

ワイヤレス充電

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 准教授 **いむら 居村** **たけひろ 岳広**

はじめに

中学2年生で習う電磁誘導が最先端のワイヤレス充電の研究に繋がっていること、しかも、これからさらにホットな研究テーマとなっていくことについて紹介する。ワイヤレス充電は、電気自動車 (EV) への充電、走行中 EV 充電、IoT 機器への給電、ガン治療応用など幅広い期待がある。そして、桁違いの太陽光発電 (PV) の大量導入の起爆剤になること、いまだに世界中で解決策が見つからない地球温暖化対策を解決できる最有力候補になり得ることなど、非常に多くの可能性を秘めている。

本稿では、最新の研究報告を交えてワイヤレス充電技術を紹介する。一見、ワイヤレス充電に関係なさそうな話もあるが、最後の話



写真1 共振を用いた電磁誘導 (磁界共鳴) による電球点灯実験

題までワイヤレス充電が重要な役割を担っている。

ワイヤレス充電の現状

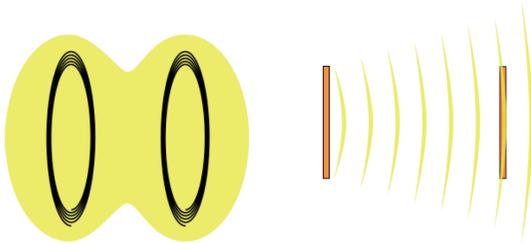
電磁誘導は昔からある技術なので、ワイヤレス充電は一時期枯れた技術とされていた時期もある。しかし、充電可能なモバイル機器が増えてきて、大きな距離 (エアギャップ) へのワイヤレス充電ができるという技術的なブレークスルーがあり、非常に注目される分野へと一変した (写真1)。しかも、他の技術との融合を得意とするため、非常に幅の広い発展をしている。古くは電動歯ブラシのワイヤレス給電くらいしかなかったが、工場内の自走搬送車 AGV (Automated Guided Vehicle) での用途が拡大している。また、スマートフォンへのワイヤレス充電で一般の人にも馴染みのある商品となりつつある。

ワイヤレス充電がもたらす将来像

ワイヤレス充電の今後は、電気自動車へのワイヤレス充電、IoT 機器への充電、医療応用、海中での充電と用途先需要は拡大の一途を続けると見込まれている。新しい話題として、本稿では、電気自動車の走行中充電と太陽光発電との融合、そして、ガン治療への応用について述べる。

ワイヤレス電力伝送の基礎

ワイヤレスで電力を送ることをワイヤレス電力伝送 (ワイヤレス給電) と呼び、電池な



(a) 結合タイプ (磁界) (b) 放射タイプ (マイクロ波)
 図1 結合タイプと放射タイプ

どの充電まで含めるとワイヤレス充電と呼ばれている。このワイヤレス電力伝送技術は磁界結合と電界結合の結合タイプ (図1(a)), そして、マイクロ波電力伝送とレーザー電力伝送の放射タイプ (図1(b)) に分かれている。結合タイプの方が高効率であり、放射タイプは結合タイプでは届かない遠距離の電力伝送に向いている。本稿では結合タイプかつ磁界結合について述べる。

電磁誘導から磁界共鳴まで¹⁾

磁界結合は電磁誘導のことである。この電磁誘導に限定条件下で共振現象を加えることで2007年にブレークスルーが起きた。それが磁界共鳴 (磁界共振結合) である。送電側と受電側両方を共振させることで、従来では不可能であった大きなエアギャップのときに高効率かつ大電力を実現させることができるようになった。従来はコイル直径の1/10の距離で電力伝送できれば十分と考えられていた。写真1のコイルは直径30 cmなので3 cmほどである。一方で、この磁界共鳴を用いるとコイル直径の1/2もしくは直径の距離の電力伝送を可能とする。つまり、15 cm~30 cmである。これにより、応用先が格段に広がることになり、今のワイヤレス充電の研究開発の一大ブームへと繋がっている。

原理について大枠を理解するために簡単に説明する。送電コイルと受電コイル間の結合は磁界で行われている。つまり電磁誘導である。この現象に共振現象を加えることで、高

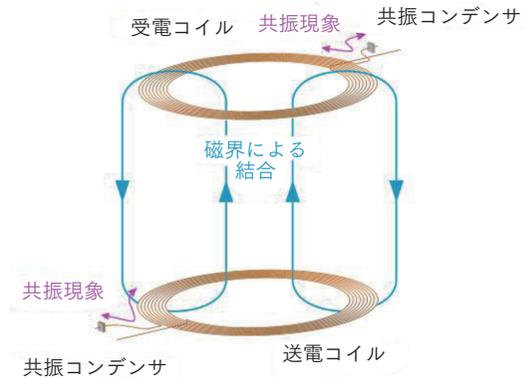
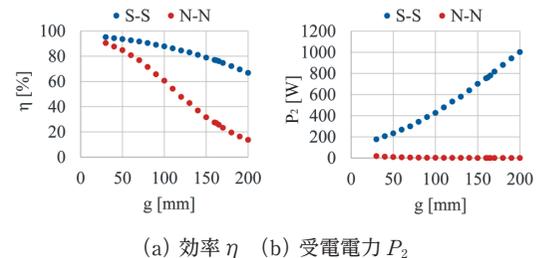


