

重要なIT設備の ための冷却方式 の検討

ニール・ラスムセン

White Paper #55

Revision 1

APC[®]
Legendary Reliability™

要約

データセンタ(電算室およびサーバールーム)やネットワークルームの機器を冷却する方法は、大別して9種類あります。これらの方法は、パフォーマンス、コスト、および実装の容易性などにそれぞれ特徴があります。その特徴について、さまざまな利点とともに説明します。設備の冷却を適切に行うための知識は、ファシリティマネージャだけでなく、システム管理者にとっても必要なものです。

はじめに

設置しているコンピュータ機器の消費電力増加に伴い、データセンタ(電算室やサーバールーム)やネットワークルームの冷却は、急速にその重要度が増してきました。サーバ設備の整備が進むにつれ、サーバやストレージシステムの物理的なサイズは縮小し、結果として、電力密度や熱密度が高くなってきています。データセンタにおけるラック1本あたりの平均的な電力消費量は、依然として1kW程度ですが、ラックに収容されている機器には15kW以上消費するものもあります。このことは、設計上、ラック1本あたりの冷却に2~3kWしか考慮されていない平均的なデータセンタにとって負担となります。さらに、データセンタに高電力密度で熱放出の大きいラックを導入すると、冷却システムが対応できない「ホットスポット」、つまり部分的に極端に温度上昇する場所を潜在的に生じさせます。なぜなら従来の設計では、データセンタ内を均一なパターンで冷却することを想定しているからです。

ネットワークルームやデータセンタの冷却システムはCRAC (精密空調装置)と空気分配システムにより構成されます。より大規模なデータセンタでは、CRAH (エアハンドリングユニット)が、CRACの代わりに使用されます。CRACやCRAHなどを使用した冷却システムの性能はさまざまですが、いずれも設置した施設内の熱を除去します。しかし、冷却システムの分類で主流となっているのは空気分配システムに基づく分類方法です。空気分配システムの構成が、多様なデータセンタ冷却システムの主要な分類方法になっており、このホワイトペーパーの主題でもあります。

9種類の冷却システム

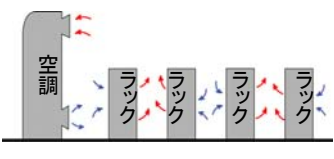
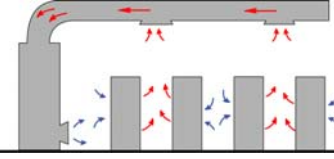
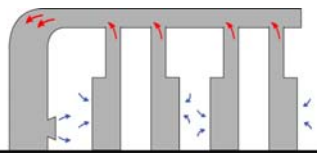
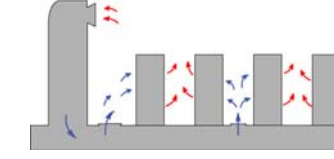
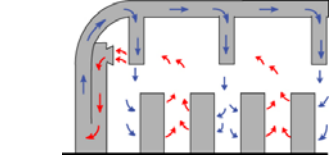
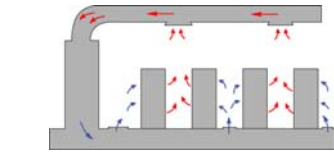
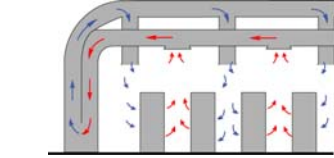
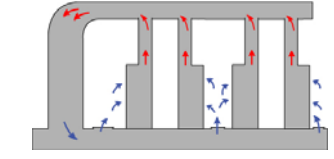
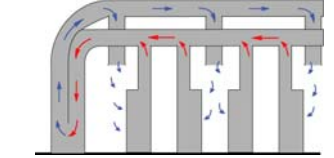
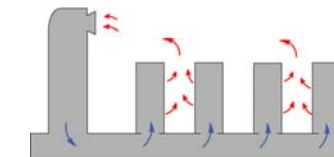
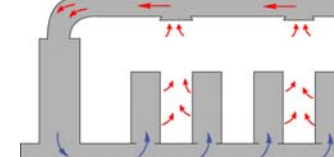
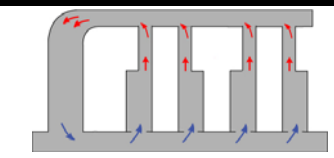
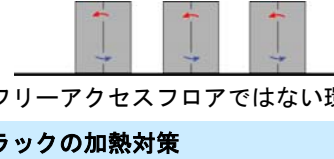
冷却分配システムは、給気システムと還気システムからなります。給気システムはCRACユニットから機器へ冷気を分配し、還気システムは機器からの排気をCRACに回収します。給気/還気どちらのシステムも、CRACと機器間の還流方法は基本的に以下の3つです。

