

第4部：走行中給電

道路が“電源”になる日 2020年に一部で実用化か

高速道路の車線などにワイヤレス給電システムを高密度に敷設し、走行中のEVに給電する構想が議論され始めている。まだ課題の洗い出し段階にすぎないが、技術面や費用面で乗り越えられない壁はなさそうだ。実現すれば、EVの利用可能性も大幅に広がる。早ければ2020年前後に一部の道路で実用化される可能性もある。

注1) 2006年に共鳴型WPTを提案した米Massachusetts Institute of Technology (MIT) で当時Assistant ProfessorだったMarin Soljacic氏も2007年当時既に、「この技術(共鳴型WPT)は充電のためではなく、給電した電気をそのまま使って走れるようにすることで、EVの蓄電池を不要にするためにある」と強調していた。

走行中の電気自動車(EV)に給電する走行中給電は、ワイヤレス給電(WPT)技術の究極目標といえる(図1)^{注1)}。

最大のメリットは、EVの軽量化、低価格化、そして長距離走行が容易になることだ。

高速道路などで走行中給電が実現すれば、蓄電池の容量が小さくて済む。これまでのEVが陥っていた、長距離走行のために蓄電池を多量に積載して価格が高騰し、重量が増すことで電力の“燃費”が悪化するという悪循環から解放される。

その最初の構想から10年。走行中給電はこれまで、“SFの世界の話”と切って捨てら

れることも多かった。それがここへきて、実用化を真剣に議論する段階となり、世界各地で実証実験が始まっている^{注2)}。

日本では、2016年3月に豊橋技術科学大学の大平研究室が同大学キャンパス内で実験を行った(図1 (b))。電界結合型WPTシステムを採用し、車両に電池を一切搭載せず、道路からの給電だけで走行した。また、東京大学 教授で、自動車技術会(JSAE)ワイヤレス給電システム技術部門委員会 委員長の堀洋一氏の研究室も、道路舗装大手の東亜道路工業と共同で、2016年中にも実験を始める計画だ。東亜道路工業は2013年に、

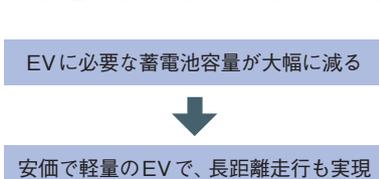
(a) 高速道路の走行中給電用「EVレーン」
(日産自動車の将来イメージ)



(b) 蓄電池を持たない車両に道路から給電
(豊橋技術科学大学 大平研)



(c) 高速道路での走行中給電のメリット



(d) 早稲田大学 高橋氏などのコスト試算

1 コイル上に2台前後を想定

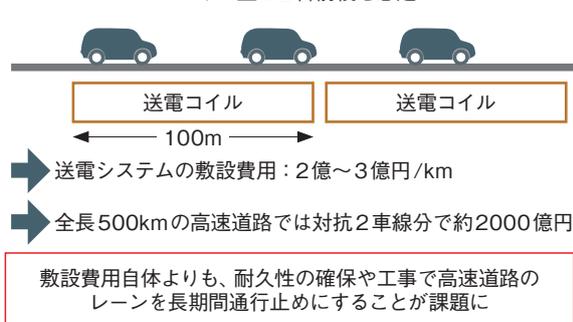


図1 走行中給電は実用化可能か

日産自動車が開示している高速道路での走行中給電のイメージ(a)。豊橋技術科学大学の大平研究室が2016年3月に始めた電界結合方式平行2線路の、実際の路上における走行実験(b)。高速道路での走行中給電の最大のメリット(c)。早稲田大学 高橋氏の敷設費用の試算例(d)。(写真：(a)は日産自動車)

弾力性のある特殊セメントを開発し、コイルを深さ4cmという浅い部分に埋め込めるようにした。それまでコイルを損傷しないために1mは必要とされていた埋め込み深さを大幅に浅くして、WPTシステムの道路への敷設費用を軽減できる可能性を示した。

