

電気自動車の モーションコントロールと走行中ワイヤレス給電

Motion Control and Dynamic Wireless Power Transfer
for Electric Vehicles



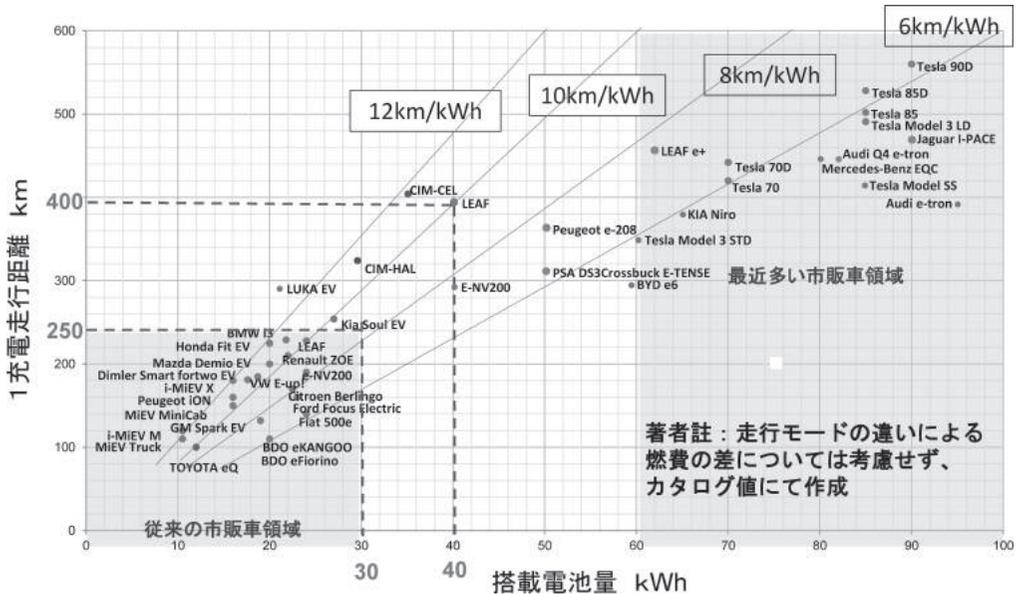
監修 ■ 堀 洋一 横井行雄

第1節 走行中給電のための インフラ技術と国際動向

早稲田大学 高橋 俊輔

1 EV への走行中給電の必要性

EVの電気消費量は図1のように一般的には8~10 km/kWh、軽量化を進めた車種では12 km/kWhになるが、車の販売価格に見合った搭載電池量を考えると一充電走行距離は従来では250 km、電池技術と軽量化技術の進展で現在では400 km程度が経済的限界となり、長距離走行では頻繁な急速充電が必要となる。Teslaなどのように内燃機関車と同等の500 km以上走れるEVはあるが、その電気消費量を見てみると6 km/kWhとなる。これは測定モードの違いもあるが、重い電池を多量に積んで走行距離を延ばしていることが主因で、この電費ではガソリンエンジンよりも多くのCO₂を発生することになり、CO₂削減を目指してのEV普及の点からは逆方向に行っていることになる。また、バスにおいてターミナルやバス停で停車中に充電するシステムでは短時間充電になるため、充電量からマイクロバスサイズか、大型バスの場合はプラグインハイブリッド(PHEV)バスを使用しての短距離ルート運用にならざるを得ない。



※口絵参照

図1 EVの電池搭載量と1充電走行距離

上記のようにEVがエンジン車と同等の航続距離とエネルギー充填速度を実現するには、未だかなりの時間がかかりそうである。これは長距離走行を実現するだけの高エネルギー密度と超急速充電性能を持った蓄電池が開発途上のためである。そこで、EVや大型電動バス(e-Bus)を長距離走行させる究極の充電機能は、充電のために停止せずに必要なエネルギーを常時受け取れる走行中給電となる。

2 走行中給電のタイプ

現在、表1に示すように世界各地で走行中給電の実証試験が行われている。大きく分けると接触式と非接触式になり、接触式はその給電ユニットの位置により地表給電、側面給電と車両の上からの空中給電となり、非接触式は地表給電と空中給電となる。

2.1 接触式走行中給電

2.1.1 地表給電

2013年5月、VolvoがスウェーデンのGothenburg近くのテストコースで、400mの長さにわたって道路に敷設した給電線から電動トラックへ接触給電するSlide Inという平板を2枚敷設したシステムのデモを公開した(図2)。これは2003年、フランスBordeauxのLRTに採用されたAlstomの子会社、Innorailが開発した「地表集電方式」を使い、区間毎に給電ゾーンを区切って車が居ない所では給電しない方式を採用していて、地上敷設されていても感電しないシステムになっている¹⁾。



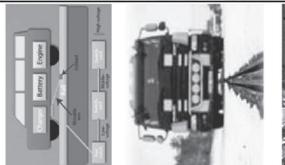
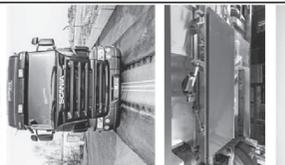
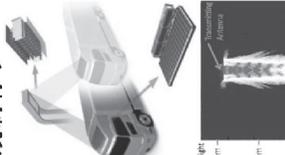
図2 VolvoのSlide Inシステム

似たような区間給電システムを採っているもので、地表にスロットカーのような溝状の給電電極を設けたものがELWAYSのシステムで、地上に幅30cm、高さ5cmの台形状の給電電極を設けるものがELONROADのシステム²⁾である。前者は2016年にStockholmのArlanda空港貨物ターミナルからRosersberg物流センターまでの、2kmほどの道に設置され、トラックやEVに走行中給電している³⁾。後者も2017年にスウェーデンのÖrtoftaにテストコースを設置してデモを行っている。

