

【事業名】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(FY2014-FY2016)

【代表者】㈱東芝 尾林秀一

【実施予定年度】平成26～28年度

(1)技術開発概要

①【技術開発の概要・目的】

短距離走行・高頻度充電で走るEVバス(近隣拠点間連絡用の企業バス、観光地や空港の巡回バス、など)や、EV乗用車・特殊車両などでは、安全で手間のかからない充電方法が求められている。従来の電磁誘導方式を用いたワイヤレス充電システムでは、(1)停車位置ずれによる伝送効率低下、(2)大きくて重い車載充電パッド、(3)バスのみでは台数が少なく価格が高いという課題があった。本事業では磁界共鳴方式、および乗用車向けに国際標準化の進む周波数を採用し、設備を乗用車と共有することで、上記課題を軽減し、普及を加速、CO2削減に貢献する。

②【技術開発の詳細】

(1) 共用ワイヤレス充電システムに関する技術開発

①事業化に向けた課題・ケーススタディ

国内外の事例調査や法令等調査に基づき、課題を抽出する。調査を踏まえ、本開発システムが適するアプリケーションと事業規模を明確化する。開発システムに関する法制化・国際標準化活動を行う。

②共用ワイヤレス充電システムの設計・試作・評価

異なる車種で共用可能な30～44kW程度のワイヤレス充電システム(車載受電装置と地上設備)を製作する。(主な仕様: 最大受電電力: 小型バス向け30kW以上、中型バス向け44kW程度; 効率: 80%以上)

(2) EVバス車両系に関する技術開発

磁界共鳴型共用ワイヤレス受電装置を搭載し、業務用走行を行うために、小型EVバスと中型EVバスを製作する。(運転手席座面上 および 受電パッドに最も近い客席の座面上での85 kHz漏洩磁界強度実効値: 72.8 A/m(電波防護指針)以下。)

(3) 全体システムの実証

①ルート走行実証: 小型EVバス走行200日程度、中型EVバス走行130日程度

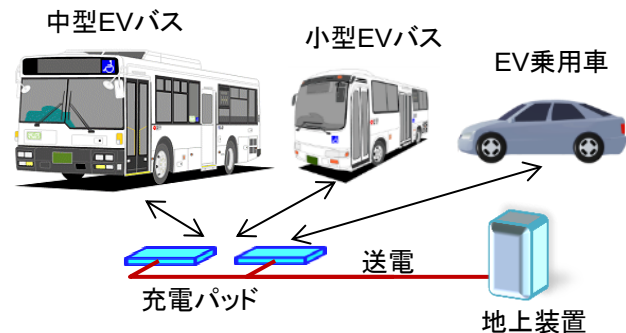
②他地域展開時の導入効果の予測と課題の明確化:

