

学位論文題名

高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システムにおける
電力改質センターの運用・制御

学位論文内容の要旨

今日の高度文明社会の電気エネルギーに対する依存度は非常に高く、民生・産業両部門の維持・発展には安定した電力供給が必要不可欠である。こうした社会基盤の一つとしての役割を担いながらも、近年、電気事業を取り巻く環境は多くの側面で変わりつつあり、それに伴い電力システムそのもののあり方も大きく変貌を遂げる必要性が出てきた。

大きな環境の変化の一つに、世界的に進展されている電気事業の規制緩和が挙げられる。電力自由化は、従来地域独占の形態をとっていた電力供給事業を解放し、競争原理を導入することで、電気料金の低廉化、あるいは電力供給サービスの質の向上、電気事業の透明性・公平性の向上などを目指したものである。こうした規制緩和の進展は、二つの側面から電力システムに影響を与え得るものと予想されている。一つには、様々な新規参入者が競争原理に基づいた発電ビジネスを展開することが、電力システムの保有者・維持管理者の系統の運用・計画に大きな不確実要素を与え、これが系統全体の供給信頼度を低下させるのではないかと懸念である。したがって、電力供給の安定性・信頼度水準を現在の水準に維持し続けようとするれば、基幹送電系を含めたシステム全体に亘る対策が必要となるため、従来以上のコストが必要となる可能性があり、規制緩和の本来の目的である電気料金の低廉化が必ずしも実現されるとはいえない。

規制緩和がもたらす二つ目の影響は、小規模分散型電源や小規模電力貯蔵装置を配電系統へ連系するための制度・素地が確立された点にある。分散型電源や電力貯蔵装置の技術開発の進展と設備価格の低廉化、さらには地球環境問題・エネルギー資源枯渇問題への対策とあいまって、これらの設備の導入量は今後ますます増加の一途をたどるものと予想されている。これらの小規模分散型電源は、需要家の近傍、すなわち配電系統へ連系されることになるが、この場合、従来の電力システムではあまり考慮されてこなかった需要家側から系統側への逆潮流の発生、電圧降下方向の逆転現象に伴い電圧適正化が困難になる、高調波の増大、短絡容量の増大など、種々の技術的な問題の顕在化が懸念されており、分散型電源の系統連系に対し寛容な電力システムを構築するためにはこうした諸問題を解決する必要がある。

また、電力供給に対する需要家の要望も年々多様化してきている。例えば、精密機械工場や半導体工場、病院、銀行、多くのOA機器を有するオフィスビルなどは非常に良質な供給信頼度や電圧波形品質を望んでいるのに対し、一般家庭などにおいては供給信頼度や電圧波形品質がたとえ劣化したとしても、安価な電力供給を望むケースが多い。このような状況を受け、需要家に対し多様な供給信頼度水準と電気料金の組み合わせからなるメニューを提示し、需要家が購入する電力の品質を自由に選択可能な、いわゆる多品質電力供給を実現可能であれば、より柔軟に需要家ニーズの多様化に対応可能である。このことは、先に述べた規制緩和の進展に伴う系統信頼度の低下に対する対応策とも関連してくる。系統全体に亘って供給信頼度維持のための策を講じるのではなく、本当に高品質な電力を望む需要家・地域に対して必要なだけの策を講じることが、最も効率的で透明性の高い設備

投資であるといえる。

このように、将来の電力システムには様々な技術的・制度的な要求が課せられており、それに応え得る新しい電力供給の枠組みを創造する必要がある。とりわけ、電力を供給する側と電力を消費する側の接点に相当する配電システムにおいては、供給側・需要家側の双方の要求に柔軟に対応すべく、大きく変貌を遂げる必要が出てくるものと予想される。以上を背景に、現在、新しい配電システムに関する研究・開発が数例なされており、その一つとして、奈良・長谷川により提案されている高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (*Flexible, Reliable and Intelligent Energy Delivery System* ; FRIENDS) が挙げられる。FRIENDS では、分散型電源、電力貯蔵装置、各種パワーエレクトロニクス装置などからなる電力改質センター (*Quality Control Center* ; QCC) と呼ばれる設備を配電用変電所と需要家との間に設備し、適切に制御・運用することで、上述の諸課題を統合的に解決することを目指したシステムである。すなわち、FRIENDS 構想をより現実的なものとして提唱するためには、構想の中核をなす QCC に関する詳細な検討が必要である。このような背景を踏まえ本論文では、FRIENDS の実現を大きな目標に掲げ、具体的な QCC の内部構成・制御・運用方式を開発すると共に、その性能・特徴をシミュレーションを通して把握することで、FRIENDS の実現可能性を技術的な側面から検討している。

本論文は全6章から構成されており、各章の内容を以下に簡単に説明する。

第1章ではまず、現在の電気事業・電力システムのおかれている動向を把握し、これからの電力システムに要求されている諸課題を明確にしている。さらに、これら諸問題を解決すべく研究開発がなされているいくつかの新しい配電システム像を概観し、本論文で対象としている FRIENDS との関係を明確にしている。

第2章では、FRIENDS が目指す諸目的を述べると共に、それらの目的を実現するために、どのようなシステム構成をとっているのか、既存の配電系統とはどのように違うのかについて述べている。また、QCC が具備すべき機能を明確にすると共に、その機能を実現可能な一つの具体的な回路構成 — UPS 型 QCC を提案している。

