20 cm において、電力効率 90% 以上で充電できることが確認でき、磁界共鳴方式の特長である大きなギャップでの充電が実証された。

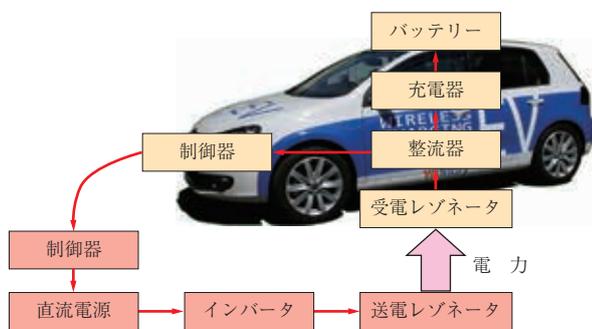
一般家庭で消費される電力は、クーラ、電子レンジ、IH クッキングなど電力消費の大きい機器を使用する場合 1 ～ 1.5 kW 前後であり、3.3 kW の電力は一般家庭で EV 充電に使える電力の上限と考えられている。

3.2 車載試験

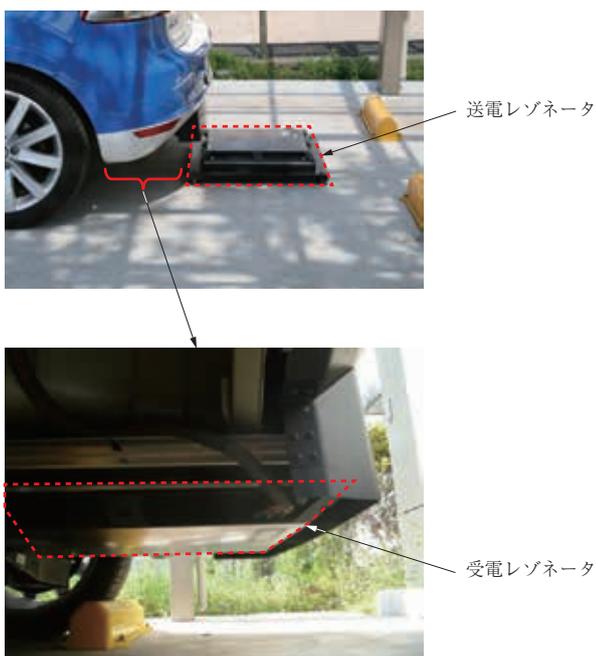
非接触充電は磁界を利用しているため、電気自動車の鉄製のボディーによって送電レゾネータと受電レゾネータの間の磁界分布が乱され効率が低下する可能性がある。また、バッテリーを充電する場合、バッテリーが充電されるにつれてバッテリーの電圧が上がり、電気回路共振が起きる最適な条件が変化するため、効率が低下する可能性もある。

第3図に車載試験における構成を示す。受電レゾネータは、整流器・充電器を介して車載バッテリーを充電する。受電レゾネータの搭載位置は、第4図に示すように車体後方下部である。車載側と地上側の制御器によって電源出力を制御して送電レゾネータへ電力が供給される。

受電レゾネータと送電レゾネータが対向するように車を



第3図 車載試験における構成
Fig. 3 Configuration of onboard test system



第4図 車載試験における送電レゾネータ・受電レゾネータ
Fig. 4 Source and device side resonators for onboard testing

停止させておき、車載バッテリーへの非接触充電を行った。受電レゾネータ上面や周囲には鉄板が存在しており、かつ、車載バッテリーの電圧は充電状態に応じて変化し磁界共鳴状態が変化するにもかかわらず、要素試験と同様、効率 90%以上で 3.3 kW の電力で充電することができた。

3.3 システム評価試験

実際に利用されている EV に非接触充電を行うためには、① 駐車場に停車 ② 充電開始 ③ 充電状態の監視 ④ 充電の停止 ⑤ 駐車場から出発、といった一連の操作を実現できるシステムが必要であり、開発に取り組んでいる。

