

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 シミュレーションを活用した病院熱源システムの
運用段階のエネルギーマネジメント手法に関する研究
(Study on the Energy Management Method for Heat Source
System of Hospital in Operation Phase Utilizing Simulation)

氏 名 千葉 理恵

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、病院施設における運用段階の省エネルギー実現を目的とし、蓄熱システムとコージェネレーションシステム（以降 CGS）を含む大規模病院の熱源システムに対し、シミュレーションを活用した運用段階のエネルギーマネジメントの高度化手法の提案とその効果を評価したものである。以降に各章の概要を示す。

第 1 章（序章）では、本研究の背景と目的を述べる。地球温暖化や化石燃料枯渇の危機的状態や建物ライフサイクルにおけるエネルギー消費量構造から、建物運用時のエネルギー消費量の削減が急務であり、統計データなどから業務用建物の中でエネルギーの消費量の多い病院の省エネルギー対策が有効と考え対象とした。病院の負荷は規模や種別によって傾向が異なり、導入される空調システムや熱源機器の種類も様々である。近年は省エネルギー性や電力需要調整、BCP（事業継続計画：Business continuity planning）に配慮し蓄熱システムや CGS の導入が進んでおり、運用改善検討においては適切な改善項目の抽出と具体的な改善方法および改善効果を把握する必要がある。しかし、これらを含むシステムの改善検討フローが整備されておらず、また、エネルギー削減効果を評価するためにはシミュレーションによる試算が不可欠であるが、現状、対応できない設備がある。そこで、本研究は、病院施設の運用段階の消費エネルギー量削減のため、蓄熱システムと CGS に着目し、効果的な運用改善検討手法を提案し、シミュレーションツールの整備を行って活用し、手法の有効性を評価する。なお、この手法は病院施設のみならず、他の同様の設備・運用を行う建物にも適用可能である。

第 2 章では、エネルギーマネジメント手法として運用改善の検討フローを作成・提案するた

め、実際に水蓄熱システムと CGS を導入している総合病院の運転状況について分析を行い、具体的な運用課題や改善検討・効果推定方法について整理した。対象とした物件は年間で冷暖房切替を行う 2 管式空調システムの熱源システムに水蓄熱を利用しており、夏期は蓄熱用熱源機の空冷ヒートポンプ（以降 空冷 HP）で蓄冷し、冬期は CGS の排温水を蓄熱する。施設の空調時間中に放熱ポンプにより冷水または温水を空調機器に送水して冷暖房を行っている。

夏期については、蓄熱槽からの放熱を昼間のみとしていたが、2014 年以降に 24 時間空調へ対応したことから、特に夜間の放熱流量が過剰となり放熱温度差が確保できず、放熱ポンプの動力増や空冷 HP を 24 時間運転して蓄熱槽をバッファタンクのように利用するなど非効率な運用となった。また、放熱量で賄えない冷熱についてはガス吸収式冷温水器が追い掛け運転を行っている。冬期についても、放熱流量が多く温度差が小さいことから搬送動力の過剰や、発電機の排熱の利用先について、課題となる項目を抽出した。

これらに対する改善案とその効果として、放熱温度差を確保することによる放熱流量の減少、すなわち放熱ポンプ動力の削減と蓄熱槽の利用温度の拡大、夜間の放熱温度差確保による空冷 HP の夜間 2 台蓄熱運転で蓄熱槽の適正利用が可能と考えられた。また、ガス吸収式冷凍機の効率が空冷 HP より低いため、蓄熱量および蓄熱槽からの放熱量増による追い掛け運転抑制でエネルギー消費量の削減が見込まれる。その他、空冷 HP を夜間のみ蓄熱運転を行うことにより昼間の電力およびデマンドの削減など電力平準化効果も期待される。冬期の排熱利用先についても蓄熱槽を空冷 HP で蓄熱し、排温水で他の暖房を賄う運用について省エネルギーの余地が挙げられた。

この運用改善検討の実施において、水蓄熱システムの放熱流量および温度の適正化や熱源機器の運用を考慮した検討および発電機の排熱量および利用先等を考慮した場合の効果試算が必要である。そこで、まずは放熱側や熱源を対象とした運用改善の効果を試算し、その後に発電機の運用を含めた改善を検討するフローを手法として示した。この手法の省エネルギー性評価において効果試算ツールの整備が必要であり、次章で取り組んだ。また、この手順は他の同様の設備をもつ建物においても適用可能である。

第 3 章では、第 2 章において明らかにした放熱側や熱源を対象とした課題の改善効果を試算するため、LCEM（Life Cycle Energy Management）ツールを利用することとし、対象病院の運用検討時に必要な部分の開発・改良を行った。実施項目は、①連結温度成層型蓄熱槽オブジェクトモデルの開発、②空冷ヒートポンプの出口温度の変動アルゴリズムの追加、③プレート式熱交換器オブジェクトオブジェクトの開発、④発電機オブジェクトの改良および台数制御アルゴリズムの追加である。①は既存の蓄熱槽モデルをベースに開発し、実測値との比較によりモデルによる再現性を確認した。②は既存のオブジェクトでは実際の熱源機器の運転状況を再現できなかつたため、機器出口温度変動アルゴリズムを追加した。③は熱交換器の一次側変流量制御の場合の熱交換量、流量、熱交出口温度を計算するオブジェクトがなく、新たに開発し

