

大学施設における環境負荷低減手法に関する研究
その8 個別分散熱源に関する更新対策と効果検証

A Study of Environmental Load Reduction Technique for University Facilities
Part8 Measures of the Multi-split air-conditioning system and effect after renewal

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)
正会員 鈴木 雅富 (ダイキン工業) 正会員 塩地 純夫 (ダイキン工業)

Masashi KAWANO*¹ Ryuji YANAGIHARA*¹ Yuzo SAKAMOTO*¹

Masatomi SUZUKI*² Sumio SHIOCHI*²

*¹ Tokyo University *² Daikin Industries.Ltd.

This paper reports the result of measures and effect of the Multi-split air-conditioning system in the University of Tokyo. We reduced the capacity of renewal facilities approximately 30% using a benchmark about the ability of the Multi-split air-conditioning system, and grasped an effect and a problem based on operative data after measures.

はじめに

東京大学(以下、本学)は、サステナブルキャンパスの実現を目指して、2008年7月より東大サステナブルキャンパスプロジェクト(以下、TSCP)¹⁾を始動している。TSCPでは、本学全体のCO₂排出総量削減をアクションプランに掲げ、既に様々な省CO₂対策を進めている。本報ではTSCPの一環で実施した各種機器の導入実態調査結果を基に、なかでも特に台数・機器容量の多い個別分散空調機に着目し、集計結果の詳細分析をさらに進め、実建物における対策実施と導入後の運用・評価を含めた検討を行った。以下にその結果を報告する。

1. 個別分散空調機の導入実態調査

TSCP活動において、各種設備機器の導入量調査を行った結果、空調用の熱源設備の占める比率が高く、なかでも個別分散空調機は、個別要求に対応できる機器として最も導入容量が多いことを把握している。

表-1に本学の主要5キャンパス(本郷・駒場I・駒場II・柏・白金)における調査結果を示すが、個別分散熱源機器の合計容量は96,133[kW](約34,300[馬力]相当)となっている。これらの個別分散機器について、図-1に各室に導入されている室内機の冷房能力を室床面積で除した能力原単位を集計(調査中を含め詳細が未把握の室は除外)した結果を示す。これをみると、室床面積は20~30[m²]の室数が最も多くなっており、能力原単位については、全体的に200~250[W/m²]の室の比率が高く、なかには500[W/m²]以上と非常に高い原単位を示す室もあることがわかる。また20[m²]以下の規模の小さな室においては、比較的能力原単位の大きな室の比率が高いことがわかる。

既報²⁾において、この能力原単位の大きな室を対象に短期計測を行い、夏期及び冬期の代表日においても負荷率が20[%]以下と低く、効率の低い運転領域における稼働実態を把握している。しかし、導入台数の多い個別分散空調機について各々計測し、適正な容量に見直しを行うことは困難であるため、本学では機器選定時の容量過大化を抑制するためベンチマークに関する検討を行った。

表-1 個別分散熱源機器の調査結果一覧

項目	容量[kW]		台数[台]	
	室外機	室内機	室外機	室内機
本郷	50,650	49,582	4,851	6,816
駒場I	18,404	16,141	915	2,332
駒場II	11,647	調査中	341	調査中
白金	6,803	5,790	590	733
柏	8,629	6,929	214	1,016
合計 ^{†1}	96,133 (52,698)	78,442	6,911 (1,662)	10,897

†1()内はビル用マルチの容量及び台数の内訳を示す

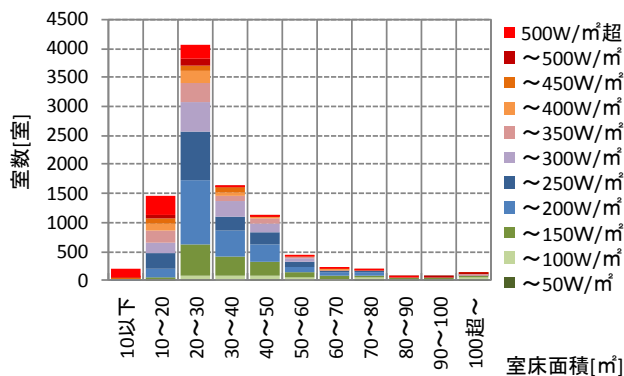


図-1 個別分散空調機的能力原単位集計結果

具体的には、表-2 に示すように、本学における設計データを活用し、室用途毎の設計負荷について冷房最大負荷原単位の分類を行った。建物外皮負荷については、窓面積率や室配置などによっても変動するものの、非実験系の室においては、最大の合計値をとっても講義室の203[W/m²]であった。また実験系の室については、実験用機器発熱や外気負荷のばらつきが大きく、合計値も125~379[W/m²]と幅があることがわかった。

