

ワイヤレス給電技術の 最新動向

早稲田大学環境総合研究センター
高橋 俊輔

2014年9月19日

EVEX2014セミナー

東京ビッグサイト 東3ホール



WASEDA University

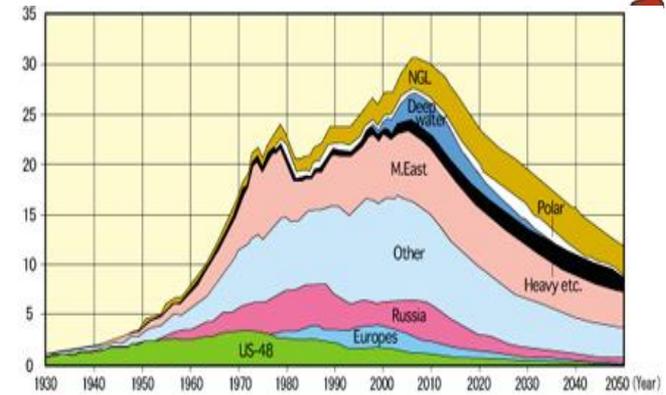
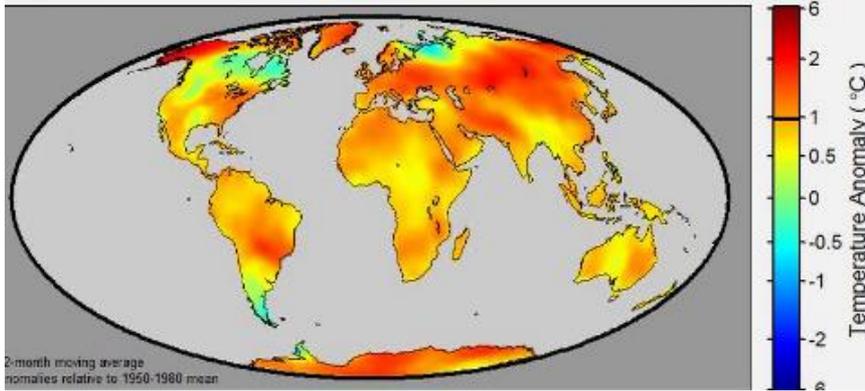


1.ワイヤレス給電システムの現状

2. ワイヤレス給電の課題

3. 今後の方向性～走行中給電～

EVの必要性とその普及のカギ



温暖化対策

温室ガス排出の抑制

化石燃料の枯渇対策

省エネか代替エネルギー開発
シェールガス・オイルの影響が未だ



内燃機関自動車に比べ再生可能エネルギーへの対応性が高いEVがこれらの課題を解決

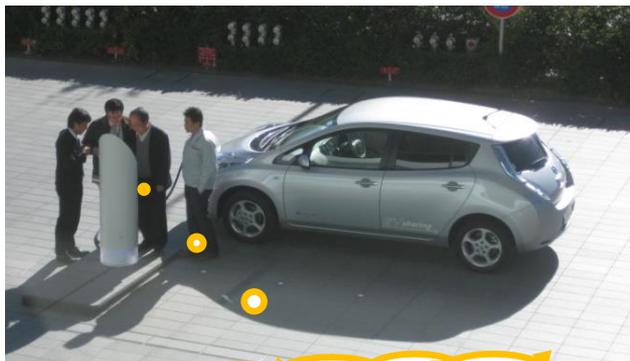
1充電走行距離の短いEVの普及のカギは充電設備の普及とその利便性が握る

接触式充電装置の課題



接触式充電装置の課題

- ・メンテナンスの必要性
接点の汚れ、摩耗
- ・操作時の安全性
雨天時の防水、地絡、
感電対策が必要
操作ミスによる焼損対策
- ・操作の面倒さ
大きくて重いコネクタ操作
手の汚れ



どう使うの？

雨の日はガラ空き

手動ケーブル ハンドリング装置



ホンダHSHS実証ハウス

自動充電技術(接触式)



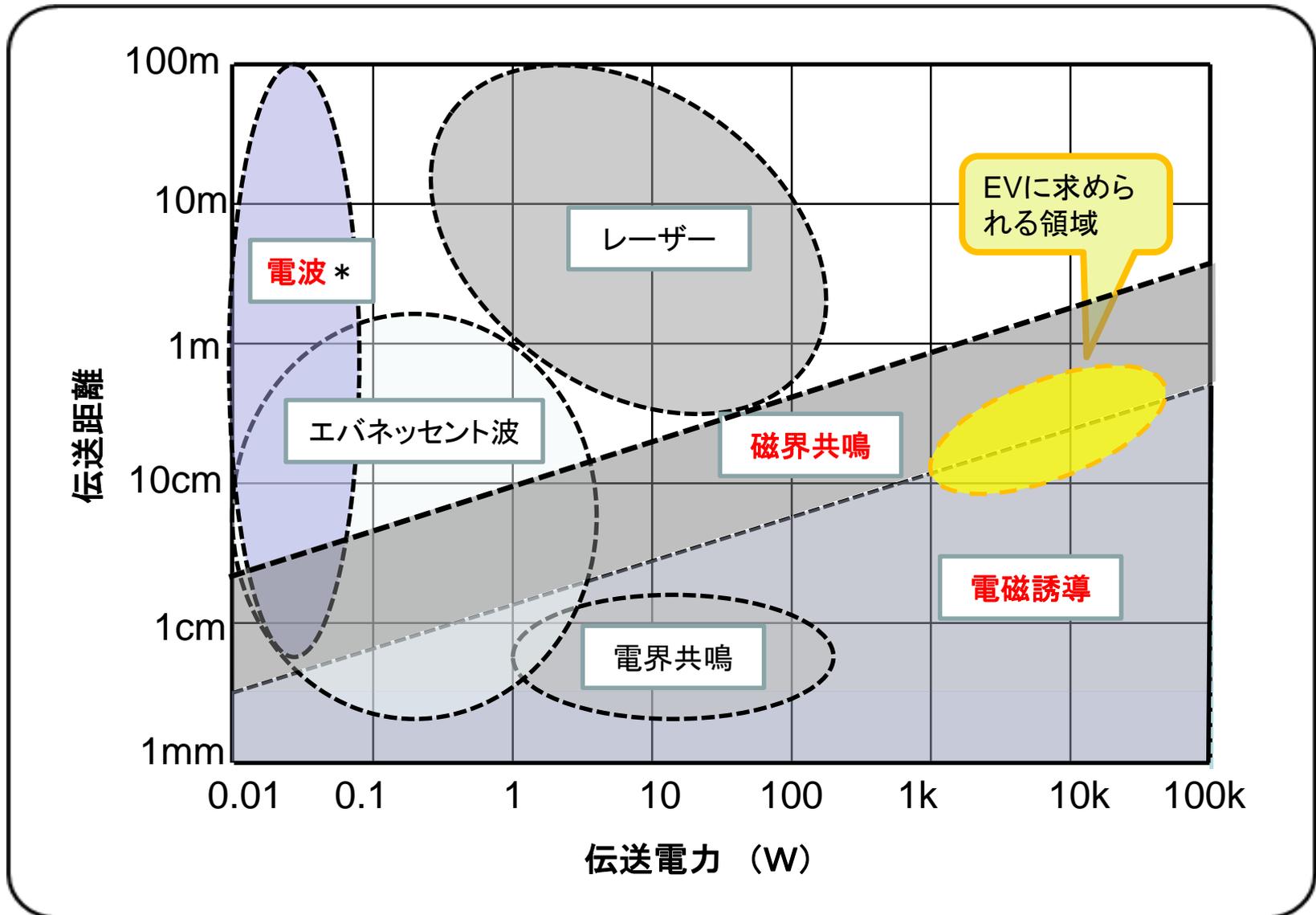
米国SemaConnect社の自動充電ターミナル

非接触式自動充電

- ・操作が不要でメンテナンスコストも少ない
- ・雨天時も安全

- ①電磁誘導方式
- ②磁界共鳴方式
- ③電波方式(マイクロ波など)
- ④電界共鳴方式
- ⑤エバネッセント波方式
- ⑥レーザー方式

各方式の伝送電力と伝送距離



* 電磁波の人体防護の観点からの制限による

EV用のワイヤレス電力伝送方式

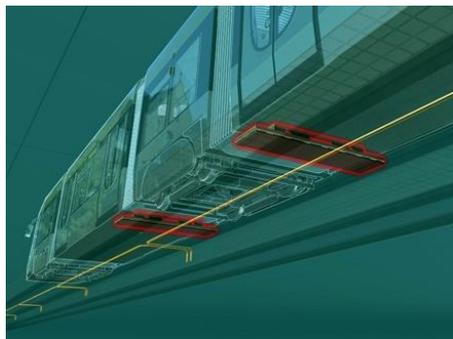


電磁誘導方式

- ・19世紀のファラデーの電磁誘導の原理を利用
- ・コイル間の電磁誘導を利用して給電
- ・近距離（数mm～数十cm）で微小電力から100kW以上の大電力まで効率良く（90%以上も可能）伝送
- ・給電方式としては
 チャージ方式：給電コイル上に静止
 レール方式：給電ライン上を移動



