

学 位 論 文 題 名

電力系統給電システムに対する
予測先行型制御の適用に関する研究

学位論文内容の要旨

近年の電力系統の状況は電力に対する依存度が高まったために、電力需要量が急激に増大している。これに伴い、発電、送電、変電設備の増強が進み、系統全体の複雑化が進行しつつあるため、基幹系統を監視し、制御する給電指令所(基幹給電所)での電力系統の制御はますます困難になりつつある。このことは基幹系統にてひとたび事故が発生すると、その波及効果が大きく、大規模な停電が引き起こされる危険性があることを示唆している。また、このことは常時の電力系統の運用に対しても、各設備に対する運用限界内での設備運転が特に需要量が急変する早朝や正午前後に困難になりつつあり、前記した大規模な停電発生の一因となる可能性がある。そこで、事故による停電発生回避、あるいは設備の運用限界内での運転を維持するために、将来時点での系統を予測した結果に基づき予防制御、あるいは安定化制御対策を行う予測先行型制御方式の開発が基幹給電所において望まれている。

予測先行型制御方式の考え方は以前から提唱されているものの、系統状態予測の段階で、送電線潮流、変電所母線電圧に代表される状態変数の予測誤差が実用的でないため、高精度の系統状態予測手法の確立が不可欠であると考えられる。また、前記した系統状態予測手法を用いて、電力系統に対する個々の制御問題への実用的な予測先行型制御方式の確立も必要である。

本論文は従来小規模地域系統に限定して、カルマンフィルタに代表される時系列予測を行っていた系統状態予測に代り、前記したように基幹系統での系統状態予測を行う必要性の観点から、総需要予測結果と、潮流計算に基づいた給電システムに対する予測先行型制御の適用の提案と、それを用いた実システムへの適用について検証を行っている。

第1章は序論であって、本研究の目的と得られた結果の概要について述べるとともに、予測先行型制御が電力系統制御において必要とされる社会的背景および各種対応技術、研究動向について記述した。

第2章では、予測先行型制御の基本となる需要予測方法について記述した。特に、履歴データを用いた翌日電力需要予測を高精度に行うための手法として、ニューラルネットワークを取りあげる。高精度である需要予測を実現するための需要予測モデルの構築法、ならびに履歴データの

学習範囲と予測精度の関係、気温に代表される外生要因と需要量の感度を高める予測手法について言及した。さらに、1年半にわたるデータを用いた予測手法の評価を行った結果、データが最も多い平日の晴れの日を対象とした場合のピーク時電力量に対する予測誤差が平均1.73%である結果を得た。

第3章では、電力系統制御を行うために必須である系統状態推定方法について記述した。大規模な電力系統に対して電力系統を表す状態量(電圧の大きさ、位相角)を推定する際には系統中から収集するデータの伝送遅れに対する対策、計測器それ自体の誤差の低減への対策、データ欠損が生じた場合の状態推定実行方法に対する対策を行なう必要がある。これらの課題点に対してそれぞれ観測値の重複推定を行う階層型状態推定手法(以下階層型状態推定)、自動縮退法による欠損データの影響低減手法(以下自動縮退法)を提案し、その効果を実規模電力系統データを用いて検証した。なお、実規模系統データを用いた階層型状態推定法の効果として、計算時間を従来の状態推定法と比較して4割程度低減可能であること、データ中の誤りデータの検出率が従来法の約30%から約70%に向上することを明らかにした。また、欠損データが発生した周辺の電力量を自動縮退法にて補正した場合、補正前と比較して状態推定精度がほぼ同様であること、さらに補正後のデータを用いて安定度計算に代表される系統解析アプリケーションを実行しても、その精度は補正前とほぼ同一であることを明らかにした。

