

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 (FRIENDS)

における電力改質センターに関する基礎研究

学位論文内容の要旨

近年、電気事業を取り巻く環境は大きな変化を見せている。一つは、世界各国において電気事業に関する法的規制緩和が進行し、電力市場自由化の波が押しよせていることである。例えば、英国では1990年に国有電気事業が民営の発電・送電・配電会社へ分割された。我が国においても、1995年に電気事業法が31年ぶりに大幅改正された。その内容は、新規電源に対する競争入札制の導入、特定電気事業(特定地域内の一般需要家に対する小売り電気事業)の創設、ならびに卸・自己託送の許可条件の緩和が主たるものであり、我が国も徐々にではあるが電力市場自由化の方向に向かっている。二つ目は、近年の技術革新による設備価格の低下ならびに省エネルギーへの関心の高まりに伴って、太陽光発電システムなどの小規模電源や二次電池などの電力貯蔵装置の需要家サイドへの導入が進むものと予想されることである。現行の電力システムは大規模電源から需要家への一方向の電力の流れを想定し設計・運用されているため、電力システムの末端である需要家サイドに不特定多数の電源がある場合、これまではなかった新たな問題が起こる可能性がある。そのため、新しい柔軟な配電システムの構築が望まれている。三つ目は、需要家の電力供給に対する要望の拡大がある。特に我が国においては、極めて高水準な品質の電力を全ての需要家に供給しているが、必ずしも全ての需要家が高品質な電力の供給を望んでいるわけではなく、需要家は電力品質とその料金とについて多様な選択ができることを望む傾向にある。つまり、将来の配電システムには、こうした需要家ニーズに柔軟にかつ高信頼で応えうるシステムが必要とされている。最後には、配電自動化技術ならびに関連技術の飛躍的な進歩が挙げられる。配電システムの自動化は高信頼な電力供給を行うために、各電力会社で精力的に実施されている。これらは近年急速に発展している情報処理・通信技術を組み込むことにより、さらなる高機能化が期待されている。また、半導体デバイス技術の進歩により、大容量・低価格なパワーエレクトロニクス応用電力変換器も開発されてきている。このように、新しい配電システムを構築するための技術的要素は徐々に整いつつある。

このように、現在、電気事業ならびに電力システムは大きな転換期を迎えている。将来の電力システム、とりわけ需要家に直接電力を供給する役目を担う配電システムは、これまでも増して需要家サービスを重視した考え方、システム作りをしていかなければならない。多種多様な需要家のニーズに高い柔軟性と信頼性を確保して対応できるとともに、需要家との双方向な情報サービスができる特性をも兼ね備える必要がある。このようなことから、世界中で、様々な新しい電力輸送・電力供給の形態が研究され始めてきている。その中で、茨城大学 奈良教授、北海道大学 長谷川教授らは、将来の望ましい電力流通の一形態として、1994年から「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(Flexible, Reliable and Intelligent Electrical eNergy Delivery System; FRIENDS)」の構想を提唱している。FRIENDS構想は、電力改質センター(Quality Control Center; QCC)と呼ばれる全く新しい設備を需要家近傍に設置することによって、需要家に対し多品質電力供給が可能であるとともに、高機能な需要家側制御(Demand Side Management; DSM)や顧客サービスの向上を果たすことがで

きることを想定している。FRIENDS構想は次世代の望ましい電力流通システムの一形態として世界の研究者からの関心も高まりつつあり、早急にその実現が望まれている。そのためには、FRIENDSの中核的存在を担う電力改質センターという新しいシステムの具体的な内部構成を明確にするとともに、それらの制御性能・能力を定性的かつ定量的に評価することが必要である。本論文はこうした現状を踏まえ、FRIENDS構想の実現に関する基礎研究として、FRIENDSの概念をより明確にするとともに、FRIENDSの最も特徴的な電力改質センターの具体的な内部構成を構築することを目的として検討を行っている。

本論文は全6章により構成されており、各章の概要を以下に示す。

第1章では、本論文の背景として、現在、電気事業・電力システムが直面している話題をいくつか取り上げ、将来の望ましい電気エネルギー流通システムであるFRIENDSが提案されるに至った背景を明らかにすることによって、本論文の目的と位置づけを明確にする。

第2章では、これまでに提案されているFRIENDSの概念に加え、本研究によってより明確にしたFRIENDS構想の全体像について説明している。さらに、FRIENDSの中で最も重要な電力改質センターについて、それがFRIENDSの目的を実現するために果たすべき役割と、多品質電力供給の観点から電力の品質について論じている。本章により、基本的イメージとして提案されているFRIENDS構想を、第3章以降で具体的に論じることが可能となる。

