

# コミュニティエネルギー管理システムのための ダブルオークションに基づく電力市場モデル

吉村 卓也<sup>†</sup> 金森 亮<sup>†</sup> 伊藤 孝行<sup>†</sup>

名古屋工業大学<sup>†</sup>

## 1 はじめに

本稿ではコミュニティエネルギー管理システムのためのダブルオークションに基づく電力市場モデルを提案し、そのモデルの有効性を示す。持続可能かつ低炭素社会の実現に向けた取り組みが活発に行われている。日本でもスマートコミュニティをコンセプトとし、再生可能エネルギーの導入が積極的に行われ、各家庭への太陽光発電の導入補助や地域節電所を核とした CEMS (Community Energy Management System: 地域エネルギーマネジメントシステム) の社会実験が実施されている [1]。

本稿では、地域エネルギーを効率的に利用するためのコミュニティを導入した次世代の電力ネットワークをモデル化し、ダブルオークションに基づく電力取引を行う。また、エージェントシミュレーションによって評価を行う。実験では、ダブルオークションに基づく電力市場モデルへの影響をオークション頻度で分析する。

2章では関連研究について述べ、本稿の研究の位置づけを行う。3章ではコミュニティを導入した電力マネジメントについて説明する。4章では、ダブルオークションに基づく市場モデルについて述べる。5章では、エージェントシミュレーションによりモデルの有用性について評価を行い、最後に本稿の内容をまとめる。

## 2 関連研究

文献[2]では、英国を背景として、家庭エージェントに基づく蓄電池のマネジメント手法を提案している。実際の電力消費データや動的に変化する料金モデルを用いたシミュレーションを行っている。文献[3]は文献[2]を発展させたモデルに関する論文で、電力の経済的購入戦略を提案している。文献[2, 3]は再生可能エネルギーが考慮されていないが、本稿では太陽光発電を導入した家庭エージェントを導入している。更に、コミュニティを形成する点で大きく異なる。

文献[4]は、分散した小型蓄電池の需要バランス調整のためのオークションメカニズムを提案している。文献[4] Continuous Double Auction (CDA) を用いた市場での異なるエージェント同士のバランスを管理し、電力の需給バランスを適切に調整する。CDAを用いた市場バランス調整は本稿と同様のアプローチである。しかし、再生可能エネルギーの不安定さへの対策が不十分である点で本稿と異なる。

また、文献[5]では、ブローカーエージェントによる電力売買モデルを提案しており、家庭と電力事業所の両者

が電力の購入及び売却ができる。家庭と電力事業所間に Tariff Market と呼ばれる関税を用いた市場を定義して、市場においてのブローカーエージェントが電力売買を仲介し、電力売買に対して市場やブローカーエージェントを定義したメカニズムを提案している。しかし、電力消費傾向や再生可能エネルギーの有無などの現実的な設定が不十分である。

## 3 コミュニティによる電力マネジメント

大型蓄電池を所有するコミュニティは複数家庭から形成される。図 1 に本稿で構築するコミュニティを導入した電力ネットワークのモデルを示す。

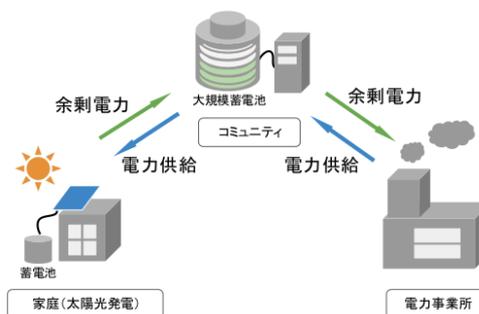


図 1. コミュニティを導入した電力ネットワーク

コミュニティは電力事業所及び家庭の間に組み込まれ、家庭が発電して生じる余剰電力を受け取り、またコミュニティ自身で発生する余剰電力は電力事業所に送る。コミュニティ側で発生する余剰電力とは、家庭の電力需要よりも多い供給力を保有している場合のことを表し、例えば、晴れの日中には太陽光発電量が多く得られるため、コミュニティの蓄電池の充電量の必要量が減少するため、充電量が多い場合は電力事業所に受け取ってもらうといった場合である。

コミュニティは、1) 家庭の設備された太陽光発電の影響を緩和すること、2) 家庭の余剰電力を有効活用する役割を持つ [6]。1) は、太陽光発電による天候依存の発電量によって変動する家庭の電力需要を調整し、電力需給バランスを調整する。2) では、家庭用蓄電池に収まりきれない余剰電力を一時退避させて太陽光発電を有効利用する。

## 4 オークションに基づく電力市場モデル

コミュニティはオークションに必要な電力量を推定し、電力事業所から電力を購入する。電力量の推定はコミュニティに所属する家庭の電力需要を元に行われる。

電力事業所は、ある期間での発電計画を設けて、その

Electric Power Market Model based Double Auction for Community Energy Management System.

