

データセンターにおける、部屋単位、列単位、ラック単位による冷却方式の選択

ホワイトペーパー130

改訂 2

ケビン・ダンラップ
ニール・ラスムセン

> 要約

データセンターでは、高負荷および変動する負荷の最新世代 IT 機器の登場により、従来の冷却方式ではまったく想定されていなかった状況が生じています。その結果、冷却システムが過大かつ非効率になり、必要な冷却容量を予測できなくなりました。このような問題に対処するため、部屋単位、列単位、およびラック単位の冷却方式が開発されました。このホワイトペーパーでは、これらの新しい冷却方式について説明し、また、多くの次世代データセンターにおいて、どのような場合に、どの冷却方式を採用すべきかについてその指針を示します。

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
部屋単位、列単位、ラック単位の冷却方式	2
3つの冷却方式の比較	6
結論	13
参考資料	14



Schneider Electric 発行のホワイトペーパーライブラリーに、Schneider Electric Data Center Science Center の執筆による APC のホワイトペーパーが加わりました。同ホワイトペーパーの内容に関するお問い合わせは、DCSC@Schneider-Electric.com までお願いいたします。



はじめに

データセンターの IT 機器に供給される電力は、そのほとんどが熱に変わります。過熱状態に陥ることのないよう、この熱は排出する必要があります。多くの IT 機器は空冷式で、周囲の空気を取り込んで熱を排気として排出します。データセンターには何千台もの IT 機器が設置されているため、データセンター内には排出すべき熱である温風が大量に吹いています。データセンターの空調システムの目的は、複雑に流れる排熱を効率的に捕らえて部屋から排出することです。

関連リソース ホワイトペーパー 55

重要な IT 設備のための冷却方式の検討

データセンターにおける従来の冷却方式は、コンテインメント(暖気/冷気の囲い込み)を設けずに、フリーアクセスフロアの下に冷気を分配するための冷却装置を部屋の周囲に設置するというものです。これは、ホワイトペーパー55『重要な IT 設備のための冷却方式の検討』で説明している局所ダクト式給気と室内直吹き式還気とによる冷却システムのことで、この方式では、1 台または複数台の空調システムを同時稼働させ、暖められた周囲の空気を排気しながら、データセンター内に冷気を送り込みます。この方式の基本原理は、空調システムが冷却機としてだけでなく、大規模な攪拌機としても機能することです。つまり、室内の空気を常に攪拌して室温を均一にし、ホットスポット(熱だまり)の発生を防ぎます。ただし、この方式が有効なのは、データセンターにおける総消費電力のうち、空気の攪拌に要する電力の占める割合がごくわずかである場合のみです。具体的には、平均電力密度がラック 1 本あたり約 1~2kW、つまり 323~753W/m² (30~70W/ft²) の場合です(シミュレーションデータや経験に基づく値)。この冷却方式に関する電力密度の増加対策は多くありますが、それでも実用上は限界があります(この限界の詳細については、ホワイトペーパー46『高密度にサーバーを搭載するラックおよびブレードサーバーの電力供給と冷却の対策』を参照)。しかも、シミュレーションデータや経験から、最近の IT 機器の電力密度はラック 1 本あたり最大 20kW 以上になることもあり、上記の冷却方式(コンテインメントなし)はもはや有効に機能していないことが明らかになっています。

関連リソース ホワイトペーパー 46

高密度にサーバーを搭載するラックおよびブレードサーバーの電力供給と冷却の対策

この問題への対策として、部屋単位、列単位、およびラック単位の冷却方式に着目した設計が挙げられます。これらの方式では、空気をなるべく攪拌しないようにするため、部屋、ラック列、または個々のラックと空調システムとを一体化します。これにより、見通しの立てやすい、高密度の、より効率的な冷却が可能になるなどの長所が得られます。このホワイトペーパーでは、これら 3 つの方式について説明し、比較します。いずれの方式も、それぞれに合う用途があり、また、一般的に、高密度ゾーンや小規模なデータセンターでは列単位の冷却方式が、また大規模なデータセンターでは部屋単位の冷却方式(コンテインメントあり)が好まれる傾向にあると考えられます。

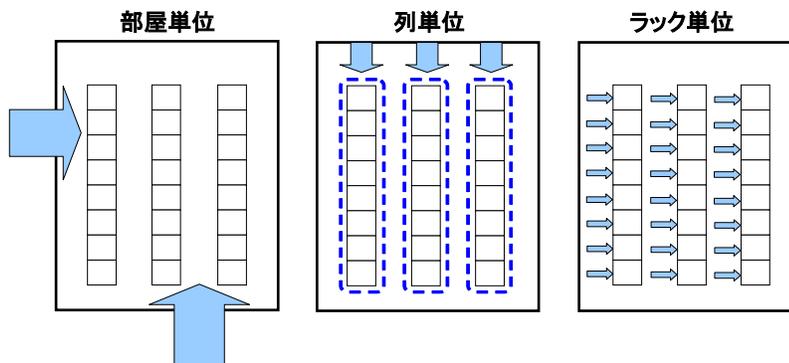
部屋単位、列単位、ラック単位の冷却方式

データセンターにおいては、どの空調システムも、主な機能は 2 つです。1 つは大規模な冷却能力を提供すること、もう 1 つはその冷気を各 IT 機器に分配することです。1 つ目の機能(大規模な冷却能力を提供する機能)は、部屋単位、列単位、およびラック単位、全ての冷却方式で共通な方法です。つまり、IT 機器の総負荷電力をキロワット(kW)規模で冷却処理するというものです。この機能を提供するためのさまざまな技術がありますが、部屋単位、列単位、またはラック単位のいずれの方式でも冷却システムに使われる技術は基本的に同じです。部屋単位、列単位、およびラック単位の各冷却方式の主な違いは、2 つ目の機能、つまり各 IT 機器に冷気を分配する方法にあります。空気の流れは、電流のように制御することはできません。電流は、設計どおりに配線された電線により、目に見える形で制御できます。これに対し空気の流れは、部屋の設計によってある程度制御できますが、実際の流れは目に見えず、しかも空間構成によって大きく変わります。各冷却方式は、この空気の流れを制御することを主な目的として開発、進化してきました。

