

平成30年6月8日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00135

研究課題名(和文) デジタルグリッドにおける自律分散型送電手法に関する研究

研究課題名(英文) Research on autonomous decentralized control for power interchange in digital grid

研究代表者

菅野 正嗣 (Sugano, Masashi)

大阪府立大学・人間社会システム科学研究科・教授

研究者番号：80290386

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)：再生可能エネルギーの普及に伴い、小規模な発電・蓄電能力を持つ多数のノードで構成されるマイクログリッドが実現されてきている。このようなマイクログリッドにおいて、ノードが互いに電力融通を行うことで、電力不足の削減や設備コストの減少などの効率化が期待できる。本研究では、このようなマイクログリッド内で自律分散的に電力融通を行うシステムを対象として、複数のノードによるグループを構成し、グループ内とグループ間の電力融通を区別することで、最適となる構成をシミュレーションによって明らかにした。さらに、自律分散的な制御に必要なノード間の時刻同期を電力供給なしに実現できる方法について検証を行った。

研究成果の概要(英文)：With the widespread use of renewable energy, microgrids composed of a large number of nodes with small power generation and storage capacity have been realized. In such a microgrid, efficiency of nodes such as reduction of power shortage and reduction of facility cost can be expected by nodes mutually exchanging power. In this research, we focused on a system that autonomously and dispersively distributes electric power within a micro grid. When multiple nodes constitute a group, the optimum configuration is clarified by simulation under different conditions of power interchange among the group and the group. Furthermore, we verified a method that can realize time synchronization between nodes, which is required for autonomous distributed control, without power supply.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：マイクログリッド 自律分散 電力融通 シミュレーション 時刻同期 センサネットワーク エナジーハーベスティング

1. 研究開始当初の背景

近年導入されてきた再生可能エネルギーは天気等の気象条件や時間等の要因により発電量に変動があり、単位面積当たりの発電量は火力発電よりも小さいことが知られている。そこで、これらの再生可能エネルギー発電をより有効的に活用する取り組みとしてマイクログリッドが提案されている。マイクログリッドでは、各構成要素が自身で制御を行う自律分散制御がなされており、電力融通と呼ばれる構成要素間での電力のやり取りを行うことが可能である。このようなマイクログリッドにデジタルグリッド技術を適用することで、より柔軟な電力システムが構築できることが期待された。

2. 研究の目的

本研究では、それぞれのノードが発電能力と蓄電能力を持つ多数のノードで構成されたマイクログリッドを対象とする。このようなマイクログリッドでは、電力融通によって電力不足を解消することが可能となるとともに、需要家はより低コストで電力を取得することが可能となる。しかしながら、大規模なマイクログリッドを集中的な制御方式で運用することは現実的ではなく、耐障害性の観点からも好ましくはない。そこで、個々のノードが近隣のノードと電力に関する情報交換を行うことで、自律分散的に制御することが望ましいと考える。このようなマイクログリッドが、発電量や消費電力量の変動に対してどのような振る舞いをするかを分析し、どのような構成が最適となるかを明らかにする。さらに、どのような環境下においても自律分散システムが適切に動作するために、電力を必要としない時刻同期手法についても検討を行う。

3. 研究の方法

本研究で対象とするマイクログリッドおよび、ノードの概念図を図1に示す。



図1: マイクログリッドとその構成ノード

ノードは発電能力と蓄電能力を持ち、互いに電力融通を行うことで電力を確保することができる。本研究では、一般的な家庭における1時間ごとの発電量と消費電力量として公表されているデータを元に、ノードの振る舞いをシミュレーションするプログラムを開発した。それぞれのノードは1時間ごとに発電量と消費電力量に基づいて、バッテリーの残

余電力を更新する。また、マイクログリッド全体を複数のノードで構成されるグループに分割することで、電力融通をグループ内とグループ間で区別する。

各ノードは発電・電力消費・蓄電・通信の4つの機能を持ち、以下の動作を行う。

(1)各ノードは消費電力量と発電量からバッテリー残量を更新する。

(2)バッテリー残量があらかじめ決められた閾値を下回ったノードは、同じグループ内の他のノードに電力融通を要求する。

(3)同じグループ内に電力を融通可能なノードが見つかれば電力融通を行う。見つからない場合は、他のグループのノードにも電力融通を要求する。

(4)他のグループに電力を融通可能なノードが見つかれば電力融通を行う。電力融通が出来ない時は電力会社から買電を行う。

電力の取得方法は、自らの発電、他のノードからの電力融通、電力会社からの買電の3通りとし、電力融通の要求を行う閾値はシミュレーション毎に設定するものとする。また、電力融通の可否は電力供給側のノードのバッテリー残量により決まるものとし、融通される電力量もあらかじめ設定したバッテリー残量と融通量の関係により決められるものとする。