2.1.2 側面給電

(株)本田技術研究所は車の底面からローラー電極の付いたアームを前方にスイングさせて、道路側面に設置したV字型電極に接触させて給電するシステムを開発し、200km/hの車速で450kWの給電を目指している⁴⁾。本項の詳細については本田技術研究所が別章にて記述しているので、それに譲る。

表1 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	地表給電	空中給電
主な開発者	ALSTOM Volvo	ELWAYS	ELONROAD	本田技術研 究所	SCANIA Siemens	Bombardier KAIST	京都大学
型式名	Slide In	2接点方式 200kW	3接点方式 240kW	2接点方式 450kW	eHighway 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
仕様例 写真・図							

2.1.3 空中給電

パンタグラフ接触式は電車やトロリーバスで古くから見られるが、2016年6月にスウェーデン中部の Gävle で、片側2車線の公道のうち外側の1車線の上に電力を供給する2kmの架線が張られ、Scania製ハイブリッド(PHEV)トラックを使っての走行中給電運用が始まった(図3)。パンタグラフが架線から外れると、トラックは容量5kWhのリチウムイオン電池

に充電した電力を使いながら最長3 kmの走行が可能で、それ以降は通常のエンジンによるHEV走行となる。電力関連の技術はSiemensが開発した⁵⁾。

Volkswagen Groupは2018年5月に長距離トラックの電動化を目指した試験プログラムについて、ドイツ連邦環境省から実施許可を得たと発表した。スウェーデンと同じく試験車両は傘下のScania製PHEVトラックを用い、プロジェクトパートナーのSiemensのパンタグラフを搭載し、試験は2019年初頭から3年間にわたりFrankfurtの南にある自動車道A5の一部区間で始める予定で、その後、Lübeck近くのA1、連邦高速道路B442でも始める⁶⁾。



図3 Scaniaの接触式走行中給電

2.2 ワイヤレス給電式走行中給電

高速道路を100 km/hで走行中の4人乗り乗用車の動力は道路勾配が0%において15 kW程度、マイクロバスで50 kW程度、勾配が3%になるとそれぞれ30 kW、95 kW程度になると算定されることから、道路からの必要供給電力は重量車まで考えると10~200 kW程度になると思われる。また車の最低地上高は軸距によって変わるが9~16 cmで、市販大型トラックの実際の最低地上高は30 cm程度である。図4にワイヤレス給電(WPT)方式毎の伝送電力と伝送距離を示す。ここで走行中給電に求められる伝送電力10~200 kWで伝送距離9~30 cmの範囲を示すと、磁界結合型と呼ばれる電磁誘導式と磁界共振式で対応できることがわかる。

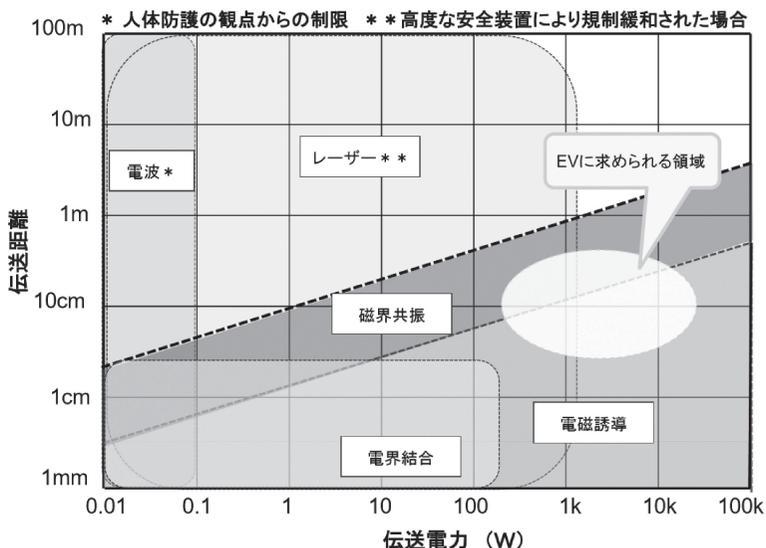


図4 ワイヤレス給電方式の伝送電力と伝送距離

また、条件によっては地表給電の電界結合式や空中給電の電波(マイクロ波)式でも走行中給電は可能である。この両者の詳細についてはそれぞれ別章にて記述しているので、それに譲る。

3 走行中磁界結合型 WPT の動向

磁界結合型 WPT には、静止型と移動型の2つの方式がある。静止型はヒゲ剃りなどの家電品や EV 充電用として使われるように、給電中は送電コイルの直上にギャップを隔てて受電コイルを置いておく必要があり、受電側に搭載した電池に電気エネルギーを充電する。移動型は、静止型の送電コイルを細長く伸ばしたり、隣接して並べたりして、その上に受電コイルが有る限りは EV の移動中にも給電が可能である。WPT の当初の開発は、蓄電池の性能が低く大きく重いものであったため EV や搬送台車への走行中連続給電が主で、静止型はかなり後になって蓄電池性能の向上に伴い出現してくる。

米国の E. E. Keller が実用的な EV を発明したのと同じ 1894 年に米国の M. Hutin と M. Leblanc が電車用として 3 kHz の電磁誘導式の WPT の特許(図 5)⁷⁾を取得しているものが、走行中給電として文献に出てくる最初のものである。しかし 1908 年に発売されたフォード T 型を始めとするガソリンエンジン車の目覚ましい発展により、僅か十数年後の 1920 年代には EV 製造は打ち切られ、走行中給電を含め WPT 技術も忘れられていった。

