

高速道路上での電気自動車の電欠を防止するEV充電ナビシステム

EV Navigation System for Traffic Control Systems to Avoid Battery Power Shortages on Expressways

下川 裕亮 SHIMOKAWA Yusuke 福島 亜梨花 FUKUSHIMA Arika 大江 公二 OE Koji 田村 聡一郎 TAMURA Soichiro

近年、電気自動車（EV）が急速に普及しているが、ガソリン車よりも航続可能距離が短いため、高速道路の走行では、多くのEVドライバーが電欠の不安を抱えている。また、電欠で渋滞や事故が誘発される可能性が懸念されている。

そこで、東芝インフラシステムズ（株）は、交通管制システム向けに、“EV充電ナビシステム”を開発した。このシステムは、高速道路上の様々なEVの状態や走行条件を考慮するため、AIの一種であるモデル木による予測技術を採用しており、高精度なEVバッテリー消費予測情報と、充電に適切なサービスエリア及びパーキングエリア（以下、SA/PAと略記）をEVドライバーに推奨できる。これにより、高速道路における、長距離走行時のEVの電欠を防止し、EVを適切なSA/PAへ誘導することで、充電設備の利用率の平準化を目指す。開発したシステムのスマートフォン用アプリケーションをEVドライバーに配布した実証実験の結果、従来手法と比較して高精度に消費電力量を予測できること、及び充電設備のあるSA/PAの推奨による一定の誘導効果が確認できた。

Despite the expanding dissemination of electric vehicles (EVs), a number of EV drivers traveling on expressways are still concerned about battery power shortages associated with the risks of traffic congestion and accidents due to the shorter travel distance of EVs per charge compared with the travel distance of gasoline-fueled vehicles.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed an EV navigation system for traffic control systems that provides EV drivers with precise information on the predicted power consumption of batteries and recommended charging stations at service area/parking area (SA/PA) facilities using model tree artificial intelligence (AI) technology. This system makes it possible to avoid battery power shortages and balance the utilization rate of charging stations by guiding each EV to an uncrowded SA/PA. A large-scale demonstration experiment on this system using a smartphone application for EV drivers has achieved a certain level of effectiveness in inducing navigation to suitable SAs/PAs as well as a higher level of accuracy in predicting the power consumption of batteries compared with conventional methods.

1. まえがき

EVは、近年急速な広がりを見せており、国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）の調査によれば、2017年末における世界のEV台数は、約200万台になった⁽¹⁾。

しかし、現在のEVは、航続可能距離がガソリン車よりも短いため、高速道路の走行では、多くのEVドライバーが電欠の不安を抱えている。また、長距離移動においては、我が国のドライバーの80%以上が、高速道路を利用する傾向にあり⁽²⁾、社会的にも高速道路での電欠による渋滞や事故の誘発の可能性が懸念されている⁽³⁾。一方で、経済産業省などの取り組みにより、高速道路のSA/PAの充電設備は、年々増加しているが、充電設備ごとの利用率には偏りがあり、一部のSA/PAでは充電待ち渋滞が発生している⁽⁴⁾。このことは、高速道路におけるEV利用の利便性を低下させ、EV普及の妨げになる可能性がある。

そこで、東芝インフラシステムズ（株）は、高速道路上のEVに対し、電欠の防止と、電欠しないで到達可能な充電設備のあるSA/PAを推奨することによる充電設備利用の平準化を目的とした、EV充電ナビシステムの開発を行ってきた⁽⁵⁾。推奨したSA/PAでより多くのEVに充電してもらうには、正確な消費電力量予測が必要となる。

ここでは、このEV充電ナビシステムに用いた消費電力量予測技術、実証実験システムの構成、及び実証実験による誘導の検証結果について述べる。

2. EV充電ナビシステムの目的

EV充電ナビシステムは、主に次の二つを目的とする。

(1) EVドライバーへの高速道路での充電計画支援

現在のEVは、航続可能距離が短く、消費電力量は、道路の勾配やバッテリーの放電特性などの様々な要因で変動する。このため、電欠の不安から、多くのEVドライバーが、高速道路を利用する際に過度に充電

を繰り返し、快適に利用できない場合がある。このシステムにより、高速道路上で電欠に陥る不安を解消し、過度な充電を防ぐことで、EVドライバーの充電計画を支援する。

(2) SA/PAの充電設備利用の平準化 現在のEVは、充電に時間が掛かるため、一部の充電設備の利用が集中すると充電待ちが発生し、サービス自体に大きな支障を来す。これは、道路管理者にとっても、安心・安全・快適な道路環境の提供に大きな影響を与える。そこで、EVドライバーを適切なSA/PAへと誘導し、充電設備利用を平準化することで、充電待ち時間を短縮する。

