

大学施設における環境負荷削減手法に関する研究
その6 ビル用マルチ式空調の運転状況調査と省エネ化の検討

A Study of Environmental Load Reduction Technique for University Facilities
Part6 : Investigation of operational status in a multi-split air-conditioning system and
consideration of energy savings

正会員 ○村山 紘之 (ダイキン工業) 正会員 塩地 純夫 (ダイキン工業)
正会員 河野 匡志 (東京大学) 正会員 柳原 隆司 (東京大学) 正会員 坂本 雄三 (東京大学)
Hiroyuki MURAYAMA*¹ Sumio SHIOCHI*¹
Masashi KAWANO*² Ryuji YANAGIHARA*² Yuzo SAKAMOTO*²
*¹ Daikin Industries. Ltd. *² The University of Tokyo

We investigated operational status in a multi-split air-conditioning system in the University of Tokyo. We inferred an annual thermal load from the measurement capacity of the system. Using the inferred thermal load as an input condition, we carried out annual energy simulations by LCEM and evaluated energy saving effect of renewal of the system, change of evaporating temperature and change in size of the system.

はじめに

東京大学では、サステイナブルキャンパスの実現を目指して、H20年7月より東大サステイナブルキャンパスプロジェクト¹⁾(以下TSCP)を立ち上げ、多岐にわたる環境負荷を先導的に低減する取り組みを開始している。東京大学では、プロジェクトを円滑に進めるため、学内外の連携組織を構築しており、そのなかの一つとして、平成20年12月に産学連携研究会を発足している。

産学連携研究会では、空調や照明、実験用機器メーカーなど様々な分野から民間のノウハウや情報交換を行うことを目的に、中長期的な課題に取り組むワーキンググループや短期的な課題に取り組むタスクフォースを立ち上げ検討を行っている。本研究は、大学キャンパス内にある機器の高効率化に向け、ワーキンググループの活動の一環として、本郷キャンパス内にある医学系の建物を対象に、ビル用マルチ式空調の夏期における空調能力及び消費電力と室内温度を計測した。またこの計測結果を基に、空調能力の期間計測値を用いて推定した年間熱負荷とLCEM(Life Cycle Energy Management)による年間エネルギー計算を実施した。計算結果より、ビル用マルチ式空調の旧機種から新機種への更新、蒸発温度の上昇、空調機容量の変更といった改善の省エネ効果を評価した。

1. 夏期実運転データの計測

1.1 対象系統

東京大学本郷キャンパス医学系用途建物(地上14階地下2階)の3階の教官・院生室における、ビル用マルチ式空調10馬力×2系統(H12年設置)を計測対象とした。

対象室のイメージ及び空調機器構成を図-1に示す。

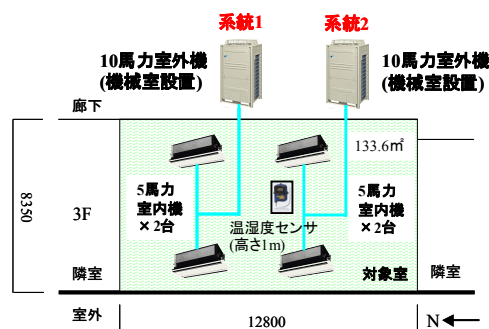


図-1 対象室のイメージ及び空調機器構成

1.2 計測期間、計測項目及び方法

H21年7月23日～8月4日の13日間、対象室の室内温度及び対象2系統の空調能力、消費電力を計測した。

室内温度は、温湿度センサを系統2の室内機2台の間にある什器に吊り下げて、床面から高さ約1mの地点を計測した。空調消費電力は電力計により計測した。

空調能力はサービスチェッカー装置(メーカー独自の装置)により空調機内部センサからの運転情報を取得し、コンプレッサカーブ法を用いて算出した。

冷房運転時の空調能力 Q_c は、式(1)の様に、室内機のエンタルピ差 Δi に冷媒循環量 G を乗じたものから、室内機ファン動力 W_i を減じる事で算出した。

$$Q_c = \Delta i \times G - W_i \quad (1)$$

冷媒循環量は蒸発圧力相当飽和温度 T_e 、凝縮圧力相当飽和温度 T_c より、式(2)で示す特性式から算出した。

$$G = f(T_e, T_c) \quad (2)$$

冷凍サイクルと内部センサ位置の関係を図-2 のモリエル線図上に示す。これらのセンサの値から、冷凍サイクルの状態を把握できることがわかる。

1.3 計測結果及び考察

(1) 室内温度

計測期間中の代表日(H21年7月24日)における、室内温度と系統2の室内機設定温度の比較を図-3に示す。室内機運転時間帯において、室内温度は設定温度と概ね一致していることが確認できた。

