

## 電力ネットワークの中心性に基づく電力融通手法の提案

柴田 大地†

伊藤 孝行‡

†名古屋工業大学情報工学科

‡名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

## 1 はじめに

地球温暖化やエネルギー価格の高騰などが原因で、世界的に風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入が進められている。しかし再生可能エネルギーは計画的な発電が困難であるため、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。再生可能エネルギーのデメリットを克服するための取り組みとして、提携形成による電力マネジメントがある [1]。各家庭または各マイクログリッド間で電力融通を行うことで電力の需給バランスを取ることが可能となる。

電力需給の調整を行うためには、各供給元が需要家に対してそれぞれ送電量を決定する必要がある。このとき送電量の決定の際には送電ロスが最小となるように割当を決定することが望ましい。しかし送電ロス最小となるように計算を行うためには、供給元と需要家の組み合わせをすべて計算することに加え、供給元は電力を分割して送電することを考慮に入れなければならない。一方でシステムが正常に稼働するためには実時間で割当を決定する必要があるため、送電ロスが小さくなるようにヒューリスティックに基づいたアルゴリズムが必要となる。

本研究では各家庭の電力需給を対象とし、電力ネットワークの特徴を用いた電力融通手法の開発を行う。また提案手法が電力ネットワークにおいて有効に動作することを示す。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電力ネットワークの特徴に基づく電力融通手法について述べる。第4章は評価実験によって提案手法の有用性を示す。最後に第5章にて本論文のまとめを行う。

## 2 電力融通に関する既存研究

浅見ら [2] は P2P Interactive Agent eXtensions(PIAX) を利用した電力需給マッチングアルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムでは送電距離が小さくなるように需要家と供給元のマッチングを交換していくことで全体の最適化に近づけている。本研究との違いは

電力網の負荷を送電距離ではなく送電ロスにより計算している点と、電力ネットワークの特徴を用いている点である。

Chakraborty ら [3] は電力融通先を決定するアルゴリズムとして、貪欲法に基づいたアルゴリズム (GreedEnEx) を提案している。需要量と距離から高速に電力融通先を決定しているが、電力網全体の負荷を考慮していない。本研究との違いは電力ネットワークの特徴を用いることで、電力網全体の負荷を軽減しつつ高速に電力融通先に決定している点である。

## 3 電力融通手法

## 3.1 電力ネットワークの中心性

本研究では電力ネットワークの利用する特徴の1つとして電力ネットワークの中心性の値を定める。電力需給を受けやすいエージェントを中心性が高いと定義する。

中心性の値  $b$  は以下の式 (1) にて表す。

$$b_i = \frac{\sum_{i_s \in S: i_s \neq i} \sum_{i_t \in N: i_t \neq i}^N (g_i^{(i_s, i_t)} \times S_{i_s})}{\sum_{i \in S} S_i} \quad (1)$$

$g_i^{(i_s, i_t)}$  はノード  $i_s$  からノード  $i_t$  へ行く経路の中でノード  $i$  を通る経路の数である。 $S_{i_s}$  は供給ノード  $i_s$  の供給量を表す。中心性の値として供給量を足し合わせており、正規化のために供給量の総和で割っている。

需要ノードの中心性の定義には媒介中心性の概念を用いており、供給ノードから他ノードへの経路に含まれる需要ノードほど中心性が高く、電力融通が受けやすいと考える。また供給量を加算することで、大きな電力を受け取りやすい需要ノードほど高い中心性を持つと定義することが可能となる。

## 3.2 アルゴリズムの概要

電力融通を行う場合には送電ロスが発生する。電力網全体の送電ロスが小さくなるように電力融通を行うことが望ましい。ここで送電ロスは以下の式 (2) にて表す [4]。

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

$P(E)$ ,  $\Psi$ ,  $\alpha$ , 及び  $dist(i, j)$  はそれぞれ家庭  $i$  から家庭  $j$  間の電力網に流れる電力量, 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。

A Method for Trading Electric Power based on Features of the Power Grid

†Daichi SHIBATA ‡Takayuki ITO

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

‡Frontier Research Institute for Information Science, Nagoya Institute of Technology