3 つの冷却方式による基本構成について、一般的なフロアプランを図 1 に示します。このうち、四角形は列に並べたラックを示します。また、青い矢印は、コンピュータールームエアハンドラー(CRAH)とラックに設置された IT 機器との論理的関係を示します。CRAH の実際の物理的レイアウトは異なる場合があります。CRAH は、部屋単位の冷却方式では部屋に、列単位の冷却方式ではラック列(群)に、ラック単位の冷却方式では個々のラックに対応します。

図 1

部屋単位、列単位、およびラック単位の各冷却方式の基本概念を示すフロアプラン(青い矢印は、室内の主な冷気供給方向を示す)



各方式の基本的な運転原理を以下に概説します。

部屋単位の冷却方式

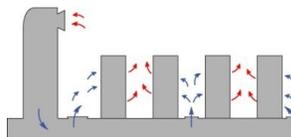
部屋単位の冷却方式の場合、CRAH は部屋単位を想定し、その部屋の全熱負荷に対処するため、複数の CRAH が同時稼働します。部屋単位の冷却方式は、ダクト、ダンパー、通気口などによる制御を一切行わずに、1 つまたは複数の空調装置で冷気を供給する場合もあれば、フリーアクセスフロアや天井裏の空間を使って給気と還気を部分的に制御する場合があります。詳しくは、ホワイトペーパー-55『重要な IT 設備のための冷却方式の検討』を参照してください。

設計においては、空気の流れに対する配慮が、プロジェクトによって大きく異なるのが一般的です。小さな部屋の場合は、取り立てて計画的に空気の流れを制御することなしに、無計画にラックを配置することがあります。大規模で高度な施設の場合は、とりわけラックに冷気を供給するうえで、計画的に配置したホットアイル(排熱を集めた空間)／コールドアイル(冷気を集めた空間)に空気を分配するために、フリーアクセスフロアを用いることがあります。

部屋単位の冷却方式に着目した設計は、その部屋に特有の制約に大きく影響されます(天井の高さ、部屋の形、フロア上とフロア下の障害物、ラックのレイアウト、CRAH の位置、各 IT 機器への配電など)。給気通路と還気通路がコンテナ化されていない場合、設計どおりの冷却と均一性能は期待しにくくなります(特に電力密度が増加した場合)。そのため、従来の設計では、特定の施設の設計性能を把握するために、計算流体力学(CFD)と呼ばれる複雑なコンピュータによる解析が必要になることがあります。また、IT 機器の移動、追加、変更などによって状況が変わると、解析モデルが無効になり、新たな分析や試験が必要になることがあります。特に、CRAH の冗長性を確保する場合は、分析が大変複雑になり、検証が困難になります。部屋単位の冷却方式について、従来の構成例を図 2 に示します。

図 2

部屋単位の冷却方式:コンテナのない従来の例



さらに、CRAH の定格容量が最大限に利用される事が少ないことも、コンテナを設けない部屋単位の冷却方式の大きな短所です。これは、CRAH から分配される冷気の多くが、IT 機器に到達せずにそのまま CRAH に戻る場合に起こります。この場合の冷気は、IT 機器の冷却に役立っていません。つまり、冷却能力は全体的に低下しています。その結果、所定の定格容量内にもかかわらず、その一部のエリアでは冷却要件が CRAH の冷却能力を上回ることがあります。この問題の詳細については、ホワイトペーパー-49『データセンター(サーバーールームおよび電算室)の冷却能力を損なう問題を回避する方法』を参照してください。

電力が 200kW を上回るデータセンターを新設する場合は、上記の問題が生じることのないよう、ホットアイルにコンテナを設けた部屋単位の冷却方式を採用するとよいでしょう。これは、フリーアクセスフロアの有無にかかわらず有効です。また、冷却装置はデータセンターの室内または室外に

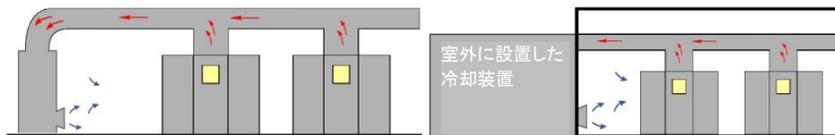
関連リソース
ホワイトペーパー 55
重要な IT 設備のための冷却方式の検討

関連リソース
ホワイトペーパー 49
データセンター(サーバーールームおよび電算室)の冷却能力を損なう問題を回避する方法

関連リソース
 ホワイトペーパー 135
 ホットアイルコンテナメントとコールドアイルコンテナメントの比較

設置することができます。既存のデータセンターで、フリーアクセスフロアを用いた部屋単位の冷却方式を採用する場合は、コールドアイル用にコンテナメントを設置することもできます。より簡単に導入できることが多いからです。ホットアイル用のコンテナメントとコールドアイル用のコンテナメントはいずれも、データセンター内の熱気と冷気とがなるべく混ざらないようにするために使用されます。上記のいずれのソリューションも、それぞれに特有の長所があります。詳しくは、ホワイトペーパー135『ホットアイルコンテナメントとコールドアイルコンテナメントの比較』を参照してください。次世代の部屋単位の冷却方式について、2つの例を図3に示します。

図3
 次世代の部屋単位の冷却方式(コンテナメントあり)の例



列単位の冷却方式

列単位の冷却方式の場合、CRAHはラック列を単位とし、設計上は特定のラック列専用の冷却と考えます。CRAHは、ラック同士の間または天井に設置します。従来の方式(コンテナメントを設けない部屋単位の冷却方式)よりも、空気の流れる通路を短くかつ明確に定められます。また、空気の流れをはるかに予測しやすくなり、CRAHの定格容量を最大限に利用でき、より高い電力密度を実現できます。

列単位の冷却方式には、冷却性能他にもいくつかの長所があります。たとえば、空気の流れる通路を短縮できるため、CRAHのファンの消費電力が減り、効率が向上します。この長所は決して小さくありません。設置されているIT機器はまだ多くないデータセンターでは、CRAHのファン単体の消費電力がIT機器の総消費電力を上回ることが多いからです。

列単位の冷却方式に着目した設計では、特定の列で実際に必要となる冷却能力と冗長性を割り当てることができます。たとえば、あるラック列でブレードサーバーなどの高電力密度機器を稼働させつつ、別のラック列で通信機器などの低電力密度機器を稼働させることができます。また、特定の列をN+1や2Nなどの冗長構成とすることもできます。

関連リソース
 ホワイトペーパー 134
 Deploying High-Density Pods in a Low-Density Data Center.

