

EV用磁界結合式 ワイヤレス電力伝送技術の動向

早稲田大学 電動車両研究所
高橋 俊輔

2019年8月27日

技術情報センターセミナー

東京・新お茶の水・連合会館 会議室



WASEDA University



1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電システムの動向と課題

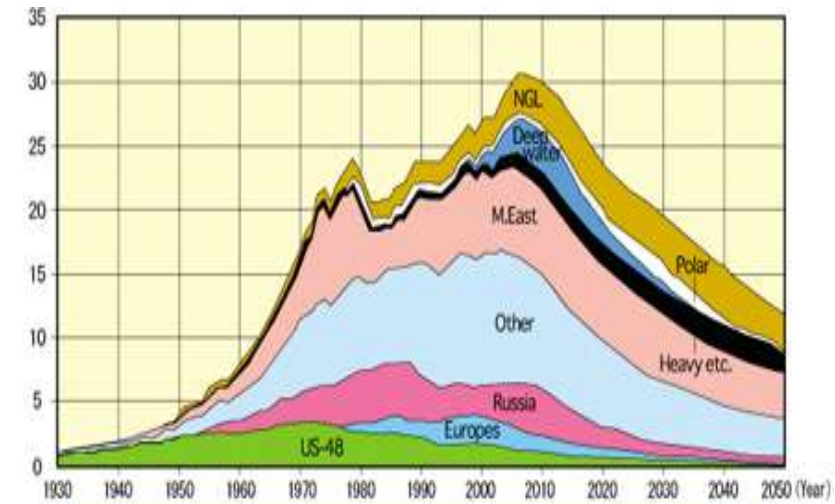
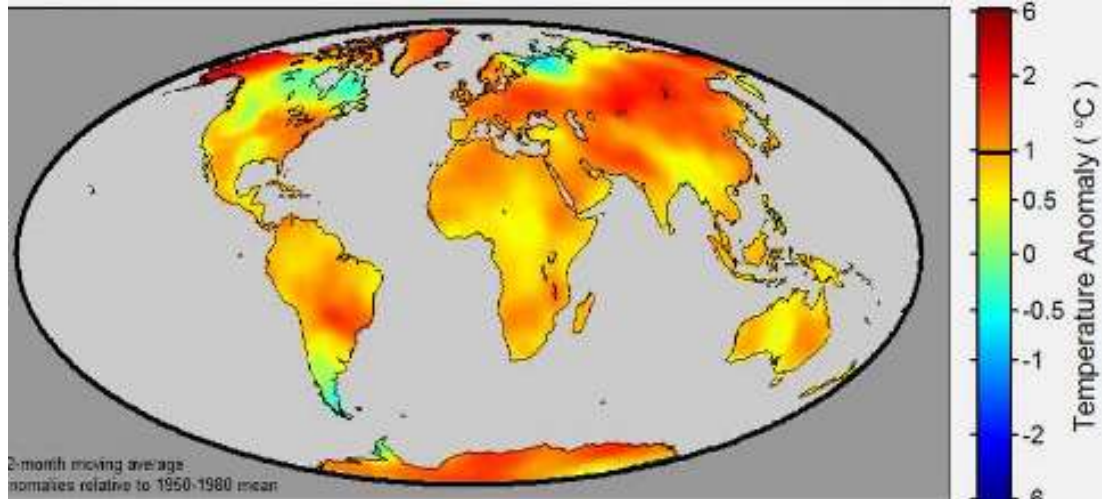
3. バス用ワイヤレス給電システムの動向と課題

4. 今後の方向性～走行中給電～

5. ワイヤレス給電システムの市場規模



自動車産業の置かれた立場



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

出典：図表・写真はネット資料

各国の燃費規制とZEV規制状況



5

1994年 カリフォルニア州がZEV規制導入、PHV, HEV, CNG、クリーンディーゼル車は規制外他に9州も施行

スコットランドは2032年までに乗用車・バンの新車販売をZEVに限定

英国は2040年までに内燃機関搭載の乗用車・バンの販売禁止

2019年 中国は生産・輸入車にNEV規制導入、HVは規制外しかし2019年7月にHVを優遇するとの発表

オランダ・ベルギーは2030年までに乗用車・バンの新車販売をPHVを除くZEVに規制

フランスは2030年までに乗用車・バンの新車販売をPHVを除くZEVに限定

2019年6月 コロラド州はカリフォルニア州のZEV規制導入

ドイツ連邦議会は2030年までに内燃機関搭載車禁止を採択

インドは2030年までに乗用車・バンの新車販売をPHVを除くZEVに限定

■ Policy in Place
■ FE Policy in Progress

「Policy in Place」ラベルは、燃費規制を実施している、またはすでに実施した国、「Policy in Progress」ラベルは、施策を進めるために政府と関係者によって具体的な活動が行われている国を示す。

The map shows countries that have adopted policies such as specific CO₂ emission or fuel economy standards, fiscal measures (for example feebate systems or tax incentives for fuel efficient vehicles) or information campaigns (for example labelling schemes).

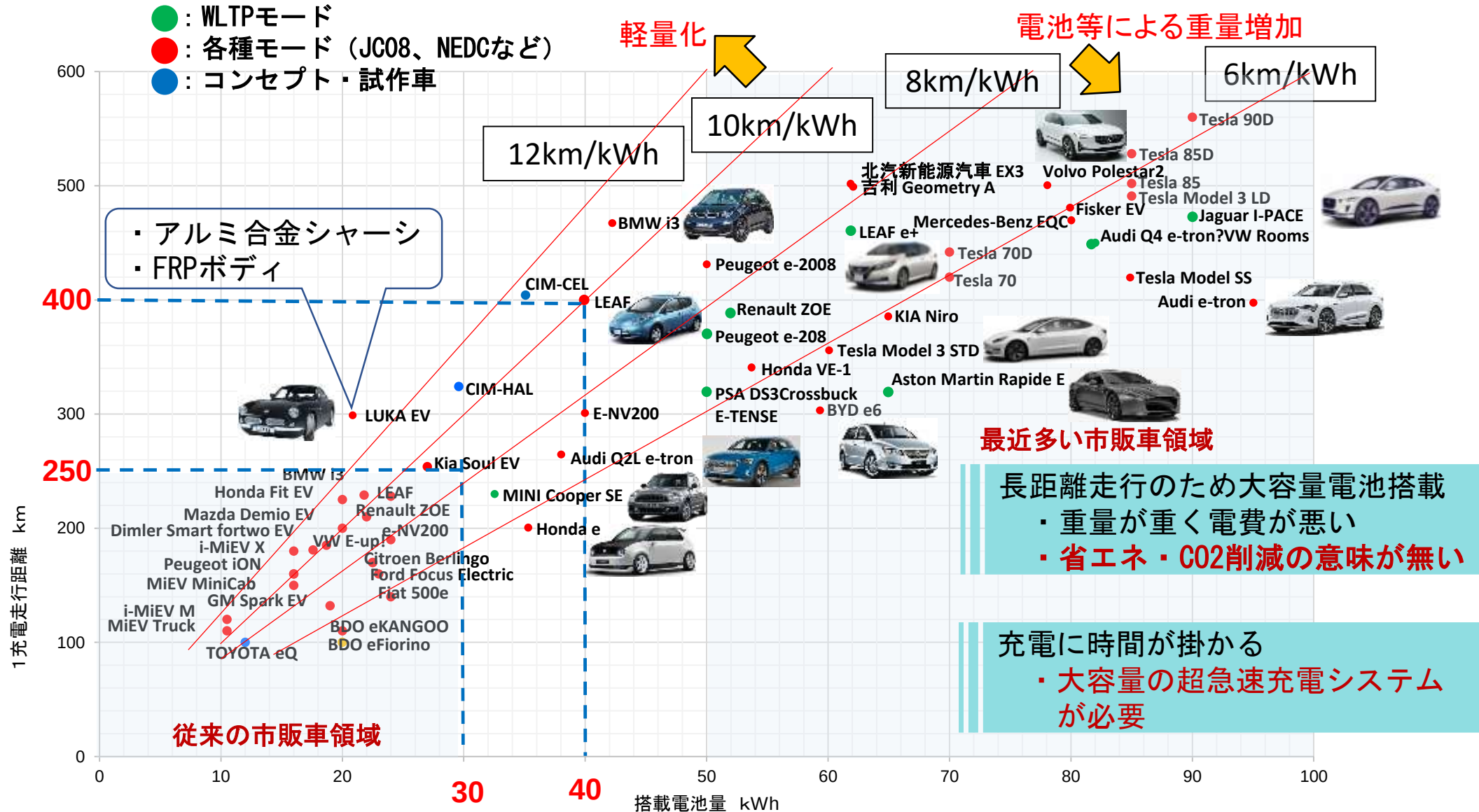


乗用車の電動化の進展

走行距離を稼ぐため大容量電池搭載



7

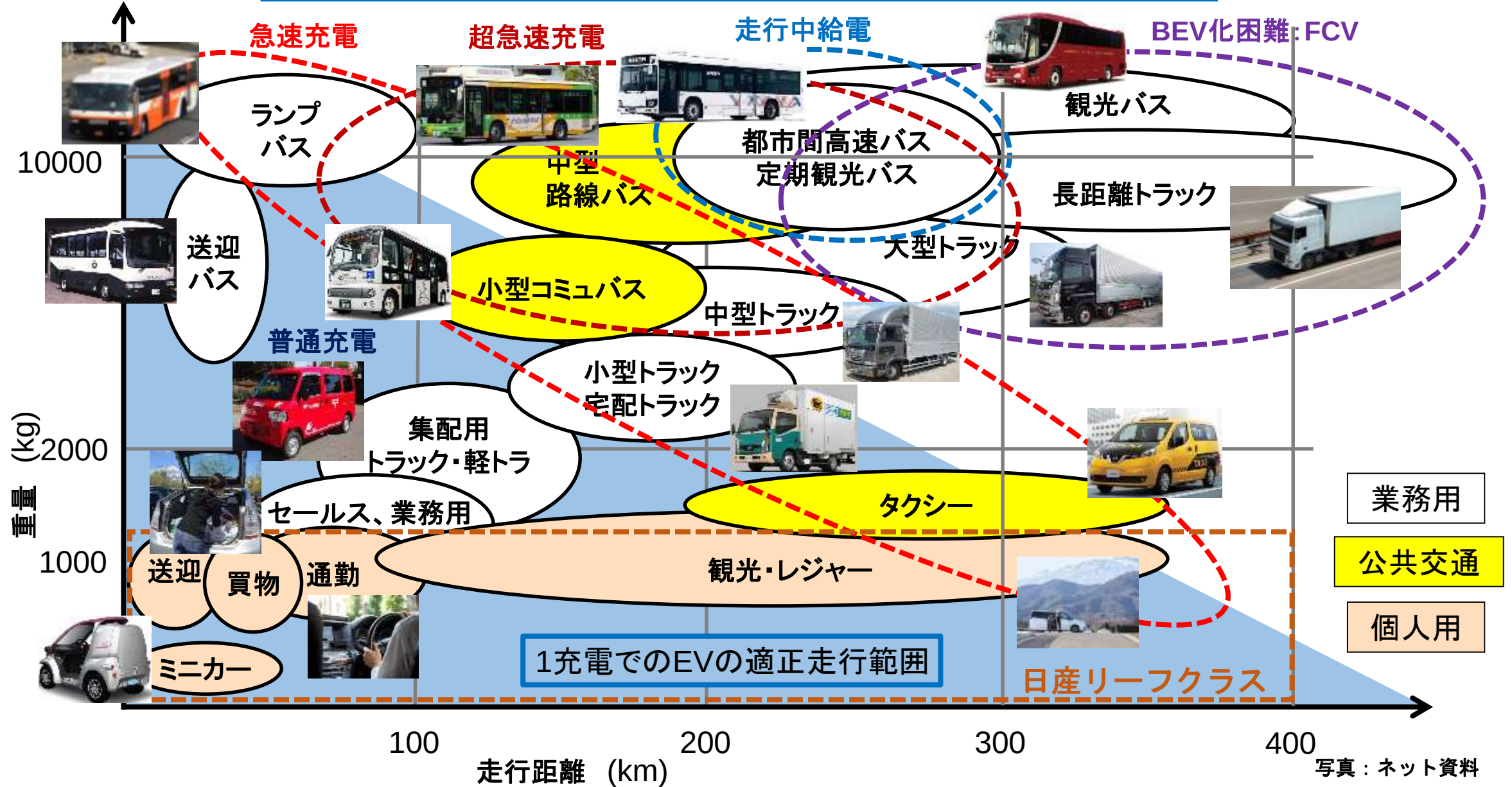


電動化と充電システムの適正イメージ



8

車重や用途で走行距離が異なり、充電方法により利用範囲が拡大

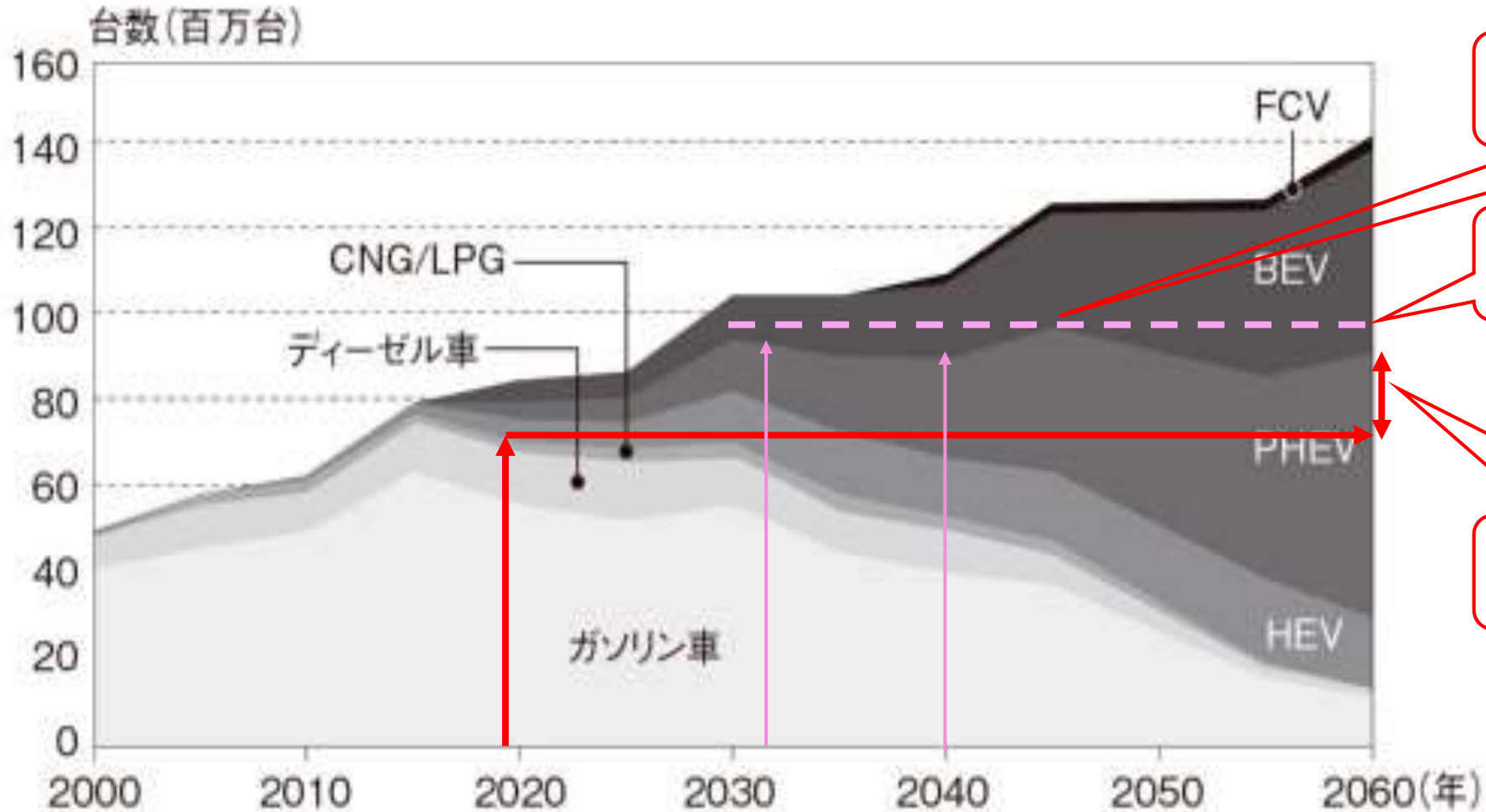


「EV化で部品が減り、エンジン部品メーカーは潰れる」は本当か？



9

IEA2017では、2060年でもPHEVが電動化の主流で、自動車部品メーカーは現状より多くの台数が求められる



エンジン搭載車両は
2040年代にピーク

エンジン搭載車両は
ほぼ高止まり

エンジン搭載車両は
2019年時点より増加

Based on IEA data from Energy Technology Perspectives (c) OECD/IEA 2017. Licence: www.iea.org/etp/ as modified by HORIBA, Ltd.

