

# EVを介した交通と電力のインフラ協調シミュレーション

Simulation of infrastructure coordination between transportation and electricity via electric vehicles

田中瑞基<sup>1)</sup>, 藤井秀樹<sup>2)</sup>, 内田英明<sup>3)</sup>, 丹司尊<sup>4)</sup>, 吉村忍<sup>5)</sup>

Mizuki Tanaka, Hideki Fuji, Hideaki Uchida, Takashi Tanji and Shinobu Yoshimura

1) 学(工) 東京大学大学院工学系研究科(〒113-0023 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: m\_tanaka@save.sys.t.u-tokyo.ac.jp)

2) 博(環境) 東京大学大学院工学系研究科 准教授(〒113-0023 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: fujii@sys.t.u-tokyo.ac.jp)

3) 博(工) 大阪大学大学院工学研究科 助教 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-3, E-mail:uchida@see.eng.osaka-u.ac.jp)

4) 修(工) 東京大学大学院工学系研究科 (〒113-0023 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail:t\_tanji@save.sys.t.u-tokyo.ac.jp)

4) 工博 東京大学 工学系研究科 教授(〒113-0023 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp)

With the spread of variable renewable energy sources such as wind and solar power, a low-cost leveling method has been proposed by utilizing EVs as storage batteries. To achieve this, it is necessary to coordinate transportation and electric power, and for this purpose, a coupled simulation that unifies transportation and electric power is important. In this study, a coupled simulator that links an existing traffic simulator and an electric power simulator is constructed, and the extent to which EVs actually affect both is examined.

**Key Words :** EV, Transportation, Electric power, Coordination simulation

## 1. はじめに

近年, 地球温暖化に伴う異常気象が全世界における課題となっており, その原因となる二酸化炭素に代表される温室効果ガスの排出量を減らすことが共通目標となっている。そのため, 太陽光発電をはじめとした変動型再生可能エネルギー (Variable Renewable Energy [VRE]) の導入が促進されている[1]。

変動型再生可能エネルギーは発電量が時間帯や天気等に大きく依存して変動するため, その大量導入は, 需給バランスが必須となる電力系統に不安定をもたらすことが懸念されている。電気自動車(electric vehicle, EV)を蓄電池として活用して, 低コストで電力需給の平準化を図り電力系統の安定性を向上させる手法が提案されている[2]。

今後EVを介した道路交通網と電力系統間での相互の結びつき(インフラ協調)がより強くなると考えられている。EVが双方に与える影響を評価するには交通網のメカニズムと電力系統のメカニズムを一元的に考えることが必要となる。

本研究では, 著者らの研究室で開発してきた知的マルチエージェント交通流シミュレータADVENTURE\_Mates (以下MATES) [3]と米国電力研究所EPRIが開発し公開している電力シミュレータOpenDSS (Open Distribution System Simulator) [4]とを組み合わせることで道路交通網メカニズムと電力系統メカニズムに与える影響を一元的に評価する連成シミュレータを構築することを目的とする。

## 2. 手法

### (1) MATES

MATESは車両移動を詳細に表現することが可能なミ

クロ型交通流シミュレータである。MATESではマルチエージェントとして実装され, それらは周囲の状況を知覚し自律的に行動する。そして, エージェント1つ1つの行動が周囲に存在するエージェントに影響を与えるという環境を構築している。これにより, エージェント間での相互作用を実現し, 複雑な交通現象の再現が可能となっている。

本研究では, 従来のMATESに対してEVのバッテリー容量出力, 充電ステーション(charging station, CS)における充電行動を追加実装したバージョンを使用した[5]。

### (2) OpenDSS

OpenDSSはEPRIによって開発された配電シミュレータであり, 現状及び将来の配電システムの課題に対応するために作られた柔軟でカスタマイズ可能なプラットフォームを利用し, エンジニアが複雑な分析を行うことを可能としている。

