

大型電動車両へのワイヤレス給電の動向と課題 The trend and problem of the wireless power transfer system for large electric vehicle

高橋 俊輔

Shunsuke TAKAHASHI

早稲田大学 電動車両研究所

概要

近年、地球温暖化や大気汚染の問題に対処すべく自動車メーカーから従来の内燃機関に代わるクリーンな電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド自動車（PHEV）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充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安全、容易に充電できるワイヤレス給電（WPT）システムの国際標準化、規格化が進められている。

一方、欧州や中国では既にディーゼルバスに替わって、多くの電気バス（e-Bus）、が導入されている。1 充電走行距離を長くするために大容量のリチウムイオン電池（LiB）を搭載していて、ターミナルでの短い待ち時間に充電をするため大電力の充電システムが使われている。大電力用の重く、大きなコネクタを挿抜する運転手の省力化のため、大電力の WPT システムも開発されているが、まだ規格化などは行われていない。

WPT にも幾つか課題はあるが、その中でも WPT は電磁波を使用するので、その電磁波の放射による電磁両立性(EMC :Electromagnetic Compatibility)対策が必要とされている。本稿では EV および e-Bus における WPT の開発の動向と、大電力 WPT の電磁環境の課題について述べる。



図 WPT 式 2 階建てバスと地上コイル

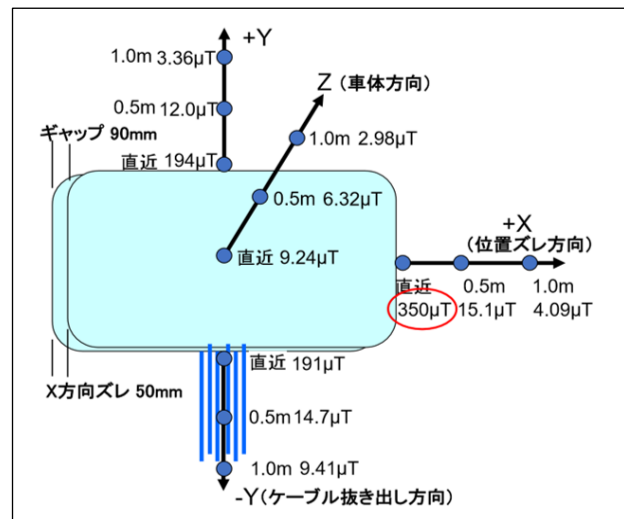


図 150kW システムの漏洩磁界の距離的影響

Abstract

Recently the electric car (EV) as a substitute for the internal combustion engine are released by the car manufacturer in order to deal with a problem of global warming and the air pollution, but do not yet reach the full-scale spread. The spread of charge systems is indispensable for the spread of EV, but there are some problems in the conductive charge system.

The problem of inductive type wireless power transfer system (WPT) is the electromagnetic compatibility (EMC).

1. はじめに

近年、地球温暖化や大気汚染の問題に対処すべく自動車メーカーから内燃機関に代わるクリーンなEVやPHEVが発売されているが、搭載しているリチウムイオン電池(LiB)のエネルギー密度と充電性能が満足できるレベルまで到達できておらず、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充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である安全、容易に充電できるWPTの国際標準化、規格化が進められている状況で、未だ商品化に至っていない。

一方、欧州や中国では既にディーゼルバスに替わって、多くのe-Busが導入され、各地でWPTによる充電が行われている。1 充電走行距離を延ばすために大容量のLiBを搭載していて、ターミナルでの短い待ち時間に充電をするため大電力の充電システムが使われている。大電力用の重く、大きなコネクタを挿抜する運転手の省力化のため、大電力WPTが使用されているが、まだ規格化などは行われていない。

大電力WPTにも課題はあるが、その中でもWPTは電磁波を使用するので、その電磁波の放射による電磁両立性(EMC :Electromagnetic Compatibility)対策が必要とされている。

