

ビッグデータ分析を活用した 電気自動車充電ステーション推奨技術の研究

川野晋一郎^{†1} 加納誠^{†1} 采泰臣^{†1} 鈴木裕之^{†1} 山本純一^{†1} 島田毅^{†1}

電気自動車は都市環境への悪影響が少なく、スマートコミュニティにおける移動手段として高い注目を集める移動手段である。しかしながら、電気自動車は1回の充電で走行できる距離が短く、また充電にも時間がかかる。このことから近未来の電気自動車普及時には、充電ステーションにおいて大量の充電待ちが発生することが考えられる。

本論文ではこのような充電待ち問題に対し、走行するEVに対して適切な充電場所と充電時間の推奨を与え、道路全体におけるEV充電時間の全体最適を図る「充電ステーション推奨技術」を提案している。論文では充電ステーション推奨技術のアルゴリズムを説明するとともに、アルゴリズムを基に構築したシステムをシミュレータにより評価した結果について述べる。

Charging station recommendation system for electric vehicles using big data analysis

SHIN-ICHIRO KAWANO^{†1} MAKOTO KANO^{†1} YASUOMI UNE^{†1}
HIROYUKI SUZUKI^{†1} JUNICHI YAMAMOTO^{†1} TSUYOSHI SHIMADA^{†1}

Electric vehicles (EV) are becoming popular as means of traffic in smart community because of their low impact on the environment. When EVs widely spread, we expect charging stations will be over-crowded because charging an EV takes a long time, and continuous mileage is short.

This paper proposes a charging station recommendation system to solve the station congestion problem. The system recommends each EV driver the optimal charging station and necessary amount of charge so that the load of charging stations will be balanced. This paper describes the algorithm of the charging station recommendation, and the evaluation results using simulation.

1. はじめに

近年、公害や地球温暖化、資源枯渇などの問題の解決策としてスマートコミュニティへの関心が高まっている。スマートコミュニティとは、電力、水、交通・物流、医療、情報など、あらゆるインフラの統合的な管理・最適制御を実現した次世代のコミュニティである。

著者らは、スマートコミュニティで生成、蓄積される多種大量なビッグデータを分析することにより抽出される知識を活用したサービスの実現を目指しておりi), その一つとして、電気自動車(EV)の充電最適化の研究開発に取り組んでいる。

EVは走行中に有害排気ガスを出さないことや、排熱や騒音も少ないことから、内燃機関を有する自動車に比べ都市環境への悪影響が少なく、コミュニティ内の移動手段としての期待は大きい。また、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーによる電力供給に合わせて、効率の良いエネルギー利用が考えられる。

一方で実際のEVの運用においては、以下に挙げるような短所がある。

1. 1回の充電による走行可能距離が短い

2. 充電にかかる時間が長い

これらの短所から、EVの充電は自動車のガソリンスタンドでの給油に比べ、回数、時間共に多く、特に充電場所の限られる高速道路上では、長時間の充電待ちが発生する可能性がある。

今後街中を走るEVが増えると、路上での電池切れEVの増加や充電ステーションの混雑が懸念されるため、それらを解決するための研究がおこなわれているii)iii)iv)。今後EVの普及に伴って充電ステーションの拡充も期待されるが、充電インフラ整備への投資対効果のバランスを取れるような効率的な整備・運用が求められる。

本論文は、高速道路上を走行するEVに対して、充電を行う充電ステーションを推奨することにより、一部の充電ステーションへの集中による混雑の偏りを平準化し、全走行EVの総充電待ち時間を減少させることを目的とする「充電ステーション推奨」に関する取り組みをまとめたものである。

以降では2章で我々が取り組む充電最適化の全体像を、3章で充電ステーション推奨技術の課題と概要、4章で充電ステーション推奨技術の内部機能の詳細、5章で充電ステーション推奨技術の有効性を検証した評価実験結果について説明する。

^{†1} 東芝ソリューション(株)
Toshiba Solutions Corporation

2. ビッグデータ分析を活用した電気自動車の充電最適化技術

本章では2.1節と2.2節にて、1章で説明したEVの課題を解決するEV充電最適化技術を紹介する。

2.1 EV充電最適化

充電インフラ運用の効率化を目指して、我々は図2-1に示す二つのEV充電最適化技術を開発している：

(a) 必要充電量推定技術

スマートコミュニティや多数のEVから収集・蓄積した多種大量なビッグデータを分析して知識を抽出し、それら抽出した知識に基づいてEV走行に必要な充電量を推定する技術。目的地までの走行経路などの情報を基に必要な電力量を推定し、必要な電力量だけを充電することで、フル充電する場合と比べて充電時間を短縮する。

(b) 充電ステーション推奨技術

走行計画や充電ステーションの混み具合および過去の走行情報、渋滞情報、充電ステーション実績情報等のビッグデータから抽出した知識を基に、全体最適を考慮してEVドライバに適切な充電ステーションと充電量を推奨する技術。EVドライバに適切な充電ステーションを推奨することで、充電ステーションの混雑を平準化し、充電待ち時間を短縮する。

