

藤本 博志 Fujimoto Hiroshi

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授  
2017年より未来社会創造事業 研究開発代表者

特集 1  
OVERVIEW

## 走行中の電気自動車に路面からワイヤレス給電 国内初の公道実験を千葉県柏市で継続中

路面から電気自動車(EV)に無線で電力を供給する「走行中ワイヤレス給電」を可能にするシステムの開発が欧米を中心に進んでいる。この覇権争いに負けまいと、東京大学大学院新領域創成科学研究科の藤本博志教授は、国や20社以上の企業と連携して研究開発に取り組んできた。そして、2023年10月に千葉県柏市内で国内初の公道での実証実験を開始し、今も続けている。走行中ワイヤレス給電システムの実用化を目指す藤本さんに、これまでの道のりと今後の展望を聞いた。

## 小さくて軽いバッテリーでOK 「磁界共振結合方式」に磨き

スマートフォンを上に乗るだけで充電できる充電器。これと同じ仕組みを活用したのが、電気自動車(EV)の走行中ワイヤレス給電だ。「道路の中に送電コイルを埋入し、その上をEVが通ると車に搭載した受電コイルを通じて、ワイヤレス給電できます」(図1)。そう説明するのは、東京大学大学院新領域創成科学研究科の藤本博志教授。2017年にJSTの未来社会創造事業の採択を受けて以降、研究開発代表者を務める。

走行中ワイヤレス給電は、バッテリーを軽くできる点に意義がある。ガソリン車よりも航続距離が短いEVの航続距離を延ばすには、バッテリー容量を増やす必要がある。しかし、バッテリー容量を増やすと重くなり、それを運ぶために使うエネルギーが増えるというジレンマに陥る。しかし、走行中ワイヤレス給電が実現すると、小さくて軽いバッテリーで対応可能だ。また、バッテリーを小さくすることで車両コストも抑えられる。バッテリー製造に使用する金属資源には、供給不安のリスクがつきものだが、それも

低減できる。

現在、EVでのワイヤレス給電は「磁界共振結合方式」が主流だ。この方式は、磁界の変化によってコイルに電流が発生する電磁誘導を基本に据えたもの。EVに給電する原理としては、まず道路に埋入した送電コイルに電気を流し、磁界を生じさせる。その磁界の変化によって、EVの車体の下に取り付けた受電コイルにも電流を生み出す。道路上をEVが走行すると、2つのコイルが向き合い、送電側から受電側へ、電流が伝わる仕組みだ。未来社会創造事業の採択を受けてから、藤本さんらはこの技術に磨きをかけてきた。

## 給電区間は信号手前30メートル 10秒で1キロ分の充電が可能

磨き上げてきた点の1つは、電力伝送効率である。送電側から受電側に

図1 公道に埋めた送電コイルと実験車両



千葉県柏市のつくばエクスプレス(TX)柏の葉キャンパス駅付近の道路に埋入した送電コイルと受電コイルを搭載した実験車両。2023年10月に実証実験を開始した。

電気を供給する時は、できるだけ損失を抑えて効率を高めたい。そのため第一歩は、コイル間の距離であるエアギャップを短くし、安定させることにある。「磁界共振結合方式では、エアギャップが長いことや走行中の車体の上下動に伴う路面との距離の変動によって、電力伝送効率が落ちてしまいます」と藤本さんは解説する。

そこで、受電コイルの取り付け場所として選んだ部材が、車体の下にある「ロアアーム」である。路面との距離が最も近い位置にあり、走行中はタイヤと共に上下に動くため、路面との距離は変動しない。これにより、路面との