3. EV走行の消費電力量予測技術

2章の(1)で述べた、EVドライバーへの高速道路での充電計画支援を行い、高速道路上のEVに適切なSA/PAを推奨するためには、正確なバッテリー残量の予測が重要となる。つまり、出発地から目的地までの消費電力量を高精度に予測する必要がある。そこで、EV充電ナビシステムでは、車種やバッテリー劣化などのEV特性や、走行速度などの運転特性、距離や勾配などの道路特性、気温や天候といった気象特性など、様々な特性と消費電力量の関係を統計的にモデル化し、そのモデルを用いて消費電力量を予測した。

3.1 消費電力量予測技術の課題

EV市場は、急速に拡大しているため、今後普及する様々なEV車種に対して、消費電力量予測を実施するには、モデルを更新する必要がある。しかし、消費電力量を予測するモデルを手動で都度更新していくことは現実的ではない。そこで、EV、運転、道路、及び気象の各特性から成る走行データを用い、自動的に統計モデルを構築することが求められる。

3.2 消費電力量予測技術の課題解決手法

統計モデルを自動的に構築するため、機械学習の一種である、決定木と統計モデルを組み合わせたモデル木 (Model Tree) を採用した (図1)。具体的には、類似した走行データを一つのグループにまとめ、そのグループごとに統計モデルを構築する。このように、消費電力量に影響を与える走行データの類似したものが同じグループになるように、分岐条件を自動で探索することで、モデル木を自動的に構築できる。

モデル木による高精度な予測技術を実現するためには、誤差 (グループ内の消費電力量の実測値と統計モデルによる予測値の差) のばらつきが、グループ分けの前後で最大の減少量を示すような特性としきい値を、分岐条件にする必要がある⁶⁾。このようにして、誤差が大きくなる、すなわ

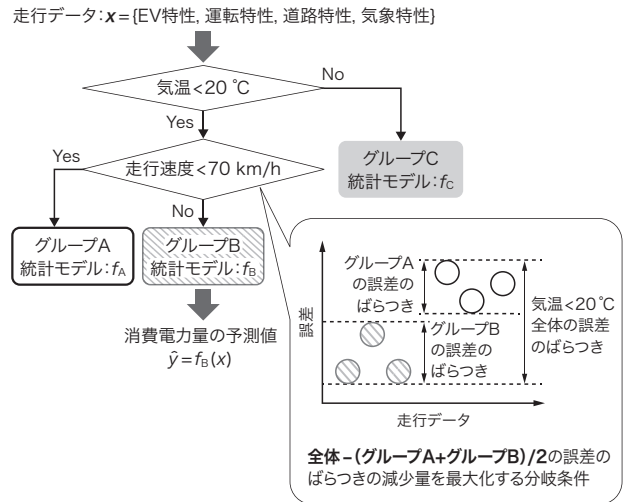


図1. モデル木による消費電力量の予測

モデル木の分岐条件と照らし合わせ、EVの走行データをグループに分類し、グループごとに対応した統計モデルを構築して消費電力量を予測する。

Prediction of power consumption of EV batteries using model tree

ち、該当グループの統計モデルが対応していない走行データを、該当グループから分離する手法を開発した。

3.3 消費電力量予測手法の評価

3.2節で述べた手法により自動的に構築されたモデル木を評価するため、様々な車種や、ドライバー、バッテリー劣化度合い、路線、走行速度などが混在する充電履歴データを利用した。EVの走行データを充電履歴データから作成して、消費電力量の実測値と予測値を求め、それらをバッテリー残量に変換して、その絶対誤差を従来手法と比較した (図2)。今回開発した手法の誤差の中央値は約4%であ

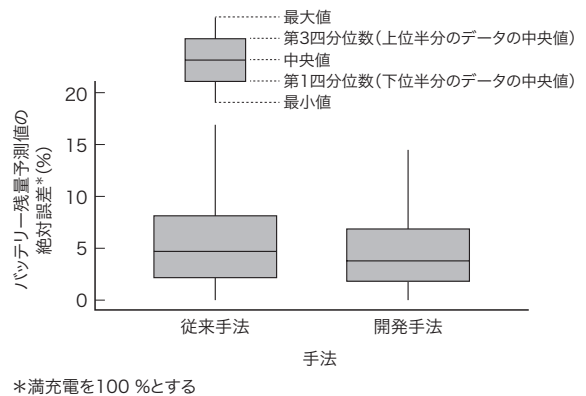


図2. バッテリー残量予測値の絶対誤差の比較

消費電力量をバッテリー残量に変換した予測値において、開発した手法は、従来手法と比較して、誤差のばらつきが減少した。

Comparison of power consumption prediction error obtained by conventional method and newly developed method using model tree

り、従来手法（一つの統計モデルを用いた手法）の約5%に比べて1/5程度改善できている。開発した手法は、従来手法と比較して高精度に消費電力量を予測し、より正確なバッテリー残量の予測値をEVドライバーに提供できることが期待される。

