

電気バス普及に向けたワイヤレス充電技術

Wireless Charging Technology for Expansion of Electric Bus Systems

鈴木 勝宜

尾林 秀一

■SUZUKI Katsuyoshi

■OBAYASHI Shuichi

グローバルな地球環境問題への対応を背景に、東芝は、低炭素社会の実現に向けた都市交通ソリューションを推進しており、その一つとして電気バスシステムの実用化を進めてきた。電気バスシステムの普及の鍵となるワイヤレス充電システムは、異なる車両間での相互運用性や、安全性、操作性などに考慮することが必要である。当社は、位置ずれ許容度が大きく伝送距離も長い磁界共鳴型ワイヤレス充電システムを開発し、公道走行での実証実験により、実際の運用に耐えられることを確認した。

In response to global environmental issues, Toshiba is promoting urban transportation solutions for the realization of a low-carbon society through the development of electric bus systems. A wireless charging system capable of easily charging secondary batteries mounted on electric buses will play a critical role in the expansion of electric bus systems. In the development of such a wireless charging system, it is necessary to take into consideration both safety and usability as well as interoperability for different types of electric buses.

We have been developing a magnetic resonance technology that can handle a wide margin of positional displacements between an onboard battery charger and a parking pad on the ground and relatively long transmission distances. Verification operation tests on public roads have confirmed that this technology is capable of meeting the requirements for practical use in an electric bus system.

1 まえがき

ITS (高度道路交通システム) は、1995年から日本、米国、及び欧州を中心に、連携して開発が進められてきた。わが国では、カーナビやETC (自動料金収受システム) などにおいて目覚ましい普及を遂げ、最近では、ETC2.0などの新サービスの開始や自動運転の研究などが行われている。

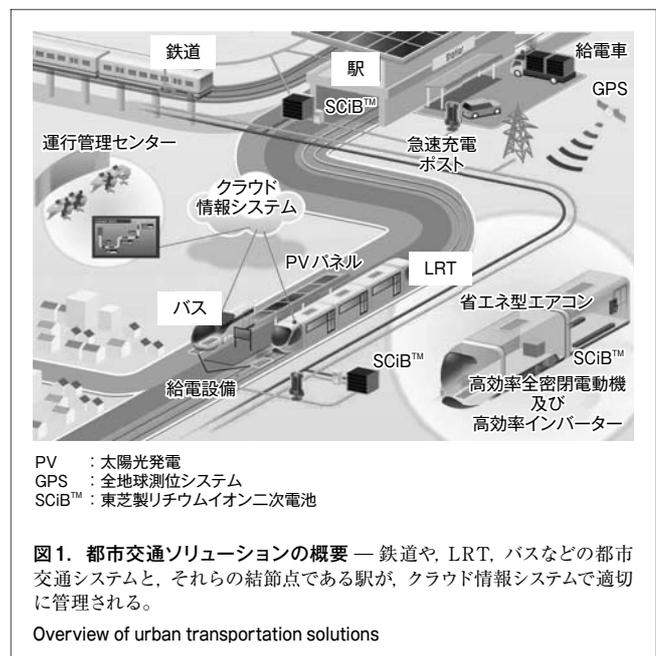
今後は、グローバルな地球環境問題への対応や、新興国における急速なモータリゼーションによる交通渋滞や交通事故への対応、先進国における少子高齢化対応など、それぞれの国の事情に応じた様々な取組みが必要である。

東芝は、地球環境問題への対応として、CO₂ (二酸化炭素) 排出量削減などによる低炭素社会の実現に向けた都市交通ソリューションを推進している。

このような都市交通ソリューションの一つに電気バスシステムがある。ここでは、電気バスシステムで使われ始めているワイヤレス充電システムにおける、当社の取組みなどについて述べる。

2 都市交通ソリューションと電気バスシステム

都市交通ソリューションの目的は、交通渋滞の解消や環境負荷の軽減などで、都市の環境改善や、安全性向上、快適移動、経済損失削減などを実現し、住みよい街づくりを行うことである。



