

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02232

研究課題名(和文) 電気自動車の走行中ワイヤレス給電に関する基礎研究

研究課題名(英文) Basic Study on Dynamic Wireless Power Supply to Running Electric Vehicles

研究代表者

堀 洋一 (HORI, YOICHI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：50165578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、走行中の電気自動車にワイヤレス給電を行うシステムとして、磁界共振結合方式を基本とし、地上設備を簡単にする実用的な方策の開発を行った。具体的な項目として、1. エネルギーマネジメント技術に関する研究、2. コンデンサレス・フェライトレスに関する研究、3. 過渡現象を考慮したシステム設計、4. 磁界共振結合通信とセンサ利用、5. 漏洩電磁波低減技術の開発、6. 地上側施設の簡易化の6つにおいて大きな成果を得た。柏キャンパスの走行中ワイヤレス給電設備は学内外の大きな反響を呼び、学会の公開委員会や講習会などを通じ、電池に頼る電気自動車の未来は間違いであることを社会に情報発信した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a practical method to simplify the ground equipment, based on magnetic resonance coupling as a system for wirelessly feeding electric vehicles while driving. Concretely, we achieved great results on 1. Research on energy management technology, 2. Study on capacitor-less and ferrite-less system, 3. System design considering transient phenomena, 4. Magnetic field resonance coupling communication and sensor application, 5. Leakage electromagnetic wave reduction technology, and, 6. Simplification of ground facilities. The wireless power feeding equipment on Kashiwa Campus received great reactions inside and outside the university. Through the open committee meetings and workshops of academic societies, we announced to society that the future of electric vehicles relying on batteries is wrong.

研究分野：電気工学，制御工学，パワーエレクトロニクス，メカトロニクス

キーワード：電気自動車 ワイヤレス給電 走行中給電 モーション制御 エネルギー効率化

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、H26 年度に終了した基盤研究(A)「モータ/キャパシタ/ワイヤレスによる 2030 年のクルマ社会に関する研究」において、リチウムイオン電池一辺倒で進んでいる内外の電気自動車 (EV) 開発に警鐘を發し、大きなエネルギーを持ち運ばない「もう一つのクルマ社会」を提案して、そのための要素技術開発を追求してきた。具体的には、「ワイヤレス」給電によってクルマを電力インフラに接続し、「キャパシタ」にちょこちょこ充電ながら走る電車のようなクルマを開発し、電気自動車の最大の利点である「モータ」の制御性の良さを活かした運動制御によって、安全性の向上とさらなる省エネルギーを実現するというもので、一定の成果をあげることができた。

しかしながら、その研究過程を通じて、電気自動車への「走行中ワイヤレス給電」は「停車中ワイヤレス給電」の延長ではどうも実現不可能でまったく異なる技術が必要であるということ、あらためて認識するに至った。停車中のワイヤレス給電装置を並べただけでは、決してまともな走行中ワイヤレス給電にはならない。限られたスペースでのデモンストレーションが目的なら、それでもよいが、それは一種のまやかしである。真に将来につながる走行中ワイヤレス給電については、最適な方式はもとより制御方法に至ってはほとんど明らかになっていない。

たとえば、東京から大阪までの高速道路において、あるいは、津々浦々の県道などにおいて走行中ワイヤレス給電を実現するには、長距離かつ劣悪な環境に設置することになる地上側設備は恐ろしく簡単に低コストのものにしなければならない。クルマ側から電力伝送制御に関する情報を受けて、地上の送電設備が電力を調整したりするような仕組み(\*)は実用性がないだろう。複数台のクルマがひっきりなしに通行する道路においては、ほぼ一定電圧の鉄道架線、あるいは、家庭のコンセントぐらいの簡便な仕組みでないと、とても使いものにならないであろう。

(\*)現在の停車中ワイヤレス給電は、送電側と受電側が 1 対 1 のペアとなっており、制御信号を高速でやり取りするものが多い。そういうものは間違いなく使えない。

まず、本研究の発想の根底にあった考え方は以下のとおりである。

### ■ガソリンと電気

100 年後のクルマは「モータ」「キャパシタ」「ワイヤレス」で走っているだろう。エンジンが徐々に電気モータに置き換わり 100 年も経てば、ほとんどのクルマは電気モータで走っているだろう。

しかし、クルマへのエネルギー供給方法は大問題である。ガソリンと電気はエネルギーの形がまったく違うのに、なぜ、電気自動車が「止まって」「短時間で」「大きな」エネルギーを入れようとするのか。不思議で仕方がない。ガソリンを町中に噴霧し、クルマがそれを吸い込んで走るなどということはまず無理だが、電気は実質同じことができる。