- 室内直吹き式
- 局所ダクト式
- 完全ダクト式

室内直吹き式システムでは、CRACおよび機器は特定のダクトを介さず、室内で大量の給排気を行います。局所ダクト分配システムでは、機器に隣接した通気口を持つダクトを介して給排気が行われます。完全ダクト式システムでは、給排気は機器に直結したダクトから行われます。

室内直吹き式、局所ダクト式、および完全ダクト式のいずれのシステムも、給気経路/還気経路両方で使用されます。この組み合わせに基づき、空気分配システムは9種類に分類することができます。空気分配システムはさまざまな環境下で使用され、1つのデータセンタ内で複数のシステムが使用されることもあります。フリーアクセスフロアでなければ使用できないシステムもあれば、フリーアクセスフロアではない環境のどちらでも使用可能なシステムもあります。表1はこれら9種類のシステムを図示しています。

表1-9種類の冷却システム

	室内直吹き式還気	局所ダクト式還気	完全ダクト式還気
室内直吹き式給気	 <p>小規模LANルーム (40kW未満) 導入が容易 低コスト 1本3kWまでのラックを冷却</p>	 <p>一般用途 3kWまでのラックを冷却 フリーアクセスフロア不要 低コストかつ導入が容易</p>	 <p>ラックの加熱対策 8kWまでのラックを冷却 後から設置可能(ベンダーにより異なる) フリーアクセスフロア不要 CRACの効率向上</p>
局所ダクト式給気	 <p>フリーアクセスフロア環境</p>  <p>フリーアクセスフロアではない環境</p> <p>一般用途 3kWまでのラックを冷却</p>	 <p>フリーアクセスフロア環境</p>  <p>フリーアクセスフロアではない環境</p> <p>一般用途 5kWまでのラックを冷却 高性能かつ高効率</p>	 <p>フリーアクセスフロア環境</p>  <p>フリーアクセスフロアではない環境</p> <p>ラックの加熱対策 8kWまでのラックを冷却 後から設置可能(ベンダーにより異なる)</p>
完全ダクト式給気	 <p>一般用途 垂直エアフローのラックやメインフレーム フリーアクセスフロアの静圧※1は低い</p>	 <p>一般用途：メインフレーム 垂直エアフローのラックやメインフレーム フリーアクセスフロアの静圧は低い</p>	 <p>フリーアクセスフロア環境</p>  <p>フリーアクセスフロアではない環境</p> <p>ラックの加熱対策 15kWまでのラックを冷却 特殊な設計</p>

注意1：この表の「ダクト」という用語は、給気/還気に使用される何らかの空間を指しています。「完全ダクト還気」のダクトは、ラックの背面から排出された加熱された空気を回収するものです。

注意2：このホワイトペーパーでは、定格電力1kWあたりのエアフローを4.5立方メートル/分(1分間に4.5立方メートル)と想定しています。これは今日のITサーバの典型的なエアフローに基づくものです。

