

複数意志決定下における電力供給信頼度の 評価ならびに管理方策に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、電気事業において規制緩和が進展してきており、また情報通信システムの急速な技術革新とも相まって、我が国の電気事業は大きな変革期を迎えている。これまで我が国の電力供給体制は、安定的な電力の供給と、資本集約型の大規模な電源開発による電気料金の低廉化を目的として、地域独占型の電力供給を行ってきた。これは電気が、他の一般の商品とは異なり、全ての産業活動を支えるインフラであるという認識に基づいており、高度経済成長期には、年々増大していく電力需要に対して、着実に供給力を増強することによって極めて良質な電気の供給を継続的に行ってきた。一方、後者の目的に対しては、大規模な電源建設のための用地取得の困難さ、またこれに伴う電源の遠隔化が流通部門の建設コストを上昇させる結果となってきたため、必ずしも低廉な電気料金を実現することが難しくなってきた。このような状況下において、80年代後半から急激な円高が進行してきたため、為替レート換算による電気料金が欧米各国と比べて割高となり、この結果、国内の産業界から、これまで以上に低廉な電気料金を望む声が高まってきた。このような背景のもと、1995年に卸発電市場の競争入札を主たる内容とした電気事業法の改正が行われ、現在ではさらなる規制緩和モデルとして小売り部門の自由化が検討されている。しかし、このような新しい電力供給体制においても、これまでのような高い供給信頼度が維持できるか否かは明らかとなっておらず、極めて重要な研究課題となっている。一方、近年、コンピュータに代表される情報処理機器が需要家の間で普及するに伴い、従来はほとんど問題とならなかった僅かな電圧低下等によっても障害の発生する可能性が高まってきた。さらに、一端停電が起ってしまうとその被害も極めて大きくなることが予想されるため、業務用および一般の需要家からは、供給信頼度および電力品質の維持・向上を望む声も大きくなっている。以上のような供給信頼度に対する需要家のニーズは、今後ますます多様化していくものと考えられる。

ところで、近年の情報通信技術は急速に進展してきており、電力システムの運用・監視・制御の分野でも積極的に活用され始めているものの、電力会社すなわち供給者内での利用に留まっているのが現状である。そこで、このような情報通信システムを需要家との間に設置することができれば、電力会社は個々の需要家との間で情報交換をしながら、特定の需要家の一部の電力供給のみを遮断することができるようになる。換言すれば、高い電気料金を需要家は支払うことにより、他の需要家よりも優先して電力供給を受けられるようになり、いわば個々の需要家の意志決定を反映させた電力システムの運用が可能となる。このような情報通信システムの活用を含めた新しい電力供給形態の具体例として、北海道大学長谷川淳教授らが提案する高柔軟高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS)および四国電力(株)が開発中の新世代型双方向システム(OpenPlanet)がある。これらの新しい概念が実現すれば、需要家に対して、信頼度別に電力供給を行うことが可能となる。

本論文では、電力供給システムにおける規制緩和および、需要家との間に併設される情報通信ネットワークの利用が、それぞれ供給サイドと需要サイドの複数意志決定化を生じさせることに着目し、この新しい電力システムの供給信頼度を評価、並びに管理するための方策について検討を行ったものである。本論文は、全6章から構成されており、各章の概要を以下に示す。

第1章では、まず電力供給サイドの複数意志決定化として、規制緩和のいくつかの代表的なモデルについて言及し、本論文の対象とする電力自由化モデルの位置づけを明確にする。また、需要家に対して信頼度別に電力供給を行うために不可欠な情報通信システムを伴った新しい電力流通システムの枠組みとして、FRIENDSおよびOpenPlanetについて特徴を述べると共に、本論文の意義と目的を明確にする。

第2章では、卸発電市場の競争入札に独立系発電事業者(IPP)が参加してくる状況を想定し、安価ではあるが不確実性の大きなIPPの供給電力を、電力会社がい取りする場合の検討を行う。その結果、IPP供給電力の信頼度が低下すると、買取り価格の交渉領域もより低いレベルへ変化していくことを示す。また、交渉モデルの分析に有効なゲーム理論において最も一般的な交渉解概念であるナッシュ均衡解を適用すると、買取り価格が交渉領域の中央に位置することを示す。さらに、IPP供給電力の不確実性の度合いは、買取り交渉の成立に伴うIPPと電力会社のコストメリット和を最大化するように決定できることを明らかにする。

第3章では、IPPを含む新しい電力供給システムの供給信頼度の基準値は、IPPの観点から見た場合でも合理的であるべきとの考えに基づき、前章のモデルにさらに一般需要家の停電コストをも加えた社会コストの最小化に基づき、最適な供給信頼度レベルを決定する。その結果、IPP参入後は参入前と比べて供給信頼度の低下する可能性があることを示す。また逆に、系統全体の信頼度基準値が、IPP参入量へ与える影響を評価し、系統全体の信頼度基準値が高くなることは、供給力に不確実性を有するIPPの参入量を抑制する可能性があることを明らかにする。

第4章では、前章で得られた結論を踏まえて、上位系統の供給信頼度低下が需要家に対する供給サービスを悪化させないため、各需要家の供給信頼度に対するニーズに適合した信頼度別電力供給メニューを設計する手法を提案する。提案手法は、上位からの供給信頼度や需要家構成といった電力システムの地域特性を明示的に考慮し、各母線毎にその地域に最も適した供給メニューを設計することができると共に、母線間における供給メニューの整合性をも配慮した系統全体における供給メニュー体系を構築することができる。さらに数値計算を行い、提案手法の特徴を明確にする。

