

ITワイヤリングクロゼット および小スペースにおける 冷却戦略

ニール・ラスムセン

ブライアン・スタンドレイ

ホワイトペーパー#68

APC[®]
by Schneider Electric

要約

ITワイヤリングクロゼット¹の冷却は、十分に計画されることが少なく、たいていは障害や熱問題が発生してから導入されます。これまで、ワイヤリングクロゼット内で予測可能な冷却を実現するために求められる要件については、明確な基準がありませんでした。ITワイヤリングクロゼット内の冷却には、予想される負荷に確実に対応し、冷却装置の設計および設置方法を示さなければなりません。また、オーバーサイズ化を防ぎ、最大限の電気効率を達成するとともに、さまざまな形状や種類のクロゼットにも柔軟に対応する、適切な仕様の策定が必要です。このホワイトペーパーでは、ワイヤリングクロゼットの冷却仕様を改善する理論と実用例を紹介します。

©2008 American Power Conversion. All rights reserved.

本書に記載の内容は、著者に無断で保存、使用、複製、複写、転用することを禁じます。

www.apc.com WP#68 改訂0

¹ ITワイヤリングクロゼット：ネットワーク機器やネットワークラック設置のために、特別に設計された部屋。配線や、機器を接続する配線装置が集中する。

はじめに

データセンターや大規模な電算室の設計には常に空調(冷却)システムも含まれていますが、電算室の外にあるクロゼットや支社などにある多くのIT機器は、IT機器専用の空調(冷却)システムが利用できない場所に分散設置されています。時間が経つにつれてIT機器の電力密度は増大し、空調の不備が原因で、VoIPルータやスイッチ、サーバなど分散配備されたIT機器がしばしばオーバーヒートし、耐用年数に達する前に故障してしまうことがあります。

通常、このような問題には抜本的な解決策が講じられず、新しい機器の導入によって対処されます。再び機器がオーバーヒートまたは故障した場合にも同様の措置がとられます。しかし、このようなアプローチに不満を感じているユーザは増えており、障害発生前に対策を講じることで、分散設置されているIT機器の可用性を確保したいという声が高まっています。このホワイトペーパーでは、ワイヤリングクロゼットのような小規模IT環境に関する冷却原理の概要を説明し、空調(冷却)システムをサポートする適切な仕様と設計に関する指針を提供します。

ワイヤリングクロゼットの適切な動作温度

ワイヤリングクロゼットに適切な空調ソリューションを実現するには、まずクロゼットの動作温度を明らかにする必要があります。通常、機器の最高動作温度はIT機器ベンダーによって指定されており、ワイヤリングクロゼットに収容されている稼働中のIT機器の最高動作温度は一般的に40°C (104°F)とされています。これは、保証期間中の性能と信頼性をベンダーが保証する最高温度です。銘板やマニュアルなどに記載されている最高使用温度はメーカーが定めた許容範囲ですが、一般論として、この温度は、より低温で使用した場合よりも可用性や耐久年数が劣ることに注意する必要があります。このことから、一部のIT機器ベンダーでは、許容最高温度のほかに、**推奨**動作温度も指定しています。IT機器ベンダーが推奨している動作温度は、通常、21~24°C (70~75°F)です。

さらに、IT機器の信頼性と性能を確保するために役立つガイダンスとして、米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE: American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers) のTC 9.9によって、IT機器の推奨動作温度と許容動作温度が発表されています(表1)。

表 1 ASHRAE TC9.9 に定められている使用温度制限 (2004)

動作温度	温度範囲
推奨温度	20~25°C (68~77°F)
許容温度	15~32°C (59~90°F)

目標は、機器の温度を常に25°C (77°F) 以下に保つことです。それが不可能な場合、重要度の低いクロゼットについては、最高許容温度である32°C (90°F) を超えない範囲に保つことが重要です。32°C (90°F) を超えないようにするのは、機器に障害が発生するリスクを軽減するためです。32°C (90°F) という温度は、米国連邦労働安全衛生局 (OSHA: Occupational Safety and Health Administration) や国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) などの組織が軽作業時に認める範囲の最高温度です。健康や安全に関する詳しい要件については、APC 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。

クロゼット環境にUPSを配備している場合は、さらに注意が必要です。温度の上昇は、とりわけバッテリーの耐用年数に大きな影響を与えます。一般的なUPSバッテリーを通常の動作条件で動作させた場合の耐用年数は通常2年～5年が平均的と言われていますが、40°C (104°F) で動作させた場合は1年半以下になるため、動作温度が25°C (77°F) を下回るようにすることが重要です。動作温度が25°Cを超える場合は、クロゼットの外側の適切に空調された場所に集約されたUPSを設置するなどの方法で、すべてのワイヤリングクロゼットを保護する必要があります。

熱を取り除く原理

この問題について理解を深めるために、「冷気の供給」ではなく、「熱を取り除く」という観点から問題を考えてみましょう。IT機器が収容されているスペースの熱を取り除かない場合、熱が溜まり温度が上昇します。**IT機器の消費電力 (キロワット) と、除去しなければならない熱エネルギー (キロワット) は同じです。**

熱は、「低い方向」に流れるものと考えられます。すなわち、熱は高温の物体または媒体から低温の物体または媒体に向かって流れます。熱を除去するには、熱が低温の物体に向かって流れるように経路を設ける必要がありますが、現実の世界では、このような方法は多くの場合物理的に不可能です。

