

公共交通でのワイヤレス給電 運用動向

早稲田大学環境総合研究センター
高橋 俊輔

2017年5月26日

自動車技術会春季大会フォーラム



WASEDA University

1.充電における課題

2. 環境省プロジェクトでの海外調査

3. 大電力ワイヤレス充電実現のための対策

4. まとめ

年度	2002 (H14)	2003 (H15)	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014～16 (H26～28)
公的研究資金	「先進電動バスシステム開発・導入可能性調査」NEDO-FS事業	「WEB-0」早大自主開発	「先進電動マイクロバス交通システムモデル事業」NEDO-モデル事業	「電動バスシステムの大都市近郊適合性調査事業」NEDO-FS事業	「電動バスシステム研究」早大自主開発	「奈良試験運行」奈良県/市 「オンデマンド電気バス実験」環境省 「電気バス実験」国交省	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「走行中給電」NEDO-FS研究
研究開発													
公道実証試験		WEB-0★	WEB-1★	WEB-2★	IPS(30kW)★	IPS(10/60/150kW)★	WEB-3★ 側面給電★	WEB-4★	WEB-3Adv.★	EVメルファ★			

●標準化などの課題

- ・制度・規格化のステージではバス用についてはようやく議論の端緒に着いたところ
- ・ローカルなバス用の高周波電源には20kHz帯が多く使われているが、SiC使用の85kHz帯も出てきている

●電磁波の課題

- ・大電力では電磁漏洩が大きくEMC対策を取る必要がある
- ・人体防護は大きな車体によるシールド効果で2010年規制では殆ど問題が無いレベルにできる

●異物の侵入への課題

- ・運転手による目視だけでなく、異物検知システムを搭載する例が増えている

●道路上設置の課題

- ・道路法第32条（道路の占用）
工作物として認めて貰えるように耐荷重やスリップ性能など特性の把握が進んでいる
- ・道路交通法第77条（道路の使用）／第44条（停車・駐車禁止場所）
バス停は乗客の乗降と時間調整のみという条項の弾力的解釈は可能な状況になりつつある

●正着性への課題

- ・GPS＋準天頂衛星による位置精度の正確性など最新方法の検討が進んでいる
- ・日本でもようやく「どん突き」と呼ばれる「正着用縁石」が開発されている

●大電力化への課題

- ・ディーゼルバスからの完全置き換えには充電時間の短縮が必要
- ・本日の主要課題

接触式急速充電バスおよび超急速充電装置での課題



5

ちいばす 東芝超急速充電 160kW

1ルートでの電力消費量
満充電までの充電時間
CHAdeMO 25分以上
160kWシステム 7~8分

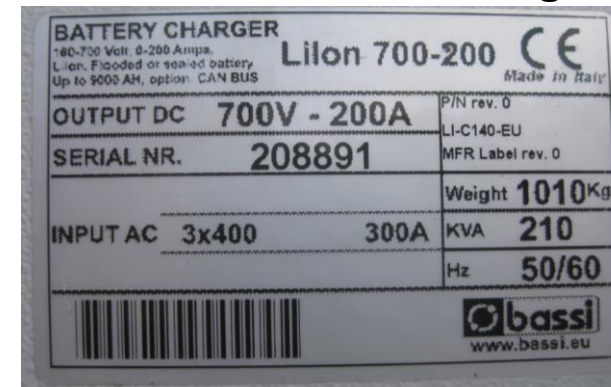
超急速充電だと
ディーゼルバス並の
運行が可能



160kWのコネクタは約10kgあり女性が扱うのには非常に重い
(港区のバス営業所で調査@2014年12月)

160kW型ワイヤレス給電ができれば利便性は非常に高まる

Comboでは既に140kWで使用されていて、同じ女性が片手でハンドリングできる重量(ベルギーのBruges市で調査@2014年10月)



すみりんちゃん
CHAdeMO 50kW
バス営業所(1か所)



はむらん
JFE方式急速充電 50kW
ターミナル(1か所)



宇宙ばす
CHAdeMO 50kW
ターミナル(2か所)



北九州市営バス
CHAdeMO 50kW
バス充電所(2か所/夜間)
出典: 横井氏資料

急速充電では30分程度の充電時間を必要とし、
給油並に短縮させる必要がある

海外での大型車両への大電力充電の取り組み



6

	接触式		非接触式	
静止中 充電	100kW～600kW 寧波市/ Yongping (2016) 	 Hamburg市/ Siemens (2015)	120kW～200kW Braunschweig市/ Bombardier (2014) 	 Milton Keynes市/ IPT Technology (2014)
		欧米・中国では運用されている トロリーバスが使われている国では導入が容易		欧米・中国では運用されている
走行中 充電	130kW～720kW Göteborg市/ Volvo (2003) 	 Gävle市/ Scania(2016)	140kW～200kW Södertälje市/ Scania (2016) 	 亀尾市/ KAIST (2013)
		欧州で実証試験中 移動の自由度が少ない 電極のメンテナンスが大変 写真出典: ネット資料		現状では未だ開発初期段階 写真出典: ネット資料

1. 充電における課題

2. 環境省プロジェクトでの海外調査

3. 大電力ワイヤレス充電実現のための対策

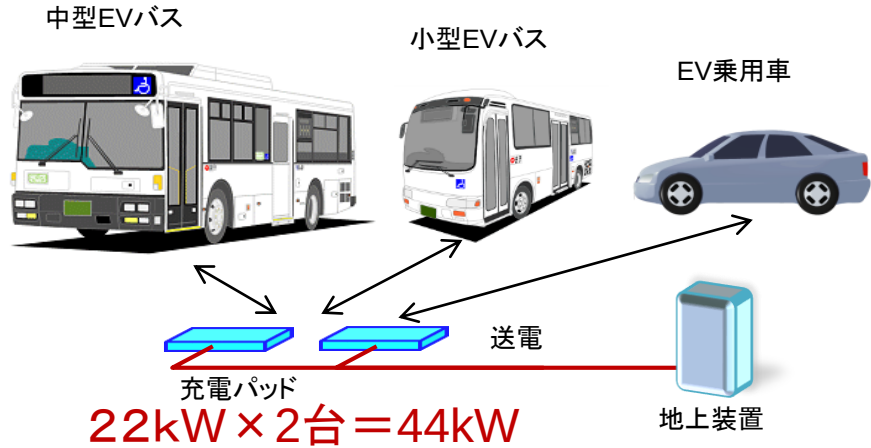
4. まとめ

早大／東芝で取組んだ環境省プロジェクト



8

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 【実施年度】平成26～28年度



9m e-Bus(日野メルファ)



