

東京大学における空調用エネルギー消費の実態と省エネ化に向けた提案
その2 工学部1号館を対象とした省エネルギー効果の試算

正会員 ○金田一 清香*
正会員 柳原 隆司**
正会員 河野 匡志***
正会員 坂本 雄三****

東京大学 キャンパス 省エネルギー
非住宅建築物 空調用エネルギー LCEM

1. はじめに

前報では東京大学における省エネルギー対策の現況について述べるとともに、本郷キャンパス工学部1号館(以下、1号館と呼ぶ)を例にとりセントラル空調熱源システムの実測結果について分析を行った。本報では、まず熱負荷計算により冷房期間を通した負荷特性を推定した後、LCEM (Life Cycle Energy Management)を用いたシステムシミュレーションにより今後のキャンパス省エネルギー化に向けた具体策を提示することを目的とする。

2. 数値シミュレーションによる省エネ化対策の検討

2.1 シミュレーションの概要

前報では1号館の空調熱源の実測結果を分析し、運用上の問題点を抽出した。本研究では数値シミュレーションにより空調システムの省エネ化対策について検討する。実測は08年9月の約1週間に限られたため、冷房期間を通した二次側(空調側)の熱負荷はFACES2003 (Forecasts of Air-conditioning System's Energy, Environmental and Economic Performance by Simulation 2003)内のFACES_ACLDを用いて計算した。

熱源機およびシステム全体のエネルギー消費量の計算にはLCEMを用いた。LCEMはエクセル上で操作可能な計算シートに外気条件、室内条件、メーカー毎の機器の仕様、性能、空調負荷等を入力することによって、空調設備システムの1時間毎のエネルギー消費量を予測するものである。本稿では1号館旧館に設置されたガス焚冷温水発生機(冷凍能力240RT)を対象に、上記のFACESから得られた熱負荷を与えたときのエネルギー消費量を計算する。

2.2 数値シミュレーション結果の妥当性

2.2.1 FACESによる計算結果

FACESにおける入力条件を表1に示す。図2において、計算で得られた毎時熱負荷と、前報の実測結果を比較している。実測期間において実測値と計算値の平均誤差は約1%となり、本検討では夏期冷房期間の空調負荷を予測するシミュレーションツールとしてFACESを用いることとした。

2.2.2 LCEMによる計算結果

LCEMの入力条件を表2に示す。LCEMにはメーカーから提示される機器の性能を基にした計算式が組み込まれている。ガス消費率は冷温水発生機の負荷率(以下、負荷率)、冷却水入口温度、冷却水流量比、冷温水出口温度の関数で表されている。今回、冷却水ポンプは常に定流量、つまり定格流量での運転だったため冷却水流量比は常に100%とした。ここで、負荷率がガス消費率に及ぼす影響を比較するため、冷却水入口温度および冷温水出口温度に期間中の平均値(それぞれ26.3°C、12.2°C)を代入し、ガス消費率を負荷率の関数として簡略化した。

図1にメーカー提示性能を与えたときの負荷率とガス消費量の関係を示す。前報の実測から得られた安定運転時(6:00~24:00)の性能(以下、現性能)と比較すると、現状の方がエネルギー消費量が大きくなっているのがわかる。一次近似式において、両者の切片を一致させたときの傾きを比較すると、現性能ではメーカー提示性能に比べて約1.8倍のガスを消費している結果となった。

そこで、メーカー提示性能に基づくガス消費率の関数に前述の傾きの比1.4002/0.7739を乗じた関数が現性能を再現する計算式であると仮定して実測期間を対象に計算を行った。結果、図3のように実測期間中において実測値と計算結果の平均誤差は8%となり、本検討ではこの関

表1 FACES入力条件

都市	東京	窓面積比	北側:0% その他:30%
電力会社	東京電力	空調面積比	B1:20% 1F:40% 2,3F:70%
ガス会社	東京ガス	運転時間	5:00~24:00
空調設定温度	26°C	運転曜日	日~土曜日
相対湿度	50%	発熱量	人 0.20人/m ²
延床面積	10131m ²	照明	20W/m ²
規模	地上3階、地下1階	機器	15W/m ²
形状	箱型	運転スケジュール	5:00 運転開始 7:00 室使用開始 24:00 運転終了
コアタイプ	セントラルコア		
アスベスト	無:実行=1.5:1		
内部発熱		6:00-8:00	9:00-11:00
		12:00	13:00-16:00
		17:00-24:00	
	人	20%	100%
	照明	50%	100%
	機器	70%	100%

表2 LCEM入力条件

冷水出口温度	12°C
循環推量	2420L/min
外気乾球温度	FACES内蔵のデータ
外気乾球湿度	FACES内蔵のデータ
運転時間	5:00-24:00
冷水入口温度	FACES計算結果をもとに冷水出口設定温度から算出

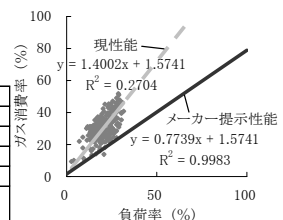


図1 メーカー提示性能と現性能の比較

数を用いてガス消費量の推定を行うこととした。

2.3 省エネ化対策例とその効果

2.3.1 熱源機1台で全館を空調する場合

旧館系統と新館系統をつなぐバックアップ配管を開放したとして、現性能の旧館熱源1台で1号館全館を空調することが可能であるかを検討した。シミュレーション結果として、図4に最高負荷日であった8月10日の負荷率の変化を示す。最高負荷率は14:00~16:00の70%であり、これより旧館熱源1台で夏期冷房期間を通して1号館全館を空調することが可能であることが示された。これは現在ある熱源機3台のうちの1台を、現性能のまま使用した場合を想定しているため、機器更新は不要であり、実現可能性の高い対策であると考えられる。