オフィスやクロゼットのような密閉されたスペースから熱を除去するには、次の5つの方法があります。

熱伝導: スペースの壁を介して熱を逃がす方法

自然換気 (受動換気): 換気装置を使用せず、通気口やグリルを通して、低温スペースに熱を逃がす方法

機械換気 (ファン換気): 換気機能を搭載した通気口やグリルを通して、低温スペースに熱を逃がす方法

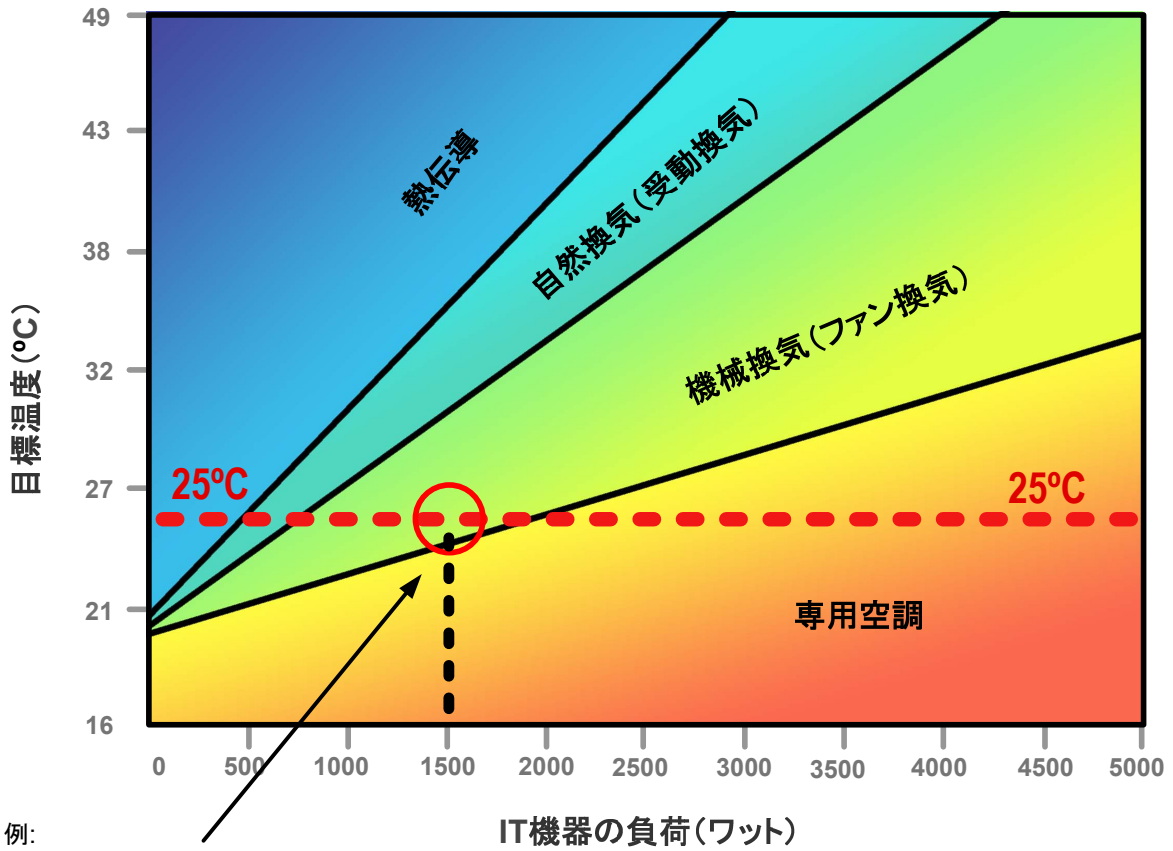
一般空調: 建物に設置されている一般的な空調システムによって熱を除去する方法

専用空調: ITシステム専用の空調装置によって熱を除去する方法

この5つの方法は性能、制限、コストの3つの点で異なります。特定の環境に対して、どの方法が使用または提案されているのか、制約や優先事項を考慮した場合どの方法が最適であるか、設計仕様をどのように決定するかについては、ユーザ自身も理解しておく必要があります。

図1は、部屋単位の電力負荷と目標室温に基づき、異常が発生していないと想定した場合の空調(冷却)システム構築に関する一般的なガイドラインです。各方法の性能に関する許容範囲を示しています。複数の方法を併用することもあり、また最終的な設計には空調(冷却)に影響するすべての変数を考慮する必要があるため、これらの指標は絶対的な値ではありません。一般空調はバリエーションが多いため、図には示されていません。一般空調については、後半で詳しく取り上げます。

図1 電力負荷と目標室温に基づいた冷却方法のガイドライン



例:
25°C(77°F)で1500Wを維持している場合は、「機械換気(ファン換気)」の範囲

図2は、さまざまなバリエーションがある中で最適な方法を選ぶための意思決定フローチャートです。ここでも、一般空調は推奨するソリューションではありません。

図2 ASHRAE (2004) の推奨温度範囲 (20~25°C) を維持するための空調方法の選択

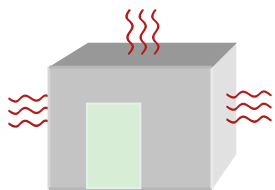
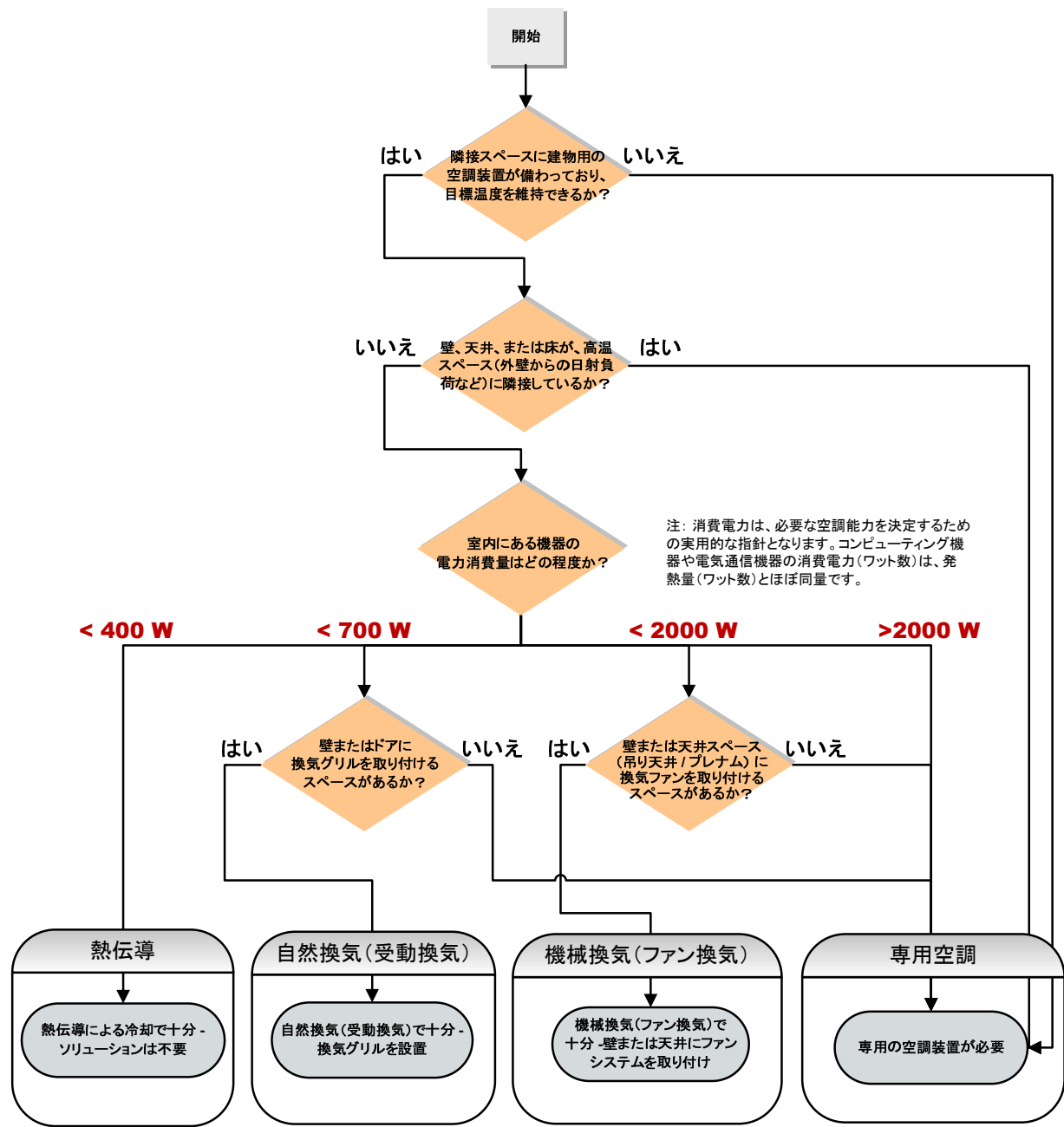