7m e-Bus(WEB-3 Advanced)



2次コイルの設置状況



1次コイルの設置状況

充電に15～20分程度を必要とし、ディーゼルバスの置き換えには90kWが必要



欧州でのワイヤレス充電バス調査

欧州のワイヤレス充電バス



10



**Milton
Keynes
(120kW)**



**London
(200kW) ***



**Bruges
(200kW)**



**Torino/
Genova
(60kW)**



**s'Hertogenbosch
(120kW) ***



**Berlin
(200kW) ***



**Braunschweig
(200kW)**



**Mannheim
(200kW) ***



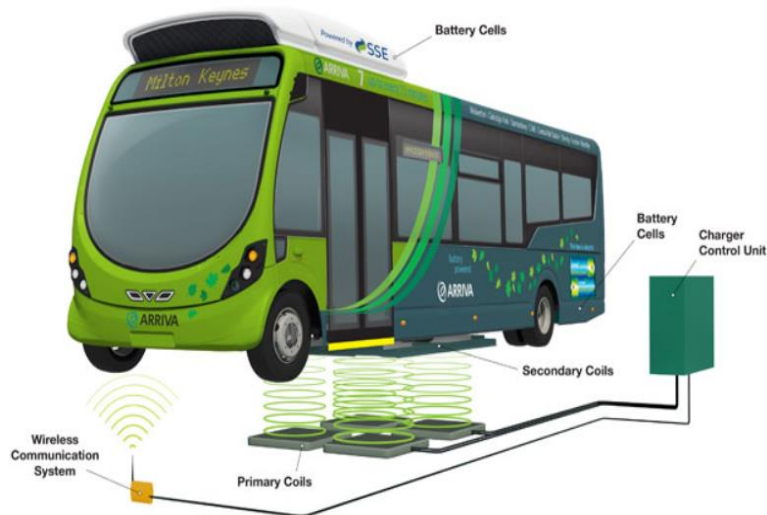
* 印写真出典: ネット資料

英Milton Keynes市EVバス実証事業①



11

三井物産とARUPが2014年1月から路線バス事業



Route No.7
片道約24km



2次コイルは昇降式



日本国内導入当時は昇降式は否定的

- ・ギャップを広げる方向への開発
- 昇降式の利点が見直されつつある
- ・大電力でも電磁波漏洩対策が容易
- ・コイルを小型にできる

バス：9.48m、46人乗りのバス8台で1路線の6時～23時の56便で運用

電池：Kokam社製150KWh

ワイヤレス給電システム：

IPT Technology社製電磁誘導式

60kWモジュール(30kW×2台)2式の計120kW

充電時間は両ターミナルバス停で10分間

ギャップは4cmで下降時間は2秒

地上コイルの耐荷重は6トン

冷却方式 1次側 水冷

2次側 空冷

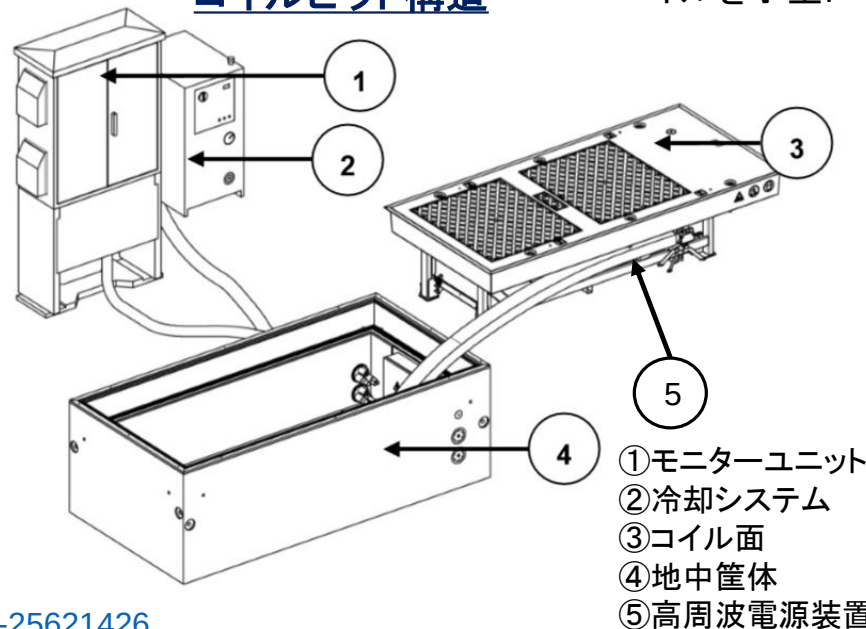
高周波電源装置はコイル下にある、ピットに装備

高周波ラインが短く、効率低下が少ない

設置性が高い

地上機器配置が容易で景観性が高い

コイルピット構造



コイルの設置状況



地上コイル



地上コイル4ユニットのひとつ



2次コイルの設置状況



エア駆動昇降用チェーン



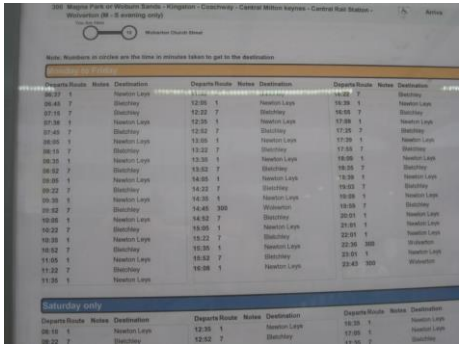
ワイヤレス給電システムと電気バスの配置



前後位置
合わせは
白線



地上シス
テム全景



Departure Route	Route	Destination	Departure Route	Route	Destination	Departure Route	Route	Destination
08:27	1	Newman Lane	11:05	1	Newman Lane	18:00	1	Newman Lane
08:45	2	Blackthorn	11:23	2	Blackthorn	18:18	2	Blackthorn