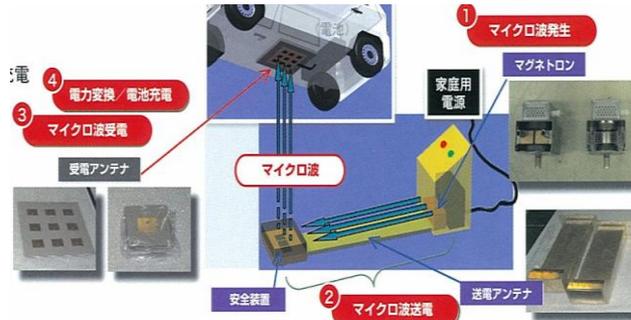
Plugless Power社
電気自動車への給電(2010年)



BOMBARDIER社
電車への250kW(2009年)

電波方式

- ・19世紀にテスラが通信実験を行う
- ・マイクロ波などの電波をアンテナで受信、整流回路で直流に変換(レクテナ)
- ・電波のビームを絞ることで長距離大電力伝送も可能



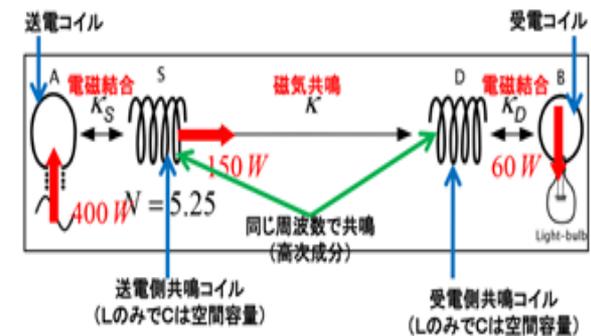
三菱重工業 出力1kW、効率68%(2013年)



キャパシタ搭載EVへの給電(2006年)

磁界共鳴方式

- ・2007年6月米MITのMarin Soljatic教授の研究グループが発表
- ・2mの距離で60W送電、効率40～45%
- ・共振回路同士の共鳴現象を利用
- ・基本原理は新しくはないものの、給電方式としては新たな方式



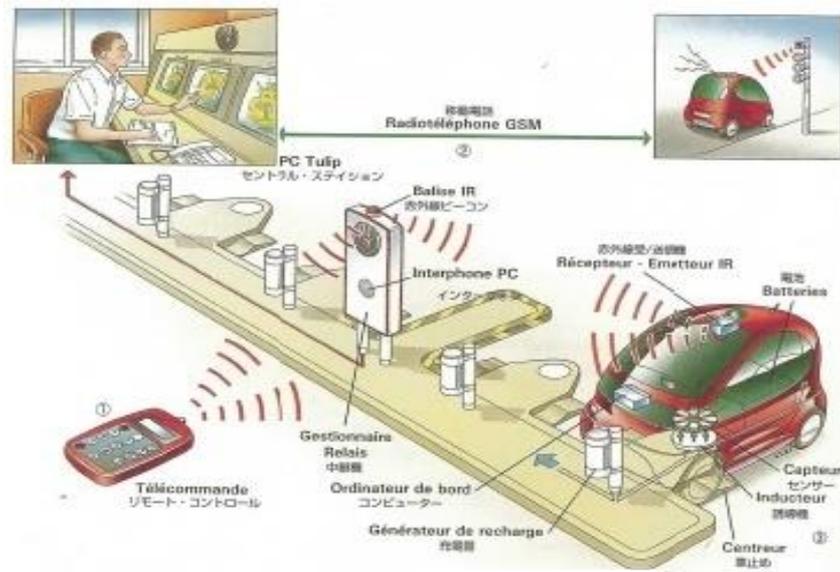
IHI/WiTricity/三菱自動車(2011年) 6
出典: 各社HPの写真より

EV用ワイヤレス給電システムの歴史



Tulip (Transport Urbain, Individuel et Public) 計画

- ・1995年、フランス
- ・PSA(プジョー/シトロエングループ)発案
- ・電磁誘導式ワイヤレス充電の仕様
位置合わせは半自動、充電は全自動
出力が小さく満充電に4時間が必要
電磁波漏洩が大きい



Praxiteleシステム

- ・1997年、フランス
- ・CGEA社およびルノー社
- ・低周波トランスによるワイヤレス充電
- ・効率が悪く車両の位置決めが難しい



出典: CAR & DRIVER (970526号P51)



出典: カースタイリング別冊NCV21



最初に製品化されたのはバス用ワイヤレス給電



ドイツWampfler社製のIPT

- ・大電力で地上コイルに跨るだけで容易に充電(30kW)
- ・欧州ではトリノやジェノバのEVバス用として数十台が採用
- ・日本でも4台が採用された
- ・車両サイズに比較して相対的に大きい、重い、効率が悪い、高価等の大きな改善課題が存在

