



ワイヤレス電力伝送技術を生かす電波環境の標準化動向 —電気自動車用 WPT 充電器の課題—

一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター
CISPR/B/AHG 4 コンビナー 兼 ITU-R/SG 1 リエゾンライター

くぼた ふみと
久保田 文人



1. はじめに

ワイヤレス電力伝送技術 (WPT) の応用が広がっている。WPTは空間を介してエネルギーを届けることを目的とするため、これまで無線通信が常識としてきた「情報を受信側に伝えるのに必要最小限の電力で送信する」という電波利用の原則とは異なる要求がある。そのため、既存の無線通信と共存する電波環境の交通整理 (周波数管理) の方法論が必要になる。それはどのようなものか、本稿では電気自動車 (以下、EV) 用WPTの国際標準化の最新動向から電波環境の課題を考える。

2. EV用WPTの製品規格の標準化動向

EVの開発競争が激化している。欧州・中国等でEVへの積極的な移行政策が打ち出されている。しかしEV普及の成否は、その充電網をいかに整備できるかに依存する。公共インフラだけでは不十分で、一般家庭にも充電器が必要である。最も設置台数が多くなる一般家庭用装置は消費者が操作するため、安全かつ簡単に使える利便性に格別の配慮が必要である。WPTの導入が期待される所以である。車を駐車場に停めると充電が始まり、終われば自動で止まる。ケーブルを引っ張り出し接続、完了後は取外し・片付けと、一連の面倒な操作が不要になり利便性は高い。接点の摩耗もなく、全天候で漏電のリスクもない。これで効率が高く、軽量かつ安価であれば申し分ない。

充電所要時間は例えば次のように想定できる。現行EVの電池容量は20～40kWh、満充電で400km走行可能。満充電までの充電時間は、7.7kWクラス充電器 (MF-WPT 2) では5時間程度必要。しかし、日常的な利用では空っぽまで走行することはない。例えば、平日の男性の運転時間は

中央値1.3時間、平均値1.8時間との調査結果^{*1}があり、これに燃費走行モードJC08の平均車速24.4km/hをかけると、1日の平均走行距離は44kmと推定される。その分の追加充電には4.4kWh必要で所要時間は40分弱となる。自宅と出先で充電する場合はその半分ずつでよい。利用イメージは現実的である。

そこでWPT充電器の国際標準化を進めるため、IEC/TC69 (電気自動車) とISO/TC22 (自動車の互換性・安全) の合同でJPT61980プロジェクト (WPT充電器) が2010年にスタートした。一方、北米の自動車技術会SAE Internationalにおける業界標準J2954 (WPT充電器) の検討も開始された。自動車は陸続きの国境を越えて移動する。従ってEVの充電インフラは特定の国・地域やメーカーで独自方式では困る。理想を言えば様々なタイプの全ての製品に互換性があることが望ましい。しかし技術開発の途上にあり、各社の思惑や特許戦略が絡みコンセンサスに時間を要してきた。一方欧州では、欧州委員会マニフェストM/533が発せられ、国際標準に準拠する欧州の統一標準を2019年末までに制定すべしと期限が指示され、おしりを叩かれている。^{*2}

EV用WPTの製品規格案^{*3}から、技術的なポイントを紹介する。

(1) 送電方式

現在、磁界結合方式 (電磁誘導及び磁界共鳴技術を含む) について標準化を進めている。送電コイルを地面に設置し、受電コイルは車体底面に設置。車体により漏洩磁界をある程度抑え、また人体と隔離を取ることで電磁界ばく露のリスクを抑える。コイル方式の候補としてシンプルな

*1 室内暴露にかかわる生活・行動パターン情報調査-4.1自動車の運転時間、製品評価技術基盤機構 (H29.7改訂): http://www.nite.go.jp/chem/risk/expofactor_index.html