(2) 室外機能力(負荷率)、消費電力及びCOP

計測期間における系統1の1日ごとの室外機積算能力、積算消費電力量及び期間COPを図-4に示す。運転時間での室外機の平均負荷率(ここでの負荷率は能力計測値÷定格能力で定義)を図-5に示す。室外機負荷率とCOP定格比の関係を図-6に示す。

前報告²⁾にもあるように、負荷率が低くインバータ制御周波数の下限値以下の運転(On-off稼働)が主体となり、発停ロスが相対的に大きくなっていることから、全体的にCOPが低い傾向を示している。

2. エネルギー計算による検討

2.1 年間熱負荷の推定

(1) 限定された期間の能力計測値からの年間全熱負荷の推定

空調の能力計測値が熱負荷であるという仮定のもと、H21年7月23日～8月4日の能力計測値と拡張アメダス標準年気象データから、年間熱負荷(24時間×365日)を推定した。

全熱負荷は外気温の一次関数で表されると仮定し、計測期間におけるアメダス外気温と冷房能力計測値の関係をプロットし近似式を作成した。暖房については能力を計測していない。そこで、オフィスでのAPF算出手法を参考に、暖房負荷がゼロとなる外気温を11℃、定格暖房条件(0℃)での暖房負荷を定格冷房条件(35℃)での冷房負荷の0.55倍と仮定し、暖房負荷に関する外気温の一次関数を作成した。

年間全熱負荷推定に用いた外気温と全熱負荷の関係を図-7に示す。この図を基に、拡張アメダス標準年気象データから年間の全熱負荷を推定した。

(2) 全熱負荷の潜顕熱分離

室内達成温湿度も含めた適切なエネルギー計算を行うためには、推定した全熱負荷を潜熱と顕熱に分離する必要がある。

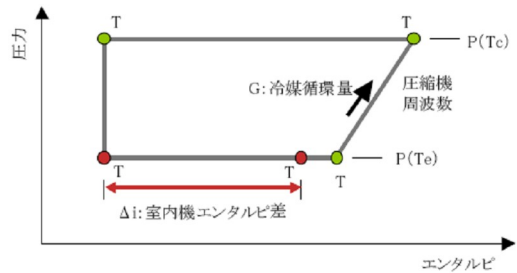


図-2 冷凍サイクルとセンサ位置の関係

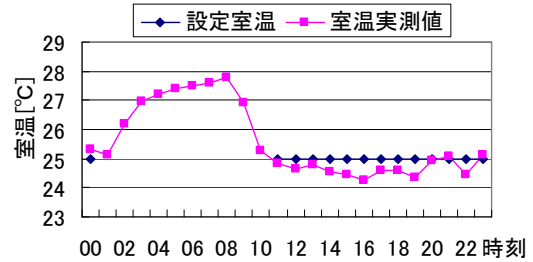


図-3 室内温度と系統2の室内機設定温度の比較(7月24日、室内機offの時間帯は設定温度非表示)

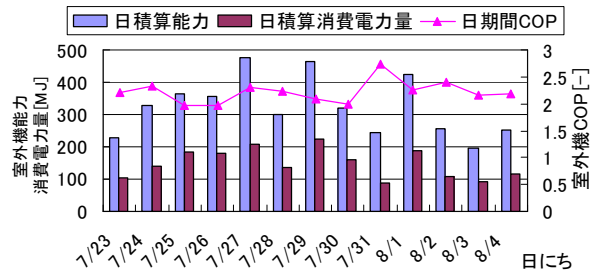


図-4 1日ごとの室外機積算能力、積算消費電力及び期間COP(系統1)

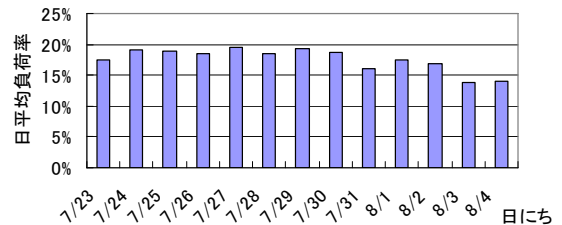


図-5 1日ごとの運転時間での室外機平均負荷率(系統1)

