

第4節 自動車用ワイヤレス給電における EMC の課題と対策

はじめに

近年、地球温暖化や PM2.5 に代表される大気汚染および化石燃料枯渇の問題に対処すべく自動車メーカーからは従来の内燃機関に代わるクリーンな電気自動車（EV）や電動バス（e-Bus）、プラグインハイブリッド自動車（PHV）が発売されているが、本格的な普及には未だ至っていない。

EV の普及には充電システムの普及が不可欠であるが、現在広く使われている接触式給電システムには幾つかの課題があり、それを解決する手段として大電力を安全、容易に充電できる各種ワイヤレス給電システムの開発が進んでいる。しかしながら、ワイヤレス給電システムにも幾つか課題はあり、その中でも電磁波を使用するので、その電磁波の放射による EMC（Electromagnetic Compatibility：電磁両立性）の抑制が必要とされている。

本節では自動車用のワイヤレス給電システムの開発の現状と、その EMC の課題と対策について述べる。

1. ワイヤレス給電の原理と事例

図1にワイヤレス給電の各方式における伝送電力と伝送距離を示す。EV および e-Bus が必要とする伝送電力（出力）3～200 kW、コイル間の伝送距離（ギャップ）5～40 cm の点から、実際の EV や e-Bus 用に使用されているワイヤレス給電方式は磁界結合方式である①電磁誘導式、②磁界共振式の2方式である。

その他にも京都大学や三菱重工業によるマイクロ波を使った電波式および豊橋技術科学大学による電界結合式を使った EV 用ワイヤレス給電の事例があるが、効率や出力、安全性などで未だ開発段階である¹⁻³⁾。

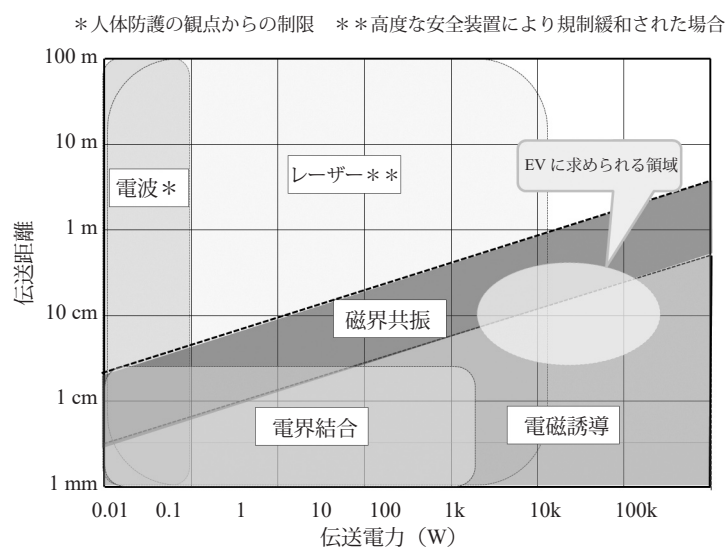


図1 各方式の伝送電力と伝送距離

1.1 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というファラデーの電磁誘導法則を見出した。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が生じるという現象に基づき、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2に示すようにギャップのある変圧器である。

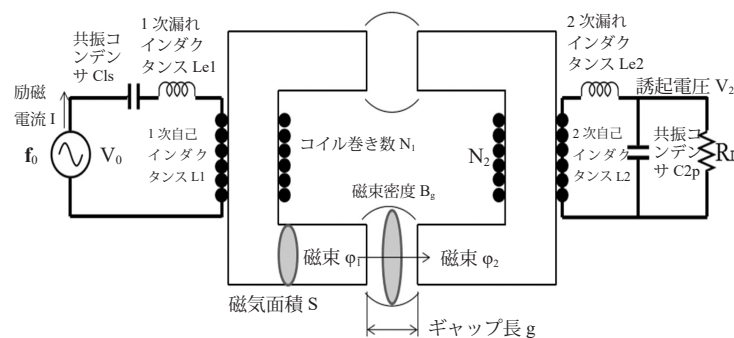


図2 電磁誘導方式の基本原理

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、非接触化のためギャップがある場合には漏れ磁束が発生、 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として、チョークコイルと等価な働きをする。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言える。そこで、電力を効率よく伝達するために、1次側の周波数を数10 kHz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。しかしながら、電磁誘導式は結合係数に大きく依存しているため、 k が0.01以下になるような、極端に大きなギャップでは電磁波漏洩が大きく、電力伝送ができなくなる。

電磁誘導式のEV用ワイヤレス給電システムとして最初に挙げられるものは1980年代に米国で行われたPATH (Partners for Advanced Transit and Highway) プロジェクトで、道路に埋め込んだケーブルを通る高周波電流による電磁誘導で走行中のミニバスに給電するシステムであるが、実験は成功したものの漏れ磁束が大きく実用には至らなかった。

