

氏名	セキザキシニヤ 関崎真也
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第912号
学位授与の日付	平成25年9月4日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	Advanced Voltage Control of Distribution System with a Large Amount of Photovoltaic Generators (太陽光発電が導入された配電システムにおける電圧制御方式の高度化)
論文審査委員	主査 教授 鶴飼裕之 教授 水野直樹 教授 水野幸男 教授 竹下隆晴

論文内容の要旨

地球温暖化問題への関心の高まりや、原発の停止による電力供給支障が顕在化したことにより、我が国における電力システムは従来の化石燃料を用いた大規模集中発電から、再生可能エネルギーを利用した小規模分散型発電へシフトしつつあり、再生可能エネルギーの導入に対応した次世代電力システムの構築は喫緊の課題となっている。本論文は、太陽光発電システム(PV)が配電システムに大量導入された場合に生じる種々の問題の中で、電圧管理面に主眼を置いて研究を行なった結果をまとめたものである。具体的には、1)配電システム運用者が所有する既設電圧制御機器のスマート化による配電システム電圧制御方式の高度化(第二章、三章に対応)、2)デマンドレスポンスの観点に基づいた需要家設備(蓄電池)を用いた配電システム電圧制御手法(第四章)、ならびに3)送電システムを考慮した配電システム電圧制御手法(第五章)について研究を実施した。

1)では、配電システムにおける既設電圧制御機器である自動電圧調整器(SVR)の制御を高度化し、PVの大量導入に対応したSVR制御手法の開発を行った。従来型SVRは電圧のローカル情報を基に制御されるが、制御パラメータは負荷の予測値に基づいて設定されている。PV連系時にはこれらの制御パラメータを見直し、適切な値に修正する必要があるため、二章では実際の配電システムデータを基に実規模配電システムモデルを作成し、このモデルを用い

てPV連系時の電圧の挙動に関する数値シミュレーションを行った。その結果、PV連系時に問題となるSVRの制御パラメータおよびその要因を明らかにし、またローカル電圧情報に基づいて動作するSVRではPV連系に対応することが困難であることが知見として得られた。そこで、日射量センサをSVRに設置し、日射量情報とローカル電圧情報を併用した、PVによる電圧変動の予測値に基づくSVR制御法を提案し、シミュレーションにより有効性を検証した。

第三章では、配電システムのグローバル電圧情報に基づくSVR制御法について検討を行った。電力品質向上の観点の下、現在、系統運用者はセンサ付開閉器などのIT機器の導入を進めており、配電系統の情報を正確に取得できるようになってきている。一方で、光通信のようなリアルタイム通信を可能とする通信インフラの整備は遅れているため、低速な通信環境下でも適正な電圧制御を可能とする制御手法が求められている。そこで、周期的な通信によって得られるセンサからのグローバル電圧情報を活用した、SVR制御パラメータチューニング手法を新たに提案し、シミュレーションにより有効性を検証した。

2)では、電圧制御にデマンドレスポンスを導入し、需要家設備である蓄電池と、既設SVRを組み合わせた配電系統電圧制御方式を提案した。現在、PVの導入や省エネ・節電への意識の高まりから、HEMSのような効率的なエネルギー管理技術が注目されつつある。HEMSの中核をなすのは蓄電池であり、またEVやPHEVの普及も徐々に進んでいることから、将来的に蓄電池が大量に配電系統に接続されるものと考えられる。配電系統に接続された蓄電池は充放電により配電系統電圧を制御することが可能であるため、既設蓄電池を活用することでコスト削減効果が期待できる。そこで、配電系統管理者に需要家が蓄電池の一部を提供し、提供された蓄電池の充放電とSVRの制御を併用することで、PVによる電圧変動を抑制する手法を提案し、シミュレーションにより有効性を検証した。提案手法では、IT設備を活用することにより、需要家が提供する蓄電池の容量を低減することが可能であり、需要家の利便性を確保した上で適切な電圧制御を実現している。

3)では、従来の配電系統電圧制御に関する研究で近似的に無限大母線として扱われることが多かった送電系統における電圧変動を視野に入れた検討を行った。配電用変電所送り出し電圧は送電系統における電圧変動に大きな影響を受けるため、送電系統電圧の変動は配電系統の電圧を管理する上で無視できない問題である。そこで、都市部の送電系統と配電系統を一体化したモデルを用いた解析を行い、PV導入時に生じる送電系統の電圧変動および配電系統電圧が受ける影響について評価を行った。そして、送電系統に接続された多数の配電用変電所が協調的に電圧を制御する必要があることを明らかにした上で、静止型無効電力補償装置(SVC)を配電用変電所に分散設置し、PVによる配電用変電所送り出し電圧の変動を低減するための協調制御手法を提案し、シミュレーションにより有効性を検証した。提案手法を用いることで、配電系統は上位系の電圧変動の影響を無視した制御が可能となるため、第二～四章で提案した電圧制御手法の適用が容易になるという利点がある。

