



EV社会の“道路・舗装路面を活用した走行給電”がインフラの常識を変える



堀 洋一 氏

HORI Yoichi

東京理科大学理工学部電気電子情報工学科教授
東京大学名誉教授

2050年のカーボンニュートラル実現に向けてグリーン成長戦略が策定され、2035年までに乗用車新車販売で電動車100%の実現が目指されている。特に、電気自動車(EV)においては、蓄電池(レアメタル)依存を引き下げる走行中給電に関する研究や開発等が進められている。そこで、東京理科大学理工学部電気電子情報工学科教授の堀洋一氏に、カーボンニュートラル実現という視点からEVの将来像と、走行中給電の研究開発の概要等について話を聞いた。

聞き手は、国土交通省国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路環境研究室の大城温・研究室長。

1983年東京大学大学院修了。東京大学助手、講師、助教授を経て、2000年東京大学電気工学科教授。2015年同大学院新領域創成科学研究科教授、2021年から現職。キャパシタフォーラム会長、次世代自動車振興センター代表理事、世界電動車両協会WEVA会長、自動車技術会副会長等を務める。愛媛県出身。

—— 本日は、堀先生が研究されてきた電気自動車 (EV) や走行中非接触給電についてお伺いします。最初に、研究のきっかけや取り組まれている研究テーマ等についてお聞かせください。

堀 私は少年時代から鉄道マニアで、クルマに関しては父が軽トラにはねられて逝去したこともあり、何となく敬遠していました。運転免許は、アメリカに1年ほど滞在したときに、やっと取得したほどです。それが今では (公社) 自動車技術会の副会長ですから、人生はわからないものです。

大学では電気工学・鉄道システム工学で著名な曾根悟東京大学名誉教授の研究室で、インバータ電車の研究をしていました。いわゆるパワーエレクトロニクス¹⁾です。教員になってからは制御工学、特にモーター、サーボ、メカトロニクス、ロボットなどに興味をもち、その方面の研究をしていました。

あるとき、電気自動車は電気モーターで動くのだから、ガソリン車には逆立ちしてもできない運動制御ができることに気づきました。キーワードは、フィードバック制御です。鉄道では当たり前である粘着制御を適用することで、クルマの燃費は数倍になるという可能性を、実車をつくって示したのが、EVの分野に入ったきっかけです。EVのモーション制御という技術で、例えば、タイヤの幅を半分にして空気圧を高くすれば、燃費は一遍に数倍になり、カーボンニュートラルへの貢献はかなりあります。電気自動車のモーションコントロール分野をつくりたかったというのが動機で、個人的には学問的興味が主で、“脱炭素”に関する視野はさほどありませんでした。

—— 研究の後継はどのようなになっていますか。

堀 私の講座の後任者は現在、ワイヤレスインホイールモーターをやっていますが、その中には電気モーターの制御性を生かしたEVならではの制御がきちんと入っており、EVならではのエネルギー問題への貢献になると思います。今のEVはガソリン車の延長線上にある技術ですので、電池ということになってしまったことありますが、私は制御によるEVの脱炭素への貢献を主張したいですね。EVの特長は、脱炭素だけではありません。電源構成によってはハイブリッド車のほうがはるかに優れています。それゆえ、トヨタ自動車の豊田章男社長が「これが日本流のカーボンニュートラル」と主張したいのでしょうし、それは正しい意見だと私は思っています。

電池製造に対する外圧により 日本の製造技術の将来は？

—— EVは、走行段階だけでみればCO₂排出量がゼロですが、来年度から国土交通省ではEV等の電動車の製造段階から廃車までのCO₂排出量の算出を検討することがマスコミ等で報じられました。EVのライフサイクル全体を通したCO₂排出量の削減や、EVの普及によるカーボンニュートラルの実現に向けた課題についてお聞かせください。

