

大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その22 個別分散空調機の設計・運用の最適化の提言

A Study of Environmental Load Reduction Technique for University Facilities Part22 Proposal for the Optimization of Design and Operation of Multi-split Air-conditioning System

正会員 ○山田 崇司 (東京大学)
技術フェロー 柳原 隆司 (東京電機大学)
正会員 迫田 一昭 (東京大学)
正会員 塩地 純夫 (ダイキン工業)

正会員 辻丸 のりえ (佐藤エネルギーリサーチ)
正会員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)
技術フェロー 赤司 泰義 (東京大学)
正会員 長澤 浩司 (ダイキン工業)

Takashi YAMADA *1 Norie TSUJIMARU*2 Ryuji YANAGIHARA *3 Makoto SATOH*2
Kazuaki SAKODA*1 Yasunori AKASHI*1 Sumio SHIOCHI*4 Koji NAGASAWA*4
*1 The University of Tokyo *2 Satoh Energy Research Co., Ltd *3 Tokyo Denki University
*4 Daikin Industries, Ltd

In this report, we analyzed operation data during heating of the multi-split air-conditioning system by short-term detailed measurement in the winter. We summarized the day operation time of the indoor units and the set temperature, and indicated the factors affect the efficiency of the outdoor units, such as the number of operating indoor units, the heat load situation, and the equipment capacity. In addition, taking into consideration analysis results during heating, we organized the proposal for optimizing the design and operation of multi-split air-conditioning system in university facilities.

はじめに

本報では前報¹⁾に引き続き、冬期の短期詳細計測による個別分散空調機の暖房時の運転データを分析し、室外機の効率に影響を及ぼす要因を明らかにする。さらに、既報²⁾で冷房時の分析結果に基づいて提案した、大学施設における個別分散空調機の設計・運用方法の最適化に向けた提言案について、暖房時の分析結果を加味して修正したので報告する。

1 個別分散空調機の暖房時運転データ計測結果概要

1.1 室内機の使用状況

(1) 室内機の運転時間

南側、北側の各方位の事務室、研究室に設置された室内機の平均的な時刻別稼働状況を図-1に示す。図中ではサーモ ON 運転 (冷媒との熱交換を行う状態) とサーモ OFF 運転 (熱交換を行わずファンのみ運転する状態) の比率を内訳で示した。なお平日のデータのみを集計した。

事務室は前報¹⁾に示したように南北にまたがる大部屋があるため、南北の違いはあまり見られないが、南側の室内機は10時以降に北側よりサーモ ON 比率が低くなる。

研究室では南北の相違が大きく、北側の室内機は南側よりも運転している比率が高い。北側はサーモ ON 比率も高く、一日を通してほぼサーモ ON 運転となる。また南側の室では日射の影響によりサーモ ON 運転が少なく、サーモ OFF 運転が増える傾向にある。

(2) 室内機の設定温度

事務室、研究室のリモコン設定温度の頻度分布を図-2に示す。事務室では24℃、研究室では25℃が最も多いが、

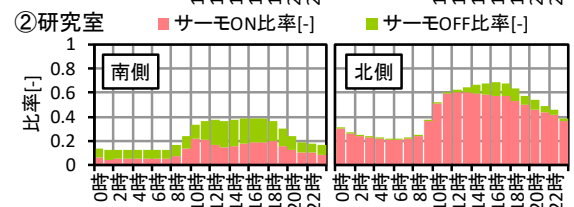
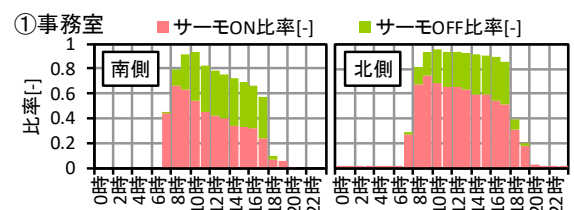


図-1 日運転時間、日サーモ ON 時間の頻度分布

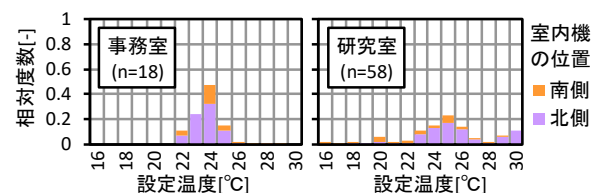


図-2 リモコン設定温度の頻度分布

研究室では設定温度のばらつきが大きい。日射の入る南側の室では一部で16~20℃の低めの設定温度にしている例も見られた。また補助暖房機を使用している室があり、これらの室では設定温度が低めに設定されている可能性もある。

