

データセンターの ラック単位冷却 構成、列単位冷 却構成の長所

ケビンダンロップ
ニールラスムセン

White Paper #130

APC[®]
Legendary Reliability™

要約

次世代のデータセンタにおいては、部屋単位の冷却は非効率的な方法です。最新世代の高密度および変動密度 IT 機器が、部屋単位の冷却では解決できないような条件を生み出した結果、冷却システムが非効率になり、デザイン通りに冷却できず、高い電力密度にも対応できないという問題が生じています。このような問題に対処するため、列単位やラック単位の冷却構成が開発されました。このホワイトペーパーでは、部屋、列、ラック単位の冷却構成を比較し、ほとんどの次世代データセンタにおいて望ましいソリューションとして、なぜ列単位の冷却が注目されているかを説明します。

はじめに

データセンタのIT機器に供給される電力は全て熱になります。この熱は取り除かなければなりません。多くのIT機器は空冷方式で、周囲の空気を取込んで発生する熱を排気として排出します。データセンタには何千台ものIT装置を装備しているので、データセンタ内には排出すべき熱である温風が大量に吹いていることになります。データセンタの空調システムの目的は、排熱の複雑な流れを効率的に捕らえて部屋から排出することです。

部屋単位の冷却方式は、データセンタを冷却するために古くから実施されてきた方法です。この方法では1台または複数台の空調システムを並列して作動し、暖められた周囲の空気を排気しながらデータセンタ内に冷気を取込みます。この方法の基本原理は、空調機が冷却能力を提供すると同時に、温度が高い部分（ホットスポット）を発生させないように、室温を平均して同一温度にするよう、室内の空気を継続してかき混ぜる、大規模な攪拌機としても働いているということです。この方法は空気を攪拌するための電力が、全データセンタの電力消費量に占める割合のごくわずかである場合には効果があります。このシステムはシミュレーションデータと経験に基づき、データ内の平均電力密度がラック1本あたり約1～2kW、つまり323～753 W/m²の場合に効果があることが示されています。しかし、残念なことに最近のIT機器の電力密度は、ラック1本あたりピークでは20kW以上に増加しており、シミュレーションデータと経験によると、空気攪拌による部屋単位の冷却に依存する方法はすでに効率的に機能していないことが示されています。

この問題に対処するために、ラック列単位の冷却に基づく新しい設計方法が注目されています。この方法では、冷却システムが特にラック列または個々のラックに対応しています。この方法はより設計しやすく、高密度で、より効率のよい冷却が可能であると同時に、他にも多くの利点があります。このホワイトペーパーではさまざまな方法を説明し、比較しています。3種類の方法にはそれぞれ適切な適応対象があります。一般に、高密度設置方式の場合は、部屋単位の冷却方式よりも列単位の冷却方式に変更することが望ましい傾向があります。

室内、列、ラック単位の冷却構造

すべてのデータセンタ空調システムには2つの主要な機能があります。それは、大量の冷却容量を提供し、その冷気をIT機器に分配することです。1つ目の大量の冷却容量を提供する機能は、全ての冷却構成で共通です。すなわち空調システムの大量冷却容量は、IT機器の全ての電力負荷(kW)を排出する必要があります。この機能を提供するためのさまざまな技術は、冷却システムが部屋、列、ラックのどれを単位として設計されていても同様です。冷却構成間の主な違いは、2つ目の重要な機能である、機器に空気を分配する方法です。電気の流れが設計通りに配線された電線に従う電力配線と違い、空気の流れは大まかに部屋の構造に制約されるのみで、実際の空気の流れは目に見えず、機器の配置によって大きく変化します。冷却の方法は異なりますが、それぞれ空気の流れを制御するために設計されています。

3つの基本構成の一般的な設計配置を図1に示します。図中の四角い線は列に並んだラック、青い矢印はCRAC(精密空調装置)とITラックに搭載されている機器との理論的な関係を示します。実際のCRACの物理的レイアウトは異なる場合があります。部屋単位の構成ではCRACは部屋に関係し、列単位の構成ではCRACは列またはグループに関係しており、ラック単位の構成ではCRACは個々のラックに割り当てられています。

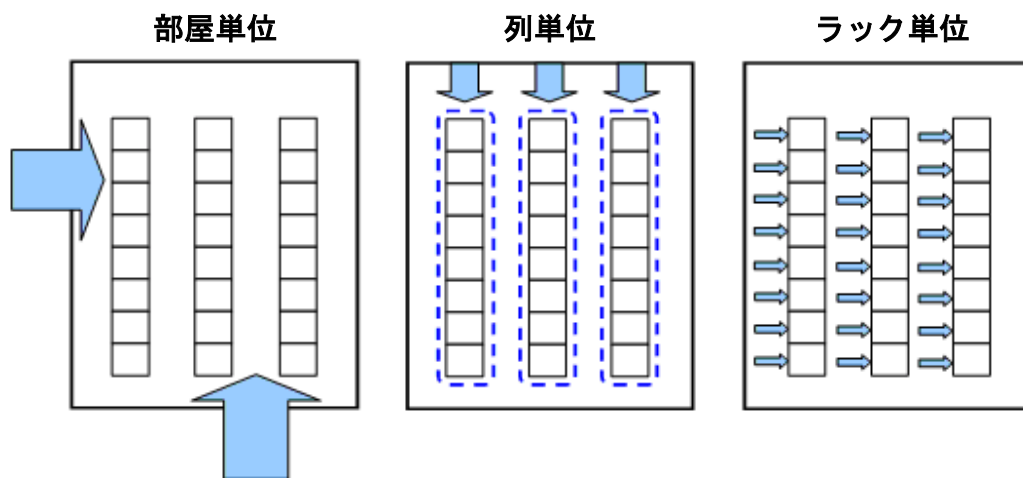


図1 - 部屋、列、ラック単位の冷却構成の基本概念を示す設計配置
(青い矢印は室内の主要な冷却供給経路を示す)

