

ホット/コールドアイル コンテインメント がデータセンターの温度と効率に 及ぼす影響

ホワイトペーパー135

改訂 2

ジョン・ニーマン
ケビン・ブラウン
ビクター・アヴェレール

> 要約

従来のデータセンターは、熱気のコンテインメント(囲い込み)または冷気のコンテインメントのいずれを用いても、その空調システムの予測可能性と効率を改善できる可能性があります。どちらの方法も熱気と冷気の混合を最小限に抑えられますが、実装と運用の面で両者には違いがあり、その違いが、作業環境条件、PUE、およびエコノマイザーモード時間に大きく影響します。コールドアイルコンテインメントよりもホットアイルコンテインメントを選ぶと、空調システムの電力コストを年間43%節約できます。PUEなら年換算で15%減少することになります。本書では、これら両方の方法を検証し、なぜホットアイルコンテインメントが新設データセンターの望ましいベストプラクティスとなるのか、その理由に焦点を当てます。

目次

セクションをクリックすると、
そのセクションに直接移動します。

はじめに	2
コンテインメントの効率上の メリット	2
コールドアイルコンテインメント	3
ホットアイルコンテインメント	4
作業環境でのコンテインメントの 効果	5
CACSとHACSの分析	6
消火設備の検討	11
結論	12
参考資料	13
付録:分析に用いた仮想条件	14



はじめに

データセンターにおけるエネルギーコストの高さとエネルギー消費率の急増により、データセンターの専門家は、熱気／冷気の処理に関する戦略の検討を強いられています。EYP Mission Critical の Bruce Myatt 氏は、熱気と冷気分離は「新設／既存の違いにかかわらず今日のデータセンターで利用できる電力効率対策としてはもっとも効果的」だと述べています（「Mission Critical」2007 年秋号）。コンテインメントを用いることで、電力効率のメリットに加えて、IT 機器の吸気口温度を一定にし、従来のコンテインメントなしのデータセンターで典型的に見受けられるホットスポットを排除できます。

ホットアイルコンテインメントは、あらゆる新設のデータセンターと、多くの従来のフリーアクセスフロアにおいて、望ましいソリューションですが、「上部空間」が低いか吊り天井のプレナムが使用できないという理由で、実装が難しかったり費用が高つくたりすることがあります。コールドアイルコンテインメントは、最適とは言えないまでも、こうしたケースではもっとも現実性があるかもしれません。

コールドアイルとホットアイルのどちらのコンテインメントも、従来のコンテインメントなしの構成に比べれば、大きな省エネをもたらします。本書では、両方のコンテインメントにおける電力消費を定量分析し、空調システムにおいてホットアイルコンテインメントはコールドアイルコンテインメントよりも43%の省エネが可能であることを証明します。同時に、データセンターを新規に設計する際は、ホットアイルコンテインメントを導入するかその検討をするべきであるということも証明します。

データセンターで、熱気および冷気のコンテインメント（囲い込み）を行うことにより、次のような効率上のメリットが生じます。ホットアイル／コールドアイルの列レイアウト¹は、どちらのアイルコンテインメントにとっても必須ですので注意してください。

コンテインメントの効率上のメリット

- **空調システムをより高い供給温度に設定でき（省エネと空調能力の増加が実現）、安全な運転温度で負荷を供給できる。**コンテインメントなしの壁際の空調システムの温度は、ホットスポットの発生を防ぐために、IT 機器の要求温度よりもいっそう低く設定されます（約 13°C）。ホットスポットは、冷気が空調装置からラック正面へ向かうときに熱を拾い上げるために起こります。コンテインメントにより、給気温度を高めることができ、非常に暖かい還気が空調装置に戻ってくる可能性があります。空調装置への還気の温度が上昇すると、クーリングコイル全体での熱交換が改善する、空調容量が増加する、全体的な効率が向上するといったメリットがあります。こうした効果は、事実上すべての空調装置に当てはまります。一部の機器には処理可能な最大還気温度の限界がありますが、一般に、あらゆる空調システムは還気温度の上昇により、その容量が増加します。
- **ホットスポットの排除。**コンテインメントを使用することにより、空調装置の給気を、熱気と混合させずに IT 機器の前面に届けることができます。つまり、空調装置の給気温度が、IT 機器の吸気温度と同じになります（IT 機器の吸気温度の一定化）。混合が起きないときは、ホットスポットが生じるリスクを伴わずに給気温度を高めることができ、フリークーリングを活用できる時間は長くなります。
- **エコマイザーモード時間が増加します。**室外温度が室内温度より低い場合、空調システムの圧縮機は、室外へ熱を排出する動作が不要です。²空調システムの設定温度を高くすると、空調システムが圧縮機の電源を切って節電できる時間が長くなります。³

> フリークーリング時間の増加をもたらすもの

チラーの基本的機能は、冷媒を圧縮・膨張させることでデータセンターから熱エネルギーを除去し、水冷を設定供給温度（通常は 7°C）に維持することです。

室外温度が約 11°C（冷水の温度よりも低い）の場合は、チラーをオフにできます。

その場合、冷却塔はチラーをバイパスし、直接データセンターから熱を除去します。

冷水の供給温度が上昇すると、チラーをオフにできる時間（エコマイザーモード時間）が長くなります。たとえば、室外の温度が冷水の温度（7°C）より少なくとも 11°C 低い場合は、1000 時間／年です。しかし、冷水が 13°C まで上昇すると、エコマイザーモード時間は 3,700 時間に増加します。