第3章では、FRIENDSの中核的存在である電力改質センターの構成として具体的にどのような形式があり得るのかを明確にするために、電力改質センターをいくつかの主要部分に分割し、それらに対して考えられ得る数種類の内部構成をスケルトンレベルで提案している。さらに提案した構成について経済性、規模、実現可能性などの特徴を検討している。本章の結果は、より実際の電力改質センターを構築するための基礎となるものである。

第4章では、将来の電力システムにおいて重要な機能を果たすと期待されている電力貯蔵装置について焦点を絞り論じている。まず、FRIENDSシステムの中において、どの種類の電力貯蔵装置がどのような機能を果たすのに適しているかについて検討している。この結果より、FRIENDSにおいてその重要性こそ認識されていたが、これまで概念的にしか考えられていなかった電力貯蔵装置の果たすべき機能や役割をより具体的に捉えることができる。さらに、多品質電力供給が実現可能な電力貯蔵装置の運用アルゴリズムを開発し、FRIENDSにおける負荷平準化や線路損失低減の効果を評価している。

第5章では、電力改質センターの多品質電力機能について検討している。すなわち、具体的な一つの電力改質センター内部構成モデルを想定し、電磁過渡解析プログラム(EMTDC)を用いた計算機シミュレーションによって、msecオーダーの時間領域で電力の波形品質を瞬時値レベルで解析している。特に電力改質センターが多品質電力供給を行うとき、実際の電圧電流波形にどのような影響が現れるかについて検討している。本章の結果により、FRIENDSにおける多品質電力供給機能の一方式が、少なくとも技術的には実現できる可能性があることを示した。

第6章は本論文の結論であり、各章で得られた知見をとりまとめている。

本論文は、「電力改質センター」というFRIENDSの中核を担う全く新しい電力設備の基礎を固めたものであり、今後のFRIENDSを含む次世代の電力流通システムに関する研究に対して一つの基盤を与え得るものである。

# 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

### 高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (FRIENDS)

### における電力改質センターに関する基礎研究

現在、電気事業ならびに電力システムは大きな転換期を迎えている。将来の電力システム、とりわけ需要家に直接電力を供給する役目を担う配電システムは、これまでも増して需要家サービスを重視した考え方、システム作りをしていかなければならない。多種多様な需要家のニーズに高い柔軟性と信頼性を確保して対応できるとともに、需要家との双方向な情報サービスができる特性をも兼ね備える必要がある。このようなことから、世界中で、様々な新しい電力輸送・電力供給の形態が研究され始めてきている。その中で、将来の望ましい電力流通の一形態として、「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム (*Flexible, Reliable and Intelligent Electrical eNergy Delivery System*; FRIENDS)」の構想が提案されている。FRIENDS構想は、電力改質センター (*Quality Control Center*; QCC) と呼ばれる全く新しい設備を需要家近傍に設置することによって、需要家に対し多品質電力供給が可能であるとともに、高機能な需要家側制御 (*Demand Side Management*; DSM) や顧客サービスの向上を果たすことができることを想定している。FRIENDS構想は次世代の望ましい電力流通システムの一形態として世界の研究者からの関心も高まりつつあり、早急にその実現が望まれている。そのためには、FRIENDSの中核的存在を担う電力改質センターという新しいシステムの具体的な内部構成を明確にするとともに、それらの制御性能・能力を定性的かつ定量的に評価することが必要である。本論文はこうした現状を踏まえ、FRIENDS構想の実現に関する基礎研究として、FRIENDSの概念をより明確にするとともに、FRIENDSの最も特徴的な電力改質センターの具体的な内部構成を構築することを目的とし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とおりである。

1. 現在、電気事業・電力システムが直面している課題に基づき、新しい電気エネルギー流通システムを構築する必要性を明らかにするとともに、新しい電気エネルギー流通システムの一形態として提案されているFRIENDSのシステム構成、その持つ機能や特徴を整理し、FRIENDSの全体像をより明らかにした。
2. 本研究で対象とする電力改質センターについて、そのFRIENDSのなかで果たす役割

- と、多品質電力供給の観点から電力の品質を明確化し、FRIENDSの中核的存在である電力改質センターの内部構成として具体的にスケルトンレベルで提案するとともに、提案した内部構成について経済性、規模、実現可能性などの特徴を明らかにした。
3. 将来の電力システムにおいて重要な機能を果たすと期待されている電力貯蔵装置がFRIENDSシステムの中に分散配置された場合について、それらが果たすべき機能を明らかにし、どの種類の貯蔵装置がその機能を果たすのに適しているかを明確にした。
  4. 電力改質センターの多品質電力供給機能について詳細な検討を電磁過渡解析プログラム(EMTDC)を用いた計算機シミュレーションによって行い、FRIENDSにおける多品質電力供給機能の一方式が、少なくとも技術的には実現可能であることを具体的に示した。

これを要するに、著者は、「電力改質センター」というFRIENDSの中核を担う全く新しい電力設備の基礎を固め、今後のFRIENDSを含む次世代の電力流通システム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、電力系統工学上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。