1.2 期間集計結果

1分間隔運転データの計測期間(約2週間)における室外機系統別の期間集計結果を図-3に示す。

定格暖房能力16, 18kWの室外機は期間平均COP比が低い傾向に、定格暖房能力25, 31.5kWの室外機は期間

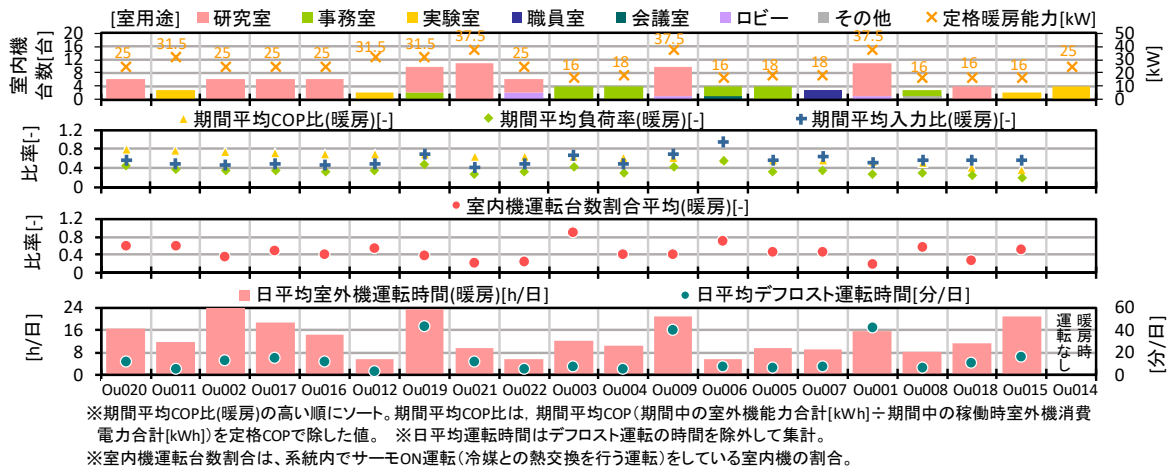


図-3 室外機系統別の室内機台数および期間集計結果 (集計期間：2017年1月12日～2月9日、デフロスト運転時のデータを含む)

平均 COP 比が高い傾向にある。本報で調査対象とした室外機に搭載されている圧縮機は、定格暖房能力 16, 18, 25kW 搭載分と、31.5, 37.5kW の搭載分の 2 種類であるが、室外機の外形寸法は定格暖房能力 25～37.5kW の機種で同じであった。室外機の外形寸法が大きいと室外機の熱交換器の能力が増え、圧縮機の仕事量が減り、他の室外機より効率が向上する可能性がある。定格暖房能力 25, 31.5kW の機種は、圧縮機と室外機の熱交換器の能力が適度にバランスしており、効率のよい運転ができていると考えられるが、本調査の対象とした室外機固有の特性が影響していることも否定できない。

定格暖房能力 37.5kW の室外機 Ou009 および Ou001 は期間平均 COP 比が低めだが、これらの室外機は室内機接続台数が 10 台以上と多く、室内機運転台数割合が低くなりやすいため、効率が低下していると考えられる。

2 効率の良い系統、悪い系統の特徴比較

効率の良い室外機系統と効率の悪い室外機系統の特徴を整理するため、Ou018 系統 (定格暖房能力 16kW, 室内機 4 台) と、Ou019 系統 (定格暖房能力 31.5kW, 室内機 10 台) の運転状況を比較した。両系統の平面図を図4に示す。ともに研究室が主の室用途であるが、Ou019 系統の 1 室は事務室である。Ou018 系統は 2 階の南側に位置している。Ou019 系統は 3 階に位置し、廊下を挟んで北側の室と南側の室が混在している。