電力が200kWを下回るデータセンターを新設する場合は、列単位の冷却方式を採用するとよいでしょう。この場合、フリーアクセスフロアは不要です。既存のデータセンターの場合は、電力密度が高め(ラック1本あたり5kW以上)なら、この冷却方式を検討すべきです。既存のデータセンターに高密度ゾーンを設けるための各種方法については、ホワイトペーパー134『Deploying High-Density Pods in a Low-Density Data Center』を参照してください。列単位の冷却方式の例を図4aと図4bに示します。

図4
 4a(左)
 列単位の冷却方式(ラック間にCRAHを設置した例)
 4b(右)
 列単位の冷却方式(天井にCRAHを設置した例)

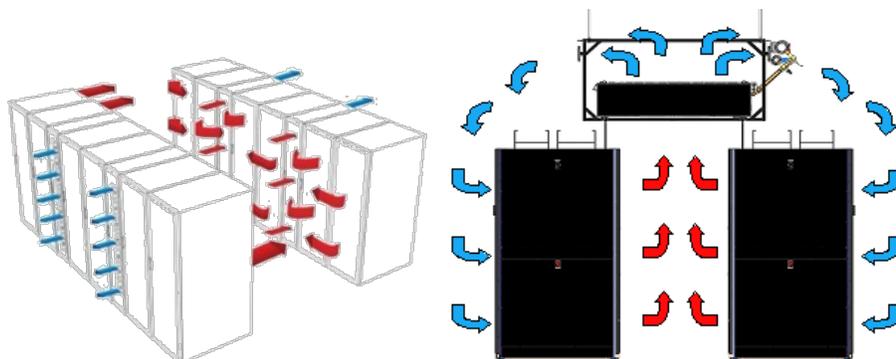


図4aと図4bの冷却システムはいずれも、電力密度容量を増すためのホットアイルコンテナメントシステムとして構成することができます。また、このように設計すると、熱気と冷気の混ざる可能性がなくなるため、性能を予測しやすくなります。列単位の冷却方式では、あらかじめ決められた単純なレイアウトにより、メーカーの設計どおりに性能を引き出すことができます。また、部屋の制約(レイアウトなど)に比較的左右されにくくなります。したがって、特に電力密度がラック1本あたり5kWを上回る場合は、その電力密度の仕様通りに設計内容を実現しやすくなります。電力密度の仕様の詳細につ

関連リソース ホワイトペーパー 120

サーバールームおよびデータセンターの電力密度仕様に関するガイドライン

いは、ホワイトペーパー120『サーバールームおよびデータセンターの電力密度仕様に関するガイドライン』を参照してください。

ラック単位の冷却方式

ラック単位の冷却方式の場合、CRAH はラックを単位とし、設計上は特定のラック専用の冷却と考えます。CRAH は、ラックに直接取り付けるか、ラック内に設置します。ラック単位の冷却方式では、部屋単位および列単位の冷却方式よりも、空気の流れる通路をいっそう短くかつ正確に定めることができます。そのため、空気の流れは、空間構成の違いや部屋の制約に左右されることが一切ありません。また、CRAH の定格容量を最大限に利用でき、電力密度も最大限に高められます(ラック 1 本あたり 50kW まで)。ラック単位の冷却方式の例を図 5 に示します。

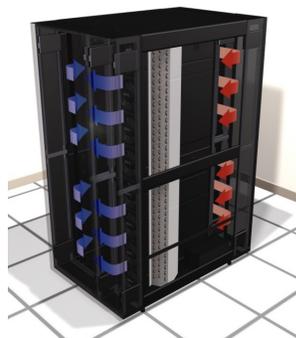


図 5

ラック単位の冷却方式(ラック内に CRAH を設置した例)

列単位の冷却方式の場合と同様、ラック単位の冷却方式の特長は、電力密度容量を極めて大きくできることだけではありません。たとえば、空気の流れる通路を短縮できるため、CRAH のファンの消費電力が減り、効率が向上します。前述のとおり、この長所は決して小さくありません。設置されている IT 機器がさほど多くない場合では、CRAH のファン単独の消費電力が IT 機器の総消費電力を上回ることが多いからです。

ラック単位の冷却方式に着目した設計では、特定のラックで実際に必要となる冷却能力と冗長性を割り当てることができます。たとえば、あるラックでブレードサーバーなどの高電力密度機器を稼働させつつ、別のラックで通信機器などの低電力密度機器を稼働させることができます。また、特定のラックを N+1 や 2N などの冗長構成とすることもできます。反対に、これらの特性は、列単位の冷却方式だと列レベルでしか実現できず、部屋単位の冷却方式だと部屋レベルでしか実現できません。

これも列単位の冷却方式の場合と同様ですが、ラック単位の冷却方式でも、決められたレイアウトに応じて、メーカーの設計どおりに性能を引き出すことができます。これにより、所定の電力密度の場合に、その電力密度の仕様通りに設計内容を実現しやすくなります。ラック単位の冷却方式は、独立した高密度ラックを冷却する必要があるなら、どんな規模のデータセンターでも採用すべきです。ただし、この方式の最大の短所として、特に低電力密度の場合、他の方式に比べ、空調装置とそれに伴う配管が多数必要となることが挙げられます。