1978 年、米国 Lawrence Berkeley Laboratory の J. G. Bolger らによって行われた EV 用電磁誘導式 WPT の実験が実際の走行中 WPT 開発の始まりと言える。20 kW の出力を幅 60 cm、長さ 1.52 m のピックアップに伝送できたが、使用周波数が 180 Hz という低周波であったため伝送効率は非常に低く、エアギャップも 1 インチ(2.5 cm)と短く、当初考えていた走行中給電の実現は難しく、室内での台上試験のみで終わった⁸⁾。

実際に使われた最初のもは 1980 年代に米国で行われた PATH(Partners for Advanced Transit and Highway)プロジェクトでの 400 フィート(122 m)のテストコースのうち 200 フィート(61 m)の道路下に埋め込んだ給電線から電磁誘導電力を受電する実験システムである。これは 1986 年に米国の K. Lashkari らが発表した道路に埋設した給電線から EV に走行中給電するシステム⁹⁾を実現したもので、道路に 1 m 間隔で埋め込んだ 2 本の 1.8 cm 径アルミニウム給電線(図 6)からの周波数 400 Hz を用いた電磁誘導により、走行中の 7.7 m 長ミニバスの底面に設置された幅 1 m、長さ 4.4 m で 850 kg もの重量のある受電モジュールで受けることにより、エアギャップ 3 インチ(7.6 cm)で 6~10 kW の電力を受電でき¹⁰⁾、図 7 のように当時の技術雑誌に近未来の EV に燃料補給できる道が近づいていると紹介された¹¹⁾。可聴域にあるシステムのバス内外での騒音は 40 dBA と日常生活において非常に静かと言われるレベルであった。しかし、共振回路、特に 1 次側に

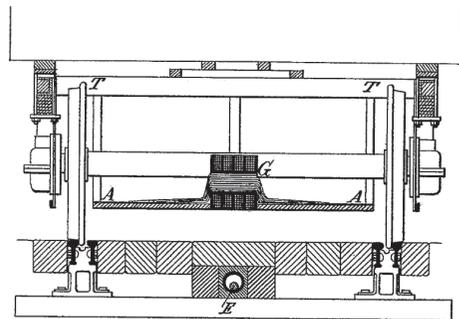


図 5 M. Hutin と M. Leblanc の走行中ワイヤレス給電特許

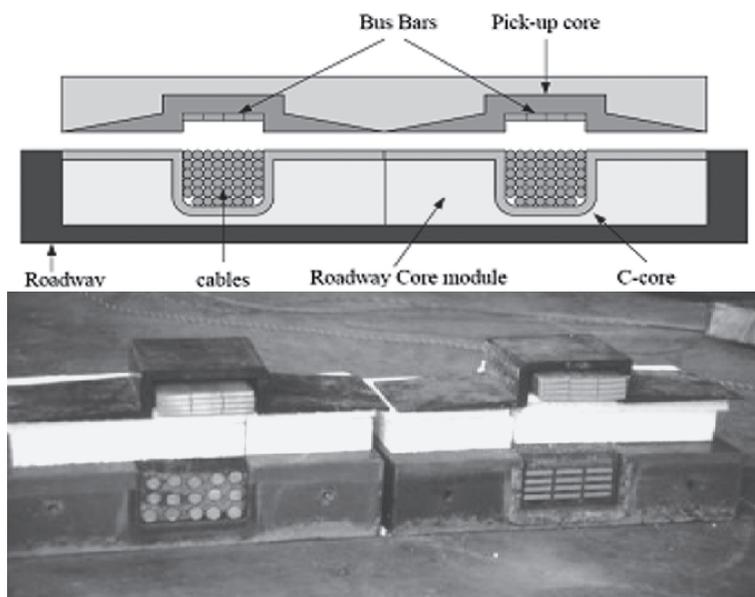


図6 PATHプロジェクトのコイル断面構成と実際の断面2種

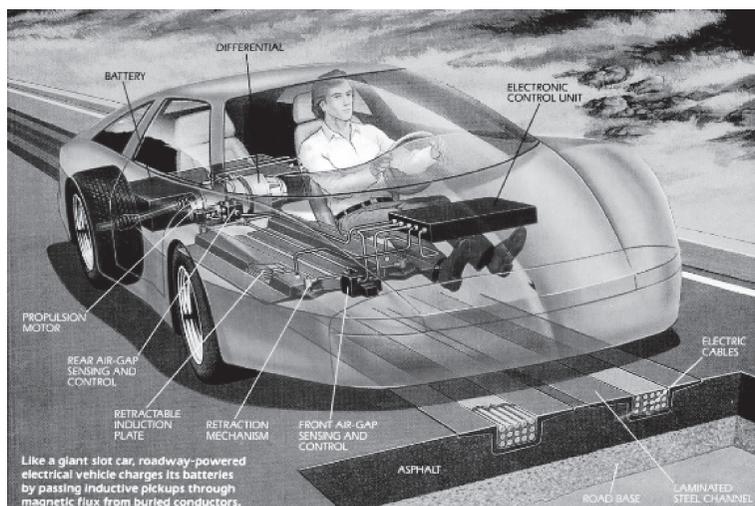


図7 近未来の走行中給電EVの記事

ついて十分な検討がなされていないため、漏れインダクタンスにより電源力率が悪く効率が60%以下であったことと、地上から25cm高さでのコイルからの漏れ磁束密度が車内で40 μT 、車外で1,500 μT 、1m高さでもそれぞれ2.5 μT 、100 μT と大きく実用には至らなかった。

ちなみに1998年に制定された国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)における時間的に変化する電界、磁界への公衆の曝露に関する磁束密度のガイドライン値は、 $f=25\sim 800\text{ Hz}$ の周波数範囲では $50/f(\mu\text{T})$ と規定されているので、400 Hzでは0.125 μT でしかなく、今ではとても許容できるレベルではなかった。なお、コイルの位置ずれを補正するために、車両側に油