たもので、蓄熱槽からの放熱温度の変化による熱交換量・流量が適切に計算可能となる。④は発電機オブジェクトに排ガス蒸気による熱回収機能を追加し、実際の発電機の台数制御を可能とするためアルゴリズムを追加した。①~④のオブジェクト類は他の施設の検討においても利用可能である。冷房運用、暖房運用時の現状運用をシミュレーションし再現性を確認した結果、検討に利用可能と判断した。

第4章では、構築したシミュレーションモデルを用い、第2章で検討した改善項目について夏期、冬期の運用改善の検討項目毎にエネルギー消費量およびコスト試算を行い、改善効果を確認した。

夏期の検討において、適切な放熱流量と温度差とすることにより、放熱ポンプ搬送動力約5,000kWh/週を低減した。蓄熱槽の利用温度差も確保でき、空冷HPの夜間2台による蓄熱運転可能となったため低外気温時に高負荷率運転となり運転COPが0.09向上した。また、ポンプの搬送動力を含めた場合のシステムCOPは0.14向上した。さらに、空冷HPの運転時間を延長し、ガス吸収式の追い掛け運転を削減した場合、熱源システムの一次エネルギー消費量は約12% (72GJ/週) 削減可能と試算された。

冬期の暖房運用時も冷房時と同様に放熱流量と温度差を適正化し、ポンプ搬送動力約4,000kWh/週の低減を確認した。CGSの排温水熱利用先について、現状の蓄熱槽への投入を、空冷HPの夜間2台運転による蓄熱運転へ変更し、排温水を他の24時間系統の暖房に切り替えた場合を試算した。その結果、2月負荷に対する試算では、電力使用量が約18,000kWh/週増加したが、蒸気ボイラのガス消費量が約2,000m³/週削減され、全体の一次エネルギー消費量は約37GJ/週低減され、削減率は1.5%となった。

これらの結果より、シミュレーションを用いて運用改善の検討を行った場合の効果を示すことができ、エネルギーマネジメント手法として有用であることを示した。

第5章では、第4章の検討に加え、発電機の運用改善を含めた検討を行った。熱源の運用改善によりエネルギー消費量の削減効果が得られることを明らかにしたが、搬送動力の削減や空冷HPの運用を変更することによって電力消費量が変動し、発電機の稼働台数および発電量が変化する。また、発電機の運用が変われば排熱量も変わり、ボイラなどの補助熱源のエネルギー消費量も変動する。第2章で提案した検討フローに示した、熱源運用の変動によるCGSへの影響を含めた省エネルギーの検討について、発電機の運用最適化ソフトを開発し、検証した。

発電機の運用は電力・熱負荷や電気やガスのエネルギー単価によっても最適な発電量に変化するため、与えられた条件によって発電機の運用最適化を行うソフトを開発することとし、GAを用いたエネルギーまたはコストを最小化する台数制御値を求める最適化手法を組み込んだ。この運用最適化ソフトについて、翌日の負荷予測と組み合わせた日別最適化を行うため自動で台数制御値を最適化するシステムを構築し、1年間運用して効果や実用性を確認した。その結

果、コスト削減効果は最適化以前の従来値と比較して約 25 万円/年、一次エネルギー削減効果は約 150GJ/年と推算され、手法として使用に問題ないことを確認した。

このソフトを用い、夏期および冬期の熱源システムの運用改善による消費エネルギー削減効果や電力消費量の変化が CGS の最適化および全体のエネルギー消費量に与える影響について試算した。その結果、夏期・冬期共に発電機最適制御において目的をエネルギー最小とした場合に 2 台目起動値は約 1200kW と実運用より小さくなり、発電量を増やす傾向となった。エネルギーとコストの関係をみると、現運用ではエネルギー最小化とするとエネルギーは減少するが、コストが増加する結果となった。それに対し、熱源の運用改善と台数制御最適化を組み合わせた場合は、夏期・冬期ともにエネルギー消費量およびコストを削減可能と示唆された。夏期のエネルギー消費量の削減率は最大で 5.7%、冬期 2 月の最大のエネルギー削減率は 5.2% となり、2 月はコストも現状より 1 万 9 千円/日程度安価となった。

以上の熱源の運用改善と CGS の最適運用を組み合わせた検討手法により、消費エネルギー削減効果が向上し、検討手法として有効であることが示された。

第 6 章（終章）は本研究のまとめと展望を述べる。各章の結果より、提案したシミュレーションを活用したエネルギーマネジメント手法が有効であることが示され、研究の目的を達成した。蓄熱システムおよび CGS を導入する建物の省エネルギー検討への活用を期待する。また、今後の展望として実運用において常に省エネルギーな運用を可能とするためには自動化など利便性や操作性を向上が重要であり、省エネルギーかつ施設管理者の負担軽減を目指したツールの開発など取り組んでいきたい。

以上