4. EV充電ナビシステムの構成

4.1 機能構成

EV充電ナビシステムは、スマートフォンとの通信機能に加え、消費電力量予測機能及びEV走行管理機能から構成される。これらの機能が連携することで、各EVの航続可能距離の予測と推奨SA/PAの算出を行う。

4.2 システム構成

今回の実証実験では、期間中に各被験者が任意のタイミングで参加できるように配慮した。パブリッククラウドサービスを利用して構築したEV充電ナビシステムのシステム構成を図3に示す。

このシステムは、サポートサイトサーバー、アプリケーションサーバー、データベースサーバー、保守・評価サーバーの四つから成り、実証実験期間中に稼働停止しないように、

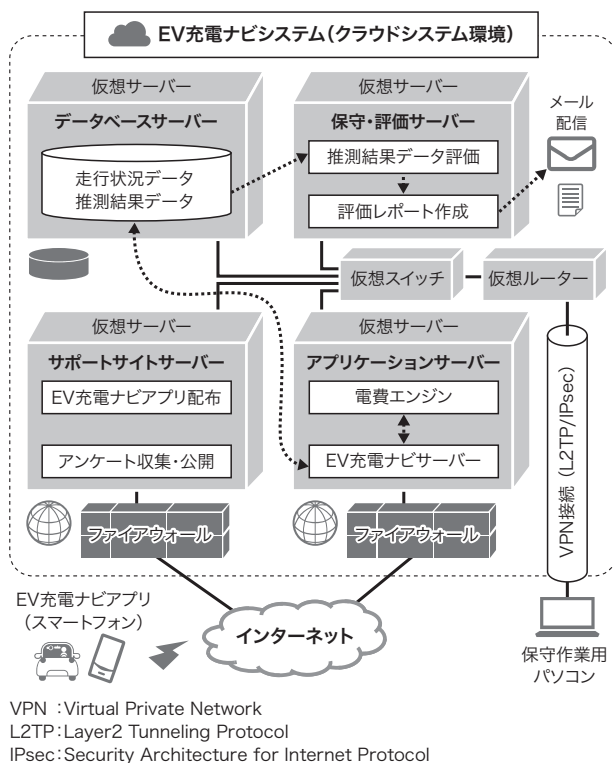


図3. EV充電ナビシステムの実証実験用システム構成

実証実験を考慮してIaaS (Infrastructure as a Service) で実装し、四つのサーバーを仮想サーバーでの分割構成としている。

Configuration of EV navigation system for demonstration experiment

仮想サーバーによる分割構成とした。これらのサーバーが連携することで、実証実験の被験者に航続可能距離や充電を推奨する充電設備のあるSA/PAなどの情報提供ができる。

5. EV充電ナビシステムの実証実験

実証実験は、2018年9月から11月まで実施した。事前に、日常的に高速道路を利用しているEVドライバーを対象に被験者を募集し、スマートフォン用の“EV充電ナビアプリ”を配布した。

5.1 実証実験の目的

実証実験の目的は、主に次の二つである。

- (1) 予測精度の確認 消費電力量を予測する統計モデルは、過去の充電履歴データより作成されたEVの走行データを分析し、車種ごとに構築した。このため、実証実験では、高速道路を走行するEVに対し、リアルタイムかつ高精度な消費電力量予測が可能であることを確認する。
- (2) 誘導率の確認 2章で述べた、EV充電ナビシステムの目的(2)の実現に向け、現在のEV充電ナビシステムの誘導効果を測定するために、推奨したSA/PAで実際に充電した割合を示す誘導率を確認する。

5.2 実証実験の概要

- (1) 対象路線 関越自動車道、東北自動車道、常磐自動車道、北関東自動車道、首都圏中央連絡自動車道、上信越自動車道の6路線
- (2) 車種 特定のEV3車種（車種A（バッテリー容量：小）、車種B（同：中）、車種C（同：大））
- (3) 対象者（被験者） EVを日常利用している100名のドライバー

5.3 確認方法と結果

EV充電ナビシステムが収集した走行履歴を利用して走行データを作成し、EV充電ナビシステムのバッテリー残量の予測精度とEVの誘導率を評価した。

- (1) バッテリー残量の予測精度 予測誤差として、EV充電ナビシステムが予測したバッテリー残量の予測値と実際のバッテリー残量との平均絶対誤差を、図4に示す。EV充電ナビシステムでの予測誤差は、全車種で10%以下となった。また、EVが稼働する際のバッテリー残量は20%以上にすべきとされている⁽⁷⁾。EV充電ナビシステムでは、バッテリー残量の予測値が20%以下となるSA/PAは推奨しないようにすることで、EVドライバーがEV充電ナビシステムによる推奨SA/PAに従えば、電欠する可能性は極めて低くなることを確認した。

