

## 論文の内容の要旨

論文題目 分散型電源の積極活用のための負荷供給システム制御システムに関する研究

氏名 高野 富裕

地球温暖化対策として、再生可能エネルギー（RE: Renewable Energy）を用いた発電システムや、発電時の排熱利用による高効率運転を目指したコージェネシステムなど、いわゆる分散型電源が増加し続けている。

特に 2012 年から始まった RE 発電電力の固定価格買取制度（FIT : Feed-in Tariff）を追い風に、我が国においても太陽光発電（PV: Photovoltaic Generation）や風力発電（WT: Wind Turbine Generation）に代表される RE の普及増加が著しい。

ところが RE の多くは、火力発電や原子力発電のように燃料を安定供給される電源に比べると、通年で安定した電力供給は難しい。例えば水力発電はダム貯水量によって発電総量が決まり、バイオマス発電は、現状では植物油などのバイオエネルギー源の供給能力は限定的である。PV や WT に至っては、時々刻々と変化する天気任せの発電である。このような出力不安定な電源は、電力システムにとっては不安定要因となることから、系統周波数や電圧などの電力品質面での対策が望まれている。

一方で、出力不安定な RE をより積極的に活用しようとする動きも出始めている。特に東日本大震災以後、エネルギー効率向上とエネルギーコスト低減の観点から注目を集めるようになったのが、マイクログリッドやスマートコミュニティに代表されるエネルギー地産地消である。これらの運用形態においては、特定の閉じたエリア・電力システムにおいて、可能な限りのエネルギー自給自足を志向している。例えばコージェネシステムによる排熱利用、蓄電池併用による PV や WT 発電の安定供給である。特にエリア内の自前電源による安定供給が実現できると、大震災による大停電や、台風直撃による山間部など僻地停電でも、生活に最低限必要なエネルギー供給が可能となるという新たな付加価値を産むことになる。

ところが、マイクログリッドやスマートコミュニティに必要な不可欠である、RE やコージェネなどの発電設備、発電電力を需要家に届ける送配電網の運用は、極めて専門的な知識を要する。専門の運転員を常駐させると 1 千万円程度の人件費がコストに上乗せされるため、マイクログリッドやスマートコミュニティの普及のネックとなっている。専門の運転員を必要とせず、その他の一般業務を兼ねた管理者でも運用できるよう、可能な限りシステム化が望まれる。

システム化の技術という観点では、電力分野に限らず、様々な産業分野でエキスパートシステムと呼ばれる専門員の代行を行う技術が数十年前より研究・開発されてきた。これは、専門員の深い知識をルールや事例などの形式で計算機システムに蓄積し、状況に応じてそのルールを適宜選択・適用してすることにより、問題解決を図っていくものである。このエキスパートシステムをマイクログリッドやスマートコミュニティの運用ガイダンスとして活用すれば、専門の運転員でなくとも、系統事故処理などグリッド運用で生じる諸問題に対して常に的確な判断が期待できる。ところがエキスパートシステム構築に実装すべき専門知識は非常に膨大であり、これをいかに効率的に獲得し、妥当性を検証していくかが実用化に向けての鍵と言える。

また運転員の負担軽減、ひいては人件費削減という意味においては、エキスパートシステムのような高度な中央演算処理の導入に加えて、グリッド内の系統保護や機器監視といった、パターン化が容易なプリミティブ情報処理は、現地に近いローカルシステム、いわゆる現地制御盤の段階で自動化することが望ましい。そのためには、個々のグリッド構成や特質に応じたプリミティブ処理を適宜選択し、簡単なパラメータ設定だけで効率的にシステム開発できる環境が望まれる。

以上の背景を踏まえ本研究では、100/200Vの低圧系統から22~154kVの特高系統までの、需要家や分散型電源が連系する電力系統を“負荷供給系統”として定義し、分散型電源に対する問題解決と積極活用を目指した技術開発を行うことを、本研究の目的とした。

具体的には、前述の背景を鑑み、以下の4点を研究課題として設定した。

#### (1)負荷供給系統（特に配電系統）における電圧適正化

REをはじめとする分散型電源は、電力会社の大型発電設備に比べれば安定性・信頼性の両面で高いとは言えない。そのため、分散電源の普及に伴い、需給アンバランスや周波数変動、電圧変動など、さまざまな電力品質低下が問題視されてきた。特に負荷供給系統においては、分散型電源の出力変動による電圧変動と、逆潮流による電圧上昇といった電圧問題が顕在化するため、その適正電圧維持技術の確立を目指す。

