

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術 甲第 171 号	氏 名	齋藤 正明
論文題目	需要予測の不確実性を考慮した熱源・電気機器の運用最適化に関する研究		

世界的なエネルギー需要の増加が見込まれる中、持続可能な社会を構築するには、再生可能エネルギーへの転換に加えて、省エネルギーの推進が必須である。国内では、オフィスのエネルギー消費量は、1970年代からほぼ倍増している。このような建物では、冷温水や電力の需要予測に基づき、最適な運用計画に沿って、熱源システムなどの大規模機器を効率的に運用することが重要である。需要予測誤差の悪影響を軽減するには、再予測・再計画手法や確率計画法の適用が有効である。しかし、これまでの研究では、上記の両手法を効果的に組み合わせた、需要予測の不確実性に対する総合的な検討は不足していた。

そこで、本研究では需要予測の不確実性に対して、下記の三つのステップに分類して検討を進めた。まず、再予測を含む需要予測手法を立案し、予測精度の向上を検討した。次に、提案予測手法を用いて再計画を含む機器運用のシミュレーション評価を行い、再予測・再計画法の現状性能、ポテンシャル性能を定量化した。更に、再予測・再計画の適用限界から、提案手法の改善余地を考察した。最後に、上記の改善余地に対して、予測誤差の確率的評価と再予測・再計画法を組み合わせた統合的手法を立案し、その有効性を検証した。

第2章では、関連する先行研究を例示して、最適運用問題の全体像を整理するとともに、本研究の位置づけを述べた。

第3章の需要予測手法の検討では、異なる2種類の手法を立案した。一つは、前日夜間に翌日1日分のエネルギー需要量を予測する翌日予測手法、もう一方は、当日の直前実需要を参照して、予測値を更新する当日再予測手法である。当日再予測を併用する場合、翌日予測は、翌日の総需要を正確に予測し、エネルギー貯蔵設備の最適な貯蔵量を決定することに主眼が置かれる。そこで、翌日予測では、まず簡易な重回帰予測式を用いて各時刻のエネルギー需要を予測する。第二段階では、様々な気象予報に基づき翌日の一日分の総需要を予測し、上記の各時間帯の予測需要を調整する。この調整により、予測誤差が冷水需要で約9%から5%に、温水需要で約13%から8%に減少し、提案した翌日予測手法の有効性が確認された。一方の当日予測手法では、多次元の時系列予測モデルを使用する。これらのモデルは、過去48時間分の需要データと気温データなどを説明変数とし、説明変数の選択と回帰係数の同定にLASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) 回帰を適用した。異なる3つの予測手法とのベンチマーク評価において、提案するLASSO回帰

が最も高精度であることを確認した。さらに、当日再予測では予測実行 4 時間先までであれば翌日予測より高精度であるため、これにもとづく両予測の組み合わせ方法を考案した。抽出した 2 週間の夏季代表日において、冷水需要の翌日予測誤差は 6%程度であり、午前 6 時から当日再予測を併用することで、最終的には 3.5%程度まで予測誤差が改善した。以上より、本研究で提案する翌日予測、当日再予測のハイブリッド予測方式が、1 日全体に渡る予測精度の向上に効果があることを確認した。

第 4 章の運用評価では、多面的な評価を可能とするため、先ずコージェネによる熱電併給、ガスと電気駆動方式を併用した熱源機器、蓄電池と蓄熱槽によるエネルギー貯蔵といった要素を含む、多様な熱源・電気設備を要する対象システムを定義した。続いて、運用計画を導出するため、運用最適化問題を定式化した。目的関数は 1 日分の電力・ガス従量料金とし、決定変数は機器出力などの連続値、機器の運転/停止状態などの離散値である。したがって、上記の問題は混合整数計画問題として定式化した。次に、需要予測値に対して実績値が乖離した場合の運用シミュレーション手法として、2 種類の手法を考案した。一つは、実需要に乖離が生じた場合でも熱源機出力を事前に求めた運用計画に固定して蓄熱槽運用の変化を許容する蓄熱槽調整運用である。もう一方は、蓄熱槽運用は運用計画に固定して、熱源機出力の変更のみを許容する熱源機調整運用である。上記 2 種類の運用シミュレーションを比較し、熱源機調整運用が僅かに経済性に優れることを確認した。次に、翌日予測と当日再予測の誤差が 0%と仮定した場合の、ポテンシャル性能との比較を行った。予測誤差 0%の理想的運用に対して、現状の再予測・再計画のコスト削減の割合は 28%程度に留まり、未だ改善余地は大きい。一方、コージェネやガス熱源の計画外起動を回避できており、運用安定性の観点においては現状でも十分に高い有益性が見受けられることを確認した。仮に、当日再予測の誤差を 0%にできれば、理想的運用に対してコスト削減の割合は 74%程度に上るため、当日再予測誤差の影響を軽減することは現行手法の大きな改善余地であった。更に、蓄熱槽の運用コスト悪化に直結するため、需要減少期の翌日予測誤差の影響低減も、主要な改善余地であることを確認した。

第 5 章では、上記の改善余地に対して予測誤差の確率的評価を導入し、運用評価を行った。先ず、予測誤差の定量化を行い、同一建物において複数種別のエネルギー需要がある場合、これらの需要予測誤差は互いに非独立を前提とした日種別の同時確率分布で評価する必要があることを確認した。予測誤差が 0%の理想的運用と比較して、コスト削減の割合は約 39%となり、上記の再予測・再計画の改善余地に対して需要予測誤差の確率的評価を統合することで、運用効率の改善が可能であることを立証した。

第 6 章の結論では、需要再予測、運用再計画、予測誤差の確率的評価を考慮した、需要予測の不確実性に対する包括的な解決策をまとめた。また、エネルギー利用効率をさらに向上させるための提言として、明け方を中心とした需要予測の精度改善、予測誤差の評価指標や、確率分布の階級値選定の最適化が必要であることをまとめた。