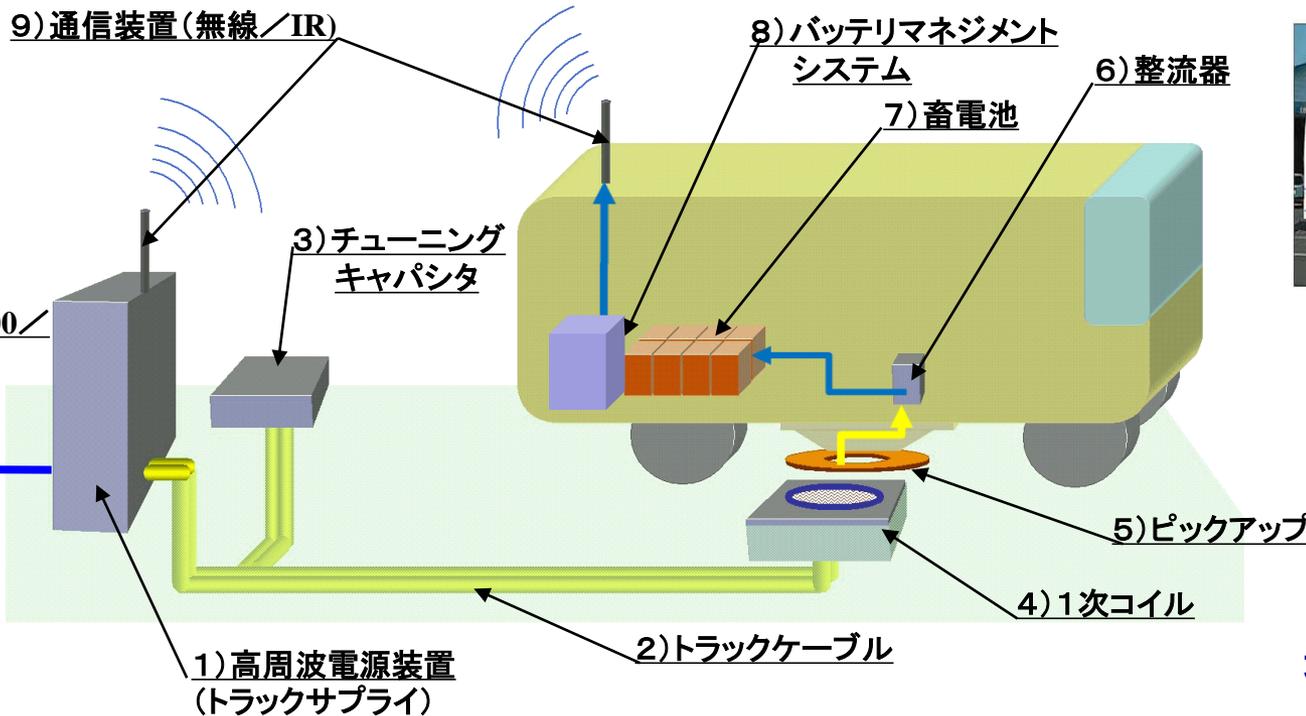


出典: Wampfler社のカタログより



トリノ電動バス

- ・2002年以来
- ・20台
- ・60kW



IPTバス; 日野自動車

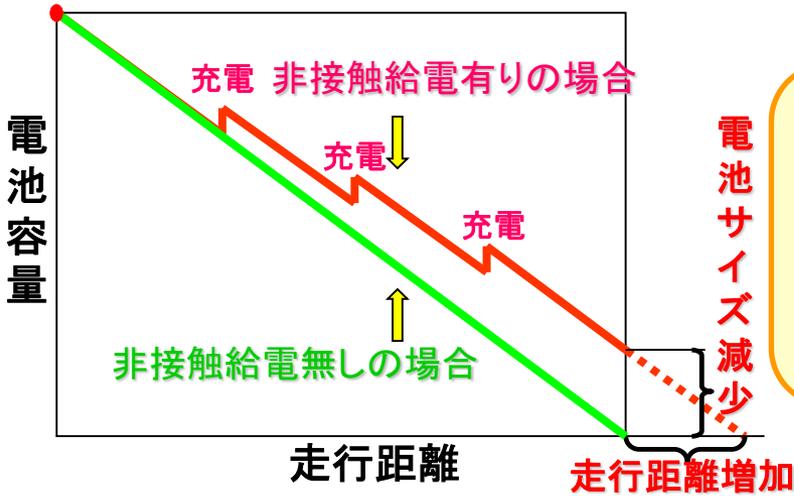


先進電動バス; 早稲田大学

早稲田大学での電動バスとワイヤレス給電の開発

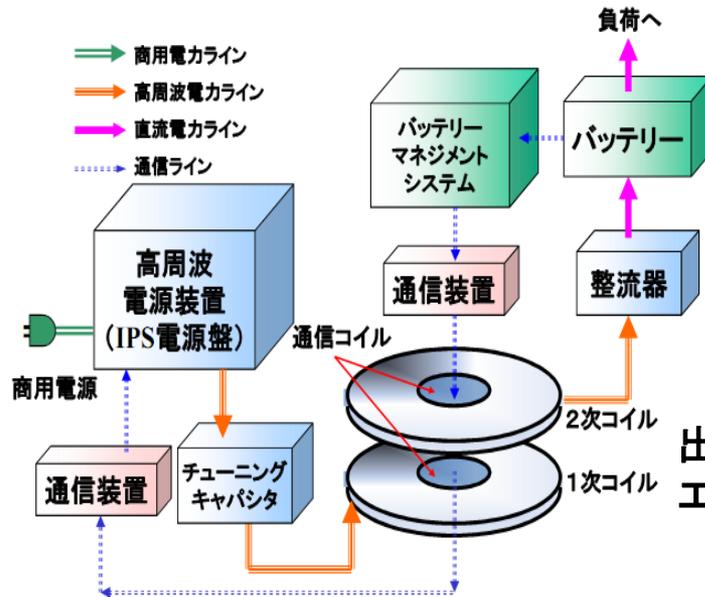


NEDOおよび環境省委託により先進電動マイクロバスWEBシリーズとワイヤレス給電IPSの開発



WEBのコンセプト

電池搭載量の最小限化による短航続距離の問題は安全で操作が容易な非接触充電により充電回数を増やすことで対処



WEB-1
出力 30kW
エアギャップ 80mm



WEB-3
出力 30kW
120mm



WEB-4
出力 30kW
120mm

英Milton Keynes市EVバス実証事業



ロンドン名物の2階建てバスのEV化も可能、2020年の東京五輪も視野に日本での運行も検討

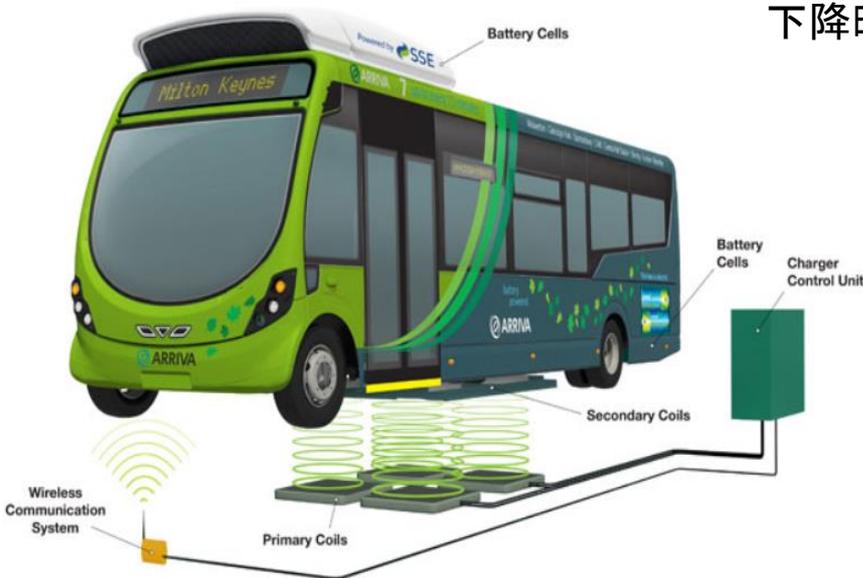
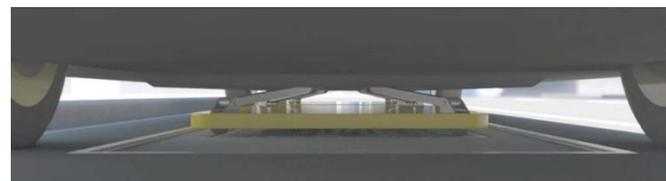
2次コイルは昇降式



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



バス: 9.48m x 2.445m 46人乗りの中型バス

電池: 韓国Kokam社製で屋根他に150KWh

ワイヤレス給電システム:

30kW x 2 = 60kWのモジュールが2式の計120kW

充電時間は10分間

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
- ・電磁誘導方式ではなく磁界共鳴方式が主流に
- ・ギャップは20cm程度まで拡大
- ・電磁波漏洩対策が厳しくなる

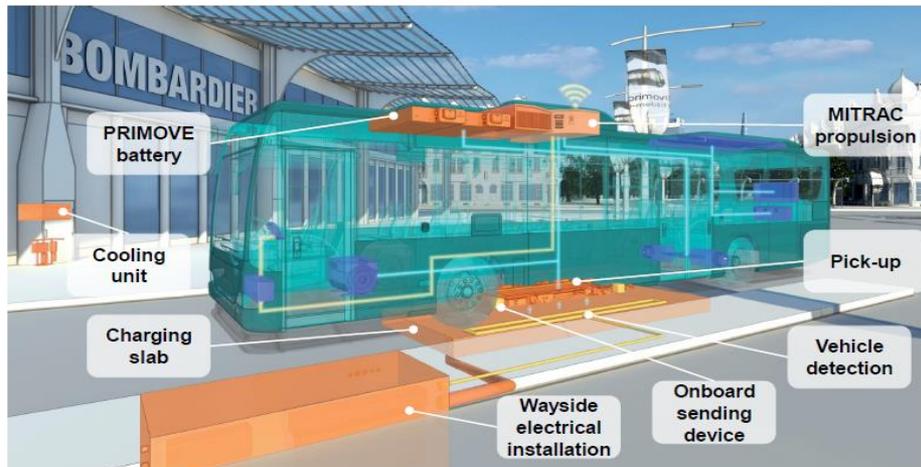
昇降式の利点が見直されつつある

- ・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
- ・搭載車両の地上高による伝送条件調整不要

BombardierのEVバス実証事業



Bombardier MITRAC e-bus



導入時期と台数

Braunschweig (独)	2014年3月	2台+4台(10月)
Bruges (ベルギー)	2014年夏	3台
Mannheim (独)	2014年第2四半期	2台
Berlin (独)	2014年第2四半期	8台

ピックアップ仕様

- ・出力 200kW
- ・電圧 600~700VDC
- ・重量 320kg(整流器60kg)
- ・寸法 2200×900×100mm
- ・昇降装置によりピックアップは地上コイル上に下ろされる



Conductix-Wampflerと同じ方式

電磁放射抑制とコイルサイズ小型化には効果的

EVへの電磁誘導式の開発動向



Bosch ASS-Evatran 『Plugless L2 Electric Vehicle Charging System』 (2013年)

出力 : 3.3kW
ギャップ : 10cm
効率 : 91.7%
周波数 :
かなり低いが
商用周波数
ではない



SEW-EURODRIVE 日産インフィニティ「LEコンセプト」 (2011年) (NYモーターショー2012)



出力 : 3kW
効率 : 90%以上



出力 : 3.3kW
特徴 : 標準装備

Audi(2011年) A2 Concept



Audi Wireless Charging (AWC)
出力 : 3.6kW

Halolpt(2010年@EVS25) / Qualcomm(2012年@WTP2012)



出力 : 3.5kW
効率 : 90%以上

Volvo(2013年) C30エレクトリック



出力 : 20kW
写真: 各社HPより入手

EVへの磁界共鳴式の開発動向



TDK (CEATEC2012)



ホンダ/IHI (2014)

「フィットEV」
出力 : 2.2kW (定格3.3kW)
ギャップ : 5cm (コイル間10cm)
周波数 : 85kHz
効率 : 80~90% (下記条件で)
位置ズレ : 横方向±10cm
縦方向±5cm
角度±2度

トヨタ (CEATEC2013)



出力 : 3kW / 20kW
ギャップ : 15~20cm
効率 : 80~90%
周波数 : 20~200kHz
位置ズレ : 20cm以下

デンソー (2014)

出力 : 4.5kW
ギャップ : 25~30cm
効率 : 85%
周波数 : 9.5kHz



「プリウスPHV」
2014年中にも実証実験開始
出力 : 2kW
充電時間 : 90分
周波数 : 85kHz
充電制御用無線通信方式
Wi-FiもしくはZigbee

住友電工 (ITS2013)

「ソレノイド型コイル」採用
出力 : 3kW
ギャップ : 140mm±30mm
周波数 : 85kHz
位置ズレ : 10cm



出典: RESPONSE

EVでも進む国内での実証実験



愛知県内のオーナー宅3軒

トヨタ 2kW
プリウスPHVに給電
平成26年2月～平成27年2月(当面)



