

BC6 都市交通シミュレーションを用いた待ち行列予測を根拠とする 充電料金による EV 制御

Electric Vehicle Control Through Dynamic Charging Price Based on Predicted Queue Lengths
Using Traffic Simulation.

都市エネルギーシステム領域

08E21035 小松涼一 (Ryoichi Komatsu)

Abstract:

As global warming progresses, Japan is actively promoting the widespread adoption of electric vehicles (EVs) and charging infrastructure, such as charging stations (CS), to achieve carbon neutrality by 2050. However, the increasing demand for EV charging can pose challenges to both power distribution systems and transportation networks, often resulting in longer waiting times at CS. One solution to these challenges is dynamic pricing, wherein charging fees are adjusted based on power grid and traffic conditions. In this study, we employ the multi-agent-based traffic simulator eMATES to implement a pricing control mechanism informed by predicted queue lengths at CS. We then examine how different prediction methods influence the effectiveness of this pricing control strategy.

Keywords:

Electric Vehicle, Dynamic Pricing, eMATES¹⁾, waiting time

1. 背景と目的

地球温暖化の進行に伴い、日本では 2050 年カーボンニュートラル達成のため、電気自動車(EV)や EV の充電インフラである充電ステーション(CS)等の普及が進められている。しかし、EV による充電需要、特に高速充電器で行われる経路充電の増加によって、送電線の電圧の不安定化や、CS における待ち時間の増加といった形で配電系統及び交通網における問題が起こる可能性がある。これらの問題を解消する方法の一つとして、状況に応じて変動する充電料金(Dynamic Pricing : 動的価格)による EV 充電行動の制御が挙げられる。Kazemtarghi, A. ら¹⁾は、混雑の分散と収益の最大化を目的として、利用可能な充電プラグの数から CS の混雑状況を参照する変動料金を提案している。本研究では、交通現象を詳細に再現できるマルチエージェントモデリングに基づく交通流シミュレータ eMATES²⁾を用いて、CS における待ち行列長の予測値を利用した変動料金制御を行う。予測に用いるパラメータの感度解析から適切な料金制御について分析する。

2. シミュレーション概要

交通流シミュレータ eMATES を用いて以下の(1)式のように変動する充電料金による EV の充電行動制御を行った。まず、単純なモデルで β 及び γ の 2 つのパラメータを変化させながらシミュレーションを行って充電制御の性質について分析し、次に実環境を模したモデルで充電制御効果の実証を行った。

$$p_{it} = \alpha_3 \left(w_{i,t} + \beta \lim_{\varepsilon \rightarrow \gamma} \left(\frac{w_{i,t} - w_{i,(t-\gamma)}}{\varepsilon} \right) \right) \quad (1)$$

p_{it}	: 時間 t , 番号 i の CS の充電料金 [yen]	β	: β 分先の待ち行列予測 [min]
α_3	: 待ち行列一台当たりのコスト[vehicle/yen]	γ	: γ 分前の待ち行列参照 [min]
$w_{i,t}$	: 時間 t , 番号 i の CS の待ち行列 [vehicle]		

3. シミュレーション結果

簡易モデルはCSが3つの直線道路からなる単純なモデルで、簡単かつ高速に充電制御の性質を分析するために用いた。簡易モデルにおける感度解析結果を図1に示す。 β (何分先を読むか)よりも γ (何分前のデータを予測に用いるか)に依存してEVの待ち時間が短く、すなわち充電制御の効果が高くなっていた。また、直近の予測値であるほど待ち時間が短くなった。交通量の変化頻度やCS選択のタイミングが変わるように簡易モデルでのシミュレーション設定を変更した結果、CS選択の意思決定タイミングと適切な β の値との間に関連があることがわかった。

実環境モデルは実際の交通網を詳細に模擬したモデルであり、料金制御の効果を実証するために用いた。実環境モデルの結果(図2)からは、簡易モデルとは逆に β に依存してEVの待ち時間が短く、すなわち充電制御の効果が高くなっていた。簡易モデルの結果は交通網のトポロジーが非常に単純であったことに起因するものであり、複雑な実環境モデルにおいてはより先の待ち行列を見通すことが難しくなったことが原因と考えられる。CS選択を行う際のCSまでの距離、すなわちどれだけ前に意思決定を行うか、による制御結果の変化を見ると、一定以上先の待ち行列を予測するとその効果が高まっており、EVを含めた交通量の変化の頻度も影響していると可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では、マルチエージェントに基づく交通流シミュレータ eMATES を用いて、CSにおける待ち行列の予測値を参照した変動料金による制御を行い、意思決定のタイミングやEV増加トレンド、交通網の複雑さ等の変化によって適した予測パラメータが異なることがわかった。より効果的な制御を行うためには、予測式の高度化や、eMATESを配電系統シミュレータと連成させることによる配電系統への影響の考慮が必要だと考えられる。

参考文献

- 1) Kazemtarghi, A., Mallik, A., & Chen, Y., Dynamic pricing strategy for electric vehicle charging stations to distribute the congestion and maximize the revenue, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2024.
- 2) 内田英明, 藤井秀樹, 吉村忍: マルチエージェント交通シミュレーションにおける充電を考慮したEVの経路選択, 人工知能学会論文誌, Vol. 32, No. 5, pp. AG16-I_1-9, 2017

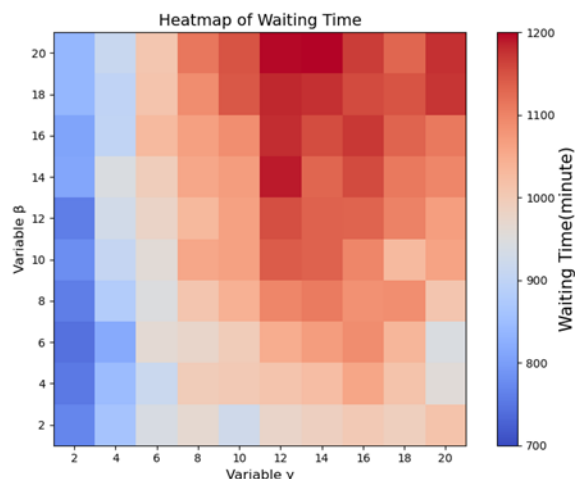


図1 簡易モデルでの結果

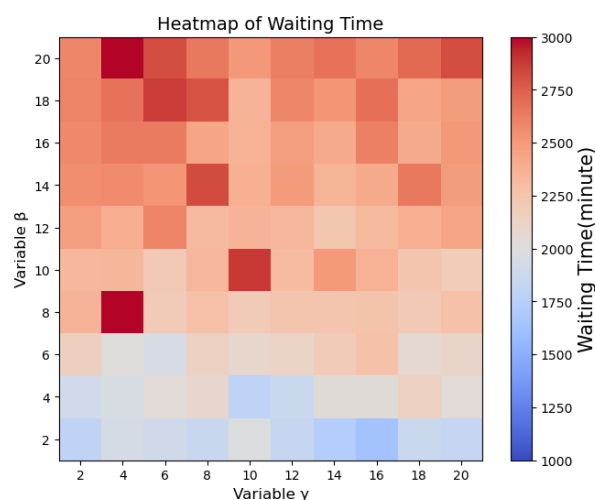


図2 実環境モデルでの結果