CO2削減/燃料代削減効果の予測と機器性能/法制面に係る課題の明確化

③乗用車EVとの共用実証

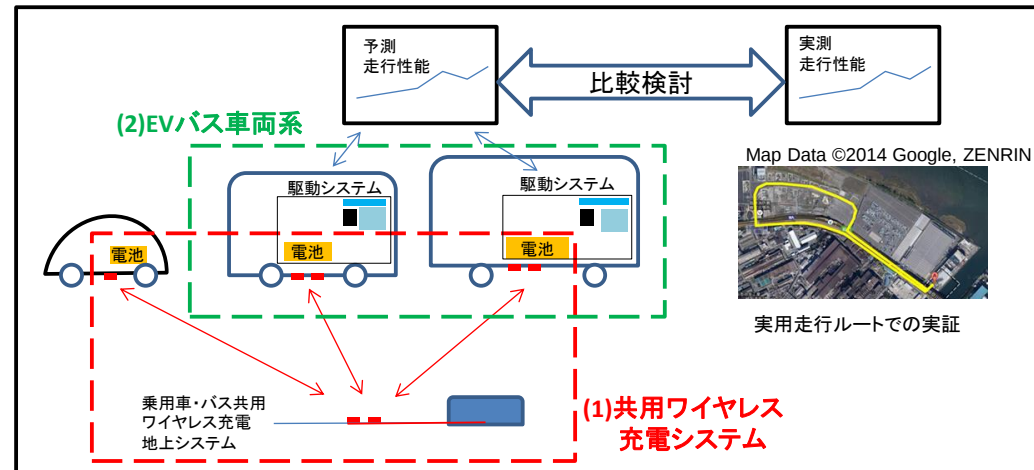
③【システム構成】

EV乗用車では単数、小型EVバス・中型EVバスでは複数の受電装置を搭載し、地上設備を共用してワイヤレス充電できるシステム。使用周波数は国際標準化を推進中。



【全体システムの実証】

上記ワイヤレス充電システムにしたEVバスを業務用運行し、地上システムを含めた事業実証を行う。



(3)全体システムの実証

※注 用語の定義

ワイヤレス充電システム: 車側・地上側を含めたワイヤレスの充電システム

ワイヤレス充電バス: ワイヤレス充電システムの車側システムを搭載したバス

(2)事業実施計画

①【実施体制】

技術開発代表者

東芝

共同実施者

早稲田大学

(ワイヤレスEVバスシステムの磁界共鳴への改造および評価)
EVバスでは12年間、ワイヤレス分野について8年間の業務実績あり。

特に事業の効率性に関わる その他の関係者

フラットワールド

(EVバス改造)
WEB3/WEB4・各種バスのEV化について5年間の実績あり

全日本空輸

(実証場所の提供)
空港内各種車両の知見

川崎市

(実証場所の提供)
殿町キングスカイフロント地区内の実証場所提供

②【実施スケジュール】

	平成26年度	平成27年度	平成28年度
共用ワイヤレス充電装置	1次試作・評価 設計	乗用車EVへの共用機能整備 2次試作・評価	走行実証に基づく修正
事業費(千円)	120,849	101,726	75,277
EVバス車両系	電池等整備・評価	ワイヤレス受電実装・評価	
小型バス	EVバス化	走行試験	ワイヤレス受電実装・評価
中型バス			
事業費(千円)	42,052	77,177	58,718
全体システムの実証	ルート走行・ダイヤ計画	地上設備	ルート走行実証
小型バス			地上設備
中型バス			ルート走行実証
乗用車EV共用			共用実証
事業費(千円)	13,340	26,446	33,605
その他経費・間接費	23,806	30,802	25,140
合計(千円)	200,047	236,152	192,740

③【目標設定】

○過去の実績

- ・ (東芝) 7kW級磁界共鳴方式ワイヤレス充電システムを用いて、EV乗用車搭載二次電池への充電試験を完了。港区のEVバス走行による駆動系の課題抽出
- ・ (早稲田大学) 短距離走行・高頻度充電型電動バスの設計・製作・公道実証試験実績(車両:7台, 試験:約20回)。電磁誘導型ワイヤレス充電システムの性能評価実績(約8年)

○最終的な目標:

- ・ EV乗用車・小型EVバス・中型EVバスへの短距離走行・高頻度ワイヤレス充電システムの機器共用の実証とCO2排出抑制効果の確認
- ・ 中型EVバスのCO2排出量:0.46 kgCO2/km, 削減量:0.51 kgCO2/km(2020年目標)
- ・ (達成に向けた課題)
 - ルートと地上設備の設置場所及び運行ダイヤ
 - 国際周波数標準化が予定のスケジュールで行われること

④【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

- ・ 平成28年度までにワイヤレス設備・駆動ユニットを搭載したバスの走行を可能とし、空港周辺を含めて各地にPRを行い、受注を開始
- ・ 平成29年度までに国内自治体向けや、東京オリンピック・パラリンピック向けEVバスの製造パートナーへシステムの提供ができるようにし、製造を開始。空港周辺のエコ搬送システムに対してもEV化受注活動を推進。
- ・ 平成30年度までに納入を開始、東京オリンピックおよび東京オリンピック後の世界の低炭素化社会構築に貢献するため、効果の高い地域(都市開発計画)を選び、実績を作っていく。

○事業展開における普及の見込み(～平成32年度)

実用化段階コスト目標: 乗用車20万円/台。 中型・大型バス/トラック用150万円/台
(従来型システムとのコスト差: 乗用車用 -80万円 中型・大型バス/トラック用 -350万円)

