

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14980

研究課題名（和文）交通網と電力系統の相互作用シミュレーションとインフラデザイン

研究課題名（英文）Interaction simulation and infrastructure design of transportation network and power grid system

研究代表者

内田 英明（Uchida, Hideaki）

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90837387

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では道路交通網と電力系統それぞれの挙動を詳細に表現できるシミュレータを準備し、それを連携した統合シミュレーションの開発とその高度化を図った。電気自動車の充電にかかわる情報をインターフェースする機能を実装するとともに、それを利用した仮想都市における統合シミュレーションを実施した。低圧系統における普通充電器と高圧系統における急速充電器により2つのネットワークを相互作用させ、EVおよびPVの普及後には各々のインフラシステムに大きなインパクトが発生すること、適切な制御を施すことで状態を改善することができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーと電気自動車は、適切な制御が成されれば脱炭素化に向けた強力なインフラとなり得るが、その大量導入による影響は依然として未知である。本研究では配電系統工学と交通工学という異なる分野で確立された詳細なシミュレーションモデルを組み合わせることで、カーボンニュートラル社会における仮想的な社会実験を実施し、その最適化やリスク検討を可能とした。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we prepared simulators that can represent the behavior of road traffic networks and electric power systems in detail, and developed and upgraded an integrated simulation system that links these simulators. We implemented a function that interfaces information related to the charging of electric vehicles, and conducted an integrated simulation in a virtual city using this function. The interaction between the two networks, using regular chargers in the low-voltage system and fast chargers in the high-voltage system, shows that there will be a significant impact on each infrastructure system after the widespread use of EVs and PVs, and that the situation can be improved by applying appropriate controls.

研究分野：社会シミュレーション

キーワード：電気自動車 再生可能エネルギー マルチエージェントシミュレーション カーボンニュートラル 交通シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

持続可能な低炭素社会の実現は世界的な要請である。エネルギー消費の大きな割合を占める運輸部門においては EV の高い環境性能が注目を集めており、燃料電池技術の革新を含めた更なる効率化・利便性向上、自動運転技術の進展を見越した利活用の方策が求められている。EV はその動力源である電力エネルギーを既に整備済みの電力系統より受け取る点において従来のガソリン車と大きく特徴を異にする。この特性は自動車が道路交通網のメカニズムに閉じず、電力系統における重要なステークホルダとなることを意味する。また EV の普及に伴い化石燃料の消費が増大してしまうことは本末転倒であり、充電には太陽光・風力といった再生可能エネルギーが利用されることこそが本質的である。しかし、これらは天候により大きく出力変動する電源であり、大量に電力系統連系すると系統運用上の問題、例えば余剰電力による配電系統の電圧・周波数変動の課題が指摘される。余剰発生時の出力抑制が認められているものの、低炭素化の取り組みを念頭に置くと回避すべき事象であることは明らかである。対策の一つとして電力貯蔵技術が挙げられており、その有力な候補として EV が系統の安定化に資するものと期待されている。

## 2. 研究の目的

本研究課題の主たる目的は(目的 1)道路交通網と電力系統を精緻に表現した統合シミュレータ開発、(目的 2)EV 普及時に生ずる課題の統合的な検討と解決策の提案、である。前述の通り、これまでガソリンを燃料として自動車が走行してきた道路交通網と、主に出力制御可能な電源によって維持されていた電力系統は、今後普及していく EV を介して相互作用が発生する。例えば EV の有する燃料電池が系統に連携することを利用し、短期的・長期的周期での電力系統安定化といった利益を享受できる可能性が生まれる一方、CS の未整備に起因する新たな渋滞の可能性や帰宅後の充電需要集中による系統への過負荷などのリスクが既に指摘されており、様々な方策が考案されている。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、代表者が開発する交通シミュレータ ADVENTURE\_Mates を基礎とし、電力系統との統合に向け EV モデル等を拡張したシミュレータ eMATES によって道路交通網のメカニズムを表現する。既に交通工学的な検証の完了しているシミュレーションモデルを援用し、本課題で必要となる精緻性を十分に担保することが可能となる。また、電力系統の表現にあたっては、同様に系統工学分野で十分に検証のなされたモデルを利用する。特に、EV の充電行動や分散型の再生可能エネルギーが及ぼす影響の卓越する低圧配電系統の挙動を精緻に再現することが要件となるため、国内外の配電系統潮流解析ツールに関する文献調査をもとに OpenDSS を採用した。

