

IoT機器への効率的な給電を実現する 3次元ワイヤレス給電システム

Three-dimensional Wireless Power Transfer Method to Realize Efficient Charging of IoT Devices

● 内田昭嘉

● 下川 聡

● 松井清人

● 大島弘敬

あらまし

モバイル端末やウェアラブルデバイスなどのIoT(Internet of Things)機器へのワイヤレス給電は、多くのユーザーから望まれている。このような要求に対して磁界共鳴型ワイヤレス電力伝送技術を用いることで、離れた受電器への給電が可能となる。しかし、送電器と受電器が離れることで受電器の3次元姿勢(送電器に対する相対的な角度や向き)は多様となり、その姿勢によっては給電効率が著しく低下してしまうという問題があった。筆者らは、受電器の姿勢に応じた磁界方向制御によって、3次元的に多様な姿勢をとる受電器に対して効率的なワイヤレス給電を維持する制御方式を開発した。磁界方向制御は、複数送電コイルの電流経路を選択することで行う。その適用例として、テーブル型送電器とスマートフォンサイズの受電器を試作した。それらを用いて、卓上空間でスマートフォンを使用中にワイヤレス給電が可能であることを実証し、3次元(以下、3D)ワイヤレス給電システムの実現可能性を示した。

本稿では、筆者らが開発した3Dワイヤレス給電システムについて説明する。またその普及のために、国内外で標準化や制度化に向けて行っている全方位的な取り組みの概要も紹介する。

Abstract

Many users desire to charge their Internet of Things (IoT) devices such as mobile or wearable devices wirelessly. Wireless power transfer technology using resonant magnetic coupling makes it possible to charge a receiver that is distant from the transmitter. However, the receiver can take various orientations over that distance, and this causes problems, such as an extreme decrease in power transfer efficiency in certain cases. To solve this problem, we developed a method to control the direction of the magnetic field corresponding to the various orientations of the receiver, so that efficient power transfer can be achieved. To control the magnetic field direction, we selected the current path using multiple transmitter coils. As an example of the developed system, we made a transmitter in a table shape with a receiver in a smartphone. With this system, we demonstrated that a smartphone in use can be charged wirelessly by placing it above or on the table, and proved the validity of the three-dimensional (3D) wireless power transfer system. In this article, we explain the 3D wireless power transfer system that we developed. We also introduce various efforts we have made for domestic and international standardization or institutionalization to popularize wireless power transfer systems.

ま え が き

近年、スマートフォンやタブレットPCなどのモバイル機器が急速に普及しており、多くのユーザーはモバイル機器への充電を頻繁に行う状況にある。また、今後はIoT (Internet of Things) の普及に伴って、ウェアラブル機器などにおける充電状態の管理の問題も更に増えていくものと考えられる。現状では、多くのユーザーは有線 (電源ケーブル) で充電を行っているが、ケーブルの接続が必要であるためユーザーに不便を強いている。この問題に対し、ケーブルを必要としないワイヤレス給電技術が開発され、一部のモバイル機器に適用されている。しかし、これまでのワイヤレス給電技術は電磁誘導技術に基づくものが多く、伝送距離が短いため送電器の上などにモバイル機器を接して置く必要があった。

次世代のワイヤレス給電技術として、2007年に米マサチューセッツ工科大学 (MIT) から磁界共鳴技術と呼ばれる直径60 cmの送受電コイルを用いて2 m離れた距離に電力を伝送する実証実験結果が報告された⁽¹⁾。このMITの報告を受けて、磁界共鳴型ワイヤレス給電技術の研究が活発になってきており、IoT機器に加えて、電気自動車や医療機器などへの応用も検討されている⁽²⁾。磁界共鳴方式は、コイルとコンデンサーによって構成される直列共振モードの送受電コイルを近傍界領域に配置し、磁界を媒介とした共鳴現象を利用することにより、送受電コイルが離れても高効率の電力伝送を可能としている。

富士通研究所では、この磁界共鳴方式を様々な機器に適用する研究を行っている^{(3) - (5)}。特に、機器の使用中に高い効率で給電するためには、受電器の多様な位置と角度や向きに対応する技術が必要になると考えている^{(6), (7)}。