年度		H29	H30	H31	H32
目標販売台数(台)	軽乗用/トラックBEV	10	1,000	10,000	140,000
	小型・普通BEV	500	1,000	10,000	60,000
	小型・普通PHEV	500	3,000	15,000	130,000
	小型バス/トラックBEV	100	1,000	2,000	4,000
	中型・大型バス/トラックBEV	30	70	100	200
価格(千円/台)	乗用車	500	400	300	200
	中型・大型バス/トラック	5,000	4,000	3,000	1,500
CO2削減量(t-CO2/年)		3,000	40,000	300,000	389,000

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- (1) 85kHz帯共用ワイヤレス充電システムを開発し、小型・中型EVバスの44kWでの充電、乗用車EVの7kWでの充電を達成した。
- (2) 約1年にわたる公道での2台のEVバス運行で、荒天時でも運転席で充電ができる等、共用ワイヤレス充電システムの利便性が明確になった。
- (3) 公道走行実証で得られたデータより、CO2排出抑制効果を定量的に算出し、それぞれ同サイズのディーゼルバスと比較して、小型EVバスでは約40%、高速道路を運行した中型EVバスでは約60%の削減効果があることがわかった。

②【CO2削減効果】

利便性の極めて高いワイヤレス充電システムが商品化されることで、EVバスをはじめ、電気自動車(BEV)やプラグインハイブリッド自動車(PHEV)など、各種次世代自動車の保有台数は現状の予測以上に増加すると考える。

ここでは、その増加分がエンジン車から代替したと仮定し、2020年、2030年における低炭素効果について以下の要領で試算する

(試算方法パターン その他、II-ii)

a) 開発システム普及による次世代車の保有増加数:

各種次世代車保有台数予測(環境省(*1)等)の10%(ワイヤレス効果恩恵大のバス/トラックは20%)と仮定

2020年⇒軽BEV:142千台, 小型普通乗用BEV:67千台, 同PHEV:131千台,

小型バス/トラック BEV:4千台, 中型・大型バス/トラック BEV:0.2千台

2030年⇒軽BEV:382千台, 小型普通乗用BEV:214千台, 同PHEV:496千台,

小型バス/トラック BEV:30千台, 中型・大型バス/トラック BEV:2千台

b) CO2削減原単位(エンジン車排出量 - 次世代車排出量):

⇒軽BEV:0.95tCO2/台, 小型普通乗用BEV:1.13tCO2/台, 同PHEV:0.93tCO2/台,

小型バス/トラック BEV:8.93tCO2/台, 中型・大型バス/トラック BEV:74.4tCO2/台

c) 年間CO2削減量

2020年⇒ 383,000tCO2(車両毎にa)×b)を計算し和としたもの)

2030年⇒1,480,000tCO2

(*1)例えば、環境省:「H21年度環境対応車普及方策検討会」資料(H22年1月20日)

③【成果発表状況】3年間の累計で、学会発表24件、実証実験見学対応(社外・学外のみ)12件、講演20件、展示会・博覧会展示2件、プレスリリース5件、新聞掲載13件、Web媒体(確認したもの)40件、雑誌掲載2件、当社技術広報誌2件、テレビ放映1件

主な発表例 ・「未来シティ研究所」テレビ東京系、BSジャパン、2016年1月、2月

・尾林他、「85 kHz band 44 kW wireless rapid charging system for electric bus,」ITS World Congress, Melbourne, Australia, 2016年10月

・三輪 他「短距離走行・高頻度充電コンセプトを採用したワイヤレス給電型電気バスの設計・試作ならびに公道走行実証試験に基づく性能評価」,自動車技術会2016年度学術研究講演会,2017年

・プレスリリース「ワイヤレス急速充電装置を用いたEVバスで約60%のCO2削減効果を実証」2017年3月

・日経産業新聞2016年11月4日「東芝 無線充電できる受電パッド EVバス搭載で先行」

・日経エレクトロニクス 2016年5月号「22kWの送受電コイル2組で44kWを伝送」

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

・2017年度~2019年度には、製品に見合う安全性向上・放熱機構強化・低コスト化・車載機器の小型化に加え、より需要が高いものの、充電所要時間を短縮する必要がある路線バス、あるいは、大容量の電池を搭載するEVバスへ適用するための大電力・大容量化のための開発を推進する。

