

ワイヤレス給電の技術概要

早稲田大学 環境総合研究センター 高橋俊輔

抄録

電池への充電作業を容易にするワイヤレス給電システムは近傍界に貯蔵されるエネルギーを利用する非放射型のもので遠方界を利用する放射型のものに大別され、それぞれ磁界結合式、電界結合式、エバネセント波式およびマイクロ波などの無線式、レーザ式に分けられる。それぞれの方式の内容およびその得失を説明する。そのうちでワイヤレス給電システムとして最も良く使われている磁界結合式での課題について取り上げ、その対策等についても解説する。

1.はじめに

現代は、場所や時間の制約を超え、いつでも、どこでも、誰とでも、何とでも情報を交換できる社会、ラテン語で、いたるところに存在するという意味の言葉を使ったユビキタス・ネットワーク社会になりつつある。特に携帯電話やタブレットなどの小型情報端末機器の性能向上と価格低下は著しく、現在の地球上の携帯電話台数は77億台を超えて1人1台強を保有する計算で、インフラ整備の遅れた後進国ほど使用者数が伸び、ここでも情報の共有化が進みつつある。

この情報社会の申し子のような携帯電話もユビキタスにならない時がある。充電時である。充電時にはケーブルで商用電源に接続されるため“どこでも”という条件が満たされなくなる。そこで、電源も

ケーブルレス、すなわちワイヤレス給電にできないかと言う要求が出てくる。

これらは携帯電話に限らず電気自動車でも家電や工場内で使われる他の電気製品でも同様である。そこで、実用化されているワイヤレス給電の実例をいくつか示すと、電気自動車用の3.3kWあるいは7kWのものは既に完成の域にあるが、グローバルな商品であるため現在、日米欧で進められている標準化が制定されない限り発売はされない。電動バスはローカルなものなので、既に図1のように30kWのものが実証に供され、海外では120kWや200kWのものが実際に使われている。

家電では、CEATEC2015で展示されたワイヤレスキッチン(図2)があり平らな木製の調理台に乗せるだけで使えるコードレス台所電気用品や卓上照明灯が出現している。



図1 ワイヤレス給電式電気バスWEB-3



図2 ワイヤレスキッチン

工場では、図3に示すように物を搬送するAGVなどに数多く使われ、その他に電動ドライバーなどの工具や図4のようにロボットアームの肩の回転部への給電に使われている。



図3 ワイヤレス給電式AGV



図4 ロボットアーム回転部へのワイヤレス給電



図5 ワイヤレス給電式介護補助ロボット

移動ロボットへのワイヤレス給電も実施されていて、水中ロボットや警備ロボットへの搭載例があり、介護ロボットとしては図5のような独居老人を見守るロボットにも搭載されている。

やや特殊なものとしては、SUICAのようにボルトにワイヤレス給電をして埋め込まれた歪ゲージのデータを送電側に送信してインフラの健全度を測る計測システムが開発されている(図6)¹⁾。

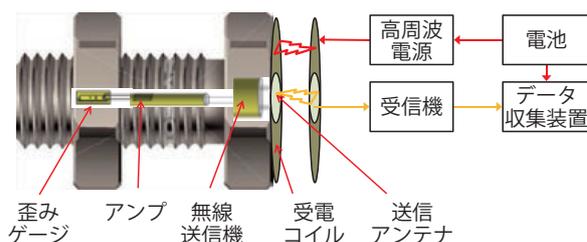


図6 ボルト軸力計測装置

医療機器用として、ペースメーカーや人工心臓など体内植え込み機器への給電ラインが経皮をすると患者の苦痛や感染症のリスクが大きくなるので、それを防ぐためワイヤレス給電システムがいろいろ検討され、既に図7に見られる人工内耳や人工眼、それに植え込みではないがカプセル内視鏡などで実現している。

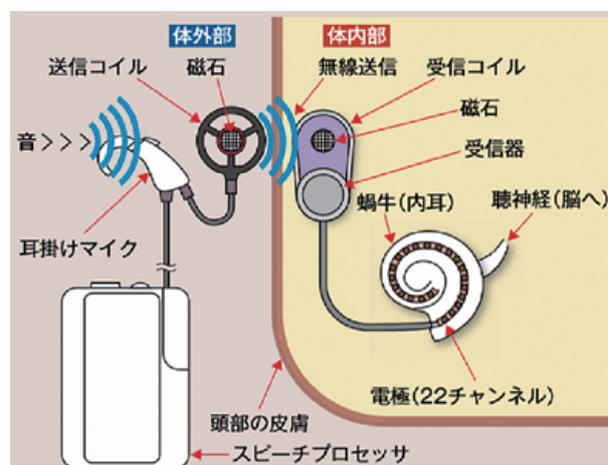


図7 ワイヤレス給電式人工内耳の仕組み²⁾

1) 高橋俊輔：EVに限らない産業分野など、ワイヤレス給電の新しい適用，オーム社，Vol.102，No.5，pp.21-24（2015）
 2) 小木保雄：人工内耳の仕組み，リコー手話クラブQ&A集

また、長距離をワイヤレス電力伝送させるものとしては、宇宙空間に展開した太陽光パネルで発電した電力を地上に送電する太陽光発電衛星の構想があるが、それを応用したものとして1992年京都大学はマイクロ波を使って燃料等のエネルギーを搭載しない飛行機にワイヤレス給電をするシステムの実験を行っている。



図8 ワイヤレス給電式飛行機³⁾

そこで本稿では、上記のワイヤレス給電システムに使われる方式の概容とそれぞれの方式の特徴およびその課題について述べる。

2. ワイヤレス給電の基本

充電装置において、電源装置から電気製品に電力を供給するコネクタ部のプラグとレセプタクルの組み合わせを充電カプラという。充電カプラは通電方式から、通常の金属同士の接触を用いて電氣的に伝送する接触式と、一般的には送電モジュールと受電モジュールを向かい合わせ、その間の空間を介して電磁氣的に伝送する非接触式に大別される。