2. ワイヤレス給電

空間を介して非接触で電力を伝送するWPTには

- (a) 磁界を利用するもの：電磁誘導、磁界共振
- (b) 電界を利用するもの：電界結合
- (c) 電磁波放射を利用するもの：電波、レーザー

に大別され、それらの伝送電力と伝送距離を図1に示す。

大電力のE-Bus用として現状で実用域に達しているものとした磁界結合型と呼ばれる電磁誘導式と磁界共振式である。

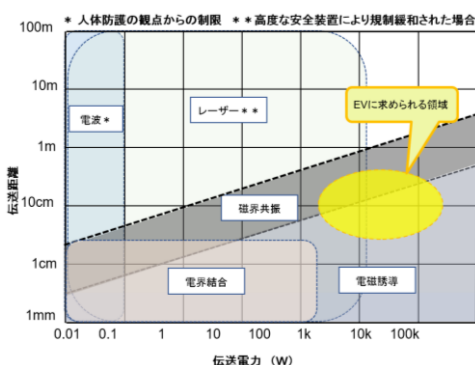


図1 各方式の伝送電力と伝送距離

3. 大電力ワイヤレス給電システム

EV用よりもe-Bus用WPTの方が早く製品化され、公道上で使用された。ドイツのWampfler(現在の

Conductix-Wampfler)が1998年に20kHz、30kWのIPT(Inductive Power Transfer)システムを開発したが、コイル間ギャップが5cm程度であったため、1次コイルを地面に埋設し、その上に車両側の2次コイルを昇降させるシステムであった。ギャップを小さくすることで大出力でも電磁漏洩は少なかった。2002年に30kW型IPTを2台並列に接続した60kWシステムがイタリアのTurin市やGenoa市のEVバス用として数十台が採用された¹⁾。日本でも2004年、早稲田大学のe-Bus WEB-1(Waseda Electric Bus-1)に採用され、短いサイクルでの充電で必要最小限の小さなLiBでも走行距離を確保しつつ、車両重量が軽くなることでの省エネとWell to WheelベースのCO2排出量減少が確認できた²⁾。2008年には国土交通省は30kW型IPTを搭載したIPTハイブリッドバスを開発、羽田空港や洞爺湖サミットで運用試験を行った。

WEB-1の成果をもとに、早稲田大学は昭和飛行機工業らとともに2005年から4年間掛けてIPTと同じ30kW、コイル間ギャップ14cmのIPS



図2 WEB-3と地上コイル

(Inductive Power

Supply)システムを開発、図2のように1次コイルを地面と面一に埋め込み、長野市で2014年までの3年近くWEB-3、WEB-4の2台のWPT付き7m長のe-Busを用いて日本初の有料運用試験を実施した³⁾。更にWEB-3に東芝製44kW、85kHzのWPTシステムを搭載して2015年から2年間、川崎市で実証運行を行った⁴⁾。また、国土交通省や東京都も2011年以降、12m長の路線バスに50kW型のIPSを搭載して東京ビッグサイトや東京駅で実証運行を行った⁵⁾。これらの実証試験の結果、このような低電力ではターミナルでの充電に時間が掛かり過ぎダイヤを確保できないため、ディーゼルバスをe-Busで置き換えるには、少なくとも90kW以上の送電電力が必要と言う結論を得るに至り、実証試験のみで終わっている。

海外では殆どの事例がe-Busに大電力WPTシステムを採用している。2014年から英国Milton Keynes市は8台の9m長のe-BusにConductix-Wampflerの関連会社であるIPT Technologyの120kW、20kHzのIPTを搭載して、24kmの路線のディーゼルバスを全てe-Busに置き換えて運用を続けている。また、1ページ左図に示すようにLondon市は2016年から出力100kWのIPTを用いて郊外の11kmの路線で12m長のPHEV 2階建てバスに給電して運用を行っている⁶⁾。Bombardier社は200kW、20kHzのWPTを12m長のe-Busと18m長の連接

e-Busに搭載して、2013年以降ドイツのBraunschweig市やBerlin市、Mannheim市、それとベルギーのBruges市で実運用を続けている⁷⁾。中国でも通信機器大手のZTEが2015年から大ギャップの120kW、85kHzのWPTを9mから12m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44km、襄陽市では23kmの長距離運用を行っている⁸⁾。図3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、60kW 2台の120kW型地上コイルと充電中のe-Busである。