電池 EV の航続距離が不十分であることは皆知っているから、短い航続距離でがまんしようとか、急速充電や高性能電池がキー技術だと誰もが言っているが、本当にそうだろうか。リチウム (Li) イオン電池自動車は重要なつながりの技術であるが、長期的には消えるクルマであると考えている。

### ■モータ/キャパシタ/ワイヤレス

ではどうするか。実はまったく異なるもう一つの道がある。電車のように、EV に電力インフラから直接エネルギーを供給するのである。そうすれば、クルマの「航続距離」は意味を失う。停車中の「ちょこちょこ充電」と走行中の「だらだら給

電」によって、クルマは大きなエネルギーを持ち運ばず、電池 EV とはまったく違った未来のクルマ社会を描くことができる。そこでは、クルマを電力系統につなぐための最後の数メートルを担う「ワイヤレス給電」がキー技術である。

そもそも、クルマにどうやってエネルギーを供給するかということ、どう使うかということは何の関係もないはずである。しかし、電池を使う限り両者は強くリンクされ、電池の性能が「航続距離」を決めてしまう。これはおかしなことである。申請時の 1 年前に亡くなった研究代表者の母は、最後は足腰が弱ってきたため、千葉の自宅から車に乗せて四国の田舎を訪問したいということが何度かあったが、電池 EV には無理な相談であった。一気に数百 km をドライブしたいから、もちろんガソリン車で行った。これからの高齢化社会では、このような需要はどんどん増える。そのとき電気自動車は使えませんかという話にならない。

未来のクルマが電気で動き電力インフラにつながるとすれば、航続距離とは 1 回の充電で走れる距離ではなく、「インフラから離れても安心できる距離」程度の意味しか持たなくなり、都市部では「ちょこちょこ充電で走る電車のようなクルマ」が普通になるだろう。そこでは「電池からキャパシタへ」の移行と「ワイヤレス給電」が実現され、人々は充電という作業から開放される。同時に、電気モータの優れた制御性を生かした「モーション制御」が当たり前になって燃費や安全性は大きく改善されるだろう。この 3 点についてもう少し詳しく説明する。

#### ・モータ (EV のモーション制御)

電気自動車の特長は電気モータの特長そのものである。すなわち、(1)トルク応答がエンジンの 2 けた速い、(2)モータは分散配置できる、(3)発生トルクが正確に把握できる、という 3 点である。微小なタイヤの空転に対して ms オーダでトルクを垂下させる粘着制御によってタイヤはすべりにくくなり、同じ性能でよければ、幅の狭い固いタイヤを使って燃費は一気に数倍になる。

モータの優れた制御性を生かした「EV のモーション制御」によってクルマの使うエネルギーは激減し、大量の電池を積む必要性はさらに小さくなる。インホイールモータを使ったアクティブサスペンション、ヨー、ピッチ、ロールなどの姿勢制御が当たり前になり、クルマの安全性や乗り心地は大きく向上するだろう。

#### ・キャパシタ (ちょこちょこ充電)

500km 走るための高性能電池は不要になる。高価な電池をたくさん積むのは、従来のガソリン車と同じ「航続距離」を実現しようとするためである。電気は起こしたらすぐ使うのがベストであって、貯めて使うのは賢くない。だから、先人たちは長距離の高電圧送電網を築いてきたのである。

ただクルマは電車にはない自由を持たなくてはならないから、数～数十 km を走るエネルギーは自前で持つ必要がある。電力を頻繁に出し入れするには、寿命の短い化学電池ではなく、数百万回の充放電に耐えられる物理電池「スーパーキャパシタ」を、必要量だけ用いる。たとえば、以前に当研究室で開発した C-COMS は、30 秒ほどの充電で 20 分以上走る。

上海ではキャパシタだけで走る路線バスが安定に営業している。上海万博では約 60 台の Li イオン電池バスと約 30 台のキャパシタバスを運行した。Li イオン電池バスは、巨大な電池交換ステーションが必要で、日常的な実用性は疑問であることを実証してしまった。キャパシタバスは、バス停での 30 秒～1 分ほどの充電で永久に走り続ける。

2012 年 WEC (世界耐久選手権) 第 5 戦、6 時間レースで優勝車に使われたトヨタハイブリッドシ

システム・レーシング (THS-R) は、日清紡製キャパシタによって、サーキット 5 か所のブレーキゾーンで蓄積したエネルギーを後半で放出することによって素晴らしい走りを見せた。また、日本ケミコン製キャパシタを使った量産ハイブリッド車として、アテンザ、アクセラ (マツダ)、フィット (ホンダ) が登場し、回生エネルギーの吸収と加速アシストにきわめて効果があることを証明しており売れ行きも良好と聞く。

