

# データセンターのエアフローマネージメント

## Airflow Management for Data Centers

アズビル株式会社  
ビルシステムカンパニー

吉田 公彦  
Kimihiko Yoshida

アズビル株式会社  
ビルシステムカンパニー

海老原 克司  
Katsuji Ebihara

### キーワード

データセンター, エアフロー, 気流制御, CFD, CRAC, AdaptivCOOL

データセンターの安定稼働と省エネルギーの両立を実現する上で、空調システムの最適化、特にエアフローマネージメントは重要である。IT機器の冷却はデータセンターの安定稼働に関わる問題のため、省エネルギーは容易ではないが、エアフローマネージメントにより熱だまりや過冷却を解消することで冷却効率を向上できる。本論文では、シミュレーション技術と気流制御により、熱問題の解決と高い冷却効率を実現するデータセンター向け温熱環境ソリューションであるAdaptivCOOLについて紹介する。

Optimization of the air conditioning system is important in achieving a balance between energy efficiency and reliable operation of a data center. In particular, airflow management is essential. Since the cooling of IT equipment is a problem related to the reliable operation of the data center, saving energy is not easy. However, it is possible to improve cooling efficiency by eliminating overcooling and hot spots by airflow management. In this article, we describe AdaptivCOOL data center thermal environment solutions that achieve high cooling efficiency and resolve heat problems by airflow control and simulation technology.

## 1. はじめに

近年、高度情報化社会の進展により、企業の情報通信技術利用はますます進み、データセンターの需要が急激に増している。その中で改正省エネ法、東京都環境確保条例などの法的要求に対応するとともに、運用コストを削減することが、データセンター事業者やサーバールームを保有する企業にとって急務となっている。

これらデータセンターの効率化はPUE (Power Usage Effectiveness: データセンター全体の消費電力/IT機器の消費電力) という指標を使って議論されている。PUE向上のため、省エネ型のIT機器や設備機器の開発が進み、新設や機器更新時に導入されるケースが増えているが、これらの対応には多大な費用が必要となることが多い。

既設のサーバールームに対して、IT以外の消費エネルギーのうちの多くの割合を占める空調の省エネルギーを実現することや、今ある設備のまま、より多くのIT機器を稼働するというアプローチは、サーバールーム運営の効率上、非常に重要である。ここで紹介するエアフローマネージメント

は、運用を継続しながらでも適用でき、比較的少ないコストで大きな効果をもたらす方法である。

## 2. データセンターの課題

グリーンITという言葉に代表されるCO<sub>2</sub>削減、省エネルギーへの意識が強くなっており、いかにエネルギー消費を抑えながら必要な冷却を実現するかが課題となっている。その一方で、仮想化技術の進展、ブレードサーバーなどによる高集積化によって消費電力と発熱量が増大している。現在、ラック1本あたりのIT負荷は4kW前後が最も多いが、今後は8~10kW程度まで増大していくことが想定される。対して、サーバやスイッチなどのIT機器は、安定稼働のためにASHRAEガイドラインで規定されている推奨温湿度範囲<sup>1)</sup>に維持することが求められる。IT機器の安定稼働が絶対条件であるサーバールームにおいて、実サイトでのトライアル&エラーは許されない。このような状況下で、サーバールーム内の複雑な相互関係を理解するためにCFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体

力学)解析は極めて有用であると言える。省エネルギーのために、CRAC (Computer Room Air Conditioning)の運転台数を減らす場合や設定温度を緩和するにあたっては、CFDを使ったシミュレーションを行うなど実施前には慎重な判断が必要となる<sup>(2)</sup>。

実際のサーバールームでは、ラックごとに搭載機器は異なり、消費電力にも差がある。また、床下を流れてくる冷気も、CRACからの距離やケーブル類による遮蔽などにより到達量にばらつきを生じる。その結果、フロア内には熱だまりや過冷却が発生してしまう<sup>(3)</sup>。表1は、サーバールームにおける温熱環境を阻害する要因とその原因をまとめたものである。

