

サーバー室の空調に関する省エネルギーの取り組みについて

岡本昌幸[†] 小林俊満^{††} 赤井光治^{††} 久長穰^{††} 小河原加久治[†]

本論文では、山口大学メディア基盤センターにおいて行っているサーバー室の空調に対する省エネルギーの取り組みについての紹介を行う。具体的には、既存の空調施設を利用した外気取込の効果の検証、サーバー室内の温度分布計測及び気流制御の方策に関する検討を行う。

Energy Saving Action for Air Conditioners of Server Room

MASAYUKI OKAMOTO[†] TOSHIMITSU KOBAYASHI^{††} KOJI AKAI^{††}
YUTAKA HISANAGA^{††} KAKUJI OGAWARA[†]

This paper introduces an action of energy saving for air conditioner of server room tried in media and information technology center of Yamaguchi university. Verification of effectiveness of the open air utilization for an existing facilities, measurement results of a temperature distribution in a server room and discussions of air-flow control scheme are presented.

1. はじめに

情報処理センターなどの情報系センターにおいて、機器の集約やストレージシステムなど情報機器の拡充により、電力使用量の増大傾向が続いている。一方、京都議定書の発効を始め、地球温暖化に対する取り組みが強く意識されるようになり、情報関連機器に対する省エネルギー対策が求められている。これに伴い、グリーンIT(ICT)と言った言葉が用いられるようになり、省エネルギーに対する取り組みが盛んになされるようになってきた。その中でも、特にデータセンターなどの情報機器が集中する施設では、建物の設計段階から省エネルギー対策が検討されるようになっていく。

このような情報系センターにおける電力使用量の内訳を見ると、計算機関連機器の電力消費が大きなウエイトを占めているとは言え、電源や空調システムなどの周辺機器で消費される電力が全体の2/3程度にもなる。このうち空調が占める割合は全体の1/3程度であり、空調に対する省エネ対策は情報系センターにおける省エネルギー対策の大きなポイントとなる。このようなことから、試験的な取り組みを含め、種々の省エネルギー対策が実施されるようになっていく。例えば、データセンターにおける省エネルギー対策に関する組織的な活動として「グリーングリッド」が知られている¹⁾。ここでは、空調システムや電源系統変換の効率化に対する問題点や要点について提言を行っている。

また、空調に対する省エネルギー方策として、最近実施された興味深い取り組みに空調システムの外気取込がある。人が主体となるオフィスビルでは良く知られた方法であるが、精密機器を備える情報系センターでは、湿度や粉塵など空気の品質に対する懸念から、近年まではほとんど実施されてこなかった。Intelはア

メリカ ニューメキシコにある自社のデータセンターにおいて、外気取込による問題点の確認と省エネルギー効率の検証を行った。これにより、有意な障害件数の増大が見られないこと及び70%近い省エネルギー効果があると結果を報告している²⁾。このような取り組み例は日本でも報告されている。新しく稼働を開始したソフトバンクが出資するデータセンターでは、建物の設計段階から外気取込可能な仕組みが検討されている³⁾。しかし、日本では夏期の湿度が高いなど気象条件が合わないという認識が根強く、このような取り組みは余り広がっていないようである。

本メディア基盤センターでは、2006年度からサーバー室の省エネルギー化を検討するプロジェクトを実施している。この省エネルギープロジェクトの対象はサーバー室の空調システムであり、これまでに現状把握のための調査及び空調機の運転方法の見直しによる省エネルギー化を試みてきた。しかしながら、調査段階においては20%程度の空調電力削減が見込まれる予想を得たものの、実際にその効果を検証できていない。そこで、更なる省エネルギー対策の取り組みとして、2009年度より外気取込実験及び気流制御実験を開始したので、今回はその現状報告を行う。

既に紹介したように、外気取込による空調の省エネルギー対策が実施されている大規模な情報系センターは、設計段階からサーバー室を含めた施設全体の気流制御が考慮された構造となっている。一方、大学における情報系センターは小規模であり、かつ建設当時の汎用計算機や空調機器を念頭に設計された建物や施設がほとんどである。更に、予算削減の流れのため、新規に建物が建設されることはほとんど無く、耐震補強など既存施設の改修による老朽化対策が実施される程度であるのが現状である。本論文では、このような旧式の施設において、提供しているサービスを停止することなく空調の省エネ対策を実施する有効手段の探索を目的として省エネルギー効果が期待される外気取込の方策及び実証実験の結果について報告する。実験を行うことにより、実情の環境で行うことの問題点や省

[†] 山口大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ.