ワイヤレス給電は一般的には電磁波を介して電力伝送を行うが、微小ダイポールアンテナのように電界を放射する放射源の近傍においては電界成分が支配的で、電磁界の電界と磁界の比率 (E/H)、すなわち波動インピーダンスは図9のaのように高い値になる。距離が離れるにつれて次第に磁界が誘導され空間のインピーダンスが低下していき、放射源から十分に遠方の自由空間においては、波動インピーダンスは $376.7\ \Omega$ の自由空間インピーダンスに一定となる。これに対して、図9のbの微小ループアンテナのように磁界を放射する放射源の近傍においては、磁界成分が支配的で、その波動のインピーダンスは低い。そして、放射源から遠ざかるにつれて、その波動のインピーダンスは自由空間インピーダンスに近づく。このような、放射源の近傍で波動のインピーダンスが自由空間インピーダンスと大きく異なる領域を近傍界と呼び、距離が十分に離れて波動のインピーダンスが自由空間インピーダンスに近付いた領域を遠方界と呼ぶ。

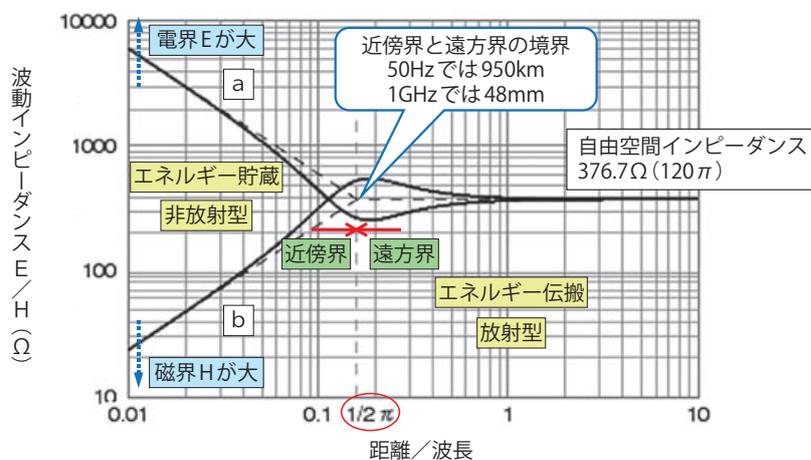


図9 近傍界と遠方界

3) 篠原真毅, マイクロ波給電システムの開発と応用, KEC情報, 220号, pp18-23 (2012)

近傍界はエネルギーが貯蔵された状態の非放射域で、ここを利用するワイヤレス給電システムはアンテナを置くだけではエネルギーが取り出せないの、結合や共振と言った方法で溜まったエネルギーを汲み出してやる必要がある。一方、遠方界はエネルギーが伝搬する放射域で、ここでのワイヤレス給電システムはアンテナを置くだけでエネルギーは自然と入り込んでくるが、アンテナに当たって跳ね返らないよう共振させるなどの方法が必要である。

3. ワイヤレス給電の方式

ワイヤレス給電方式は大きく分けて図10のように近傍界で使われる非放射型と遠方界での放射型に

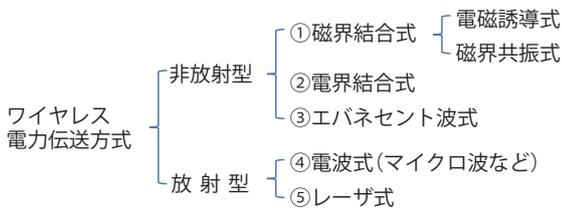


図10 ワイヤレス電力伝送方式

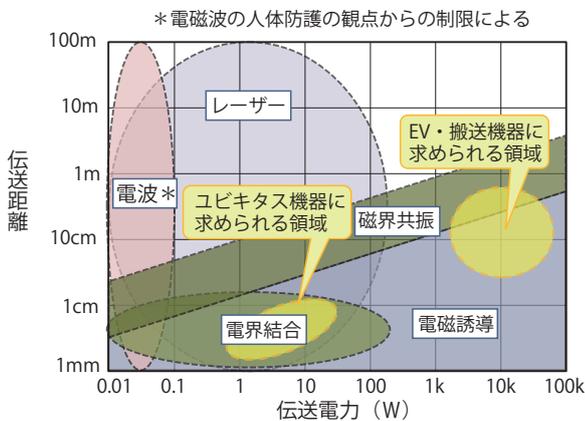


図11 各方式の伝送電力と伝送距離

分けられ、非放射型は磁界結合式、電界結合式、エバネセント波式に分けられ、放射型は電波(マイクロ波)式、レーザ式に分けられる。さらに磁界結合式は電磁誘導式と磁界共振式に分けられる。

それぞれの方式の伝送電力と伝送距離との関係を図11に示す。図中にユビキタス領域とEVなどに使われる領域を示した。また、マイクロ波などの電波は人体防護上の制約があり出力が低くなっているが、人が立ち入らない閉鎖空間では伝送電力はもっと大きくすることができる。

(1) 磁界結合式

磁界結合式は放射源の近傍に広がる磁界を伝送媒体として利用する方式で、従来から使われている磁束の鎖交を利用する電磁誘導式と放射源の周囲の空間に広がるエネルギーを共振を利用して積極的に拘い上げる磁界共振式がある。