東阪間は最小2000億円

WPTシステムを高速道路に敷設した場合の費用の試算もある。早稲田大学 環境総合研究センター 客員上級研究員の高橋俊輔氏などは、WPTシステムの敷設費用を2億～3億円/km/レーンと試算した(図1 (d))。東京-大阪間500kmの道路対面2車線分では最小で2000億円となる。一方で、同じ500kmで数兆円という建設会社の試算もある^{注3)}。

仮に2000億円程度で済むなら、道路公団や自動車メーカーだけで負担することも十分可能だ。数兆円規模でも、「日本のガソリン用石油の輸入額は年間4兆円程度。多くのガソリン車がEVになって、大量のガソリンが節約できることを考えれば十分ペイする」(ある研究者)という意見がある。

30kW以上なら走行中“充電”に

高速道路での敷設費用は、走行中給電に求める要求の高さにも左右される。つまり、単に当該レーンを走れる分を給電するだけでよいのか、それとも、電池の充電までしたいのかという点だ(図2)。

高速走行するEVの消費電力は約15k～20kW。道路の全区間でEV1台当たりこの電力を給電すれば、高速道路を走っている間は蓄電池の容量を減らさずに済む。システ

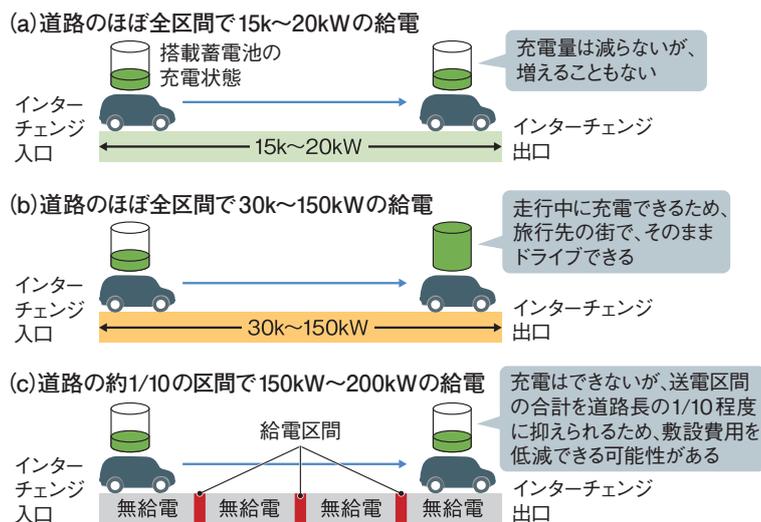
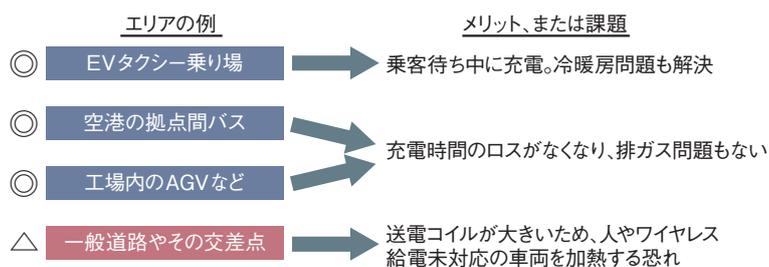


図2 給電が充電か

供給電力の大きさと、インターチェンジの出入り口でのEVの蓄電池の充電状態を示した。EVの高速走行に必要な電力は15kW前後である。供給電力が15k～20kWでは蓄電池の充電状態は低下しないが増えもしない(a)。供給電力を30kW以上にすると、走るほど蓄電池が充電されることになる(b)。給電装置の区間を短くして敷設費用を減らすために、供給電力を非常に高くする議論もある(c)。



AGV: Automatic Guided Vehicle(無人搬送車)