一般的に個別分散空調機的设计では、これらの冷房最大負荷に安全率を乗じて算出した必要能力を満たす室内機型番を選定する。また特にビル用マルチ方式は、冷媒配管長・高低差や経年劣化等を考慮した補正係数を用いて室外機型番を選定することで、最終的な機器容量は設計最大負荷に比べ大きくなる傾向が顕著である。

このため本学では、室内機型番の選定の際、選定機の冷房能力を対象室の床面積で除した能力原単位に関するベンチマークを定めることとした。ベンチマークについては、学内で運用しながら適宜見直す必要があるものの、現時点の数値として、表-2 に示した実態も参考にしつつ、非実験系用途の室については、原則 200[W/m²]以下、実験系用途の室については、実験用機器発熱が大きい場合(大型電算機など特殊設備)は個別検討という扱いをした上で 250[W/m²]以下とした。さらに室外機選定時に用いる各種補正係数についても、必要能力を極力増大させないように配慮した設計を行うこととした。この更新基準については、本学が独自に全学指針として定めている。

2. 実建物における学内指針の運用

学内指針に定めたベンチマークに基づき、対策を行った建物の概要を表-3 に示す。また、図-2~図-4 に各建物の更新前後の機器容量・能力原単位の変化を示す。

表-3 指針を適用し更新対策を実施した建物概要

項目	建物①	建物②	建物③
建物規模	B1F+7F	B1F+8F	4F→8F(増床)
建築面積(m ²)	2,210	2,558	1,727
延床面積(m ²)	9,221	18,933	7,087→10,253
用途	文科系	理工系	文科系

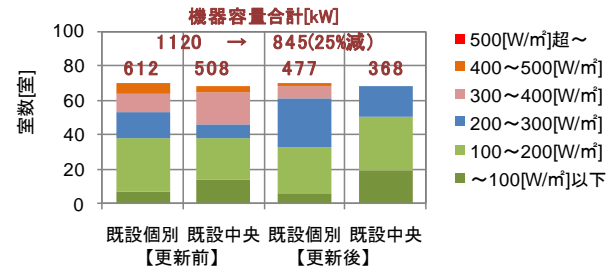


図-2 建物①における能力原単位・機器容量の変化

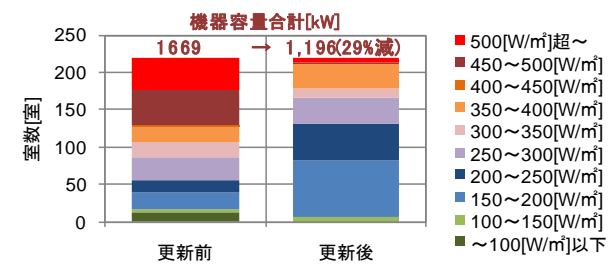


図-3 建物②における能力原単位・機器容量の変化

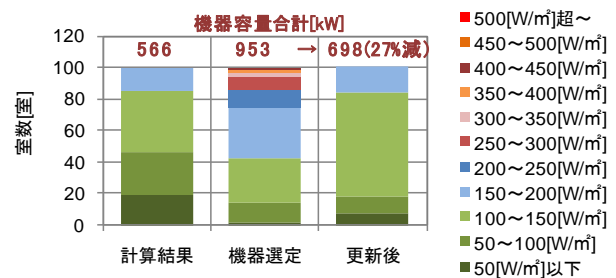


図-4 建物③における能力原単位・機器容量の変化

表-2 本学における空調負荷設計データの一例

室用途	室面積(m ²)	主方位	外皮負荷(W/m ²)			内部発熱負荷(W/m ²)			外気負荷(W/m ²)	最大合計(W/m ²) ^{†1}
			最上階	中間階	最下階	人体	照明	機器		
非実験系	教員室	N	48.8	26.3	21.3	16.8	20.0	50.0	38.0	174
		SE	50.6	39.6	45.8	14.7	11.9	63.9	21.4	163
	事務室	S	60.9	47.0	42.1	13.6	18.0	30.0	14.0	137
		NW	37.7	28.4	34.5	12.2	14.8	50.0	18.1	133
	会議室	S	60.9	47.0	42.1	21.0	12.0	10.0	50.8	155
		SW	30.6	32.3	29.8	58.9	19.0	10.0	41.3	160
講義室	S	60.9	47.0	42.1	34.9	18.0	18.0	71.3	203	
	SE	50.6	39.6	45.8	32.8	15.8	50.0	49.6	199	
実験系	研究室	S	60.9	47.0	42.1	12.9	18.0	20.0	12.9	125
		SE	50.6	39.6	45.8	17.1	10.3	250.0	24.5	353
	物理系実験室	N	48.8	26.3	21.3	17.9	18.0	179.0	62.0	326
		NW	37.7	28.4	34.5	10.7	9.7	250.0	61.6	370
	化学系実験室	N	48.8	26.3	21.3	29.0	18.0	50.0	89.0	235
		NW	37.7	28.4	34.5	18.1	10.9	250.0	61.9	379
	生物系実験室他	S	60.9	47.0	42.1	34.9	18.0	120.0	73.7	308
		NW	37.7	28.4	34.5	13.1	10.6	203.4	19.7	285