第5章では、前章で開発した信頼度別供給メニューの設計手法に基づき、信頼度別供給を行った場合の導入効果の評価手法を開発する。導入評価手法は、大別して供給サイドおよび需要家サイド双方の最適化から構成されており、需要家サイドの最適化では、発電機故障に起因する停電コストの最小化を目的として、需要家集合を負荷遮断の優先順位が異なるいくつかの部分集合に分割する。次に、供給サイドの最適化では、供給コストと停電コストの和で表される社会コストの最小化に基づき、電源構成の決定を行う。さらに数値計算を行い、信頼度別供給方式は単一信頼度供給と比べ社会コストおよび供給コストが大幅に削減できることを明らかにする。

第6章は、本論文の結論であり、各章で得られた知見を取りまとめている。

本論文は、複数意志決定下という新しい電力供給体制における供給信頼度の評価手法、ならびに信頼度管理方策の一つとして信頼度別供給方式に着目し、供給メニューの設計手法及び導入効果の評価手法を開発したものであり、今後この分野の研究の一つの基盤を与えるものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷川 淳
副 査 教 授 大 西 利 只
副 査 教 授 本 間 利 久
副 査 助 教 授 北 裕 幸

学 位 論 文 題 名

複数意志決定下における電力供給信頼度の 評価ならびに管理方策に関する研究

近年、電気事業において規制緩和が進展してきており、我が国の電気事業は大きな変革期を迎えている。規制緩和の背景としては、これまで日本の高度経済成長を支えてきた地域独占型の電力供給体制では、大規模な電源建設のための用地取得の困難さ、またこれに伴う電源の遠隔化が流通部門の建設コストを上昇させる結果となってきたため、必ずしも低廉な電気料金を実現することが難しくなっていることがあげられる。そこで、1995年に卸発電市場の競争入札を主たる内容とした電気事業法の改正が行われ、現在ではさらに規制緩和を進めるため、小売り部門の自由化が検討されている。しかしながら、このような新しい電力供給体制においても、従来のような高い供給信頼度が維持できるか否かは明らかとなっておらず、規制緩和後の電力系統における信頼度評価は極めて重要な研究課題となっている。

一方、近年、コンピュータに代表される情報処理機器が需要家の間で普及するに伴い、従来はほとんど問題とならなかった僅かな電圧低下等によっても障害の発生する可能性が高まってきた。このため、業務用および一般の需要家からは、供給信頼度および電力品質の維持・向上を望む声も大きくなっており、このような供給信頼度に対する需要家のニーズは、今後ますます多様化していくものと考えられる。こうした状況に加え、近年の情報通信技術の進展および電力会社に対する兼業規制の緩和に伴い、電力会社と需要家との間に併設されるであろう情報通信ネットワークを利用して、個々の需要家との間で情報交換をしながら、特定の需要家の一部の電力供給のみを遮断することができる供給信頼度別の電力供給サービスが可能になるものと考えられる。このような供給形態においては、需要家は、他の需要家よりも高い電気料金を支払うことで、優先して電力供給を受けられるようになるため、IPPのような供給サイドの新規参入者と同様に、個々の需要家についても、その意志決定が電力系統の運用に大きな影響を及ぼすことになると考えられる。すなわち、将来の電力系統は必然的に複数意志決定下の電力供給体制へ移行していくことが予想される。

本論文では、こうした状況を踏まえ、電力供給システムにおける規制緩和および、需要

家との間に併設される情報通信ネットワークの利用が、それぞれ供給サイドと需要サイドの複数意志決定化を生じさせることに着目し、この新しい電力システムの供給信頼度を評価、並びに管理するための方策について検討を行ったものである。本論文により得られた新知見は、以下の通りである。

1. 卸発電市場の競争入札に独立系発電事業者(IPP)が参加してくる状況を想定し、安価ではあるが不確実性の大きなIPPの供給電力を電力会社が買い取る場合、IPP供給電力の信頼度が高くなると、買い取り価格の交渉領域もより高いレベルへシフトすることを示した。また、買い取り交渉の成立に伴うIPPと電力会社のコストメリット和を最大化するようにIPP供給電力の信頼度を決定できることを明らかにした。
2. IPPを含む新しい電力供給システムの供給信頼度の基準値は、IPPから見た場合でも合理的であるべきとの観点に立ち、前章のモデルにさらに一般需要家の停電コストをも加えた社会コストの最小化に基づき、最適な供給信頼度レベルを決定した。その結果、供給力に不確実性を伴ったIPPの参入は、IPPの参入前と比べて供給信頼度の低下する可能性があることを明らかにした。
3. 前述の上位系統における供給信頼度レベルの低下の可能性を、下位系統側で管理するための信頼度別供給メニューの設計モデルを提案した。本モデルでは上位系統からの供給信頼度や需要家構成といった電力システムの地域特性を明示的に考慮し、各母線毎にその地域に最も適した供給メニューを設計することができるという特徴を有するものである。さらに、母線間における供給メニューの整合性をも配慮した上で、系統全体における供給メニュー体系をも構築することができ、工学的観点から見た全く新しい供給メニュー設計モデルとなっている。
4. 前述の信頼度別供給メニューの設計モデルに基づき、信頼度別供給を行う場合の最適な電源構成の決定モデルを開発し、この新しい電力供給方式の経済的メリットを明らかにした。また、信頼度別供給方式のメニュー数が増えた場合の評価も行い、メニュー数を増加させることが具体的にどの程度の経済効果を生じさせるかを明らかにした。

これを要するに、著者は、供給サイドの複数意志決定下における供給信頼度の評価を行うとともに、下位系統における信頼度管理方策の一つとして信頼度別供給方式に着目し、供給メニューの設計モデルおよび導入効果の分析モデルの開発を行い、将来の電力系統における供給信頼度の評価・管理に関する研究に対して一つの基盤を与え得たものであり、電力工学、電力系統工学の進歩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(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。