

審査の結果の要旨

氏名 内田 英明

低炭素化に対する要請の高まりから電気自動車が注目を集めており、先進諸国を中心に普及目標を定め積極的な施策がとられている。一方、電気自動車の導入に際しては充電設備の未整備など複数の課題が存在するほか、本格的な普及以降は電力系統に対し大きな影響を与え得るなどの課題も指摘されている。このことは、従来全く独立した現象として取り扱われてきた道路交通網と電力系統のインフラシステム間において新たな相互作用が発生し得ることを示しており、定量的な解析が重要である。このような問題に対してはシミュレーションによるアプローチが有効であり、2つのシステム間の相互作用を連成現象としてモデル化することで多くの課題が一体的かつ相互に整合性を持った形で解析可能である。しかし既存研究において両者を同時に考慮したシミュレーションの事例は少なく、各々が特定の問題領域に特化したものに留まっている。そこで本研究では、マルチエージェント交通流シミュレータ ADVENTURE_Mates において新たに電気自動車エージェントを提案するとともに、そこで再現される充電イベントを Backward Forward Sweep 法に基づく配電系統の潮流計算に片方向連成させることで、数値実験による系統の電圧不安定現象の解析を可能としている。数値実験では現実の道路構造及び交通量を所与とし、普及率に応じた電気自動車の充電需要の動向と、それが配電系統に与える影響に関してパラメトリックスタディを実施している。

本論文は6つの章から構成される。

第1章では、本研究の背景及び目的、論文の構成について述べている。

第2章では、電気自動車及び再生可能エネルギーの普及によって想定される影響を整理し、主要なリスク要因となり得る配電系統の電力不安定現象についてその規模推定を行っている。また後の章で詳述するマイクロ連成シミュレーションモデルの概要を述べている。

第3章では、連成シミュレーションモデルのうち道路交通網のメカニズムに対応する交通流シミュレーションモデルについて、電気自動車エージェントの実装と数値実験が行われている。はじめに電気自動車の消費電力推定式の妥当

性検証を行った後、特有の意思決定モデルとして充電挙動を考慮した経路決定アルゴリズムの提案とその効率性について評価している。また、充電設備の最適配置問題に着目した数値実験を行い、モデルの適用範囲の広さを示している。

第4章では、電力システムのメカニズムに対応する潮流計算実装と精度検証が行われている。はじめに主要な潮流計算手法を整理した後、電気自動車及び再生可能エネルギーの影響が顕著に表れる配電システムを対象とした BFS 法の定式化を行い、数値実験を通して十分な精度が得られることを検証している。

第5章では、第3章と第4章で述べた両モデルを片方向連成させたマイクロ連成シミュレーションモデルを詳説した後、現実的な道路環境及び配電システムモデルを仮定し、再生可能エネルギー導入環境下での電気自動車の充電需要がシステムに与える影響の数値解析例を示している。

第6章では結論が述べられている。

以上を要するに、配電システムへの再生可能エネルギーの大量導入や今後見込まれる電気自動車の普及加速によって起こり得る、配電システムと道路交通網双方のインフラシステムにまたがる相互作用の重要性を指摘し、これらの現象を解析するために必要なモデル化と具体的な連成シミュレーションが提案されている。本論文で開発されたシミュレータはそれぞれ単体での検証により妥当性が示されているほか、大きく性質の異なるシステムにまたがった相互作用について定量的に評価する上でも有用である。人間の意思決定の介在する社会的シミュレーションと電力方程式を支配方程式とする物理シミュレーションを統合的に扱うという点においても非常に学際的な取り組みであり、この点においてシステム創成学分野の研究として価値が高い。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。