当社の都市交通ソリューションでは、環境負荷軽減に貢献するため、バッテリーとIoT (Internet of Things) 技術による環境調和型交通システムを基本コンセプトとしている⁽¹⁾。鉄道や、LRT (Light Rail Transit)、バスなどの都市交通システムと、それらの結節点となる駅を備え、これら全体がクラウド情報システムで適切に運用される (図1)。

このようななかで、特にディーゼルバスは、電化による環境

負荷の改善効果が大きいいため、欧州や中国を中心に国を挙げて、電気バスの積極的な導入が進んでいる。

電気バスシステムの基本構成は、バッテリー搭載電気バス、充電システム、及び情報システムから成る(図2)。

この中で、特に充電システムは、異なる充電システムや車両間での相互運用性ととも、安全性や操作性などへの考慮が必要である。したがって、普及に向けて重要なのが、充電システムと車両の間のインターフェースであり、同じ路線では方式の統一化が必要である。3種類の充電方式の比較を表1に示す。適用するシステムの規模や都市の環境条件などによって、適切な充電方式を選択する必要がある。

当社は、国内での電気バスシステムの実証などに関わってきたが、普及のためには、各構成要素で、次のような課題があると考えている。

- (1) バッテリー搭載電気バス 技術・保安基準の体系化や、低価格化、長航続距離化
- (2) 充電システム 充電器の小型化や充電作業の簡易化
- (3) 情報システム 予防保守管理や、エネルギー管理、乗員管理

これらの中で、充電システムの課題の一つである充電作業の簡易化を実現するのがワイヤレス充電システムである。

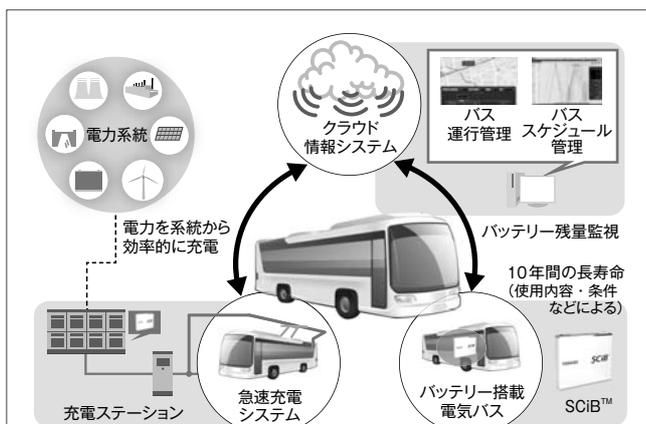


図2. 電気バスシステムの構成 — バッテリー搭載電気バス、充電システム、及び情報システムから構成される。
Configuration of electric bus system

表1. 充電方式の比較

Comparison of charging methods for electric bus systems

項目	充電方式		
	プラグイン方式	バンタグラフ方式	ワイヤレス方式
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・充電設備が簡易 ・大電力充電が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・大電力充電が可能 ・人手を介さない ・高い安全性 	<ul style="list-style-type: none"> ・充電作業が簡便
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・人手を介する充電作業 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両の位置合せが必要 ・充電設備が大がかり 	<ul style="list-style-type: none"> ・大電力充電が困難 ・車両の正確な位置合せが必要 ・漏えい電磁波の対策が必要

3 ワイヤレス充電システム

充電作業の簡易化を目的としたワイヤレス充電に期待される要件としては、バス停車の位置ずれ許容度の大きさや、充電伝送距離の長さ、充電時間の短さなどがある(図3)。

現在、一部で実用化されているワイヤレス充電方式を表2に示す。伝送距離や許容位置精度が数cmの場合、電気バスへの実用的な応用には工夫が必要となる。例えば、英国のミルトン キーンズ市で運用されているワイヤレス充電の電気バスでは、図4に示すように、バス側の受電パッドを地上1.5 cm程度まで下げて充電している。

これに対し、当社は、学校法人 早稲田大学 紙屋雄史教授研究室と共同で、電気バス向けの磁界共鳴型ワイヤレス充電システムの実証実験を進め、30 kW以上の受電電力で、電磁誘導方式に比べて伝送距離と停車の位置ずれを2~3倍許容できるシステムを開発した。また、実際の電気バスに搭載し、公道走行による実証実験も行った。

