

寄稿

# 電気自動車の充電に向けた ワイヤレス給電技術を開発

高橋 俊輔

昭和飛行機工業 IPS・EV事業室 技師長



昭和飛行機工業では、電気自動車 (EV) や電動バスなどに向けた大容量の電力を供給するワイヤレス給電システムの開発に取り組んでいる。現在、バスを中心に進んでいるワイヤレス給電システムの取り組みをはじめ、走行中給電を可能にするワイヤレス給電システムについて解説する。 (本誌)

本記事は、2011年6月16日に本誌が主催したセミナー「ワイヤレス給電シンポジウム 2011」での講演の内容を基に加筆・編集したものである。

現在、電気自動車(EV)ではそのほとんどが接触式の充電器を用いている。しかしながら、接触式の充電器は使いにくい点が多くある。家庭用の商用電源を用いる普通充電器ではそれほど苦にならないが、急速充電器の場合はコネクタが大きい、重い、抜き差ししにくいなど、操作面で煩わしさがある。これまで、米SemaConnect社の自動充電器やホンダのロボット・アームを使った充電器など、操作性を高める仕組みを取り入れたものがあるが、いずれもコストの増加につながる。

さらに、接触式の充電器では安全性や保守性の問題が付きまとう。安全面については、さすがに感電や地絡といったことはなかなか起きないだろうが、やはり雨の中でコネクタ

を挿すのは抵抗感がある。保守性については、接点の汚れや摩耗などが発生するため、点検や部品交換といった作業を頻繁に行う必要がある。

これに対して、非接触式は充電の操作が不要で、充電時の安全性についても大きな問題はなく、保守に掛かるコストも抑えることができる(図1)。そこで我々は現在、雨の中でも安全に充電可能な非接触式の充電システムの開発に取り組んでいる。

### 自動車用途には三つの方式

ワイヤレス給電システムを手掛けていると言うとコンセント・メーカーに間違えられることがあるが、我々は充電器メーカーの一つだと位置付けている。ワイヤレス給電は、家庭用のコンセントのように交流(AC)を交

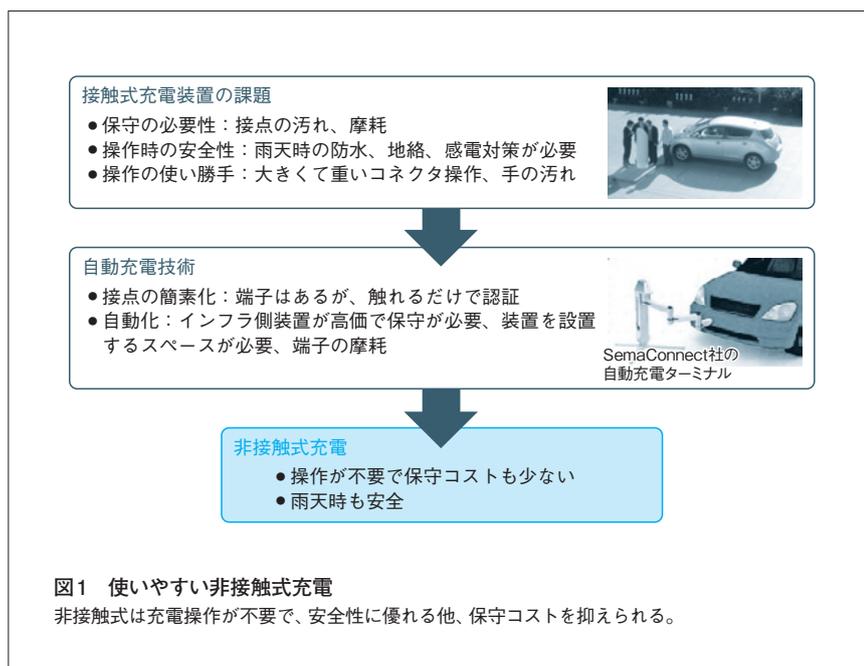
流(AC)で送るのではなく、ACを整流して直流(DC)に変換し、離れた場所に電力を供給する充電器である(図2)。

自動車の用途に向けたワイヤレス給電には、大きく分けて①電磁誘導方式、②電波方式、③磁界共鳴方式の三つがある(表1<sup>1)</sup>)。このうち①の電磁誘導方式は、コイル間に発生する電磁誘導を利用する方式である。19世紀からあって既に成熟した技術である。微小電力から100kW以上の大電力まで効率良く伝送できるのが特徴で、実際にさまざまな機器で実用化されている。自動車用途でも開発が進んでおり、電車などの用途でもいろいろと開発事例がある。電磁誘導方式には1次側コイルと2次側コイルを正対させるチャージ・システム(静止)式と、1次側のコイルを引き伸ばし、給電線として配置できるレール・システム(移動)式がある(次ページの図3)。

静止式では、三洋電機が任天堂の家庭用ゲーム機「Wii」に向けたワイヤレス給電が可能なクレードルと充電電池のセットを販売している。移動式では、カナダBombardier社のTransportation部門が給電線上で常に給電する電車へのワイヤレス給電を開発し、2010年11月からドイツで実用化に向けて動き始めている。

### 発表相次ぐ磁界共鳴方式

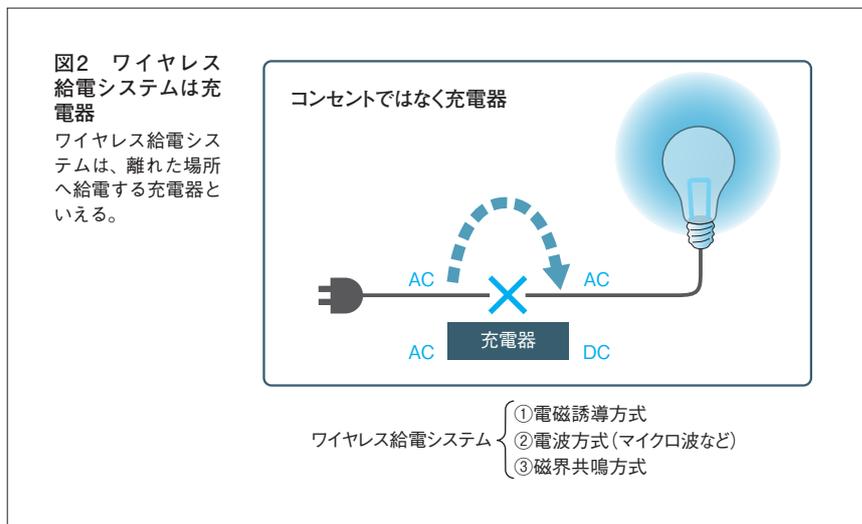
②の電波方式は、マイクロ波など



の電波を受信し、アンテナと一体になった整流回路を用いて直接直流に変換する。電波のビームを絞ることで、長距離の大電力伝送が可能である。例えば、宇宙空間にある人工衛星から、地上に電力を給電する太陽光発電衛星 (SPS) の計画が日米で検討されている。

