

# 車両ビッグデータを活用した走行中給電への要求性能分析

藤本浩太\*, 清水修, 藤本博志 (東京大学)  
勝谷仁, 佐藤哲 (本田技術研究所)

Requirement Analysis for Dynamic Wireless Power Transfer with Big Data from Real Vehicles

Kota Fujimoto\*, Osamu Shimizu, Hiroshi Fujimoto (The University of Tokyo)

Jin Katsuya, Tetsu Sato (Honda RD Co., Ltd.)

DPWT (Dynamic Wireless Power Transfer) is proposed to solve the problems of electric vehicles. The requirements of DWPT are changed by not only the specifications of vehicles, but also the use of the vehicles. This paper presents the requirements of DWPT by analyzing big data obtained by customers' vehicles.

キーワード：電気自動車, 走行中無線給電, 要求性能分析, ビッグデータ  
(electric vehicles, dynamic wireless power transfer, requirement analysis, big data)

## 1. 研究背景

交通社会を持続可能にするために走行時に温室効果ガスを排出しない電気自動車 (EV: Electric Vehicle) の普及が進められている。一方で EV の課題として、車両製造の際の温室効果ガス (GHG: Green House Gas) 排出量や、性能的課題としての短い航続距離が挙げられる。航続距離の伸長には車両への電池の搭載量を増やすことが効果的ではある。しかし、車両の電池搭載量を増やすと電池製造に係る GHG 排出量は増大する。また車体重量が増えることにより、走行抵抗が増加し、走行にかかるエネルギーが増大する。走行にかかるエネルギーが増大すると EV の充電に係る発電量が増える。多くの国で発電には化石燃料を用いるため発電時の GHG 排出量が増加する。以上のように利便性を高めるために大量の電池を使用する EV の導入は、EV 普及の大きな目的の一つである GHG 排出量の削減と化石燃料の使用量削減の実現を困難にする。

そこでこれらの課題の抜本的解決方法として近年、普及が進む無線電力伝送技術<sup>(1)-(4)</sup>を走行中車両に対し適用する、走行中給電<sup>(5)-(10)</sup>という技術が提案されている。システムの概観を Fig. 1 に示す。走行中に車両に給電を行うことで、EV に大きな電力を蓄える必要がなくなり、車両に搭載する電池を大きく削減<sup>(11)</sup>することができ、製造にかかる GHG 排出量削減<sup>(12)</sup>することが期待される。また車両に搭載する電池を削減することで、走行にかかるエネルギーを削減<sup>(13)</sup>することができる。

これらの既往研究のシミュレーションでは、走行中給電の性能を仮定し、速度データや道路勾配などの情報から推定される車両運動から消費エネルギーを算出した上で、走行中給電導入の効果を述べている<sup>(11)</sup>。一方これには、車両運動に推定があり、操舵による走行抵抗の変化などが含ま



図1 走行中給電システムの実現による車両に搭載するバッテリー容量の削減

Fig.1: Battery capacity reduction by dynamic wireless power transfer

れないため、実際の車両の出力とは誤差が生じる。またデータ数が少ないことからドライバーの運転方法による出力のばらつきなどの検証も行えない。そこで、本研究では市販されている車両から得られた車両の出力等のビッグデータを分析することで、ある無線電力伝送出力を与える時に必要となるバッテリー容量を算出することを目標とする。

本稿の構成を以下に示す。第2章では本研究で扱うビッグデータについて述べ、第3章では本研究で行ったデータ分析手法について述べる。そして第4章でデータ分析の結果について述べ、第5章にて結論をまとめる。

## 2. 車両ビッグデータ

本研究で扱う車両のビッグデータは、5人乗りの小型ハイブリッド自動車に搭載されたデータ収集システムからデータベースに登録されたデータである。データは車両に電源を入れている間のみ収集されるため、車両を使用していない間のデータはデータベースに存在しない。

データの構成イメージを Fig. 2 に示す。データを取得した地域は日本、取得期間は2022年9月1日から2022年11月30日の2か月である。データは約10億行のテーブルで構成されており、それぞれに様々な車両の3秒間隔のデータが含まれている。それらのテーブルから車両ごとのデー