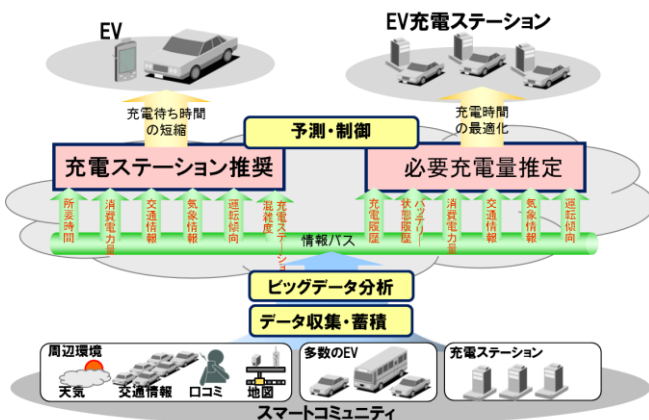


図 2-1 ビッグデータ分析・利活用によるEV充電最適化のシステム全体像

Figure 2-1 Outline of EV Charging Optimization Technologies using Big Data Analysis.

2.2 ビッグデータ分析・利活用によるEV充電最適化の実現

EV充電最適化を実現するには、目的地に着くまでの電力消費量や電池残量をできるだけ正確に推定することが必要になる。しかしEV内部のセンサデータなどEV単体で取得できるデータに基づく推定では、精度の向上に限界が

ある。EVの電力消費量は冷暖房などEV内部の電力使用状況だけでなく、道路上の気温や天候、渋滞や勾配など周辺環境の状態にも依存する。また電池残量は気温や蓄電池の劣化状態に依存し、蓄電池劣化は今までの充電の仕方や運転の仕方にも依存する。

そこで推定の精度を向上させるために、EVから得られるデータに加え、気温や渋滞情報などEV外部のデータも活用する。スマートコミュニティで得られる様々なデータを蓄積し、それらデータ間の関連を分析して推定のためのルールを抽出する。この手順を以下に述べる(図2-1参照)。

- (1) データ収集・蓄積：道路上の渋滞や事故、気温・天候の情報、個々のEVの走行履歴や現在の状態、充電ステーションの状態などを取得し、蓄積する。
- (2) ビッグデータ分析・知識抽出：蓄積されたデータを対象として、どのような場合にどのようなデータがEV電力消費に効いているのかを分析する。またその分析結果を基に、EV走行に必要な電力量や電池残量を推定するための情報を抽出する。
- (3) 予測・制御：抽出したルールを用いて、走行中EVの電力消費、電池残量を推定する。

また、スマートコミュニティ実証実験等で実データが得られるのに先駆け、シミュレータを用いてこれらのデータ分析手法や抽出される知識の改善を行っている。すなわちEVの走行や電力消費を模擬するシミュレータを用いてEV走行データを生成し、そのデータをデータ分析による知識抽出に利用している。またシミュレータを用いてEV充電最適化技術の適用による効果(電池切れEVの減少、充電ステーションでの充電待ち時間短縮など)を検証している。

3. EV充電の課題と解決アプローチ

本章では、充電ステーション推奨技術により解決したい課題と、課題解決の方法について説明する。

3.1 EV充電の課題

1章にて言及したように、EVは有望な交通手段であるが、その運用には、いくつかの課題が存在する。

1つは走行途中でEVの電池がなくなってしまう「電欠」に関する課題である。ガソリン車でもガス欠はあるが、EVの1回あたりの充電に対する走行距離の短さから、電欠はガス欠以上に頻繁に起こりうる。そのためドライバは目的地までに存在する充電ステーションの位置と交通状況を考慮し運転する必要がある。

もう1つの課題は、充電ステーションの混雑に関する課題である。1回あたりのEVの充電に時間がかかることと、1回の充電で走行できる距離が短いこと、充電ステーションの絶対数が少ないという原因から、交通量の多い地域の充電ステーションでは、充電待ちによる混雑が発生するこ

とが考えられる。特に既存の高速道路においては、充電ステーションが設置できる場所が限られていることや、出口が限られていること、特定箇所、特定期間での渋滞が起きやすいことなどから、特定の充電ステーションへの混雑集中の可能性はより高いと考えられる。

3.2 解決のアプローチ

3.1 節で挙げた EV 充電の課題解決のため、本研究では全体最適を考慮して、各 EV に充電ステーションを推奨する方法を用いる。図 3-1 にこのような充電ステーション推奨システムと管制対象道路を示す。ここでは管制対象道路として高速道路を想定し、高速道路上のサービスエリア(SA)内に充電ステーションが設置されているものとする。

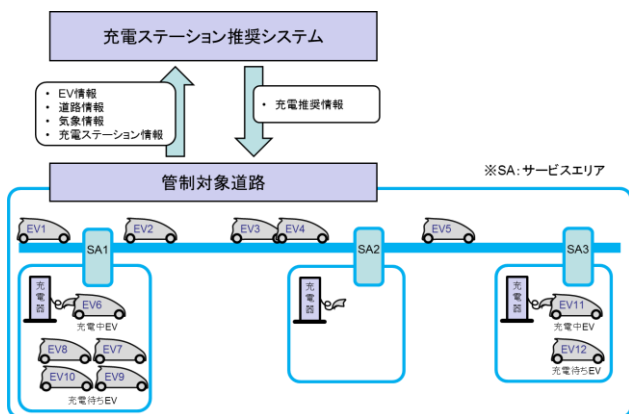


図 3-1 充電ステーション推奨システムおよび管制対象道路
 Figure 3-1 EV Stations Recommendation System and Road