1995年フランスのTulip (Transport Urbain, Libre, Individuel et Public) 計画において、PSA社が発案したワイヤレス給電システム付きのEVを用いた実証試験が実施された。図3に示すように地上に設置した送電コイル上にEVが乗り、車両底部の受電コイルとの間で給電すると共に、通信システムで充電制御を行うという、現在のものと殆ど変わらないワイヤレス給電システムが採用されたが、出力が小さく電磁漏洩が酷かった⁴⁾。

1997年フランスのCGEA社およびルノー社がパリ郊外Saint Quentin en Yvelines市で実験を行ったPraxiteleシステムは床下につけた低周波トランスによるワイヤレス充電で、電磁放射は少なくなったが、効率が悪く車両の位置決めが難しいという課題が克服できなかった。

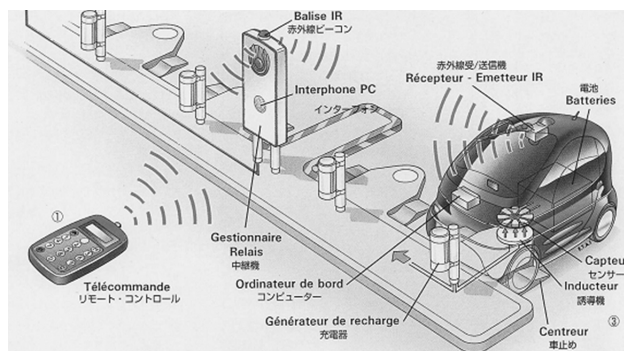


図3 Tulip計画でのワイヤレス給電システム

その後も普通乗用車用のものはいろいろ開発が進められたが、車体サイズの制限でコイルをあまり大きくすることができず位置ずれに対する許容範囲が狭く、伝送距離の問題もあり、製品化に至ったものは2013年に米国Evatran社がBosch ASS社と組んで米国で日産リーフやChevrolet Volt, Tesla Model S, BMW i3を対象にした出力3.3 kW、周波数19.5 kHzのPlugless L2 Electric Vehicle Charging Systemを3000 US\$という安さで発売、Bosch ASSが車両搭載の作業を行っているものだけで⁵⁾、多くは後述する磁界共振式になっている。

最初に製品化されたものはドイツWampfler社（現在はConductix-Wampfler社）の30 kWの大電力用Inductive Power Transfer (IPT)で、欧州では2002年からイタリアのTurin市などのe-Bus用として数十台が採用され、日本でも日野自動車のIPTハイブリッドバスや早稲田大学のe-Bus (WEB-1)などに採用された。

IPTをベースに昭和飛行機工業がInductive Power Supply (IPS)の30kW型と50kW型を開発し、2004年以降、早稲田

大学が7 m 長の小型バスを電動化した WEB-3 に 30 kW, 22 kHz の IPS を搭載して図 4 のように長野市で長期にわたる実証運行を行った。また、国土交通省や東京都も 2008 年以降、12 m 長の路線バスに 50 kW 型の IPS を搭載して羽田空港、東京ビッグサイトや東京駅で実証運行を行った。

海外では、2014 年から英国 Milton Keynes 市は 24 km の路線の全てのディーゼルバスを 8 台の 9m 長 e-Bus に置き換え、Wampller 社の関連会社である IPT Technology 社の 120 kW, 20 kHz の IPT を搭載して運用を続けている。また、図 5 に示すように London 市は 2016 年から 100 kW の IPT を用いて郊外の 11 km の路線で 12 m 長の 2 階建て PHV バスに給電して運用を行っている。

Bombardier 社は 200 kW, 20 kHz のワイヤレス給電システムを 12 m 長のバスと 18 m 長の接続バスに搭載して、2013 年以降ドイツの Braunschweig 市や Berlin 市, Mannheim 市, ベルギーの Bruges 市で実運用を続けている。



図 4 ワイヤレス給電地上コイルと WEB-3



図 5 ワイヤレス給電地上コイルと 2 階建て PHV バス

1.2 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 60 W の電力を送ることに成功したことで注目を浴びるようになった。図 6 に MIT が発表したシステムの概要を示すが、これは、先ず変圧器とインピーダンス変換器の役目をする送電側の 1 ターンループコイルから密な電磁結合により送電側のヘリカルコイルに電力伝送をする。送電側と受電側のヘリカルコイルの性能係数 Q を高い値にして、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気共鳴の技術を活用している。受電側は送電側と同じコイル構成となっている。

