

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870052

研究課題名(和文)ヘテラルキー型分散エネルギーシステムのためのマイクログリッド間協調方式

研究課題名(英文)The Method of Inter-Microgrid Cooperation for Distributed Energy System based on Heterarchy

研究代表者

笹井 一人(Sasai, Kazuto)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：00532219

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能エネルギーや蓄電設備を接続した分散エネルギーシステムは多様な機器が複雑に連携するため、自律的な制御手法が必要不可欠であり、個々の構成要素をエージェントとみなしてマルチエージェントシステムとしてのマイクログリッド制御方式に期待が高まっている。本研究では、自律制御されたマイクログリッド間で電力を融通しあう仕組みとして、オークション型の協調方式を提案する。そして、分散エネルギーシステムの問題である不安定性に対し、生物システムにみられるヘテラルキー構造を採用することで、効率的かつ頑健なシステムを実現する。

研究成果の概要(英文)：The distributed energy management systems consist of rechargeable batteries, renewable energy and generators are an attractive approach to realize advanced energy management. However, the problems how to control unstable energy generation and unpredictable change in the environment are still remained. To solve these problems, we propose an auction based method for cooperation between individual microgrid based on the notion heterarchy. As an auction model, we choose the double auction model and modified the time transition scheme according to the notion of heterarchy. As a result, the model with heterarchical time transition scheme shows intermittent behavior. It implies the heterarchical cooperation system for microgrids have the capability of adapting to drastic environmental change by using its flexibility caused from the diversity. The model can support the robust functionality for agent-based distributed energy systems.

研究分野：複雑系，エージェント工学

キーワード：ヘテラルキー 分散エネルギーシステム マイクログリッド ダブルオークション 間欠性 ゆらぎ
ベキ分布 非同期相互作用

1. 研究開始当初の背景

「エネルギー管理のスマート化」は、わが国の科学技術における重点的取組とされており、再生可能エネルギー、コージェネレーション等による熱エネルギーシステム及び畜エネルギーシステム等を利用した分散エネルギーシステムを住宅、オフィスだけではなく地域コミュニティへ導入する目標が掲げられている。しかしながら、複雑な要素を組み合わせつつ、高い効率性を実現するためには、既存技術のみでは不十分であり、これを解決する新技術が必要とされている。このような問題に対する一つのアプローチとして、分散エネルギーシステムの一つであるマイクログリッドの構成要素を自律的に行動するエージェントとみなして、マルチエージェントシステムを構成することによりマイクログリッドの自律的な制御を行う方式について研究が行われてきた。図1に本研究の概要を示す。これまでの研究では、コミュニティ内の制御対象となる分散電源や分散蓄電池の制御を、エージェントを用いて行うことにより、その内部では自律分散的に機能しているが、個々のマイクログリッドは直接パワーグリッドに接続され、不足分をパワーグリッドから購入するという、ヒエラルキー型の階層構造となっている。そのため、パワーグリッドが機能しなくなるような大災害における耐性は限界があり、さらにマイクログリッドを構成するエネルギーシステムはそれ自体が自然エネルギーなど、天候や気温に大きく左右される不安定なシステムであるため、場合によってはパワーグリッドへの負荷は旧式の電力システムより大きくなる可能性がある。このような問題を解決するためには、従来のヒエラルキー的な構造ではなく、システム間・利用者間での融通・制御を実現する、ヘテラルキー型のエネルギー管理方式が必要不可欠である。しかし、ヘテラルキー型のエネルギー管理方式は、エネルギーのやり取りの制御に上位レベルの権威的な命令を排除しているため、同レベルのシステム間が公平にエネルギーの融通・制御を行うことのできる、新たな自律制御の仕組みが重要となる。そこで、本研究では、マイクログリッド間協調方式として、オークションに基づくエネルギー授受モデルを導入し、上位のパワーグリッドを必要とせずに(同列としての存在は認めるとする)、互いの協調連携によって安定稼働することのできるヘテラルキー構造を有する、自律的な分散エネルギーシステム制御の実現技術の開発を目指す。

