

自動車メーカー発想のワイヤレス電力伝送

ボルボグループ アドバンスドテクノロジー & リサーチ 産官学連携 日本代表マネージャー 外村 博史

抄録

本稿では世界最大規模のトラック・バス開発生産をおこなうボルボグループでの、電動車両に関する研究開発への取り組み、日本における京都大学との産学連携、特にワイヤレス電力伝送技術関連の課題と共同研究内容、について紹介する。

1. ボルボグループのご紹介

ボルボグループは世界最大規模のトラック、バス、建設機器、船用エンジン・工業用エンジン開発生産をおこなっている。従業員数は約10万人、生産拠点は19か国、販売は190か国以上である。なお乗用車のボルボは同じブランド名だが、1999年にボルボグループがフォードに売却、その後2010年にフォードから浙江吉利控股集团に売却されており、現時点で資本関係はない。

ボルボグループは日本国内では2007年に日産ディーゼル工業株式会社（現UDトラックス株式会社）を買収し、100%子会社としている。また研究開発における日本拠点として、ボルボテクノロジー・ジャパン株式会社を2012年に設立した。研究開発は組織的にはグローバルでひとつの組織となっているが、地理的には本社ボルボテクノロジーABのあるスウェーデンの他、日本以外にもフランス、アメリカ、インド、中国などに分散している。

ボルボグループのビジョンは「サステイナブルな輸送ソリューションで世界のリーダーになる」ことであり、トラックやバスという輸送手段の提供だけでなく、ソリューションを提供するという考えである。究極的にはインフラストラクチャーに対しても草分け的な商品やサービスを提供していくことを目

指している。電動化や自動運転など自動車とインフラストラクチャーとの関連が日々増しているが、インフラストラクチャーを含む将来のビジネス領域に対する考え方は明確である。

2. 電動車両への取り組み

ボルボグループではハイブリッドの2階建てバス及び都市内バスを2010年から生産し、翌2011年にはブラジルのクリチバ市から大量受注するなど好調に推移しており、2015年夏までに約2200台のハイブリッドバスを販売している。また中国では電動車両の設計開発のために上海汽車工業（集団）総公司（SAIC）との合弁会社であるサンウィン・バスを設立した。上海ではバス停でパンタグラフを用いて充電する純電気バスが上海万博で活躍し、現在も商用運行をおこなっている。

一方、大型バスである新型の7900シリーズでは、通常のハイブリッドや、エレクトリックハイブリッドと呼ばれるパンタグラフを利用して各バス停で補充充電をおこなうハイブリッドに加え、今夏より同じ設備で充電できる純電気バスもスウェーデンのイエーテボリで商用運行を始めた。

写真1には7900シリーズ大型バスの純電気バスと地上側設備である充電用パンタグラフ（上部）を



写真1 ボルボ7900シリーズの純電気バス

示した。バスは左右に段差のある進入路と前後の停車位置マーカーでおおよその位置合わせをおこなっている。また充電電力はハイブリッドでは150kW最大、純電気では300kW最大の能力がある。乗用車の電動車両とは異なり、かなりの大電力を必要とすることがわかる。

ワイヤレス電力伝送技術をパンタグラフの後継技術として実用化するためにはライフサイクルコストでパンタグラフを凌駕する必要がある。具体的にはワイヤレス電力伝送による効率低下すなわち必要な電力料金の増大というデメリットと、メンテナンス面での低コスト化というメリット、装置のコスト差の総和がプラスになることが、顧客にとって重要である。

都市内路線バスは走行パターンが極めて限定されるため解析が容易であるばかりでなく、低速でのストップ&ゴーが多いため電動化に適しており費用対効果を得やすい。したがって都市内路線バスについては世界的に電動化が進むことは確実とみている。ただし日本では法規上、独自の車幅や軸重制限があり、例えば欧州の基準に適合した上述のような都市内路線バスを導入することは極めて難しい。例外的に京都市で運行している京都急行バス株式会社の比亜迪 (BYD) 自動車製バスでは、保安上の制限を付

した上で軸重に関する保安基準の緩和がおこなわれており、今後の動向が注目されている。

一方、トラックでも中・大型車のハイブリッド化を進めているが、都市内路線バスと異なり多様な使い方をカバーするためバッテリー搭載量を増やさざるを得ず、コスト増となる。現時点ではごみ収集車など一部で使用されるにとどまっている。