ハイブリッド冷却方式

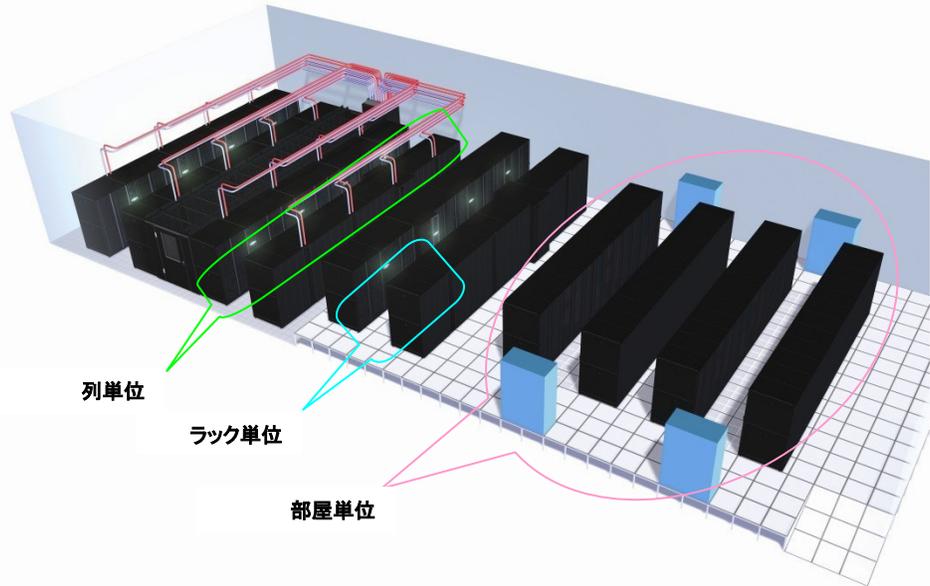
同じ空間構成の中で、部屋単位、列単位、およびラック単位の各冷却方式を併用しても問題はありません。現に、併用すると有利になる場合が多いです。このように、同じデータセンター内で異なる場所に異なる冷却方式を採用することをハイブリッド冷却方式といいます(図 6)。この方式は、ラックの電力密度が一律でないデータセンターで有効です。

列単位およびラック単位の冷却方式の利用は、低密度の部屋単位の冷却方式がすでに実施されている中で、密度を高めたいとする場合に有効です。この場合は、既存のデータセンター内の小さなラック群に、列単位またはラック単位の冷却方式を採用します。新たな高密度ラックは、列単位/ラック単位の冷却装置によって有効に隔離され、既存の部屋単位の冷却システムに対し温度を一定に保った「恒温」状態を作ります。しかしこれにより、室内の他の部分に冷却能力が追加提供されるため、多くの場合、正味の冷却効果が高まります。このようにすれば、既存の部屋単位の冷却システムを変更

せずに、低密度の既存のデータセンターに高密度の IT 機器を追加できます。この方式を採用すると、**図 6** に示すハイブリッド冷却方式のような構成になります。

図 6

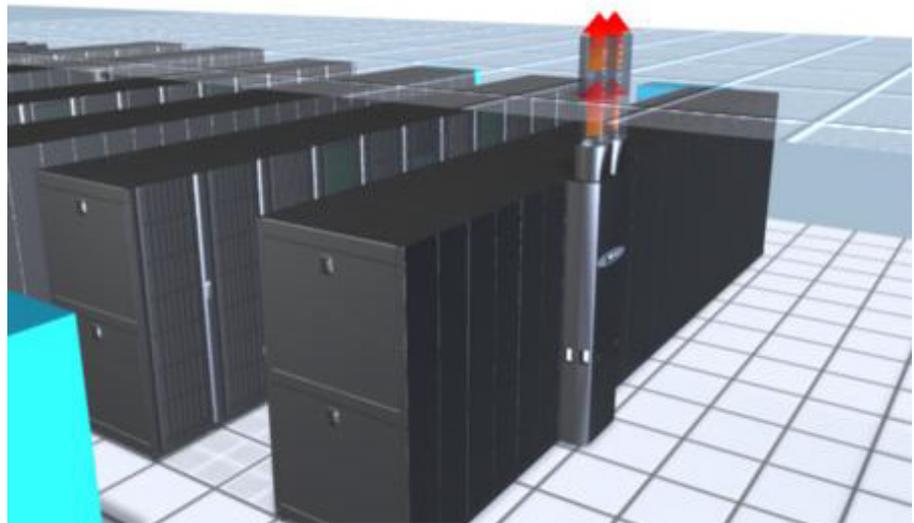
部屋単位、列単位、およびラック単位の各冷却方式を併用したシステムのフロアレイアウト



ハイブリッド冷却方式のもうひとつの例としては、ラック冷却システムに排気筒を取り付け、ラックレベルで捕らえた排気をそのままダクト経由で部屋単位の冷却システムに戻すという例もあります。このシステムでは、ラック単位の冷却システムの長所も活用でき、既存または計画済みの部屋単位の冷却システムにも統合できます。このシステムの例を**図 7** に示します。

図 7

ラックレベルでダクトを通じて吊り天井の裏に排気



3つの冷却方式の比較

データセンターの新設時または改装時に、部屋単位、列単位、またはラック単位のうちのどの冷却方式を選択すべきかについて効果的に判断するには、各冷却方式の性能特性と、実際のデータセンターの設計・運営に影響を及ぼす現実的な問題との関係で考えることが極めて重要です。

ここでは、データセンターのユーザーに広く認識されている下記の各観点から、これら 3 つの冷却方式を比較します。

- スピード
- システムの可用性
- ライフサイクルコスト(TCO)
- サービス性
- 管理性
- イニシャルコスト
- 電力効率
- IT 機器に近接する配管(冷水配管など)
- 冷却装置の場所
- 冗長性
- 熱の排出方法

表 1 は、これらのうち最初の 5 つの観点から、ラック単位、列単位、および部屋単位の各冷却方式の長所と短所をまとめた比較表です。この内容を総合すると、下記の結論が得られます。

- ラック単位の冷却方式:最も柔軟性があり、最も迅速に構築でき、極めて高い密度を実現できます。ただし、コスト高になります。
- 列単位の冷却方式:ラック単位の冷却方式の長所(柔軟性、スピード、密度)の多くを得られません。しかも、コストは低くなります。
- 部屋単位の冷却方式:フロータイルを並べ直すことで、冷気の分配パターンを迅速に変更できます。また、低密度のデータセンター内の全ラック間で冗長の冷却装置を共有できます。さらに、安価なコストで簡単に実現できます。