2. 研究の目的

ヘテラルキー構造は、自律性や頑健性を特徴とする生物システムの構造を表現するモデルとして提案された新しい階層モデルのことである。ヘテラルキー型の階層構造では、個々の要素が構成する全体レベルの挙動が、

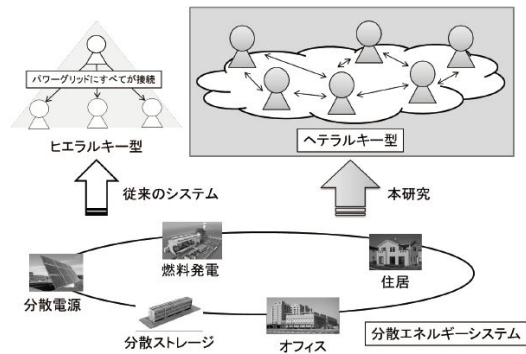


図1 本研究の概要

同時に個々の要素に影響を与えるという階層間の相互作用が存在することが知られている。ヘテラルキー型の階層構造がシステムの安定性に寄与するという性質は、システムにおけるゆらぎの概念に大きく関係している。システムにおけるゆらぎは、例えば、生物が環境に適応した進化を探索する際や、動物が群れを形成する際などにみられる運動の特微的な性質のことである。生物の身体を形成する生体システムや、生物の群れや生態系を形成する社会システムなどの生物システムは、これまで幾度となくさらされてきた絶滅の危険にもかかわらず現在も存在しているが、それには、生物システムが持つ内部ゆらぎによって、大きな環境の変化に追従しうる柔軟性を生み出していることが大きく関わっているといわれている。これまでに、多くの生物学的な性質を人工システムに応用する研究がなされてきたが、ライフラインなどの重要性の高いシステムに応用された例はあまりない。その大きな理由としては、内部ゆらぎは、それ自体がシステムを恒常的に不安定にするというリスクを含んでいるためである。しかしながら、競争的な状況にあるマルチエージェントシステムにとっては、効率性と頑健性を実現する方法として、一定の可能性を有するものと考え、本研究では、まずオークションの数値モデルを用いて、ヘテラルキー構造の効果を検証し、マイクログリッド協調方式としての応用可能性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

電力市場において用いられるオークションモデルとしては、株式市場などのモデルとして扱われているダブルオークションモデルがある。ダブルオークションモデルは、売り手と買い手がそれぞれ価格を提示しあい、買い手の価格が売り手の希望額を上回った場合に、取引が成立するというモデルである。売買が双方の価値によって決定されるという意味で、市場原理をシンプルに表現しているオークションモデルであるとされている。数値シミュレーションによる人口市場として、ダブルオークションモデルを実装する際には、時間の概念をどのように導入するかが大

きくかかわってくる。実際の市場取引では、買いや売りの注文はその場で条件をチェックし取引が成立されていくザラバと言われる方式が取られている。ザラバにおいては二つの取引成立条件、すなわち、早い者勝ち、より安い・高いもの勝ち、の原理によって取引が行われる。しかしながら、人口市場においては、「いつ」という概念の定義が必要なため、これをモデル化するには制約がある。そのため、通常のオークションモデルでは、ある時間を決めて注文を集め、良い条件のものから決定するに従う方式か、ランダムにエージェントを選択し、そのエージェントから出された注文を処理するに従う方式かのどちらかのみが採用される。しかしながら、二つの時間のどちらかのみを採用した数理モデルでは、決定された全体性、つまり全員もしくは一人のエージェントという部分・全体のヒエラルキー構造となってしまう、ヘテラルキー構造を表現することはできない。そこで、ヘテラルキー構造を表現する時間モデルとして、確率的に選択されたエージェント集合から条件のよい注文を選択する方式を採用する。これにより、早く注文したエージェントとより良い条件で注文したエージェントの両方の性質を導入することができ、その都度固定されない局所的な全体性を実現するオークションモデルを構築することができる。本研究では、上記の二つの時間の中間的なルールを採用したダブルオークションモデルを数値シミュレーションに基づいて解析し、その性質を検証することで、ヘテラルキー型の協調方式がシステムの頑健性

