

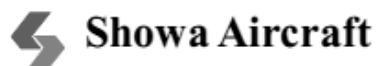
日本における公共交通のための ワイヤレス給電実証評価

昭和飛行機工業株式会社
IPS・EV事業室
高橋 俊輔

2013年5月22日

自動車技術会2013年春季大会フォーラム

ワイヤレス給電;EV・PHEV用標準化と実証実験の最新動向
パシフィコ横浜



1

目 次



1.公共交通における電動化

- 2. 電動バスへのワイヤレス給電の採用
- 3. 海外の電動バスの状況
- 4. 日本の電動バスの状況と課題
- 5. 今後の方向性(走行中給電)

2

対象とする公共交通機関



公共交通機関

◇鉄道・軌道

- ・鉄道、地下鉄、軽便鉄道
- ・モノレール、路面電車、LRT、新交通システム
- ・トロリーバス、ロープウェイ、ケーブルカー

◇自動車

- ・乗合バス 設定された経路を定期的に運行
- ・路線バス
- ・コミュニティバス
- ・都市間高速バス 高速道路を主体に走行する長距離路線バス
- ・定期観光バス バス事業者が設定したコースを巡る(例 はとバス)
- ・タクシー 経路は設定されず不定期運行
- ・法人タクシー 1日の走行距離上限 365km(高速道路不含)
- ・個人タクシー 1日の走行距離上限 180km、2日間で360km(同上)

◇船舶

- ・フェリー
- ・離島や対岸への渡し船

◇飛行機

- ・国内便、国際便 充電中の船@アムステルダム



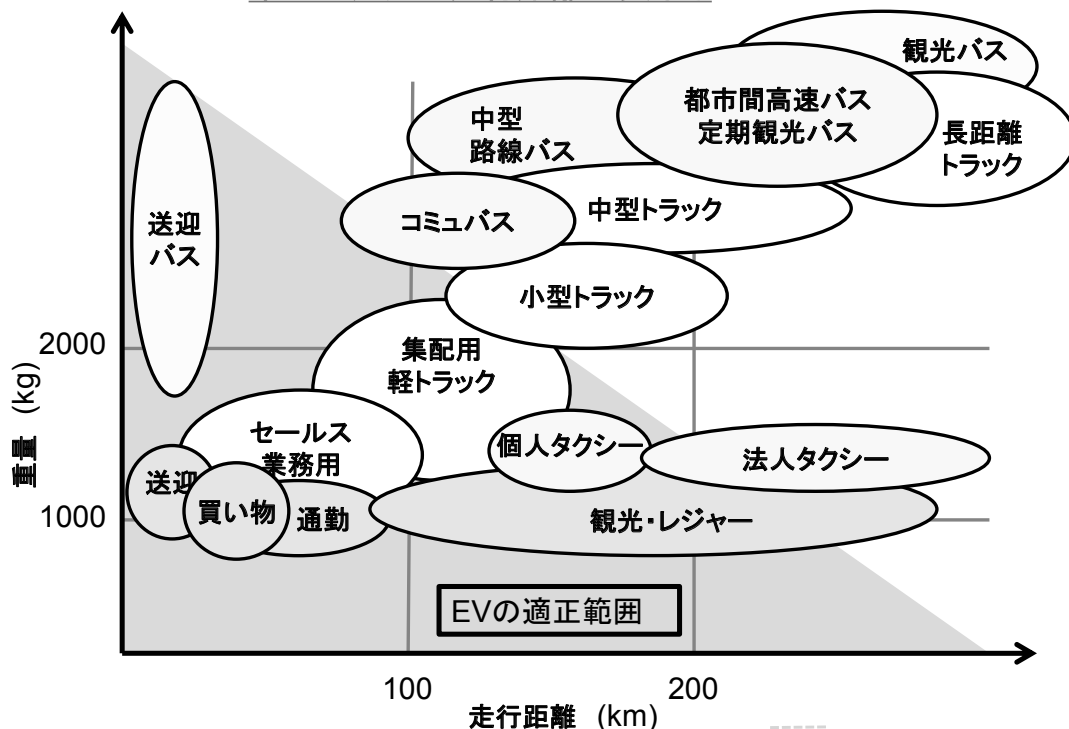
出典: http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07000678/eu_smartgrid_senryaku.pdf

3

EVの適正イメージ



車重や用途で走行距離が異なる



4

なかなか増えないEVタクシー

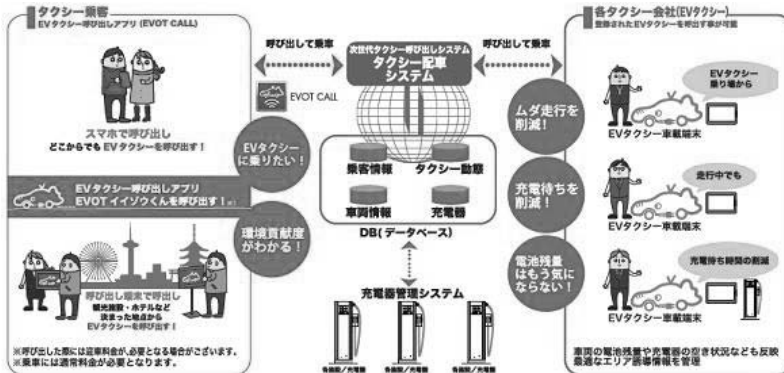


EVタクシーの問題点

- ・航続距離に制約があり、LPG車と同等の流し走行が困難
EVタクシー専用発着所
電話呼び出し(運転手の収入減)
近距離用(運転手の収入減)
- ・充電や充電待ちに要する時間のロス
急速充電器設置場所が都心に偏る
充電渋滞
- ・電池交換式
車種が限定される
ステーション設置費用が大きい
- ・価格が高い
個人タクシーには厳しい