¹ 隣り合うラックの互いの正面が向かい合うように配列されたラックのレイアウト。このレイアウトはホットアイルとコールドアイルが入れ替わった形です。

² 室内と室外とで、熱交換の非効率性や不完全な絶縁、その他の損失の根拠となるだけの温度差がなければなりません。

³ 設定温度は、データセンターが共有する建物全体の空調システムで抑制されることがあります。

- **加湿／除湿コストが減少します。**熱気と冷気の混合を避けることにより、空調システムの給気温度を高めることができ、空調システムを露点温度より高い温度で運転できます。給気温度が露点温度より高いと、空気中の湿気が除去されません。湿気が除去されない場合は、電力と水が節約されて加湿が不要になります。
- **物理インフラの使用が全体的に改善してライトサイジングが可能になるため、機器の稼働が効率化します。**オーバーサイズの機器は適正サイズの機器に比べて、サイズが大きいほど固定損失も大きくなります。⁴ただし、従来の空調では、オーバーサイジングが必要です。これは、床下の障害物に対処したりフリーアクセスフロアのプレナムを加圧したりするために、ファンの電力が余計に必要なからです。

コールドアイル コンテインメント

関連リソース
ホワイトペーパー153
Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers (英語版)

コールドアイル コンテインメント システム(CACS)では、コールドアイルが囲い込まれ、データセンターのその他の領域は大きな熱気の戻りプレナムとなります。コールドアイルを囲い込むことにより、ホットアイルとコールドアイルの気流を分離します。このコンテインメント法では、ホットアイル／コールドアイルを一貫した配列によってラック列をセットアップする必要があります。

図 1 に、ペリメーター空調装置とフリーアクセスフロアを備えたデータセンターでの、冷気によるコンテインメントの基本原則を示します。この種のデータセンターで CACS を展開するには、コールドアイルの上層と下層を囲い込みます。これは、多くの既存のデータセンターにとって有用な改良装置となります。これについての詳しい解説は、ホワイトペーパー153『Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers』(英語版)を参照してください。

データセンターのオペレーターがコールドアイルを囲い込むためにさまざまなカーテン状のプラスチック素材を天井から吊り下げるといふ、自家製のソリューションも導入されています(図 2)。一部のベンダーは、室内を循環する暖気とコールドアイルとを分離しやすくするために、隣接するラックに天井パネルと端部扉をマウントするように提案しています。

図 1
部屋単位の空調アプローチとともに導入されたコールドアイルコンテインメント システム (CACS)

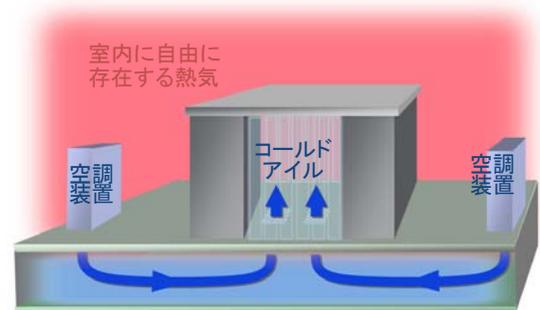


図 2
「自家製」コールドアイル コンテインメント システムの例



コールドアイルの両端の天井から、プラスチック製のカーテンが吊り下げられている

冷気を供給させるため、フリーアクセスフロアが穴開きタイルになっている

⁴ 固定損失(負荷なし、固定、シャント、または重量損失とも言う)は、負荷に依存する一定の損失です。固定損失の例として、負荷の大きさに関わらず常に等速度で回転する等速度の空調ファンがあります。

ホットアイル コンテインメント

ホットアイルコンテインメントシステム(HACS)では、ホットアイルの囲い込みによりIT機器の排気が集められ、室内のその他の領域は大きな冷気の供給プレナムとなります。ホットアイルを囲い込むことにより、ホットアイルとコールドアイルの気流を分離します。このコンテインメント法では、ホットアイル/コールドアイルを一貫した配列によってラック列をセットアップする必要があります。図3にHACSの基本原理を示します。列単位の空調装置を使用し、独立した領域として稼働しているHACSの例を、図4に示します。

他にも、HACSは、電算室空調機(CRAH)と、あるいはホットアイル全体に配置された大きな排気口を利用する離れた場所の大規模な空調装置と、ダクトで連結される場合があります(図5)。この種の設計のHACSは、エアースイドエコマイザーモードによる効率改善が見込まれるため、専用データセンターでは好ましい設計です。こうしたシステムは、大量の空気を効率的に処理するために、構築された大きなプレナムまたは特注の建物(あるいはその両方)を必要とします。したがってHACSは、新たに設計する場合、非常に大規模なデータセンターに適しています。ここで述べるHACSの選択枝は、CACCSでも可能ですが、本書ではHACSのほうがはるかに省エネ効果が高いことを証明します。

図3

列単位の空調アプローチとともに導入されたホットアイルコンテインメントシステム(HACS)

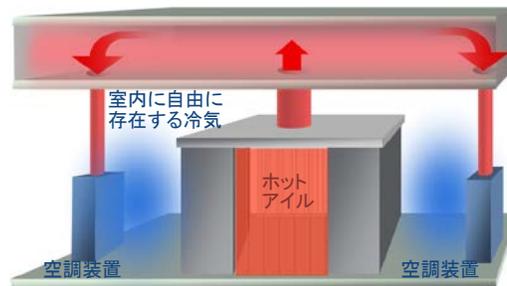


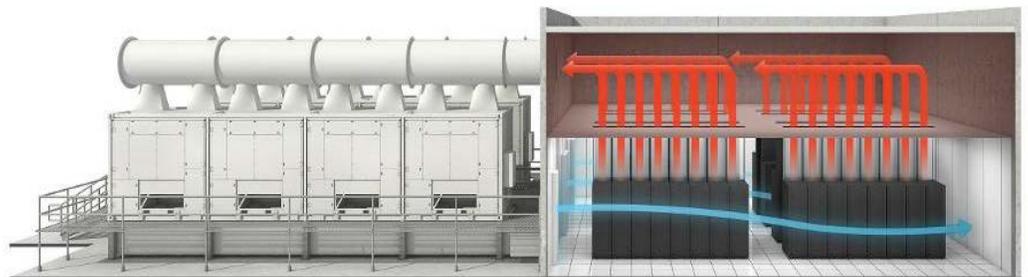
図4

独立した領域として稼働しているホットアイルコンテインメントシステム(HACS)の例



図5

離れた場所の空調装置とダクトで接続されたホットアイルコンテインメントシステム(HACS)



