

自動車用非接触充電システムの 現状と将来展望

早稲大学環境総合研究センター
高橋 俊輔

2012年9月20日

電気自動車開発技術展(EVEX)2012

東京ビッグサイト 東ホール



WASEDA University



- ◆ 非接触電力伝送技術の比較
- ◆ 電磁誘導式電力伝送システムの現状
- ◆ 現状の課題
- ◆ 今後の方向性～走行中給電～



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
 - ・操作時の安全性
 - ・操作の面倒さ
- 接点の汚れ、摩耗
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
大きくて重いコネクタ操作
の難しさ、手の汚れ



自動充電技術

- ・接点の簡素化
端子はあるが、触れるだけで認証、
- ・自動化
インフラ側装置が高価でメンテナンスが必要
装置設置のスペースが必要
端子の摩耗



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



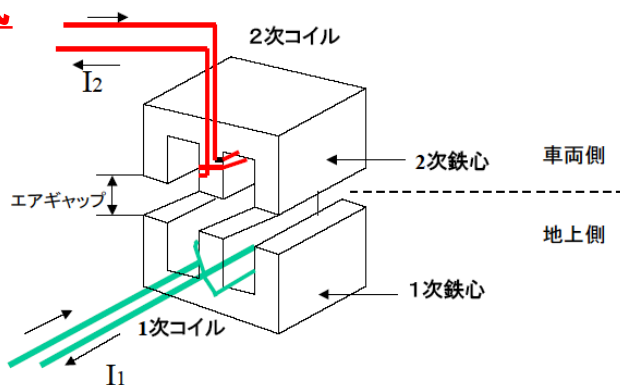
- ①電磁誘導方式
- ②磁界共鳴方式
- ③電波方式(マイクロ波など)



電磁誘導方式

- ・19世紀のファラデーやカランの時代に発見された電磁誘導（トランス）の原理を利用
- ・コイル間に発生する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）伝送できる
- ・給電方式としては 給電コイル上に静止して行う**チャージ方式**と 給電ライン上を移動しながら行う**レール方式**がある

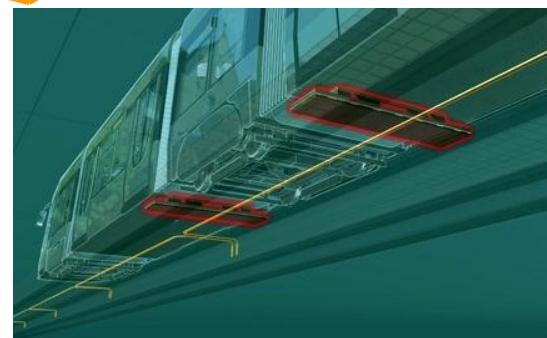
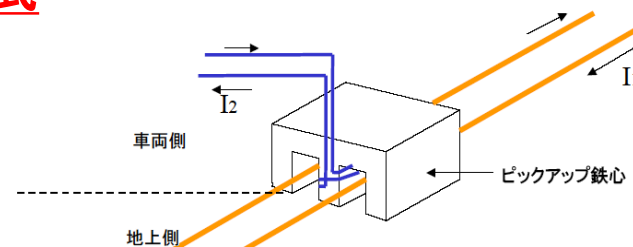
チャージ方式



パナソニック

親子電話の子機充電(1997年)

レール方式



BOMBARDIER社

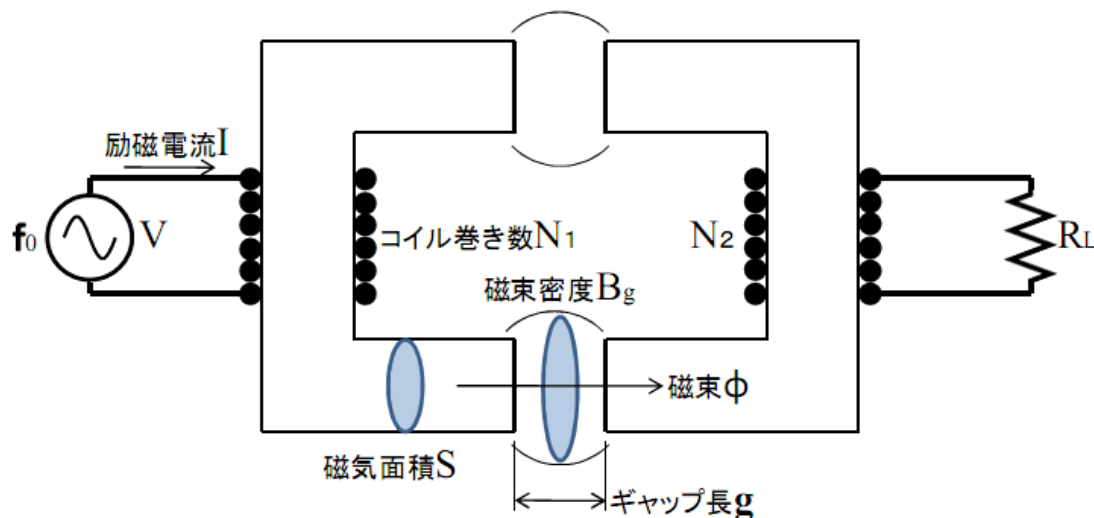
電車への250kW(2009年)



Plugless Power社

電気自動車への給電(2010年)

