

平成 30 年 8 月 28 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12826

研究課題名(和文) 創発的アプローチによる自律分散エネルギーシステム設計・運用の方法論

研究課題名(英文) Methodology of the design and the operation of decentralized self-sustainable energy systems by adopting emergent systems approach

研究代表者

玉置 久 (Tamaki, Hisashi)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：10227267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：エネルギーシステム全体の評価・最適化を目的とし、(1) 都市の交通をサブモデルとして取り込んだ形のエネルギーシステムにおける電力供給最適化のための数理計画モデルおよびシミュレーションモデル、(2) 複数ビル群でのサーマルグリッドシステムの最適構成・最適運用のための数理計画モデルを構築し、一次エネルギー消費削減効果の定量的分析を行った。さらに、(3) マルチエージェントシミュレーションモデルと数理モデルをハイブリッドする形でのシミュレーションモデルを構成し、効果的な運用方策創出に向けた創発的アプローチを試案した。

研究成果の概要(英文)：In order to overall evaluation and optimization of energy systems, (1) a mathematical programming model and a simulation model of energy systems including urban traffic sub-models and (2) a mathematical programming model of the design and the operation of thermal grid systems have been investigated, and the effectiveness in reducing the consumption of primal energies has been evaluated. Moreover, a simulation model of the hybrid type with multi-agent simulation and mathematical programming models has been implemented, a emergent systems approach for realizing efficient method of operation has been investigated.

研究分野：システム工学

キーワード：エネルギーシステム 最適化 シミュレーション 自律分散 創発

1. 研究開始当初の背景

人・モノの移動を支える交通手段や電気・ガスなどのエネルギー・インフラを、都市全体として効率的に運用し省エネルギーを目指す取り組みが、社会の様々な局面で検討されている。とくに近年の特徴として、比較的小さなコミュニティ内にてエネルギーを生成・供給・消費する自律分散方式が、太陽光発電や水素燃料、あるいは蓄電池などの新たな要素技術の発展に伴い注目されている。このとき、エネルギー需給全体を大規模システムとして捉えるだけでなく、システム内に必然的に存在する人の振舞いやシステムを取り巻く自然・経済・社会環境との相互作用を陽にモデル化し、全体的な挙動がシステム要素の振る舞いを何らかの形で拘束するという創発システム的な捉え方をしない限り、全体としての自律分散型エネルギーシステムの有用性の議論はできない。

一方、このようなシステムのモデル化や設計・評価の技法について見ると、ビッグデータに代表されるデータ管理・処理技術や統計数理をベースとする機械学習技術等の進展によって、例えば人間の生活行動に関わる効果的な予測モデルの開発が可能となってきている。これらの情報・計算科学技術を活用しつつ、さらに数理モデリングやエージェント・シミュレーション、最適化技法等のシステム科学技術を有効に組み合わせることによって新たなシステム設計・評価のための方法論・技法の実現可能性が高まっている。

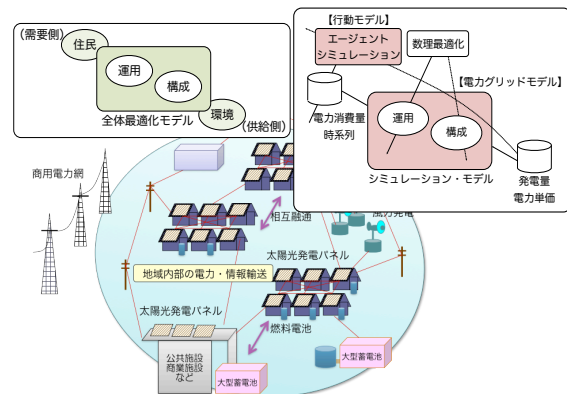
2. 研究の目的

本研究課題では、電力をはじめとするエネルギーの供給・消費の全体最適化を実現するシステム構成を検討するための方法論として、数理モデルとエージェントモデルによる解析（アナリシス）技法および最適化計算による解決策の導出（シンセシス）技法の開発、ならびにこれらの統合を目的とする。具体的には、エネルギー機器の特性・挙動を記述した数理モデルとエネルギー消費行動を記述した人間モデル（エージェントモデル）を複合的に構成すると同時に、モデル構造に応じた最適化のアルゴリズムを開発する。あわせて、再生可能エネルギーがコミュニティレベルで投入された場合を想定し、アナリシス・シンセシスを統合したモデル化技法・最適化技法により、高効率性・レジリエンス性を備えたエネルギー・ネットワーク構成方法の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究課題は、自律分散エネルギーシステ

ム構成・運用のための方法論の構築を目指し、自律分散エネルギーシステムのシミュレーションモデルを構築するものである。コミュニティ内において太陽光発電や風力発電を基本とするエージェント(発電家でありかつ需要家)が自律分散的なネットワークを構成した際のシミュレーションモデルを構築する。研究代表者・研究分担者はこれまでに、太陽光発電を主とした機器特性を詳細に考慮した電力需給の線形計画モデルに基づき、季節ごとの太陽光の利用効率などを数値的に明らかにしてきている。この結果を踏まえつつ、モデリング精度と最適化計算量の関係に着目しながら、数理モデリングやシミュレーション、最適化技法を組み合わせた新たなシステム化規範を構築する。その際、電力システム全体が、階層構造を有していることに着目し、この階層性を陽に考慮した System-of- Systems Approach (構造面) および創発システム・シミュレーション (機能面) の方法論を積極的に取り入れる。さらに数理計画法やメタヒューリスティクスをハイブリッド化させた解法を適用することで、必然的に大規模となる問題の効果的な求解を可能とする。また本申請課題では太陽光以外の電力や電力以外のエネルギー、さらには人の移動を考慮したモデルを構築する。