堀 私は、EVの特長を脱炭素だけに求めると道を誤ると思っています。これは水素自動車も同じです。再生可能エネルギー (再エネ) や電池EVの導入には大量の電池 (バッテリー) が必要です。その電池をつくるための電気を、CO₂を出しまくりながらつくっている日本は、世界からは袋だたき状態です。そういう国では電池をつくってはいけないという理屈を盾に、世界は日本の電池産業をつぶしにかかるでしょう。現に、世界の電池の日本のシェアは数%で、7~8割は中国、残りはドイツなどです。製造技術は日本で生まれたようなものののに、全固体電池の将来は大丈夫なのかと気になっています。

(一社) 日本自動車工業会会長でもあるトヨタ自動車の豊田会長は、かなり前から「これでは日本ではものづくりはできなくなる」と警告を発し、内燃機関車をすぐ廃するのではなく、順番を間違えないようにするのが日本流カーボンニュートラルであると述べています。ハイブリッドカー (HEV) がエコカーから外されるという日本車つぶしへの、まともな反論であり一理も二理もあると思います。世界は日本に不利なようにルールを変えようとしています。大量の電池は外国、とくに中国から買うしかありません。つまりEVや再エネ導入に加担することは、日本の自動車産業を衰退させ、電池生産においては中国とドイツなど欧州を利するだけであるとも言えます。

ご存じのように、非化石証書というものがあります。CO₂排出の大きな電力でものをつくっても、非化石証書を購入することによりCO₂を出さない電源でつくったとみなす仕組みで、この秋から再エネ価値取引市場と高度化法義務達成市場の2つに分け、電力量 kWh あたりのお金を払うことになります。しかし、日本ではそもそも再エネが少ないため、取り合いになってしまうし、本当のカーボンニュートラルではないと思います。これだけでも電池からの脱却が必須の課題だと思い、私は「電池を使うのをやめるのが一番良い」と思っています。



走行中給電と蓄電池によるEVの違いは？

—— 研究されている走行中給電の概要と特長、現在の開発状況についてお聞かせください。特に、走行中給電と蓄電池によるEVの違いについてご教示ください。

堀 走行中給電とは、EVを電力系統につないで直接エネルギーをもらって走る仕組みです。パンタグラフや線がないと線路上しか走れない電車のイメージです。ただ、自由に動き回れないとクルマではありませんので、例えば20 km程度は自分で走れないと使えないでしょう。これなら、200～300万回の充放電寿命のあるスーパーキャパシタ²⁾ならおそらく走れるでしょう。

粘着制御等が一般的になると、クルマの使うエネルギーはもっと減るはずですから、将来的には50 km程度は自分で走れ、充電が足りなくなれば給電されている交差点のあたりに行くとか、高速道路にちょっと行ってくる。スーパーキャパシタがかなり良いのではないのでしょうか。何といても、これは化学電池ではなくて、物理電池と言われるように化学反応を使っていないので寿命が無限にあるという感じなのです。

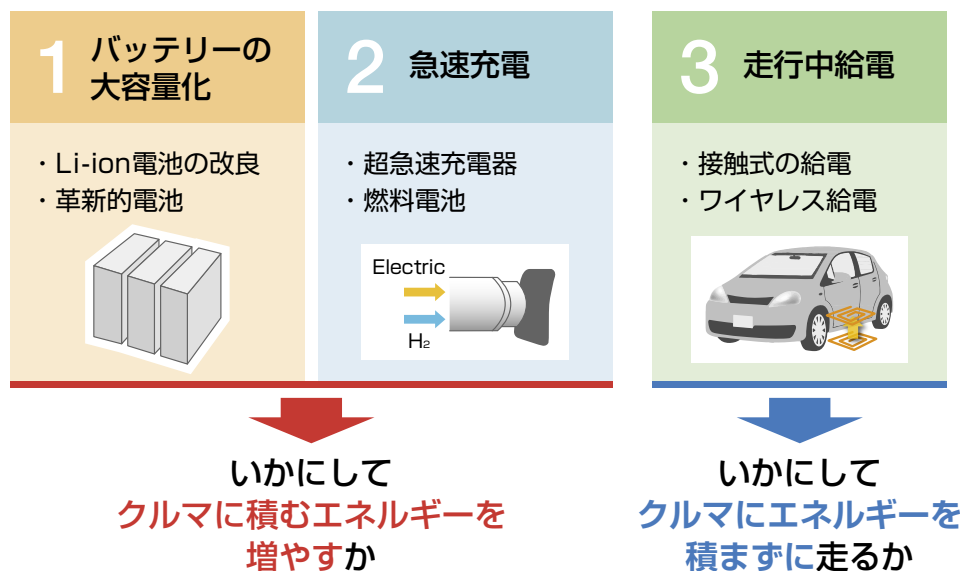
走行中給電は、いかにしてクルマに積むエネルギーを少なくするかであり、電池EVの、いかにしてクルマに