個々の方法の基本的な原理の概要は以下の通りです。

部屋単位の冷却構成

部屋単位の冷却構成の場合、CRACは部屋を単位としており、室内の全熱負荷を処理するために全ユニットを同時に稼働します。部屋単位の冷却構成はダクト、ダンパー、通気口などに制限されない冷気を供給する、1つ以上の空調装置で構成されています。フロア下もしくは天井裏を通じて冷気の供給と熱せられた空気の回収を行う場合もあります。本方式の詳細については、APC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、空気の流れの要素への配慮が対象により大きく異なる場合があります。小さな部屋ではラックは無計画に配置されていることがあり、空気の流れに対する計画的な制限は特にありません。より大規模で洗練された配置の場合、ITラックに適切に空気を供給するために、ホットアイル、コールドアイルの構成とフリーアクセスフロアが使われます。

部屋単位の冷却構成は天井の高さ、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、CRACの位置、IT負荷に対する電力分配など、部屋の特有な制約に大きく影響されます。その結果、特に電力密度が増加した場合、設計通りの冷却と均一な性能は期待しにくくなります。このため個別の設計における設計性能を理解するために、数値流体力学(CFD)と呼ばれる複雑なコンピュータシミュレーションが必要になります。さらにIT機器の移動、追加、変更などがある場合、性能モデルが無効になり、新たな分析や試験が必要になります。特にCRACの冗長性を確保する場合、分析が非常に複雑になり、評価が難しくなります。

部屋単位の冷却構成のもう一つの重大な短所は、CRACの最大定格容量で動作が行われない場合が多いことです。これは部屋単位の設計の条件によるものであり、CRACから供給される空気の多くがIT機器に到達せずに、直接CRACに戻る場合に起こります。この空気流のバイパスは負荷の冷却に役立っていないCRAC気流であり、本質的に全冷却能力を低減しています。この結果、CRACに追加された大量冷却(kW)能力が十分利用されていない場合に、ITレイアウトの冷却要求がCRACの冷却能力を超えることとなります。この問題については、APCホワイトペーパー #49『Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms』(URL: <http://www.apc.com/>)で詳細に解説しています。

列単位の冷却構成

列単位の冷却構成の場合、CRACはラック列を単位としていて、設計意図から列の冷却専用であると想定されています。CRACはITラックの間、ラックの上、またはフロア下に取付けられます。部屋単位の冷却構成と比較して、空気の流れの通路は短く、明確に設計できます。また、空気の流れが予測可能で、CRACの全定格容量が利用可能で、より高い電力密度を達成できます。

列単位の冷却構成には冷却性能の他に、多くの利点があります。空気流通路の長さを短くできるのでCRACファンの消費電力が削減され、効率が向上します。このことは機器が多く設置されていないデータセンタで、全機器の電力よりも多くの電力を消費するCRACファンにおいて大きな効果をもたらします。

列単位の冷却設計では、冷却容量と余剰分を特定列の所要冷却能力に振り分けることができます。たとえば、列単位の冷却構成、1列のラック列をブレードサーバのような高電力密度機器用にしながら、別の列を通信用機器などの低電力密度機器用とすることができます。さらにN+1や2Nなどの冗長構成の冷却能力を特定の列用とすることができます。

列単位の冷却構成はフリーアクセスフロアを省略することができます。この結果、床の耐荷重が向上し、設置コストが低減され、通路の傾斜が不要になるため、フリーアクセスフロアが設置できない上部空間のない建物の中にも、データセンタを設置することができるようになります。これは1メートル以上のフリーアクセスフロアが要求される高密度データセンタにおいては著しい成果です。列単位の冷却製品の例を図2aと2bに示します。

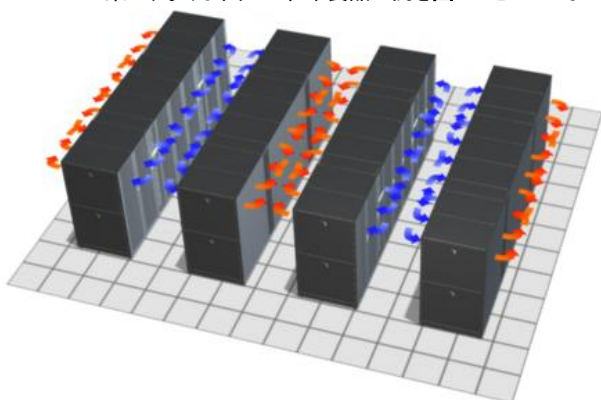


図2a - InRow列冷却ソリューション



図2b - 天井方式冷却ソリューション

図2aのInRow列冷却ソリューションは、ホットアイルを閉じ込めるにより電力密度能力を拡張するシステムとして構成することもできます。この設計はさらに、冷気と暖気が混合される可能性を無くし、設計性能の予測性を向上させます。

列単位の冷却構成は単純で、幾何学的にあらかじめ設計されたレイアウトは、製造者の設計通りの性能を引き出すことができます。この性能は部屋の配列や制約条件に左右されることが比較的少なくなります。このため特にラック1本あたり5kW以上の場合において、仕様と設計の実現との両方が単純化されます。電力密度仕様については、APC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の電力密度仕様に関するガイドライン」で詳細に解説しています。

この構成は部屋単位の冷却構成よりも多くのCRACが必要になるように思われますが、このことは電力密度が高くなった場合には必ずしも正しくありません。これについては後述します。

ラック単位の冷却構成

ラック単位の冷却構成の場合、CRACはラックと関連していて、設計上、特定のラックの冷却専用であると想定されています。CRACは、ITラックに直接取付けられているか、ITラック内に取付けられています。部屋単位の冷却構成や列単位の冷却構成と比較すると、ラック単位の冷却構成の通風経路はより短く的確に規定されているため、空気の流れはラック配置や室内の制約に全く影響されません。CRACの全定格容量を利用することができ、最高の電力密度（各ラック50kWまで）が得られます。ラック単位の冷却製品の例を図3に示します。