出典:トヨタ自動車

柏の葉実証実験住宅「MIDEAS」

IHI/WiTricity 3.3kW
プジョーのionに給電
平成24年9月～平成27年11月



さいたま市実証実験住宅「E-KIZUNA」

ホンダ/IHI/WiTricity 2.2kW
ホンダのフィットEVに給電
平成26年5月～平成27年度(当面)
自動運転による正着性確保



セブン-イレブン豊田市上野町店

デンソー 4.5kW
ヤマト運輸の配送車に給電
平成26年2月～平成26年12月
9.5kHz採用で設置許可不要



出典:RESPONSE



1. ワイヤレス給電システムの現状

2. ワイヤレス給電の課題

3. 今後の方向性～走行中給電～



電磁界強度の課題

1. 電界規制 → 電波法の課題

- 電波法第100条2項と電波法施行規則第45条3項の規定

10kHz 以上の高周波利用設備で **50W** を超えるものは設置許可を受ける必要がある

- 無線設備65条2項に規定されている下記数値を満足している必要がある

450kHz以下の使用周波数の放射の電界強度は、

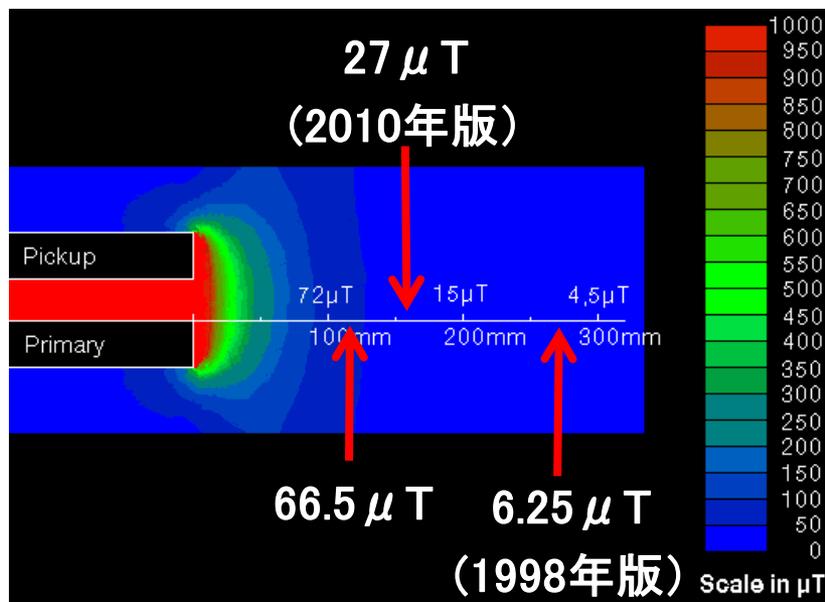
100m電界規制値 = 1mV/m 以下、かつ高周波出力が

500W以上の場合 30m電界規制値 = $\sqrt{\frac{P}{500}}$ mV/m 以下 (Pは装置の出力W)

500W以下の場合 30m電界規制値 = 1mV/m 以下

2. 磁界規制 → ICNIRPの人体防護ガイドライン

30kWタイプの20kHzでのシミュレーション



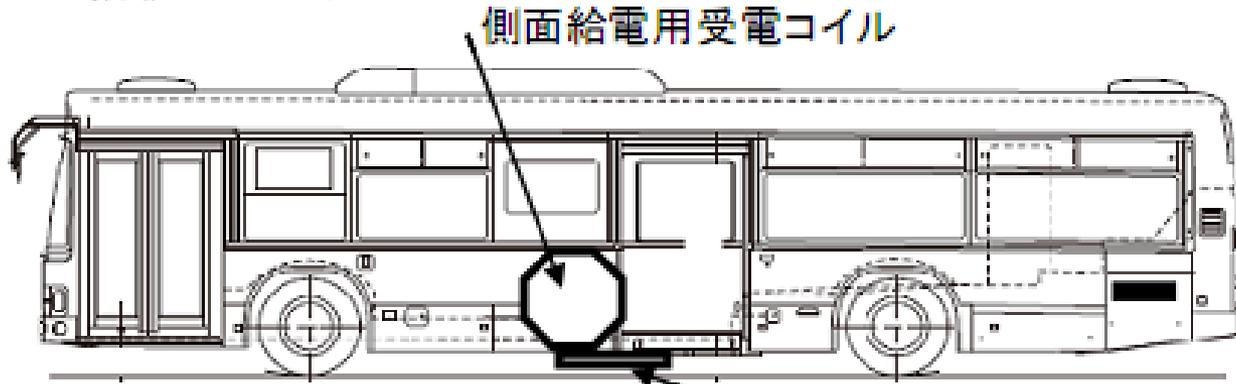
心臓ペースメーカーの最大許容磁束密度

周波数	磁束密度	(ドイツ規格)
15kHz	88.7 μ T	
20kHz	66.5 μT	

実際の電磁界計測結果(2008年ベース)

基準値 (μ T)	バス車内	バス車外
防護指針 / 91.5	1.5	4.5
ICNIRP / 6.25		
条件: 距離0.5m ギャップ80mm 位置ずれ60mmにて		

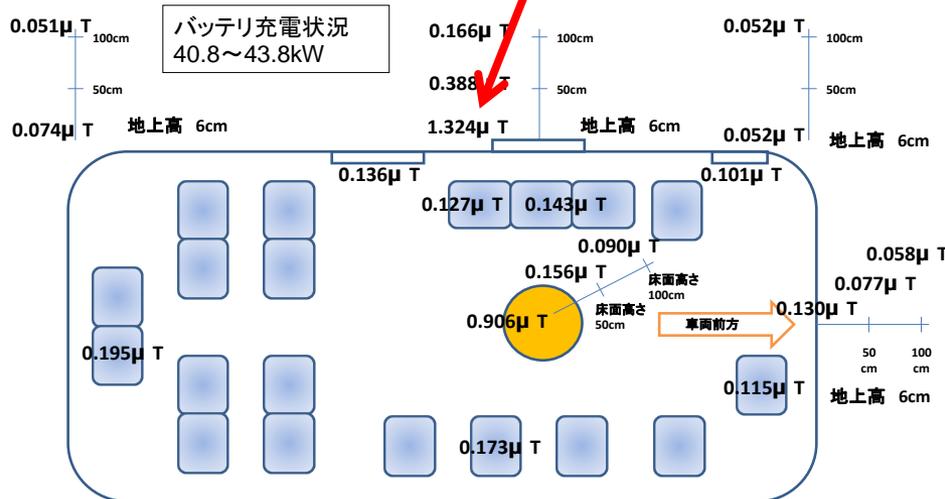
電動バスでの漏洩磁界測定結果例



50kW型の実測値

床面給電方式

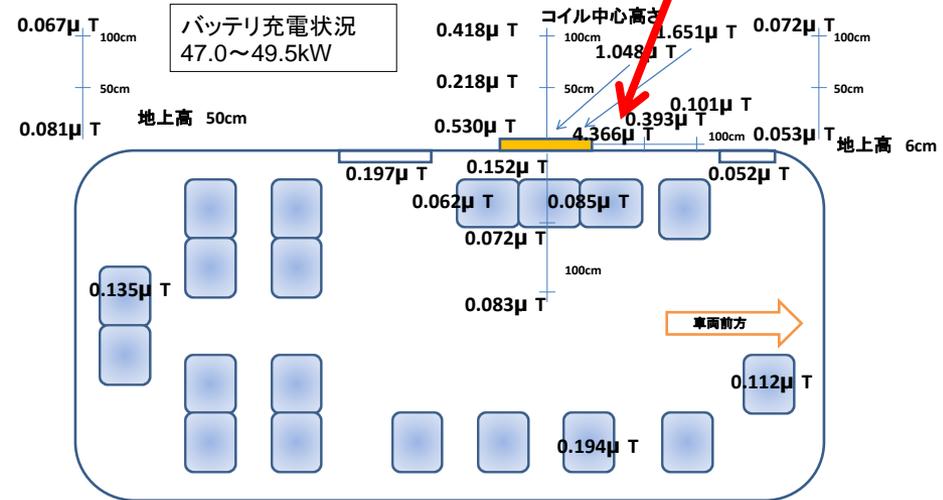
最大値
1.324 μ T



床面給電用受電コイル

側面給電方式

最大値
4.366 μ T



床面給電方式および側面給電方式の全ての測定点において、電波法の規制値より、小さい磁界となった。また、より厳しいICNIRPの公衆の暴露指針値よりも小さい磁界となった。