図3 ZTE の WPT 用地上コイルとバス

米国のMomentum Dynamicsは2017年にメリーランド州Columbia市で50kWのWPT式e-Busで運用を始め、2018年にはワシントン州Wenatchee市で50kW×4台の200kW型WPTを搭載して運用をしている⁹⁾。

4. 大電力用ワイヤレス給電の EMC の課題と対策

(a)標準化と周波数

ローカルな e-Bus ではまだ標準化・規格化が進んでおらず、コイル形状とコイル間ギャップなど何も決まっていなく、出力については 2018 年 3 月に Chicago 市で開催された SAE J2954 の会議で送電電は 60kW から 600kW まで、4 つのカテゴリー

(WPT5 から WPT8 まで) を設けることで合意した。周波数については、この会議において来年末までに出す予定の TIR1 に 20kHz 帯を運用周波数候補と記すことになった。また、ITU-R においても、大電力 EV 用として 20 kHz 帯と 60 kHz 帯が Recommendation 案に追記された。

(b) 生体への影響

WPTは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有るため、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。

電磁波の生体への影響は電離放射線である X 線は遺伝子レベルで大きな損傷を与えるが、非電離放射線である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我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 : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) のガイドラインに従う必要がある

Milton Keynes 市で運用している e-Bus の 120kW 型 WPTは充電時に昇降装置を使って車両側の受電コイルを図4のように送電コイルの上に降ろして数 cm のエアギャップで電力伝送するシステムを採用している。Bombardier 社の 200kW 型 WPT システムも受電コイルを昇降させる方式である。

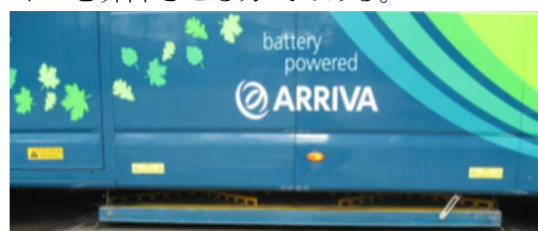


図4 IPT Technology の昇降式 WPT システム

これには機器設置やメンテナンスにコストが掛かるなどの課題があるが、小さなギャップで k 値が大きくなり、同じ電力量を伝送するのにコイルサイズを小さくすることができコストと重量を軽減できる、また、空中への漏れ磁束が減少し EMC 的にも楽になるというメリットがある。

次世代路面電車用に開発をした 22kHz、150kW 出力の送受電コイルのギャップ 90mm で X 方向に 50mm 位置ずれさせた時のコイル周りの漏洩磁界の距離の影響の結果を 1 ページ右図に示す。

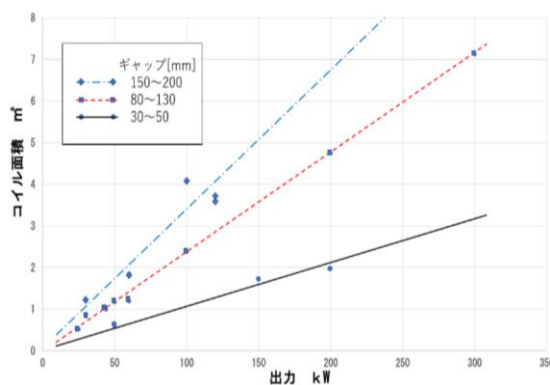
漏洩磁界値は、ずれている X 方向で大きな値になり、コイル直近では 350μT と 2010 年の ICNIRP ガイドライン値 27μT の 13 倍にもなった。また位置ずれを 0 にした状態でギャップを 90mm から 110mm にした場合の 0.5m 離れた場所の漏洩磁界値を表 1 に示すが、110mm にすると出力が 120kW しか出ないが、出力が小さくなっても数値が大きくなった¹⁰⁾。このことからギャップが大きくなると漏洩磁界が大きくなることが分かる。

表 1 0.5m 地点でのギャップ変化に対する漏洩磁界

ギャップ		90mm	110mm
出力		150kW	120kW (*)
方向	X	12.6μT	15.2μT
	+Y	11.2μT	13.7μT
	-Y	13.7μT	14.4μT
	Z	5.85μT	6.92μT