第3章では、UPS 型 QCC が平常時に果たすべき機能を実現するための制御手法を提案すると共に、PSCAD/EMTDC を用いた瞬時値解析を通しその有効性を検証している。本章における検討により、実運用の大部分を占めるであろう平常時の制御指針が確立され、提案内部構成の特徴を定性的にだけでなく、より現実的な特徴として提唱する根拠を築くことが可能となる。

第4章では、QCC が高圧配電系統から受電できない状況 — 供給支障状態における UPS 型 QCC の制御手法を提案すると共に、瞬時値解析を通してその有効性を検証している。本章における検討により、平常時における波形品質の差別化による多品質電力供給だけでなく、供給信頼度の観点からの差別化を加えた形で多品質電力供給を議論することが可能となる。

第5章では複数の QCC の協調運用の実現方法に焦点を当てた検討を行なっている。特に、優れた即応性と高い信頼性が要求される事故時運用に焦点を当て、高速な運用決定が可能な新しい自律分散型の事故時運用を提案している。また、提案する事故時運用の結果構築される自立系統における需給調整問題に対しても検討を進め、具体的な需給調整方法を提案している。

最後に第6章は結論であり、各章で得られた知見を取りまとめている。

本論文で提案した QCC 内部構成、制御手法、運用方式により、QCC が具備すべき機能、ならびに FRIENDS が目指す機能を技術的には実現可能であることが示され、本論文が、FRIENDS という新しい配電システムを提唱し、具現化していく際の一つの原動力とな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	教 授	大 内	東
副 査	教 授	田 中	讓
副 査	助教授	北	裕 幸

学 位 論 文 題 名

高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システムにおける 電力改質センターの運用・制御

電気エネルギーに対する依存度は非常に高く、民生・産業両部門の維持・発展には安定した電力供給が必要不可欠である。こうした社会基盤の一つとしての役割を担いながらも、近年、電気事業を取り巻く環境の変化に伴って、電力システムそのもののあり方を大きく変える必要性が出てきている。

大きな環境の変化の第一は、世界的に進展されている電気事業の規制緩和である。電力自由化は、従来地域独占の形態をとっていた電力供給事業を解放し、競争原理を導入することで、電気料金の低廉化、電力供給サービスの質の向上、電気事業の透明性・公平性の向上などを目指している。こうした規制緩和の進展は、二つの側面から電力システムに影響を与えるものと予想されている。まず、様々な新規参入者が競争原理に基づいた発電ビジネスを展開することが、電力システムの保有者・維持管理者の系統の運用・計画に大きな不確実要素を与え、これが系統全体の供給信頼度を低下させるのではないかとの懸念である。したがって、電力供給の安定性・信頼度水準を現在の水準に維持し続けようとするれば、従来以上のコストが必要となる可能性があり、電気料金の低廉化が必ずしも実現されるとはいえないことである。

規制緩和がもたらす二つ目の影響は、小規模分散型電源や電力貯蔵装置を配電系統へ連系するための制度・素地が確立され、その導入量が今後ますます増加すると予想されている点である。これらの小規模分散型電源は、需要家の近傍、すなわち配電系統へ連系されることになるが、逆潮流の発生、電圧降下方向の逆転現象に伴う電圧適正化の困難化、高調波の増大、短絡容量の増大などの顕在化が懸念されている。

大きな変化の第二は、電力供給に対する需要家からの要望の多様化である。これを受け、需要家に対し多様な供給信頼度水準と電気料金の組み合わせからなるメニューを提示し、需要家が購入する電力の品質を自由に選択可能な多品質電力供給の実現が期待されている。

このように、将来の電力システムには様々な技術的・制度的な要求が課せられており、それに応え得る新しい電力供給の枠組みを創造する必要がある。とりわけ、電力

を供給する側と電力を消費する側の接点に相当する配電システムは大きく変貌を遂げる必要が出ている。以上を背景に、新しい配電システムに関する研究・開発がなされているが、高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS)はその一つである。FRIENDS では、分散型電源、電力貯蔵装置、各種パワーエレクトロニクス装置などからなる電力改質センター(QCC) と呼ばれる設備を、配電用変電所と需要家との間に設備し、適切に制御・運用することで、上述の諸課題を統合的に解決することを目指したシステムである。FRIENDS 構想をより現実的なものとして提唱するためには、構想の中核をなすQCCに関する詳細な検討が必要である。本論文では、FRIENDS の実現を大きな目標に掲げ、具体的な QCC の内部構成・制御・運用方式を開発するとともに、その性能および特徴をシミュレーションによって明らかにし、FRIENDS の実現可能性を技術的な側面から解明している。

本論文で明らかにされた成果は次のとおりである。

- (1) FRIENDS が目指す諸目的を実現するために、QCC が具備すべき機能を明確にし、その機能を実現可能な一つの具体的な回路構成を提案している。
- (2) 提案した UPS 型 QCC が平常時に果たすべき機能を実現するための制御手法を提案し、その有効性を検証している。これにより、実運用の大部分を占めるであろう平常時の制御指針が確立され、提案内部構成の特徴を定性的にだけではなく、より現実的な特徴として提唱する根拠を築くことが可能となった。
- (3) QCC が高圧配電システムから受電できない状況における UPS 型 QCC の制御手法を提案し、瞬時値解析を通してその有効性を検証している。これにより、平常時の波形品質の差別化による多品質電力供給だけではなく、供給信頼度の観点からの差別化を加えた形で多品質電力供給を議論することが可能となった。
- (4) 複数の QCC における協調運用の実現方法について明らかにしている。

これを要するに、著者は、新しい電力供給システムとして提案されている FRIENDS の重要構成要素である電力改質センターの構成について多くの新知見を与えており、電力系統工学、電力工学に対して貢献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。