

アダプティブな系統構成と需要調整による電力系統 運用の高度化に関する研究

富田, 泰志

<https://doi.org/10.15017/1441259>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

(別紙様式2)

氏 名 : 富田 泰志

論文題名 : アダプティブな系統構成と需要調整による電力系統運用の高度化に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

電力系統の運用では、安定供給、エネルギー効率、経済性の確保を目的として、平常時、緊急時、復旧時の3つの局面で各種の制御を行っている。平常時には周波数制御、電圧制御、過負荷回避制御、ロス最小化系統切替制御、事故時制御系のパラメータ調整など、緊急時には事故検出、事故区間切り離し、安定化制御など、復旧時には停電区間復旧措置などである。近年、このような電力系統の運用に影響を与える状況が拡大しつつある。すなわち、低炭素への社会的ニーズにおける、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーの導入拡大、また、需要家の利便性向上のニーズにおける、オール電化や電気自動車の導入拡大である。このとき、総需要や自然エネルギー電源発電量の変動拡大が周波数制御に影響を及ぼし、また、送配電系統潮流分布の変動拡大が電圧制御に影響を及ぼし、さらに、安定度や設備負荷率の変動拡大がロス最小性に影響を及ぼすことが懸念される。

これに対して各種の対策が検討されているが課題も多い。周波数制御では予備力対策に電源の拡充や自然エネルギー電源の一時的な出力制限による対策が検討され、電圧制御では主に送配電線の太線化や電圧調整機器の拡充による対策が検討されているが、設備コストの増大や自然エネルギー有効活用の阻害が生じる。この問題を緩和するソリューションとして、需要側との協調による対応策も提案されている。需要側に無理のない範囲での需要抑制や増大への協力を依頼し、その対価として経済的インセンティブを提供する、デマンドレスポンスと呼ばれているものである。電力系統の経済効率向上のほか、緊急時の供給信頼性を最大限確保する手段拡充という公共的意義から、米国などで先行して各種の取り組みがなされてきている。しかし、需要家の利便性や経済性への影響という点で、デマンドレスポンスは社会的に受容されるかという議論も見られる。需要家の手間を軽減する制御システムや経済的負担を軽減するインセンティブが導入されてきているが、普及するまでの十分な解決には至っていない。特に、電気機器使用抑制による快適性への影響を最大限回避することが本質的な課題となっている。そのほか、安定度やロス最小性については、系統切替や負荷配分を潮流状態に応じてアダプティブに制御することが提案されているが、事故検出や事故区間切り離しを行う保護システムは、事前に想定した系統構成に対して動作ロジックやパラメータを構築しており、保護システムで想定している系統構成での運用が原則で、制御のアダプティブ化では系統接続構成に依存して動作する保護システムとの整合性維持が課題である。

本研究では、系統運用高度化における経済性向上のため、アダプティブな系統構成と需要協調の自由度を拡大することを考えた。需要協調の自由度拡大においては、需要家の利便性や経済性への影響が障害となるため、これを最小化する需要調整制御方式について研究した。具体的には、供給力不足時の電力需要抑制制御の「電力ピークカットの高効率空調デマンド制御方式」、余剰電力時

の電力需要増大制御の「太陽光発電余剰電力吸収のヒートポンプ給湯機群制御方式」である。さらに、系統貢献需要調整が長期間にわたる場合、夜間への負荷シフトのための設備導入など、ユーティリティ設備の構成の在り方にも影響を与えるため、設備計画支援のための「需要家ユーティリティ設備計画シミュレーション方式」についても検討した。系統構成の自由度拡大においては、その障害となる、保護システムの系統構成に対するアダプティブ化方式について研究した。「エージェントモデルによる協調動作型保護システム」である。

各研究項目の概要は以下の通りである。

(1) 電力ピークカットの高効率空調デマンド制御方式

供給力不足時の電力需要抑制では、調整量のポテンシャルが期待できる需要調整力として、ピーク需要の大きな割合を占める空調、特にオフィスビルを中心に多く利用されているマルチパッケージエアコンを対象とした。従来、室外機オンオフによる間欠制御が知られているが、本研究では、中間出力が高効率な点に着目し、空調特性モデルベースの高効率領域出力一定制御を提案した。同じピークカット電力での空調出力最大化と、抑制解除後のリバウンド回避が可能である。一定制御は標準インタフェースのみの室内機台数制御で実現した。室内機8台&室外機1台による実験とケーススタディで、運転点制御精度4-5%、また、間欠制御に対して、空調抑制時間帯では同じ電力で空調出力増20%、空調抑制開始から室温復帰までのトータルで電力低減10%が期待できる結果を得た。

(2) 太陽光発電余剰電力吸収のヒートポンプ給湯機群制御方式

余剰電力時の電力需要増大では、具体的な需要調整力として、需要家サイドに代表的な蓄エネルギー設備であり、稼働調整で利便性への影響が少ない電気式給湯機に着目した。従来、需要家個別の制御によるが、本研究では、地域内の複数需要家の電気給湯機の群制御を提案した。地域内の複数給湯機の複数時刻断面の蓄熱運転計画を、給湯機動作特性モデルを組み込んだ混合整数計画問題として定式化し、地域として商用電力使用量増加を回避しつつ、余剰電力吸収量の最大化を実現した。プロトタイプにより、同じ低圧変圧器配下の一般家庭6軒を対象としたシミュレーションケーススタディを行い、従来の個別制御に対して群制御により余剰電力吸収量を46%向上する結果を得た。

(3) 需要家ユーティリティ設備計画シミュレーション方式

経済性最大化のための設備計画を支援する省エネルギー解析シミュレーション方式を開発した。任意のマルチユーティリティシステムを対象に、季節別1時間刻みの負荷データに対して年間の一次エネルギー量を計算するものである。実世界との親和性を高め、任意のシステム構成に柔軟な対応を可能とするため、設備内部状態と設備間接続構造を明確に分離した、エネルギーフロー構造データモデルとエネルギー状態計算モデルのアーキテクチャを採用した。設備モデルの拡張性や並列計算等プログラム実装の自由度のさらなる向上が期待できる。冷熱供給システムを例題にモデル設定と解析を試行し、正しい計算結果が得られることを確認した。また、従来の表計算ソフト等を用いた手作業での解析に対して作業時間を約80分の1に短縮できた。

(4) エージェントモデルによる協調動作型保護システム

保護システムは、センサや遮断器により事故を高速かつ確実に検出して最小限度の範囲で分断遮断するものである。従来、保護システムは事前に想定した系統構成に対して動作ロジックを構築しているため、想定した系統構成での運用が原則である。本研究では、各装置におけるセンサ計測、遮断器遮断、事故検出、系統状態変化に対する構成制御等の機能を要素機能に分解して、任意の系統状態変化に対し、監視や遮断の対象範囲や動作ロジックを柔軟に再構築する、エージェントモデルによる協調分散型のアーキテクチャを提案した。系統状態変化における遮断範囲の最小性維持が可能である。シミュレーションケーススタディを行い、遮断範囲の最小性、ハードウェアの冗長性低減、系統運用の自由度向上が可能であることを考察した。