^{††} 山口大学 メディア基盤センター
Media and Information Technology Center, Yamaguchi Univ.

エネルギー効果に対する知見が得られると考えている。また、計算機の更新等により、施設的设计段階とはラックの配置がかなり変わっており、サーバー室内の温度分布についても理想と異なる状態にある。そこで、サーバー室内の温度分布の調査を行うとともに、省エネルギーの観点から最適な airflow 制御の方策についての考察も行う。

2. 外気取込の実施

山口大学には山口市と宇部市に分散して3つのキャンパスがある。これらの各キャンパスにメディア基盤センターが設置されているが、ほとんどのサーバー類が宇部市の工学部キャンパスに集約されている。工学部キャンパスにあるメディア基盤センター(「常盤センター」と言う)においては、100m²程度の広さのサーバー室に300台程度の情報機器が設置されている。また、常盤センター全体の電気使用量は1時間当たり90kWh程度の規模である。以下、常盤センターにおける外気取込の実施状況及び結果の検討を行う。

2.1 計画と設置

サーバー室内から回収される暖気の温度は空調システムの設定温度を24℃とした場合、23℃から25℃程度であることが分かっている。したがって、外気温が23℃以下であれば、外気取込が有用であると考えられる。

常盤センターの所在地である宇部市の年間気温を図1に示す⁴⁾。実線及び破線はそれぞれ気温(最高, 平均, 最低)及び湿度を表す。図より、最低気温は23℃を超えないことから、夏季は夜間・早朝のみの部分的な外気取込を行うなどすれば、一年を通じて外気取込が可能であることが分かる。また、大学全体で最も電力消費が大きい月は8月上旬の夏期休暇開始の前後であるのに対し、メディア基盤センターでは計算サーバー稼働がピークに達する12月から1月の期間に電気

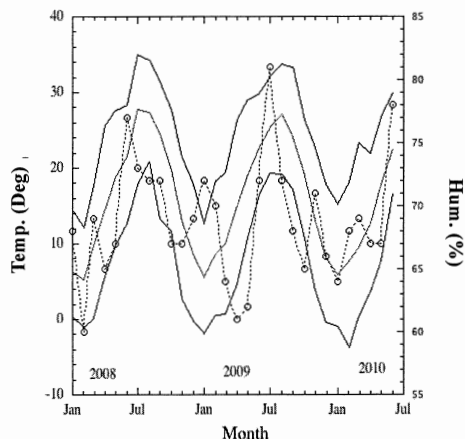


図1 宇部市の年間気温および湿度
Figure1 Annual temperature and humidity in Ube city

使用量のピークを迎える。これは、年度末の修士論文及び卒業論文の作成のため、計算機の利用率が増大するためである。このようなことから、外気取込は計算サービスを提供している大学では有効であると考えられる。

常盤センターのサーバー室空調システムで外気取込を実施するには、サーバー室や空調システムに対し適切な工事を行う必要がある。常盤センターサーバー室にはセンター建設時に将来的な外気取込の可能性を見込み窓が用意されていたため、計画の初期段階ではこの窓を活用することを検討した。しかし、建設当時とはサーバー室内の機器が変化し室内のレイアウトが大きく異なるため、工事に際し外気吸入用及び排出用ダクトの距離が長くなることに加え、既設空調の空気循環系と外気取込の空気循環系が独立になることから、この方式は採用しなかった。つまり、既存システムとの親和性を考慮し、現在稼働している室内機に外気を取り込み、室内機の送風機能を活用して外気をサーバー室に送り込む方式を採用することにした。