07:18	3	Blackthorn	12:02	3	Blackthorn	18:36	3	Blackthorn
07:36	4	Newman Lane	12:20	4	Newman Lane	17:54	4	Newman Lane
07:54	5	Blackthorn	12:38	5	Blackthorn	17:12	5	Blackthorn
08:12	6	Newman Lane	12:56	6	Newman Lane	16:30	6	Newman Lane
08:30	7	Blackthorn	13:14	7	Blackthorn	15:48	7	Blackthorn
08:48	8	Newman Lane	13:32	8	Newman Lane	15:06	8	Newman Lane
09:06	9	Blackthorn	13:50	9	Blackthorn	14:24	9	Blackthorn
09:24	10	Newman Lane	14:08	10	Newman Lane	13:42	10	Newman Lane
09:42	11	Blackthorn	14:26	11	Blackthorn	13:00	11	Blackthorn
10:00	12	Newman Lane	14:44	12	Newman Lane	12:18	12	Newman Lane
10:18	13	Blackthorn	15:02	13	Blackthorn	11:36	13	Blackthorn
10:36	14	Newman Lane	15:20	14	Newman Lane	10:54	14	Newman Lane
10:54	15	Blackthorn	15:38	15	Blackthorn	10:12	15	Blackthorn
11:12	16	Newman Lane	15:56	16	Newman Lane	09:30	16	Newman Lane
11:30	17	Blackthorn	16:14	17	Blackthorn	08:48	17	Blackthorn

往復で1日
56本と非
常に多い
運行本数



昼でも満
員状態の
バス車内

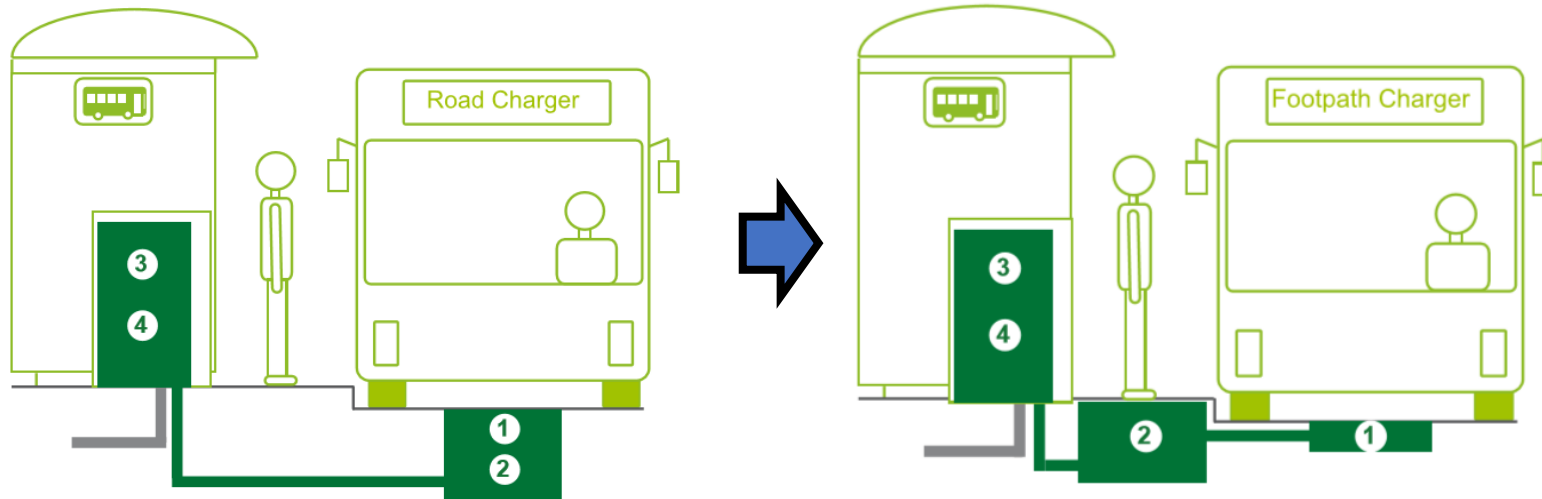
Transport for London(2016)

- バス : ・3 × 12m plug-in hybrid buses
・BYD2階建てバス
- ルート : No.69 (Canning Town～Walthamstow中央バス駅)
- ルート距離: 11km
- 走行時間 : 40～50分間
- 充電方法 : ・両ターミナルで200kW(100kW×2)ワイヤレス給電
・バスデポで夜間充電

- ① Charge Pad
(Primary Coil)
- ② Track Supply
- ③ Monitoring Unit
- ④ Cooling Unit

理由:

- ・道路工事時間の短縮化
- ・道路上設置費用削減
- ・車道より歩道の方がメンテが容易



バス停で30秒間充電

全長 約12km

ターミナルで10
／15分間充電

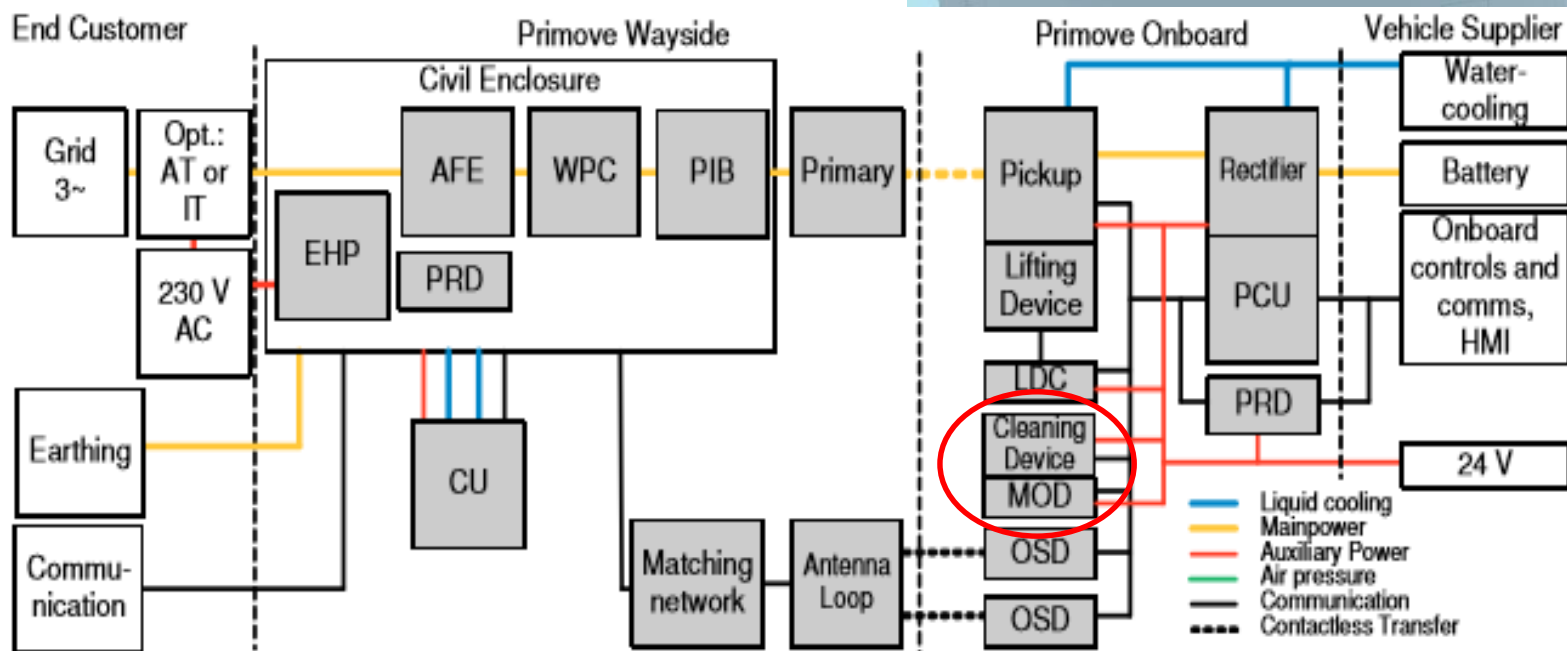
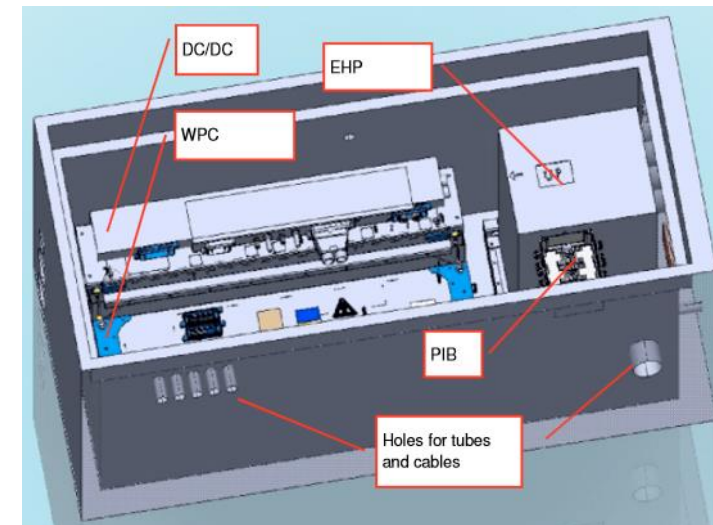
2次コイル昇降式



ピックアップ仕様

- ・出力 200kW
- ・充電 ターミナルで11分
バス停で30秒充電
- ・電圧 600～700VDC
- ・重量 320kg(整流器60kg)
- ・寸法 2200×900×100mm
- ・製造所 Bombardier