イ 電磁誘導式

1831年に英国のMichael Faradayが磁気の変動から電気が発生することを見出した。静止している導線の閉じた回路を通過する磁束が変化すると、その変化を妨げる方向に電流を流そうとする電圧(起電力)が生じるという、変圧器の基本原則であるファラデーの電磁誘導法則の発見である。1836年にアイルランド・メイヌス大学のNicholas Callan司祭が誘導コイルを発明し、これが変圧器として広く用いられる初めてのものとなった。この電磁誘導の原理に基づき対向させたコイルと磁束収束用の磁性体を用い、送受電コイル間に共通に鎖交する磁束を利用するワイヤレス給電システムは、図12に示すようにギャップのある変圧器である。

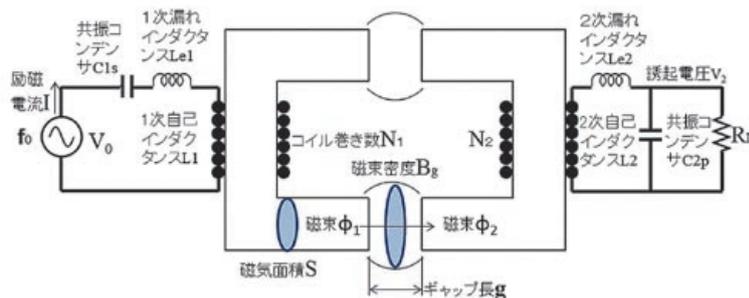


図12 電磁誘導式の原理

一般的な変圧器の1次コイルに交流電流を流すとコイル周囲に磁界が発生、1次/2次コイルを共通に鎖交する磁束により2次コイルに誘導起電力が発生する。理想的な変圧器では1次コイルの磁束は全て2次側に伝えられる。この場合の両コイルの磁束伝達度合い ϕ_2 / ϕ_1 を示す結合係数 k は1である。

しかし、非接触化のためコア間にギャップがある場合にはそこから漏れ磁束が発生、磁束 ϕ_2 が小さくなるため k は1よりも小さくなる。この漏れ磁束が変圧器の1次/2次側の自己インダクタンスにそれぞれ直列に接続された漏れインダクタンス L_{e1} 、 L_{e2} として、チョークコイルと等価な働きをする。

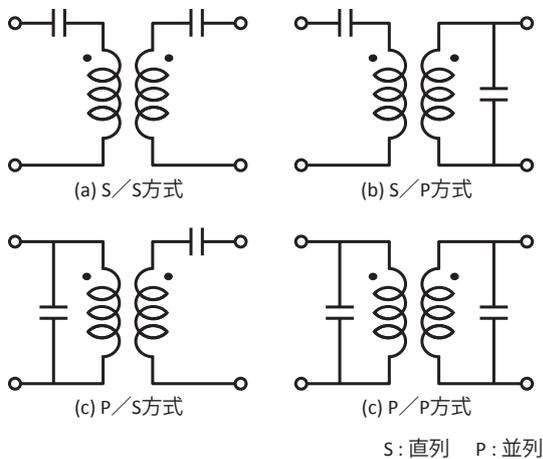


図13 コンデンサの挿入位置の例

つまり、変圧器として働く励磁インダクタンスは自己インダクタンスのうちの k 倍で、残りの部分は漏れインダクタンスになる。そのため、ワイヤレス給電は変圧器に比べ励磁インダクタンスが小さく、漏れインダクタンスによる電圧降下が大きいシステムといえる。電磁誘導式はギャップが数mmということが良く本に書かれているが、それは通常の変圧器のコイルだけを離して電力伝送をするため、電圧降下が大きく電力を効率よく伝送できないからである。電力を効率よく伝送するためには、1次側の周波数を数10kHzの高周波にして2次誘起電圧を上げたり、コイルのインダクタンスにコンデンサを並列や直列に接続した共振回路を用いるのが通常である。2次側の最適負荷抵抗 Z_L は $R_L - j\omega L_2$ と表され、負のインダクタンス成分が損失を発生させている。そこでこのインダクタンス成分を打ち消すために

キャパシタンス C_{2p} を入れて効率を最適化している。また1次側も L_1 により電源力率が低くなるのでキャパシタンス C_{1s} により補正を行っている。このコンデンサの挿入方法は図13に示す代表的なもの他に、直並列に入れるなどシステムにより各種方法がある。

一般的なEV用などの電磁誘導式ワイヤレス給電システムの構成は、図14に示すように地上側システムとして商用周波数から電磁誘導に必要な高周波を発生させる高周波電源装置、1次コイル、高周波電源装置から1次コイルまでの送電ケーブルとインピーダンス調整用のキャパシタボックス、それに車両側システムとしては2次コイルと高周波を直流に直す整流器、バッテリーマネジメントシステムと地上側の高周波電源との間で制御信号をやりとりする通信装置から構成される。高周波電源装置の内部は、図15のように商用電源を直流に変換するAC/DCコンバータ、高周波(方形波)を出力する高周波インバータ、正弦波に変える波形変換回路、安全対策のための絶縁トランスで構成されている。