図2に外気取込時の空気循環のイメージ図を示す。濃い色は外気及び室内機により冷却された温度の低い空気を、薄い色はサーバー等を経由した温度の高い空気を示す。当センターのサーバー室は床下から冷気を送風する方式を採用しており、外気取込が無い場合は、空調機室に設置されている室内機から送り出された冷風が床下を通り、サーバー室の床の吹き出し口からサーバー室に送られる。そして、計算機等により暖められた空気が空調機室側の壁面にあるガラリから室内機に取り込まれるループ状の空気の流れのみとなっている。

一方、外気取込時には空調機室の壁に新規に設置した吸気口からダクトを経由し外気が室内機に取り込まれ、サーバー室内から取り込んだ暖気と混合される。その後、既存のループ流を経て、室内機に取り込まれた温かい空気は、吸気口の反対の側壁に取り付けられた排気口から外部に排出される。

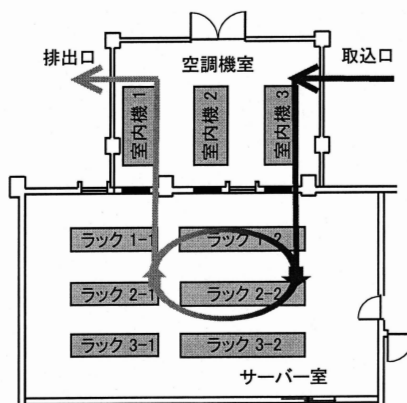


図2 外気取込による空気循環のイメージ
Figure2 An image of the air circulation by taking open air

なお、図に示すように、常盤センターの空調システムにおいては室内機及び室外機が3台ずつあり、これらうち常時1組（室内機及び室外機）が日替わりで稼働し、負荷に応じて運転台数が順次増えていく仕組みとなっている。そのため、実際には外気吸入ダクト及び排気ダクトは共にすべての室内機に繋がっている。この場合、稼働中の室内機が床下に送り出した冷気が停止中の室内機に逆流する現象が起こることがこれまでの調査で分かっている。この逆流を防ぐため、今回の外気取込システムでは稼働中の室内機からのみ屋外に排気されるようにした。つまり、各室内機の稼働状況に合わせて自動的に排出ダクト弁が開閉する構造になっている。

2.2 計測と結果

外気取込による省エネルギー効果の検証を行う前に、現在使用している空調機の基礎データを少し紹介しておく。前述のように3組の室内機及び室外機が設置されているが、すべて共通の仕様である。これらの仕様書によれば、各室内機の風量は $5.3\text{m}^3/\text{s}$ で消費電力は 7.5kW である。なお、室内機は ON/OFF 制御のみであり、稼働時には約 7.5kW の電力を常時消費する。また、室外機は最大冷房能力が 48kW 、最大電力使用量が 16kW である。このため、冷房性能係数 η (=冷房能力/電気使用量) は3である。

一方、今回の外気取込の能力は風量が $0.55\text{m}^3/\text{s}$ で電気使用量が 0.4kW である。このように室内機の送風能力の $1/10$ 程度と小さいことから、外気取込による効果は限定的であることが予想される。今回は、空調機室のスペースや外気取込用ファンの性能及び予算や納期の関係から本格的な運用に移行可能なシステム構成は

残念ながら実現できなかった。しかし、実験による検証としては、十分な性能を持っていると考えている。例えば、排気温度と吸気温度差が 10°C の場合、 1.8kW の省エネルギー効果が現れることが見積もられる。この効果は1日当たり約 43kWh となり、空調システムの消費電力量の 10% 近くに相当することから十分検出可能と考えられる。

次に、外気取込の効果を検証するために行った実験結果を図3に示す。実験を行った期間は平成22年3月10日から4月18日までであり、3月18日から24日までの期間は外気取込を停止し、それ以外の期間は外気取込を行っている。図3(a)は1日当たりの室内機と室外機の総消費電力の推移を、図3(b)は室外機、室内機の個々の消費電力量及び宇部市の気温の推移を表す。

まず、図(a)において、外気取込停止期間とその前後の期間では外気取込期間中の方が消費電力量が明らかに小さくなっていることがわかる。実際に数値を求めると、3月31日までは外気取込を行っている期間の方が停止期間中よりも平均的に $40\text{kWh}\sim 50\text{kWh}$ 程度小さくなっている。