OpenDSSの内部では潮流計算が行われている。潮流計算とは, 電力系統においてそれぞれの発電機から供給される電力が送電線や変圧器を通してそれぞれの負荷に流れていく状態を求める計算であり, 以下の式を用いて計算される。ここで  $Y_{\text{system}}$  は各回路に固有の行列,  $V_n$  は  $n$  回目に計算された電圧,  $I_{\text{PC}}(V_n)$  は  $V_n$  をもとに計算される電流である。

$$I_{\text{PC}}(V_n) = Y_{\text{system}} V_n \quad (1)$$

$$V_{n+1} = [Y_{\text{system}}]^{-1} I_{\text{PC}}(V_n) \quad (2)$$

$V_n$  の値が収束するまで繰り返し計算され, それにより得られた値を  $V$  として出力する。

### (3) 連成手法

連成シミュレーションを行う際には、2つのシミュレータ間でファイルの受け渡しを行う必要がある。EVが充電を行うと充電器部分の運用条件が変化し、その結果潮流計算の計算結果が変化する。そして、その計算結果をもとに充電料金にインセンティブをかける等の行為により経路選択部分に影響が生じる。本研究ではこのフローをもとに連成シミュレータを構築しており、これをまとめたものが図1および図2である。

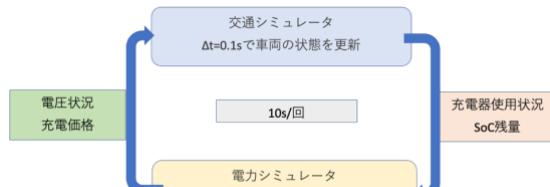


図1 データ連携の概要

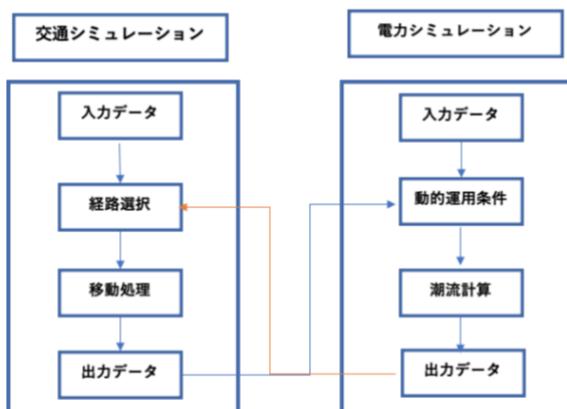


図2 シミュレーションフロー

### 3. シミュレーション設定

#### (1) MATES

MATESを実行する際にはEVエージェントに関する情報を設定する必要がある。実際のEV車両に基づき表1のように設定している。

表1 EV エージェント諸元表

車両総重量	1811.25[kg]
転がり摩擦係数	0.00129
空気密度	1.204[kg/m <sup>3</sup> ]
空気抵抗係数	0.28
前面投影面積	2.47[m <sup>2</sup> ]
最終減速比	8.193
駆動系効率	0.87
充電容量	62[kWh]
一充電走行距離	458[km]

### (2) OpenDSS

潮流計算を行うOpenDSSにおいては変圧器が導入されており、現実的でない電圧が出力されないように電圧の上限・下限が設定されている。そのため、実データに基づくデータを入力することが必要となる。今回はCREST126モデル[6]を利用し、それに基づくネットワークを図3のように作成した。

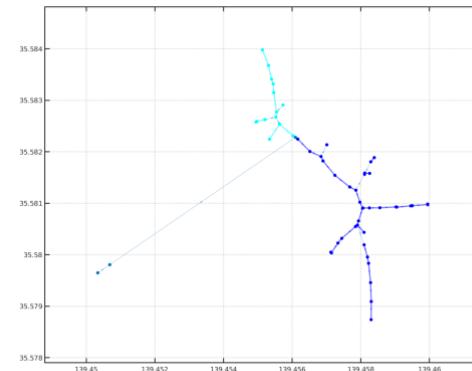


図3 電力ネットワーク

ここで、各ノードは高圧需要家と対応しており、本研究ではこれを急速充電器として扱っている。MATESではこれに対応する道路ネットワークを構築した。

### 4. 結果

連成させない状態で電力シミュレーションを用いて計算した電圧の値が図4であり、連成させてシミュレーションを実行したものが図5である。ここでいずれも横軸は時間、縦軸は電圧を意味しており、各線が需要家の電圧に対応している。