図6Aを参照

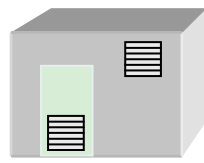


図6Bを参照

天井設置型



ラック列設置型



ポータブル型

空調(冷却)システムの種類を選択する方法については図8を参照してください。

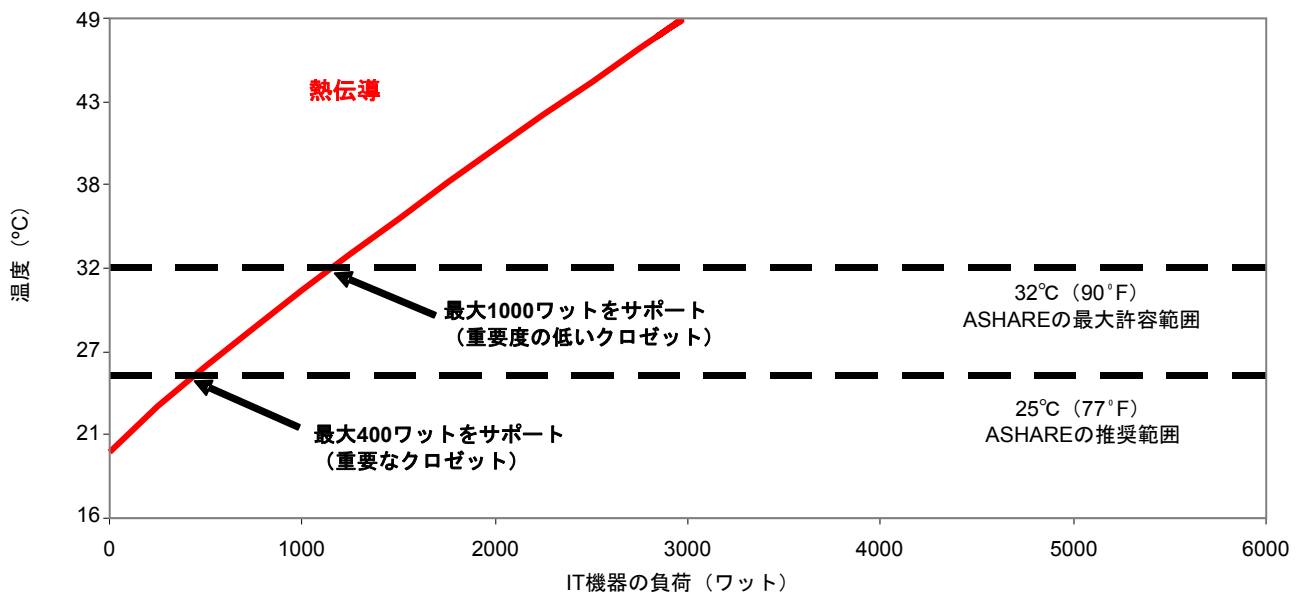
クロゼットの冷却に関する5つの方法

以下では、クロゼット冷却に関する5つの方法の性能と制限事項について正しく理解するために、詳細を説明します。

熱伝導： 壁を介して熱を逃がす方法

多くのユーティリティ用クロゼットのように、クロゼットが効果的に密閉されている場合、熱は壁を経由して外部に出ていくしかありません。壁を介して熱を逃がすには、クロゼット内の空気温度が壁の外側の空気よりも高温になっている必要があります。これはクロゼット内の温度が屋内にある他エリアの室温よりも常に高温であることを意味します。そしてIT機器の電力レベルが増すと温度の上昇率も高くなります。図3に、クロゼット内の平均温度とIT負荷の関係を示します。

図3 クロゼット内の温度とIT機器負荷の関係: 伝導性能 (冷却効果)



図に示されている関係は、乾式壁工法の3×3×3m (10×10×10ft)のクロゼットが効果的に密閉されており、毎分1.42m³ (毎分50ft³, 毎秒23.6L)の漏洩空気があり、周囲スペースが一般的な空調によって20°C (68°F)に保たれているエリアにクロゼットの四方の壁が接していると想定した時の関係です。詳細および想定条件については、巻末の「付録」を参照してください。

図に示されているとおり、この一般的なクロゼットが処理できるIT負荷は、温度を25°C (77°F)未満に維持しなければならない重要なクロゼットの場合で最大400ワット、重要度が低く温度を32°C (90°F)未満に設定してもかまわない場合で最大1000ワットです。

ただし、クロゼットの大きさや建築材料が多岐にわたることに加え、この関係に影響を及ぼすその他の要因もあるため、この方法を採用することにより期待できる冷却効果には限度があります。表2は、主な要因と影響についてまとめたものです。