表1 サーバルームでの課題の例

温熱環境阻害要因	想定される具体事例
グリルパネルから風がでない	床下の障害物
	グリルパネルの過剰配置
	CRACの供給風量が少ない
	床下での乱流や渦の発生
CRACの運転効率の悪化	室内の構造物により、排気がCRACに戻らない
	冷風のショートサーキット
	隣接するCRAC間での干渉
	CRACレイアウトの不良
	CRAC運転台数が過剰
	CRAC温度設定値が不適切
温熱環境に対する認識不足	ラックへの機器の過剰搭載
	ラックのレイアウト不良
	グリルパネルのレイアウト不良
	排気の回り込み

IT機器の増設などの運用上の変化に対応するために、グリルパネル(開口タイル)の再配置やラック構成の変更、空調の設定変更などの対策を実施している。これら個別の対応は、狭い範囲では正しいアクションとして判断しているが、影響を及ぼす範囲が大きく意図せずにデータセンターの冷却効率に悪影響を及ぼす可能性を秘めている。サーバールーム全体の状況を把握した上で、それぞれのアクションの相互作用(図1)を理解することで、大小様々な規模のデータセンターに対して体系的なアプローチを展開することができる<sup>(4)</sup>。たとえそれぞれのサーバールームが独特なものだったとしても、原因とその影響の相互関係はどれも似ており、それに対する解決策も同じである。

冷却効率を向上させるためには、CRACの高効率運転が不可欠である。サーバールームでの課題にも挙げたように、冷気のショートサーキットや適切な運転台数で運用さ

れていないため、CRACが軽負荷・過負荷運転になっており、CRAC単体としてCOPの悪化につながっている。

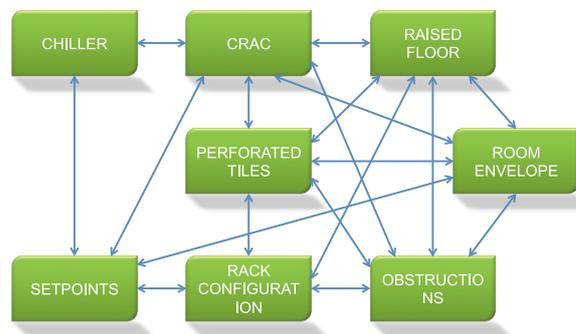


図1 温熱環境阻害要因の相互関係

図2はCRACの部分負荷効率の特性であるが、負荷率によりCOPが大きく変化していることがわかる。通常のサーバールームでは複数台のCRACを運転しているが、フロア内ではIT負荷が偏在しているため、各CRACの負荷率にばらつきがあることが一般的である。これらの負荷バランスをコントロールすることで全てのCRACについて高い冷却効率を実現することができる。

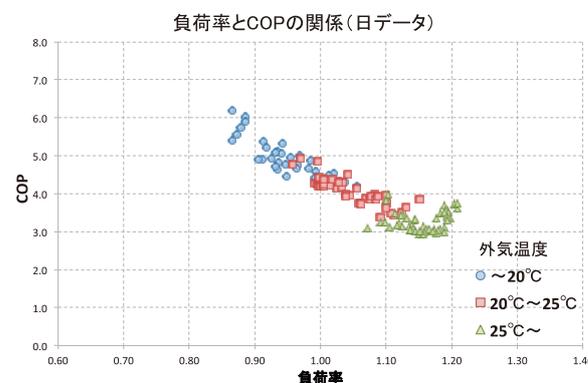


図2 CRACの部分負荷効率特性

サーバールームは絶えず進化しつづけており、今後、仮想化技術などを導入した場合には、大きな負荷の変動が平面的/時間的に生じる可能性がある。この負荷変動に対応するためには、空調システム側でも負荷変動に追従できる仕組みが不可欠となる。