・同じく2019年を目途に行われている, SAE International, ISO/IEC, ITU-Rなどでのバス・トラックなどのheavy duty vehicle向けのワイヤレス充電システムの標準化・法制化活動に参画し、本システムに採用した伝送周波数85kHz帯、あるいは、2並列逆相励振方式の採用を図るための審議・標準案立案を継続する。

・2022年を目途として、国内およびアジアでの新交通システムの一環として、e-BRT (e-BRT, e-Bus Rapid Transit)ソリューション事業として実用化する。

・並行して、EVバスに採用されているのと同様の大容量の電池を搭載し、同じく大電力ワイヤレス充電システムの要望も高い、産業用電動車両(バッテリー機関車、工業用自動搬送車など)に向けた実用化も進める。

○事業拡大シナリオ

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022~
大電力化・低コスト化等技術開発						
Heavy duty vehicle向け標準化・法制化						
e-BRTソリューション				ソリューション開発		
産業用電動車両向け実用化						

○シナリオ実現上の課題

・ワイヤレス充電システムのより一層の大電力・大容量化のための技術開発(充電所要時間を短縮する必要がある 路線バス または 大容量の電池を搭載するEVバス への適用)

- ・製品に見合う安全性向上・放熱機構強化・低コスト化
- ・車載する受電側装置の小型化のためのパワーエレクトロニクス技術開発
- ・EVバス・トラックのメーカーとの連携強化
- ・乗用車PHEV/EV向け、および、heavy duty vehicle向けワイヤレス充電システムの国際標準の動向の取り込み
- ・大電力無線電力伝送方式の電波法制等での取り扱い・規制内容の明確化
- ・ワイヤレス充電装置の道路への設置に関する法制の緩和 など

○参考資料

欧州と中国事例調査に基づく課題抽出

欧州では120kW以上のワイヤレス充電装置を使用した電動バスが1路線全てにおいてディーゼルバスに置き換えて運用されていた。効率低下および電磁波漏洩回避のために2次コイル昇降タイプが多いが、初期コストが掛かることが課題。位置ズレの影響を低減させる方策が不十分であり、対策が必要。電源装置は地中埋設され、良好な景観性を実現している。



(英国)2次コイル昇降システム



(ドイツ)良好な景観性の実現

- 中国では120kW以上のワイヤレス充電装置を使用したバスは継続運用されているが、小出力のものは全て実証試験のみで終了。
- 平坦な土地、広い道路、BRT設定など運用路線の選定が重要。
- 電源装置は小型にできていて、安価な設置コストを実現している。