積むエネルギーを大きくするか、という点では対立する概念であると言えます(図-1, 2)。

—— 走行中給電は、接触式か非接触式かで問題はありませんか。

堀 ご指摘の点は、情報ネットワークが光ケーブルの大幹線ですぐそこまで来ても、最後の数mはWi-Fiが担うこととよく似ています。昔はイーサネットでPCまでつないでいましたが、いつの間にかWi-Fiが主流になりました。接触式も非接触式もコンセプトは同じで、実現手段が違うだけです。仲間と言えます。

電池EVは当面は大事な技術ですが、前述したように、日本は早々に電池からの脱却を実現しないと大変なことになると警鐘を鳴らしています。EV化の選択肢をたくさん持つべきで、その一つが走行中給電です。将来を見据えた時間軸を入れた議論をしないと、本当に道を誤ってしまいます。EVも走行中給電に関しても、明日からいきなりそんな世界になるわけではありません。電気自動車企業・テスラの共同創設者であるイーロン・マスクは、スーパーキャパシタが良いと明言し、イーロンロードという電化道路の研究開発をしています。単に、クルマをつくっているだけではありません。私も彼の行動に同意します。



(出典: 郡司ほか「走行中ワイヤレス給電の市街地道路への展開に関する基礎検討」, 自動車技術会2018年春季大会, No.95, 2018より引用(原文は英語表記))

図-1 EVの航続距離をのばす3つの方法(提供: 堀氏)



図-2 モーター／キャパシタ／ワイヤレスの概念（提供：堀氏）

高速道路の給電レーン，次に一般道の交差点手前30mの電化を

—— 走行中給電システムの導入には、道路側でもインフラ整備やハード・ソフト両面の技術開発が必要だと考えます。道路側で必要となるインフラの概要や規模、技術開発についてお聞かせください。また、走行中給電を段階的に導入する場合、先行的な導入が想定される道路や車種等についてのイメージがあればお願いします。

堀 走行中給電と道路の係わりに関して、ワイヤレス走行中給電で注意すべきポイントは、停車中給電と走行中給電はまったく別の技術であることです。走行中給電では、地上設備を簡単なものにしなければなりません。送電側と受電側が高速の制御信号を交わすような方式は望ましくありません。道路を電化したら膨大なコストがかかると思っている人が結構多いのですが、試算をすると日本中を電化するには大まかですが5,000億円ぐらいでできます。

ただ数百kmにもわたって敷設する必要があるし、メンテナンスも大変です。高速道路の遮蔽板のような手軽さで設置しなければなりませんし、また、おそらく10%ぐらいはいつも故障しているでしょう。そのため送電コイルやその制御装置は、自分が故障しそうになったらSOSを

出し、すぐ作業員が駆けつけて差し替えれば修理完了というくらいの手軽さが理想的です。

数十年～百年ぐらいをかけてインフラがつくれることにも考慮が必要です。最初は、高速道路の給電レーン、それも少しずつ始めてゆく、次に一般道路の交差点の手前の30mぐらいの電化、これは準走行中給電ということもあります。最初は、電池EVを搭載する電池を減らすという効果があり、そのうちインフラが整ってくると電池の量はどんどん減っていく。ちょうど、交通系ICカードにオートチャージする金額の設定に似ています。最初は念のためにと1万円ぐらい入れていませんでしたか？ いまは2,000円ぐらいでも大丈夫でしょう。これが電池の量に対応します。

