

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04434

研究課題名（和文）再生可能エネルギー型セミオフグリッドの設計に関する研究

研究課題名（英文）Research on Design of Semi Off-Grid with Renewable Energy

研究代表者

飯岡 大輔（Iioka, Daisuke）

中部大学・工学部・准教授

研究者番号：30377808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：セミオフグリッドの需要想定にLSTMを使用し、潮流情報と気象データを学習すると高精度予測が可能であることを示した。設備計画においては、エネルギーの地産地消を促すために上位系統からの受電電力に制約を設ける方法を提案し、天候変化に応じて制約条件を調整するアルゴリズムを開発した。この手法は上位系統の送電線混雑の緩和にも有用であることを示した。コスト評価の一環として、蓄電池容量の削減方法について検討した。複数の需要家をまとめてオフグリッド化すると、需要のならし効果により蓄電池容量を減少できることを示した。本研究を通して、電気的事故に対する保護制御が必要であるという課題を抽出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

未来の電力システムであるセミオフグリッドを実現するためには必要設備を安価で構成し運用することが求められる。そこで本研究ではセミオフグリッドの設計に焦点を絞り、需要想定と設備計画の両手法を提案したが、多地点多次元のデータ解析に基づいて構築した点に学術的な意義がある。多地点の計測装置から得られる多次元の電気的パラメータと気象データをLSTMに学習させることで、高精度の電力需要予測が可能であることを示した。また、コスト削減のためには蓄電池容量の低減が必須であるが、実測データによる分析により、複数需要家でオフグリッドを構成すると容量削減効果があることを定量的に示せた点に社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：We used LSTM for semi off-grid demand forecasting and showed that demand can be forecasted with high accuracy by learning time-series power flow information and weather data. We proposed a method to set constraints on the power received from the upper grid for planning to promote local production for local energy consumption and developed an algorithm to adjust the constraint conditions according to weather changes. This method is also useful for mitigating transmission line congestion on the upper system. As part of the cost evaluation, a method for reducing storage battery capacity was studied. It was shown that off-grid operation of multiple customers can reduce the battery capacity due to the demand smoothing effect. We identified the issue of the need for protection control against electrical fault in semi off-grid through this research.

研究分野：電力工学

キーワード：セミオフグリッド 需要想定 設備計画 電力システム LSTM 蓄電池 再生可能エネルギー

1. 研究開始当初の背景

電力システムは我々の生活に欠かせない電気エネルギーを供給するが、近年その安定性が疑問視されている。この背景の一つとして、電力システムを構成する要素が複雑になったことが挙げられる。近年は需要地近傍に設置される再生可能エネルギー電源や蓄電エネルギー設備により、電気エネルギーの流れが複雑化している。通信技術やAI技術などが目覚ましい進展を遂げていることを鑑みると、これらの技術が適用される未来の電力システムの構成要素は大きく変化すると考えられるため、未来の電力システムをどのように計画し運用するか、という学術的「問い」が考えられる。

未来の電力システムの在り方としてさまざまな想定が議論されているが、その一つとしてセミオフグリッドという考え方がある。オフグリッドとは、需要家が電気事業者からの電気エネルギー供給を受けずに、再生可能エネルギー電源などで自ら発電した電気エネルギーを地産地消する電力システムの一形態であり、蓄電エネルギー設備を高度に活用する必要がある。しかしながら、完全なオフグリッドを実現するためには十分な大きさの再生可能エネルギー電源と蓄電エネルギー設備が必要となり、装置の設置スペースやコスト的な問題がある。セミオフグリッドでは通常時は電気エネルギーを地産地消するが、異常時は上位の送電線から電気エネルギーを受電することが可能であるため、安価での実現が可能であると考えられているが、具体的な設計方法が確立できていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、未来の電力システムとして提案するセミオフグリッドにおける需要想定と設備計画の両手法を多地点多次元のデータ解析に基づいて構築することである。セミオフグリッドでは、需要家が消費する電気エネルギーの大部分を太陽光発電や蓄電エネルギー設備から供給する。電気エネルギー供給の確実性を高めるために、事故などの不具合が発生する場合や必要な電力が不足する場合には電気事業者が所有する送電線から電気エネルギーを供給できる小規模な電力システムである。セミオフグリッドを実現するためには必要設備を安価で構成し運用することが求められるので、セミオフグリッドの「計画・運用問題」を体系化するという課題を考えることができる。本研究ではその課題の一部である「計画」に焦点を絞り、データ解析に基づいて再生可能エネルギー主体の電力システムにおける需要想定と設備計画の手法を構築する。

3. 研究の方法

多地点多次元のデータ解析に基づいてセミオフグリッドにおける需要想定と設備計画の手法を構築するために、本研究では以下の①～③に示す方法で研究に取り組んだ。

①セミオフグリッド規模の電力システムを構築するために必要となる需要想定手法

セミオフグリッド内に太陽光発電が大量導入されることを想定し、セミオフグリッド内の実負荷を推定する方法を検討した。検討にはセンサ内蔵開閉器やスマートメータで得られる電力の時系列データと気象データを使用した。推定のためにディープラーニングの一種である LSTM (Long short-term memory) を使用した。LSTM の学習には大量のデータを並列処理する必要があるため、GPU 計算や並列処理を行うことができる計算設備を導入した。