静止型の回路構成例と効率改善



◆理想的な変圧器

主磁束のみで、漏れ磁束がない

結合係数 $k = 1$

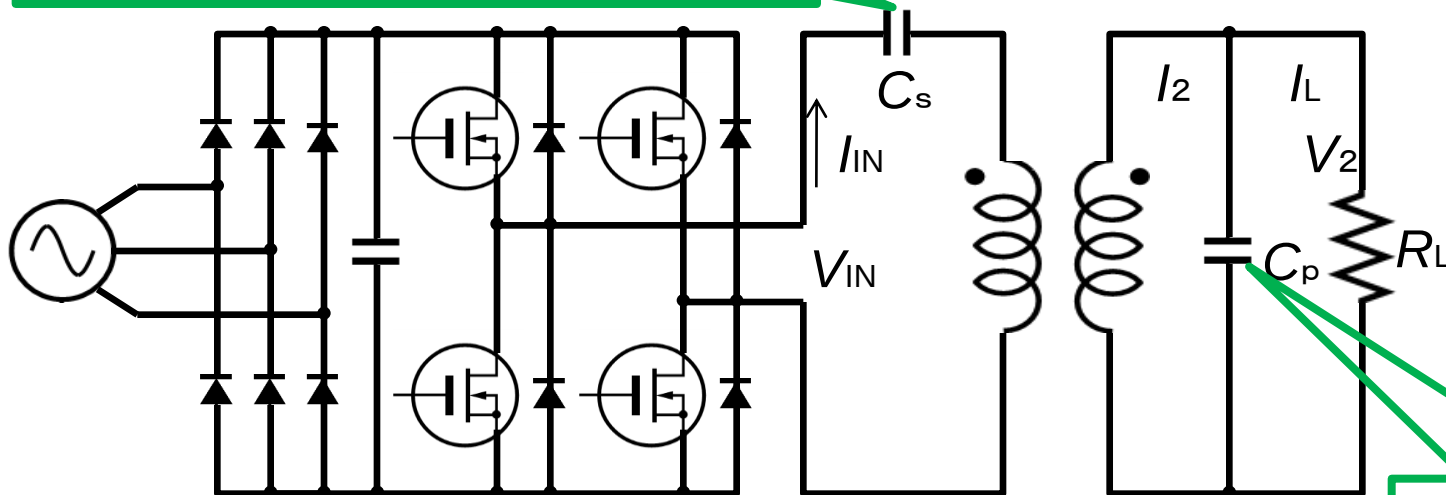
◆非接触給電システム

ギャップにより磁路が切れる

漏れ磁束がある

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



最適負荷 Z_L は

$$Z_L = R_L - j\omega L_2$$

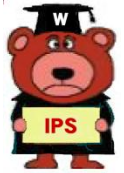
負のリアクタンス

抵抗負荷では2次側に
 L_2 と共振するキャパシタンスが必須

2次漏れインピーダンスを Z_e として
 $Z_e = Z_L$
で整合する

伝送効率を最大にする

EV用非接触電力伝送方式の比較

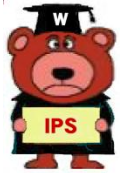


方式	磁界共鳴方式		マイクロ波無線式	電磁誘導方式			
	Magnetic Resonance Power Transfer		Microwave Power Transfer	Electromagnetic Inductive Power transfer			
開発会社	WiTricity / IHI (米国 / 日本)	長野日本無線 (日本)	三菱重工業 (日本)	Qualcomm/HaloIPT (米国 / ニュージーランド)	Evatran (米国)	パイオニア (日本)	昭和飛行機工業 (日本)
モデル名				IPT	Plugless Power		SIPS
伝送電力	3. 3kW	1kW	1kW	3kW	3. 6kW	3kW	30kW
ギャップ	20cm	10～30cm	12. 5cm	18cm±3cm	7～15cm	10cm	14cm
効率	90%	88%@30cm	38%	85%	90%	85%	92%
	DC入口～DC出口	パワーアンプ出口 ～電池入口間	総合効率 (含む廃熱回収)	総合効率	総合効率	総合効率	総合効率
1次側 コイルサイズ	50cm×50cm ×3. 75cm	80cm×80cm ×16cm	6cm×9cm ×10cm (4本)	80cm×40cm ×3cm	30cmΦ ×2. 5cm	46cm×46cm ×3cm	139cm×139cm ×5cm
サイズ／出力	2. 8 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	102 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	2. 7 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	3. 2 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	0. 5 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	1. 9 $\frac{W}{cm^2}$ / kW	3. 2 $\frac{W}{cm^2}$ / kW
周波数	145kHz	13. 56MHz	2. 45GHz	20kHz		95kHz	22kHz
発表年月	2011年6月	2011年5月	2009年2月	2010年	2011年1月	2010年10月	2009年3月
開発状況	実証段階	実用化評価段階	開発中	開発中	実証段階	開発中	実用化段階
画像							



- ◆ 非接触電力伝送技術の比較
- ◆ 電磁誘導式電力伝送システムの現状
- ◆ 現状の課題
- ◆ 今後の方向性～走行中給電～

製品化されたEV用非接触給電システム

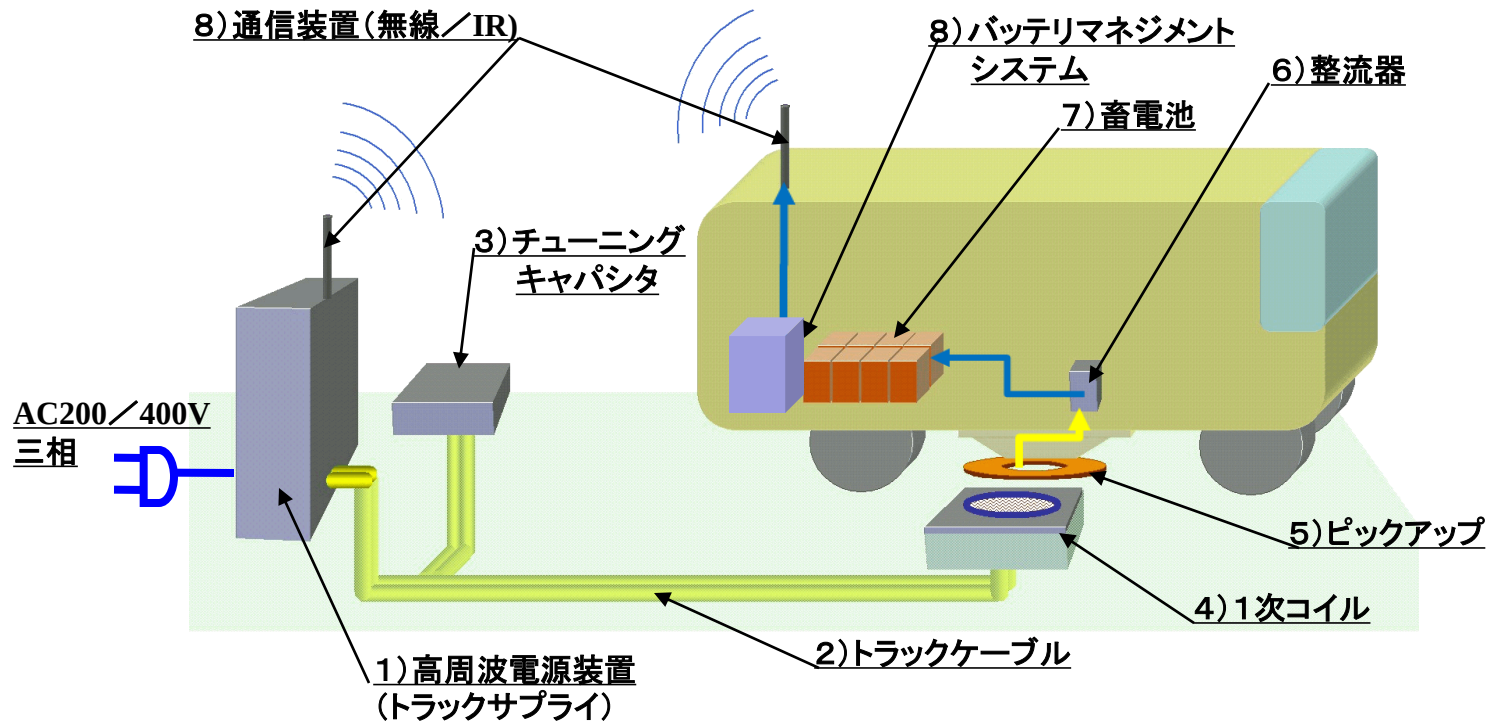


ドイツWampfler社製のIPT

- ・大電力で地上コイルに跨るだけで容易に充電できる
- ・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
- ・入力3相400V、最大出力30kW
- ・車両サイズに比較して相対的に大きい、重い、効率が悪い、高価である等の大きな改善課題が存在