列単位の冷却同様、ラック単位の冷却構成には、最高の密度能力に加えてその他の固有な特徴があります。通風経路が短いCRACファン消費電力が削減され、効率が向上します。既に述べたように、このことはCRACファン電力が全IT機器の電力消費を上回る従来のデータセンターにおいては、非常に大きな長所です。

ラック単位の設計は、例えば、電力密度の異なるブレードサーバと通信ラックなど、冷却容量と余剰分を特定ラックの実際のニーズに合わせるすることができます。さらに、N+1や2N冗長構成の余剰冷却分を特定のラックに向けることができます。それに対して、列単位の構成では、このような特性を列レベルでしか指定できず、部屋単位の構成は室内レベルでしか指定できません。



図3 – 完全にラック内部を冷却するラック冷却ソリューション

ラック単位の冷却構成の確定的配列により、製造者がその特性を完全にデザインすることができるようになり、室内の配列や他の室内制約による影響が比較的少なくなります。このため指定された密度を実施するための電力密度と設計仕様が単純になります。電力密度仕様については、APC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」で詳細に解説しています。

この方法の主な欠点は、特に低電力密度において他の方法と比較した場合、大量の空調装置と配管が必要となることです。このことは後で詳しく述べます。

組合せ構成

同じ配置の中で部屋単位、列単位、ラック単位の冷却構成を組合わせて使用しても問題はありません。実際、組合せ構成が有利である場合が多く見られます。特に電力密度が様でなく大きく偏在しているデータセンターにおいては、**図4**に示すように3種類の全てを組合わせて使用すると有利です。

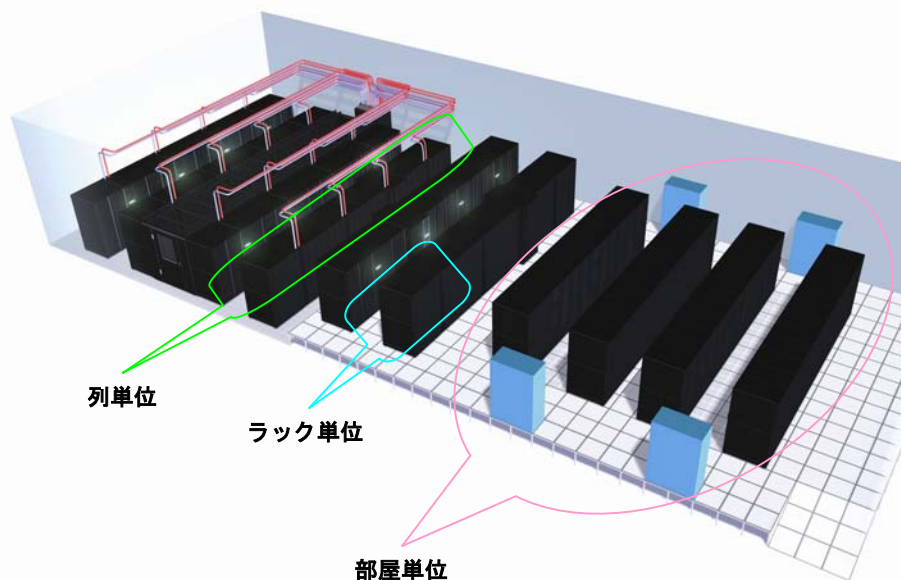


図4 - 部屋、列、ラック単位の冷却構成を同時に使用するシステムの設備配置

- 部屋単位の冷却構成: 通信機器、低密度サーバ、ストレージなどの機器の組合わせによる、主に低密度の範囲の室内に供給。目標: ラック1本あたり1~3kW、323~861W/m²
- 列単位の冷却構成: ブレードサーバまたは1Uサーバなどの高密度または超高密度の区域に供給
- ラック単位の冷却構成: 孤立した高密度ラック、または超高密度ラックに供給

列およびラック単位の冷却構成を効果的に使用するもう一つの方法は、すでに低密度の部屋単位の冷却構成が実施されている中で、密度をアップグレードさせることです。この場合、既存のデータセンター内の小さいラック群に、列またはラック単位の冷却システムを装備します。列またはラック単位の冷却機器は、新しい高密度ラックを効果的に隔離し、既存の部屋単位の冷却システムから本質的に「発熱を中和」させます。このようにして、既存の部屋単位の冷却システムを変更することなく、高密度負荷を既存の低密度データセンターに追加することができます。このシステムが配備されると、上記の**図4**に示した組合せ構成と同じ構成になります。

複合型

上記の3つの分類に入らない、それぞれの機能を共有する特質を持った冷却技術があります。

ダクトを使った排除方式は、排気をラックレベルで捕獲し、部屋単位の冷却システムに直接排出します。このシステムには、ラック単位の冷却システムの利点がいくつかありますが、既存あるいは計画済みの部屋単位の冷却システムに統合することもできます。この機器の例を図5に示します。

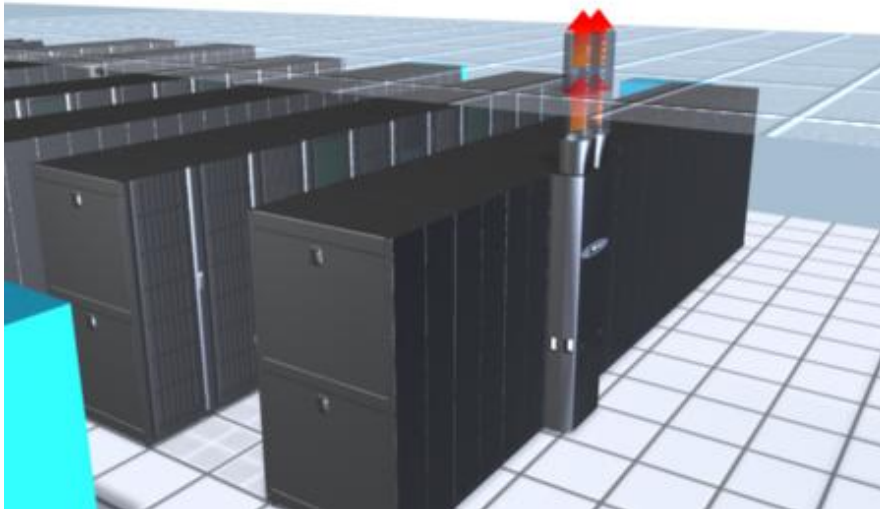


図5 - ラックレベルでダクトを使った排気

冷却構成の長所比較

データセンターの新設時または改装時に効果的な選択をするには、実際のデータセンターの設計とオペレーションに影響する現実的な問題と各構成の特性を関連させることが重要です。データセンターオペレータの調査では、この問題は以下のいずれかに分類されます。