(*)110mmでは120kWしか出力できなかった

国内外の実際の大型車両用 WPT の出力と受電コイル面積、コイル間ギャップの関係を調査した結果を図 5 に示す。出力の大きさに比例してコイル面積が大きくなるが、昇降装置によりコイル間ギャップを 30~50mm と小さくしたものに對し、同出力でギャップを 80~130mm にするとコイル面積が約 2 倍になり、150~200mm にすると約 3 倍の大きさになる。送受電コイルが大きくなると、地面への設置性や車両への搭載性が悪くなるとともにコストも大きく掛かるようになる。さらに磁界発生源である送電コイルが大きいほど距離が離れても人体に及ぼす影響が強いという研究結果¹¹⁾があり、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。



12m 長の東京都向け PHEV バスの床下に受電コイル

図 5 出力とコイルの面積およびギャップの関係

ル昇降方式でギャップが 5cm の 50kW、22kHz 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 6 に示す。磁界の最大値は車外の送電コイル真横の地上 6cm の高さにおいて 1.324 μ T であり、2010 年の ICNIRP のガイドライン値 27 μ T よりも十分小さい値であった。車内の磁界は床下に設置された受電コイルの直上での 0.906 μ T が最大で、他の地点では全て 0.1 μ T 台で、車体が磁界のシールド効果を果たしていることが分かる¹²⁾。

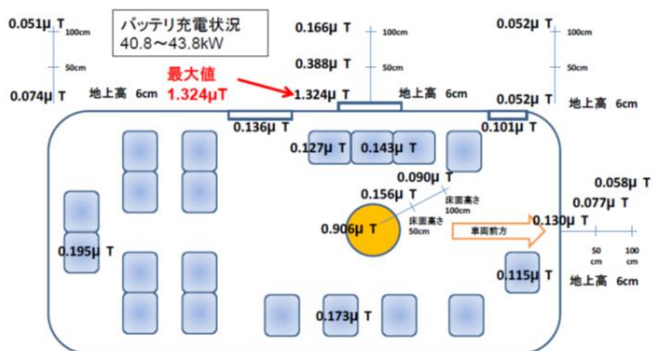


図 6 12m 長電動バスでの磁界計測結果

このことから電磁放射対策を十分に採用した WPT

システムならば大電力であっても生体防護は十分にできると言える。

5. おわりに

海外の 100kW 以上の WPT システムは全て実運用されているのに、日本では各種対策を採って実証試験は行われているものの、大出力 WPT はいまだに 1 台ごとの申請が必要で 1 台も実際に運用されていない状態であり、このままでは、この分野でも日本は世界から遅れてしまうことになる。CHAdemo 充電器の 150kW 大電力化が 2017 年から始まり、WPT システムにおいても早く大電力給電ができる環境が整うことを願うものである。

文 献

- [1] J.T. Boys, G.A. Covic: "The Inductive Power Transfer Story at the University of Auckland", IEEE Circuits and Systems Magazine Second Quarter 2015, 1531-636X/15©2015IEEE, pp.6-27. (2015)
- [2] 紙屋雄史, 大聖泰弘, 桑原史雄, 高橋俊輔: 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 1 報), 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 1, 20074109, pp. 9-14 (2007)
- [3] 木村祥太, 田中健人, 永田祐之, 廣田寿男, 紙屋雄史, 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 6 報), 自動車技術会 2013 年秋季大会学術講演会前刷集, No. 148-13, 234, pp. 7-12 (2013)
- [4] 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)
- [5] 東京都建設局道路建設部: "非接触給電ハイブリッドバス運行に対応した道路における給電装置検討委託報告書", 平成 22 年 3 月
- [6] IPT Technology GmbH: Wireless Charging of Electrical Buses with IPT® Charge Bus, CAT9200-0003-EN(2014)
- [7] Neil Walker: PRIMOVE Wireless eMobility Inductive opportunity charging for convenient, emission-free mobility(2013)
- [8] Liu Hongjun, Liu Junqiang, Zhou Dong: "ZTE EV WPT Solution and Application", CJK WPT WG #10(2015)
- [9] <http://www.greencarcongress.com/2018/04/20180419-momentum.html> (2018 年 7 月 14 日アクセス)
- [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] 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

著者紹介

- ・高橋 俊輔
- ・早稲田大学 電動車両研究所 招聘研究員
s.takahashi15@kurenai.waseda.jp