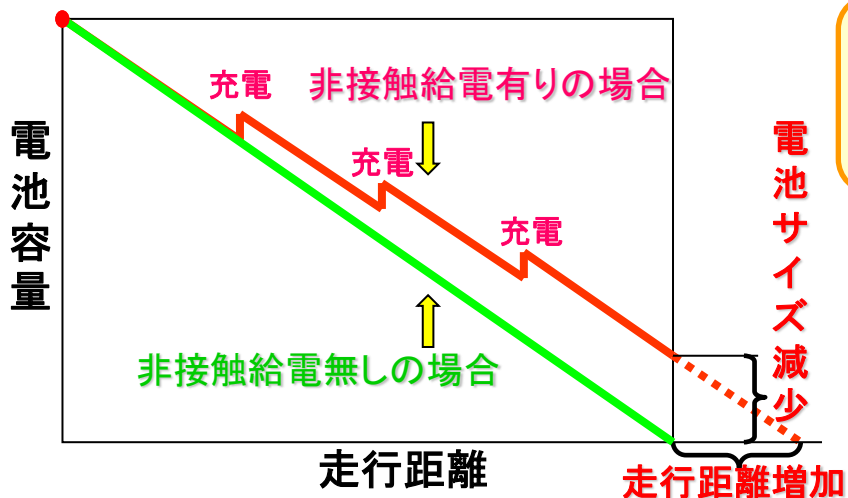
出典：Wampfler社のカタログより



電動バスWEB-1と非接触給電IPS



平成16～17年度 NEDO補助金にて先進電動マイクロバスWEB2台製作

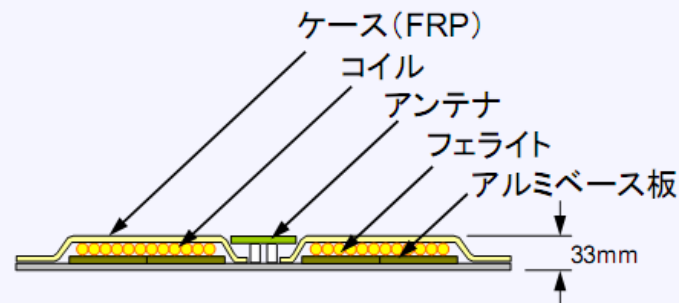


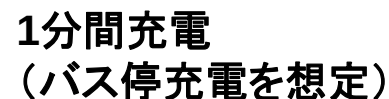
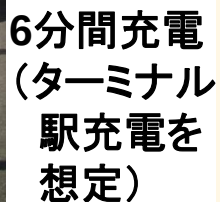
電池搭載量の最小限化による短航続距離の問題は安全で操作が容易な非接触充電により充電回数を増やすことで対処



平成17～20年度 NEDO補助金にて非接触給電IPS開発

	WEB-1	WEB-1 Adv.
主電池	ZEBRA電池 18.9kWh	Liイオン電池 11.7kWh
補助電池	キャパシタ 170Wh	—
推進電動機	水冷PM同期 50kW	→
非接触給電システム	海外製IPT 30kW	国産IPS 30kW
効率	86%	92%
2次側コイル重量	70kg	35kg
コイル間ギャップ	50mm	100mm





1周6km30分の奈良公園山道で使用する電力量を
充電ポイント2ヶ所の合計7分間で充電するだけで
1日走行可能



参考データ

	車両重量	電池容量
WEB-1Adv.	3,180kg	11.7kWh
iMiEV	1,080kg	16kWh



大エアギャップ化で地面完全埋込みを実現



従来型車両・IPS

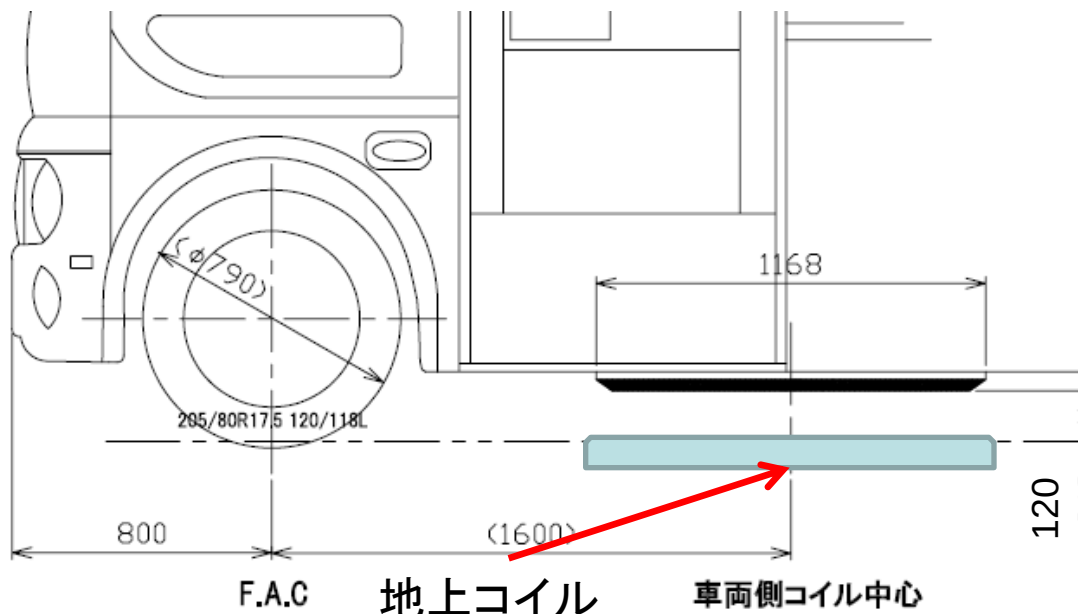


新型車両・IPS

設置前



設置後



G.L

バスのニーリング機能利用
だけで120mm離して給電

平成23年度環境省事業「チャレンジ25」



長野市街地循環バス「ぐるりん号」(運用 平成24年2月9日～平成26年3月31日)

WEB-3実証実験車両(長電バス)