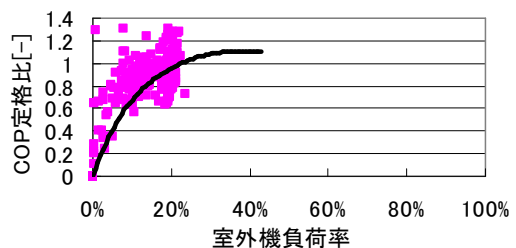


図-6 室外機とCOP定格比の関係

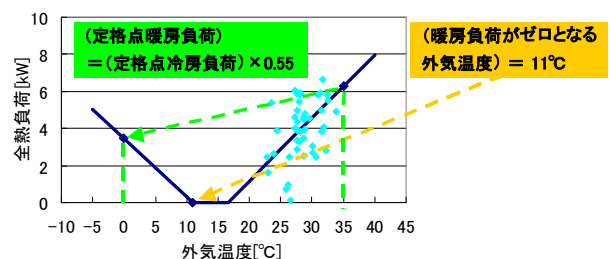


図-7 外気温と全熱負荷の関係

分離の際の負荷顕熱比は外気相対湿度の一次関数であると仮定した。BEST(Building Energy Simulation Tool)を用いて標準的なオフィスモデルの年間熱負荷を計算し、計算結果から外気相対湿度と負荷顕熱比の関係をプロットすることで近似式を作成した。標準オフィスモデルの概要を図-8、外気相対湿度と負荷顕熱比の関係を図-9に示す。これらを基に、拡張アメダス標準年気象データから年間の全熱負荷を潜熱と顕熱に分離した。

2.2 年間エネルギー計算

(1) 計算ケースの想定

計算ケースとして、以下に示す5ケース(表-1に機器表を示す)について、LCEMを用いた代表2系統での年間エネルギー計算を実施し、改善①~④の省エネルギー効果を評価した。このなかで改善②は、更新に加えて蒸発温度(室内機コイル表面温度)を通常(6°C)より高く制御することで、圧縮機吸入の冷媒密度を大きくし、圧縮機効率を向上させる改善手法である。

また、年間エネルギー計算における空調運転条件及び負荷条件を表-2に示す。

- ・ 既設(旧機種: H12年設置)
- ・ 改善①: 更新(旧機種→新機種)
- ・ 改善②: 更新+蒸発温度上昇(6°C→9°C)
- ・ 改善③: 更新+容量変更1(1系統10馬力→8馬力)
- ・ 改善④: 更新+容量変更2(1系統10馬力→5馬力)

(2) LCEMツールの改良検討

a 旧機種温度特性のLCEMへの組み込み

LCEMでのビル用マルチ式空調の室外機能力と消費電力は、以下の式(3)、式(4)で計算される。

$$(能力) = (定格能力) \times (温度補正係数) \times (接続容量補正係数) \quad (3)$$

$$(消費電力) = (定格消費電力) \times (温度補正係数) \times (負荷率補正係数) \quad (4)$$

LCEMのビル用マルチ式空調モデルに組み込まれている温度補正係数テーブルは最新機種のものであり、既設の計算を行う場合、旧機種のものに作り変える必要がある。そこで旧機種の温度特性の技術資料から、式(5)及び式(6)に示す温度特性式を作成し、それを基にLCEM内の温度補正係数テーブルを作り変えた。

$$(室外機能力の温度補正係数) = a_1 + a_2(T_{wb,i}) + a_3(T_{wb,i})^2 + a_4(T_{db,o}) + a_5(T_{db,o})^2 + a_6(T_{wb,i})(T_{db,o}) \quad (5)$$

$$(室外機消費電力の温度補正係数) = b_1 + b_2(T_{wb,i}) + b_3(T_{wb,i})^2 + b_4(T_{db,o}) + b_5 \times (T_{db,o})^2 + b_6(T_{wb,i})(T_{db,o}) \quad (6)$$

$T_{wb,i}$: 室内空気湿球温度[°C] $T_{db,o}$: 外気乾球温度[°C]

$a_1 \sim b_6$: 特性式の係数[-]