†1 外皮負荷について、最上階の値を用いて計算

建物①は、中央式と個別分散式の併用熱源を全て個別分散式へ変更するにあたり、ベンチマークを最初に適用した建物である。設計時に能力原単位を集計した結果、**図-2**左に更新前を示すが、文科系用途の建物であるものの原単位の大きな室の比率が高いことがわかった。このため、室使用実態を踏まえつつ、最大でも非実験系の能力原単位 200[W/m²]以下となるように見直しを行った結果、**図-2**右に更新後を示すが能力原単位の小さな室の比率が高くなり、合計容量で約 25%(1,120→845[kW])の削減を実現した。また建物②は理工系建物でエネルギー消費量の大きい建物であることから、TSCPにおける省CO₂対策の一環で更新対策を実施し、建物③については、耐震改修にあわせて設備更新を行う際に、負荷計算結果を受けて選定した機器容量が過大となっていたため見直しを行った。これらの結果として、約3割の容量削減となり、費用対効果を大幅に改善する更新計画を実現した。

3. 更新後における運用実態の把握

3.1 計測概要

ベンチマークを適用した建物①について、竣工後の運用実態について計測を行った。計測対象は、**表-4**に示す室外機 13 系統とし、室内外機の運転状況(負荷率・設定温度・COP など)について、遠隔によるデータ収集・制御を実施した。本論文では、計測を開始した平成 22 年 12 月 1 日から平成 23 年 2 月 8 日までの計 70 日間について、主に暖房運転について解析した結果を以下に示す。

3.2 室外機における運用実態に関する分析

機器更新後の暖房運転負荷率(実測負荷÷室外機定格能力)を系統毎に集計した結果を**図-5**に示す。**図-5**の上図は暖房運転における負荷率を示すが、各系統ともに 10~20[%]を中心とした低負荷率帯における運転時間が長くなっており、機器容量を低減したことによる能力不足はみられなかった。また**図-5**の下図に示すように、能力原単位の大きなサーバ室などの系統については、冬期冷房運転となっており、最大の負荷率は 20[%]未満と暖房に比べてさらに低い負荷率を示していることがわかった。

次に各室外機系統に接続されている室内機の設定温度と室外機負荷率、COP に関する集計結果を**表-5**に示す。

各室外機系統ごとに平均温度が異なっており、室内機の接続台数によらず標準偏差にばらつきがみられる。天井の高い室など設定温度を高めにする傾向を考慮しても、学内で啓発している暖房時の室内温度 20[°C]の運用から外れている系統があることがわかった。

次に**表-5**において室内機設定温度平均値及び標準偏差が大きな ACM-11 系統、逆に小さな ACM-19 系統について室外機の負荷率と COP の散布をそれぞれ**図-6**に示す。

標準偏差の大きな前者では、低負荷領域まで散布がばらついているものの、後者は、ばらつきが少なく負荷率 40[%]付近の COP 値も高くなっている。

表-4 評価対象の設備系統概要

系統名	室用途	機器容量[kW]		接続比 [%]†1
		室外機	室内機	
ACM-10	試験室, 書庫	45	44.5	99
ACM-11	撮影室, 測定室	28	27.6	99
ACM-12	ラウンジ, エントランスホール	100	96.4	96
ACM-13	講義室, 外気処理室	95	61.6	65
ACM-14	資料室, 企画室	50	46.4	93
ACM-15	資料室, 研究室, 教官室, 事務室, 談話室等	80	76.2	95
ACM-16	サーバ室	28	28	100
ACM-17	資料室	28	28	100
ACM-18	資料室	69	66.2	96
ACM-19	資料室	33.5	33	99
ACM-20	資料室, 研究室, 教官室	50	34.6	69
ACM-21	資料室	61.5	61.6	100
ACM-22	資料室	33.5	31	93