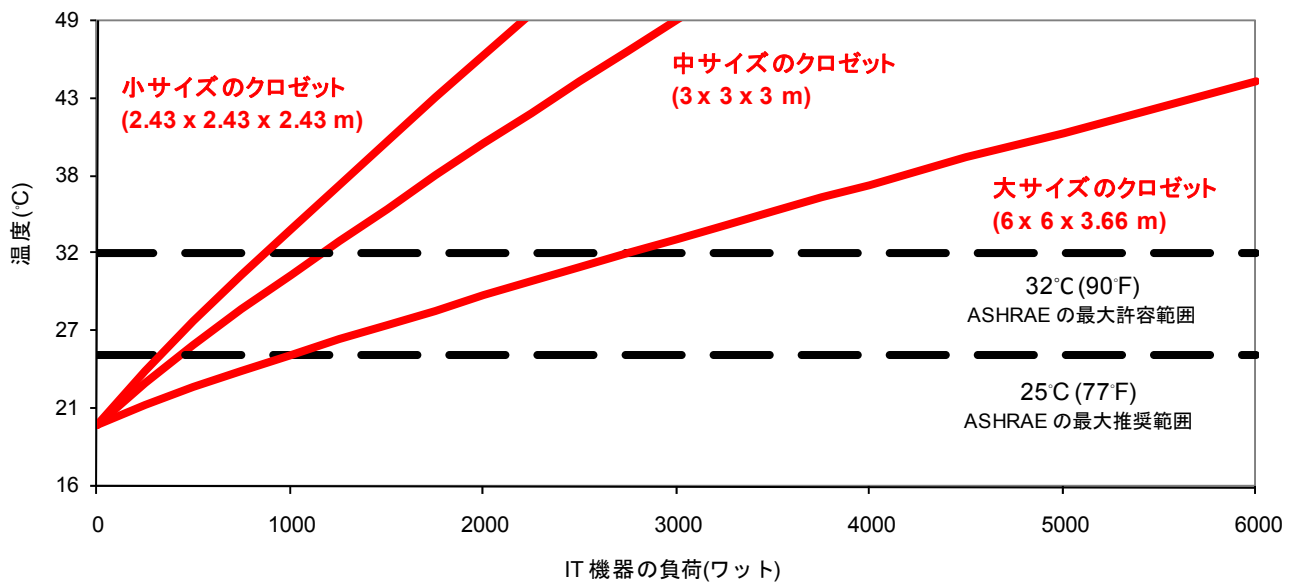
表 2 クロゼット内温度に影響を与える要因と影響

要因	クロゼット温度への影響
クロゼットの大きさ (室容積)	空間が狭いほど温度は上昇しやすい
壁、天井、床の建築材料	建築材料の熱抵抗値が高いほど温度上昇しやすい
夜間/週末における建物の空調装置の運転抑制 (設定温度変更、空調停止など)	建物の温度が上昇した分だけクロゼット内の温度が上昇する
晴天の暑い日に一部の外壁が日射/外気温の影響を受ける	外壁の面積が大きいほど外気温の影響を受けやすく、日射が強くなるほど温度が上昇する

最も影響が明らかな要因は、クロゼットの大きさ(室容積)です。サイズ(容積)が大きいほど、熱を処理できる壁/天井/床の表面積が大きくなるため、熱を拡散させる能力が高まり、容積が小さいほど、熱伝導冷却の性能は下がります。

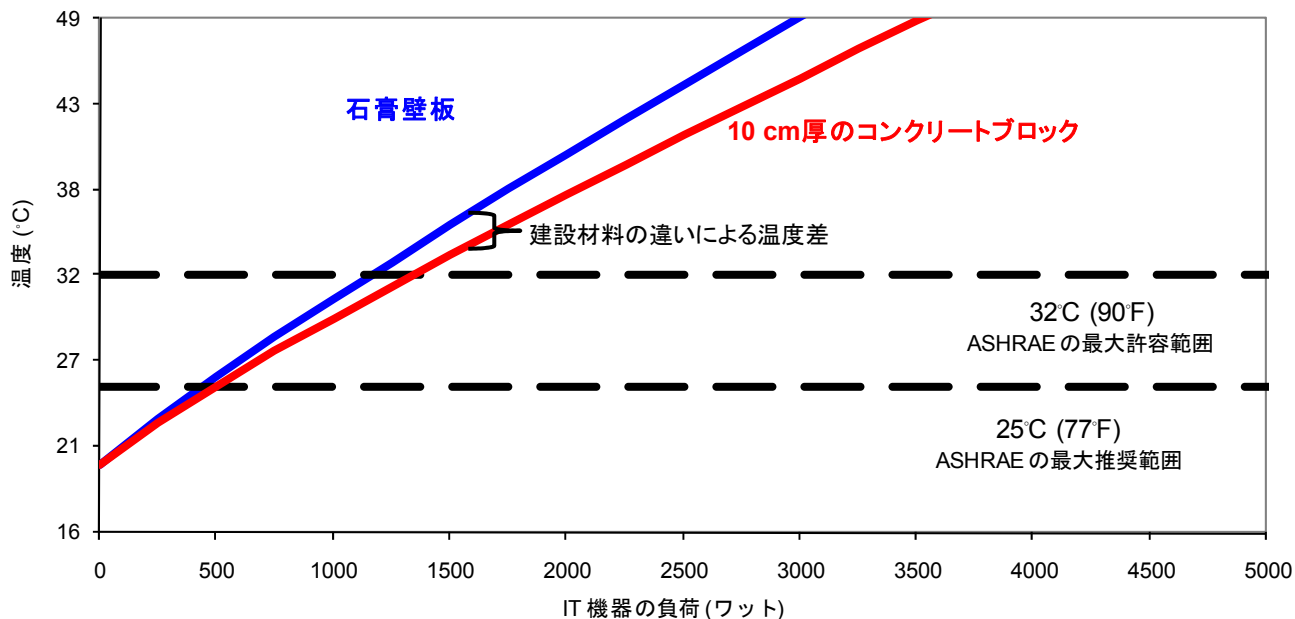
図4に冷却性能の変化を示します。

図 4 クロゼットのサイズ(容積)と熱伝導による冷却性能の関係



温度と負荷の関係は、壁/天井/床に使用されている材質や材料によっても異なります。これは材料によって熱伝導率が異なるためです。上の例では、石膏壁板と天井の吸音タイプの天井パネルを、10 cm (4 インチ) 厚のコンクリートブロック壁と 10 cm (4 インチ) 厚のコンクリートスラブ床に交換することによって、冷却効果を高めることができます。図5に例を示します。