充電ステーション推奨システムは管制対象道路から EV の走行状況、道路状況、充電器情報を収集し、道路上を走る各 EV に充電推奨情報を配信する。充電推奨情報に含まれる情報は以下の 2 つである。

- 充電を行う充電ステーション
- 充電ステーションにおける充電時間

充電推奨情報に含まれる充電ステーションは、対象 EV の電池残量と、道路状況による到達に必要な電力量を考慮して、到達可能な充電ステーションが選ばれている。よって各 EV は推奨に従うことで、充電前に電欠を起こしてしまうことがなくなる。

EV に対してこのような到達可能な充電ステーションは複数箇所あるが、推奨アルゴリズムはそれらの中から、他の EV への推奨も考慮し、特定の充電ステーションへの偏りを減らし、道路全体の充電待ち時間を減らすような全体最適の観点に基づいた充電ステーションの選択を行い、推奨情報として EV へ配信する。

以降では充電ステーション推奨システムについて記述する。

4. 充電ステーション推奨システム

充電ステーション推奨システムについて説明する。4.1 節では充電ステーション推奨システムの内部構造について説明し、その中で主要な機能である充電候補選出機能と充電予定決定機能のアルゴリズムについて 4.2 節と 4.3 節で説明する。

4.1 充電ステーション推奨システムの機能構成

ここでは充電ステーション推奨システムの内部構成を説明する。図 4-1 は充電ステーション推奨システムの内部機能構成と機能間の処理の流れを図示したものである。図中の矢印はデータの流れを表している。本節では例を用いて、このデータの流れを説明し、充電ステーション推奨システムの大まかな動作の流れを説明する。充電候補選出機能と充電予定決定機能の詳細な説明は 4.2 節と 4.3 節にて行う。

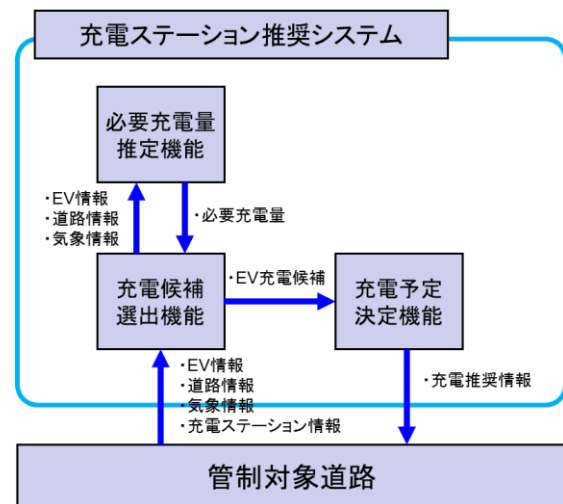


図 4-1 充電ステーション推奨システム内部機能構成
 Figure 4-1 EV Stations Recommendation Functional structure

管制対象道路およびこの道路上を走行する EV の例として図 4-2 に示す 2 台の EV, EV1 と EV2 を考える。これら EV1, EV2 の走行情報と道路情報、気象情報、充電ステーション情報が充電ステーション推奨システムの充電候補選出機能に送られる。



図 4-2 高速道路上を走行する EV の例
 Figure 4-2 An Example of EVs Running on a Highway

充電候補選出機能は、初めに必要充電量推定機能を用い EV1 と EV2 それぞれの走行予定経路上にある SA から充電を行う候補としていくつかの SA を抽出する。次に到着時間情報と充電時間情報を加え充電候補情報を作成する。表 4-1 は EV1 と EV2 の充電候補情報の例である。表 4-1 の到着時刻(分後)とは、現在から何分後に SA に到着するかを表

し、充電時間(分)は、その SA で何分間充電するかを表す。この例では EV1 は SA2 に 40 分後に到着し、20 分間充電することを示している。選出された充電候補情報は充電予定決定機能に送られる。

表 4-1 EV の充電候補情報

Table 4-1 EV's Charge Candidates Information

	EV1	EV2
充電実行 SA	SA2	SA2
到着時刻(分後)	40	45
充電時間(分)	20	24
充電実行 SA	SA3	SA3
到着時刻(分後)	55	60
充電時間(分)	25	30

充電予定決定機能では各 EV の充電候補から、道路全体における充電待ち時間の低減という観点で、各 EV に対して一つの充電予定を選ぶ。表 4-2 は表 4-1 の充電候補から充電予定を選んだ例である。このように EV1 が SA3 で、EV2 が SA2 で充電を行う場合はどちらにも充電開始までの待ち時間は発生しない。しかし例えば EV1 と EV2 のどちらも SA3 で充電を行うとすると、EV1 が 55 分後に到着し、EV2 が 60 分後に到着する。このとき EV2 には EV1 の充電が終わるまで 20 分間の待ち時間が発生してしまう。選ばれた充電予定は管制対象道路に推奨情報として送られる。