これらの課題に対して、エアフローマネージメントというアプローチで解決に導こうとするのがAdaptivCOOLソリューションである。

### 3. CFDによるエアフローの可視化

サーバールームのエアフローを改善するには、CFDによるエアフローの可視化が不可欠である。サーバールームの調査を基に解析を行い、ラックからの発熱、冷却ムラの原因と

なるケーブルや梁など冷気が流れる床下の障害物、そしてCRACの情報も含めたサーバールームのCFDシミュレーションモデルを構築する。

### 3.1 CFDモデリング技術

実際のサーバールームのCFDモデルを作成するために、実際のサイトで詳細調査を実施する。この調査では、気流に影響を与える全てのオブジェクト情報を収集し、既存のサーバールームを忠実に再現する(図3)。設計プロセスで用いる簡略化モデルではなく、実負荷データを用いた詳細なCFDモデルとなる。

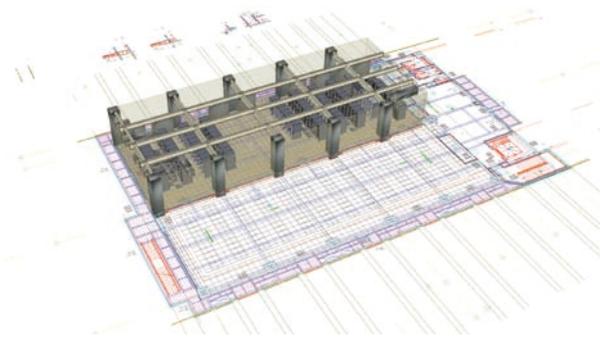


図3 CFDモデリング (The virtual model)

CFDモデルを構築する際に、Cooling Path (冷却の軌道)を次の3つのセグメントで分析する<sup>(5)</sup>。

- (1) CRAC (給気) からグリルパネル  
CRAC から供給される風量 (床下圧力) と各グリルパネルからの風量および温度を実測値と合わせる
- (2) グリルパネルから IT 機器の Inlet  
ラックに搭載された各 IT 機器が吸い込む風量と温度を実測値と合わせる
- (3) IT 機器の排気から CRAC (還気)  
各ラックからの排気に応じた CRAC の還気温度を実測値と合わせる

このように、CFD解析により現状の問題点を可視化して把握した上で、改善プランを検討していく。

### 3.2 解析の事例

ここではCFD解析の事例を紹介する。一般的なサーバールームは、ネットワークや電源配線、梁や免震床などの床下障害物の影響や、CRACから吹出した風による渦の発生などで、床下の圧力は一様ではない。CRACの吹出し近傍では室内に対し床下が負圧になる場所も存在し、そこにグリルパネルをいくら増やしても必要とする冷気は全く供給されない。また、CRACの運転パターンや運転台数によっても床下の圧力分布が大きく変化することは当然であるが、ラックやIT機器の増設に伴いグリルパネルを追加した場合でも圧力分布は変化してしまう。このように、床下の圧力分布を正確に把握することは、エアフローマネージメントの第一歩となる。

図4は、床下圧力の解析結果である。この結果から、運

転しているCRAC付近の圧力が低く、各ラック列の圧力の高低差が確認できる。また、各CRACが賄う面積は均等にはならない。例えば、IT負荷密度が高い列はグリルパネルの数が多いので、1台のCRACが賄う面積は小さくなる。

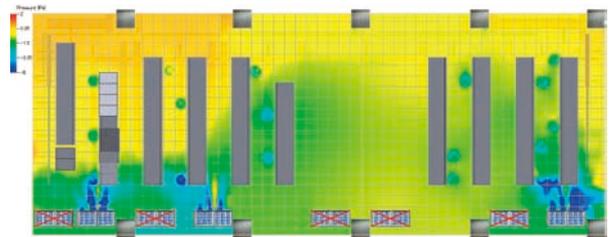


図4 床下圧力の分布

サーバールームの設計時にはIT負荷と空調能力がバランスするように見積もられているはずであるが、IT負荷と冷風の風量・温度ともに場所によるばらつきがでることは避けられず、個々のサーバが必要とする冷気に合わせることは非常に難しい。サーバールームの安定運用のための最も易しい方法は、CRACの運転台数を増やし、設定温度を下げて冷やしすぎの運用を行うことであるが、その結果としてさらなる過冷却が発生する。グリルパネルからの風量とラックが要求する風量をCFDシミュレーションにより正確に把握して対応させること(図5)で熱だまりと過冷却の両方を解消することができるようになる。

