

超高密度ラックおよび ブレードサーバーの空調対策

ホワイトペーパー46

改訂 7

ニール・ラスムセン

> 要約

消費電力が 10 kW 以上のラックが登場した背景には、ブレードサーバーなどの高密度な IT 機器が導入されるようになったことがあるかもしれません。そのため、1 ラックあたりの消費電力が 2 kW 未満(業界平均)のデータセンター環境では、空調に関する困難な問題が発生しています。本書では、新規および既存のデータセンターのための実用的なソリューションもまじえて、超高密度ラックを配備するための 5 つの対策をご紹介します。

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
データセンターにおける 電力密度の明確な定義	2
高密度ラックの電源および 空調に関する基本要件	6
高密度サーバーとブレードサー バーを設置するための 5 つの 対策	10
圧縮のメリット	15
結論	17
参考資料	19



はじめに

1 台のラックに収納されている機器が消費する電力は、それぞれ大きく異なります。データセンター内の 1 ラックあたりの平均消費電力は約 1.7 kW ですが、ブレードサーバーなどの高密度サーバーでラックを埋めると、最大消費電力は 20 kW を超えます。これは、一般的なデータセンターの設計上の冷却能力を大幅に上回る負荷です。

消費電力 10 kW 以上のラックを扱った経験のあるデータセンターオペレーターはほとんどいませんが、最近の傾向からすれば、単独でもグループでも多くのオペレーターが、高密度ラックを設置したり、電力や空調機能の整備を行ったりする必要に直面するようになるでしょう。

20 kW の冗長構成の電力および空調システムを各ラックに行き渡らせることができるようなデータセンターが実現できれば、この問題は簡単に解決します。しかしこれは、残念なことにほとんどのケースでは、技術的にも経済的にも現実的な方法とは言えません。データセンターの高密度運用を進める際に選択を誤ると、物理インフラの生涯コストが、無駄に何倍にも増加してしまうおそれがあります。本書は、高密度なラックやブレードサーバーを導入するための実用的で効果的な方法を概説することを目的としています。

本書ではまず、電力密度とは何かについて解説します。次に、すでに稼働しているデータセンターと新しいデータセンターとで、実際の電力密度を検証します。高密度化を実現するための実際の方法を、その利点と限界を含めて提示します。最後に、高密度なコンピューター環境を導入する際の、理にかなった実用的な方法を紹介します。

データセンターにおける電力密度の明確な定義

電力密度について説明するとき、「電力密度」という用語の意味が曖昧なため、重大な誤解が生じることがあります。電力密度は、単位面積あたりのワット数や 1 ラックあたりのワット数で示されることがよくあります。すべてのラックの消費電力が同一である場合はこの方法で十分ですが、実際のデータセンターでは、ラックの消費電力はさまざまです。電力密度は、個々のラックレベル、ラック列レベル、部屋レベルで、それぞれ大きく異なるというのが現実です。このラックごと、ラック列ごと、部屋ごとにそれぞれ異なる電力密度が、電力インフラをサポートするシステムの設計に大きく影響します。空調システムの設計に対しては、それ以上の影響を及ぼします。

ラックごと、ラック列ごと、部屋ごとに計測した電力密度の違いを図 1 に示します。¹ ここでは、一般的なタイプの部屋に 12 kW のラックが設置されています。最初の例では、室内にある全ラックのうち 15% が 12 kW の電力を、残りのラックが 1 kW の電力を使用しています。2 番目の例では、12 kW の電力を使用するラックの割合は同じですが、それらが 1 つの列に集められています。3 番目の例では、すべてのラックが 12 kW の電力を消費しています。どの例でも、ラックの最大電力密度は 1 平方メートル当たり 5.2 kW で同一です。しかし、列と部屋の電力密度はそれぞれ大きく異なります。

¹ 図 1 のラックおよびラック列の密度は、約 2.3m² のラック床と同等の物を使用しています。一般的に使用されるラック床は、2.3~2.8m² です。電力密度の表現について詳しくは、ホワイトペーパー120『サーバー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。

図 1

3つの異なる条件下での、ラックごと、ラック列ごと、部屋ごとの電力密度(ワット)

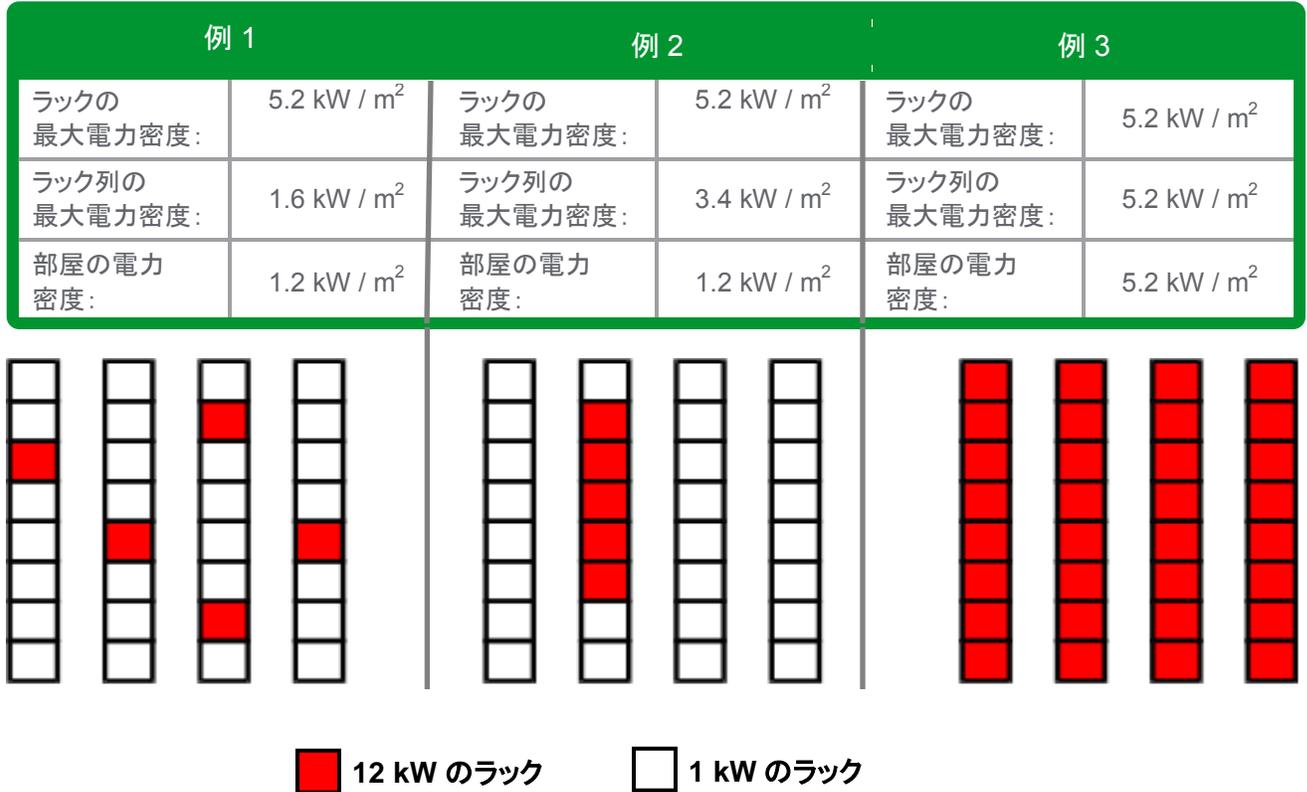


図 1 に示す、ラックごと、ラック列ごと、および部屋ごとの電力密度の違いが、実際の配置でも生じます。この差は、電力および空調インフラの設計に大きく影響します。電力システムと空調システムの総評価は、単純にこれらの負荷によって消費される電力の合計で下されます。これによって、UPS (無停電電源装置) と CRAC (電算室空調) の総容量が決まります。電力密度の多様性とピーク値に関する主な問題は、データセンター内の配電と通気に関係しています。