†1 室内機合計容量[kW]÷室外機容量[kW]×100 として算出

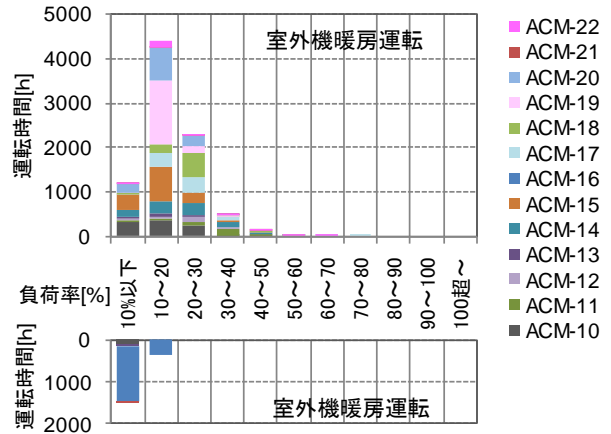


図-5 室外機の負荷率別運転時間の分布

表-5 室内機の設定温度

系統	室内機 [台]	設定温度[°C]		暖房 COP	負荷率[%]	
		平均	標準偏差		平均	最大
ACM-10	9	19.3	3.6	2.7	15.0	41.2
ACM-11	9	26.0	4.8	2.5	25.8	55.6
ACM-12	14	23.7	1.0	2.6	21.7	41.6
ACM-13	8	22.7	1.1	2.3	11.3	29.2
ACM-14	9	23.2	4.5	2.6	18.9	52.5
ACM-15	13	24.9	2.1	2.1	14.7	41.8
ACM-17	5	24.4	1.2	2.3	23.2	77.8
ACM-18	13	24.7	1.8	2.4	20.7	54.2
ACM-19	7	20.2	1.1	2.2	17.0	41.9
ACM-20	6	24.4	1.4	2.7	14.4	31.1
ACM-21	10	23.1	1.4	2.7	18.1	40.3
ACM-22	5	27.1	1.8	2.4	15.3	68.3

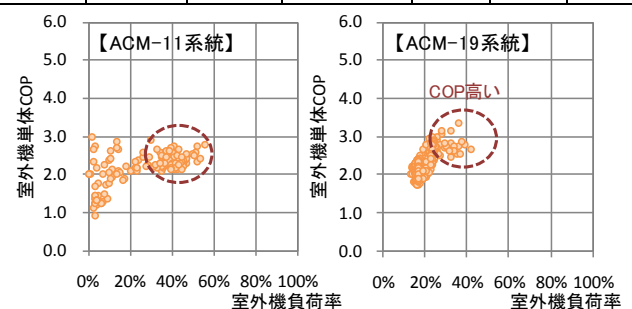


図-6 室外機の負荷率と COP の関係

3.3 室内機における運用実態に関する分析

室内機の設定温度について図-7に示す。表-5において標準偏差の大きなACM-11系統では、室毎に設定温度が異なっており、設計時に系統を分けた方が望ましいと考えられる。また様々な室内機が1つの系統に接続されているACM-15系統では、室毎に設定温度に幅があることがわかる。またなかには、高い温度帯を中心に設定する室があることがわかる。図-8に室内機設定温度と運転状態の関係を示すが、設定温度が高いほど、室内機は運転を継続する傾向があり、図-7に示したように同一系統内に1台でも設定温度の高い室がある場合等においては、室外機の運転も継続することになる。系統全体の適正な運転を行うために、ビル用マルチ方式の特性を考慮したソフト面の運用徹底を行うことが重要であると考えられる。

3.4 室外機における省エネ制御の効果

導入した室外機について、冷媒制御に用いる凝縮温度を変更することで機器効率の改善に繋がることから、表-4に示した全ての系統において、省エネ制御運転と通常運転を隔週で変更しその効果を検証した。図-9に代表的な系統の散布図、表-6に効果の一覧を示す。室内機の平均設定温度(表-5)が低く、凝縮温度が低く制御されていたACM-19系統については、COP改善が顕著ではなかったものの、設定平均温度が高いACM-11・ACM-22系統、幅広い設定温度帯(図-7)の室内機を有するACM-15系統については、効果が大きくなっている様子がわかる。

以上のように、機器更新後においても室外機側の制御機能を活用することで、室内環境を大きく変えることなく運転効率を改善することが期待できる。今後、このような運用面に配慮した機能は、学内における機器選定時の一つの基準にもなり得ると考えられる。