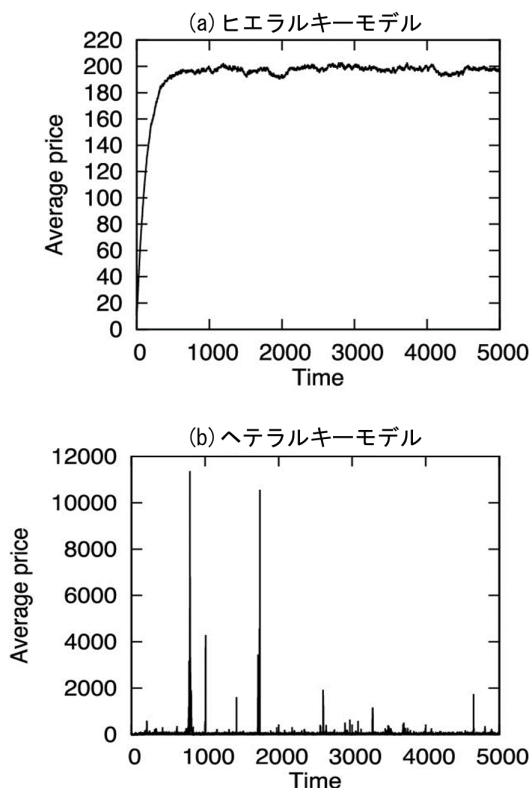


図 2 数理モデルの時間発展

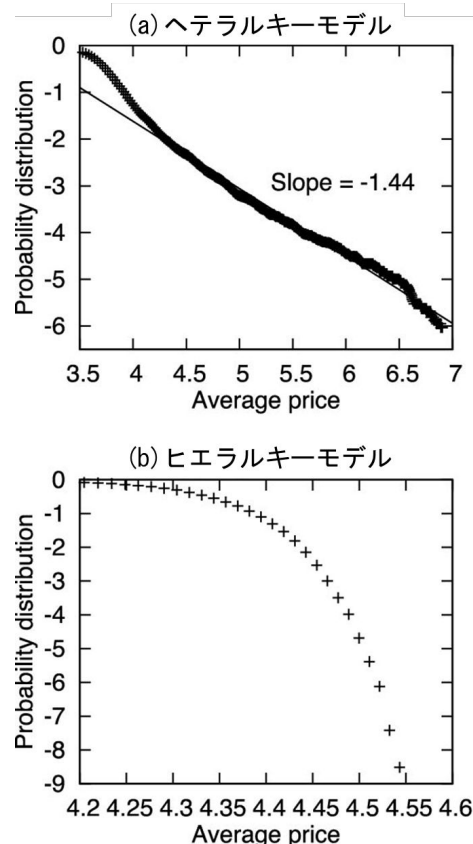


図 3 平均価格の分布

に寄与するかどうかについて検討する。

4. 研究成果

本研究では、ヘテラルキーを含む時間発展ルールに基づいて、二つのダブルオークションモデルについて検証を行った。最初に検証を行ったモデルは、売り手・買い手が前回の取引結果に基づいて、直接価格を引き上げたり引き下げたりするシンプルなモデルを採用した。図 2(a)に、通常的时间発展ルール(ここではのみを採用するルール)における平均価格の変動を示す。単純なルールにおけるオークションモデルでは、価格が釣り上げられてしまい単調増加することが知られているが、ノイズを加えることにより、その単調増加をつり合わせることで均衡解が得られる。これに対して、ヘテラルキー的な時間発展(図 2(b))においては、安定と不安定の混在する間欠的な挙動が得られた。また、平均価格の分布を調べてみたところ、ヘテラルキーモデルでは、傾き-1.5のベキ分布に従うことが分かった(図 3(a))。通常のヒエラルキーモデルでは、平均値を持つランダムに準ずる振動が見られたただであった(図 3(b))。さらに、本研究では、生物システムにおけるゆらぎの特徴である、安定状態と不安定状態の切り替わりの確率分布がベキ分布に従うという性質が、ヘテラルキーモデルでみられるか検証した。図 4 に示した通り、バースト間隔の分布は傾き-2のベキ分布に従うことが分かり、ヘテラルキーモデルは生物の持つゆらぎを実現することが分かった。

