

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730031

研究課題名(和文)構成要素の物理特性を考慮した分散型電力ネットワークのアーキテクチャ設計技術

研究課題名(英文)Architecture design technologies for decentralized energy network taking into account physical feature of components

研究代表者

谷口 一徹(TANIGUCHI, ITTETSU)

立命館大学・理工学部・任期制講師

研究者番号：40551453

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、太陽光パネルと蓄電池を持つ需要家が相互に接続された分散型電力ネットワークを効率的に設計するアーキテクチャ設計技術を確立する。分散型電力ネットワークを構成する蓄電池や電力変換器などの物理特性は複雑で、電力システムを回路レベルでモデル化することでそのシミュレーションや最適化を行ってきた。しかし、回路レベルのシミュレーションは非常に時間がかかる。そこで本研究では、対象システムを回路レベルより高位の抽象度で記述し、シミュレーションの高速化と物理特性の考慮を可能とするシミュレーションモデルを開発した。また、電力融通アルゴリズムも開発した。

研究成果の概要(英文)：This research investigates architecture design technologies for decentralized energy network. Decentralized energy network is focused in order to utilize renewable energy effectively, and various components are used in the system. Physical features of these components such as battery, power converter, etc. are complicated, and their circuit level simulation takes long time. This research developed the abstract system model of decentralized energy network for accuracy-oriented simulation toward virtual experiment including the physical feature of the components. The abstract system model is intermediate between circuit level model and mathematical model, and useful to evaluate various architectures. This research also investigated the power distribution mechanisms to evaluate the decentralized energy network.

研究分野：システムレベル設計方法論

キーワード：設計技術 シミュレーション スマートグリッド

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーの有効活用を実現するために、電力システムに関するさまざまな研究がなされている。その研究領域は、(1) スマートグリッドを構成する要素技術 (太陽光パネルや蓄電池、電力変換器など)、(2) 対象システムの応用 (電力売買やピークカットなど)、そして(3) 法政策分野まで多岐にわたる。

我々の研究グループでは、自律分散型電力ネットワークの実現に向けて研究を行っている。我々の想定する自律分散型電力ネットワークは、再生可能エネルギーを主要な電力源とし、系統網には極力頼らずに電力供給を実現することを目標とする。発電された再生可能エネルギーは蓄電池の活用や需要家間での電力融通により活用し、最終的にはコミュニティ内での電力の自給自足を目指す。

既に、我々の研究グループでは、分散型電力ネットワークの有効性を検討するための電力融通に関する研究を行ってきた。先行研究では、電力システムを単純なグラフとしてモデル化し、電力ロスや電力変換ロスも単純な定数として与えることで開発や評価を行っている。しかし、実際の構成要素の物理特性は非常に複雑である。

例えば、DC-DC コンバータを例に挙げると、その効率は負荷に流れる電流によって変化する。加えて、入力側の電圧によりその効率の変化は大きく異なる。つまり、同一のDC-DC コンバータを使用しても環境によって発生する電力ロスは大きく異なる。

また、リチウムイオン蓄電池を例に挙げると、リチウムイオン蓄電池は使い方によって劣化する。すなわち、充放電を繰り返すうちに充電できる容量が減る。関連研究によると800回の充放電を繰り返すことで蓄電池は大幅に劣化することが知られている。

そのため、このような構成要素の物理特性も考慮した分散型電力ネットワークのアーキテクチャ (全体構成) 設計が必要である。しかし、そのような適切な抽象度のモデルが存在しない。

分散型電力ネットワークの研究開発では大きく分けて 2 種類のモデルが用いられる。1 つは構成要素の特性を単純なパラメータで与えただけの数学モデル (数理計画モデルなど)、もう 1 つは対象システムの回路構成を詳細に記述した回路モデルである。数学モデルは高速に解析可能であるが、複雑な物理特性を考慮することは難しい。また、回路モデルは詳細な解析が可能であるが、そのシミュレーションには長時間を要する。本研究では、このような構成要素の物理特性に起因する問題を分散型電力ネットワークのアーキテクチャ (全体構成) 設計段階で評価可能な環境を構築する。

2. 研究の目的

本研究では、近年注目を浴びている分散型電力ネットワークの構成要素の物理特性を考慮したアーキテクチャ (全体構成) 設計環境を構築する。特に、回路モデルより抽象度が高く、数学モデルより抽象度が低い、アーキテクチャモデルを開発し、そのシミュレーション技術並びに最適化技術を確立する。そのために、以下の実現を目的とする。