本稿では、モバイル機器の代表であるスマートフォンに磁界共鳴型ワイヤレス電力伝送技術を適用して、スマートフォンを使用中に給電するシステムの開発について紹介し、その可能性と今後の展開について述べる。

ワイヤレス給電の種類

磁界共鳴方式による給電スタイルとしては、2次

元 (以下、2D) ワイヤレス給電と3次元 (以下、3D) ワイヤレス給電が考えられる。ここで、2D ワイヤレス給電は、受電器が送電器上に配置され、高さ (z軸) 方向に自由度はないが、置き位置の平面 (x軸, y軸) 方向に自由度があることを意味する。2Dワイヤレス給電を実現するために、磁界共鳴方式では送受電コイル間の距離を離せることを利用して、送電コイルを受電コイルよりも大きくし、給電可能なx軸, y軸方向の自由度を大きくしている。更に、給電可能領域に複数の受電コイルを配置することで、複数端末の同時給電も可能とする。

標準化の取り組みについては後述するが、現在この2Dワイヤレス給電の仕様を標準化しているのが企業間アライアンスのAirFuel Alliance⁽⁸⁾であり、本仕様については一定の実現性が確保されている。ユーザーのメリットとしては、ケーブル接続が不要になる点、あるいは受電器を特定の位置にセットする必要がなく、送電器上の比較的自由的な位置に置くだけで給電できるという点がある。しかし、送電器上に平行に接触させて置く必要があるため、例えばスマートフォンを手にとって使用しながら給電することはできない。

一方で、3Dワイヤレス給電は平面 (x軸, y軸) 方向だけでなく、高さ (z軸) 方向にも自由度を持つ。この場合、受電器を送電器から離すことができるため、例えばユーザーがスマートフォンを手にとって使用しながら給電できるようになる。したがって、ユーザーメリットが大きく、将来的に実現が期待されるシステムである。

この3Dワイヤレス給電では、送電距離が長くなるのに伴い新たな課題が発生する。それは、受電器の姿勢が様々な変化することである。ここで受電器の姿勢とは、送電器に対する相対的な角度や向きを意味する。2Dワイヤレス給電では、受電器は送電器上に配置される。例えば、スマートフォンであれば図-1 (a) のように送電器に接して置かれる。その結果、受電器と送電器内部の送受電コイルがほぼ対向することが保証される。この場合送電器から発生し、受電器のコイルを通る磁束 (鎖交磁束) が多くなるため、給電が可能となる。しかし、受電器が送電器から離れる場合には、受電器は自由に配置できるため、受電コイルが送電器の作る磁束に対して平行に近い配置となってしまう