図5 クロゼットの建築材料と熱伝導による冷却性能の関係



週末や営業時間外に空調の運転抑制によって屋内温度が上昇すると、クロゼット内温度も上昇します。これも熱伝導冷却の性能に影響を与える一般的な要因として考えられます。上の例では、週末に建物の空調装置の設定温度を20°C (68°F)から29°C (85°F)に上げた場合、クロゼット内温度も同様に9°C (17°F)上昇します。その結果、温度を25°C (77°F)以下に保つ必要がある重要なクロゼットでは温度を維持できなくなり、温度を32°C (90°F)以下に保つ必要がある重要度の低いクロゼットの場合でも250ワットしか処理できなくなります。

この空調方法では、クロゼットの壁が建物外壁の場合、壁は外気温と日射両方の影響を受けるため、クロゼット内温度に影響があります。晴天の暑い日には、クロゼット内がオーバーヒートする場合があります。たとえば、屋外気温が38°C (100°F)で1000ワット/m²の日射しが当たる場合、3×3×3 m (10×10×10 ft)のクロゼット内は4~7°C (8~12°F)上昇することが予想されます。

密閉されているクロゼットでの熱伝導冷却の性能は、サイズ、工法、隣接環境によって異なります。**一般的に、熱伝導冷却は、重要なクロゼットを冷却する目的では、クロゼット内の電力負荷が400ワット未満の場合にのみ、上記の影響要因を考慮しながら使用することを推奨します。**同様に、重要度の低いクロゼットの場合、熱伝導冷却は、クロゼット内の負荷が1000 W未満の場合にのみ有効です。したがって、熱伝導による方法は、小型で積み重ねられるネットワークスイッチなど低電力のIT機器向けに限定されます。上の例にあるように、負荷が増加すると温度は急上昇します。電球などの発熱源を追加すると電力レベルが大幅に上昇するため、クロゼット内の照明には低電力/高効率な電球を使用し、ドアの開閉に合わせて自動的に消灯するように設定するか、照明を使用しない等の検討が必要です。

自然換気（受動換気）および機械換気（ファン換気）：グリル（換気口）またはファン換気を用いて低温スペースに熱を逃がす方法

クロゼットの冷却は、屋内周囲の空気に熱を逃がす（換気）ことにより実現することも出来ます。この換気方法には、適切に設置されたグリル（換気口）を用いた自然換気（受動換気）と、ファンを利用した機械換気があります。クロゼット内の温度が屋内周囲の温度よりも大幅に高くないようにするというのが基本原理です。図6に換気システムの例を示します。

図6 2種類のクロゼット換気システム

図6A 自然換気（受動換気）



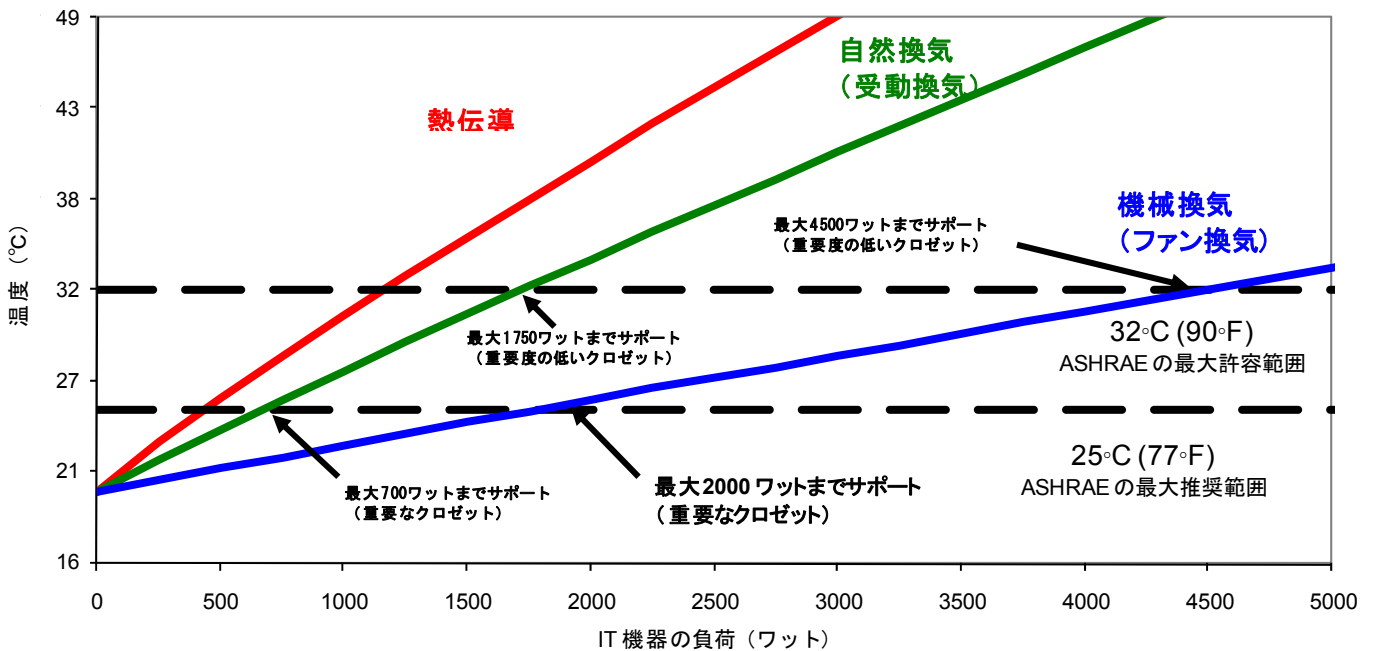
図6B 機械換気（ファン換気）



換気ファンをクロゼットに取り付ける方法については図9を参照してください。

図7は、換気方式によるクロゼットの温度上昇と、IT負荷の関係を示しています。

図7 クロゼット温度とIT 負荷の関係 – 自然換気（受動換気）および機械換気（ファン換気）



図には、2種類の曲線が示されています。自然換気の曲線は、図6Aに示すようなグリル(換気口)を追加することによって得られるものです。機械換気(ファン換気) 図6Bの場合、自然換気と比べて温度の上昇が緩和されます。機械換気(ファン換気)の曲線では、毎分13.6m³(毎分480ft³、毎秒226.5 L)の換気量を想定しています。(より高性能なファンシステムの使用またはファンシステムの追加によって)換気量が多くなるほど、温度上昇率が低くなります。