(1) 負荷率の頻度分布と平均 COP 比の比較

Ou018, Ou019 系統の室内機運転台数割合別の負荷率頻度分布と、各負荷率帯における平均 COP 比を図5に示す。Ou018 系統では負荷率 10～30%未満の頻度が高く、平均 COP 比も 0.6 以下と効率の悪い状態での運転が多い。Ou019 系統では負荷率 30%程度の頻度が高く、平均 COP 比も 0.7 程度と比較的効率の良い状態での運転が多い。

(2) 代表日における室外機、室内機の運転状況

代表日における室外機および代表室内機の運転状況を図6 (Ou018 系統)、図7 (Ou019 系統) に示す。なお室

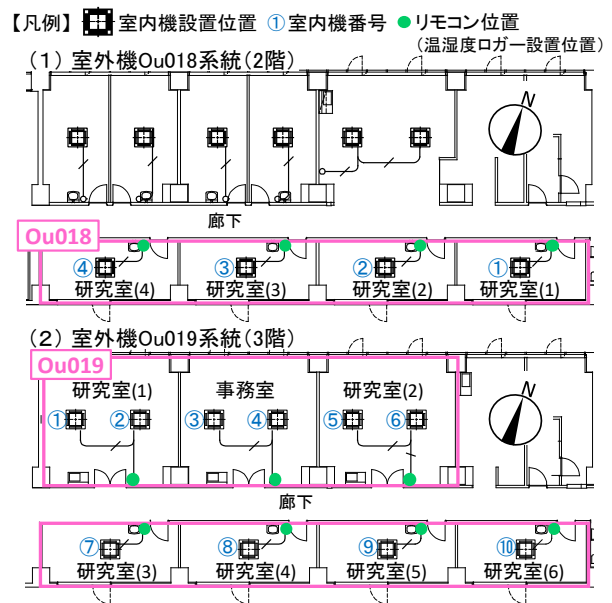


図-4 比較対象系統の平面図

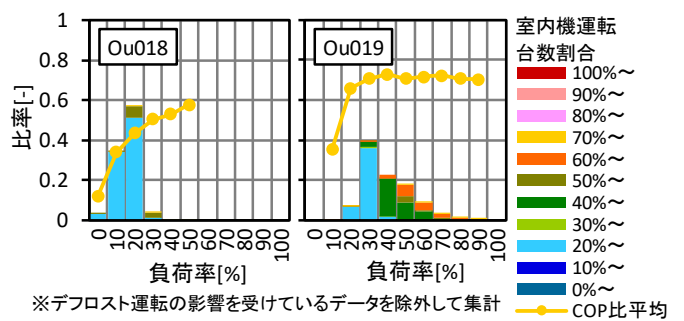


図-5 負荷率の頻度分布と平均 COP 比

内機は同じリモコンに接続されている場合は同じ動作をする (Ou019 系統の室内機⑤,⑥など)。Ou018 系統では室内機の運転台数が最大でも 2 台と少なく、負荷率も 0.2 前後で推移し、COP 比が低い状態で運転している。南側の室は日射の影響により暖房負荷が少ないことに加え、室内機の同時運転も少ないため、室外機の最低容量よりも小さい負荷が要求され、室外機が効率の悪い状態で運転していると考えられる。

一方 Ou019 系統では、室内機の運転台数の変化が小さ

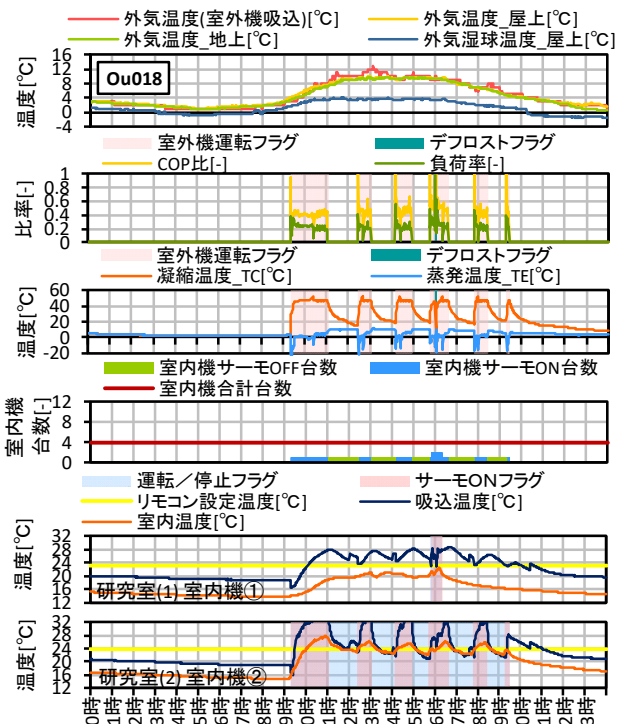


図-6 室外機・室内機の運転状況 (Ou018 系統, 1月31日)