圧式ピックアップ支持装置が搭載されていて、地面に埋め込まれた信号線からの信号をトレースして、左右方向 20 cm、上下方向 10 cm 動かすことができ、最適位置の 25 mm 以内になるよう位置合わせをしているシステムであった¹²⁾。この結果から、その後の走行中給電の実証試験では電磁波漏洩の抑制が最大の課題となり、いろいろな方式が採られている。

鉄道車両や航空機のメーカーの Bombardier は PRIMOVE Technology と呼ぶスイッチング技術を織り込んだ走行中給電システムを、2012 年に Flanders' DRIVE research project においてベルギー Lommel の 620 m の道路に 125 m にわたって埋め込んで自社の e-bus への走行中給電を行った。10 kV の商用電源ラインから高周波電源装置により出力 200 kW、周波数 20 kHz にして送電コイルに供給、e-Bus に搭載された 2 m×1 m サイズの受電コイルで 80 kW を受電、60 kWh の搭載電池を充電した。地上の送電コイルは車体長より短い 8.1 m 長さに区切られ、車両が上に来た送電コイルにだけ電流を流す PRIMOVE 技術で電磁波の影響を最小限化していて、磁束密度は EU 基準に適合している。各々の送電コイルの脇に沿って車両検知線を設置し、コイルへの給電のスイッチングタイミング信号を送出している。実用化を目指し、送電コイルを埋設した道路の舗装材の効果を見るために区分ごとにコンクリートとアスファルトをそれぞれ敷き詰めて実験を行った¹³⁾。

さらに Bombardier は 2013 年以降、Scania と組んで Mannheim で 10 m 長の大型電動トラックに 1 m×2 m の大きさの受電コイルを搭載し、コイル昇降装置を使って 30 cm のトラック車高によるギャップを充電時は 10 cm に降ろして 140 kW から 200 kW の電力を 80~90% の効率で走行中給電をした。実コンディションでのシステム検証を目的に 2016 年 6 月からスウェーデン南部の Södertälje の Scania テクニカルセンターにおいて Scania と一緒に WPT 大型電動トラックの実験を開始している(図 8)¹⁴⁾。

Scania は充電ステーションの設置や運営を手がける Vattenfall と一緒に 2016 年 12 月に Bombardier の 200 kW 静止中給電コイルを Södertälje の Astrabacken に設置し 6~7 分間充電をすることで、Södertälje 南駅とを結ぶ 755 号線の片道 10 km の路線で電動バスを運行している。渋滞等で電動バスの電池容量が不足する場合を想定して、南駅近くの 755 号線の直ぐ側にある Scania テクニカルセンターの入り口に 200 kW 静止中給電コイルを設置し、必要に応じてここで充電をしている。センター内の走行路で走行中給電の実験をしている電動トラックは、実験を行っていない時にはこのコイルを使って、静止中と同じ 4 cm 程のギャップにコイルを降ろして 200 kW 充電を行っている。すなわちこの電動トラックは車載しているコイルで走行中も静止中もワイヤレス給電が行えるシステムになっている。これは今後の実用的な走行中給電システムを設置するうえで非常に重要な考え方である。

韓国科学技術院(KAIST: Korea Advanced Institute of Science and Technology) は 2009 年以来、電磁誘導式の OLEV(On-Line Electric



図 8 Scania の走行中給電トラック

Vehicle)と呼ぶ走行中給電システムについて研究を進め、Segment methodと呼んでいるPRIMOVE技術に似たコイルのスイッチングにより電磁放射を少なくしたシステムを開発し、2013年7月からDaejeon(大田)の東90kmにあるGumi(亀尾)で24kmのルートの両端のターミナルで静止中充電、途中の4か所でそれぞれ36mの走行中給電の運用を始めた(図9)。20kHz、200kW出力のインバータからの電力を幅80cmの送電コイルから送電し、20cmギャップを通して容量20kW、サイズ170cm×80cmの受電コイル5台で最大100kWを受電、総合効率は約82%であった¹⁵⁾。しかし、運行距離24kmのうちの僅か144mの間で走行中給電を行っているのみで、走行に必要な電力量の大部分は2箇所のターミナルでの静止中充電というのが実情である。



図9 KAISTの走行中給電バス

2015年に米国Utah州立大学は、キャンパス内に送電コイルを埋設した長径500フィート(152m)、短径300フィート(91m)の角丸長方形の試験道路を設置し、図10の(A)図のような走行中WPT式e-bus本体と道路設備それぞれの状態の経過観察を行っている。1/4マイル(402m)のテストコースに120フィート(37m)×2の走行中充電コースを設置し、周波数20kHz、最大25kWを8インチ(20cm)ギャップにおいて効率85%で送電でき、最適点から6インチ(15cm)離れても定格出力を維持できる。送電コイル構造は静止型と同じものを間隔において並べ、車の進行に従いスイッチング回路で切り替えるシステムにしている¹⁶⁾。同じ走行中給電試験道路で図10(B)図のように通常の静止中給電コイルを搭載した走行中WPT式EVが走行していて、前述のScaniaの電動トラックと同様に電動バスとEVが車載しているコイルで、走行中も静止中もワイヤレス給電が行えるシステムになっている。これも各種車両が混在して走る今後の走行中給電システムを考えるうえで重要な示唆である。

2013年9月にスペインのアンダルシアエネルギー省がMalagaにおいて5.3m長e-busへの走行中給電、静止中充電などの各種充電システムの検証を行うProject Victoriaを実施すると



