

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420249

研究課題名(和文) 電力低密度地域における低炭素型電力ネットワークの研究

研究課題名(英文) Research on Low Carbon Power System in Low Electricity Supply Area

研究代表者

田岡 久雄 (Taoka, Hisao)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30367502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：電力低密度地域の電力ネットワークにおけるエコ施設の変動考慮型需給制御方式の提案・シミュレーションを行い、電力低密度地域独自の電力制御方式を立案・検証した。併せて、再生可能エネルギー電源の発電量の確率的予測手法の開発、再生可能エネルギー電源系統併入時の安定度向上のための同期化カインバータによる変動抑制・安定化技術の開発を行った。

その結果、電力低密度地域の低炭素型電力ネットワークの電力制御技術として、確率的電力予測手法、同期化カインバータ安定化制御技術、変動考慮型電力需給制御手法などの技術を組み合わせた電力ネットワークの構築手法の提案を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：There is low supply of electric energy in most of country side in Japan. In this research, assuming ecological facility in the low electricity supply area, which has photovoltaic generators (PV), wind power generators, biomass generators and battery, we proposed an operating method of the facility which take account of peak cut and carbon dioxide emissions reduction and verified it by experiment. In addition, we proposed a forecasting method of amount of insolation for PV by using Genetic Algorithm.

Distributed generators such as photo voltaic that use conventional inverters do not have synchronizing power. In order to improve stability of the power system with PV, we developed synchronizing inverter which has a synchronizing power. It employs a governor function, swing equation and power equation.

研究分野：電力システム工学

キーワード：電力系統工学 スマートコミュニティ 太陽光発電 同期化カインバータ

1. 研究開始当初の背景

日本の多くに散在する電力密度の低い地域は、電力の需要が少なく、電源地域から遠方の場合が多い。再生可能エネルギーなどの導入により低炭素社会を目指すとき、その地域に太陽光発電や風力発電が導入されると、電力需要がそれほど多くない送電線ネットワークに変動の大きな電力潮流が発生し、電力供給に大きな影響を与える。また、電気自動車が増えると需要の変動も今まで以上に大きくなる。このようなことから、低炭素化を目指して再生可能エネルギー発電設備をこのような地域で導入する場合、電力供給の安定性が保ちにくくなることが予想される。

一方、近年の地球温暖化対策としての低炭素化を目指した取り組みにおいて、電力エネルギーを安定的に確保し供給することは、我が国が将来にわたって持続的に成長し発展していくために欠かせない。また、東日本大震災以降の社会情勢の変化により、再生可能エネルギーの本格的なシステム導入が、喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

電力の需要が少なく電力密度が低い地域において、低炭素化を目指して太陽光発電や風力発電の導入や電気自動車が増えると、遠方の電源設備から送電線を経由して不確実な発電量に応じた変動の大きな電力潮流が流れ、そのために安定度の悪化を招き、電力供給に大きな影響を与えることが懸念される。

本研究では、平成 23 年度より福井県と行った嶺南西部地域低炭素の街づくり推進協議会での調査・議論を基に、発電量や負荷変動を確率的な手法で予測する技術、電力潮流の変動を考慮した送電可能容量 (ATC) の算出とそれに基づくセキュリティ監視技術、不確定要素を吸収して安定化を図る同期化力インバータ技術と電力需給制御技術などの研究を行い、電力低密度地域に適した低炭素型電力ネットワークの運用制御方式の確立を目指す。

3. 研究の方法

新しい電力供給形態を取ろうとしている電力低密度地域の電力ネットワークにおける運用制御のあり方について、まず現状をシミュレーションにより検証・評価する。

即ち、研究代表者らは、平成 23 年度より福井県「嶺南西部地域低炭素の街づくり推進協議会」に参画、新エネルギー導入促進協会の「スマートコミュニティ構想普及支援事業」の補助で嶺南西部地域のスマートコミュニティ事業化可能性調査を実施、福井県他自治体と具体化の検討を行ってきた。その成果に基づき、福井県において低炭素のまちづくりを目指している嶺南西部地域を対象にして、低炭素化のための技術開発・導入設備を