問題は、こういうインフラをつくることによって、誰かが利益を上げる、儲かるという仕組みをつくることです。国がつくってくれるということでは、立ち行かないのではないかと。そこで、誰かがそういう仕組みをつくってくれないかと思っています。

一方、クルマは少々インテリジェントでも良いと思います。いろいろな電化方式（誘導、共振、マイクロ波）等に対応し、電気のかけらさえあれば走れるクルマでないと、誰も買わなくなるでしょう。



給電は一方式に限定せず クルマ側での対応がベスト

—— いろいろな給電方式が並立すると、インフラを整備する側からは「1つの方式で」やりたくなると思います。そこが普及への壁になるのではと思いますが、その点はどうにお考えでしょうか。

堀 私はまったく反対の考えで「電化方式はいろいろありますよ」と、クルマ側で対処するというのが良いと思います。道路は国土交通省がつくってくれるということになると、日本人はつい、どの方式が一番良いと比較したがりませんが、高速道路会社ごとにつくりやすい土地柄もあると思いますので、それぞれでつくってクルマはどこでも走れるようにする。

ヨーロッパで走っている電気機関車は、電源は少なくとも4種類以上走れます。直流の1,500 V、3,000 V、交流の20 kV、25 kV、周波数もちょっと違う。そういうところを直通できる機関車等は多数ありますから、クルマも似たような感じで良いかもしれません。というのは、クルマのほうがサイクルは短いので、すぐ変えていけるだろうと思っています。

—— インフラ側は何十年も使い続けることが前提なので、何種類かあったとしたらクルマ側がそれらに対応していくということですね。

堀 道路を20年、30年、40年というオーダーで、古くなったから舗装し直そうとなったとき、ワイヤレス給電の装置も、「今度出ているもののほうが良さそうだから変えよう」といったこともあり得ると思います。そのときに、あまりスペックが決められていると、昔のテクノロジーを引きずってしまいますね。ある程度の余地を残しておかないといけないという気がしています。

先ほども言いましたが、誰かが儲ける仕組みをつくれませんか。電車の場合は、インフラと上を走る車体は同じ会社が持っているけれど、道路の場合は、誰かがつくってくれて、上を走るクルマは別の人がつくり、一緒ににはなっていません。どの国もそうです。ただ、これはひょっとすると自動車メーカーが道路も面倒を見るということになると、大分変わってくるかもしれません。逆にそうならないとクルマが売れないということになるのかもしれないから、その辺は考え方が変われば良いのかなという気もしますが、これはよくわかりません。

—— 確かに、給電インフラは誰が整備して、どんな財源

(仕組み) でつくっていくかについては、幾つかのやり方がありそうな気がしますね。

堀 それを考えていただければありがたい。誰かが儲かる仕組みができるとすごく良いと思います。

給電のインフラ整備には 自治体方式等のケースも

—— 今後道路のインフラ整備を進めていくときに、こんなやり方があるといったイメージがあればお聞かせください。

堀 並行的にいろいろなところで行うのが良いという気がします。高速道路を整備する、あるいは新しいものをつくるといったときに、入り口のあたりとか、給電レーンを設けられるところに設けたら良いと思います。つくるときにこれを入れ込むのは費用的には微々たるものですが、高速道路を「1週間とめて電化」等は難しいと思います。一般道路のほうは、割と交差点の手前30 mにクルマはよくとまるので、そこを走行中に比べてゆっくりと走りましょう。これで大体その町に行ったら電池は減らないぐらいには給電できる。そんな試算をいろいろやっていますから、「我が町はこういう設備を持っていますので、どうぞ観光に来てください」というボトムアップもあると思います。

うまくブームにでもなってくればワイヤレスの給電は自治体がやってくれ、「それなら行ってみよう」となるでしょう。ある意味、地域間の競争といったやり方もあり得るということです。行政がやると言う、幾らかの人がついていく面も結構あるのかなと思います。

—— インフラ整備側が考えると、このクラスの道路からつくるべき等という考え方になってしまいがちですが、そうではなくて、給電のインフラ整備には、いろいろなやり方があり得るという感じがしてきました。