表1は給気/還気方法の組み合わせをそれぞれ図示しています。低コストで構造が単純な冷却システムは表の左上に位置し、右下にあるものほどダクト構造が複雑になります。

データセンタの冷却システムの主要な目的は、機器の給排気を分離し、機器の過熱を防ぐことにあります。分離することにより、冷却システムの効率と効果も上昇します。機器の電力密度が増すと給排気量も比例して増加します。給排気量が増えるにつれ、機器から回収すべき排気を、その機器自体もしくは隣接する機器への給気と分離することが難しくなります。このような理由から、電力密度が増加するにつれ、局所/完全ダクト式システムを使用して機器への給気と機器からの排気を分離することが必要になってきます。

9種類の冷却システムに関する一般的な補足事項を続けます。完全ダクト式給気システムは通常、フリーアクセスフロア環境で使用されます。この環境では、床下の障害物により床の静圧が低下する可能性があります。例としては、ラックの前面からは冷気が供給されない場合があります。完全ダクト式給気システムは、メインフレームコンピュータなど、空気を直接取り込むダクトが備わっている特殊な機器にも使用されます。完全ダクト式還気システムは、主に他のシステムと併用され、複数の電力密度環境でも使用可能です。室内直吹き式システムと局所ダクト式分配の4つの組み合わせは、導入されたシステムの大勢を占めています。これらのアプローチの長所と短所をさらに詳しくみるために、次のセクションでは導入の種類を、フリーアクセスフロアで 사용되는ものとそれ以外のもの、2種類に区分します。

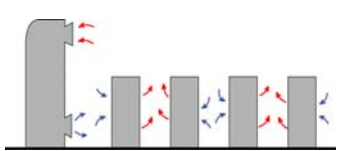
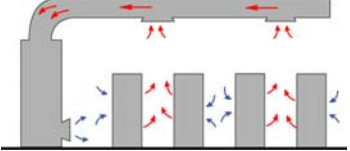
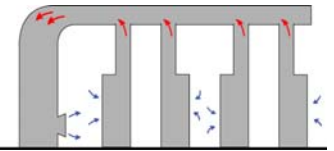
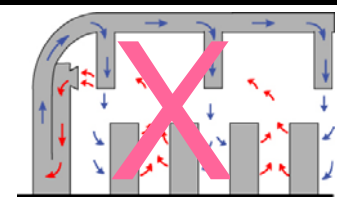
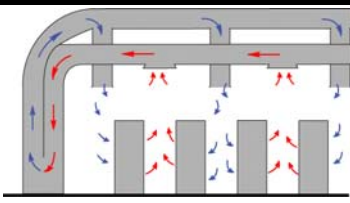
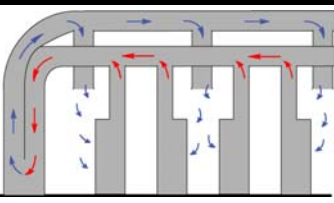
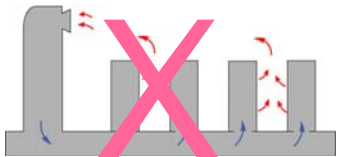
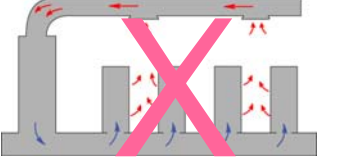
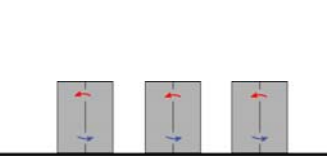
※1. 静圧(せいあつ)：流動する気体または液体の全圧から動圧を差し引いた圧力。流れの方向に対して垂直方向に作用する単位面積あたりの力のこと。

フリーアクセスフロアではない環境の冷却システム

データセンタの標準的なコンセプトにはフリーアクセスフロアも含まれていますが、データセンタの規模を問わず、フリーアクセスフロアなしで構築されているところが一般的です。LANルームやネットワークルームでは、フリーアクセスフロアでないところが大勢を占めています。新興のマルチメガワットデータセンタの多くがフリーアクセスフロアを採用していません。フリーアクセスフロアを使用する従来からの理由は、現在のデータセンタには当てはまりません。フリーアクセスフロアには非常に多くの欠点があります。特殊な技術を必要とすること、コスト、設計に要する時間、上部空間の必要性、耐震性への懸念、安全性の問題、セキュリティの問題、床荷重、傾斜通路およびその他の問題があります。これらの詳細はAPCホワイトペーパー#19『データセンタ(電算室およびサーバールーム)におけるフリーアクセスフロアの再検討』を参照してください。このような理由から、一般的に新設の建物ではフリーアクセスフロアではない環境が好まれています。より小規模のデータセンタやネットワークルームにこの傾向がみられます。表2はフリーアクセスフロアではない環境における9種類の冷却システムを示しています。