論文審査結果の要旨

低炭素化社会の実現に向けた取り組みが世界潮流にある中で、わが国においては東日本大震災以後の原発停止によるエネルギー需給の逼迫により、エネルギー社会は大きな転換点を迎えているといえる。さらに、ICTを活用したスマート化の世界規模での進展、わが国では電力規制緩和などの政策的な要因も変革を後押ししている。こうした状況を受けて、電力システムは、従来の化石燃料を用いた大規模集中発電から再生可能エネルギーを利用した小規模分散型発電へシフトするなど、「多様化」「分散化」「自立化」に向けて大きく変化し、再生可能エネルギーの導入に対応した次世代電力システムの構築は喫緊の課題となっている。

本論文は、太陽光発電システム (PV) が配電システムに大量導入された場合に生じる種々の問題の中で、電圧管理面に主眼を置いて研究を行なった成果をまとめたものである。具体的には、1) 配電システム運用者が所有する既設電圧制御機器のスマート化による配電システム電圧制御方式の高度化、2) デマンドレスポンスの観点に基づいた需要家設備 (蓄電池) を用いた配電システム電圧制御手法、ならびに 3) 送電システムを考慮した配電システム電圧制御手法について短期的 (実用的) および中長期的 (学術的) な視点から計画的に研究を実施している。

第 1 章では、現在の送配電システムにおける電圧制御手法の実態と技術課題について従来研究を検証しながら纏めており、本研究の動機付けについて明確に述べている。

第 2 章では、短期的な観点に立って、配電システムにおける既設電圧制御機器である自動電圧調整器 (SVR) の制御を高度化することで PV の大量導入に対応しうる SVR 制御手法の開発を行っている。従来型 SVR は電圧のローカル情報を基に制御されるが、制御パラメータは負荷の予測値に基づいて設定されている。本章では、実際の配電システムデータを基に実規模配電システムモデルを作成し、このモデルを用いて PV 連系時の電圧の挙動に関する数値シミュレーションを行って PV 連系時に問題となる SVR の制御パラメータおよびその要因を明らかにした。そして、ローカル電圧情報に基づいて動作する SVR では PV 連系に対応することが困難であることから、日射量センサを SVR に設置して日射量情報とローカル電圧情報を併用する PV による電圧変動の予測値に基づく SVR 制御法を提案している。現有設備を有効に活用して短期的な解決策を導いていることから、実用化研究として極めて有用な手法であると言える。

第 3 章では、中期的な観点に立って、配電システムのグローバル電圧情報に基づく SVR 制御法について検討を行っている。電力品質向上の観点から、システム運用者はセンサ付開閉器などの IT 機器の導入を進めており、配電システムの情報を正確に取得できるようになってきている。一方で、光通信のようなリアルタイム通信を可能とする通信インフラの整備は遅れているため、低速な通信環境下でも適正な電圧制御を可能とする制御手法が求められている。そこで、周期的な通信によって得られるセンサからのグローバル電圧情報を活用した、SVR 制御パラメータチューニング手法を新たに提案している。現在整備が進む ICT 技術を視野に入れた第 2 章での解決策の改善策を提案しており、実用的にも期待できる成果である。

第 4 章では、電圧制御にデマンドレスポンスを導入し、需要家設備である蓄電池と、既設 SVR を組み合わせた配電システム電圧制御方式が提案されている。また、PV の導入や省エネ・節電への意識の高まりから、BEMS、HEMS のような効率的なエネルギー管理技術が注目されつつある。これらの中核をなすのは蓄電池であり、また EV や PHEV の普及も徐々に進んでいることから、将来的に蓄電池が大量に配電システムに接続されることが予想される。配電システムに接続された蓄電池は充放電により配電システム電圧を制御することが可能であるという着想から、蓄電池を活用することでコスト削減効果が期待できる点に注目し、配電システム管理者に需要家から提供された蓄電池の一部の充放電と SVR の制御を併用することで、PV による電圧変動を抑制する手法を提案している。提案手法は、ICT 設備の活用で需要家が提供する蓄電池の容量を低減することが可能であり、需要家の利便性を確保した上での適切な電圧制御として極めて独創的な手法であると言える。

第 5 章では、従来の配電システム電圧制御に関する研究では近似的に無限大母線として扱われることが多かった上位送電システムにおける電圧変動を視野に入れた検討を行っている。配電用変電所送り出し電圧は送電システムにおける電圧変動に大きな影響を受けるため、送電システム電圧の変動は配電システムの電圧を管理する上で無視できない問題である。そこで、都市部の送電システムと配電システムを一体化したモデルを用いた解析を行い、PV 導入時に生じる送電システムの電圧変動および配電システム電圧が受ける影響について評価を行っている。そして、送電システムに接続された多数の配電用変電所が協調的に電圧を制御する必要があることを明らかにした上で、静止型無効電力補償装置 (SVC) を配電用変電所に分散設置し、PV による配電用変電所送り出し電圧の変動を低減するための協調制御手法を提案している。配電システムのみならずシステム全体における電圧管理という視点に立った研究であり、今後の展開が期待される成果である。

第 6 章では、本論文で得られた結論および今後の課題・展望を述べている。

本論文の研究成果は学術雑誌論文 3 篇 (全て審査有) および国際会議論文 3 篇に公表されており、それらの学術的価値から、博士論文として十分な内容と判断される。よって、博士 (工学) の学位としての的確であると認める。