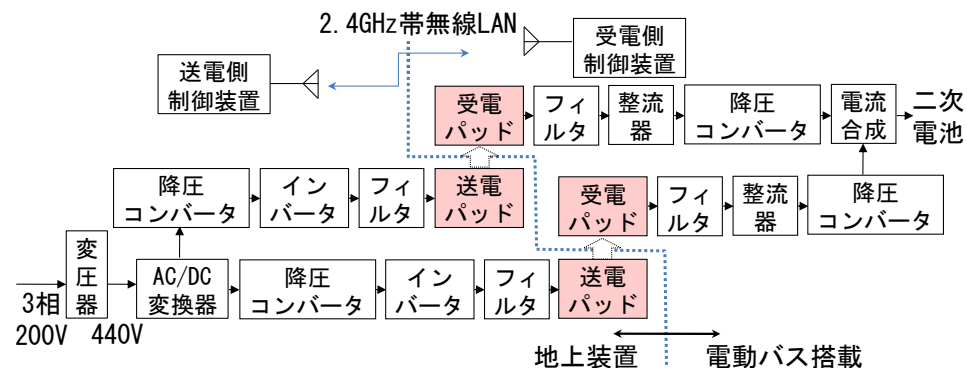


中国の小型大出力電源装置



BRT設定により渋滞の影響を受けない運用

共用ワイヤレス充電システムの製作



小型・中型EVバスを44kWで、乗用車EVを7kWで充電できる、共用可能なワイヤレス充電システム(車載受電装置と地上側設備)を製作した。

並列する2組の充電パッド対を用いて、1系統あたりの伝送電力を低減するとともに、2つの送電パッドに印加する85kHz帯の電流を逆位相とすることにより、遠方での不要な放射磁界エミッションを低減した。この低減効果により、10m離れた観測点での放射磁界強度を国内で規定された制限値以下に収めることができ、高周波利用設備としての許可を得ることができた。運転手席座面上 および受電パッドに最も近い客席の座面上での85kHz漏洩磁界強度実効値が、電波防護指針を満たすことを確認した。

また、2つの送電パッドのうち片方だけを稼働することで、評価用の乗用車EVで、約7kWの受電ができることも実測で確認した。



中型EVバス底部に搭載した受電装置



地上側設備

○参考資料

ルート走行実証

ANA社殿町ビジネスセンター(共用ワイヤレス充電装置設置個所)を起点とする殿町⇄東糀谷ルート(小型バスWEB-3A, 一般道路, 1日4往復200日運行), ならびに殿町⇄羽田T2ルート(中型バスBE Medium Bus, 高速道含む, 1日3往復137日運行)において開発車の走行実証を行い, ワイヤレス充電効率を考慮したCO2排出率とエネルギーコストを算出した。



実証試験ルート



小型バスWEB-3A



中型バスBE Medium Bus

小型バスにおけるCO2排出率とエネルギーコストの算出結果(月平均値)

	2月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均速度 [km/h]	14.7	15.0	15.8	16.1	15.5	16.1	15.4	15.6	15.5	14.7
電費 [km/kWh]	1.26	1.40	1.28	1.30	1.18	1.10	1.23	1.45	1.45	1.43
空調電力 [kW]	1.94	0.93	2.11	2.27	3.36	4.45	2.99	0.83	1.31	1.28
充電効率 [%]	87	85	84	84	83	83	84	85	86	86
CO ₂ 排出率 ^{※1} [kg-CO ₂ /km]	0.37	0.34	0.38	0.37	0.41	0.45	0.39	0.33	0.32	0.33
エネルギーコスト ^{※2} [円/km]	14.6	13.4	14.9	14.6	16.3	17.5	15.5	13.0	12.8	13.0

※1 電気エネルギーCO2排出係数: 0.406kg-CO₂/kWh(東京電力株式会社2012年度調整後排出係数(震災後))

※2 電気料金: 16円/kWh(東京電力電気量料金(2016年高圧電力A(契約電力500kW未満)))

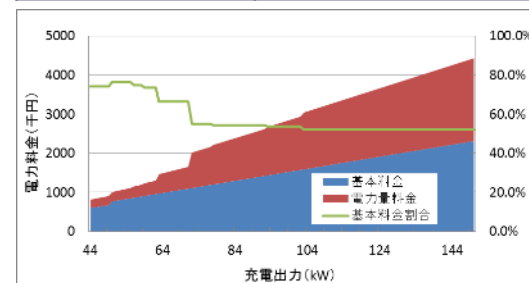
他地域展開時の導入効果の予測と課題の明確化

充電装置の共用による電力料金の削減額

	個別導入	共用導入
電力量料金(円)	701,653	701,653
基本料金(円)	4,626,720	2,313,360
合計(円)	5,328,373	3,015,013
差額(円)	2,313,360	

開発充電システムの小型・中型バス共用導入を検証するために小松市の調査を行った結果、小松駅西口を起点として150kWの充電出力とする場合に導入可能であることが確認できた。また、これにより231万円/年程度の電力料金が削減されることが分かった。

また、コストの分類を見ると全体のコストに占める基本料金の金額が大きかったことが分かった。充電装置の稼働率が低いほど割合が大きくなり、稼働率を高めたとしても50%以上の金額が基本料金となるため、公共交通機関における電力利用時の契約形態の検討が必要であるという課題が示唆された。