これから、キャパシタはどんどん使われて行くだろう。あるいは使われてほしい。使われれば量産効果によって値段は下がるといふ、好循環の時代がやってくるだろう。

#### ・ワイヤレス (だらだら給電)

日本でも 100V、10~15A 程度のコンセントは至るところにあり、「ちょこちょこ充電」はもういつでも可能である。そして、いま盛んに研究開発が行われている (停車中の) ワイヤレス給電技術が、この数年でブレイクするだろう。ワイヤレス給電の技術レベルは、50cm~1m 程度の距離を、送受信コイル間効率 95% 程度である。簡単な中継コイルを用いて距離は数 m に伸ばすこともでき、走行中給電が視野に入る。

ワイヤレス給電のインフラを普及させるほうが、大容量の電池を積んだ EV を普及させるより社会コストははるかに小さく、リチウムをはじめとする資源問題に左右されるリスクも避けられるはずである。100 年後には、かつて世間を騒がせた Li イオン電池自動車は、ガソリン車や燃料電池車とともに博物館でしか見られなくなっているだろう。キャパシタ EV の概念は「オートチャージ Suica」であり、ワイヤレス給電は「エネルギー版 ETC」である。Suica は昔は大きな駅でしかチャージできなかったが、だんだん使える範囲が広がるとともに 1 回にチャージする額は少なくてよくなってきた。それと同じことが言える。Suica がそうであったように、すべてのインフラが整わなくてもできるところから導入していけばよい。クルマの中はすっかり情報化されインフラにつながっている現在、エネルギーだけ自前で持ち運ぶ理由はもうないのである。

道路への敷設を視野に入れれば、距離は数 m、パワーは 10kW を目指したい。現状技術ではまだ困難であるが、100 年後にはこの技術は大きく進歩し、クルマの世界を大きく変えることになるだろう。そのための基礎研究がこの応募研究の内容そのものであった。

## 2. 研究の目的

本研究は「電気自動車の走行中ワイヤレス給電に関する基礎研究」と題し、走行中の電気自動車に非接触で直接エネルギー供給を行うための、現実的なシステム (例えば、地上側の送電設備はきわめて簡単でなければならない等) に関する確固たる基礎技術の開発を目的とした。

わざわざ基礎研究という理由は、走行中ワイヤレス給電システムの実現は容易ではなく、少なくとも東京オリンピックまでに将来を見通せる技術が見えていけばもう十分である、という認識のためである。

走行中ワイヤレス給電にはどのような方式が適しているのかさえ明確になっていないが、おそらく磁界共振結合方式の改良を基本とし、インピーダンスインバータなどの理論を駆使して、地上設備を簡単にする真に実用的な方策を開発して行くことになる。3 年をかけてその基礎理論から将来を見通せる応用技術までをしっかりと築き、そのためのデモンストラーション設備を柏キャンパス内の実験走行路に製作して、その将来性を実証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

研究の遂行は、堀 (教授)、藤本 (准教授)、居村 (助教) が得意分野を担当し、タッグを組んで行うが、具体的には大学院生を中心とし、自動車関連会社等からは独立性の高い研究チームで行う。研究代表者の社会的立場を利用した適切な情報交換や協力関係は保ちつつも、特定の企業との連携にしばられず、また目先の利益に惑わされない長期的でアカデミックな研究を行い、「走行中ワイヤレス給電」によって電気自動車が走る新しい社会の可能性を示すことを目的とした。

次に述べてゆくが、走行中ワイヤレス給電にはどのような方式が適しているのかも不明確である。おそらく磁界共振結合方式の改良を基本とし、インピーダンスインバータなどの理論を整備して、地上設備を簡単にする真に実用的な方策を開発して行くことになると思うが、詳細は未知数であった。

例えば、①地上側の送電設備はきわめて簡単でなければならないがクルマ側は多少手の込んだシステムでもよい、②高速の過渡現象の精密制御が鍵をにぎる、③自動走行の技術を活かすなど、停車中給電にはない高度な要求を解決しなければならない。

3 年かけてその基礎理論から将来を見通せる応用技術までをしっかりと築き、そのためのデモンストラーション設備を、当研究室が所有する柏キャンパス内の実験走行路に作りたく考えた。

具体的な研究方法については次項の研究成果と重なるのでまとめて記していくこととする。

## 4. 研究成果

まずは、磁界共振結合を用いた電気自動車へのワイヤレス給電に関する 6 項目の基礎技術の開発を行った。これらの遂行にはアンテナ工学と電力制御技術の 2 つの要素技術を柱とした幅広い研究素養が必要で、基礎から実用までの幅広い研究を丁寧に行うことが重要である。