IEA2015に比べFCV台数が大幅に減り、総車両台数を含め電動化の流れが約10年うしろにずれた

資料：「IEA Energy Technology Perspectives 2017」から堀場製作所が作成したものに筆者が追記



電動バス普及の進展

日本国内における電動バスの現状



11



②⑦鹿児島県薩摩川内市



②⑧鹿児島県徳之島町



②⑨沖縄県那覇市



③⑩沖縄(BYD) 10台



②④島根県太田市



②③岡山県瀬戸内市
写真無し



②⑤福岡県北九州市



②⑥熊本市

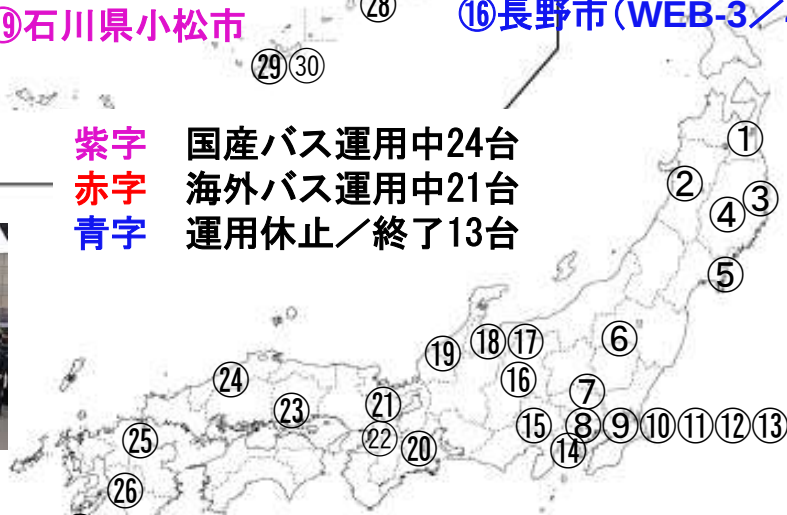


②②大阪市



②⑨石川県小松市

紫字 国産バス運用中24台
赤字 海外バス運用中21台
青字 運用休止／終了13台



②⑩長野市(WEB-3/4)



②⑪東京都港区



②⑫東京都千代田区



②⑬東京都千代田区



②⑭川崎市



②⑮サントリー白州工場



②⑥尾瀬(BYD) 3台



②⑦春日部市



②⑧東京都瑞穂町



②⑨東京都羽村市



②⑩東京都墨田区



②①青森県七戸町



②②秋田市



②③岩手県宮古市



②④盛岡市(BYD)



②⑤宮城県気仙沼市



②⑩三重県伊勢市



②⑦関電立山トンネル



②⑧富山市



②①京都 (BYD) 7台

海外での電動バス台数



12

欧州の電動バス新車登録台数(2018年)

2018年にはBEVバスのシェアが9%

JETRO
日本貿易振興機構(ジェトロ) 海外ビジネス情報 サービス 国・地域別に見る 目的別に見る 産業別に見る

ビジネス短信 バス新車登録台数でEVのシェアが9%に

バス新車登録台数でEVのシェアが9%に (EU)

このページを印刷する

ブリュッセル発 2018年11月20日

欧州の環境非政府組織 (NGO) トランスポート&エンバイロメント (T&E) は11月8日、[欧州の電気バス市場に関する報告書を発表](#)した。

同報告書によれば、2017年に欧州で受注された電気バス(注)は1,031台で、2016年(約400台)の約2.5倍となった。欧州では、2018年半ば時点で約1,600台の電気バスが走行しており、2019年半ばまでにさらに約1,600台の導入が予想されている。2018年のバスの新規登録台数に占める電気バスの割合は9%に上ると推計しており、電気バスの需要拡大は今後数年、継続する見込みだという。

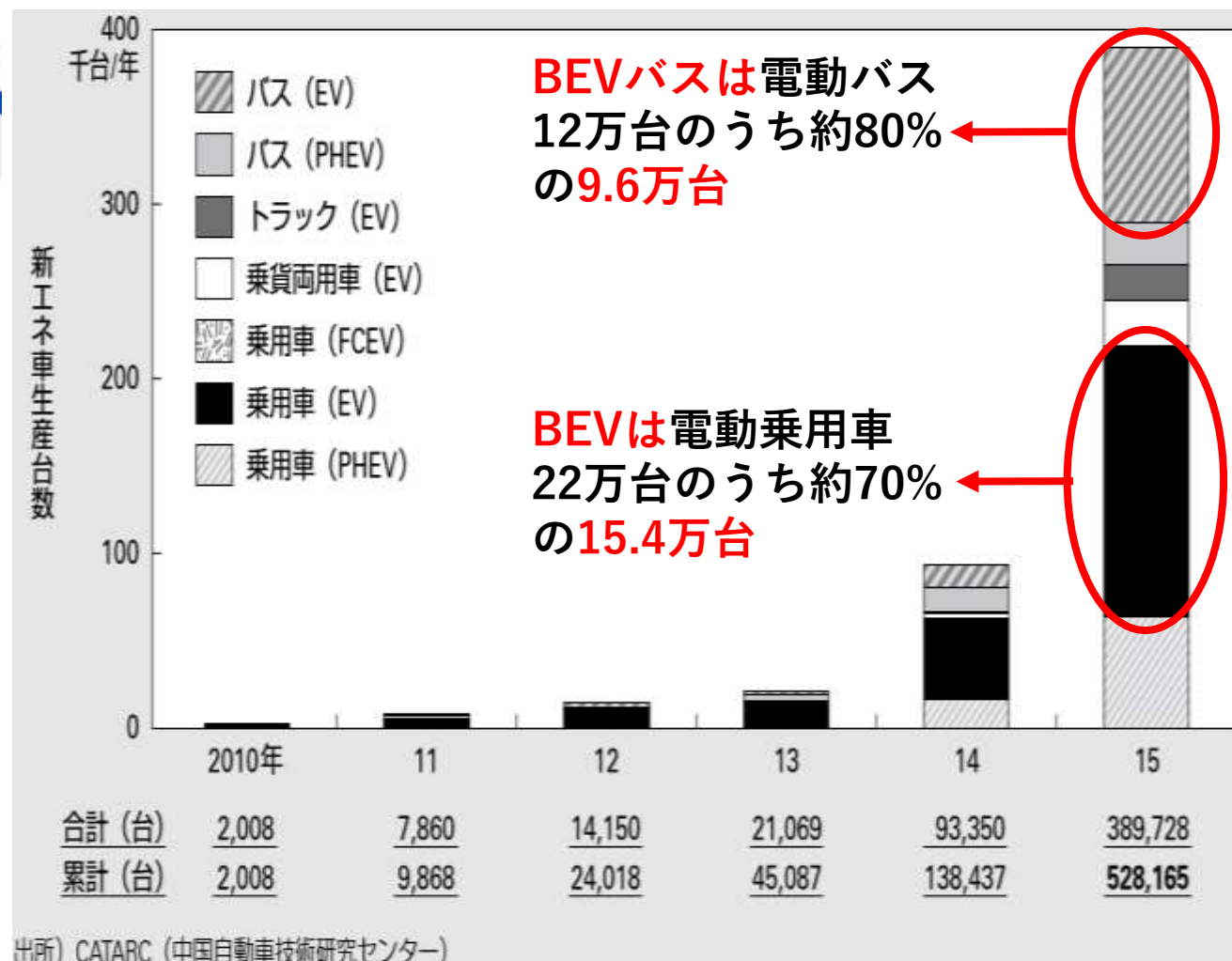
電気バスの普及が進む国としては、オランダが2018年上半年期までの通算受注台数が最も多く、次が英国で、両国ともに400台を超える。さらに、フランス、ポーランド、ドイツと続き、これらの上位5カ国で欧州全体の過半数を占める。

メーカー各社の電気バスの販売状況を見ると、中国の比亞迪汽車 (BYD) が9月20日、欧州で通算600台以上の電気バスを販売したと発表した。これは、欧州市場のシェア20%に当たるという。また、オランダのバスメーカーVDLバス&コーチは9月、西欧で500台目となる電気バスを販売したと発表した。さらに、ポーランドのソラリスは、9月に累計330台以上の電気バスを販売・受注したと発表しており、報告書では、これら3社が欧州全体の電気バス販売の半数近くを占める市場の牽引役とされている。

出典：JETROホームページ

中国の車種別新エネルギー車生産台数推移(2015年)

2018年にはBEVバスは33万台の予想



出典：「知的資産創造」2017年4月号



ワイヤレス給電システムの必要性と種類

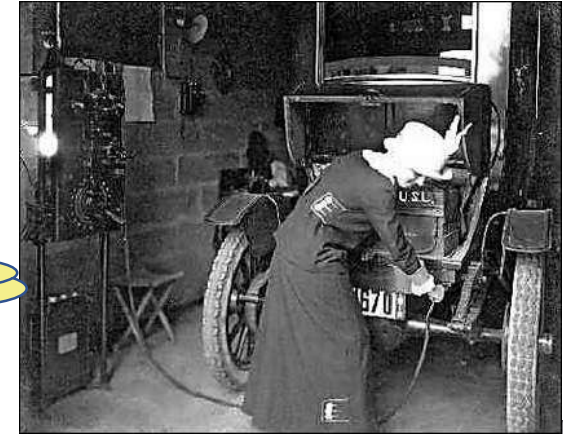
接触式充電インフラにおける課題



14



図出典: 全日本電気工事業工業組合連合会HP



手動ケーブルハンドリング



ホンダHSHS実証ハウス

自動充電技術(接触式)



独VW社自動充電ロボット(2018年)

接触式超急速充電技術



スイスABB OppCharge

昔もケーブルハンドリングは大変だったからこそ、こんな写真が残る

写真: ETEV資料

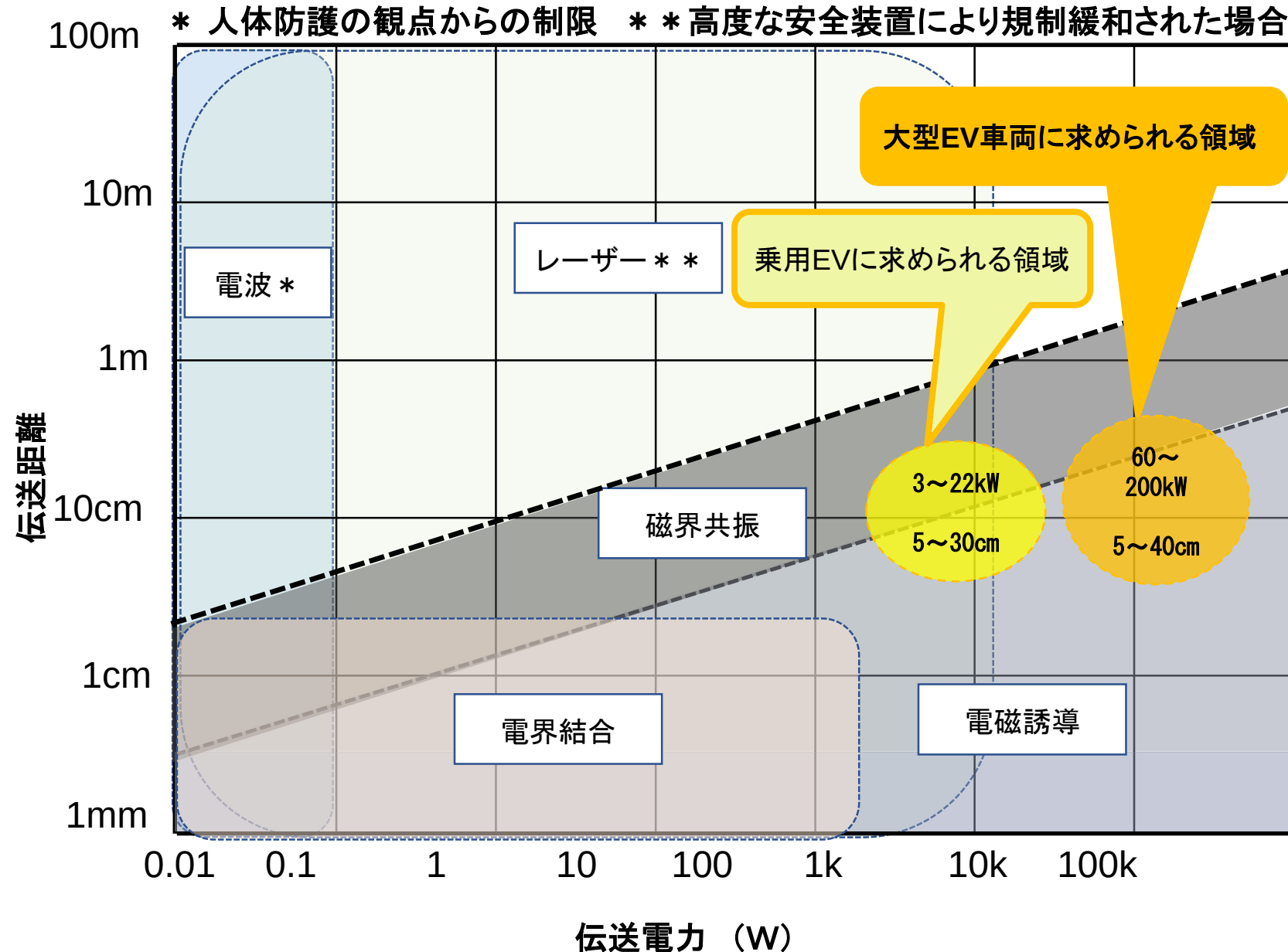
ワイヤレス式自動充電

- ・ 操作が容易
- ・ メンテナンスコスト少ない
- ・ 雨天時も安全

各方式の伝送電力と伝送距離



15



ワイヤレス電力伝送方式

非放射型

①磁界結合方式

- ・ 電磁誘導方式
- ・ 磁界共振方式

②電界結合方式

放射型

③電波方式（マイクロ波など）

④レーザー方式

中間型／電磁波以外の方式

⑤エバネセント波方式

⑥超音波方式

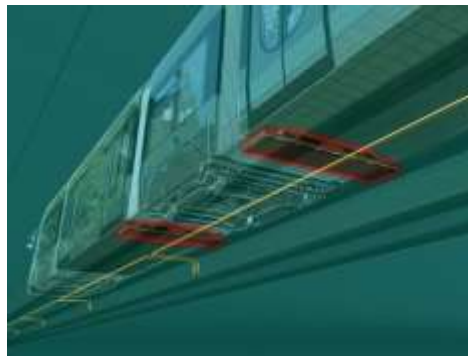
磁界結合方式（非放射型）

電磁誘導方式

- ・19世紀のファラデーの電磁誘導の原理
- ・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



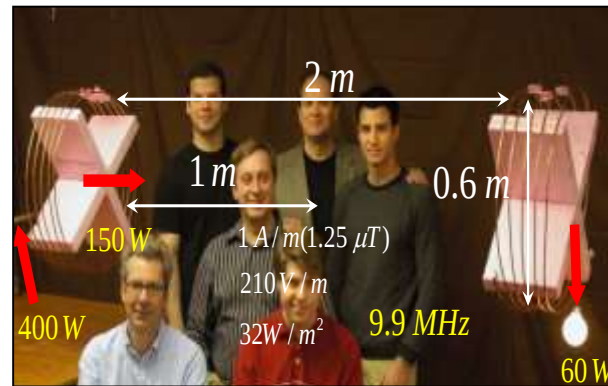
Plugless Power社 EVへの給電(2010年)発表資料



BOMBARDIER社 電車への250kW(2009年)発表資料

磁界共振方式

- ・2007年6月米MITの研究グループが発見
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

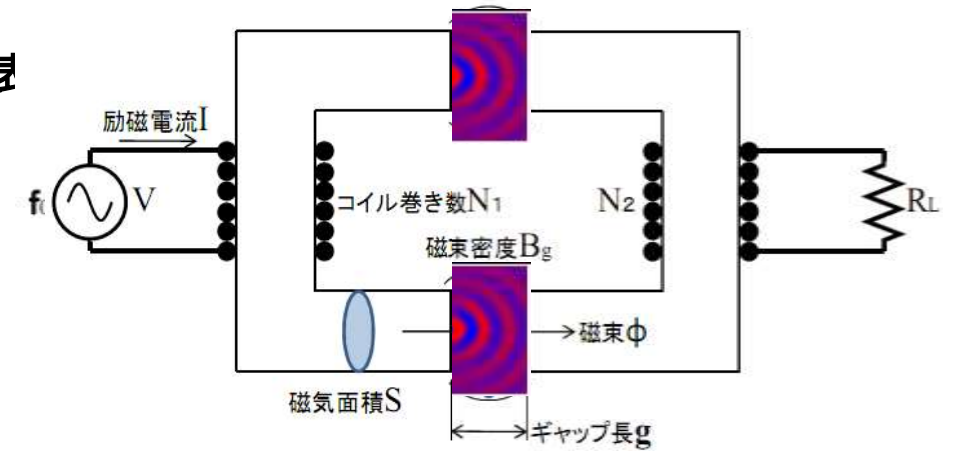


MITの発表写真



IHI/WiTricity/三菱自動車(2011年)

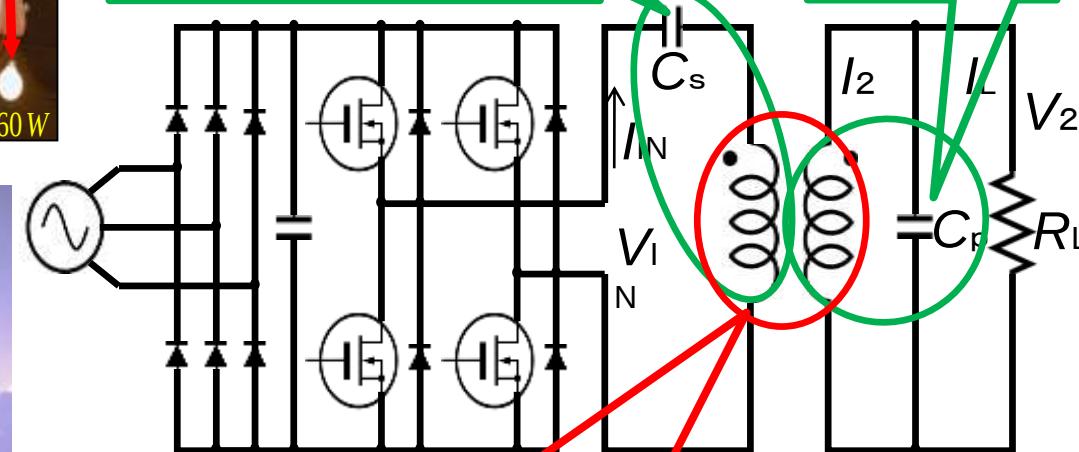
磁界結合方式の原理と回路構成



ギャップで磁路が切れ磁束が漏れる 結合係数 $k < 1$

電源力率を1に近づけ電圧
変動率を最小にする

伝送効率を
最大にする





1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電システムの動向と課題

3. バス用ワイヤレス給電システムの動向と課題

4. 今後の方向性～走行中給電～

5. ワイヤレス給電システムの市場規模



最新のEV用ワイヤレス充電の動向

海外はデファクトスタンダード化に向け部品メーカーまで



19

Bosch ASS-Evatran 『Plugless L2 Electric Vehicle Charging System』 (2014年6月)

出力 : 3.3kW
ギャップ : 10cm
効率 : 91.7%
周波数 : 19.5kHz
対象車種 : 日産リーフ

Chevrolet Volt

Evatranが販売、Bosch ASSが
搭載



Momentum Dynamics (2014年6月)



出力 : 3.3kW
効率 : 90%以上

WiTricity (2014年5月)



出力 : 3.3kW
効率 : 90%以上
周波数 : 85kHz

BMW 530e iPerformance (2018年5月発売発表)



Bosch (2017年7月)



BMW 『i3』
出力 : 7kW
FOD、LOP搭載
双方向給電可
コイル形状 :



ISO D-PAS19363のMF-WPT2/Z1

Dimler Mercedes-Benz (2016年10月)



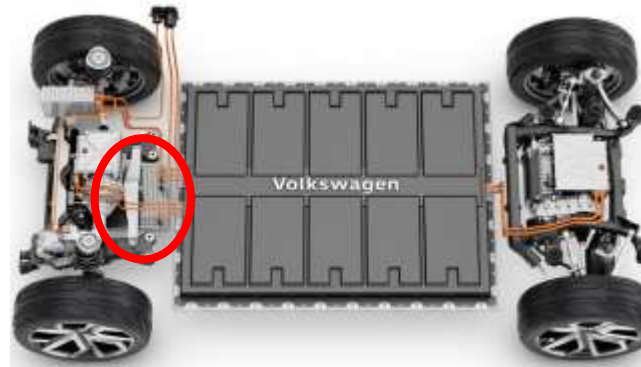
PHEV S550e
Qualcomm/Brusa
出力 : 3.6kW@85kHz

写真: 各社HPより入手



コンセプトカー「Generation EQ」
Paris Motor Show 2016

VW (2019年2月)