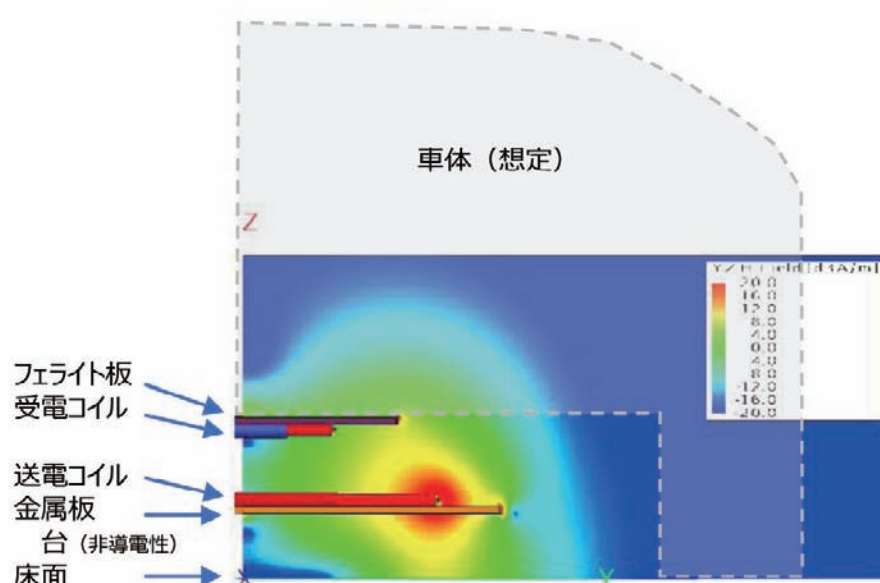
*2 欧州委員会マニフェスト: 特定分野の規格を、全ての利害関係者のコンセンサスに基づいて限られた期間内に欧州標準を開発するというEU加盟国と欧州標準化団体との合意。M/533 (12.3.2015) は下記から入手可: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=552#>

*3 EV用WPT製品規格: IEC 61980-1 (一般条件) は2015年にEdition 1発行済み。61980-2及び61980-3に合わせるための改訂作業中。また、TS61980-2 (制御プロトコル) とTS61980-3 (磁界の詳細要件) は現在、案が投票中。その後2019年末までに改訂しISとする予定



■表. EV用WPT充電器のパワークラス

パワークラス	電力 (送電装置の入力電力)	備 考
MF-WPT 1	3.7 kW以下	PHEV向け等
MF-WPT 2	3.7 kW から7.7 kW	単相200Vの最大電力
MF-WPT 3	7.7 kW から11.1 kW	家庭用3相230Vの最大電力
MF-WPT 4	11.1 kW から22 kW	急速充電向け?
MF-WPT 5	22 kW以上	大型車向け



■図 EV用WPT送受ループの近傍磁界

サーキュラー方式とDDコイル方式が並立して譲らないが、SAEは一足先に、漏洩磁界を小さくできるサーキュラー方式をレファレンスとした。ユーザにとっては、互換性が実現できることが重要である。

(2) 利用周波数

国際的に互換性が必要な一般乗用車用には85kHz帯 (79 ~ 90kHz) が唯一利用可能な周波数と考えられる。車載コイルの軽量化にはできるだけ高い周波数が望ましいが、国際的に保護すべきLORAN (90 ~ 110kHz) や音声放送 (148.5 ~ 1625kHz) などを避けると、この周波数以外には候補がない。コイルサイズが大きくてもよい大型車用は20 ~ 60kHzにて各国で開発例があるが、統一の機運はない。

(3) パワークラス

バッテリー容量、充電所要時間等様々な要求をもとに

5つのクラスが設定された (表参照)。一般車用はWPT 1 ~ WPT 3と想定され、3クラス間では送受の組み合わせが違っても互いに充電可能とすることを目指している。なおグラウンドクリアランス (コイル間の空隙) も重要でZギャップクラスも規定されているが説明は省略する。

(4) 効率

WPT 1 ~ WPT 3では、送受コイルの正対時は85%以上。コイル位置ずれ時は80% (前後±75mm、左右±100mmにて) と規定。

(5) 必須機能

送受間で制御情報の交換、アラインメントのチェック、車体下への混入異物の検出及び過熱・発火等の検知と送電停止、保護ゾーンへの生体の侵入検出等。



(6) EMC要件 (漏洩電磁界)

CISPR 11規格に準拠。ただし、9kHz ~ 150kHzの放射妨害波許容値はCISPR/Bにおいて検討中であるので、制定後に採用する予定。

(7) EMF要件 (人体防護指針)