作業環境での コンテインメント の効果

コンテインメントシステムの種類が何であろうと、データセンターの中の人たちは仕事をしなければなりません。

彼らがいるコンテインメントなしの領域は、湿球黒球温度(WBGT)の超過に関するOSHA(米国連邦労働安全衛生局)の規定やISO7243 ガイドラインに違反しないように、適温に保たれなければなりません。⁵

コンテインメントなしの領域では、次のような違いが生じます。

- コールドアイルコンテインメントの場合、コンテインメントなしの領域はホットアイルと同じ温度になります(図6の薄い赤色の部分)。
- ホットアイルコンテインメントの場合、コンテインメントなしの領域はコールドアイルと同じ温度になります(図6の青色の部分)。

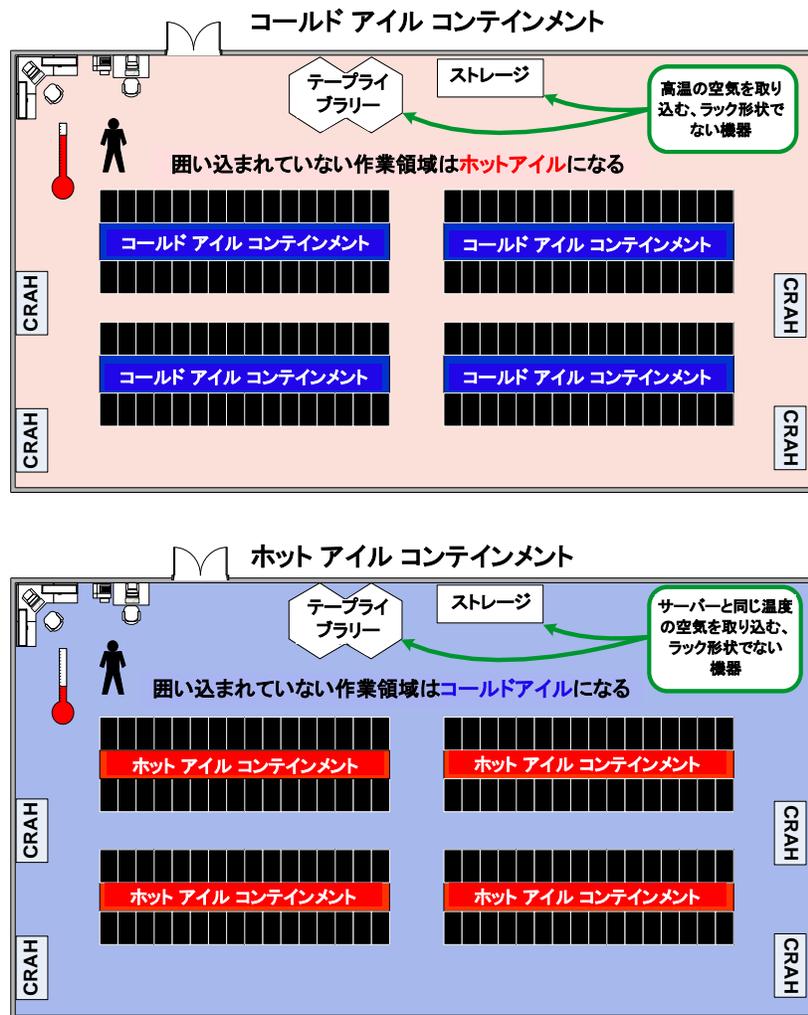


図 6

コールド/ホットアイルコンテインメントを使用した、囲い込まれていない作業環境

CACS の場合、ホットアイルが高温であるため、コンテインメントなしの領域も同じ温度に達します。データセンター内のデスクにずっと張り付いている IT スタッフにとっては、これは問題になりかねません。HACS の場合、ホットアイルの高温はホットアイルの外側にまで及ばないので、コンテインメントなしの領域に常駐している IT スタッフに影響を及ぼすことはありません。

⁵ OSHA(米国連邦労働安全衛生局)テクニカルマニュアル、セクション III、第 4 章、ISO(国際標準化機構)7243、「Hot environments - Estimation of the heat stress on working man based on WBGT index(暑熱環境 - WBGT 指数[湿球黒球温度]に基づく作業者に対する熱ストレスの評価)」

関連リソース
ホワイトペーパー123

Impact of High Density Hot Aisles on IT Personnel Work Conditions (英語版)

> WBGT

「湿球黒球温度」(WBGT)は、人間の作業環境における熱ストレスを測定するための指標です。

$$WBGT = 0.7 \times NWB + 0.3 \times GT$$

NWB は自然湿球温度、GT はグローブ温度のことです。

NWB は湿ったガーゼで包んだ水銀温度計の球部で測定します。WBGT は、乾球温度に応じて温度を低下させ、また作業者の発汗による熱放散のしやすさを直接表すものです。