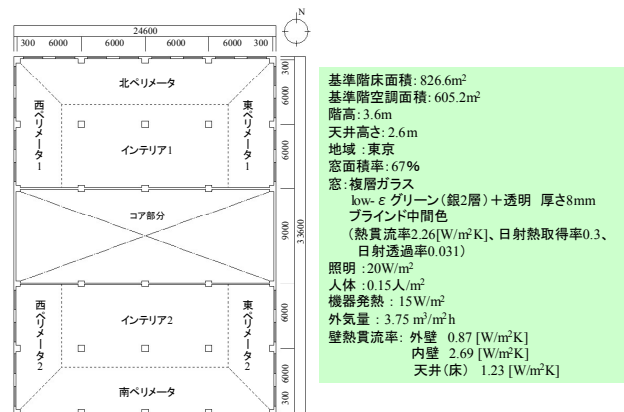


図-8 標準オフィスモデルの概要

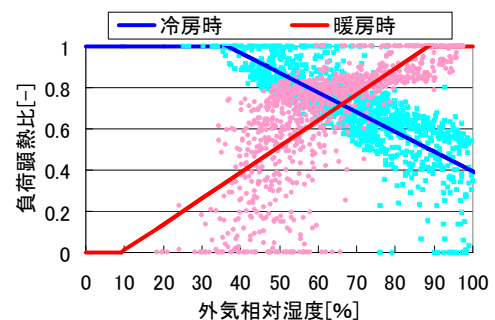


図-9 外気相対湿度と負荷顕熱比の関係

表-1 各ケースにおける機器表

室外機種種類	機器仕様
旧機種、10馬力	定格能力:冷房 28.0kW 暖房 31.5kW 定格消費電力:冷房 11.8kW 暖房 10.5kW 定格 COP:冷房 2.37 暖房 3.00
新機種、10馬力(更新)	定格能力:冷房 28.0kW 暖房 31.5kW 定格消費電力:冷房 7.64kW 暖房 8.59kW 定格 COP:冷房 3.66 暖房 3.67
新機種、8馬力(更新+容量変更1)	定格能力:冷房 22.4kW 暖房 25.0kW 定格消費電力:冷房 5.24kW 暖房 6.42kW 定格 COP:冷房 4.27 暖房 3.89
新機種、5馬力(更新+容量変更2)	定格能力:冷房 14.0kW 暖房 16.0kW 定格消費電力:冷房 3.36kW 暖房 3.91kW 定格 COP:冷房 4.17 暖房 4.09
室内機種種類	仕様(天井カセット2方向)
旧機種	定格能力:冷房 14.0kW 暖房 16.0kW 定格消費電力:冷房 0.206kW 暖房 0.173kW
新機種、5馬力(更新)	同上
新機種、4馬力(更新+容量変更1)	定格能力:冷房 11.2kW 暖房 12.5kW 定格消費電力:冷房 0.165kW 暖房 0.132kW
新機種、2.5馬力(更新+容量変更2)	定格能力:冷房 7.1kW 暖房 8.0kW 定格消費電力:冷房 0.131kW 暖房 0.098kW

表-2 空調運転条件及び負荷条件

項目	条件
空調期間	冷房 6月~9月, 暖房 12月~3月
空調運転時間	平日の 8:00~18:00
室内基準温湿度	冷房期: 26°C50%, 暖房期: 22°C40%
外気条件	拡張アメダス標準気象データ
負荷条件	前章で説明した手法により年間の顕熱負荷, 潜熱負荷を推定

旧機種 of 冷房時における技術資料の室外機能力及び消費電力と、特性式から計算した室外機能力及び消費電力の比較を図-10に示す。この図から、特性式によって室外機の温度特性が良く再現されていることが確認できた。

(3) 計算結果と考察

a 期間消費電力量計算結果

各ケースにおける冷房期間、暖房期間及び年間の消費電力量及び改善による削減効果について表-3に示す。

更新による年間の削減効果は 25%という計算結果を得た。更新により室外機の COP が上昇することで、消費電力量が削減されたといえる。また、更新+蒸発温度変更(3°C上昇)による年間の削減効果は 30%という計算結果を得た。蒸発温度を上昇させることで、室外機の冷房期間における COP が上昇し、さらに室内機の潜熱処理負荷量が減少するため、更新のみから更に消費電力量が削減されたといえる。さらに、更新+容量変更による年間の削減効果は、1系統 8馬力の場合で 41%、5馬力の場合で 50%という計算結果を得た。同機種でも 10馬力よりも 8馬力または 5馬力の室外機定格 COP の方が大きい、容量を小さくすることで COP の低い低負荷率での運転時間が減少する、室内機の定格消費電力が減少する、といった理由から削減効果が向上したといえる。

b 蒸発温度による室内達成湿度の比較

H21年7月6日における室内達成湿度を図-12に示す。蒸発温度を 3°C上昇させることで、室内機の潜熱処理負荷量が減少し、室内の達成湿度が平均で 2.3%上昇するという計算結果を得た。多少の湿度上昇は見られたが、室内環境に大きな問題はないと考えられる。

