

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

Energy Management System for Expressways to Systematically Control Charging Demand for EVs and Total Electricity Supply and Demand

中村 順一 山田 尚史 加納 誠
 ■ NAKAMURA Junichi ■ YAMADA Hisashi ■ KANO Makoto

高速道路EMS (Energy Management System) は、ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) とエネルギーの統合管理システムであり、EV (電気自動車) の普及に伴う高速道路での充電待ちの混雑緩和とともに、省エネと環境負荷低減を実現することを目的としている。

今回東芝は、その主要なサブシステムであるITSセンターとEMSセンターのアルゴリズムを開発し、シミュレータを作成した。シミュレーションの結果、EVの混入率が大きくなるに伴って、一部のサービスエリア/パーキングエリア (SA/PA) に充電目的のEVが集中し、充電待ち時間が増大する現象に対し、このアルゴリズムが機能することにより、EV充電待ち台数がSA/PA間で平準化され、混雑が緩和されることを確認できた。

An energy management system (EMS) for expressways is an integrated management system for the optimization of road traffic utilizing intelligent transport systems (ITS) as well as for efficient energy utilization. Accompanying the dissemination of electric vehicles (EVs), this system contributes not only to the mitigation of expressway traffic congestion arising from the charging of EV batteries but also to the improvement of energy conservation and reduction of impacts on the environment.

Focusing on EVs and charging stations at each service area/parking area (SA/PA) of an expressway, Toshiba has now developed algorithms and simulators for the ITS center and EMS center that form the main subsystems of the EMS for expressways. We have conducted simulation experiments and confirmed that the EMS for expressways can level the number of EVs requiring charging between each SA/PA, thus effectively shortening the waiting time of EVs at the charging stations through the use of these algorithms.

1 まえがき

これまで東芝は、EVと高速道路のSA/PAの充電設備に着目し、高速道路全体の電力供給を管理しながら、EVの計画的な誘導による充電需要の制御を実現する高速道路EMSの提案を行ってきた⁽¹⁾。

今回当社は、その主要なサブシステムであるITSセンターとEMSセンターのアルゴリズムを開発し、シミュレータを作成した。ここでは、高速道路EMSの概要と、開発したアルゴリズム及びシミュレーション結果について述べる。

2 高速道路EMSの概要

高速道路EMSは、ITSセンターとEMSセンターから構成される。相互に電力需給情報を交換しながら、EVを最適なSA/PAの充電設備へ誘導する(図1)。

ITSセンターは、交通状況の把握と、EVへの充電推奨の役割を担う。ETC (自動料金収受システム) やITSスポットにおけるEV通過情報から道路区間のEV台数を予測し、更に充電需要量を予測してEMSセンターに送信する。また、EMSセンターから受信した電力供給量を基に充電に適したSA/PAを求め、誘導案内をEVに送信することで充電待ち時間を平準化する。

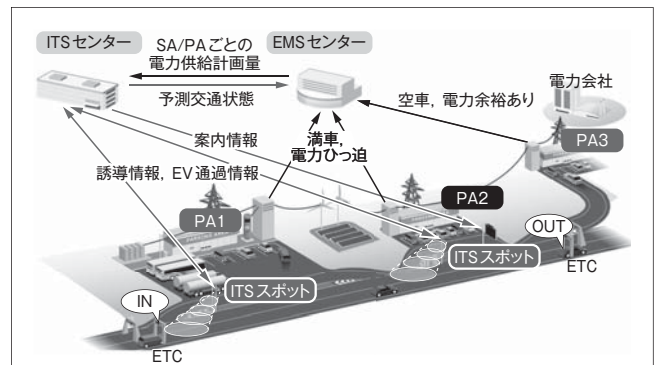


図1. 高速道路EMSの概要 — 高速道路EMSは、ITSセンターとEMSセンターの二つのサブシステムから成り、相互に情報交換しながら高速道路全体の電力需給を最適化する。
 Overview of EMS for expressways

EMSセンターは、各SA/PAにある充電設備への電力需給と、EV充電の電力需要を一つの電力システムと捉えて、時間帯や場所によって電力需要量と供給量のバランスが崩れないように高速道路全体で電力使用の効率化を図る⁽²⁾。電力設備の需給状況やSA/PAの再生可能エネルギーの発電・蓄電状況と、ITSセンターから受信した予測交通状態から充電需要量を予測して、電力供給量を計画し、SA/PAごとの電力供給計画量をITSセンターに送信する。

