

# 周辺交通への影響を加味した電気自動車充電料金戦略の提案

東京大学大学院工学系研究科 小沢謙太郎、藤井秀樹  
http://save.sys.t.u-tokyo.ac.jp, fujii@sys.t.u-tokyo.ac.jp

## はじめに

わが国では地球温暖化の原因とされる CO<sub>2</sub> の排出量の 18.6% を運輸部門が占めており、大きな問題となっている。電気自動車 (electric vehicle: EV) は Tank-to-Wheel の温室効果ガスの排出がなく、再生可能エネルギーの普及と組み合わせることで環境負荷削減の手段として期待されている [1]。

EV の普及に関し、充電時間の長さや充電ステーション(charging station: CS) の不足という問題が存在する。それらの問題への解決策として CS の効率的な利用が考えられる。電力需要の平準化の観点から、CS の利用状況を充電料金に反映することで EV の充電需要を分散化させる方法が提案されている。本研究ではそれに加え、CS で発生しうる充電待ち渋滞が周辺交通に与える影響の最小化についても同時に考慮するような充電料金戦略を提案することを目的とする。

## 1. シミュレーション手法

### (1) 交通流シミュレータ ADVENTURE\_MATES

ADVENTURE\_Mates は、著者らが開発する、車両移動の詳細な表現が可能なオープンソースの微視的交通流シミュレータである [2]。自動車やバス、歩行者等の交通主体は周囲の状況を知覚して自律的に行動し、交通主体どうしの相互作用の結果として渋滞などの複雑な交通現象が創発される。

本研究では、公開版の MATES に対し EV の電力消費および CS の選択、CS における充電行動を追加実装したバージョンを使用する。本シミュレータを用いると EV の電力消費に関する実測値を高い精度で再現できる [3]。

### (2) 充電料金の決定と CS の選択

充電料金は、混雑需要に応じた充電料金設定ができる Li et al.[4] で用いられた式をもとに決定する。

まず、時刻  $t$  における CS  $K$  の充電需要  $D_K(t)$  を、CS  $K$  で充電を待つ EV の台数  $G_K(t)$ 、CS  $K$  で充電するために移動中であるがまだ CS に到達していない EV の台数  $M_K(t)$  を用いて以下のとおり定義する。

$$D_K(t) = G_K(t) + M_K(t) \quad (1)$$

CS  $K$  の充電価格  $P_K(t)$  は、充電需要に応じて以下のように決定する。

a)  $0 \leq D_K(t) < U_K/\eta$  (低需要) の場合

$$P_K(t) = P_0 + P_s \quad (2)$$

b)  $U_K/\eta \leq D_K(t) < U_K$  (中需要) の場合

$$P_K(t) = P_0 + \eta P_s \frac{D_K(t)}{U_K} \quad (3)$$

c)  $U_K \leq D_K(t)$  (高需要) の場合

$$\begin{aligned} P_K(t) &= P_0 + \eta P_s \\ &+ \mu P_s \frac{D_K(t)(D_K(t) - U_K)e^{\omega \rho_K(t)}}{U_K^2} \end{aligned} \quad (4)$$

$U_K$  は CS  $K$  の充電スロット数、 $P_0$  は CS が電力系統から購入する電気料金、 $P_s$  は CS での基本サービス料金を表す。 $\eta$  は料金調整係数、 $\mu$  は混雑度調整係数、 $\omega$  は交通密度調整係数をあらわす。

式(4)に含まれる  $\rho_K(t)$  は CS  $K$  の前の道路の交通密度であり、以下で求める。

$$\rho_K(t) = \frac{n_K(t)}{L} \quad (5)$$

$n_K(t)$  は道路を走行中の車両台数、 $L$  は道路の長さである。式(4)は周辺道路が混雑すればするほど充電価格が上昇することを意味する。充電を待つ EV の列が一般の道路利用者の通行を妨害してしまうことの抑制を意図している。

シミュレーションの最中、充電料金は 30 秒毎に更新される。EV は走行中に電力を消費し、目的地に到着するまでに充電率 (state of charge: SoC) が 0.3 未満になった EV は最新の充電料金情報に基づいて CS を選択する。