電動バスの事業性検証

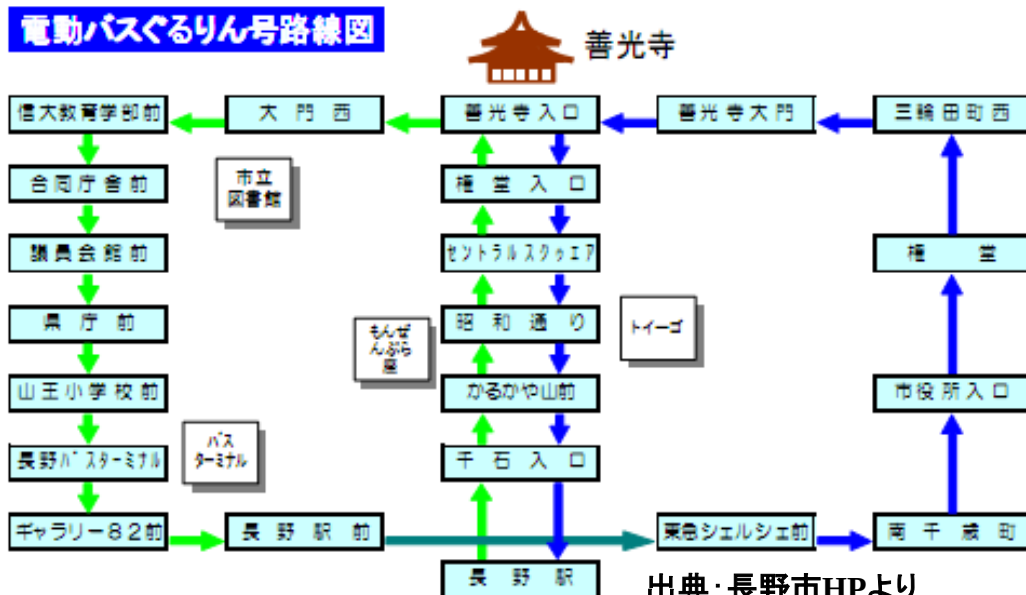
1. メンテナンス上の問題把握
2. 空調システム評価
3. 電池性能劣化の最小限化の検討
4. 充電システムの評価

- ・長期間運用でのメンテナンス上の課題
- ・複数台数による連続稼働の実証
- ・運用コストの把握

WEB-4実証実験車両(アルピコ交通)



電動バスぐるりん号路線図



非接触給電システムの開発動向①



パイオニア(CEATEC2011)



出力 : 3kW
ギャップ : 100mm
効率 : 85%
位置ズレ : 50mmでも
効率80%

特徴

- ・インバータをコイルに内蔵
- ・電源盤はコンバータのみ
- ・アイホンと協業し住宅内で充電モニタリング可能

日産リーフ(2011技術説明会)

出力 : 3k~6kW
ギャップ : 150mm
効率 : 80~90%
周波数 : 20~100kHz



パナソニック(CEATEC2011)

出力 : 3kW
効率 : 85%
ギャップ : 100mm
位置ズレ : 50mm程度は可



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
特徴

- ・標準装備
- ・地上コイル据え置き式
- ・自動駐車システム装備

非接触給電システムの開発動向②



UniServices (2009年@EVS24)



出力
2kW
ギャップ
220mm

Halolpt (2010年) / Qualcomm (2011年)



出力 3.5kW
ギャップ 400mm
を目標

(2012年@WTP2012)



Evatran『Plugless Power』 (2010年)



出力 : 3.6kW
ギャップ : 7~15cm
効率 : 現状80%
周波数 : かなり低いが商用周波数ではない

SEW-EURODRIVE (2011年)



出力 : 3kW
効率 : 90%

Audi (2011年) A2 Concept



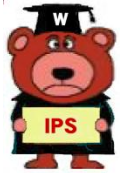
Audi Wireless Charging (AWC)
出力 : 3.6kW

写真: 各社HPより入手



- ◆ 非接触電力伝送技術の比較
- ◆ 電磁誘導式電力伝送システムの現状
- ◆ 現状の課題
- ◆ 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

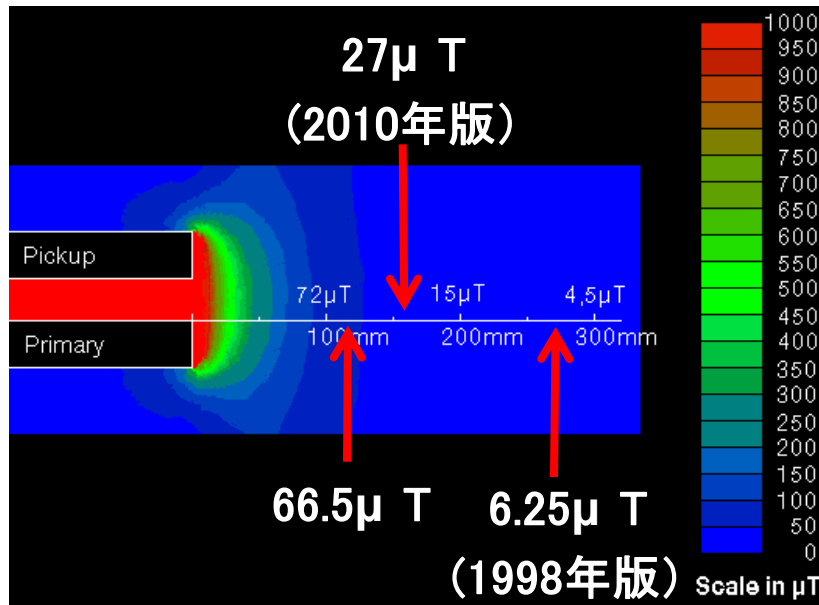
- 電波法第100条2項と電波法施行規則第45条3項の規定

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輻射の電界強度は、
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 = 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	88.7μ T	
20kHz	66.5μ T	

実際の電磁界計測結果(2008年ベース)

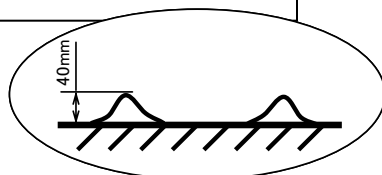
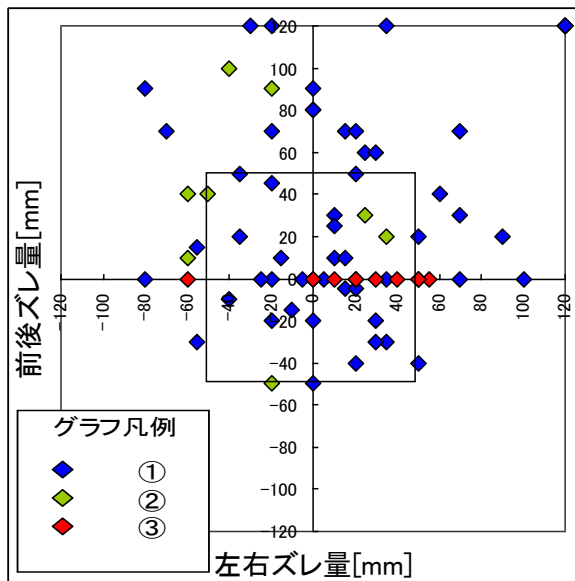
基準値(μ T)	バス車内	バス車外
防護指針／91.5	1.5	4.5
ICNIRP／6.25		
条件: 距離0.5m ギャップ80mm 位置ずれ60mmにて		

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^上側)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)



タイヤ位置決め用突起側面視

WEB-1@なら瑠璃絵
(H23-2-8~14公開)



目視の場合、100mm程度位置がずれる
可能性があり、その状態でも充電効率が
高いシステムの開発が必要

出典: 交通安全環境研究所公表資料



夜間でも前後方向の正着性については
確保できた

路上設置非接触充電の状況



第42回東京モーターショー(H23-12-3~11)