自動車分野では、三菱重工業が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成を得て、マイクロ波による充電システムを開発している。電子レンジで使われているものと同様の2.45GHzの電波発生装置「マグネトロン」を使用し、車両の床下に整流用のアンテナ「レクテナ」を介して1kWの電力を伝送可能にしている。ただし、現状では電力の伝送効率はあまり高くない。

③の磁界共鳴方式では、2007年6月に米Massachusetts Institute of Technology (MIT) が共振回路同士の共鳴現象を利用し、2mの距離で60W



のワイヤレス給電を発表した。その後、さまざまな企業や研究機関などから発表が相次いでいる。

気になる効率については、米WiTricity社が出力3.3kW、伝送距離20cmにおいて総合効率90%を達成している。この他、長野日本無線が出力1kW、伝送距離30cmにおいてパワー・アンプと電池の間で効率88%を実現している<sup>注2)</sup>。

注1) この他、村田製作所などが手掛けている電界結合方式がある。

注2) 本稿におけるワイヤレス給電システムの「効率」とは、特にただし書きがない場合、コイル間の電力伝送効率を指す。

表1 主なワイヤレス給電システムの比較

方式	磁界共鳴方式					電波方式(マイクロ波)		電磁誘導方式
開発企業/大学	MIT	WiTricity社		QUALCOMM社	長野日本無線	三菱重工業など		昭和飛行機工業
伝送電力	60W	800W	3.3kW	2.5W	1kW	1kW		30kW
ギャップ	2m	60cm	20cm	20~30cm	10~30cm	12.5cm		14cm
効率(伝送距離)	40%(2m)、96%(0.75m)	95%	総合効率90%	40%	パワーアンプと電池間の効率88%(30cm)	総合効率38%		総合効率92%
出力当たりのコイル体積	942L/kW	—	2.3L/kW	—	102L/kW	2.7L/kW		3.2L/kW
周波数	9.9MHz	6.4MHz	125kHz	13.56MHz	13.56MHz	2.45GHz		22kHz
発表年月	2007年6月	2009年10月	2011年6月	2009年2月	2011年6月	2009年2月		2009年3月
開発状況	開発中	開発中	開発中	実証中	開発中	開発中		実証中
外観								

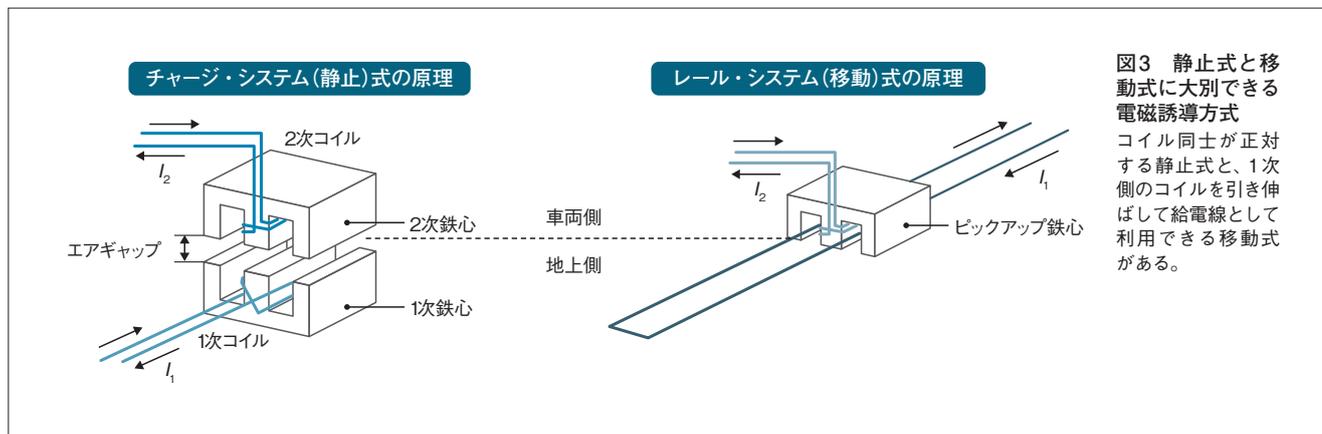


図3 静止式と移動式に大別できる電磁誘導方式  
 コイル同士が正対する静止式と、1次側のコイルを引き伸ばして給電線として利用できる移動式がある。

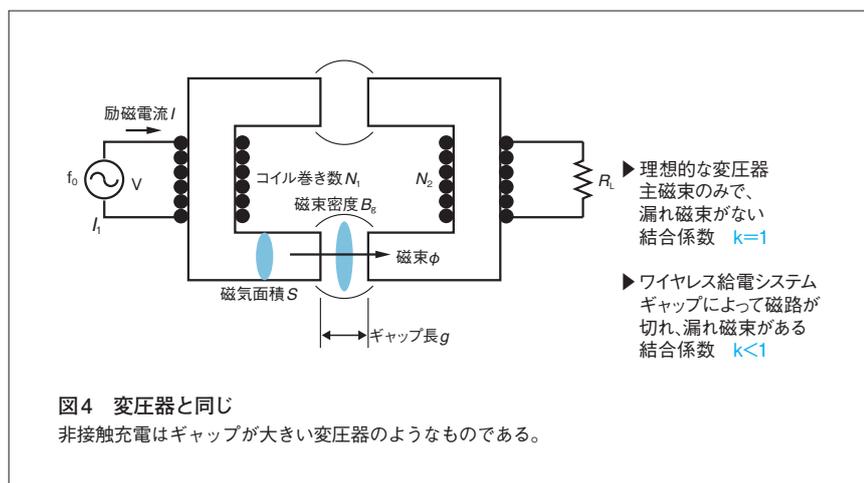


図4 変圧器と同じ  
 非接触充電はギャップが大きい変圧器のようなものである。

kは1よりも小さい値となってしまう。

1次側と2次側のコイルを正対させる静止式の回路構成は、どの場合でもほぼインバータを設け、インバータから1次側のコイルを介して2次側のコイルで電力を受け、負荷( $R_L$ )につながる、という仕組みになる(図5)。もちろん、直流への変換も可能であり、その際には整流する必要がある。

