

稼働中データセンターにおける 温熱環境改善と消費電力削減

(株)ブロードバンドタワー 三浦 幹雄

1. 概要

昨今、地球温暖化対策が社会的問題として注目される中で、省エネ法の強化及び、東京都環境条例の整備が進んでいる。電力エネルギーを大規模で利用するデータセンター業界においてもこれら社会的要請に基づく CO2 削減対策が日々進められている。

データセンターが取り得る CO2 削減手法として、サーバ等の IT 機器消費電力の削減と周辺設備に利用する電力削減の 2 つがある。

前者についてはサーバ等の機器メーカーでの技術革新が、後者についてはデータセンター事業者の設備面における消費電力削減が主となる。データセンター設備で最も電力消費量が多いものは空調電力であり、必然的にこの部分の削減を推進することにより、全体消費電力の削減効率が期待できる部分でもある。このような背景から空調機器メーカー各社より省エネ型空調設備が開発され、大胆な設備投資を推進することにより電力消費量削減とそれに伴う CO2 削減が可能となっている。

しかしながら、これらの対策は新設のデータセンターでの検討は有効な対策であるが、稼働中の既設データセンターでは以下の事由によりなかなか手を出せない状況となっている。

- ・サービスを安定的に供給しながらの設備改修の実施判断
- ・既存データセンターの周辺環境との調整
- ・総合的な実施費用における採算性

利用者がデータセンター事業者に要求するサービスは 24 時間 365 日サービスが停止しないことが最低条件である。このような状況を鑑み、既存空調設備の大規模改修を行わずに空調効率化をはかる方法の検討が行われてきた。

データセンター冷却方式の思想変更はその一例として挙げられる。

従来、データセンターにおける冷却方式の思想は、フリーアクセスフロアの床下から冷気を供給し、天井から暖気を空調機に回収するフロア冷却方式が一般的であった。この方式における空調効率の向上手法として、冷気放出ルートの障害物撤去に加え、冷気の効率的な配分に着目したホットアイル・コールドアイル分別空調方式 (APC 2004) への改良による効率化向上が採用された。現在ではラック配置による各アイルの形成のみではなく、物理的にアイルを独立させたキャッピング方式 (NTT ファシリティーズ 2006) 等による更なる効率化の向上が実現している。一方でキャッピングによりホットアイル・コールドアイルを分離する方式では、ラック架列の整備が必要となるといった課題も残存する。特に個別ラック単位での持ち込みが可能な当社データセンタースペースでは、このようなラック架列の整列配備には困難が伴うことが多い。

当社では既存データセンターにおける最も効率的な空調環境改善手法を捜し求めていた。そこに(株)山武よりエアフロー改善ソリューションである「AdaptivCOOL™」の提案を受け、協力体制を組み、稼働中データセンターにおいて現場検証を行った。

2. 目的

前項のような背景から稼働中サーバールーム内における一層の効率的な運用を推進するにあたり、適正な評価の実施 (シミュレーションの実施)、熱溜り等の動的な探索及び解消を行うソリューション導入検討を実施した。当社目的に合致するソリューションとして提案された(株)山武の「AdaptivCOOL™」について主に以下の 4 点についての評価検証を行った。

- ・現場における当該機器導入の可否確認
当該機器の設置の可否及びそれに伴う効果がどの程度期待できるのかを机上確認
- ・製品運転率向上過程の机上検証
製品運転率を向上させていく過程において、いかなるタイミングにおいても、データセンターにおける規定温度内での運用が可能であることを机上検証する。
- ・保守性、運用性の検証
当該システム導入後における運用監視、メンテナンス性といった観点から検証を行う。
- ・稼働中サーバールームにおける効果検証
本製品の効果検証は本文で説明している稼働中サーバールームについて行い机上効果との比較検証を行う。

3. AdaptivCOOL™ 製品概要

AdaptivCOOL™ は複数のソリューションから成り立っており、今回は CFD シミュレーション、HotSpotr™、監視ツールといった 3 つのソリューションを導入した。

- ・CFD シミュレーション
現場の状況を詳細に調査し、実対策実施前に最良の対策提案及び対策効果を算出するソリューション
- ・HotSpotr™ (床冷却ファン)
二重床構造のデータセンターにおいて、フリーアクセスフロアの下部にファンユニットを設置し、床上の環境に応じて、環境維持に必要な冷気を強制的に吹き上げるソリューション
- ・監視ツール
特定の監視端末にて、HotSpotr™ の稼働状況及び周辺温度の環境監視機能 (エンジニアリング用途として提供) を活用する運用支援ソリューション
フロア冷却方式では、特定のラックが高発熱の場合、周辺全体を冷却することとなる。一方 HotSpotr™ による冷却