全体俯瞰



コイル配置前方から



コイル位置合せモニタ画面



バス停止状態



コイル格納状態



コイル昇降スイッチ

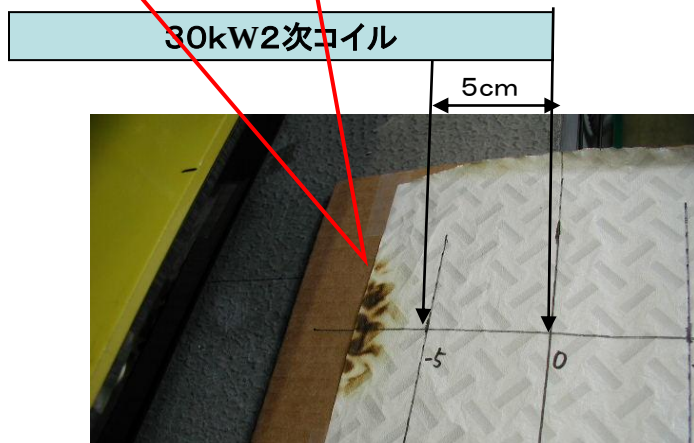
異物の侵入への対応



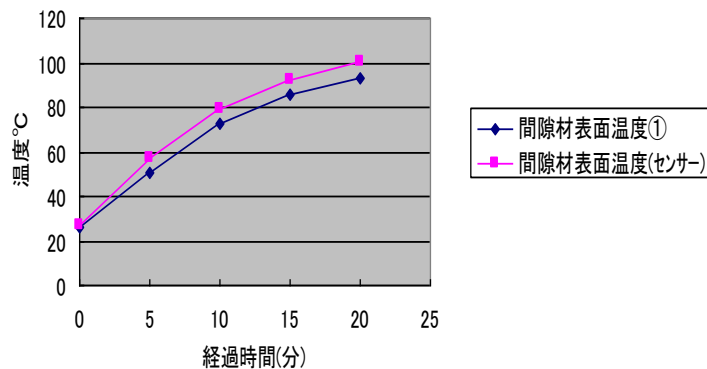
侵入異物の誘導加熱

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

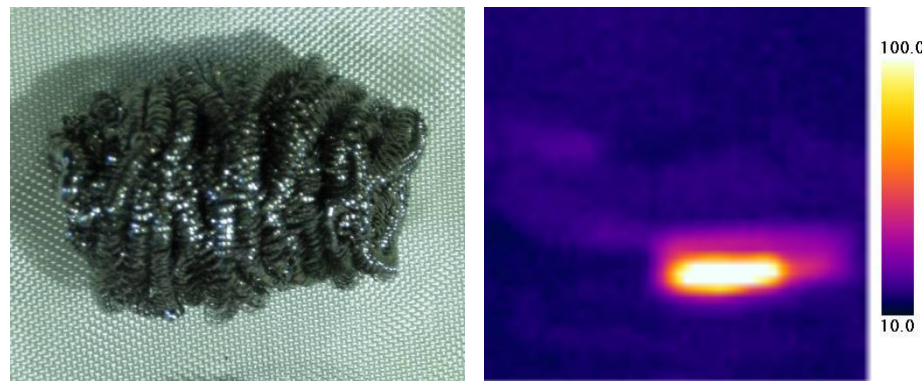
アルミ箔の場合、写真のように、アルミ箔に張られている紙が焦げるほど高温になる



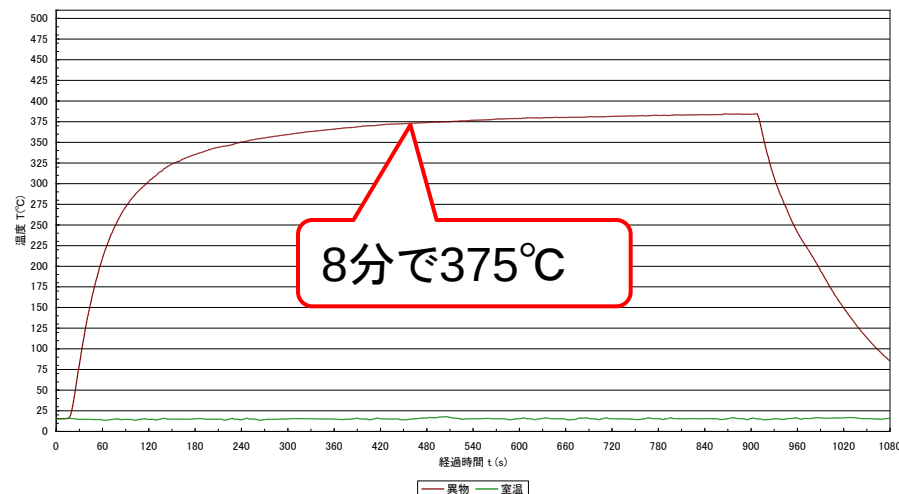
アルミ片(239×40 厚さ5mm)