車体の周囲に保護エリアを定義。コイルの周囲空間は立ち入るべきでない運用エリアとする。評価測定のポイントを規定。指針値・測定法はICNIRP指針及びIEC/TC106の制定する家電機器用ばく露測定法IEC 62233規格を引用。

以上紹介したように、EV用WPT充電器の諸元はかなり絞り込まれてきた。次に、本稿のテーマである電波環境がどのように考えられているか見ていこう。

3. EV用WPTからの漏洩磁界

EV用WPTの周囲磁界のシミュレーション例を図に示す。左端がコイル中心で、左右方向を横から見た断面である。コイル直近では比較的強い磁界が発生するが、離れると急速に減衰する。近傍磁界の強度は距離の3乗にほぼ反比例することがシミュレーションでも測定でも確認されている。

実用の設置環境は、受電コイルの上に点線で示すように車体があり、磁界の上方への広がりを抑えられる。また地表の導電率は小さく、地上波は金属床の電波暗室の場合より遠方へ届きにくい。近傍界では一般に距離の3乗に反比例して減衰する、85kHzは波長3.5km、近傍界と遠方界の境目といわれる $\lambda/2\pi=557\text{m}$ になる。漏洩磁界の影響は局所的である。

4. ITU-RにおけるEV用WPTの利用周波数・管理手法の検討

送電エネルギーが大きいWPTでは漏洩電磁界が周囲の無線システムに影響を与える可能性がある。そのため周波数スペクトルの国際的な分配・管理に責任を持つ国際機関であるITU-Rでは、以前からあったビーム型のWPTに関する研究計画Q.210に、電磁誘導等によるものをノンビーム型と呼んで追加する形で2012年よりSG1にて研究が始まった。各国・標準化機関の情報入力を得て、これま

でレポート (Report SM.2303) を作成し、ノンビーム型WPTの利用周波数についての勧告のベースはできた。しかし一般車EV用WPT (利用周波数85kHz帯) が無線通信に与える影響について、共用可能との評価結果を提出したのは日本だけであること、ITU-Rの他の無線業務委員会 (SG6: 放送業務、SG7: 科学業務) から干渉の可能性についてリエゾンが届き、対応が必要なため85kHz帯は勧告に至っていない。

SG6/WP6AはWPTの高調波がAM音声放送の帯域に落ち込んでも有害な干渉とならないことを求めている。WP6Aの懸念はEBUから提起され、勧告 BS.560及びBS.703に従い、農村 (ルーラル) 地域における放送の保護を要求している。共用できるとする我が国の報告は、勧告P.372の環境雑音レベルのうち、都市におけるレベルを出発点として許容値を決めたもので、EBUとは立脚点が異なり、コンセンサスへの糸口が見えていない。

一方SG7/WP7Aは、隣接する長波の標準周波数報時局の受信 (電波時計等) への影響を懸念している。SG7では受信系の研究を行ってこなかったため、電波時計の選択度も保護比も規定されていない。ITU無線通信規則 (RR) の§3.9及び3.12で受信局の選択度は、送信局がスペクトルを最も効率的に使用し得る最小の周波数帯幅としていることに留意して適切なものとしなければならないと定めている趣旨が反映されていなかったと考えられる。受信特性が明確でないものに対して定量的な基準で保護することは難しい。時計の同期のための1日数回の受信とWPTの送電とが時間的に重ならない運用か、重なる時間率が十分低い条件で共存することが現実的であろう。

周波数の特定も重要であるが、WPTの管理手法に関する研究が進んでいない。WPTをどの種別の機器と分類するかについて決定できていないことが問題解決を遅らせている。WPTをISMの一種^{*4}とする考え方が根強い一方、旧来のISMと同様な取り扱いには抵抗がある。さらに欧州ではSRD^{*5}として無線機器指令の枠組みで扱いたい意向もある。管理手法に関しまとまらないままでは、コンセンサスを待たずに実用化が進む気配である。

2015年に開催した世界無線会議 (WRC-15) において、EV用WPTについて緊急研究を行い、次回のWRC-19に

*4 ISM応用: 産業用、科学用、医療用、家庭用その他の類似の用途のために、無線周波エネルギーを発生させ、限られた場所に利用するもの (ITU無線通信規則 (RR) §1.15及び15.13)