フリーアクセスフロアではない環境では、表2の2列目に図示したように、局所ダクト式給気の実装は頭上のダクトおよび通気口を介して行われます。局所ダクト式給気と局所ダクト式還気の組み合わせも表2に示されています。これはオフィスビルの冷却方式として最も一般的なもので、天井に給気と還気の入出力口が備え付けられ、空調スペース内に配置されています。

表2-フリーアクセスフロアではない環境における9種類の冷却システム

	室内直吹き式還気	局所ダクト式還気	完全ダクト式還気
室内直吹き式給気	 <p>小規模LANルーム(40kW未満) 導入が容易 低コスト 1本3kWまでのラックを冷却</p>	 <p>一般用途 3kWまでのラックを冷却 フリーアクセスフロア不要 低コストかつ導入が容易</p>	 <p>ラックの加熱対策 8kWまでのラックを冷却 後から設置可能 フリーアクセスフロア不要</p>
局所ダクト式給気	 <p>推奨されません 空気の混合が不可避</p>	 <p>一般用途 5kWまでのラックを冷却 高性能かつ高効率</p>	 <p>ラックの加熱対策 8kWまでのラックを冷却 後から設置可能</p>
完全ダクト式給気	 <p>利用不可</p>	 <p>利用不可</p>	 <p>ラックの加熱対策 15kWまでのラックを冷却 後から設置可能 特殊なラックとCRAC</p>

フリーアクセスフロアではない環境で使用する適切なシステムの選択

さまざまな種類の冷却システムを理解することは各システムを適切に利用するための基礎となります。個々の環境はそれぞれ異なりますが、どのような状況での使用が適切であるかということについては指針があります。規模や電力密度が大きいものほど、一般的により複雑な、大抵がダクトを含む設計になります。

効率的な設計アプローチのカギは次のとおりです。平均的に必要とされる電力密度を主眼として冷却システムを設計します。ただし、能力的には高電力密度のラックの冷却に対応できる設計にします。高電力密度のラックは通常、総負荷のごく一部を占めるに過ぎませんが、データセンタ内のどこに設置されるか前もって確実に知ることは不可能です。一般的なフリーアクセスフロア設計で、潜在的な「ホット

スポット」を適切に冷却できない場合、空調設備および空気分配システムの過大化につながります。設備投資のコストが増加しますが、期待した成果は得られないでしょう。ダクトを使用した給気や冷気の供給は、特定の場所の発熱が高くなるという問題を解決し、冷却システムの過大化によるコスト増加も抑制します。

表3はフリーアクセスフロアではない環境で適切な冷却システムを選択する方法を示しています。サイズや電力密度が大きくなるほど、より複雑なダクト構造をもったソリューションが必要になります。そしていずれのシステムにおいても、平均的なラックの電力消費量を上回る高電力密度ラック数本が組み入れられることを考慮しています。

表3 – フリーアクセスフロアではない環境における冷却システムの選択

使用しているシステム環境	基本的な冷却システム	高電力密度ラックの冷却システム
ラックが10本以下または40kW以下		
ラックが100本以下または150kW以下で、高電力密度ラックの使用は間欠的		
マルチゾーンの大規模ルームの一部または高電力密度ラック		

フリーアクセスフロア環境の冷却システム

新規の建物ではフリーアクセスフロアではない設計が多くなっていますが、状況によってはフリーアクセスフロアが採用されることもあります。フリーアクセスフロアアプローチは以下の場合に有効です。