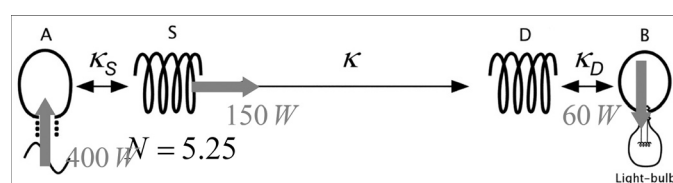


図 6 MIT が発表したシステムの概要

当初のコイル構成は上記のように送受電とも 2 コイル構造で、周波数も数 MHz と高かったが、現在使われているシステムではコイル構成は電磁誘導式と同じ 1 コイル構造であり、電源もインバータを使い周波数も kHz オーダーとなっている。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、送電側と受電側のコイルが殆ど鎖交していない k が 0.01 以下となるようギャップ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。そのためコイルサイズ、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鳴が起こらず電力伝送ができなくなる。そこで、今では磁界共振式は電磁誘導式の 1 種であって、その特別な条件の下で成立するシステムであると考えられている。

現在、開発中の普通乗用車用のものとしては、国内では 2014 年頃まで日産自動車やトヨタ自動車、三菱自動車、本

田技研工業が 2 kW ～ 3.3 kW, 85 kHz の磁界共振式のを自社の EV や PHV に搭載して発表, 展示したり, 各地で実証試験を盛んに行っていたが, 最近では殆ど発表が見られなくなっている。

海外では MIT が開発した磁界共振式ワイヤレス給電技術の商業化を目的に 2007 年に設立された米国 WiTricity 社は Delphi 社やトヨタ, IHI, TDK など多くの会社と技術提携し, 各社が製品化を目指している。2016 年 10 月のパリモーターショーでドイツ Daimler 社がコンセプトカー Generation EQ と Mercedes-Benz の PHV S550e に Qualcomm / Brusa 製の磁界共振型 3.6 kW, 85 kHz のコイルを搭載し, また Volkswagen 社も受電コイルを EV 向け新プラットフォームの前軸のすぐ後ろに搭載するコンセプトを発表している。自動車メーカーだけでなく自動車メーカーに直接部品を供給する 1 次請けの Bosch 社は 2017 年 7 月に, Volkswagen 社の EV 向け新プラットフォームと同じように BMW 社の i3 の前軸の直ぐ後ろの丸印の所に 7 kW, 85 kHz の受電コイルを搭載して発表した (図 7) ⁶⁾。受電コイルは標準化ステージで討議されている ISO D-PAS 19363:2016 の Annex C MF-WPT2 に非常に良く似ていて, 2018 年には Mercedes-Benz の S クラスのような高級車にオプションとして搭載される見込みである。

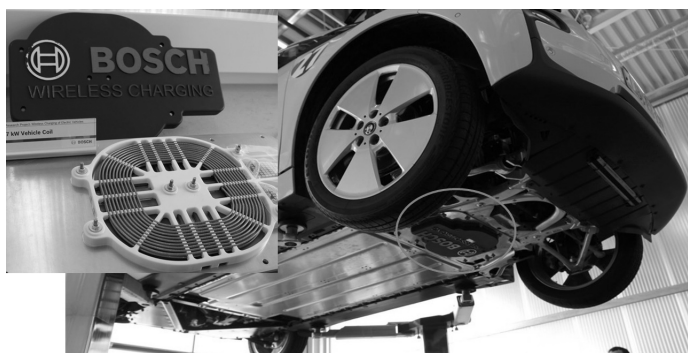


図 7 BMW i3 に搭載された Bosch 社の受電コイル

高周波で大電力を扱える半導体デバイスの普及により, EV だけでなく e-Bus にも磁界共振式の 85kHz ワイヤレス給電システムを搭載する動きが進んでいる。日本では 2015 年～ 2017 年に東芝が環境省の委託を受けて早稲田大学とともに WEB-3Adv. に 22kW のソレノイド型コイル 2 基を搭載して運用試験を行った。中国でも通信機器大手の ZTE 社が 2015 年から大ギャップの 120 kW のワイヤレス給電システムを 9 m から 12 m の e-Bus に搭載し, 道路上などで充電し, 1 充電で鄭州市では 44 km, 襄陽市では 23 km の長距離運用を行っている。図 8 は鄭州市の周回路線の終発着バス停留所の直ぐ横にあるバス運用会社鄭州公交の広い営業所内に 10 基設置された, 60 kW2 基 120 kW の地上コイルと充電中のバスである。



図 8 ZTE のワイヤレス給電コイルと電動バス

2. EV 用ワイヤレス給電システムの国際標準化

非常にグローバルな普通乗用型 EV へのワイヤレス給電には地上コイルと車載コイル間の相互互換性 (Interoperability) が求められ, 規格化が進められている。日本では 2009 年に設立されたブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF) や総務省が, また米国では自動車技術者協会 (SAE) が SAEJ2954 として規格化作業を進めているが, 国際的には, 国際電気標準会議 (IEC) と国際無線障害特別委員会 (CISPR) が連携して日米欧を中心に IEC61980 として以下を含めた規格化作業が進められている。