前述の「密度」とは、ラックのみが占める面積ではなく、通路などの空間を含めた全床面積を基準として表現される密度です。これは密度という用語を説明する際の最も一般的な定義であり、本書でも一貫してその意味で用いています。しかし、コンピューターOEM 各社の付属文書などでは、ラックの占有面積のみを対象として、ラックあたりのワット数で密度が記されている場合があります。このように機器の占有面積を基準とした密度は、値をその 75%程度まで下方調整する必要があります。

既存のデータセンターの実際の電力密度能力

シュナイダーエレクトリックは、他の機関と協力して、新規および既存のデータセンターや大規模ネットワークルームにおける現在の電力密度と設計上の限界について、データセンターの設計者とオペレーターを対象に調査を行いました。表 1 は、2002~2003 年に企業顧客、公務員、顧問エンジニアなど、さまざまな業種から集めたデータをまとめたものです。実際の 1 ラックあたりの全体的な電力密度は、カリフォルニア大学バークレー校の最近の調査で得られた値と類似しています。

※ 例 1 の場合、電力密度: 12kw ラック × 5 本 + 1kw ラック × 27 本 ⇒ 87kw/室
 部屋の密度が 1.2kw/m² の場合 ⇒ 72.5m² ⇒ 72.5m² ÷ 32 ラック ⇒ 2.26m²/ラック

表 1

データセンターの設計および実際の電力密度に関する調査記録

特徴	データセンター全体の平均	9割のデータセンターが下回っている数値	全データセンター中の最大値
電力密度の設計値	0.38 kW / m ²	0.65 kW / m ²	2.15 kW / m ²
稼働時の電力密度	0.27 kW / m ²	0.43 kW / m ²	1.61 kW / m ²
1ラックあたりの電力密度の設計値	1.1 kW / ラック	1.8 kW / ラック	6 kW / ラック
実際の1ラックあたりの全体的な電力密度	1.7 kW / ラック	2 kW / ラック	4 kW / ラック
データセンター内で最も密度が高い列の、1ラックあたりの実際の出力平均値	2 kW / ラック	3 kW / ラック	7 kW / ラック
データセンター内で実際に出力が最大のラック	3 kW	6 kW	12 kW

注記：ラックには、ラックエンクロージャーと機器ラック(DASD、メインフレームコンピューターなど)があります。ラックエンクロージャーより大きい機器は、同一の占有面積に相当するラックエンクロージャーの数として計上します。

データセンターの電力密度の設計値は平均で 0.377 kW / m² となっており、これは 1 ラックあたりの電力密度が 1.1 kW、占有面積が 2.79 m² と想定した場合の数値です。しかし、1 ラックあたりの平均電力密度(0.38 kW / m²)に達していない場合は、実際の 1 ラックあたりの平均電力密度は設計値よりも高くなる可能性もあります。これは主に、ラックがデータセンター全体に均一に配置されていないために起こります。たとえば、1 ラックあたりの電力密度が 1.1 kW、占有面積が 2.79 m² という条件のデータセンターで、使用可能なフロアスペースの半分だけにラックが配置されている場合、1 ラックあたりの電力密度は 2.2 kWになる可能性があります。

これは、生産環境の場合のデータです。開発環境やテスト環境では、電力密度の平均値も最大値もさらに大きい値になりました。

調査データを基にした、1 ラックあたりの消費電力の分布を図 2 に示します。³ 電力密度の要因の新たな側面がわかります。500 Wごとに区分した縦棒によって、ラックの割合を示します。X軸の数値が、各区分の最大消費電力量です。たとえば、1.5 kWの棒線は、1 kWから 1.5 kWの電力を消費するラックが含まれます。

² ミッシェル・ジャクソン・J・D、クーミー・J・G、ノードマン・B、ブレイゼック・M「Data Center Power Requirements: Measurements From Silicon Valley」(カリフォルニア大学バークレー校エネルギー・アンド・リサーチ・グループが 2001 年 5 月 16 日に発表した修士論文)

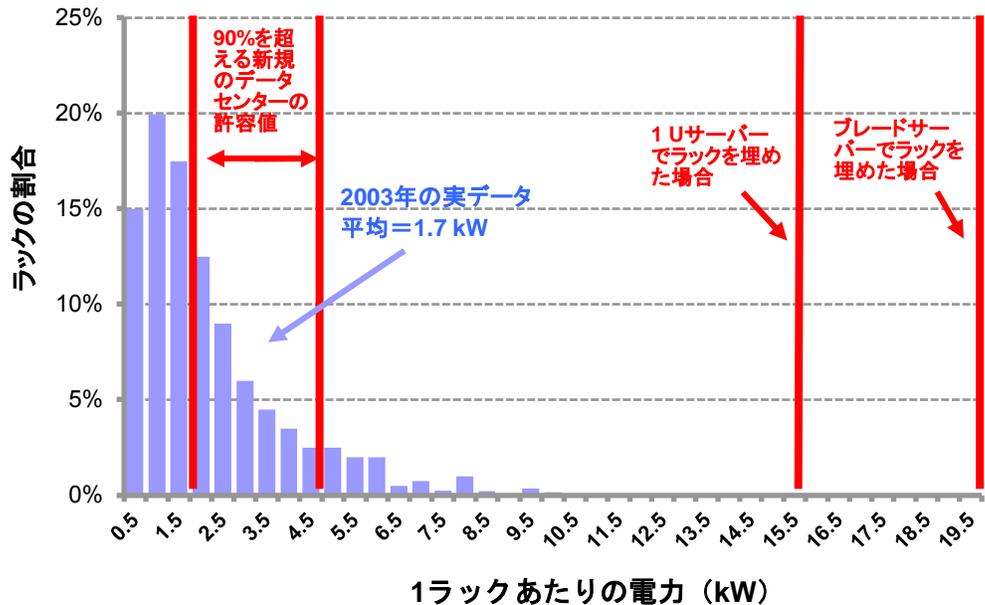
³ ほとんどのデータセンターは 1 ラックあたりの電力を計測する機器を保有していないので、こうしたデータは表 1 のようなデータに比べ、入手が困難です。多くの場合は、実際に一群のラックの電力を計測し、次いで UPS サイジングツールで使用するために当社が保有している広範囲にわたるベンダー間の電力消費データを利用して、ラック間で電力を配分することにより、データを見積もる必要があります。

図 2 を見ると、典型的なデータセンターでは、かなりのラックが 500 W 未満の電力しか使用していないことがわかります。これらのラックには、パッチパネルや低密度スイッチ、低密度サーバーが搭載されたものも含まれます。これらのラックの多くは、内部に縦方向の未使用の空きスペースがあります。

また図 2 では、電力が 2 kW を超えるとラック数が激減し、8 kW を超えるラックはほとんどないという点も重要です。

図 2

実際の 1 ラックあたりの消費電力の分布(ラックを最大限に利用する構成との関連も表示)



上記の図には、実際の消費電力値の上に参考線が引かれています。最初の 2 本の参考線は、コンサルタントエンジニアを対象とした調査に基づいて算出した、新設のデータセンターの平均電力密度設計値の範囲を示します。

次の 2 本の線は、1U サーバーやブレードサーバーなど、現在入手可能な最大密度のサーバー製品でラックを埋めた場合に得られる電力密度を示しています。これらの数値は、新設のデータセンターの設計値や既存のデータセンターの実際値を、大きく超過しています。ブレードサーバーの 1 ラックあたりの電力は、1U サーバーより高くなる場合がありますが、ここで示されているブレードサーバーの電力密度は、1U サーバーのほぼ 2 倍の数のブレードサーバーから発生します。つまり、サーバー1台分に換算すると、ブレードサーバーの電力は従来の 1U サーバーより 40%少ないということになります。