- 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

ここでは、ユーザが特定した上記の種別について検討し、主な冷却課題に対する代替構造の対処方法について検討します。上記の種別は、回答が多かった項目の順に、優先順位の高い課題を掲載しています。

スピードに関する課題

データセンタ管理者は、表1に示すスピードに関する課題が重要な冷却関連問題であると認識しています。これらの課題に対処するためのさまざまな構成の効果についても要約しています。

表1- スピードに関する課題に対処する部屋、列、ラック単位の冷却構成の有効性
(最も効率の高いものを青で表示)

スピードに関する課題			
課題	ラック単位	列単位	部屋単位
増加し続け、予測ができない電力密度に対する設備計画	特定の密度目標値まで、ラックレベルの増加配置が可能なモジュール	特定の密度目標値まで、列レベルの増加配置が可能なモジュール	変更、適用困難。通常は実際の需要発生以前に構築される
特注設備に要求される広範囲な技術を削減すること	室内の影響を受けない: ラックレイアウトは自由裁量が可能	列が標準設計に従って設置され、簡単なツールで構成されている場合、室内の影響を受ける	すべての部屋で異なる複雑な CFD 分析が必要
常に変化する、いかなる電力密度にも適用すること	使用されていないラック冷却容量は、他のラック用に使用できない	冷却容量が明確で、ラック間で分け合うことができる	変更により過熱が起きる: 冗長と密度を保証するために、複雑な分析が必要
冷却容量を既存の運用スペースに追加する可能性	既存の冷却システムの冷却能力とは完全に独立した機器を追加可能: ラック冷却容量に制限される	既存の冷却システムの冷却機能とは完全に独立した機器を追加可能: 個々の追加冷却システムは、全列の密度を増加する	既存の冷却システムの停止が必要: 広範囲な技術が必要
最小の再構成により高度に柔軟性のある冷却展開を提供すること	新規構造に適應するために、ラック装置を改良または IT 機器を移動する	ラック列を新規構造に適用するために並べる、あるいは頭上インフラに変更する必要がある	電力密度 < 3kW の冷却分配パターンに変更するために、フロアシステムを迅速に再構築できる

可用性に関する課題

データセンター管理者は、表2に示す可用性に関する課題が重要な冷却関連問題であると認識しています。

これらの課題に対処するためのさまざまな構成の効果についても要約しています。

表 2 - 可用性に関する課題に対処する室内、列、ラック指向冷却構造の有効性
(最も効率の高いものを青で表示)

可用性に関する課題			
課題	ラック単位	列単位	部屋単位
ホットスポットを解消すること	気流の混合を防ぐために、発熱と熱除去を近隣で連結する 気流は完全にラック内に閉じ込められる	気流の混合を防ぐために、発熱と熱除去を近隣で統合する	供給と戻り経路により気流が混合するため、気流を分離するための特殊な配管が必要
必要に応じた冗長構成	各ラックの冷却容量に2N冗長構成が必要: 多くのラック冷却システムは、余剰構成が不可能	全共通空気還流で共有のN+1冗長構成が可能	故障モードを模擬する際に複雑なCFD分析が必要: 局部的に冗長構成が必要
ラック前面の垂直方向の温度変化をなくすこと	供給冷気と混合する前に、ラックの後面で熱気を取込む	供給冷気と混合する前に、ラックの後面で熱気を取込む	熱の除去または供給が不十分なため、温風がラックの前面に再循環する
重要な設備で液体漏れの可能性を最小化すること	冷却ユニットに戻る空気温度が高くなるように運転することにより、空気中の湿気をできるだけ取らないようにする。ラック単位の冷却は配管が必要になり水漏れの可能性も増える	冷却ユニットに戻る空気温度が高くなるように運転することにより、空気中の湿気をできるだけ取らないようにする	戻り空気の混合は、凝縮水を生成し、加湿処理を増加させる
人為的ミスを最小化すること	標準化されたソリューションが十分文書化されており、どのユーザでも操作可能	標準化されたソリューションが十分文書化されており、どのユーザでも操作可能	個別に設計されたシステムのため、十分訓練された、専門的オペレータが必要

ライフサイクルコストに関する課題

データセンター管理者は、表3に示すライフサイクルコストに関する課題が重要な冷却に関連する問題であると認識しています。

これらの課題に対処するためのさまざまな構成の効果についても要約しています。

表 3- ライフサイクルコストに関する課題に対処する部屋、列、ラック単位の冷却構成の有効性
(最も効率の高いものを青い背景で表示)

ライフサイクルコストに関する課題			
課題	ラック単位	列単位	部屋単位
資本投資と利用可能スペースを最適化すること	各ラック専用システムは特大になり、容量の無駄になる	設置された容量より高い割合の冷却要件に適合できる能力を持つ	システム性能を予測することが難しく、特大になることが多くなる
設置期間を短縮すること	計画と技術を削減する予め設計されたシステム	計画と技術を削減する予め設計されたシステム	組織的な要求を越える特殊な技術が必要
サービス契約コストを下げる	標準化コンポーネントによりサービス時間を削減し、ユーザのサービス性を促進するITラックに対しておよそ1対1のユニット数	標準化コンポーネントによりサービス時間を削減し、ユーザのサービス性を促進する	カスタムコンポーネント用に要求される専門サービス契約
冷却システム改善のための投資回収を数値化すること	システム性能を正確に測定するための標準コンポーネント	システム性能を正確に測定するための標準コンポーネント	個別に設計されたソリューションのため、システム性能を予測することが困難
容量と負荷を一致させることにより、運用効率を最大化すること	冷却システムは過大になりやすく、潜在的な容量が活用されない	冷却負荷に対して適切な冷却能力サイズのため、熱負荷と設置された冷却容量が一致	空気の配分がまずいため過大な冷却容量が必要となる：フリーアクセスフロア下の圧力条件は部屋の大きさとフリーアクセスの高さによって決まる。

