

## 学位論文題名

配電系統における分散型電力貯蔵システムの導入評価に  
関する総合的研究

## 学位論文内容の要旨

近年の電力系統は、ピーク電力が増大し、年間及び日間の負荷率が悪化していく傾向にある。また、環境問題による電源立地の困難化や原子力などの大型電源の増加に伴い電源の硬直化、遠隔化が進み、電力系統の運用がますます難しくなりつつある。これらの問題を解決する一つの対応策として、電力貯蔵システムを含む新しい電力系統の構成や運用方策についての研究が盛んになってきている。現在、実用化されている電力貯蔵システムとしては揚水発電が唯一のものであるが、その難点として立地条件が需要の中心から遠く離れた山間部に限られること、また建設工事も大規模で長期間にわたることなどが挙げられている。しかし、電力貯蔵技術に対する系統サイドからのニーズが高まっていることから、二次電池、超電導コイル、フライホイールなどの新型電力貯蔵技術の開発が精力的に進められている。それぞれの技術は個性や特徴を有しているが、現段階での経済性や技術的な面からみると、二次電池が実用化に最も近いと考えられており、都市内または都市近郊に設置可能で、環境上の制約もほとんどない分散型の電力貯蔵システムとして様々な役割が期待されている。ところで、実際に新型電力貯蔵システムを電力系統内に導入する際には、交直変換技術、運転・制御技術、システム保護技術など、ハード面の技術を確認することはもちろんであるが、一方で導入されたときの運用対策や導入によるメリット・経済性など、電力系統内での導入効果についても定量的な評価を行うことが不可欠である。

以上のような背景を踏まえ、本論文では現在または近い将来において、新型電力貯蔵システムが実用化の初期段階であることに着目して、大容量・集中配置型の導入シナリオではなく、中・小規模でかつ多機能性を目的とする分散配置型の導入シナリオが妥当であると考え、配電系統に分散配置された電力貯蔵システムの導入評価、すなわち経済性評価および導入対策(導入戦略)に関する評価手法を提案する。まず、電力貯蔵システム(特に二次電池)が、配電系統に分散配置された新しい電力系統に対して、電気事業者側と需要家側から期待される様々な効果を定量的に評価する手法を提案し、分散型電力貯蔵システムの導入可能性や多機能性などについて分析を行う。さらに、分散型電力貯蔵システムの配電系統内での導入・運用により、需要家電圧への影響が重要な課題となると考えられることから、既存の電圧調整方策の概念に基づき、需要家の電圧分布特性や電力貯蔵システムの運用特性を柔軟に考慮できる、新しい電圧調整方策を提案する。これらの手法に基づき、電力貯蔵システムの導入量をパラメータとした解析により、配電系統における電力貯蔵システムの適正導入場所や限界導入量を求め、導入の影響に関する評価を行う。このように、本論文で開発された手法により、電力貯蔵システムの配電系統への導入に対する経済性評価および導入対策が可能となり、本論文で得られた新知見が、今後の分散型電力貯蔵システムの実用化促進の一助になると考えられる。なお、本論文は全6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、まず電力系統における電力貯蔵システムの必要性和役割が具体的

に示されている。また、実用化が期待されている各種電力貯蔵システムの技術的特徴について、その概要が述べられている。さらに、本論文の意義と位置付けを明確にするとともに、本論文の全体構成について記述している。

第2章では、電力貯蔵システム（特に二次電池）が、下位系統に分散配置された電力系統を想定し、電気事業者側から期待される様々な効果を定量的に評価する手法が提案されている。具体的には、まず電力貯蔵システムの最も基本的な機能である負荷平準化効果について、上位系統だけではなく、下位系統の負荷も合理的に平準化するように、電源ベストミックスと電力貯蔵システムの最適運用を逐次近似法を用いて決定し、分散型電力貯蔵システムの最適導入量や建設費（限界・飽和固定費）を求めている。さらに、異なる時点で発生する様々な投資代案を現在価値に換算し、比較により分析を行う現在価値換算法を用い、分散型電力貯蔵システムの導入・運用による下位系統の設備有効利用効果を定量的に算定している。また、期待停電損失の概念に基づき、分散型電力貯蔵システムの無停電電力供給効果についても具体的に算定している。モデルシステムを用いたシミュレーションの結果、提案手法は分散型電力貯蔵システムの電気事業者への導入可能性を、経済的な面から具体的に評価できることが確認された。

第3章においては、需要家側からみた分散型電力貯蔵システムの導入評価手法を提案している。電力貯蔵システムの特長（kW、kWh容量）などが容易に考慮できる動的計画法を用い、需要家における電力貯蔵システムの支出低減効果に関する評価を行う。これは、分散型電力貯蔵システムの時間帯別電力の充放電運転および、ピーク契約電力の削減により、各需要家別の電気料金の減少メリットを検討するものである。さらに、各産業別における1kWh当たりの付加価値の概念に基づき、電力貯蔵システムの停電回避による電力安定確保の効果などの評価も行う。提案手法は電気事業者だけではなく、需要家側の導入可能性も具体的に示している。