高速道路EMSの適用により、次の効果が期待される。

- (1) 複数のSA/PAの電力設備と、走行している複数台のEVを一つの電力システムとして捉えることで、高速道路全体の電力需給の分散化と最適化
- (2) EVを計画的に誘導することで、各SA/PAの充電設備の稼働率最適化と、EV充電の待ち時間短縮及び混雑緩和
- (3) 充電場所の推奨情報をドライバーに提供することで、高速道路上でも電欠のない、一般道より安心な運転環境の提供

3 ITSセンターの機能と課題

ITSセンターの機能構成を図2に示す。

3.1 ITSセンターの主な機能とその実現方法

ITSセンターの主な機能について以下に述べる。

3.1.1 現在の交通状態の推定機能 ETCやITSスポットからのEV通過情報と、SA/PAのEV到着・出発情報から、次に示す手法により、各道路区間上のEV台数、あるいはSA/PAに滞在しているEV台数を推定する。

- (1) 各道路区間のEV台数とEV混入率から車両密度を算出
- (2) 交通密度-平均速度曲線を用いて、各区間の車両密度からその区間の平均速度を計算
- (3) 平均速度から各EVの位置を更新。EVの位置が道路区間長を超えると、次の道路区間に流入したとみなす
- (4) (1)~(3)を単位時間ごとに繰り返し、交通状態を推定

3.1.2 将来の交通状態の予測機能 推定された現在の交通状態を初期状態とし、過去の蓄積された交通需要量データを利用して、将来の交通状態を予測する。高速に計算するために、以下に示すインプットアウトプット法(Point-Queueモデル)により交通状態を予測する。

インプットアウトプット法では、道路モデルはノード(インターチェンジ、ジャンクション、ITSスポット、SA/PA)とノード間を結ぶ道路区間から構成される。ノードは交通容量(単位時間当たりの通過可能台数)を持ち、単位時間に通過する車両台数が交通容量以下であれば、そのまま全車両はノードを通過するが、交通容量を超える場合は、交通容量以内の車両はノードを通過し、交通容量を超えた分の車両は待ち行列に並び、次の単位時間にノードを通過する。EVの流入時に統計的に算出されたバッテリー残量を設定し、SA/PA通過時のバッテリー残量から充電するSA/PAと充電時間を予測する。

3.1.3 充電推奨情報の生成機能 充電推奨情報を提示するITSスポットや道路情報板を通過したEVが、そこより先の各SA/PAに到着するときの充電待ち時間を時間帯ごとに比較する。二つ先のSA/PAの待ち時間が一つ先のSA/PAの待ち時間より大きく、しきい値以上の差がある場合に、一つ先のSA/PAに誘導することをまず仮定する。そしてITSセンター内で、交通状態の予測と充電推奨情報の修正を繰り返し、予測されるSA/PAの充電待ち時間のばらつきを平準化した推奨情報を、ITSスポットや電子掲示板などを通してEVに通知する。

3.2 ITSセンターの実用化に向けての課題

ITSセンターの課題として、以下が挙げられる。

- (1) 交通状態の予測精度の向上 現在、ETCゲートでのEVの流入・流出量やITSスポットでのEVの通過情報を利用しているが、将来、気象情報や事故情報、あるいはEVの位置やバッテリー残量情報などを取得することができれば、交通状態の予測精度を向上できる。実環境における情報取得コストと予測精度とのトレードオフと考えられる。
- (2) 充電推奨情報 ITSセンターは、各SA/PAの充電待ち時間や推奨情報を送信するが、その推奨情報に従うかどうかはEVドライバーの判断に任せられる。したがって、効果的な推奨情報や、それに従う統計的な予想値を把握する必要がある。今後アンケートや実証実験などを通して、ドライバー判断のモデル化が必要である。