図3 エリアを選べばすぐにも実用化可能

走行中給電を実用化しやすいエリアの例(◎)と当面は実用化が難しいエリアの例(△)を示した。

ムの敷設費用は比較的安い。ただし、充電まですることは難しい。

一方、給電電力を約30kW以上にすれば、走りながら充電もできる。高速道路に入った当初充電状態に不安があっても、走っている間に満充電に近づき、旅先でのドライブを楽しめる。ただし、敷設費用は高くなる。

EVタクシー乗り場は早期導入可能

実用化への課題は費用だけではない。早稲田大学の高橋氏は、既存の高速道路を1車

注2) 実証実験が早かったのは韓国だ。2010年に韓国の大学院大学Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) が、ソウル市の公園内の1周2.2km周回道路の約100mでWPTを実験。その後も、KAISTはキャンパス内や韓国中部のGumi(亀尾)市などで実験を繰り返している。

最近では、英国、スペイン、イタリア、フランスなどでも道路を使った実証実験の準備が進んでいる。

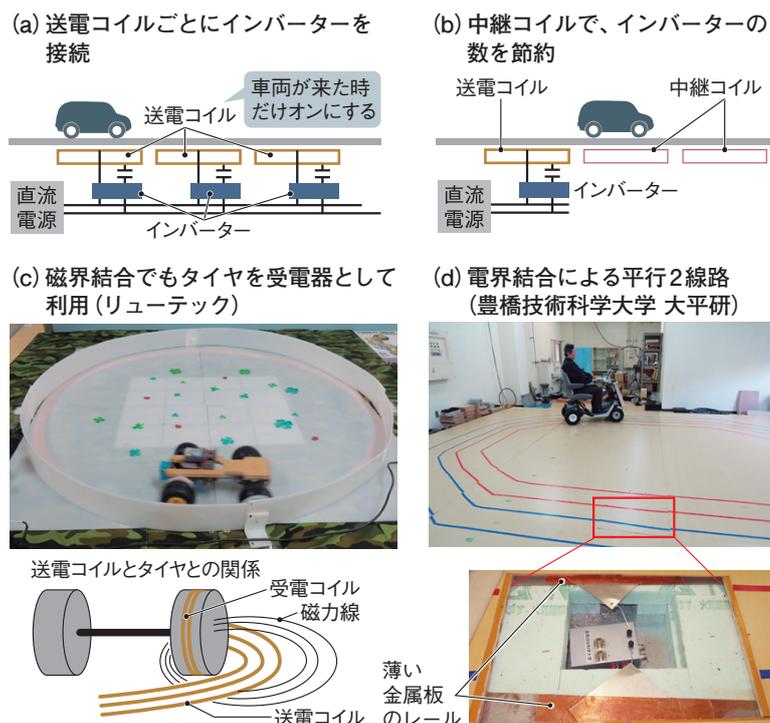


図4 実現方式に多くの選択肢

走行中給電を実現する技術提案例を示した。停車中のワイヤレス給電で用いられる見通しの磁界共鳴方式の送電コイルを多数並べる方式 (a) の他に、中継コイルを用いてインバーターの数などを減らす案 (b)、さらには、コイルの巻き線を道路に平行に配置する案 (c) や、電車の線路のような平行2線路を利用した電界結合方式を用いる案 (d) などがある。

注3) 試算例に約10倍の差があるのは、想定する送電コイルの長さや間隔の違いが大きいため。高橋氏の試算では、送電コイルを100m間隔として、1コイルの上に2台程度の車両があることを想定する。他の想定例では送電コイルの間隔がより短い。

線だけでも工事で長期間止めることがネックになるとみる。数十トンの大型トラックなどに対するWPTシステムの耐久性の確保も課題だという。「一度工事したら最低10年は持たせる必要がある」(高橋氏) からだ。