このデータから以下のことがわかります。

- データセンター内のほとんどのラックが、データセンターの設計値よりも低い電力で動作している。
- 高密度のコンピューター機器は、実際にはその実現可能な最大密度では設置されていない。
- 既存または近い将来のデータセンターの大多数は、多くの業界紙で常に語られているような電力密度値には到達しない。

本書で言う「高密度」とは、3 kW を超える電力密度のラックを指します。3 kW という数値は、既存のデータセンターの平均冷却能力の範囲の上限に相当します。

高密度ラック の電源および 空調に関する 基本要件

高密度サーバーの一例として、6 台の 7U サイズのブレードサーバーフレームで構成されたブレードサーバーを 42U ラックに搭載すると、各ブレードシャーシが 3 kW の電力を消費し、合計で 18 kW の電力が必要になります。つまり、このラックには 18 kW の電力と 18 kW の冷却機能が要求されます。通常はこのタイプのシステムはミッションクリティカルシステムとみなされ、電力供給と冷却機能に冗長性が必要となります。

電力供給条件

電力面から見ると、この 6 シャーシのブレードシステムには、208 V または 230 V で 20 A の電力供給回路が合計 24 個必要です(二重経路の各シャーシが通常の 4 線式構成であると想定)。この回路に接続するケーブルは本数が多いため、フリーアクセスフロアを使用している場合、通常は、フリーアクセスフロアのエアフローを妨げないように上部にケーブルをまとめます。複数のラックが接近して配置されている場合は、特にこの方法をお勧めします。そのほか、フリーアクセスフロアを使用している場合は、床面の高さを上げてケーブルを収納する方法もあります。どちらの場合も相当量のケーブルを敷くため、稼働中のデータセンターでは複雑で不経済な作業となります。しかし、これらの方法を適用すれば、超高密度のラックにも十分な電力を供給できます。

冷却条件

超高密度のラックを冷却するのは、電力を供給するよりもはるかに難しい問題です。上記で説明したブレードサーバシステムは、1 分間におよそ 70.8m^3 (1 秒間に 1,180 リットル) の冷風を吸気口から取り込む必要があります(排気温度の上昇を標準値 11°C とした場合)、同量の熱気流をラックの背面から排出します。システムの吸気量は、冷却装置が同量の空気を送ることができるかどうかに関係しません。その量の冷風を供給できない場合、ラック自体や隣接する他の機器が排出した熱気が再吸入され、最終的にオーバーヒートが起きます。必要な冷却力を達成するには、次の 4 つの条件を満たさなければなりません。

- $70.8\text{m}^3/\text{分}$ (1,180 L/秒) の冷風をラックに供給する
- $70.8\text{m}^3/\text{分}$ (1,180 L/秒) の排出された熱気をラックから除去する
- 排出された熱気を機器の吸気口から遠ざける
- 上記の条件が、冗長性を保ちながら継続して満たされること

いずれも難しい条件です。以下の項で、各条件の対処方法を説明します。

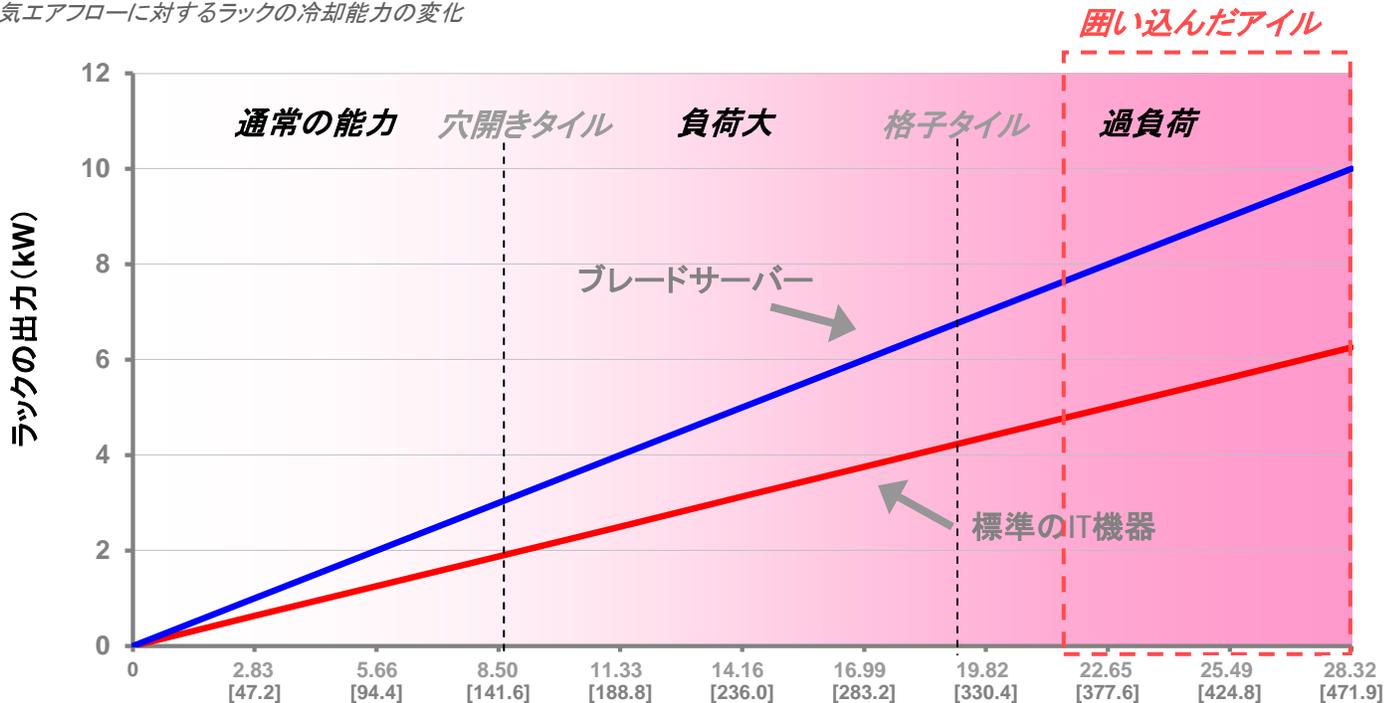
$70.8\text{m}^3/\text{分}$ (1,180 L/秒) の冷風をラックに供給する

典型的なフリーアクセスフロア式のデータセンターは、ラック 1 台につき通気用のフロアタイル 1 枚を備えています。一般的なフロアタイルは、 $8.5\text{m}^3/\text{分}$ (142 L/秒) の冷風をラックに供給できます。18 kW のラックには通常の 8 倍、8 枚の通気用フロアタイルが必要ということになります。ラック 1 台に 8 枚の通気用タイルを設置するには、通路の幅やラック間のスペースを大きく広げなければならず、これは一般的なデータセンターでは実行できません。

図 3 は、有効な冷気エアフローに対するラックの冷却能力の変化を示しています。有効な冷気エアフローは、フリーアクセスフロア全体の冷気の漏れ(通常は冷却装置給気全体のおよそ 25%に相当)を考慮しています。ラックの冷却能力はエアフローの増加とともに高まりますが、図を見ると、ラックの冷却能力が高くなるに連れてその実現は難しくなります。コールドアイルコンテインメントは、冷却能力を最大で約 10 kW / ラックまで向上させることが可能です。フリーアクセスフロアの冷却能力は、通常の IT 機器よりもブレードサーバーの場合のほうが高くなります。これは、ブレードサーバーは通常の IT 機器と比べて、同一の電力に対して必要なエアフローが平均で 40%少ないということが原因です。

図 3

有効な冷気エアフローに対するラックの冷却能力の変化



単独のラックへ送られる有効な冷気エアフロー (m³) [L/秒]