3.3.1 HEMS と非接触充電との協調

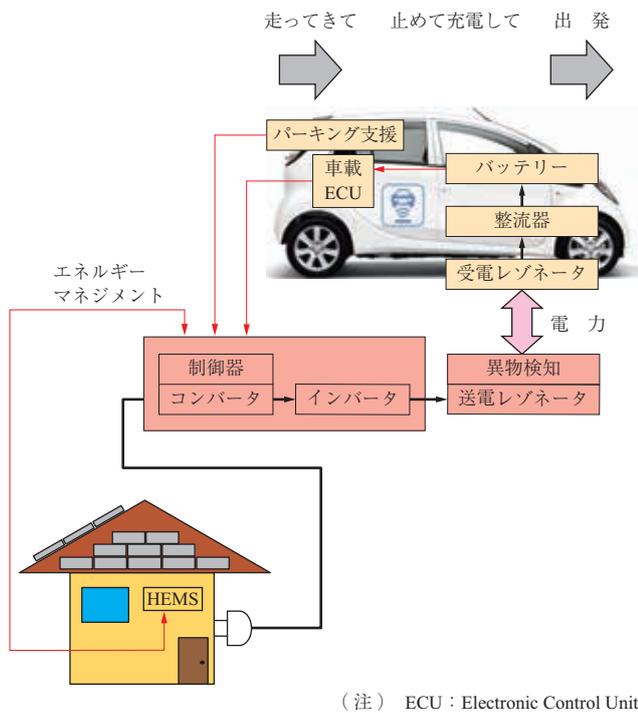
たとえば第5図に示すように、駐車場に停止して非接触充電を行う利用形態を想定すると、① 位置合わせ（送電レゾネータと受電レゾネータが対向するように、車の停車位置を合わせる）② 充電制御（バッテリーが満タンになる前に車を発進させたい場合には途中で充電を打ち切る）③ 耐環境性（雨や日光やほこりの影響を受けない、金属を含むゴミが落ちている場合の効率低下防止）、など、要素試験や車載試験では対象としなかったさまざまな開発課題がある。

また、EV の充電に要する電力は大きいので、家庭内のほかの機器の電力消費状況を考慮して充電する必要がある。HEMS との協調についても検討を進めている。その一例として、戸建住宅において太陽光発電システムや家庭用蓄電池と協調する HEMS 制御と連携する非接触充電システムに関して、2012 年から三井ホーム株式会社と共同で、非接触充電機能を有する EV とスマートハウスとの双方向電力伝送に関する技術開発に取り組んでいる（柏の葉スマートシティプロジェクト）。

第6図に、HEMS と連携する非接触充電の概念を示す。直流電源ではなく、家庭用コンセント（100 V ないし 200 V）から電力を供給し、家庭内のほかの機器の電



第5図 駐車場における非接触充電の例
Fig. 5 Illustration of wireless charging in a parking lot



第 6 図 HEMS と連携する非接触充電の概念
 Fig. 6 Conceptual diagram of a wireless charging system linked with HEMS

力消費状況も考慮して、家庭でのトータルの電力消費が大きくなり過ぎないように EV の充電を制御する。

さらに、利便性を高めるため、① 充電効率 ② 充電電力 ③ バッテリー残量 ④ 送電レゾネータと受電レゾネータ間への異物混入の有無 ⑤ 充電ステータスなど充電状況のモニタリング ⑥ 充電開始時間の制御方法、などについて検討し、開発を進めていく。

3.3.2 EV 用非接触充電のシンボルマーク

EV 用非接触充電のシンボルマーク（芝浦工業大学と共同で考案）を第 7 図に示す。非接触充電は新しいコンセプトの充電方式であるため、誰が見てもわかりやすいシンプルな図形で車の底部から非接触で充電されることを表現した。今後、世界中に非接触充電を普及させていくため、このシンボルマークを EV や充電設備に使用していく。第 8 図に示す非接触充電のコンセプト EV にも非接触充電シンボルマークを付している。



第 7 図 EV 用非接触充電のシンボルマーク
 Fig. 7 Wireless charging symbol for EV



第 8 図 非接触充電のコンセプト EV
 Fig. 8 Concept EV with wireless charger

4. 結 言

本稿では、非接触充電の構成や非接触充電技術の開発状況について述べ、HEMS と非接触充電との協調に関する構想について述べた。今後も実用化に向けた技術開発を行い、2015～2016 年の製品化を目指していく。

EV の充電のさまざまな形態を想定したシステム開発を行っていき、お客さまが充電しないとイケない、という意識からの解放、あるいは移動先で逐次充電を重ねることによって、小型で軽量のバッテリーでも遠出ができる EV 充電方式を目指していきたい。

参 考 文 献

(1) A. Karalis, J. D. Joannopoulos and M. Soljačić : Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer Annals of Physics Vol. 323 No. 1 (2008. 1) pp. 34 - 48