表 1

ラック単位、列単位、および部屋単位の各冷却方式の長所(背景色の付いた行)と短所

観点		ラック単位	列単位	部屋単位
スピード	長所	電力密度にかかわらず計画しやすい。 既存の冷却システムから隔離できる。	電力密度にかかわらず計画しやすい。 冷却能力を共有できる。	電力密度が 3kW 未満の場合、冷気の分配パターンを迅速に変更できる。
	短所	他のラックとの間で冷却能力を共有できない。	ホットアイルとコールドアイルの配置が必要。	空間全体を囲い込まないと、効率が落ちる。
システムの 可用性	長所	IT 機器に近接しているため、ホットスポットの発生や温度の急上昇を防止できる。 標準化されたソリューションにより、人為的ミスが非常に起こりにくくなる。	特定列内の複数のラック間で冗長装置を共有できる。 IT 機器に近接しているため、温度の急上昇を防止できる。	データセンター内の全ラック間で冗長装置を共有できる。
	短所	ラックごとに冗長性が必要。	ラック列ごとに冗長性が必要。	空気の流れを分けるためにコンテインメントが必要。
ライフサイクル コスト(TCO)	長所	事前設計されたシステムと標準化されたコンポーネントにより、検討に要するエンジニアリングの必要性が減る(場合によっては不要になる)。	冷却要件に合わせて対応できる。 検討に要するエンジニアリングの必要性が減る(場合によっては不要になる)。	フロアタイル(穿孔済み)の並べ変えが簡単。
	短所	冷却システムが過大になり、冷却能力が余ることがあり、イニシャルコストが増大しかねない。	データセンターの規模が大きいかほど、イニシャルコストが増大しかねない。	冷気供給が非効率なので、非常に高い冷却能力が必要。 フリーアクセスフロア下に冷気を送るための圧力要件は、部屋の大きさとフリーアクセスフロアの高さによって異なる。
サービス性	長所	標準化されたコンポーネントの使用により、専門知識がさほど必要ではなくなる。 日常のサービス手順を社内スタッフで済ませられる。	標準化されたコンポーネントの使用により、ダウンタイムを短縮でき、専門知識がさほど必要ではなくなる。	室内の周囲または室外に冷却装置が設置されるため、その技術者は IT 機器から離れて作業することができる。
	短所	システムの修理とメンテナンスを同時に実施するため、2N 冗長構成が必要。	ラック列のそばに冷却装置が設置されるため、その技術者は IT 機器のそばで作業せざるを得ない。	サービスの実施には、訓練を受けた技術者/専門家がが必要。
管理性	長所	メニューインターフェースが扱いやすい。 予測可能な故障分析が可能。	メニューインターフェースが扱いやすい。 ほぼ予測可能な故障分析が可能。	大規模なシステムでは、接続箇所や管理箇所の数減らせる。
	短所	大規模に導入する場合は、配管や電源等の接続箇所の数が増える。	大規模に導入する場合は、配管や電源等の接続箇所の数が増える。	高度なサービス訓練が必要。 リアルタイム分析ができない。

イニシャルコスト

ほとんどのデータセンター管理者にとって気になるのは、3つの冷却方式の各イニシャルコストです。そこで、ラックの電力密度に応じて3つの冷却方式(冷水式)のイニシャルコストがどう変わるのか分析しました。後述(緑色の枠内)する想定条件で分析した結果を図8に示します。

*HAC=ホットアイルコンテインメント

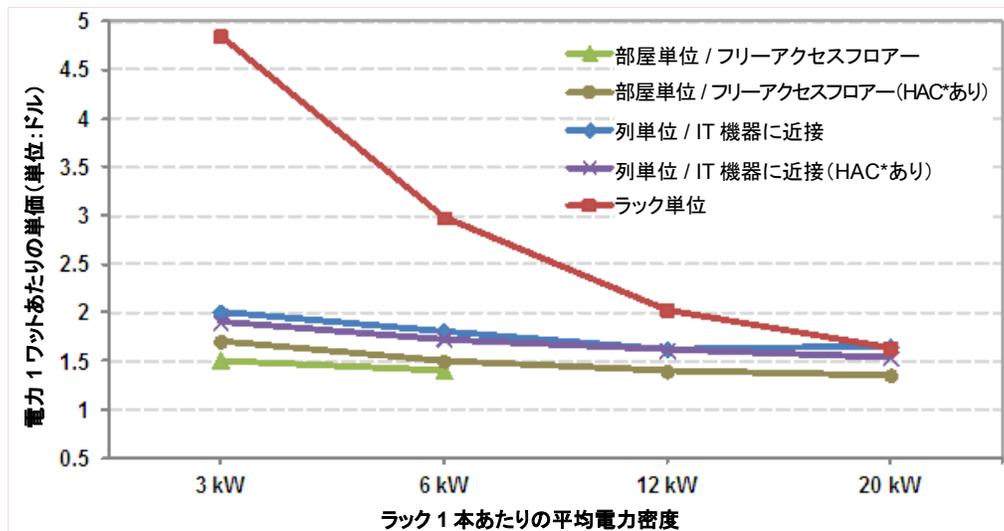


図 8

ラックの平均電力密度に対する3つの冷却方式のイニシャルコスト(単価)

> データセンターの想定条件

以下の条件を持つ水冷式データセンターを想定します。

- IT 機器: 480kW
- 場所: 米国ミズーリ州セントルイス
- 電力密度: ラック 1 本あたり 3、6、12、20kW (120cfm/kW)
- 部屋単位の冷却方式 (HAC なし) による空気の混合と冷気の到達度合: 定格の 125%
- RSMeans のコストデータベースに基づく配管コスト: スチール配管のコスト
- エネルギーコスト: \$0.15/kWh
- イニシャルコストの内容: 冷却装置、配管、パッケージチラー、設置、コンテインメント
- 年間電力コストの内容: 冷却装置のファン、チラー、ポンプ
- 冷却の冗長性: N

イニシャルコストの単価が最も安いのは、部屋単位の冷却方式です。冷却装置と配管が少なく済むからです。この方式において、ラックの電力密度が増しても単価がほとんど減らないのは、この想定モデルが、同じ容量のデータセンターよりも面積が比較的狭いからです。それゆえ、フリーアクセスフロアも配管も少なく済み、その分だけイニシャルコストも抑えられるわけです。ただし、部屋単位の冷却方式では、ラックの電力密度が増すと電気的効率が落ちます(次のセクションを参照)。ホットアイルコンテインメント(HAC)を設けた場合は、部屋単位、列単位のいずれの冷却方式でも、ラックの電力密度を高められます。また、冷却システムの消費電力を大幅に減らせます(次のセクションを参照)。ただし、コンテインメントのコスト分だけ、イニシャルコストが多少増えます。