#### (2)RE電源の積極活用

分散型電源の積極活用という面においては、天気次第で出力が時々刻々と変動するとともに、事前の出力予測も困難なPV、WTの出力安定化が必要不可欠と言える。そこで近年電力用途に大容量化が進みつつある蓄電池併設による出力安定化技術の開発を目指す。また、分散型電源をベースとしたマイクログリッドやスマートコミュニティへの付加価値創造として、災害時などにおける自立運転を支える電力品質保証技術の実現を目指す。

### (3)分散型電源普及に向けた系統運用支援

マイクログリッドに代表されるように、電力自由化によって近い将来、電力事業者が増えるとともにその供給形態も多様化し、電力系統の管理範囲が細分化されることが予想される。その場合、事業性という観点から、個々の細分化系統の運用コストをいかに抑えるが課題となる。そこで個々の系統において、熟練オペレータのような専属運転員を必要とせず、そ専門知識を有さない一般管理者にも運用業務を可能とする、系統運用支援システムの実現を目指す。

### (4)分散型電源普及に向けたシステム構築技術

分散型電源の普及を支える計算機システム構築技術として、分散型電源による系統運用の複雑化を、高度情報処理によって支えるエキスパートシステムと、系統の多様化を、系統機器に近いローカルシステム段階でパターン化処理の選択と組み合わせによって吸収するプリミティブ情報処理システムとの両方を、効率的に開発し、システムとしての信頼性を高める技術の実現を目指す。

以上を踏まえ、論文の構成と要点は下記とした。

まず第1章において、負荷供給系統やPV、WTをはじめとする分散型電源を取り巻く情勢について分析し、それを踏まえた上での研究目的について述べる。

第2章においては、RE普及による電力品質低下問題の中で、最初に顕在化することが予想される配電系統の電圧上昇・変動問題の対策技術について述べる。

対策としては、系統運用者側で実施する対策と、需要側で実施する対策の2つを挙げる。電力系統側の対策技術として、配電系統に複数設置された電流・電圧センサー付開閉器の計測データを中央サーバーに集約し、その結果をもとに配電系統の電圧調整器を最適制御する集中型電圧制御について述べる。

もう1つの需要家側の対策技術として、REと並んで配電系統の電圧上昇問題の要因となっている、進相コンデンサ過剰接続を改善するための、安価なコントローラ実現について述べる。

第3章においては、RE電源の積極的な有効活用について検討する。

1つはREを信頼性の高い安定電源として活用するための蓄電池制御と発電計画に関する技術、もう1つは、災害による系統停電時のマイクログリッド・スマートコミュニティといった地域内の独立系統による電力自給自足、すなわち自立運転技術について述べる。

特にマイクログリッドのような小規模系統における自立運転では、受給バランス維持に加えて、住宅などの単相負荷が主体となるため、三相不平衡が課題となる。ここでは特に

REによる不平衡解消技術にスポットを当てた技術について述べる。

第4章においては、エキスパートシステムによる系統操作支援について述べる。

特に本稿では、過去の操作事例から知識を体系的に整理し、新たな専門知識として蓄える事例学習の手法と、それに基づく操作手順作成を考える。系統操作の例として、送電系統や変電所における系統切り替えや作業停止の操作手順作成を取り上げるとともに、マイクログリッド・スマートコミュニティへ適用した場合のケーススタディについて考察する。

第5章においては、電力系統向け監視・制御・保護システムの設計・製作・検証技術について述べる。

1つは、第4章のような、様々な専門知識の複雑な組み合わせによって動作するエキスパートシステム向けの検証技術であり、システムを動作させ、その挙動を見つつ成否判断を行う動的検証技術について述べる。

今一つは、電力向け監視・制御・保護システム構築の汎用的手法であり、計算機システム上のアプリケーションソフトを予め部品化・ライブラリ化し、設計・製作段階では必要な部品選択とそのパラメータ設定作業によって、システムを構築する技術について述べる。

第6章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、分散型電源の更なる活用という観点から、今後の展開について述べる。