図 3 に示されるとおり、単独のラックへのエアフローを 8.5 m³/分(142 L/秒)以上にするには、フリーアクセスフロアの入念な設計、CRAC の配置、空気の漏れ、床下の通気の障害物(パイプ、導管、ケーブルなど)の管理など、特別な手間がかかります。14 m³/分(236 L/秒)以上のエアフローを確保するには、格子状の金属でできた特殊なフロアタイルを使用する必要があります。これならば、通常のデータセンターで、1フロアタイル当たり最大 20 m³/分(330 L/秒)が供給できます。ただし、この格子状のタイルを使うことによって、床下の気圧変化率が変化し、周囲の領域のエアフローにも影響が出ます。そうした影響を受けて、冷却能力の均一性と予測可能性が悪化し、望ましくない、予測できない冷却能力の限界が生じることがあります。

冷却能力の不均一など各種の問題を解決するにはフリーアクセスフロアの高さを高くするとよい、とよく言われます。この問題を検証するために、当社では、数値流体工学(CFD)を用いて、通常のデザインにおけるフリーアクセスフロアの高さの変化による効果をシミュレートしてみました。図 4 に、その結果のうち重要なものを示します。

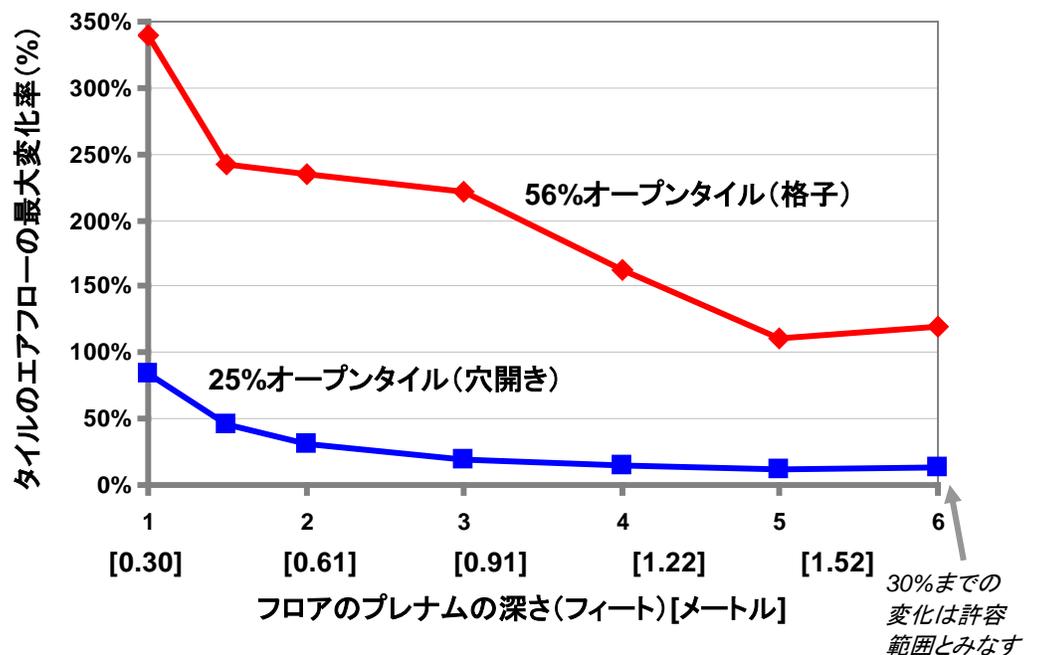
このデータは、冷却能力がフリーアクセスフロアの高さの違いに応じて変化することを示しています。予想どおり、タイルごとの冷却能力の変動は、フリーアクセスフロアの高さが高くなるほど少なくなりました。

ただし、2つの驚くべき発見がありました。第1に、このデータはエアフローの大きさに影響されません。つまり、タイル冷却能力の変動はフロアの配置デザインには依存しますが、エアフローの大きさには比較的影響されません。第2には、開放格子のフロアタイルを使用すると、エアフローの変動が極端に大きくなるということです。たとえば、高さ61 cm(24インチ)のフリーアクセスフロアの場合、標準的な穴開きタイルの変動は約30%ですが、格子タイルでは230%となっています。格子タイルの場合、エアフローがタイルを通じてIT機器に供給されるのではなく、逆流してタイルの下へ吸い込まれる場合があります。

エアフローの変動は好ましくないものですが、実際のデータセンターでは、エアフローの平均化と分配がある程度発生します。そのため、個々のタイルのエアフローが30%変動するのは、許容範囲内とみなされます。ただし、図4に示される格子タイルの変動は、ラックの場所の位置が十分な冷却能力を得られなくなるので、許容できるものではありません。

注意すべきは、フリーアクセスフロアの高さを増せば、確かにメリットはありますが、それでもフロアの高さの現実性の問題は解決できないということです。したがって、格子タイルは補完的に用いれば有用な場合もありますが、このデータを見る限り、そうしたタイルの使用は、データセンター全体の電力密度能力を高めるのに効果的な方法とは言えません。

図4
2種類のタイルにおけるエアフローの変化とフリーアクセスフロアの高さの関係



「過負荷」な冷却設計を実行したとしても、図3から、仮に18 kWのラックを冷却するとしたら3~4枚の格子タイルが必要になることがわかります。ただし、通常のデータセンターでは、ラック1台につきフロアタイル1枚という構成を取っています。このデータを図4のエアフローの変化率のデータに照らしてみると、1台のラックに1枚の通気用タイルという従来型の構成を持つデータセンターでは、1ラックあたり6 kWを超えるラックを領域全体にわたって冷却し続けることはできない、ということが示唆されます。この値は、ホットアイルおよびコールドアイルのコンテインメントシステムとともに使用した場合、維持された領域では1ラックあたり10 kWまで増加します。コンテインメントの詳細については、ホワイトペーパー135『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』を参照してください。

関連リソース
ホワイトペーパー135
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

70.8 m³/分(1,180 L/秒)の排出された熱気をラックから除去する

空気を冷却システムに戻すには、室内、ダクト、天井のプレナムという3つの方法があります。ラックから排出された加熱空気が、周囲の空気と混合したり再び機器の吸気口に吸い込まれたりすることな

く、直接空調システムへ戻ることが理想ですが、それには障害のない直行経路が必要です。例として、1分間に70.8 m³(1秒間に1,180 L)の空気が直径30 cmの円形のダクトを通ると、時速56 kmにもなります。高い吹き抜けの高位置に取り付けられた大型の送風機は、この条件を満たす方法の1つです。しかし、多くのデータセンターは、還気ダクトや吊り天井のプレナムによって気流を循環させたり、ラックからほんの数センチしか離れていない天井の下で大量の空気を還流させたりしています。こうした状況は、設計上の技術的課題を提示します。

給気の場合と同様に、1ラックあたりの還気能力にも限界があります。給気側と同様に、領域全体にわたって各ラックに11 m³/分(189 L/秒)の還気能力を与え続けるには、特殊なエンジニアリングによって、システムに必要な性能と冗長性を確保する必要があります。

排出された熱気を機器の吸気口から遠ざける

気流をIT機器の吸気口へ送るための最短経路は、その機器自体の排気口からの再循環経路です。データセンター設計の基本知識として、冷気の供給と排気された熱気の還流経路が、この望ましくない再循環経路を形成する、ということがあげられます。高密度環境ではこれは特に難しくなります。エアフローの風速が、送風および還気システムの抵抗に打ち勝たなければならないからです。本書で後述するblankパネルは、ラック内の再循環のソリューションとして効果があります。この種(およびその他の種類の)再循環については、ホワイトペーパー49『データセンター(サーバールームおよび電算室)の冷却性能を損なう問題を回避する方法』で詳しく説明されています。



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

上記の条件が、冗長性を保ちながら継続して満たされること

可用性の高いデータセンターは、CRACユニットの計画的／不慮のダウンタイムに関わらず、負荷は常に稼働している状態にあります。つまり、空調は冗長でなければなりません(どのCRAC装置がオフのときでも使用できなければならない)。従来のデータセンター設計では、複数のCRACユニットが、1つの共有のフリーアクセスフロアまたは天井プレナムを供給します。それらがすべてのCRACユニットの出力を集めて、送風プレナムを介して圧力を供給します。このシステムは、どのCRACユニットがオフのときでも、エアフローと空調の要件が満たされるように設計されています。