電源ピット構造



Braunschweig市のEVバス運行②



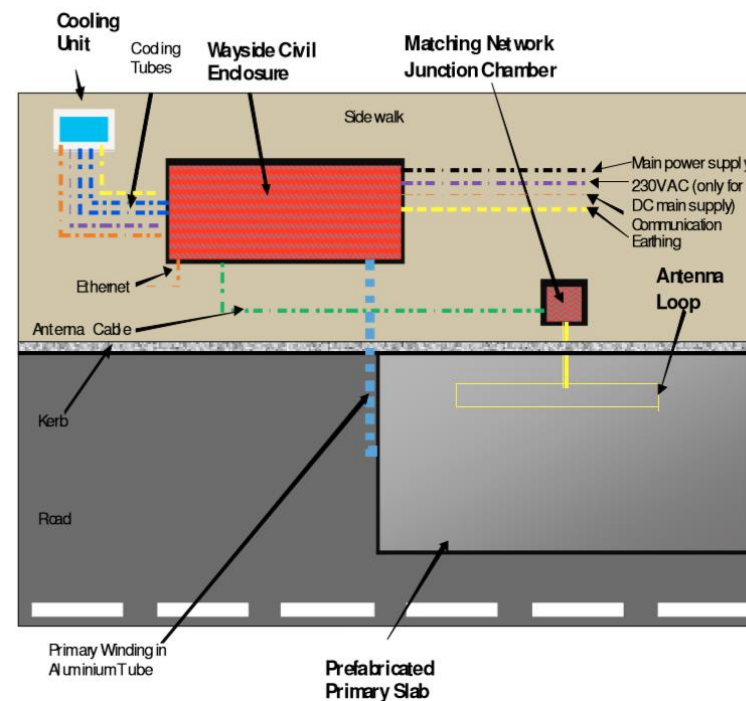
15



ターミナルの2台の地上コイル バス停専用道路の地上コイル

2次コイルの設置状況

コイル昇降システム



バス前方からコイル表面
清掃用ゴム幕を見る

中国でのワイヤレス充電バス調査

ZTE(中兴通讯)のワイヤレス充電バス展開

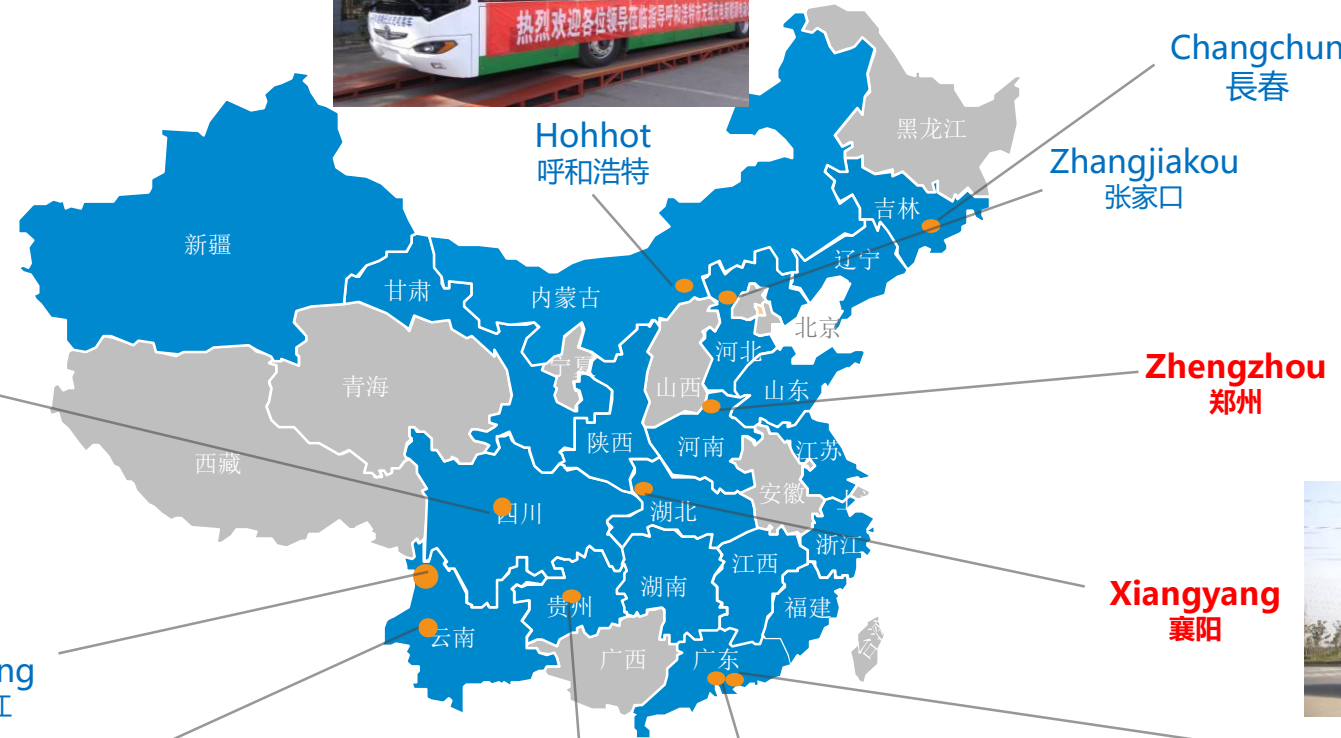
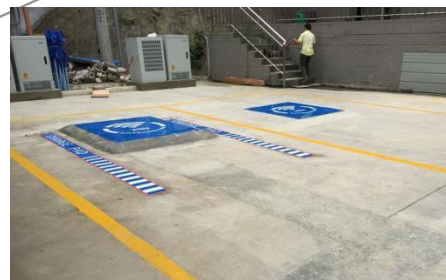


17

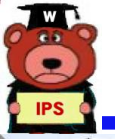
ZTEが戦略的パートナーシップを結ぶ38市のうちe-BUSを導入した市(2015年)

赤字 2016年8月実施(環境省PJ)

緑字 2016年1月実施(Volvo PJ)



襄陽市のEVバス運行路(601路)と充電場所



18



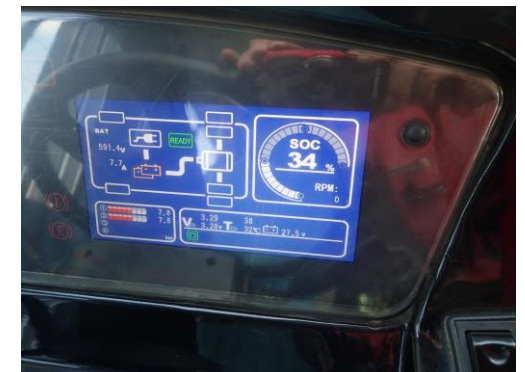
車両外観、各2基の120kW電源盤と冷却システム、奥の高圧電源(160kVA)



横2連の車上コイル、地上コイルと正着用ハンパ、コイルと電源盤の位置関係



道幅も広く、平坦で、殆ど渋滞が見られない



ハンパに正着したバス、出発時SOC47%で約23km走行後のSOCは34%

鄭州市のEVバス運行路(B6路)と充電場所



19



120kW電源盤と冷却システムが5基設置、1基の電源から交互に2台のバスに充電



2台の車上コイルと地上コイル、コイル表面樹脂板の滑り止め模様



殆どBRT路線で渋滞の影響が少ない



12kV／630kVAの高圧変電盤、電池の搭載状況と無線充電のエンブレム

EVバス運行路と充電場所(運行中止都市)



20

成都市



ルート全長：5.5km
コイル設置：2基
電源盤出力：60kW(30kWずつ2基のコイル)
運行：2015年1月開始
2016年3月中止

大理市



ルート全長：7.3km
コイル設置：1基
電源盤出力：30kW
運行：2015年2月開始
2016年6月中止

貴陽市



ルート全長：11.8km
コイル設置：2基
電源盤出力：30kW
運行：2015年7月開始
2015年9月中止

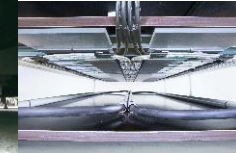


ルートが短くても、コイルの出力が30kWと小さい都市では運用が中止されている

EVバス用ワイヤレス充電システム



21

製造所	東芝	昭和飛行機工業	Utah State University	WAVE	中興通信 (ZTE)	OLEV Technologies	INTIS	Momentum Dynamics	IPT Technology	IPT Technology	Bombardier
型式名		SIPS30K/50k				OLEV			IPT Charge		PRIMOVE200
出力	44kW	30/50kW	25kW	50kW	30/60/120kW	100kW (20kW x 5)	60kW	50kW	120kW (30kW x 2 x 2)	100/200/300kW (50kW x 2/3/4)	200kW
ギャップ	10.5cm	12cm/5cm	15~16.5cm	20cm以下	16~25cm	20cm	15cm	15~20cm	4cm	13cm	1.5~4.5cm
許容位置ずれ	左右20cm 前後15cm	±10cm/±5cm	15cm	±12.5cm	±15cm		左右±5cm	40%の円内	左右±5cm 前後±5cm		左右±10cm 前後±30cm
効率	84%	92%/93%	90%	90%	90%	83%	90%	90~91%	93%	90%	90%
	AC~DC	AC~DC	DC~DC	DC~DC	AC~DC	AC~DC			AC~DC	AC~DC	AC~DC
コイル形状	Solenoid	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
2次コイル寸法	62 x 80 x 4.65cm	120/84.7x120/84.7x 3.3cm	81cmφ	91cmφ	1m ²	125 x 69 x 11.7cm x 5	200 x 90 x 2.3cm	122cmφ	102.5 x 87.5 x 6cm x 4	110 x 108 x 5.5cm x 2/4/6	220 x 90 x 10cm
2次コイル重量	107kg	60kg/37kg	73kg			600kg (120kg x 5)	60kg	22kg	280kg (70kg x 4)		350kg
周波数	85kHz	22kHz	20kHz	23.4kHz	85kHz	20kHz	35kHz	23.5kHz	20kHz	20kHz	20kHz
発表時期	2015	2008/2011	2012/11	2016/6	2014/9	2014/9	2014/9	2013/9	2014/1	2016/1	2014/3
備考				通信はDSRC	2次コイル昇降式もあり	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 FOD、清掃装置
写真											