実証実験に用いたワイヤレス充電システムの仕様を表3に示す。

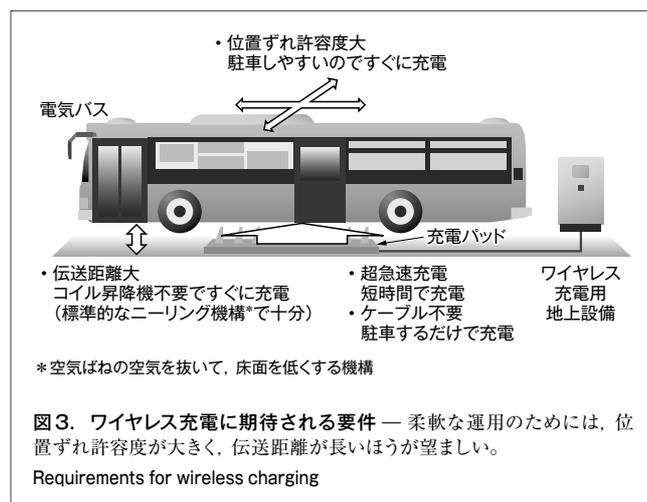


図3. ワイヤレス充電に期待される要件 — 柔軟な運用のためには、位置ずれ許容度が大きく、伝送距離が長いほうが望ましい。
Requirements for wireless charging



図4. 英国で運用されているワイヤレス充電の電気バス — 充電時に、バスから受電パッドを地上1.5 cm程度まで下降させている。
Example of wireless charging in electric bus service operated in UK

表2. 実用化されている電気バス用ワイヤレス充電システム

Wireless charging systems in practical use

事業者 (型式名)	東芝	ユタ州立大学	WAVE	ZTE	OLEV Technologies (OLEV)	INTIS	Momentum Dynamics	IPT Technology (IPT Charge)	IPT Technology	Bombardier (PRIMOVE200)
出力 (kW)	44 (22×2個)	25	50	120 (60×2個)	100 (20×5個)	60	50	120 (30×4個)	100/200/300 (50×2/4/6個)	200
伝送距離 (エアギャップ) (cm)	10～13	15～16.5	≤20	16～20	20	15	15～20	4	≤13	1.5～4.5
位置ずれ許容範囲 (cm)	左右±20 前後±10	15	±12.5	±15	不明	左右±5	— (40%の円内)	左右±5 前後±5	不明	左右±10 前後±30
効率 (付記のないものは交流入力-直流出力間効率) (%)	86.8	90 (直流入力)	90 (直流入力)	≤90	83	90 (入力不明)	90 (入力不明)	93	90	90
コイル形式	ソレノイド	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー	サーキュラー
車載コイル寸法 (cm)	(80×64×4.7)×2個	直径81	直径91	(106×約100×4)×2個	(125×69×11.7)×5個	200×90×2.3	直径122	(102.5×87.5×6)×4個	(110×108×5.5)×2/4/6個	220×90×10
車載コイル質量 (kg)	107	73	不明	不明	600	60	22	280	不明	350
周波数 (kHz)	85	20	23.4	85	20	35	23.5	20	20	20
発表時期 (年)	2015	2012	2016	2014	2014	2014	2013	2014	2016	2014
備考	無線通信は無線LAN	—	無線通信は5 GHz帯 DSRC	2次コイル昇降式もあり	走行中給電、韓国科学技術院の事業実施会社	—	—	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

DSRC: Dedicated Short Range Communications (狭域通信)

す。伝送距離が長く、バスの受電パッドを上下させる必要がないので、運用が簡便になるばかりでなく、充電に要する時間を短縮できる。また、受電パッドを上下する機構が不要なので、

メンテナンス性にも優れている (図5)。

4 公道走行による実証実験

早稲田大学による小型電気バス (車長7m) と当社による中型電気バス (車長9m) のそれぞれに受電装置を搭載し、送電装置を共有してワイヤレス充電を行った⁽²⁾。