仮定し、実証実験のデータを利用し、新たなサービス事業を想定しながら、モデル化とシミュレーションにより問題点を抽出する。その上で、再生可能エネルギー電源の発電量の確率的予測手法の開発を行い、再生可能エネルギー電源を系統に併入するにあたり安定度向上のための同期化力インバータによる変動抑制・安定化技術の開発を行う。その上で、電力低密度地域のモデル系統を構築し、防災機能も備えたエコ施設における変動考慮型需給制御方式の提案・シミュレーションを行い、従来の集中型制御方式で行われている都市部の電力融通制御と異なる電力低密度地域独自の電力制御方式を立案・検証する。

4. 研究成果

(1) 再生可能エネルギー電源の発電量の確率的予測手法の開発

電力系統を効率よく運用する目的のための PV 発電量を予測する手法として、遺伝的アルゴリズムを採用した PV 発電量予測の手法を開発した。

GA は大規模な対象の中から良質な解を時間的に効率よく導く場合に適しており、複雑な方程式の計算や数式モデルを解析するのではなく、新たに気象データと単純な演算子の組み合わせで予測式を導出することができないかと考え、実測値を用いた GA による日射量予測の手法を提案、1 年間の精度検証を行うことで妥当性を確認した。日射量予測アルゴリズムは図 1 の通りである。

多数の評価指標を用いて精度検証を行った結果、時間別の %MAE : 30% 程度、%RMSE : 40% 程度の精度で日射量予測を実現した。また、北陸地域における予測の誤差率を他手法と比較し、非線形手法などと比較しても遜色ない結果が得られ、提案手法の妥当性を確認した。また、直近のデータを更新していくことで 2 段階の計算を行い、その年の天候の傾向を反映させる補正手法も提案し、精度を向上させることができた。図 2 にその結果を示す。

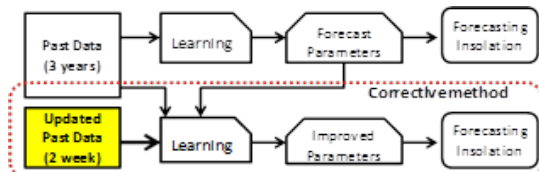


図 1. GA による日射量予測手法

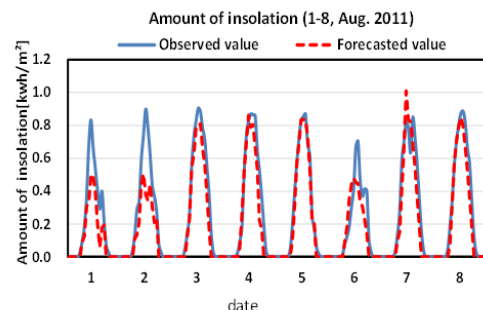


図 2. 日射量予測結果

(2) 安定度向上のための同期化インバータによる変動抑制・安定化技術の開発

近年、低炭素化社会の実現、化石エネルギー依存からの脱却等の観点から、太陽光発電(PV)や風力発電などの分散型電源(DG)の系統導入量が拡大している。また、マイクログリッドの提唱などにより、分散型電源が離島や電力系統未整備地域における地域資源の活用の観点から導入され、系統への導入率が上昇している。これらの分散型電源は直流もしくは商用電源とは異なる周波数の交流が出力されるため、インバータを用い商用電源と同様の周波数に変換し連系される。

従来のインバータは、系統周波数に追従するように系統電圧から位相を検出することのできる Phase Locked Loop (PLL) を用い、一定の指令値電流を出力できる電流制御で運転される。しかし、この制御を用いた場合、同期発電機のような機械的エネルギーから電気的エネルギーの変換ではなく、電力系統電圧の位相、周波数に追従するように電気的エネルギーを直流から交流へ変換しているのみであるため、同期化力が備わっていない。そのため、系統内での分散型電源の導入率が上昇すると系統全体の同期化力が不足することになる。同期化力が不足することで、系統は、擾乱発生時に同期発電機の脱調や分散型電源の一斉解列などが生じる不安定な状態となる。その解決策として、同期化力を付与した分散型電源を系統に導入することにより、系統安定度を向上させることが可能である。

上記の背景から同期発電機の動特性を持たせるため、同期発電機の動揺方程式を導入することで同期化力を持たせるほか、制御によって慣性をもっている同期化インバータを提案した。

動揺方程式から算出した模擬的な内部位相角 δ を電力方程式に代入、目標電力を算出している。目標電力に模擬的な内部位相角 δ を代入しているため、急峻な出力変動をすることがない。従って、制御による慣性を持たせることで系統の維持する力が向上する。また、動揺方程式から算出された模擬的な内部位相角 δ によって出力を変動させることで系統の安定度が向上している。図3に概要を示す。