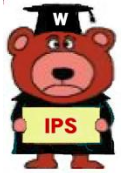
異物検知システムの検討が必要



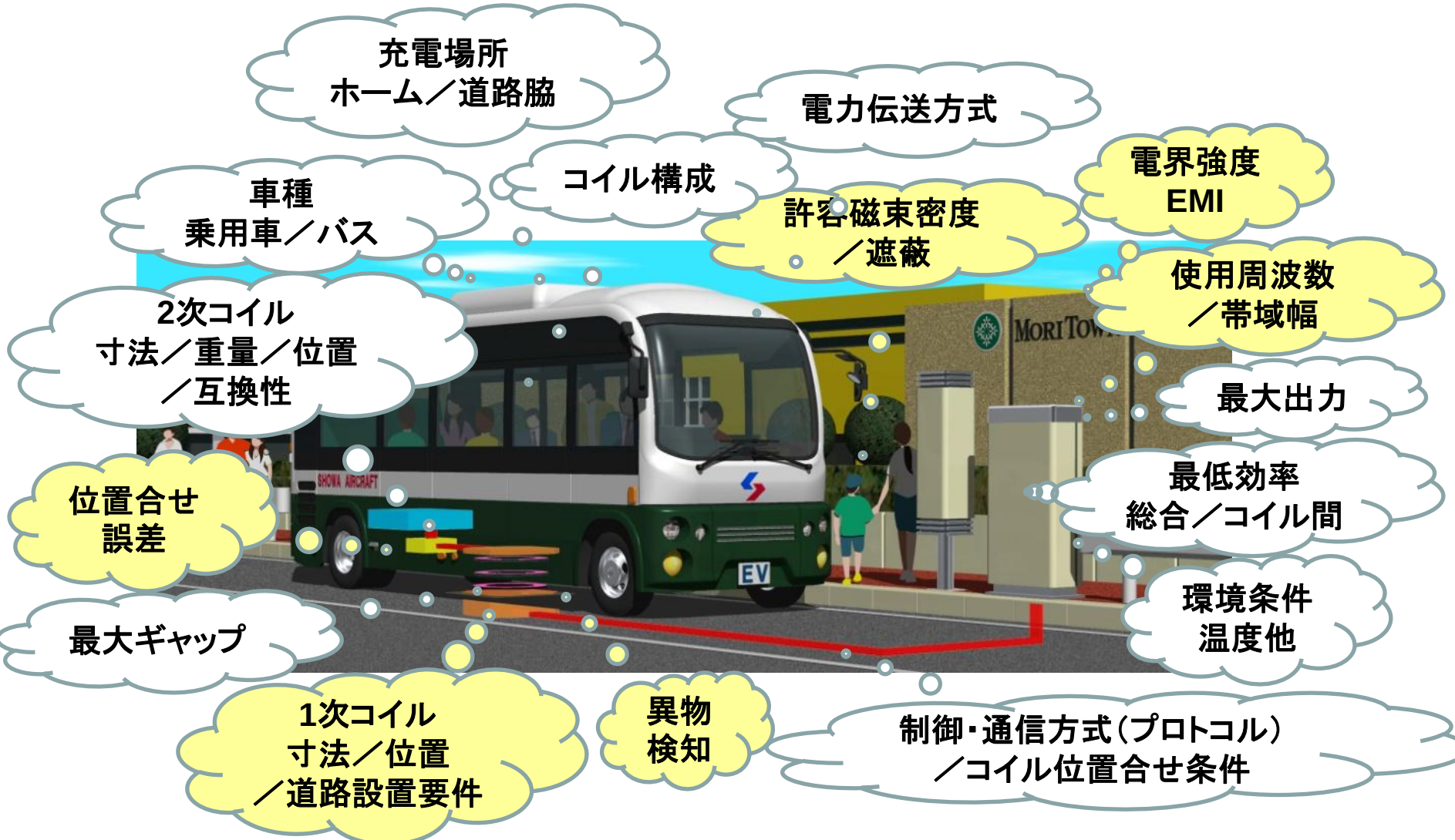
ステンレスたわし



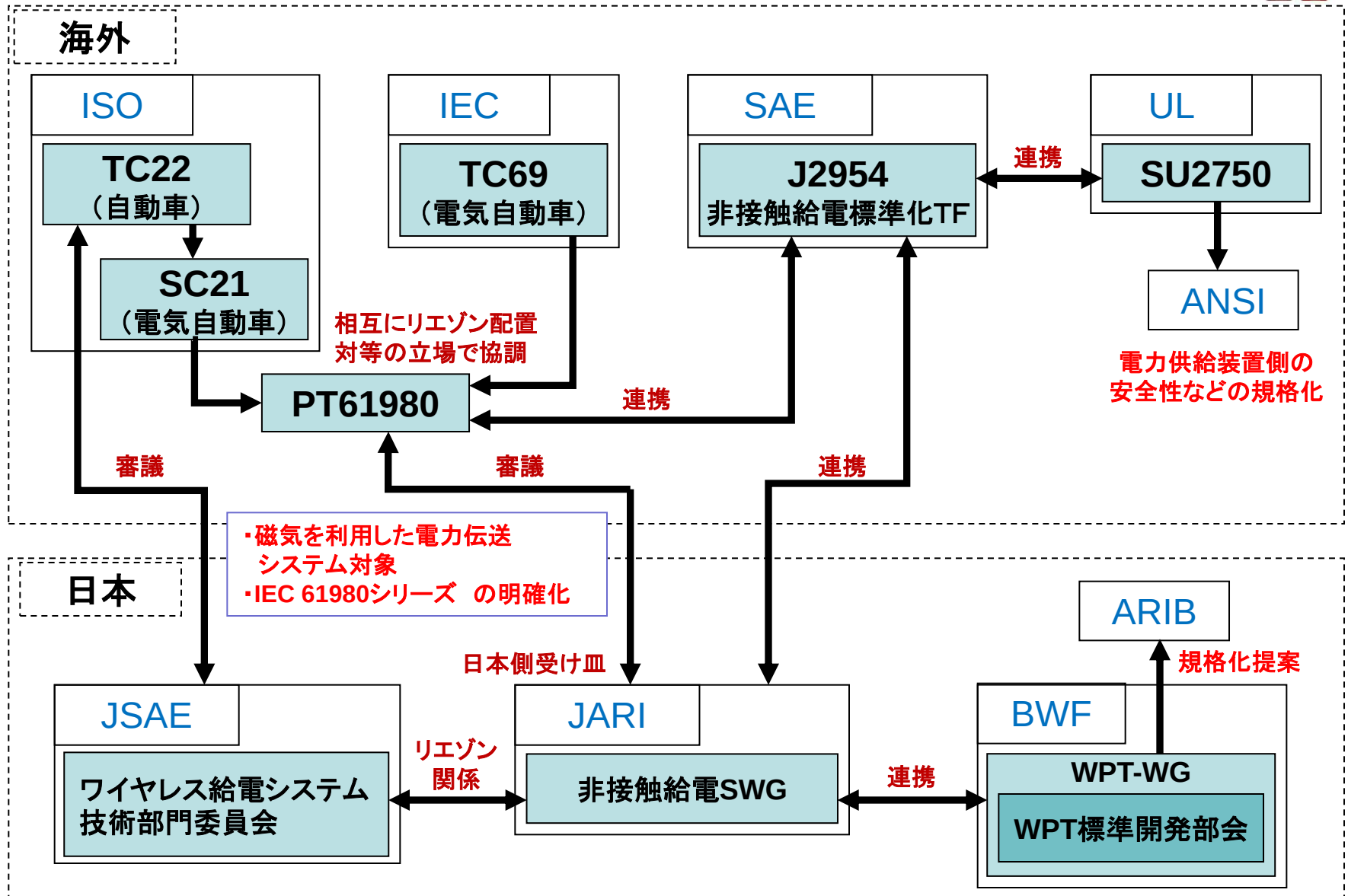
標準化が必要な項目



最低でもEVにおいては下記の項目で標準仕様の統一が必要



標準化動向マップ(EV関連)





- ◆ 非接触電力伝送技術の概要
- ◆ 電磁誘導式電力伝送システムの現状
- ◆ 現状の課題
- ◆ 今後の方向性～走行中給電～

航続距離と充電問題に挑戦するEV



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

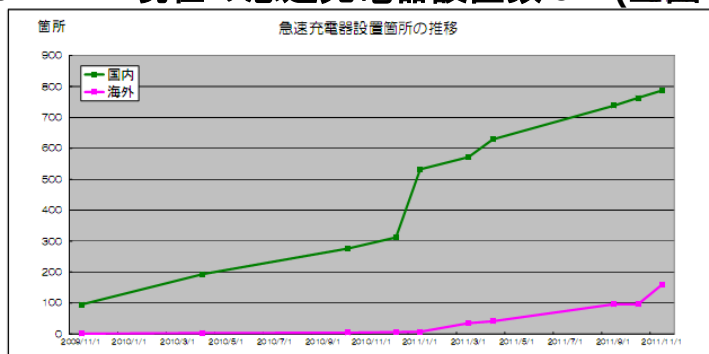
2. 搭載電池の増大

電池容量	iMiEV 16kWh	→	LEAF 24kWh	→	EV Himiko 62kWh
走行距離	180km(JC08モード)		200km(同左)		587km(55km/h定速)
充電時間	20分		29分		75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