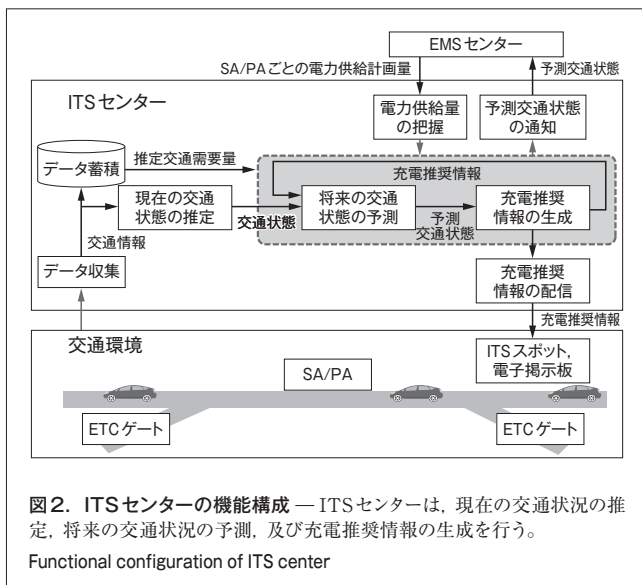


図2. ITSセンターの機能構成 — ITSセンターは、現在の交通状況の推定、将来の交通状況の予測、及び充電推奨情報の生成を行う。
Functional configuration of ITS center

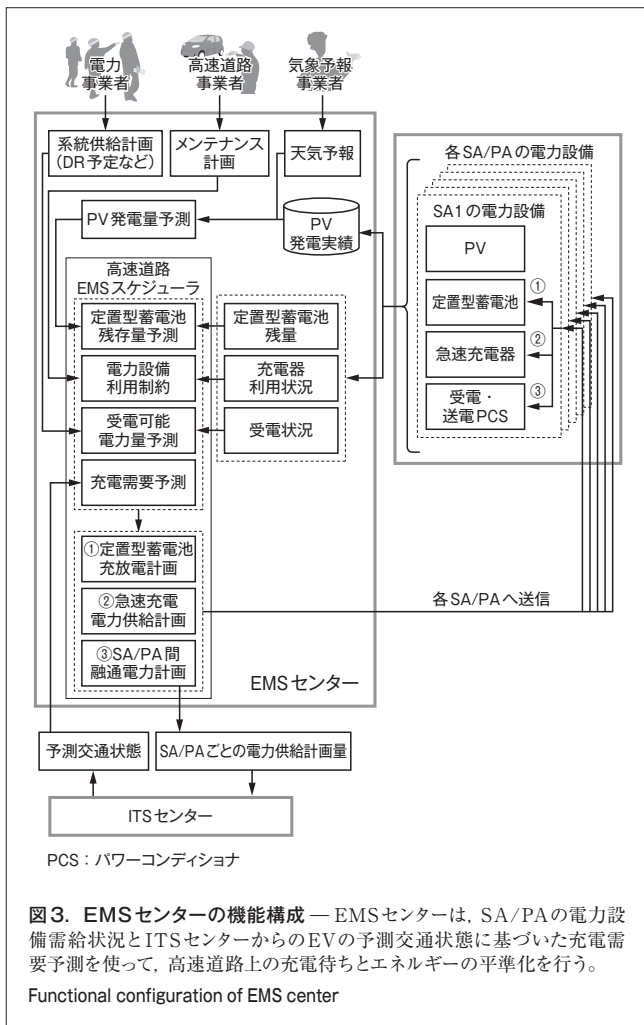
4 EMSセンターの機能と課題

EMSセンターの機能構成を図3に示す。

4.1 EMSセンターの主な機能とその実現方法

EMSセンターは、各SA/PAの契約電力や太陽光発電(PV)などの再生可能エネルギーの発電実績から、定置型蓄電池の蓄電量を予測し、メンテナンスやデマンドレスポンス(DR)などによって、電力設備の利用制約や受電可能電力量が変動することも考慮して、各時間で供給可能な電力量を算出する。