- 再利用可能なフリーアクセスフロアが施設内に既存する場合
- 空気の吸い込み口が床下にあるメインフレームコンピュータを導入する場合
- コンピュータの設置場所に多数の水配管を敷設する必要がある場合

電源ケーブルや通信ケーブルはフリーアクセスフロア採用の理由にはならないことに注意してください。どのような状況においても、フリーアクセスフロアは電源ケーブルや通信ケーブルなどのケーブル類に使用するべきではありません。冷却システムの能力が著しく低下するためです。高電力密度のデータセンターでは、ケーブル類は上部配線が良いでしょう。この冷却システムの能力の低下は、床下のケーブル類がエアフローを妨げ、計画したエアフローパターンを損なうことにより起こります。また、ケーブルが床下にあると、追加したり取り除いたりするために担当者がフロアタイルを開ける必要が生じます。何よりも、エアフローが妨げられることはIT機器にとって致命的な問題です。

表4はフリーアクセスフロア環境における9種類の冷却システムを示しています。

表4- フリーアクセスフロア環境における9種類の冷却システム

	室内直吹き式還気	局所ダクト式還気	完全ダクト式還気
室内直吹き式給気	 <p>推奨されません フリーアクセスフロアの場合、利点なし</p>	 <p>推奨されません フリーアクセスフロアの場合、利点なし</p>	 <p>推奨されません フリーアクセスフロアの場合、利点なし</p>
局所ダクト式給気	 <p>低電力密度のLANルーム 比較的導入が容易 3kWまでのラックを冷却</p>	 <p>一般 5kWまでのラックを冷却 高性能かつ高効率</p>	 <p>ラックの加熱対策 8kWまでのラックを冷却 後から設置可能</p>
完全ダクト式給気	 <p>汎用 垂直エアフローのラックやメインフレーム フリーアクセスフロアの静圧は低い</p>	 <p>汎用 垂直エアフローのラックやメインフレーム フリーアクセスフロアの静圧は低い</p>	 <p>ラックの加熱対策 15kWまでのラックを冷却 特殊なラックとCRAC</p>

フリーアクセスフロア環境下では、局所ダクト給気は表2の2列目に図示したようにフリーアクセスフロアを介して行われます。フリーアクセスフロアが既存しており局所ダクト給気に使用可能な場合、室内直吹き式に利点はなく、使用を考慮すべきではありません。つまり、表4は室内直吹き式の冷却システムがフリーフロア環境では推奨されないことを示しています。

上部の環気ダクトを使用する場合、機器の暖気排気口に隣接させる必要があります。完全還気ダクトを使用すると空気の混合を防ぐことができます。これにより、ラック(特にラックの上部近く)が取り入れる空気の温度が一定となり、CRACの効率が上昇します。さらに、還気ダクトはデータセンタ内の過熱する部分に合わせて、調整することが可能です。¹

フリーアクセスフロア環境で使用する適切なシステムの選択

さまざまな種類の冷却システムを理解することは各システムを適切に利用するための基礎となります。個々の環境はそれぞれ異なりますが、どのような状況での使用が適切であるかということについては指針があります。サイズや電力密度が大きいものほど、一般的により複雑なダクト構造になります。

効率的な設計アプローチのカギはフリーアクセスフロアではない場合のシステムと同じです。平均的に必要とされる電力密度を主眼として冷却システムを設計します。ただし、能力的には高電力密度のラックの冷却に対応できる設計にします。高電力密度のラックは通常、総負荷のごく一部を占めるに過ぎませんが、データセンタ内のどこに設置されるか前もって確実に知ることは不可能です。

表5はフリーアクセスフロア環境で適切な冷却システムを選択する方法を示しています。サイズや電力密度が大きくなるほど、より複雑なダクト構造をもったソリューションが必要になります。そしていずれのシステムにおいても、平均的なラックの電力消費量を上回る高電力密度ラック数本が組み入れられることを考慮しています。