従来のデータセンターで稼働時の電力密度が増すと、プレナム領域のエアフローが増加して、共有プレナムシステムの運用に関する基本的な仮想条件が崩れ始めます。1つのCRACユニットを停止すると、プレナム内の局所的なエアフロー速度が急速に変化します。フロアタイルのエアフローも逆流し、ベンチュリ効果により、空気が床下に引き込まれます。故障状態での空調システムの動作は、電力密度が高まるにつれて予測不可能になります。このため、高密度な設置は、数値シミュレーション法(数値流体力学:CFD)を用いて繰り返しシミュレートして、冗長性があることを確認します。

冷却機能の連続供給という概念も、高密度環境の課題です。一般的なデータセンターの空調システムは、予備発電機を非常用電源としていますが、UPSを使用しているわけではありません。発電機が始動するまでに5~20秒かかりますが、この間の温度の上昇は1°C程度であり、平均的なデータセンターではこの遅延は特に問題ではありません。しかし、1ラックあたり約18 kWの負荷が高密度に配置されている環境では、その遅延時間の間に温度は8~30°C上昇し、許容範囲を超えてしまいます。そのため、高密度配置の場合に冷却機能を中断することなく供給するには、CRACファンやポンプ、場合によってはCRACユニット自体を常に作動させなければなりません。空調システムにUPSを用いなければならないとすると、それはコストを膨らます大きな原因となり、高密度コンピューター環境の導入を妨げる主要因ともなります。

高密度サーバーとブレードサーバーを設置するための5つの対策

高密度ラックとブレードサーバーを設置するには、次の5つの基本的な方法があります。

1. 負荷の分散。ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と空調を供給する能力を部屋に備え、複数のラック間で機器を分割することで、計画されたいずれのラックもその負荷が設計平均値を超えないように振り分ける。
2. ルールに基づいた空調機の専用利用。ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、高密度ラックが、隣接する利用率の低い冷却能力を専用で利用できるようなルールを用いる。
3. 補助空調。ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、密度が設計平均値を上回るラックの冷却のために必要に応じて補助空調機器を使用する。
4. 専用の高密度領域。ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、冷却能力の高い特別限定領域を室内に設けて、高密度ラックの設置場所をその領域に限定する。
5. 部屋全体の冷却。あらゆるラックに電源および空調を予測されるピーク値のラック密度まで供給する能力を部屋に備える。

次に、これらの方法の1つ1つについて、長所と短所を含めて説明します

方法1: 負荷の振り分け

ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、複数のラック間で機器を分割することで、計画されたいずれのラックもその負荷が設計平均値を超えないように振り分ける。

今日のデータセンターに高密度機器を組み込むためのソリューションとして、もっともよく知られているものです。幸い、1Uサーバーとブレードサーバーは同一のラック内で近接させて設置する必要がなく、複数のラックに振り分けることができます。このようにラック間で機器を分割することにより、電力密度の設計値を超えるラックがなくなるため、冷却効率が予測可能になります。

複数ラック間で機器を振り分けると、ラック内に縦方向の未使用の空きスペースがかなり発生します。このスペースは、冷却効率の低下を避けるためにブランクパネルで埋める必要があります(ホワイトペーパー44『ブランクパネルを使ってラックの冷却パフォーマンスを改善』を参照)。ラックを密閉するためのモジュール式スナップインブランクパネルの例を、**図5**に示します。



関連リソース

ホワイトペーパー44

ブランクパネルを使ってラックの冷却効率パフォーマンスを改善する

図 5

データセンターでのエアフロー制御のための大規模導入向けのモジュール式スナップインラックの空白パネルの例 (APC # AR8136BLK)



スナップイン機能

複数ラックへの高密度機器の振り分けは、冷却以外の要素によってその必要性が高まることが少なくありません。ラックへの必要量の電力供給またはデータ供給は、現実性と実用性に乏しいことがあり、1U サーバーの場合は、ラックの背面の大量の配線により、気流が妨げられたり背面扉を閉じることができなくなったりすることもあります。

方法 2: ルールに基づいた空調機の専用利用

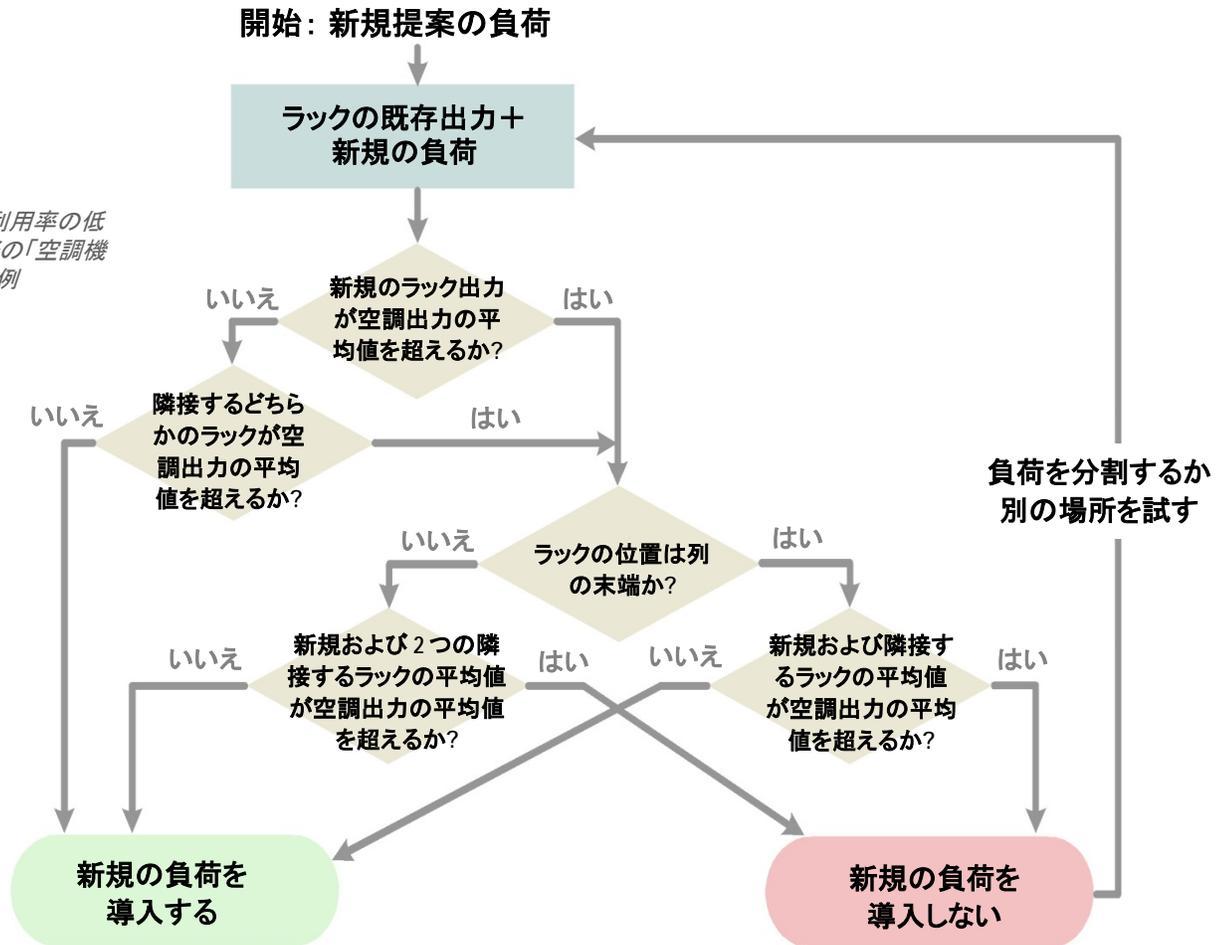
ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、高密度ラックが、隣接する利用率の低い冷却能力を借用できるようなルールを用いる。