EV向けの新プラットフォーム
赤枠内が受電コイル

実搭載・発売を含め発表が続いている

先行していた日本は2019年になって漸く動き出す



20

三菱 iMiEV (東京モーターショー2011)

出力 : 3.3kW



日産インフィニティ「LEコンセプト」 (NYモーターショー2012)

出力 : 3.3kW

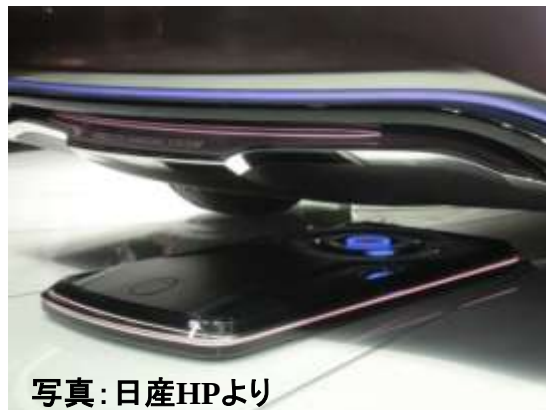


写真: 日産HPより

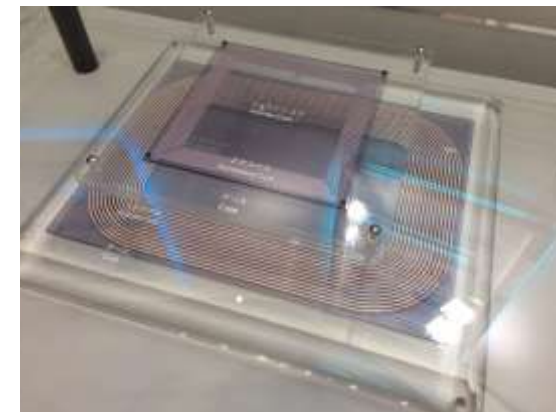
ホンダ フィット EV (さいたま市E-KIZUNA2014)

出力 : 2.2kW



トヨタ(人とくるまのテクノロジー2019)

出力 : kW



TDK(2018/2/23日経新聞)

出力 : 7.7kW
2021年の実用化

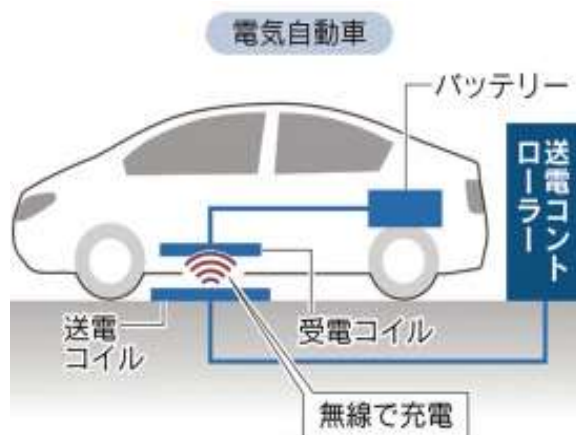


図: 日経新聞ONLINE版より

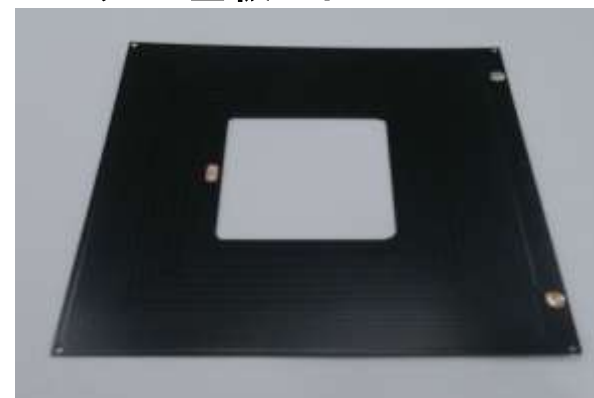
ダイヘン(EVS31 2018)

出力 : 700kW
11月から大阪城公園でデモ



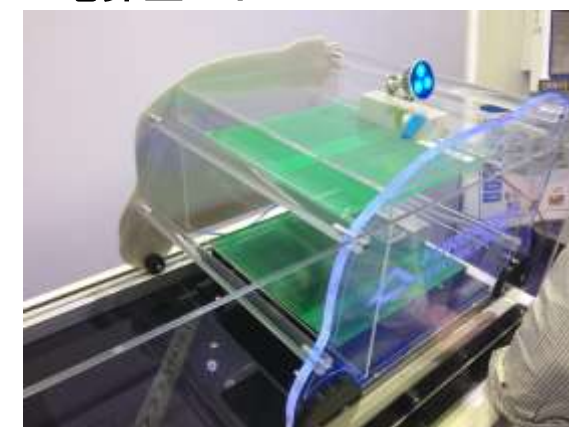
大日本印刷(人とくるまのテクノロジー2019)

出力 : 10kW
プリント基板コイル



古河電工(人とくるまのテクノロジー2019)

出力 : kW
電界型コイル

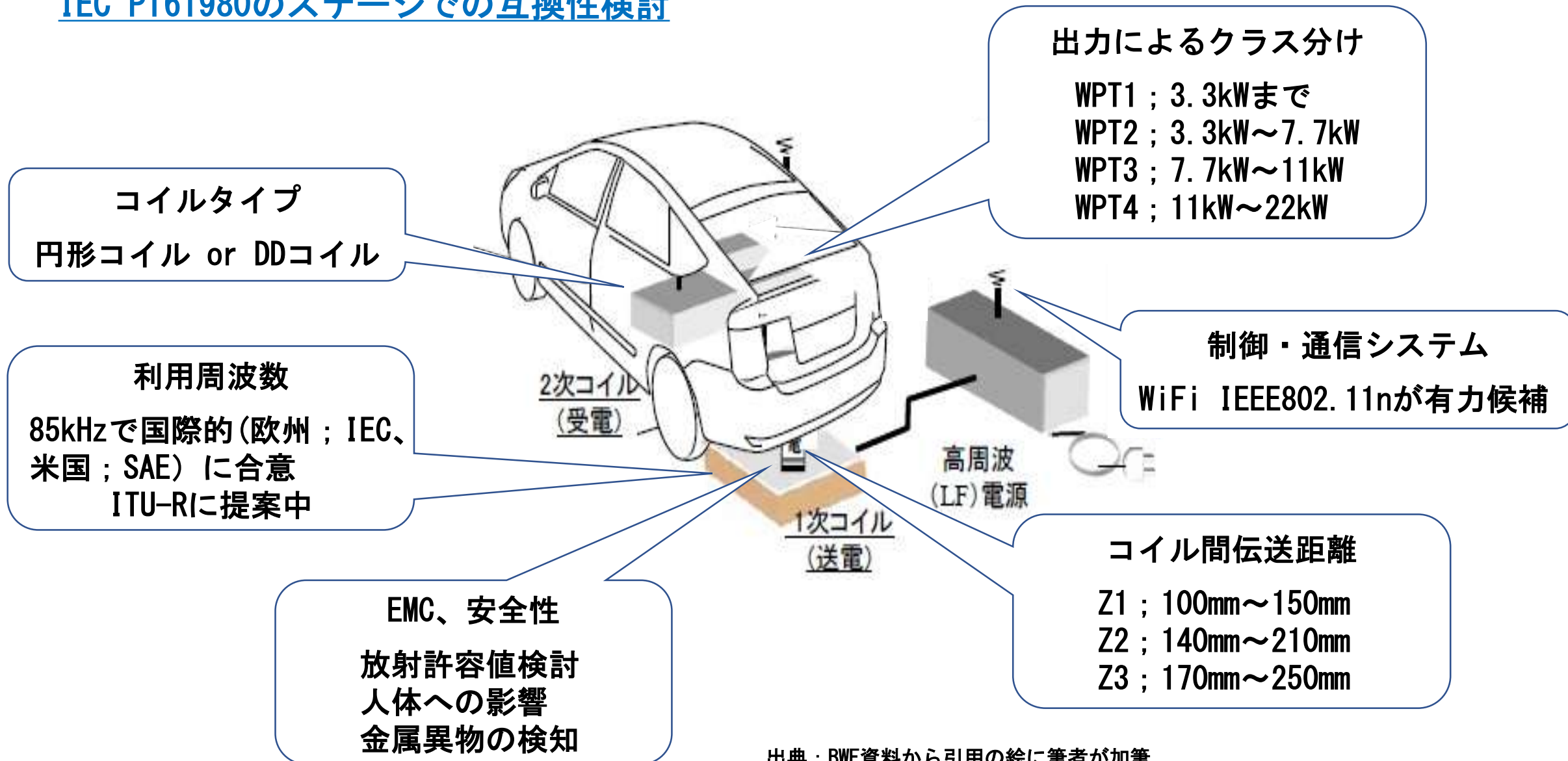


最近ようやく発表が出てきたが、標準から外れたものもある



ワイヤレス給電が普及するカギは
国際標準化

IEC PT61980のステージでの互換性検討

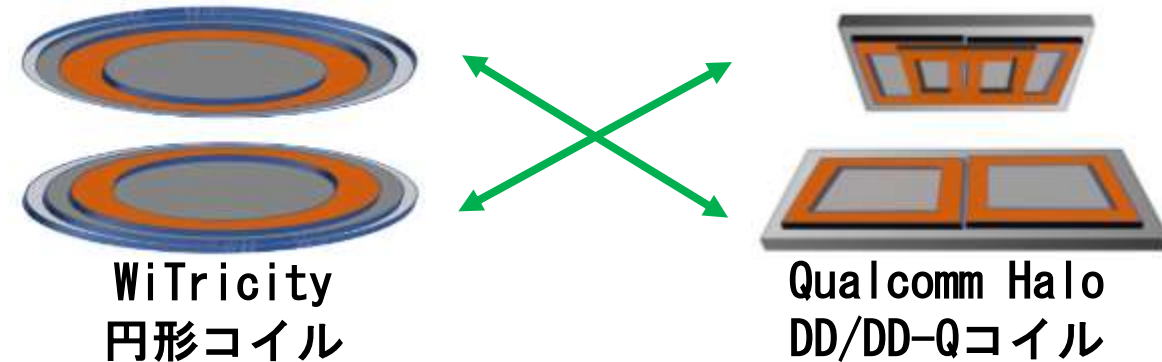


2019年2月11日に衝撃のニュース：WiTricityがQualcomm Halo買収

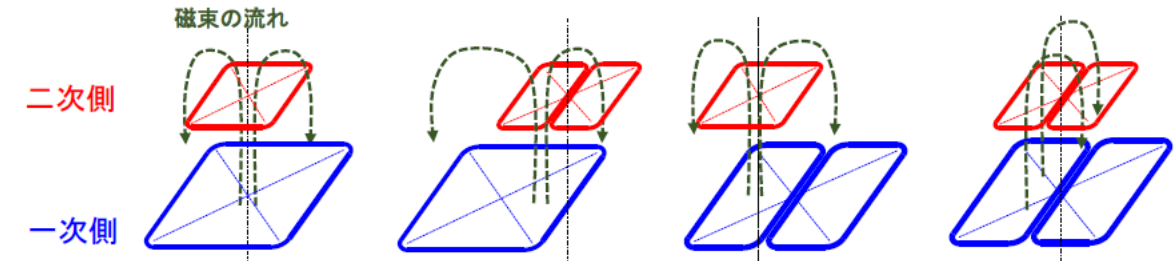


23

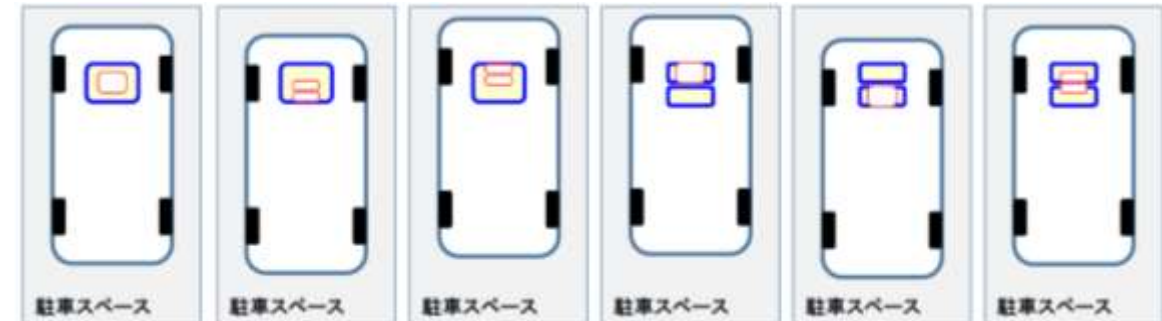
標準化ステージでのコイル互換性検討



DD型コイルの片方と円形コイルを結合させて電力伝送する必要がある



一次側コイル設置位置と二次コイル搭載車の駐車位置がずれる



標準化の課題が一つクリア、標準化が加速か？



February 11, 2019

WiTricity Acquires Qualcomm Halo

Deal Unifies Technology Platforms & becomes WiTricity Shareholder

Watertown, Massachusetts – February 11, 2019 – WiTricity today announced the acquisition of technology platform and IP assets, applications related to wireless charging. Qualcomm Incorporated will become a shareholder of WiTricity.

TECHABLE

W SOCIALMEDIA TECH MOBILE MARKETING ENTERPRISE START UP RELEASE F

Home / Tech / EV非接触充電のスタンダードができるかも?! WiTricity、クアルコム部門を買収

2019/2/14 Tech

EV非接触充電のスタンダードができるかも?! WiTricity、クアルコムの部門を買収

ニュース解説

クアルコムがEV向け無線給電の規格競争で白旗、ワイトリシティが「天下統一」

野澤 哲生 = 日経 xTECH/日経エレクトロニクス

日経 XTECH

2019年2月11日、EV/PHEV向け無線給電の規格競争で白旗を上げた2社が、事業を統合させることを発表した。

具体的には、米ワイトリシティとクアルコムがEV/PHEV向け無線給電事業を統合し、ワイトリシティが「天下統一」を目指す。ワイトリシティは、クアルコムから無線給電技術の特許などを譲り受け、クアルコムはワイトリシティの株主になる。クアルコムは、EV/PHEV向け無線給電技術の特許などをワイトリシティに譲り、ワイトリシティはクアルコムから無線給電技術の特許などを譲り受け、クアルコムはワイトリシティの株主になる。

CNET Japan > ニュース > 企業・業界



ワイヤレス給電のWiTricity、クアルコムのEV向け充電技術「Qualcomm Halo」を買収

佐藤 悠 2019年02月11日 15時45分

ワイヤレス給電技術を手がける米国のWiTricityは、QualcommおよびQualcomm Technologiesから電気自動車（EV）向けワイヤレス充電システム「Qualcomm Halo」に関する技術プラットフォームや特許などの知的財産を買収した。



電磁漏洩に対する人体防護

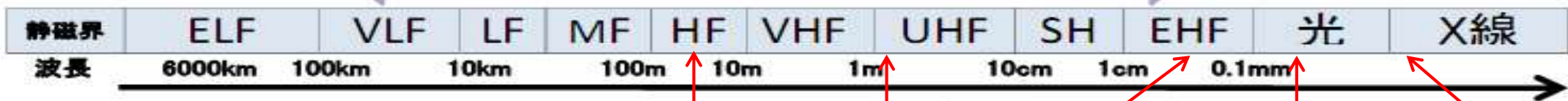
ワイヤレス電力伝送方式の周波数帯



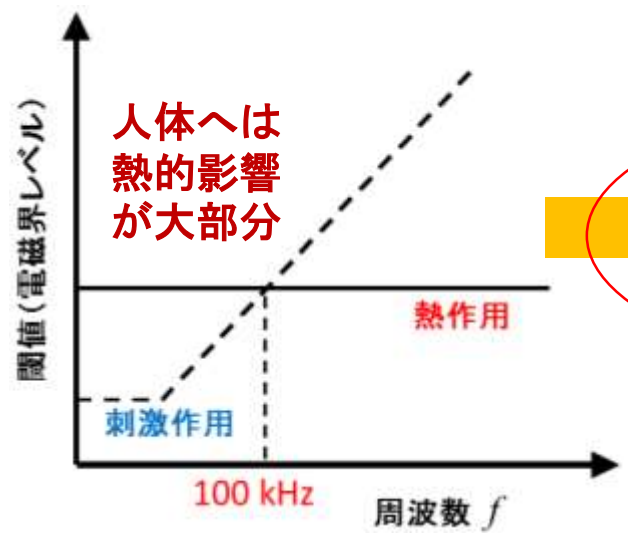
電波 (電波法上の定義: 0Hz以上~3THz)

電波防護指針の対象周波数 (10kHz~300GHz)