充電中のEVタクシー



電池交換式EV

出典: http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1201/26/news023_2.html および 大阪府

5

続々登場する電気バス



羽村市の「はむらん」



墨田区の「すみりんちゃん」



小松市EVバス



七戸町電気バス



サントリー白州工場見学者送迎バス



宮古市電気バス



秋田市「ELEMOMO-AKITA」



三菱重工業の電気バス



慶応大学の8輪電気バス

出典: 各HPより

6

1. 公共交通における電動化

2. 電動バスへのワイヤレス給電の採用

3. 海外の電動バスの状況

4. 日本の電動バスの状況と課題

5. 今後の方向性(走行中給電)

7

製品化されたバス用ワイヤレス給電システム



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(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

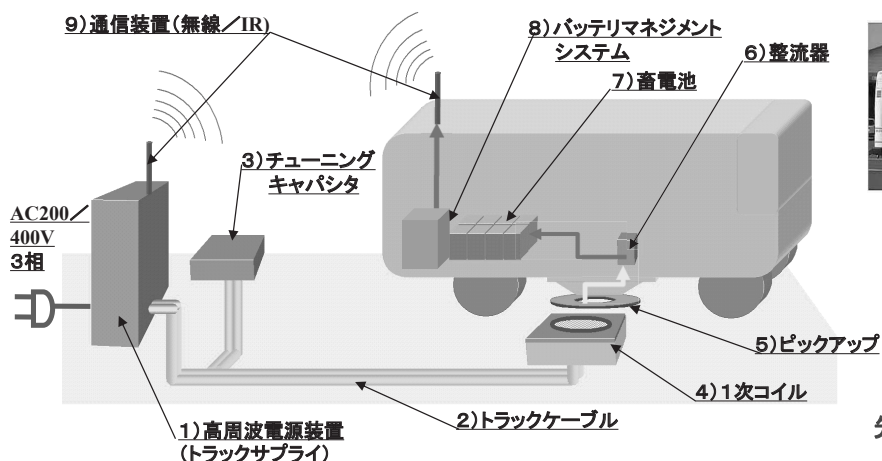


出典: Wampfler社のカタログより



トリノ電動バス

- ・2002年以来
- ・20台
- ・60kW



IPTバス; 日野自動車



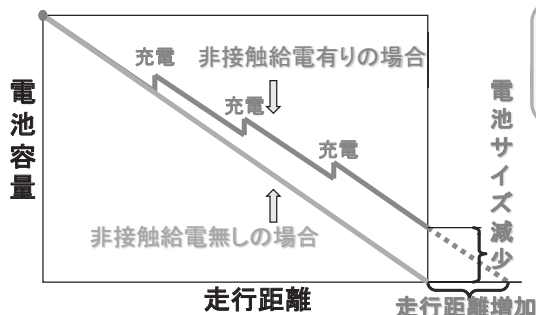
先進電動バス; 早稲田大学

8

電動バスWEB-1とワイヤレス給電システム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

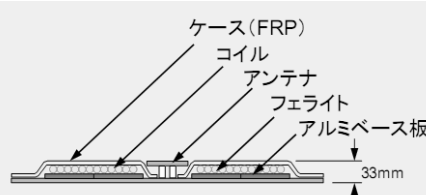


電池搭載量の最小限化による短航続距離の問題は安全で操作が容易な非接触充電により充電回数を増やすことで対処



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



開発したIPSの断面図

9

目次



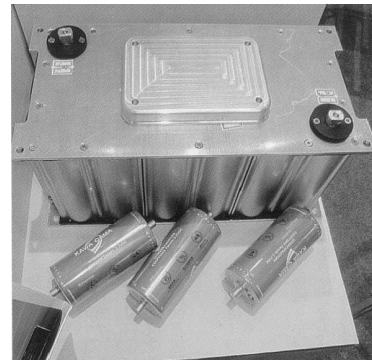
1. 交通における電動化
2. 電動バスへのワイヤレス給電の採用
3. 海外の電動バスの状況
4. 日本の電動バスの状況と課題
5. 今後の方向性(走行中給電)

電動バスへの接触式給電の取り組み



2010年、上海万国博覧会でのキャパシタバス「創新号」

- ・運転区間 : 第11路線の10停留所(5.25kmの環状線)
- ・走行距離 : 120km/日
- ・キャパシタセル数 : 360個(定格電圧1.65V、静電容量80.000F)
 - エネルギー密度 10Wh/kg
 - 出力密度 1,500Wh/kg
- ・キャパシタへの充電
 - 停留所で乗降中にパンタグラフを上げて30~90秒間で充電
- ・1充電走行距離 : 3.5~8km
- ・フル充電所要時間 : 3~5分
- ・最高時速 : 44km/h
- ・電圧 : DC600V
- ・電源 : AC10kV、200kA



使用キャパシタ

キャパシタは電動バスで走行用に使うのは問題ないレベル



11

米ユタ州立大EVバス実証事業



ユタ州立大学のAggie Bus (2012年11月15日発表)

2013年中にユタ州立大キャンパスで商用運用を計画
ワイヤレス給電システム仕様

- ・出力 25kW(運用時には50kW)
- ・総合効率 90%以上
- ・エアギャップ 250mm
- ・最大許容位置ずれ 150mm

バス仕様

- ・長さ 12m

プロジェクト費用 2.7百万ドル



ローガンにあるユタ州立大学
ガレージ内でのワイヤレス充
電ステーションと充電中の
Aggie Bus



出典:Herald Journal

12

独マンハイム市EVバス実証事業



マンハイムのBombardier MITRAC e-bus(2013年2月18日発表)