(1) 構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションモデルの構築

構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションを行うためのシミュレーションモデルを構築する。特に、構成要素の特性を容易に変更/修正可能にすることで、さまざまな構成要素に対応する。また、従来の回路レベルのシミュレーションで問題となっていたシミュレーション時間の高速化も行う。

(2) 自律分散電力融通アルゴリズムの開発

本研究で対象とする分散型電力ネットワークの電力融通アルゴリズムを開発する。これにより、さまざまなシナリオ下での評価を可能とする。

また、近年注目を浴びている電気自動車 (EV) が連携した際の評価を行う事を目的とし、EV 連携を考慮した電力融通についても検討する。

3. 研究の方法

本研究では次の方法で研究を遂行した。

(1) 構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションモデルの構築

構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションモデルとして、次の方針でモデルを構築した。まず、シミュレーション時間の高速化を実現するために、離散時間モデルとした。また、構成要素の物理特性を考慮するために、DC-DC コンバータの変換効率などは実測データに基づいて構築した。そして、モジュールの特性を容易に修正可能とするために、オブジェクト指向プログラミング言語で実装した。最後に、作成したシミュレーションモデルの評価を行うために、実際に構築したマイクログリッドで取得したデータで評価を行った。

(2) 自律分散電力融通アルゴリズムの開発

自律分散電力融通アルゴリズムとして 2 通りの手法を検討した。1 つは数理計画モデルに基づく手法、もう 1 つは拡散方程式に基づく手法である。数理計画モデルに基づく手法は電力融通の最高性能 (例えば、電力ロスや無駄電力などをどこまで削減できるか、など) を知ることができ、さまざまな電力融通やシステムの評価に有効である。この手法を用いて EV 連携の可能性について検討する。一方、拡散方程式に基づく手法では、自律分

散制御を実現するために、各家庭間で自律的に電力を融通することで全体の電力充足率を平均化する。

4. 研究成果

本研究の研究成果を以下に述べる。

(1) 構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションモデルの構築

構成要素の物理特性を考慮したシミュレーションを行うために、直流マイクログリッドを例として、離散時間のシステムモデルを構築した。構築したシミュレーションモデルは実測値に基づく構成要素の特性モデルを含むことで、物理特性を離散時間シミュレーションに反映させることが出来る。また、多くのパラメータを変更することで、さまざまなアーキテクチャの評価も可能とする。

図1に評価実験の一例を示す。図1では実際に構築した直流マイクログリッドシステムを運用した際の発電/消費パターンをシミュレーションに与えた際の蓄電残量と実際の蓄電残量の推移を比較した。これより、最大約10%の誤差でさまざまなシステムの評価が可能となることが確認できた。

図2に構築したシステムモデルを用いた仮想実験結果の一例を示す。本実験では、同一のシナリオ時にさまざまなパラメータを変化させた際の購入電力をプロットした。これにより、さまざまなアーキテクチャの事前評価が可能となる。

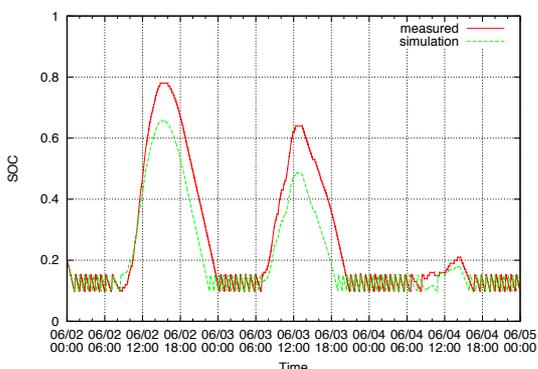


図1. 蓄電残量の推移の比較

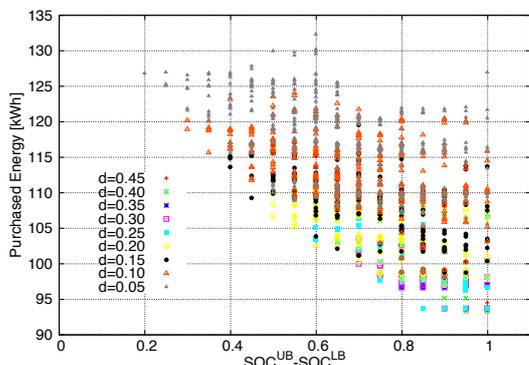


図2. さまざまな運用時の購入電力の変化

(2) 自律分散電力融通アルゴリズムの開発
自律分散電力融通アルゴリズムとして、拡散方程式に基づく手法を提案した。提案手法では、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いることで収束時間を高速化させることに成功した。また、この手法に基づき、災害時など、特定の箇所に電力を自律的に集約させる手法にも拡張できた。