これらのテーマは、当研究室のワイヤレス電力伝送システムの研究チームに分担して進める。堀洋一 (教授)、藤本博志 (准教授)、居村岳広 (助教) の他に、内田利之 (技術官)、加藤昌樹 (博士研究員)、コウキムエン、郡司大輔、長井千明、佐藤基 (以上は博士学生)、山本 岳、パコーンスツパサート、畑 勝裕、小林大太 (以上は修士学生)、木村大希 (卒論生)、ロビソソジョルジョ (初年度の 10 月から博士入学) という陣容で開始し、その後 3 年間に多くの学生が加わった。

電気自動車への走行中給電においては、道路の 10% 程度 (この数値は精査の余地があるが) に設置するとしても地上側設備は数 km にわたり、かつ、道路のメンテナンスがあつたり、将来的にはかなり小さな道への敷設も視野に入れたりすることを考慮すれば、きわめて簡単なものにしなければならないことは明白である。一方、車上側の設備はクルマの付加価値になるから、多種多様な電源形態に対応できる高機能なものであってもかまわない。

「停車中ワイヤレス給電」では、地上と車上は 1 対 1 の設備をもち、無線などを用いたかなり高速の制御信号を交換するものがほとんどである。これだけ考えても、「走行中ワイヤレス給電」は「停車中ワイヤレス給電」とはまったく別の技術であるといえる。その実現は容易ではない。しかしこの技術は人々の大きな期待を背負っているから必ず実現するだろうし、また、させなければならない。

具体的には下記の 6 項目 (申請書のものから若干の変更をしている) について得られた成果を述べる。

### (1) システム全体の最適設計

走行中ワイヤレス給電では地上側と車両側の両方の設計が必要であるが、これらを統合した検討は十分に行われていない。そのため、必要以上にインフラ側と車体側に変換器が導入され、総合効率の低下や制御の複雑化を招いている。シンプルでかつシステムとして高効率となる統合制御システムを構築する。システムは一つに絞り込まないが基準となるモデルを作ることが重要である。数少ない変換器の制御もまた重要になる。同期整流や電力遮断技術もその一つであり、共振周波数やインピーダンス調整機能を車両側のシステムに持たせる新しいシステムを考案した。

### (2) 付加的なセンサを用いない車両検知

車がいる時には自動的に ON になり、いないときには OFF になるパッシブな方式は複数あるが、長距離の走行中ワイヤレス給電では待機電力は無視できないので体系的な検討が必要である。一方、送電コイルをセンサとして利用し追加のセンサを使わずに車を検出できるアクティブな方式もある。この場合、待機電力は削減できるが、送電側に持たせる機能を簡便にする。アクティブ方式を簡略化し、車体側の制御技術で補完する基礎的な技術を開発した。

### (3) コンデンサやフェライトを使わない送電コイル設計

磁界共振結合では送電コイルに共振を起こすためのコンデンサを外付けするのは一般的であるが、大電力伝送時には厳しい耐圧の課題がある。一度道路に埋めてしまっただけからのメンテナンスは難しい。また、効率向上のためにフェライトがよく用いられるが、地上設備を簡単にするためには送電コイルのコンデンサレス化・フェライトレス化が重要であり、そのためのコイル設計を行った。

### (4) 最大効率と所望電力の同時実現

走行中ワイヤレス給電では、EV の走行に合わせて最大効率に追従するだけでなく、所望の電力を給電する制御が必要になる。制御信号のやり取りを行えば実現は容易であるが、走行中ワイヤレス給電では使い物にならない。地上側と車両側で通信をすることなく、後述の過渡現象も含めた回路設計から制御システムの最適化に至るまで、実用性を意識した開発を行った。

### (5) 高速な過渡現象の解明と制御応用

走行中ワイヤレス給電では停車中給電にはない高速な過渡現象を扱わなければならない。さもなければ、あっという間にクルマは送電コイル上を走り去ってしまい、給電は不可能である。鋭い電圧スパイクなどの過渡現象は追従性能を悪化させ機器を破損させる。高速な過渡現象の解明を行いその抑制法を検討した。

### (6) 自動走行技術の利用と協調

自動走行技術が部分的にでも適用されれば、コイルの位置ずれも少なくなり、地上側も車両側もそれに合わせた設計が可能となる。また、コイルが踏まれる頻度が減るため、コイルを浅く設置できるなど、新しいシステム設計や制御技術が可能になる。また、地上コイルは位置センサとしても利用できるため、自動走行に応用した基礎実験を行った実績もある。実車走行では、負荷変動や最大効率追従制御時にも動作させ、性能的にも一段上の技術開発を行う必要があり、その基礎的な検討と実証を行った。