ただし、コイルだけでは効率は上がらない。伝送効率を最大にする最適負荷( $Z_L$ )は、 $Z_L = R_L - j\omega L$ で表される。この式から分かるように $R_L$ の後ろ側に負のリアクタンスの項があるため、どうしてもキャパシタンス成分による共振部分が必要になる。そこで、コンデンサを直列もしくは並列に実装するが、どちらの場合でもコンデンサのキャパシタンス成分で共振を取っている。

さらに、2次側の変動が1次側の電圧変動率を悪化させないように、1次側にもコンデンサを入れて、電源力率を上げるといったシステムを構築

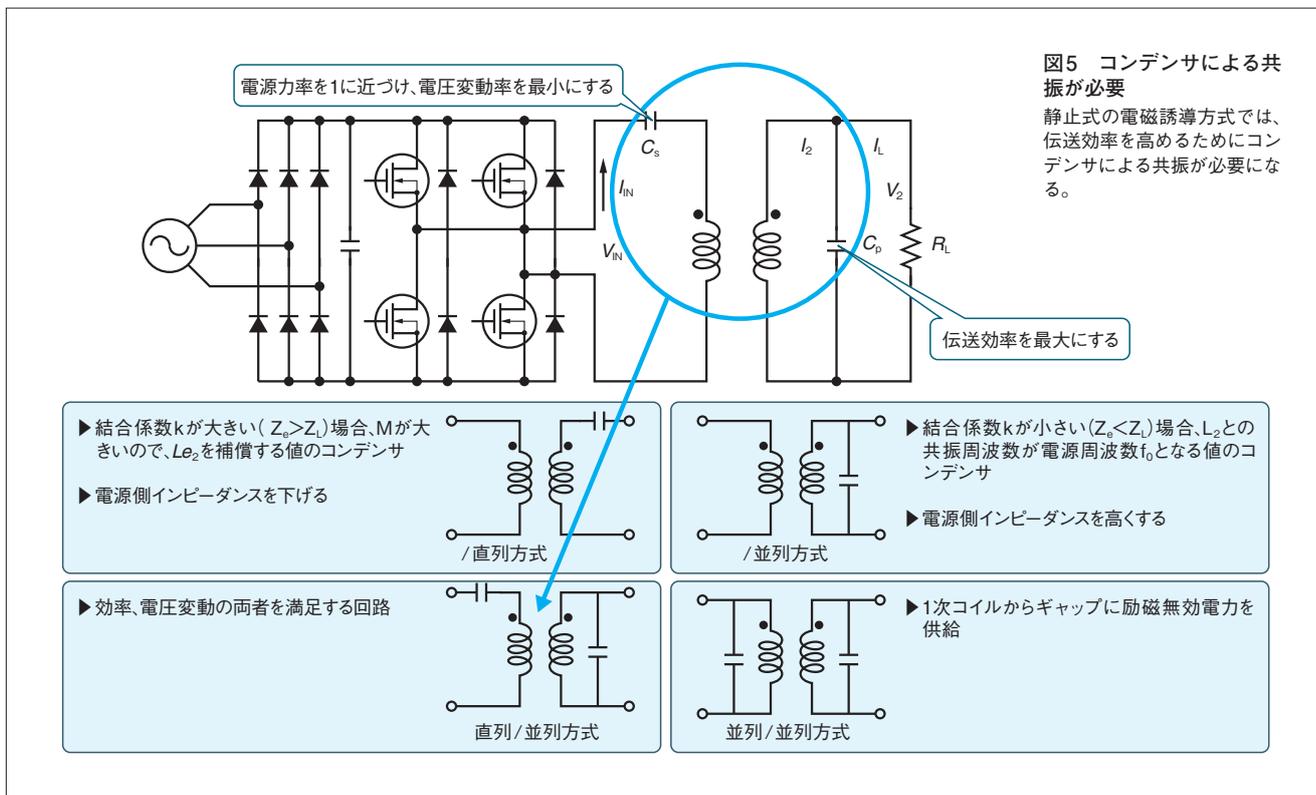
### 実用段階にある電磁誘導方式

大きく三つの方式がある中、我々の電磁誘導方式を用いたワイヤレス給電については既に実証段階に入っている。後述するが、2011年秋以降に実際のバス路線に導入し、運用を開始する予定だ。そういう意味では、現時点で実用化がすぐに可能なワイヤレス給電は、電磁誘導方式のみと考えていいだろう。

ここからは電磁誘導方式について詳細を紹介したい。電磁誘導方式は

基本的には変圧器の一種といえる(図4)。つまり、コアとコアの間の隙間(ギャップ)がゼロの場合、50Hzの周波数で入力すると50Hzの周波数が出力される変圧器のようなものである。

理想的な変圧器の場合は、ギャップが非常に小さければ磁束に漏れがないので、結合係数(k)がほぼ1になる。だが、ワイヤレス給電に用いる場合はある程度のギャップが必要となるため、漏れ磁束が生じる。その結果、



する人が多い。このコンデンサをどこに入れるのか。九つくらいの実装例が挙げられるが、このうち代表的な四つを紹介する。

kが大きい場合には相互インダクタンスMが大きいいため、図5の「/直列方式」のように、2次側に漏れ磁束を補償するための直列コンデンサを配置するだけでよいこともある。kが小さい場合は、「/並列方式」のように、2次側の自己インダクタンスとの共振周波数が電源周波数となる値のコンデンサを2次コイルに並列に配置する。

電源率改善のため、一般的には「直列/並列方式」のように、1次側に

直列コンデンサを配置する方式を採用するが、「並列/並列」方式のように、1次コイルからエアギャップに励磁無効電力を供給するための並列コンデンサを配置する場合もある。

実は電磁誘導方式をはじめ、磁界共鳴方式の場合もコイル間の伝送効率( $\eta$ )は、結合係数(k)と共振のピークを示す値(Q)の積の2乗( $\alpha$ )に比例する(次ページの図6)。例えば、我々の30kWの電磁誘導方式の場合、 $\alpha$ は $10^3$ 程度でコイル間効率は92%程度となる。

我々は磁界共鳴方式についても開発を進めており、現状は図6の黒丸のところにある。このレベルであれば、

60cm～1m程度離してもQ値を上げることによってコイル間効率で60%程度を実現できるレベルにある。

### 1980年代に登場

自動車の歴史は長く、実はエンジン車よりもEVの登場の方が早い。自動車の黎明期にはEVが一時期、世の中を席巻していた時代があった。その後、ガソリンという燃料の利便性によってEVは駆逐されてしまったが、ここ最近、ようやくEVの時代が再来する可能性が出てきた。