図2 磁界共鳴によるワイヤレス電力伝送



(a) 効率 η (b) 受電電力 P_2
 図3 エアギャップ g 変化における磁界共鳴 (S-S) と共振がない電磁誘導 (N-N) の比較

効率かつ大電力を実現させる磁界共鳴となる (図2, 図3)。

走行中充電

電気自動車への走行中給電は、あっという間に送電コイルの上を車が通過してしまう。この瞬時の間に走行中給電を行うのであるが、どのような技術が必要かについて述べる。給電時間は送電コイルサイズに依存するが、例えば、大きめのコイルを想定して、送電コイルサイズとして5 mとする。走行中給電 (DWPT: Dynamic WPT) の場合、停車中給電 (SWPT: Static WPT) と違い無線通信をベースにした制御を行うことは現実的には難しい。例えば、時速100 kmで送電コイル5 mの上を通過すると0.18秒しかない (図4)。この180 msという時間において、送電側は車 (2次側コイル) を検出して電力を送る必要がある。そして、受電側は電力が来たことを判断し、最大効率になるように制

御を行う。その後、車が過ぎ去った後に送電側は電力をOFFしないといけない。これら無線通信ベースで行うと、制御が間に合わない。ETCが時速20 km/hに抑えられていることを思い出しもらえれば、難しさを理解していただけたと思う。よって、送電側と受電側では独立した制御が必要になる。

走行中給電の代表的な例を図5に示す。回路構成はS-S方式である。インバーター一つに対し送電コイル一つというシステムである。このシステムでは、先頭の送電コイルが常時パルスを打ち込みEVの検出を行う。車がないときに大電流が流れる特性があり、車が来ると電流が絞られる特性があるので、検出モードと送電モードの切り替えが必要である。検出用には間欠的にパルスを打ち込むことで先のシステム同様に一つの送電コイルあたり、1/1,000程度の損失で検出が可能である。さらに、インバーターは送電コイル一つにつながっているため、二つ目以降のコイ

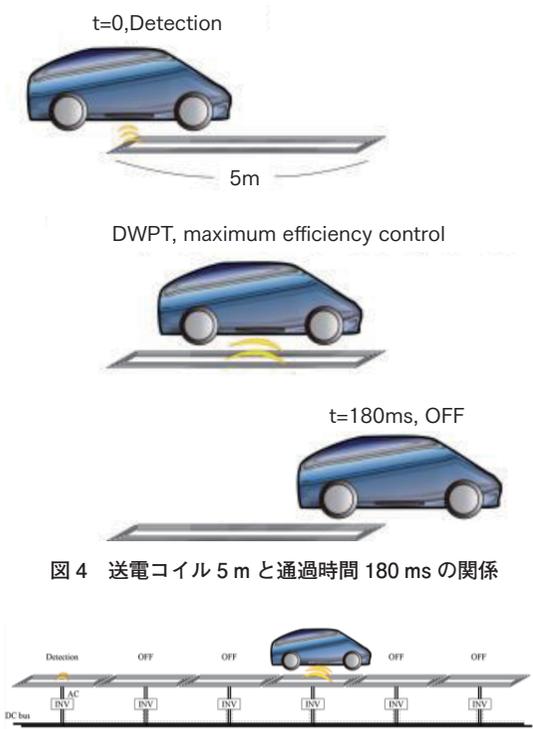


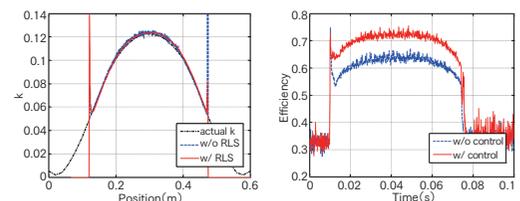
図4 送電コイル5mと通過時間180msの関係

図5 走行中給電

ルはOFFし続けることができ、微弱電流を流す必要がない。そこで、先頭のインバーターが検出さえすれば、車の速度を送電コイル側から推定することは可能なため、必要最小限の電力消費で済む。車側は電力を受け取り始めたら、受電電圧制御を行い最適電圧にして最大効率の状態地上からの電力を高効率で受け取る動作をし続ける。