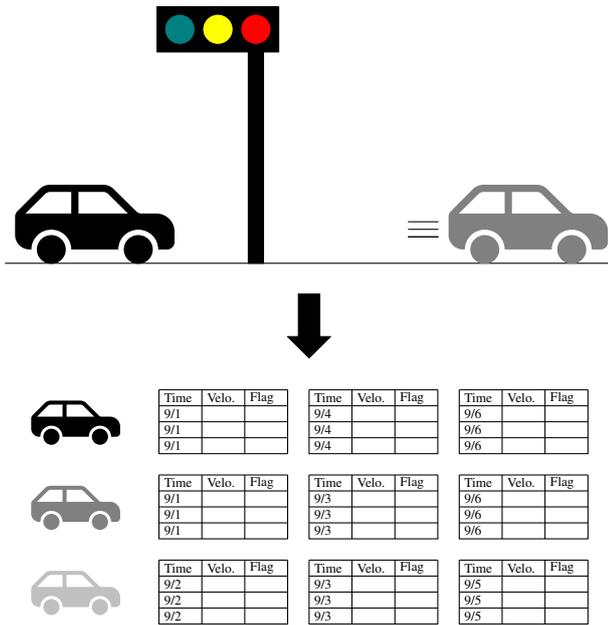


図2 実走行ビッグデータから作成される個別車両の走行データのイメージ

Fig.2: Each vehicle's data table image made from user's driving big data

表1 解析に用いるデータの種別

symbol	parameter	unit
$ID_v$	vehicle ID	-
$t_{check}$	check time	-
$V_p$	vehicle speed	m/s
$T_{shft}$	drive shaft torque	N s
$r_{tire}$	tire radius	m
$\eta$	transmission efficiency	-
$\theta_{brk}$	brake opening position	%
$ID_{road}$	road ID	-

データを時系列順に抽出し、かつ日付ごとに分割することで、データの解析を行う。本研究では、10億行の内2,000万行を使用し、解析に用いられる車両の台数は11,064台である。

解析に使用するデータ種別をTable. 1に示す。車両が走行している道路の種別は、非道路上（駐車場合）、高速道路、フェリー航路、そしてこれらを除く道路を一般道としてラベル付けを行っている。

### 3. データ分析手法

ここではビッグデータの分析手法について述べる。走行中給電システムが存在する場合の車両の総消費エネルギー  $E_{total}(t)$  は、走行による消費エネルギー  $E_{drive}(t)$  と走行中給電システムによる給電エネルギー  $E_{WPT}(t)$  の差として定義される。本節では各パラメータ  $E_{drive}(t)$ ,  $E_{WPT}(t)$ ,  $E_{total}(t)$  の

定義と、解析から除外するデータの説明を行う。

**〈3・1〉 走行による消費エネルギー  $E_{drive}(t)$  の定義** 走行による消費エネルギー  $E_{drive}(t)$  は車両出力  $P_{out,drive}$  の時間積分値であるため、

$$E_{drive}(t) = \int_0^t P_{out,drive}(t) dt, \quad (1)$$

$$P_{out,drive} = \frac{T_{shft}}{r_{tire}} \cdot V_p \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (2)$$

と算出される。ここで  $T_{shft}$  は足軸トルク、 $V_p$  は車両速度、 $r_{tire}$  は対象とする車両のタイヤ半径、 $\eta$  はモータトルクまたはエンジントルクからドライブシャフトの出力トルクまでの伝達効率である。足軸トルクはモータトルクとモータからドライブシャフトまでのギア比、もしくはエンジントルクとモータからドライブシャフトまでのギア比から車両 ECU 内で算出された値である。本研究では、 $r_{tire} = 0.293$  m、 $\eta = 0.894$  とする。

**〈3・2〉 走行中給電システムによる給電エネルギー  $E_{WPT}(t)$  の定義** 交差点周辺に車両が存在する確率が高いことが指摘されている<sup>(11)</sup> ことから、本研究でも給電可能な時間は交差点の周辺に侵入した時間としてデータ分析を行うこととした。

しかし車両の交差点への進入の判定に必要である、交差点の位置情報が、今回分析に使用したデータには含まれていないため、本研究では車両データから下記の3つの状態が同時に起きている場合を交差点での停車時間として扱うこととする。

- (1) 車両速度が 0 m/s
- (2) ブレーキ開度が 0% より大きい
- (3) 一般道で走行

実態としては交差点での走行の時間、すなわち走行中に給電する時間も考慮に入れることは可能であるが、本研究では上記条件のみを給電可能時間として扱い、分析を行うこととする。また今回は一般道を走行するデータのみを解析に用いており、条件3は常に満たされる。

以上に基づき走行中給電システムによる給電エネルギー  $E_{WPT}$  を、

$$E_{WPT}(t) = \int_0^t f_{stop}(t) P_{in,WPT}(t) dt, \quad (3)$$

と定義する。ここで  $f_{stop}(t)$  は給電区間であることを表す交差点フラグであり、本節冒頭の条件を全て満たす場合に1、そうでない場合に0が出力される関数である。