自動車に向けたワイヤレス給電の登場は1980年代となる。この頃から安価で小型のインバータが出始め、ここからワイヤレス給電の開発が本価格化してきた。1995年には、フランス

でPSA Peugeot Citroenグループが電磁誘導方式の非接触充電システムを用いた「Tulip (Transport Urbain, Individuel et Public)」計画を実施した。現在、我々が実施しようとしているワイヤレス給電システムの原型そのものである。1次側のコイルを地上に置き、床下に2次側のコイルを搭載した自動車が1次側のコイル上に停車すると1次側と2次側の間で通信し、車両の必要電力量に応じて充電量を制御可能なシステムだった。出力は6kWと、若干小さかった。

より大きな出力で電力伝送が可能なワイヤレス給電システムとしては、ドイツWampfler社の「IPT (inductive power transfer)」がある。海外で数十台、日本でも4台ほど導入された実

績がある。原理はTulip計画と同じだが、出力は30kWと大きい。車両の蓄電池を最適に充電するためのBMS (battery management system) との間で、充電に関する要求値を通信できるシステムを開発している。IPTはバスに搭載され、バス停で乗客が乗り降りする間に車両の下側から充電を完了するという、現在の電動バス向けのワイヤレス給電の基本コンセプトを実践した事例といえる。

### 日本でも実証試験

我々もNEDOから助成を受けて2004年に「WEB-1 (Waseda Electric micro Bus 1号機)」という電動マイクロバスを早稲田大学向けに製作し、そこにWampfler社のIPTを搭載した(図7)。車載蓄電池にはスイスMES-DEA社のナトリウム溶融塩電池「ZEBRA Battery」を、その後Liイオン2次電池を搭載したが、どちらも電池コストが高いという問題があった。

そこで、なるべく電池の搭載量を減らすことで初期の導入コストを抑えるとともに、車両質量を軽くし、燃費を向上させることとした。一方、電池の搭載量が減れば、1充電当たりの走行距離は短くなるため、ターミナルやバス停で電池をフル充電するのではなく、ちょこちょこと充電しながら走行させることを基本コンセプトとした。

実際、IPTを用いて早稲田大学の本庄キャンパスで実施した試験では、

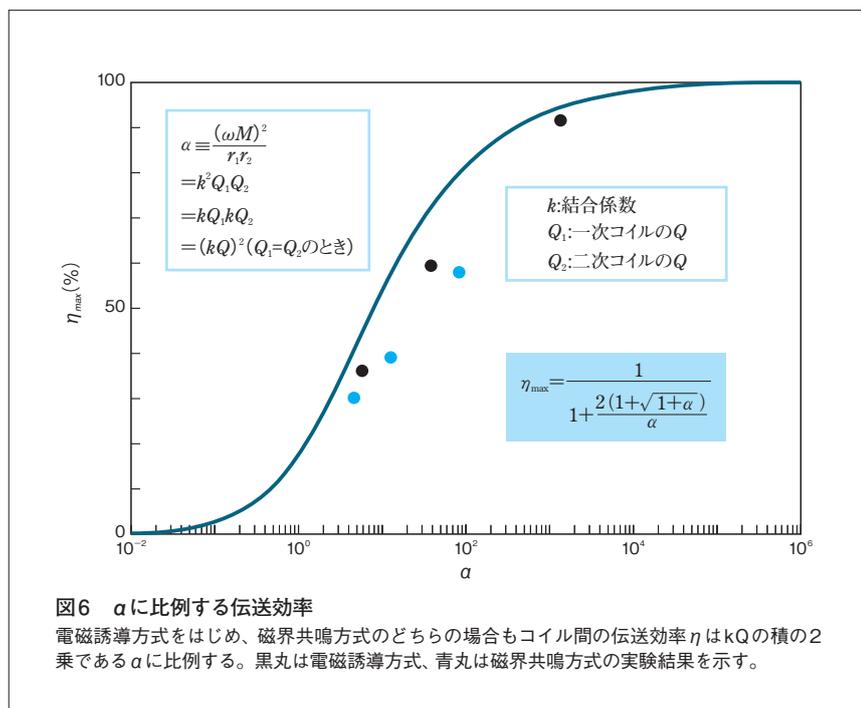


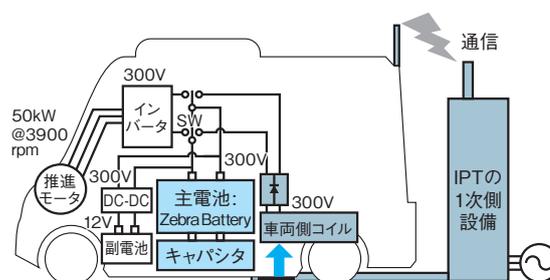
図7 ワイヤレス給電システムを搭載した電動マイクロバス「WEB-1」

WEB-1は、当初は非接触給電システムにWampfler社のIPTを、車載蓄電池にナトリウム熔融塩電池とキャパシタを搭載したが、その後、独自開発のワイヤレス給電システムと、Liイオン2次電池に変更した。

(a) 外観



(b) 構造



電池容量が少なくても十分運用できるという結果が得られた。特に、CO<sub>2</sub>削減の効果が大きいことが分かった。

ただ、海外製のワイヤレス給電システムでは大きさや価格、大きなギャップが確保できないなど課題が多かった。そこで、2005～2008年度にNEDOの助成を受けてワイヤレス給電システムの国産化を図ることにした。

### 国産化の開発を開始

そのプロジェクトの中では、①コア（磁心）形状、②ケーブル、③給電制御、について重点的に開発した。①のコア形状については、海外製の場合はトランスのコアはE字形状で角型の「E字コア角型方式」だったが、平面で丸型の「平面コア丸型方式」を採用した(表2)。