堀 でもそう考える人は少ないと思います。大部分の人は「法律等ができたら動きます」となるのではないのでしょうか。

しかし、この話はそういうことではなく、誰がメインプレーヤーになるかがよくわからないから、ボトムアップで共通の未来を描いて、そこに向かってそれぞれができることを努力することに尽きるのではないかと思います。今回の特集テーマである「カーボンニュートラル」も、菅前首相が2020年10月、「2050年までに二酸

化炭素ネット排出量ゼロ（カーボンニュートラル）にする」と言ったことが、契機となっています。省庁等はそこから始まって動くわけです。そうすると、民間はついていきます。どうしてもこの国は、国が動いて、国の研究所機関等がバックアップしてという仕組みでないと動かないのではないかと感じています。

中国等に負けない自由な発想でより良い施策を

—— 走行中給電における道路側で必要となる取り組みの他に、カーボンニュートラルに向けた道路施策に期待すること等についてお聞かせください。

堀 政策やルールに関しては専門ではないので断定的なことは言えませんが、大事なことは、省庁が一体となって進めないと実現は難しいということです。省庁の壁がある、などと言っていると、トップダウン的な政策が機能する中国が、あっという間にやってしまうことは明白です。電池の大量使用よりも国益にかなうことは明白だからです。

中国がすごいのは、例えば電気自動車メーカーは200社ぐらいあるし、電池メーカーも同じぐらいあります。どこの電池をどのクルマ会社が使うかは、マトリクス状になっていて、日本のようにある自動車メーカーが特定の電池製品を使うといったことはありません。だから完全な市場になっていて、半ば無節操とも言えますが、トップ自らがそうやっている。中は資本主義的な競争社会になっていて、育つメーカーもあればつぶれるメーカーもあります。中国は全体で国益にかなうと思うと、すごい勢いでやっちゃって太刀打ちできません。技術では勝っているのに、施策で負けてしまう。この日本にはそうした事象がたくさんあります。

技術開発等における日本の改善ポイントは

—— 最後に、今後、自動車の技術開発に限らず道路やエネルギー供給、物流等、様々な分野の技術開発も重要と考えます。このような分野横断的な取り組みの必要性について、考えをお聞かせください。

堀 正直こういったことはよくわからないので、この場を借りて、技術開発において我が国の欠点や改善すべ

き点について3点ほど述べてさせていただきます。

まず1点目は、「白黒をつける習慣をやめること」です。日本人はなんでも白黒をつけたがりです。例えば、「『ガソリン車』と『EV』はどちらがカーボンニュートラルなのか?」、「『電池』と『キャパシタ』はどちらが良いのか?」、「『原子力』ですか? 『再エネ』ですか?」等、二者を対立させ、どちらかをつぶそうとする傾向があります。ワイヤレス電力伝送（WPT）技術に関しても「『磁界方式』ですか? それとも『電界方式』ですか?」等、本当はどちらにも価値があるのですが、共存することを許さず、集中と選択という、もっともらしい言葉がまかりとおってしまうのです。

日米のルールブックの相違

堀 2点目は、「短期の成果を求めないこと」。これは、やって良いことが書いてある日本のルールのつくり方が根源にあります。アメリカのルールブックには、逆にやってはいけないことが書いてあり、対比をなしています。例えば、選挙にインターネットを使うのは、日本では「そんなことはどこにも書いていないから、やったら駄目」となりますが、アメリカでは「やってはいけないとはどこにも書いていないから、やろう」となります。こんなことが、世の中にはたくさんあります。

国家の研究開発プロジェクトに関しても、やることは全部書いておかねばいけません。もし書いていないと、「○○はやらないのか?」と有識者等が問う。それが行き過ぎると、「書いたことは必ずやらなければならない」ということになり、研究期間が終わるときに書いたことが全部完了していないと、プロジェクトは最低評価となり、次の予算がゼロになりかねません。将来を見通せる準備ができたという貴重な成果よりも、書いたことに対する達成率が評価される。これでは、誰もが尻込みしてしまい、チャレンジなことは書かなくなってしまう。国家の研究開発プロジェクトがこじんまりした優等生ばかりになる元凶の一端が、ここにあると感じています。