②セミオフグリッドの設備計画手法

配電系統規模の電力システムをセミオフグリッド化することを想定し、電気エネルギーの地産地消を実現するための蓄電池運用方法を検討した。検討のために、電気学会の電力系統標準モデルの一つである「地域供給系統モデル」の一部を参考にして、セミオフグリッドが送電系統に接続しているモデルを作成した。太陽光発電が大量に導入された状況を考慮し、セミオフグリッドと送電系統の間の潮流に設定する制約条件の決定方法について検討した。さまざまなパターンの太陽光発電出力と需要家負荷の時間変化を考慮できるように、公開されている時系列データを組み合わせる形でデータを整備し、効率良く計算を実施可能な計算設備を導入した。

③セミオフグリッド構築に必要なコスト評価

コスト評価の一環として、蓄電池容量の削減方法についてデータを用いて検討した。①、②の検討から、蓄電池容量が大きいほど需要想定との誤差に対する余裕が生まれ、潮流に設定する制約条件を甘くできることを見出しているが、セミオフグリッドのコストが高くなることが問題である。データ解析の観点から、蓄電池容量をどこまで削減できるのかを検討した。データには多地点で測定された太陽光発電出力と需要家負荷の時系列データを使用し、組み合わせる需要家

のパターンをさまざまに変えて、蓄電池容量の削減効果について検討した。容量の大きいデータを組み合わせた計算を効率よく実施するために、メモリ容量が大きく計算スピードが速い計算設備を導入した。

①～③の研究を通して、セミオフグリッドの設計手法を確立し、総括を通して、本研究の次の課題であるセミオフグリッドの運用に関する課題を抽出した。

4. 研究成果

本研究により、以下の①～③に示す成果が得られた。

①セミオフグリッド規模の電力システムを構築するために必要となる需要想定手法として、ディープラーニングの一種である LSTM (Long short-term memory) を適用し、アルゴリズムの構築、プログラムの実装、データを用いた検証を行った。データにはスマートメータやセンサ内蔵開閉器から得られる潮流情報を適用することを想定し、気象データを加味した時系列データを学習することで精度良く需要を想定できることを明らかにした。

図1は学習した LSTM を使った需要を予測した一例である。横軸は時間であり、オレンジ線が予測値、水色線が実測値である。予測値が実測値とよく一致しており、高い精度で予測できていることがわかる。学習に使用するデータセット数を増やすと、予測精度が高くなることも実証できた。

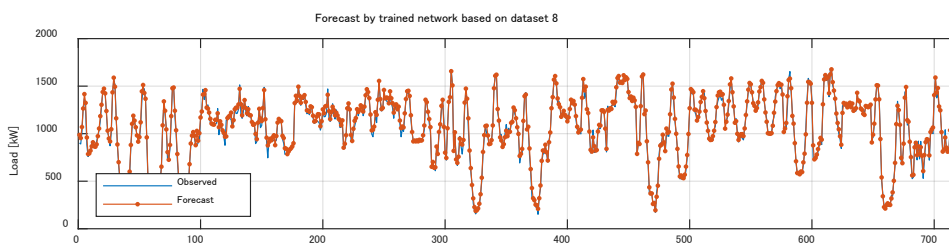


図1 予測した負荷の時間変化

②十分な品質の電気エネルギーを供給できるセミオフグリッドの設備計画手法として、セミオフグリッド内で消費する電力をできるだけ地産地消するための条件を明らかにした。上位系統からの受電電力に適用する制約条件として上下限值制約を設定する方法を提案し、制約条件の設定パターンを多数設定して計算機シミュレーション結果を比較することで、制約条件により得られるメリット・デメリットを明確に定量化することができた。また、天候の変化に対して制約条件を変更するアルゴリズムを開発することができた。さらに、当初の計画には記載していなかったが、提案手法は上位系統の送電線混雑にも有用であることに気づき、データを用いた検証で実証することができた。

図2は上下限制約を設定した場合の運用例である。上下限値を天候とともに変化させることで、上位系統の送電線混雑を緩和できることを明らかにした。上位系統の構成により効果が異なるが、送電線混雑が発生している送電線のうち20%の送電線の混雑を解消できる計算結果が得られた。