異物侵入の課題

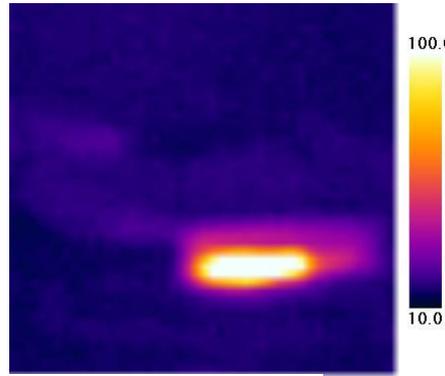


侵入異物の誘導加熱

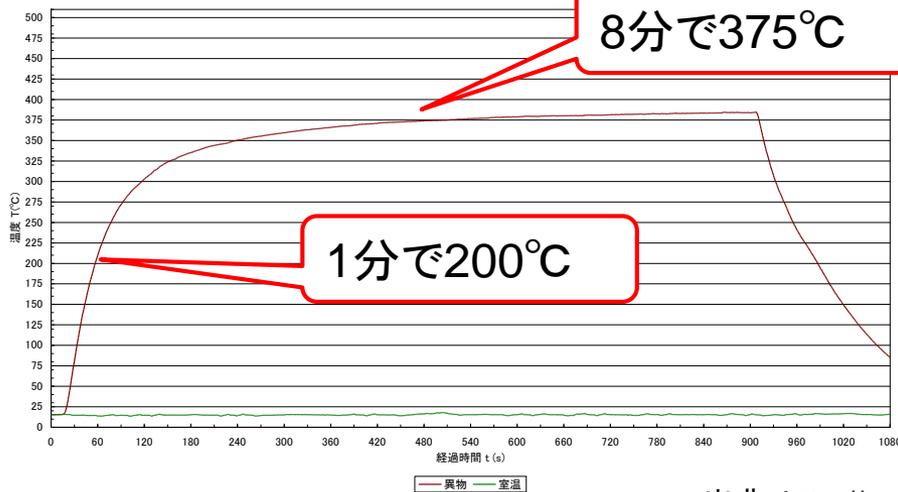
大出力の装置ではコイル空間に金属があると誘導電力で加熱される



異物検知システム (FOD) の検討が必要



ステンレスたわし

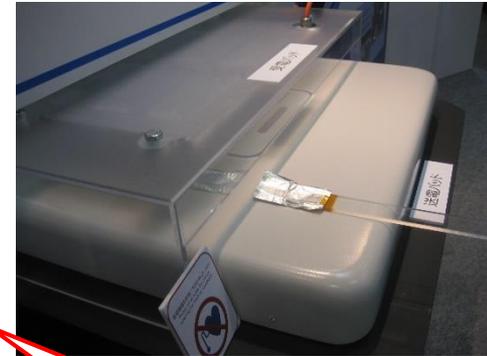


事例

パイオニア
(CEATEC2012)



IHI
(テクノフロンティア2014)



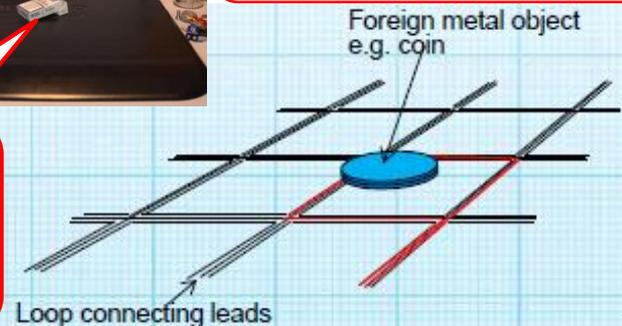
Qualcomm Halo



ともに金属を検知すると警報マークが出て給電停止

メッシュに微弱な電流を流して検知

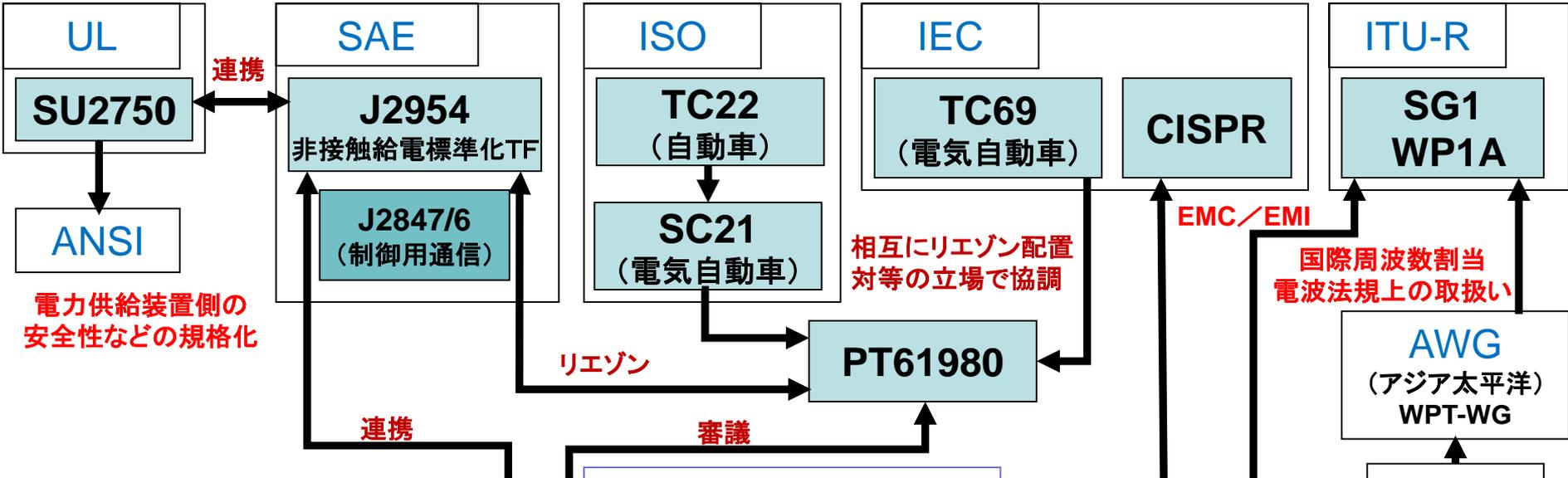
右の箱はコイン入り、左は空箱



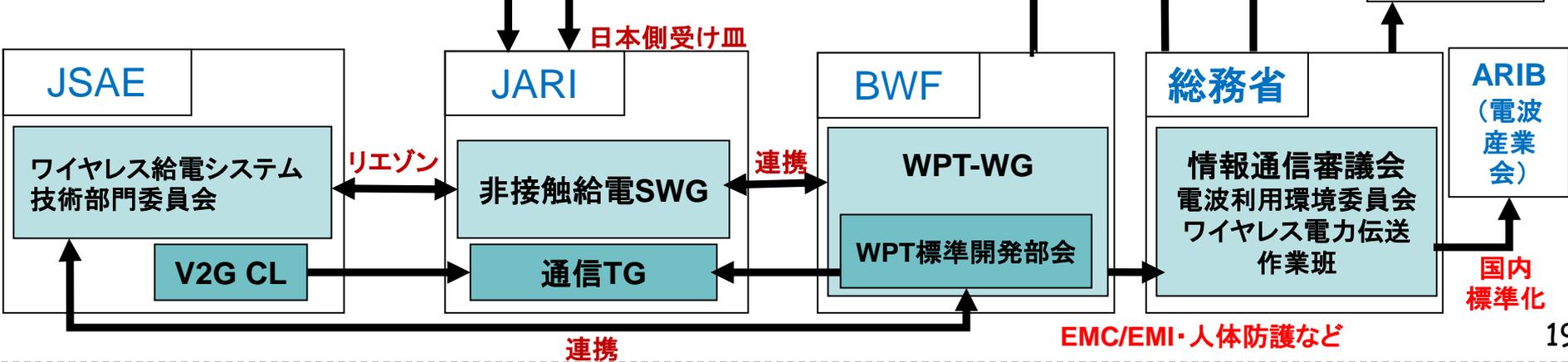
国内・国際標準化／法制化活動マップ (EV関連)



海外



日本



使用周波数の標準化



国際／国内で既に多くの周波数に割り当てがあり、空いている周波数帯に限られる

20.5～100kHz : 電磁調理器(イミュニティに関連)

9～315kHz : EU 医療用インプラント

110～205kHz : Qi

90～110kHz : FCC

135.7～137.8kHz : アマチュアハム

使用可能と考えられる周波数帯

150～280kHz : EU AMラジオ

バス等大型
車輛向け

21.05-
38.10kHz

42.00-
56.19kHz

69.93-
71.43kHz

81.38-EV向け
90.00kHz

140.91-
148.5kHz

最近、SAE、QualcommHalo、ドイツのメーカー等が85kHz帯を推奨するようになった

欧米での要求が強かった

SAE J2954 Ver.1.0推奨範囲(20～100kHz)

VDE推奨範囲(140kHz +50/-20kHz)

帯域が非常に狭すぎる

10kHz

50kHz

100kHz

150kHz

200kHz

134.2kHz:スマートキー／イモビライザー
(トヨタ、スズキ、マツダ)

125kHz:スマートキー／タイヤ空気圧モニタ
(ホンダ、日産、三菱、ルノー、フォード、現代、ボルボ)

95/110/117kHz: 駐車場車両検知システム

40/60/77.5kHz: 電波時計

22kHz:スマートキー(アウディ)

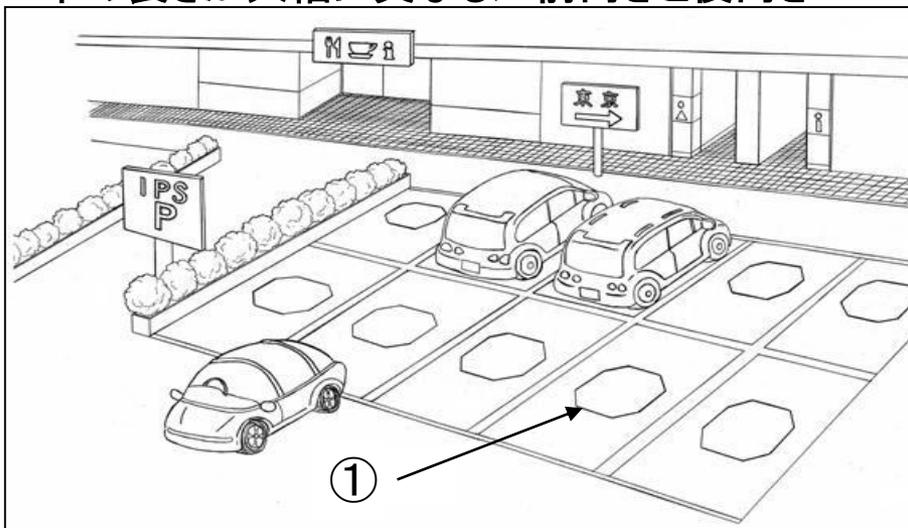
20kHz:スマートキー(ベンツ)