またEMSセンターは、ITSセンターで高速道路を走行しているEV台数から計算した予測交通状態を受信し、EV充電

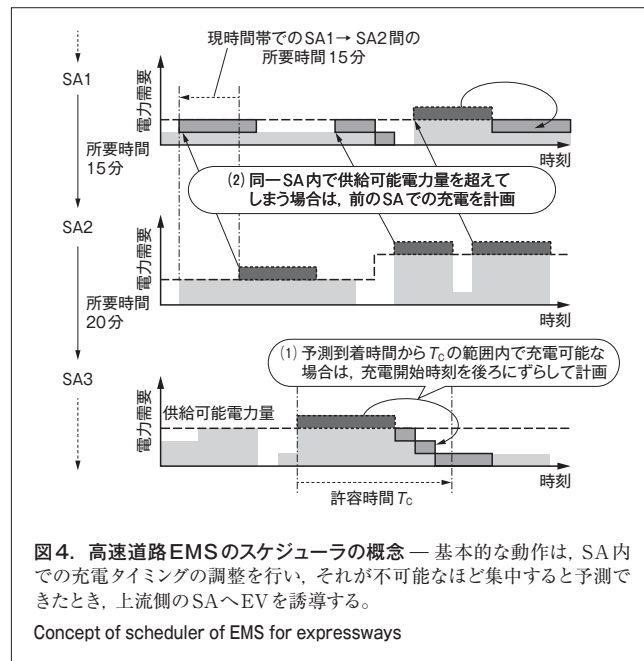


需要を予測する。

ここで、EVの充電需要量と供給可能な電力量の需給バランスがうまく取れるように、複数台のEVに対して充電に適切なSA/PA及び時刻を最適化する。この最適化計算はEMSセンターのコア機能であり、高速道路EMSのスケジューラは、以下を考慮した計画を立案する。

- (1) 充電が必要と予測したEVに対して、少ない回数で、少ない待ち時間で充電できるSA/PAへ誘導する充電計画を作成する。
- (2) 各SA/PAに配備される急速充電器や定置型蓄電池などの設備設置⁽³⁾がむだにならないように、稼働率を考慮したEV充電を計画する。
- (3) SA/PAの充電需要が1か所に偏らないように充電需要を平準化する。

高速道路EMSスケジューラを概念を図4に示す。車両は上から下へ、SA1からSA3へ流れている。SA1が上流側でSA3が下流側である。基本的な動作は、SA内での充電タイミングの調整を行い、それが不可能なほど集中すると予測してきたとき、上流側のSAへEVを誘導する。



各SA/PAの供給可能電力量と充電器の利用数を制約条件として、EVの充電需要量が、この制約を超えないように、充電場所と時刻の最適値を計画する。高速道路を走行中の各EVの走行区間、及び現在の時間帯での区間所要時間と区間消費電力(区間電費)を基に、EVの到着時刻及び充電需要量を予測する。

このとき、供給可能電力量を充電需要量を超えていなければ問題ないが、ある時間帯に集中して一つのSAにEVが到着した場合には、供給可能電力量を超える可能性がある。EVの予測到着時間から許容時間 T_c 以内でEVの充電開始時間をずらした場合には、供給可能電力量以下になるタイミングがないかを探索する(図4の(1))。あれば、予測到着SAでの充電を計画する。許容時間 T_c 以内でEVの充電開始時間をずらしても供給可能電力量を超える場合には、充電するSAを前倒して電力供給計画を立てる(図4の(2))。このようにEVに対して最適な充電計画を作成し、ITSセンターへ通知する。

4.2 EMSセンターの実用化に向けての課題

EMSセンターの課題として、以下が挙げられる。

- (1) 渋滞への対処 事故渋滞などはいどこで発生するか予測できない。このような渋滞発生にEVが巻き込まれた場合、電力を消費して渋滞区間の次にあるSA/PAで多くの充電需要が発生する可能性がある。このときの計画をどのように立案するかが課題であり、交通管制の情報を取り入れていく必要がある。
- (2) 再生可能エネルギーの発電量予測 PVなど再生可能エネルギーを利用した発電を導入する場合には、天候による発電量の変動や蓄電池による蓄電量をより正確に予測して、効果的に供給可能電力に取り入れる必要がある。

5 シミュレーション

5.1 シミュレーション条件

ITSセンター及びEMSセンターのアルゴリズムを搭載したシミュレータを開発し、高速道路の交通需要量を基に、走行車両に対するEV混入率が0.3%と1.0%の場合のシミュレーションを行った。

バッテリー容量などEV特性は既製EVを参考に設定している。5か所のSA/PAに1台ずつ充電器が設置された条件で、EMS機能ありとなしの場合の平均充電待ち時間を比較した。充電待ち時間とは、EVがSA/PAに到着してから、充電を開始するまでの時間を表す。

