

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

White Paper 120

改訂 1

ニール・ラスムセン

> 要約

サーバールームおよびデータセンタの電力密度の仕様を決める場合、従来の方法はあいまいで誤解を招くことがあります。また、1平方メートルあたりという単位を使用してサーバールームやデータセンタ全体の電力密度を示しても、ブレードサーバのような高い電力密度のIT負荷に適合する電源や空調の容量を決定するには不十分です。今までは、高い電力密度の負荷を導入したサーバールームやデータセンタを予測通りに稼働させるための、明確で標準化された方法がありませんでした。サーバールームおよびデータセンタに適した電力密度仕様を設定することにより、高密度負荷に適合し、電源・空調機器の計画・導入に対する明確な方針を示し、過大な設備を避け、効率を最大化することができます。このホワイトペーパーでは、サーバールームおよびデータセンタの電源と空調のインフラの仕様を決める方法と、その原理や用途について説明します。

コンテンツ

セクションをクリックして次に進む

はじめに	2
さまざまな電力密度仕様の定義	2
導入戦略	7
モデル	11
結論	16
リソース	17
付録	18

はじめに

データセンタやサーバールームの稼動電力密度の仕様を決めることは、IT管理者の大きな課題です。従来の密度（430～861W/m²）で仕様を決めると、最新のIT機器を適切に運用することができません。最新のIT機器の高い稼動電力密度（6458～10764W/m²）の仕様は、データセンタの電力と空調の設計に無理が生じ、過大な投資や稼動効率の低下を招きます。

今後のIT機器の進歩を踏まえたデータセンタ設計の必要性を考慮すると、電力密度仕様の問題はより難しいものになります。なぜなら、将来開発されるIT機器の種類を現時点で知ることは不可能だからです。

データセンタの電力密度を1平方メートルあたりのワット数で示す従来の方法では、今日のデータセンタ管理者が抱えている危機的な問題に対する答えとしてはほとんど役に立ちません。特に、従来の電力密度の仕様は「電力密度の仕様を超えるほどラックを導入するとどうなるのか?」というような問題を解決できません。これは非常に現実的な問題です。なぜなら、現在の典型的なデータセンタはラック1本あたり1.5kWの電力定格であるのに対し、今日のIT機器の電力密度はラック1本あたり3～20kW以上になるからです。

データセンタの電力密度の仕様を決めるために、今までにない、より完全な方法が求められています。具体的には以下のような項目に対処できなければなりません。

- 高い電力密度のIT機器との整合性を保証
- 電力、スペース、経費の無駄を回避
- 空調容量と電源容量の設計を含んだIT導入計画を提供



リソース

APC White Paper 46

高密度にサーバを搭載するラックおよびブレードサーバの電力供給と冷却の対策

このホワイトペーパーでは、電力密度の仕様を決めるより良い方法に焦点を当てます。電源、空調、ラック、高密度のアプリケーションを備えたデータセンタの構築は、46 高密度にサーバを搭載するラックおよびブレードサーバの電力供給と冷却の対策など、多くのAPCホワイトペーパーで説明されています。

さまざまな電力密度仕様の定義

電力密度の定義は文献や資料によって異なり、ユーザ側に混乱を引き起こしています。以下の仮想データセンタ（500kW）を使ってそれらの定義を説明します。

500kW のデータセンタのパラメータ	
IT機器が消費する電力の合計	500,000W
IT機器が占有するスペースの合計	260m ²
空調設備、配電盤などが占有するバックルームの面積	130m ²
データセンタの床面積の合計	390m ²
ITラック1本あたりの占有床面積	0.622m ²
ラックの本数	100本