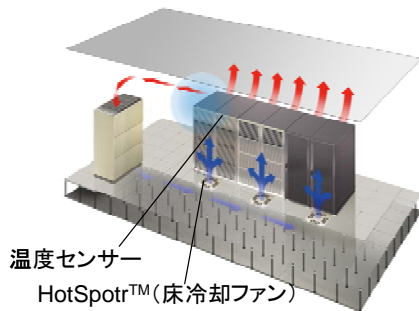
は、ピンポイントの対応が可能な事から、このような無駄が発生しない。結果的には、各ラックの温熱環境が均一化され、省エネにも繋がっていく事となる。

また、本製品はグリーン IT アワード 2010 において経済産業省 商務情報政策局長賞を受賞している。

製品の特徴は以下の通りである。

- ・シミュレーション検証の上、設備導入
製品の導入前にシミュレーションを実施の上で設置箇所及び予測効果を検証した上で実施する
- ・小型ファンを複数組み合わせ合わせた構成
冗長構成のため故障時の影響が少ない
- ・温度センサーにより風量を制御
温度変動に応じて冷気の風量を自動制御できる
- ・通常制御とは別に、故障時の制御設定が可能
- ・ファンユニットの移設が容易
フロア内で大きな負荷変動があった際、対応可能
- ・遠隔監視機能
システム構成によっては遠隔監視可能

図-1 HotSpotr™ 設置概要



温度センサー
HotSpotr™(床冷却ファン)
株式会社 榊山武, 2010 年, 日経環境シンポジウム発表資料より

4. 対策実施環境

対象エリアの数値データは以下の通りとなる。

フロア面積：約 1200 平方メートル

立架ラック数：約 400 ラック

(オープン、クローズラック混在)

空調機設置台数：35 台

尚、当社で提供するスペースサービスは以下通りである。

表-1 スペースサービス項目

貸出し範囲	ラック選択
ラック単位	BBT標準オープンラック
ケージ単位	BBT標準クローズラック
フロア単位	持ち込みラック

表-1 に示すとおり、当社サーバールーム内のラック配置状況様々な形態が混在している。

更にラック内の IT 機器利用形態も均一ではない為、負荷変動も流動的である。

5. 導入前詳細検討

AdaptivCOOL™ の導入に向け、近年 CO2 削減対策に向けた第 1 歩として認識されている「見える化」を実施し、効果予測を立てることから始まった。

5-1. 計測ポイント

当社では以下の項目について常時監視を行っている。

- ・対象フロア 1 日あたりの IT 機器総電力 (kWh)
- ・各ラック IT 機器電力 (kW)
- ・各ラック 1 日あたりの IT 機器総電力 (kWh)
- ・対象フロア 1 日あたりの空調機総電力 (kWh)
- ・フロア内温度 15 箇所 (°C、5 分周期)

当社による計測ポイント以外に、榊山武はシミュレーションソフト上での検討を目的として、各ラックの温度やグレーチングの吹出し風量等の詳細計測を実施した。

5-2. 見える化による効果予測

床下の冷気を遮蔽する障害物によって生じる温度分布計測データを図面にプロットすることにより、室内におけるエアフローのウィークポイント及びその理由を概ね把握できた。この結果、局所的な温熱環境の改善は可能と判断した。

一方で、ここで導かれた結果はフロア全体の空調最適解ではない。この為削減効果を明確化する事は困難であった。

そこで、榊山武によるシミュレーションソフトを用いた分析を取入れる事となった。

6. シミュレーションの実施と分析

フロア全体の温熱環境改善の達成及び対策効果の明確化を目的として、上記にて取得したデータを利用し、シミュレーション分析を実施した。

シミュレーションの実施による榊山武からの対策提案プランは、以下 4 つの対策であり、温熱環境改善に加え、12 台の空調機を停止し、約 8.3%の消費電力削減が予測値として見込めることとなった。