次に、図(b)には室外機と室内機の各々の消費電力量の推移及び宇部市の気温の変化を示しているが、室内機の消費電力量は、周期的に振動しているものの、気温に依らずほぼ一定 (200kWh) であるのに対し、室外機の消費電力は気温の変化に極めてよく一致していることがわかる。このことは、外気温が低いほど室外機の負荷が低減されることを意味しており、外気取込の有効性が改めて確認できる。更に、排出口からの排気温を別途測定したところ約 20°C であったが、3月中

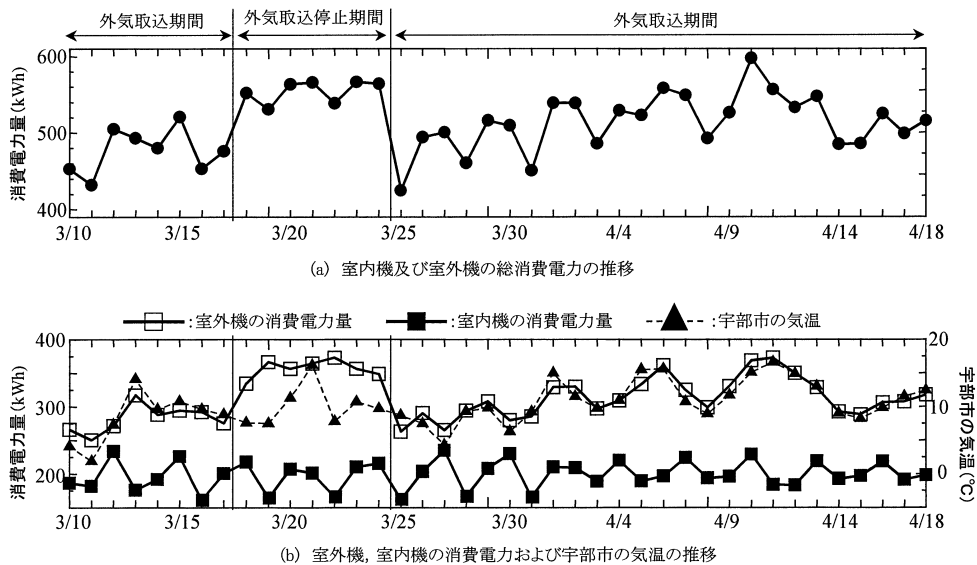


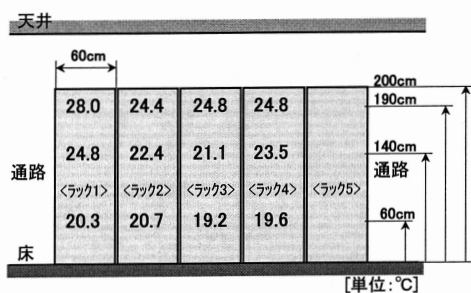
図3: 消費電力量と宇部市の気温の推移

Figure3 Variation of the power consumption and the temperature in Ube city

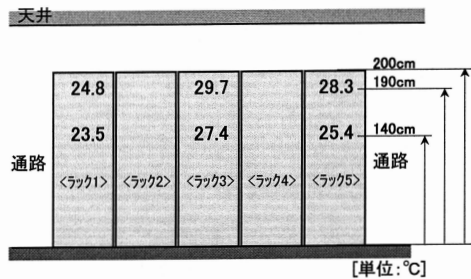
の外気温は平均的に十数℃であることから、吸気と排気の温度差は約 10℃程度であり、前節の計算では消費電力量が約 43kWh 低減化できるはずである。このことについても上述の結果から分かるように、事前に見積った値とよく一致しており、外気取込により、予想通りの省エネルギー効果を得られることができたと言える。

なお、前述のように、外気取込用ファンの消費電力量は 0.4kW であるが、排気温度と吸気温度差が 2.5℃の場合の省エネルギー効果が約 0.4kW であることから、排気温より外気温が 2.5℃以上低ければ省エネルギー効果が現れると期待できる。したがって、実際には外気温が 20℃以下であれば外気取込が有効であると考えられる。