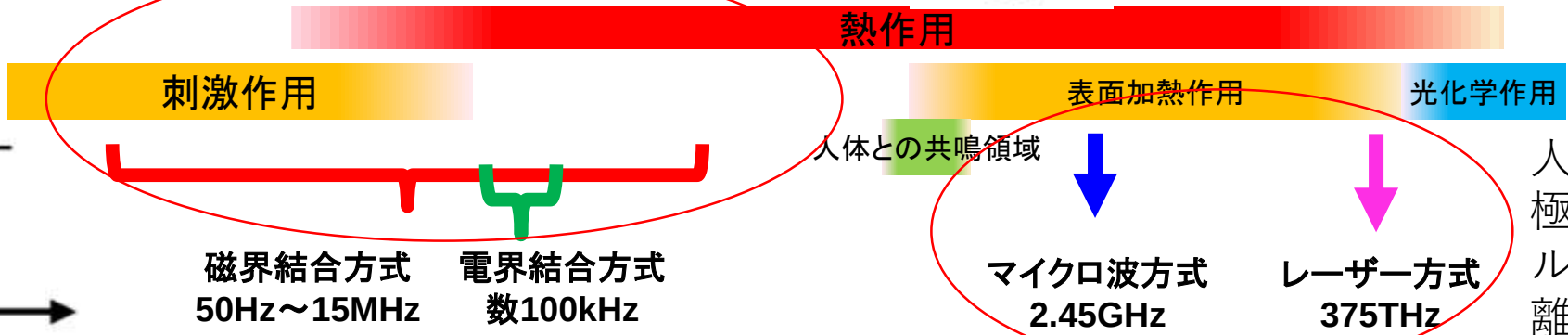
電離放射線



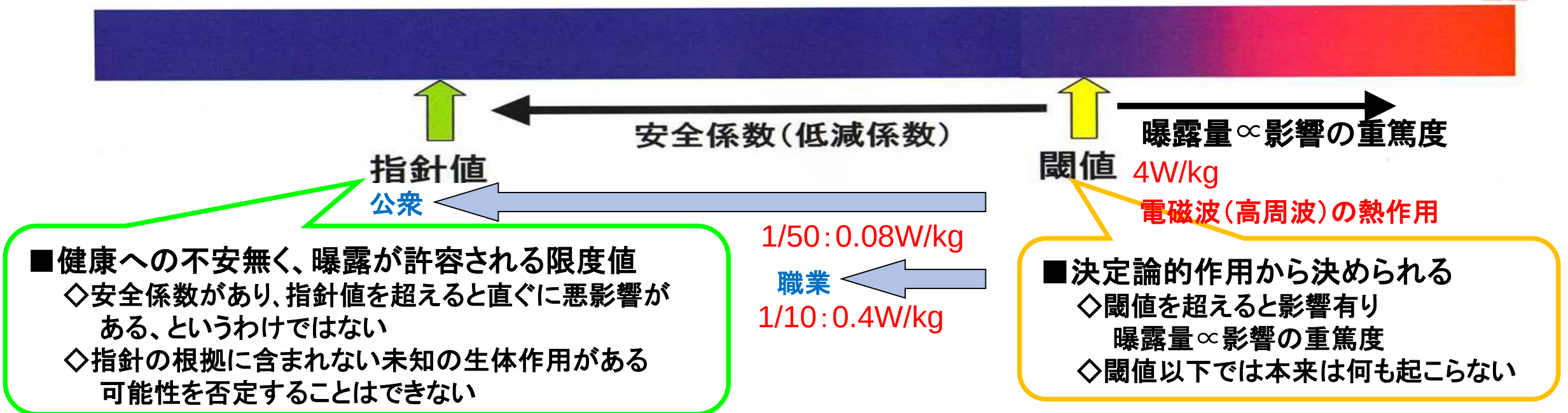
生体作用の周波数依存性



人間にとって極めて低エネルギーの非電離放射線

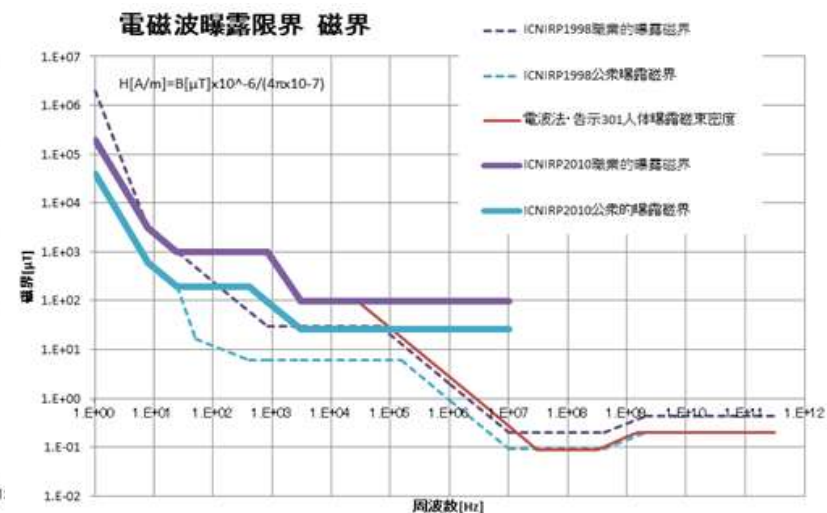
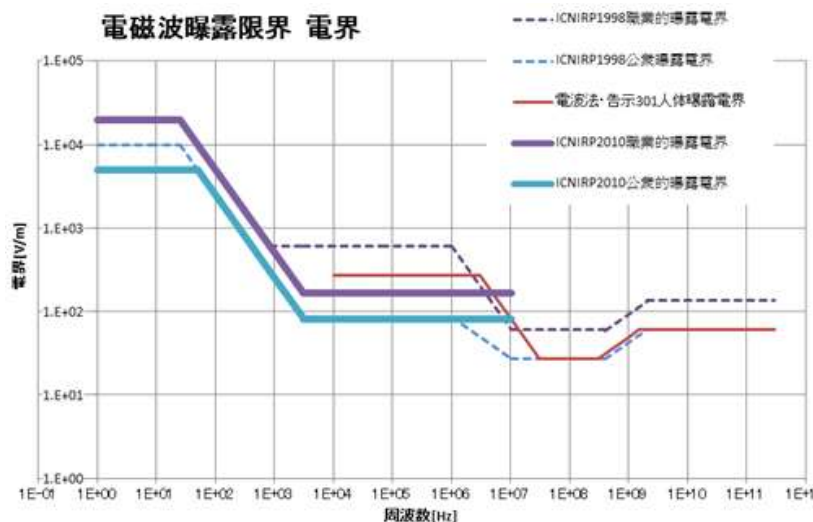


人間にとって極めて高エネルギーの非電離放射線



- 国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) のガイドライン WHOはガイドラインにもとづきリスク管理することを推奨

- 1994年 静磁界防護指針
- 1998年 時間変動する電界、磁界、電磁界防護指針0 - 300GHz
- 1999年 欧州理事会勧告(公衆曝露を対象)
- 2004年 EU指令(職業曝露を対象)
- 2010年 100kHzまでの制限緩和



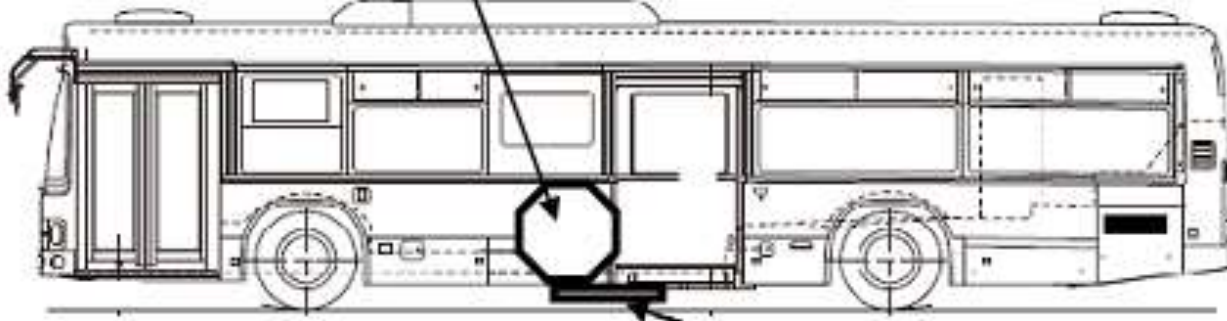
電動バスでの漏洩磁界測定結果例



27

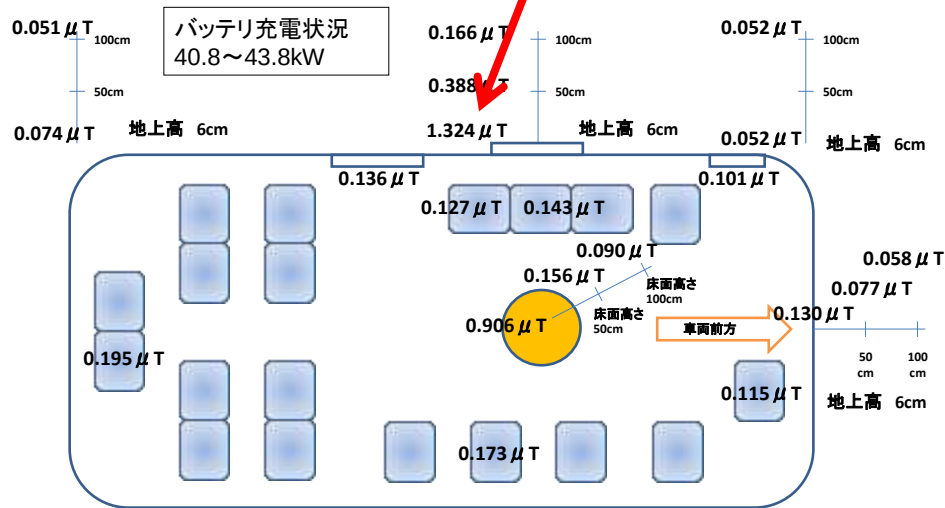
50kW型の実測値

側面給電用受電コイル

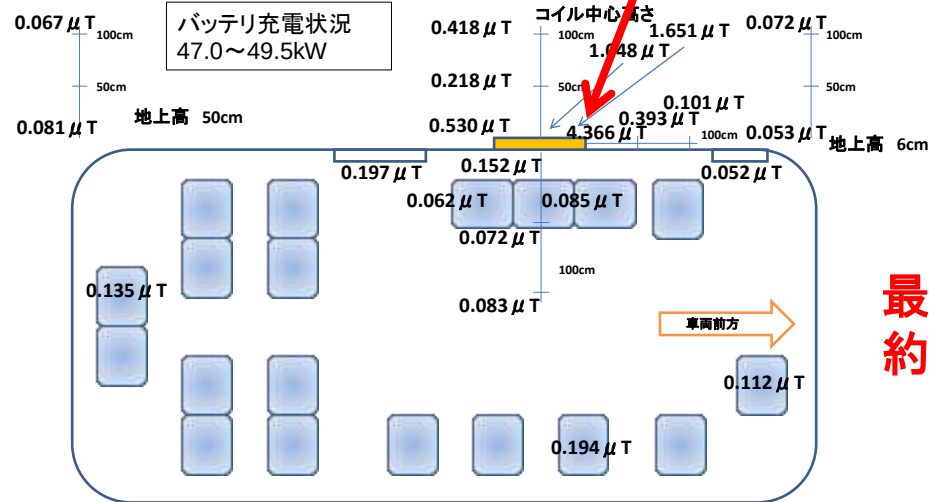


床面給電用受電コイル

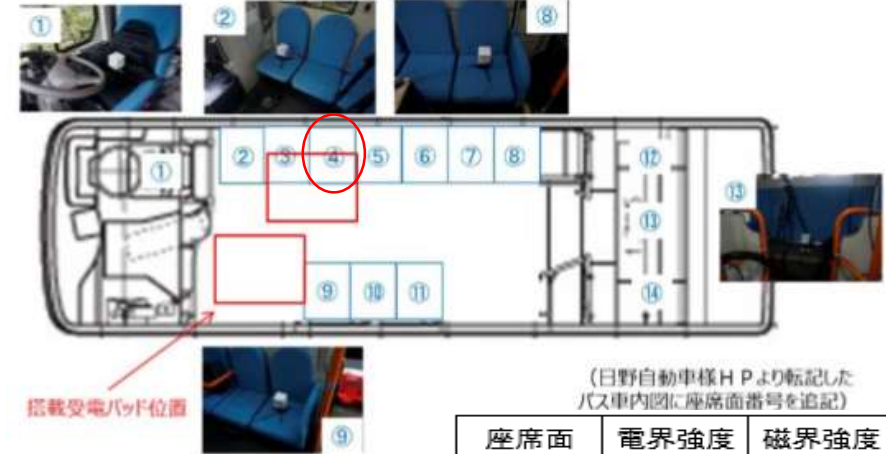
床面給電方式

最大値
1.324 μ T

側面給電方式

最大値
4.366 μ T

WEB-3Adv. / 44kW型の実測値

(日野自動車様HPより転記した
バス車内図に座席面番号を追記)

座席面 番号	電界強度 [V/m]	磁界強度 [A/m]
①	0.34	0.10
②	1.35	0.59
③	0.66	0.75
④	2.27	0.91
⑤	1.40	0.45
⑥	0.51	0.20
⑦	2.00	0.17
⑧	0.43	0.14
⑨	1.95	0.48
⑩	1.44	0.35
⑪	0.68	0.19
⑫	0.29	0.03
⑬	0.32	0.04
⑭	0.32	0.04
最大値	2.27	0.91
指針値 目標値	61.40	17.00

最大値
約1.1 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。

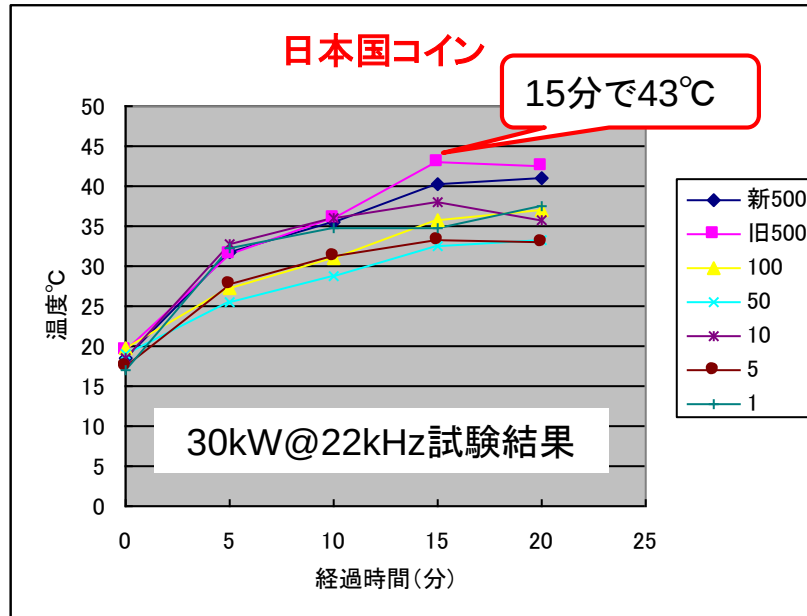


異物への誘導加熱の対策

異物挟み込みによる温度上昇と対応が要求される充電時期

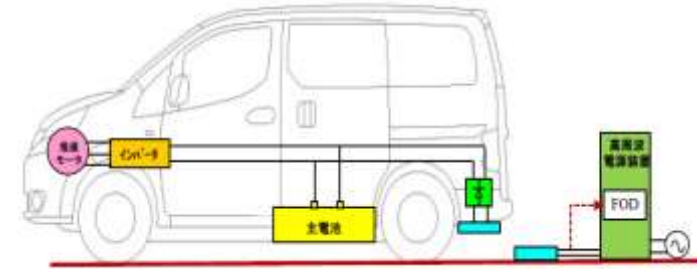
金属試料の温度上昇

- ・**コイン**
面積が小さく温度上昇は大きい
- ・**飲料水の缶**
アルミもスチール缶も温度上昇が激しい
- ・**釘**
大小にかかわらず50～60℃で大きい
- ・**ステンレスたわし**
温度上昇が大きい
渦電流ではなく細い線材では共振が考えられる

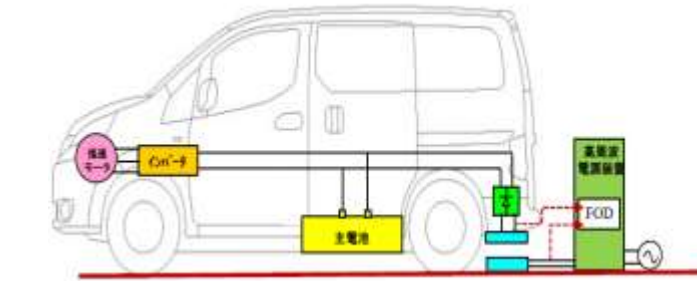


対応が必要な充電時期

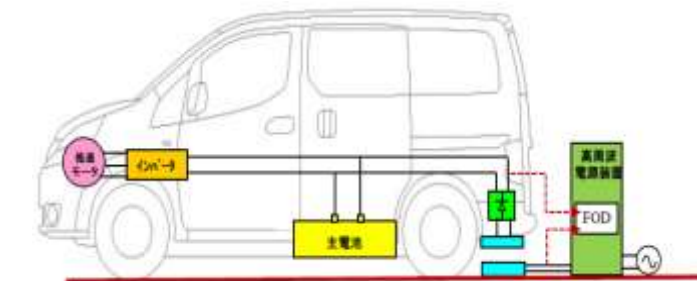
(a) 給電前



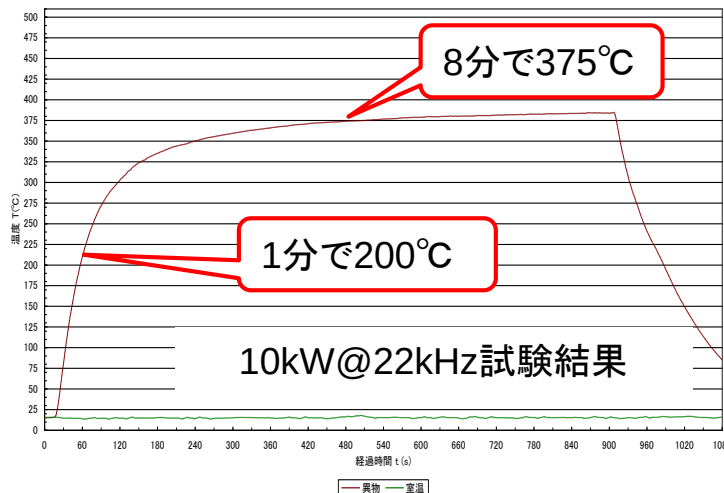
(b) 給電準備中



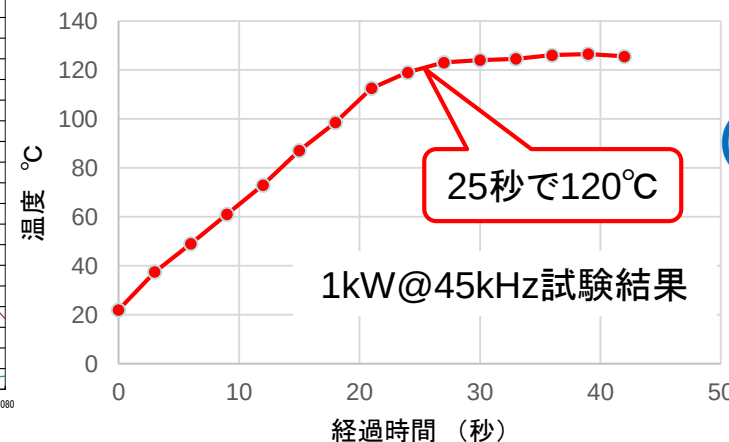
(c) 給電中



ステンレスたわし



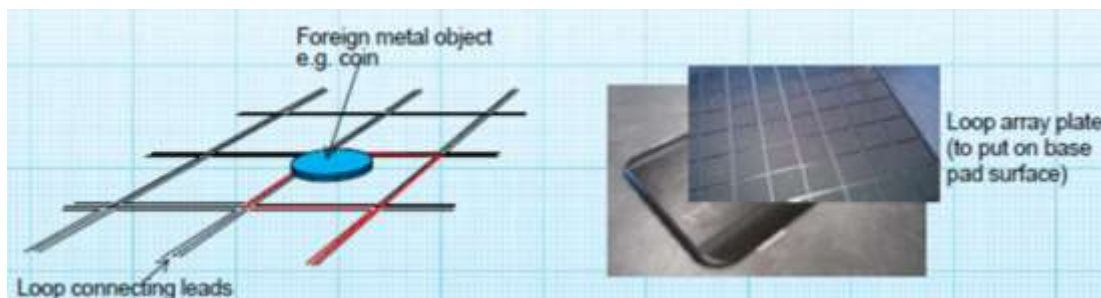
スチール缶





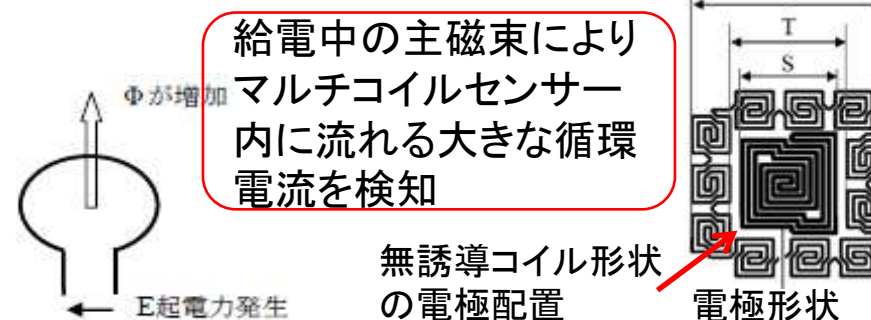
各種異物検知実施例

Qualcomm HaloのFODシステム



メッシュに微弱な電流を流して検知

テクノバのマルチコイル法 (EVTec2014)