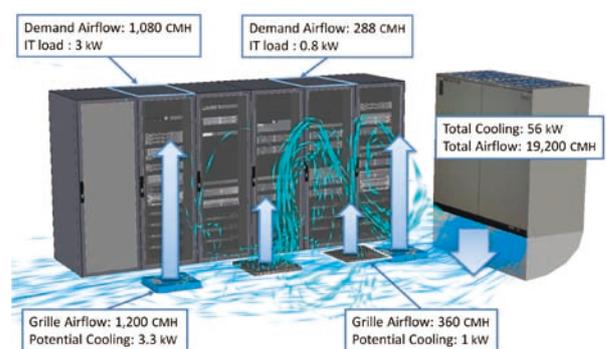


図5 グリルパネルからの風量とラックの要求風量

CFDシミュレーションのさらなるメリットは、実サイトで試行できないアクションをモデル上で試すことができる点である。例えば、CRACの故障を想定して、CRAC停止時の温度上昇を予測することなど、現場レベルで予測・分析したいシナリオは数多くある。また、現場の顧客ニーズとして、時間経過を考慮したCFDシミュレーションのニーズがある。これは、CRAC停止から何分でサーバがダウンする温度まで上昇するのかを知ることで、現在の運用管理体制に問題がないかなどを検討することができる。

図6は、3台のCRACが運転中に1台のCRACが停止したことを想定して、ラックの吸い込み温度の時間変化をシミュレーションした結果である。CRAC停止から30秒後には

3℃上昇して28℃を超え、100秒後には32℃まで上昇することがわかる。

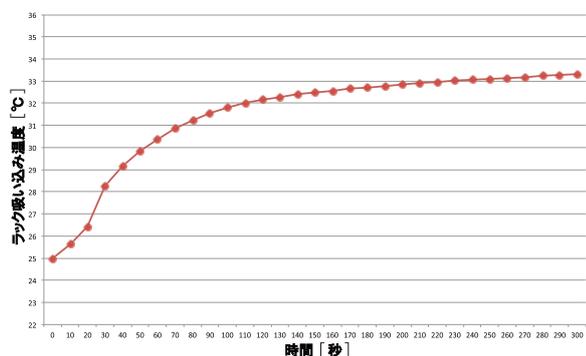


図6 CRAC 停止後の温度上昇

#### 4. 課題解決ソリューション

AdaptivCOOLの基本コンセプトはDemand Based Coolingである。これは負荷に応じて必要なところに必要なだけ冷気を供給することであり(図5)、サーバールーム内の気流を制御することにより実現するのが特徴である。

サーバールーム内に発生する熱だまりに着目して、サーバに対する気流を制御するのは当然だが、個々のCRACに対しても、還気温度と給気温度に適切な温度差がつくように気流を制御することが、CRAC高効率運転に寄与する。

このように、問題がある特定箇所だけに注目するのではなく、サーバールーム全体を対象としたエアフローマネー

ジメントが、理想的な温熱環境と省エネルギー／省CO<sub>2</sub>の実現、IT機器の安定運用に対して極めて有効である。AdaptivCOOLは大きく分けて、CFDシミュレーションを利用した温熱環境の見える化やシナリオ分析を実現する「温熱環境アセスメント」と、実際に室内の気流を制御するためのシステム機器「DBC (Demand Based Cooling) システム」(図7)により構成される。

さらにDBCシステムは、グリルパネル下に取り付ける床冷却ファンと天井に取り付ける天井還気ファン(以下併せてHotSpotrと呼ぶ)、温度センサやCRACとのI/Fに使用するセンサハブ、CRACの台数制御やファンの風量制御を行いながらWebによるユーザI/Fを提供するCRM (Cooling Resource Manager) などから構成される(図8)。床冷却ファンや天井還気ファンは単独でも制御機能を持ち、サーバの吸い込み温度を計測する温度センサを接続してファンの風量制御が可能である。