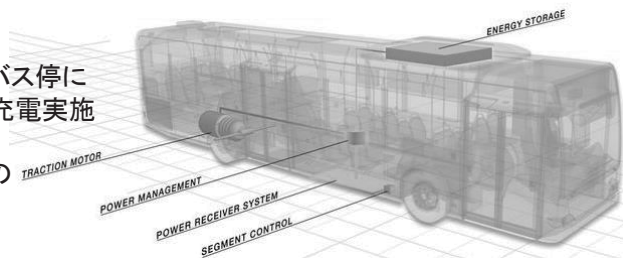
ドイツのライン・ネッカー交通(RNV)は、BombardierのPRIMOVE技術を使った電気バスをドイツのマンハイムの市街交通機関として運用することを発表。早ければ2014年の第2四半期より導入。



電気バスは都心のルート63に沿って通常のバス停に設置して乗客が乗り降りする間にワイヤレス充電実施

最初の12ヶ月の試運転期間で、12m～18mの2台の電動バスがテストされる予定

- ・出力190kW
- ・充電時間
SOC100%まで2分30秒
SOC94%まで15秒
- ・坂道ではコイルを並べて準走行給電



出典:<http://www.greencarcongress.com/smart-charging/>
<http://www.ecoeffect.org/media-library/latest-news/?id=6080&page=0>

13

目次



1. 公共交通における電動化

2. 電動バスへのワイヤレス給電の採用

3. 海外の電動バスの状況

4. 日本の電動バスの状況と課題

5. 今後の方向性(走行中給電)



WEBを使っての社会実験

電動バス・IPS開発の年度別概要



	2002年 (H14)	2003年 (H15)	2004年 (H16)	2005年 (H17)	2006年 (H18)	2007年 (H19)	2008年 (H20)	2009年 (H21)	2010年 (H22)	2011年 (H23)	2012年 (H24)
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	「先進電動バス交通システムモデル事業」NEDO-モデル事業	「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 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県 「側面給電」国交省	「チャレンジ25地域づくり事業」環境省		
研究開発											
公道実証試験	WEB-0★ @本庄市 (WEB-1&2, 第1～2期)	WEB-1★ @三鷹市 (WEB-2, 第1～3期)	WEB-2★ @三鷹市 (WEB-2, 第1～3期)	IPS (30kW)★ @昭島 (WEB-1) @奈良市 (WEB-1) @ニューカリが丘 (WEB-1&2)	IPS (10/60/150kW)★ @堺市 (WEB-2) @新宿区 (WEB-2) @大阪中之島 (WEB-2)	WEB-2★ @守山市 (WEB-2)	WEB-3★ @長野市 (WEB-3/4) @熊谷市 (WEB-3) @奈良遷都1300年 (WEB-2)	WEB-4★ @奈良瑠璃絵 (WEB-1Adv.) @奈良 (WEB-1Adv.)			

ワイヤレス充電とワイヤード充電の比較



平成20年度奈良公園交通社会実験

電気バス（WEB-1）+IPS：早大

+

電気バス（三菱ローザ）+接触式充電器：北陸電力

平成20年11月8日～11月10日実施



奈良県電気バス走行ルート

奈良市電気バス走行ルート



17

平成20年度奈良公園社会実験での充電状況



非接触充電での充電準備で1次コイルに接近



非接触充電での充電状況



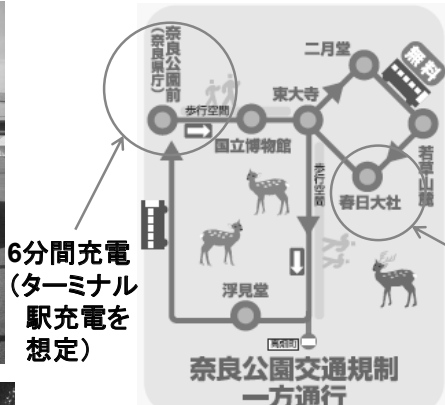
接触充電での充電準備でケーブル接続



接触充電での充電状況



18



A small, dark-colored bus with 'ちゅうとろ' (Chūtoro) written on the front, parked on a road. The bus has a white sign on the side that says 'ちゅうとろ' and a white sign on the front that says 'ちゅうとろ'. The bus is parked on a road with trees in the background.

最少電池搭載／高頻度充電／長走行距離の実現

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

19

ローソン

商業施設(予定)
1階:大型スーパー
2000㎡(4階建予定)
2階:カラオケホール
2階下:駐車場(予定)

中学校(現)

商店(予定)