(A)走行中給電バス

(B)走行中給電EV

図10 Utah州立大学の走行中給電バスとEV

発表した。アンダルシアエネルギー省が3.7百万€(4.8億円, 当時の為替レートあるいはそれを元に現在価値に引き直した数値ではなく2018年7月時点の月間平均レート130.2円/€による, 以下同じ)の補助を行い, Malaga市, 大手エネルギー会社のEndesa, 情報通信プロバイダーのISOTROLと運用を行うEmpresa Malagueña de Transportes それにデータ解析をするMalaga大学が組み, 2016年から5kmのルートで運用が始まった(図11)。充電システムとしては接触式充電(夜間充電)1カ所, 23.8kHz, 50kW 静止型WPT2カ所, 100mの走行中WPT1カ所を設置し, 走行中給電システムは0.8m角の静止給電用のコイルを12.5mの間隔で8基設置し, 15cmのギャップで50kWを85%の効率で送電し, 10km/hの車速であれば走行に必要な電力をほぼ給電できることを確認した¹⁷⁾。



図11 Malaga Project Victoriaでの走行中給電バス

2014年から4年間, 9百万€(11.7億円@130.2円/€)をかけて実施されたEUのFABRIC (Feasibility analysis and development of on-road charging solutions for future electric vehicles)プロジェクトにおいて, フランスのSatory試験場でVedecomとQualcommが2016年10月からEVへの走行中給電実験を行った。85kHzの高周波電力が100mのテストコースに印加され, 定常速度70km/h(最高90km/h以上)で走る2台のEVにそれぞれ20kWの電力が効率80~90%で供給された。車を検知したスイッチが送電コイルを切り替えるシステムである¹⁸⁾¹⁹⁾。イタリアのTorino市で2018年6月に実施されたFABRIC Final demonstrationにおいてPolitecnico di Torino(POLITO)とCRFは150kHzの電力を200mのテストコースに供給して50km/hで走るEVに効率81%で6.5kWを送電し, またSAETが80~100kHzの電力を50mのテストコースに供給して30km/hで走行するEVに効率66%で9kWを送電させることができた²⁰⁾。

英国政府は2015年8月に, 252ページの走行中給電に関するfeasibility study報告書を公開すると共に, 図12のように主要幹線道路に走行しながら充電が可能なEV専用レーンを設けるElectric Highwaysの実験計画を発表し, 試験道路システムを開発したい事業者に入札を求めた。英国運輸省は今後5年間で5億£(733.5億円@146.7円/£)の予算を充てるとし, 試験用充電レーンは早ければ2015年内にも着工, 試験期間は18ヵ月を予定していた。20cmほどのギャップで給電する磁界共振式で, 送電コイルの埋設工事に特殊な重機は使わず, 既存のトレンチ掘削作業車や鉄道敷設用車両を利用して工事費のコストダウンを図るとしていた²¹⁾。事業者が全て決まった時に, 試験計画の詳細を公表するとしていたが, 主体的役割を担うHIGHWAY ENGLANDがこのプロジェクトを続行できなくなり計画は延期, 研究はTHE UK Traffic Research Laboratory(TRL)にて実施されることになったが, いまだ実施されていない。

国内でも大学を中心に磁界共振式, 電界結合式, 平行二線式などによる超小型EVへの走行



※口絵参照

図 12 英国の Electric Highways 構想図

中給電実験が行われていて、内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム(5IP)第2期において実施されているが、本書の他章にて詳細説明されているので、それに譲る。

4 走行中給電のためのインフラ技術

4.1 耐荷重性

WPTの送電コイルを公道上に設置するにあたっての耐荷重性能として、EVではIEC61980のPart3において、 $5,000 \pm 250$ N、通過する車の速度を 8 ± 2 km/hとする規格化が進められている²²⁾。一方、バスではまだ使用周波数帯をようやく20 kHz帯あるいは60 kHz帯にするかという入り口の段階で、耐荷重等の議論には至っていない。

そこで、国内での静止中給電の実証試験においては、コイル全面を樹脂コンクリートで覆うなどして、T10クラス対応、すなわち軸重10トン、輪重5トンに道路の傾斜による偏りを考慮して6トン以上の耐荷重対策を施したコイルを採用している。欧州でもIPT TechnologyもBombardierも同様の6トン以上の耐荷重としているが、中国ZTEはT25クラスの適用で13トンの耐荷重にしている。

しかしながら、これらは全て静止中給電において車が低速で送電コイル上に乗り上げることを想定している場合で、走行中給電では他の重量車での動荷重、段差がある場合には衝撃荷重、ブレーキング時を含む耐摩耗性、スリップ特性などの規定が求められる。

アスファルト舗装の一般的な施工は砕石を転圧後、150℃前後のアスファルトを引き均し、130～140℃前後の状態です道8～11回の初期転圧し、100～120℃前後の状態です道3回の2次転圧のあと80℃前後です道3回程度の仕上げ転圧をしている。送電コイルをアスファルト内に設置すると、この熱と転圧に耐えねばならない。そこで2013年、東亜道路工業(株)は日産自動車(株)と共同で給電コイルの舗装用セメント材として、コイルや給電線が舗装工事の熱や圧力で破損しないように転圧作業が不要で弾力性のある特殊セメント材を開発、KAISTの工法に比べ施工コストを1/3に抑えられると発表した²³⁾。