図2 走行中ワイヤレス給電システムの概要と効果

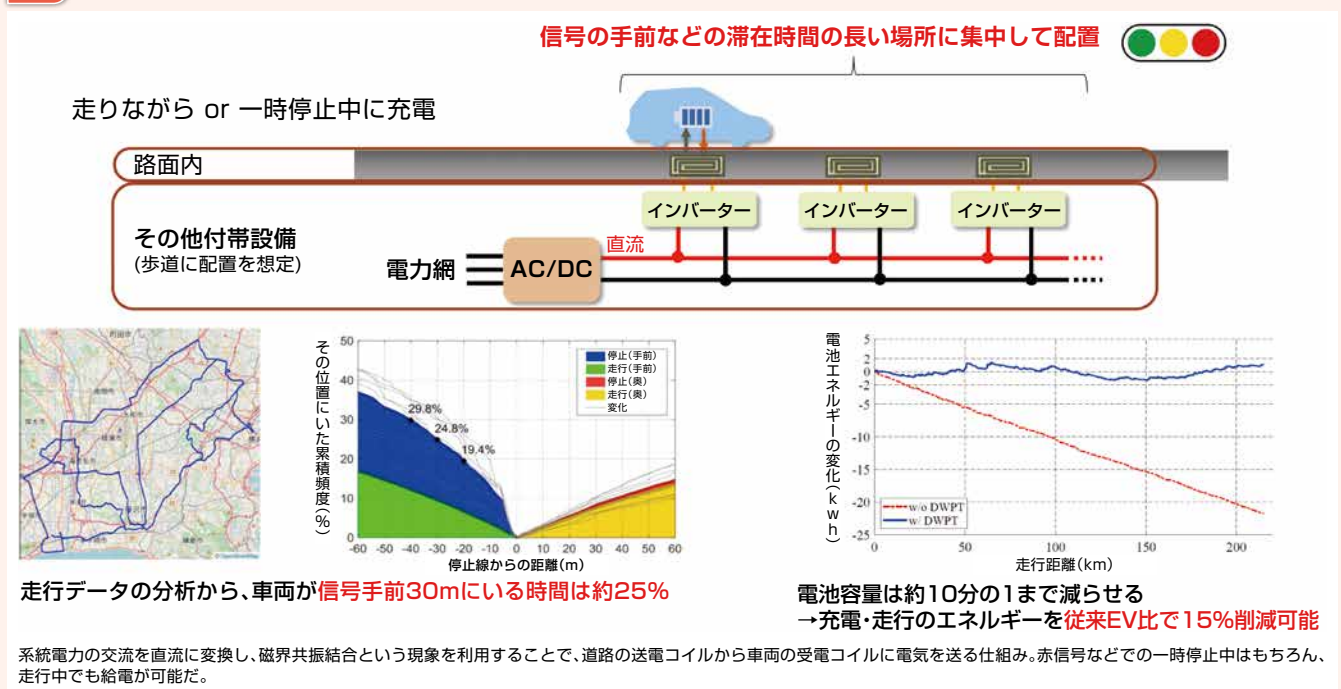
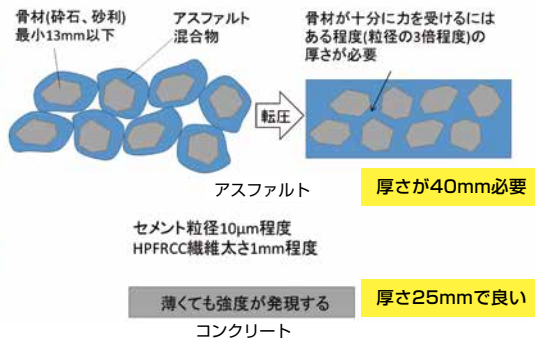




図3 本格研究で開発した高耐久プレキャストコイル

送電コイル一体型路面

- ・繊維補強コンクリートを活用した路面
- ・コイル付近に鉄筋を使わずに薄層埋設が可能



清水修, 藤本博志, 角谷勇人, 佐藤正憲:「走行中給電システムの路面への敷設と課題」第34回日本道路学会

繊維補強コンクリートを用いた送電コイル埋め込み型の路面。薄くても強度を発揮するため、埋め込み深さは2.5センチメートル程度で済む。これにより、車両に取り付ける受電コイルとのエアギャップを一定程度に抑えられる。

間のエアギャップを5.5センチメートルに抑えることができた。また、藤本さんは送電コイルを路面上にどの程度設置すれば良いかを検討するために、実際に車が公道で走行したデータを収集した。

走行データを基に、停止線からの車両位置とその位置にいた累積頻度の関係を考察したところ、全走行時間中の約25パーセントの時間は、車両が信号の手前30メートルの区間に滞在していることがわかった(図2)。この結果を受けて藤本さんは、送電コイルを信号の手前30メートルの区間に設置するのが最適ではないかという仮説を立てた。「信号の手前なら停車の時間が長いし、減速もする。全ての道路に設置する必要はなく、この区間内での給電で十分ではないかと考えました」と振り返る。

藤本さんはシミュレーションでこの仮説を裏付けた。EVを給電なしで走行した場合、220キロメートル程度走行した地点でバッテリーは半分以下になる。これに対し、出力25キロワットのコイルを2台搭載して信号の手前30メートル区間で給電した場合、バッテリー残量を維持できる。「1秒で約100メートル分を充電できるので、赤信号で10秒停止すると次の信号まで走れます」。このシミュレーションでは、バッテリー残