データセンターの場合、精度を損なうことなく、黒球温度の代わりに湿球温度を使用できます。「乾球温度」とは一般的なアナログまたはデジタル温度計で測定した温度のことです。

OSHA の最大 WBGT:

連続作業: 30°C
作業 25%、休憩 75%: 32°C

重要なのは、IT スタッフが HACS のホットアイルで作業しなければならない場合、ホットアイル内の高温は、ホットアイルを一時的に開放して冷気を入れることで軽減するという事です。さらに、たとえホットアイルが閉じられている状態でも、作業環境条件は次の 2 つの点において満たされます。①作業者は CACS の場合と同様に、高温環境(ホットアイルなど)に恒久的に常駐しているわけではない。②ほとんどの日常作業は IT ラックの正面側で行われる。

したがって、理由①の場合、OSHAは、HACSホットアイルでの稼働/休憩の割合を 25%/75%とし、最大WBGT⁶を 32.2°Cとします。つまり、HACSのホットアイルの温度は 47°Cになります。HACSで許容されるホットアイルの温度がより高いことが、HACSとCACSの主な違いです。それによって、CRAH装置がより効率的に稼働できるからです。

作業環境条件の詳細については、ホワイトペーパー123『Impact of High Density Hot Aisles on IT Personnel Work Conditions』(英語版)を参照してください。

人間の快適さだけでなく、IT 機器の信頼性も重要です。2011 版の ASHRAE 規格 TC9.9 では、サーバーの吸気口温度として 18~27°C を推奨しています。CACS の場合、コンテインメントなしの領域での温度は 27°C を超えてもよく、高密度 IT 機器では 38°C を超えてもよいことになっています。したがって、通常はデータセンターに入室した人は誰でも、そうした高温の室内に驚いてしまうので、見学するのも難しくなります。CACS の場合、温度が高いのは「通常」のことであり、システムが故障しかかっていることのサインではないのだと、関係者の理解を得ておく必要があります。こうした考え方の転換は、高温環境下で稼働するデータセンターに慣れていない作業者にとっては難しいことかもしれません。

また、データセンターを高温環境下で運用する場合は、ラック形状でない IT 機器(テープライブラリーなど)やメインフレームなどについて特別な対策が必要です。CACS の場合、ダクトの配置をカスタマイズして、囲い込まれているコールドアイルから冷気を供給させるようにする必要があります。穴開きタイルをホットアイルに設置すると、機器を冷却するには役立ちますが、コンテインメントの趣旨にそぐわなくなります。また、電源コンセント、照明、消火システム、およびその他の室内のシステムについて、高温環境下での運用の適性を評価する必要があります。

CACS と HACS の分析

それぞれの最適なパフォーマンスが示されるように冷気または熱気の漏れがない状態で CACS と HACS を比較するという、理論的分析が過去に行われました。フリーアクセスフロアの漏れ(バイパスファクター)は通常 25~50%、コンテインメントシステムの漏れは通常 3~10%です。この分析に使用された仮想条件は「付録」に記載されています。エコマイザー時間モデルとデータセンターPUE モデルを使用する各シナリオについて、エコマイザーモードの時間数と結果の PUE が見積もられました。エコマイザーモードを備えた従来のコンテインメントなしのデータセンターも分析対象となり、CACS と HACS の影響を比較するためのベースラインとして役立ちました。CACS と HACS のデータセンターは、いずれも 3 つの温度シナリオを用いて分析されました。

↓シナリオ 1.

1. IT機器の吸気温度を 27°Cに保持 (ASHAREが推奨する吸気口温度の上限)⁷
 - a. CACS の特徴: 人間の快適さおよびラックなしの IT 機器に影響する、コンテインメントなしの領域(ホットアイルなど)で、温度制限がない。
 - b. HACS の特徴: コンテインメントなしの領域(コールドアイルなど)の温度が、IT 機器の吸気と同じ温度に制限される。

⁶ 湿球黒球温度(WBGT)は熱ストレスの尺度であり、作業環境の湿度に大きく依存します。47°C というホットアイルの最高温度は、コールドアイルの相対湿度を 45%と想定した場合の数値です。

⁷ ASHRAE TC 9.9『Thermal Guidelines for Data Processing Environments』(2011)の 4 ページ、「Expanded Data Center Classes and Usage Guidance」

↓シナリオ 2.

2. コンテインメントなしの領域の温度を 27°C に保持 (ASHARE が推奨する吸気口温度の上限)
 - a. CACS の特徴: IT 機器の吸気温度が低下し、コンテインメントなしの領域 (ホットアイルなど) の温度が維持される
 - b. HACS の特徴: IT 機器の吸気温度が、コンテインメントなしの領域 (コールドアイルなど) の温度に制限される

↓シナリオ 3.

3. コンテインメントなしの領域の温度を 24°C に保持 (人間の快適さのための標準的な室内設計の温度⁸⁾)
 - a. CACS の特徴: IT 機器の吸気温度が大幅に低下し、コンテインメントなしの領域 (ホットアイルなど) の温度が維持される
 - b. HACS の特徴: IT 機器の吸気温度が、コンテインメントなしの領域 (コールドアイルなど) の温度に制限される

表 1 は、以下のパラメーターを使用して分析の結果をまとめたものです。

- IT 機器の吸気口の乾球温度
- コンテインメントなしの領域: 乾球温度 [DB] および湿球黒球温度 [WBGT]
- フリークーリング時間: 年間を通じてチラーがオフになる時間数
- 1 秒間あたりの立方メートル (m³/s): CRAH 装置が供給するエアフローの総量 (IT 機器のエアフローの総量に占める割合で示す)
- PUE: データセンター業界の標準測定基準