小型トラックを用いた都市内配送車の場合も同様である。ボルボグループの一員であるルノートラックも純電気トラックを販売しているが、高価なバッテリーを大量に必要とするため販売台数は伸びていない。都市内配送用トラックはワイヤレス電力伝送による頻繁な給電でバッテリー搭載量を減らして車両価格・車両重量を下げることが期待されている。走行距離も短いことからバスに次いで電動化に適していると考えている。

ボルボグループでは走行中給電の一候補として道路から車両に接触式で給電するスライドイン方式も欧州の補助金を得て研究している。さらに、電動車両にすべて置き換わった場合の電力系統への影響なども欧州の産学連携の一部として研究を進めている。

3. 京都大学との産学連携

2012年のボルボテクノロジー・ジャパン株式会社の設立時に経済産業省/ジェットロのアジア拠点化立地推進事業費補助金を受けて、電磁界解析装置などを導入すると同時にボルボグループとして京都大学との共同研究を強化した。

ワイヤレス電力伝送の方式に関してはいずれの方式も現時点では商用車(商品)として採用できる技術レベルにないため、マイクロ波、磁界共鳴などを含めて種々の方式を候補としてグローバルで調査・研究している。

例えば磁界共鳴を商用車に適用すると電力の大きさから漏洩電磁界を抑えるためにプライマリコイルとセカンダリコイル間の距離が制限されるため、機

械的にコイル間距離を近づける装置が必要となり、接触式のパンタグラフに対する優位性が問われる。加えて走行中給電では車両下部で覆われていないアクティブなプライマリコイルからの漏洩電磁界の低減も課題となる。

マイクロ波では電子レンジのイメージから安全ではないというイメージが強く、誤解を解くためにも十分なコミュニケーションとデータ提供が必要であろう。マイクロ波は電力伝送の距離を大きく取れるなど本質的に有利だが、要素技術の成熟度では磁界共鳴に後れを取っている。

ワイヤレス電力伝送は研究が盛んな車庫内での乗用車向けワイヤレス給電の普及に続き、タクシープールやトラックターミナルなどのエリア内給電、さらに走行中給電への適用が期待されている。

4. ワイヤレス電力伝送技術の課題と共同研究内容

4.1. ワイヤレス電力伝送の課題

自動車向けのワイヤレス電力伝送、特にエリア給電や走行中給電が広く普及し、電動車両が主たる商品となるためには、技術・システム・価格の3要件が重要であると考えている。

最初に機能・性能面の技術要件として様々な形状の自動車に電力伝送可能な汎用性を有すること、電磁波ノイズなど法規やガイドラインを満足することに加えて、人体防護や異物検出などの安全性が重要である。汎用性という意味では送電側・受電側の相対位置や角度、距離やその変化を許容できる方式であることが望ましい。マイクロ波方式はこの汎用性で有利である。

磁界共鳴の電磁波ノイズは乗用車向けの7.7kWレベルでも相当に厳しい条件となり、乗用車の急速充電50kWやバス・トラック向けの100kW以上の電力では許容されるエアギャップが非常に小さくなるため、これを解決するブレークスルーが期待されている。マイクロ波の電磁波ノイズを抑えるため

に、ビーム外に漏れるマイクロ波を少なくする技術や受電アンテナからのマイクロ波反射を抑える技術が必要だが、まだまだ解析レベルで成功しているに過ぎない。数年以内の大電力での実証実験が期待されている。

人体防護は国際的な国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)ガイドラインや、日本国内の電波防護指針を順守する必要がある。磁界共鳴の代表的な周波数85kHzでは周波数が100kHz以下のため、体内に電流が流れてピリピリ感じるような刺激作用が支配的である。他方、マイクロ波の代表的な周波数5.8GHzでは周波数が100kHz以上のため、体温が上昇する熱作用が支配的である。熱作用では発がんの可能性を検証する遺伝毒性評価と免疫低下を検証する免疫機能評価などについて実験確認が必要である。このような評価は極めて基礎的であり一企業としては投資が難しい側面もあるが、相応の時間も必要なことから早期の着手が望ましい。