2.1 コイル形状

EV 用として開発, 使用されてきたコイルの形状として, 主なものは以下の 3 タイプである。

(1) 円形

円形コイルの概念図を図9に示す。一番外側の円盤が構造材兼電磁遮蔽用のアルミニウム板、真ん中が磁束収束用のフェライトコア、一番小さな中空円がコイルである。フェライトによりコア背面に磁束が存在せず結合係数が高められることと全体のコイル厚みを薄くできるというメリットがある。その反面、正対時には1次コイルからの磁束は2次コイルに同方向から鎖交して電力伝送ができるが、2次コイルの位置ずれが1次コイルの半径分を超えると1次／2次コイルを鎖交する方向が逆になって磁束の総和がゼロになるため電力伝送ができなくなる。そのため位置ずれ許容度を大きくするためにはコイル径を大きくする必要がある。

なお、円形コイルと言っているが、実際には磁束通過面積を広げるために角丸の四角形形状をさせることが多い。

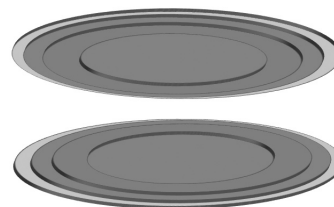


図9 円形コイル

(2) ソレノイド型

図10にソレノイド型コイルの構造を示す。フェライトコアの周りにコイルを巻く、一般にはトランス巻きと呼ばれるもので、1次／2次コイル間の電力伝送距離が同じならば、円形コイルに比べコア面積は約1/2と小型化できるが、コアの両側にコイルが巻かれるのでコイル厚みは厚くなる。また位置ずれに対してもコイルの軸方向の磁束変化が少なく結合係数の変化が小さいため、位置ずれ許容範囲が大きくなる。ただ、その方向の磁束が大きいため、漏洩磁束が大きくなる。



図10 ソレノイド型コイル

(3) DD／DD-Q型

図11に示すように、ニュージーランド Auckland 大学の Dr. John Boys が発明したコイルでD型をしたコイルが背中合わせに並ぶDD型(1次コイル)と、DD型の上にQ字のように置かれるDD-Q型(2次コイル)コイル構造のものである。Qualcomm Halo 社が標準コイルとして提唱しているもので、円形コイルに比べ位置ずれによる電力伝送効率の低下が少なく位置ずれ許容範囲が広いという特徴がある。

現在、国際標準化ステージでは円形コイルとDD／DD-Q型コイルがEV用コイルの標準仕様としてリファレンスコイルに取り上げられて検討されている。図12と図13にその形状例を示す。図7のBosch社のコイルは図12のコイルに酷似している⁷⁾。

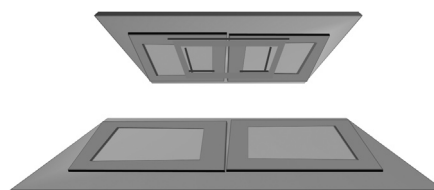


図11 DD/DD-Q型コイル

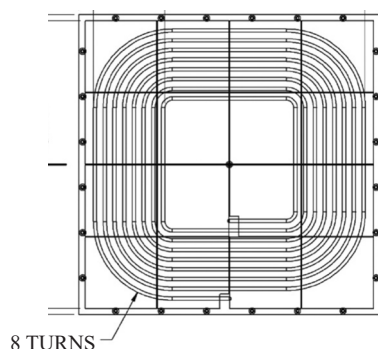


図12 実際の円形コイル例

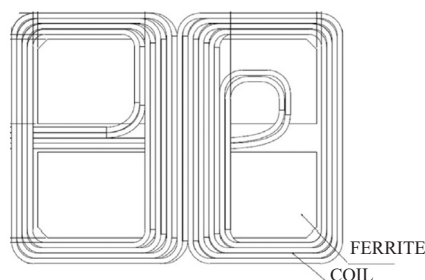


図13 実際のDD形コイル例

2.2 コイル間伝送距離

磁界共振式は伝送距離も共振の制約条件であるため、1次／2次コイル間のクロスリファレンスを取るうえで、それも規格化が必要である。現在の標準化のステージでは

- ① Z1 : 100 ～ 150 mm
- ② Z2 : 140 ～ 210 mm
- ③ Z3 : 170 ～ 250 mm

の3グループのカテゴリーが決められている⁷⁾。

2.3 周波数

ワイヤレス給電は電力伝送に電磁波を使うため、使用に当たっては各国の電波法等の規制を受ける。米国では、製品化に対して連邦通信委員会（FCC）の認証が必要で、電力伝送と同じ周波数の通信機能を有する場合は、通信機器として Part15 などが適用されるが、通常の電力伝送機能のみの場合は Part18 が適用される。欧州では自己宣言による製品化が可能であるが、関連する欧州規格を遵守することが基本である。

