

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760234

研究課題名(和文)再生可能エネルギーと調和した配電ネットワーク実現に向けた形状最適化手法の開発

研究課題名(英文)A Study on Optimization Method for Distribution Network Configuration Considering Renewable Energy Generation

研究代表者

高野 浩貴 (TAKANO, HIROTAKA)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・助教)

研究者番号：50435426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円、(間接経費) 570,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、電力流通を公平かつ適切に制御する技術の探求を通して、再生可能エネルギー電源導入希望者と配電ネットワーク管理者とを同時に満足させる運用形態を考案することである。この実現のために、これまで十分に検討がなされていなかった配電ネットワーク流通最適化問題の特徴を解析し、その結果を元に新しい配電ネットワーク流通最適化手法を開発する、という独自の視点からアプローチを行い、再生可能エネルギー大量導入時においても効率性・信頼性を両立し得る配電ネットワーク運用形状の方向性を見出した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to search for trends of future distribution network operation satisfying with the needs of owners of distributed renewable energy generators and electric power system operators. So as to work toward this goal, the study was carried out from the following unique viewpoints; 1) to analyze characteristics of the distribution network reconfiguration problem and 2) to propose a new solution for the reconfiguration problem on the basis of newly obtained knowledge. As the results of this study, a new direction of distribution network operation which promotes further introduction of distributed renewable energy generation and improves power supply reliability was found out.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電力 配電ネットワーク 再生可能エネルギー 最適化

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギー電源の導入拡大には、電源自体の効率化や電力貯蔵技術の開発・導入に目を奪われがちであるが、受け入れ先となる配電ネットワークの運用技術の発展無しでは再生可能エネルギー群としての効率化は望めない。再生可能エネルギーと調和した新しい電力供給システムを実現するためには、社会的追加費用を最小限に抑えつつ、電力利用者、再生可能エネルギー導入希望者、ネットワーク管理者のニーズを公平な視点で同時に満足する、新しい電力流通制御技術の開発が不可欠とされる。

配電ネットワークの運用形状制御は、ネットワーク内に設置された多数の遠隔制御用開閉器のオンオフを操作して、電力ロス、供給信頼性、電力品質を制御する技術であり、専門家の知識と経験とを頼りに実施されている。この「経験や勘による直感的な意思決定」から「最適化理論による論理的な意思決定」へとパラダイムをシフトするために、ネットワーク形状制御を組合せ最適化問題として捉えて、**Metaheuristics (MH)** 等の発見的手法によって解くという試みが、30年程前から国内外を問わず活発に実施されてきた。研究代表者は、厳密解法により最適形状を獲得するという独自の視点から最適制御技術を開発しており、現用の配電ネットワークモデルを用いて形状制御の効果についても明らかにしている。また、最近では、上記技術に再生可能エネルギー電源を組み込む技術を開発しており、単純に再生可能エネルギー電源を導入した場合と比べて、供給安定性、省エネ性、環境性に優れたネットワーク形成に寄与し得ることも確認している。これらの成果から、形状最適制御の探求が、安定した電力供給の実現に加え、再生可能エネルギー電源との調和を実現する中核技術になり得ると確信し、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

配電ネットワークの運用形状は、ネットワーク内の電力流通に直接的に影響する最大の要素であり、安定した電力供給を実現するための運用・計画・保護等の各種技術を根幹として支えるものである。本研究では、再生可能エネルギーの導入拡大に係る社会的追加費用を最小限に抑えつつ、再生可能エネルギーの受け入れ増加（導入者側のニーズ）と再生可能エネルギー利用による運用の高度化（ネットワーク管理者側のニーズ）という発生源の異なるニーズにバランス良く応える技術として、新しい配電ネットワーク形状制御手法を開発することを目的としている。