また、図 4(b)の室内機の消費電力量が 3 日を 1 サイ



(a) サーバ吸気面 (コールドアイル) 側



(b) サーバ排気面 (ホットアイル) 側

図 4: 温度分布の測定結果

Figure4 Measurement result of temperature distribution

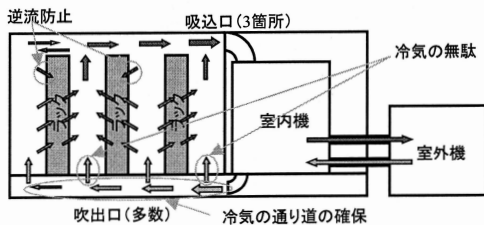


図 5: 現状の気流のイメージ

Figure5 An image of the current air-flow

クルとして周期的に振動しているが、これは 3 組の室内機及び室外機が日替わりで順番に稼動することに起因する。この理由に関しては次章にて考察する。

3. 空調の気流制御

室内機によるサーバー室内の気流を適切に制御することの重要性はグリーングリッドのインストラクションペーパーでも指摘されており、空調システムの省エネルギー対策としては良く知られたポイントである。しかし、実際にどのようにすべきかは自明ではなく、気流最適化に対するコンサルタント業者が存在するほどである。

そこで、まず継続的にサーバー室内の温度分布をモニターし、気流の最適化を行うことで、省エネルギー効果がどの程度あるかを明らかにしたいと考えている。また、その知見に基づき、省エネルギーを計ることを考えている。ここでは、現在までに行った温度分布の測定結果及び気流制御の方策に関する検討を行う。

3.1 温度分布計測

現在、サーバー室内に 60 個の温度計 (T&D Corp. RTR-52A, 精度±0.3℃) を配置し、気流とサーバー室内の 3 次元的な温度分布の関係について調査している。参考のため、温度分布の測定結果の一部を図 4 に示す。図 4(a), (b)はそれぞれラック 1 から 5 までのサーバーの吸気側及び排気側の温度分布を表している。吸気側ではラック 1 からラック 4 まで、床からの高さがそれぞれ 60cm, 140cm, 190cm の位置に、排気側ではラック 1, 3, 5 の高さ 140cm, 190cm の箇所に温度センサを設置している。なお、図中の数値はこれら 18 個のセンサにおける 15 日間の温度の平均値を示している。

図 4(a)の吸気側の温度分布をみると、床面から冷風が吹き出されるため、ラックの上部ほど温度が高くなっていることがわかる (床下から吹き出される冷風の温度は 18℃である)。ただ、ラック 2, 3, 4 では最上段の温度が約 24℃であるのに対し、ラック 1 のみ 28℃となっている。これは、通路や上部からラック 1 の方へ暖かい空気が逆流しているため、あるいは床面からの風量が不足しているためと考えられる。次に、図 4(b)の排気側では、吸気側と同様、ラックの上部ほど温度が高くなっているが、当然ながら、平均的に吸気側より温度が高くなっている。しかし、ラック 1 のように、通路側では冷気が流入しているためか、吸気側とほとんど温度が変わらない部分があることもわかる。

以上のように、現状ではサーバーから排気された温風が吸気側へ流入したり、床面からの冷気が排気側へ無駄に流入していることが確認できる。これらをまとめて空気の流れに対する現状のイメージを描いたのが図 5 である。重要なポイントは 2 つあり、1 つ目は、サーバーを抜けた温風の回り込みがあること、2 つ目は、床からの冷気吹き出しの無駄や不足、更に、床下スペースが十分に確保できていないことである。

一方、前章で述べたように、主稼動する室内機が順に替わることにより、温度分布がどのように変化するかを調べた結果を表 1, 表 2 に示す。表 1 はコールドアイル (サーバ吸気面側) において、主稼動機毎にラック 1 からラック 4 までの温度の平均値をそれぞれ上

表1 コールドアイルにおける温度の違い
Table1 Temperature differences at a cold aisle

温度計位置	主稼動機		
	室内機 1	室内機 2	室内機 3
上段	25.4	24.2	27.2
中段	23.0	22.7	23.2
下段	19.6	19.9	20.4