1円玉

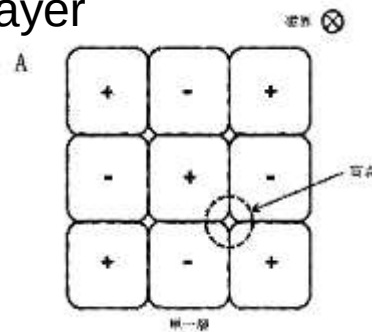
小動物を摸した25ml水入り風船

村田製作所のFOD用サーミスタ (ITS japan 2013)

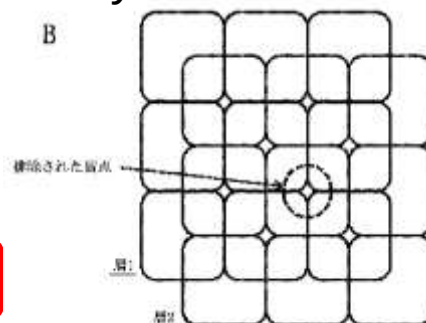


サーミスタチップを配列したシート

Single layer



Double layer



東芝のレーザー法 (2016年)



レーザー光の反射を利用しているので人体検知も可能
しかし貨幣など薄いものは検知できない

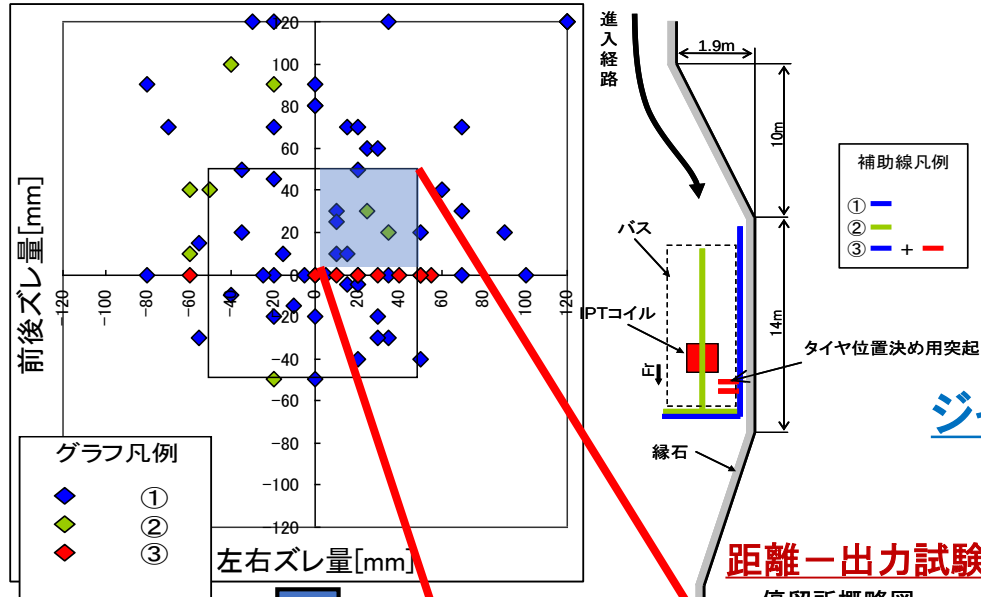
右の箱はコイン入り、左は空箱



正着性への課題

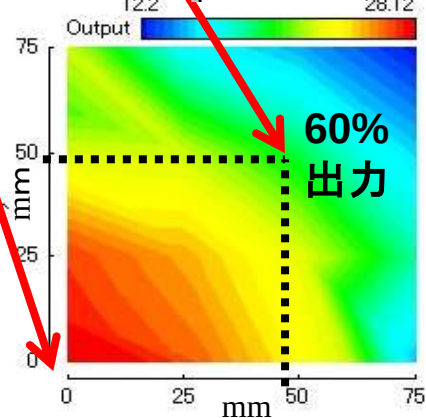
位置合わせ用補助線組み合わせ

- 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)



距離-出力試験

停留所概略図



【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

出典:
交通安全環境研究所公表資料

アドバンスドパーキングシステム



出典: <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/wcs.html>

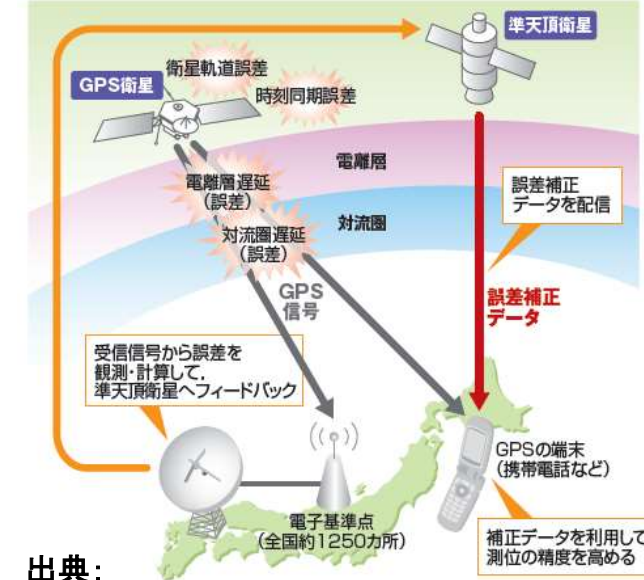
ジャガー・ランドローバーの床下可視技術



出典:
https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00138/072200334/?n_cid=nbpnxt_mled_at

将来的には自動運転によるコイル上への駐車

準天頂衛星でGPS精度を補完



出典:
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20090202/323987/?rt=ocnt>



出典: <http://seekdrive.net/?p=15296>

CASEとワイヤレス給電の親和性



33

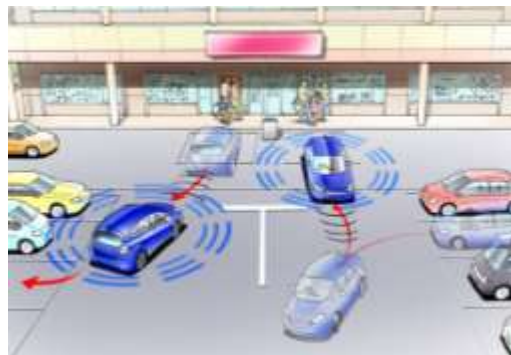
CASEとは : 2016年のパリモーターショーでダイムラーが中長期戦略の説明内で使用



自動位置合わせ
充電状況確認・課金



レーンキープ・課金



自動バレー駐車・自動充電



EV・電気バスと充電
自動位置合わせ



カーシェア・自動充電

出典：メルセデスベンツ公式ウェブサイト／<https://automotive.ten-navi.com/news/26203/>／<https://time-space.kddi.com/ict-keywords/kaisetsu/20170911/2098>
<https://share.timescar.jp/public/>／https://www.carsensor.net/contents/editor/category_1584/_23512.html



1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電システムの動向と課題

3. バス用ワイヤレス給電システムの動向と課題

4. 今後の方向性～走行中給電～

5. ワイヤレス給電システムの市場規模



日本でのWPT付きEVバスの開発と運用試験

ケーブル接触式急速充電バスでの課題

車種別年間走行距離



資料: 国土交通省「継続検査の際の整備前自動車不具合状況調査」

ポンチョEVバス CHAdeMO急速充電 50kW



すみりんちゃん

はむらん

ワンマン運転手はターミナルで充電だけでなく料金収受も必要

ちいばす 東芝超急速充電 160kW

WEB-3/WEB-4 ワイヤレス給電 30kW



地上コイルの上に乗り、車内でタッチパネルに触るだけ

ワイヤレス給電では操作が車内で非常に容易にできる

160kW型ワイヤレス給電ができれば利便性は更に高まる

- 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の航空転用コネクタは女性が扱うのには非常に重い
CHAdeMOの120kW型が発表されているがケーブルは太く重い

海外での大型車両への大電力充電の取り組み



37

	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・中国では運用中 トロリーバスが使われている国では導入が容易		欧米・中国では運用中	
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)
	移動の自由度が少ない 電極のメンテナンスが大変 普及の可能性が低い 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	

日本でのワイヤレス給電バス運用実証



38

国土交通省/日野自動車「次世代低公害車開発促進プロジェクト」

2008年 羽田空港実証試験

IPT搭載

30kW型



昭和飛行機製
IPS搭載

50kW型



2011年 東京モーターショー実証試験



東京ビッグサイト

2011年 東京駅～晴海間の実証試験



東京駅丸の内南口

早大 NEDO/環境省プロジェクト

2009年 WEB-1奈良公園実証試験

IPS搭載

30kW型



2011年 WEB-3/4長野市実証試験



2015年 WEB-3adv.川崎市実証試験

東芝製搭載

44kW型

これらは全て
2次コイル
固定の
大ギャップ式



2008年 洞爺湖サミット

羽田空港 Shuttle Bus



出典: 次世代低公害車開発促進プロジェクト報告書

2008年 羽田空港

2008年 上高地



これらは全て
2次コイル昇降式



欧州でのワイヤレス充電バス

欧州のワイヤレス充電バス



40



Milton Keynes
(120kW)



s'Hertogenbosch
(120kW)



Utrecht
(100kW) *



Södertälje
(200kW)



Braunschweig
(200kW)



Berlin
(200kW) *



Bristol
(100kW) *



London
(100kW)



Bruges
(200kW)

Madrid
(100kW) *



Torino
(60kW)



Genoa
(60kW)



Maribor
(100kW) *

Cluj-Napoca
(100kW) *

Basel
(60kW)



Mannheim
(200kW) *



* 印写真出典：ネット資料

赤地 2017年11月 (環境省PJ)
赤字 2015年10月 (環境省PJ)
緑字 2005年10月 (NEDO PJ)
暗緑字 2003年8月 (契約訪問)

英Milton Keynes市EVバス実証事業（2次コイル昇降式）



41

三井物産とARUPが2014年1月から路線バス事業

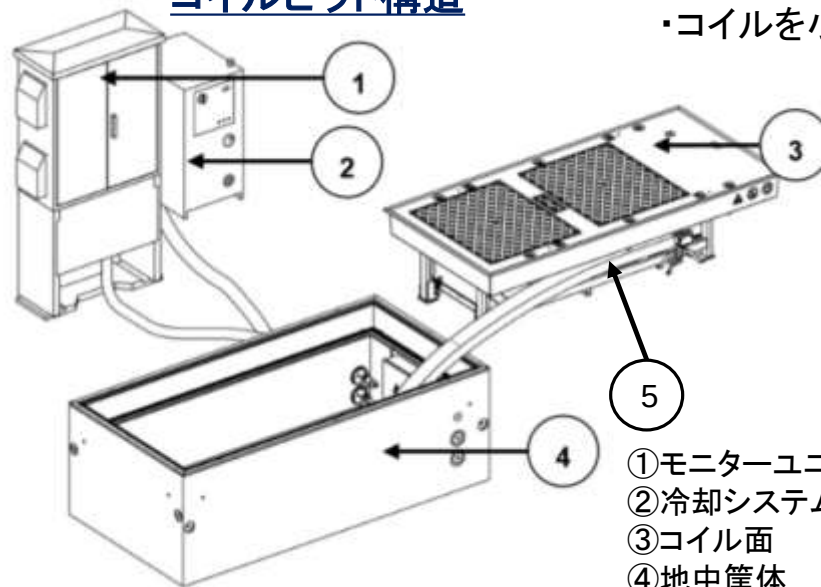
Route No.7
片道約24km

ワイヤレス給電システム：

IPT Technology社製電磁誘導式
120kW出力(30kW×4台)
充電時間は両ターミナルで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
高周波ラインが短い
設置性が高い
景観性が高い



コイルピット構造



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



地上コイルの設置



絵出典：IPT Technology社HP



地上コイル



2次コイルの設置状況

出典：<http://www.bbc.com/news/technology-25621426>

IPT Technology社の電動バス展開 (UK) ① (大ギャップ式)



42

Transport for London(2016)

- バス : ・4 × 12m plug-in hybrid buses
・ADL2階建てバス Enviro400H E400
(パワーモジュールはBYDが供給)
- ルート : No.69 (Canning Town～Walthamstow中央バス駅)
- ルート距離 : 11km
- 走行時間 : 混み具合によるが40～50分間
- 充電方法 : ・両ターミナル ワイヤレス給電
・バスデポ 夜間接触式充電
- WPT : IPT Technology社製
- 出力 : 100kW(50kW × 2)
- 周波数 : 20kHz
- エアギャップ: 14cm



IPT Technology社の電動バス展開②（昇降式・大ギャップ式）



43

s'Hertogenbosch (Den Bosch) (蘭)

2012年 120kW



Utrecht (蘭) 2013年12月 60kW



Utrecht
Central
Station
bus
stop



Line2
・Optare製
10mバス3台
・5km走行
・3～5分間充電

Bristol (英) の2階建てバス 2016年 100kW



Line72

・City center～ UWE's
Frenchay Campus
・13km走行

LondonのBYD製バス 2018年 100kW



Line507

・Victoria～Waterloo/Upper
Taxi Road
・約4km走行

Madrid (スペイン) 2018年 100kW



Line76
12m電動バス
・運行ルート
Plaza Beata
～
Villaverde



・走行距離
7km
・充電
両ターミナル
3～5分間

独Braunschweig市のEVバス運行（2次コイル昇降式）

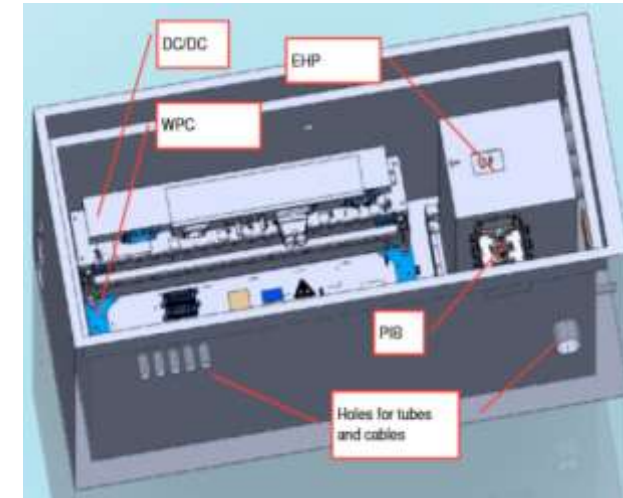


44



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
- ・寸法 2200×900×100mm
- ・製造所 Bombardier



電源ピット構造と埋設状況

出典：PRIMOVE Wireless eMobility by Neil Walker , Sept.2013



2次コイル昇降式



冷却システム



バスターミナルでの地上コイル



バス停専用道路の地上コイル

Bombardierの電動バス展開（2次コイル昇降式）



45

Mannheim(June 22.2015)



充電時間 : バス停 4か所
約2分間
ターミナル 2か所
約5分間



Berlin(Sept.1.2015)



Bruges(Oct. 17.2015)



Södertälje(Feb.21.2017)



ワイヤレス式走行中給電実施場所
SOCに依りバスの補充電を実施



中国でのワイヤレス充電バス

ZTE（中興通訊）のワイヤレス充電バス展開



47

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11市(2015年～2017年)

赤字 2016年8月実施(環境省PJ)

緑字 2016年1月実施(Volvo PJ)



Chengdu
成都
(30kW×2基)



Zhangjiakou
张家口
(kW×4基)



Changchun
長春
(kW×3基)



Zhengzhou
郑州
(120kW×5基)



Xiangyang
襄阳
(120kW×2基×2カ所)

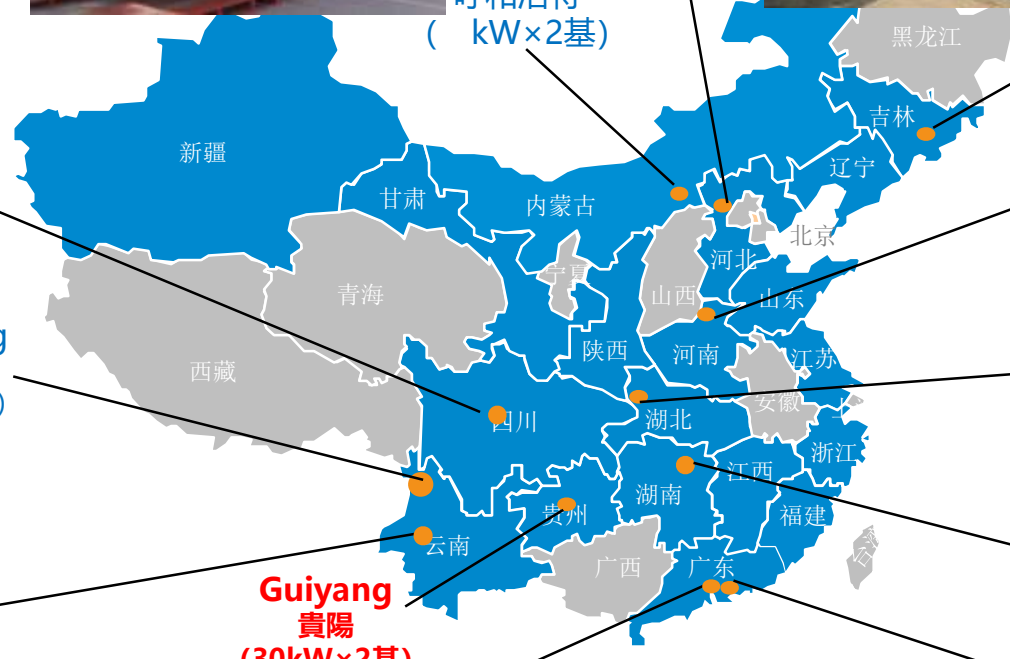


Changsha
長沙
(60kW×基)



2nd Generation Type

Hohhot
呼和浩特
(kW×2基)



Lijiang
丽江
(30kW)



Dali
大理
(30kW)



Guiyang
貴陽
(30kW×2基)



Shenzhen
深圳
ZTE本社前
(60kW×2基)



Huidong, Huizhou
惠州惠东
120kW×2基)



ZTEのワイヤレス充電バスの運行（大ギャップ式）



48

襄陽市



全長 約22.6km



車両外観



車上コイル



横2連の地上コイル

鄭州市



全長 約43.7km



車両外観と電源盤



車上コイル



縦2連の地上コイル

ルート全長：43.7km
コイル設置：2台×10基
ギャップ：17cm
電源盤出力：120kW
(60kW×2台のコイル)
運行：2014年9月開始

第2期工事を計画、既に稼働中

ルート全長：22.6km
コイル設置：2台×2ターミナル
電源盤出力：120kW(60kW×2台のコイル)
運行：2014年9月開始



2基の120kW電源盤と冷却システム、
奥に高圧電源盤(160kVA)