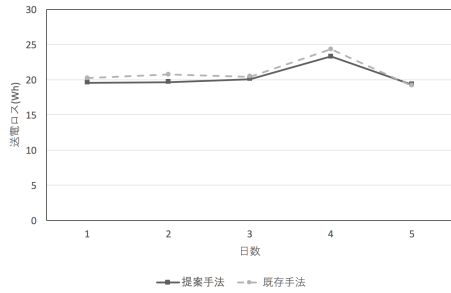


図 1: ランダムネットワークの際の送電ロス

送電ロスは距離と需要量によって決定するため、電力融通を受ける優先度が後回しになることで送電ロスは増大する。増大の幅はエージェントや電力ネットワークによって異なると考えられ、したがって送電ロスを大きく増大させる可能性の高いエージェントに優先度を設けることで送電ロスを抑制することが可能となる。

地域内の需要を全て地域内で満たす場合、送電ロスの増大が大きくなる可能性の高いエージェントは、中心性が小さく需要が大きいエージェントと考えられる。また地域内の需要を地域内で満たすことができない場合、中心性が高く需要の大きいエージェントが、優先度の高いエージェントとなる。よって優先度の評価値を以下の式 (3) にて表す。

$$ev_i = \begin{cases} -b_i \div (\frac{D_i}{\sum_{i \in D} D_i}) & (\sum_{i \in C} S_i \geq \sum_{i \in D} D_i) \\ \frac{b_i}{\sum_{i \in S} S_i} \times \frac{D_i}{\sum_{i \in D} D_i} & (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

$D_i$  はノード  $i$  の需要量である。

式 (3) の評価値を用いたアルゴリズムの概要を以下に示す。

1. 需要エージェントの評価値を計算する。
2. 需要エージェントから距離が最短の供給エージェントを割り当てる。
3. 供給エージェントは評価値の高いエージェントへ送電
4. 需要を全て満たすか供給が無くなるまで 1~3 の手順を続ける。

#### 4 評価実験

本研究で提案した電力ネットワークの特徴量に基づく電力融通手法によって効率的な電力融通が可能であることを示す。比較手法として GreedEnEx[3] を用いる。家庭は 8km 四方の正方形に 1km 間隔で配置しており、ネットワークにはランダムネットワークとスモールワールド・ネットワークを用いる。

図 1 はランダムネットワークにおける送電ロスの値であり、図 2 がスモールワールド・ネットワークにおける送電ロスの値である。

ランダムネットワークに対して提案手法は既存手法よりも 3.5% 近く送電ロスを抑制しており、スモールワ

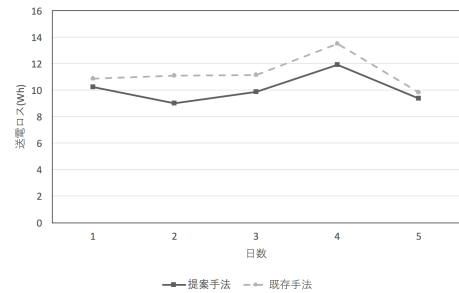


図 2: スモールワールド・ネットワークの際の送電ロス

ールド・ネットワークに対しては 11.9% 送電ロスを抑制することができている。現実の電力網はスモールワールド性を持つ [5] ことから、提案手法は電力ネットワークの特徴を利用して効率的な電力融通を行うことができていると考えられる。

#### 5 まとめ

本研究では電力ネットワークの特徴に基づいた電力融通によって送電ロスを抑制することが可能であることを示した。今後の課題としてネットワークの種類や比較手法を増やしていくことが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 榎 優一, 伊藤 孝行, "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", 情報処理学会 78 回全国大会講演論文集, 2016.
- [2] Asami, Yamashita, Kutsuzawa, Takemura, Matsumoto, Takeshita, Yamanaka, Power matching method in smart grid considering user satisfaction by PIAX platform, 17th IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing, HPSR 2016, Yokohama, Japan, June 14-17, 2016
- [3] 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. 46434652, 2015.
- [4] Saad, Walid and Han, Zhu and Poor, H Vincent and Başar, Tamer, Signal Processing Magazine, IEEE, 29, 5, 86-105, 2012, IEEE, Game-theoretic methods for the smart grid: An overview of microgrid systems, demand-side management, and smart grid communications
- [5] Watts, D. J. and Strogatz, S. H., 1580006, Nature, phd-draft, 6684, 409-10, 2007-08-21 13:45:44, 2, Collective dynamics of 'small-world' networks., 393, 1998