日本での従来法令ではワイヤレス給電システムは高周波利用設備と解釈され、他の機器への妨害を与えることが予想されるため、個別に設置許可が必要であった。そこでワイヤレス給電を対象にした明確な規制やカテゴリーを決めるため、2013年6月から総務省の電波利用環境委員会にて作業班が立ち上がり、利用可能な周波数と発生する電磁波の許容値などに対する制度化が検討され、2016年3月に省令が改正された。この省令の中で、世界に先駆けEV用ワイヤレス給電システムの型式の指定が行われる設備の条件として、電力伝送方式は磁界結合方式（電磁誘導式、磁界共振式）、伝送電力は3kW程度（最大7.7kW）、コイル間距離は0～30cm程度で、周波数は79kHz～90kHzに相当するシステムとしている。

国際電気通信連合（ITU）の下で国際的な周波数利用に関する勧告を行う機関であるITU-Rにおいて、2014年6月にワイヤレス給電の使用周波数に関する報告があり、2019年中の勧告に向けた検討が進められている。周波数は85kHz帯になる見込みである。しかしながら図14に示すように日本で制度化された許容値とCISPRによるB/663/CDの値とは差があるが、ワイヤレス給電システムから10m離れた位置での不要放射強度や屋内伝搬損などを加味することで共用化は可能と見られている。ただ欧州での中波の公共放送（EBU）が要求するラジオアンテナ端での不要放射強度レベルとの差は40dB以上あり、現在EBUとの共存に向けて調整が行われている⁸⁾。e-Bus等の大出力ワイヤレス給電としては25kHz帯が挙げられているが、まだ検討は始まっていない。

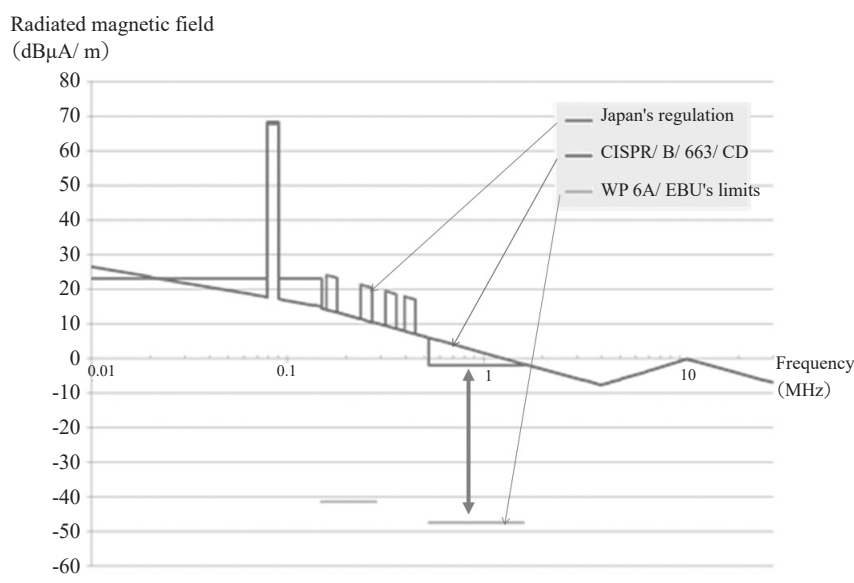


図 14 EV 用 WPT に関する放射妨害波許容値の比較

3. EV用ワイヤレス給電の課題と対策

3.1 電磁放射

ワイヤレス給電はエネルギー供給のために必要な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、EMC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。また高周波電源のスイッチング電源から商用電源側への高調波電流成分流出防止の課題もある。

3.1.1 電磁干渉

電磁放射による電磁干渉について、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、ワイヤレス給電システムから30mあるいは100m離して電界値を計測できる電波無響室はなく、一般の野外の敷地境界内で計測を行うと周囲環境からの電界によるバックグラウンドノイズが乗り、正確に計測することが難しい。そこで電波無響室内にて10mの距離で電磁界測定を行い、それを30mと100m電界規制値に換算することで結果を得ている。その換算は以下の式である。計測地点の距離をD1、換算したい距離をDとした場合、D1、Dが $300/2\pi f$ （fは使用周波数でMHzとすると単位はm）以下の場合近傍域、超える場合を遠方域と定義し、またEを電界強度の換算値（dBμV/m）、E1を換算前の電界強度（dBμV/m）とすると

① D1、D共に近傍域の場合は

$$E=E1+20\log((D1/D)^3)$$

② D1、D共に遠方域の場合は

$$E=E1+20\log(D1/D)$$

③ D1が近傍域、Dが遠方域の場合は

$$E=E1+20\log((D1^3/D)(2\pi f/300)^2)$$

④ D1が遠方域、Dが近傍域の場合は

$$E=E1+20\log((D1/D^3)(300/2\pi f)^2)$$

である⁹⁾。

しかしながら1台ごとに申請をしていたのでは普及の足かせになってしまうため、前記のように世界に先駆け2016年に現状の高周波利用設備の型式指定の一部を改正する告示が出され、家電機器用ワイヤレス給電システムとともにEV用ワイヤレス給電システムにも型式指定の道が開かれたことは画期的なことである。施行規則第46条第1項により型式指定を受けようとする場合の主な申請項目は高周波出力、利用周波数、最大伝送距離、最大水平位置移動可能距離、電源端子における妨害波電圧の準尖頭値および平均値、高周波発生装置から10mにおける磁界強度または電界強度、電波強度が人体に危害または物件に損傷を与えることがないように措置した内容、図面と写真（外観、構造、接続図）、漏えい電波の抑圧及び安全対策について設計上特に考慮を払った事項と試験成績表などである。7kWを超えるe-Bus用などは1台ごとの申請が必要である。