サービス性に関する課題

データセンタ管理者は、表4に示すサービス性に関する課題が重要な冷却に関連する問題であると認識しています。これらの課題に対処するためのさまざまな構造の効果についても要約しています。

表 4 - サービス性に関する課題に対処する部屋、列、ラック単位の冷却構成の有効性
(最も効率の高いものを青で表示)

サービス性に関する課題			
課題	ラック単位	列単位	部屋単位
平均復旧時間を削減すること (技術者の到着、分析、部品到着時間を加えた修理時間を含む)	モジュール コンポーネントによる、停止時間の削減: システム修理とメンテナンスに必要な 2N 冗長構成	モジュール コンポーネントによる停止時間の削減: N+1またはこれ以上の冗長性によりシステム性能を中断することなく修理が可能	カスタムスペアパーツはすぐに入手不能で、訓練された技術者による長い修理時間が必要
複雑なシステムを単純化すること	標準化コンポーネントにより、日常のサービスとメンテナンスに必要な専門的知識を削減	標準化コンポーネントにより、日常のサービスとメンテナンスに必要な専門的知識を削減	システム操作と修理に訓練された専門家が必要
サービス手順を簡素化すること	社内スタッフが日常サービス手順を実施できる誤動作の発生しにくいサービス手順の可能なユーザーインターフェイス付きモジュール サブシステム	社内スタッフが日常サービス手順を実施できる誤動作の発生しにくいサービス手順の可能なユーザーインターフェイス付きモジュール サブシステム	日常サービス手順は関連のないサブシステムの分解が必要 システムを設置する際に、アクセスしにくいサービス項目がある多くのサービス手順に、高技能の専門家が必要
ベンダーインターフェイスを最小化すること	モジュールユニットは小さい補助的システムで統合できる設計	モジュールユニットは小さい補助的システムで統合できる設計	マルチベンダサブシステムによる個別設計ソリューション
過去の問題を学習し、システム間で学習を共有すること	標準ビルディングブロック方式と、単一ラックと冷却ユニットの相互作用により学習を最大限に生かす	標準ビルディングブロック方式と少ない相互作用により学習できるが、学べるシステムが少ない	個別のフロア構築は個々の課題を持つため学習効果は薄い

管理性に関する課題

データセンタ管理者は、表5に示す**管理性**に関する課題が重要な冷却関連問題であると認識しています。

これらの課題に対処するためのさまざまな構成の効果についても要約しています。

表 5 - 管理性に関する課題に対処する部屋、列、ラック単位の冷却構成の有効性
(最も効率の高いものを青で表示)

管理性に関する課題			
課題	ラック単位	列単位	部屋単位
システムメニューを明確にし、簡単な使用方法を提供すること	オプション配置が少ないため、ユーザはメニューインターフェイスを理解しやすい	オプション配置が少ないため、ユーザはメニューインターフェイスを理解しやすい	さまざまな設定が可能なシステムのためメニュー構成が複雑 高度なサービス訓練が必要
予測可能な故障分析を提供すること	現在と将来の性能のリアルタイムモデルを提供可能	制御効果が限定されているため、現在または将来の性能のほぼリアルタイムモデルを提供可能	室内の特殊効果のため、現在または将来性能のリアルタイムモデルを提供することは事実上できない
冷却性能データを提供、統合、要約すること	ラックレベルの冷却容量情報を決定し、リアルタイムで利用できる	ラックレベルの冷却容量情報を決定し、リアルタイムで利用できるラックレベル情報を効果的に見積もることができる	ラックレベルの冷却容量情報は利用できない

要約と分析

上記の比較表の要約と分析について以下に述べます。

- 個別に設置できるラック単位の冷却構成は最も柔軟性があり、迅速に構築でき、最高密度を実現するが、コストが高い。
- 部屋単位の冷却構成は柔軟性に欠け、構成に時間がかかり、高密度における性能が低いが、低密度においてはコストと単純性の長所がある。
- モジュール方式の列単位の冷却構成は、ラック単位の冷却構成における柔軟性、スピード、高密度の長所の多くを提供できるが、同じような部屋単位の冷却構成と比べるとコストがかかる。

これらの課題については、次の項目で詳しく説明します。

特殊な課題

構成についての説明と議論が必要な現実的な課題が多くあります。この項目では以下について述べます。

容量活用

管理者の多くが500kWの冷却装置が設置してあれば500kWのIT機器を設置し冷却できる、と考えるのは当然のことです。しかしこれは事実ではありません。複数台の空調装置から構成した場合の公称容量があるとき、これは機器をこの容量で冷却できることを意味していません。実際のIT機器を冷却できる容量値は、「有効容量」と呼ばれます。有効容量が100%以下の場合、CRACシステムのコスト、スペース、メンテナンス量をさらに増やす必要があります。この点で3つの冷却システム構成は非常に異なった性質があります。これについて以下の項目で説明し、簡単な図を図5に示します。