2.3.2 二次ポンプの運転改善

ここでは、旧館熱源1台のみを使用し、二次ポンプは4台中2台を熱源の稼働時間に合わせて使用した場合の省エネ効果を試算する。この対策を実施すると、まず新館熱源の停止により、同系統に存在する機器の電力は全て0になる。また、旧館系統の二次ポンプ4台のうち稼働する2台分の電力も、熱源の稼働時間(5:00~24:00)以外は0とした。

(1) 9月20日(土)~25日(木)の省エネルギー化効果

実測期間に該当する9月20日(土)~25日(木)において同対策を行った場合の省エネルギー化効果の算出結果を表3に示す。ガス消費量が341 m³、電力消費量が5,052 kWhの削減となり、金額および二酸化炭素排出量に換算すると、ガス・電力合計でそれぞれ約10万円、約2.5トンの削減であった。二酸化炭素排出量の削減率は現状の約12トンに対して約22%となり、TSCP-2012の大型熱源系における削減目標値の6.3%を大幅に超える結果となった。さらに、同期間の平均負荷率は現状の17.9%から28.5%に上昇し(図5)、平均システムCOPも0.41から0.52に上昇すると予測された(図6)。

(2) 夏期冷房期間の省エネルギー化効果

さらに、同様の省エネルギー化施策を夏期冷房期間の6月1日から10月31日まで実施した場合の効果を試算した。9月20日(土)~25日(木)のガス消費削減量は、実測値の3,305 m³と計算値の2,964 m³から341 m³と算出される。これは計算値の11.5%となる。したがって、熱源1台のみを使用して夏期冷房期間、1号館全館を空調した場合のガス消費量90,478 m³のうち11.5%が削減量に相当するとした結果、ガス消費量の削減量10,405 m³と計算される。一方、電力消費量に関しては十分な情報が得られなかったため、実測期間を対象に行った省エネルギー化施策の効果が夏期冷房期間を通して同様に続くことと仮定して削減量を試算

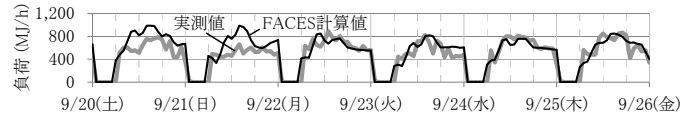


図2 実測とFACES(計算)による負荷

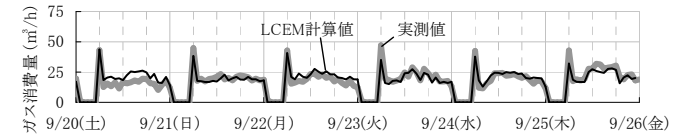


図3 実測とLCEM(計算)によるガス消費量

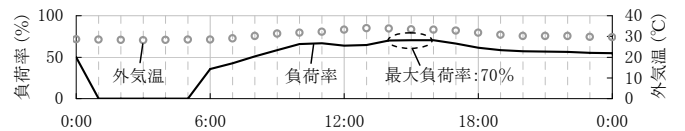


図4 旧館熱源機1台で全館空調を行う場合の負荷率(8月10日)

表3 運転改善による省エネ効果

	現状 (熱源3台) (実測値)	省エネ化後 (熱源1台) (計算値)	削減量	削減率(%)
9月20日(土)~25日(木)				
ガス(m ³)	3,305	2,964	341	10.3
電力(kWh)				
旧館熱源1系統	2,691			
旧館熱源2系統	2,860	5,551	0	0.0
新館系統	3,710	0	3,710	100.0
2次ポンプ4台	2,292	950	1,342	58.6
電力合計	11,553	6,501	5,052	43.7
ガス起因CO2(t-CO2)	7,635	6,847	788	10.3
電力起因CO2(t-CO2)	4,251	2,392	1,859	43.7
合計	11,886	9,239	2,647	22.3

*換算係数

コスト ガス: 110円/m³、電力13円/kWh

CO2排出量 ガス: 2.31kg-CO2/m³、電力0.368kg-CO2/kWh

2008年現在 東京ガス、東京電力ホームページより

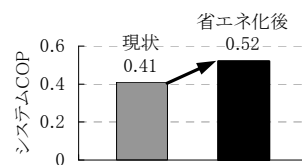


図5 省エネ化によるシステムCOPの変化

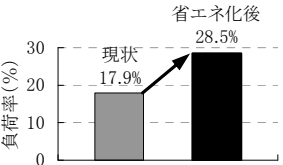


図6 省エネ化による負荷率の変化

した結果、128,826kWhの削減であった。以上より、夏期冷房期間を通じた省エネルギー化効果は金額、二酸化炭素排出量に換算すると、約280万円、70トンであると予想された。

3. まとめ

東京大学工学部1号館を対象に、LCEMを用いたシステムシミュレーションにより省エネルギー化の効果を検討したところ、現状の熱源機はメーカーの提示性能より約80%多くガスを消費していることがわかった。また、空調熱源の使用台数を現状の3台から1台に減らしても夏期の空調負荷に対応可能であり、シーズンで約280万円、二酸化炭素70トンの削減が可能と予測された。

* 東京大学大学院工学系研究科 特任助教・博士(工学)
 ** 東京大学大学院工学系研究科 特任教授・博士(工学)
 *** 東京大学 TSCP 室 特任専門職員・修士(工学)
 **** 東京大学大学院工学系研究科 教授・工学博士

* Project Assistant Prof., Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 ** Project Prof., Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 *** Project Specialist, TSCP, The Univ. of Tokyo, M.Eng.
 **** Prof., Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.