米国でのワイヤレス充電バス

米国でのワイヤレス充電バス



50

Wenatchee (200kW)



Walnut Creek (50kW)



Monterey (50kW)



Long Beach (50kW)



Antelope Valle
(250kW)



Utah State
University



Lancaster (100kW)



McAllen (50kW)



Howard County (50kW)



Chattanooga (200kW)



Pinellas Suncoast



赤地 Momentum Dynamics製
青字 WAVE製
写真出典：ネット資料

ワシントン州Wenatcheeの200kW型WPT式EV Bus運用



51

2018年5月 実運用開始

運用社 Link Transit

ルート仕様

- ・Columbia Station～East Wenatchee
- ・走行距離 16マイル／周

ワイヤレス給電システム仕様

- ・製造所 Momentum Dynamics
- ・出力 200kW
(50kW × 4)
- ・周波数 23.5kHz
- ・効率 92%
- ・エアギャップ 18cm
- ・充電場所 1箇所:
Columbia Station
- ・充電時間 5分間
- ・価格 \$135,000
(WPTシステムのみ)

バス仕様

- ・タイプ BYD K9S型10.7m
- ・モーター 100kW × 2基
- ・電池搭載量 80kWh
- ・台数 5台
5台追加を検討中



Columbia Stationの充電場所



テネシー州Chattanoogaでも
運用開始



高周波電源の
設置状況



車上コイルの設置状況
50kWコイル × 4



Momentum Dynamicsでの実験状況
50kWコイル × 4



地上コイルの設置状況
50kWコイル × 4
(カバー貼り付け前)

出典: <https://www.designnews.com/content/power-out-thin-air/153947192358622>

<http://koho101.com/2018/03/link-transit-installs-nations-first-high-powered-wireless-charging-of-electric-buses/>

<http://www.philly.com/philly/business/energy/malvern-startup-imagines-a-world-where-electric-vehicles-are-recharged-wirelessly-20180427.html>

国内外のEVバス用ワイヤレス充電システム



52

運用都市	鄭州	Milton Keynes	Braunschweig	Wenatchee	長野市 / 江東区	川崎市
製造所	中興通信 (ZTE)	IPT Technology	Bombardier	Momentum Dynamics	昭和飛行機工業	東芝
出力[kW]	120 (60 x 2)	120 (30 x 4)	大出力 200	200 (50 x 4)	30 / 50 小出力	44 (22 x 2)
2次コイル形式	大ギャップ式	2次コイル昇降式	2次コイル昇降式	大ギャップ式	大ギャップ式 / 2次コイル昇降式	大ギャップ式 ソレノイド型
ギャップ[cm]	17	4	3	18	12 / 5	10.5
周波数[kHz]	85	20	20	23.5	22	85
2次コイル 寸法[cm]	(130 x 100) x 2	楕円形 (102.5 x 87.5 x 6) x 4	220 x 90 x 10	(90 x 75) x 4	八角形 120 x 120 x 3.3 / 84.7 x 84.7 x 3.3	(62 x 80 x 4.65) x 2
2次コイル 面積[m ²]	2.6	2.82	1.98	2.7	1.25 / 0.62	0.99
高周波電源装 置寸法 [mm]	W700 x D700 x H1150	W840 x D600 x H2300 x 2面	W1300 x D1300 x H2800	W1600 x D1000 x H2250	W705 x D605 x H1775	W1200 x D600 x H2200 x 2面
高周波電源 装置体積[m ²]	0.56	2.3	4.7	3.6	0.76	3.2
状況	100kW以上で、現時点で全て運用中				100kW以下で実証試験のみで終了	

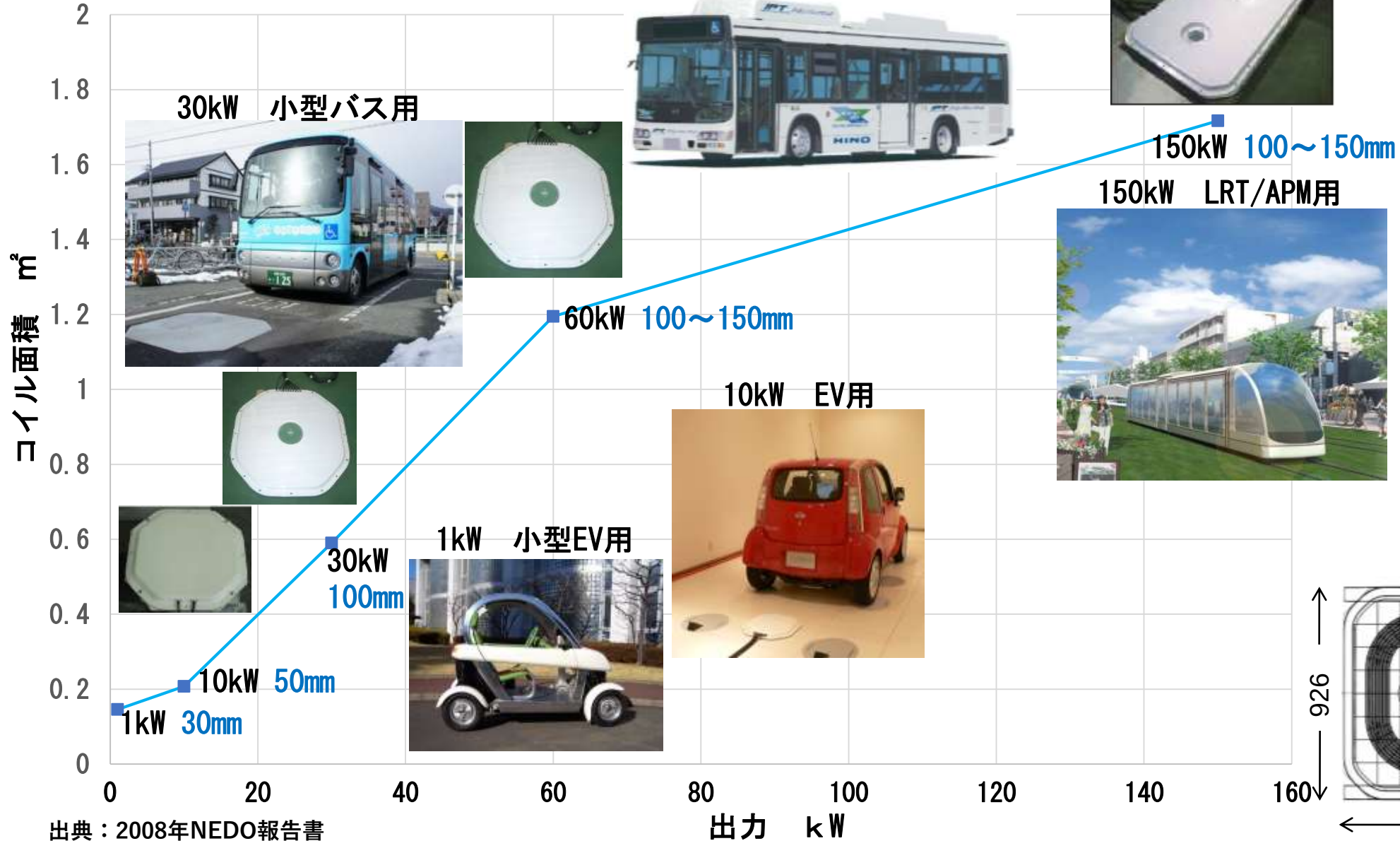


大電力給電での課題

大電力ワイヤレス給電ではコイルサイズが大きくなる



青字数値はコイル間ギャップ



60kW 大型バス用



150kW 100~150mm

150kW LRT/APM用



小型バス用

30kW

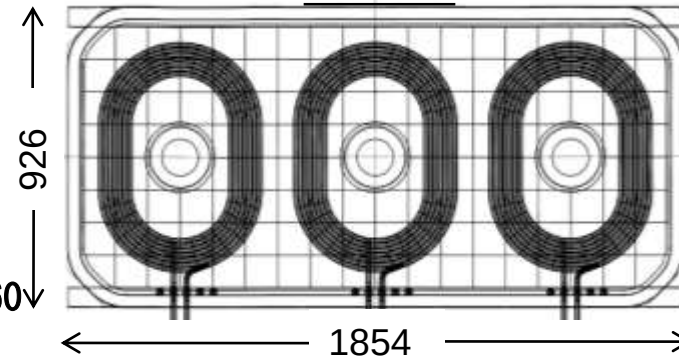
847

大型バス用

60kW
(45kW)

1200

150kW



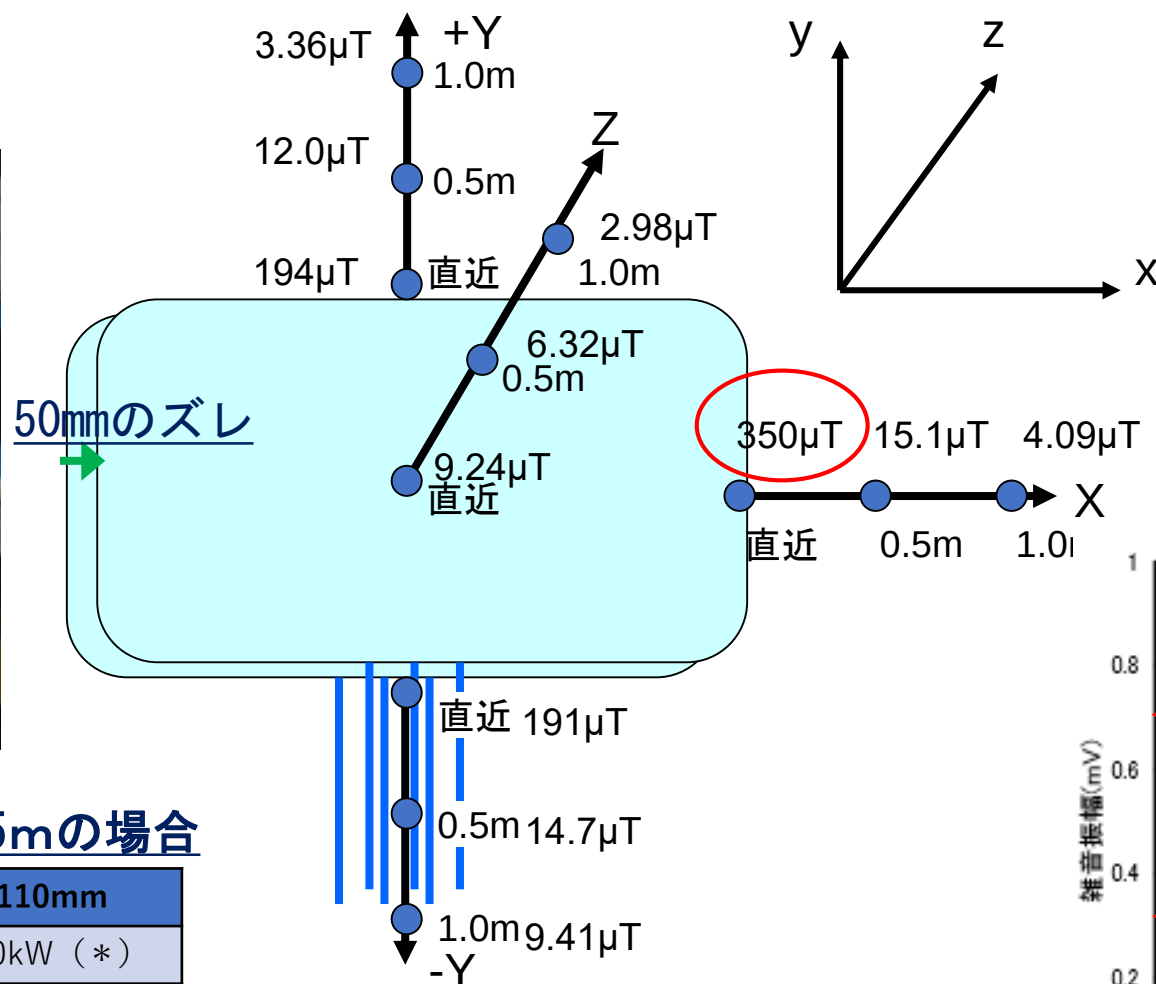
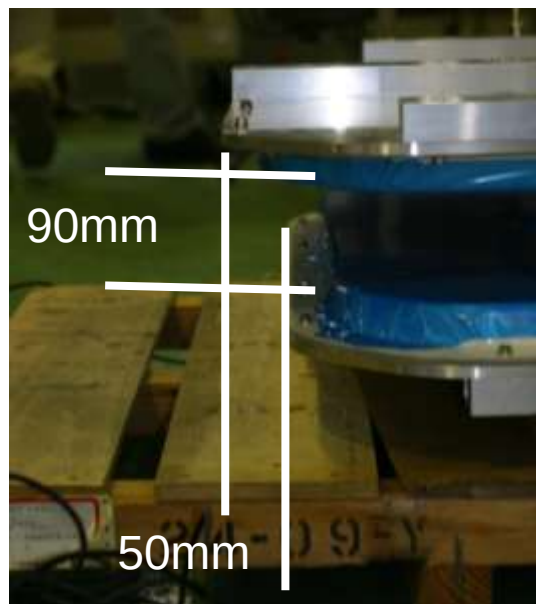
150kWシステムにおける漏洩磁界の距離的影響



55

Gap : 90mm

x方向ズレ50mmの場合



漏洩磁界を計測中のNARDAの3軸式磁界プローブ

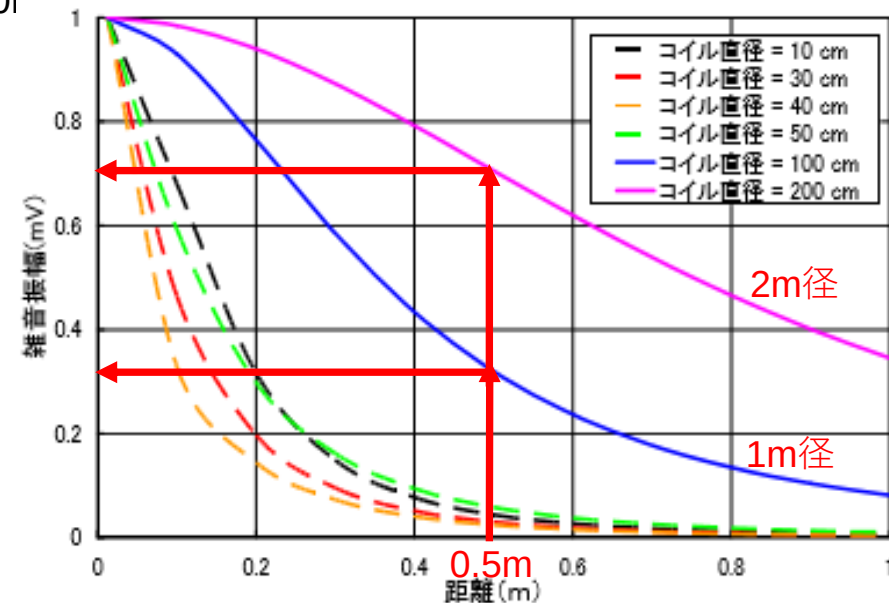
x方向ズレ無し、距離0.5mの場合

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

(*)110mmでは120kWしか出力できなかった

出典：「非接触給電装置」 NEDO-実用化研究開発

大電力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



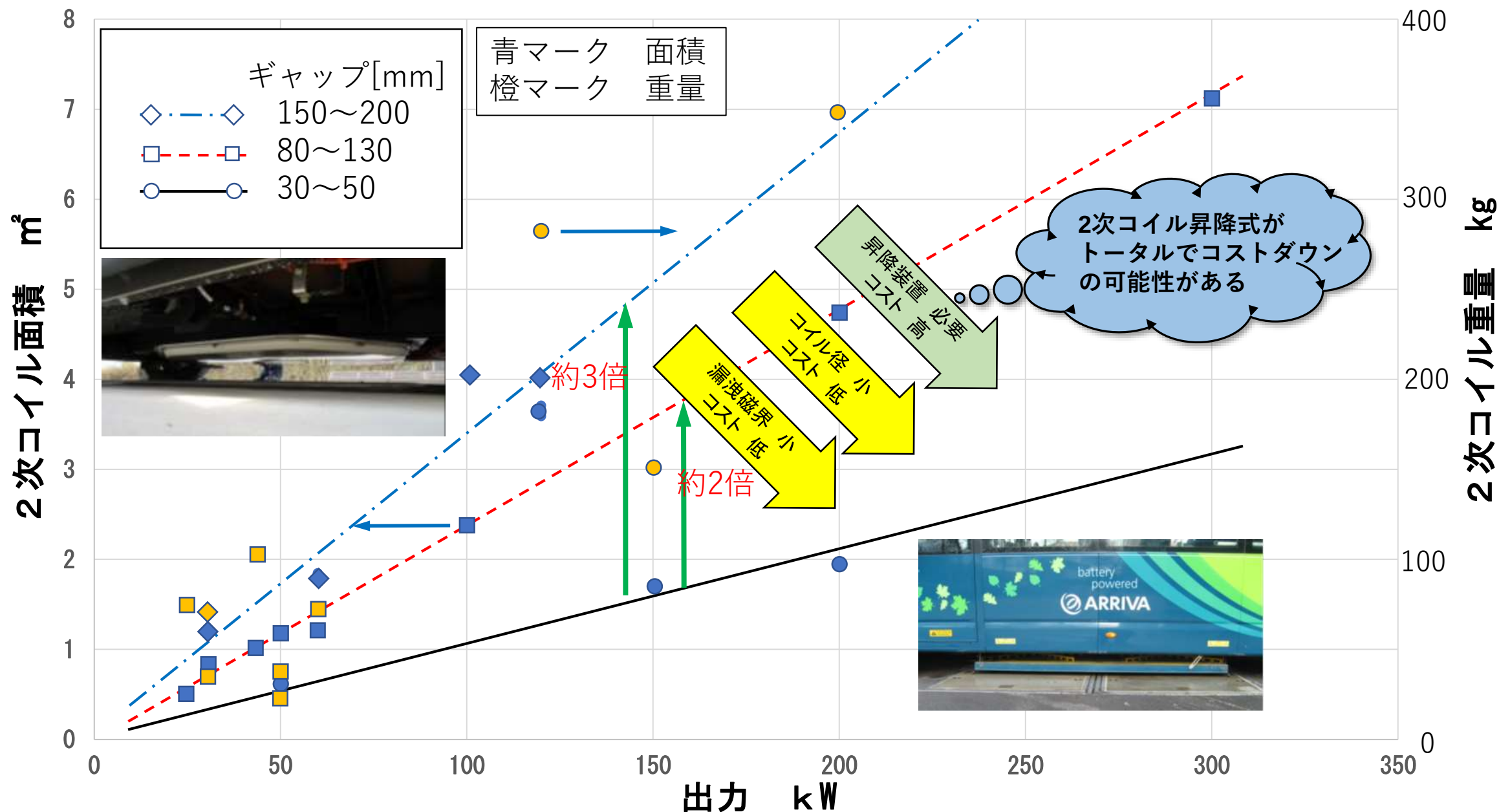
磁界発生源が大きいほど離れても減衰し難い

出典：豊島健,電波利用環境シンポジウム資料

出力とコイル面積・重量およびコイル間ギャップの関係



56



鉄道からの電力供給

ドイツBraunschweig中央駅バスターミナルで横を走るLRTからの電力供給

左図は下記地図の赤矢印方向を見たもの



Braunschweig中央駅バスターミナル付近

出典：Google map



WPTとLRTの位置関係

コイルの脇を通るLRT

左図は上記地図の橙色矢印方向を見たもの



1. ワイヤレス給電システムとは
2. EV用ワイヤレス給電システムの動向と課題
3. バス用ワイヤレス給電システムの動向と課題

4. 今後の方向性～走行中給電～

5. ワイヤレス給電システムの市場規模

1. 搭載電池の改良と増大

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り、大電力給電が必要



特殊CHAdeMOによる大電力充電が必要で、運用場所が限られ、プロジェクトは成功しなかった

2. 急速充電器設置

2017.4.8現在の急速充電器設置数 13,907 台
国内 7,123 台
海外 6,774 台

3. 充電渋滞の発生



高速道路サービスエリアでの充電渋滞の状況

出典: <http://www.chademo.com/jp/pdf/qckasyosuii2.pdf>

航続距離と充電問題の解決法

電池の「カセット」化

電池交換

ベタープレイスの電池交換システム



自動制御により1.5分で交換、大規模なシステムが必要

2013年5月26日、ベタープレイス社解散発表

中国では電池交換式電気バスが運用されている

EVの「電車」化
大電力の平準化

走行中給電



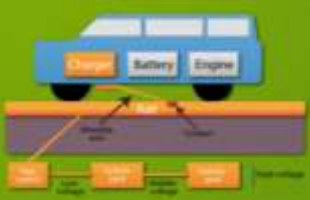
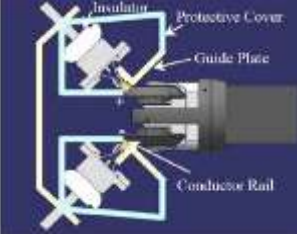
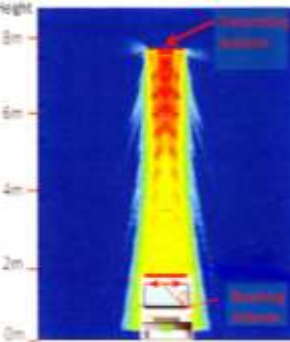
1990年当時の雑誌記事