1. 充電における課題

2. 環境省プロジェクトでの海外調査

3. 大電力ワイヤレス充電実現のための対策

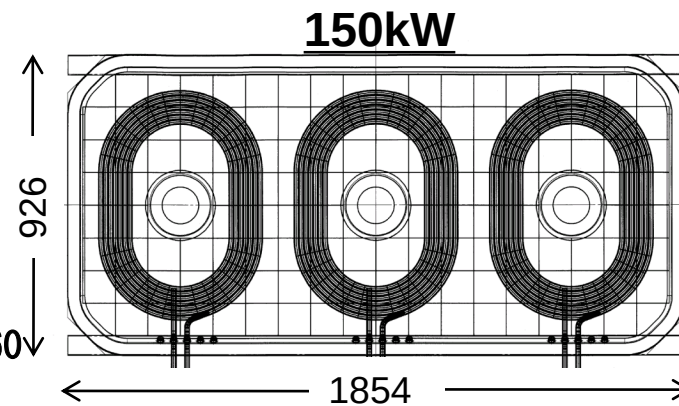
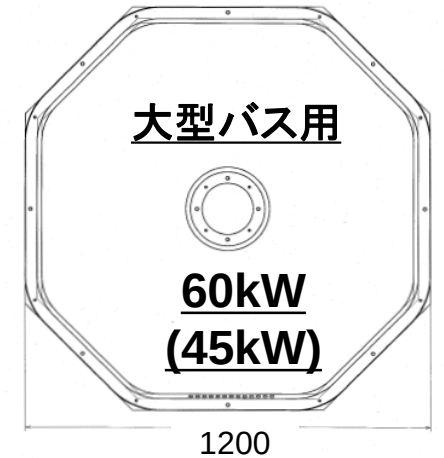
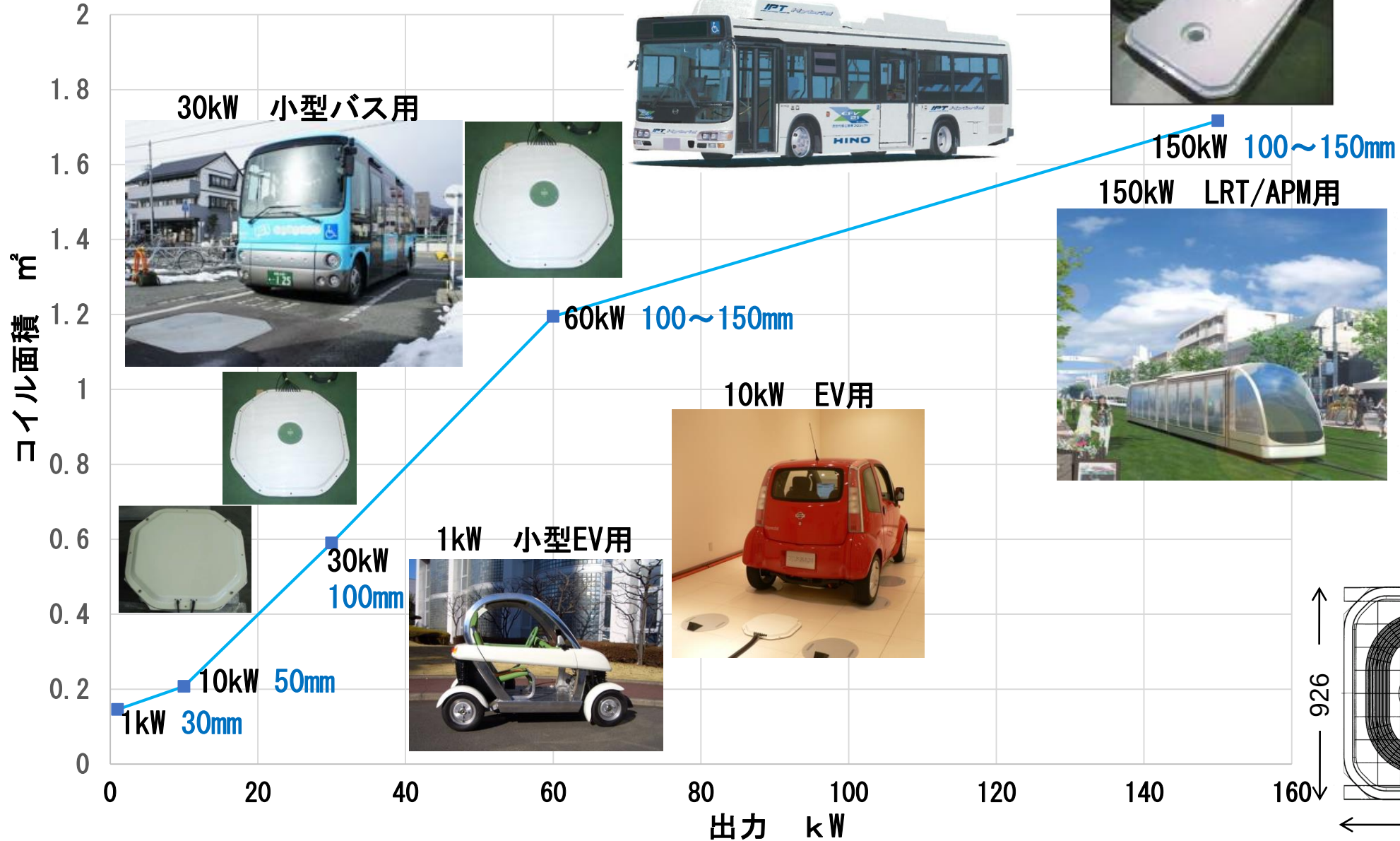
4. まとめ