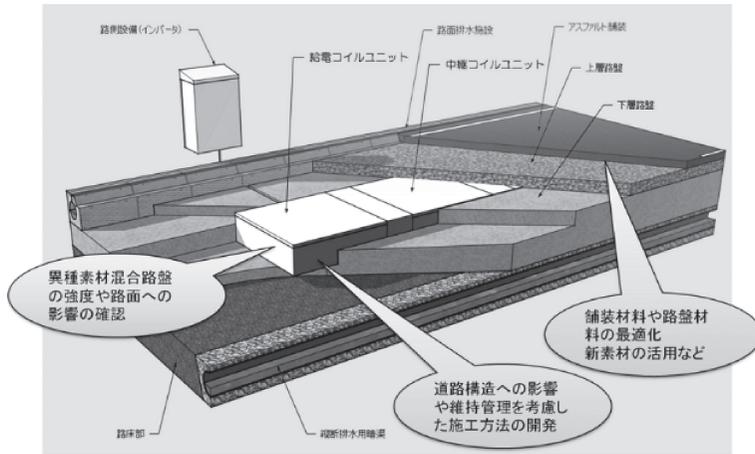


図13 国総研による送電コイル埋設道路構造

道路表層と基層は舗装打ち替え等のメンテナンスで、掘削埋め戻しが路盤以下の層よりも頻繁に繰り返される。そのため、送電コイルを表層や基層に埋設すると、送電コイルの管理に必要な経費がメンテナンスコストを押し上げる。2013年、国土技術政策総合研究所は大型モデルでの検討結果から、図13のように送電コイル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と結論づけた²⁴⁾が、このギャップでWPTでの電力伝送を確保するのは至難である。

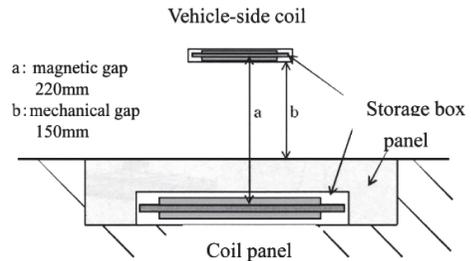


図14 NEXCO 総研による送電コイル構造

そこで2016年、(株)高速道路総合技術研究所(NEXCO 総研)は路面表面近くに送電コイルを配置するため、図14のようにコイルを入れレジンで空間を満たした収納箱を組み込んだコンクリートパネルを路盤の上に置き、周囲もコンクリートを打設する方式を発表している。実験の結果、耐荷重と基準値($\mu 80 \geq 35$)を超えるすべり抵抗を持つコンクリート材料として超速硬ポリマーセメントモルタルを選定している。送電コイル構造はUtah州立大学と同じように静止型を並べ、スイッチング回路で切り替えるシステムにしている²⁵⁾。しかしながら最近の高速道路もハイドロプレーン現象による事故率減少に効果のある透水性アスファルト舗装が一般的に実施されていて、コンクリート被覆コイルとの経年性不陸による段差発生の問題がある。コイルと道路舗装材の間には無収縮モルタルを流し込んで不陸や剥がれが起きないようにしているが、直線では踏み付け荷重で無収縮モルタルにひび割れ等が発生し易くなるため、新たな工法が必要と考えられる。

Bombardier は実用化を目指して、Lommelにおいて、送電コイルを埋設した道路の舗装材の効果を見るためにコンクリートとアスファルトをそれぞれ敷き詰めて走行中給電実験を行った¹³⁾が、その結果については発表していない。

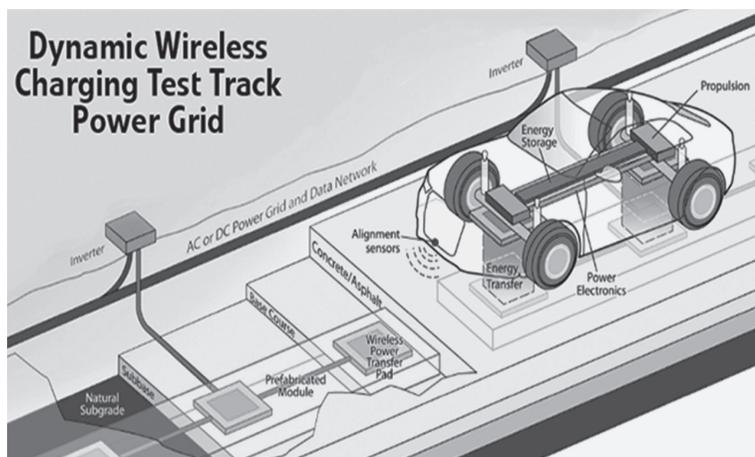


図 15 Utah 州立大学でのコイルと道路の構造

Utah 州立大学でも、図 15 のような静止型送電コイルを並べる道路構造の走行中給電システムを試験道路に設置して e-bus を運用し、道路設備の経過状態を観察している²⁶⁾。

4.2 レントレース性

WPT では送受電コイル間に位置ズレがあると、出力および効率の低下、電磁漏洩の増加といった問題があり、特に走行中給電では送電コイル上を正確にトレースして走行しないと受電できず、途中で電欠を引き起こすことにもなる。

静止中充電と同じように車体搭載カメラと画像処理でコイル位置あるいはラインをトレースする、あるいは準天頂衛星により精度補完された GPS を使った位置制御などが考えられているが²⁷⁾、現在、自動車会社が熱心に取り組んでいる自動運転技術が実用化されれば、一気に解決される可能性がある。

4.3 建設コスト

走行中給電は長い距離にわたって送電コイルを埋め込み、電源装置の設置、外部電源インフラとの接続などかなりの建設コストがかかることが考えられる。

最初に建設コストを算出したのは PATH プロジェクトにおいてで、それは 1994 年時点で 0.74~1.22 M\$/km (0.8~1.4 億円 /km @111.4 円 /\$) と示されている¹²⁾。

KAIST がソウル大公園で 2009 年 11 月から 2010 年 1 月の期間に試験運用を行った全長 372.5 m に敷設された充電設備などの建設費総額が 9.9 億 KRW (0.98 億円 @0.099 円 /KRW) で単位距離当たり 26.6 億 KRW/km (2.63 億円 /km @0.099 円 /KRW) であったと報告している²⁸⁾。開発中の第 4 世代は送電コイル設置時間の短縮と建設コストを下げるため、図 16 のように S 字コアにして給電線を縦に配置することで、ギャップは同じ 20 cm で効率が 80% とやや低くはなるものの、道路の開削幅を 10 cm ほどにして建設期間を短くすることで建設コストを下げている。同時に電磁波漏洩量を従来の 1/5 以下にできた¹⁵⁾。