量の最大・最小値の差が小さいため、バッテリーに優しく、バッテリー劣化の軽減も期待できる。

本格研究で共同研究先が激増  
革新技術への投資に挑戦心

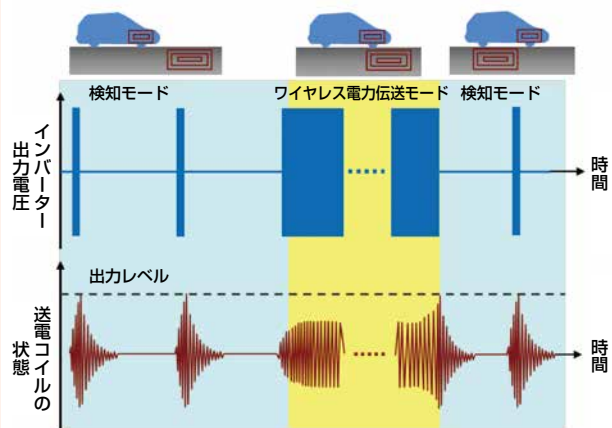
未来社会創造事業探索加速型の探索研究期間内に走行中ワイヤレス給電システムの基礎固めを終えると、一連の成果が評価されて、2021年に本格研究へと移行した。本格研究では公道実証を念頭に置き、研究室を置く東京大学の柏キャンパスと最寄りのつくばエクスプレス(TX)柏の葉キャンパス駅との間で実証実験として運行中の自動運転シャトルバ

スに着目した。「社会実装の第1段階は、特定の事業者が特定の車両で利用するシステムと考えています。道路インフラ側の負担を明確にできるからです」と藤本さんは説明する。

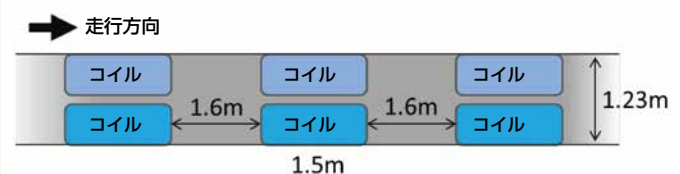
走行中給電の公道実証を実施するのは、産官学で組織する「柏ITS推進協議会」。ITSは高度道路交通システム(Intelligent Transport Systems)を意味する略称だ。柏市を「低炭素型交通都市」・「次世代型環境都市」とすべく、各種の事業を展開している。社会実装と同時に、藤本さんは世界も視野に入れる。「欧州各国を中心にすでに公道実証に取り組み、国際標準化に向けて技術を提案しています。このままでは出遅れてしまうので、

図4 受電コイル検知と送電電流制御

85kHzに共振する受電コイルを検知し高速に送電電流を制御



コイルの配置



一定の周波数に共振する受電コイルを検知し、高速に送電電流を制御する。

公道実証に乗り出し、遅れを挽回する必要があります」と藤本さんは真剣な眼差しを向ける。

当初は、自動車部品メーカーの日本精工と産業用電気制御総合メーカーの東洋電機製造から各1名の社員を藤本研究室で受け入れ、こぢんまりと研究開発をスタートした。しかし、危機意識への共感から、本格研究では共同研究機関・協力研究機関が劇的に増えた。新たに名乗りを上げた国内メーカーからは「日本発の技術を世界の技術へと発展させるべく、革新技術に投資していこう」という挑戦心を感じたと藤本さんは振り返る。

藤本さんらは公道実証を前に、送電コイルに関する技術を確認した。まずコイルと路面を一体化した高耐久プレキャストコイルの開発だ。探索研究では、送電コイルを路面に置いていたが、それを道路に埋設するため、高耐久プレキャストコイルを考案したのである(図3)。問われたのは耐久性。道路内と車に設置した送電コイルのエアギャップを極力短くする必要から、コイルの埋設深さは2.5センチメートルとごく浅い。路面が損傷し、万が一コイルが傷つけば、ワイヤレス給電ができなくなっ

てしまう。

また、丈夫さを持たせるために鉄筋コンクリートを用いようとしても、磁界に影響を及ぼしてしまうので使えない。そこで代わりに、繊維補強コンクリートを採用した。茨城県つくば市にある土木研究所の舗装走行実験施設で、軸重11トンの自動運転トラックで高耐久プレキャストコイルの上を40万回走行する試験を実施して、耐久性を確かめた。「そこで指摘された点を改めながら、約1年かけて完成させました」と藤本さんは当時の苦勞を語る。