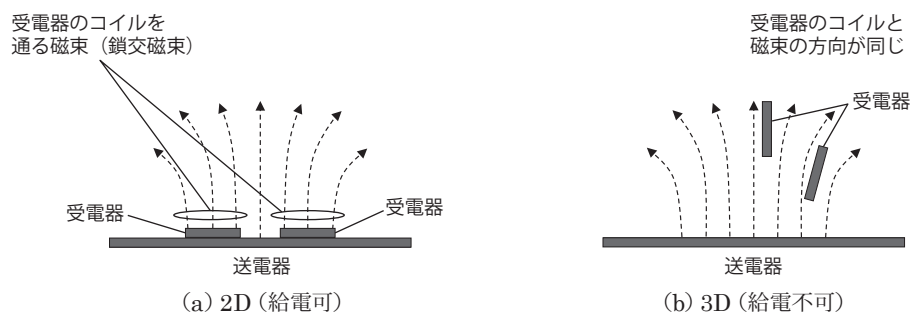


図-1 2D・3Dワイヤレス給電の違い

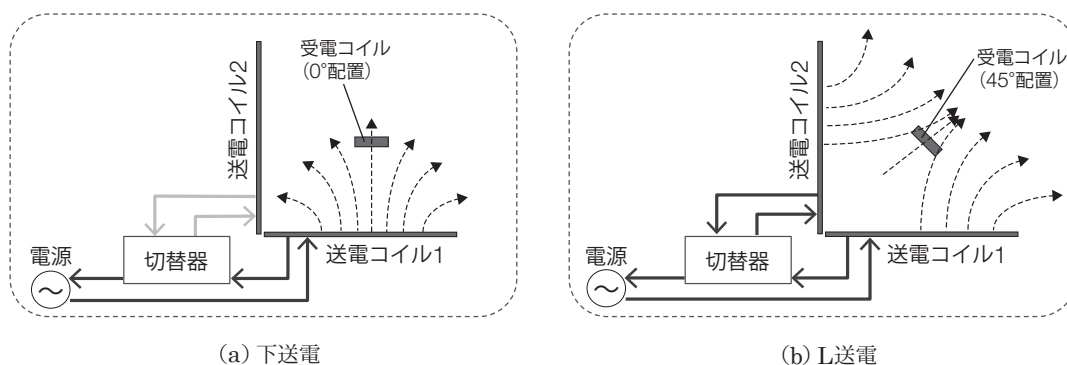


図-2 本システムのコイル配置と電流経路

うことがあり得る {図-1 (b)}。この場合、鎖交磁束がほとんどなくなるため、受電器では著しく効率が低下して電力を受電できないという問題が発生し、3Dワイヤレス給電実現への大きな障壁となっていた。

複数送電コイルの連携

筆者らは上記の問題に対して、複数配置した送電コイルの電流経路を切り替えることにより、全送電コイルが生成する合成磁界の向きを変化させる方式を考案した。具体的には、図-2に示すように送電コイルと電源の間に切替器を入れることで、電源とコイルの接続の仕方を選択可能とする。

例えば、直角に配置される二つの送電コイル1, 2を用いたケースを考える。この場合、送電コイル1と送電コイル2のそれぞれを単独で電源に接続する二つの電流経路と、送電コイル1と2を同位相で接続する経路、および逆位相で接続する経路の4通りが想定できる。これら4通りの経路に応じて作られる磁界の向きは中央でおよそ45°ずつ異なる。このため、受電コイルの向きに応じて接続経路を切

り替えることで、4通りの中からそのときの受電器の角度や向きに最も適した磁界の向きを作り出すことが可能となる。同様に、それぞれが直角に配置された三つの送電コイルの場合は、各コイルを単独で用いる電流経路が3通り、二つのコイルを用いる経路が6通り、三つのコイルを用いる経路が4通りの計13通りの経路が構成でき、磁界の向きも13通り構成できる。この方式により、受電器の姿勢に対応して最も効率の良い磁界の向きを選択でき、更に重要なことに給電不可となる姿勢を回避できる。

本稿では、上記方式の適用例として、ユーザーがスマートフォンを卓上で使用中に給電できる3Dワイヤレス給電システムを示す⁽⁷⁾。卓上でのスマートフォンの使用姿勢を考え、本システムでは二つの送電コイルを直交配置し、その接続経路を2通りとした(図-2)。

実験評価

送受電コイルの設計には、筆者らが開発した磁界・回路連携シミュレータを用いた⁽⁹⁾。テーブルサイズの送電コイルとして、1回巻き(銅線を1周巻く)

の500×1,000 mmの長方形コイル二つを直交に配置した。また、スマートフォンの裏面に配置する受電コイルとして、3回巻き（銅線を3周巻く）の60×130 mmの長方形コイルを用いた。目標給電効率としては、50 W送電に対して18 W受電を想定して、ワイレス部（送受電コイル間）の給電効率を35%と設定した。

前述の設計に基づいて送受電コイルを製作し、送電コイルはテーブルの天板とつい立てに埋め込み、受電コイルはスマートフォンの裏面に配置した。それらを用いて、卓上での送電効率の定量評価を行った。スマートフォンの代表的な姿勢として、平置きとなる0°とした場合 {図-2 (a)} と45°に傾けた場合 {図-2 (b)} を採用した。これらの2種類の姿勢において、受電器を図-3に示すようにxz平面内で移動させ、各場所において給電効率を評価した。評価では、下側に配置された送電コイル1のみを用いた「下送電」と、直交2コイル両方を用いた「L送電」の配置を用いた。更に、それぞれの場所において給電効率の高い電流経路を選択した結果を「選択送電」とした。それぞれの場所における二つの姿勢の給電効率を等高線で表現した結果を図-4に示す。なお、目標効率35%以上の