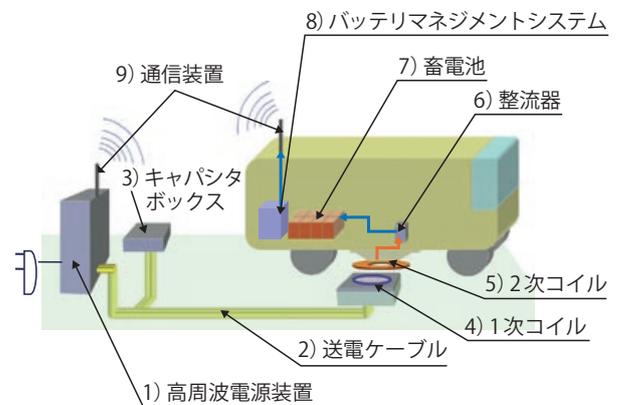


図14 電磁誘導式システムの構成

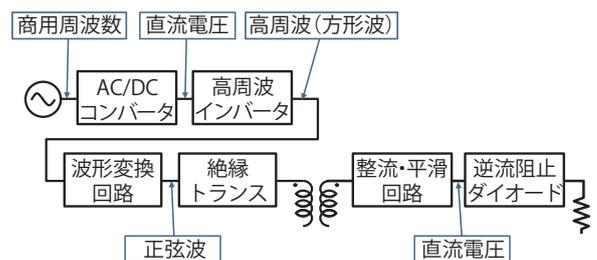


図15 電磁誘導式システムの回路構成

図1に示した早稲田大学が開発した電動バスWEB-3/WEB-4に搭載した30kW電磁誘導式システムは、1次側、2次側でそれぞれ共振を取るなど最適設計をすることでコイル間ギャップを140mmに増加させ、1次コイルを地面と面一に埋め込み、長野市で2014年3月までの3年間、2台の電動バスを用いて日本初の有料実証運用試験を実施した⁴⁾。また、英国Milton Keynes市の電気バスではIPT Technology社がコイル間ギャップは40mmであるが120kWを、ベルギーBruges市やドイツBraunschweig市ではBombardier社がコイル間ギャップはやはり40mmで200kWをワイヤレス給電している⁵⁾⁶⁾。

このようにある程度のギャップをもって既に大電力を送電できるようになっているが、位置合わせの点ではギャップ寸法程度しか位置ずれの許容寸法が取れないのが最大の欠点である。

□ 磁界共振式

2007年に米国Massachusetts Institute of Technology (MIT)の研究チームが、2m離れた距離で60Wの電力を送ることに成功したことで磁界共振式が一躍注目を浴びるようになった。

図16にMITが発表したシステムの概要を示すが、送信側と受信側のコイルを高いQ値を持つヘリカルコイルにして磁氣的に同じ周波数でLC共振させ、空間に蓄積される磁気エネルギーを通して電力

伝送をする磁界共振の技術を活用していて、その基本原理は新しくはないものの、給電方式としては新たな方式といえる。送電側コイルから放射される磁束を直接受電側コイルに鎖交させれば前述の電磁誘導式となるが、送信側の磁束が受信側に殆ど鎖交していないkが0.01以下となるようにコイル間距離を十分に離れた状態で、磁界共振式は電磁誘導式と殆ど同じシステムを使いながら送受電コイルサイズと空間波長、空間磁界分布をうまく制御してエネルギーを伝送している。そのため、伝送量を確保するためにコイル形状、サイズ、波長、伝送距離に一定の制約が生まれ、その制約条件が崩れると共振が起こらず電力伝送ができない。アンテナのインダクタンスLと静電容量CによるLC回路として共振する周波数の交流電力を送信側アンテナに印加すると、その周辺に振動磁場が発生し、共振現象によって数波長以内の距離にある受信側アンテナに電力が伝わる。すなわち、共振方式の電力伝送は「近接場」の共振を利用するもので、電磁誘導式と比較して利用する磁場がずっと弱く、それでいてより長い距離を伝送できる。また、非放射型の共振方式は遠方に電磁波の形で流出するエネルギーが少ないため、放射電磁波を使用するマイクロ波式に比べ電力の伝送効率がよく、二つのアンテナコイルの間に障害物があっても利用可能である。

電磁誘導式の図13～図15のシステムとほとんど同じでありながら電磁誘導式よりもギャップが大きい

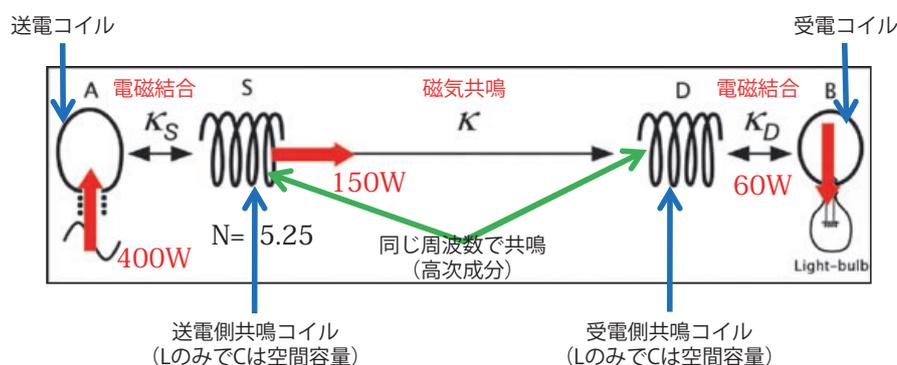


図16 MITが発表したシステムの概要

4) 永田祐之, 木村祥太, 飯田ひかり, 紙屋雄史, 高橋俊輔, 大聖泰弘: 先進電動マイクロバス交通システムの開発と性能評価 (第9報) — 開発車両の長期営業運行中に得られた非接触給電装置に係る各種データの詳細分析—自動車技術会2014年秋季大会学術講演会前刷集, No.149-14,298, pp.13-18. (2014)

5) Maq Alibhai : Wirelessly charged electric buses in Milton Keynes, Eurotransport, Vol.12, Issue 2, pp.20-23 (2014)

6) Tim Dickson : Wireless Electrification, Eighth International Hydrail Conference, (2013)

く取れることや位置ずれの許容度が大きいという特徴を持つ磁界共振式は現在開発が進んでいるEV用のワイヤレス給電システムの殆どが採用している。

(2) 電界結合式

前記のように送電側と受電側のLC共振器間の「磁界」エネルギーを媒介にしてワイヤレス電力伝送が可能であれば、送電側と受電側にそれぞれ電極を設置し、電極が近接したときに発生する「電界」のエネルギーを媒介にした方式もまた成り立つ、これが電界結合式である。これはまさにコンデンサであり、コンデンサはいわば極板間に変位電流を流すことでワイヤレスにエネルギー伝送を行うデバイスである。