つまり、最大効率追従制御である。この際、相互インダクタンスが最適負荷電圧の計算に必要であるため、変化し続ける相互インダクタンスを受電側から推定し続けている。地上側のコイルと受電コイルの位置が変わると相互インダクタンスは変動するので、この制御は必要な動作となる。基礎実験の結果を図6に示す。ノイズ除去を含め推定がうまくいき、最大効率制御が行われている。そして、車が過ぎ去ったことを電流値が閾値を超えて大きくなったことで検出して、送電をOFFする。これら一連の動作を180msの間に送電側と受電側が独立に行う。

コスト低減も非常に重要な課題である。動作周波数は85 kHzに集約されつつあるが、この周波数でフェライトレスかつコンデンサレスを達成させることは困難とされていたが、実現させることが出来た(写真2)。コストは1/4以下であり、上手くいけば1/10以下にすることも可能である。実際に埋込み試験を行って強度測定も写真3のように行った。まだ強度としては不十分であるため、引き続き研究開発を行っていく。



(a) 結合係数推定 (b) 最大効率制御

図6 走行中ワイヤレス給電時の推定と最大効率制御

■ 走行中充電＋太陽 光発電 ■

地球温暖化を解決できる切り札として、走行中給電と太陽光発電を組み合わせることを提案している。

(i) PV 大量導入＋電力系統＋DWPT (図7)

PVの大量導入のリミットがかかっている最大の理由は、負荷平準化電源、つまり、電力系統（グリッド）に使えるほどの超大型の蓄電池がないことである。しかしながら、負荷平準化のための大型蓄電池の低コスト化は非常に難しい現実がある。そこで解決方法としては、将来は普及するであろうEVへの強い期待が国内外問わずある。停車中のEVとグリッドをつなぐG2V（Grid to Vehicle）の取り組みである。しかしながら、停車中のEVを大型蓄電池の代わりに、分散化蓄電池として使う前提として、停車中の車に日中お腹を空かしておいてもらう必要がある。つまり、満充電まで電気を溜めないで、例えば50%～80%のバッテリー残量にしてもらい、日中に太陽光からの余剰電力を吸収してもらう構想である。いざ車に乗って出かけたいときに、バッテリーが減っているのは心理的にマイナスに働く。充電は電池劣化の主原因であり、

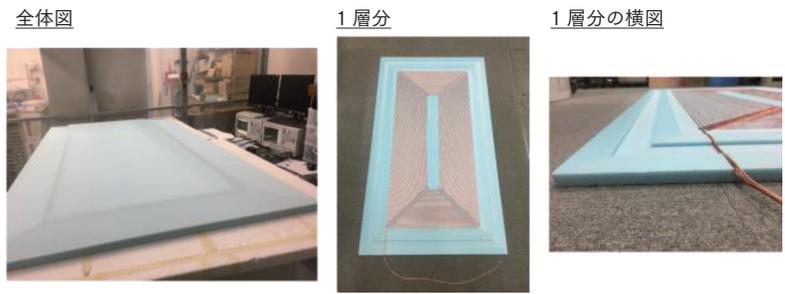


写真2 コンデンサレスかつフェライトレスコイル



写真3 コイル埋込み実験

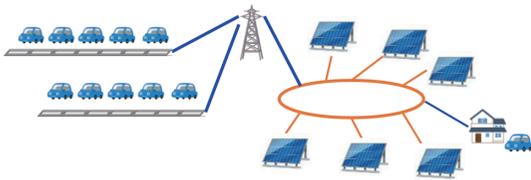


図7 DWPT+PV

高価な電池をそのような用途で使うことは、積極的にはしたくない心理が働く可能性もある。

そこで、停車中給電よりも、親和性が高いと思われるのが、走行中給電 (DWPT) と PV などの再生可能エネルギーを考慮したスマートグリッドの融合である。停車中充電の電力は 3.3 kW もしくは 7.7 kW であり、走行中給電は 20kW~40kW と考えると、電力比は約 5~12 倍である。そのため、負荷平準化用の負荷として考えた場合、走行中給電がその一部として使用されると考えるのが自然である。DWPT による G2V である。しかも日中の太陽光が一番元気な時間帯と車の走行量を考えても親和性が高い。停車中充電のようにわざわざ日中に電池を減らして待ってもらわなくても心理的なマイナスはない。

(ii) PV+DWPT (オフグリッド, 図8)

最初からグリッドにつながるの導入方法としてはハードルが高い。そこで、もう一つの使用法である DWPT+PV をオフグリッドとしての利用する話について述べる。まず、道路脇に PV を分散化電源として設置することにより、供給サイドと負荷サイドの配線距離がほぼない状況で使用できる。そのため、