サービスエリア駐車場利用イメージ図



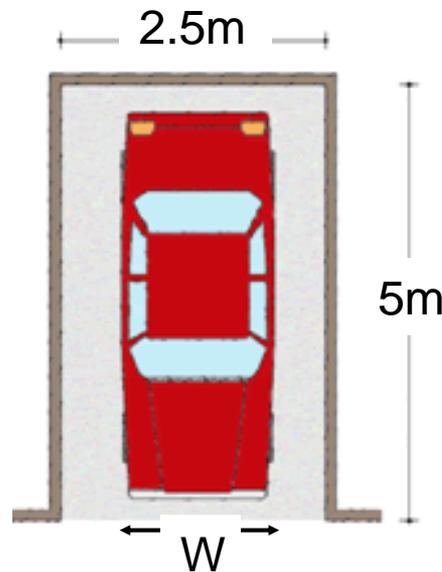
左寄り斜め駐車 一番正確 右寄り斜め駐車

車の長さが大幅に異なる／前向きと後向き



①地中埋め込み型非接触給電装置（送電側）

一般的な駐車場の寸法



自動車の車幅 W

軽自動車

1.48m以下

小型車(5ナンバー)

1.7m以下

普通車(3ナンバー)

2.5m以下

コイルの位置ずれロバスト特性の拡大

小型車の場合で

$$(2.5\text{m} - 1.7\text{m}) / 2 = 40\text{cm}$$

給電コイルと受電コイルの位置関係

- ・横方向に40～50cm程度のずれの発生
- ・前後方向は車止めが必要
- ・前向き／後向き駐車の統一
- ・水平方向の回転(斜め駐車)

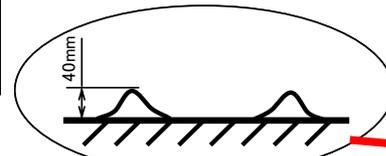
正着性への対応



位置合わせ用補助線組み合わせ

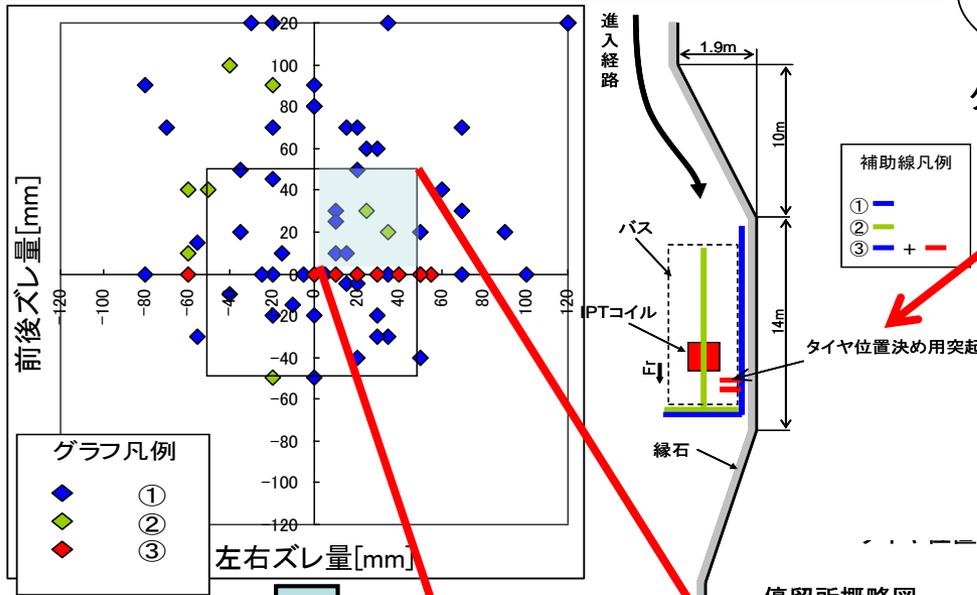
- ① 車幅補助線(車両左側)及び車両前停止線
- ② 車両センタ線及び車両前停止線(車両前側バンパ合わせ用)
- ③ ①及びタイヤ位置決め用突起(ハンプ)

WEB-1@なら瑠璃絵
(H23-2-8~14公開)

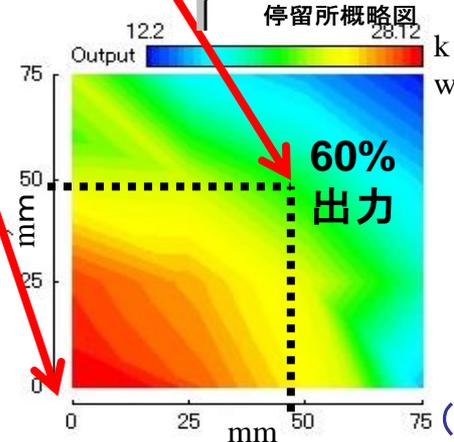


タイヤ位置決め用突起側面視

夜間でも前後方向の正着性は確保できた



【試験結果】
③の車幅補助線、車両前停止線(青線)及びタイヤ位置決め用突起(赤線)による位置合わせが最も有効



距離-出力試験
(IPT30kW型での試験結果)



路上設置ワイヤレス充電(動画:45sec.)



IPSハイブリッドバス@ビッグサイト(H23-12-5)



コイル位置合せモニタ画面



バス停止状態



1. ワイヤレス給電システムの現状

2. ワイヤレス給電の課題

3. 今後の方向性 ～走行中給電～

EVの「電車」化



1. 高エネルギー密度電池の採用

鉛電池 → ニッケル水素電池 → リチウムイオン電池

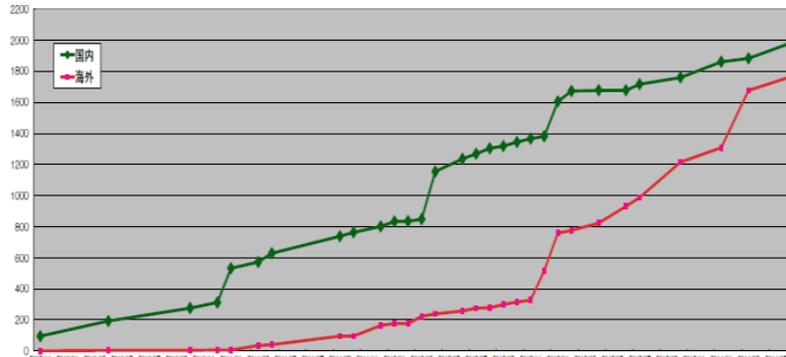
2. 搭載電池の増大

電池容量	iMiEV 16kWh	→	LEAF 24kWh	→	慶応大学8輪バスSakura 120kWh
走行距離	180km(JC08モード)		200km(同左)		121km(モードは不明)
充電時間	20分		29分		145分

電池容量を増大して走行距離を伸ばしても充電時間が大幅に掛かる

3. 充電渋滞の発生

2014.7.2現在の急速充電器設置数 3816(全国1978 海外1838)



高速道路サービスエリアでの充電渋滞の状況



電気自動車の「電車」化

走行中給電

電車のパンタグラフのようなアイデアもあるが、接触式 ゆえの多くの課題がある



Siemens/Scaniaの接触式走行中給電トラック



Volvoの接触式走行中給電トラック

ワイヤレス式走行中自動充電システム

韓国科学技術院KAISTの走行中給電

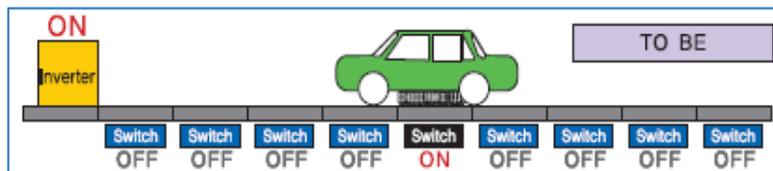
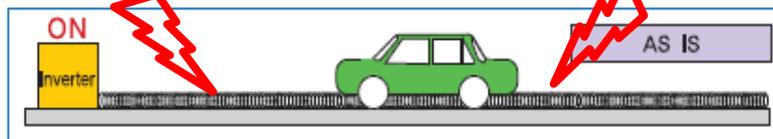