*5 SRD: 近距離無線システム。欧州ではライセンスなしに利用できるが、正規の無線局と違い、干渉から保護されない。



報告するようにとITU-Rに指示が出た。SG 1が他のSGからの意見に答え、EV用WPTの利用周波数を勧告化ができるかどうかWRC-19へ報告すべきポイントである。仮に勧告化できないとなれば、自動車産業界はITU-Rの合意を待たず実用化を進めることになり、追認せざるを得なくなる。ITU-Rの権威は大きく損なわれるであろう。

問題は勧告化するかどうかではない。エネルギーの無線伝送というスペクトルの利用方法をRR上どのように位置付けるべきかという課題である。RRを制定した1947年のアトランティックシティ国際無線通信会議は、電磁波を積極的に放射する意図はないが局所的な漏洩電磁界を発生してしまう無線通信以外の機器を「ISMアプリケーション」として各国が管理すべきことを決定した。いま、WPTという積極的にエネルギーを空間伝送したい需要を前にして、RR上の解釈と管理法を明らかにする必要があり、ITUの真価が問われている。

5. CISPRにおけるEV用WPTのEMC要件

CISPR (国際無線障害特別委員会) は無線通信の保護を目的として設置された機関であるが、現在はIECの傘下にあり、IECの全ての製品規格に共通なEMC要件を規定することもミッションになっており、無線機器を除く電気・電子製品群ごとにEMC要件を規定している。CISPRは磁界結合型のWPTをISM装置と分類すべきとの考え方で早期に合意し、ISM機器のEMC要件を規定するCISPR 11のEdition 6 (2015-06)以降、ISMの定義に「エネルギーの伝送」を、また装置例としてWPTを追記した。CISPR 11はISM装置から漏洩する妨害波を基本波、不要発射の区分をせず規定している。

TC69はEMCの専門家が少ないため、EV用WPTのEMC要件についてCISPR/Bに検討を依頼した。またITU-R/SG 1からも欠けている150kHz以下の周波数範囲の許容値を早期に規定するようリクエストを受けた。そこでCISPR/Bは2013年にタスクフォース(現AHG4)を設置し、製品規格案のパワークラスに対応する放射妨害波許容値及び測定法の検討を進めてきた。AHG 4はCISPR 11で

は規定がない150kHz以下の許容値と型式試験向けの測定法を検討し、これまでに150kHz以下の許容値はほぼコンセンサスが得られた。新許容値はSRDの許容値と我が国のEV用WPTのための許容値を参考に規定したものである。

しかし、低次高調波成分がAM音声放送にかかる周波数範囲については、EBUがITU-Rにおける主張をCISPRに持ち込んだ。一方、産業界から高調波の緩和を求める意見が出されている。さらに、将来WPTが普及し家庭内で多数の機器が使われる場合、重複効果があるのはいいか、許容値はその効果を考慮すべきではないかという問題も提起された。そこで、検討のため規格化を先送りしている。CISPR 11規格の150kHz～18GHzの放射許容値は、1990年代から四半世紀使われてきているが、これまで障害事例の報告もなかった。そのため現行許容値は変える必要はないが、新たなWPTのために異なる許容値を規定すべきかの判断が必要になる。コンビナーとしては多数決ではなくコンセンサスでの解決を模索している。このため、2019年春までに新規格を公刊する予定で進めていたが、少なくとも半年程度遅れる見込みである。

6. おわりに

磁界結合によるWPTが利用する数100kHz以下の長波帯・超長波帯は、かつて電信(固定通信、海上移動通信)、無線航行等に利用されたが、通信需要がより高い周波数へ移行しGPSなどが一般化した現代では、社会的重要性は相当低下したと言わざるを得ない。そこへ出現した新たなエネルギー伝送の需要(WPT)に対して、無線通信コミュニティの反応は歓迎しているように見えない。大電力を非接触で近距離伝送するにはこの周波数帯しかないし、周囲への影響も局所的であり、一方伝搬により距離を克服する無線通信との共存は可能である。未来社会のインフラ構築に必要な技術に対して、地球的観点で電磁環境を見直し、周波数資源の再分配を議論すべき時が来ていると考える。

(2017年10月26日 ITU-R研究会より)