駅前広場

バイオハウス
バイオウイングエントランス

近岡神社や八社大神が
あるがその御利益の
見守り、警護とした建
物が生じる鎮守の森。

BIO WING
バイオウイング ユーカリが丘

真やかな風に包まれ、ゆけ
やがて広がる風景を一望
できるパノラマデッキ。

山万ユウカリが丘

緑が青々緑々とどよ
さまざまだる生き物たち
も観察できる田んぼ。

ゾーンパにはなる太
陽光を浴びて地下へ水蒸
み上げる地味な小噴。

宮の社公園

マイナスイオンや1/1
ゆらぎで癒してくれる
せせらぎ。

元気に泳いべりたり。
のんびりひなたばつ
こを楽しんでも
芝生広場。



20

ユーカリが丘市内実証試験の状況



中学校駅でIPSに向かうWEB-1



中学校駅でプラグ充電中のWEB-2



住宅地内バス停でのWEB-2



住宅地内の走行状況

21

大エアギャップ化でコイルの地面完全埋込み



従来型車両・IPS

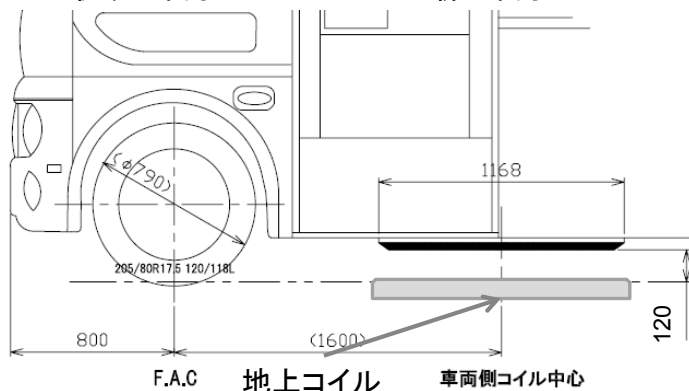
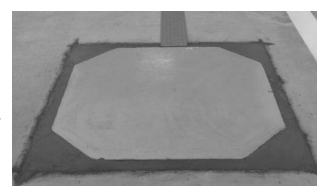


新型車両・IPS

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

22

実運用実証実験①



長野市街地循環バス「ぐるりん号」(運用 平成23年11月20日～平成26年3月31日)

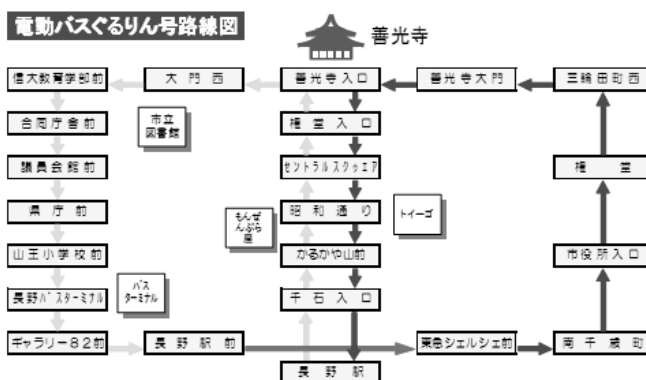
WEB-3実証実験車両(長電バス)



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)



出典: 路線図は長野市HPより

23

実運用実証実験②

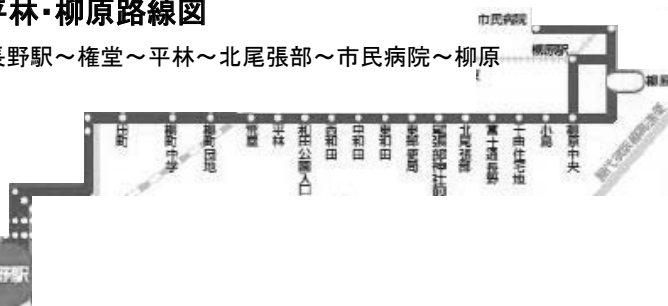


長電バス「平林・柳原線」(運用 平成24年12月1日～平成26年3月31日)



平林・柳原路線図

長野駅～権堂～平林～北尾張部～市民病院～柳原



市内走行中のWEB-3(長電バス)



充電中のWEB-3



充電電源盤とWEB-3



長電バス営業所の充電設備

出典: 路線図は長電バスHPより

24



道路上設置への課題

道路法の課題への対応



1. 法的規制

道路に施設を設置して継続して道路を占有することは、道路法第32条に規定（国交省）
また道路の使用許可は道路交通法第77条に規定されている（総務省）

2. 許可申請

道路上設置には所轄警察署と道路管理者の許可を受ける必要がある

★道路上設置のための各種道路要件規定
が無く、法的整備が待たれる

耐荷重性
スリップ性
メンテナンス性 等々

海外実施例でも

・バスベイ
・専用道路

の状況である

バスの下にコイルが地中設置されている



30kWタイプ



設置後



50kWタイプ



地上面と面一になるように地中にコイルを埋め込む

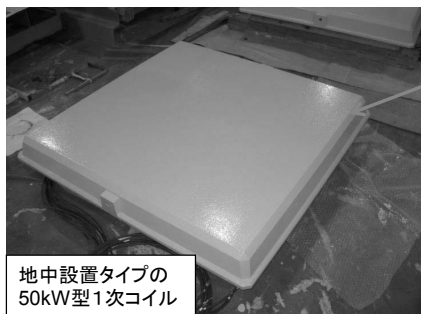
H21年度東京都庁での地中設置型ワイヤレス充電



ハイブリッドバス(IPSバス)用50kW地中埋設型コイル@東京都庁(H22-3-26公開)

初めてコイルを地中に埋め込んでの実証実験

地上面と面一になるように地中にコイルを埋め込む



地中設置タイプの
50kW型1次コイル

車両側
コイル

地中
コイル



運用中の様子



踏みつけの様子

27

H22年度都バスへの地中設置型ワイヤレス充電



IPSバス用50kW地中埋設型コイル@H22年度国交省PJ(H22-1-31~2-10)