統合モデル概要

4. 研究成果

エネルギーシステム全体の評価・最適化を行うことを目的とし、エネルギー、人、モノそれぞれの需要・供給・移動(輸送)を総合的に扱うことが可能な数理計画モデルを試案した。具体的には、

- (1) 都市における交通をサブモデルとして取り込む形でエネルギーシステムを捉え、そこでの電力供給を最適化するための数理計画モデルおよびシミュレーションモデルを構築し、電気自動車等が普及した状況における自律分散エネルギーシステムの理想像創出に向けた基礎的検討、

- (2) 複数ビル群における熱融通のためのサーマルグリッドシステムを対象とし、熱エネルギーの空間シフト・時間シフトによって熱源の効率的運用を可能とするシステムの最適構成・最適運用のための数理計画モデルの構築を行うとともに、効率化による一次エネルギー消費削減効果の定量的な分析、

を行った。さらに、

- (3) エージェント(人間モデル)が運用効率化のために不可欠な要素である点に留意し、マルチエージェントシミュレーションモデルと数理モデルをハイブリッドする形でのシミュレーションモデルを構成し、人の意思決定を陽に考慮する形での効果的な運用方策の創出に向けた創発的アプローチ、

を試案した。また、(1)~(3)の研究項目のそれぞれについて、実際の都市・地域を想定したプロトタイプモデルを計算機上に構築し、数理計画モデルを利用した最適化計算とエージェントモデルに基づくシミュレーションを通して、定量的な評価を進めた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1) Ehsan Ghasemimoghadam, Kazuhide Togai and Hisashi Tamaki, A Methodology to Design an Efficient EM Controller with High Practicability in HEVs Learning, International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, 7 (3), 780-791, 2018
- 2) Ehsan Ghasemimoghadam, Kazuhide Togai and Hisashi Tamaki, A Methodology to Design an Efficient EM Controller with High Practicability in HEVs - Modeling and Optimization, International Journal of Engineering and Applied Sciences, 5 (2), 36-47, 2018
- 3) Kazutoshi Sakakibara, Takuya Matsumoto, Ittetsu Taniguchi and Hisashi Tamaki, Structural Optimization of Autonomous Energy Networks by Mathematical Programming Techniques, Electrical Engineering in Japan, 203 (4), 1009-1014, 2018
- 4) Masato Nagayoshi, Simon Elderton, Kazutoshi Sakakibara and Hisashi Tamaki, Reinforcement Learning Approach for Adaptive Negotiation-Rules Acquisition in AGV Transportation Systems, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 21 (5), 948-957, 2017
- 5) 榊原一紀, 松本卓也, 谷口一徹, 玉置久, 自律型電力ネットワークの数理計画による全体構成最適化, 電気学会 電子・情

報・システム部門誌, 137 (8), 1009-1014, 2017

[学会発表] (計 10 件)

- 1) Takuya Matsumoto, Atsushi Sakai, Yuya Morinaga, Kazutoshi Sakakibara, Makoto Ohara and Hisashi Tamaki, Parameter Estimation Model from Questionnaire for Multi-agent Simulation Model of Urban Traffic, The 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2018
- 2) 岩瀬勇毅, 大原 誠, 玉置久, 長廣 剛, エネルギーグリッドシステム 運用スケジュール最適化のための数理計画モデル, スケジューリング・シンポジウム 2017, 2017
- 3) 榊原一紀, 玉置久, 超スマート社会の実現に向けたエネルギーシステムのモデリング・最適化, 第8回横幹連合コンファレンス, 2017
- 4) Masato Nagayoshi, Simon Elderton, Kazutoshi Sakakibara and Hisashi Tamaki, Adaptive Negotiation-rules Acquisition Methods in Decentralized AGV Transportation Systems by Reinforcement Learning with a State Space Filter, International Conference on Artificial Life and Robotics, 2017.
- 5) Katsuhiko Sakato, Ittetsu Taniguchi, Kazutoshi Sakakibara, Takuya Matsumoto, Hisashi Tamaki and Masahiro Fukui, Optimal Power Distribution for Decentralized Electric Energy Network with Electric Vehicles, The 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2016
- 6) Takuya Matsumoto, Kazutoshi Sakakibara, Makoto Ohara and Hisashi Tamaki, Multi-agent Simulation with Mathematical Optimization of Urban Traffic Using Open Geographic Data, The 1st International Conference on Enterprise Architecture and Information Systems, 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉置久 (TAMAKI, Hisashi)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・教授
研究者番号：10227267

(2) 研究分担者

榊原一紀 (SAKAKIBARA, Kazutoshi)
富山県立大学・工学部・准教授
研究者番号：30388110

谷口一徹 (TANIGUCHI, Ittetsu)
大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号： 40551453

松本卓也 (MATSUMOTO, Takuya)
神戸大学・企画評価室・特命助教
研究者番号： 00625642

(3) 研究協力者

なし