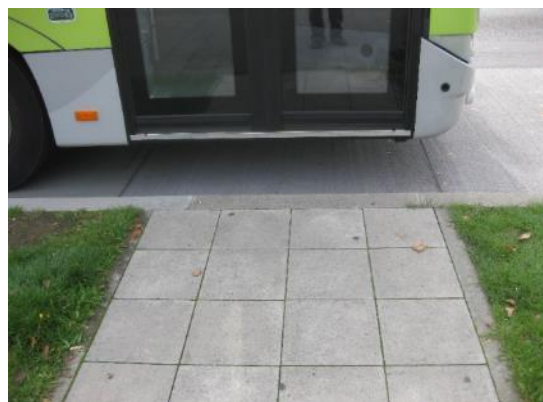
電力料金に占める基本料金の割合

○参考資料

欧州事例調査に基づく課題抽出(つづき)



(ドイツ)2次コイル昇降システム



位置合わせはドア幅と通路幅を合わせる

法令等調査に基づく課題抽出

- ・バス営業所などに設置する際の可燃性気体に対する防爆検討を行い、異物検知システム等の必要性について指摘した。



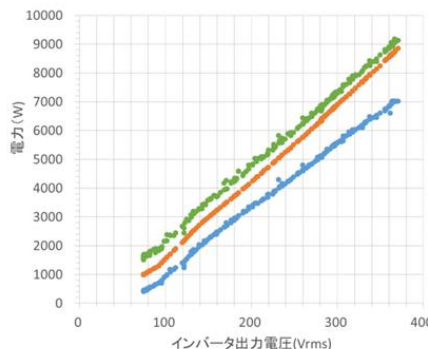
本事業で使用した
コイル脇に設置した異物検知システム

本事業のワイヤレス充電システムと他のEVバス用システムとの比較

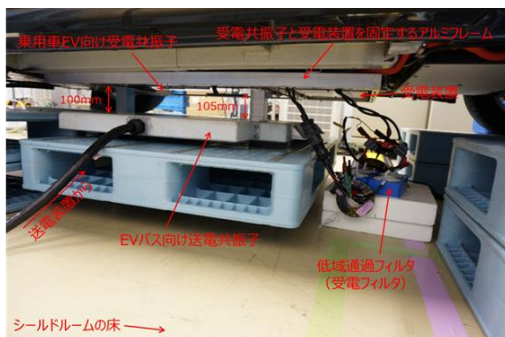
	本事業	Utah State Univ.	WAVE	中興通信 (ZTE)	OLEV Technologies OLEV	INTIS	Momentum Dynamics	IPT Technology IPT Charge	IPT Technology	Bombardier
型式名					OLEV			IPT Charge		PRIMOVE200
出力	44kW (22kW×2)	25kW	50kW	120kW (60kW×2)	100kW (20kW×5)	60kW	50kW	120kW (30kW×2×2)	100/200/300kW (50kW×2/4/6)	200kW
伝送距離 (エアギャップ)	10~13cm	15~16.5cm	≦20cm	16~20cm	20cm	15 c m	15~20cm	4cm	≦13cm	1.5~4.5cm
位置ずれ 許容範囲	左右±20cm 前後±10cm	15cm	±12.5cm	±15cm	不明	左右±5cm	40%の円内	左右±5cm 前後±5cm	不明	左右±10cm 前後±30cm
効率 (付記無き場合はAC入力・DC出力間効率)	86.8%	90% (DC入力)	90% (DC入力)	≦90%	83%	90% (入力不明)	90% (入力不明)	93%	90%	90%
コイル形式	Solenoid	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
車載コイル 寸法	(80×64×4.7cm)×2p	81cmφ	91cmφ	(106×約100×4cm)×2p	(125×69×11.7cm)×5p	200×90×2.3cm	122cmφ	(102.5×87.5×6cm)×4p	(110×108×5.5cm)×2/4/6p	220×90×10cm
車載コイル 重量	107kg	73kg	不明	不明	600kg	60kg	22kg	280kg	不明	350kg
周波数	85kHz	20kHz	23.4kHz	85kHz	20kHz	35kHz	23.5kHz	20kHz	20kHz	20kHz
発表時期	2015年	2012年	2016年	2014年	2014年	2014年	2013年	2014年	2016年	2014年
備考	無線通信は無線LAN		無線通信は5GHz帯DSRC	2次コイル昇降式もあり	走行中給電 韓国KAISTの事業実施会社			2次コイル昇降式	ニーリング機能	2次コイル昇降式、異物除去装置を付加