初めてコイルを通常道路に埋め込んでの実証



東京駅丸の内
南口1番バス停
の設置状況

高周波電源盤

地上側コイル

工事用覆工板
裏側にキャパシ
タボックス設置



2次コイルを降ろした状況

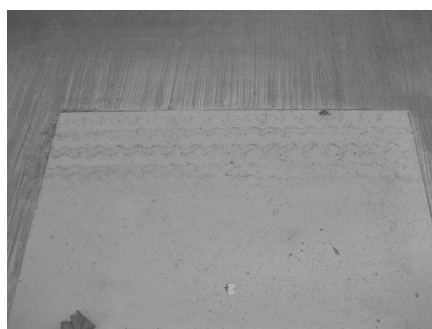


晴海埠頭 バス
待機場への
設置状況

高周波電源盤

地上側コイル

キャパシタボッ
クス設置用マン
ホール



踏みつけの様子

28



正着性への課題

正着性への対応



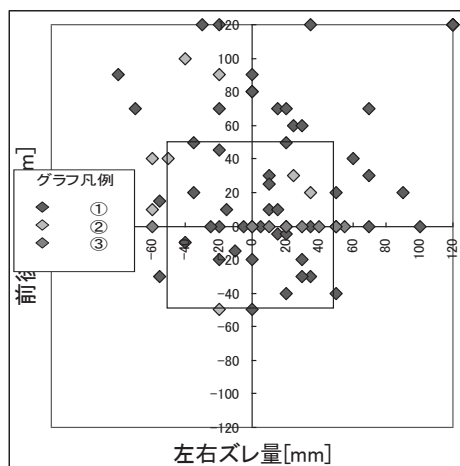
WEB-1@なら瑠璃絵(H23-2-8~14公開)

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)



タイヤ位置決め用突起側面視



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



ハンプの設置



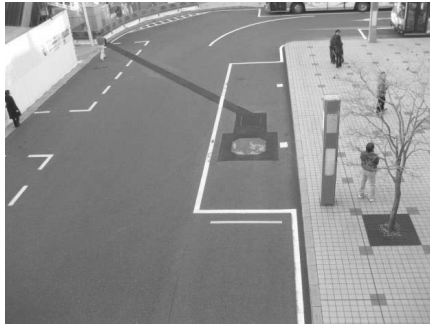
ハンプでの停止状況

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

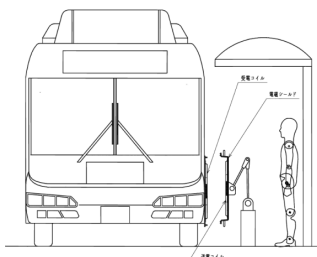
31

H22年度都バスへの側面給電型ワイヤレス充電

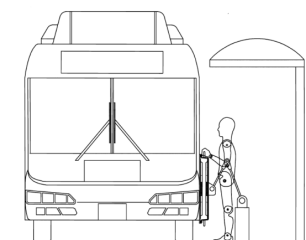


側面給電型非接触充電 @H22年度国交省PJ (都バス深川営業所)

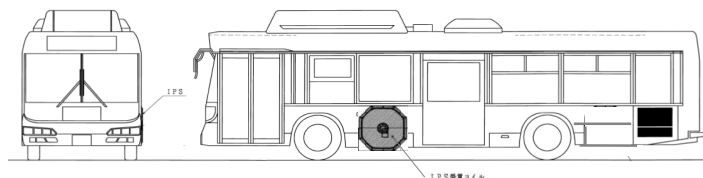
収納状態



受電状態



日野ブルーリボンシティIPS搭載バス概略図



2次側コイル

1次側コイル

バランスシステム

- ・位置合わせが容易で小型にできる
- ・耐荷重や異物の加熱対策が不要
- ・電磁波の遮蔽が容易
- ・コネクション操作が必要
- ・大型のシステムになる



利便性が損なわれる

32

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 = $\sqrt{\frac{P}{500}}$ 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	88.7μ T
20kHz	66.5μ T

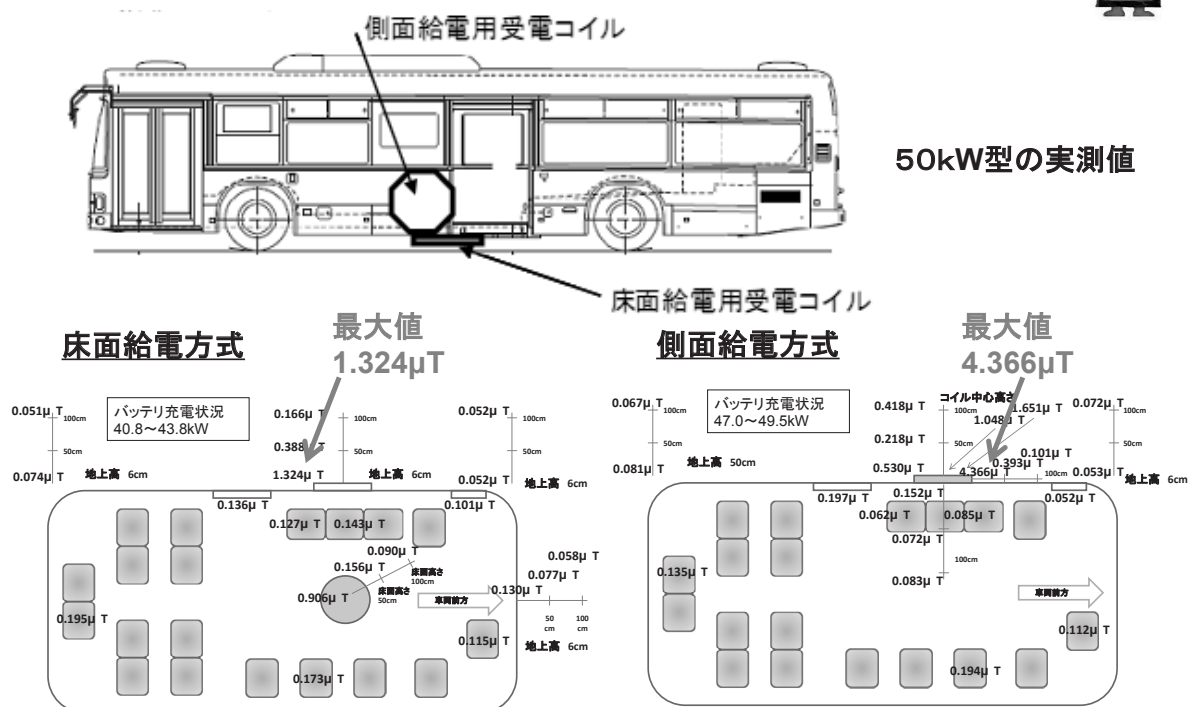
実際の電磁界計測結果(2008年ベース)