### 無駄も漏えいもない検知技術 国際標準化に向け提案済み

自然界への漏えい磁界に対する安全性を確保する技術も開発した。磁界共振結合方式は自然界に磁界を生む。それが機器や人間に対して安全でないと社会実装は望めない。電波法では、一定基準を満たす高周波設備の設置には総務大臣の許可が必要だ。送電コイルは、その許可を得るために、自然界に生じる電磁界強度を許可基準内に抑える必要がある。また、世界保健機関(WHO)公認の非政府組織が示す、電磁界強度の水準を

超えてはならない。

そこで、藤本さんらが電磁界強度をそれぞれの基準値より抑えるために利用したのが「磁界の打ち消し合い」である。高耐久プレキャストコイルには、左輪用と右輪用2つの送電コイルが埋設されている。「2つのコイルに逆向きに電流を送り、逆向きの磁界を生み出します。10メートル程度離れた場所では磁界が打ち消し合い、電磁界強度を抑えることが可能です」と藤本さんは原理を説明する。

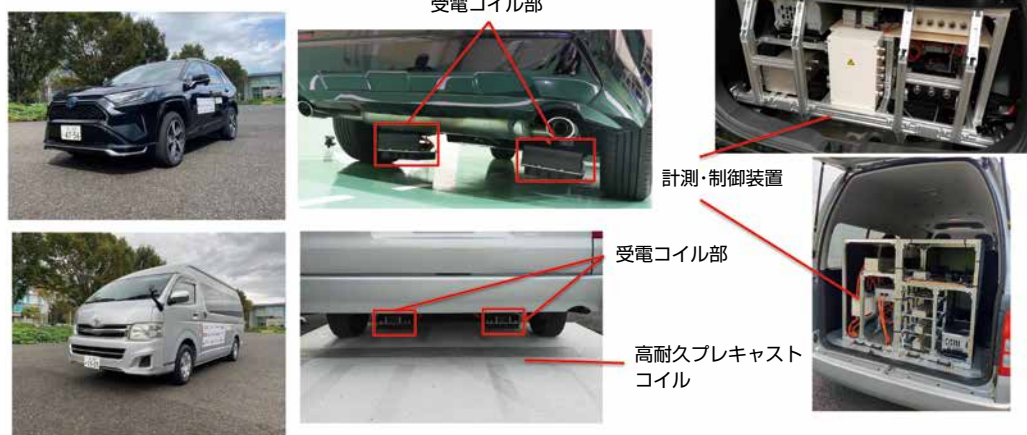
さらに、給電車両の検知技術も開発した(図4)。送電コイルに常に給電時と同じ電気を流し続けておくのは、無駄が大きい上に漏えい磁界で電波法上の許可基準を超えてしまう恐れもある。そこで、受電コイルを持つ車両が100メートル程度の距離に近づいたらコイル検知モードに入り、受電コイルが送電コイルの直上にある時のみ送電をする仕組みを考案し、無駄も漏えいもない検知技術を開発した。車両にはGPSを載せた4G通信端末を搭載し、送電装置には4G通信端末を組んだ。「車両検知に外付けセンサーを使用しないため、送電コイルで把握できる情報だけで検知可能です。『東大方式』と呼ばれています」。

この東大方式は、国際標準化団体の国際電気標準会議(IEC)に提案済みだ。協力研究機関のトヨタ自動車や共同研究機関のデンソーと共に文書をまとめており、IECではすでに正式文書として受け入れられている。2023年10月、こうした研究開発の積み重ねを経て、公道実証がいよいよ始まった。実施主体は、藤本さんが部会長を務める柏ITS推進協議会新車両検討部会。国土交通省道路局が