2011.11.1現在の急速充電器設置数 947(全国787 海外160)



高速道路サービスエリアでの充電渋滞の状況



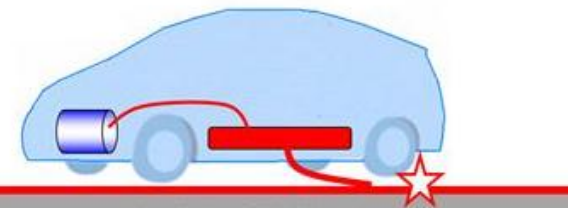
電気自動車の「電車」化

走行中給電

現在の技術で可能

下向きのパンタグラフ
を取り付ける

電車のパンタグラフのようなアイデアもあるが、接触式故の多くの課題がある

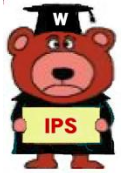


道路に電線を敷設

村沢義久氏作成

非接触式走行中自動充電システム

国内外の走行中給電



KAISTのオンライン電気バス

最低地上高
17cm
電力伝送効率
72%

Power line

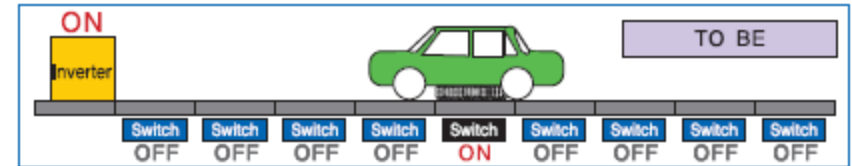
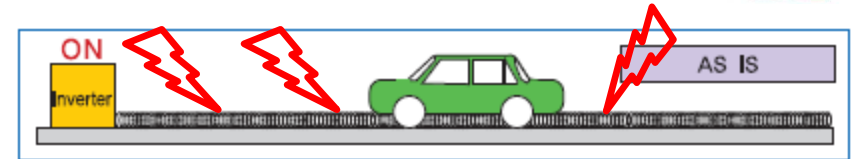
Battery

電池を1/5容量に縮小

Pick-up device

High-efficiency pickup on the bottom of the vehicle

バス前部で5 μ T以内
Power line上では??



Safety secured from electric-magnetic waves Power efficiency improved

高周波電源ラインのスイッチング化により
電力と電磁放射の軽減を計画

国土交通省超伝導リニア用誘導集電方式

2011年9月、実験線1km区間に設置し、0～505km/hの間で一定出力を確認

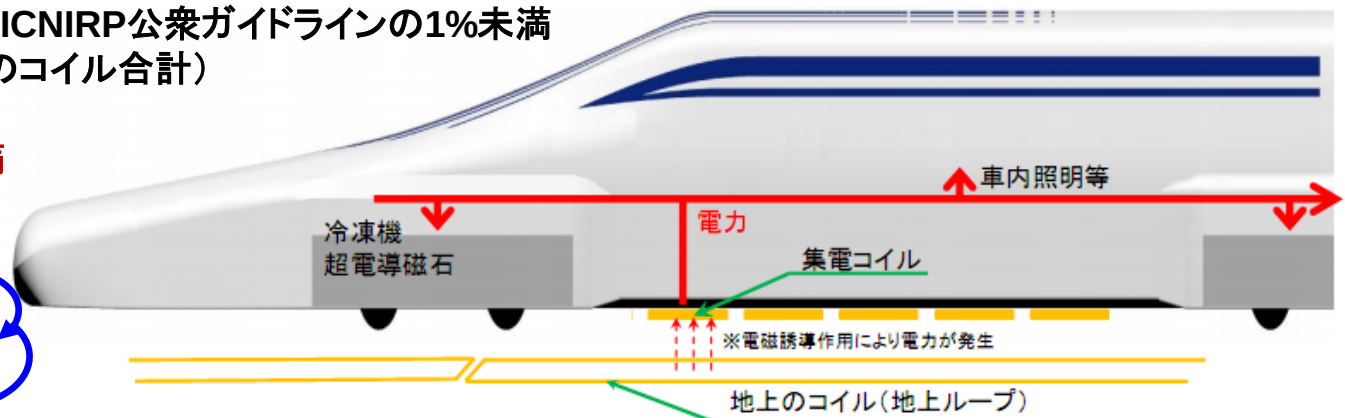
車内外の磁界実測値はICNIRP公衆ガイドラインの1%未満

出力 : 1MW(5つのコイル合計)

ギャップ : 10cm

周波数 : 10kHz未満

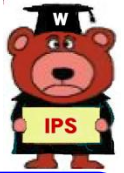
電波防護指針の
対象から逃れる
ため



出典: <http://eews.kaist.ac.kr/test/MHOLEV/D.%20OLEV%20Brochure.pdf>

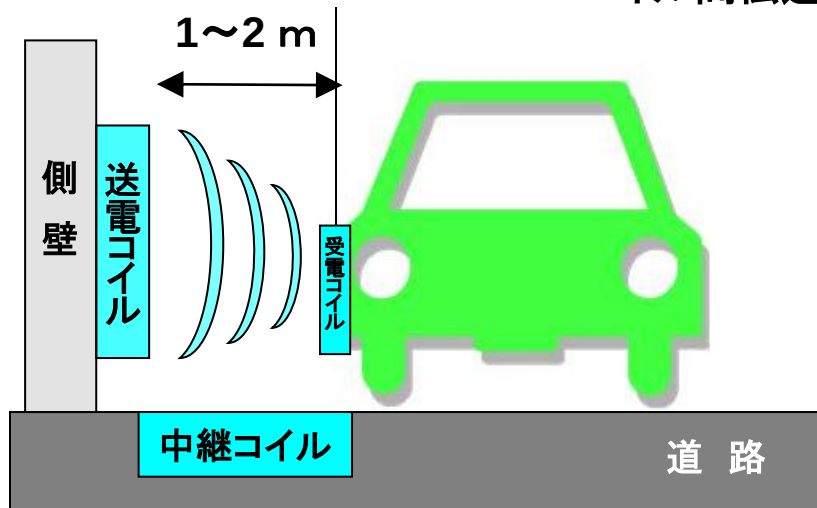
出典: 第19回「超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会」の開催結果