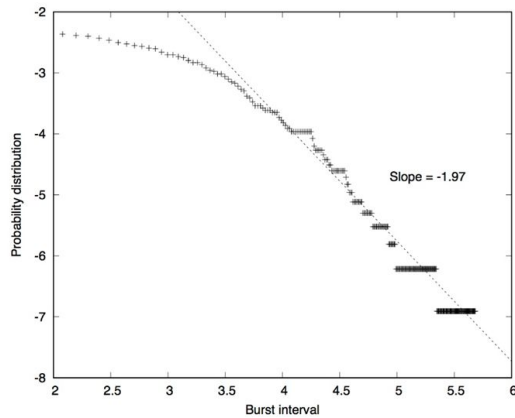


図 4 バースト間隔の分布

また、本研究では、ヘテラルキーを表現する時間発展モデルをより一般的に用いられている Zero-Intelligence モデル[11]に適用し、その性質の一般性を検証した。本モデルにおいても、上記に示したような間欠性を得ることができた。さらに、外界からノイズを加えた場合について、ヒエラルキー型、ヘテラルキー型を比較したところ、ヒエラルキー型の均衡解は外部からのノイズによって大きな影響をうけてしまったが、ヘテラルキーモデルの特徴は、外部からのノイズによって変化することはなく、頑健性を示すことが分かった。よって、本研究が提案するヘテラルキーに基づくオークション協調モデルは、頑健かつべき分布の効率性を示すことが言え、摂動の影響を受けやすい分散エネルギーシステムに応用できる可能性があることが分かった。

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 1 件)

笹井 一人，内部観測の時空モデル 自己言及とフレーム問題の相互無効化と肯定的解釈、そして生命的な生き方へ、E!(ISSN 2188-756X),査読無 ,Vol. 4, pp. 26-35, 2015.
<http://eureka-project.main.jp/wp/sample-page/back-number/#>

[学会発表](計 4 件)

Kazuto Sasai, Yukio-Pegio Gunji, Tetsuo Kinoshita, “Extremely Local Interaction in a Market Model,” Proc. of The Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016), pp.625-630, Jan. 22, 2016, B-Con Plaza (Beppu, Oita).

笹井一人，郡司ベギオ幸男，木下哲男，“エージェントの限定的な視野に基づく市場モデルとその性質，” 計測制御学

会システム・情報部門学術講演会 2015 (SSI2015)論文集, 2015年11月18日, 函館アリーナ(北海道函館市)。

Kazuto Sasai, Yuki-Pegio Gunji, Tetsuo Kinoshita, “Collective behavior in the agent-based market model with framing heuristics”, Proc. of The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 20th 2015), pp.849-852 Jan. 23, 2015, B-Con Plaza (Beppu, Oita).

Kazuto Sasai, Yukio-Pegio Gunji, Tetsuo Kinoshita, “Heterarchical Interaction Model for Auction-based Multiagent Negotiation Mechanism,” The 2014 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT2014), Aug. 14, 2014, Warsaw, Poland.

[図書](計 1 件)

Kazuto Sasai, “A Review of Morphological Computation from a Perspective of Heterarchy,” In Helmut Hauser, Rudolf M. Füchslin, Rolf Pfeifer (eds.), Opinions and Outlooks on Morphological Computation, ISBN 978-3-033-04515-6, pp.84-93, 2014.

[その他]

ホームページ

<http://www.riec.tohoku.ac.jp/~kazuto/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

笹井 一人 (SASAI KAZUTO)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：00532219