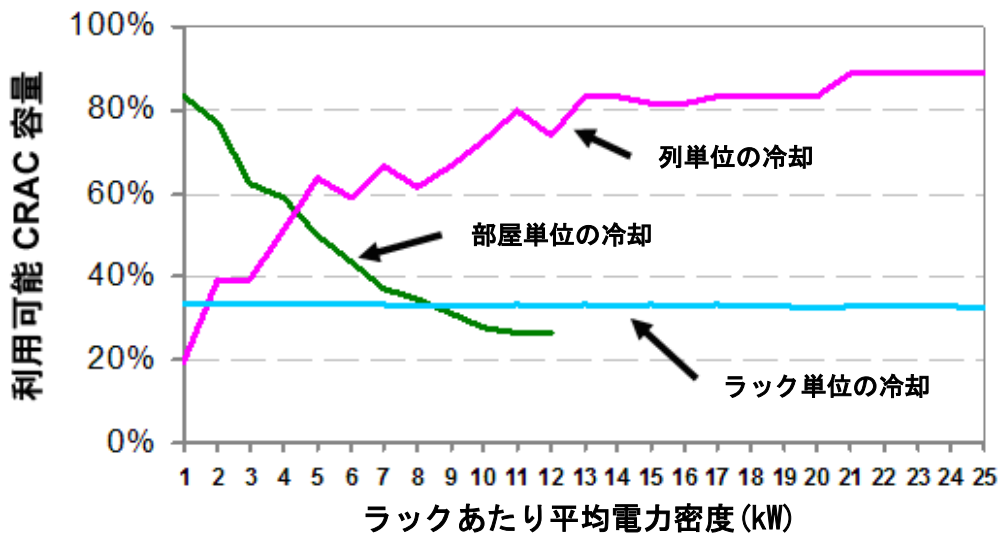


図5-3つの冷却構成のラックあたりの平均電力密度の機能における有効空調容量

この図はラック電力密度により3つの冷却構成の有効容量がどのように変化するかを示したものです。このモデルはピーク対平均ラック電力密度比1.5:1、N+1冷却機冗長構成、最大列長さラック10本、ユニットあたり100kWの室内CRAC定格、ユニットあたり25kWの列CRAC定格、ラックCRAC定格がピーク電力密度と同一であることを仮定しています。仮定と異なる場合には結果は異なるものとなりますが、データの傾向には影響ありません。

この場合「有効容量」は、IT機器と直接相互作用するCRACにのみ言及していることに注意してください。空調室外機システムは、3つの構成全て100%の有効容量で動作しているものとします。このため、容量に関する損失は室内のCRACシステムのみ起因することとなります。

ラック単位冷却構成の有効容量は通常100%より大幅に少なくなります。ラック単位冷却構成では、個々のラックに専用の空調設備が設置されるため、それぞれの空調の容量をそのラックで占有することになります。ラックの実際の負荷がそのラックの定格容量より少ない場合、残りの空調容量は利用されず、また**他のラックがそれを利用することはありません**。たとえば、ラックに10kWの冷却容量があり、IT負荷が6kWの場合、そのラックに残された4kW容量は他のラックで利用されることはありません。残った容量分を冗長構成部分として隣のラックから借りて他の用途に使用することもできません。現実のラックの電力密度は大きく変化するため、有効容量は定格容量の50%より低くなります。**図5**は、ラック単位冷却構成の電力密度に対する有効容量のグラフを示しています。ラック単位冷却構成において冗長構成をとることは、有効容量に大きく影響します。これは全てのラックにおいて各ラックを冷却できる性能を持つCRACを2セットずつ設置しなければならないからです。冗長構成をとらない構成の場合、利用率はこれの2倍になります。この構成の利用可能容量は電力密度に依存していないことに注意してください。

部屋単位冷却構成の有効容量は、全容量が室内レベルに蓄積され分配できるように思われるため、表面上100%であるように見えます。実際ラックにつき1~2kW程度の、非常に低い電力密度の場合、この構成は**図5**に示すように合理的な仮定です。しかし、この仮定は電力密度が増加すると急激に崩れます。容量損失はシステムが負荷に必要な冷気を分配することができないために起こります。システムを負荷に比べて過大にしなればならず、結果的に効果的な有効容量が削減されます。部屋単位冷却構成の予測が不可能なため、**図5**に示すようにラックにつき約6kW程度が実用的な限界になります。

列単位冷却構成は最も広い電力密度範囲を通して、最高の有効容量を提供します。CRACと負荷が近くで結合しているため、すべての容量を約25kW電力密度まで、または部屋単位冷却構成の実質的な密度容量の約4倍まで、負荷に供給できます。さらに、CRACは近隣ラックに冷気を分けることができるため、ラック単位冷却構成で生じていた容量の無駄の問題を軽減します。しかし、電力密度がどれだけ低下しても空調装置を各列に割り当てる必要があるため、列単位冷却構成の有効容量は非常に低い電力密度では低下します。列単位冷却構成の有効容量曲線がギザギザになっているのは、CRACを特定の列に割り当てる必要のある列の長さが有限なことによる影響と、CRACに小さいサイズがないためです。列の長さが無限であれば、より滑らかな曲線になったでしょう。

加湿

サーバールームの空調システムの主要機能は、静電気の可能性を削減するために湿度を維持することです。この機能は多くの場合空調装置に組み込まれています。空調装置の数が増加する構成の場合、加湿装置の数も増やす必要があるのでしょうか。これは加湿装置には配水管があり、通常保守作業を多く要するため、特に課題となっています。

この課題について注意深く分析した結果、空調機器に加湿機器を組み込まれることは通常行われているものの、基本的な問題があるため、加湿装置は空調機器とは分離して設置し、部屋単位で行うべきであるということが示されました。これには2つの理由があります。

- 高密度設置においては、どの冷却構成であれ多数のCRACが設置され、同数の加湿装置を設置する必要は技術的にありません。多数の加湿装置を設置した場合、メンテナンスなど現実的に不都合な点が多くなります。
- 室内に加湿装置が多数あると動作を調整することが難しくなり、水と電気が無駄となる結果になります。

- 冷気は湿気を含みにく、また空調機の吹き出し口の冷気に湿気を持たせることは効率が悪く、また飽和状態となっている場合には不可能となります。

この問題の詳細については、APCホワイトペーパー#133『Humidification Systems Reducing Energy Costs In IT Environments』(URL: <http://www.apc.com/>)を参照してください。