高橋氏は、課題が多い高速道路にこだわるよりは、まずは他のエリアでの実用化を考えるべきとする。例えば、EVタクシー乗り

場や空港の拠点間バス、工場内での無人搬送車 (AGV) などだ (図3)。「走行距離に不安のあるEVタクシーは事実上流しができず、タクシー乗り場で乗客を待つしかない。客待ちしながら充電できれば、充電に貴重な時間を取られる心配もない」(同氏)。

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が示した走行中給電のロードマップでは、2020年までにタクシー乗り場での実用化、2020年ごろに高速道路での一部区間での実験、2030年までに高速道路の登坂車線の一部区間での実用化、そして2050年ごろの東名高速道路のリニューアル時に長距離区間に導入する構想だ^{注4)}。

電界結合方式も有力な選択肢に

走行中給電の実現方式自体にも検討の余地は多い。最有力なのは、既に実用化や普及が見えてきた、停車中のEVに充電するWPT技術と互換性が高い磁界共鳴型WPTだ。送電コイルとインバーターをセットで道路に埋設する方式が検討されている (図4)。

高額なインバーターを送電コイルごとに敷設する代わりに、中継コイルを用いて敷設費用を圧縮する案もある。

一方で、停車中充電システムとの互換性を考えなければ、実現技術の選択肢は大きく広がる。期待できるのが、豊橋技術科学大学 教授の大平孝氏の研究室や奈良先端科学技術大学院大学 教授の岡田実氏の研究室が以前から研究している、電界結合方式のWPTである。タイヤのホイール部分を受電用電極として使えるため、受電器が軽量で実装も容易になる。

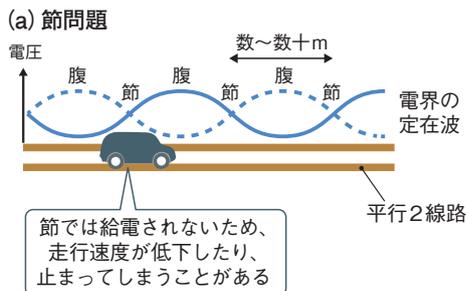
表1 走行中給電の実用化に向けた磁界結合方式と電界結合方式の比較

結合のタイプ	磁界結合	電界結合
周波数	数十kHz~10MHz	数M~数十MHz
電流を流すかどうか	コイルに大電流が流れる	電極に電圧が印加されるだけで、大電流は流れない
送受電アンテナの材料	Cuなど抵抗値の低い材料	Feなど安い金属が利用可能
電磁界の広がり方	送受電コイル周辺に広がりやすい	送受電の電極間以外には広がりにくい
漏電の可能性	送受電アンテナ間に大きな電位差は生じないため、比較的安全	道路材料の耐圧や水などによって電極間が短絡する可能性がある
給電可能な電力	数百kWまで大きな課題なし	タイヤ1個につき5kW程度まで

■ 実用化に有利 ■ 実用化に不利

図5 電界結合方式の“節問題”対策によりやく決定打登場か

電界結合方式で長く課題となっていた「節問題」のいくつかの解決策を示した。豊橋科学技術大学の大平研究室が2016年3月に発表した線路の一部に左手系回路を用いる方式は、有効な打開策になり得る。



(b) これまでの対応策

- ① 節にいる時は蓄電池やキャパシターの電力で補う
- ② 平行2線路を2組用意し、1/4λずらして敷設 (奈良先端科学技術大学院大学 岡田研)
- ③ 平行2線路の終端部分に変容キャパシターを使い、反射条件を変化させてクルマを常に“腹”に載せる (豊橋技術科学大学 大平研)