○参考資料

乗用車EVとの共用実証



- 3相入力電力
- インバータ出力電力
- バッテリ充電電力



地上側装置と、乗用車EV向け車載受電装置とを組合せ、屋内試験にて、送受電距離10cmにて、乗用車EVが7kWを受電できることを確認した。

EVバス公道走行実証の概要

	小型EVバス	中型EVバス
起点	ANA 殿町ビジネスセンター	ANA 殿町ビジネスセンター
終点	ANA 東糀谷訓練センター	ANA 羽田第2ターミナル
運行距離(往路)	5.5 km	11.9 km
運行距離(復路)	5.8 km	11.2 km
一日運行便数	4便	3便
走行時間(往路)	26分(typ)	23分(typ)
走行時間(復路)	27分(typ)	25分(typ)
備考		首都高速道路を走行
充電 (2016年12月時点)	起点にて10～15分 (ワイヤレス充電)	起点にて20～25分 (ワイヤレス充電)

2並列逆相励振による放射磁界エミッション低減

振幅が同一で位相が 180° 異なる場合、十分離れた遠方の観測点では、理想的には不要放射磁界強度がゼロになる。

送受信パッド
への電流#1

逆極性の磁気ダイポール
(距離 $d = 0.9\text{m}$)

不要放射磁界の
観測点(距離 r)

不要放射磁界
#1

合成後の
不要放射磁界
はゼロになる

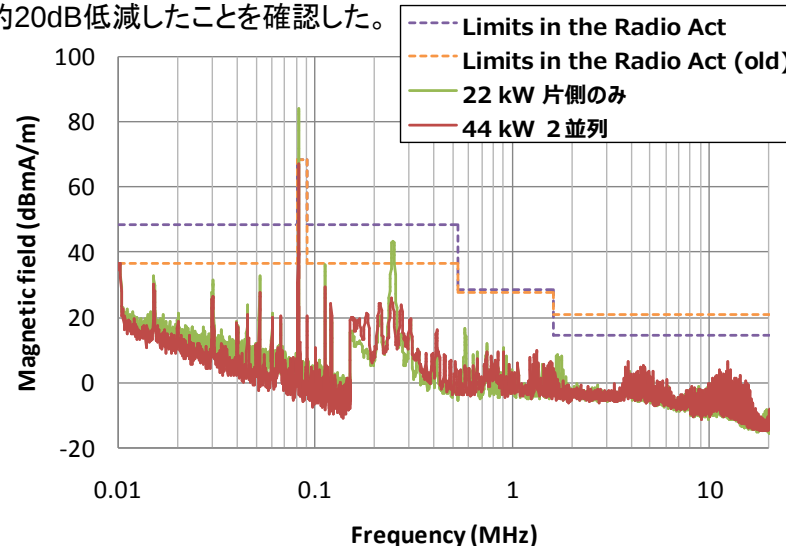
不要放射磁界
#2

$r \gg d$ ならば $r_1 \approx r_2$ となり、
距離差で生じる位相差は無視
できる。

送受信パッド
への電流#2

電波無響室内での放射磁界強度の測定結果

44kW受電時の不要放射磁界が、22kW片側のみの場合に比べ、
約20dB低減したことを確認した。



CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 6.1点（10点満点中）

- 評価コメント

- － 事業は計画通りに実施され、技術開発目標を概ね達成したと評価する。
- － 今後事業化を進めるには、充電出力及び充電効率の向上が必要であり、これには設備や装置の大型化及び重量増加を伴うため、普及を阻害しないよう留意して取り組むことを求める。
- － 今後の普及展開に向けては自動車メーカーや利用者と連携し、設備や装置にかかるコストダウンに積極的取り組み、あわせて生産モデル開発及びメンテナンス手法とその体制、法制度の緩和・改善について十分検討することを期待する。
- － 本事業の実施内容について積極的に成果を広く公表し、その際は環境省「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」である旨を周知することを求める。