表1は一般的に使用されている5種類の電力密度の定義と、それらの定義を上記のデータセンタに適用した場合の値を示します。

表 1

データセンタの電力密度に関する複数の定義とその値

密度の定義	計算	密度	説明
IT機器の電力消費量をITラックの占有面積で割る	$500,000W \div (0.622m^2 \times 100 \text{ラック})$	8039W/m ²	この方法ではラックが占有している面積のみが含まれ、ラック周囲のアクセスエリアや他のNCPI（ネットワークに必須の物理インフラ）が使用しているスペースは含まれません。他の方法に比べて、かなり高い密度値が算出されます。機器製造業者が一般的に使用する方法です。
IT機器の電力消費量をITラックとその周囲の占有面積で割る	$500,000W \div 260m^2$	1923W/m ²	これは文献や資料でよく使われる方法です。ラック1本あたり2.6m ² という数値が適用されます。電力と空調の配分条件を決定するときに効果的です。IT担当者が一般的に使用する方法です。
IT機器の電力消費量をデータセンタの全床面積で割る	$500,000W \div 390m^2$	1282W/m ²	データセンタの全床面積には、IT機器のスペースの他に、電力と空調の設備機械室（バックルーム）のスペースが含まれます。高密度機器を導入するときは、電力や空調用の機器を格納するためにかんがりのスペースのバックルームが必要です。この方法はバックルームのスペースを含んでいるので、床面積の設計に役立ちます。一般的に設計者が使用します。
IT機器と電力・空調機器の電力消費量をデータセンタの全床面積で割る	$(500,000W + 295,000W) \div 390 \text{ m}^2$	2038W/m ²	この定義はデータセンタの全床面積と全主要電力消費量を基準にしているため、ユーティリティ設備の設計によく使用されます。空調機器は、265kWの電力に加え電源システムの損失30kWを消費するとされています。
ラックの電力消費量	$500,000W \div 100 \text{ラック}$	ラック1本あたり5kW	この方法はラック1本あたりの値を算出します。

表 1 で紹介したすべての定義は、すでに出版されている文献や資料で使用されています。値を W/m² で示す 4 つの定義はあいまいなので、面積と電力に何が含まれているかを明らかにする必要があります。しかしながら、文献や資料に記載されている電力密度の値には、このような情報は記載されていません。これが業界内での混乱の原因となり、IT管理者と施設設計者との間の誤解につながります。表 1 のデータは、同じ施設の電力密度仕様値が使用する定義によって大きく異なることを証明しています。

最も分かりやすい電力密度の計算は、「ラック1本あたり」の電力消費量です。これは、ラックの電源と空調の要件に関して明確な指標を示します（IT機器の場合、ラックの電力消費（ワット数）が空調条件（ワット数）に等しい）。このホワイトペーパーでは、データセンタの電力密度仕様を決める際に、ラック1本あたりの電力消費量から得られるもう1つの利点を紹介します。これは、データセンタ内でさまざまな電力密度を指定するときに最も効果的な方法です。

現実のデータセンタは、均一に電力を消費しているわけではありません。あるラックは他のラックよりも多くの電力を使用し、結果として多くの熱を生成します。またパッチパネルのラック

クの消費電力は 0kW で、ブレードサーバのラックの消費電力は 20kW 以上という場合も考えられます。この問題に加えて、IT 機器の改良によってラックの消費電力量が変動するという問題もあります。従来の電力密度仕様の定義はこれらの電力変化を考慮していないので、今後その有効性は薄れていくでしょう。

従来の電力密度仕様の決定方法の限界

以下の 2 つの例は、従来の電力密度仕様決定方法の限界を示しています。

最初に、538W/m² に指定されているデータセンタを例に挙げます。全 IT 負荷を IT ラックとその周囲の占有面積で割る方法で電力密度を定義すると、ラック 1 本あたり 1400W になります（538W/m² x 2.6m²）。最大 1400W の電力と最大 1400W の空調を各ラックに供給できるように構築されたデータセンタならば、この要件を満たします。サーバー 1 台で 1400W 以上の電力を消費するブレードサーバのような IT 機器も多量存在しますが、ラック 1 本あたり 1400W までに厳しく制限されたデータセンタには、この種の機器を導入できません。結果として、このデータセンタはこのような消費電力量の大きな IT 機器との整合性がないこととなります。そのうえ、パッチパネルなど低負荷の機器が配置されても、すべてのラックの電源と空調が 1400W に制限されているので、未使用の電力を他のラックへ廻すことができません。それらを総合すると、このデータセンタには導入できない IT 機器が多数あり、使用可能なラックスペースや電源・空調容量を有効利用することができない、非効率的なデータセンタであるといえます。