学識経験者の意見を聞きすぎない

堀 3点目は、「棲み分けを求めないこと」。例えば、他省庁等が、国土交通省にあるよく似たプロジェクトを



見つけてきて、これとあれとはどこが違うのかと棲み分けを要求したりします。それが新規性、独創性だと勘違いしている。そんなことが最初からわかっていたら、研究する必要なんてありません。たくさんの人が似たようなことをやるのは、効率が悪いのではなく、そこに価値を見い出しているためで、素晴らしいことです。

それと、著名な学識経験者の意見を聞きすぎないこと。彼らは、自分の成功体験をもとに意見するため、ときに自慢話をし、畑違いの分野にも口出ししかねません。それらを委員会側が妙に重宝するから、結果的に收拾がつかなくなってしまう。そうならないためにも、彼らに対して諭してくれる人物をもつことが重要です。

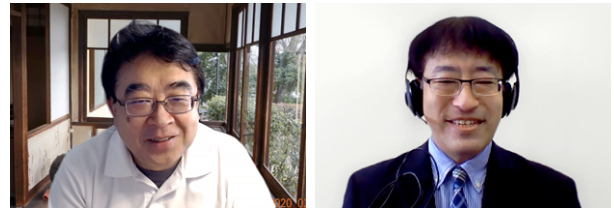
——先生のお話は、多くの先生からもご指摘を受けています。やはり研究ですので、3年後にどうなっているか約束をと言われても難しいのは、ごく当然なことだと思います。

堀 特に、電気自動車の走行中給電等はそうだと思います。他のものは、例えば5年プロジェクトで1年ごとに見直して、真ん中あたりで、評価をするというのは当てはまるものもたくさんあると思います。しかし、クルマの世界をひょっとすると変えてしまうかもしれないものは、そんなにうまく計画は立てられないと思います。技術的に完成していないものも結構ありますし、社会システム的にはもちろんその上にあります。ところが、中国や最近のEU、アメリカ等を見ていると、長期的ビジョンに立って計画を立てています。特にドイツに至っては、年度を飛び越えてやってしまう。そういうところに対して、日本は多分ビハインドになってしまいますね。「何で？」と言うと、「そういうことになっているから」みたいな感じで、打破できないわけです。特にこの話はそうだと思います。

ビジョンを持った給電への取組を

——道路はインフラ整備に関係していく話であり、整備していくにも長期間かかるでしょう。その意味でも、ビジョンを持って給電を考えていくことが重要なのですね。

堀 昔から、交通安全環境研究所のプロジェクトでハイブリッドバスをつくるのに係わったりしてきました



WEB会議でのインタビュー状況。堀氏（左）と大城氏（右）

が、その時点で誘導電力伝送（IPT）をやっていました。走行中の給電に関しては、そこら辺まで来ているのです。高速道路会社も非常に興味を持ってき始めており、5年ぐらい前とは随分と意識が違います。その意味でも、本命の国土交通省が本気モードに入りつつことは、とても喜ばしいと感じています。

——今後ともぜひいろいろ教えていただければと思います。本日は貴重なお話をありがとうございました。

脚注

- 1) 電力用半導体素子を用いた電力変換と制御に関する技術で、電力変換と制御を中心とした応用システム全般の技術。
- 2) 数F以上の非常に大きな静電容量があるコンデンサ（キャパシタ）。

インタビューを終えて

大城 温 OSHIRO Nodoka

国土交通省国土技術政策総合研究所道路交通研究部
道路環境研究室長

インタビューでは、堀先生が熱く持論を語られ、予定より多くの質問に回答していただいたため、時間を超過するほど濃い内容となりました。電気自動車(EV)の利点は、単に化石燃料を燃やさないことによる脱炭素だけではなく、EVならではの制御による燃費(電費)向上が大きいことを強調されていたことが最も印象的でした。また、研究支援のあり方や給電インフラ整備の考え方についてもご示唆をいただき、有意義なインタビューでした。