平面コア丸型方式は、電磁遮蔽用のアルミニウム板の上に平面のフェライトのコアを貼るだけで済み、さらに、その上にコイルをクルクルと巻け

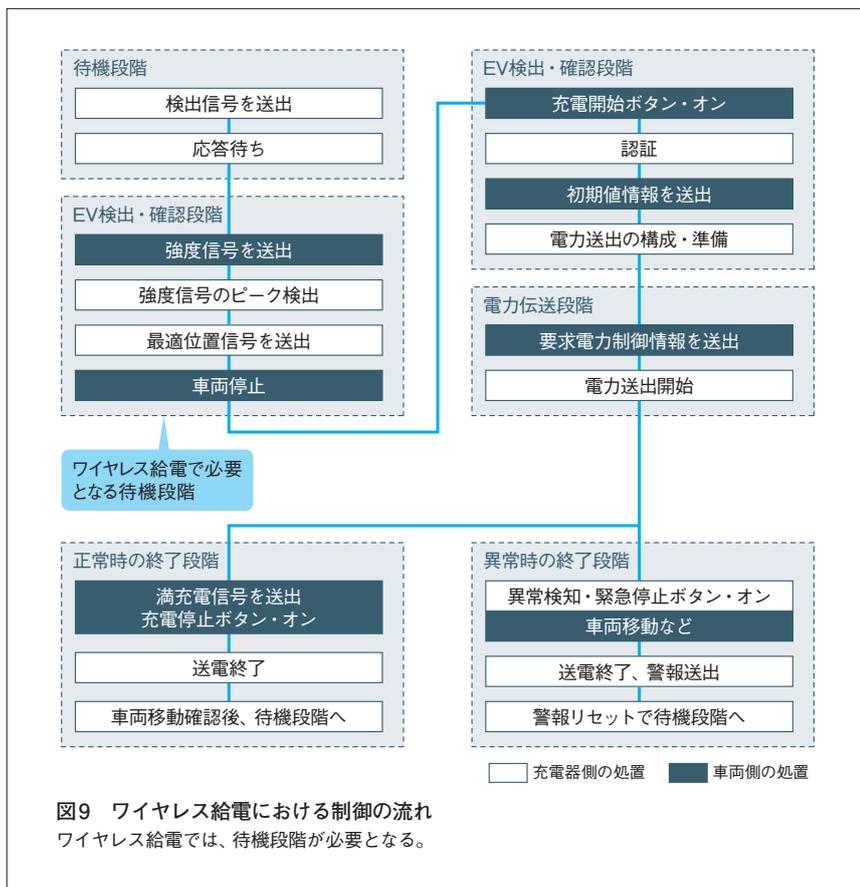
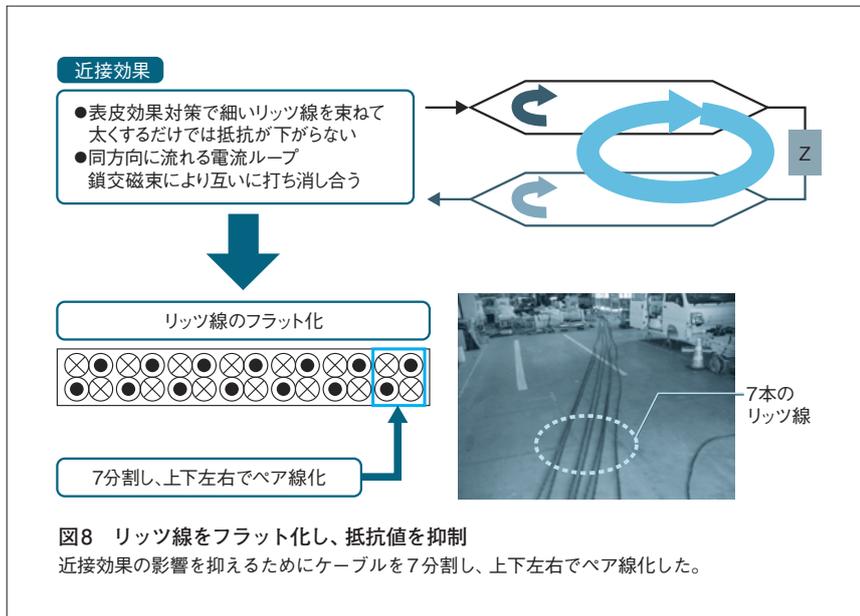
ば完成してしまう。結合係数が大きい上、コイルを薄くでき、ギャップも大きくできる。効率はE字コア角型方式とほとんど変わらないが、コストは圧倒的に低減できる。

これに対して、E字コア角型方式のコアは非常に高圧で製造するため、金型のコストが高いという問題があった。

我々は1種類のワイヤレス給電システムではなく、低出力から高出力まで

表2 磁心形状の比較

方式	E字コア角型方式	平面コア丸型方式
磁心構造		
磁束形状		
結合係数	○	◎
コイルの厚さ	△	◎
コイルの設置面積	○	△
ギャップ	△	◎
効率	◎	◎
コスト	△	◎
スケールアップへの対応	出力に応じて専用型が必要	汎用的な平板を増やして対応



品種を拡大することを考えていたが、E字コア角型方式では出力に応じてコア用の金型を複数用意しなければならない。一方、平面コア丸型方式を使えば、出力を高めるには、面積を広げて平面のフェライトを貼るのを増やすだけなので、簡単に製作でき、かつコストを低減できる。

②のケーブルについては、高周波では表面付近にしか電流が流れない、表皮効果が問題となる。そこで、表面積を増やすために細線を集めたリッツ線とし、細線の本数を増やした。線数を増やせば、ある程度まではインダクタンスは下がるが、限度がある。

これは同じ方向に流れる電流ループの鎖交磁束によって抵抗が増える近接効果によるもの。そこで、電流の向きが逆になるようにペア線化した(図8)。こうした対策によって、海外製のものに比べて抵抗値を38%以下に抑えた効率の高いケーブルを製作できた。

**非接触式は待機段階が必要**

③の給電制御は、車両側の充電をどうするのかという充電制御機能から出てきた要求に対して、給電側を制御する必要がある。給電制御は非接触式と接触式でほぼ同じ対応になるが、非接触式では充電を開始する前に待機段階があるというところが、接触式との違いになる(図9)。

ワイヤレス給電では、車両が来る

前から1次側のコイルは待機段階になっている。ただし、ここで電力を供給するとIH調理器と同じ状況となり、鉄板を置くとバーベキューができる状態になってしまう。そうならないように、1次側コイルは車両が来るまで検出信号を出し続け、その応答を待つことになる。一方、車両からは強度信号を出し、車両が1次側コイルに近づくとつれて信号がだんだん強くなることを利用して最も強くなる最適点を1次側コイルで検出し、最適位置信号を送出する。最適位置信号を受け取った車両は、そこで停車する。

その後は、非接触式と接触式で違いはない。充電開始のボタンを押したら互いに認証し、充電をしてもいいと認識すると、車両から初期値情報を送出する。次に要求電力制御の情報を車両から充電器に送り、充電器から電力を供給する。この動作を繰り返し、最後に満充電の信号が車両の電池から出ると、電力供給を停止する。