4. まとめ

本学に導入されている個別分散空調機について、ベンチマーク設定による機器更新を実施し約3割程度の容量削減を実現した。また、更新後の個別分散熱源機器の運転データを収集・分析し、ビル用マルチ方式の機器に関する運用面の実態及び課題を把握した。引き続き夏期計測を実施することで、今後の個別分散熱源設備に関して、設計時における室外機系統の分類や容量選定、導入後における適正運用に関するデータを蓄積し、全学的に実効ある省CO₂対策へ繋げたいと考えている。

謝辞：本研究は、本学に設置したTSCP産学連携研究会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。ダイキン工業(株)をはじめ、同会の関係者に深く謝意を表したい。

参考文献

- 1) 迫田他：東京大学におけるサステナブルキャンパス活動，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 個別分散空調機の調査結果分析と更新手法の提案，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.927～930(2010.9)

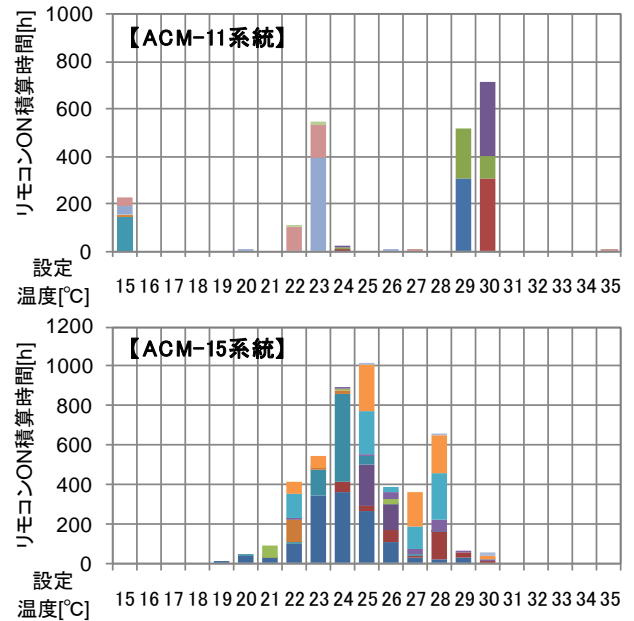


図-7 室内機毎の設定温度に関する集計結果

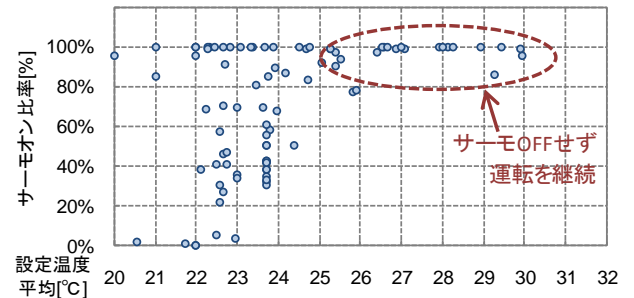


図-8 室内機設定温度とサーモオン運転の関係

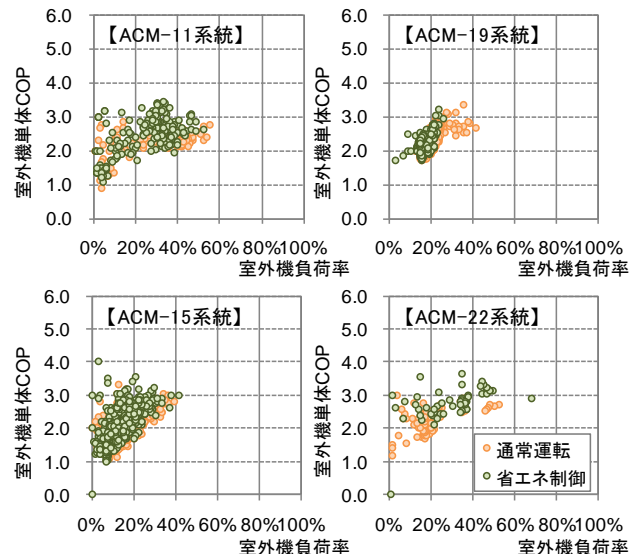


図-9 省エネ制御(凝縮温度変更)による効果

表-6 省エネ制御の有無によるCOPの変化

系統	制御無	制御有	系統	制御無	制御有
ACM-10	2.6	2.8	ACM-17	2.2	2.5
ACM-11	2.3	2.6	ACM-18	2.3	2.4
ACM-12	2.6	2.5	ACM-19	2.2	2.2
ACM-13	2.2	2.4	ACM-20	2.6	2.8
ACM-14	2.5	2.6	ACM-21	2.8	2.7
ACM-15	2.0	2.2	ACM-22	2.2	2.8

†表中の数値は、計測期間内の暖房運転時集計値を示す。