すなわち、この方式は電極を近接させたときに形成される静電容量（接合容量）に交流電圧を印加し静電誘導の作用によって電力伝送させる方式で、電力伝送回路に共振を取り入れた電界結合式と共振を用いないアクティブキャパシタンス方式があるが、ここでは前者について取り上げる。図17に示すように電界結合式にも直列共振型 (a) と並列共振型 (b) がある。

直列共振型回路は、接合容量Cに直列にインダクタンスLを接続して共振条件を満たすことにより、接合部のインピーダンスをきわめて小さくしてエネルギーを伝送している。ただ、送電側と受電側電極間の容量はギャップ状態によって変化するので、共振条件を維持するためには、発信周波数fまたはイ

ンダクタンスLを調整しなければならないという課題がある。インダクタンスを変えるのは大変なため周波数を調整する方式を採用すると、占有帯域幅の増大につながる。さらに、共振回路のQに応じて接合容量およびインダクタンスに高い電圧が印加されるという課題もある。

並列共振型回路は接合容量が共振回路の一部となっていないために、C1やC2に比して接合容量が小さい場合には、接合容量が変化しても共振回路の周波数に与える影響が小さいことが特徴である。さらに、図17 (b) の②の共振回路が共振している場合には、その両端のインピーダンスが極めて大きくなるため、接合容量が変化しても共振回路①の出力電圧が共振回路②に印加されることになり、接合容量の変化、すなわちギャップ間距離の変動に対して大きな余裕度を持つことになる。回路的にはLC共振を用いる点では、電磁結合式と同様であるが、電流を流すことで磁界を作らねばならない電磁結合式に対し、電界を利用するため電極間に電圧を印加するだけで良い。従って、電磁結合式に比べ装置が小型化する特色があるが、空気中への放電を避けるために電界強度に上限が存在する。その結果、静電エネルギーは数J/m³程度であり、小電力機器が対象になると思われる。一方、電界結合の電極間はコンデンサと同じなので、磁界に比べて平等電界は比較的实现し易く、水平方向の位置ずれに対応しやすいが、送電側と受電側の電極を近づける必要がある。現在実用化されているコイルからコイルへ電力を給電する電磁結合式で問題となる異物侵入時の誘導加熱や、人体への電磁波防護、高周波による電波法の制限といった問題が生じないメリットがある。しかも、電磁誘導方式と違い、フェライトやリッツ線コイルを用いないため、機器の重さやコストを低減できる。出力が大きな機器に対しても、接触させる面積を広げるだけで対応できるのも利点である。

既に直列共振を用いた電界共鳴給電システムとして、100Wの電力を効率90%で白熱電球に給電している。

(3) エバネセント波式

図18に示すように、屈折率の高い媒質2から低い媒質1に電磁波が入射する場合、入射角 θ_i が臨

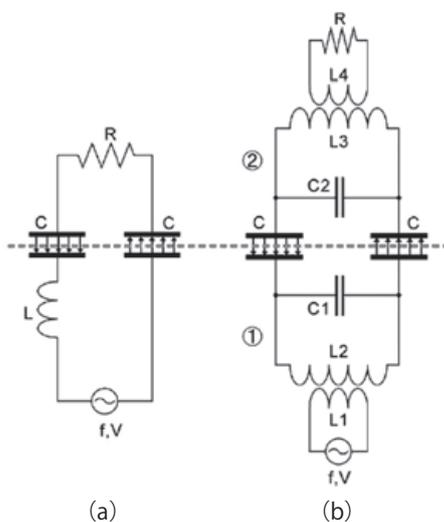


図17 電界結合式システムの回路構成

界角 θ_c より小さい時はスネルの法則に従って θ_1 の角度で屈折する。入射角が臨界角と同じになると、出射角が90度となり面に沿って進む。入射角が臨界角を越えると、透過せず実線のように電磁波は全反射するが、その際には波数の境界面に対する垂直成分が虚数になっているために1波長程度まで低媒質側の内部に伝搬しない電磁波が浸透することになる。このように境界面で全反射するとき、その背面に波長以下の領域(エバネセント場)内にしみ出るように存在する電磁波のことを「エバネセント波」と呼ぶが、これは近傍界における電磁波の性質を強く持ったものである。ここで波数 n とは単位長さあたりに含まれる波の数で、単位は /m、波長 m の逆数である。振動数 f (=周波数) は単位時間あたりに揺れる波の数で、単位は /sあるいは Hzで、周期の逆数である。波数と振動数の関係は、伝搬速度 v を介して、 $f = nv$ になる。

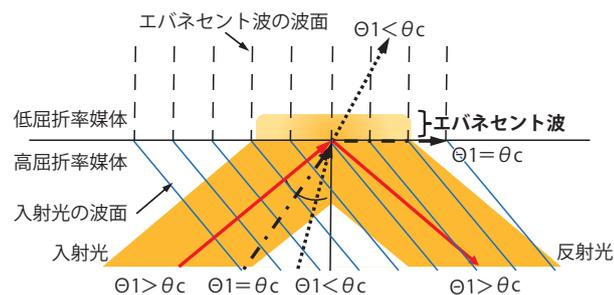


図18 エバネセント波の発生原理

エバネセント波式はこのことに着目、図19に示すように全反射を起こす壁で挟まれた領域内にマイクロ波を注入、一方の壁からしみ出るエバネセント波を通してエネルギーの授受を行う方式である。すなわち、エバネセント波式は遠方に届きやすいという電波の最大の特長を生かしつつ、一方で電波を閉じ込めてしまうという秀逸な方式である。それは、我々が日常生活において曲面と認識する形状でも、波長サイズの点からマイクロ波にとっては平面と同じとなるため、曲面内伝送が可能になるわけである。しかしながら、エネルギー伝送の立場からは、