走行中非接触給電システムの開発

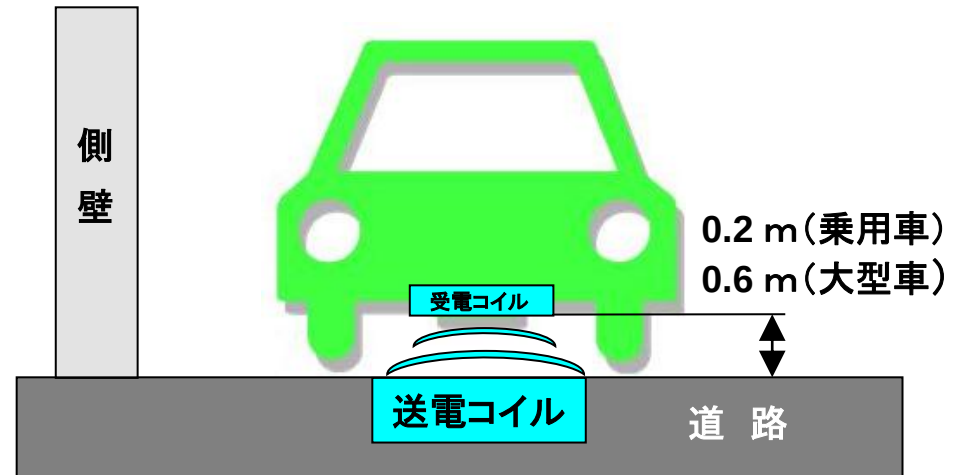


平成21年度 NEDO省エネルギー革新技术開発事業 挑戦研究(事前研究)にて開発
平成22～24年度 NEDO省エネルギー革新技术開発事業 挑戦研究にて開発中

➤ コイル間伝送効率：80% 以上 ($\kappa = 0.05$)



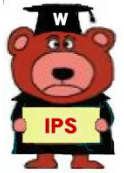
壁面給電



路面給電

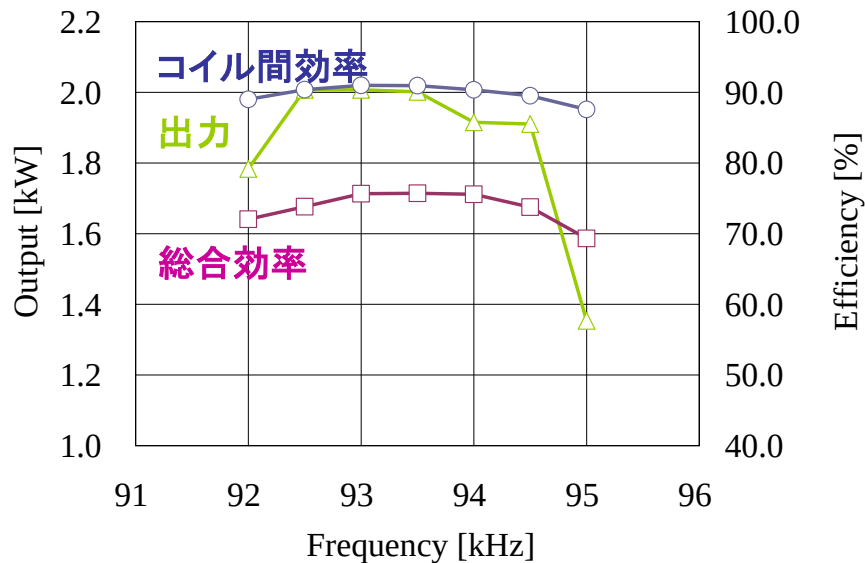
給電面	コイルギャップ	コイル長さ	メリット	デメリット
壁面	1m～2m	比較的短い	設置性が良い 大型車両向け	距離変化が大きい ⇒車両に自動調整機能が必要
路面	0.2m:乗用車 0.6m:大型車	比較的長い	距離変化が小さい 乗用車両向け	道路要件を満たすコイルが必要 路面メンテナンス性が課題 軌道逸脱で充電不可 ⇒自動運転の必要性

電力伝送試験結果



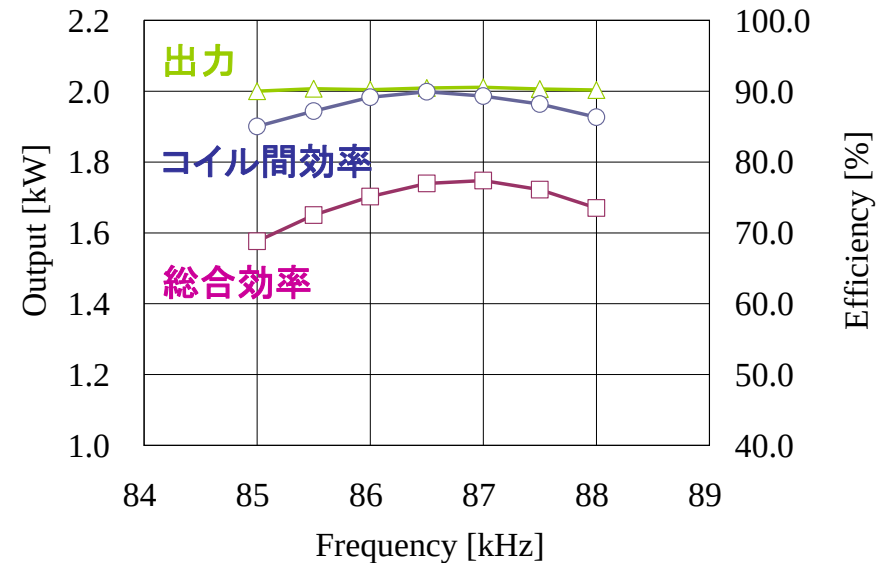
側面給電方式

- 出力 2kW
- 総合効率 76% (Gap1100mm)
- 中継コイル有り

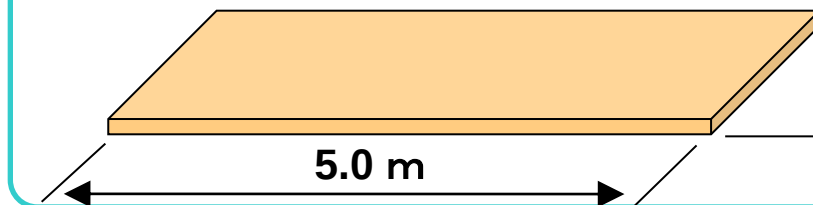


路面給電方式

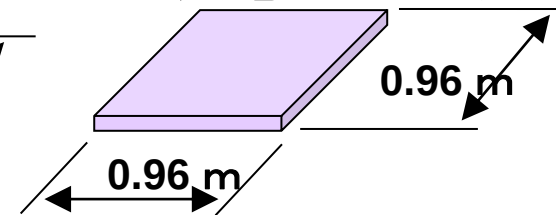
- 出力 2kW
- 総合効率 77% (Gap450mm)



送電コイル／中継コイル寸法



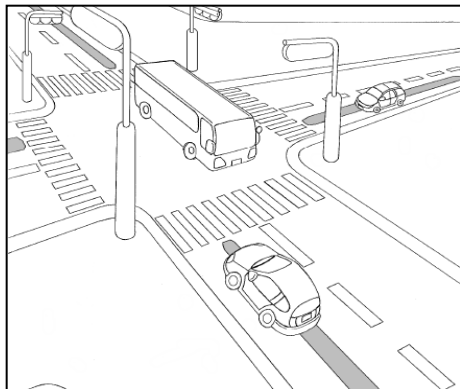
受電コイル寸法



両方式を研究しているが、大ギャップにすると電磁放射が厳しく、現状では路面給電の方が有利

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			登坂路など 特定区間	東名高速道路 (往復)
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	交差点付近 			登坂路 	高速道路走行車線 



ご清聴を感謝いたします

早稲田大学環境総合研究センター
高橋俊輔 stak@kurenai.waseda.jp