表 4-2 EV の充電予定情報

Table 4-2 EV's Charge Plan Information

	EV1	EV2
充電実行 SA	SA3	SA2
到着時刻(分後)	55	45
充電時間(分)	25	24

4.2 充電候補選出機能

本節では図 4-1 内に示される充電候補選出機能の説明を行う。充電候補選出機能は道路情報や道路上を走る EV の情報を用いて、表 4-1 の例のような充電候補情報を選出する。これは次の 3 ステップにて行われる。

1. 対象 EV が充電を行う可能性のある SA を抽出する。
2. 抽出した各 SA への到着予想時刻を計算する。
3. 抽出した各 SA で必要となる充電時間を計算する。

初めに充電を行う可能性のある SA すなわち充電候補 SA を抽出する。到達可能で、かつ、到達時の電池残量が閾値以下になる SA を充電候補 SA とする。到達時の電池残量が閾値以下という条件を設けるのは、未だ電池残量が十分あるのに、充電を推奨するのは不適切なためである。SA 到達時の電池残量推定には必要充電量推定機能を用いる。必要充電量推定機能は、EV の速度やエアコンの状態などの EV 情報と、道路の長さ勾配などの道路情報、気温、天

候などの気象情報を基に、EV の現在地から SA まで移動するのに必要な充電量を推定する。推定した充電量を現在の充電量と比較することで、各 SA に到達したときの電池残量が計算できる。

図 4-3 はある EV に対する経路上の SA の推定電池残量の例であり、各 SA 到着時の電池残量が EV の満充電量に対するパーセンテージで示されている。この例では SA5 は到着時の電池残量がゼロ、すなわち到達不可能であり、逆に SA1 と SA2 は到着時の電池残量が十分であるため充電を推奨する SA からは除外し、結果としてこの EV に対する充電候補 SA は SA3 と SA4 となる。

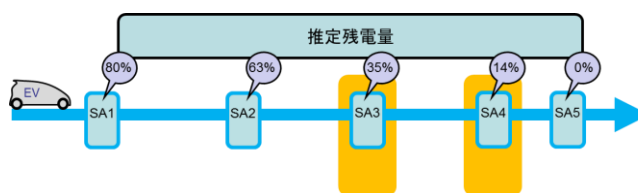


図 4-3 経路上にある SA における推定電池残量の例
 Figure 4-3 An Example of EV's Remaining Electricity at Service Areas on the Route

次に充電場所の候補として列挙された各 SA に対して、到着予想時刻を計算する。この計算は制限速度や渋滞情報などの道路状況から計算する。

次に各 SA での充電時間を計算する。充電時間は以下の 3 つモードのいずれかにて計算される。

1. 満充電を行うモード
2. 対象 EV の最終目的地までたどり着ける分だけ充電を行うモード
3. 推奨される充電ステーションの混雑を緩和するため、近隣の充電ステーションにたどり着けるまでの充電を行うモード

通常は上記の 1. のモードで充電時間を計算するが、場合によって 2. および 3. のモードにて計算を行う。

上記の 2. のモードの例としては、推奨される充電ステーションから最終目的地である自宅が近距離にある場合が挙げられる。自宅に帰宅したあと一定時間以上 EV を使わない場合は自宅にて充電すればいいため、出先の充電ステーションでは最小限の充電を行う。

前述のように、到達可能な充電ステーションから推奨する充電ステーションを選択する段階で、特定の充電ステーションの偏りを減らすような考慮がされているが、到達可能な充電ステーションの選択肢が乏しく、どうしても特定の充電ステーションに推奨が偏ってしまう場合には 3. のモードにて充電時間を計算する。

また複数の充電候補 SA を持つ EV では、遠い順に充電候補 SA に優先度をつける。これは電池残量が多いうちに

充電を行うよりも、十分に電池を使いきってから充電を行う方が、充電回数も少なく、ドライバの満足度も高いという考えに基づいている。

4.3 充電予定決定機能

本節では図 4-1 の充電予定決定機能について説明する。

充電予定決定機能では、表 4-1 に表される EV の充電候補が入力され、これら候補の中から、充電待ち時間が小さい組合せの充電予定が出力される。これは典型的な組合せ最適化問題である。多くの組合せ問題は、十分な時間をかけることで最適解を得ることができる。すなわち、考えられるすべての組合せパターンを作り出し、それぞれ全てについて評価し比較すれば最適解は得られる。しかしながら多くの最適化問題では全ての組合せパターンは膨大であり、それらの組合せの作成、比較には膨大な時間がかかってしまう。

そこで本節で説明する充電予定決定機能では現実的な時間で、最適ではないがなるべく良い解を求める。図 4-4 はこの充電予定決定機能の全体の振舞いを表すフローチャートである。以降で図 4-4 のフロー F1~F4 について説明する。