領域をハッチングで表示した。

図-4によると、0°配置では下送電が有利であり、45°配置ではL送電が有利である。一方で、0°配置をL送電で給電できる領域は狭く、45°配置を下送電で給電できる領域も狭い。これらは、送電コイルが発生する磁界が受電コイルに対して垂直に近い方が鎖交磁束変化は大きくなることから、給電効率が高くなるためである。これらの結果は、磁

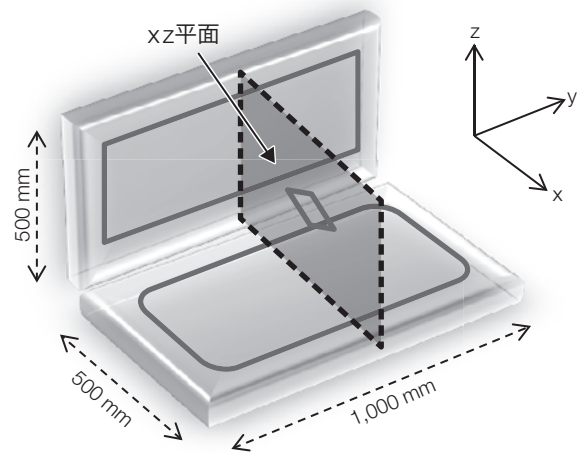


図-3 本システムの受電効率評価方法

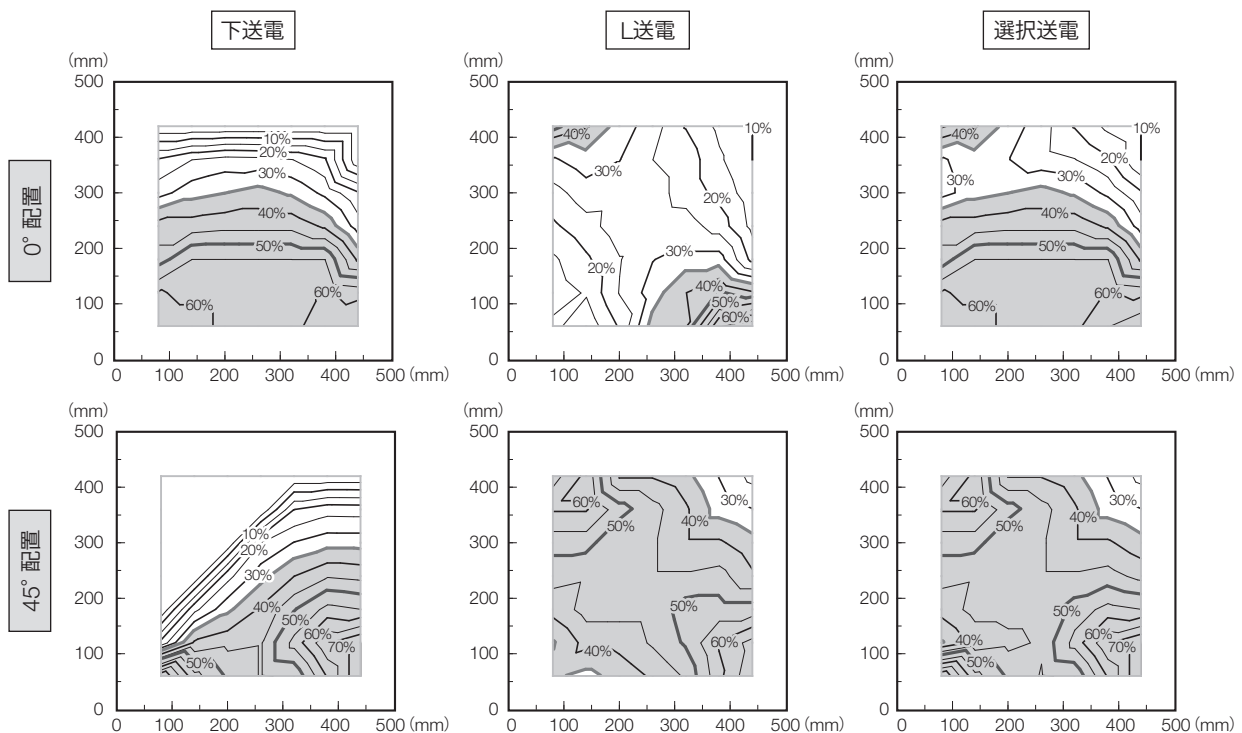


図-4 本システムの評価結果 xz平面(縦軸z, 横軸x)