次に、ラックごとに電力密度の仕様を決めたデータセンタを例に取り上げます。各ラックに、正確な電源と空調の容量を指定します。この指定に適合するように設計し、データセンタを完全に細部まで計画します。これは理想的な状態ですが、残念ながら実際のデータセンタでは事前に正確なラックレベルの電力密度仕様を決めることは、ほぼ不可能です。現実のデータセンタでは、導入機器の使用期間全般に渡ってラックレベルの負荷を予測することはできません。実際に導入した IT 機器の電力密度がラックレベルの仕様と一致しない場合、重大な問題が発生します。たとえば、ラックごとに電源と空調が制限されているので、IT 負荷がラック仕様として決められた電力より低くても未使用の電力を他のラックに廻すことはできません。結論として、このデータセンタには将来導入される IT 機器の情報が必要ですが、通常それらの情報は入手不可能で、非効率的なデータセンタであるといえます。

この 2 つの例は、データセンタの電力密度の仕様を決めるときによく使用される方法です。しかしデータセンタ全体に対する仕様とラックごとの仕様はともに実用面での深刻な限界があり、完全に顧客の要望に応えることは困難です。IT 負荷に対する柔軟性と整合性を持たせると同時に、効率を最大にし、電源、空調、スペースを有効利用できる指定方法の改善が必要なのです。

電力密度仕様決定の要件

今までの記述で、改良された電力密度仕様決定方法に対するいくつかの要件が提示されました。それらを以下にまとめます。

- **予測性**

導入予定の IT 機器または実際に導入されている IT 機器が収納されるラックに対しても電源と空調の容量を設定する必要があります。

- **部分的な要件の許容**

各ラックに対する正確な電力を事前に把握していなくても電力密度仕様を決定する必要があります。データセンタの耐用年数から見れば、それぞれの IT 機器はその中のわずかな期間のみ使用されるだけで、新規の機器や異なる機器に随時入れ換えられるためです。

- **電力と空調の有効利用**

あるラックで使用していない余剰電力や空調を他のラックで利用できることが必要です。

- **損失の抑制**

電力の無駄を最小限に抑えなければなりません。そのためには使用可能な電源・空調・スペースを活用し、初期投資と運用日を最小限にします。

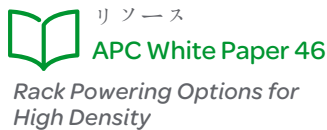
- **段階別導入のサポート**

段階に分けた導入をサポートする必要があります。これには異なる電力密度の機器の導入や、現時点では予測不可能な将来の導入計画を含みます。

以上の要件には互いに矛盾しているものもありますが、電力密度仕様決定方法を改善するための基盤となります。

実的な制約とオプション

電力密度仕様決定の実用的な方法は、データセンタの設計における実的な制約とオプションを認識していなければなりません。以下に、それらの制約とオプション、電力密度仕様決定への影響について説明します。