提案対策のポイントは、「冷気を必要とするポイントに」「必要量の冷気を」「的確に供給する」といった点であった。

・空調機の風量制御の変更

当該フロアでは負荷に応じて風量を可変できる可変風量制御を取入れていたが、榊山武の提案は常時一定風量となる固定風量制御への変更であった。

可変風量制御の場合、床下の圧力が不安定となり、通常のグレーチングが負圧となってしまうリスクがあるとの見解であった。

・ラック内におけるエアフロー改善

本改善提案は以下の 2 点であった。

① 熱の回り込み防止

全ラックを対象とするのではなく、回り込みの影響を受けやすいラックに絞ってブランクパネルを設置するといった提案

② 冷気の有効性向上

冷気が IT 機器に供給されることなく、直接ホットアイルに流出してしまう事を防止する為、ラック内通線用カットアウトを閉鎖するといった提案

・グレーチング再配置

前述の局所的な対応ではなく、フロア全体のバランスを考慮した結果から、グレーチング及び HotSpotr™ の設置場所に関する提案があった。

基本的なコンセプトとしては、極力冷気をサーバへ供給し、その排熱のみを空調機が回収する事を意識したエアフロー構成となっていた。

- HotSpotr™ 設置

HotSpotr™ はグレーチングと一体化したものとなっており、現場環境により設置可能な場所が限定される。

当社より㈱山武へこの旨を指摘し、製品をグレーチングから分離し、よりフレキシブルに設置可能となるよう改善された。

- 空調機のホットスタンバイ機を適正に確保

吸い込んだ暖気をそのまま床下に送ってしまわないよう、通常運用時もコンプレッサが稼働している状態でホットスタンバイ機を確保するといった運用面での提案であった。

7. 温熱環境改善対策の実施

前述の対策を稼働中データセンターで実施するにあたり、問題点も浮上する。この問題点とは、全ての対策について環境変化を勘案しながら計画的に実施していくことが必須であることである。

各対策は必ず移行期間が存在し、この移行期間中に温度が上昇する可能性がある。このような状況を勘案して、当社は「どのステップにおいても現運用における規定温度を超えない環境を維持可能か」といった点をシミュレーションソフトにて検証してもらうよう㈱山武に依頼した。

その結果、やはり一時的な温度上昇は避けられないと判断した為、当社では室内を過冷却¹による適正温度上昇維持対策を実施し、各ステップの対策完了後、空調機の設定を変更していく形での対応を取る事とした。

表-2 温熱環境改善対策フロー

	対策前		対策中	対策後	
	通常状態	対策事前準備		環境調査	通常状態
空調設定	通常設定	過冷却設定		通常設定	

各対策を実施することによって得られた成果は以下の通りであった。

7-1. 風量制御の変更

可変風量制御から固定風量制御への変更により、安定した風量の提供が可能となった。この対策の位置付けは、従来から実施していたサーバールーム環境変更に伴う事前準備といった段階であるため、大きな改善は見られなかった。

7-2. ラック内におけるエアフロー改善

- 熱の回り込み防止
ブランクパネル設置によりラックのフロントとリアにおける熱が分離され、ラックフロント側では温度が低下し、リア側では温度が上昇した。
- 冷気の有効性向上
カットアウト閉鎖により、各グレーチングから吹出される風量の増加が確認された。部分的に温度が上昇するエリアもあったが、事前に過冷却対応を行っていた為、温度上昇における運用環境への影響は無かった。

7-3. グレーチング再配置

当該フロアでは風向き調整用のガラリが付いたタイ

プのグレーチングを設置していたが、部分的に移設が困難であった。結果的にガラリを取外して設置する事となったのだが、新たな発見もあった。

風向き調整用ガラリを取外す事で、グレーチングと床下障害物の間にスペースが拡がり、十分な風量を確保するに至った。この手法は一つのバリエーションとなった。

7-4. HotSpotr™ 設置

当該機器の設置工程には 3 つのステップから成る。そのステップとは以下の通りである。

7-4-1. 温度センサー設置

設置位置はラックフロント側の上部であり、センサーが有線タイプであった為、通線ルートはラックの外側から通線するよう㈱山武へ依頼した。ラック内は当社が顧客へ貸出しているスペースであり、通線作業時における現用機器接触のリスクがあった為である。

7-4-2. HotSpotr™ 本体設置

設置手法は前述の通り、グレーチング一体型と分離型の 2 通りで実施した。

制御についてもファン風量が温度センサー計測値に追従して制御されるよう設定された。

7-4-3. 監視ツール設置

各機器とコントローラユニットを接続することで、監視端末から各センサー温度、本体稼働状況及び警報の監視が可能となった。

上記対策を実施する都度、各ラック前の温度計測を行い、現場取得データとシミュレーション結果の相違事由の確認を行ってきた。この作業により最終的な空調電力削減対策の内容と効果予測が完了した。