ただし、運転手が充電停止ボタンを押せば送電を中止し、最初の待機段階に戻る。異常検知が出た場合や運転手などが緊急停止ボタンを押した場合をはじめ、ワイヤレス給電の場合は車両が移動するとコイルが真上から外れるため、給電を停止する。そして、警報を送出し、警報がリセットされると待機段階に戻る。

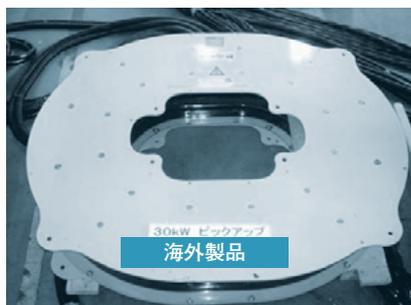
こうした成果として、効率が92%、

重さが35kg、コイル間のギャップが100mmという30kWの非接触充電システムを開発できた(図10)。

海外品に比べて効率は6ポイント向上したのに加えて、2次側ピックアップの重さと厚さを半減した。ギャップは、2倍の距離まで広げることができる。実際に利用する場合は、コイルをカバーで覆っているため、海外品は30mm程度の隙間しかない。これに対して、開発品は80mm程度のギャップで給電できる。さらに、この開発品の1年後には、多少重くはなったが、同じ効率でギャップを140mmに拡大したものを開発した。

2009年には、奈良県の奈良公園において、開発したワイヤレス給電シ

(a) 2次側コイルの外観



(b) 性能比較

	効率 (%)	2次側ピックアップ重量 (kg)	2次側ピックアップ寸法 (mm)	コイル間ギャップ (mm)
海外製品の性能	86	70	短径 875 長径 1025 厚さ 61	50
IPSの性能 (2008年度)	92	35	短径 847 長径 847 厚さ 33	100
ギャップ拡大IPSの性能 (2009年度)	92	50	短径 1200 長径 1200 厚さ 33	140

図10 海外品との性能比較

効率に優れる他、コイル間ギャップを2008年度に100mmと、海外品の2倍に拡大した。2009年度には、効率は保ちながらギャップを140mmまで拡大した。

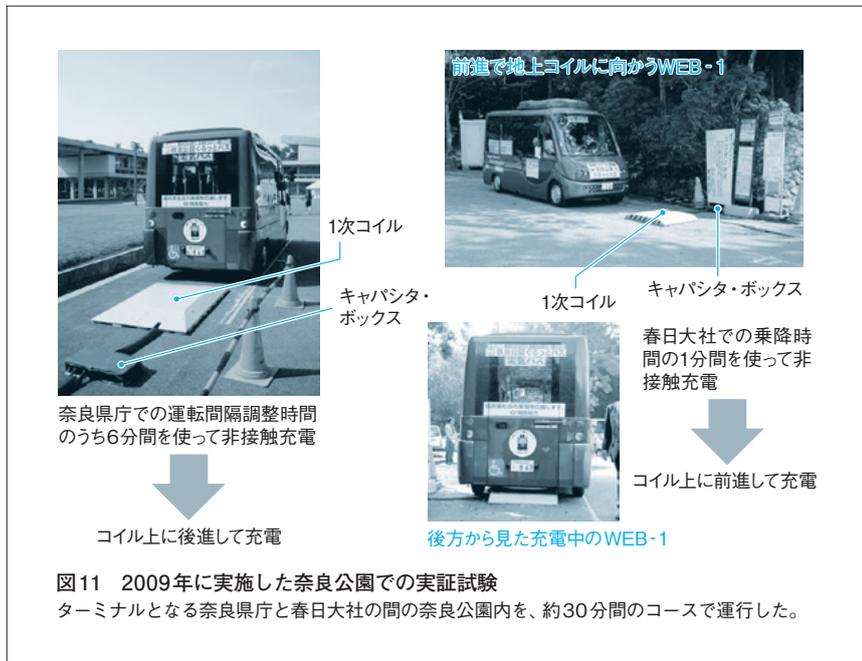


図11 2009年に実施した奈良公園での実証試験  
ターミナルとなる奈良県庁と春日大社の間の奈良公園内を、約30分間のコースで運行した。

テムを用いた実証試験を実施した(図11)。ターミナルとなる奈良県庁で5~6分間と、途中の春日大社のバス停で1分間の合計7分間の充電で、1周6km、30分の道のりを走行できる電力量を得ることができた。

なお、WEB-1は約3トンの車両重量に対して約12kWhのLiイオン2次電池を搭載している。市販されている三菱自動車の「i-MiEV」と比較すると、i-MiEVは車両重量が約1トンで16kWhのLiイオン2次電池を搭載している。

### CO<sub>2</sub>を67.6%削減

奈良公園で実施した走行試験では、電池の充電状態(SOC)は約70%から徐々に下がるが、春日大社の1分間の充電でほんのわずかに上がった。

その後、県庁の約6分間の充電でほぼ元の数値に戻り、これを繰り返す結果になった。電池の出力をみると、走行途中で制動時の電力回生があることが分かる。

この実証試験では運転のモードをいろいろ変えたが、平均するとディーゼル・エンジンを搭載したバスに比べてCO<sub>2</sub>排出を67.6%削減できた。こうした良好な結果を得たことから、2009年度には環境省の助成を受けて電動マイクロバス「WEB-3」が製作された(図12)。WEB-1と同様に、日野自動車の「日野ポンチョ」をベースにしている。WEB-3には、出力30kWでギャップが140mmのワイヤレス給電システムを床下に搭載した。

WEB-3にはエア・サスペンションを用いて乗降時に車高を下げる「ニ

ーリング」機能があり、これによって地面側のコイルと車両のコイルのギャップが120mmまで下がる。従って、バスが停車して車高を下げるとすぐに充電状態に移行できる。しかも、地面側のコイルは地面と同じ高さに埋め込み、コイルの上を通っても大丈夫なように耐荷重のコイルを使用している。

### 長野県で実運用を予定

WEB-3は、埼玉県にある早稲田大学の本庄キャンパスで使った他、2011年度には長野県長野市で実際に運用を開始する計画である。さらに、2011年度は「WEB-4」というバスを製作し、これら2台のバスを使って、保守・点検のあり方や運用上の問題点の有無などを、実運用をしながら確認していく。長野市では3年間運行する予定である。

一方、早稲田大学の本庄キャンパスでは、バスが停車している駐車場の上方に太陽電池を設置し、太陽電池で発電した電力をワイヤレス給電システムでバスに充電できるようにしている。

