

分散型エネルギー源の導入・運用における経済性 ならびに供給信頼度に関する研究

学位論文内容の要旨

太陽光発電等の新エネルギーをはじめとする分散型エネルギー源の導入は、エネルギー供給力分散による系統安定化や過剰な送配電設備投資を抑制するなど多くの技術的、経済的なメリットをもたらす可能性があると考えられている。一方で、現状の電力システムの電圧や周波数に対して何らかの悪影響を与える要因となることや、石油を燃料とするマイクロガスタービンなどでは燃料価格の変動が大きなリスクとなることが懸念されており、今後の分散型エネルギー源の導入促進のためにも分散型発電の優位性を引き出していくことが必要である。このような背景から、分散型エネルギー源の導入促進対策の一環として、需要地近傍に小規模の電力供給センターを設け、さまざま付加価値を備えた電源として活用する、あるいは多数の新エネルギーを統合させて大規模電力供給システムとして活用するなどの研究開発が実証研究段階で動き始めている。例えば、一様な信頼度レベルで電力供給を行う従来の供給方式に対し、標準品質や高品質といった信頼度レベルに差をつけて供給する品質別供給システムが検討されている。このような新エネルギー供給システムでは、技術的制約の克服はもちろんのこと、システムの経済性や信頼性のさらなる改善が要求される。本論文では、分散型エネルギー源の電力システムへの導入に関して、経済効率性ならびに供給信頼性の観点から、分散型エネルギー源の導入可能性と望ましい導入形態および導入方策の定量的な評価を行うことを目的としている。本論文の評価は、以下のような構成からなる。

(1) 分散型エネルギー源と電力システムの協調的な経済運用

分散型エネルギー源と現状の大規模電源が共存可能かという問題に対し、経済性の観点から評価を行った。まず、大規模電源が担うべき供給予備力は維持される、つまり現状の電力システムの供給信頼度は変化しないという状況の下で、需要家ニーズを反映させた分散型エネルギー源の5つの導入モデルを設計した。分散型エネルギー源の導入量は需要家のもつ高品質負荷をベースにして決定し、さらに、それを電力供給用あるいは予備力用として用いることができるものとした。また、電力供給用に割り当てられたエネルギーの供給時間帯を考慮し、電力システム全体のコストが最小となるような分散型エネルギー源の運用量および運用パターンを決定する手法を開発した。数値シミュレーションにより、広域な電力融通が可能なモデルにおいて、電力システム全体のコストが最小となり、分散型エネルギー源については系統負荷をピークカットするような運用が望ましいことが示された。

(2) 分散型エネルギー源の供給信頼度解析

次に、経済性と信頼性の調和がとれた電力システムのあり方を検討するために、分散型エネルギー

源の運用が供給信頼度を向上させ得るという観点から、分散型エネルギー源の運用を考慮した供給信頼度解析を行った。配電システムモデルとして、現行システムに加え、新しい供給システムである **FRIENDS (Flexible, Reliable and Intelligent ENergy Delivery System)** と **Micro grid** を想定した。本論文ではこれらのモデルを対象にした供給信頼度をモンテカルロシミュレーションにより評価する手法を開発した。この手法では、分散型エネルギー源の状態遷移を考慮した解析を行えるという特徴がある。解析結果から、運用コストおよび事故時に発生する停電コストの和(社会コスト)を最小にするような信頼度の値を導いた。特に、事故時の全域的な電力融通が可能な **FRIENDS** モデルが他のモデルに比べ、分散型エネルギー源によって、経済的かつ信頼度の高い電力供給を行えるということが明らかになった。

(3) 分散型エネルギー源の導入促進プログラム

経済性と信頼性を同時に満足する分散型エネルギー源の導入量が(2)の結果より示された。このとき、分散型エネルギー源をさらに導入促進させるための方策はいかなるものかという問題に対して、本論文では負荷削減契約と呼ばれる一般電気事業者と需要家間に特別な契約を導入することを提案した。ここでいう負荷削減契約とは、一般電気事業者が行う先行投資を繰り延べすることを念頭におき、この繰り延べ価値を報酬という形で需要家へ提供するものである。すなわち、負荷削減契約により需要家が報酬を基に分散型エネルギー源を導入し、系統負荷削減に活用することを期待している。このような一般電気事業者と需要家間の契約サイクルが成立すれば、分散型エネルギー源の導入促進が図れる可能性がある。本論文ではこの可能性を数値シミュレーションにより評価し、各経済主体にメリットをもたらす関係を築きつつ、分散型エネルギー源の導入拡大が可能であるとの知見を得た。

以上より、本論文では分散型エネルギー源が導入された電力システムにおける経済性ならびに供給信頼度の面の有効性について考察し、分散型エネルギー源の導入による経済性の改善、信頼度の向上そして、負荷削減契約による導入可能性を示した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	北	裕	幸	
副査	教授	本	間	利	久
副査	教授	五十嵐	一		
副査	教授	小笠原	悟	司	
副査	准教授	原	亮	一	