また、シミュレーションで提示された全ての対策を実施したことにより、室内の環境が改善した為、過冷却設定から通常設定へ移行した。

8. 消費電力削減対策の実施

これまでの温熱環境改善により、各ラックフロント側の温度が均一化され、消費電力の削減が可能となった。

しかし、シミュレーション当初では 12 台の空調機を停止可能と想定していたが、IT 機器の負荷増加の影響により、最終的には 8 台の空調機停止に留まった。

㈱山武より 8 台の空調機を各 30 分から 90 分程度の間隔をもって 1 日で全て停止させる提案があったが、サーバールーム運用の安全性を考慮した結果、当社より以下のような対策を㈱山武へ要望した。

- 停止予定となる 8 台の空調機は、近接する空調機が複数台含まれていた為、停止作業を 3 段階 (3 日) に分ける。
- 1 日あたりの空調機停止台数を 2, 3 台とし、各空調機の停止間隔を 30 分以上とする。この間に周辺温度の確認を行い、運用上問題無い事を確認した上で次の空調機を停止する。
- 各段階の間には、1 週間程度の周辺環境確認期間を設け、安全性の確保を行う。

この背景には、8 台もの空調機を同時に停止すれば、急激な温度上昇を招く可能性が高くデータセンターサービスの

¹ サーバルームにおけるメンテナンス時に通常より低い温度設定を行うことにより急激な温度上昇に備えること。

品質に大きな影響を与えることを危惧した為である。

第1段階として3台の空調機を停止し、その後環境調査及び調整を行った。この時点で温度上昇はほぼ無かったが、グレーチング風量及び風向きの調整を行う必要があった。

第2段階では、更に3台の空調機を停止した。床下に障害物のあるエリアにおいて、若干の温度上昇が確認された。グレーチングの追加及び風向き調整を実施することで改善可能であった。

最終段階として、残り2台の空調機停止を実施した。本対策の中で最も稼働中機器への影響が懸念されるポイントであったが、この時点では問題なく対策を完了した。

表-3 空調機停止工程

ステップ	停止台数	停止後の対策
第1段階	3台停止	風量、風向き調整
第2段階	3台停止	グレーチング追加、風向き調整
最終段階	2台停止	特になし

当社にて設置していた空調機は、可変風量制御及びコンプレッサのインバータ制御が可能な空調機を使用していた為、ファン電力及びコンプレッサ電力の双方を負荷に応じて自動制御可能であった。この制御方式により、当初より一定の効率化を図っていた。

当該エリアにおける更なる省エネと温熱環境改善の両立を目指し、サーバ室内全体を冷却するフロア空調方式から、コールドアイル、ホットアイルの切り分けた局所冷却方式へシフトした。更に HotSpotr™ を導入し、特定のエリアに対するピンポイント冷却を実施し、冷却不要なエリア及びラックに対する無駄の軽減も実施した。これらの対策により、空調機の停止が可能となり、省エネ化を達成した。結果、「空調機電力の約8.8%削減」といった成果を得た。

8.8%という結果だけを省エネ化という視点で見れば特筆すべき効果ではないが、温熱環境の改善を重要視した対策としては一定の効果を得られたと考えている。

9. AdaptivCOOL™の導入評価

今回の検証においては、数ある AdaptivCOOL™ のソリューションから CFD シミュレーション、HotSpotr™、監視ツールといった3つのソリューションを導入し、検証を行った。

これらのソリューションについて、前述の4つの評価項目に応じて結果を記載する。

- ・現場における当該機器導入の可否確認
HotSpotr™ の設置手法等の検討事項はいくつかあったが、山武との協議のうえ当該機器を分離する方式に改良することによって導入時の障壁が解消した。
- ・製品運転率向上過程の机上検証
稼働中データセンターの安全性確保を目的に、各工程、状況に応じたシミュレーション分析を実施した。シミュレーションデータを基に、検討を進めることで、導入過程においても適切な温度管理が可能であった。
- ・保守性、運用性の検証
HotSpotr™ は前述の通り、複数のファンによる構成により、単体ファンの故障による影響が少なく、移設及び代替機のリプレイスが容易なため保守性が確保されている。
監視ツールは状態監視、警報監視、履歴確認等通りの機能は搭載していたが、警報監視、データ蓄積