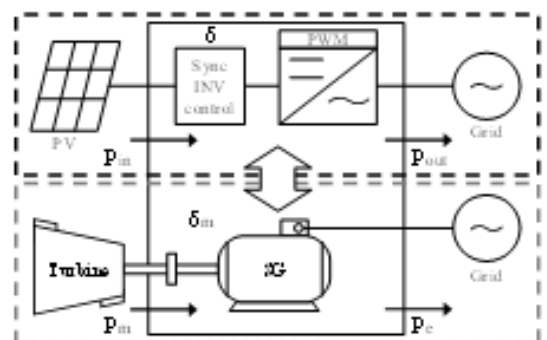


図3. 同期化インバータの概要

同期発電機の動特性をインバータを持たせることによって同期化力を付与することが可能となった。同期発電機との並列運転時のシミュレーションを行った結果、導入可能容量の拡大効果が確認され、また、負荷解列時のシミュレーションの結果からは、分散型電源の出力変化によって相互同期化力を確認することができた。

(3) 電力低密度地域における防災拠点エコ施設における変動考慮型需給制御方式の提案・シミュレーション

電力低密度地域における防災拠点としての低炭素型公共施設におけるマイクログリッドの構成及び災害等による系統停電時の自立運用制御手法を開発した。さらに、小規模実験設備を構築し、考案した運用制御手法の妥当性を実験により検証した。

また、災害発生時刻の違いにより負荷需要電力に変化がみられるため、いくつかの条件の下で評価することによりそれらの特徴を示し、想定する施設において制御手法に汎用性があることを検証した。

想定する低炭素型施設は、再生可能エネルギー電源及び蓄電池が導入された域の防災センター、オフィスとしての機能を持った庁舎と、3階建ての庁舎棟と公民館用途をもつ建物の2棟構成とする。各電源は電力変換装置を介してDCバスと接続し、直流連系システムによる制御を行う。

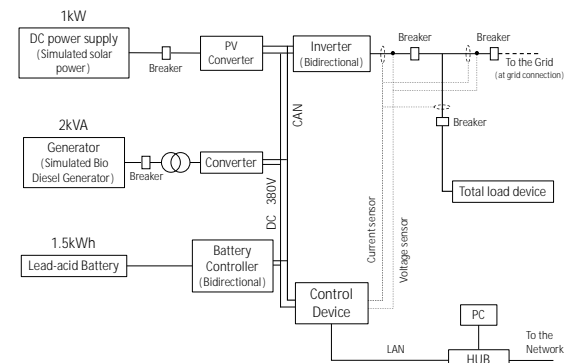


図4. 低炭素型公共施設模擬設備の概要



図5. 実験装置の外観

直流連系システムは、再生可能エネルギー電源の発電電力変動、負荷電力変動を DC バス一括に補償できる点や、DC バスの電圧のみを制御すればよいことから、比較的簡単に協調運転ができ、さらに、交流接続されたシステムに比べ電力変換効率が上がるなど、種々の特徴を有している。また、想定する主な施設内負荷は、電灯負荷、防災無線や情報収集機器（テレビ、ラジオ等）、調理機器、業務・事務機器（パソコン、プリンタ等）などのコンセント負荷、空調機器等の動力負荷とする。図 4 に実験システムの構成概要図を、図 5 に実際に構築した設備を図 2 に示す。なお、実験システムの容量は想定する施設の 1/20 の容量とした。図 6 に実験結果の一例を示す。

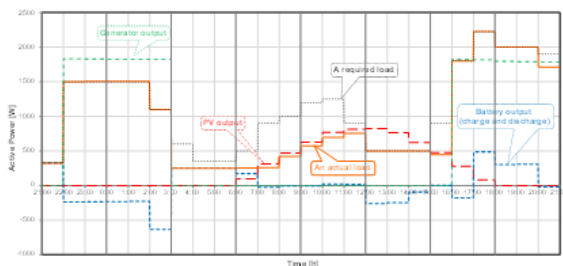


図 6. 実験結果の一例

実験結果より、条件が厳しいと考えられる冬季の 21 時に停電が発生した場合について、24 時間自立運転を継続できることを確認した。さらに、自立運転終了時における蓄電池残量は、制約条件により発電機稼働不可能となる場合にも最低限の電力が供給可能である量を有していたため、翌日以降の数日間も自立運転継続可能であると考えられる。また、実験より、変換時の損失や制御機器を維持するため、負荷への供給電力が減少してしまうことが確認された。