1980年代のPATHプロジェクトで走行中給電は成功、課題は電磁漏洩対策

出典: Juiced-Up Roads To Power Electric Cars (EVに燃料を補給できる道)

大電力走行中給電の主な方式



方式	接触式					非接触式	
	地表給電			側面給電	空中給電	地表給電	空中給電
主な 開発者	ALSTOM Volvo	ELWAYS	ELONROAD	本田技研工 業	SCANIA Siemens	Bombardier KAIST	京都大学
型式名	Alstom ERS				eHighway		
仕様例 写真・図	2接点方式 120kW ± 50cm	2接点方式 200kW	3接点方式 240kW	2接点方式 450kW	2接点方式	高周波給電 200kW ± 10cm	マイクロ波 開発段階 規制有り
	  	  	  	  	  	  	 



日本と海外での動向とその差

欧州の走行中給電プロジェクト



62



Gävle
2016年6月開始、
パンタグラフ式



London
検討のみ

Lommel
2012年実験終了

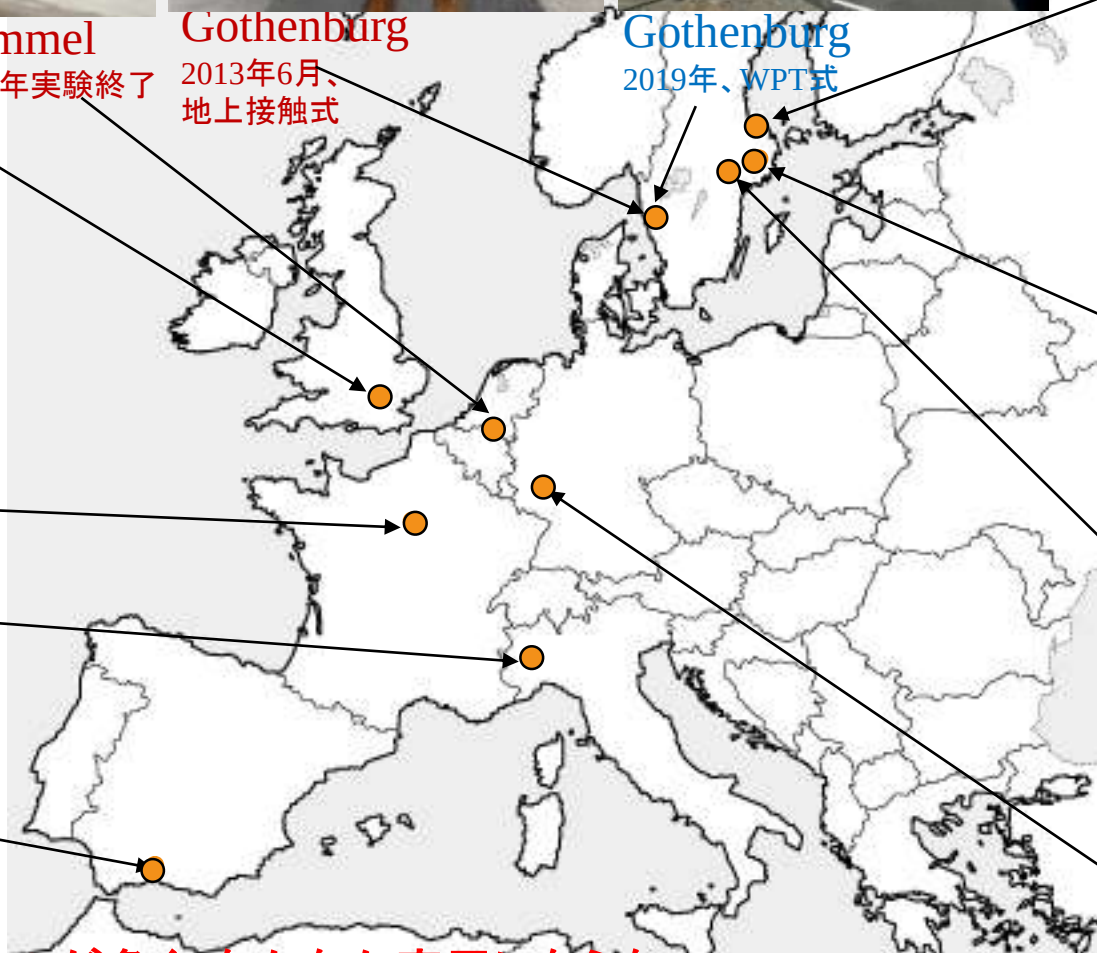
Gothenburg
2013年6月、
地上接触式

Gothenburg
2019年、WPT式

Södertälje
2016年6月、



Satory
2017年から実験開始



Stockholm
2018年4月
スロットカー式



Torino/SAET`2018年6月
Torino/POLIT



Malaga
2015年末から実験
開始

Mannheim
2015年



デモ段階のものが多く、なかなか実用にならない

写真&図:各社HP/資料より入手

スウェーデンSödertäljeでのSCANIAの走行中給電試験



63

2016年6月にScaniaのR&Dセンターに設置

・場所 スtockホルムの南35km

試験路仕様

・充電場所 5セグメント

・充電距離 200m

ワイヤレス給電システム仕様

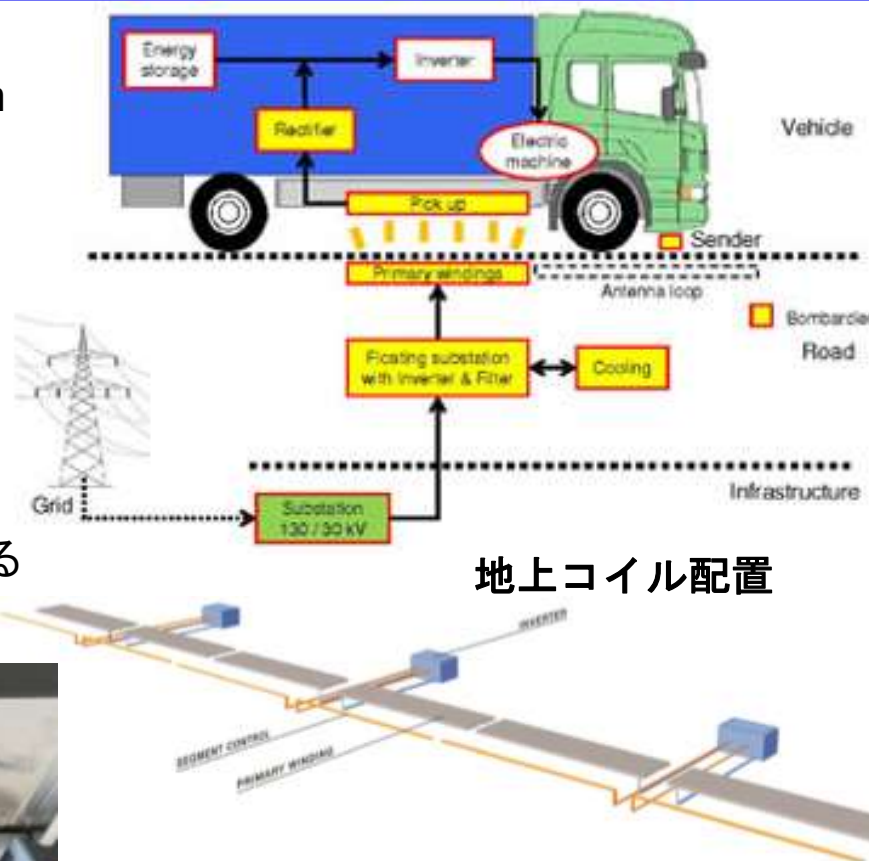
・出力 200kW
(AC～トラック間)

・総合効率 80%以上

・エアギャップ 100mm

給電中はここまでコイルを下げる

・サイズ 2×1m



100mm

1m

2m

米Utha州立大 Electric Vehicle and Roadway (EVR)



64

2015年Q2にユタ州立大キャンパスに設置
試験路仕様

・寸法

長径 152.4m

短径 91.4m

周長 409m

・充電場所

3ヶ所

・充電距離

1/4マイル

ワイヤレス給電システム仕様

・出力

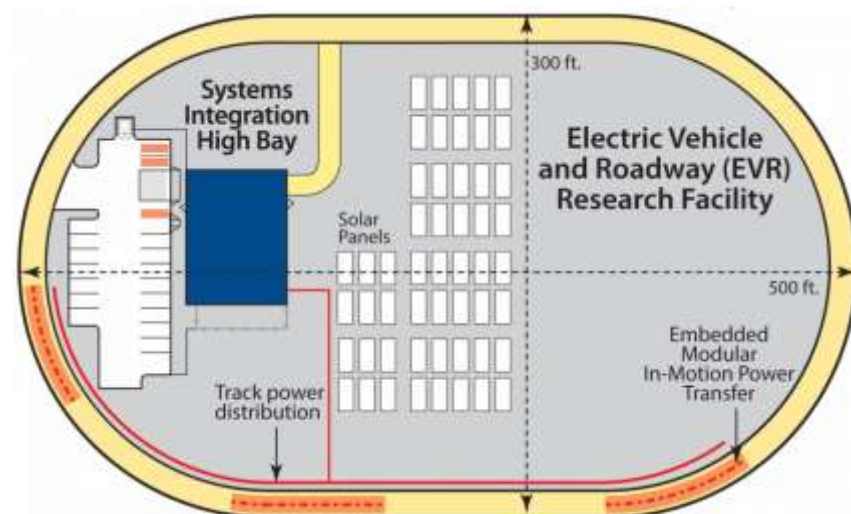
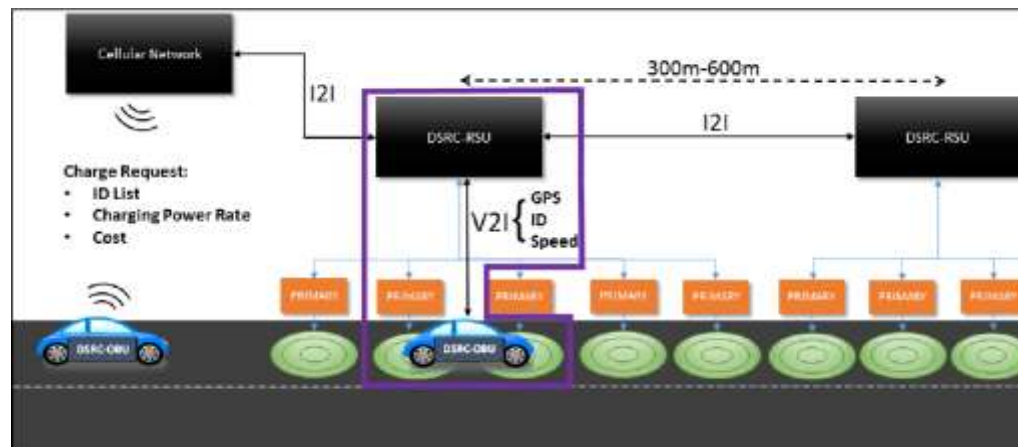
750kW

(AC～トラック間)

・総合効率

80%以上

10年以内に90%台が
目標



出典: <file:///C:/Users/stak/Downloads/dec1-usu-charged-magazine.pdf> Zeliko Pantic, IAS Webinar Series, 10 June 2016

その他の地域での走行中給電実証・試験

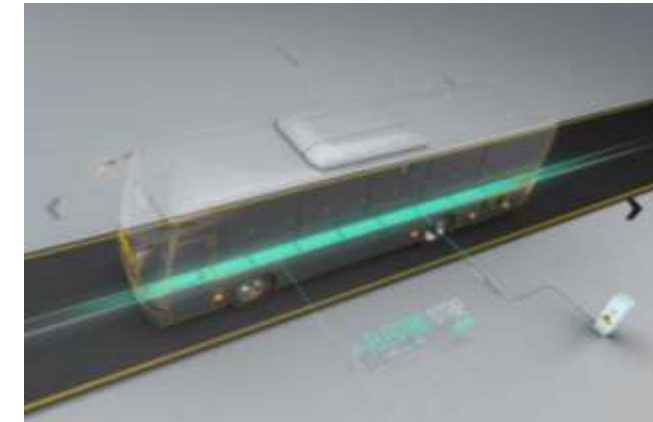
韓国KAIST Gumi City(亀尾市) 2013年7月

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
27cmギャップを効率75%で200kW送電
車両側ピックアップは5台
バス台数 2台
TRL算出コスト €500,000/1km



イスラエルElectreon Wireless LTD Tel Aviv City 2017年

260mのテストコースでバスを
使って走行中給電実験
24~27cmギャップを効率
88~90%で5~20kW送電
地表から8cm下にコイルを設置
TRL算出コストは >€1m/1km



出典：D. Bateman, D. Leal, S. Reeves, M. Emre, L. Stark, F. Ognissanto, R. Myers and M. Lamb, “Electric Road Systems: a solution for the future”, Technical Report by TRL, November 2018.
<https://aiomag.de/start-up-electreon-baut-smartroads-die-den-oepnv-von-tel-aviv-laden-13142>
<https://www.electreon.com/technology>

将来的なコイル

出典：TRL発表資料@European Electric Vehicle Congress,23 Nov. 2015,Madrid

日本での走行中給電



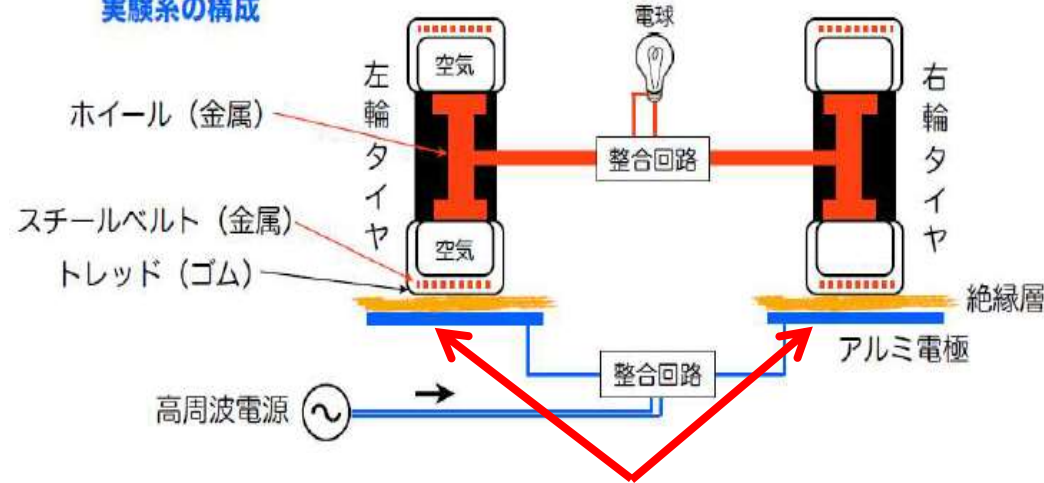
66

豊橋技術科学大学

V-WPT (Via Wheel Power Transfer方式)

電界共振結合方式なので電磁漏洩は少なくできる

実験系の構成



両輪間の絶縁の確保が難しい



CEATEC2014
大成建設と共同開発

出典: 豊橋技術科学大学資料より



2016年5月
キャンパス内にて走行実験

ダイヘン/奈良先端科学技術大学院大学

平行二線方式

磁界共振結合方式でコイルが無く安価にできる



平行二線間からの電磁漏洩が心配



2014年12月
大分工場内でデモ走行実験

出典: <http://www.synthesis.co.jp/product/wpt/>

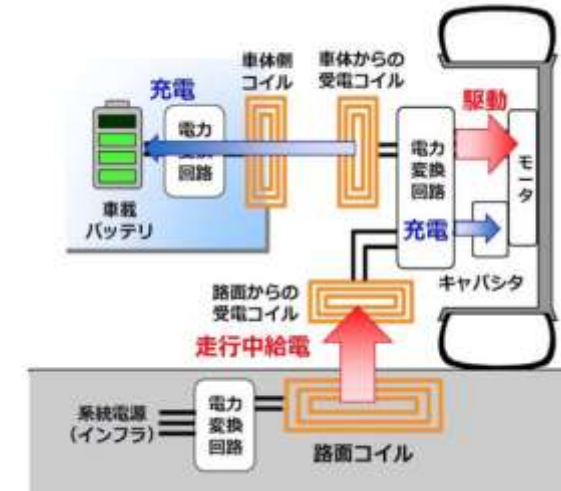


2017年1月
大分工場内にて走行実験

東大/東洋電機製造/日本精工

コイル埋設/インホイール方式

磁界共振結合方式



脚下荷重の増加が心配



2017年4月
キャンパス内にて走行実験
<http://www.nikkei.com/article/DGXZ015038230X00C17A400000/>



意外と早い導入時期と導入シーン

走行中給電のユースケース



68

汎用EV

インフラコスト負担者が明確



タクシープール、乗り場
営業所

e-Bus



空港内巡回バス
空港内シャトルバス

個人ユーザーのインフラコスト負担が大変



主要幹線の交差点付近



都市間高速道路

リターンに対するインフラコストが大き過ぎ?