換気は、非常に実用的なクロゼット冷却方法です。電力レベルが700ワット未満の場合は、自然換気によって重要なクロゼットを効果的に冷却できます。電力レベルが700ワット~2000ワットの場合、重要なクロゼットには機械換気(ファン換気)が有効です。高性能なファンユニットや複数のファンユニットを使用することによって、さらに高い電力レベルにも対応できます。同様に、重要度の低いクロゼットの場合、自然換気は最大1750ワットの電力レベルまでに有効な冷却方法であり、1750ワット~4500ワットの電力レベルでは機械換気(ファン換気)が効果的です。実際に導入する場合は、IT機器に対する換気口やファンユニットの取り付け位置などを考慮することで、さらに冷却性能を高めることができます。この方法を採用する場合は、図4および図5に示されている外部要因も考慮する必要があります。

一般空調: 一般的な空調システムによって熱を取り除く方法

多くの建物には、従業員に快適な職場環境を提供するため、空調システムや暖房/冷房システムが設置されています。このような一般的な空調システムには、通常、空調ダクトが付属しています。建物内に新しいオフィスや部屋を増築するときと同じように、空調ダクトをクロゼットにも敷設し、このシステムを利用することは有効な方法だと思われます。しかしながら、ダクトを追加するだけではクロゼットの冷却問題は解決されず、多くの場合は逆効果になります。

一般的な空調システムは、設定温度に従い自動的に運転/停止が制御されますが、通常は、クロゼット以外の建物内のどこかにある温度センサが空調制御の基準になります。IT機器を収容したクロゼットのように小さな空間の場合、空調システム動作が温度に大きな影響を与えます。その結果、温度の変動幅が大きくなり、一定の高温下でITを使用する環境よりも、さらに大きなストレスをIT機器にかけることになります。

さらに、一般的な空調システムの場合、省エネのために平日の夜間や週末(営業時間外)には設定温度を上げることが推奨されています。また空調システムを完全に停止することもあります。大規模な空調システムの一部にワイヤリングクロゼットが組み込まれている場合、空調システムの設定温度が高くなるほど、ワイヤリングクロゼット内の平均温度も上昇します。したがって、空調ダクトを追加するだけのソリューションでは、夜間や週末の省エネ効果を犠牲にするか、ワイヤリングクロゼット内の温度変化を激化させるかのどちらかを選択しなければなりません。

建物の空調システムを利用してワイヤリングクロゼットを冷却するには、対象となるワイヤリングクロゼットを専用ゾーンに設置し、適切なサイズの給気/排気ダクト、空調(冷却)ユニット(ファンコイルユニット、可変風量システム:VAVなど)や自動制御装置(温度センサなど)を取り付ける必要がありますが、これは非現実的です。

ワイヤリングクロゼット専用ゾーンを追加するためには、以下の検討が必要です。

- VAVシステムに対する静圧が正確で一定であること(特に、建物の空調システム稼働が最大になる夏期高温時に)
- 極端に低い冷却能力 - 一般的な空調システムの多くは、 $43\sim 54$ ワット/㎡ ($4\sim 5$ ワット/ft²)の冷却能力を提供するよう設計されています。これは、150ワット/ラックに相当します(ラックあたり 2.79m^2 (30ft²)と想定した場合)
- 拡張性に欠けています
- 導入費用がかさみます

さらに、中央制御方式の空調システムは暖房システムとして使用されることもあります。この場合、クロゼットを低温に保つために取り付けられたダクトから、冬期は熱風が送り込まれることになります。このような事態はあってはならないことです。

一般的に、建物の空調システムを利用したITクロゼットの冷却は不適切です。すでに空調ダクトが取り付けられている場合は、ダクトを撤去するか塞いだ上で、このホワイトペーパーで紹介する他の方法やその他の方法に切り替える必要があります。

専用空調: 専用の空調装置によって熱を除去する方法

クロゼット温度を最も効果的に管理する方法は、クロゼット専用の空調装置を設置することですが、自然換気や機械換気(ファン換気)と比べて、専用空調は高価で複雑であるため、必要な場合にのみ使用することをお勧めします。

一般的に、重要なクロゼット内の電力レベルが約2000 W、重要度の低いクロゼットの電力レベルが4500 Wを上回る場合は、専用の空調装置を設置することを推奨します。電力レベルを判断する際は、ITベンダーによる詳しい電力消費仕様を確認し、IT機器の具体的な構成に基づき電力レベルを判断する必要があります。通常、機器の実消費電力は、背面の「銘板」に記されている定格値を大幅に下回るため、クロゼットの電力レベルを正確に把握することにより、空調(冷却)ソリューションのコストと複雑さを大幅に低減できる可能性があります。たとえばルータの背面パネル銘板に定格消費電力が5~6 kWと記載されている場合でも、実運用における消費電力値は1~2 kWにすぎません。このように正確に消費電力を把握することによって、空調装置の設置台数を減らすことができます。

技術的には換気という選択肢が可能であるように思われても、専用の空調装置が適切であるという場合もあります。たとえば、次のようなケースです。

- クロゼット外部の空気に大量のほこりや異物が含まれている場合
- クロゼット外部の空気温度の変化が大きい場合
- リースまたは外観を損なうなどの理由で換気ダクトを取り付けるのが非現実的な場合

上記の場合、建物内の空気を利用した換気は選択肢として不適切なため、専用の空調機器を取り付ける以外に実用的な方法はありません。

クロゼットや小スペースでの専用空調装置を導入する場合、その種類や選択肢にはさまざまなものがあります。詳細については、APC ホワイトペーパー #59『[The Different Types of Air Conditioning Equipment for IT Environments](#)』(英語版)を参照してください。


