5P-09

提携ゲームに基づく動的なコミュニティ形成による電力マネジメント

榎　優一†　　伊藤　孝行‡

†名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻　　‡名古屋工業大学大学院工学研究科産業戦略工学専攻

1　はじめに

スマートグリッドの導入が世界的に進められている．スマートグリッドとは通信機能及び制御機能を付加した電力網である．スマートグリッドには太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーによる発電設備が接続され，エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策などが期待されている．一方で天候によって発電できる量が変動し，電気系統が不安定になるというデメリットが存在しているため，電力需給の平準化や発生する余剰電力の処理が課題となっている．課題の解決手段の一つとして，家庭間でコミュニティを形成することによって蓄電池を効率的に活用する電力マネジメント [1] がある．文献 [1] の電力マネジメントではコミュニティに属する家庭は不変のものとしている．

本研究では，蓄電池を備えた各家庭の電力需供および送電による電力損失を元に，提携ゲームにおける提携値を各家庭が計算することで，コミュニティを形成する手法を提案する．コミュニティを提携値によって動的に変化させることで，効率的な電力融通が可能であることを示す．

本論文の構成を以下に示す．第２章は関連研究について述べる．第３章は提案手法である提携ゲームに基づく動的なコミュニティ形成について述べる．第４章は評価実験によって提案手法の有用性を示す．第５章で本論文をまとめる．

2　コミュニティ形成に関する既存研究

吉村ら [1] は複数家庭の蓄電池を共有化するためのコミュニティを導入し，余剰電力の有効活用に対する有用性を示している．家庭は各タイムステップにどれだけ蓄電するか（蓄電計画），及びどれだけ電力を売買するか（売買計画）を一日の始まりに計算し，コミュニティ内で余剰電力をやり取りしている．評価実験のために電力事業所，コミュニティ，及び家庭からなる電力マネジメントのシミュレーションを作成し，評価を行っている．しかし，評価実験におけるコミュニティの形成は家庭の電力需供は考慮せずに行っている．本研究の違いは提携値を用いて効率的な電力融通の行えるコミュニティを動的に形成する点である．

Chakraborty ら [2] は提携ゲームの理論を用い，計算量的に高速なマイクログリッド間の提携方法を提案している．しかし提携値は提携の良し悪しの程度をしめす値となっており，実際に提携が得られる利得を示していない．本研究の違いはコミュニティが実際に得る利益として提携値を定めることで，利得ベクトルの計算により利益を分配することが可能な点である．

3　動的なコミュニティ形成手法

3.1　コミュニティの提携値

本研究ではコミュニティC（提携）における提携値$v(C)$を定め，提携値を元に家庭がコミュニティを形成することを提案する．特性関数vは以下の式 (1) にて表す．

$$v(C) = -\alpha \sum_{i\in C, j\in C, i<j} L(i,j) - \alpha \sum_{i\in C} D_i + \beta \sum_{i\in C} S_i \quad (1)$$

ここでαとβはそれぞれ電力事業所から電力を買う場合の価格及び電力事業所へ電力を売る場合の価格を示す．またD_iとS_jはそれぞれコミュニティ内の家庭間で送電し終えた後に足りない電力量及び残った電力量を示す．つまり$\sum_{i\in C} D_i$と$\sum_{i\in C} S_i$はどちらかが必ず0となる．よって項$-\alpha \sum_{i\in C} D_i$は電力が足りない場合に電力事業所から電力を買い入れるコストを示す．一方，項$\beta \sum_{i\in C} S_i$は電力が余った場合に電力事業所へ電力を売った場合の利得を示す．残りの項$-\alpha \sum_{i\in C, j\in C, i<j} L(i,j)$に含まれる$L(i,j)$は家庭$i$と家庭$j$間の送電ロスを示し，項全体としては送電ロスによる損失を示す．送電ロスの具体的な計算式 [3] は式 (2) で表す．

$$L(i,j) = \left[\frac{P(i,j)}{\Psi}\right]^2 \times r \times dist(i,j) \quad (2)$$

ここで$P(i,j)$，Ψ，r，及び$dist(i,j)$はそれぞれ家庭iから家庭jへの送電量，送電線の電圧，送電線の抵抗率，及び家庭iと家庭j間の距離を示す．家庭iから家庭jへの送電量$P(i,j)$は一日の始まりに各家庭が計算する売買計画にGreedEnEx[2]を用いて決定する．GreedEnEx[2]は電力の需要量が最も大きい家庭Dに対して，家庭Dに近い家庭から順に需要量を満たすまで送電するという