界の向きを一つに限定してしまうと、姿勢によって著しく効率が悪化してしまうことを示している。一方で、二つの磁界の向きから給電方向を選択できるようにすれば、高い送電効率を得られることが分かる。すなわち、いずれの姿勢においても広い範囲で高い効率での給電が可能になる。給電方法の選択制御については次章で述べる。

なお、本システムの横方向（y方向）の給電可能領域についても評価し、給電可能領域が800 mm程度と、ほぼ卓上の全領域をカバーしていることを確認している。

以上の結果より、二つの送電コイルの電流接続経路を切り替えることで、受電器の様々な姿勢に対して常にワイヤレス給電が可能となるシステムを実現できることが示された。

制御システム

本システムを実現するために、以下の二つの制御を行っている。

一つ目は、受電電力のモニタリングである。ワイヤレス給電中の受電電力を受電器側で常時監視し、その監視結果を送電器へ伝達する。得られた受電電力に応じて、送電電力量を調整する。なお、送受電器間の通信にはBluetoothを採用している。

二つ目は、通常の給電の前に行うテスト送電である。テスト送電では下送電とL送電を短時間実施し、受電電力のモニタリングを利用して受電電力の大きい方を選択する。この制御を行うことで、上記の選択送電が実現可能となる。

これらの制御の結果、本システムでは受電器の位置や姿勢によらず一定の電力を送電でき、ユーザーがスマートフォンを使用中にワイヤレス給電が可能となる。本システムの導入に適した例としては、カフェなどのテーブル上でお客様が利用しているスマートフォンに対するワイヤレス給電サービスが考えられる（図-5）。図-5の点線の位置に送電コイルが隠されている。この場合は、スマートフォンをホルダーに置いた状態で給電しているが、スマートフォンはテーブルからもつい立てからも離れており、ユーザーがテーブル上で手に持って使用しているときとほぼ同じ状態である。また、磁界共鳴方式は特定の共振回路のみが効率的に受電できるため、周囲の金属片（スプーンなど）の



図-5 本システムの外観

発熱などの影響がほとんどなく、その点もテーブル上での利用に適していると言える。

標準化への取り組み

ここまで、富士通研究所内で取り組んでいる3Dワイヤレス給電の研究について述べてきた。一方で、その普及においては他社機器との互換性が必須である。3Dワイヤレス給電のメリットは、いつでもどこでも給電可能となることであり、自社製品だけが給電可能であってもユーザーメリットは限定的である。他社のスマートフォンや送電器においても給電可能とするためには、給電や制御、認証などの様々な事象について標準化していくことが極めて重要となる。

富士通では、従来よりIEC（International Electrotechnical Commission）を中心に様々な技術について標準化に取り組んでいる。ワイヤレス給電においては、社内の関係部門から成る標準化検討タスクフォースを立ち上げ、ワイヤレス給電の標準化に取り組んでいる。IECは国際的な標準化機関であり、TC100（オーディオ、ビデオおよびマルチメディアのシステム）のテクニカルエリアTA15（ワイヤレス給電）において、ワイヤレス給電の国際的標準化の議論がなされている。IECは各国の代表機関により構成されており、日本からは一般社団法人 電子情報技術産業協会（JEITA）が参加している。富士通はこの構成メンバーとして参加するとともに、ワイヤレス給電の標準化提案（PT62827）のプロジェクトリーダーの一人を務めるなど、積極的に標準化に取り組んでいる。

また、国内では総務省管轄のBWF（Broadband

Wireless Forum)のメンバーとして、特にSG7(Sub Group-7: モバイル機器向け磁界結合方式WPT技術について検討するサブグループ)において、ワイヤレス給電の標準化に貢献している。そこでの活動として、2016年の放射磁界の規制緩和を含む省令改正や一般社団法人 電波産業会 (ARIB) の標準規格の策定などを実現してきた。