図8 HotSpotrとコントローラ群

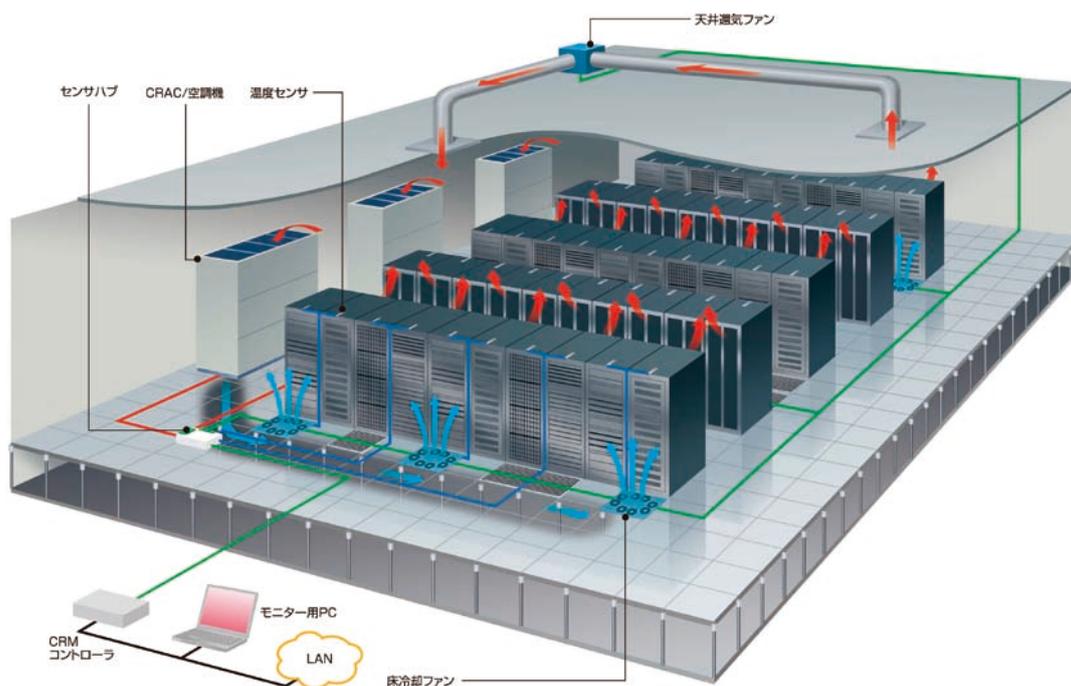


図7 AdaptivCOOL DBC システム

#### 4.1 導入ステップ

AdaptivCOOLは単体での床冷却ファンの設置から、CFDシミュレーションの実施後にCRAC制御を含めたシステムの導入まで、スケーラブルに発展させることができるソリューション構成となっている。

CRACを動的に制御するDBCシステムの導入ステップは次の通りである。

- (1) 初期調査 (Walk Through)  
AdaptivCOOL 適用の可否を調査
- (2) 詳細調査 (Engineering Audit)  
CFD モデル作成のための詳細調査
- (3) CFD (Airflow and Thermal Engineering)  
サーバールームの詳細モデル作成とシナリオ分析
- (4) インストール (Installation)  
ベストプラクティス (運用改善) とシステムの導入
- (5) コミッショニング (Commissioning)  
DBC システムの確認と調整

初期調査では、サーバールームの温熱環境やエアフローの状況を確認し、CRACの冷却容量とIT負荷から各種AdaptivCOOLのソリューション適用の可能性と方法を検討する。詳細調査を経て、CFDモデルを作成し、具体的な最善策やトラブル時の状況を事前に検討する。インストールでは、サーバールームを稼働した状態でシステムを導入することができ、実負荷での運転調整が可能である。