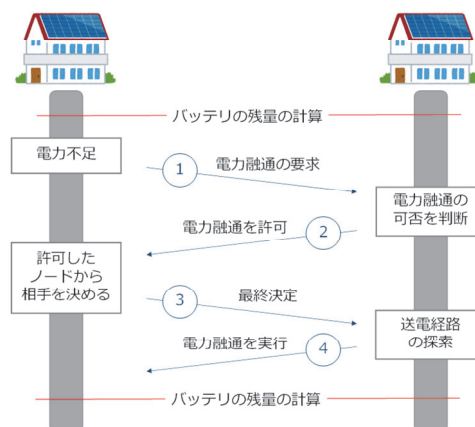


図2: 電力融通の手順

また、電力を必要としない時刻同期手法については、太陽光で駆動される無線ネットワークである MONOWIRELESS 社の Twe-Lite を用いることとした。このデバイスは IEEE 802.15.4 に準拠し低消費電力での通信が可能である。また、回路設計も省電力となるように工夫されているため、環境発電で駆動されるシステムに適している。本研究では、自律分散的な時刻同期手法である Reference Broadcast Synchronization (RBS) を、環境発電型デバイスである Twe-Lite に適するように改変して実装し、時刻同期の精度について検証を行うこととした。

4. 研究成果

電力融通に関しては、発電量や消費電力量の季節変動を考慮し、3年間分のシミュレーションによる平均を求めた。以下の結果において、マイクログリッドの構成条件を(マイクログリッド全体の総ノード数, グループ内のノード数, 分割されたグループの数)と表している。図3は年間を通じた1ノードあたりの電力融通回数を示す。この結果より、全体を構成する総ノード数が多いほど、電力融通の回数は多くなることが示された。また、買電の回数は、総ノード数が多くなるほど減少することも明らかとなった。これは、総ノード数の増加とともにグループ数が増加し、グループ間での電力融通の頻度が上昇しているためと考えられる。

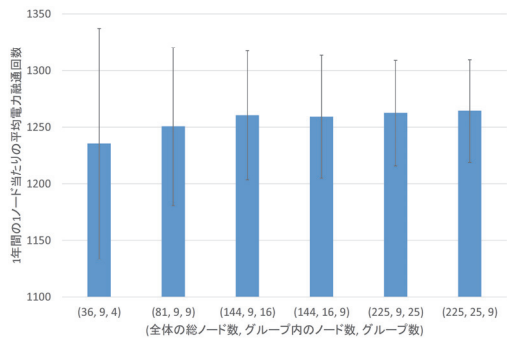


図3: ノードあたりの平均電力融通回数

対象とするシステムでは、それぞれのノードが電力不足に陥り、かつ電力融通による電力の供給がなされない場合には、電力会社からの買電を行うこととした。太陽光発電などの再生可能エネルギーのコストと比較して、電力会社からの買電コストは大きいと考えられるため、できるだけ買電回数が少なくなるように制御を行うことが望ましいと考えられる。そこでマイクログリッドの構成の違いが買電回数にどのように影響を与えるかをシミュレーションによって調査した。図4に示す通り、平均買電回数はマイクログリッドの構成に因らずほぼ同じ値となった。しかしながら、電力融通の効果により、ノード間のばらつきは総ノード数やグループが大きいほど小さいことがわかる。

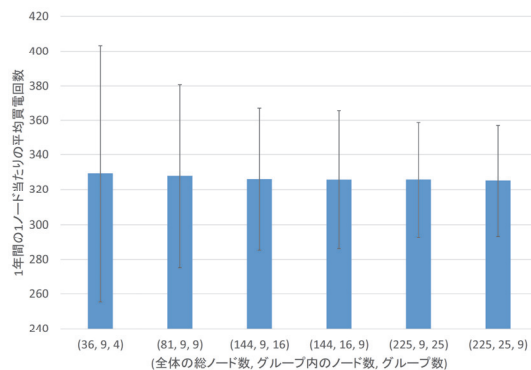


図4: ノードあたりの平均買電回数

また、図5に示すように1ノードあたりの年間電力コストを比較すると、グループ内のノード数が多いほどコストが低くなることが明らかとなった。これは、グループ内での電力融通が、グループ間での電力融通より低コストで実現できることによるものである。ノード相互の依存関係が大きくなり、電力融通の頻度が高くなるほどグループ内電力融通とグループ間電力融通のコストの差は大きくなると予測される。この結果はグループ内での電力融通とグループ間での電力融通のコスト差によって生じるものであるため、より現実的なパラメータ値を反映させることが重要であることが示された。

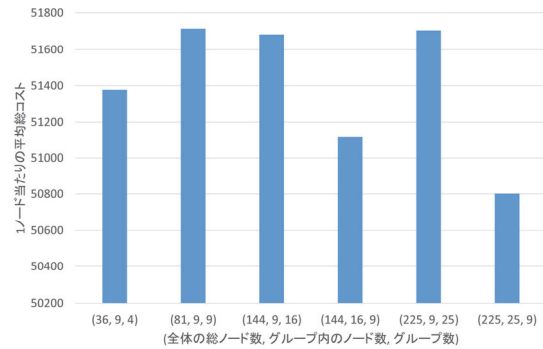


図5: 1ノードあたりの平均年間コスト

それぞれのノードが他のノードからの要求に対してどれだけの電力融通を行うかは、表1に示すように、予め定められたバッテリー残量の閾値によって決定される。そこで、シミュレーションによって、閾値がどのような影響を与えるかについて調べた。図6より、閾値を大きくすることによって、コストが増加していることがわかる。これは、閾値を大きくすることで、ノードのバッテリー残量が閾値を下回る頻度が増加し、外部からの電力供給が増えたことを意味する。すなわち、それぞれのノードが他のノードに対して電力融通を行うだけの余裕が小さくなるため、結果として電力が必要なノードは、電力会社から買電することになる。このように閾値がコストに与える影響は大きいいため、ノードごとに最適な閾値を自律的に定めるような方式が望まれる。