Gumi City(亀尾市) 2013年7月

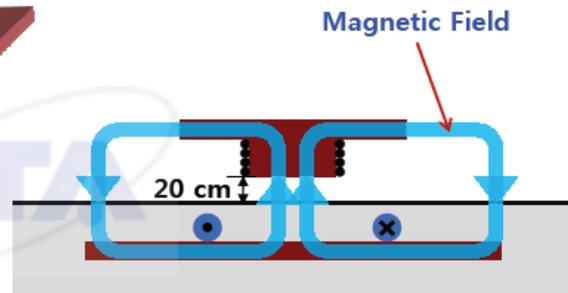
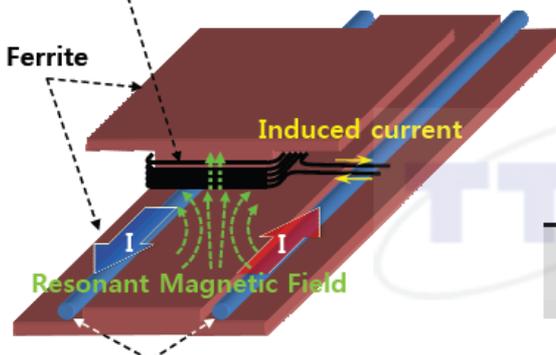
24km中36m×4ヶ所=144mで走行中給電
 2箇所の静止中給電も並行実施
 17cmギャップを効率85%で200kW送電
 ピックアップ容量15kW/台
 給電コイル幅80cm



Segment method



Pickup Coil (2nd coil)



その他の運用例

KAISTキャンパスシャトルバス
 3.76km中65mで走行中給電

Yeosu(麗水市) Exipo 2012
 3.5km中36mで走行中給電

Perspective View



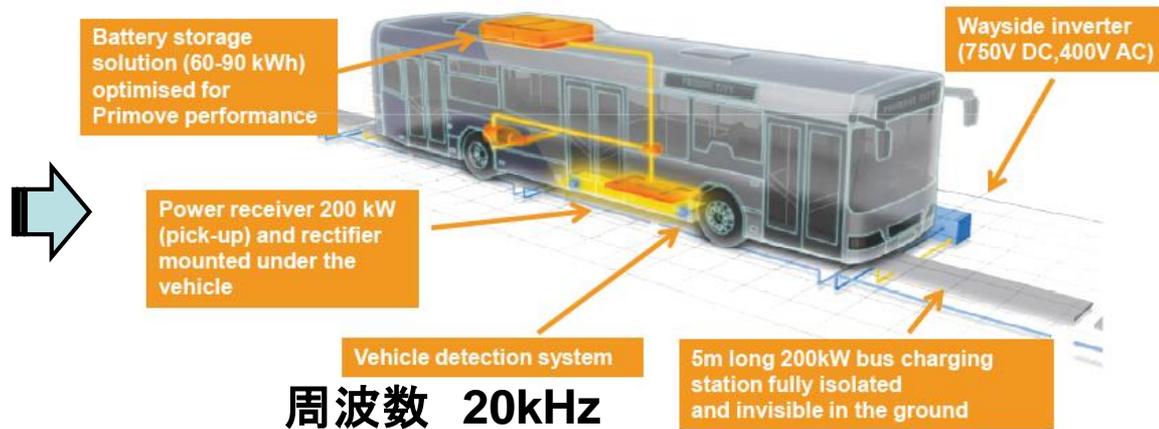
Cross-sectional View



BOMBARDIER / VAHLEの走行給電システム



Flanders' DRIVE research project ベルギーロンメル市の電動バス



電気バスを使って1.2 kmの試験道路で実証(2012年9~10月)報告書は2013年

給電は10kVの高圧ラインから変圧器で400V、3相にして供給

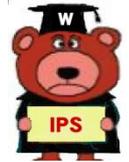


車両検知線

給電線

ピックアップサイズは3.6m
電池容量は60kWh

スペインの走行給電システム



Project Victoriaプレス発表 (2013年9月19日)

コンソーシアム

アンダルシアエネルギー省

Malaga市

Endesa (スペインの大手エネルギー会社)

ISOTROL (情報通信プロバイダー)

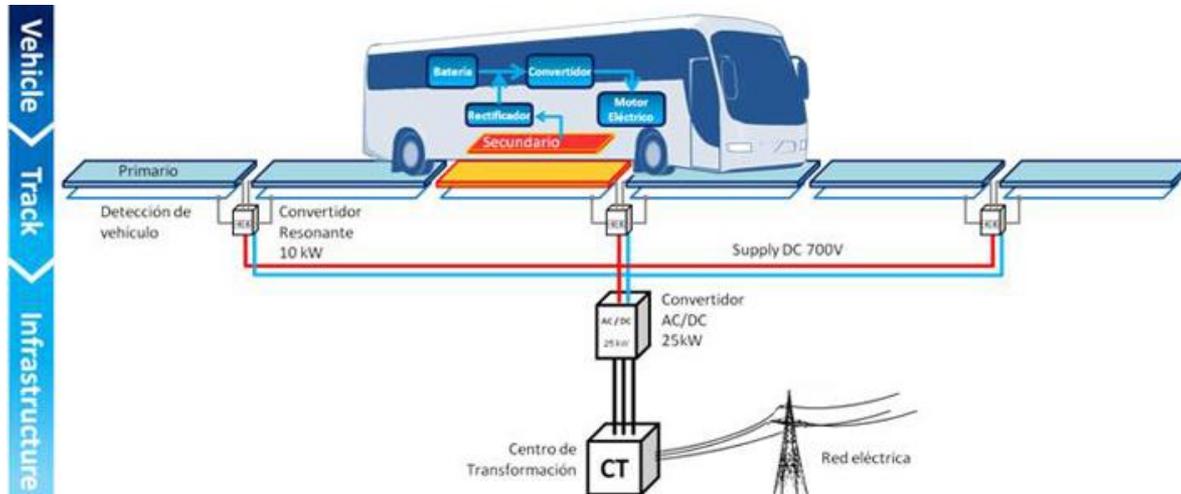
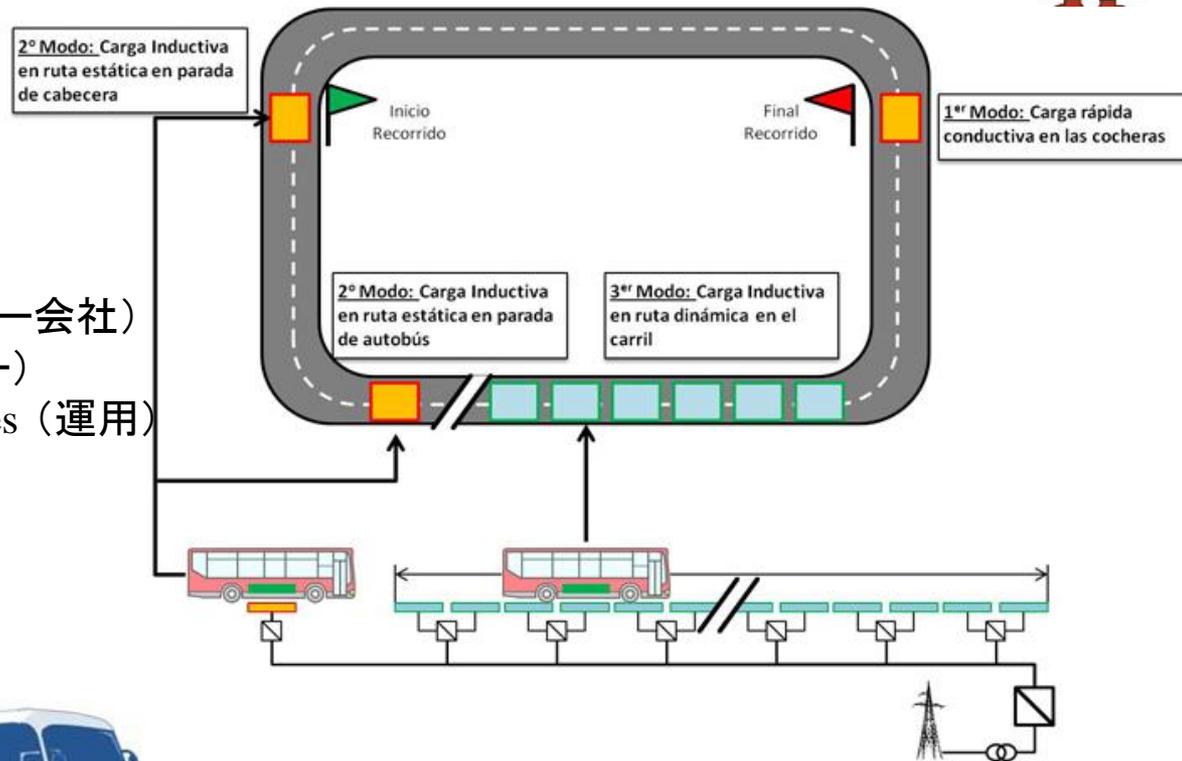
Empresa Malagueña de Transportes (運用)

Malaga大学 (解析)

補助金額 3.7百万ユーロ (5億円)