**〈3・3〉 車両の総消費エネルギー  $E_{total}(t)$  の定義** 車両の総消費エネルギー  $E_{total}(t)$  は、

$$E_{total}(t) = E_{drive}(t) - E_{WPT}(t), \quad (4)$$

と定義される。ただし  $E_{total}(t)$  は、車両ごとのデータの始点において 0 kWh と定義する。また各車両はデータの始点において満充電されているとする。つまり、 $E_{total}(t) = 0$  は満充電状態であることを意味し、 $E_{total}(t) = 0$  の状態では送電電力を遮断する制御が送電側、または受電側で行われるた

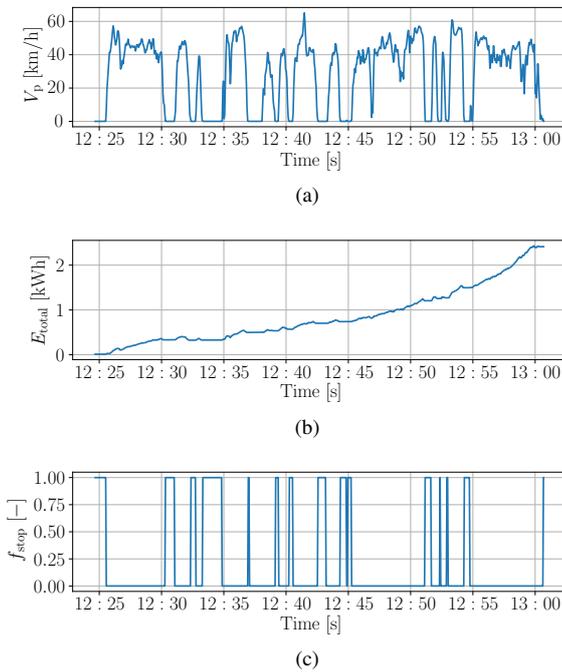


図3  $P_{in,WPT} = 0\text{ kW}$  とするときの走行データの一例  
(a) 車両速度  $V_p$  (b) 総消費エネルギー  $E_{total}$  (c) 交差点  
フラグ  $f_{stop}$

Fig.3: One example of vehicle data plot when  $P_{in,WPT} = 0\text{ kW}$  (a) Velocity  $V_p$  (b) Energy  $E_{total}$  (c) Flag of intersection  $f_{stop}$

め、 $E_{total}(t) < 0$  となることはない。また走行中給電システムの未来ではEVの充電を走行中給電のみで賄うことを想定しており、時間を空けて走行する場合等、個別車両の各走行間においてバッテリー容量は一定で保持されるとする。

$E_{total}(t)$  の最大値を  $E_{total,max}$ 、最小値を  $E_{total,min}$  と定義すると、その差である  $\Delta E = E_{total,max} - E_{total,min}$  はバッテリーの必要容量と解釈することができる。この指標を必要バッテリー容量  $\Delta E$  と定義し、以降の解析で用いる。

**〈3・4〉 除外するデータ** 本研究の目的は、交差点が一定の間隔で存在する一般道において、走行中給電システムがある出力を持つときに、必要となるバッテリー容量を導出することである。この前提に当てはまらない以下のデータを解析からは除外する。

- (1) 総時間に対する交差点停止時間の割合が0.1以下、または0.9以上である1日分のデータ
- (2)  $P_{WPT} = 0\text{ kW}$  の解析において、 $E_{total}$  の最終値が負である1日分のデータ

1番について、総時間に対する交差点停止時間の割合が0.1以下の場合を除外するのは、交差点が存在する一般道を走行する場合、交差点停止時間が0.1以下と極端に小さくなる可能性は少ないためである。実際のデータとしては、交差点停止時間がほとんど0であるデータが多い。道路ラベ

ル情報に相違があるために、一般道のデータに高速走行のデータが含まれてしまっていると考えられる。また総時間に対する交差点停止時間の割合が0.9以上の場合を除外するのは、一般道の走行でそれほどまでに停止し続けることは考えにくいためである。実際のデータとしては、計測時間の短いデータであることが多く、短い間起動する等、車両の動きが介在しないデータが含まれてしまっていると考えられる。

2番について、 $P_{WPT} = 0\text{ kW}$  にも関わらず  $E_{total}$  の最終値が負となってしまっているのは、回生が連続的に起きてしまっているためである。実際のデータとしては、車両速度は40 km/h等、中速域にもかかわらず、消費エネルギーは負であり、かつブレーキがこまめに使用されるデータとなっている。このデータは連続的な坂道を下っている最中のデータ等と考えられ、交差点が定期的存在する一般道を想定する本研究における解析からは除外する。