さらに、本庄キャンパスでは電池の利用方法に特徴がある。それは、電池の「セカンドライフ」を利用した充電ステーションの実証である。我々は、あと数年すると、EV用電池の中古品がかなり出てくると予想している。EV用として再利用するのは難しいが、定置用で使うことは可能では

ないかと考えている。そこで、本庄キャンパスではバスに搭載している電池と同じ電池を定置用として設置し、実証試験に利用している。本当は中古品が欲しかったが、まだ中古品がないために今は新品を使っている。そのうち、バスの電池に寿命が来れば、定置用として利用するつもりである。

### 電磁界に対する人体防護

電磁誘導方式の周波数は50Hz～200kHz。総務省電波防護指針の対象周波数は10kHz～300GHzだが、我々の開発品は現在、22kHzを用いていることから防護指針の対象となる。磁界共鳴方式も20kHzぐらいで磁気共鳴が起き、15MHzぐらいまでの範囲になる。この他、電波方式はマイクロ波で2.45GHz、レーザー方式では375THzである。

いずれの場合も、光の周波数よりも低い。光の周波数よりも高いと、X線のように人間の遺伝子に対して攻撃性があることになる。光でも紫外線などは皮膚がんができる可能性があり、最近では携帯電話機を耳元に持っていくと頭部への影響が出るなどの話がある。個人的には、ワイヤレス給電で利用する周波数帯は人体には熱的な影響が大部分で、せいぜい暖かいなあと感じる程度だと思うが、やはり電磁波を浴びないに越したことはない。

そこで我々は、電磁界に対する人

(a) 外観



(c) バスの床下に設置した2次側コイル



(b) 後部座席に搭載したLiイオン2次電池

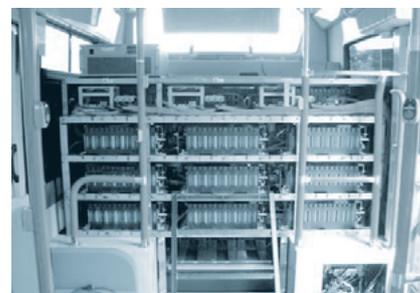


図12 ニーリング機能を備える「WEB-3」

WEB-3は、エア・サスペンションを用いたニーリング機能を備えている。後部座席には、GSユアサ製のLiイオン2次電池を搭載した。ワイヤレス給電システムは、出力30kWでギャップが140mmに対応している。

体防護のガイドラインであるICNIRP (国際非電離放射線防護委員会)の指針を基に検討した。

例えば、我々が開発した30kWで22kHzの周波数を用いたワイヤレス給電システムを電動バスに搭載した場合、コイルの断面を見ると1次側と2次側の間は非常に高い磁界強度になる。磁界強度は近傍界では3乗則で減衰する。そのため、100mmぐらい離れた場所で72μTである。日本の規定にはないが、ドイツでは心臓ペースメーカーの最大許容磁束密度を66.5μTと規定している。そのため、100mm以上離れる必要がある。

1998年版のICNIRPの一般公衆に対する基準値はもっと厳しく、6.25μTと規定されている。これは、300mm程度離れた場所になる。そこで、

(a) シミュレーション結果



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
15kHz	88.7μT
20kHz	66.5μT

図13 規制がある漏洩磁界

シミュレーションの結果では、駆動周波数20kHzの場合、心臓ペースメーカーの最大許容磁束密度である66.5μT以下になるのは、100mm付近である(a)。実測した結果では、バスの車内外ともにICNIRPの6.25μT(1998年版)を下回った(b)。

我々は300mmよりも外側に外壁が来るようにコイルを据え付けて、人体への影響を極力減らしている。

ただ、2010年11月にICNIRPの指針が一部変わり、周波数100kHzまでは最大許容磁束密度が27μTと、かなり緩和された。この値は150mm程度の位置になり、我々にとっては対策を取りやすくなった(図13)。



図14 地面に埋め込んで実証試験

東京駅の南口に、都バス向けにワイヤレス給電システムを設置した。バスが上を通っても問題がないようにコイル部分を樹脂コンクリートで固めている。

(b) 実測の様子と結果



実際の電磁界計測結果

基準値(μT)	バス車内	バス車外
防護指針/91.5	1.5μT	4.5μT
ICNIRP/6.25		

条件：計測器とシステムの距離0.5m、ギャップ80mm、位置ずれ60mmにて

力が500W以上の場合、30m離れた場所で電界規制値が $\sqrt{(P/500)}$  mV/m以下を満足する必要がある。Pは装置の出力を示す。

この数値内に収めるのは結構大変である。我々は電波暗室やシールド・ルームでデータを取って、許可申請を出している。

一方、50Wを超えても設置許可が不要な設備がある。型式指定や形式確認の認定を受けたものである。型式指定には、超音波加工機や電磁誘導加熱を使用した複写機などがある。型式確認には、IH調理器や電子レンジ、「Suica」などの無線タグ用読取装置がある。ワイヤレス給電装置も、将来的には、こうした設置許可が不要な設備として取り扱ってもらえるように進めていく必要があるだろう。

この他、EVに向けたワイヤレス給電システムを実用化しようとするれば、道路上に設置するのにも許可申請が必要となる。道路上の設置には、道路法第32条の法的規制がある。さらに、道路の使用許可には道路交通法の第77条に規定があり、所轄の警察署や道路管理者に許可をもらう必要が生じてしまう。

ただし、道路要件は完全に決まっていないのが実状である。何トンの荷重に耐えなくてはならないのかや、スリップ率や防水性など、それらに向けてのガイドラインを今後、作成していく必要がある。

## 左右ズレが課題に

こうした中、我々は2011年1月、東京駅の南口に都バスに向けたワイヤレス給電システムを設置した。地面に設置する1次側コイルについては、凸凹がないよう平らにして、さらにバスが上を通過しても問題ないように樹脂コンクリートで固めるなどの対策を施している(図14)。

問題となったのは、コイルとコイルの相対位置に関する正着性である。特に、電磁誘導方式の場合は、位置に対するロバスト性が非常に低い。そのため、ある程度の精度で位置合わせができていないと、効率が下がってしまう。そこで、都バスの場合、道路上に補助線を引いた。これがないと、運転手が位置を合わせにくいためだ。

どのようなバラつきがあるかを交通安全環境研究所が調査した結果では、何もしない場合では120mm程度ズレてしまうという。電磁誘導方式で120mmもズレると、効率が大幅に低下し、ほとんど充電できなくなる。