運用開始 2014年末

走行距離 5km



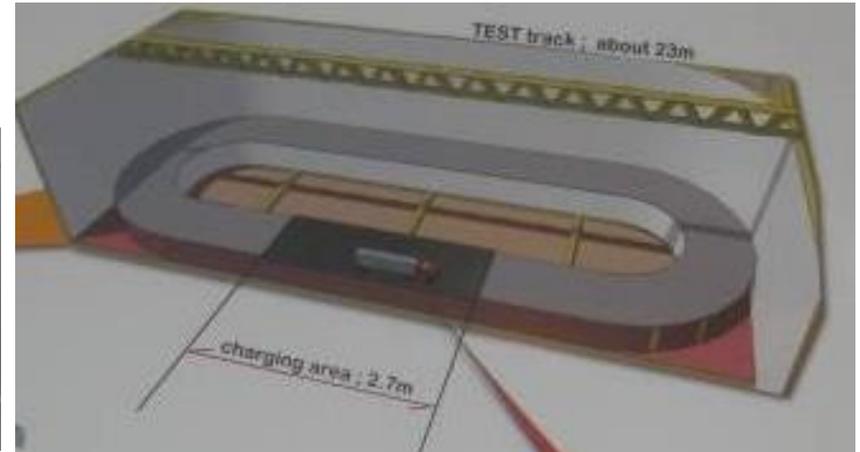
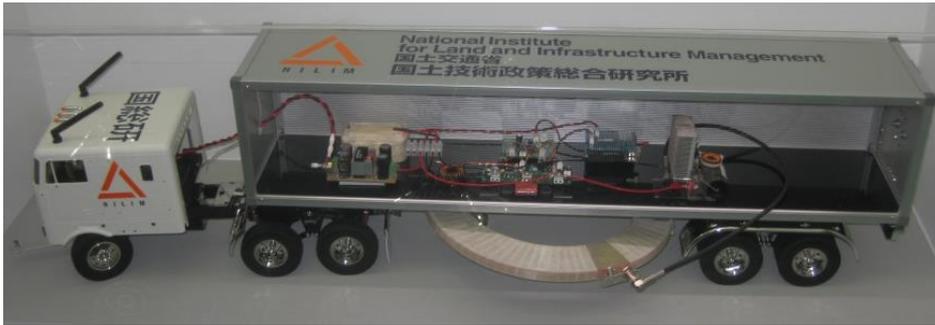
充電システム

1. 接触式充電 (夜間充電) 1カ所
2. 静止型ワイヤレス充電 2カ所
3. 走行中ワイヤレス給電 1カ所

国総研の磁界共鳴式走行中給電の検討



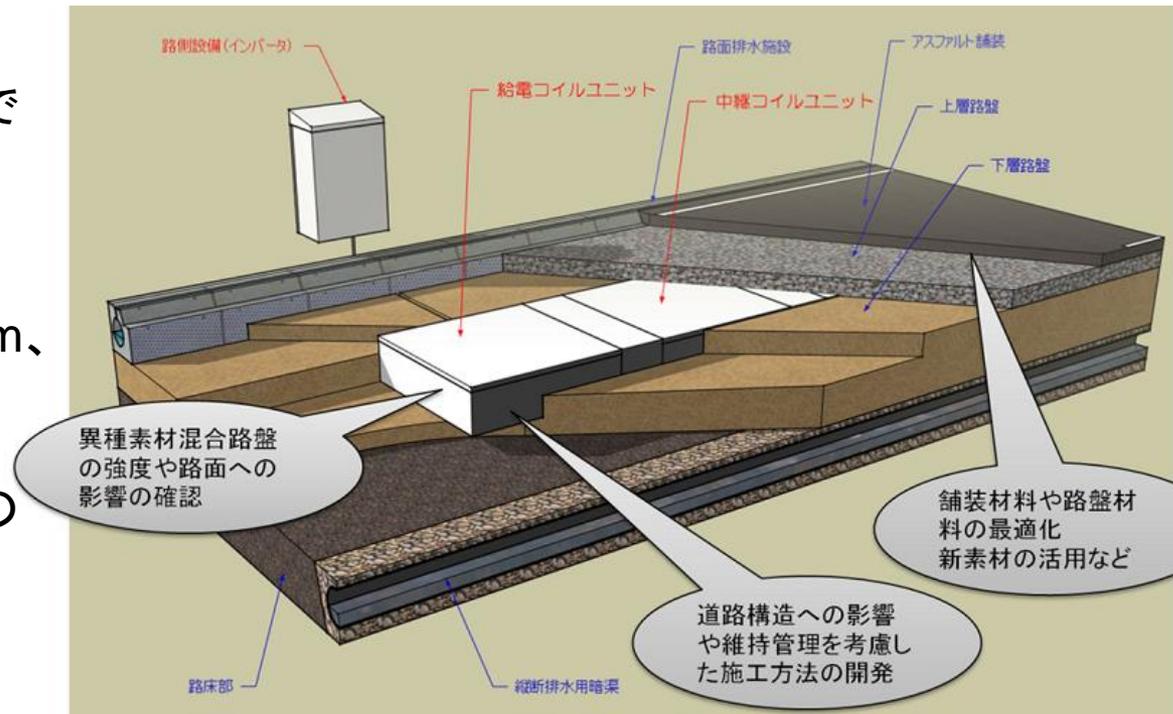
国土技術政策総合研究所
ITS japan 2013(H25-10-14~18)



模型レベルだが23mのテストトラックの内2.7mの給電区間でキャパシタに給電

コイルの埋め込み深さは道路メンテナンスの点から最低0.6m、できれば1m

道路埋設にあたってはコイルの強度の他に道路そのものの材料や工法の課題解決が必要

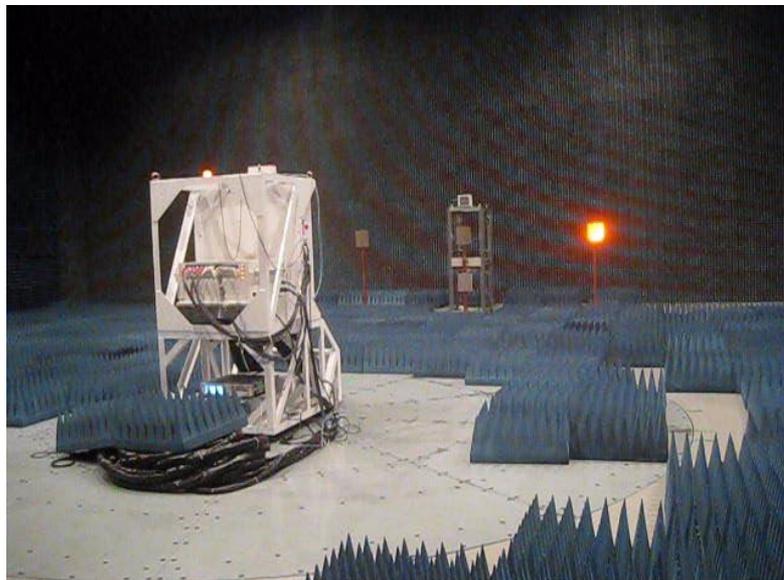


マイクロ波による走行中給電

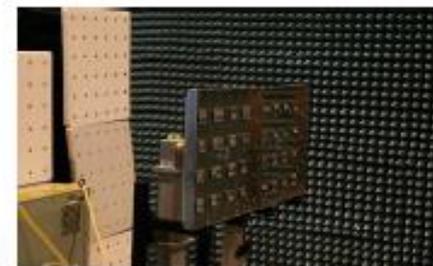


日本電業工作とVolvoグループ(2012年)

4m以上離れて10kW電力伝送



京都大学宇治キャンパス電波暗室



トランスミッターと
送電アンテナ



レクテナ

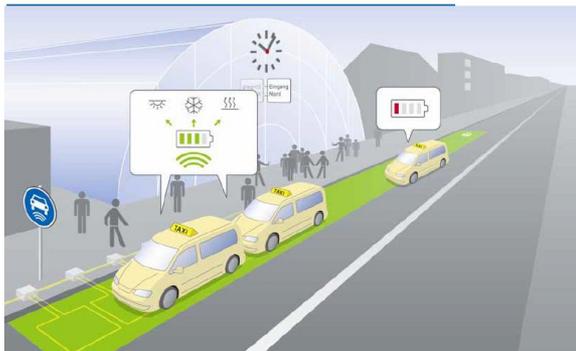
1台の送電アンテナでかなりの
長さの走行距離をカバーできる

走行中給電の想定Roadmap

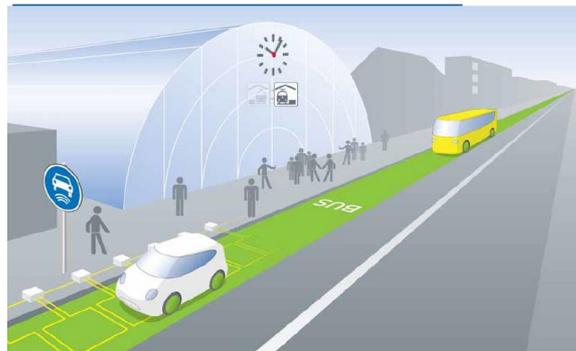


設置時期	FY'15	FY'20	FY'30	FY'50
実施内容	市街地実証実験	市街地実用	都市間実証実験	都市間実用
実施場所	市街地		高速道路	
シーン	交差点付近など 特定区間	タクシープールが最適か	登坂路など 特定区間	EVおよびワイヤレス 給電設備の普及が 鍵
設置長さ	25m	250m/車線	2km/車線	350km/車線
必要電力	6kW	6kW	20~30kW	30kW
イメージ	<p>交差点付近</p>		<p>登坂路</p>	
	<p>高速道路走行車線</p>			

Taxi stand



Vision 2050 – Dynamic Charging





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 stak@aoni.waseda.jp