表の最初の行では、比較のために、コンテインメントなしのデータセンターのベースライン値を示します。

シナリオ 1 の結果

このシナリオでは、CACS と HACS のエコマイザーモード時間が 6,218 時間、PUE が 1.65 でした。つまり、人間の快適さとラックなしの IT 機器を無視する場合で、CACS と HACS の効率が等しくなるポイントを示しています。しかし、CACS の場合、コンテインメントなしの領域の温度は、相対湿度が 21% のときで 41°C (WBGT の 28°C に相当) で、これは OSHA の WBGT 制限である 30°C に近い値です。

これは IT スタッフやラックなしの IT 機器にとっては現実的とは言えない作業環境です。現実には、そうした高温は、漏れた冷気をコンテインメントなしの領域へ強制的に導きます。漏れの影響については、後出の「理論的分析に基づく気流漏れの影響」の項で説明します。

シナリオ 2 の結果

このシナリオでは、コンテインメントなしの領域の温度を 27°C に保ち、CACS のエコマイザーモード時間を年間 2,075 時間に制限して、PUE をシナリオ 1 よりも 13% 低くします。結果として得られた IT 機器の吸気温度は 13°C です。シナリオ 1 の IT 機器の吸気温度はシナリオ 2 のコンテインメントなしの領域の温度制限と同じであるため、HACS の結果は変わりません。シナリオ 2 では、CACS と HACS の両方とも IT 機器の吸気温度は許容範囲内ですが、作業環境の快適温度と言えるものではありません。HACS は CACS に比べて、エコマイザーモード時間が 4,143 時間増加し、PUE が 11% 向上しています。

⁸ American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (米国暖房冷凍空調学会) 刊『2001 ASHRAE Fundamentals Handbook』(28.5 ページ)

シナリオ 3 の結果

このシナリオでは、コンテインメントなしの領域の温度の制限が、人間に快適な 24°C まで下がっています。温度が低くなった結果、CACS のエコマイザーモード時間は通年でゼロ、PUE はシナリオ 2 より 6%ダウンし、IT 機器の吸気温度は 10°C となっています。HACS のエコマイザーモード時間は 5,319 時間に、PUE は 1.69 に減少しています(シナリオ 2 より 2%ダウン)。シナリオ 3 では CACS と HACS の両方とも、作業環境の快適温度と、許容範囲内の IT 機器の吸気口温度が得られています。HACS は CACS に比べて、エコマイザーモード時間が 5,319 時間増加し、PUE が 15%向上しています。

表 1

CACS と HACS のコンテインメントなしの領域の温度の制御による影響

コンテインメントの種類	IT 機器の吸気	コンテインメントなしの領域		エコマイザー時間	m ³ /s CFM ⁹	PUE	コメント
		DB	WBGT				
従来のコンテインメントなしの場合	13-27°C 56-81°F	24°C 75°F	17°C 63°F	2,814	149%	1.84	コールドアイルで 49%、ホットアイルで 20%の漏れを伴うベースライン ¹⁰
シナリオ 1: IT 機器の吸気口温度を 27°C に保持							
CACS ASHRAE による IT 機器の吸気温度の上限。コンテインメントなしの領域の温度に制限なし	27°C 81°F	41°C 106°F	28°C 83°F	6,218	100%	1.65	WBGT は、OSHA が定める最大値より 2°C だけ低くなります。チラー電力消費の 37%減少分が含まれます。これは、IT 機器の供給温度が上昇し、冷水の供給温度も上昇することが理由です。
HACS ASHRAE による IT 機器の吸気温度の上限。コンテインメントなしの領域の温度に制限なし	27°C 81°F	27°C 81°F	21°C 70°F	6,218	100%	1.65	WBGT は、OSHA が定める最大値より 9°C だけ低くなります。チラー電力消費の 37%減少分が含まれ、冷水の供給温度は上昇します。* 注意:ホットアイル温度は 41°C です。
シナリオ 2: コンテインメントなしの領域の温度を 27°C に保持							
CACS 27°C がコンテインメントなしの領域の上限温度	13°C 56°F	27°C 81°F	18°C 64°F	2,075	100%	1.86	OSHA および ASHRAE に準拠しています。チラー電力消費の 5%増加分が含まれます。これは、IT 機器の供給温度が低下し、冷水の供給温度も低下することが理由です。
HACS 27°C がコンテインメントなしの領域の上限温度	27°C 81°F	27°C 81°F	21°C 70°F	6,218	100%	1.65	シナリオ 1 の HACS と同様の結果です。
シナリオ 3: コンテインメントなしの領域の温度を 24°C に保持							
CACS 24°C がコンテインメントなしの領域の上限温度	10°C 50°F	24°C 75°F	15°C 59°F	0	100%	1.98	許容される作業環境ですが、第 1 行のベースライン データセンターと比べると効率は悪くなります。チラー電力消費の 15%増加分が含まれます。これは、IT 機器の供給温度が低下し、冷水の供給温度も低下することが理由です。
HACS 24°C がコンテインメントなしの領域の上限温度	24°C 75°F	24°C 75°F	18°C 65°F	5,319	100%	1.69	より高効率で、OSHA および ASHRAE に準拠。チラー電力消費の 28%減少分が含まれ、冷水の供給温度は上昇します。* 注意:ホットアイル温度は 38°C です。

⁹ エアフローの総量(IT 機器のエアフローに占めるパーセンテージで表示)

¹⁰ 熱気の漏れは、サーバーからの高温の排気がフリーアクセスフロアの給気と混ざり合い、サーバーの吸気温度が上昇したときに発生します。冷気の漏れは、フリーアクセスフロアの隙間や空間の冷気が還気と混ざり合い、還気の温度が下がって、空調装置の効率が低下したときに発生します。