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

35

電動バスでの漏洩磁界測定結果例



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。

36



異物の侵入への課題

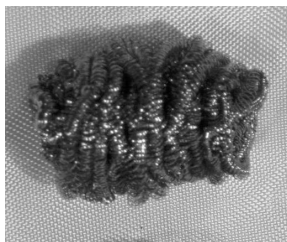
異物の侵入への対応



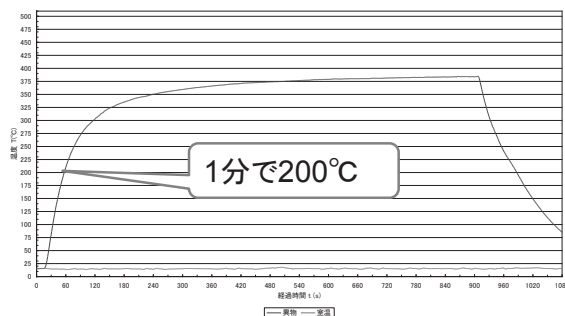
侵入異物の誘導加熱

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

異物検知システム(FOD)の検討が必要



ステンレスたわし



パイオニア (CEATEC2012)

金属製の空き缶を送電モジュールの上に置いたり、手を近づけると警告を示す赤色のランプが点灯し、送電停止する
ドアホンやホームセキュリティと連動させ、防犯用センサーとしても流用することを想定・・・猫が通るたびにアラーム？





標準化への課題

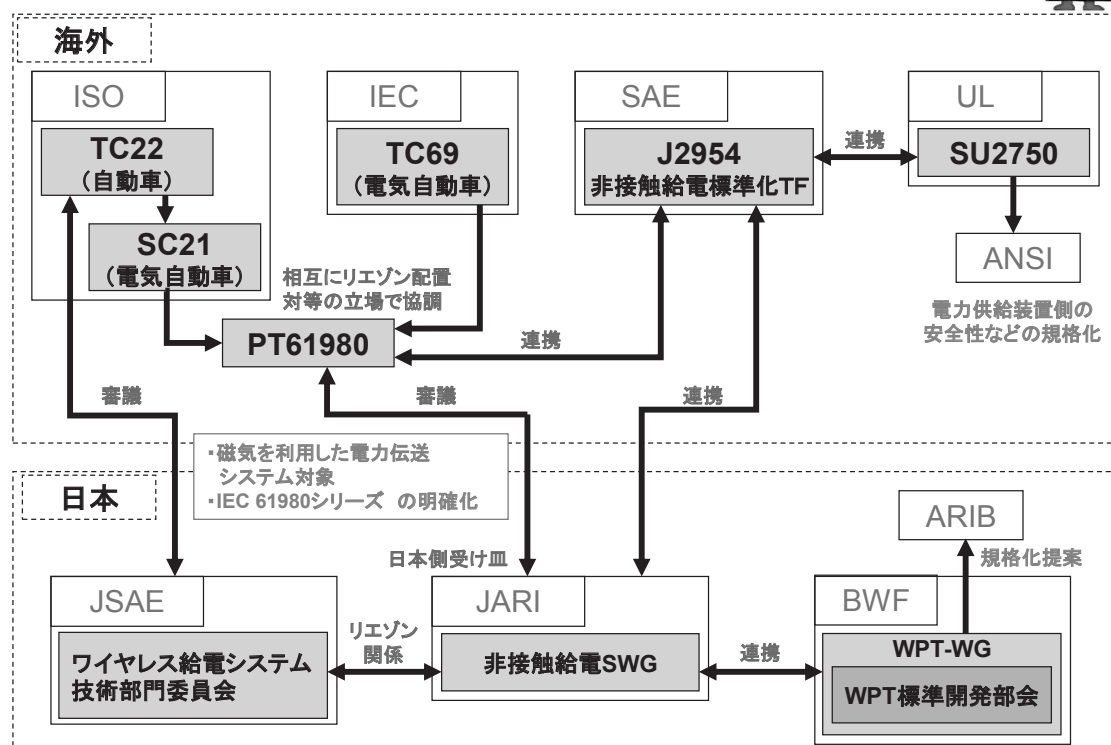
標準化が必要な項目



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)



乗用車用が主でバス用の大型ワイヤレス給電システムは取り上げられていない

41

目次



1. 公共交通における電動化
2. 電動バスへのワイヤレス給電の採用
3. 海外の電動バスの状況
4. 日本の電動バスの状況と課題
5. 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

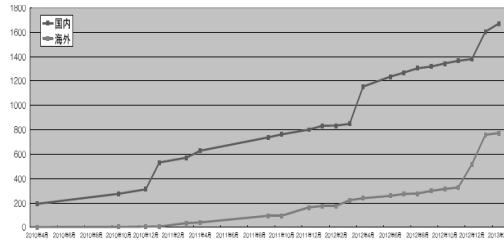
2. 搭載電池の増大

電池容量	iMiEV 16kWh	→	LEAF 24kWh	→	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