電磁エネルギーの大半が曲面に閉じ込められてしまい、しみ出るほんの僅かなエネルギーしか外に取り出せないと言うのが問題である。すなわち、送電電力(注入電力)と受電電力の比で定義される通常の効率という値で評価すると、極めて低い値になってしまう。

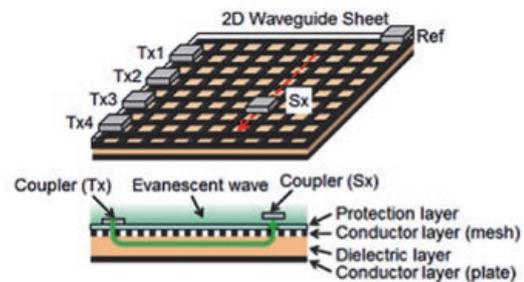


図19 エバネセント波式の構造⁷⁾

後述するマイクロ波を利用する方式であるため、同様の課題はあり、小電力を対象とした通信系との共存が、この方式の特徴を生かすシステムと考えられる。

(4) 無線(マイクロ波)式

遠方にまで伝搬する電磁波の存在は1864年に英国のJames Maxwellが予言、1888年ドイツのHeinrich Hertzが火花放電で発生した電磁波により、遠くの受信リングの間隙に火花が生じることで実験的に証明した。この遠方にまで伝搬する電磁波を利用するのが無線式であるが、実際に電力伝送が実現するまでには長い時間が掛かった。1894年にワイヤレス給電の特許を取得した米国のNikola Teslaが1901年に電波塔から150kHzの電波を用いた300kWの電力伝送実験を行った。しかし、周波数が低すぎて電磁波が拡散し、電力を受け取る側での電力密度が低くなりすぎ失敗した。無線電力伝送が可能になったのは、大電力のマイクロ波送信を使うレーダーが開発された第2次世界大戦以降である。1964年に米国のWilliam Brownが2.45GHz帯のマイクロ波電力を、自身が発明したレクテナ

7) T.Terada,H.Fukuda,and T.Kuroda,"Transponder Array System with Universal On-Sheet Reference Scheme for Wireless Mobile Sensor Networks without Battery or Oscillator,"IEICE Trans.Fundamentals,Vol.E98-A,No.4,pp.-,Apr.2015.

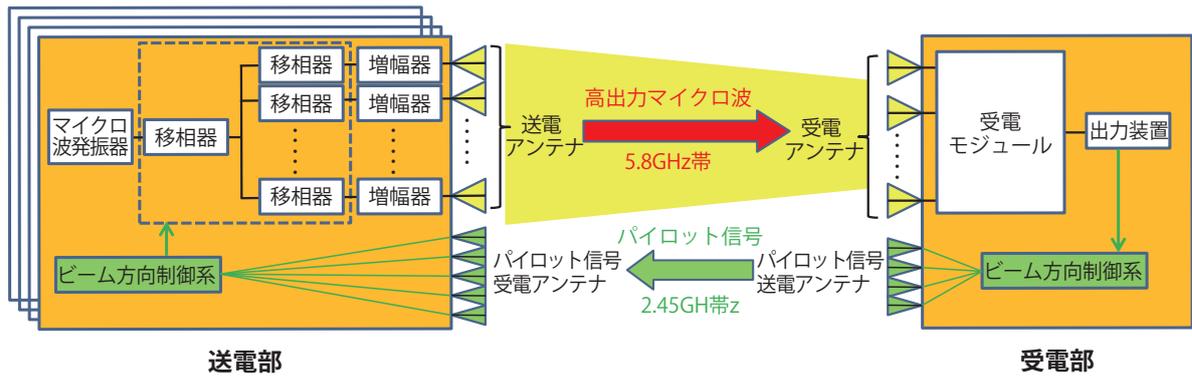


図20 無線式の概略系統図

(rectenna) で受信、直流に変換して電力伝送ができることを実証した。レクテナは rectifying antenna の略で、格子状に配置されたアンテナエレメントで受けたマイクロ波のエネルギーを、順方向電圧降下が少ないショットキーバリアダイオードで直接、直流に変換するアンテナである。

図20に無線式の概略系統図を示すが、このシステムの場合、複数のアンテナ素子から放射されるマイクロ波の振幅と位相を制御、空間合成して任意のビーム形状を形成できるフェーズドアレイアンテナおよびマイクロ波ビームの送電方向を示す案内信号により任意の方向にビームを向けられる機能がある⁸⁾。

この任意のビーム形状とビーム方向を制御できる機能を使用すると、図21に示す照明灯のように設置したマイクロ波送電アンテナから走行中のトラックの動きに合わせてトラックの上部に連続して給電できるシステムを構築できる。これにより電磁界結

合式の走行中給電における給電コイルを道路上に設置する問題点を克服できる可能性がある。しかし、人体への電磁放射の安全性検証の問題があり、まだ電波暗室内でのレベルである⁹⁾。

電磁波は距離により拡散するので、拡散した無線電力を収集するためアンテナを大きくする必要があり、EVなどのモバイル用途としては大きさの制約の課題がある。また非常に高い高周波を扱うため、それぞれのデバイスでの損失が大きく、全体効率が低いと言う欠点がある。

(5) レーザ式

レーザ式は図22のようにTHz帯のレーザビームを面発光で送信、ソーラーセルと同じように半導体で受信し、半導体の光起電力効果を利用して光エネルギーを直接電気に変換することで電力を伝送する