<sup>†</sup>Takuya Yoshimura <sup>†</sup>Ryo Kanamori <sup>†</sup>Takayuki Ito

<sup>†</sup>Nagoya Institute of Technology

発電計画に基づいて売り入札を行う。発電計画は式(1)の関数によって定義する。

$$P_b \left( 1 + \gamma \left( \frac{Q_c}{Q_{limit} - Q_c} \right) \right) \quad (1)$$

式(1)は、発電量が限界値に近づくにつれて販売価格が高くなることを表す式となる。

本稿では、ダブルオークションに基づく電力売買を行う。買い入札  $\mathbf{a} = \{a_1 > a_2 > \dots > a_n\}$ , 売り入札  $\mathbf{b} = \{b_1 < b_2 < \dots < b_m\}$  としたとき、市場価格は式(2)のように定義する。

$$p = \frac{(a_k + b_k)}{2}, \quad (a_{k+1} < b_{k+1}) \quad (2)$$

$a_{k+1} < b_{k+1}$  となる  $k$  を見つけ、 $a_k, b_k$  を用いて価格を決定する。ただし、価格  $p$  が  $a_k < p < b_k$  の条件を満たさない場合、価格  $p$  は  $k-1$  番目の買い入札及び売り入札によって更新される。

## 5 エージェントシミュレーション

### 5.1 実験設定

コミュニティ導入による発電量の影響とオークション頻度について評価する。コミュニティ導入による評価では、電力事業所の発電量の推移を比較して評価を行う。オークション頻度における評価では、1日のオークション回数を次の4つのケースに分ける。

- ケース 1 1日に1回のオークション
- ケース 2 1日に2回のオークション
- ケース 3 1日に4回のオークション
- ケース 4 1日に12回のオークション

シミュレーション日数は1年間の365日で家庭エージェント数は120世帯、電力事業所数1、コミュニティ数1、太陽光発電の規模4kwシステム、家庭の蓄電池は5kWh、タイムステップ1時間、及び電力事業所の1日の計画発電量600kWとする。

### 5.2 実験結果

はじめに、コミュニティ導入における影響を、図2を用いて説明する。図2のグラフから、コミュニティ導入時に発電量が総合的に減少していることがわかり、負荷平準化対策として有効であることがわかる。

表1はオークション回数別における電力事業所の1日辺りの平均電力量及び標準偏差を表した表である。オークションの実施回数を増やすと時間によって変動する太陽光発電量に則した推定量を算出することができる。しかし、本実験結果では1日に2回のオークションを実施すると最も発電量を低減できた。ケース3及び4よりも午前午後の2分割が最も発電量コストを低減した。また、ケース3の標準偏差は、0-6時は必ず購入するが、13-18時は発電されるため購入量が0になるため高い値を示す。発電計画に近くなる午後は、取引の成立条件が厳しくなるため、購入料は全体的に低くなり、午前午後で分けるケース2は標準偏差が高くなる。ケース4の結果は低く、

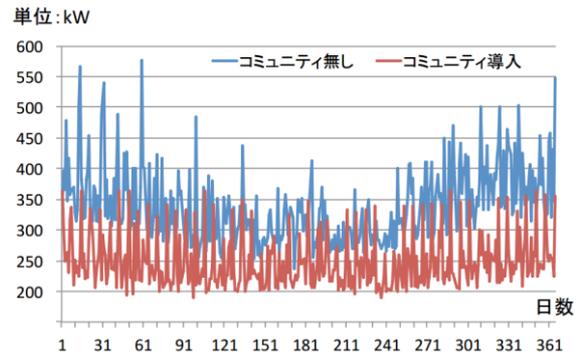


図2 コミュニティ有り無しの電力事業所の発電量

表1 オークション回数別の電力事業所の1日あたりの平均電力量および標準偏差(w)

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
平均値	10,226	8,055	32,344	14,797
標準偏差	13,873	27,365	55,480	19,816

細かくオークションを実施することで太陽光発電の不安定性を抑えられている。

オークションの回数によって電力事業所の発電量やコミュニティや家庭のコストは変化し、ケース2の発電量が最も少なく、発電コストを抑えることができた。

## 6 まとめ

太陽光発電設備を備えた家庭、地域エネルギーマネジメントのためのコミュニティ、及び電力事業所からなる電力ネットワークを設計し、エージェントシミュレーションによる評価実験を行った。今回の実験設定ではケース2の1日2回のオークションを実施することで発電量を最も削減することができた。

## 参考文献

- [1] 北九州スマートコミュニティ創造協議会：次世代エネルギー・社会システム実証北九州スマートコミュニティ創造事業マスタープラン，2009.
- [2] Vytelingum, P., Voice, T. D., Ramchurn, S.V. D., Rogers, A., and Jennings, N. R.: Agent-based Micro-Storage Management for the Smart Grid, Proc. of AAMAS-2010, 2010.
- [3] Voice, T. D., Vytelingum, P., Ramchurn, S. D., Rogers, A., and Jennings, N. R.: Decentralized Control of Micro-Storage in the Smart Grid, Proc of AAAI-2011, 2011.
- [4] Vytelingum, P., Ramchurn, S. D., Voice, T. D., Rogers, A., and Jennings, N. R.: Trading Agents for the Smart Electricity Grid, AAMAS-2010, 2010.
- [5] Reddy, P. P. and Veloso, M. M.: Learned Behavior of Multiple Autonomous Agents in Smart Grid Markets, Proc of AAAI-2011, 2011.
- [6] Ryo Kanamori, Takuya Yoshimura, Shogo Kawaguchi and Takayuki Ito, "Evaluation of Community-based Electric Power Market with Agent-based Simulation", IAT2013, 2013