第4章では、第2章の需要予測結果と第3章の状態推定結果を用いて数分から数時間先にわたる時間断面に対する電力系統状態予測方法について提案し、さらに実績データを用いた検証を行った。ここでの電力系統状態予測方法は需要予測結果をもとに、各負荷の個別負荷量を履歴データから求めた対総需要比率、有効電力・無効電力相関係数を用いて予測負荷量を算出する点に特徴がある。なお、有効性の検証を行なうために、実績データを用いて電力系統状態予測結果と実績値の比較を検証した結果、最も重要な評価指標の一つである発電機出力配分誤差が数%にとどまる結果が得られた。

第5章では、第4章で提案した電力系統状態予測方式を用いた系統制御アプリケーションの第一の例として、基幹給電所向けの予測先行型電圧無効電力制御方式について述べた。電圧無効電力制御を行なう際の課題として、制御機器操作時に発生する大きな電圧変動を低減すること、操作機器の集中化を防止することの二点が従来より求められてきた。これらの課題に対し、系統状態の予測による電圧変動の低減、さらに、制御機器選択方法に線形計画法を用いて、制御機器の集中化の防止を提案している。この提案手法を、実規模データを用いて評価した結果、電圧逸脱量を従来方式と比較して大きく低減する効果、機器操作回数を低減する効果を確認した。

第6章では、電力系統状態予測方式を用いた系統制御アプリケーションの第二の例として、数時間先における停電発生を最小限にするために、あらかじめ行っておくべき系統操作を電力系統の運用者に提示する信頼度制御システムの開発について述べている。本手法はこれまで大きな予測誤差のために実用化が困難であった予測先行型制御の実現を、第2章における需要予測の高精度化、第3章の電力系統状態推定による系統状態把握の高精度化により実現している。また、信

頼度制御システム中の評価指標についても検討を加え、使用者にとって直感的に分かりやすい監視制御システムについて言及している。

第7章では、本論のまとめについて述べ、正確な将来時点における系統状態の予測結果をもとにして実施する、電力系統給電システムに対する予測先行型制御の適用に対する成果と今後の方向性についてまとめた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	新保	勝
副査	教授	伊達	惇
副査	教授	宮腰	政明
副査	教授	長谷川	淳

学位論文題名

電力系統給電システムに対する 予測先行型制御の適用に関する研究

近年、電力需要量の急激な増大に伴い、電力系統全体が大規模化、複雑化し、基幹系統の監視と制御を行う給電指令所における電力系統の制御はますます困難になっている。そのため、将来時点での系統状態予測に基づき、予防制御あるいは安定化対策を行う予測先行制御方式の開発が望まれているものの、送電線潮流などの状態変数の予測が実用的でなく、高精度な系統状態予測手法の確立が不可欠となっている。

本論文は、基幹系統での系統状態予測を行う必要性の観点から、これまで大きな予測誤差のために実用化が困難であった予測先行型制御について、総需要予測結果と潮流計算に着目した需要予測の高精度化によって、より正確な将来時点における系統状態の予測結果に基づいて実施する予測先行型制御システムを新たに提案し、その適用性を事例により実証したものであり、具体的な成果は次の点に要約される。

- (1) 予測先行型制御の基本となる高精度の電力需要量予測方法や、将来時点の電力系統を予測するために必要な現在状態を高精度で把握するための状態推定計算方法、将来の電力系統状態を予測する系統予測方法について数理的な立場から検討し、新手法を提案した。
- (2) この提案手法を用いた具体的な予測先行型制御システムの実例として、制御機器の操作時に従来生じていた大きな電圧変動を低減することが可能な、基幹給電所向けの予測先行型電圧無効電力制御方式について検証し、その実現可能性を示した。
- (3) 数時間先における停電発生を最小限にするために、予め行っておくべき系統操作を電力系統の運用者に提示する信頼度制御システムを開発し、実績データにより、その有用性を確認した。

これを要するに、著者は予測先行型制御における手法を数理的に統合し、基幹電力系統給電システムに対する予測先行型制御に関する技術の確立とその実証を行ったものであり、数理情報工学ならび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があるものと認める。