この自由なソリューションは、頻繁に実行されますが、文書化されることはほとんどありません。この方法は、一部のラックの消費電力が平均的な設計値よりも小さいという点を利用したものです。利用率の低いラックを利用する空調の分配および環気は近接範囲内のラックに対して有効です。「高密度ラック同士を近づけない」という単純なルールにも利益になる効果はありますが、信頼性と予測可能性をもってラックを設計平均値の 2 倍以上に冷却させるという、より高度なルールを実行することもできます。こうしたルールは、ラックレベルでの電力消費の監視を通じてチェックされたポリシーとコンプライアンスによって確立できます。この機能は、シュナイダーエレクトリックの ISX Manager などの管理システムによって自動化が可能です。この機能の自動化は、電力消費が時間とともに変化する新型の IT 機器が導入されたときに必要となります。

図 6 は、この方法に適用できる効果的なルールの例です。このルールは、空調システムの能力の範囲内で機器が導入できるようにするために、新しい機器の導入に適用します。このルールでは、未使用のすぐ隣のラックに使用されていない冷却能力が、機器のラックの冷却に使用可能であり、そのため、隣接するラックの冷却能力が使用されていない場合、ラックのピーク電力密度が部屋の冷却力を最大で 3 倍上回ります。通常のデータセンターには平均冷却能力を使用していないラックがよくあるので、この方法は高密度ラックの導入時にとても効果的です。

図 6

隣接する高密度ラックで利用率の低い冷却能力を使用する際の「空調機の専用利用」のルール例



方法 3: 補助空調

ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、密度が設計平均値を上回るラックの冷却のために補助空調機器を使用する。

このソリューションでは、通常は、必要なとき必要な場所で補助的な空調装置を使用できるように 事前に設置計画を立てておく必要があります。部屋をこのように計画しておく、補助的なラックの冷却にさまざまなテクニックを使うことができます。

その例をいくつか紹介します。

- 特殊な(格子)フロアタイルまたはファンを設置して CRAC からラックへの給気を加給する
- 特殊な還気ダクトまたはファンを設置してラックの排気を CRAC へ戻す
- 特殊なラックまたはラックマウント型空調装置を設置して、そのラックで必要な冷却能力を直接提供できるようにする

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

これらの方法は、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』でも説明されています。これらの方法は可能になってから間もないため、現存するデータセンターのほとんどでは行われていません。しかし、高い柔軟性がもたらされる方法であり、計画が適切に行われていれば、実際に必要になるまでは購入・設置の必要はありません。

方法 4: 専用的高密度領域

ラックのピーク値より低い平均値に達するまで電力と冷却を供給する能力を部屋に備え、冷却能力の高い特別限定領域を室内に設けて、高密度ラックの設置場所をその領域に限定する。

この方法ではまず、高密度ラックが占める割合を事前に把握しておくことと、そうしたラックを特別な領域に隔離できることが必要になります。そうした制約のもとで、最適な空間利用が実現できます。残念ながら、高密度ラックの割合を事前に知ることは通常はできません。したがって、この選択枝は多くのユーザーにとって有用なものとはいえません。

高密度の特別な領域が識別できたら、超高密度テクノロジーを導入して、その領域で予測可能な電力および空調密度を発揮させることができます。電力密度が 1 ラックあたり 10 kW を超えたら、エアフローの予測ができないことが主要な問題になります。この問題を解決するためのテクノロジーは、空調システムとラックとの間のエアフロー経路を短縮する原理に基づいています。

高密度ラックのクラスター向けの、モジュール式の高密度な電力および空調システムの例として、**図 7** に InfraStruXure HD を示します。このシステムは、IT ラックのクラスターを、製造前/試験前のユニット内の高密度の空調装置システムおよび高密度配電システムと統合します。

図 7
データセンター内の高密度領域専用のモジュール式電力および空調システムの例
2~12 台の IT ラック、1 ラックは 20 kW

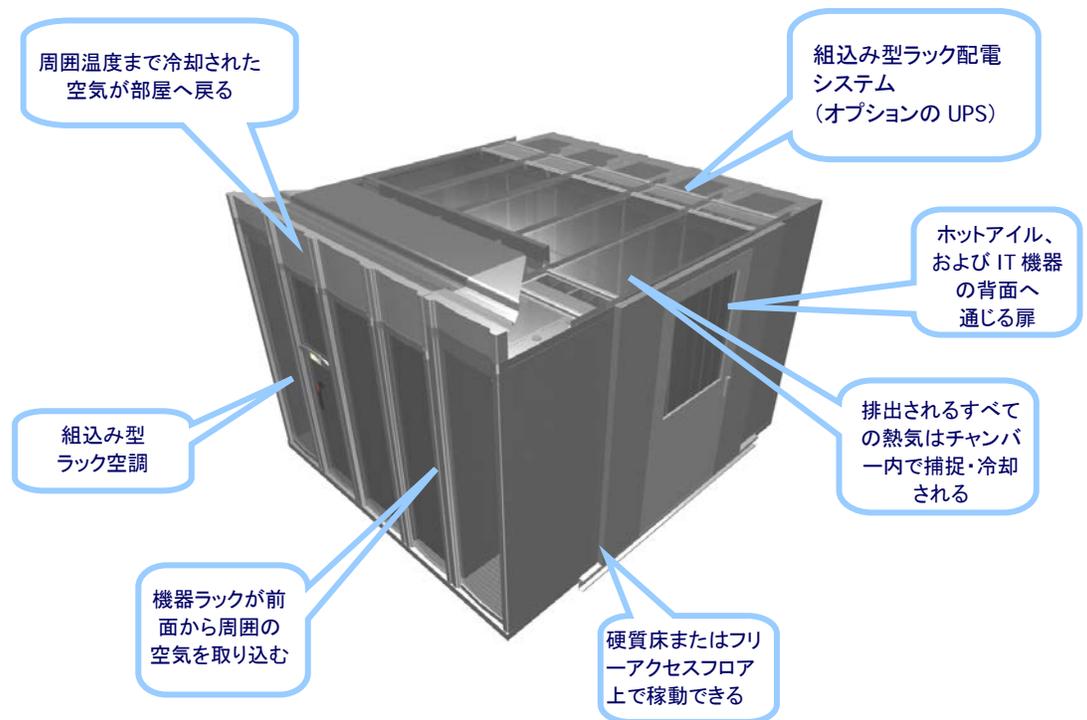


図 7 に、IT ラックのホットアイル/コールドアイル構成を示します。このシステムの主な運用原理は、ホットアイルを囲い込むことにより IT 機器から排出される熱気をもれなく捕捉し、次にラックベースの空調装置を使用してその熱気を即座に冷却する、というものです。短い気流経路で熱気を捕捉することにより、超高密度の空調が可能になり、システムの効率も向上します。このシステムは、運用場所の違いが効率に影響せず(たとえ快適な空気が常に得られる場所であっても)、フリーアクセスフロアを用いずに設置が可能です。

複数の高密度ラックを 1 つにまとめておく必要がある場合は、高密度ラックのコロケーションと高密度テクノロジーの私用に基づくソリューションが望ましいです。その他の現実性のあるソリューションでは、高密度機器をある程度振り分ける必要があります。

方法 5: 部屋全体の冷却

あらゆるラックに電源および空調を予測されるピーク値のラック密度まで供給する能力を部屋に備える。

これは概念的にはもっともシンプルなソリューションですが、実行されることはありません。というのは、データセンターでは常に 1 ラックあたりの電力の変動が大きく、最悪のケースを想定して設計しても、結果的にムダが多くなり、コストが増大するからです。また、ラックの電力密度が 1 ラックあたり 6 kW を超える想定的设计では、極度に複雑なエンジニアリングと分析が必要になります。この方法は、極端な状況に限り適用されるものと言えます。