なお、電気モータの高い制御性を生かした運動制御技術は、(1) 電気自動車の走行安全性を向上させる研究、(2) 運転者にとっての操舵性・乗り心地を向上させる研究、(3) キャパシタ電気自動車の航続距離を延長させる研究、に分類している。それぞれの項目において、実車による走行実験を含む

大きな成果を上げている。

とくに、柏キャンパスの電気自動車実験場に製作した走行中ワイヤレス給電設備は学内外の大きな反響を呼んでおり、これまでに多くのデモンストラクションなどを実施した。さらには学会の公開委員会や講習会などを通じ、高性能電池にたよる電気自動車の未来はおそらく間違いであり、「走行中ワイヤレス給電」によって確かな未来が描けることを社会に情報発信してきたことも重要な成果である。

毎年 10 月に行われる東大柏キャンパス公開においては、本研究の成果は研究科の目玉として取り上げられ、学内ニュースにも大きく掲載されている。

申請時に掲げた 6 つのテーマはこの段落に述べるものであって、先述のものとは少々異なるので、最終年度の報告書に記したものを、あらためてここで再度説明しておく。

元の分類での具体的な成果として、(1) エネルギーマネジメント技術に関する研究、(3) 過渡現象を考慮したシステム設計、(4) 磁界共振結合通信とセンサ利用の項目では、実際の電気自動車を想定した大電力での実証実験に成功し、実用までを視野に入れた開発に取り組んだ。また、(2) コンデンサレス・フェライトレスに関する研究、(5) 漏洩電磁波低減技術の開発、(6) 地上側施設の簡易化の項目では、基礎研究の段階でありながらも、将来を見通せる基盤技術として、これらの有効性を実証実験によって確認することができている。

## ■社会に向けた提言、国民への発信

本研究は新しい枠組みを社会に向けて発信することも研究の一環としているので、それについても述べておく。

幸いなことに、研究代表者の「モータ／キャパシタ／ワイヤレス」によって未来のクルマ社会を描こうという提唱は、多くの賛同者を集めている。たとえば、研究代表者は自動車技術会の技術担当理事をつとめたが、電気駆動関係の技術部門委員会（総計 5 つ）の体制を完成させ、その大会やフォーラムを多く計画し実行してきた。とくに、2010 年 1 月に立ち上げた「ワイヤレス給電システム技術」部門委員会では、総員 50-60 名で広い視点から広く深い議論を行っている。自動車会社、OEM、装置メーカー、大学、シンクタンクに加え、総務省、国交省、経産省からも委員が出ている。主たる活動は、最新の話題提供、見学会、大会での OS 企画、一般向け Forum、EVTec 等国際会議でのセッション構成などであるが、国際規格化に関する意識も高い。

日本自動車研究所 (JARI) の活動への参加者からは SAE、ISO、IEC での検討状況の報告が、総務省関係の委員会の主査からは国際電気通信連合 (ITU) での周波数の検討状況の報告が行われた。ワイヤレス給電の普及には周波数の決定・グローバル標準化が必須であり、2014 年 6 月には、ワイヤレス給電に関する ITU-R Report が日本の貢献により ITU-R SG 1 で承認され大きな一歩となった。

堀・藤本研究室は、スタッフ、研究員、学生をあわせ最大 50 名、平均約 40 名の大きな研究室である。多くの電気自動車やワイヤレス給電システムを製作しており、これらを通じたノウハウはよく蓄積されている。電気自動車のガレージ、舗装した自前の走行テストコースや工作場を持ち、電気・機械工作に不便はない。計算機環境もよく整っている。

つくばにある国土交通省国土技術政策総合研究所 (国総研) とこの数年継続している共同研究で、本研究室が牽引する形で、道路埋設などのきわめて実地的な研究を進めており、将来役に立つデータを蓄積している。

研究代表者は、経済産業省、内閣府、NEDOなどのエネルギーや交通関係の諸種委員会の委員長や委員をつとめ、総務省電波環境課のワイヤレス電力伝送作業班の構成員でもあった。日本能率協会モータ技術シンポジウム委員長、キャパシタフォーラム会長、電気学会産業応用部門元部門長などの立場にあって、パワエレの分野にも精通している。IEEEでは元 IES AdCom メンバーであり、EVS や EVTeC など電気自動車関係の国際会議でも重要な立場にある。