残る課題

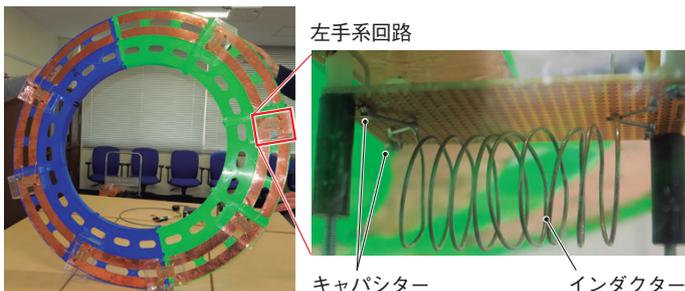
充放電が非常に頻繁になる。電池レスEV実現の目標に逆行

敷設費用が増大、受電側回路も複雑に

走行するクルマに腹が追従するようキャパシターを制御するのは容易ではない

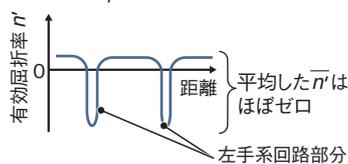
(c) 対応策④ 線路の一部に左手系回路を組み込み、定在波の波長λを無限大にする (豊橋技術科学大学 大平研)

試作した平行2線路の裏側



λが無限大になる理由

$$\lambda = \frac{1}{f \sqrt{\epsilon'} \sqrt{\mu'}} = \frac{1}{f \cdot n'} \rightarrow \infty$$



f: 周波数
 μ' : 有効透磁率

ϵ' : 有効誘電率
 n' : 有効屈折率

電界結合なら鉄製薄板が線路に

磁界共鳴型を含む磁界結合方式と、電界結合方式にはそれぞれ長所と短所がある(表1)。電界結合方式の最大のメリットは、道路への敷設コストを磁界結合型に比べて大幅に抑えられる可能性がある点だ。送受電デバイスが共に薄い金属板でよく、しかも大電流を流さないため、鉄(Fe)などの安い材料が利用できるからである。

一方で、電界結合方式にも課題はある。例えば、周波数を数MHz以上と高くする必要があったり、道路やタイヤの強電界に対する耐圧の点で給電できる電力に限界があったりする点だ。タイヤ1個でおおよそ5kWまで、タイヤすべてに受電器を実装しても、数十kWが限界となりそうだ。

課題はまだある。「道路が雨で濡れた場合の安全性に不安がある」(あるWPTの技術者)ことだ。電界結合方式の送受電器はいわ

ば大きなキャパシターといえる。そこに高い電圧が印加されるため、万が一水分などで短絡すると感電や発火事故になりかねない。この点について大平研究室は、「アスファルトなら一般に稠密で防水性は高い。ただし、安全性の評価はこれから進める」という。

送電用線路をメタマテリアルに

大平研究室や岡田研究室が推進する平行2線路の電界結合方式にはさらに別の課題もある。定在波の“節問題”だ(図5)。平行2線路上に電界の定在波が発生し、節部分で給電できなくなる現象である。

大平研究室では最近、ブレークスルーがあったとする。メタマテリアル技術の1つである左手系回路[†]を平行2線路に組み込むのである。左手系回路では有効屈折率が負値になる。すると線路全体での平均有効屈折率をほぼゼロにでき、定在波の波長が無限大になるため、節が発生しないという。 ■

注4) 早稲田大学の高橋氏は、WPTの開発当初によく語られた一般道路やその交差点などでの実用化は現時点では難しいとする。「敷設費用の安い大きな送電コイルでは、送電中のコイルの上に、WPT対応の車両と対応していない車両の両方があったり、人が歩いていたりするケースを避けられず、危険性が高い。送電コイルを十分小さくすると敷設費用が高騰する」(高橋氏)からだ。

[†]左手系回路=伝送線路を伝わる電圧と電流を、Maxwell方程式の平面波の電界ベクトルと磁界ベクトルのそれぞれ1成分に対応付けた上で、その有効誘電率と有効透磁率が同時に負値になるような回路。この場合、有効屈折率も負値になる。最も単純な左手系回路は、容量成分を持つ導線がインダクターで接地されている回路である。