列単位の冷却方式の場合、イニシャルコストの単価は、部屋単位の冷却方式のそれより多少高くなります。必要な冷却装置と配管が増えるからです。部屋単位の冷却方式の場合と同様に、ラックの電力密度が増すと単価は下がります(冷却装置の数も減らした場合は、この限りではありません)。また、HAC を設けると、冷却装置が少なく済むため、消費電力だけでなくイニシャルコストも減らせます。

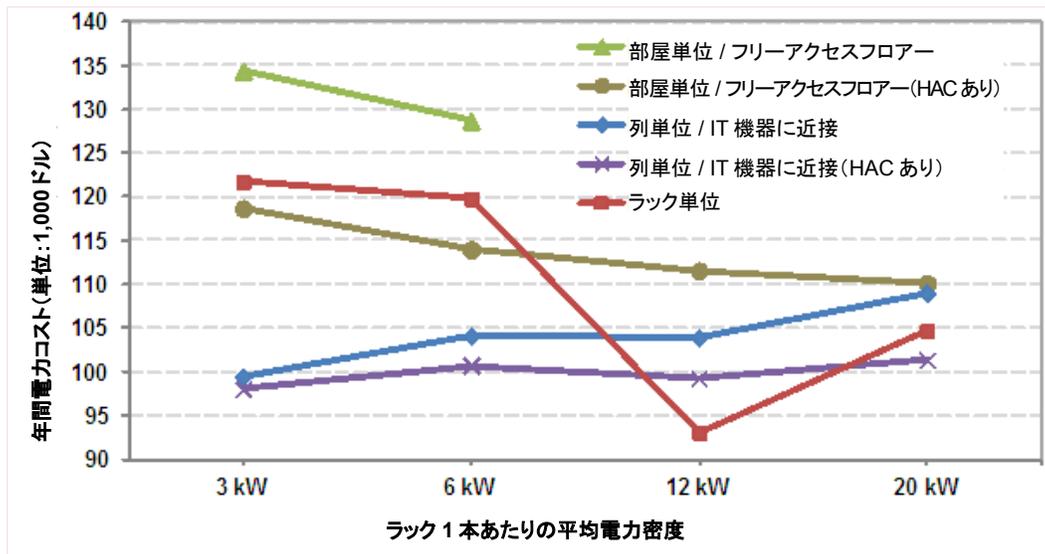
ラック単位の冷却方式の場合、イニシャルコストの単価は、ラックの電力密度が低いと、部屋単位および列単位の冷却方式の単価よりもかなり高くなります。冷却装置の数が増え、低い電力密度の割に、冷却装置と配管のコストが増すからです。たとえば、電力密度がラック 1 本あたり 3kW の場合、列単位の冷却方式に必要な冷却装置は計 48 台であるのに対し、ラック単位の冷却方式では 160 台となります。また、ラックおよび冷却装置用として、前後にコンテインメントが必要になることも、ラック単位の冷却方式のイニシャルコストを押し上げる要因です。しかし、電力密度が増すと、イニシャルコストの単価は大幅に減ります。冷却装置の相対数が減り、コストパフォーマンスが向上するからです。つまり、ラック単位の冷却方式は、ラックの電力密度が高いほど、より経済的になります。

電力効率

電気料金の値上げ、サーバーに必要な電力の増加、および電力密度の増加により、全運営コストに占める電力コストの割合は増えています。電力コストが電気料金とサーバー電力に依存していることはよく認識されているにもかかわらず、電力密度が電力コストに及ぼす影響はあまり認識されていません。

そこで、図 8 と同じ想定条件の場合に、3 つの冷却方式(水冷式)の年間電力コストに電力密度がどう影響するかについて、図 9 に示します。

図 9
ラックの平均電力密度に対する、
3 つの冷却方式の年間電力コスト



電力コストが最も高いのは、部屋単位の冷却方式(HAC なし)です。その理由として、長い距離にわたって多くの空気を流す必要があることと、ホットスポットの発生を防ぐために室内の空気をかき混ぜる必要があるため、必然的に CRAH が電力を消費することが挙げられます。しかし、HAC を設けて空気の流れを分けることにより、この電力コストは減らせます。電力密度が増すと、電力コストは多少減ります。配管を短縮でき、ポンプの消費電力も減るからです。

列単位の冷却方式の電力コストは、部屋単位の冷却方式より一貫して安くなります。CRAH が IT 機器に近接し、その大きさに合わせてあるからです。また、空気の流れが必要以上に発生することがありません。そのため、部屋単位の冷却方式に比べ、ファンの消費電力を 50%以上節約できます。しかし、ラックの電力密度が増すと、電力コストも増えます。その理由として、冷却装置の相対数が減ることと、所定の温度の維持に必要な各冷却装置の冷却能力を上げるために空気と水を多く流す必要があるからです。回転速度を変えられるファンの場合、回転速度を上げる分だけ有効な節約ができなくなります。この場合、冗長装置を追加すれば、実際に電力消費を抑えられますが、イニシャルコストが増えます。しかも、冷却能力を維持するために水を多く流すことになり、電力がいつそう消費されます。

ラック単位の冷却方式の場合は、ラックの電力密度が低いと、電力コストは高くなります。冷却装置の数が増えることにより、空気と水を流すために多くの電力を消費するからです。電力密度が低い状態で冷却装置を増やせば、電力の節約はしにくくなります。回転速度を変えられるファンの速度をいくら最小にしても大きな節約にはなりません。電力密度が低い場合にファンの回転速度を最小にすると、空気の流れが必要以上に生じます。また、水を流すために配管を増やす必要があります。しかし、ラックの電力密度が増すごとに、電力コストは下がっていきませんが、ラックごとに冷却装置が設置されているため、電力密度がさらに増すとコストは上昇に変わります。この場合、各冷却装置からより多くの空気を流す必要があるからです。回転速度を変えられるファンの場合、その回転速度を最高に上げる必要があるため、この場合も有効な節約はできなくなります。しかも、冷却能力を維持するために水を多く流すことになり、電力がいつそう消費されます。