#### 4. 分析結果と要求性能

本節ではビッグデータの分析結果について述べる。まず一例としてある車両の一区間の走行データの説明を行うことで、ビッグデータ解析の概要を示す。次に解析により得られる総消費エネルギー  $E_{total}(t)$  の時系列データの最大値、最小値の差として、必要バッテリー容量  $\Delta E$  を求める。それぞれの車両に対し  $\Delta E$  を計算し、それぞれの  $\Delta E$  の中から最大値  $\Delta E_{max}$  を抽出することで、様々な走行条件を加味するEVの必要バッテリー容量を求めることが可能となる。以上により、実走行ビッグデータからある走行中給電出力のときに必要となるバッテリー容量を求めることが可能となる。

##### 〈4・1〉 個別データの分析結果

本節ではある個別の車両の時系列データの中で、特に重要となる速度  $V_p$  の時系列、総消費エネルギー  $E_{total}$  の時系列、交差点フラグ  $f_{stop}$  の時系列の関係について説明を行う。一例として、走行中給電による出力  $P_{in,WPT} = 0\text{ kW}$  とする場合の時系列データを提示し、図に基づいて  $V_p, E_{total}, f_{stop}$  の関係の説明を行う

$P_{in,WPT} = 0\text{ kW}$  とする場合の個別車両の時系列データを Fig. 3 に示す。まず Fig. 3(a) と Fig. 3(b) に示す  $V_p$  と  $E_{total}$  の関係について、 $V_p$  が大きくなる、つまり加速時には  $E_{total}$  は大きく増加する。一方  $V_p$  が小さくなる、つまり減速時には回生が起これ、 $E_{total}$  は大きく減少する。また  $V_p$  がおよそ一定となるとき、 $E_{total}$  は一定の割合で増加するため、 $E_{total}$  の時系列データはランプ形状を取る。次に Fig. 3(b) と Fig. 3(c) に示す  $E_{total}$  と  $f_{stop}$  の関係について、 $f_{stop} = 1$  となるとき、つまり車両が交差点において停車する際に、 $E_{total}$  は一定となる。また Fig. 3(a) と Fig. 3(c) に示す  $V_p$  と  $f_{stop}$  の関係について、 $f_{stop} = 1$  となるとき、つまり車両が交差点において停車する際に、 $V_p = 0\text{ m/s}$  となる。後者2つは  $f_{stop}$  の

## 文 献

定義にある，車両速度が0m/s，ブレーキ開度が0%より大きいに応じた関係性となっている。

$P_{in,WPT} > 0\text{kW}$  とする場合の車両データについて， $V_p$  と  $E_{total}$ ，そして  $V_p$  と  $f_{stop}$  の関係は， $P_{in,WPT} = 0\text{kW}$  とする場合と同じ傾向となる。一方  $E_{total}$  と  $f_{stop}$  の関係について， $f_{stop} = 1$ ，つまり交差点で停車中と判定される場合，給電が行われ， $E_{total}$  は減少する。 $E_{total}$  の減少の傾きは走行中給電出力に依存し，走行中給電出力が大きいほどに  $E_{total}$  の減少の傾きは大きくなるが，過剰な出力を与えると  $E_{total}$  の値は0に張り付いてしまう。

必要バッテリー容量  $\Delta E$  は， $E_{total}$  の時系列データから最大値と最小値を取得し，その差を計算することで求める。Fig. 3のデータでは，Fig. 3(b)から  $\Delta E = 2.4\text{kWh}$  と求めることが可能である。次節では解析する車両ごとに  $\Delta E$  を求め，車両間の最大値  $\Delta E_{max}$  を求めることで，ある走行中給電出力のときに必要となるバッテリー容量をビッグデータから求める。

**〈4・2〉 全体データの分析結果** 本研究では，無線電力伝送システムの出力  $P_{in,WPT} = 40\text{kW}$  とする場合の  $\Delta E_{max}$  の分析を行う。ここで  $P_{in,WPT} = 40\text{kW}$  とするのは，すでに実現しており， $P_{in,WPT} = 36\text{kW}$  である走行中給電システムが存在し<sup>(12)</sup>，近い将来の技術発展によって  $P_{in,WPT} = 40\text{kW}$  とすることは十分に可能と考えられるためである。

走行中給電の出力を  $P_{in,WPT} = 40\text{kW}$  とする場合， $\Delta E_{max}$ ，つまり走行中給電システムの実現必要となるバッテリー容量は2.2kWhとなる。これより，全交差点に平均出力40kWのDWPTシステムが導入された社会では，EVの搭載バッテリーは2.2kWhとすれば十分であることが分かる。