く、室外機が継続して運転している。南側の研究室(5)はほとんどサーモ OFF 運転をしているが、北側の研究室(2)は常にサーモ ON 運転となっている。暖房負荷の多い北側の室と暖房負荷の少ない南側の室が同一系統内に混在しているため、結果として室外機にとって適度な負荷となり、効率の良い状態で運転できていると考えられる。

3 室外機の効率に影響を及ぼす要因の分析

3.1 室内機運転台数割合と COP 比

定格暖房能力別に色分けした平均室内機運転台数割合と期間平均 COP 比の関係を図-8 に示す。参考までに冷房時の結果を併記する。同じ室内機運転台数割合でも、定格暖房能力 16kW の室外機は他の能力の室外機より期間平均 COP 比が低く、定格暖房能力 25, 31.5kW の室外機は期間平均 COP 比が高い。定格暖房能力 25kW (定格冷房能力 22.4kW) の室外機は冷房時も期間平均 COP 比が最も高い。定格暖房能力 37.5kW の室外機は図-3 に示したように室内機接続台数が 10 台以上と多く、室内機運転台数割合が低い傾向にあり、期間平均 COP 比も低い。

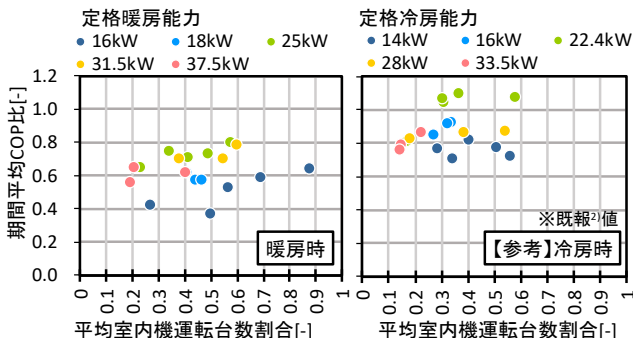


図-8 平均室内機運転台数割合と期間平均 COP 比

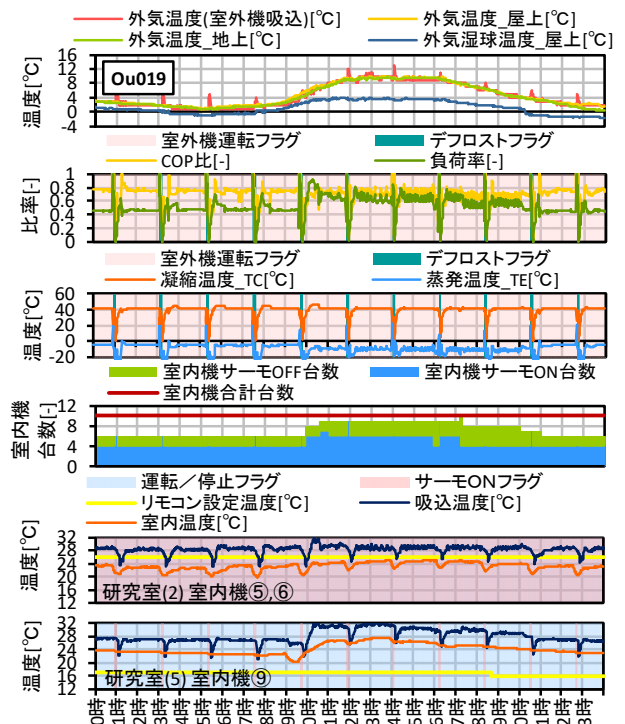


図-7 室外機・室内機の運転状況 (Ou019 系統, 1月31日)

3.2 設定温度と COP 比

設定温度の COP 比への影響を確認するため、サーモ ON 運転をしている室内機のうち、設定温度と室内温度 (リモコン位置温度) の差の室外機系統内における最大値を算出し、その温度差ごとに COP 比平均を集計した。室外機の運転は最も温度差が大きい室内機に影響されると推測したが、温度差による COP 比平均の変化はみられなかった。