以上は、デジュール標準と呼ばれる法制度や規制に関する標準化である。一方、製品化のためには企業が中心となるデファクト標準も重要となる。磁界共鳴方式の標準化団体としてはAirFuel Allianceが知られており、富士通もメンバーとして参画している。AirFuel Allianceは、磁界共鳴型ワイヤレス給電技術の標準化団体であるA4WP (Alliance for Wireless Power) と電磁誘導によるワイヤレス給電技術を中心に扱うPMA (Power Matters Alliance) が、2015年に統合されてできた団体であり、ワイヤレス給電全般の標準化に取り組んでいる。現在、2Dワイヤレス給電の初版仕様は策定・公開済みであり、富士通は今後の仕様策定に貢献していくことを計画している。

このように富士通は標準化に対してタスクフォースを活用して全方位的に取り組んでおり、今後も継続的に活動していく。

む す び

本稿では、ユーザーがスマートフォンを使用中に給電できる磁界共鳴型電力伝送技術を適用した3Dワイヤレス給電システムについて述べた。ユーザーが給電中にモバイル機器を使用するためには、送電器に置かれた状態ではなく、送電器から離れた状態での給電、すなわち3Dワイヤレス給電が必要となる。送電器から受電器を離すことで受電器は多様な姿勢をとり得るため、送電コイルが一つでは給電できない場合がある。

この問題に対し、筆者らが考案した複数の送電コイルを利用した電流経路切り替えを制御し最適経路を選択する方式により、解決できることを示した。テーブル型送電器とスマートフォンに本技術を適用した場合には、卓上300 mmの領域で多様な姿勢においてワイヤレス送電効率35%以上を達成できる。

今後は、複数の受電器への同時給電の研究を進

めるとともに、開発技術の標準化提案を積極的に進めていく予定である。

参考文献

- (1) A. Kurs et al. : Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. Science, Vol.317, No.5834, p.83-86 (July 6 2007).
- (2) H. Shoki : Issues and Initiatives for Practical Use of Wireless Power Transmission Technologies in Japan. Proc. International Microwave Workshop series on Innovative Wireless Power Transmission, no.IWPT5-1-2, p.87-90, Uji (Kyoto), Japan (May 2011).
- (3) 下川 聡ほか：磁界共鳴型無線電力伝送における共振容量変化の影響に対する検証. 2010 信学通信ソサイエティ大会講演論文集, no.B-1-7, p.7 (Sept. 2010).
- (4) S. Shimokawa et al. : Transfer efficiency control using switching devices in resonant magnetic coupling. Microwave Conference (APMC), 2015 Asia-Pacific, On page (s):1 - 3 Volume:2, 6-9 (Dec. 2015).
- (5) H. Oshima et al. : Center-Constricted Magnetic Core-Coil Structures for Resonant Wireless Power Transfer. Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol.40, No.3, p.71-76 (2016).
- (6) A. Uchida et al. : Phase and Intensity Control of Multiple Coil Currents in Resonant Magnetic Coupling. IEEE IMWS-IWPT2012 Proceedings, THU-C-1, p.53-56 (2012).
- (7) 内田昭嘉ほか：モバイル機器への3Dワイヤレス給電の設計と実験検討. 信学技報, Vol.114, No.246, WPT2014-42, p.35-38, 2014年10月.
- (8) AirFuel Alliance.
<http://airfuel.org/>
- (9) S. Shimokawa et al. : A Numerical Study of Power Loss Factors in Resonant Magnetic. IMWS-IWPT 2011, IWPT-P-7, Kyoto, Japan (May. 2011).

著者紹介



内田昭嘉（うちだ あきよし）
ものづくり技術研究所
ファクトリーエンジニアリングプロ
ジェクト
ワイヤレス給電技術の研究開発に従事。



下川 聡（しもかわ さとし）
ものづくり技術研究所
ファクトリーエンジニアリングプロ
ジェクト
ワイヤレス給電技術の研究開発に従事。



松井清人（まつい きよと）
ものづくり技術研究所
ファクトリーエンジニアリングプロ
ジェクト
ワイヤレス給電技術の研究開発に従事。



大島弘敬（おおしま ひろたか）
ものづくり技術研究所
ファクトリーエンジニアリングプロ
ジェクト
電磁応用技術の研究開発に従事。