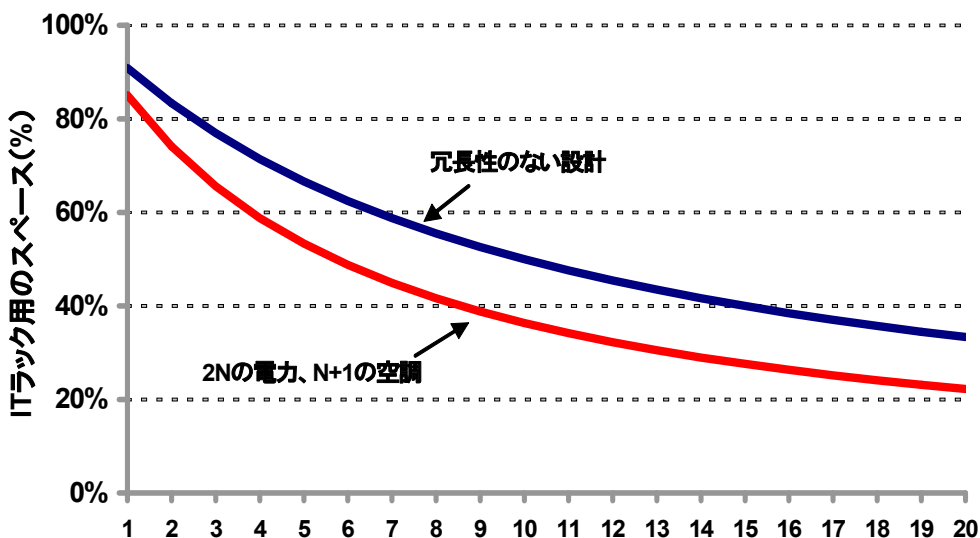
- **電源供給の増加:** 電源供給にかかる経費とその複雑さは、電力の量に対して一律な関係ではありません。たとえば、6kWの単相電源を3つ組み合わせると18kWの三相電源になる訳ではありません。回路ブレーカとコンセントの適合や回路ブレーカの保護協調など、AC電源供給の最適化には多くの条件があります。これらの問題や電源回路の最適化は、APCホワイトペーパー29 *Rack Powering Options for High Density* (URL: <http://www.apc.com/>) で解説されています。電源供給に関する仕様は、これらの最適化された回路のサイズ(地理的要因によって異なる)を踏まえて行います。
- **冷気の供給の限界:** データセンタ内の冷気の供給はラックの電力密度仕様を制限する主要因子です。IT機器は、1kWにつき1秒間に47.2リットルから75.5リットルの空気が必要とします。多くのデータセンタには既存のフリーアクセスフロアがありますが、天井までの高さが足りない場合はフリーアクセスフロアの高さも制限されます。フリーアクセスフロアが送風システムの一部となっている所では、床下を通る空気量が限られ、ラック電力密度の平均値とピーク値にも限度があります。これにより、既存の設備の多くは実質的な平均電力密度をラック1本あたり約5kWに設定しています。この電力密度を超えると、補完的空調や分配機器の導入が必要になります。結果として、電力密度の重要性以上に経費が急速に上昇します。そうなる前に、適切な電力密度仕様の決定を行って問題を解消します。
- **床荷重:** サーバルームやデータセンタによっては床に荷重制限があります。特に既存のフリーアクセスフロアがそれに該当します。電力密度の高いIT機器ほど重量が増します。これが高密度機器の導入を実質的に妨げる原因になる場合もあります。電力密度の仕様の決定をする際には、施設の床の荷重制限を超えないように注意します。
- **予備の床面積:** 多くのサーバールームやデータセンタには、テープの保管、作業員の仕事場、特別なアクセスエリアなど、その他の作業のために確保されているスペースがあります。電力密度仕様決定モデルにはこのようなスペースが含まれていなければなりません。通常、このスペースを高密度電力や空調に関連する作業を行うために使用することは困難です。
- **負荷の分散性:** データセンタ内でIT機器を物理的に分散することは、光ファイバ配線が広く使用されるようになった今日のIT機器ならではの現実的なオプションです。許容電力密度限界まで機器を導入することは決して推奨されることではないため、ブレードサーバや1Uサーバなどの高密度のIT機器は、密度を下げるために複数のラックに分けて格納します。ブレードサーバや1Uサーバをラックに詰め込むとスペースの有効利用をしているように見えますが、多くの場合それは錯覚であり、高密度の電源と空調をラックに供給するためにかかる費用の方がラックの増設にかかる費用を大幅に上回ります。つまり、密度モデルは単に機器の容量を基準に密度値を指定するのではなく、負荷の分散を考慮し、経費とシステム全体の可用性の最適化を図るべきです。
- **特定サイトにおける実際のスペースの制約:** 実際の物理的なスペースの制約は、高密度化の実施に大きく影響します。低密度用に設計された多くの既存の施設が、高密度機器を導入することによってスペースを有効に使用できるようになると考えられますが、IT

機器用スペースの縮小から得られる利点はそれほど大きなものではありません。しかしながら、施設によってはスペースの確保が非常に高額または不可能な場合もあります。電力密度仕様を決めるときには、スペースのコストとそれに付随する厳しい制約を考慮する必要があります。

電源と空調のインフラに占有されるスペース

IT機器用のスペースに電源と空調のインフラが設置されることがあります。電源と空調用の機器をIT機器用の部屋から隣接する部屋に移す場合もありますが、その設置場所に関わらず、電源と空調の機器用のスペースは目標密度に達するための有益な損失と考えられます。電源と空調のインフラが使用するスペースをラックの数で表すことができます。電源と空調の容量が増加するにしたがって、必要なスペースも拡大します。図1にその関係を示します。