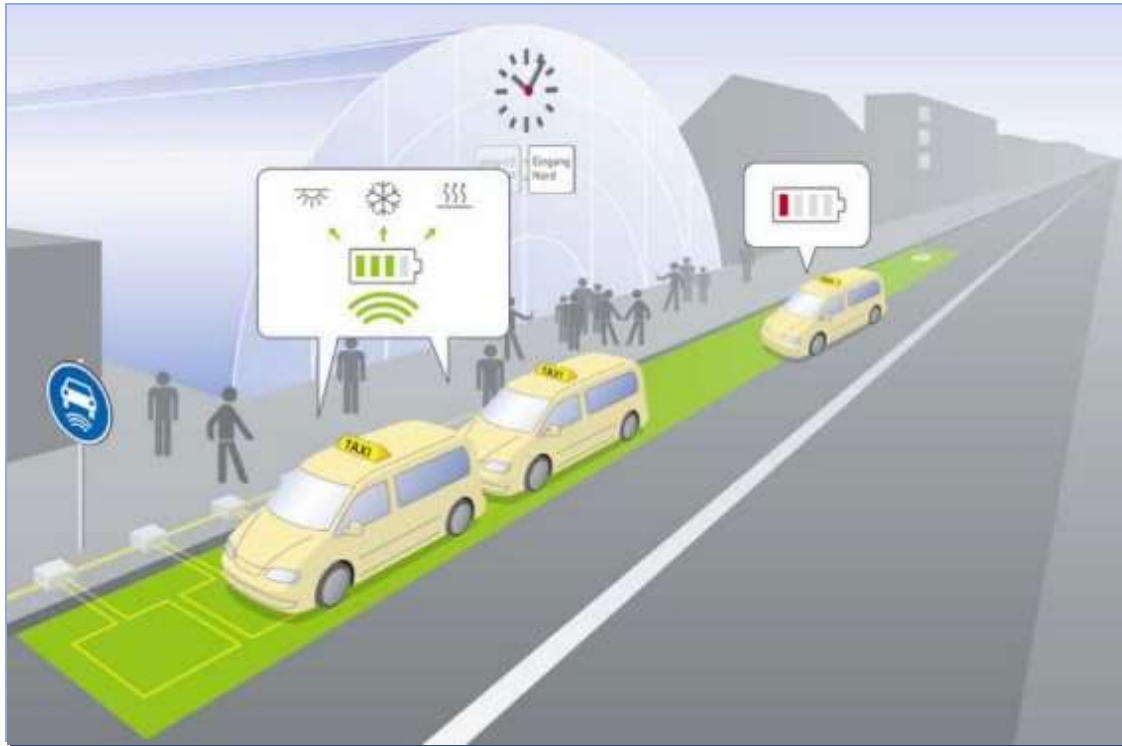


起終点バス停、バスプール
中間バス停付近、営業所



バス優先レーン

ドイツIAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr) の2050年ビジョン



(A) EVタクシープール
2020年代初めを予想



(B) 空港内循環e-Bus走行レーン
2030年代初めを予想

タクシー : 停止か低速といった準走行中給電
空港内循環バス : 走行路が固定で他の車両が入り難い
共にインフラコストの負担者と利益の享受者が同一なので導入の障壁が少ない



1. ワイヤレス給電システムとは
2. EV用ワイヤレス給電システムの動向と課題
3. バス用ワイヤレス給電システムの動向と課題
4. 今後の方向性～走行中給電～

5. ワイヤレス給電システムの市場規模



WPTシステムの市場規模

WPTシステムの世界市場動向～2018年富士キメラ総研ほか



72

市場規模推移・予測

インフラ側



✓ 当該市場の市場規模推移・予測を示した。



市場規模推移・予測

車両側



✓ 当該市場の市場規模推移・予測を示した。



2025年におけるインフラ側と車両側の合計予測金額：51,172,800千円⇒約510億円

米国Markets and Markets社の2019年1月22日付け市場動向調査では EV用WPTシステムは今後本格的な市場化段階に入るとし、その世界市場規模は2020年段階で800万\$、その先**2025年には4億700万\$（448億円@110円/\$）**規模に達すると予測

2015年市場予測の約2倍

2018年8月27日、矢野経済研究所がEV用ワイヤレス給電システムの世界市場展望を発表



EV向けの予測(受電のみ)

2018年: 6億5000万円

2019年: 22億円

2020年: 50億円

2023年: 250億円

受電モジュールのみの金額なので
受電側: 送電側 = 1 : 2 と推定

2023年: 250億円 × 3 = **750億円**
(システム)にまで増えると予想

注1. メーカー出荷金額ベース

注2. 2018年は見込値、2019年・2020年・2023年は予測値

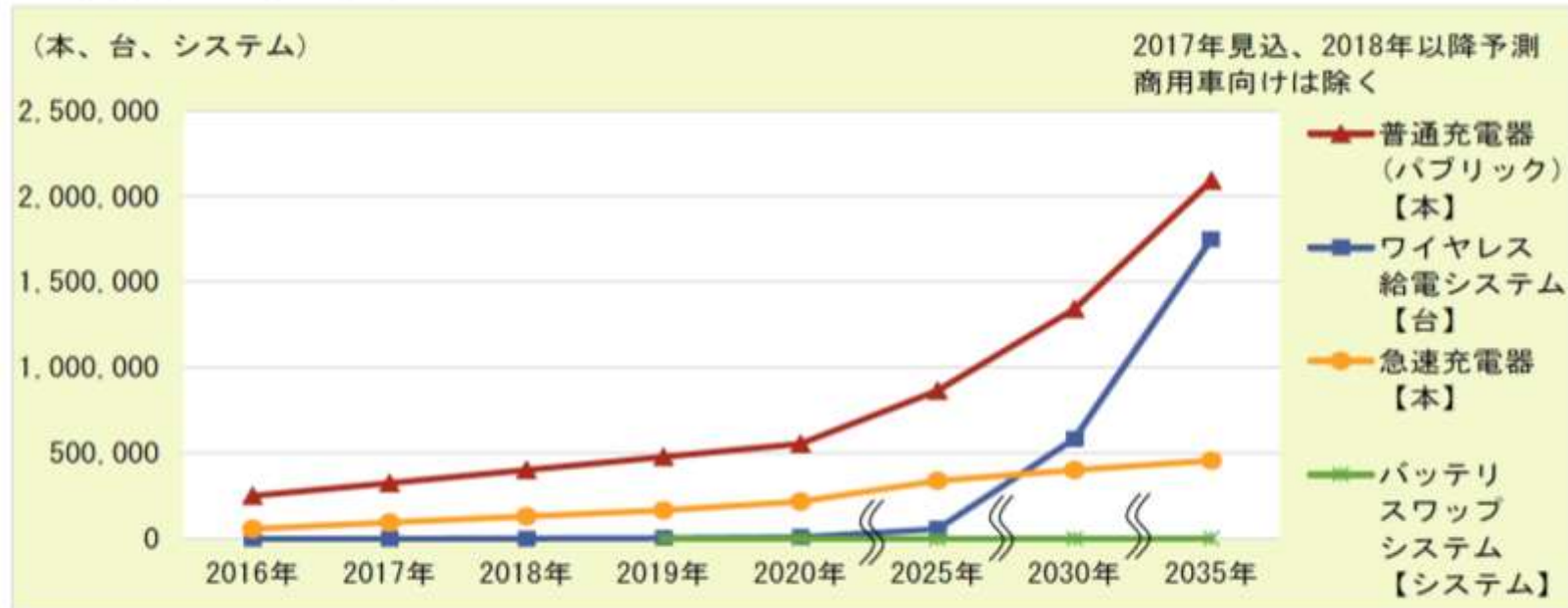
注3. 各アプリケーションに搭載される受電モジュール・受電機器を対象として算出した。

矢野経済研究所調べ

Response.

出典: https://response.jp/article/2018/08/27/313340.html?gp=1_email_20180827

■注目充電インフラ 普及状況



※急速充電器、普通充電器(パブリック)：コネクタ数ベース。ワイヤレス給電システム：送電コイル数ベース

■ワイヤレス給電システム普及状況

2016年	2035年予測
僅少	175万台

※送電コイル数ベース

■PHVの世界市場

2016年	2035年予測	2016年比
30万台	540万台	18.0倍

■EVの世界市場

2016年	2035年予測	2016年比
47万台	630万台	13.4倍

WPT装着台数予測条件は

- ・商用車向けは除く
- ・オプション扱い
- ・送電コイル数ベース

ということなので

送電コイル数=xEV台数ということになり、175万台が装着している

一方、富士経済の2017年におけるxEVの予測台数は

PHV：540万台

EV：630万台

の合計1,170万台なので

WPTの装着率は

175万台÷1,170万台=15.0%となる

これは筆者の予測装着率と同じである

出典：環境対応車充電インフラ普及状況を調査_2017年10月27日付け富士経済プレス発表 第17101号

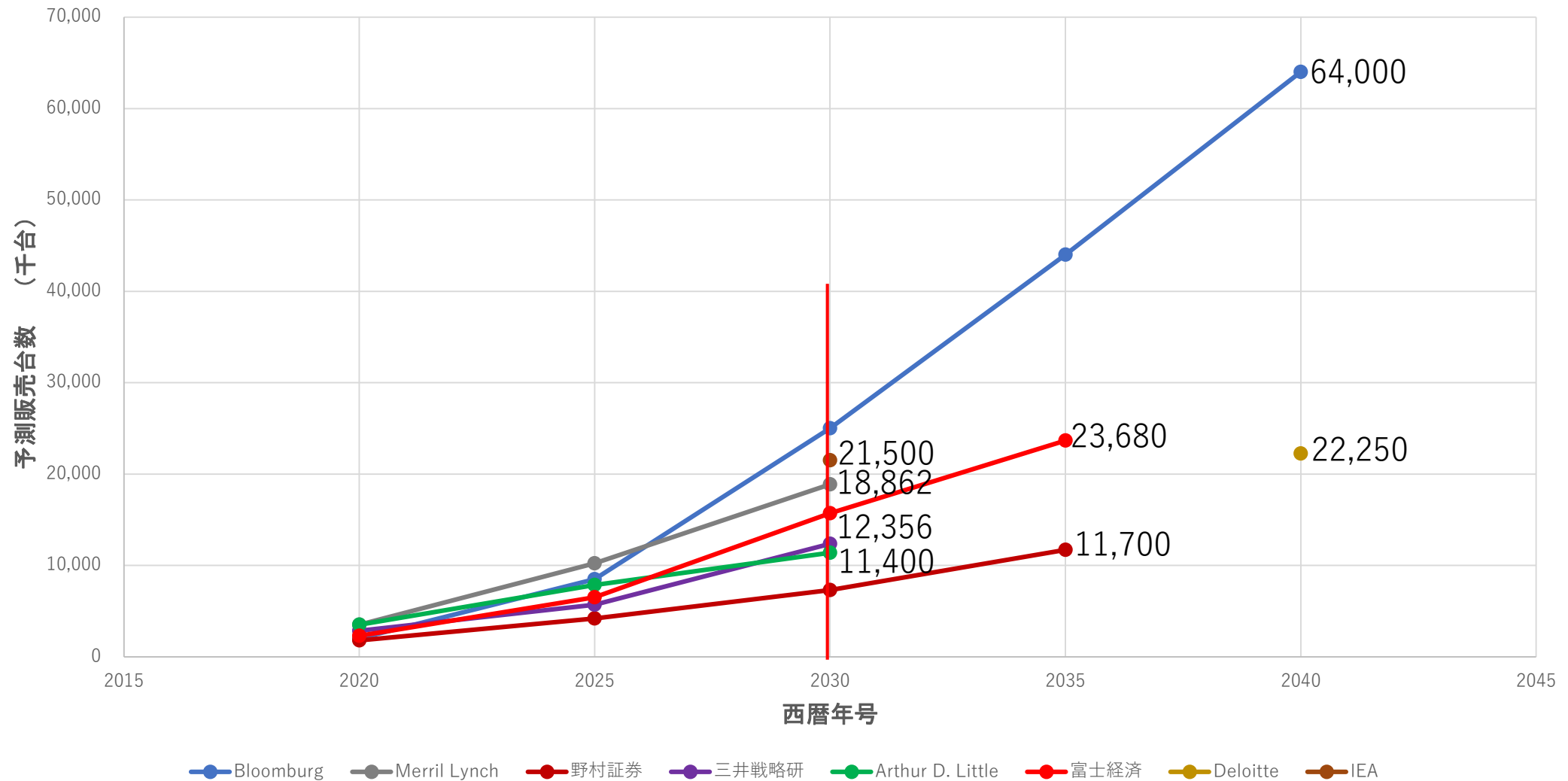
HV, PHV, EVの世界市場(販売台数)を調査_2017年6月22日付け富士経済プレス発表 第17059号

各調査会社によるEV・PHVの販売台数予測



75

各調査会社によるEV・PHVの販売台数予測



各社の予測に幅があり、富士経済の数値が各年において、その予測幅のほぼ中央値になっている

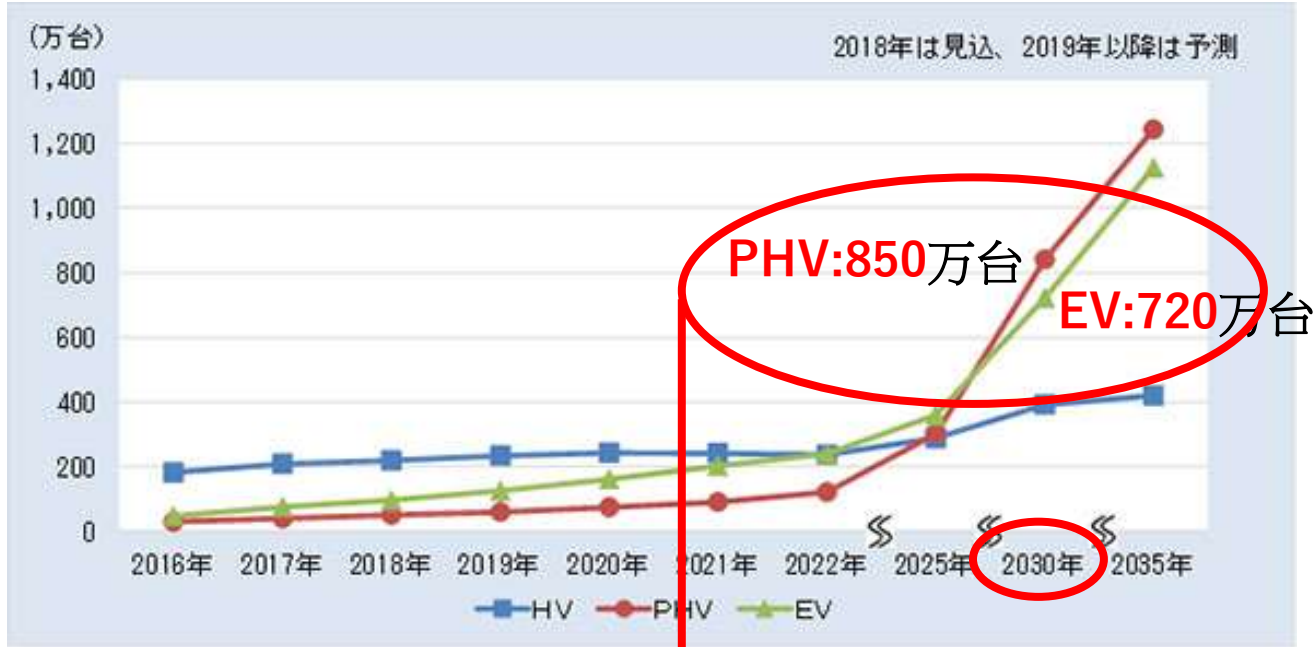
出典：三井物産戦略研究所の2018年3月15日のデータをもとに筆者が最新データを加筆して作成

筆者の2030年でのxEV用WPT市場予測 6,000～8,000億円



76

2018年6月、富士経済がHV,PHV,EVと関連部品の 2035年までの世界市場展望を発表



充電器が必要な車の台数 : 1,570万台

ワイヤレス給電システム搭載は15%と予測

2030年で約236万台の販売予測

ワイヤレス給電システム1式25万円として5,900億円の市場

2018年5月、国際エネルギー機関（IEA）が 世界のEV,PHVの2030年の見通しを発表

2017年の世界のEV・PHV販売台数は初めて100万台を超えた。

中央シナリオとして世界のEVとPHVの販売台数は2030年に17年の15倍の2,150万台に達すると予測。年率24%で成長。
各国の政策的な後押しが加速すれば、3,800万台まで上振れするとのシナリオも示した。

充電器が必要な車の台数 : 2,150万台

ワイヤレス給電システム搭載は15%と予測

2030年で約323万台の販売予測

ワイヤレス給電システム1式25万円として8,075億円の市場

不安は世界最大の新車販売国の中国での景気後退



77

2018年は28年ぶりの前年割れ_日経新聞



2019年上半期の新車販売は前年比12.4%減_MarkLines 2019年7月4日付け

自動車販売台数 (工場出荷台数)

	2019年6月			2019年1-6月累計		
	台数 (万台)	シェア(%)	前年 同月比(%)	台数 (万台)	シェア(%)	前年 同期比(%)
轎車 (乗用車)	86.3	42.0	-10.5	496.2	40.3	-12.9
MPV	9.8	4.8	-24.4	67.0	5.4	-24.0
SUV	73.9	35.9	0.3	430.1	34.9	-13.4
微型バン(小型バン)	2.8	1.4	-36.4	19.4	1.6	-17.5
乗用車	172.8	84.0	-7.8	1,012.7	82.2	-14.0
商用車	32.9	16.0	-17.8	219.6	17.8	-4.1
自動車合計	205.6	100.0	-9.6	1,232.3	100.0	-12.4

資料：中国汽車工業協会発表、各種報道より

同時期の自動車生産台数は6月単月で17.3%減、上半期で13.7%減となっているので、2019年の新車販売台数は2018年よりも更に低下して10%台になるものと思われる

世界最大の中国市場は右肩上がりの時代が終わったと考えられ、自動車保有台数が予測よりも少なくなる可能性あり
景気浮揚のために、のNEV規制で除外されていたHVへの優遇策制定により、WPT装着数が下振れする可能性がある

出典：日本経済新聞電子版 2019年1月14日付け記事「中国新車販売、18年は28年ぶり前年割れ 米中貿易戦争で消費に影」

出典：https://www.marklines.com/ja/statistics/flash_sales/salesfig_china_2019



ご清聴ありがとうございました

早稲田大学 電動車両研究所

高橋俊輔 s.takahashi15@kurenai.waseda.jp