2013.2.28現在の急速充電器設置数 2445(全国1672 海外773)



高速道路サービスエリアでの充電渋滞の状況



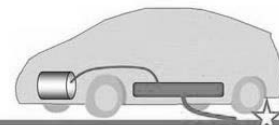
↓
電気自動車の「電車」化

走行中給電 現在の技術で可能

↓
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



下向きパンタグラフを取り付ける



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

出典: <http://www.chademo.com/jp/pdf/qckasyosui2.pdf>

43

バス用走行中給電のはじめ



PATH(Partners for Advanced Transit and Highways)プロジェクト

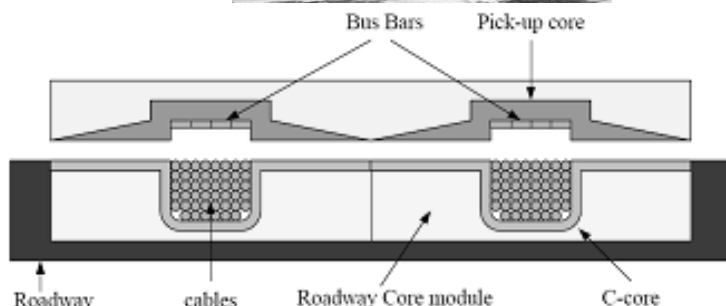
・1982年 Santa Barbara Project

アメリカで行われたEV用の非接触式充電システムとして最初のもの
道路に埋めたケーブルからの高周波電磁誘導で走行中の車両に充電するシステム

ピックアップ 幅 1m、長さ 4.3m

重量 750kg

エアギャップ 7.5cm



・実験は成功したものの漏れ磁束が大きく実用には至らなかった

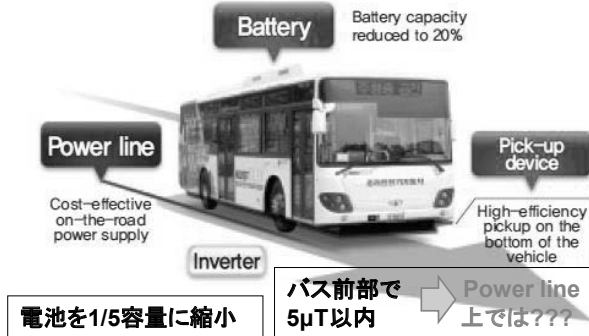
出典: PATH資料

44

KAISTの走行中給電

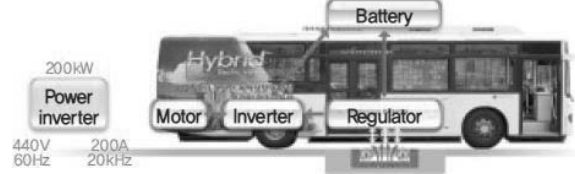


オンライン電気バス基本概念図



電池を1/5容量に縮小

17センチの最低地上高を達成、電力伝送効率も72%まで向上

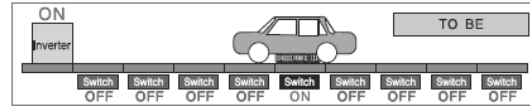
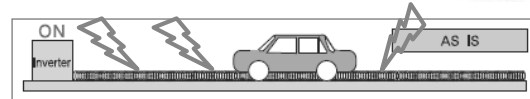


運行予定

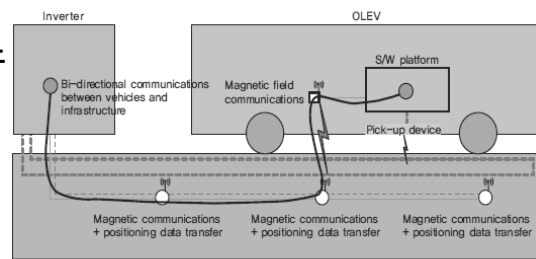
2009年11月 ソウル公園でデモ走行

2011年 ソウルのバス専用車路にこのバスを導入予定
そのほか米国ボストンのローガン空港、ユタ州のリゾート地「パークシティ」に設置計画中

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



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

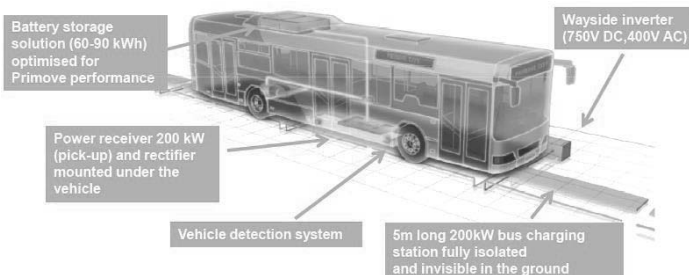
電力と電磁放射の軽減を計画

45

BOMBARDIER／VAHLEの走行給電システム



Flanders' DRIVE research project ベルギーロンメル市(2012年9月～10月)



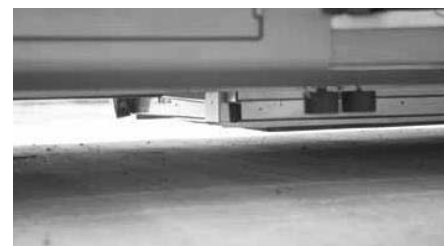
ワイヤレス給電方式によるトラムオペレーションシステム

「PRIMOVE technology」を発表(2009年1月22日)