次にシステム要件として自動車へのバッテリー搭載量、必要なワイヤレス電力伝送に用いる電力、電力伝送装置の数や立地条件など実際のテレマティクス等を利用した走行データベースをもとに解析を実施して市場をどのくらいカバーできるかなどを確認する必要がある。自動車本体の設計の基礎となるばかりでなく、充電場所などの新設も含めて都市全体をモデル化することでより一般的な解が得られ、他の都市にも水平展開が可能となる。どのようなワイヤレス方式かに関わらない基礎的な解析と言える。さらにシステムのパラメータ解析の結果はバッテリー搭載量にも影響があることから、次項の自動車の価格にも大きく影響することは言うまでもない。

最後に価格要件について説明する。魅力ある商品とするためには価格上昇を抑えつつ、魅力を付加することが必要である。純電気自動車やプラグインハイブリッド車は石油燃料の自動車と同等以下の価格を実現することが理想である。そのためにはバッテリー搭載量を減らすことで原価を下げ、他方で利便性を害することなく、頻度高く充電する必要がある。ワイヤレス電力伝送はこのための要素技術であると理解している。

また将来の走行中給電やトラックターミナルなどのエリア内給電では、定位置での給電と全く様相が異なり、多種多様な顧客・自動車に電力をサービスするインフラストラクチャー事業が成立することが必須である。自動車の保有者は石油燃料と同じ金額までなら燃料費として支払う、という仮説を立てるとインフラストラクチャー事業の総予算（初期投資及びメンテナンス費）は、電動化による燃料コスト削減代に走行台数を乗じた金額が上限となる。こうすれば事業者が各車両へ課金することで収益を得ることができ、自律的に普及する可能性が出てくるだろう。並行してワイヤレス電力伝送システムを段階的に導入して成立するシナリオも必要となる。

4.2. マイクロ波の生体影響に関する共同研究

先に述べた ICNIRP ガイドラインや我が国の電波防護指針の中で、5.8GHzの公衆ばく露では1平方メートルあたり10W迄と決められている。また時間的には任意の6分間の平均で測定することとなっている。一方バスやトラックに適用する場合、パンタグラフ式では1平方メートルあたり100kW前後の電力密度が実現している。互換性のある車両レイアウトを実現するためには約1万倍の電力密度が要求される計算になる。

しかしながら熱作用の基本はトータルのエネルギー量であること、実際には人体や異物を検出し極めて短い時間で電力伝送を遮断できることから、6分ごとに発生するパルス状の極めて高い電力に着目し、生体影響を研究している。電力が1万倍で同じエネルギーならば時間は6分間の1万分の1である36msecと計算される。この6分ごとのパルス状マイクロ波で生体影響がほぼないという結論が出れば、先の任意の6分間の平均という定義を拡張して、「1万倍の電力密度のパルスまで許容できる平均」と言える。同時に安全遮断装置は36msec以内の検出遮断かつ6分間は自動復帰しないことが必須要件となる。

この仮説のもと生体影響の最も代表的な試験、小核形成試験を実施した。首都大学東京より分与されたヒト角膜由来上皮細胞（人の目の角膜細胞：HCE-T

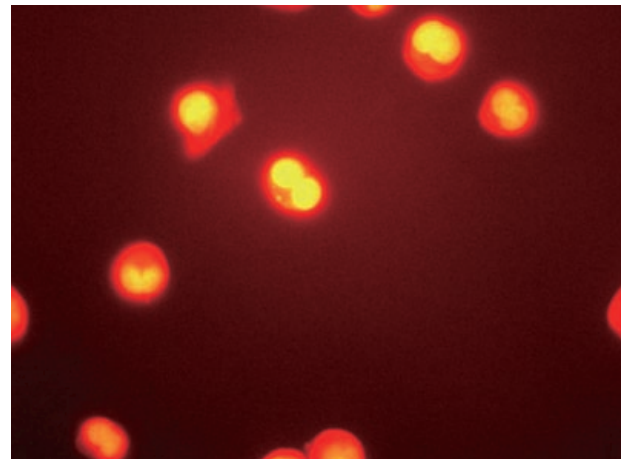


写真2 小核の顕微鏡写真

細胞) を用いた。実験は細胞分裂の際の細胞質分裂を阻止し、細胞核の分裂のみを起こすようにするサイトカラシン処理をおこない、核分裂後の分裂終期で停止させる。この時に分裂して核が2個ある2核細胞300個の中でDNAや染色体の障害が起こり小核(MN)と呼ばれる小さい核があるかどうか計数する。実験は複数回(3回以上)行う。この小核形成は発がんの原因になる可能性がある。写真2には小核の顕微鏡写真(中央の細胞)を示した。