これらの学会を通じた情報発信のみならず、電機メーカ、自動車メーカ、省庁関係、出版、マスコミなどにもきわめて太いパイプがあり、テレビ番組にもしばしば登場するなど、諸種の情報発信の機会は少なくなかった。記者会見や新聞発表などを通じた情報発信や、さらに本郷や柏でのキャンパス公開など、社会や国民に向けた情報発信を熱心に行った。

さらに本研究は、平成22年度から5年間行われた科学技術戦略推進費「明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム」内のモビリティグループ（研究代表者がグループリーダー）、地元柏市役所や東大 ITS センターが関わる、柏 ITS 推進協議会の第2部会（研究代表者が部会長）として、地元と連携した地域振興の取り組みの中でもきわめて重要な位置を占めてきた。

内閣府の SIP（戦略的イノベーションプログラム）では「次世代パワーエレクトロニクス」のサブPD（プログラムディレクタ）をつとめ、SiC デバイスの大きな市場として自動車分野、とくに走行中ワイヤレス給電への出口に関するロードマップ活動を主導している。

さらに、2018年10月に神戸で開催予定の電気自動車の世界最大の国際会議 EVS31（主催は日本自動車研究所 JARI）においては、研究代表者は WEVA（世界電気自動車連盟）会長に就任しており、会議を運営する立場にある。本研究の成果を発表するためには EVS31 は絶好の機会であり、実際に「EVへのエネルギー供給」をテーマとするパネル討論を計画している。

## ■産業構造論からの必然性

最後に本研究に関する講演の中で、下記のような文明論的な説明をしばしばおこなってきたので、その要点を記し、報告書を終わりたい。

妹尾堅一郎氏によれば、世界は100年ごとのパラダイムシフトを経験してきたという。18世紀のコンセプトは「物質」である。モノを作るために産業革命が起こり、モノを運ぶ鉄道、船舶などのネットワークが構築された。19世紀のコンセプトは「エネルギー」である。石油を中心とするエネルギー革命が起こり、エネルギーを運ぶネットワークが世界を席捲した。そして21世紀は、20世紀に生まれたコンセプト「情報」を具現化する時代であって、今までとは異なる新しいビジネスモデルが必要だという。Google, Amazon, Apple などいわゆる勝ち組のやり方を見れば、ユーザは単なるインターフェースである安価な端末を持つだけであって、肝腎の知能はネットで接続された Cloud にある。

iTunes で買うのは音楽であって、ハードとしての CD は必然ではないのと同じように、クルマで買うのが快適な移動と運転の楽しみというサービスだとすれば、また、クルマそのものを所有する欲望が現代の若者から消え去りつつあるとすれば、少なくとも大きなエネルギーを持ち運ぶ、エンジン車、電池電気自動車、燃料電池車はすでに時代錯誤の商品である。

クルマがナビによってインフラに接続され、IoTによってますますネットにつながる時代に、エネルギーを自前で持ち運ぶクルマを所有する必然性

はない。100年後のクルマが、エンジン/Liイオン電池/急速充電に代わって、モータ/キャパシタ/ワイヤレスで走るという研究代表者の主張は、妹尾のいう産業構造論の流れに沿った歴史の必然でもある。

そこではクルマを電力系統につなぐ最後の数 m を担う「ワイヤレス給電」が重要な役割を果たす。光ネットワークの大幹線はすぐそこまで来ており、最後の数 m を高速 WiFi が担うこととたいへんよく似ている。

	コンセプト	世界観	革命	ネットワーク
18世紀	物質	-	-	-
19世紀	エネルギー	・唯物史観	→産業革命	→モノを運ぶ
20世紀	情報	・宇宙観	→エネルギー革命	→エネルギーを運ぶ
21世紀		・情報世界観	→情報革命	→情報を運ぶ

## 100年毎のパラダイムシフト

## 5. 主な発表論文等

【雑誌論文】（計24件）すべて査読有

① 畑 勝裕, 居村岳広, 堀 洋一: ハーフアクティブ整流器を用いたワイヤレス給電システムの受電側電力制御に基づく送電側効率制御, 電気学会論文誌 D, Vol. 138, No. 1, pp. 22-29, 2018 (2018).

② 竹内琢磨, 居村岳広, 郡司大輔, 藤本博志, 堀洋一: スーパーキャパシタを搭載したワイヤレスインホイールモータのパワーフロー制御法, 電気学会論文誌 D, Vol.138, No.3, pp. 219-226, 2018 (2018).

③ 畑 勝裕, 居村岳広, 堀 洋一: 磁界共振結合方式のワイヤレス電力伝送における受電側情報を用いた2変数同時推定法, 電気学会論文誌 D, Vol.137, No.2, pp. 104-111 (2017).