図21 マイクロ波による走行中給電のイメージ

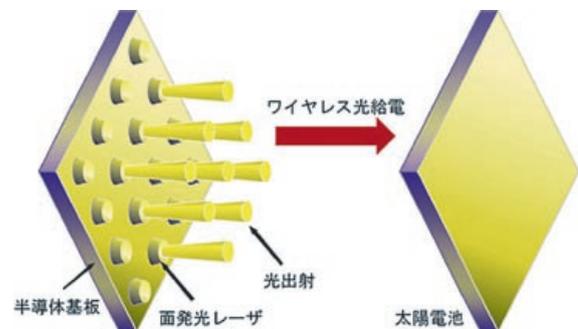


図22 レーザ式の電力伝送原理¹⁰⁾

8) <http://www.ard.jaxa.jp/research/hmission/hmi-mssps.html>

9) 外村博史：ワイヤレス電力伝送システムの自動車適用に向けたWG活動,WiPoT symposium WG#2,pp.1-10 (2013)

10) http://www.ssr.titech.ac.jp/research/project_22.html

技術である。レーザ式は無線式と同じく遠方界を利用しているが、空間をエネルギーで満たすという考え方は難しいが、ビーム形成の点ではMHz帯のマイクロ波よりも周波数の高いレーザ式の得意分野であり、数百mの距離であれば発散角が小さく、そのビーム径は殆ど拡大しない特徴があるため、少ない減衰で長距離にまでエネルギーを伝搬できる。

従って、マイクロ波と同様に宇宙エレベータといった航空宇宙分野を中心に研究が進められてきたが、近年は宇宙からより近距離の移動体が対象となり、災害監視用無人飛行機やドローン、月面探査ローバーや一般のロボットなどへの給電が試みられている。

複数個装備する場合、それぞれの素子で同期を取る必要はないが、マイクロ波などで通常行われているフェーズドアレー方式のような位相制御が困難であるため、迅速なレーザビーム方向制御が困難で高精度の追尾技術が必要となるといった問題がある。もし半導体レーザなどでフェーズドアレーができるようになれば、高効率、高出力な長距離伝送が可能となるほか、ビーム方向制御などの駆動部が不要となるのでメンテナンスフリーになる。ただ、ビームの経路上に人間が入った場合を想定して、ビームのエネルギー密度が一定値以下となるよう、図23のようにレンズ等でレーザのビームを広げて伝送し、受電素子を小型にするため受電側でビームを絞ってやるなどの工夫が必要になる。また、地上で使用する場合には、雲、霧など気象条件に左右されるので、優れた収束性や遠距離伝送能力を十分に活用できない課題もある。

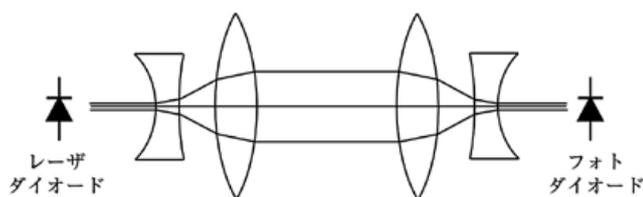


図23 ビームエネルギー密度減少方法¹¹⁾

4. ワイヤレス給電の課題

現在、ワイヤレス給電システムとして広く使われている磁界結合式のものに絞って、その課題を以下に説明する。その他の方式については、それぞれの項目において示した。

(1) 電磁放射

ワイヤレス給電は電力伝送に電磁波を使うため、使用に当たっては電波法等の規制を受ける。電波法上、電波は0Hz以上3THzまでの電磁波を指すが、わが国の電波防護指針において管理される電波は10kHz以上300GHzまでである。ワイヤレス給電はワイヤの制約から解放されるメリットの反面、空間に放出される電磁界のエネルギーによる電磁環境が他のシステムに影響を及ぼす可能性が存在するため、電磁両立性(EMC: Electromagnetic Compatibility)の確立が課題である。EMCは狭義には無線通信や電子機器への干渉の問題であるが、広義には人体への影響(生体EMC)の問題も含まれる。図24に示すように電磁波の生体への影響は、電離放射線は遺伝子レベルで大きな損傷を与えるが、可視光線から紫外線の領域では光化学作用、可視光線の長波長領域から赤外線、電波領域では刺激作用と熱作用である。

電磁界利用において、生体EMCは重要な問題である。電磁界の生体安全性については、人体曝露に関する防護指針を満たすように、世界各国で法制化されている。電磁放射に対する人体防護はわが国では総務省の電波防護指針にも示されているが、一般的にはWHOが推奨する国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)のガイドラインに従い、使用周波数ごとのガイドライン数値以下にする必要がある。

電磁放射による電磁干渉については、電波法上、ワイヤレス給電システムは高周波利用設備として、電波法第100条2項と電波法施行規則第45条3項により、10kHz以上の高周波電流を利用して出力が50Wを超えるものは各地の総合通信局に設置許可申請を提出して許可を受ける必要がある。申請に当たっては無線設備65条2項に規定されている使

11) 春山かおる：ワイヤレス電力伝送,映像情報メディア学会誌、Vol.65,No.2,pp.142-146 (2011)



図24 電磁波による生体への影響

用周波数450kHz以下の輻射電界強度が、100m電界規制値で1mV/m以下、かつ高周波出力が500W以下の場合は30m電界規制値が1mV/m以下、500W以上の場合は30m電界規制値が1mV/mを超えない範囲で $\sqrt{(P/500)}$ (Pは装置の出力W) を乗じた値以下の数値を満足している必要があることは衆知である。しかし、これをクリアするのは開発、製造にあたってかなりの努力が必要である。