2015 年に TRL が建設から 20 年間の費用を現在価値に引き直して算出した数値は、建設費

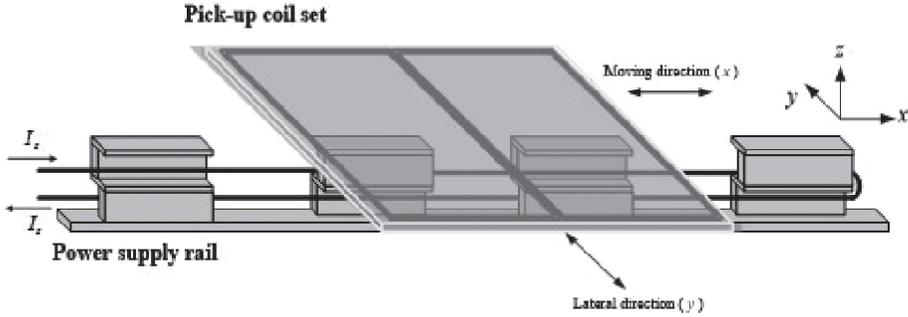


図 16 KAIST の S 字型コア

が 3.9 百万 円/km (5.7 億円 /km@146.7 円 /円)であるのに対し、維持管理費が 1.2 百万 円/km (同じく 1.8 億円 /km)、電気代が 12 百万 円/km (同じく 17.6 億円 /km)と両方で建設コストの 3.5 倍となる²⁹⁾。

筆者が 2010 年に新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の走行中給電プロジェクトで行った試算では条件にもよるが、やはり 2~3 億円 /km かかるという結果が得られた。

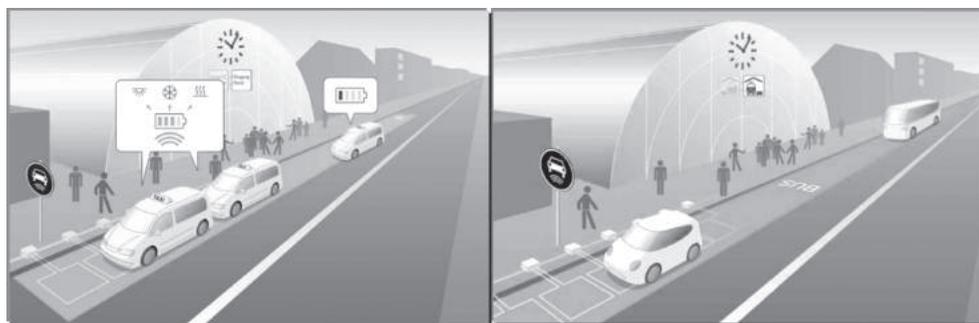
参考までに WPT 走行中給電ではないが、2016 年に Stockholm に設置された地表に溝状の給電電極を設ける ELWAYS システムでも設置費用は 100 万 円/km (1.3 億円 /km@130.2 円 /円) という数値が見られる³⁰⁾。

以上は地上にインバータを置いて路車間通信によりインフラ側で給電・充電制御を行っている場合の建設コストの算出であるが、これだと 1 台のインバータが制御をする送電コイル内に負荷の異なる車両が 2 台存在すると充電制御ができない。そこで EV の標準化のステージでも考慮され始めているように、車両側に充電器を搭載して充電制御を行わせ、インフラ側は電力供給のみとすれば、1 台のインバータ内に複数台の車両が入っても問題はない。そうすることで建設コストは上記よりも安くすることができる。しかしながら車両側は充電器の分のコストと重量が増え、そのコストはユーザーが負担することになる。

算出例から 1~6 億円 /km の初期の建設コストを誰が負担し、建設コストと建設コストの 3.5 倍にもなる維持管理費および電気代を、EV 走行するユーザーに課金するとして、納得して貰える金額になるかどうか非常に疑問である。

5 おわりに

以上のように日欧米を中心に磁界結合型 WPT による走行中給電実験を通して、コイル構造およびインフラ技術の開発が進み、コイルの埋設についての課題は少しずつ解決されつつある。また、受電コイルが地上コイルからずれると受電できなくなる問題も自動運転技術が実用化されれば、課題は解決される。技術的課題および建設コストの抑え込みは解決されつつあるが、巨額な維持管理費および電力費といったランニングコストをユーザーに負担させるのはかなり難しい問題がある。



(A)EV タクシープール

(B)e-Bus 走行レーン

※口絵参照

図 17 IAV の 2050 年ビジョン

図 17 のドイツ IAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr) の 2050 年ビジョン³¹⁾に示されているように、2050 年よりはもう少し近い将来において、ユーザーにとって利益および利便性が高い駅前のタクシーレーンで EV タクシーが少しずつ前進する際に走行中給電をする、あるいは空港のターミナル間の連絡 e-Bus などの限定した場所からの走行中給電が始まるものと思われる。この場合のインフラ側のコストはタクシーやバス業者が負担することになる。ハイウェイの WPT レーンにおいて走行しながら給電を受ける EV あるいは e-Bus、電動トラックを見ることができるのは、その先のことと考える。