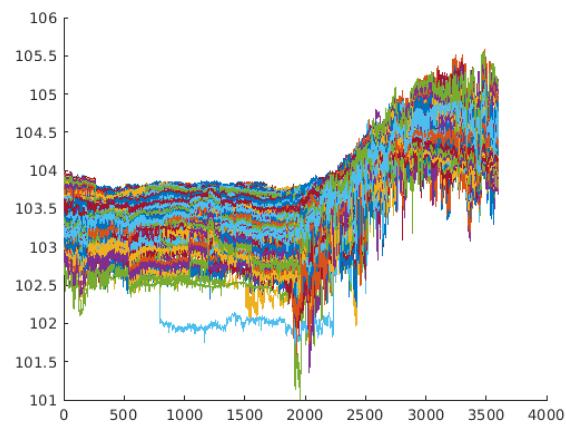


図4 無連成状態における電圧変化

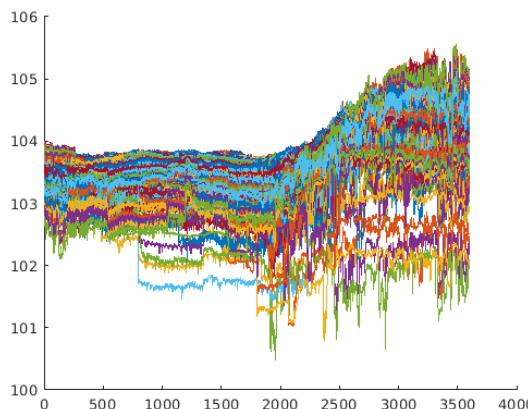


図 5 連成シミュレーションにおける電圧変化

図4と図5を比較すると、2000ステップ程度までは大きな違いはないものの、時間が経過するにつれ需要家ごとの電圧の値にズレが生じていることがわかる。これは連成シミュレータにおいては、充電行動を開始するEVエージェントが多くなったことで利用されている充電器では電圧降下が生じているためであると考えられており、EVが電力系統に与えている影響を再現することができていると考えている。

## 5. まとめ・今後の展望

今回はCREST126モデルをベースとした簡単なネットワークを作成し、それに対する連成シミュレータの実装及びその動作確認を行った。

今後は相互作用の部分に関しての感度解析を行なった上で、実地域の道路ネットワークに対して適切に電力ネットワークを対応させることで、その地域全体に対して連成シミュレータを実装し、EVの影響を評価したい。

## 参考文献

- [1] 小島康弘: 再生可能エネルギー導入を支える蓄電池制御技術. 計測と制御, Vol. 55, No. 7, pp. 609-612, 2016.
- [2] Zhang B., et al.: Optimized Operational Cost Reduction for an EV Charging Station Integrated With Battery Storage and PV Generation, *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.10, pp.2096-2106, 2019.
- [3] 内田英明ら: マルチエージェント交通流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.
- [4] Q Hu., et al.:The Prediction of Electric Vehicles Load Profiles Considering Stochastic Charging and Discharging Behavior and Their Impact Assessment on a Real UK Distribution Network. ScienceDirect, Vol158, p.6458-6465, 2019.
- [5] H. Uchida, H. Fujii, S. Yoshimura. "Multiagent Coupled simulation of a Transportation System and Power Grid." 2018 21<sup>st</sup> International Conference on Intelligent

Transportation Systems (ITSC), pp.460-466, 2018.

[6] 早稲田大学スマート社会技術融合研究機構

<https://www.waseda.jp/inst/across/news/501.>