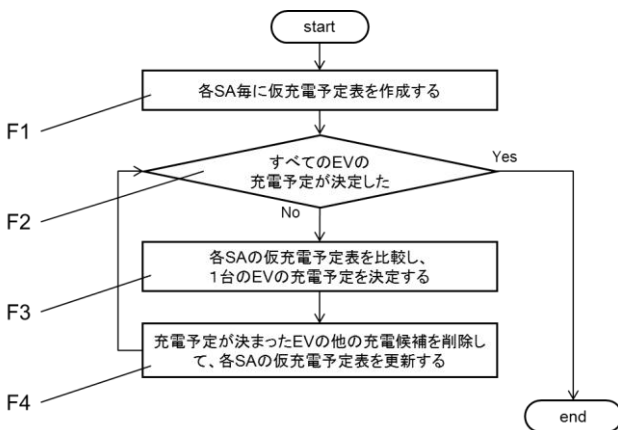


図 4-4 充電予定決定機能の全体の振舞い

Figure 4-4 Flow Chart of Charging Plan Decision Function

初めに図 4-4 の F1 を説明する。ここでは SA 毎に仮の充電予定表を作成している。仮の充電予定表は各 EV の充電予定から、その SA を充電場所とする充電候補を抜き出して作成される。

表 4-3 は EV の充電候補の例である。ここでは EV1~EV4 の充電候補が表されている。ここから SA3 を候補にしている EV の充電候補を抜き出して作成されたのが表 4-4 の SA3 の仮充電予定表になる。

表 4-3 EV の充電候補例

Table 4-3 An Example of EV's Charge Candidates Information

		EV1	EV2	EV3	EV4
第1候補	充電実行 SA	SA2	SA3	SA4	SA5
	到着時刻(分後)	55	80	60	70
	充電時間(分)	30	30	30	30
第2候補	充電実行 SA	SA1	SA2	SA3	SA4
	到着時刻(分後)	40	55	40	55
	充電時間(分)	20	24	20	23
第3候補	充電実行 SA		SA1		SA3
	到着時刻(分後)		25		45
	充電時間(分)		10		10

表 4-4 SA3 の仮充電予定表

Table 4-4 SA3's Temporary Charge Plan Table

到着 EV	EV3	EV4	EV2
時刻(分後)	40	45	80
充電時間(分)	20	10	30

ここで「仮」の充電予定表と称しているのは、到着予定の各 EV が本当にこの SA3 で充電するかどうかはわからないためである。例えば表 4-4 の EV4 は図 4-4 にみられるように SA3 の他にも SA5, SA4 も充電候補にしているため、SA3 で充電するかどうかはまだ不確定である。

表 4-4 の仮充電予定表から、EV3 と EV2 には充電待ち時間は発生しないが、EV4 には到着時刻である 45 分後から、先に到着して充電を行っている EV3 の充電が完了するまでの 15 分間の充電待ち時間が発生することがわかる。

次に図 4-4 の F2 を説明する。ここでは各 EV の充電予定が決定しているかどうか、すなわち充電候補が一つに絞られているかどうかの判断を行う。通常、F2 の判断が Yes となるのは、図 4-4 のフローにおける F4 である充電候補の削除があった後のことである。しかしながら start 直後に F1 を経て F2 になった場合でも、もともと各 EV の充電候補が 1 つしかない場合や、対象 EV がいない場合は F2 の判断が Yes となって終了する。

次に図 4-4 の F3 を説明する。ここでは各 SA の仮充電予定表を比較し、まだ充電予定の決まっていない EV の充電予定を決定する。この充電予定決定の振舞いを図 4-5 に示す。初めに最大待ち時間が最も小さい仮充電予定表を選択する。最大待ち時間とは、仮充電予定表に現れる各 EV の待ち時間の中で最も長い時間である。またここで選ぶのは仮充電予定表であり、含まれる充電予定がすべて決定済みであるような、仮でない充電予定表は選択しない。次に選んだ仮の充電予定表から、その中に含まれる決定済みでない充電候補の一つを選ぶ。ここでの選択では候補の優先度と

し、優先度の高いものから選ぶ。同じ優先度の候補が複数ある場合、すなわち複数 EV がたとえば第一候補としてこの SA を選んでいるときは、これらの中からもっとも充電時間の少ないものを選択する。選択した充電候補を充電予定として決定する。