表5 – フリーアクセスフロア環境における冷却システムの選択

使用しているシステム環境	基本的な冷却システム	高電力密度ラックの冷却システム
ラックあたり平均3kW以下または総電力量100kW以下で高天井		
ラックあたりの平均電力量が大きい総電力量100kW超		
メインフレーム環境に対する、高電力密度の代替ソリューション		

¹ これは、環気グリルが天井式システムの一部として設置されている場合、特にあてはまりません。このようなシステムでは、環気グリルは容易に付け替えることができます。

冷却システム設計に関し考慮する事項

適切な冷却システムを選択したら、システム設計でさらにいくつかの要素を検討する必要があります。考慮すべき要素は以下のとおりです。

- 種類が異なる配列でのラックのレイアウト
- CRACユニットの場所
- 通気口の個数と場所
- ダクトのサイズ
- ラック内の適切な構成

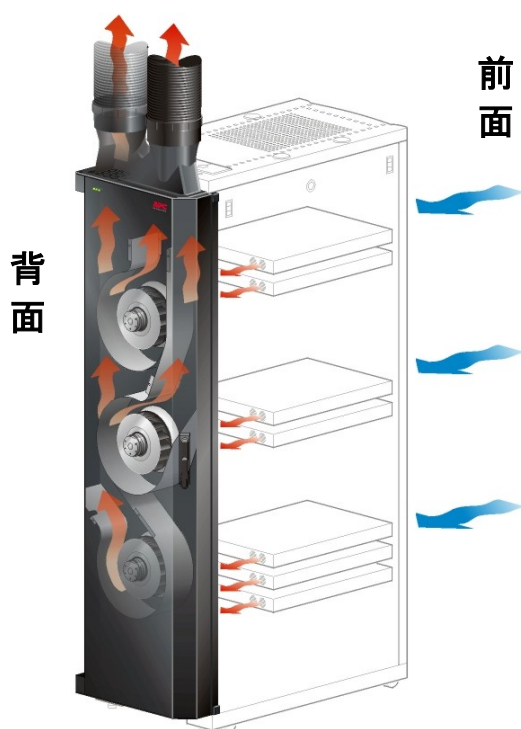
これらの考慮事項は、システムパフォーマンスに大きく影響します。特に機器を設置する部屋の大きさが大きい場合や電力密度が高い場合に、その影響は大きくなります。**既存のデータセンタのほとんどは上記の要素を考慮した適切な設計が行われておらず、冷却能力の予測できなかった限界や冗長性不足、あるいは効率の低さに悩まされています。**これらの考慮事項の検討は必須ではありませんが、ファシリティマネージャやITマネージャは理解しておく必要があります。この問題の詳細な考察についてはAPCホワイトペーパー#49『Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms』(英語版のみ)を参照してください。(参照URL : <http://www.apc.com/>)

特殊な空気分配製品の例

これまで説明した空気分配システムは主に一般的なCRACユニット、ダクト、上部空間、フリーアクセスフロアをについて述べています。これらの要素は、ここ数十年間一般的に使われており、よく知られているため、このホワイトペーパーには使用例を記載していません。しかし、高電力密度アプリケーションに対応する完全ダクトアプローチのいくつかは、比較的新しい製品を使用します。これらの製品の代表的な例を、その機能と使用方法について説明します。