IT 機器に近接する配管(冷水配管など)

ある調査によると、ユーザーが不安に感じていることの中に、IT 機器と同じ場所に水や冷媒の配管を通して問題はないかということです。そこから漏れ出した液体が IT 機器にかかり、損傷やダウンタイムを引き起こすのではないかという心配があるからです。

複数の空調装置を備えた高密度のデータセンターで使用する冷却システムは冷水式が主流です。コスト面と環境面の問題により、この傾向は続くことが予想されます。コスト面では、IT 機器に損傷を来す可能性の低い冷媒を用いた場合は、冷水を用いた場合よりもコスト高になります。環境面では、可用性に対する心配や高密度化の傾向があるために、ポンプ式の冷却システムの導入が主流になっています。通常、この種のシステムは、熱交換器とポンプで構成されています。これにより、データセンター内の冷媒を冷水から隔離し、万一漏出が生じて汚染をなるべく抑えられるようオイルレスの冷却が可能となります。また、他の冷却液(グリコールなど)も隔離できるシステムもあります。ポンプ式の冷却システムの詳細については、ホワイトペーパー59『*The Different Technologies for Cooling Data Centers*』を参照してください。



冷却装置の場所

システムの性能は、冷却装置をどこに設置するかによって大きく変わる可能性があります。

ラック単位の冷却方式の場合、システムの性能を予測するうえで問題はまったくありません。目的の IT 機器に対し、冷却装置の設置場所を正確に決められるからです。つまり、冷却性能を完全に事前設計できることが長所です。システムの設計上、冷却装置を段階的に設置する場合でも、将来設置する冷却装置の場所を事前に計画する必要はほとんどありません。冷却装置は、必然的にラックと共に設置されるからです。

列単位の冷却方式は、冷却装置の数と設置場所を決めるための簡単な設計基準に基づきます。この基準は、シミュレーションとテストを通じて決定します。当然ですがその際は、列の密度の仕様に冷却装置の大きさが十分対応するかどうか確認します。また、システムの性能が最大限に発揮されるよう、列の端には冷却装置を設置しないことなども設計基準に含まれます。将来導入する冷却装置の設置場所は、実際に設置する時までの間、ある程度は自由に計画できます。この場合は、ラック列におけるラックの電力密度の平均値(またはピーク対平均値比の値)に基づき、冷却装置を設置する直前に、その数と設置場所を決めます。列単位の冷却方式は、ラック単位の冷却方式よりも柔軟性があり、かつ設置面積もコストも抑えられます。

部屋単位の冷却方式においてコンテインメントを設けない場合、その冷却効率は冷却装置をどこに設置するかによって大きく変わります。たとえば、部屋の物理的制約(出入口、窓、斜面、配管できない場所など)により、最も効果的な場所には設置できない場合があります。この場合は、相当慎重に設計しても、ベストの結果は得られないのが普通です。また、部屋単位の冷却方式では、将来的に IT 機器をどう段階的に導入するかをすべて見据えたうえで、先に冷却装置を設置しなければならないことが多くあります。しかし、この段階的な導入によるレイアウトを正確に予測することはできないため、冷却装置を配置しても、冷却効率は非常に悪くなりがちです。したがって、部屋単位の冷却方式に着目した最近の設計では、コンテインメントが大変重視されています。コンテインメントを設けることで、至って柔軟に冷却装置を設置できるようになります。また、データセンターの室外に CRAH を設置できるようになります。

冗長性

冷却システムに冗長性が必要なのは、ITシステムを稼働し続けながら空調機のメンテナンスを可能にするためです。また、空調機に障害が発生しても、データセンターを確実に機能させ続けるためでもあります。ITシステムには、電源系統の冗長性を確保するために2系統給電方式がよく採用されています。電源コードや接続部そのものが、障害の発生箇所になり得るからです。一方、冷却システムの冗長構成は、N+1 が一般的です(空気を分配するための共通路は、ラック周りの外気にすぎず、障害が発生する可能性が非常に低いため)。たとえば、CRAH を4台必要とするシステムに対し CRAH を1台追加した場合は、いずれか1台の CRAH に障害が発生しても、残りの CRAH で本来の冷却機

能を果たせません。このため、「N+1」冗長構成と呼ばれます。しかし、電力密度が高い場合、このような単純な考え方では不十分です。3つの冷却方式における冗長構成は、下記のとおりそれぞれ異なります。

ラック単位の冷却方式では、ラック間で冷却装置が共有されることはなく、空気を分配するための共通路もありません。したがって、冗長性を確保するには、ラックごとに、N+X または 2N の 2 系統による CRAH システム(実質的には、ラック 1 本あたり 2 つ以上の CRAH システム)を設けること以外に方法がありません。他の冷却方式に比べ、これは非常に不利です。しかし、隔離された高密度ラックであれば非常に有効です。この場合の冗長性は、完全に確定しており、予測可能であり、かつ他の CRAH システムから独立しているからです。

列単位の冷却方式では、ラック列レベルで冗長性を確保します。この場合は、各列に対して N+1 構成で CRAH を設ける必要があります。列単位で設置する CRAH は部屋単位で設置する CRAH よりも小型で安価とはいえ、負荷が軽い(ラック 1 本あたり 1~2kW)場合は非常に不利です。しかし、高密度であれば、非常に有利となります(N+1 冗長構成は、ラック 1 本あたり 25kW まで対応可能)。高密度の場合、他の 2 つの冷却方式では 2N 冗長構成がよく採用されるからです。高密度の条件下で CRAH の追加導入数を抑えつつ必要な冗長性を確保できるのは、列単位の冷却方式の大きな長所であり、総所有コスト(TCO)の面でも非常に有利です。