- ・電磁誘導式ワイヤレス給電システム
 - ・PRIMOVE技術
 - 地上のコイルは編成長より短い区間に区切られ車両が上に来た時にだけ電流を流し電磁波の影響を最小限化(磁束密度はEU基準に適合)
 - インフラコストも架線の1.5倍程度に抑えることが可能
 - ・MITRAC energy saver技術
 - 車上の電気二重層キャパシタに回生を行う
 - ・両方の技術でエネルギー消費量を 30%軽減
 - ・2010年末にドイツアウグスブルグ市で実証試験実施
- 走行距離 0.8km
出力 250kW
周波数 20kHz



電気バスを使って0.6 kmの試験道路で実証報告書は2013年初頭



- ・ピックアップサイズ 3.6m
- ・周波数 20kHz
- ・電池容量 60kWh

出典: EcofriendのHP, 「UITP Vienna 2009」 および
http://www.primovecity.bombardier.com/en/ready_now/lommel.html

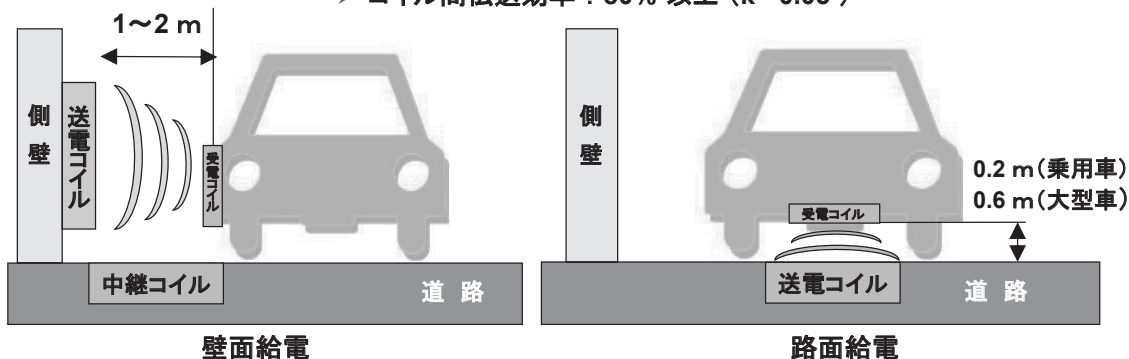
46

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術開発事業 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術開発事業 挑戦研究にて開発中

➤ コイル間伝送効率：80% 以上 ($\kappa = 0.05$)



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

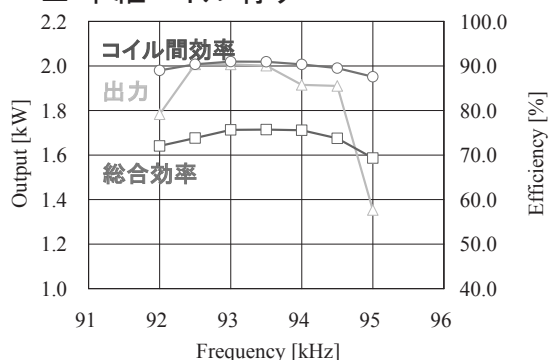
47

電力伝送試験結果



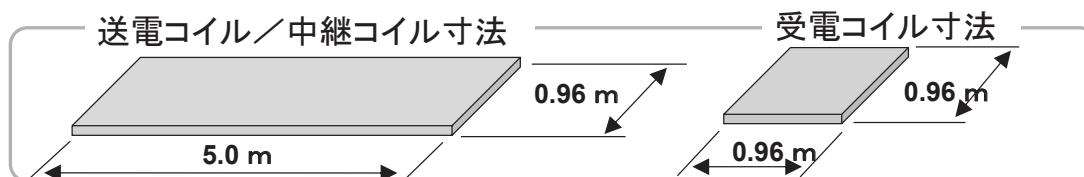
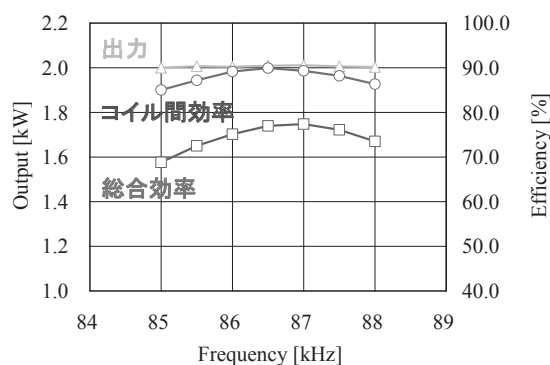
側面給電方式

- 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)

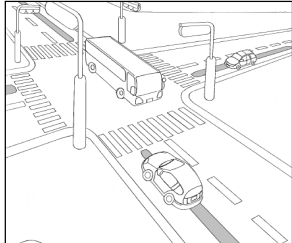
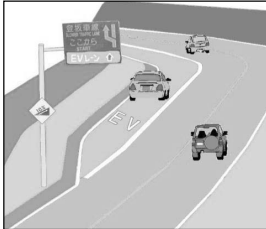
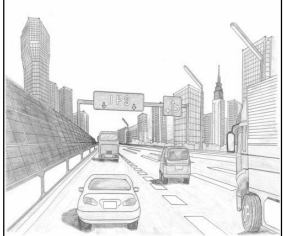


両方式を研究しているが、大ギャップにすると電磁放射が厳しく、現状では路面給電の方が有利

48

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 

49



ご清聴ありがとうございました

昭和飛行機工業株式会社 IPS・EV事業室
高橋俊輔 s-takahashi@showa-aircraft.co.jp

50