EVとの連携の可能性を評価するために、数理計画法に基づく手法を開発した。EVは現在仮定に設置される蓄電池よりも大きな容量の蓄電池を搭載するのが一般的で、現在知られている最大のもので約100kWhもの蓄電池が搭載されている。評価実験より、EVの蓄電池を電力融通に活用することにより、購入電力量を最大約半分にまで削減できることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- [1] Ittetsu Taniguchi, Takuya Matsumoto, Hiroyuki Miura, Kazutoshi Sakakibara, and Hisashi Tamaki, "Abstract System Model of DC Microgrid Systems for Fast and Accurate Simulation," *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI)*, Vol.9, No.1, pp.2--9, Jan. 2016, 査読有.
- [2] Yusuke Sakumoto, and Ittetsu Taniguchi, "Autonomous Decentralized Mechanism for Energy Interchanges with Accelerated Diffusion Based on MCMC," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E98-A, No.7, pp.1504--1511, July 2015, 査読有.

[学会発表] (計18件)

- [1] Katsuhiko Sakato, Ittetsu Taniguchi, Kazutoshi Sakakibara, Takuya Matsumoto, Hisashi Tamaki and Masahiro Fukui, "Optimal Power Distribution for Decentralized Electric Energy Network with Electric Vehicles," *Proc. 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA2016)*, Berlin (Germany), Sep. 9, 2016, 査読有.
- [2] 山下寿希也, 谷口一徹, 松本卓也, 福井正博, "DC/DCコンバータの高位抽象モデリングに関する基礎検討," 第29回回路とシステムワークショップ 論文集, pp.63--64, 2016年5月12日, 北九州国際会議場 (福岡県北九州市), 査読有.
- [3] Yusuke Sakumoto, and Ittetsu Taniguchi, "Proposal for Fast Directional Energy Interchange Used in MCMC-Based

Autonomous Decentralized Mechanism toward Resilient Microgrid," *Proc. The 19th Design, Automation and Test in Europe 2016 (DATE2016)*, pp.237--240, Dresden (Germany), Mar. 15, 2016, 査読有.

- [4] Kazutoshi Sakakibara, Toshinobu Nakazaki, Takuya Matsumoto, Ittetsu Taniguchi and Hisashi Tamaki, "Analysis of decentralized energy systems by mathematical programming techniques," *Proc. The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015 (CCC&SICE2015)*, pp.317--322, Hangzhou (China), Jul. 28, 2015, 査読有.
- [5] Katsuhiko Sakato, Ittetsu Taniguchi, and Masahiro Fukui, "A Case Study of MATLAB/Simulink Modeling of DC Microgrid Systems," *Proc. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2015)*, pp.777--779, Seoul (Korea), Jun. 30, 2015, 査読有.
- [6] Yusuke Sakumoto and Ittetsu Taniguchi, "An Autonomous Decentralized Mechanism for Energy Interchanges with Accelerated Diffusion Based on MCMC," *Proc. The 20th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC2015)*, pp.279--284, 幕張メッセ (千葉県・千葉市), Jan. 20, 2015, 査読有.
- [7] Kazutoshi Sakakibara, Ittetsu Taniguchi, Takuya Matsumoto, and Hisashi Tamaki, "Structural Optimization of a Self-Sustainable Decentralized Energy System by Mathematical Programming Techniques," *Proc. International workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology (IICST) (Procedia Technology, Vol.18)*, pp.68--71, Warsaw (Poland), Sep. 4, 2014, 査読有.
- [8] Tomokazu Mishima, Ittetsu Taniguchi, Hisashi Tamaki, Youichi Kitagawa, Kouji Yutani, and Kazuo Suekane, "A Verification of High-Efficiency DC Micro-Grid Power Systems with High-Performance Power Converters and Energy Management Strategy," *Proc. International workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology (IICST) (Procedia Technology, Vol.18)*, pp.47--52, Warsaw (Poland), Sep. 4, 2014, 査読有.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 一徹 (TANIGUCHI, Ittetsu)
立命館大学・理工学部・任期制講師

研究者番号 : 40551453

(2) 研究協力者

福井 正博 (FUKUI, Masahiro)
立命館大学・理工学部・教授
富山 宏之 (TOMIYAMA, Hiroyuki)
立命館大学・理工学部・教授
川畑 良尚 (KAWABATA, Yoshitaka)
立命館大学・理工学部・教授