部屋単位の冷却方式では、その部屋自体が、全 IT 機器に空気を供給するための共通路です。この場合は基本的に、CRAH を 1 台追加すれば、部屋の大きさにかかわらず冗長性を確保できます。これは、部屋単位の冷却方式のうち非常に低密度の条件下でコンテインメントを設けない場合なら通用しますし、コスト面でも有利です。しかし、高密度の条件下でコンテインメントを設けない部屋単位の冷却方式の場合、ある CRAH に障害が発生したときに別の CRAH がそれをどれだけ補えるかは、室内のレイアウトによって大きく変わります。たとえば、予備の CRAH と障害の発生した CRAH とが互いに離れている場合、障害発生前の空気分配パターンを再現できません。以上をまとめると、部屋単位の冷却方式の場合、冗長性確保のために追加を要する CRAH の数は、低密度だと 1 台だけで済みますが、高密度(ラック 1 本あたり 10kW 超)だと 2 台以上必要になります。ただし、コンテインメントを設けるのであれば、その限りではありません(給気通路と還気通路が別々になるため)。

熱の排出方法

ここでは、特に熱の排出方法について述べます。Direct Expansion、つまりデータセンターでの冷却用のコンピュータールーム空調装置(CRAC)は、水冷式のコンピュータールームエアーハンドラー(CRAH)とは操作が異なります。CRAC を CRAH と同じ要領で操作すると、その効率性、加湿性、冗長性などに悪影響を及ぼします。各プロジェクトでは、所定の冷却ソリューションの操作・制御方法を理解するために、設計分析を必ず実施する必要があります。熱の排出方法の詳細については、ホワイトペーパー59『The Different Technologies for Cooling Data Centers』を参照してください。

結論

従来のデータセンターにおける冷却方式(コンテインメントを設けない部屋単位の冷却方式)は、次世代のデータセンターでは技術的・実用的な限界があります。次世代のデータセンターは、変化する要件に対応し、電力密度の高さと変動性に確実に対応し、消費電力などにかかわる運用コストを抑える必要があります。そのために開発されたのが、部屋単位、列単位、およびラック単位の各冷却方式とコンテインメントを設けるという方法です。これにより、ラック 1 本あたり 3kW 以上の電力密度にも対応できるようになります。ただ、業界では、従来の部屋単位の冷却方式も根強く利用されていますがこの方式は、データセンター内のラックが低密度の場合や、IT 技術がほとんど変わっていない場合にのみ依然として有効かつ現実的なオプションです。

部屋単位の冷却方式(コンテインメントあり)、列単位の冷却方式、およびラック単位の冷却方式では、次世代のデータセンターの要件を満たすことができます。つまり、柔軟性、予測可能性、拡張性、および最適な可用性を実現し、かつ消費電力と TCO を削減することができます。メーカーは今後、これらの冷却方式に基づいた製品を提供すると考えられます。また、今後のデータセンターでは、3 つの冷却方式が併用されることが多くなると予想されます。ラック単位の冷却方式は、極めて高い密度、きめ細かな導入、非構造的なレイアウトなどが重要な要素である場合に採用されるでしょう。コンテインメントを設けない部屋単位の冷却方式は、低密度の場合や、変更がほとんど生じない用途の場合なら、今後も有効でしょう。そして、比較的新しい技術による高密度サーバーを有するほとんどのユーザーにとっては、コンテインメントを備えた部屋単位の冷却方式および列単位の冷却方式が、最も妥当な総 TCO で、高い予測可能性、高い電力密度、および順応性の間で最高のバランスを取れる手段となるでしょう。

著者について

ニール・ラスムセンは、Schneider Electric のイノベーション担当上級副社長です。データセンター用のインフラ(電力、冷却、ラック関連)に世界でも最大規模の R&D 予算を注ぎ込み、技術面で指揮を執っています。

また、高効率・高密度なデータセンター用インフラ(電力、冷却関連)について 25 件の特許権を持っています。その一方で、電力・冷却システムについて 50 件以上のホワイトペーパーを公開しています。これらの大半は 10 か国語以上で公開されており、最近ではエネルギー効率の向上をテーマとしたものが多くなっています。高効率なデータセンターをテーマとした講演における基調講演者としても、国際的に認知されています。現在は、APC の InfraStruXure システムの主任技術者であり、拡張性を備えた高効率・高密度のデータセンター用インフラソリューションの改良に努めています。

MIT(マサチューセッツ工科大学)で電気工学を専攻し、トカマク核融合炉に対する 200MW の電力供給に関する分析をテーマとした論文で、学士号と修士号を取得しました。また、1979~1981 年には、MIT のリンカーン研究所において、フライホイールエネルギー貯蔵システムと太陽光発電システムの研究に携わりました。その後、1981 年に APC を設立し、エンジニアリング担当上級副社長と CTO を 26 年間務めました。2007 年に APC が Schneider Electric の傘下に入って以来、現職を務めています。

ケビン・ダンロップは、Schneider Electric の冷却ソリューション担当ゼネラルマネージャーです。フェニックス大学で、経営情報システムをテーマとし、経営学の学士号を取得しました。1994 年以降は、電源管理業界で従事してきました。同年に Systems Enhancement Corp.(電源管理用のハードウェアとソフトウェアのサプライヤー)に入社し、1997 年に同社を APC が買収した後は、APC でネットワークインターフェースカード担当プロダクトマネージャーを務めました。また、2000 年に Airflow Company, Inc. を買収した後は、精密冷却ソリューション担当プロダクトマネージャーも務めました。

その一方で、電源管理・冷却をテーマとした数々の討論会、業界のコンソーシアム、および ASHRAE の熱管理・エネルギー効率利用委員会に参加しています。



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。



重要な IT 設備のための冷却方式の検討

ホワイトペーパー 55



高密度にサーバーを搭載するラックおよびブレードサーバーの電力供給と冷却の対策

ホワイトペーパー 46



データセンター(サーバールームおよび電算室)の冷却能力を損なう問題を回避する方法

ホワイトペーパー 49



サーバールームおよびデータセンターの電力密度仕様に関するガイドライン

ホワイトペーパー 120



Humidification Systems: Reducing Energy Costs in IT Environments

ホワイトペーパー 133



Deploying High-Density Pods in a Low-Density Data Centers

ホワイトペーパー 134



ホットアイルコンテインメントとコールドアイルコンテインメントの比較

ホワイトペーパー 135



The Different Technologies for Cooling Data Centers

ホワイトペーパー 59



ホワイトペーパー一覧

whitepapers.apc.com



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ジャパン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