## 4. 研究成果

本研究では eMATES と OpenDSS を連成したシミュレータを使用する。連成シミュレータの構成について図 1 に示す。2 つのシミュレータ間でのやり取りは 60 秒ごとに行う。連成シミュレーション実行時には、はじめに eMATES で 60 秒間シミュレーションが行われた後、各 CS の状況が OpenDSS に渡される。CS 種別(急速充電または普通充電)、CS ID (eMATES 側で定義)、CS 1 か所あたりの EV 収容可能台数、充電出力、現在の充電台数といった情報が CS 充電負荷を含めたシミュレーションを行うために eMATES から OpenDSS へ出力される。続いて OpenDSS において eMATES でシミュレーションを行った時間と同じ時間分のシミュレーションを行う。出力される情報として、CS 種別、CS が接続されているノード ID (OpenDSS 側で定義)、CS ID、CS 収容可能台数、充電出力、充電料金といったデータが eMATES に渡される。OpenDSS からの出力ファイルに含まれる充電出力と充電料金は、CS 充電需要が増加し、配電系統に悪影響が起こる恐れがある場合に、充電出力制御や料金制御を通して充電需要を抑えるために用いられる。この一連のやり取りを 1440 回(24 時間×60 分)繰り返すことによって、1 日分の連成シミュレーションを行う。

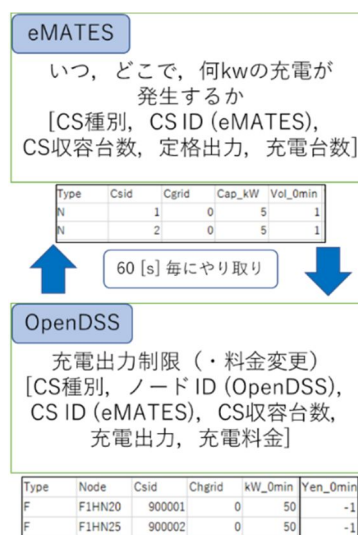


図 1: 連成シミュレータ

本研究では電力系統からの観点として潮流に応じたCSの出力制限、道路交通網の観点からCSの充電タイミング制御を行い、合計6通りのシナリオについて数値計算による検討を行った。各シナリオの電圧変動を図2に示す。制御が行われないシナリオ1では、EV充電需要が増加する夕方から夜にかけて、基準電圧(101±6V)を逸脱する箇所が見られる。出力制御を行ったシナリオ2および3と、CS選択に対する制御を行ったシナリオ4では、充電需要がピークを迎える時間帯であっても基準電圧を逸脱しない結果となった。また、電力系統と交通網双方向から制御を行ったシナリオ5と6では、電圧低下がさらに抑えられた。いずれのシナリオでも強い充電出力制限を行った方が電圧低下をより抑えられたものの、そのぶん充電に要する時間が長期化し、モビリティとしてのEVの性能を既存するトレードオフ関係が見られた。本研究で開発された連成シミュレータを活用することで、これらを解消する多目的最適解を導出し、実際の社会インフラの設計やメカニズムデザインを行うことが今後の展開である。