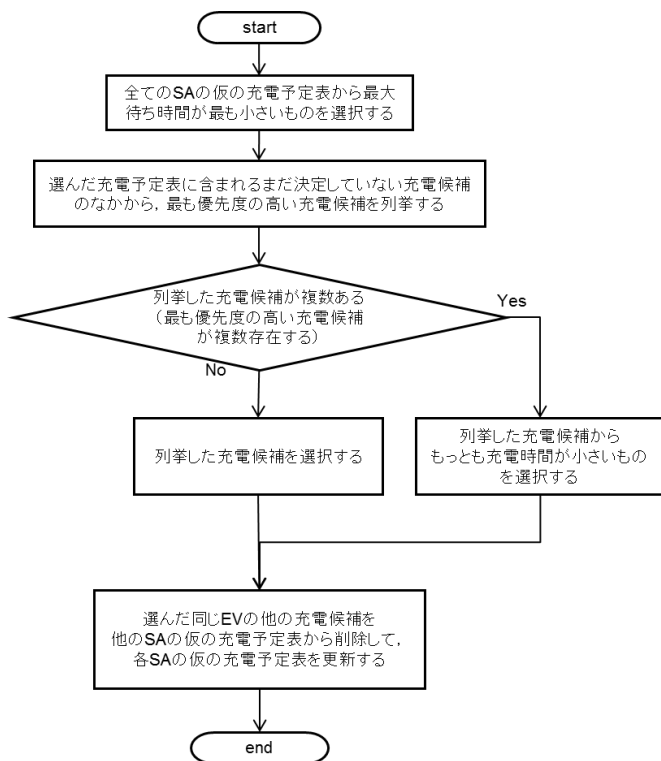


図 4-5 充電予定決定の振舞い

Figure 4-5 Flow Chart to Decide A Charging Plan For An EV

次に図 4-4 の F4 を説明する。ここでは図 4-4 の F3 にて充電予定が決まった EV の他の充電候補を削除して、各 SA の仮充電予定表を更新する。例えば図 4-4 の F3 で、EV4 の充電予定が SA5 での充電と決まったとすると、表 4-3 から EV4 の SA4 と SA3 での充電候補を削除される。ここから各 SA の仮充電予定表を作る動作は F1 の動作と同じである。

以上の F2~F4 の動作を繰り返し、全ての EV の充電予定が決定したら推奨アルゴリズムは終了する。

5. 評価実験

本章では 4 章にて説明した充電ステーション推奨システムの評価実験について述べる。

5.1 評価実験環境

システムを評価する EV 交通シミュレーション環境の構成図を図 5-1 に示す。

本環境は、汎用の交通シミュレータを基盤として EV 向けに拡張したものである。走行による電池残量減少を表す

バッテリーモデル、充電ステーションの選択行動をモデル化したドライバモデル、道路をモデル化した SA/PA モデル (PA はパーキングエリアの略)などを外部に拡張し、EV の交通シミュレーションを実現している。

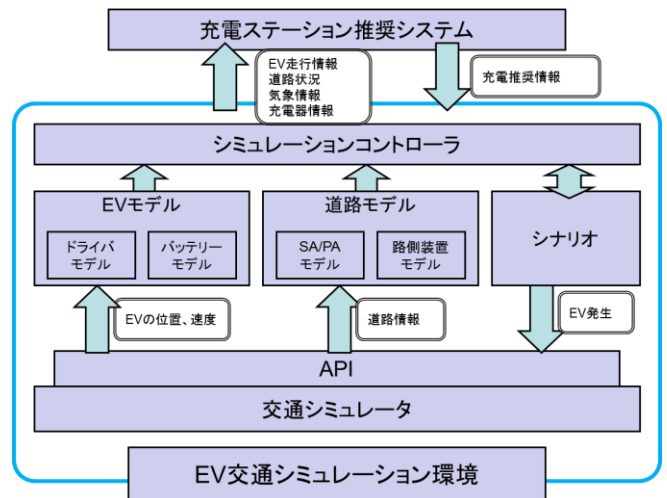


図 5-1 評価実験環境

Figure 5-1 Environment for Evaluation Experiment

5.2 評価実験内容

評価実験は 5.1 節で説明した EV 交通シミュレーション環境を用いて行う。シミュレータ上の道路線形は常磐自動車道の下り線をモデルとした。

時間当たりの平均通過台数

- 常磐自動車道の全車種平均通過台数：34000 台(文献v から算出)
 - 常磐自動車道の乗用車比率：70%(文献viから算出)
 - 乗用車に含まれる EV の割合：3%(文献vii)
- により時間当たりの EV 平均通過台数は以下の式から約 30 台とした。
- $$\bullet 34000 \text{ 台} \times 70\% \times 3\% \div 24\text{h} \approx 30 \text{ 台}$$

通過する EV

電池容量、電力消費率は現在市販されている EV のものを用いている。また高速道路侵入時の充電残量には一定のばらつきをもたせている。

設置する充電器台数

- 一般的な SA の契約電力：約 600kW(文献viiiから算出)
 - 契約電力に対する平均電力消費率：約 60%(文献 viii から算出)
 - 充電器の出力：50kW/台
- により充電設備に使用できる電力は以下の式から約 250kW とした。
- $$\bullet \text{約 } 600\text{kW} \times 40\% \approx 250\text{kW}$$
- ここから SA の充電器台数は以下の式から 5 台とした。
- $$\bullet 250\text{kW} \div 50\text{kW/台} = 5 \text{ 台}$$

また、PA では SA より少ないと考え 3 台とした。表 5-1

に SA/PA 間の距離と設置されている充電器数を表す。

評価実験では、充電ステーション推奨機能による推奨がある場合と、推奨がない場合について比較する。推奨を行わない場合は各 EV のドライバがそれぞれ独立に到達可能な最も遠い SA/PA を選択すると考え、4.3 節で説明した充電候補選出機能で選出した充電候補のうち、最も遠い SA/PA で充電を行っている。また評価は、充電ステーションの平準化と全 EV の総充電待ち時間の減少という 2 つの指標で行う。