まとめ

高密度ラックを冷却するための 5 つの方法のメリットとデメリットを、表 2 にまとめます。

表 2

高密度ラックを冷却するための 5 つの方法の適用

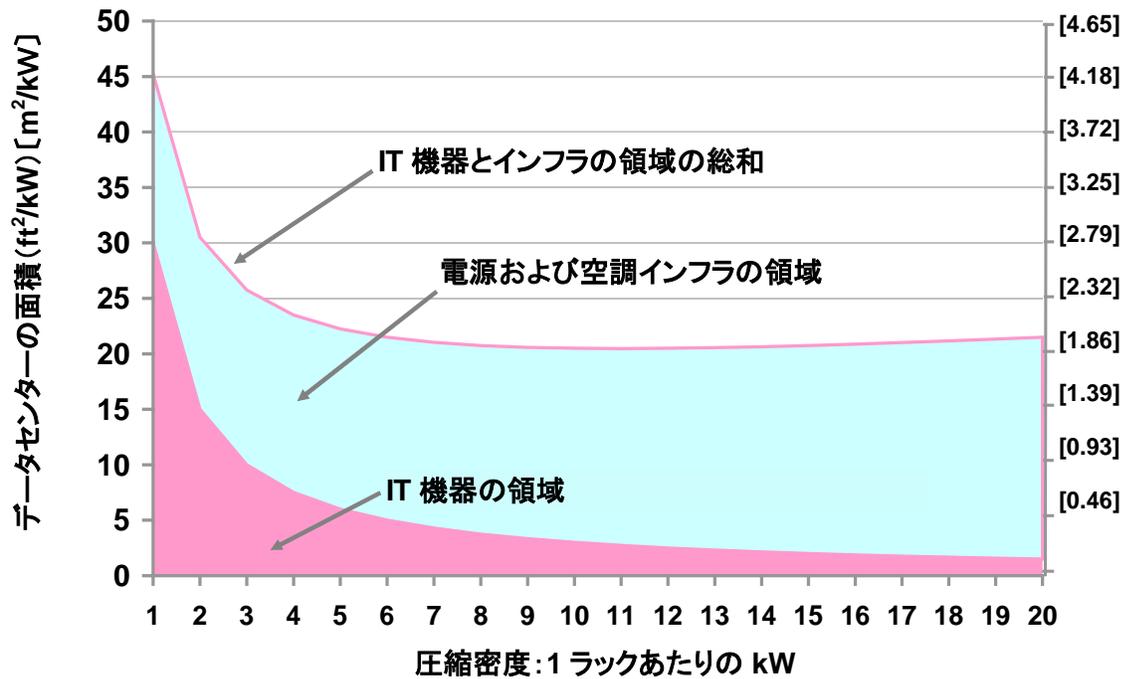
方法	メリット	デメリット	適用対象
1 負荷の振り分け ラック内で機器を分割して負荷のピークを低く抑える	どこでも実行可能で計画は不要 基本的には多くの場合で無料	高密度機器を方法 2 の場合以上に振り分ける必要がある フロアスペースを多く使用する データケーブルの問題が生じることがある	既存のデータセンター(高密度機器が全負荷に占める部分が少ない場合)
2 空調の専用利用 平均的な冷却能力に対し利用率の低い冷却能力の借用のルールを設ける	新規の機器が不要 基本的には多くの場合で無料	計画電力密度の 2 倍に制限される フロアスペースを多く使用する 複雑なルールが課される	既存のデータセンター(高密度機器が全負荷に占める部分が少ない場合)
3 補助空調 平均的な冷却能力に対し補助的な空調機器を用意する	必要な場所と時に高密度を実現 設備費の延期 高効率である フロアスペースの使用率が良い	1 ラックにつき 10 kW が上限 ラックおよび部屋を、この方法に対応できるように事前に設計する必要がある	新設または改装の場合 混合環境 高密度機器の場所を事前に知ることができない
4 高密度領域 データセンター内に特別な高密度の列またはゾーンを作成する	密度が最大化する フロアスペースの使用率が最適化される 高密度機器の振り分けが不要 高効率である	高密度領域を事前に計画するか、そのためのスペースを確保する必要あり 高密度機器を隔離する必要あり	密度: 1 ラックあたり 10~25 kW 高密度機器のコロケーションが必要な場合 新設または改装の場合
5 部屋全体 すべてのラックに高密度冷却能力を備える	将来のシナリオをすべて扱う	設備費および運用費が極端に高い(最大で代替方法の 4 倍) 高コストなインフラの利用率が極端に低下する可能性	物理的スペースが限定され、高密度機器を保有している大企業(まれで極端なケース)

圧縮のメリット

ここまでの項では、高密度ラックの設置に関する費用、複雑性、信頼性などの障壁について説明しました。データセンターに高密度機器などを設置するには、これらの問題を解決しなければなりません。業界関連の出版物では、データセンターの圧縮による経費やスペースの節減という利点を考えれば、圧縮は避けられず、その流れはすでにそれは進んでいる、という意見が主流です。ところが、こうした意見を裏付けるデータは見受けられず、むしろ、基本的な消費電力の削減なしで高密度化や圧縮を進めても、費用対効果は期待できないことが示唆されています。

図 8 は、kW あたりのデータセンター面積と IT 機器との電力密度との関係を示しています。下部の曲線で示されるように、IT 機器の密度が高くなれば、それらの機器が占有する面積は少なくなります。しかし、電力および空調インフラに割り当てられている建物の面積は、減少してはなりません。ラック 1 本あたりの電力密度が 2.5 kW を超えると、電力および空調設備の占有面積のほうが IT 機器の占有面積よりも大きくなります。結果として、1 ラックあたりの電力密度がおよそ 4~5 kW を超えると、合計面積をそれ以上は縮小できなくなります。

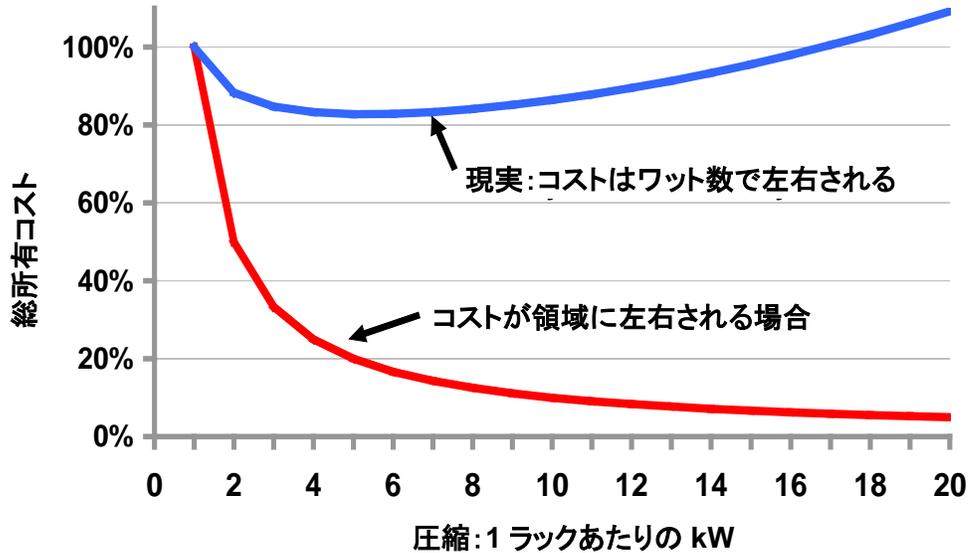
図 8
データセンター面積/kW とラック
の電力密度の関係



圧縮に関して暗黙の了解を得ている基本的前提として、データセンターの経費は使用面積に左右されるため、圧縮によって面積を縮小すれば経費を削減できる、ということがあります。