具体的には、まず、研究代表者の有する完全列挙法に基づく最適化技術を改良し、改良技術を利用することで、これまで十分に検討がなされていなかった配電ネットワーク形

状最適化問題の特徴解析を実現することを目指す。次に、解析結果を用いて、本問題におけるMHの探索性能（探索過程、得られた形状の精度）について検証する。さらに、厳密解法やMH等の探索戦略から本問題に有効な成分を抽出し、これを基盤とした新しい配電ネットワーク形状制御技術を開発するまでを、研究期間内に達成することを目指す。

上記研究の特色は、再生可能エネルギー電源導入希望者と配電ネットワーク管理者とを同時に満足させる運用形態を見出す点と、配電ネットワーク形状最適化問題の特徴を解析し、本問題に対するMHの探索性能を明らかにした上で、最適化手法の長所を組合せた新しい解法を創出する点にある。

3. 研究の方法

本研究では、再生可能エネルギー電源導入希望者側と配電ネットワーク管理者側の双方のニーズに対して、公平な視点で電力流通制御を実現する新しい技術の開発を目的とした。この実現に向けて、本研究では、これまで十分な検討がなされていなかった問題の特徴の把握、大域的最適解を基準とした従来技術の探索性能の絶対評価という独自の切り口からアプローチを試みる。具体的には、まず、応募者の開発してきた技術を取り扱う問題ならびに従来技術の解析用に改良し、この技術による解析結果を踏まえて新しい形状最適化技術を開発する。次に、再生可能エネルギー導入拡大に係る社会ニーズを反映したシナリオを作成し、将来の配電ネットワークを想定した多様なシミュレーションを通して次世代配電ネットワークの形状制御の在り方を検討する。

申請書に記載した通り、平成24年度に組合せ最適化手法の探索戦略から有効な成分を抽出し、平成25年度に最適化手法の長所を組合せた形状最適制御手法を開発するという流れで、研究目的を達成する方針を採った。具体的には、平成24年度実施分を1-1. 応募者の有する技術（列挙法に基づく最適化技術）の改良、1-2. 取り扱う問題の特徴解析、1-3. MH手法の探索性能評価の3項目、平成25年度実施分を2-1. 有効な探索戦略を組合せた最適化アルゴリズムの構築、2-2. 再生可能エネルギー電源を組み込んだ形状制御手法の開発、2-3. 計算機シミュレーションによる検証の3項目に分類し、それぞれを研究機関内に達成することを目指した。本研究は、ほぼ計画通りに遂行できたと考えている。

4. 研究成果

まず、配電ネットワーク形状最適化問題の特徴を解析した。その結果を、以下のようにまとめた。

- 得られた解が局所最適解であっても、実用

- 上良好な解である可能性が高い
- ハミング距離は、解の類似性を測る指標として一定の役割を果たしている
- 局所最適解に補足された後、脱出できる可能性は極めて低い
- 局所最適解に補足される前後において、解の更新時にネットワーク内のループ形状が変化しない可能性が極めて高い

上記知見を元に、同問題の解法として用いられることの多い Tabu Search (TS) を改良し、探索性能について評価した。一般的な TS と改良型 TS を適用した際の、解の探索状況を図 1 と図 2 に示す。同図より、通常の TS では巡回による解の探索停滞を回避できていないのに対して、改良型 TS では巡回を回避することに成功しており、優れた構成を獲得できている。この成果は、学会発表や学術雑誌にて公表しており、高い評価を得た。

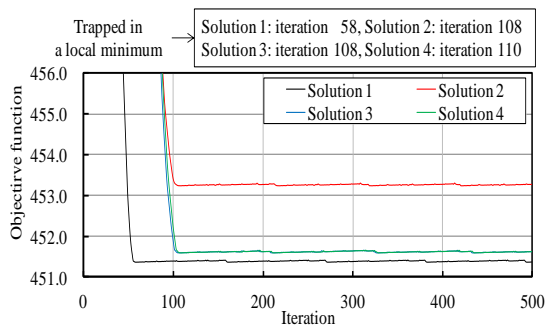


図 1 通常の TS を適用した結果 (巡回発生)