## 5. 結論

本研究では市販の車両から得られたビッグデータを分析することにより，走行中給電に必要な要求性能を明らかにした。本研究によって得られた結論は下記のとおりである。

(1) 平均出力40kWである走行中給電システムを導入するとき，バッテリー容量は2.2kWhあれば十分となる。今後は，使用するデータ量を増やすことで，より長期間を想定する場合に走行中給電システムで必要となる出力，バッテリー容量の検討を行う。また本研究では走行中無線給電システムの普及率を100%と仮定したが，普及率を変動させる時に必要となる出力，バッテリー容量の解析を行う。さらに本研究では車両の動作状況から交差点での停車状態を推定したが，今後はすでにデータとして得られている位置情報と地図データとの整合を取り，より推定の少ない分析を行うことに取り組む。

## 謝 辞

本研究の一部はJST 未来社会創造事業(グラント番号:JP-MJMI21E2)の支援を受けたことを付記する。

- (1) 古川 啓太, 日下 佳祐, 伊藤 純一:「複数巻線を有するワイヤレス電力伝送システムの等価的な結合係数の改善法」, 電気学会論文誌 D, Vol.139, No.7, pp.612–623 (2019)
- (2) K. Kusaka, K. Inoue, J. Itoh: “Comparative Verification of Radiation Noise Reduction Effect Using Spread Spectrum for Inductive Power Transfer System”, *World Electric Vehicle Journal*, Vol.10, No.40, pp.1–12 (2019)
- (3) T. Imura, K. Suzuki, K. Hata, Y. Hori: “Comparison of Four Resonant Topologies Based on Unified Design Procedure for Capacitive Power Transfer”, *IEEE Journal of Industry Applications*, Vol.10, No.3, pp.339–347 (2021)
- (4) R. Ota, N. Hoshi, K. Uchida: “Improving the Efficiency by Controlling the Switching Frequency for Secondary-Side Converter of an Inductive Power Transfer System”, *Electrical Engineering in Japan*, Vol.202, No.3, pp.33–43 (2018)
- (5) G. A. Covic, J. T. Boys, M. L. G. Kissin, H. G. Lu: “A Three-Phase Inductive Power Transfer System for Roadway-Powered Vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.54, No.6, pp.3370–3378 (2007)
- (6) J. Huh, S. W. Lee, W. Y. Lee, G. H. Cho, C. T. Rim: “Narrow-Width Inductive Power Transfer System for Online Electrical Vehicles”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.26, No.12, pp.3666–3679 (2011)
- (7) O. C. Onar, J. M. Miller, S. L. Campbell, C. Coomer, C. P. White, L. E. Seiber: “A novel wireless power transfer for in-motion ev/phev charging”, in *2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, pp.3073–3080 (2013)
- (8) A. Kamineneni, M. J. Neath, A. Zaheer, G. A. Covic, J. T. Boys: “Interoperable EV Detection for Dynamic Wireless Charging With Existing Hardware and Free Resonance”, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, Vol.3, No.2, pp.370–379 (2017)
- (9) L. Zhao, D. J. Thrimawithana, U. K. Madawala: “Hybrid Bidirectional Wireless EV Charging System Tolerant to Pad Misalignment”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.64, No.9, pp.7079–7086 (2017)
- (10) 居村 岳広, 佐々木 寛太, 山田 悠人, 埜 昂樹, 阿部 長門: 「経済成立性からみた高速道路における走行中ワイヤレス給電システムの検討」, 自動車技術会春季大会 2022 (JSAE), pp.3073–3080 (2013)
- (11) D. Gunji, K. Hata, O. Shimizu, T. Imura, H. Fujimoto: “Feasibility Study on In-motion Wireless Power Transfer System Before Traffic Lights Section”, in *2019 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*, pp.302–307 (2019)
- (12) 清水 修, 永井 栄寿, 藤田 稔之, 藤本 博志, 郡司 大輔, 角谷 勇人, 高橋 英介, 山口 宜久, 谷 恵亮: 「製造・発送電・走行を考慮した走行中給電による温室効果ガスの削減効果」, 電気学会論文誌 D, Vol.142, No.10, pp.736–743 (2022)
- (13) O. Shimizu, S. Nagai, T. Fujita, H. Fujimoto: “Potential for CO<sub>2</sub> Reduction by Dynamic Wireless Power Transfer for Passenger Vehicles in Japan”, *Energies*, Vol.13, No.13, pp.1–15 (2020)