3.1.2 生体への影響

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。

海外では 100 kW を超える大出力ワイヤレス給電式の e-Bus が数多く運用されているが、これらも個別に申請しているものと思われる。Milton Keynes 市で運用している e-Bus の 120 kW ワイヤレス給電システムは充電時に懸架装置を使って車両側の受電コイルを図 15 のように送電コイルの上に降ろすシステムを採用している。Bombardier 社の 200 kW ワイヤレス給電システムも受電コイルを昇降させる方式を採用している。これには、①高価な懸架装置を車両台数分用意する、②コイルの昇降のため電池のエネルギーを消費する、③コイルの昇降時間分だけ充電時間が短くなる、④機械的な懸架装置のメンテナンス費用が掛かるなどの課題があるが、ギャップが小さくなることで k 値が大きくなり、漏れ磁束の減少で空中への電磁放射が少なくなり EMC 的には楽になるというメリットがある。

150 kW、22 kHz のコイルのギャップを 90 mm にした状態で X 方向に 50 mm 位置ずれさせた時のコイル周りの漏洩磁界の距離的影響を図 16 に示す。ずれている X 方向が大きな値になり、コイル直近では 350 μ T と ICNIRP2010 の 27 μ T の 13 倍にもなる。また位置ズレを 0 にした状態でギャップを 110 mm にした場合の 0.5 m 離れた場所の漏洩磁界を表 1 に示すが、数値が大きくなる¹⁰⁾。



図 15 IPT Technology のワイヤレス給電システム

表 1 0.5 m 地点でのギャップ変化に対する漏洩磁界

ギャップ		90 mm	110 mm
出力		150 kW	120 kW (*)
方向	X	12.6 μ T	15.2 μ T
	+Y	11.2 μ T	13.7 μ T
	-Y	13.7 μ T	14.4 μ T
	Z	5.85 μ T	6.92 μ T
(*) 110 mm では 120 kW しか出力できなかった			

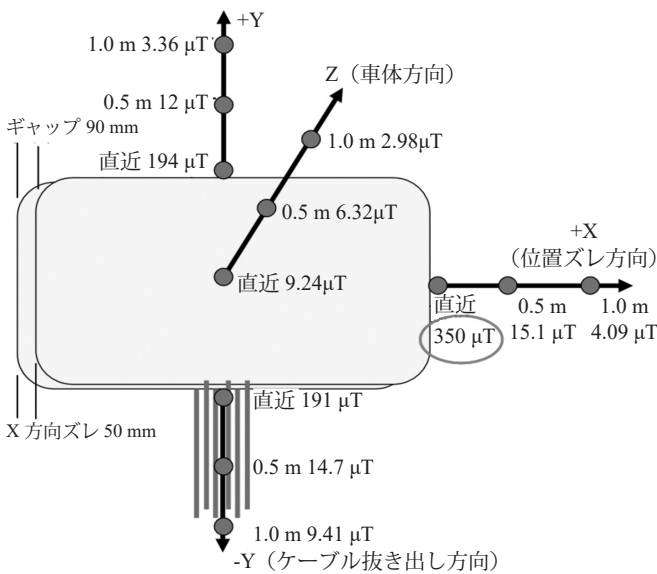


図 16 150 kW システムの漏洩磁界の距離的影響

大型車両用のワイヤレス給電の出力とギャップ、2 次コイル面積の関係を調査した結果を図 17 に示す。出力が大きくなるとコイル面積が大きくなることは勿論のこと、コイル間ギャップが 30 ～ 50 mm のものに対し同じ出力でギャップが 80 ～ 130 mm になるとコイル面積が約 2 倍になり、150 ～ 200 mm になると約 3 倍と大きくなり、搭載性が悪くなるとともにコストも大きく掛かる。さらに磁界発生源が大きいほど距離が離れても人体に及ぼす影響が強い、すなわち 1 m 径のコイルから 0.5 m 離れた地点での雑音振幅が 0.31 mV の場合、コイル径が 2 m になると 2.3 倍の 0.71 mV となるという研究結果¹¹⁾もあり、大出力ではあまり大きなギャップを取るのには漏洩磁界の点で不利になる。