実際の対策としては、補助線の他にタイヤの位置決め用の突起(ランプ)を設置した例もある。これにより、前後方向はピタッと合う。ただし、やはり左右方向にはズレる。

今後、この左右へのズレをどのように解決していくか。これにはやはり磁界共鳴方式を利用していくのがよいのではないかと考えている。我々が現在、開発している磁界共鳴方式

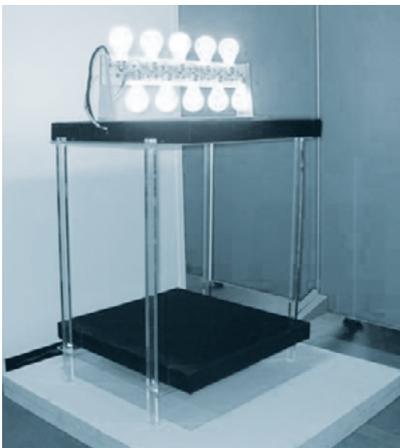
では、60cmのギャップで1kWを給電できるシステムを既に披露しているが、実験室内では5kW程度の送電を実現できている(図15)。

60cmのギャップというのは、ほぼ左右の位置ズレと同じである。我々が披露しているシステムでは50cm角のコイルを用いているが、このコイルを横に置いても、もちろん何の問題もなく給電ができる。さらに、60cm横にズレても充電ができる。従って、高さ方向に30cmほどのギャップがあり、左右方向に30cmズレても給電可能なシステムは、それほど難しくなく実現できるだろう。

## 走行中給電を実用化したい

走行中給電については、今から30年近く前の1982年に米国の「PATH (Partners for Advanced Transit and Highways)」プロジェクトにおいて、電磁誘導方式で実験している。実験は成功したものの、漏れ磁束が大き

(a) 磁界共鳴方式のデモ



(b) 横に置いても給電が可能

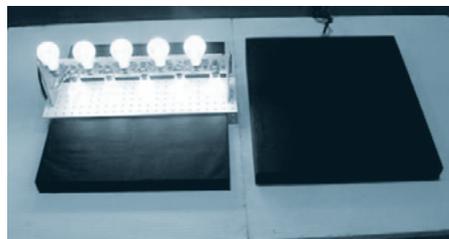


図15 開発中の磁界共鳴方式のワイヤレス給電システム

60cm離れても電力伝送できるシステムのデモを2009年に披露した(a)。横に置いても給電が可能である(b)。

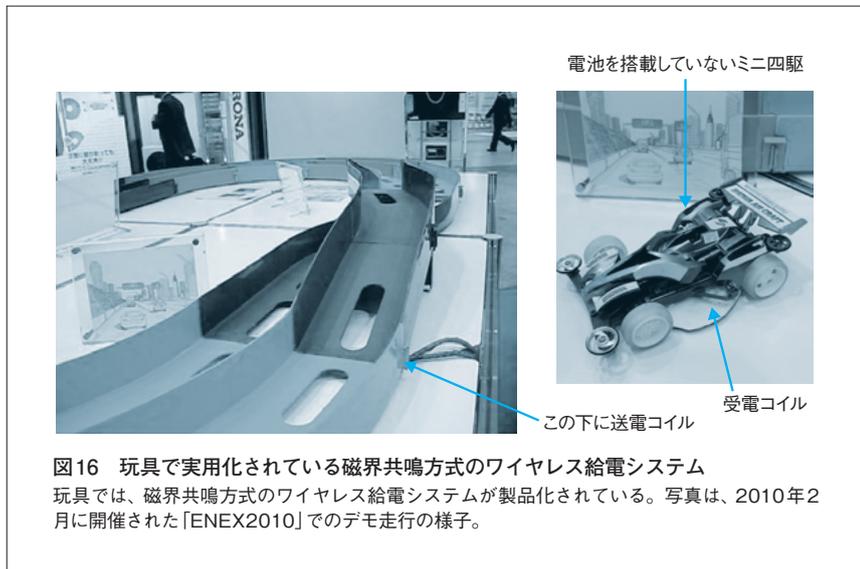


図16 玩具で実用化されている磁界共鳴方式のワイヤレス給電システム  
玩具では、磁界共鳴方式のワイヤレス給電システムが製品化されている。写真は、2010年2月に開催された「ENEX2010」でのデモ走行の様子。

く実用化には至っていない。

最近では、韓国 Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) が走行中給電に取り組んでいる。当初は1本の連続した給電線を用いるレール・システムで、漏れ磁束が課題だったが、今後は給電線を分割し、スイッチングによって車両が上に来ている部分のみに給電することで、より磁界の影響を減らせる他、使用電力を削減するとしている。2011年内には韓国のソウルに導入するのに加えて、米国などにも設置する

計画があるという。

Bombardier 社も2011年夏から、ベルギーのロンメルで1.2kmほどの試験道路を用意し、バスを充電する計画を立てている。

これらの実証試験については、どれも電磁誘導方式となる。磁界共鳴方式については、まだまだ技術開発が必要である。ただ、玩具の分野では既に実用化されている。例えば、**図16**は電池を搭載していない「ミニ四駆」である。磁界共鳴用のコイルをコース下に設置して給電している。

表3 走行中給電の想定ロードマップ

設置時期	2015年度まで	2020年度まで	2030年度まで	2050年度まで
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	
利用シーン	交差点付近		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	20k~30kW	30kW

このように、玩具では磁界共鳴方式で何の問題もなく自動車を走行させることができている。

我々は将来に向けて、自動車向けの磁界共鳴方式による走行中給電について壁面からの給電と路面からの給電の両方を検討している。壁面は設置性に優れるが、距離変化による自動調整機能が必要になる。一方、路面は距離の変化は小さいが、地面に設置したコイルの軌道から逸脱すると、充電できなくなる。

### 2050年に高速道路に

こうした問題の解決のため、我々はNEDOでプロジェクトを進めている。現状の計画では、2015年ころまでに交差点の前後25mで6kW程度の走行中給電の実験を実施する予定である(表3)。2020年までには250m程度の走行中給電を可能にしたい。そして、2030年ごろまでに登坂路のような場所へ展開し、2050年ごろには高速道路での実証実験を目指している。

走行中給電の整備コストについては条件で大きく変わるが、KAISTが電磁誘導方式の場合で試算している1km当たり1.9億円を若干上回る程度でいけるとみている。

バスの場合、輸送能力はLRTの半分程度になるが、設置コストはLRTよりかなり削減でき、LRTと遜色ない費用対効果を得られるのではないかと考えている。