表 5-1 SA/PA の充電器台数および距離情報

Table5-1 Numbers of Charger and Distance Information at Each SA/PA

SA/PA・IC 名	充電器設置数	基点からの距離	前施設からの距離
三郷 IC		0	
守谷	5	15.5	15.5
谷田部東	3	36.1	20.6
千代田	3	50.4	14.3
美野里	3	63.2	12.8
友部	5	72.8	9.6
田野	3	85.6	12.8
東海	3	101.7	16.1
日立中央	3	117.5	15.8
中郷	5	136.6	19.1
関本	3	150.3	13.7
湯ノ岳	3	169.4	19.1
四倉	3	185	15.6
いわき四倉 IC		188.3	3.3

5.3 実験結果

本節では評価実験の結果を説明する。初めに充電ステーションの混雑平準化の観点から、各充電ステーションの最大待ち台数による評価結果を説明する。次に全 EV の総充電待ち時間の減少という観点から、充電待ち時間に関連する各 EV の旅行時間による評価結果を説明する。

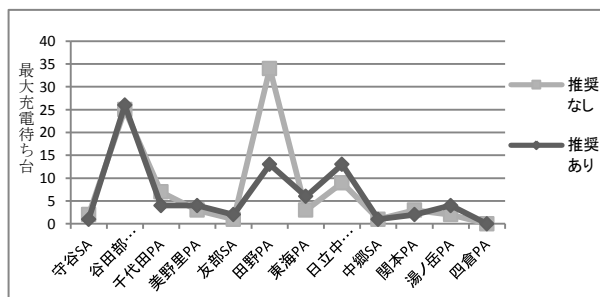


図 5-2 SA/PA 別の最大充電待ち台数

Figure 5-2 Maximum Numbers of Waiting EVs at Each SA/PA

図 5-2 は各 SA/PA における最大充電待ち台数を表した

グラフである。推奨なしの場合には、田野 PA における待ち台数が多いが、推奨ありの場合にはこれが改善されていることがわかる。

図 5-3 は縦軸を台数、横軸をシミュレーション開始からの経過時間(分)とし、田野 PA の時間別の充電待ち台数を表している。推奨なし、推奨ありのどちらの場合も 120 分近辺から待ち台数が増えてきているが、推奨ありの場合は台数の増加が緩やかであり、240 分近辺では増加が収まっていることがわかる。一方推奨なしの場合は、240 分以降もしばらく充電待ち台数が増加し続けている。

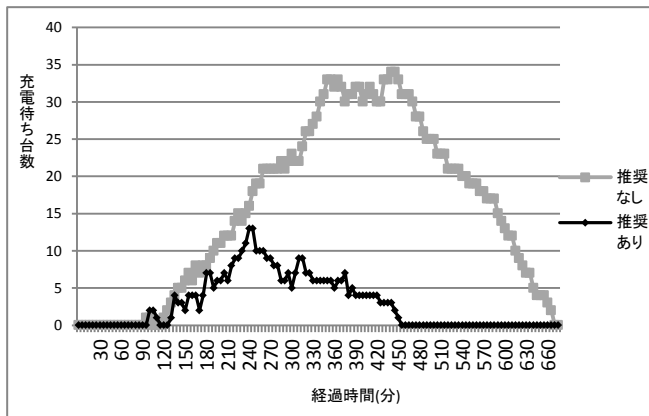


図 5-3 田野 PA における充電待ち台数の比較

Figure 5-3 Comparison of Numbers of Waiting EVs at TanoPA

次に各 EV の旅行時間を比較する。旅行時間とは対象の移動開始から移動完了までに要する時間であり、本評価実験においては各 EV が道路始点から流入し、道路終点で流出するまでの時間である。

推奨ありの場合と推奨なしの旅行時間の差のヒストグラム

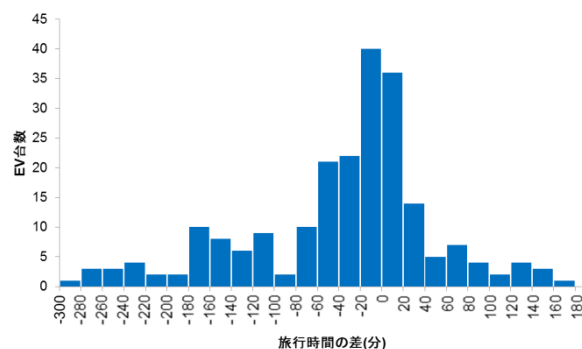


図 5-4 推奨ありの場合と推奨なしの旅行時間の差のヒストグラム

Figure 5-4 Histogram of Difference Between Travel Times With and Without Recommendation

図 5-4 は各 EV について、推奨ありの場合の旅行時間から推奨なしの場合の旅行時間を減算した差分時間ごとに、その範囲にある台数を表したヒストグラムである。差分時間は推奨ありの場合から推奨なしの場合を引いているので、

負の値であれば、推奨があることにより旅行時間が減少していることを、逆に正の値であれば増大していることを示している。図 5-4 から約 3 分の 2 の EV に推奨による旅行時間の減少がみられ、残り約 3 分の 1 の EV では旅行時間の増大があることがわかる。全ての EV の平均旅行時間は、推奨ありの場合では 300.7(分)、推奨なしの場合では 339.2(分)であり、推奨ありの場合の平均旅行時間が減少する結果となっている。