学位論文題名

分散型エネルギー源の導入・運用における経済性 ならびに供給信頼度に関する研究

近年、電力コストの低減や停電時の対策、環境面への配慮などから、新エネルギーやコジェネレーションなど、多種多様な分散電源が電力系統内に導入されてきている。将来の電力系統は、こうした数多くの分散電源と、従来型の大規模集中電源とが共存した集中・分散ハイブリッド型の電力系統に移行していくものと予想される。このため、分散電源群が電力系統に対し悪影響を及ぼすことなく、むしろ需要ピーク時の電力供給やアンシラリーサービスの提供等、電力供給・系統運用へ貢献することを可能とするための技術開発が望まれている。これまで、既存の電力システムに対する影響を抑制するため、分散電源の電力出力変動を、パワーエレクトロニクス装置や電力貯蔵装置などを用いて抑制する技術 (FRIENDS) や、電力系統と一点で連系したコミュニティレベルのミニ系統を考え、内部の分散電源、電力貯蔵装置等を適切に制御する技術 (マイクログリッド) などが開発されており、すでにその詳細設計や実証試験も行われてきている。一方、分散電源群を系統電源と協調して積極的に活用することで、電力システム全体としての経済性や供給信頼性が向上し、分散電源の導入価値が向上することが予想される。しかしながら、その具体的な解析手法の開発や定量的な評価については、ほとんど行われていない。本論文では、上記の FRIENDS やマイクログリッドの下で、系統電源と出力調整可能な分散電源の具体的な協調形態 (分散電源の望ましい導入量や運用方策) を、経済性及び供給信頼性の面から評価するためのソフト的な手法を開発することを目的としており、学術的に価値がある。また、分散電源の導入量をさらに増加させるための制度的な方策として、大規模電源所有者 (一般電気事業者) と需要家との間に負荷削減契約という新しい契約形態を導入し、これにより、一般電気事業者と需要家の両者が win-win の関係となるような料金体系について模索している。この考え方は、世界的にも全く新しい独創的な考え方である。

本論文で得られた主たる成果は以下のようにまとめられる。

(1) 分散型エネルギー源と現状の大規模電源が共存可能かという問題に対し、経済性の観点から評価を行っている。まず、大規模電源が担うべき供給予備力は維持される、つまり現状の電力システムの

供給信頼度は変化しないという状況の下で、需要家ニーズを反映させた分散型エネルギー源の5つの導入モデルが設計されている。分散型エネルギー源の導入量は需要家の持つ高品質負荷をベースにして決定し、さらに、それを電力供給用あるいは予備力用として用いることができるものとしている。また、電力供給用に割り当てられたエネルギーの供給時間帯を考慮し、電力システム全体のコストが最小となるような分散型エネルギー源の運用量および運用パターンを決定する手法を開発している。数値シミュレーションにより、広域な電力融通が可能なモデルにおいて、電力システム全体のコストが最小となり、分散型エネルギー源については系統負荷をピークカットするような運用が望ましいことが示されている。

(2) 次に、経済性と信頼性の調和がとれた電力システムのあり方を検討するために、分散型エネルギー源の運用が供給信頼度を向上させ得るという観点から、分散型エネルギー源の運用を考慮した供給信頼度解析を行っている。配電システムモデルとして、現行システムに加え、新しい供給システムである **FRIENDS** とマイクログリッドを想定している。本論文ではこれらのモデルを対象にした供給信頼度をモンテカルロシミュレーションにより評価する手法が開発されている。この手法では、分散型エネルギー源の状態遷移を考慮した解析を行えるという特徴がある。解析結果から、運用コストおよび事故時に発生する停電コストの和(社会コスト)を最小にするような信頼度の値が導かれている。特に、事故時の全域的な電力融通が可能な **FRIENDS** モデルが他のモデルに比べ、分散型エネルギー源によって、経済的かつ信頼度の高い電力供給を行えるということが明らかになっている。

(3) 分散型エネルギー源をさらに導入促進させるために、本論文では負荷削減契約と呼ばれる一般電気事業者と需要家間に特別な契約を導入することを提案している。すなわち、負荷削減契約により需要家が報酬を基に分散型エネルギー源を導入し、系統負荷削減に活用することを期待している。このような一般電気事業者と需要家間の契約サイクルが成立すれば、分散型エネルギー源の導入促進が図れる可能性がある。本論文ではこの可能性を数値シミュレーションにより評価し、各経済主体にメリットをもたらす関係を築きつつ、分散型エネルギー源の導入拡大が可能であるとの知見を得ている。

これを要するに、著者は分散型エネルギー源が導入された電力システムにおける経済性ならびに供給信頼度の面の有効性を評価する手法を開発すると共に、分散型エネルギー源の導入による経済性の改善、信頼度の向上そして、負荷削減契約による導入可能性を定量的に示したものであり、電力システム工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。