電氣的効率

電力料金の値上げ、サーバに必要な電力の増加、電力密度の増加のため、全運用コストに占める電力コストの割合は増えています。電力コストが電力料金とサーバ電力に依存していることはよく理解されている一方、電力密度の電力コストへの影響は普通考慮されません。電力密度は従来の空調システムの効率を著しく下げたため、電力コストが上がりました。図6は、3つの冷却構成における電力密度の年間電力コストへの影響を示しています。

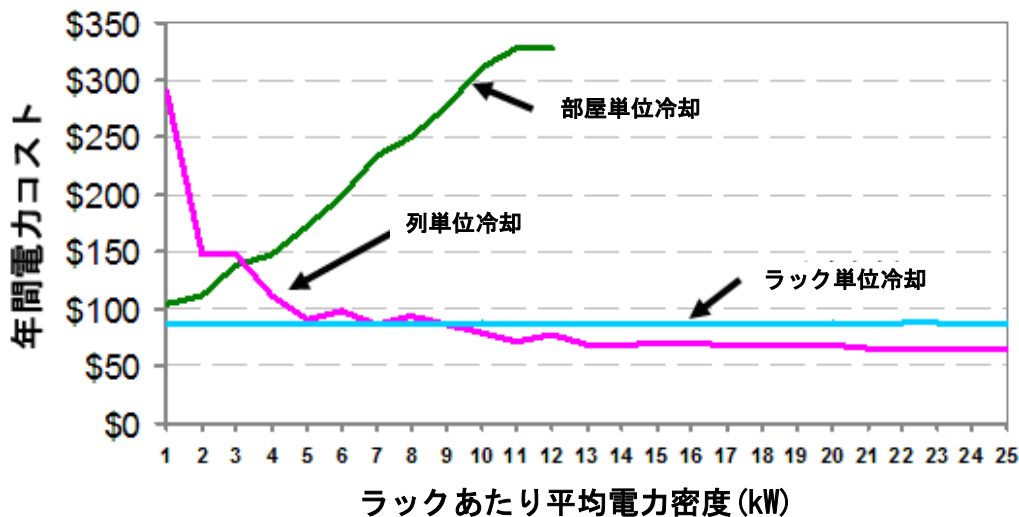


図6- 3つの冷却構成におけるラックあたり平均電力密度に応じた、1,000kWのIT負荷を必要とする年間CRAC電力コスト

上記のモデルの中で、有効CRAC容量は図5に示したように低下することが想定されます。図5の想定に加えて、N+1冗長構成を仮定しています。電力料金は、kW時間ごとに\$0.12と想定しています。また、このシステムは定格値で操作していると想定しています(100% 負荷)。部分的負荷の影響は大きく、これについては以下に説明します。

図6に示したのはCRACのみの料金です。全空調費用は高額ですが、3つの冷却構成の中では大きく異なる冷却装置設備費用も含まれます。

ラック単位冷却の電力コストは、CRACが負荷と密接に結合しており、負荷の大きさに合わせてあるため、一貫して低価格です。不要な空気の流れは排除されます。

部屋単位冷却構成の電力コストは低電力密度では非常に安価ですが、密度がラックあたりの平均で3kWを越えると大幅に増加します。これは、基本的により大量の空気を長い距離移動させる必要があり、室内に温度の高い空間ができないよう、空気を混ぜるための電力をCRACが消費するためです。

列単位冷却構成に関連する電力コストは低密度では安価ですが、高密度では高額になります。列単位設計は負荷が軽い場合でも、すべての列にCRACを割り当てる必要があるため低密度では不利です。さらにこのユニットは、定格容量以下で運用している場合でも電氣的ロスがあります。しかし、列単位冷却構成は電力密度が増加した場合、効率は最高に、電力料金は最低になります。これはCRACがIT機器と近接しているため、有効CRAC容量が高密度に維持され、余剰のCRACが1つ以上のラックをサポートできるからです。

IT 機器近辺の水、その他の熱輸送配管

調査によればシステム管理者は、IT機器と一緒に設置された水や冷媒配管に非常に関心を持っています。この関心は配管そのものではなく、むしろ機器の停止や破壊の原因となるIT機器への水漏れの可能性に向けられています。

大量の空調装置がある高密度データセンタは冷水による設計が主流で、この傾向は環境とコストの関係により継続すると考えられています。IT機器を破壊する可能性の少ない冷媒がありますが、冷却構成で水の代替として使用するには高価となります。部屋単位冷却構成の場合、CRACをデータセンタの外に設置し冷気だけをダクトで室内に入れるという方法も可能です。

高密度の場合空気が熱を輸送する能力は限界に達するため、冷媒をデータセンタに入れる必要があります。配管技術が発達したためデータセンタ内への水輸送の信頼性が向上し、水漏れの発生する可能性が大幅に減少しました。この内容については、APCホワイトペーパー #131『Improved Chilled Water Piping Distribution Methodology for Data Centers』(URL: <http://www.apc.com/>)で詳細に論じています。

配置

空調装置の配置は、システム性能に大きな影響を及ぼします。

ラック単位冷却構成の場合、目的の負荷に対する空調設備の正確な位置が決定されているため、性能予測の問題はありません。冷却性能が前もって完全に設計できることが利点です。段階的な展開がシステムデザインに一部ある場合、将来の空調装置の場所は、各ラックに自動的に展開されるように、前もって十分計画することが必要です。

部屋単位冷却構成の場合、この状況は大きく異なります。空調設備はどこにでも設置することができ、システム冷却性能は空調設備の配置に大きく影響されます。また、出入り口、窓、傾斜、配管設置の可否などの室内の物理的特性のために、最も効果的な位置に設置できないこともあります。この結果、慎重に設計を行った場合でも最適の設計にはなりません。また部屋単位の空調設備を設置する場合、通常将来のITの拡張段階を全て理解した上で、前もって室内機器設置の手配をする必要があります。将来のIT段階の正確なレイアウトは分からないため、空調装置の位置は非常に非効率であることが多いです。