④ 佐藤 基, Giuseppe Guidi, 居村岳広, 藤本博志: ワイヤレスインホイールモータの高効率化および高応答回生の実現に関する研究, 電気学会論文誌 D, Vol.137, No.1 (2017).

⑤ 長井千明, 犬飼健二, 小林正人, 田中達也, 鏡頭正, 居村岳広, 堀 洋一: 磁界を用いたワイヤレス電力伝送における結合係数とコイルサイズのスケール則, 電気学会論文誌 D, Vol.137, No.4, pp. 326-333, 2017 (2017).

⑥ 古里洗一, 居村岳広, 堀 洋一: ワイヤレス電力伝送における高次共振を用いたマルチバンドコイルの設計, 電気学会論文誌 D, Vol.137, No.6, pp. 526-533, 2017 (2017).

⑦ 長井千明, 犬飼健二, 小林正人, 江藤次郎, 田中達也, 安藤賢一, 居村岳広, 堀 洋一: 地層処分におけるモニタリングのための無線電力伝送の適用性に関する検討, 原子力バックエンド研究, Vol.24, No.1, pp. 45-52, 2017 (2017).

⑧ Giorgio Lovison, Daita Kobayashi, Motoki Sato, Takehiro Imura, Yoichi Hori: Secondary-side-only Control for High Efficiency and Desired Power with Two Converters in Wireless Power Transfer Systems, IEEJ Journal of Industry Applications, Vol.6, No.6, 2017, pp. 473-481 (2017).

⑨ Takehiro Imura, Yasuda Tomio, Kazunori Oshima, Takuya Nayuki, Motoki Sato, Atsushi Oshima: Wireless Power Transfer for Electric Vehicle at the Kilohertz Band, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.11, Issue S2, pp. S91-S99 (2016).

⑩ Motoki Sato, Gaku Yamamoto, Daisuke Gunji, Takehiro Imura and Hiroshi Fujimoto: Development of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 31, No. 7, pp. 5270-5278 (2016).

⑪ 山本 岳, 郡司大輔, 居村岳広, 藤本博志: ワイヤレスインホイールモータの送電電圧および負荷電圧制御による電力伝送効率最大化の検討, 電



- 気学会論文誌 D, Vol.136, No.2, pp.118-125 (2016).
- ⑫ 郡司大輔, 居村岳広, 藤本博志: 磁界共振結合ワイヤレス給電における相互通信を要さない伝送電力制御手法, 電気学会論文誌 D, Vol.136, No.3, pp.222-231 (2016).
- ⑬ 小林大太, 居村岳広, 堀 洋一: 走行中ワイヤレス給電システムにおけるリアルタイム最大効率制御, 電気学会論文誌 D, Vol.136, No.6, pp. 425-432 (2016).
- ⑭ 居村岳広: 共振を用いた磁界結合回路における電力伝送と磁束の関係, 電気学会論文誌 D, Vol.136, No.10, pp. 811-818 (2016).
- ⑮ Koh Kim Ean, Takehiro Imura and Yoichi Hori: Analysis of Dead Zone in Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling for Charging Moving Electric Vehicles, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, pp. 1-12, DOI: 10.1007/s13177-015-0110-y (2015).
- ⑯ Vissuta Jiwariyavej, Takehiro Imura and Yoichi Hori: Coupling Coefficients Estimation of Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonant Coupling using Information from Either Side of the System, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 191-200 (2015).
- ⑰ 郡司大輔, 居村岳広, 藤本博志: 磁界共振結合によるワイヤレスインホイールモータの電力変換回路の制御に関する基礎研究, 電気学会論文誌 D, Vol. 135, No. 3, pp. 182-191 (2015).
- ⑱ 居村岳広, 堀 洋一: 電磁誘導方式と磁界共振結合方式の統一理論, 電気学会論文誌 D, Vol.135, No.6, pp.697-710 (2015).
- ⑲ 平松敏幸, 黄 孝亮, 加藤昌樹, 居村岳広, 堀 洋一: ワイヤレス給電における送電側による最大効率と受電側による所望受電電力の独立制御, 電気学会論文誌 D, Vol.135, No.8, pp.847-854 (2015).
- ⑳ 平松敏幸, 黄 孝亮, 加藤昌樹, 堀 洋一: 複数回ワイヤレス給電を行うキャパシタ・バッテリーハイブリッド蓄電装置の容量比設計法, 電気学会論文誌 D, Vol.135, No.9, pp.898-905 (2015).
- ㉑ Koh Kim Ean, Beh Teck Chuan, Takehiro Imura and Yoichi Hori: Impedance Matching and Power Division using Impedance Inverter for Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling, IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 50, No. 3, pp. 2061-2070 (2014).
- ㉒ 居村岳広: 磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送におけるクロスカップリングキャンセリング法の提案, 電気学会論文誌 D, Vol. 134, No. 5, pp. 564-574 (2014).
- ㉓ 居村岳広: 磁界共振結合を用いた複数負荷への一括ワイヤレス給電に関する研究, 電気学会論文誌 D, Vol. 134, No. 6, pp. 625-633 (2014).
- ㉔ 郡司大輔, 藤本博志: タイヤ横力センサの計測性能定量化と電気自動車のヨーレート制御への応用, 電気学会論文誌 D, Vol. 134, No. 8, pp. 742-749 (2014).