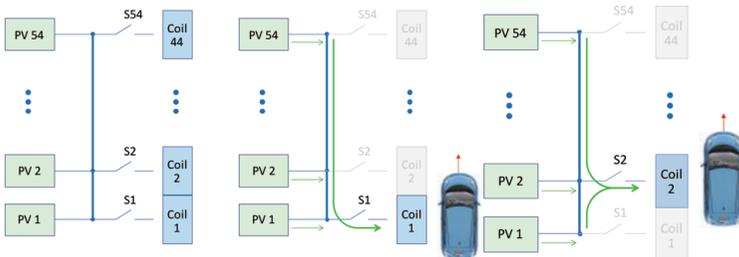


図9 DWPT と PV の融合 オフグリッド

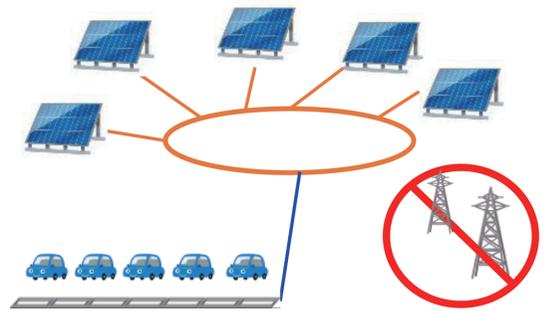


図8 DWPT+PV オフグリッド

都市から電力を引っ張ってくる必要がないので送配電線による送電ロスがない。この区間は CO₂ 排出量 0% のクリーンなエネルギーで走れる。

では、DWPT を行う場合、どのくらいの PV が必要かということであるが、次のような試算を行っている。テスラモデル 3 かつ時速 80 km/h とし、給電が必要な電力は 13.5 kW 程度として試算している。安全距離として 2 秒間以上の車間距離を考えると、時速 80 km/h では約 44 m なので、44 m の間にある PV の発電電力を 1 台の車が使えると仮定する。この仮定はコイルにつなぐスイッチの切り替えで可能である。1,580×812 mm で 245 W 出力できる市販の PV を基に試算したところ 54 枚を 1 列に並べれば良いことになる。時速 100 km/h であったり、電池への充電まで考慮し、必要電力が 20~40 kW である場合は、より出力の高い PV パネルや、列数を増やすことで対応できる (図9)。

独立した PV は電力系統とつながなくて良いため、設置箇所の自由度があり、補助的とはいえ強力に DWPT としての電力供給が可能である。

ワイヤレス充電による多彩な研究

ワイヤレス電力伝送の応用先は多彩である。IoT 機器への給電だけでなく、ロボット

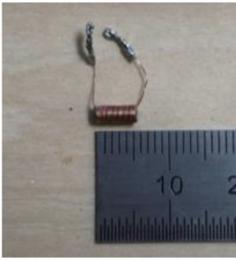


写真4 暗室実験と小型コイル



写真6 走行中給電仮設備

によるセンサ給電や、核廃棄物用センサへのワイヤレス給電など非常に多数の応用事例があるが、ここではガン治療への応用について紹介する。光免疫療法というガン治療がある。ガン細胞とのみ結び付く特殊な薬品に、近赤外線光を積算約 $50 \text{ [J/cm}^2\text{]}$ 照射し、薬を励起することでガン細胞を死滅させ腫瘍を治療することができる新しい治療法である。この光を照射するために外部から光ファイバーを差し込むのではなく、LEDとワイヤレス電力伝送の組合せで行う。従来は5日かかっていたが30分ほどの達成を目指している(写真4)。



写真5 居村研メンバー

居村研究室

本研究室は2019年4月に理科大野田キャンパスに立ち上がった。写真5のようなメンバーで研究を始動したところである。世界的にも数ヶ所しか走行中給電施設はない中で、12月には写真6のように走行中充電路のための給電用仮設備も野田キャンパスに整えることができた。本拠点から、世界を驚かすための更なる研究の発展に努めていく。

さいごに

ワイヤレス電力伝送の技術紹介から、ワイ

ヤレス充電の話が地球温暖化を解決できる非常に有力な手段という、少し前では秘密であった話を紹介した。

一つの技術だけで力業で物事を解決する時代もあったが、これからは、有機的に繋がった技術と社会システムによって物事が解決されていくことになる。ワイヤレス電力伝送は他の技術や産業とのコラボレーションを得意としている。今後も多くの方々との協力しながら研究開発を進めていきたいので、共同研究などに興味のある方はお声がけしていただけると幸いです。

参考文献

- 1) 居村岳広, “磁界共鳴によるワイヤレス電力伝送”, 森北出版, 416頁, 2017.1.31