IPS開発成果と実用化開発展開



23

青字数値はコイル間ギャップ

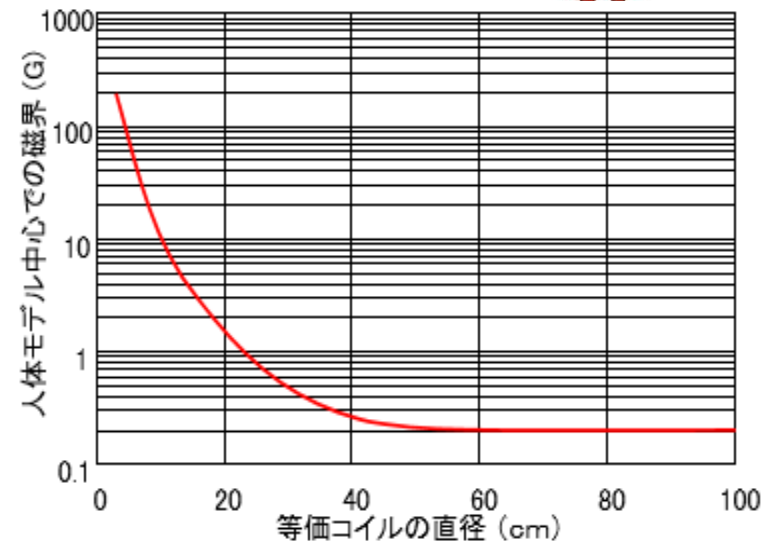
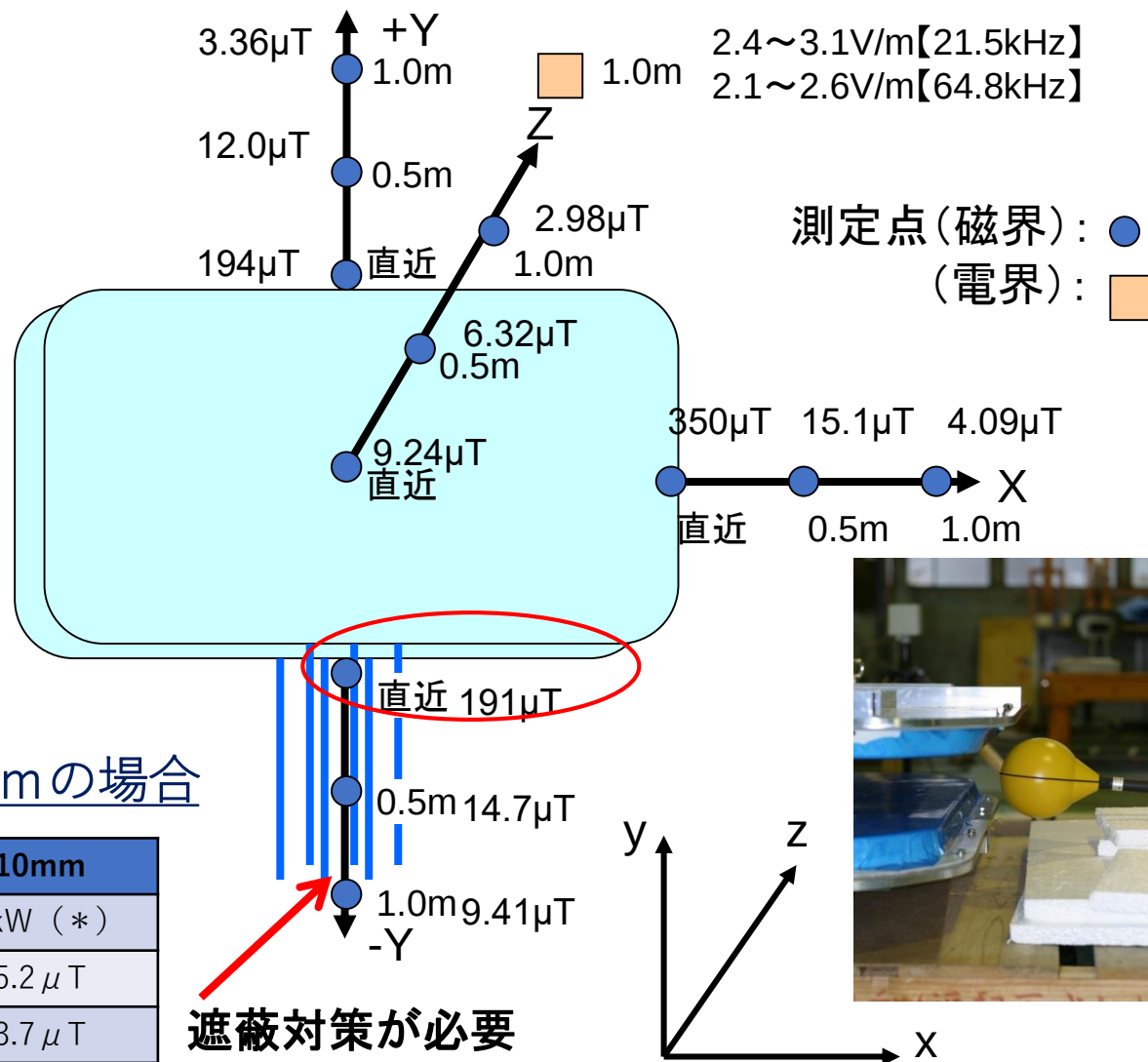
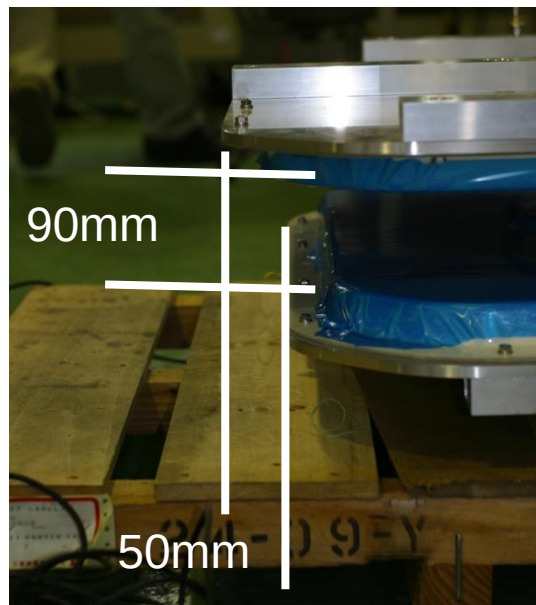