#### 【学会発表】(計約 250 件)

国際会議(すべて査読付国際会議), 国内会議(学会大会, 研究会など)での発表はきわめて多数あり, 約 250 件である。中には賞をもらったものも少なくないが煩雑になるのですべて省略し, 代わりに, 解説論文や招待講演的なものをいくつか載せておく。これは, 世間への啓蒙を研究目的の一つにあげているためでもあり, その証左である。

① 居村岳広: 磁界共振結合による電気自動車へのワイヤレス給電, 高翔: 自動車技術会関東支部報, No. 69, 2018, pp. 18-21 (2018).

② 居村岳広: 電気自動車へのワイヤレス給電技術の利用, 電気計算 2017 年 8 月号, Vol. 85, No. 8, 2017, pp. 26-36 (2017).

- ③ 堀 洋一: 「モータ」「キャパシタ」「ワイヤレス」というパラダイム, 技術総合誌 OHM, Vol. 103, No. 3, p.4 (2016).
- ④ 堀 洋一: 100 年後のクルマ, ケーヒン技報, Vol.5, pp.2-3 (2016).
- ⑤ 居村岳広: 磁界共振結合における効率と磁束, 日本 AEM 学会誌, Vol.24, No. 4, pp.317-355 (2016).
- ⑥ 佐藤基, 居村岳広, 藤本博志: ワイヤレスインホイールモータの開発と実験的検証, 東洋電機技報, Vol. 131, No. 4, pp. 8-14 (2015).
- ⑦ 堀 洋一, 居村岳広: 非接触給電の種類と原理, 月刊「エネルギーレビュー」, Vol. 35, No. 415, pp. 7-9 (2015).
- ⑧ 居村岳広, 堀 洋一: 電磁共鳴によるワイヤレス給電, 月刊「エネルギーレビュー」, Vol. 35, No. 415, pp. 10-13 (2015).
- ⑨ 堀 洋一: 自動車技術「学会」への道, 自動車技術, Vol. 69, No. 9, p. II (2015).
- ⑩ 居村岳広: 磁界共鳴による無線給電方式の現在と未来, 電気学会誌, Vol. 135, No. 4, pp. 620-622 (2015).
- ⑪ 居村岳広, 加藤昌樹, 堀 洋一: 磁界共鳴による EV 用ワイヤレス給電技術, まぐね, Vol. 9, No. 3, pp. 105-110 (2014).
- ⑫ 堀 洋一: 100 年後のクルマ, 技術総合誌 OHM 創刊 100 周年記念号, Vol. 101, No.11, pp. 26-28 (2014).
- ⑬ 居村岳広: 磁界共鳴と電界共鳴の等価回路による考察, グリーン・エレクトロニクス, No. 17, pp. 4-19 (2014).

#### 【図書】(計 2 件)

- ① 居村岳広: 磁界共鳴によるワイヤレス電力伝送, 森北出版, pp.1-416 (2017).
- ② 居村岳広: 電界磁界結合型ワイヤレス給電技術—電磁誘導・共鳴送電の理論と応用, 科学情報出版株式会社, 3 章 5 節 (2014).

#### 【産業財産権】

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

#### 【その他】

日本語 : <https://sites.google.com/edu.k.u-tokyo.ac.jp/hflab>  
英語 : <https://sites.google.com/edu.k.u-tokyo.ac.jp/hflab>

#### 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
堀 洋一 (HORI, Yoichi)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授  
研究者番号 : 50165578
- (2) 研究分担者  
藤本 博志 (FUJIMOTO, Hiroshi)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授  
研究者番号 : 20313033
- 居村 岳広 (IMURA, Takehiro)  
東京大学・大学院工学系研究科・特任講師  
研究者番号 : 3059193
- (3) 連携研究者  
なし