走行は、ANA (全日本空輸 (株)) グループのANA 殿町ビジネスセンター及びANA 東糀谷訓練センターと、羽田空港第2ターミナルを結び、従業員が利用する業務連絡バスを模擬した (表4)。

充電ステーションでのバス停車の位置ずれも測定し、図6に示すように、左右は±4 cm以内、前後は-11～5 cmで、ほぼ表3に示した許容範囲内にあることがわかった⁽³⁾。

これにより、ワイヤレス充電による電気バス走行が、充電作業も含めて実用的であることが確認できた。

表3. 実証実験に用いたワイヤレス充電の仕様

Specifications of wireless charging system used in field tests

項目	仕様
交流入力	3相200V
電力伝送周波数	85 kHz帯
受電電力	44 kW
送受電パッドの位置ずれ許容範囲	±10 cm以内
送受電パッド間の送電距離 (エアギャップ)	10.0～13.0 cm
送電パッドの構成	2並列
送受電間制御用無線通信	2.4 GHz 無線LAN

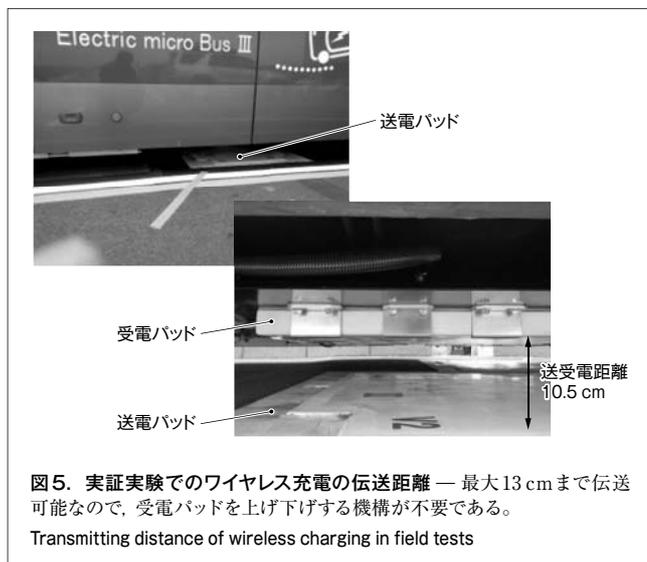


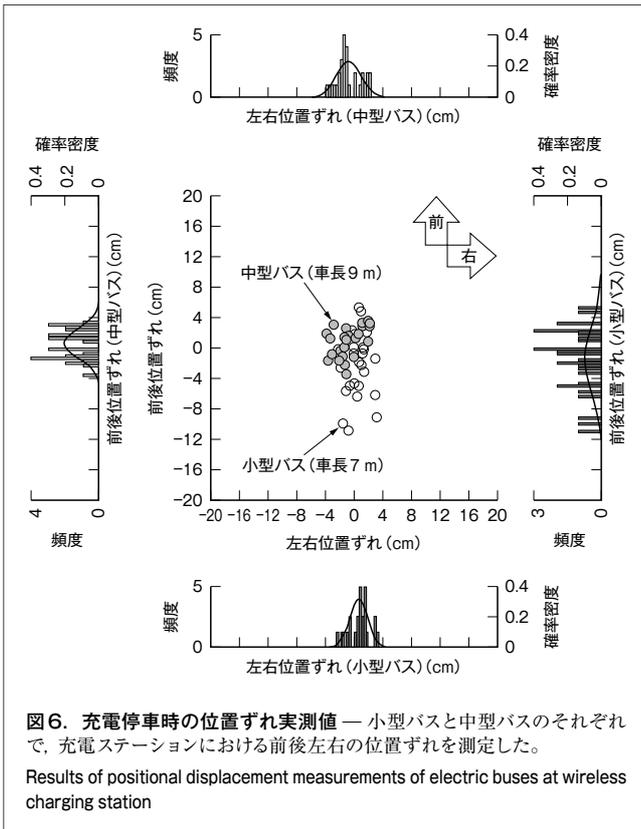
図5. 実証実験でのワイヤレス充電の伝送距離 — 最大13 cmまで伝送可能なため、受電パッドを上げ下げする機構が不要である。