5.2 高速道路EMSの効果

EV混入率が0.3%の場合及び1.0%の場合のシミュレーション結果を、それぞれ図5、図6に示す。

0.3%の場合、EMS機能がなくても待ち時間は実用上許容される範囲(30分前後)である。

しかし、1.0%の場合には、EMS機能なしでは1か所に充電需要が集中し、許容待ち時間を大きく超えてしまう。EMS機

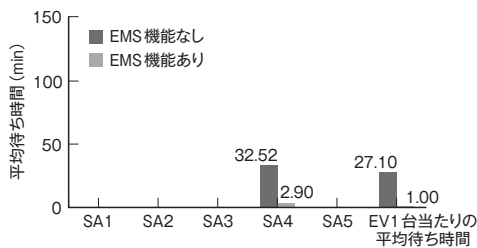


図5. EV混入率0.3%時の平均充電待ち時間 — EV混入率が0.3%の場合、EMS機能なしでも、待ち時間は30分程度に収まっている。
Average waiting times in case of EV mixing ratio of 0.3%

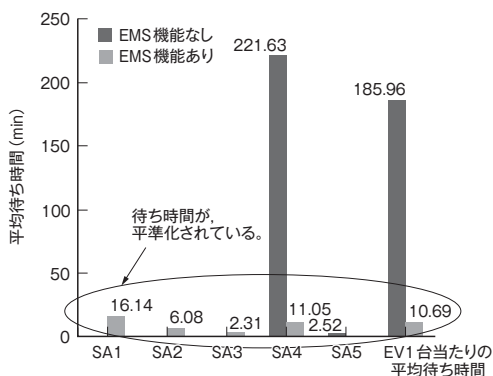


図6. EV混入率1.0%時の平均充電待ち時間 — EV混入率が1.0%になった場合、EMS機能なしでは、待ち時間が200分を超えるのに対し、EMS機能ありの場合、EV充電を多くのSAに分散させ、20分以下に抑えられる。
Average waiting times in case of EV mixing ratio of 1.0%

能がある場合は、EVの充電需要が平準化し、充電待ち時間を許容待ち時間以下に維持することができた。

このシミュレーションは一例であるが、高速道路EMSが有効に機能することを確認できた。

6 あとがき

現在、EV以外の燃料電池自動車など次世代型車両の開発が数多く計画されているが、例えば水素自動車では、圧力の高いタンクに水素を一度充填してから車両に充填するため、ある程度の台数の車両に充填した後に次の車両に充填するまでに、準備時間が掛かる。つまり、車両への水素充填を無計画に行った場合、EVと同様に充填待ちが発生する可能性がある。また、特定の充填ステーションの需要が過度に高まり、エネルギーの供給が間に合わないといった問題が生じる可能性もある。

当社は、EVと電力という視点から高速道路EMSを提案してきたが、高速道路全体を一つの系統と捉えた、車両の計画的な誘導による充電・充填管理は、EVに限らず将来必要なシステムと考えられる。今後、様々な車両を考慮した高速道路EMSとして発展させていきたい。

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に深く感謝の意を表します。

文献

- 中村順一 他. 道路交通とエネルギーの統合管理を目指す高速道路向けEMS. 東芝レビュー. 67, 12, 2012. p.11-14.
- Paul, T.K.; Aisu, H. "Management of Quick Charging of Electric Vehicles Using Power from Grid and Storage Batteries". 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC). Greenville, SC, USA, 2012-03, IEEE. 2012. p.1-8.
- 遠藤 保 他. EVユーザーと電力需家双方にメリットを生み出す蓄電型充電システム. 東芝レビュー. 66, 2, 2011, p.21-24.



中村 順一 NAKAMURA Junichi

コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部 技術第四部参事。ETCシステム及びITSシステムの開発に従事。電気学会会員。
Community Solutions Div.



山田 尚史 YAMADA Hisashi

研究開発センター システム技術ラボラトリー研究主務。交通システムに関する最適化技術及びシミュレーションの研究・開発に従事。
System Engineering Lab.



加納 誠 KANO Makoto

東芝ソリューション(株) IT研究開発センター 研究開発部主務。モデリング・シミュレーション技術の研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Toshiba Solutions Corp.