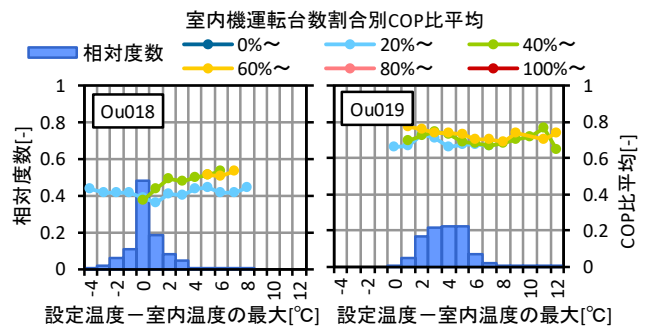


図-9 設定温度と室内温度の差の最大値と COP 比

3.3 デフロスト運転による効率への影響

暖房運転時には室外機に付着した霜を溶かすためデフロスト (除霜) 運転が発生する。デフロスト運転時間が長く期間平均 COP 比が低い室外機 Ou001 系統におけるデフロスト運転時の状況を図-10 に示す。デフロストが頻繁に発生しており、蒸発温度もマイナス側での運転が多く、COP 比は 0.6 以下の低い状態が続いている。デフロスト運転時に溶けた凝縮水が室外機の下部に溜まって氷を形成し、熱交換が十分に行われなため効率が低下している可能性がある。ただしデフロスト運転が少ない

室外機もあり、デフロスト運転の発生要因については今後も継続して検討する必要がある。

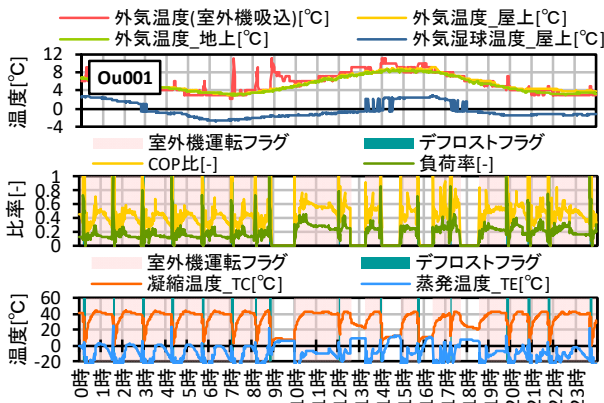


図-10 デフロスト運転の状況 (Ou001 系統, 1月31日)

4 個別分散空調機的设计・運用の最適化に向けた提言

既報 (冷房) および、前報・本報 (暖房) の調査結果に基づき、大学施設における個別分散空調機的设计・運用の最適化に向けた提言案を表-1、表-2 のように取りまとめた。表-1 の赤字の題目は前報・本報 (暖房) の調査結果に基づいて追加した。表-2 の室内機の設定温度は本調査では十分な結果が得られなかったが、今後さらに検証する必要がある。

5 まとめと今後の課題

個別分散空調機の暖房時の1分間隔運転データを分析し、室内機の日運転時間やリモコン設定温度の状況を整理するとともに、室外機の効率に影響を及ぼす要因として室内機の運転台数、室内負荷の発生状況、機器容量など挙げた。さらに既報で提案した大学施設における個別分散空調機的设计・運用の最適化に向けた提言案を、暖房時の分析結果を加味してとりまとめた。

ただし、本調査では同一メーカーのインバータ圧縮機1台構成の機種のみを分析の対象としており、他機種の室外機については別途検証する必要がある。また本報の調査対象物件は、外皮からの熱損失やすきま風等の影響により暖房負荷が増大している可能性がある。断熱・気密性能が異なる他物件でも同様の分析を行い、今回提案した提言が普遍的なものか検証する必要がある。将来的には、COP比や室内温熱環境への影響度合いを加味して優先順位をつけた提言をとりまとめることが課題である。

参考文献

- 1) 辻丸他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その21 個別分散空調機を用いた暖房時の室内環境の評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2017年9月
- 2) 山田他：大学施設における環境負荷低減手法に関する研究 その19 冷房時における個別分散空調機的设计・運用の最適化に向けた基礎研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2016年9月