#### 図5 車載システム

・公道走行可能かつ25kW出力に対応可能な走行中給電システム搭載車を2台開発

- 市販車をベース車両として活用
- 車両側の電力制御を活用し、満充電に近い状態でも受電可能

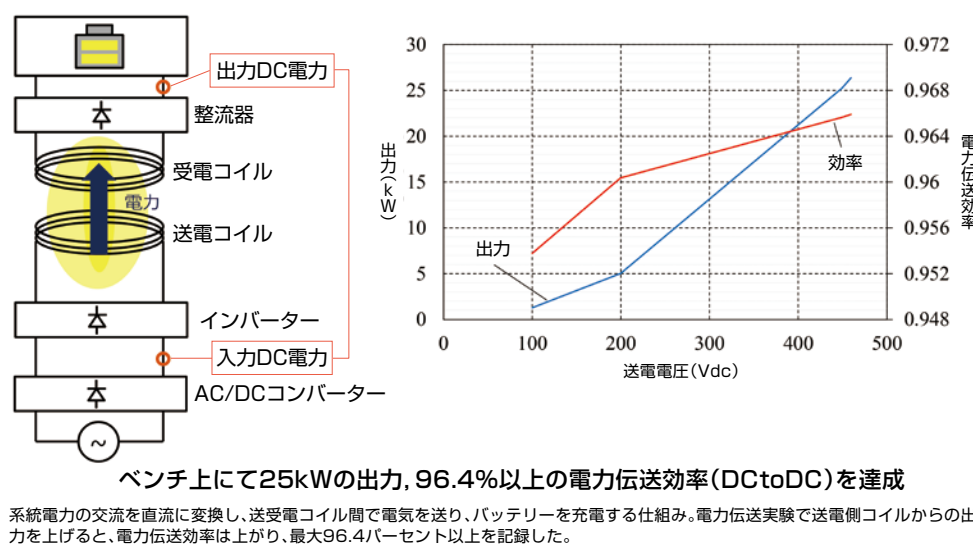


H. Fujimoto, O. Shimizu, S. Nagai, T. Fujita, D. Gunji, Y. Ohmori, "Development of Wireless In-wheel Motors for Dynamic Charging: From 2nd to 3rd generation", 2020 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer, pp. 56-61, 2020.

車体の下に取り付けられているのが受電コイル、車内に搭載されているのは計測・制御装置。



図6 電力伝送実験結果



なった。

その結果、送受電のコイル間で電気をやり取りするための共振周波数が変わってしまった。それでも、電力伝送効率を保つために、システム全体で強靱さ(きょうじんさ)を高める必要性を強く感じたと藤本さんは振り返る。システムの最大の強みである電力伝送効率は96.4パーセント以上(図6)。当初の92パーセントから4.4パーセントも引き上げた。「送受電コイル間だけの効率ではなく、系統の交流を直流に変換してからバッテリーまで

公募する「道路に関する新たな取り組みの現地実証実験(社会実験)」にも採択されたのである。

### 電力伝送効率は96.4%以上 公道実証、今春まで延長

藤本さんらはエンジン車タイプのシャトルバスでの走行データを基に、公道上の何カ所に送電コイルを設置する必要があるか、シミュレーションを実施。運行区間内にある信号の手前5カ所と停留所3カ所の全てに設置すると、バッテリーの充電量は右肩上がりになると見込まれた。「8カ所全てに設置するのは多いとわかりましたが、何カ所がベストかを精緻に計算するには基礎データが必要です。現在、公道実証を通してそのデータを収集しているところです」。

公道実証に用いる車両は市販車を改造した2種類。EV化したトヨタの「ハイエース」とプラグインハイブリッド(PHV)車の「RAV4」だ。車体の下に受電コイルを取り付け、25キロワットの出力を持つ送電コイルに対応可能なシステムを整えた(図5)。PHVも用意したのは、自動車交通の脱炭素をどのように実現していくか、国によってシナリオが異なるからだ。必ずしもEV一本で突き進むと

は限らない。「シナリオへの対応力を高めるためにEVだけでなくPHVも併用しました」。

送電コイルは、柏キャンパスと柏の葉キャンパス駅との間にあるT字路の手前に、高耐久プレキャストコイルの形で近接する2カ所に埋め込んだ。近くの歩道上にインバーター装置を据え付け、そこから地下に埋設したケーブルを通して送電側のコイルに電気を送る。ただ、現場には想定外が付きもの。このT字路近くでは、歩車道の間想定にない鉄骨部材が埋まっていた。これを避けるため、ケーブルを長くせざるを得なく

の全体効率です。そこに価値があります」と胸を張る。

電力伝送の高効率を武器に、世界市場まで視野に入れる走行中ワイヤレス給電システム。幸い、社会実装の前段階ともいえる公道実証の期間が、地元行政や国土交通省の理解の下、2025年3月まで半年間延長された。「その分、さまざまなシナリオを設定し、多様な走行パターンを試せます。多種多様な走行データを積み上げて、社会実装に役立てていきます」。藤本さんは笑顔で、今後の展開に意欲を見せる。

(TEXT: 茂木俊輔、PHOTO: 石原秀樹)



今回の実証実験では研究室の若手メンバーが大活躍しています。彼らのような将来有望な学生がもっと増えるといいなと思っています。