第4章では、既存の電圧調整方式の概念に基づき、需要家の電圧分布特性や電力貯蔵システムの運用特性を柔軟に考慮でき、さらに従来方式の問題点である不確実性を持つ多数の計算地点を一つの地点に等価的に換算することにより、計算過程で生ずる誤差も避けられる配電系統の電圧調整方策を提案している。また、電力貯蔵システムの導入・運用による高圧線路の電圧変動に対し、配電用変電所だけの電圧調整が難しくなる場合、これらを補償する装置である高圧線路用の電圧調整装置の運用方策、すなわち配電用変電所との合理的な協調運用に関する最適電圧調整方策も提案している。さらに、電力貯蔵システムの導入量をパラメータとした解析により、配電系統への電力貯蔵システムの適正導入場所や限界導入量を求め、導入の影響に関する評価についても述べている。

第5章においては、従来の電圧調整手法（第4章で提案された改善手法も含む）が、非線形な送出電圧特性の線形近似により最適電圧調整要素を求めるもので、ある程度誤差を含んでおり、また固定的に電圧調整を行うため、急激な負荷変動やランダムな電力貯蔵システムの運用特性などを考慮することが困難であることを明らかにしている。そのうえで、これらの問題点を解決するために、負荷変動特性や電力貯蔵システムの運用特性が、いくつかのパターンに分類されるものと考え、パターン認識用のニューラルネットワークによるオンラインリアルタイム電圧調整手法を提案している。具体的には、分散型電力貯蔵システムの運用パターンに基づき、配電用変電所の各高圧線路直下の負荷量だけを測定したうえで、分離型のニューラルネットワークにより、オンライン的に電圧調整を行うものである。この手法では、通常のオンライン手法において問題となる膨大な遠隔伝送設備や測定データの削減が可能であり、経済的負担および演算処理負担などを軽減することができ、現実に即した妥当な手法であると言える。

第6章は、本論文の結論であり、各章で得られた新知見をとりまとめており、付録には、本論文で用いた従来手法の基本概念がまとめられている。

# 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

## 配電系統における分散型電力貯蔵システムの導入評価に 関する総合的研究

近年の電力系統の状況は、ピーク需要の増大、日間・季節間負荷の格差増大、負荷率の悪化などの課題に直面しており、また環境問題による電源立地の困難化や、原子力などの大型電源の増加に伴い電源の硬直化・遠隔化が進み、電力系統の運用が益々難しくなりつつある。これらの問題点を解決する一つの対応策として、超電導コイル、二次電池、フライホイールなどの新しい電力貯蔵技術に関する開発研究が、国家レベルのプロジェクトとして精力的に進められており、現在では二次電池を中心とし、実用化試験などが行われているところである。新しい電力貯蔵技術に対する有効性や将来性などは見込まれているが、現技術段階ではまだ完全に実用化されておらず、またその建設費もかなり高価なものであることから、具体的な経済性評価および、導入対策（導入戦略）などの導入評価手法の確立が不可欠であると考えられる。本論文は、現在または近い将来まで新しい電力貯蔵システムにおける実用化の初期段階であることに着目して、大容量・集中配置型の導入シナリオではなく、中・小規模でかつ多機能性を目的とする分散配置型の導入シナリオの観点から電力貯蔵システムの導入評価を行っている。具体的には、まず電力貯蔵システムの多機能性を十分に発揮するため、電力系統全体の立場だけではなく、配電系統で適切に分散配置することを前提とした導入評価手法を検討している。また、電力貯蔵システムは電気事業者用だけの使用にとどまらず、電鉄事業、製造業、ビルなどの需要家における負荷平準化、ピークカットに対しても有効に活用できることから、需要家側の立場からの電力貯蔵システムの導入に関する評価手法を提案している。さらに、電力貯蔵システムの配電系統内の導入・運用により、需要家の電力品質（電圧変動）への影響や問題点を解決するため、従来の電圧調整手法の改善、および新しい電圧調整手法に関する検討を行っている。これらの手法は、電力貯蔵システムを下位系統（配電系統）の一つの要素として捉えた様々な評価をより正確かつ、実用的に行える数理計画手法を提案したものであり、この分野の従来の手法を統合し、かつ一步進めたものと考えられる。

これを要するに、著者は、新しい電力貯蔵システムの実用化に先立ち、その経済性や導入対策に関する評価手法を開発したものであり、これらの手法により得られた新知見は、電力貯蔵システムの導入に対する一指標を示すもので、実用化促進の一助になるとともに電力系統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（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。