列単位冷却構成は、空調設備を配置する簡単な設計規則に依存します。列単位空調設備の量と配置はシミュレーションとテストを通して構築された規則により決定します。もちろん、空調設備の大きさが列密度の規格と対応することも確認します。また、システムの性能と容量を最大化するために、列の端に空調設備を配置しないこと、などその他の規則もあります。将来的に展開するまでに配置の柔軟性が制限されることがあり、列の平均またはピーク対平均ラック電力密度の値は、間に合わせの処理として、空調設備の量と配置を定めるために使用できます。

列単位冷却構成の配置と計画はラック単位冷却構成のように単純ではありませんが、部屋単位冷却構成よりも柔軟性があります。列単位冷却は、ラック単位冷却構成の柔軟性と電力密度容量のほとんどを達成しており、しかも設置面積はより小さく、低価格で実現しています。

冗長性

冷却システムは、使用中のシステムのメンテナンスを可能にし、空調設備が故障した場合でもデータセンタが動作し続けることを保証するために、冗長構成化が必要です。電源系統は、冗長性を保証するためにITシステムへの供給を2系統給電にすることがよくあります。これは電源コードや途中の接続部が故障した場合に全体が停止する要素がある部分だからです。冷却システムの場合、2系統給電のかわりにN+1冗長構成が通常採用されます。共通空気分配経路はラック周りの外気にすぎないので、故障する可能性が低いからです。これはCRACが4つ必要なシステムの場合、5つ目のCRACをシステムに追加することにより、どのCRACが故障しても全冷却負荷を満足するという考え方です。このために「N+1」冗長構成と名付けられています。より高い電力密度には、このような単純な余剰分の考え方は不十分です。3つの冷却構成における余剰分の提供方法は、以下のようにそれぞれで異なります。

ラック単位冷却構成の場合、ラック間で冷気を共有することはなく、通風のための共通経路もありません。このため、余剰分を達成するための唯一の方法は、各ラックに完全な2N二重経路CRACシステムを装備することです。基本的に、ラック1本につき2CRACシステムを装備します。これは代替方法と比べると非常に不利な条件です。しかし、分離した高密度ラックの場合、冗長分は完全に特定でき、予測可能で、他のCRACシステムから独立しているので、非常に効果的です。

部屋単位冷却構成の場合、部屋そのものが全IT負荷の共通気流供給経路とみなされます。この場合、原則として1台のCRACを追加することで、部屋の大きさにかかわらず冗長構成化を果たすことができます。これは非常に低密度の場合で、コストも安くなります。しかし、高密度の場合、特定のCRACが他の装置の故障を補う能力は、装置の配置により大きく異なります。たとえば、特定のCRAC空気分配パターンは、故障したユニットから離れて設置されたバックアップ用CRACで置き換えることはできません。この結果、低密度時に必要とされた1台の追加ユニットから、ラック1本につき10kW以上の高密度においてCRACを倍にするために余剰分に設置した多くの追加CRACが増えることになります。

列単位冷却構成は低密度レベルでは余剰分を供給します。これには、各列に1台の追加ユニットまたはN+1CRACを必要とします。列単位に設置されたCRACは室内CRACよりも小型で安価ですが、ラック1本につき1～2kWの低負荷の場合は非常に不利です。しかし、高密度になると有利になり、N+1方式はラック1本につき25kWまで維持します。これは高密度で2Nを必要とする室内またはラック単位冷却構成と比べて非常に有利です。高密度条件下で、CRACを少量追加するだけで余剰分を配送できる能力は、列単位冷却構成の大きな長所で、総所有コスト(TCO)の点で有利です。

結論

部屋単位冷却構成による従来のデータセンタ冷却方法は、次世代データセンタにおいては技術的、現実的な限界があります。次世代データセンタの変化に対応し、変化しやすい高密度の電力密度を確実にサポートし、電力消費とその他の運用コストを削減するという必要性が、すなわち列とラック単位冷却構成の開発につながっています。この2つの構成はより支持されており、特にラック1本につき3kW以上の運用密度において、このニーズに応えています。従来の室内指向方法も産業界で受け入れられており、低密度設備やIT技術変更が少ないアプリケーションにおいて効果的で実的な代替方法として残されています。

列とラック単位冷却構成は、柔軟性、予測可能性、拡張性、電力消費削減、TCO削減、次世代データセンタの要求に対する最適な可用性を提供します。サプライヤから提供される多くの製品が、これらの方法を活用していると考えられます。

多くのデータセンタでは、3つの冷却構成を組合わせて使用しています。ラック単位冷却方法は、過密した高精度における展開、または組織化されていない状況が事を推進させるために重要な要素である場合に適用される構造です。部屋単位冷却方法は、低密度アプリケーションおよび変更が少ないアプリケーションにおいては依然として効果があります。多くの新規高密度サーバ技術の管理者にとって、列単位冷却方法は、高予測可能性、高電力密度、高順応性のバランスが最良であり、TCOが最適化される方法です。

著者について

ケビン ダンロップはAmerican Power Conversion (APC)で冷却ソリューションを担当するプロダクトマーケティングマネージャです。彼は1994年から産業界に従事しており、最初電力管理のハードウェアおよびソフトウェアのプロバイダに勤め、その後APCでプロダクトマネージャとして働いています。

また、彼は複数の産業委員会、産業協会、およびASHRAEの熱管理およびエネルギー効率利用委員会会員などを歴任しています。

ニール ラスムセンはAmerican Power Conversion社の創設者であり、CTO(最高技術責任者)です。重要なネットワークのための電力、冷却、ラックインフラに世界最大のR&D予算を注ぎ込んでおり、彼はマサチューセッツ、ミズーリ、ロードアイランド、デンマーク、台湾、アイルランドに主要製品開発センタの運営を担当しています。現在、モジュール化された拡張性のあるデータセンタソリューションの開発を指揮しています。

1981年にAPCを設立するまでは、MIT(マサチューセッツ工科大学)で電子電気工学を専攻し、学士号と修士号を取得しました。卒業論文は、トカマク核融合炉に対する200メガワットの電力供給に関する分析をテーマにしました。1979~1981年までは、MITのリンカーン研究所で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。