文 献

- 1) M. R. Dickey : Soon, You'll Be Able To Charge An Electric Car Just By Driving Over This Road, Jun. 18, (2013).
<http://www.businessinsider.com/volvos-electric-road-for-charging-cars-2013-6> (2019 年 2 月 2 日アクセス)
- 2) A. Fredrik and S. Richard : Autonomous static charging of electric vehicles using EIONRoad's electric road technology, (2016).
- 3) S. Lundberg and H. Säll : Electrified roads – a quieter, cleaner and smarter infrastructure with charging while driving, eRoadArlanda (2016).
- 4) T. Tajima, H. Tanaka, T. Fukuda, Y. Nakasato, W. Noguchi, Y. Katsumasa and T. Aruga : Study of High Power Dynamic Charging System, SAE Technical Paper 2017-01-1245, (2017).
- 5) World's first electric road opens in Sweden, 22 June 2016, (2016).
<https://www.scania.com/group/en/worlds-first-electric-road-opens-in-sweden/> (2019 年 2 月 2 日アクセス)
- 6) 榎谷さえ子 : VW, ドイツでトロリートラックの公道走行試験プロジェクトを開始, 2018 年 5 月 28 日,
http://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/news/18/01371/?n_cid=nbpnxt_mled_at (2019 年 2 月 2 日アクセス)
- 7) M. Hutin and M. Leblanc : Transformer system for electric railways, Patent US527, 857,

- 8) J. G. Bolger et al. : Inductive Power Coupling for an Electric Highway system, 28th IEEE Vehicular Technology Conference (1978).
- 9) K. Lashkari et al. : Inductive Power Transfer to an Electric Vehicle, Proc.8th Int. Electric Vehicle Symp. 1986, 258-267(1986).
- 10) G. A. Covic and J. T. Boys : Inductive power transfer, Proceedings of the IEEE, vol.101, no.6, 1276-1289,(2013).
- 11) Popular Mechanics, 'Tech Update : Juiced-up roads to power Electric Cars'. *Hearst Magazines*, August Vol.167, Nr 8, 17(1990).
- 12) University of California Berkeley : "Roadway Powered Electric Vehicle Project Track Construction and Testing Program Phase 3D Final Report" California PATH Research Paper UCB-ITS-PRR-94-07, ISSN 10551425(1994).
- 13) C. Koebel : PRIMOVE-Inductive Power Transfer for Public Transportation, ETEV2012 Session2.3 (2012).
- 14) D. Naberezhnykh : Latest Developments in Wireless Power Transfer for EVs, European Electric Vehicle Congress,(2015).
- 15) C. Rim : The Development and Deployment of On-Line Electric Vehicles(OLEV), IEEE ECCE2013 SS3.2(2013).
- 16) Z. Pantic : Review of Recent Advances in Dynamic and Omnidirectional Wireless Power Transfer, IEEE Industry Applications Society 2016, pp.27-36,(2016).
- 17) H. Bladszuweit : Project Victoria, HEV TCP Task 26 Workshop, IEA,(2017).
- 18) S. Laporte : Versailles-Satory test site integration of a DWPT solution and achievements : The FABRIC project, Final Event Conference Turin, Italy, June 21st 2018,(2018).
- 19) K. Nahrstedt : Electric Vehicles and Their Impact on Trustworthy Power Grid Informatics, University of Illinois,(2015).
- 20) P. Guglielmie : The story of the Italian test site : The FABRIC project, Final Event Conference Turin, Italy, June 21st 2018,(2018).
- 21) Gov. UK Press Release : Off road trials for electric highways technology, Published 11 August 2015,(2015).
<https://www.gov.uk/government/news/off-road-trials-for-electric-highways-technology>
- 22) ELECTRIC VEHICLE WIRELESS POWER TRANSFER(WPT)SYSTEMS - Part 3 : Specific requirements for the magnetic field wireless power transfer systems : IEC/TS 61980-3 /Ed.1, 2015/8/21
- 23) 青木和直他 : 道路舗装の歴史と最新技術, 自動車技術, Vol.67, No.10, pp.29-36,(2012).
- 24) 国総研 社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 : 電気自動車への道路からの非接触給電,
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/foundation/wtps.html>(2019年2月2日アクセス)
- 25) 神谷恵三他 : 走行中非接触給電システム送電コイルの道路敷設技術開発, 自動車技術会, 2016年春季大会学術講演会資料, pp.347-351,(2016).
- 26) Charles Morris : Utah State University builds a dynamic wireless charging test track, Charged,(2015).
- 27) 武部健一 : [精度]準天頂衛星でGPSを補完, 測位誤差は1m前後に, 2009年2月12日
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20090202/323987/>(2019年2月2日アクセス)
- 28) KAIST OLEV Brochure 2010ver
- 29) D. Naberezhnykh : EVs and wireless power transfer,(2017).

- 30) Gigazine：走行中に給電できる「電気道路」をスウェーデンが公道で開発中 道路&既存自動車への導入コストも安価, 2018年4月13日,
<https://gigazine.net/news/20180413-swedish-electrified-road-charging-vehicle/>(2019年2月2日アクセス)
- 31) ETEV2012 Session3. 4 Kuemmel-Wireless Charging for Electric Vehicles-Challenges for Integration and Interoperation

電気自動車のモーションコントロールと走行中ワイヤレス給電

Motion Control and Dynamic Wireless Power Transfer for Electric Vehicles

発行日	令和元年5月17日(2019年5月17日) 初版第一刷発行
監修者	堀 洋一, 横井 行雄
発行者	吉田 隆
発行所	株式会社 エヌ・ティー・エス 〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園 2-1 科学技術館 2階 TEL.03-5224-5430 http://www.nts-book.co.jp
印刷・製本	倉敷印刷株式会社

ISBN978-4-86043-606-3

©2019 堀 洋一, 横井 行雄 他

表紙画像: PIXTA

落丁・乱丁本はお取り替えいたします。無断複写・転写を禁じます。定価はケースに表示しております。
本書の内容に関し追加・訂正情報が生じた場合は、(株)エヌ・ティー・エスホームページにて掲載いたします。
※ホームページを閲覧する環境のない方は、当社営業部(03-5224-5430)へお問い合わせください。