この実験はインキュベータと呼ばれる恒温槽で実験し、比較対象として①同一インキュベータ内で電磁波が照射されない場所での同時実験(Sham)、②電磁波を照射しない別のインキュベータでの実験(Control)、③陽性対照として、薬品で小核を発生させる実験(Bleomycin)と比較し、有意差を検証している。中間段階ではあるが、1平方メートルあたり77kWの実験結果についてHCE-T細胞における小核保有細胞数のグラフを図1に示した。実験

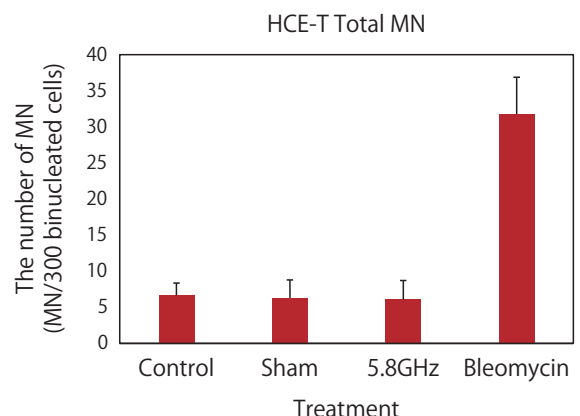


図1 HCE-T細胞における小核保有細胞数

は6回おこない、有意差を示す p 値は0.01未満である。この結果、Control、Sham、5.8GHzばく露のいずれもがBleomycinに比較して小核の発生が十分に小さく、かつ差異が無いことがわかった。

結論として今回の実験条件においてHCE-T細胞への遺伝毒性は全くないか、非常に小さいものであると言えるだろう。工学的には1平方メートルあたり77kWの電力密度でも与えられた時間内で人体や異物を検出し遮断すればよさそうだが、という仮説を裏付ける結論となった。もちろん世の中で認められるために複数の研究機関による追加試験確認や、学会などでの更なる論議が不可欠である。

4.3. 配送トラックの走行データ解析共同研究

走行ルートが固定されている路線バスでは充電のタイミングやバッテリーの搭載量などが比較的容易に計算できる。トラックでは走行距離が比較的短く、市場規模も大きいことから都市内配送向けのトラックの電動化が期待されている。しかしこのようなビジネス向けでは耐久消費財として費用対効果が強く求められるため、今までのトラックと同じ使い方ができるかどうか、稼働時間などへの影響がないかどうか、ライフサイクルコストをどこまで抑えられるかなどが重視される。

佐川急便株式会社から京都市内の宅急便使用のトラックの走行データを開示していただき、京都大学と走行データを解析する共同研究をおこなっている。特にワイヤレス電力伝送技術を実用化するためには、車載バッテリーを削減して頻度高く充電することで全体のコストを削減できる可能性がある。また京都市内の2か所の営業所などで要求される充電電力や、営業所外に充電ポイントを設けた場合の効果など車両やインフラストラクチャーの仕様を決定するための解析でもある。

図2のように営業所を出発して営業所に戻るまでの走行をツアー、エンジンをオンオフする間をトリップと定義した。通常用いられる1回の走行距離であるトリップ長に加え、充電できる営業所まで戻るツアー長を用いて1日単位、1か月単位などの平