停電発生時刻の違いによる自立運転運用制御の評価を行った結果、考案した運用制御手法を用いることにより数日間の自立運転が可能であることを確認した。しかし、21 時に停電が発生した場合は発電機を定格運転させているが、その他の場合、発電機は定格運転を行わず出力を 1 時間ごとに変更しているため、効率の良い運用ができていない。したがって、効率よく発電機を使用するためには蓄電池の容量を大きくする、または、発電機の容量を小さくする必要がある。以上より、本稿で提案した運用制御手法は対象となる施設の規模に合わせた制約条件を設定することにより、汎用性を持たせることができると考えられる。

(4) まとめ

本研究を通して、電力低密度地域の低炭素型電力ネットワークの電力制御技術として、確率的電力予測手法、同期化力インバータによる変動抑制・安定化制御技術、変動考慮型電力需給制御手法などの技術を組み合わせ

た電力ネットワークの構築手法の提案を行うことができた。本研究で得られた技術により、日本の多くに散在する電力密度の低い地域の電力ネットワークの安定・高効率な運用に大いに貢献できると期待できる。

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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

田岡久雄, 杉山浩則, 河合正樹, 酒井悠太「同期化力インバータを用いた分散型電源による系統安定化」電気学会論文誌 B, Vol. 136, No. 2, pp.129-136, 2016.2, DOI:10.1541/ieejpes.136.129

川崎章司, 田岡久雄, 長尾泰気, 大中奎佑「遺伝的アルゴリズムによる日射量予測手法の開発」電気学会論文誌 B, Vol. 135, No. 2, pp. 89-96, 2015.2, DOI:10.1541/ieejpes.135.89

〔学会発表〕(計 7 件)

Masaki Kawai, Yuta Sakai, Hironori Sugiyama, Hisao Taoka, “Frequency Improvement of a Power System with a Distributed Generator using Synchronization Inverter”, 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST), CIGRE SC C6 Colloquium, 2015.9. (Vienna, Austria)

Naoki Akiyama, Kazuya Mitamura, Yoshinori Hondou, Hisao Taoka, Junya Matsuki, Yasuaki Akagi, Hirokazu Akamatsu, “Verification of Isolated Operation for a Facility with Renewable Energy Sources”, Proc. of International Conference on Electrical Engineering 2015, No. ICEE15A-350, 2015.7. (Hong Kong, China)

久保範幸, 秋山直輝, 田岡久雄, 本堂義記, 松木純也, 赤木泰章, 赤松浩和「低炭素型施設の自立運転時における用と特性評価」電気学会電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会, PE-15-013, PSE-15-035, SPC-15-066, 2015.2.19, (宮古島市民会館, 宮古市, 沖縄県)

Hironori Sugiyama, Masaki Kawai, Hisao Taoka, “Synchronization Inverter Control Method for Distributed Generation in a Power System”, Proc. of the International Conference on Electrical Engineering 2014, PSMSAP-0737, 2014.6. (Jeju, Korea)

Noriyuki Kubo, Hiroki Aoki, Naoki Akiyama, Hisao Taoka, Yoshinori Hondou, Junya Matsuki, Yasuaki Akagi, Hirokazu Akamatsu, “Power Supply System for Ecology Facilities with Renewable Energy”, Proc. of the International Conference on Electrical Engineering 2014,

SRP-0870, 2014.6. (Jeju, Korea)

Shoji Kawasaki, Hisao Taoka, Taiki Nagao, Keisuke Oonaka, “ Accuracy Verification of Forecasting Electric Power Generation of PV by GA using Correlation Coefficients ”, Proc. of the International Conference on Electrical Engineering 2013, PS5-01, 2013.6. (Ganzhou, China)

Hiroki Aoki, Hisao Taoka, Junya Matsuki, “ Stability Problem of RES in the Country Area ”, CIGRE SC C6 Colloquium 2013 in Yokohama, S1-3, 2013.10. (Yokohana, Japan)

〔図書〕(計 0 件)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

田岡 久雄 (TAOKA HISAO)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30367502

(2) 研究分担者

松木 純也 (MATSUKI JUNYA)

福井大学・大学院工学研究科・特命教授

研究者番号：90089110