2 次コイル昇降型でギャップが 5 cm の 12 m 長の東京都向け PHEV バスの床下に 50 kW、22 kHz の円形コイルを搭載し、充電時のバス車内外での磁界測定をした結果を図 18 示す。磁界の最大値は車外のコイル真横の地上 6 cm の高さにおいて 1.324 μ T となり、1998 年の ICNIRP のガイドライン値 6.25 μ T よりも十分小さい値であった⁹⁾。また 7 m 長の小型 e-Bus に周波数 85 kHz、44 kW 出力の電磁放射が大きいと言われるソレノイド型コイルを固定搭載し、ギャップ 10.5 cm における充電時のバス車内での磁束密度を測定した結果、磁束方向にある座席でその値が高かったが、最大値は約 1.1 μ T と十分に小さいものであった¹²⁾。このことから電磁放射対策を十分に採用したワイヤレス給電システムならば正対防護は十分にできると言える。

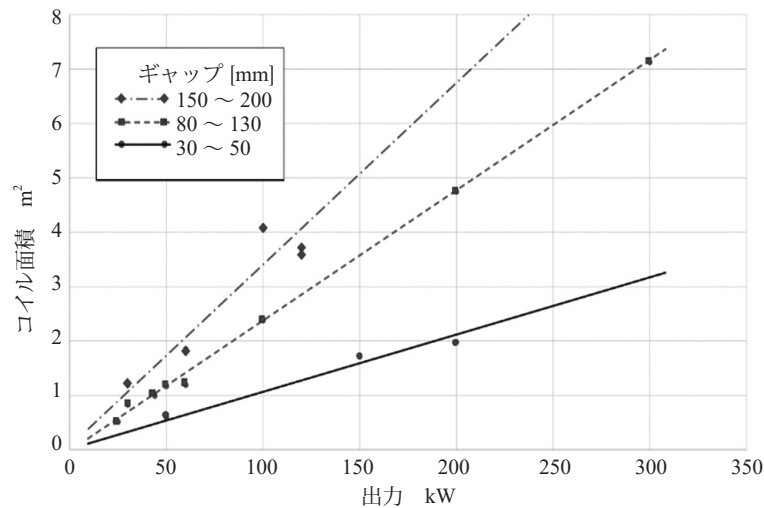


図 17 出力とコイル面積およびコイル間ギャップの関係

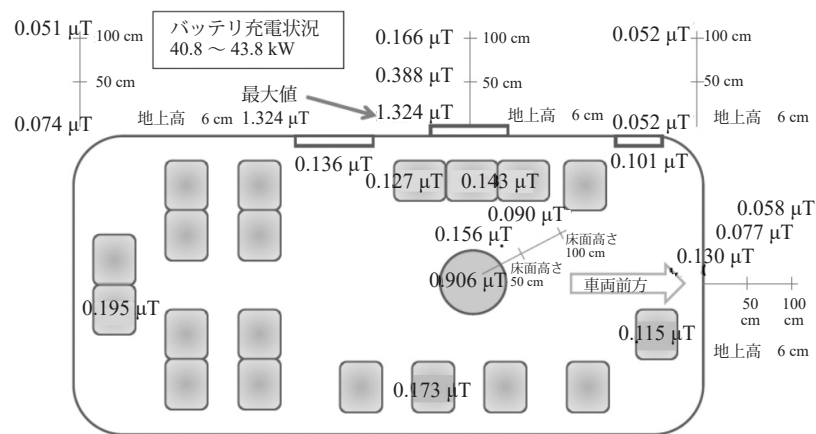


図 18 12 m 長電動バスでの磁界計測結果

3.1.3 高周波電流規制

一般的なワイヤレス給電システムの高周波電源装置は商用周波数から電磁誘導に必要な高周波を発生させるシステムで、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から構成される。この AC/ DC コンバータは電源の力率（power factor）を 1 に近づける力率改善回路、すなわち PFC（power factor correction）回路付きのものが多い。

PFC 回路が必要な理由は IEC で策定された 61000-3-2 という規格名の高調波電流規制が存在するからである。この規制は、電子機器に搭載されたスイッチング電源で発生する高調波電流をある制限値以下に抑えることを求めるものである。スイッチング電源の回路構成上、何の工夫もしないと入力基本周波数の 2 倍、3 倍、4 倍、5 倍、6 倍という高調波電流成分が発生してしまう。これが商用電源側に大量に流出すると、電力の送配電設備（進相コンデンサなど）を損傷させるなどの問題が発生する。この問題を未然に防ぐために策定されたのが高調波電流規制値で、この規制値を守らなければ製品を市場に投入できない。世界各国は、この規格を国内法に反映させて運用している。日本国内での規制値は IEC 61000-3-2 と整合している。

力率は交流電力の電圧と電流の位相差を φ とすると、 $\text{力率} = \cos\varphi$ で求められる。つまり、電圧と電流の波形がいずれも正弦波の時は理想状態で 1 となる。電流の波形が歪めば歪むほど 1 から遠ざかる。したがって、力率を 1 に近づけることは、高調波電流を低く抑えることと同義である。