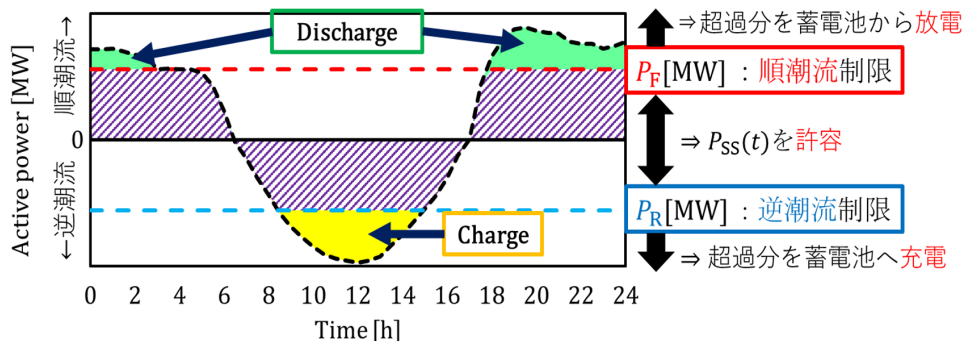


図2 セミオフグリッドに適用する潮流上下限制約

③セミオフグリッド構築に必要なコストを評価する一環として、セミオフグリッドに必要な蓄電池容量を削減する方法について検討した。需要家の需要と太陽光発電の発電電力で構成される時系列データを用いて、最も厳しい条件として上位系統との電力のやり取りを想定しないオフグリッド構成に必要な蓄電池容量を算出した。1軒の需要家をオフグリッド化するために必要な蓄電池容量は各需要家の需要に強く依存し、算出される蓄電池容量のばらつきが大きい。しかし、複数の需要家をまとめてオフグリッド化すると、需要のならし効果により必要となる蓄電

池容量は減少し、低コストでセミオフグリッドを構築できる可能性を示した。

図 3 は、複数の需要家をまとめてオフグリッド化するために必要となる蓄電池容量を算出した結果である。合算する需要家軒数が増加すると 1 軒あたりの需要家に必要となる蓄電池容量が小さくなるが、10 軒程度まとめるだけで蓄電池容量を 25%削減できることを明らかにした。

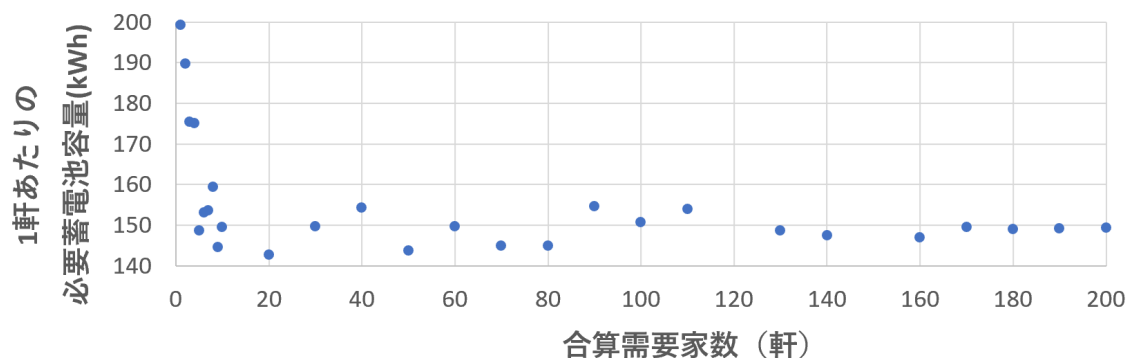


図 3 オフグリッドを構成する需要家数と蓄電池容量の関係

①～③の研究を通して、データを活用したセミオフグリッドの設備形成手法のうち計画部分に焦点を絞った手法を確立することができた。本研究では多地点多次元のデータ解析に基づいて設備形成手法を構築した点に学術的な意義がある。多地点の計測装置から得られる多次元の電気的パラメータと気象データを LSTM に学習させることで、高精度の電力需要予測が可能であることを示した。また、コスト削減のためには蓄電池容量の低減が必須であるが、実測データによる分析により、複数需要家でオフグリッドを構成すると容量削減効果があることを定量的に示せた点に社会的な意義がある。

本研究では、実際にセミオフグリッドを安全に運用することをイメージしながら設備形成手法の検討を進めたが、実運用するための課題として、落雷などの自然現象による電気的事故（短絡・地絡）発生時の保護制御が必要であることを抽出した。特に、配電系統を変電所から切り離してオフグリッドとして運用する場合、従来から使われている保護制御システムをそのまま利用することができず、また、事故電流の検出が困難になることから、保護制御システムに関する理論計算の構築と理論に基づく保護制御システムの構築が必要であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 氏家晟慧・飯岡大輔・織原大・今中政輝・加藤丈佳
2. 発表標題 PVが大量連系された配電系統の蓄電池運用が送電下位系統の混雑緩和に及ぼす影響に関する検討
3. 学会等名 電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 氏家晟慧・飯岡大輔・織原大・今中政輝・加藤丈佳
2. 発表標題 配電系統内PV出力の地産地消と送電下位系統の混雑緩和を目的とした蓄電池の運用
3. 学会等名 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯岡大輔・田中俊生・張本 毅・長江大輔
2. 発表標題 太陽光発電が連系された配電線実負荷をLSTMで推定する手法に関する検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯岡大輔・今村颯斗・高田右京・白石勝明・張本毅・藤井和也・河原克樹
2. 発表標題 スマートメータの30分電力使用量データで学習したLSTMによる低圧需要家の需要予測
3. 学会等名 電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------