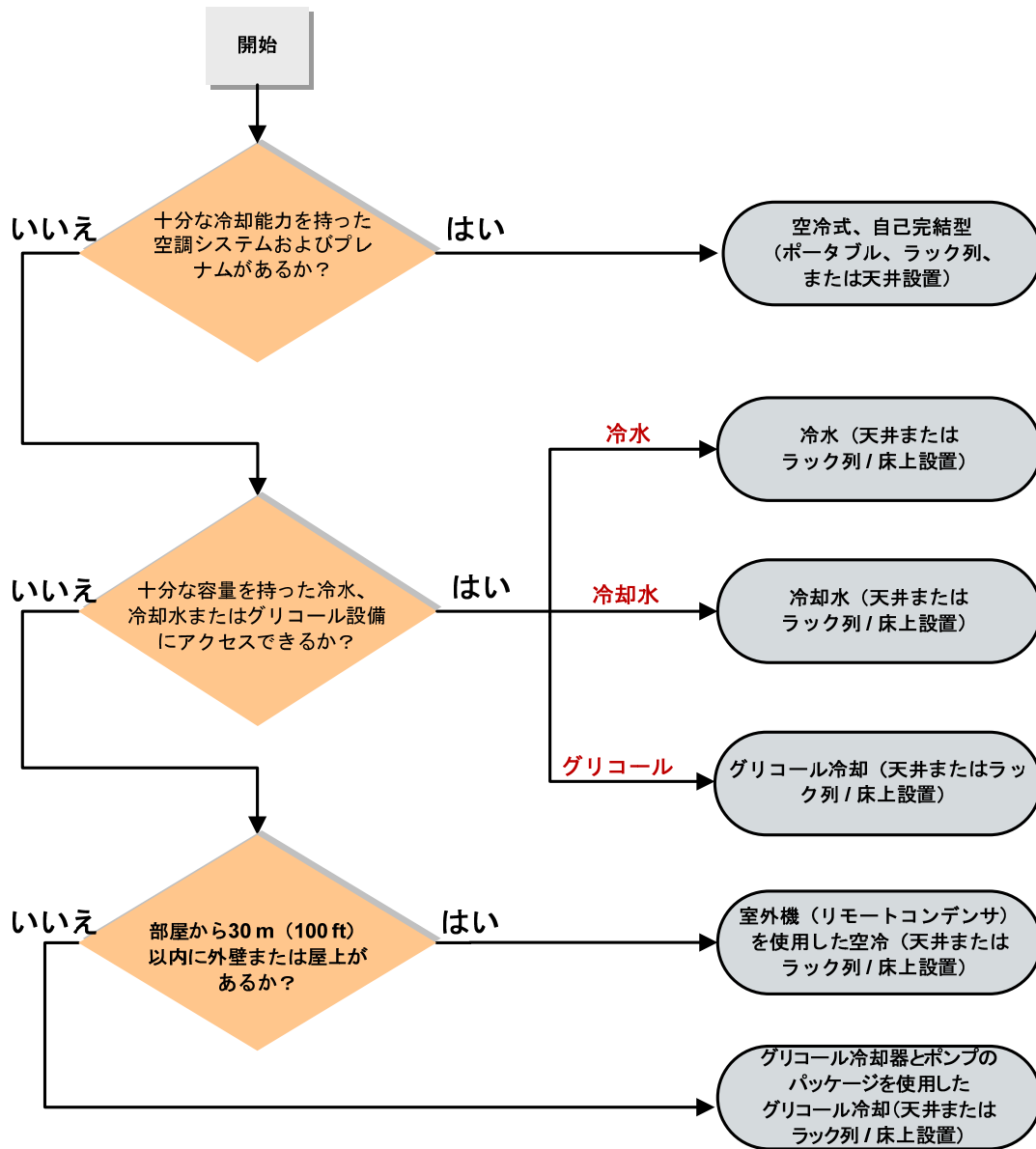
特定のクロゼットに設置する専用空調装置の種類は、主に建物の制約によって決定されますが、8の簡単なフローチャートを使用して決定することもできます。

図8 専用空調装置の選定



天井設置型の空調装置



ラック列設置型の空調装置



ポータブル型の空調装置

UPSがクロゼット空調システムに与える影響

ビジネスの継続性を確保するため、クロゼット内には分散型の小規模UPSシステムを設置することが、一般的でかつ推奨される方法です。UPSシステムは、クロゼット内のIT負荷によってバックアップの容量を調整することも、(1時間を上回る)長時間バックアップを選択することもできます。いずれの場合も、UPSの熱負荷は通常はIT負荷よりもはるかに小さいため、無視しても問題はありません。

UPSを設置した場合は、停電時もIT機器は発熱するため、空調システムも継続稼働させる必要があります。UPSのバックアップ時間が10分未満の場合は、クロゼット内の空気と壁表面の蓄熱によって温度が許容範囲に保たれるため、予防措置は不要です。しかしながら、10分を超えるランタイムを確保するように設計されているUPSの場合は、停電中も空調システムを継続して稼働させる必要があります。つまり、機械換気(ファン換気)または空調を使用する場合は、ファンや空調装置もUPSから給電する必要があり、UPSのサイズ決定にはファンや空調装置の電力も考慮する必要があります。これはファン換気を採用する場合は大きな問題になりませんが、空調装置の場合は、コンプレッサーの突入電流に対応するために、より大型のUPSとバッテリー(空調装置の定格電流値の4~6倍)が必要になる場合があります。このような理由からも、クロゼット内に空調装置を設置するよりも、できるかぎり機械換気(ファン換気)を導入することを推奨します。

専用の空調装置にUPSから給電するための代替策として実用的かつコスト効率に優れた方法は、機械換気システムをバックアップ用として専用の空調装置に追加することです。停電時にも室内の換気を確保できるように、停電時に専用の空調装置が停止した場合はファンシステムの電源が入るように設定するのが理想的です。電力(および自動的に運転を再開する機能のある空調装置)が復旧したときは、機械換気(ファン換気)システムの電源が自動的に切れるようにします。

効果的な機械換気(ファン換気)の特性

これまでに説明したように、ワイヤリングクロゼットのオーバーヒートは重大な懸念事項です。可能なかぎり、自然換気や機械換気(ファン換気)による簡単なソリューションを優先的に採用すべきです。換気システムは、市販の部品を利用してさまざまな方法で設計できますが、クロゼットの空調専用に特化しているパッケージソリューションもあります。