表 2 は、シナリオ 2 および 3 の CACS と HACS について、その電力消費の内訳と量を示したものです。電力コストは IT、電源、空調、およびデータセンターの総電力消費に分類されています。

- IT の電力にはすべての IT 機器が含まれ、この分析では 700kW で一定しています。
- 「電源電力」は、開閉装置、発電機、UPS、主要かつ重要な補助装置、照明、および重要な配電に由来する損失を含んでいます。
- 「空調電力」は、チラー、冷却塔、冷水ポンプ、凝縮水ポンプ、および周辺の CRAH 装置に由来する損失を含んでいます。
- 総電力は IT、電源、および空調電力の総和であり、PUE に直接関連しています。

表 2

シナリオ 2 とシナリオ 3 の CACS と HACS のコストの内訳

	IT 電力	電源電力	空調電力	総電力	PUE
シナリオ 2: コンテインメントなしの領域の温度を 27°C に保持					
CACS	\$735,840	\$213,018	\$422,874	\$1,371,732	1.86
HACS	\$735,840	\$211,654	\$266,928	\$1,214,422	1.65
節約度 (%)	0%	1%	37%	11%	11%
シナリオ 3: コンテインメントなしの領域の温度を 24°C に保持					
CACS	\$735,840	\$213,846	\$509,354	\$1,459,040	1.98
HACS	\$735,840	\$211,867	\$292,503	\$1,240,209	1.69
節約度 (%)	0%	1%	43%	15%	15%

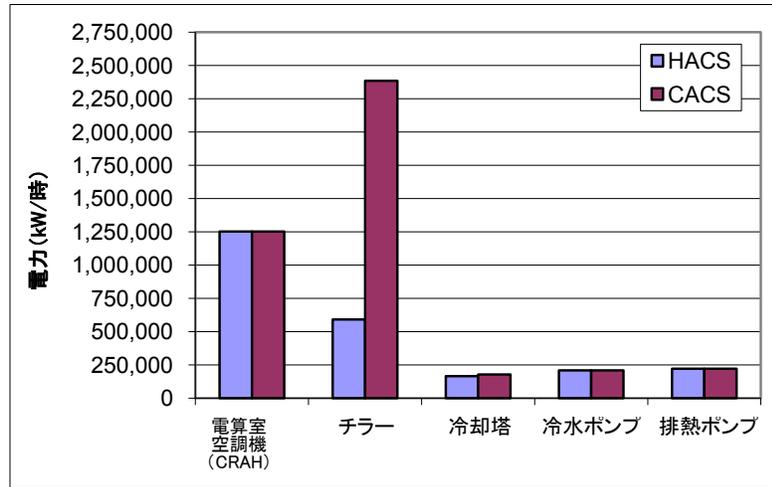
通常のデータセンター（負荷が 50%）では、IT 電力は電力コスト中最大の割合を占めており、その次が空調システムの電力コストです。表 2 は、コンテインメントなしの領域の温度を下げると、CACS の電力消費が、HACS の場合（2%）と比べて大幅に増加する（6%）ことを示しています。その理由は、コンテインメントなしの領域の温度が一定に保たれた場合、CACS の冷水の設定温度は常に HACS の設定温度よりも低くなるからです。実際のところ、CACS の冷水の設定温度のペナルティーと、サーバー出入口空気温度差 (ΔT) の値は、直接関連しています。サーバー出入口空気温度差 (ΔT) が増加すれば、CACS のこのペナルティーも大きくなります。

ここで、シナリオ 3 の節約度 (%) を見てみると、HACS では、空調システムの消費電力が CACS よりも 43% 少なくなっています。チラーがオフの場合、この節約の大部分の要因はエコマイザーモード時間です（図 7 を参照）。この作業環境温度では、冷水の供給温度が低くなる（2.4°C）ことから、CACS にはエコマイザーモード時間のメリットが生じません。電源システム電力にわずかな差が生じているのは、CACS でのチラーの動作時間が超過したことによる開閉装置全体の損失の増加が原因です。

従来のコンテインメントなしのベースラインケースと比較して、シナリオ 3 の CACS は、空調システム電力が 25% 増、データセンターの総電力消費が 8% 増となっています。いっぽう HACS は、従来のコンテインメントなしのベースラインケースと比較して、空調システム電力が 28% 減、データセンターの総電力消費が 8% 減となっています。

この分析から明らかに言えるのは、作業環境温度の制限事項が実用的なものであり、気候が温暖であれば、ホットアイルコンテインメントのほうがコールドアイルコンテインメントよりもエコマイザーモード時間が大幅に増加し、PUEは低下する、ということです。これは、使用する空調装置の種類や排熱方法（壁際空調と列単位空調、水冷方式と直膨方式など）の違いに関係なく当てはまる事実です。

図 7
シナリオ 3 の空調システム
における年間消費電力の
内訳



理論的分析に基づく気流漏れの影響

前述の分析では、CACSとHACSとが熱気と冷気との間に漏れがないように完全にシーリングされものと仮定しました。この仮定は、実現性は低いですが、CRAH装置の最大効率を計算することができ、CACSとHACSの公平な比較が可能になります。現実には、CACSでもHACSでも常に冷気の漏れがあり、CRAHファンのエアフローがIT機器のエアフローよりも大きくなければなりません(変速ファンを備えたCRAH装置でも、同じことが言えます)。エアフローのバランスは、IT機器のエアフローと、フリーアクセスフロアなどのコンテインメントシステムの気流漏れとの和に等しくなります。たとえば、CRAH装置が47m³/sの気流を供給していて、IT機器が38m³/sの気流を消費している場合、残りの9m³/sはCRAH装置に戻る必要があります。