謝辞

分析結果の取り纏めにあたり、ご助言を頂いた東京大学の飛原英治教授に深く謝意を表したい。

表-1 個別分散空調機的设计の最適化に向けた提言案

【信頼度】○：調査結果で明確に示せたもの、△：傾向が見られたもの、×：傾向が見られなかったものまたは適用されないもの (表-2も同様) 赤字:暖房時の結果より追加、※冷房に関する根拠図は既報 表-4を参照

(1) 個別分散空調機の効率的な運転のための提言案

題目	信頼度	根拠となる図	内容
室内機接続台数	冷房○	※	室内機の同時運転が少ない場合は、同一系統内の室内機接続台数があまり多くならないよう留意する。
	暖房○	図-8	
室内機のゾーニング	冷房○	※	室外機が高効率の状態 で安定して運転できるように、負荷の発生状況の違いも考慮し、同じような負荷の発生パターンの部屋に同一系統の室内機を設置する。
	暖房○	図-6,7	
機器選定時の設定温度	冷房△	※	機器選定は冷房主体で行われるため、暖房時には適用できない。
	暖房×	—	
リモコン設置位置	冷房△	※	ボディーサーモ制御では居住域を適切に暖房できないため、リモコンサーモ制御を採用し、リモコンの設置位置で正しい室温が計測できるよう留意する。リモコンの設置位置と室内機設置場所の距離はあまり離れないようにすることが望ましい。
	暖房△	—	
高低差と冷媒配管径	冷房○	※	暖房時は配管による能力低下は起こらないため、暖房時には影響しない。
	暖房×	—	
冷暖比を考慮した室外機の選定	冷房△	前報図-1	室外機の選定時には、冷暖房負荷の比率が大きくかき離さないように調整することが望ましい。可能であれば外皮性能の向上や気密対策などの対策を建築設計時に行って冷暖房負荷を低減させ、適切な室外機能力を選定するべきである。
	暖房○		
圧縮機と熱交換器のバランスを考慮した室外機の選定	冷房△	—	圧縮機と室外機の熱交換器の能力が適度にバランスしている室外機は効率のよい運転をしていたため、このような機種を選定することが望ましい。ただし今回の調査対象ではないタイプの室外機についても適用できるか十分に検証する必要がある。
	暖房○	図-3,8	

(2) 快適な室内環境形成のための提言案

題目	信頼度	根拠となる図	内容
冷暖房負荷の低減	冷房△	—	空調機の運転や運用時の対策のみで室内温熱環境を向上することは難しいため、建物外皮の性能向上、気密対策など、建築設計時に冷暖房負荷を低減させる対策を行うことが重要である。
	暖房○	前報全体	
デフロスト運転の発生抑制	冷房×	—	デフロスト運転が発生すると室内機からの送風温度が大きく低下し、室内環境が悪化する。デフロスト運転の発生抑制方法についても検討する必要がある。
	暖房○	前報図-3, 図-10	
適切な加湿方法の検討	冷房×	—	相対湿度が温冷感に与える影響は限定的であるが、温冷感以外の影響 (皮膚・喉などの炎症、静電気の発生等) については懸念が残るため、適切な加湿方法についても検討を行うことが望ましい。
	暖房○	前報図-3,4	
外気導入方法の検討	冷房△	—	気密性能を向上させた場合は、室内温熱環境やメンテナンスのしやすさも考慮した上で、室内CO ₂ 濃度が高くないよう適切な外気導入方法を検討する。
	暖房○	前報図-7	

表-2 個別分散空調機の運用の最適化に向けた提言案

※ 冷房に関する根拠図は既報 表-5を参照

題目	信頼度	根拠となる図	内容
室内機の運転時間	冷房○	※	暖房運転時は室内機のサーモ ON 運転が多くエネルギー消費が増え、サーモ OFF 運転でもファン動力を消費するので、不在時は室内機を停止する。
	暖房○	図-1	
室内機の設定温度	冷房×	—	今回調査範囲では設定温度のばらつきによるCOP比への影響はみられなかった。
	暖房×	図-9	
大部屋における室内機の運転方法	冷房△	※	大部屋では一部系統の室外機に負荷を処理させて部分負荷効率のよい状態で運転することができると考えられるが、今回の調査結果ではCOP比の顕著な向上は見られなかった。
	暖房△	図-3	