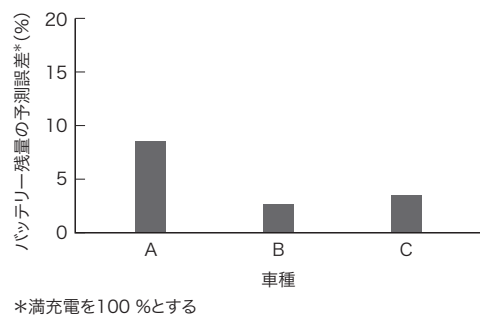


図4. 車種別のEV充電ナビシステムによる予測誤差

バッテリー容量の異なる3車種の全てで予測誤差は10%以下となり、推奨SA/PAに従えば、電欠の可能性が極めて低くなることが確認された。

Prediction error obtained using actual driving data by EV type

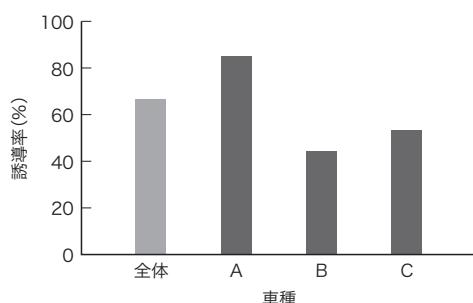


図5. 車種別のEV充電ナビシステムの誘導率

全体で約70%、バッテリー容量の小さい車種Aでは80%を超える誘導率となり、高速道路利用時の充電計画を支援する一定の効果が認められた。

Success rate of inducing navigation to suitable charging station by EV type

(2) EVの誘導率 誘導率を調査した結果を図5に示す。全体で約70%のEVが誘導に従ったことが分かった。特にバッテリー容量が小さい車種Aでは誘導率が80%を超えており、EV充電ナビシステムは、EVドライバーの高速道路利用時の充電計画を支援する一定の効果があつたと考えられる。

6. あとがき

今回、消費電力量予測技術において、今後普及するEVの、様々な車種に対応するため、それらの条件に合わせた消費電力量予測モデルを、手動ではなく、自動的に構築する手法を開発し、充電履歴データから、その有効性を確認した。また、統計モデルによる予測精度を評価・検証することを目的に、パブリッククラウドでEV充電ナビシステムを構築し、実証実験を行った。その結果、消費電力量予測技術を用いた航続可能距離の予測や、SA/PAへの誘導情報が提供でき、充電設備利用の平準化に対し、一定の効果があることを確認できた。

今後、更に普及していくEVの、様々な車種に対応してEV充電設備の稼働率の平準化が図れるように、機能の高度化を図っていく。

謝辞

この原稿の執筆にあたり、多大なご支援をいただいた一般財団法人 道路新産業開発機構の関係各位、並びにEV充電ナビシステムの実証実験に参加いただいた関係各位に感謝の意を表します。

文献

- (1) Bunsen, T. et al. Global EV Outlook 2018. IEA, 2018, 140p.
- (2) 国土交通省道路局. 表2-10 トリップ長ランク別高速道路利用率, 2010, 1p. <<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data/210.xls>>, (参照 2019-04-22).
- (3) 中村順一, ほか. EVの充電需要と電力の需給を計画的に管理する高速道路EMS. 東芝レビュー. 2014, 69, 9, p.43-46.
- (4) 経済産業省. 電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業補助金について. 2017, 21p. <https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2017/html/h29_s6.pdf>, (参照 2019-04-22).
- (5) 柴田康弘, ほか. EVの高速道路走行を支援するEV充電ナビシステムとその性能向上を目指したAIの活用. 東芝レビュー. 2017, 72, 3, p.11-14. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/03/72_03pdf/a04.pdf>, (参照 2019-04-22).
- (6) 福島亜梨花, ほか. "EV充電ナビシステムのための消費電力量予測モデル自動構築技術". 平成30年 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 札幌, 2018-09, 電気学会, 2018, OS5-13.
- (7) Marra, F. et al. "Average behavior of battery-electric vehicles for distributed energy studies". 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe). Gothenburg, Sweden, 2010-10, IEEE. 2010, 2045093.



下川 裕亮 SHIMOKAWA Yusuke
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 道路ソリューション技術部
電気学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



福島 亜梨花 FUKUSHIMA Arika
研究開発本部 研究開発センター
システム技術ラボラトリー
電気学会会員
System Engineering Lab.



大江 公二 OE Koji
東芝デジタルソリューションズ(株)
ソリューションセンター 運輸ソリューション部
Toshiba Digital Solutions Corp.



田村 聡一郎 TAMURA Soichiro
東日本高速道路(株)
事業創造企画室
East Nippon Expressway Co., Ltd.