3. まとめ

本報では、夏期の実測結果を基に、LCEMによる年間エネルギー計算を実施し、ビル用マルチ式空調の省エネ改善の効果を評価した。旧機種から新機種への更新では 25%、更新+蒸発温度変更(3°C上昇)では 30%、更新+容量変更(10→8馬力)では 41%、更新+容量変更(10→5馬力)では 50%という年間削減効果の試算結果を得た。

今後の課題として、年間熱負荷推定に関するより論理的で妥当性の高い手法の確立、更新実施後の計測値と計算値の比較による評価手法の妥当性の検証が挙げられる。

参考文献

- 1) 迫田他：東京大学におけるサテライトキャンパス活動，日本建築学会技術報告集，第15巻第30号（2009.6）
- 2) 河野他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その5 個別分散空調の調査結果分析と更新手法の提案，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，（2010.9発表予定）

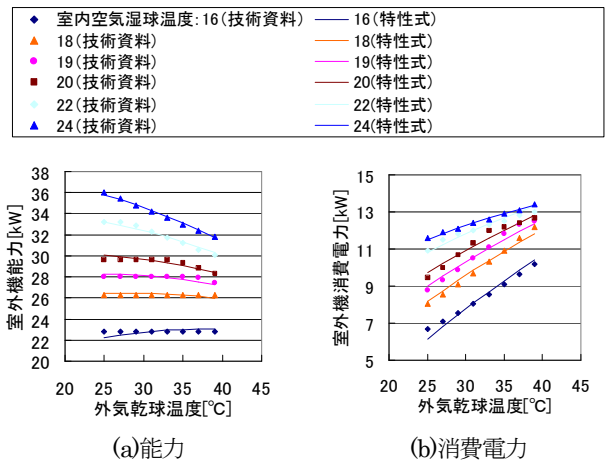


図-10 旧機種 of 技術資料と特性式による温度特性（冷房時）

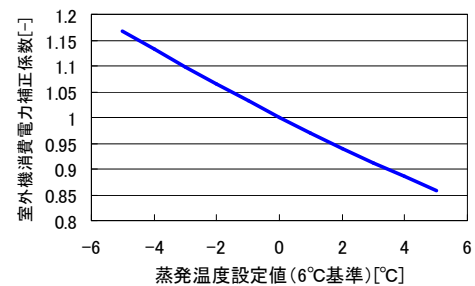


図-11 消費電力の蒸発温度補正係数

表-3 各ケースにおける期間消費電力量

項目		消費電力量(GJ)			削減効果	
		室外機	室内機	合計	削減量(GJ)	削減率(%)
冷房期間	既設	11.2		13.7	基準	基準
	改善①	7.1	2.5	9.6	4.1	30%
	改善②	6.2		8.8	4.9	36%
	改善③	5.5	2.0	7.5	6.1	45%
	改善④	4.8	1.6	6.4	7.3	53%
暖房期間	既設	1.1	2.1	3.2	基準	基準
	改善①	1.0		3.1	0.1	5%
	改善③	0.9	1.6	2.5	0.7	22%
	改善④	0.8	1.2	2.0	1.2	37%
年間	既設	12.3		16.9	基準	基準
	改善①	8.0	4.6	12.6	4.2	25%
	改善②	7.2		11.8	5.1	30%
	改善③	6.4	3.6	10.0	6.8	41%
	改善④	5.6	2.8	8.4	8.5	50%

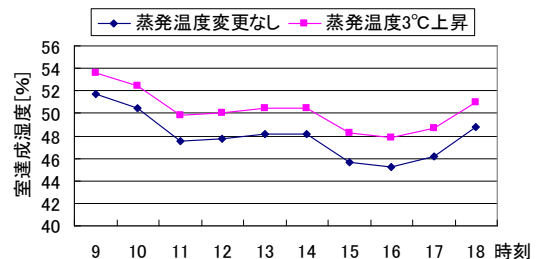


図-12 室内達成湿度 (H21年7月6日)

謝辞：本研究は、東京大学 TSCP 室に組織した TSCP 産学連携研究会の中の機器高効率化方策検討 WG において検討した成果を含んでいる。同会の関係者にここに記して深く謝意を表したい。