表1: 電力融通の閾値の設定

電力融通を要求されたノードのバッテリー残量[kWh]	融通する電力量[kWh]
(閾値) +1.0 以上	0.5
(閾値) +0.7 以上 (閾値) +1.0 未満	0.3
(閾値) +0.3 以上 (閾値) +0.7 未満	0.2
(閾値) +0.3 未満	0 (融通しない)

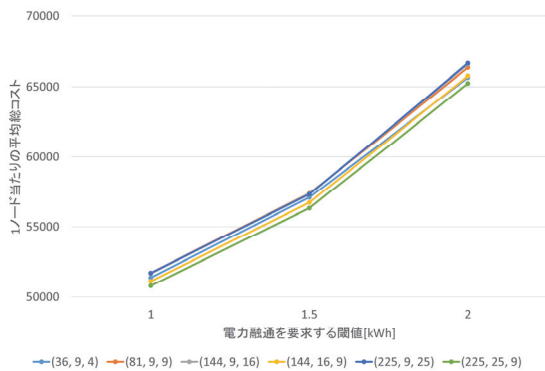


図 6: 電力融通の閾値とコストの関係

さらに、電力を要せずエネルギーハーベスティングによって自律分散的な時刻同期に関しては、Reference Broadcast Synchronization を太陽光発電セルと蓄電用キャパシタを組み合わせた TWE-Lite に実装し、どのような精度で時刻同期が実現できるかを確認した。ノードの構成と検証システムを図 7 に示す。それぞれのノードは太陽光セルで発電された電力によって駆動され、PC に接続された親機との間で通信を行う。親機は参照パケットを送信し、それを受信したノードは参照パケットとローカル時刻に基づいて時刻差を求め親機に返信する。これを繰り返すことで、ネットワーク全体を相対的に同期させることが可能となる。3 ノードでの実験の結果、表 2 に示すように、時刻同期を行わない場合には秒単位の時刻のズレが発生しているが、提案方式を適用することで 90 秒周期の場合においても時刻のずれを数百ミリ秒に抑制できることが明らかとなり、提案方式の有効性が示された。

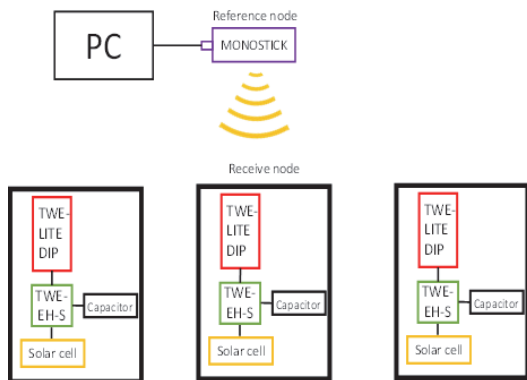


図 7: 時刻同期システムの構成

表 2: 提案方式による時刻同期の精度 (ms)

		t=30s	t=90s
Proposed method	Mean	70.7	546.0
	Max	83.0	620.6
	Min	52.9	511.8
Without proposed method	Mean	1796.2	5363.5
	Max	1802.6	5373.9
	Min	1790.2	5352.1

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)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 吉田哲雄, 菅野正嗣, 自律分散制御に基づく電力融通がなされるマイクログリッドの構成手法に関する研究, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 2018 年 3 月 15 日, 東京
- ② Hajime Kawagoe, Masashi Sugano, Implementation of time synchronization for energy harvesting wireless sensor network, 2017 VI International Conference on Network, Communication and Computing (ICNCC 2017), 査読有, 2017 年 12 月 9 日, 昆明・中国, DOI: 10.1145/3171592.3171632
- ③ 河越基, 菅野正嗣, 環境発電による無線ネットワークにおける時刻同期の実装, 電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会, May 2017 年 5 月 26 日, 東京
- ④ Tetsuo Yoshida, Masashi Sugano, Evaluation of power interchange in microgrids with autonomous distributed control, The 6th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications (IEEA 2017), 査読有, 2017 年 3 月 30 日, 済州・韓国, DOI: 10.1145/3070617.3070629
- ⑤ Masashi Sugano, Review on power interchange technologies for microgrid, The 5th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications (IEEA 2016), 査読有, 2016 年 3 月 27 日, 香港

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅野 正嗣 (SUGANO Masashi)

大阪府立大学・人間社会システム科学研究科・教授

研究者番号: 80290386