#### 4.2 温熱環境の改善効果

局所的な温熱環境を改善する方法として、熱だまりが発生している箇所だけに床下ファンを導入する方法がある。これにより、床下の障害物や圧力の問題に関わらず風量を増やして、熱だまりを解消することができる。また、CRACの運転効率向上のためには、天井還気ファンを導入することも有効である。天井還気ファンを用いて、ラックからの高温の排気をCRACにきちんと戻すことで給気と還気の温度差が十分得られることになり、CRACの効率が向上する。このように、サーバールーム全体の気流を可視化し、運転するCRACとその設定を含めて最適な温熱環境を求め気流を制御すること、それがエアフローマネージメントである。

図9は、AdaptivCOOL導入後の改善効果を示したものである。改善前は3台のCRACを運転していたが、ラックの吸込み温度は最高で29.5℃と非常に高く、その一方で20℃以下の過冷却のラックも存在していた。このフロア全体のIT負荷は、2台分のCRACの冷却容量で十分に賄える計算だが、冷気の分配が上手くできていないため熱だまりや過冷却が発生していた。導入後は、1台のCRACを停止させて2台運転とし、N+1の冗長性を実現する予備機を新たに確保した上でラックの吸込み温度も最高で25℃に保つことができた(図10)。全ての運転パターンで温熱環境を担保することができている。

#### 4.3 省エネルギー効果

サーバールームの省エネルギーは、主にCRACを停止させることによる搬送動力の削減とCRACの負荷バランスをコ

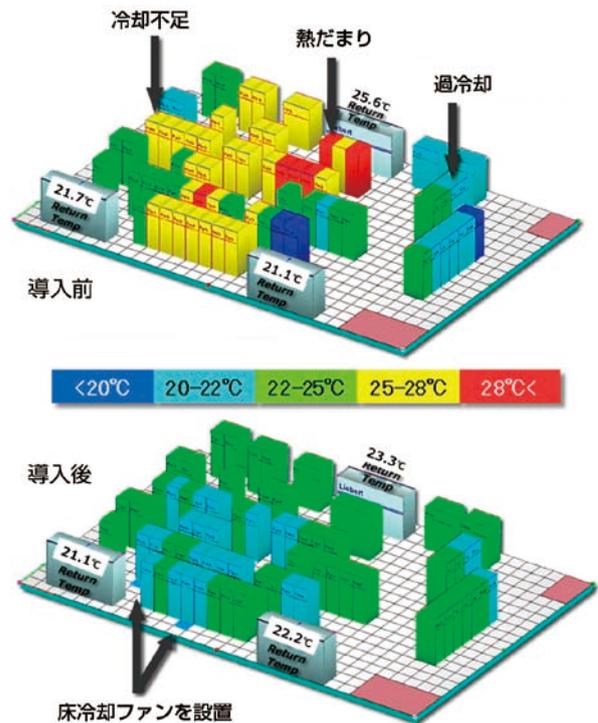


図9 導入前後の改善効果

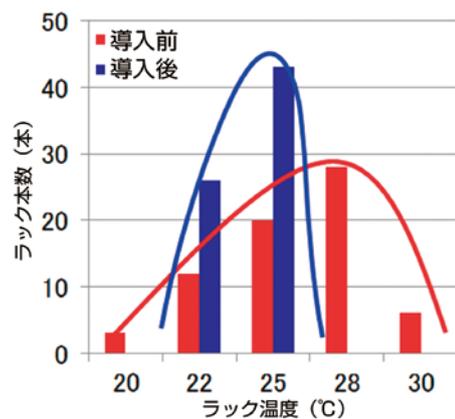


図10 ラック温度のヒストグラム

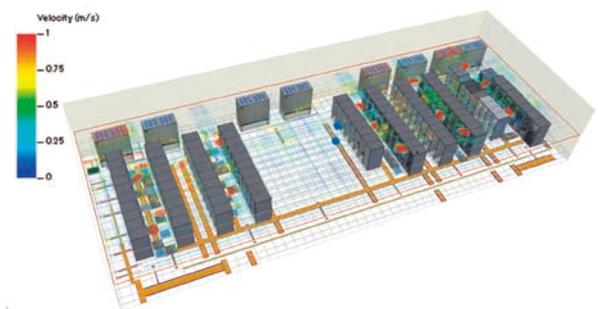


図11 当社サーバールームでのCFD結果

ントロールしてCOPを向上させることによる熱源動力の削減の2つのポイントがある。ソリューションの導入前後でIT負荷が変動しない場合は、CRAC側で処理する熱量は変わらない。そのため、あるCRACを停止させたとしても、