3.1.4 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。しかしながら、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19のように、10kW出力のワイヤレス給電システムでは金属タワシが1分間で200°C、8分間で375°C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⁹⁾。

EV用のワイヤレス給電システムにおいても、2013 International CESで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20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⁾。

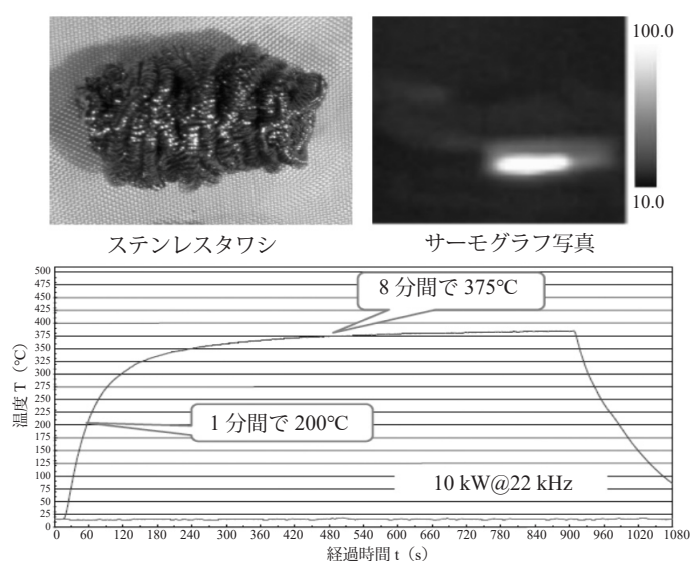


図19 異物による誘導加熱実験結果

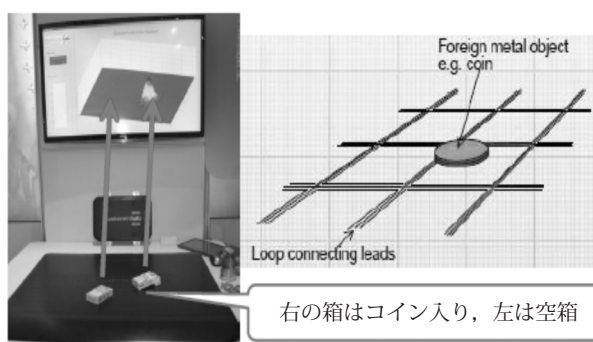


図20 Qualcomm Halo社の異物検知システム

おわりに

EV用のものの開発は各国で進められ、殆ど完成の域に入っていて、IEC / ISOを中心に進められている国際標準化や電磁放射の規格化がまとまれば製品化されEVに搭載、EVの普及に大きく寄与するものと思われるが、一方、e-Bus用ワイヤレス給電システムは既に実用の域に入ってきている。

その開発過程で電磁放射に関する課題が出てきているが、各種検討がなされ少しずつ対策が取られている。これによりEVおよびe-Busの普及が進み、地球温暖化や大気汚染の改善に大きく寄与すると考えている。

文 献

- 1) 篠原真毅, 兒島淳一郎, 三谷友彦, 橋本隆志, 岸則政, 藤田晋, 三田村健, 外村博史, 西川省吾: マイクロ波送電を用いた電気自動車充電システムの評価研究 II, 電子情報通信学会, 信学技報 SPS2006-18, pp.21-24(2007)
- 2) 三菱重工業, 電気自動車普及のための無線充電システムの研究, JARI ITS セミナー, NU121111, pp. A1-A35 (2010)
- 3) 豊橋技科大, 大成建と走行中に道路から給電できる超小型 EV の走行システム実証, 2015 年 11 月 27 日付日刊工業新聞 (2015)
- 4) 高木啓: NCV21 21 世紀は超小型車の時代, カースタイリング別冊 Vol.139 1/2, p99-105(2000)
- 5) BOSCH-EvaTran Press release, June 24, 2013
- 6) http://response.jp/article/2017/07/06/297072.html?gp=1_email_20170706 (2018 年 7 月 12 日アクセス)
- 7) ISO D-PAS 19363:2016 Annex C MF-WPT2
- 8) 庄木祐樹: ITU-R/APT における WPT システムの国際標準化の状況, BWF 平成 29 年度 WPT セミナー 2017/12/13
- 9) 高橋俊輔: 自動車の無線電力伝送技術と EMC, 科学情報出版, EMC, Vol.27, No.10, p51-65(2015)
- 10) 高橋俊輔: 非接触給電と周囲の電磁環境, 科学情報出版, EMC, Vol.23, No.1, p54-68(2010)
- 11) 豊島健: 植込み型心臓治療デバイスの EMI, 電波利用環境シンポジウム, 2015/06/10
- 12) 平成 28 年度環境省委託事業「EV バス早期普及にむけた充電設備を乗用車と共有するワイヤレス充電バスの実証研究成果報告書」, 東芝 (2017)
- 13) http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1103R_R10C13A1000000/ (2018 年 7 月 13 日アクセス)