An Electric Power Management using Dynamic Community Formation based on Coalition Formation Game

†Yuichi ENOKI　‡Takayuki ITO

†Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

‡School of Techno-Business Administration, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Copyright ©2016 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

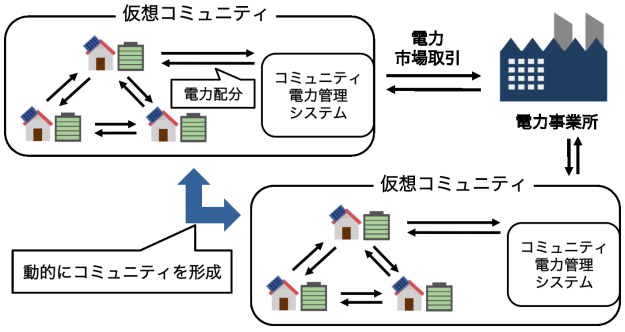


図 1: 電力マネジメントシミュレータの概要図

手法である．家庭 D の需要を満たした後は，家庭 D の次に需要量が多い家庭を家庭 D とし，送電可能な電力が無くなるまで処理を続けることで送電先を決定する．

3.2 電力マネジメントシミュレータの概要

シミュレータは家庭，コミュニティ，及び電力事業所により構成される (図 1)．家庭は蓄電池を持ち，コミュニティに所属する．コミュニティは家庭の売買計画から，式 (1) により提携値を求め，カーネルに所属する利得ベクトルを計算することで利益を配分する．電力事業所は余剰電力及び電力不足に対応するための電力融通を行う．シミュレーションでの 1 タイムステップは 15 分であり，一日は 96 タイムステップで実行される．シミュレーションの一日の流れを以下に示す．

1. 一日の始まりに各家庭は蓄電計画及び売買計画を計算する．
2. 各家庭は一日の売買計画を元に提携値を計算することで提携を構築し，コミュニティを形成する (コミュニティ形成ステップ)．
3. 形成したコミュニティ内で GreedEnEx[2] を用い送電を行う．
4. 次のタイムステップに進む．
5. 一日の終わりでなければ手順 3 に戻る．

4 シミュレータによる評価実験

本研究で提案した提携ゲームに基づく動的なコミュニティ形成による電力マネジメントによって効率的な電力マネジメントが可能であることを示す．比較手法として，3.2 節にて示したコミュニティ形成ステップを行わない手法を用いる．シミュレーションの設定を表 1 に示す．比較手法におけるコミュニティの数は 4 として，コミュニティには家庭が 4 世帯が所属しているものとする．一方，提案手法においてはコミュニティに所属可能な家庭の最大数は 4 とし，総コミュニティ数は可変としている．また，家庭は 4km 四方の正方形に 1km 間隔で配置している．

表 1: 評価実験のパラメータ

項目	設定
シミュレーション日数	14 日間
電力事業所数	1
家庭数	16
家庭の電力消費総量/日	約 8kWh
家庭の蓄電池容量	5kWh

表 2: 一日あたりの電力事業所との電力融通量

	平均	分散
提案手法	157.83 kWh	2088.99
比較手法	218.98 kWh	2015.16

表 2 にシミュレーション結果である一日あたりの電力事業所との電力融通量を示す．電力事業所は余剰電力及び電力不足に対応するための電力融通を行う．そのため，融通量が少ないほど家庭間で効率的に電力融通が行われていることを示す．比較手法に対して提案手法の方が電力事業所との電力融通量を約 3 割程度抑えられているため，提案手法がより効率的に電力融通を行っていることが示された．

5 まとめ

本研究では提携ゲームに基づく動的なコミュニティ形成によって，効率的な電力マネジメントが可能であることを示した．今後の課題としては，虚偽の売買計画の申告によって他の提携家庭が不利益を被らないようなメカニズムを考案することが挙げられる．

参考文献

[1] 吉村卓也，金森亮，伊藤孝行，”複数の家庭用蓄電池の共有化によるコミュニティ型電力マネジメントの提案”，人工知能学会全国大会 (JSAI2014)，愛媛，2014.5.12-15.

[2] Shantanu Chakraborty, Shin Nakamura, Toshiya Okabe. ”Real-time energy exchange strategy of optimally cooperative microgrids for scale-flexible distribution system”, Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 10, pp. 4643—4652, 2015.

[3] Saad W, Han Z, Poor H, Basar T. ”Game-theoretic methods for the smart grid: An overview of microgrid systems, demand-side management, and smart grid communications”, Signal Processing Magazine, IEEE, 29, 86—105. 2012.

Copyright ©2016 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.