## 2. 交通密度の反映の有無による比較

図 1 のような単純なネットワークを用い、充電料金に交通密度を反映しない場合 (式(4)において  $\omega = 0$  とする) と反映する場合 ( $\omega > 0$ ) の評価を行う。東西 2000m、南北 600m の長方形の道路網に、それを二分する南北方向の幹線道路が配置されている。幹線道路の交差点間を 3 等分する位置の東側に CS1、西側に CS2 を配置し、西端の道路の中心に CS3、東端の道路の中心に CS4 を配置する。各 CS にはそれぞれ

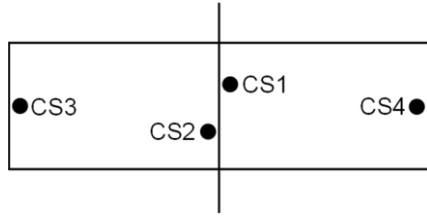


図1 充電価格決定の検証で用いたマップ

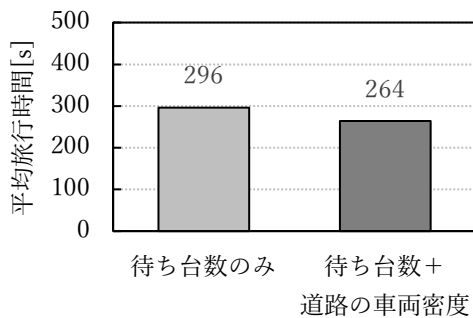


図2 一般の車両の旅行時間の比較

1台ずつの充電スロットがあり、出力は50 kWhとする。シミュレーション時間は4.5時間であるが、シミュレーション開始から0.5時間の結果は評価から除外する。EVの発生交通量は幹線道路の北側から南側へ100 veh/h、南側から北側へ100 veh/hとする。シミュレーション時間の短縮のため、EVの電池容量は現実より小さな20 kWhとし、充電行動を終了するSoCの閾値を0.8とする。シミュレーションに登場する時点で約15%のEVのSoCを0.3未満に設定する。SoCが0.3未満のEVはシミュレーションに登場した直後にCSを選択する。

シミュレーションの結果、各CSを利用した車両台数はおおよそ15台で一定であった。充電に要する時間はおおよそ15分であるため、4時間のシミュレーションではこれがほぼ上限である。一方、充電を行わない一般車両の平均旅行時間については、交通密度を考慮しない場合が296秒なのに対し、交通密度を考慮する場合は264秒となった(図2)。交通密度の考慮により充電待ち台数が減少し、CS周辺の交通の流れがスムーズになったと考えられる。

### 3. 実ネットワークへの適用例

つづいて、図3に示すような実際の都市の道路ネットワークを用いてシミュレーションを行った。ノード(交差点)数が949、東西8.9 km、南北8.3 kmであり、CSは13か所設置する。EVの生成台数は1488 veh/h、非EV(ガソリン車など)は1488 veh/hと設定した。

結果としてCSにおけるEVの平均待ち台数



図3 実道路ネットワーク

に変化はなかったが、一般車の平均旅行時間は交通密度を考慮しない場合の2727秒から考慮する場合の2585秒へと減少した。やはり、周辺が混雑していないCSの利用が促進され、全体として交通流の効率性を向上したといえる。

### おわりに

本研究では、充電価格の決定方法がCS周辺の交通流の効率性へ与える影響について評価した。充電料金戦略に交通密度を考慮することによって、周辺が混雑しているCSの利用を抑制し、逆に混雑していないCSの利用を促進することで、交通流の効率性を向上させられることがわかった。

今後の課題としては、より効果的なCS選択手法の提案や各車両の充電行動の違いの描写、再生可能エネルギー由来の電力なども考慮した電力系統との統合が挙げられる。

### 参考文献

- [1] Solanke T., et al., A Review of Strategic Charging-Discharging Control of Grid-Connected Electric Vehicles, Journal of Energy Storage, 2020.
- [2] Yoshimura S., MATES: Multi-Agent Based Traffic and Environment Simulator - Theory, Implementation and Practical Application, CMES, 2006.
- [3] 森岡ら, 実車走行データを用いたEV電力消費推定モデルの構築, 信学技報, 2022.
- [4] Li X. et al., Price Incentive-Based Charging Navigation Strategy for Electric Vehicles, IEEE Transactions on Industry Applications, 2020.