150kWシステムの距離的影響

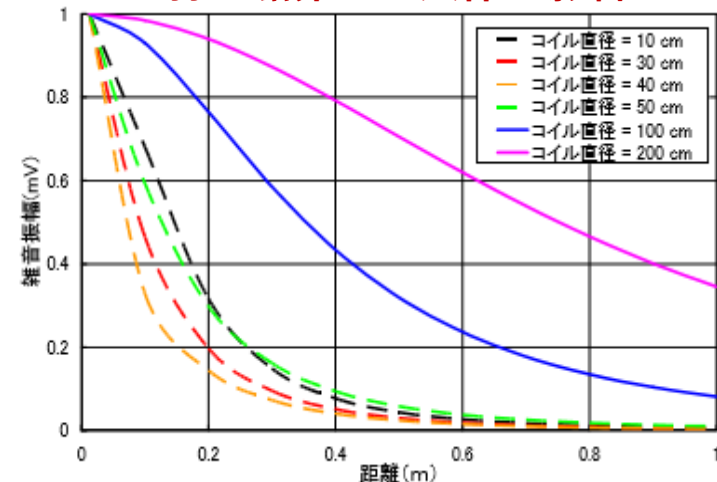


24

Gap : 90mm
x方向ズレ50mmの場合



磁界発生源が大きいほど
弱い磁界でも人体に影響



磁界発生源が大きいほど
離れても減衰し難い

x方向ズレ無し、距離0.5mの場合

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

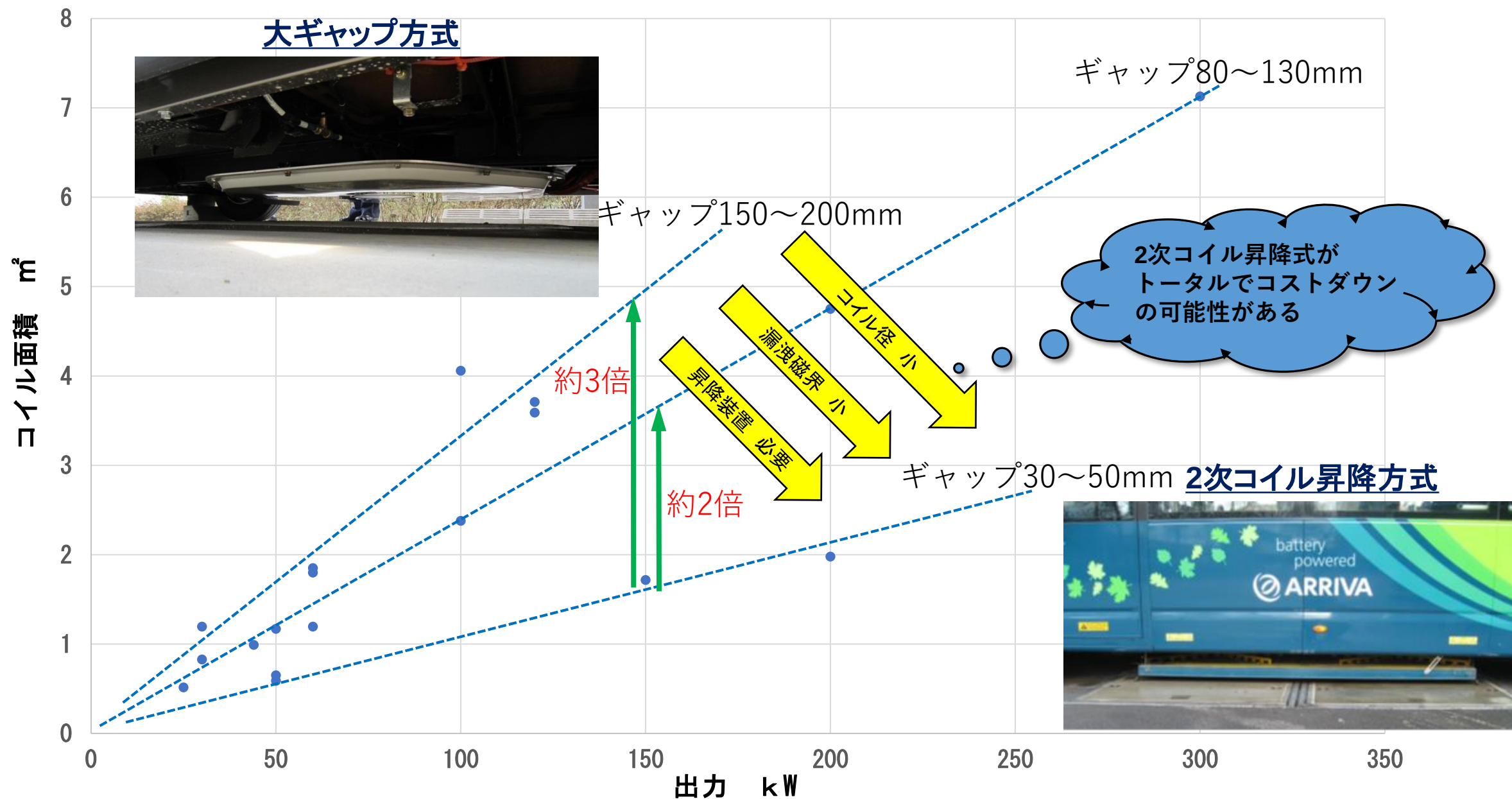
(*)110mmでは120kWしか出力できなかった

150kWシステムでは漏洩磁界が非常に大きいため
ギャップを小さくする必要がある

出力とコイル面積およびコイル間ギャップの関係



25



1. 充電における課題
2. 環境省プロジェクトでの海外調査
3. 大電力ワイヤレス充電実現のための対策

4. まとめ

- ・電動路線バスにおける急速充電システムではディーゼルバス同等の運用は困難
CHAdeMOなどの50kW級では30分近い充電待機が必要
- ・コネクタ式超急速充電システムは運転手へのコネクタハンドリングの負担が大きい
160kW超のコネクタ重量とケーブルハンドリングが大変
- ・ワイヤレス給電システムにより運転手への負担が大きく軽減される
運転手席でタッチパネルを押すだけで充電ができる
- ・日本では電源の関係から50kWまでの運用実績しかないが、150kWシステムは製作可能である
欧州では1コイルで200kWのものが実運用されていて、300kWまではカタログに載っている
- ・大出力大ギャップのワイヤレス給電システムでは電磁漏洩の抑制が課題
大出力ではコイル間ギャップを小さくする方策がトータルではコストダウンになる



ご清聴ありがとうございました

早稲田大学環境総合研究センター

高橋俊輔

s.takahashi15@kurenai.waseda.jp