IT機器を冷却していない気流は、電力の無駄を意味します。この電力の無駄は、2つの形を取ります。①気流を動かすためのファン電力と、②CRAHコイル内で冷水を移動させるためのポンプ電力です。さらに、熱気と冷気の混合はCRAH装置の能力を低下させます。混合が頻発すると、より多くのCRAH装置が、IT機器の吸気を適温に保ちながら、同量の熱を除去しなければならなくなります。

漏れ(ショートサーキット)の影響を理解するために、さまざま漏れのパーセンテージを使用して前述の分析を繰り返しました。追加されたCRAH装置に必要なファン電力が増加したため、CACSの電力増加はHACSを上回りました。これは、ホットアイルへの冷気の混合が、HACSよりCACSのほうが多かったことが原因です。HACSのホットアイルが影響を受けるのは、各ラックのケーブル用開口からの漏れだけで、CACSのホットアイルはラックの開口、データセンターの壁際の開口、および分電盤下の開口に影響を受けます。つまりCACSは、HACSに比べて冷気の漏れが約50%多いことになります。CACSに対するHACSの節約のための冷却電力は、ほぼ同じままです。

CACSとHACSの比較のまとめ

表 3 は、CACSとHACSを本書で取り上げた特徴に基づいて比較したものです。薄い緑色のセルは、そうした個々の特徴に適した選択枝であることを示しています。

> 熱気および冷気の漏れ

IT機器の熱気のほとんどは、CRAHに戻って冷却されます。熱気の漏れは、IT機器の排気がIT機器の吸気口に戻り、冷たい給気と混ざり合うことによって発生します。

冷気の漏れは、CRAHの冷たい給気がCRAHの熱い還気と混ざり合い、IT機器の吸気口へ届かなくなることによって発生します。

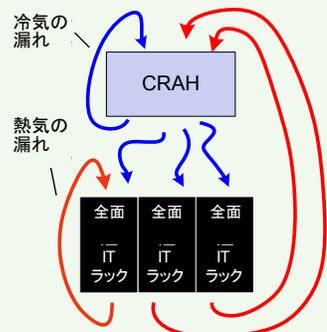


表 3

コールドアイル コンテインメントと
ホットアイル コンテインメントのまとめ

特徴	CACS	HACS	コメント
作業環境温度を 24°C に設定できる(標準的な室内設計の温度)	×	○	HACS の場合、作業環境温度を 24°C に維持してフリークーリング時間によるメリットを得ながら、冷却設定値をより高く設定できます。CACS の冷却設定値を高くすると、データセンターが不快な高温になります。これは、データセンターへ入室したときに感じる嫌な暑さを助長します。
フリークーリング時間の可能性を利用する	×	○	CACS のフリークーリング時間数は、ホットアイル(作業環境)の作業環境温度の上限と、ラックなしの IT 機器の温度規制によって制限されます。
ラック形状でない機器の許容温度	×	○	CACS の場合コンテインメントなしのデータセンター領域は、コールドアイルが囲い込まれるため熱くなります。コンテインメントなしの領域にある周辺 IT 機器(テープライブラリーなど)の評価は、高温環境下での使用を対象とするべきです。周辺 IT 機器の過熱リスクは、冷気の漏れの減少に伴って増大します。
部屋単位の冷却システムへの導入が容易	○	×	CACS は、フリーアクセスフロア、室内直吸い込み式還気(暖かい還気を室内から吸気)を備えた部屋単位での冷却を、データセンターに増設するときに望ましい方法です。列単位の冷却や吊り天井がない HACS では、還気用の特殊な空調ダクトが必要になります。これについての詳しい解説は、ホワイトペーパー 153『Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers』(英語版)を参照してください。
新規のデータセンターの設計	×	○	CACS や HACS を備えたデータセンターを新規に設置するためのコストは、ほぼ同じです。新規のデータセンターに HACS を採用すると、全体の効率、作業環境、および全体の運用コストが改善します。

消火設備の検討

データセンターの場所によっては、HACS または CACS の囲い込まれた領域内で、火災感知または消火(あるいはその両方)の設備が必要となる場合があります。主力となる消火設備は、通常は熱を検知して作動するスプリンクラーです。ガス状物質を用いるシステムは、通常は煙感知器によって始動する補助的なものです。全米防火協会基準 NFPA 75 は、HACS または CACS でスプリンクラーとガス状物質のどちらを用いるべきかについては触れていません。ただし、NFPA 75 にある以下の 2 つの要件は、HACS と CACS の両方に該当します。

- 「可燃材料を用いた自動情報ストレージシステム(AISS)装置の合計ストレージ容量が 0.76m³ を超える場合は、自動スプリンクラー設備または延長放出の可能なガス状物質消火設備を各ユニットに備えなければならない。」これは、データセンター内の閉鎖空間における火災感知設備や消火設備の設置の慣例を示した、重要な条項です。
- 「ITE ルームや ITE エリアを保護する自動スプリンクラーシステムは NFPA 25(水を使った防火設備の検査、試験、保守に関する基準)に従って保守しなければならない。」

実際のところ、スプリンクラー設備やガス状物質消火設備を導入した HACS や CACS は、さまざまな場所で適切に設置されており、認可も取得しています。APC アプリケーションノート 159 号に、ホットアイルコンテインメントを用いた環境での消火設備の導入について、課題と事例が詳しく示されています。設置場所に応じた個別の要件については、所轄消防署にお問い合わせください。ただし、どのようなプレナム(フリーアクセスフロア、吊り天井など)であっても、送風状態を評価する必要があります。