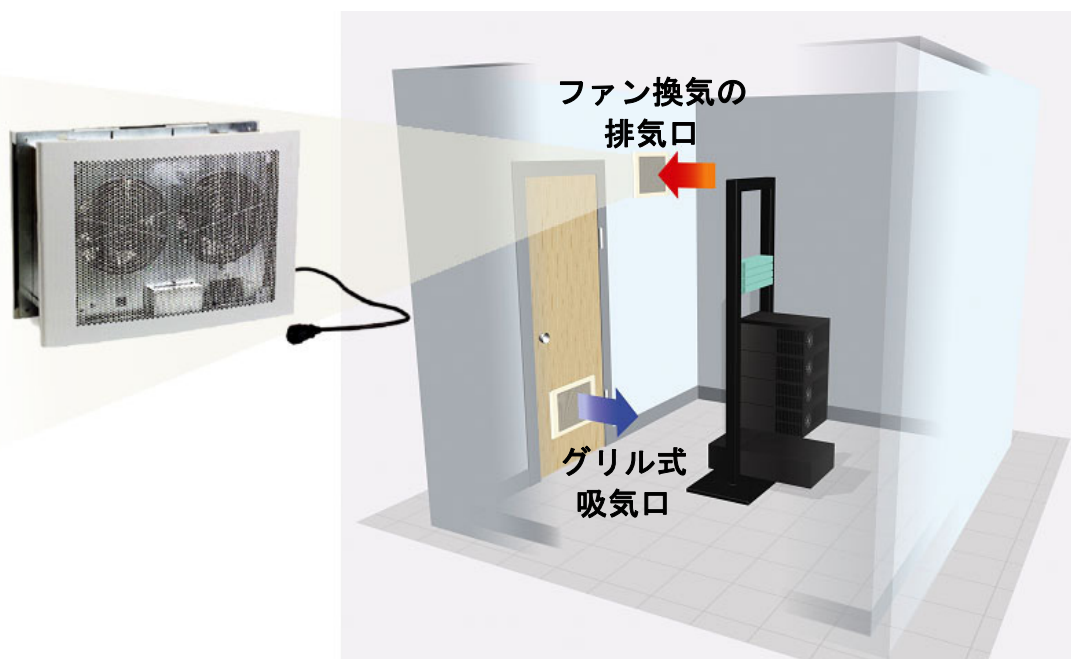
表3はクロゼット換気システムに関して確認すべき点をまとめたものです。

表 3 換気システムの特徴および利点

特徴	利点
壁または天井設置方式	1つのソリューションでさまざまな種類のクロゼットに対応できる、優れた柔軟性
ITの設計（想定）負荷値に適合	期待どおりの成果が得られる可能性が高い
リモート制御可能	平均修復時間（MTTR）を短縮
ファン速度を調整可能	最大換気量が不要な場合は騒音を軽減
複数のファンを設置可能	ファン冗長構成によるフォルトトレランス
タンパプルーフな設置方式	セキュリティが向上
導入が容易	クロゼット環境への変更を最小限に抑え、外部の施工業者への依頼が不要
最低限の組み立て	すばやく容易に設置可能
プラグまたはハードワイヤによる電源接続	現地の電気法規への適合
適応範囲の広さ	異なる設置環境に対して1種類の機器で標準化可能
UPSシステムとの調和	全体的なシステム可用性が高い

上記の要件を満たす機械換気（ファン換気）ユニットの例を図9に示します。

図 9 クロゼット用機械換気（ファン換気）ユニット



結論

ITクロゼットの多くで最も効果的で実用的な空調(冷却)システムは、換気システムです。綿密な設計に基づいて適切に導入された自然換気(受動換気)システムは、電力レベルが低いITクロゼットに効果的です。VoIPルータやサーバが収容されている電力レベルの高いクロゼットには、機械換気(ファン換気)をお勧めします。

電力レベルが2000ワットを上回る重要度の高いクロゼットの場合(重要度の低いクロゼットでは4500ワットを上回る場合)や、クロゼット外部の空気が高温、制御不可能、あるいは、ほこりや異物が混ざっている場合は、専用の冷却ソリューションが適切です。既設の一般的な空調システムをクロゼットの冷却システムとして使用した場合、クロゼット内の温度変化が激しくなるため推奨されません。

このホワイトペーパーでは、適切なクロゼット冷却ソリューションを選択するためのガイドラインも紹介しました。ITクロゼット向けに設計/特化された換気システムの登場によって、クロゼット冷却ソリューションの選定プロセスはシンプルになり、標準化されたクロゼット冷却ソリューションを導入できるようになりました。

著者紹介:

ニール・ラスムセンはAmerican Power Conversionの創始者であり、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、ラックインフラスに世界最大のR&D予算を注ぎ込み、マサチューセッツ、ミズーリ、デンマーク、ロードアイランド、台湾、アイルランドに主要製品開発センタを所有しています。現在はAPC社においてモジュール式のスケーラブルなデータセンターインフラソリューションの開発を指揮しており、APC社のInfraStruXureシステムの重要な事業計画立案者です。

APCを設立した1981年以前は、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。卒業論文のテーマは、トカマク核融合炉用の200メガワットの電力供給に関する分析です。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光電源システムを担当していました。

ブライアン・スタンドレイは、APC社で小型空調システムを担当している製品ラインマネージャです。製品管理に関する9年間の経験があり、空調ソリューション、InfraStruXure、ラック/エンクロージャをはじめ、さまざまな製品カテゴリの設計、開発、始動、サポートに深く携わっているほか、営業およびサポート部門にも所属しています。

1994年にAPC社に入社する前は、レンセラーポリテクニクインスティテュート(RPI)で物理学の学士号を取得し、2001年にはロードアイランド大学(URI)でMBAを取得しています。

付録: 一般的なワイヤリングクロゼットの 想定条件について

ホワイトペーパーで取り上げた「一般的な」ワイヤリングクロゼットは、壁の熱伝導、対流、放射を考慮した広範なモデルに基づいています。「対流」には、室内壁の自然対流と、(漏洩空気に関連する)所定の気流が含まれます。下表は「一般的な」ワイヤリングクロゼットのモデル化条件をまとめたものです。

表 A1 「一般的な」ワイヤリングクロゼットの条件

特徴	利点
クロゼットの大きさ	3×3×3 m (10×10×10 ft)
建物の室内温度	20°C (68°F)
クロゼットの建築材料: <ul style="list-style-type: none"> 内壁は平坦な空気断熱鉄骨フレーム壁、表面は石膏壁板仕上げ 床は約10 cm (4 in)のコンクリートスラブ 天井は約1.27 cm (0.5 in) 厚の吸音パネル 外壁は断熱性の硬質フォームを用いた絶縁コンクリートブロック、表面は石膏壁板仕上げ 	内壁:R値 = 0.29 床:R値 = 0.1 天井:R値 = 0.22 外壁:R値 = 1.32
風速が3.4 m/s (12 km/h) 時の外壁表面熱伝達率 (h)	$h = 22.7 \text{ (m}^2 \text{ °C/W)}$
相対湿度	50%
漏洩空気 (ドアの隙間や吊り天井から漏洩する予測空気量)	50 cfm (23.6 L/s)