Transmitting distance of wireless charging in field tests

表4. 実証実験での走行ルート

Routes for field tests

項目	小型電気バス	中型電気バス
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	羽田第2ターミナル
運行距離 (往路) (km)	5.5	11.9
運行距離 (復路) (km)	5.8	11.2
1日運行便数 (便)	4	3
走行時間 (往路) (分)	26 (typ.)	23 (typ.)
走行時間 (復路) (分)	27 (typ.)	25 (typ.)
ワイヤレス充電時間 (分) (2016年12月時点)	10～15 (起点にて)	20～25 (起点にて)
備考	—	首都高速道路を走行



5 ワイヤレス充電の今後

ワイヤレス充電に期待される要件のうち、位置ずれ許容度の大きさと伝送距離の長さについては、今回の実証実験で実用的であることが確認できた。

今後は、もう一つの要件である充電時間の短さについて、更に短縮できるような超急速化（大電力化）が課題である。

また、少子高齢化や自動運転といった今後の動向にも注意が必要である。総務省の資料⁽⁴⁾によれば、2036年には65歳以上の高齢者が33.3%（3人に1人）になると予測されており、高齢者が自分自身で移動する必要性が高まってくる。

一方、警察庁の資料⁽⁵⁾では、運転による事故数が全体的に減少している中で、高齢者だけが不変又は微増となっている。これは、一般に加齢とともに判断能力や、反射神経、運動神経などが衰えることに加え、社会全体で高齢者の割合が増えていること、過疎化や核家族化により高齢者自身が運転せざるを得ないことなどによっていると考えられる。

こうしたことから、将来、特に都市部以外の地域では、公共交通機関が利用できる主要駅までの移動手段として、小型のコンピューターバスやパーソナルモビリティを自動運転で行う需要が増加すると考えられる。自動運転にはEV（電気自動車）が適していることから、こうしたモビリティに、高齢者でも扱いが容易なワイヤレス充電を備える需要はますます高まると考えられる。

6 あとがき

当社は、低炭素社会を実現する電気バスの普及に向けて、その鍵となるワイヤレス充電システムの開発と実証実験を進めてきた。

今後も、ワイヤレス充電システムなどのEVを切り口とした取り組みによって、ますます深刻化する地球環境問題や少子高齢化社会に対する課題解決に貢献していく。

この実証実験は、環境省の「平成26年度CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」の一環として、「電気バス早期普及に向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」をテーマに実施したものである。

文献

- 鈴木勝宜 他. 電気バスシステムによる都市交通ソリューションの実用化に向けた取り組み. 東芝レビュー. 71, 4, 2016, p.36 - 39.
- Obayashi, S. "85 kHz band 44 kW wireless rapid charging system for electric bus". 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS World Congress 2016). Melbourne, Australia, 2016-10, ITS Australia. 2016, AP-TP0521.
- 津久井勲 他. "ワイヤレス給電型電動バスにおける充電停車時の正着性に対する考察 — 種々の因子が停車時の正着性に与える影響についての詳細分析 —". 自動車技術会2016年秋季大会学術講演会講演予稿集. 札幌, 2016-10, 自動車技術会. 2016, p.1885 - 1890.
- 国立社会保障・人口問題研究所. 日本の将来推計人口（平成29年推計）. 2017, 58p. <http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_gaiyou.pdf>,（参照 2017-05-15）.
- 警察庁交通局. 平成28年における交通事故の発生状況. 2017, 36p. <<http://www.e-stat.go.jp/SGL/estat/List.do?lid=000001176564>>,（参照 2017-05-15）.



鈴木 勝宜 SUZUKI Katsuyoshi

インフラシステムソリューション社 鉄道システム事業部 鉄道システム技術部。ITS及び都市交通ソリューションの開発に従事。

Railway Systems Div.



尾林 秀一 OBAYASHI Shuichi

技術統括部 研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主幹。ワイヤレス電力伝送システム、無線通信アンテナ、及び電波伝搬の研究開発に従事。電子情報通信学会、IEEE、SAE International会員。

Wireless System Lab.