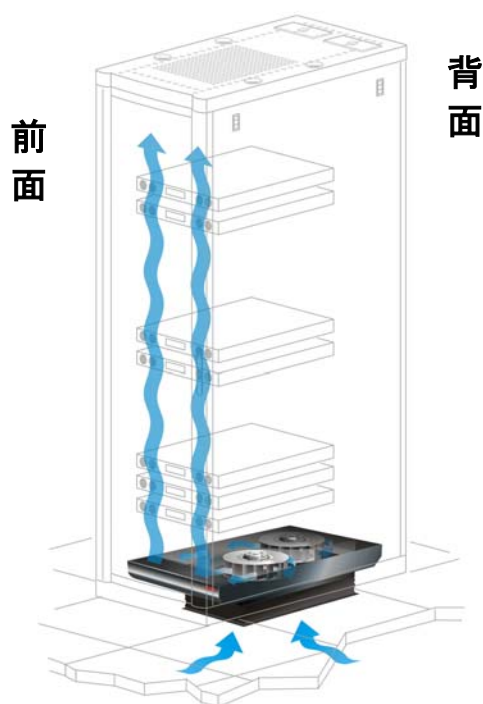
完全ダクト式還気コンポーネント

完全ダクト式還気のラックは、すべての排気をラックの背面からCRACの排気空間に排出します。通気口やダクトのエアフロー抵抗や、ケーブル、ラック前面のドアの抵抗などエアフロー抵抗に耐えるために、電力密度が極めて高いダクトシステムには追加のファンが必要です。図1Aは、この機能を備えたラック取り付け装置の例です。



Air Removal Unit

図1A – ラック取り付け型の
完全ダクト式還気ユニット



Air Distribution Unit

図1B – ラック取り付け型の
完全ダクト式給気ユニット

完全ダクト式給気コンポーネント

完全ダクトのラックは、CRACの空気をそのまま機器の吸い込み口から取り入れます。空気ダクトのエアフロー抵抗や、ケーブル、ラック背面のドアの抵抗などエアフロー抵抗にも耐えるために、電力密度が極めて高いダクトシステムには追加のファンが必要です。図1Bは、この機能を備えたラック取り付け型装置の例です。

高可用性を実現するために、図1Aおよび1Bの機器は一般的にN+1のファンとデュアル電源コードを備えています。さらに、システムパフォーマンスを最適化するためファンの速度は制御可能です。

室内直吹き式給気ダクト還気コンポーネント

自立式の高電力密度の冷却システムは、ラックと専用のCRACユニットで構成されます。ラックは背中合わせに配列され、排気された暖気は通路からダクトに完全に吸気されてCRACの還気ダクトに回収されます。このシステムは、他のラックや既存の冷却システムに影響を与えずにデータセンタに導入可能なように設計されています。このシステムは、室温を変化させません。その部屋の冷気を取り入れ、同じ温度で室内に排気、あるいは密閉されたラック内で循環させます。

完全ダクト式給気および還気

高電力密度アプリケーションのフリーアクセスフロアではない環境での使用、部分的な加熱への対策、あるいは高電力密度への改修に対し、給気/環気の完全ダクト化は、既存の環境要因に左右されない柔軟な対応策です。表2および表3に示したアーキテクチャオプションは、CRACに隣接した、高電力密度アプリケーションの完全ダクト式システム(給気および還気)を示しています。CRACを隣接させるとエアフローの制御が容易になり、ダクトや空調に必要な空間も少なくすることができます。

結論

データセンタ(電算室およびサーバールーム)やネットワークルームの冷却システムは主に空気の分配方法で分類されます。給気および還気システムはそれぞれ3種類の構成方法があり、その組み合わせにより9種類の基本的な冷却システムに分けられます。9種類の冷却システムはいずれも能力や利点が異なるため、さまざまなアプリケーションに使用することができます。

このホワイトペーパーでは、9種類の冷却システムの特徴を理解し、どのような場合に使用すべきか、フリーアクセスフロアおよびフリーアクセスフロアではない場合それぞれについて指針を示しました。

オフィスビルのデータセンタでは、フリーアクセスフロアではない場合が大勢を占めています。通説とは異なり、フリーアクセスフロアではない場合の冷却システムの性能やパフォーマンスは、フリーアクセスフロアの冷却システムと同等もしくはそれ以上です。

完全ダクト給気や完全ダクト還気は5~15kWの電力容量で稼働しているラックの冷却に使用されます。5~15kWを消費するラックがデータセンタ内で占める割合は低いため、この方式は他の簡易な方式と組み合わせて使用されます。完全ダクト式設計は、平均的な熱負荷に対応するように設計されているデータセンタにおいて、高電力密度のラックに対応できるようにする場合に採用されます。

著者について

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予算を注ぎ込こんでおり、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。