5.4 考察

本節では 5.3 節にて説明した実験結果に関する考察を述べる。

充電ステーションの混雑平準化に関しては図 5-2 でみられるように、田野 PA の最大充電待ち台数が減っている。これはアルゴリズムの狙い通り、混雑する田野 PA の代わりに手前の美野里 PA および友部 SA に推奨が行われている結果であると考えられる。

田野 PA で推奨の効果が出ている一方、田野 PA と同様に推奨なしの場合の最大充電待ち台数が多い谷田部東 PA では推奨の効果がみられない。この違いは守谷 SA-谷田部東 PA 間の距離が比較的長いことが原因と考えられる。推奨アルゴリズムは特定の SA の混雑時に充電候補から他の SA を選び推奨するが、この SA の他に充電候補がない場合がある。これは 4.2 節の充電候補選出機能において、到達時に電池残量が十分にある充電ステーションで充電を行うのは適切ではないという考えから、基準となる電池残量にある閾値を設定しているためである。すなわち谷田部東 PA を推奨されている EV では距離の離れた守谷 SA は推奨候補に入らず、充電待ちを回避するための推奨が十分働いていないと考えられる。このことから閾値の設定は道路情報や EV 情報に合わせて適切に設定する必要があるといえる。

次に充電待ち時間について考察を行う。シミュレーションでは旅行時間の内訳は次のように考えることができる。

● 旅行時間=走行時間+充電時間+充電待ち時間
同一 EV の走行時間と充電時間は推奨ありの場合も推奨なしの場合も大きくは変わらず、旅行時間の違いは充電待ち時間の違いによるところが多いといえる。5.3 節で述べたように、全 EV の平均旅行時間で改善がみられるが、図 5-4 からわかるように旅行時間の増減にかなりのばらつきがある。中には 3 時間以上の短縮になっている EV や、逆に 3 時間以上旅行時間が増えてしまっている EV も存在する。絶対的な増減時間が大きいことは、本節の冒頭で述べた本実験における設定値の問題であるが、相対的に考えても、平均旅行時間が 5 時間程度であるところに 3 時間の増減は大きい。この原因は推奨アルゴリズムが充電ステーション間の平準化のみを考え、個々の EV の待ち時間の平準化を考慮していないことが原因であると考えられる。充電ステーション間の全体最適を目指しているため、推奨を受ける

ことで損をする(充電待ち時間が増えてしまう)EV が当然あるわけだが、運悪く充電機会のたびに続けて損をしてしまうような EV が発生してしまう。大幅な旅行時間の増加は EV ドライバの不満を高めてしまうため、アルゴリズム上で例えば「任意の EV が第一候補以外の充電候補を推奨されるのは 2 回まで」などの制限をもうける必要があると考えられる。

6. おわりに

今回、我々は充電ステーション推奨アルゴリズムを実装し、シミュレータ上で評価した。結果、5.3 節で述べたように、推奨なしで各 EV が自己判断で充電を行う場合に比べ、推奨ありの場合は、特定の充電ステーションへの充電の偏りが無くなり、充電待ち台数の平準化が進んだ。その結果として総充電待ち時間が減少し、充電ステーション推奨による EV 誘導がうまく行われたことが分かった。またその一方で、5.4 節で述べたような問題や、改良の余地があることが分かった。

今回評価に用いたシミュレーション環境は、現実的なデータを考慮したものではないため、今後は EV 台数や充電ステーションの整備状況など、将来の実交通環境を想定したデータを利用してアルゴリズムの評価を行う必要がある。

さらに各充電ステーションへの電力供給量に制限がある場合や、突然の交通量増大がリアルタイムに検知・予測できる場合などの状況に対応した推奨アルゴリズムの拡張およびその評価を行い、充電ステーション推奨の実用化を目指していく。

参考文献

- i 鈴木裕之:電気自動車の利便性を向上させる BigData 分析技術,東芝レビュー,Vol.6,No.2,pp52-53,(2012)
- ii 木山昇,小林雄一,青島弘和,柏山正守:航続可能距離と充電スタンドの位置を考慮した電気自動車向けルート探索手法,電子情報通信学会技術研究報告,ITS 111(219),pp1-8,(2011)
- iii 清水太朗,國府方久史,松本修一,川嶋弘尚:道路勾配などを考慮した電気自動車の最適経路問題,社会技術研究論文集,vol.8, pp53-59, (2011)
- iv 服部有里子,下田智一,伊藤政義:電気自動車 (EV) 向け ITS 情報通信システムの開発と評価,情報処理学会論文誌, vol.53, No.7, pp1721-1731, (2012)
- v 国土交通省道路局 道路整備効果事例集/道路関連データ <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/ir-data.html>
- vi NEXCO 東日本 道路毎の交通量 車種別通行台数 平成 23 年度 http://www.e-nexco.co.jp/word_data/data/h23_car.html
- vii 経済産業省次世代自動車戦略 2010 <http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf>
- viii 政府調達における我が国の施策と実績 <http://www.kantei.go.jp/jp/kanbou/20tyoutatu/>