(2) 誘導加熱

ワイヤレス給電システムは、前記のように1次コイルから空間に放出される電磁界エネルギーによる

電磁環境が他のシステムに影響を及ぼす可能性があるため、2次コイルが無い状態では1次コイルに通電しないようなインターフェイスを付けている。何らかの通信手段で1次コイルが直上にある2次コイルを認識、ハンドシェイクが成立してから電力伝送を始めると、コイル間に渦電流を生じやすい形状の金属を入れても、それを検知するのはかなり難しく、そのまま電力伝送を続けると、図25のように、10kW出力のワイヤレス給電システムでは、コイル間に置いたステンレス製の金属タワシが1分間で200℃、8分間で375℃まで上昇してしまう。そこで何らかの有効な異物検知(FOD: Foreign Object Detection) システムの搭載が必要となる¹²⁾。

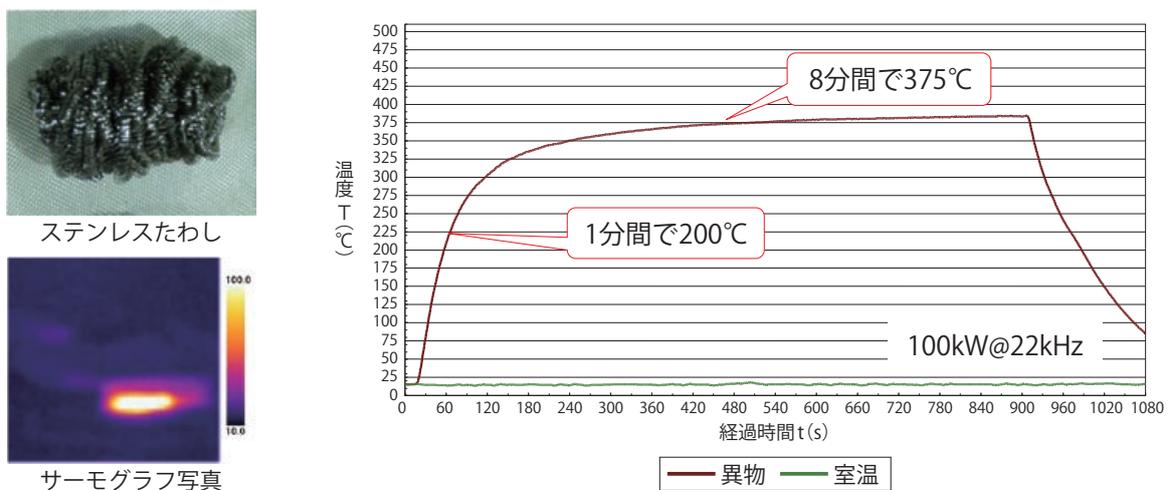


図25 異物による誘導加熱実験結果

12) 高橋俊輔:自動車分野におけるワイヤレス電力伝送技術とEMC,電子情報通信学会,第25回EMCワークショップ論文集,pp.67-107.2013

EV用のワイヤレス給電システムにおいて、2013年にQualcomm Halo社が異物検知機能の付いたシステムを発表している。図26のように1次コイル表面にループになるようメッシュを切ったアレイ板を貼り、そのループに微弱な電流を流しておき、金属がコイル上にある場合での電流の変化を検知して送電モジュールの動作を停止するようにしている。図に示すようにコインのような小さな金属も検知、ドライバーのスマホに知らせることができる¹³⁾。FODシステムとしては他にカメラや感熱センサ、静電容量センサ、マルチコイルなどが検討されている。

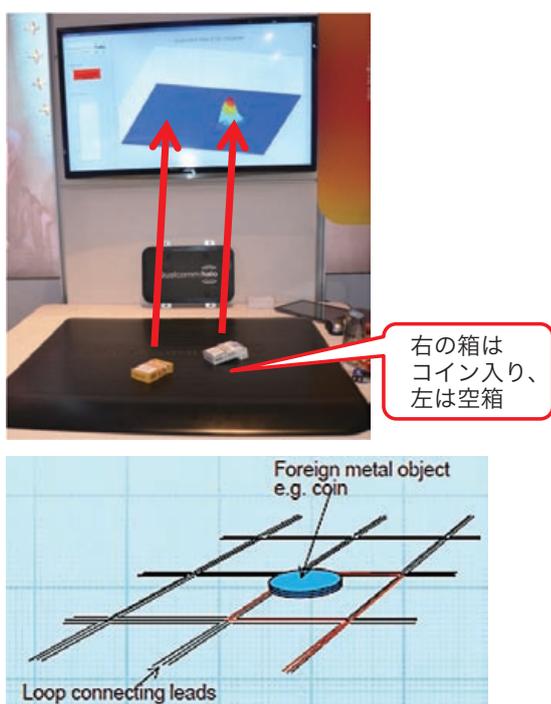


図26 Qualcomm Halo社の異物検知システム

5. おわりに

ワイヤレス給電システムは各社がいろいろな方式での開発を進め、安全で簡単、手間いらずの利点が認められ、既に多くの分野で実際に使われている。これらが更に普及していくためには、国際標準化や電磁放射の規格化が必要で、EVやモバイル機器ではIECやITU-Rの場で検討が進められていて、数年内には纏まる見込みである。

また、ワイヤレス給電技術だけでなくFODなど周辺技術での開発も進められていて、そう遠くない時期にワイヤレス給電技術を使ったユビキタス社会が実現するのではないかと考えている。

profile

高橋 俊輔 (たかはし しゅんすけ)

- 1972年 早稲田大学大学院 理工学研究科卒
- 1972年 三井造船株式会社入社 LNG船などの機関部基本設計、水中ロボット開発、各種メカトロシステム営業に従事、2003年退職
- 2003年 昭和飛行機工業株式会社入社 EV、ワイヤレス給電の開発に従事、2013年退職
- 2003年 早稲田大学 環境総合研究センター参与兼客員上級研究員 電動バス、ワイヤレス給電の研究開発に従事、現在に至る
- 2014年 京都大学 生存圏研究所研究員 ワイヤレス給電の研究に従事、現在に至る



13) http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1103R_R10C13A1000000/