表2 ホットアイルにおける温度の違い
Table2 Temperature differences at a hot aisle

温度計位置	主稼動機		
	室内機 1	室内機 2	室内機 3
上段	28.1	28.0	29.0
中段	27.4	26.9	26.8

段、中段、下段について求めたものである。表より、いずれの高さの温度計においても主稼動機が室内機 3 のときに平均温度が最も高くなっている。この理由は、現在の空調システムにおいては、サーバー室内に設置された 1 個の温度計の測定値を参照し、室外機のインバータ制御及び稼働台数の制御が行われているが、床下に多数のケーブル類が置かれていることにより、主稼動機によって冷気の吹き出し量が不均一となっているためであると考えられる。つまり、主稼動機が室内機 3 の場合には室内機が 1 台だけでも空調システムが参照する温度計の値を下げる事ができるのに対し、室内機 1 または 2 が主稼動する場合には風量が不足し、2 台目の室内機（及び室外機）が稼動することになり、結果的に消費電力が増大することになる。そのため、図 4(b)に示すように、室内機 3 が稼動する日は室内機の消費電力量が低下し、周期的な変化が現れていると考えられる。また、表 2 はホットアイルの温度を示すが、中段の温度は主稼動室内機による差異は余り見られないものの、上と同様な理由により、上段では室内機 3 が稼動する場合には若干温度が高くなっている。

3.2 気流制御に関する方策

前節では温度分布計測の一部の結果のみを示したが、まだ、現状把握のための計測を行っている段階であり、気流の最適化はこれからの課題である。しかしながら、前節で述べたように、温風の回り込みや冷気の逆流があること、及び主稼動する室内機によってサーバー室内の温度分布が変化することなどがわかってきた。また、ここでは 1 日単位の平均値のみを示したが、短い時間間隔で観察すると、さらに複雑な時間変化があることもわかってきた。

そこで、省エネルギーを念頭に置いた気流制御の方策として、まず暖気、冷気の逆流を防ぐため、ホットアイル及びコールドアイルを分離することにより、サーバーの吸気側のみを効率的に冷却することが考えられる。更に、主稼動する室内機によって床からの吹き出し量が不均一となるのを防ぐため、風量を補うためのファンを床上に設置し、温度計の測定値をフィードバックしながら最適なファンの運転制御を行う必要もあると考えられる。

以上のように、既存の古い施設をベースにして省エ

ネルギー対策することは、新規システムの開発のような華々しさは無いが、様々な拘束条件の下で課題を解決して行く必要がある。英知を集結して取りまなければ解決しない、課題の宝庫であると言えるのではないだろうか。

4. おわりに

今回、我々はサーバー室の省エネルギー対策として、空調機に対する取り組みを紹介した。外気取込による省エネルギー対策では既存の空調システムと親和性のある構成を選択した。これにより、効率の良い外気取込みシステムが構築できた。更に、予備的ではあるが、試算と良い一致を示す、省エネルギー効果が得られることを確認した。しかし、この実験は開始したばかりであり、最も効果が期待できる冬期での検証はまだ行っていない。なお、現状では、外気取込の ON/OFF は手動であるため、夜間のみ外気取込するような機能的な運用もまだであり、これによる効果の検証も今後進めていければと考えている。また、温度分布の計測を開始し、現在の空調システムにおける問題点がかなり明らかになってきた。今後は引き続きより詳細な温度分布の測定を行うと共に、冷気と暖気の分離をコンセプトにした気流制御による省エネルギー効果の検討も進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) <http://www.thegreengrid.org/>
- 2) Intel 社により報告されたレポート (2008 8 月)
http://www.intel.com/it/pdf/Reducing_Data_Center_Cost_with_a_n_Air_Economizer.pdf
- 3) 山口巖, 山中敦: 「外気活用によるデータセンターの空調動力削減」環境研究 155, 4, (2009).
- 4) 宇部市役所 web ページ: 「宇部市の気象データ」
<http://www.city.ube.yamaguchi.jp/kishou/index.html>.