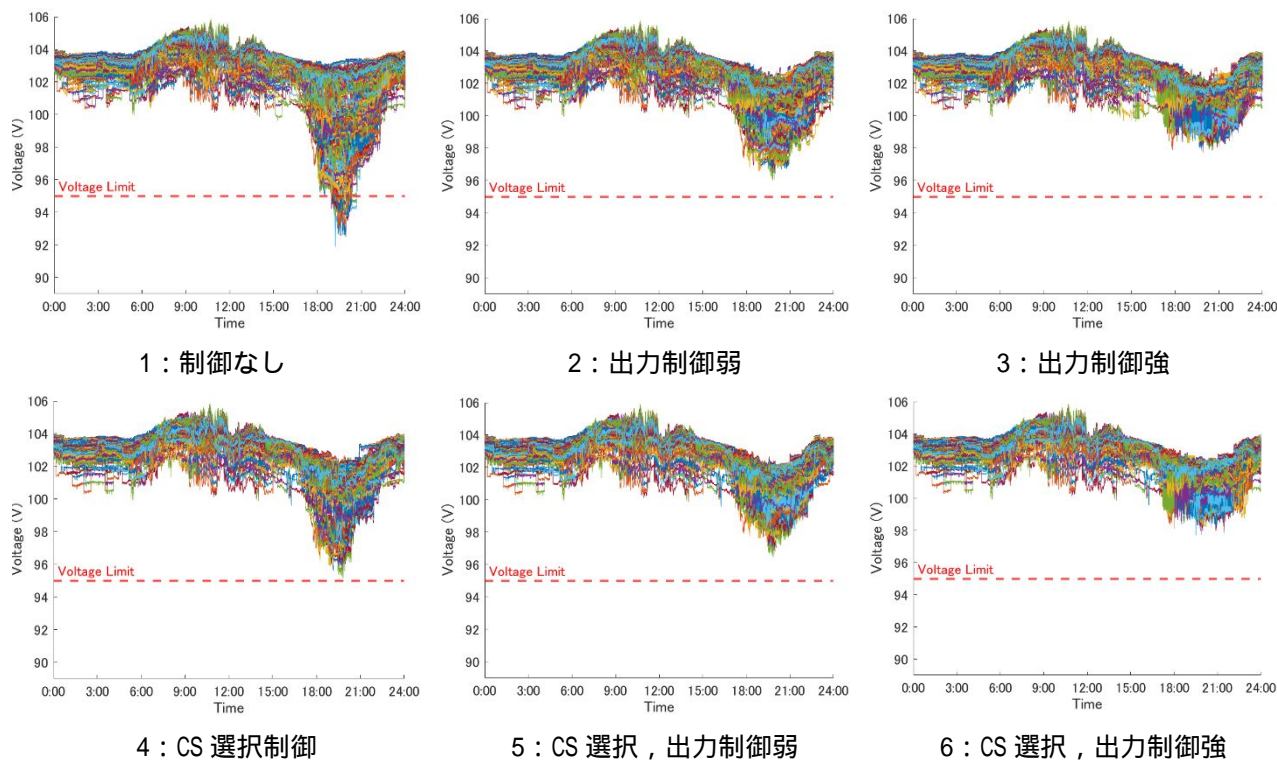


図2: 各シナリオの電圧変動

このような活用についてはフレームワークの議論[1]や実証実験による受容性確認[2]こそ行われているものの、国際的にも依然として構想段階である。従来の多くの検討が特定の学術分野を中心に展開されているが、本研究で対象とする連成シミュレーションは本質的に学際的であり、交通・都市・電力の各々のメカニズムが有する複雑性を十分にモデル化しなくてはならない。本研究で開発したデジタルツインの活用によりリアリスティックかつ柔軟なシナリオ設定を可能とし、CNを達成する都市のインフラシステムの在るべき姿を明らかにする第一歩となる。

今後は、電力系統と道路交通網の双方が大きな依存関係を持つ「人々が生活を営む都市空間」の電力消費メカニズムを中心に据えた三連成システムを構想する。エネルギー供給側の電力系統と、需要側で大きな役割を担う道路交通網の各メカニズムの相互作用を考慮しつつ、人間のライフスタイルや行動規範からこれらを説明することで、都市を取り巻く3システムが構成する連成系全体をひとつの「エネルギー駆動型都市システム」と定義し、より複雑かつリアリスティックなデジタルツインの構築を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 美野輪 眞大, 藤井 秀樹, 内田 英明, 吉村 忍
2. 発表標題 期待効用に基づくEVドライバの充電予約行動のモデル化
3. 学会等名 2021年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 美野輪 眞大, 藤井 秀樹, 内田 英明, 吉村 忍
2. 発表標題 充電環境に自律的に適応するEVドライバの充電予約行動モデル
3. 学会等名 人工知能学会 第41回社会におけるAI研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Uchida, T. Tahara, H. Fujii, S. Yoshimura
2. 発表標題 Regional Power Demand Estimation Based on Residential Location Choice Simulation
3. 学会等名 14th World Congress in Computational Mechanics and 8th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森岡 達也, 内田 英明, 太田 豊, 山口 容平, 下田 吉之
2. 発表標題 実車走行データを用いたEV電力消費推定モデルの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 美野輪 眞大、内田 英明、藤井 秀樹、吉村 忍
2. 発表標題 機械学習によるEV充電予約行動型構成の形成過程分析
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 町田 公佑、内田 英明、藤井 秀樹、吉村 忍
2. 発表標題 複数種類の新型モビリティを用いたライドシェアサービスのシミュレーション
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田原 智史、内田 英明、藤井 秀樹、黒木 雅彦、吉村 忍
2. 発表標題 居住地選択シミュレーションに基づく地区別電力需要予測
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------