といった点に改善の余地がある。

- ・稼働中サーバールームにおける効果検証
CFD シミュレーションによる予測効果が約8.3%であり、実際の効果が約8.8%となったことから、導入前の詳細な現場調査データがあれば、的確なシミュレーション予測が成り立つことが判明した。

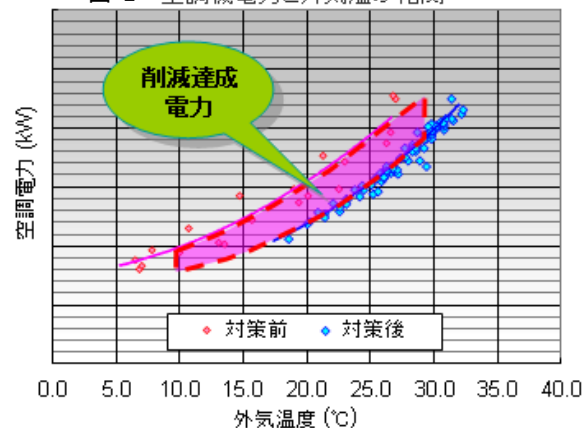
10. 季節変動による電力推移

空調電力は室内のIT機器電力の変動のみではなく、外気条件によっても大きく左右される。

図-2は空調機の消費電力と外気温の相関を表したものであるが、対策前後ともに外気温と空調消費電力との関係性が2次関数となる事が分かる。また、グラフより読み取れる情報は以下の通りとなる。

- ・外気温度の高低に応じて空調機の消費電力も増減している
- ・10℃～30℃ではどの温度域においても削減効果が現れている
- ・エアフローが改善され、ホットスポット及びコンプレッサのハンチング解消等により、空調電力のパラつきが低減されている

図-2 空調機電力と外気温の相関



(株)山武, 2010年, 日経環境シンポジウム発表資料より

外気温が10℃以下となる冬季においては、本対策のポイントであったコンプレッサ及びファンに加え加湿器の稼働が発生することから、削減率に若干の影響が予想される。

11. 今後への期待

従来、当社では当該検証エリアにおいて空調機の風量制御を可変風量制御にて運用していた。しかしながら、今回の HotSpotr™ の導入検証にあたり固定風量制御を暫定採用した。

前述の通り、可変風量制御を暫定変更したのは、HotSpotr™ との平行運用におけるリスクを回避した為である。本製品の導入検証が完了した現段階であれば、可変風量制御によるファンの消費電力削減により、更なる効果増大が期待できる。

可変風量制御に関わらず、それ以外の空調電力を削減可能なソリューションを取り込んだ上でのシミュレーション、更には HotSpotr™ 等の AdaptivCOOL™ 製品の導入が達成できれば、両者の相乗効果も期待できる。

また、遠隔監視機能に関して、(株)山武としては今後中央

監視システムへの取り込みを視野に入れており、今後はサーバ機器の消費電力と温度情報を収集し、HotSpotr™と空調機を連動制御させる方向で改良していくとのことであった。

これが実現されればマンパワーによる細かな空調調整はほぼ不要になるのではないと思われる。

12. 総括

前述の導入評価では、導入した際の消費電力がどの程度削減できたかといった点について評価を行った。

上述の結果に加えて本導入検証によって以下のような運用上の効果を見出すことができた。

- ① メンテナンス費用の削減
空調機のコンプレッサ等は周期的な計画修繕とは異なり、規定運転時間に達した時点で部品交換が必要となる。つまり、運転台数を減らす事で、空調機のメンテナンス費用の削減が可能となる。
- ② 冗長性の向上
運転台数が少なくてすむという事は、待機状態の空調機が増えるという事である。より多くの冗長機を保有することで、安全性、安定性の向上が図られる。
- ③ 運用ノウハウの蓄積
当該検証エリアは、既設データセンターであり、かつ多種多様な環境が混在する環境であった。
この複雑な環境下における温熱条件の改善に加え、空調電力の削減を達成した。この過程において、サービス品質の低下をまねく事無く対策を完了した事は、当社の運用力の更なる向上に繋がったと確信して止まない。

当社は、今後、更なる改善策の検討を強力に推進していくものである。

以上

参考文献：

APC (2004), 「高密度サーバの適用に起因する熱の問題を解決する為の 10 の手順」

NTT ファシリティーズ (2006), 特許広報「電算機室用空調システム」, 特許番号 3835615 等

※AdaptivCOOL は DegreeControl 社の商標です。

※AdaptivCOOL は DegreeControl 社の製品です。

※株式会社山武は AdaptivCOOL の販売代理店です。