図 9 は、データセンターの耐用期間中の TCO (Total Cost of Ownership) と IT 機器の電力密度との関係を示しています。図の下部の曲線のように、IT 機器の密度が減少するにつれて、TCO も減少すると一般的には予測されています。しかし、現実にはデータセンターの TCO のうち、75% が電力によるもので、残りの 25% がスペースによるものです。また、前述のような要因のため、電力密度が高くなると 1 W 当たりのコストが増加します。結果として、電力密度を高めても TCO はそれほど減少しません。反対に、費用削減に最適なラック 1 本あたり 6 kW という電力密度を超えると、実際には TCO が増加します。

図 9
データセンターのライフサイクル TCO
の変化とラックの電力密度の関係



IT 機器の電力密度を高くすることのメリットは、あまりありません。しかし、IT 機器の消費電力を削減できれば、大きな利益になります。前述のように、データセンターの占有面積と TCO はともに消費電力量による影響を大きく受けるからです。表 3 は、IT 機器の消費電力削減とサイズの縮小が、データセンターの面積と TCO にどのような影響をもたらすかを示しています。典型的なベースラインケースと比較すると、サイズの縮小よりも消費電力の削減のほうがメリットは大きいです。

表 3
IT 機器のサイズ縮小と消費電力削減により実現できる、
データセンターの面積および TCO の削減

IT 機器の改善	面積の 節減	TCO の 節減	分析
同一の消費電力で、サイズが 50%縮小	14%	4%	電力および空調システムの領域が優勢なため、期待された面積の節約は認められない TCO が電力関連のコストに大きく影響されるため、期待される TCO の節減は認められない
同一のサイズで、消費電力が 50%減少	26%	35%	電力および空調のスペースが削減により、面積が大幅に節減 TCO が電力関連のコストに大きく影響されるため、TCO の大幅な節減は認められない

ブレードサーバーは、電源および冷却ファンのための共有シャーシ構造を持つため、同等の処理能力を持つ従来のサーバーと比較して、消費電力が 20~40%減少します。TCO は、IT スペース関連のコストではなく電力関連のコストに左右されるため、この減少は TCO の大幅な節減を意味します。

一般に信じられていることとは対照的に、データセンターのブレードサーバー向け物理インフラに関連する TCO の主なメリットは、使用面積の縮小ではなく消費電力の減少によるものです。こうした TCO のメリットを得る目的で、ブレードサーバーを高密度に設置する必要はありません。

最適な冷却方法

本書に記された情報を基に、ほとんどの設置に最適となる一貫した方法を知ることができます。それは、これまでに説明した各方法を組み合わせたものです(表 4 を参照)。

表 4

高密度コンピューター機器の配備に際して最適な冷却を行うための実用的方法

IT 機器の改善	分析
1) 機器の物理サイズは無視して、消費電力に対する能力に着目する	これは、領域と TCO を最小化するには効果的な方法です。
2) 補助的な空調装置を後から増設できるようにシステムを設計する	将来の要件が不明確であることを考慮して、稼働中のデータセンターで必要に応じて補助的な空調機器を後から設置できるようにします。
3) 新規の設計ではほとんどの場合、 $0.9\text{kW}/\text{m}^2$ が実際の値なので、新規の設計でのベースライン電力密度を $0.4\sim 1.1\text{kW}/\text{m}^2$ に設定する	ベースライン電力密度は、オーバーサイジングによる大きな無駄が出ないような値を選択します。 $1.1\text{kW}/\text{m}^2$ を超えないように設定すると、性能と冗長性が予測可能になります。
4) 高密度の負荷が全体に占める割合が高く、負荷量が予想可能な場合、データセンター内に $1.1\sim 4.3\text{kW}/\text{m}^2$ の特別な高密度領域を作成する	高密度の設置領域が必要であると事前にわかっている、負荷の振り分けが不可能な場合に適用します。データセンターの設計に多くの費用と時間がかかり、複雑さも増大します。これらの領域では、特殊な空調機器を使用し、通常のフリーアクセスフロアの設計は使用しません。
5) 各ラックの位置と隣接する負荷に基づいて、ラックに割り当てる許容電力の決定方針やルールを決める	設計能力を理解し、かつ電力を監視できれば、新規の機器の設置ルールを実施することにより、ホットスポットが減少し、空調の冗長性が確認しやすくなり、システムの空調効果が増加し、消費電力が減少します。より高度なルールと監視を導入することで、電力密度を高めることができます。
6) 必要に応じて補助空調装置を使用する	必要に応じて補助空調装置を設置すると、データセンター領域の冷却能力が設計値の 3 倍にまで向上し、高密度機器に対応できます。
7) ルールに合わせた設置ができない機器は分割する	もっとも低コストかつ低リスクな方法です。高密度な負荷の割合が大きい場合は相当のスペースを必要とします。 スペースの制約が少ないユーザーは、この方法を第一に採用する場合があります。

結論

最新型の高密度 IT 機器の 1 ラックあたりの最大電力密度は、既存データセンターの平均的なその約 10 倍に達します。

実際のデータセンターでは、その最大電力密度の半分のラックはほとんどありません。

現在の方法とデータセンターの構成では、このような高密度機器が必要とする空調は実現できません。送風/循環のシステムに限界があり、空調の冗長性や、発電機の切り換え時も途切れないような継続性を保つことが難しいからです。

データセンターの面積の縮小と TCO の削減を目標としている場合、IT 機器の購入を検討するときには、そのサイズにとらわれずに、単位電力あたりの性能を重視する必要があります。意外な結論かもしれませんが、電力密度が $0.6 \text{ kW} / \text{m}^2$ を超える場合、電力は IT 機器のサイズ以上に TCO と占有面積に影響を及ぼすからです。

従来の環境に高密度のコンピューター機器を効果的に配備するためのソリューションは、いろいろあります。データセンター全体を高密度用に設計することは実用的ではありませんが、補助的な空調システムを使用したり、隣接する利用率の低い冷却能力を借用できるルールを適用したり、複数のラックに負荷を振り分けたりすることで、高密度機器の設置の限界に対応することができます。

高密度ラックの占める割合が高く、機器の振り分けもできないような設置が計画された場合は、それだけの能力をすべてのラックに供給できるように設計する以外に有効な手はありません。典型的なフリーアクセスフロアの設計では、そうしたシステムに十分な能力や予測可能な性能が得られず、ラック、列、クラスターのレベルでの特殊な空調システムが必要になります。

業界誌では、データセンターの設計密度は $3.2 \sim 6.5 \text{ kW} / \text{m}^2$ だと言われていますが、この密度ではコストが増大し、高い可用性を得るのは難しいため、これは現実的な数字とは言えません。現時点での高可用性／高性能データセンターは、 $0.4 \sim 1.1 \text{ kW} / \text{m}^2$ の範囲内での設計なら、予測可能で実用的であると言えます。場合によっては、負荷を振り分け、補助的な空調装置を使用することにより、設計値の 3 倍までの負荷を収容することもできます。

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。世界最大の R&D 開発予算を投入し、電力、空調、およびラックインフラ向けのプロジェクトにおいて技術面の指揮を執っています。

高効率／高密度のデータセンターの電力および空調インフラに関する特許を 19 件取得しており、これまでに電力および空調システムに関して 50 本を超えるホワイトペーパーを執筆してきました。その多くが 10 か国語以上の言語で発行されています。最新のホワイトペーパーでは、エネルギー効率の改善に焦点を当てています。ニール・ラスムセンは、高効率のデータセンターをテーマとした講演で、国際的に活躍しています。現在は、高効率／高密度で拡張性のあるデータセンター インフラ ソリューション技術を推進する役割を担っています。また、APC InfraStruXure システムの主任設計者でもあります。

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) で電気工学を専攻し、学士号と修士号を取得しました。研究テーマは、トカマク核融合炉用の 200 MW の電力供給に関する分析でした。1979～1981 年には、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発電システムを担当していました。



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。



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



データセンタ(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



ブランクパネルを使ってラックの冷却効率パフォーマンスを改善する
ホワイトペーパー44



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



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