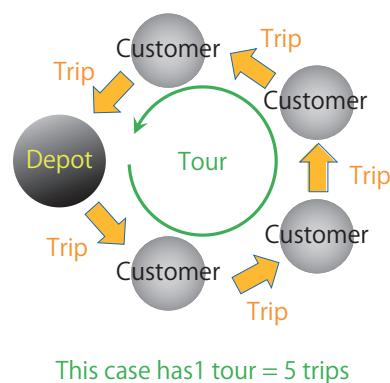


図2 ツアーとトリップの概念図

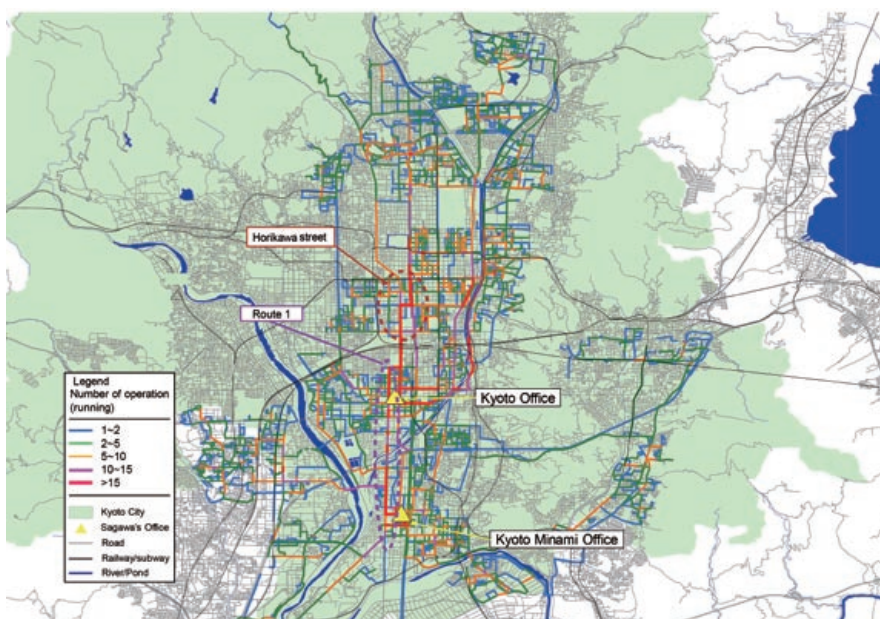


図3 特定日の走行頻度マップ

均的な数値や、車両毎やツアー数による分類など様々な角度から解析をおこなっている。

また、マップマッチングによりデータを京都市の地図にプロットすることで視覚的に通行頻度を理解することができる。今回の解析対象車両の場合、京都と大阪間をつないでいる国道1号線や京都市内の堀川通を走行する頻度が非常に多いことが図3の特定日の走行頻度マップよりわかる。

現在は走行パターンのモデル化に取り組んでいる。縦横の格子状のモデルを地図の代わりに設定し交差する点に営業所や配送目的地、さらには充電ポイントなどを設定することで最適化の検討が容易になると考えている。電動化の普及はどうやって充電するか大きく依存するため、特に車庫内での給電に次ぐエリア給電、走行中給電を実現するための課題として、このような解析を重視している。

5. 最後に

本稿ではボルボグループでの、電動車両に関する研究開発への取り組み、日本における京都大学との産学連携、特にワイヤレス電力伝送技術関連の課題と共同研究内容、について紹介した。マイクロ波関連では紹介した研究以外にも、ビーム外に漏れるマイクロ波を少なくする技術や、受電アンテナからのマイクロ波反射を抑える技術、人体や異物を検出してシステム遮断する技術なども実用化に向けて重要であり、一部は共同研究として実施中である。さらに大電力の磁界共鳴や接触式超急速充電についても欧州を中心に研究開発を進めている。

将来、電動車両にとってワイヤレス電力伝送技術はその普及やコスト削減の切り札になる可能性があると考えている。乗用車より格段に難しい商用車の電動化を実現できるよう積極的に研究開発をおこなっていく所存である。

profile

外村 博史 (とのむら ひろし)

経歴

1980年 大阪大学大学院 基礎工学制御工学分野 修了
1980年 日産自動車(株)入社 総合研究所にて車両研究
2004年 日産ディーゼル工業(株)(現UDトラックス(株))
企画室・商品企画室
2012年 ボルボテクノロジー・ジャパン株式会社 代表取締役
2014年 京都大学にて共同研究を開始 現職・現在に至る

受賞歴

1988年 自動車技術会技術開発賞
2003年 日経BP技術部門賞
2004年 財団法人新技術開発財団 市村産業賞貢献賞