結論

データセンターで高効率な空調対策を実現するためには、熱気と冷気の混合を避けることが常に重要なカギとなります。HACS も CACS も、従来の空調方法と比較すると、電力密度および電力効率の改善が期待できます。ホットアイルコンテインメント(HACS)では、ホットアイルの温度も冷水の温度も高くなるため、フリークーリング時間が増加し、電気料金を大幅に節約できます。したがって、コールドアイルコンテインメント(CACS)よりも高効率です。HACS なら、データセンターのコンテインメントなしの領域で快適な温度を維持しながら、冷却設定値をより高く設定できます。

本書の分析により、HACS では、コンテインメントなしのデータセンター領域を 24°C に保ちながら、CACS に比べて空調システムの電力コストが年間 43%節減される(PUE なら年換算で 15%の減少に相当)ことが証明されました。よって、新規に設計するすべてのデータセンターにおいて、HACS をデフォルトのコンテインメント方法として用いるべきである、というのが本書の結論です。新規に設計するデータセンターは、初期段階でコンテインメントが不要な場合でも、将来的な HACS の導入を視野に入れておく必要があります。周辺空調装置のレイアウトを持つ既存のフリーアクセスフロアのデータセンターの場合、CACS の導入は比較的容易で低コストです。これについての解説は、ホワイトペーパー153『Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers』(英語版)を参照してください。

 関連リソース
ホワイトペーパー153
Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers (英語版)

著者について

ジョン・ニーマンは Schneider Electric で列単位および小型システム向けの空調製品の計画、サポート、マーケティングを担当している、製品ラインマネージャーです。2004 年から APC におけるすべての In-Row?空調製品の製品管理を指揮しており、HVAC(暖房、換気、空調)分野では 12 年の経験があります。商用/産業用 HVAC 市場でカスタム空調機/冷媒システムを扱うことから経験を積み始め、重要な環境におけるエネルギー回収とフィルター技術を専門としています。HVAC に関する専門知識は、応用エンジニアリング、開発、製品管理、そして技術営業と、広範囲にわたります。ワシントン大学(ミズーリ州セントルイス市)で機械工学の学位を取得。ASHRAE と The Green Grid の会員です。

ケビン・ブラウンは Schneider Electric の Data Center Global Solution Offer & Strategy の副社長です。コーネル大学で機械工学の学士号を取得しました。現職に就く前は、HVAC 業界でエネルギー回収用の換気製品および部品を製造する Airxchange 社で、市場開発の部長を務めていました。Airxchange 社に入る前は、シュナイダーエレクトリックのさまざまな上級管理職(ソフトウェア開発グループの部長など)を歴任しました。

ピクター・アベラーは Schneider Electric の Data Center Science Center の上級リサーチアナリストです。データセンターの設計とオペレーションズリサーチを担当し、リスク評価と設計手法についてクライアントに意見を求め、データセンター環境の可用性と効率性を最適化する方法を検証しています。レンセラー工科大学で機械工学の学士号を取得しているほか、バブソン・カレッジで MBA も取得しています。AFCOM と米国品質協会の会員です。



参考資料

アイコンをクリックすると、直接
リソースに移動します。



Impact of High Density Hot Aisles on IT Personnel Work Conditions (英語版)

ホワイトペーパー123



Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers (英語版)

ホワイトペーパー153



ホワイトペーパー一覧

whitepapers.apc.com



APC TradeOff Tools™ 一覧

tools.apc.com



お問い合わせ

このホワイトペーパーの内容についてのご意見やご感想、お問い合わせ先:

Data Center Science Center
DCSC@Schneider-Electric.com

製品やサービスに関する具体的なお問い合わせ先:

シュナイダーエレクトリック株式会社までお問い合わせください
TEL:03-5931-7500 FAX:03-3455-2030 Email:jinfo@schneider-electric.com

付録: 分析に用いた 仮想条件

HACS、CACCS、およびコンテインメントなしの従来型フリーアクセスフロアのデータセンターについて本書の分析に使用した仮想条件は、以下のとおりです。

- データセンターのサイズ: 11m × 22.6m × 3m
- データセンターの容量: 1,400kW (冗長性なし)
- 場所: 米国イリノイ州シカゴ
- 平均電気料金: 0.12ドル/ kW hr
- 総 IT 負荷: 700 kW
- 電力密度: 1 ラックあたり平均 7kW
- IT ラック/キャビネットの数量: 100
- 61cm のフリーアクセスフロアで周辺装置を冷却
- サーバー間の平均温度 ΔT : 13.9°C
- サーバーの吸気の相対湿度: 45%
- コンテインメントなしのフリーアクセスフロアの冷気漏れ: 40%
- コンテインメントなしの熱気漏れ: 20%
- CACCS のフリーアクセスフロアの冷気漏れ: 0%
- HACS のフリーアクセスフロアの冷気漏れ: 0%
- CRAH コイルの効率: 0.619
- エコマイザー熱交換器の効率: 0.7
- 設計冷水値 ΔT : 6.7°C
- データセンター専用のチラープラント
- チラーの COP: 4 (負荷 50%)
- 冷水プラントの負荷: 49~52% (シナリオによる)
- 冷却塔の水の最低温度: 4.4°C (凍結防止ヒーターにより制限される)。
- 冷却塔の設計値範囲: 5.6°C
- IT 機器の等速ファン (IT 機器の吸気温度が設定閾値を超えると、変速ファンは IT 機器の電力消費を増加させる)
- 100% 顕熱冷却 (除湿および加湿が不要)