

## 学位論文審査の結果の要旨

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		
論文審査委員会	委員(主査) D○合	加藤 政一 教授	(電気電子システム工学専攻)
	委員(副査) D○合	腰塚 正 教授	(電気電子システム工学専攻)
	委員(副査) D○合	柘川 重男 教授	(電気電子システム工学専攻)
	委員(副査) D○合	吉田 俊哉 教授	(電気電子システム工学専攻)
	委員(副査) D○合	百田 真史 教授	(建築・建設環境工学専攻)
	委員(副査) D○合	渡邊 翔一郎准教授	(電気電子システム工学専攻)

### 研究の背景

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が不足していた。

### 研究の目的

本研究は、需要再予測、運用再計画による現状からの改善余地の定量化、前記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、需要予測の不確実性に対する包括的な解決策を提案することが目的である。

### 研究の内容

需要予測精度の向上に向けて、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、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を考案した。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、翌日予測の主眼であるエネルギー貯蔵設備の最適な貯蔵量を決定するため、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、当日再予測手法では多次元の時系列予測モデルを採用、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、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、提案方式が需要予測精度の向上に効果があることを確認した。

運用評価では、先ずコ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、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・電気機器からな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、もう一方は、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結果を比較し、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ものの、機器の計画外起動は回避できており、運用安定性の観点において十分に高い有用性があることを確認した。仮に当日再予測の誤差を 0%にできれば、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低減していくことは、現行手法の大きな改善余地となる。更に、蓄熱槽の運用コスト悪化に直結する需要減少期間で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。これら一連の成果は、

齋藤正明、加藤政一「蓄熱空調設備を有するビル施設の需要再予測・機器運用再計画による運用手法の評価」, 電気学会論文誌 C, Vol. 142, No. 10, pp. 1123-1134 (2022) として、まとめられている。

最後に、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た。予測誤差の定量化から、同一建物において複数のエネルギー需要がある場合、これらの予測誤差間の相関を前提として、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。これによるコスト削減効果は約 39%となり、前記の再予測・再計画の改善余地に加えて、予測誤差の確率的評価を統合することで、運用効率の更なる改善が可能であることを立証した。

以上、本論文において著者が検討して得た事柄は、予測を用いた幅広い機器の更なる運用効率化を達成でき、社会的な省エネルギー推進の観点で極めて有用であると判断できることから、本論文の価値は工学的、工業的な観点からも十分に評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。