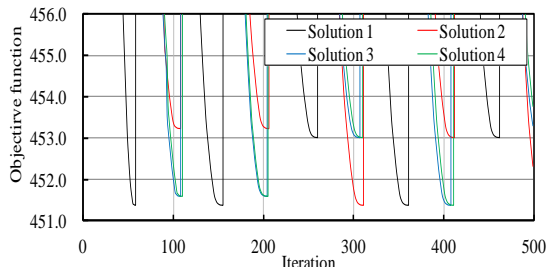


図 2 改良型 TS を適用した結果 (巡回回避)

次に、再生可能エネルギー電源を大量導入した配電ネットワークを対象として、効率と供給信頼性の両立という視点から、配電ネットワーク形状最適化について検討した。太陽光発電群ならびに太陽光発電導入時の各種対策技術との配電ネットワークとの協調運用の観点から、配電ネットワーク形状を柔軟に制御した場合の効果について、表 1 に示す。同表より、配電ネットワーク形状を柔軟に制御することで、太陽光発電を単純に導入した場合や個別対策を施した場合を遥かに上回る効果が期待できることを確認した。さらに、揮殿ネットワーク形状の最適化にロバスト最適化という考え方を導入し、従来とは異なる形で配電ネットワーク事故復旧問題を表現すると共に、その問題の解法を提案した。その結果、従来の配電ネットワーク事故復旧

の考え方では将来問題が発生する可能性を示し、提案内容の有効性を照明することができた。これらの成果は学会等において発表し、高い評価を得ることができた。

表 1 再生可能エネルギー電源の出力制限回避効果 (大量導入時)

	再生可能エネルギー電源の出力制限率	
	ピーク値 [%/hour]	日間 [%/day]
再生策無	60.0	46.9
電圧対策	60.0	27.7
形状制御	40.0	34.4
電圧・形状協調制御	0.0 (抑制不要)	0.0 (抑制不要)

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)

- ① Hirotaka Takano, Junichi Murata, Makoto Yasuda and Yukino Maki: A Study on Improvement of Tabu Search-based Determination Method for Distribution Network Configuration, Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 61-67, 2013-3

DOI : 10.5370/JICEE.2013.3.1.061

- ② Hirotaka Takano, Junichi Murata, Yukino Maki, Makoto Yasuda: Improving the Search Ability of Tabu Search in the Distribution Network Reconfiguration Problem, Vol. 17, No. 5, pp. 681-689, 2013-7

[学会発表] (計 5 件)

- ① 高野浩貴、村田純一：タブーサーチに基づく配電ネットワーク運用構成決定問題の一解法、第 22 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2012)、2012-8 (沖縄県浦添市)

- ② 高野浩貴、村田純一、牧雪乃、安田真：配電ネットワーク再構成問題に対するタブーサーチの探索性能強化に関する研究、平成 25 年電気学会全国大会、2013-3 (愛知県名古屋市)

- ③ 高野浩貴、村田純一、石田智樹、飯坂達也、樺澤明裕：配電系統設備の協調制御による PV 出力抑制回避効果に関する基礎検討、平成 25 年 電気学会 電力・エネルギー部門大会、2013-8 (新潟県新潟市)

- ④ 高野浩貴、村田純一、大賀博文、飯坂達

也、樺澤明裕：配電系統事故復旧問題における分散電源の扱い方に関する一考察、平成 25 年 電気学会 電力技術／電力系統技術合同研究会、2013-9（福岡県北九州市）

- ⑤ 大賀博文、高野浩貴、村田純一、飯坂達也、樺澤明裕：PV 出力の不確かさが配電系統事故復旧問題に与える影響、平成 26 年電気学会全国大会、2014-3（愛媛県松山市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 浩貴 (TAKANO HIROTAKA)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教
研究者番号：50435426

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：