そのCRACが消費していた電力量がそのまま削減できるわけではないので、この点には注意が必要である。

2010年に当社のサーバールームにもAdaptivCOOLを導入し、CFDシミュレーションを実施している(図11)。このフロア面積は約380m<sup>2</sup>で、導入前は4台のCRACが運転しており過冷却な運用であった。現在は、18台のHotSpotrと5台のセンサハブが設置され、フロア全体の温度監視の下でCRACの台数制御を行い、運転台数を減らした上で安定稼働している。

図12は、CRAC消費電力と外気温度の相関図である。導入前後で同じ外気条件で比較すると約35%の省エネルギーを実現した。この結果では、エアフローマネージメントによるCRACの運転効率向上の効果が大きい。

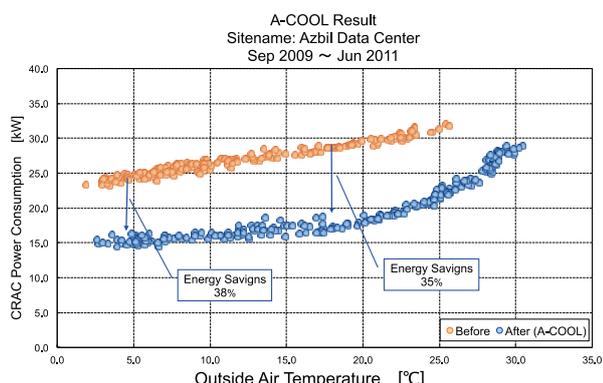


図12 省エネルギーの実績

AdaptivCOOLのCRMコントローラは、HotSpotrやセンサハブによりサーバールーム内部の温熱環境データを監視しながら、動的にCRACを運転・停止する。IT負荷の大きな変動や、CRACのトラブル発生など、サーバールームの安定運用を熱的に脅かすようなイベントに対する備えも十分である。この制御の特徴としては、空調ゾーン単位での空調機連携制御とHotSpotrによる気流制御により、環境変化に対応しながら適切な冷風をゾーン間で融通して供給することができることである。サーバールーム全体のエアフローを自由自在にコントロールすることで、より踏み込んだ省エネルギー施策を実施でき、安定運用と省エネルギーの実現を両立させることができた。

## 5. おわりに

データセンターの温熱環境は、急速に変化していくため、環境改善にはスピードが求められる。また、それぞれ固有の特徴を持っているので、環境に適した改善方法を選択して実施するには、有効性の判断など技術的な裏付けが重要である。データセンターの冷却と省エネルギーという、相反する2つのニーズに対して、シミュレーションを用いて最適解を引き出し、システムによる有効な解決策の提供をさらに進めていきたい。また、サーバールームの環境変化に対応したCFDモデルを維持することで、長期的な顧客のパートナーとしてサーバールームの継続的な安定運用に貢献していきたい。

### <参考文献>

- (1) ASHRAE TC 9.9 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments - Expanded Data Center Classes and Usage Guidance
- (2) Best Practices for Datacom Facility Energy Efficiency Second Edition
- (3) 建築設備と配管工事 データセンター向け気流制御システム 海老原克司 2011 Vol.49 No.6
- (4) New Techniques for Energy-Efficient Data Center Cooling Apply to Both Large and Small Centers Wally Phelps
- (5) Cooling Path Management for the Mission Critical Facility (MCF) Akhil Docca and Sherman Ikemoto 2/28/2008

### <商標>

・AdaptivCOOL, HotSpotr は、米国 Degree Controls 社の商標です。

### <著者所属>

吉田 公彦                   ビルシステムカンパニー  
開発本部開発3部  
海老原 克司               ビルシステムカンパニー  
環境マーケティング部