図1
使用可能なITラックスペースの割合と平均ラック電力密度仕様値の推移



注意: この図の曲線は付録の計算式を使用して算出されました。

これは、ラック1本あたりの平均電力仕様（電力密度）が増加するに従ってIT機器用のスペースが減少することを明らかに示しています。横軸は室内のラック1本あたりの仕様平均電力密度です。縦軸はラックを配置できる室内スペースの割合です。電力密度が増加すると、UPS（無停電電源装置）・分電盤・コンピュータ室用の空調設備など、電源と空調のインフラにスペースを占有されていきます。図1の下方の曲線は、二系統給電（2N）の電源と冗長性（N+1）のあるコンピュータ室用の空調設備を備えたシステムです。これは高い電力密度の機器に対する典型的な設計です。現在の一般的なデータセンタはラック1本あたり1.5kWで稼働し、約15%のスペースを電源と空調のインフラ用に割いています。電力密度指定が増加すると、ラックを配置できるスペースが大幅に減少します。ラック1本あたりの仕様平均電力が7kWを超えると、50%以上のスペースが電源と空調用の機器に占有されます。実際の密度が密度仕様を大きく下回ったとしても、電源と空調用の機器に使用されるスペースには変わりありません。これにより、高密度の設計に関して次の原則が導き出されます。**必要以上に高い電力密度仕様にすると、IT機器用のスペースを無意味に縮小することになります。**これは経費や稼働費の増加の一因ともなる非常に深刻な問題です。この問題を解消するには、効果的に電力密度を計画することと、可能な範囲において高密度の電源と空調のシステムを必要分だけ設置することがきわめて重要です。

スペースを電力密度ごとにエリアを設定

上記の要件は、データセンタ内で局所別に異なる電力密度を設定する必要性を明示しています。これには段階別の導入が不可欠で、それぞれの段階で導入する電力密度が異なります。代替方法として、データセンタ全体に将来的な予測を含めた最大限の負荷の仕様を適用することでも

きますが、初期投資や運用費がおよそ3倍から8倍まで不必要に増加し、効率も大幅に低下することから、実用的な方法ではありません。

一段階のみの導入の場合でも、データセンタを電力密度ごとにエリア設定すると、大きな利点が得られます。たとえば、ブレードサーバとストレージでは電力密度にはかなりの差があります。サーバとストレージを分けて配置すると、データセンタの全電力負荷量は変わらなくても、それぞれの電力密度仕様に適合したゾーンの設計に役立ちます。サーバ用とストレージ用のラックが混在し、その場所が把握されていない場合、電源と空調の分配システムはどのラックにも最大限の電力密度を供給しなければなりません。しかし、ストレージ用の低密度ゾーンが分かっている場合は、その部分への供給を減らすことができます。初期投資と運用費が削減され、効率が向上するという利点があります。

データセンタ内の電力密度エリアは、図面上で境界を定め、ラックをそれぞれのゾーンに移動します。このとき、無作為に設定するのではなく、サイズに関わりなく隣接するラック群を一列とする列単位でエリアを設定することを推奨します。電力密度エリアの境界を定めるときに列を推奨単位とする理由は以下の通りです。

- 多くのラック電源供給構造は列を基準としている
- 多くのラック冷気供給構造は列を基準としている

これは、列での分割が密度要件を定義する際に最も費用効率が良く、追加導入にも望ましい単位であることを意味します。以下の項で列について説明します。

導入戦略

電力密度仕様の要件には、今後のIT負荷の変動と段階別の導入が考慮されていなければなりません。電源と空調のインフラの変更の有無とその変更内容によって、いくつかの条件が加えられます。

IT負荷の変化に応じて既存の電源供給や冷気供給用の機器を取り換える方法は合理的ではありません。これらのシステムへの変更は作動中の電気回路や配管の工事などを含み、一部のラックまたはデータセンタ全体のダウンタイムになることがあります。よく言われることですが、人為的エラーはデータセンタのダウンタイムの主要な原因であり、ダウンタイムは稼働機器の変更中に発生することが多いのです。このため、列またはゾーンの電源と空調用の機器は、その列またはゾーンの稼働耐用期間を通じて、導入時のまま変更しないでおくのが最も良い方法です。

以下に、導入戦略をまとめました。

- 標準の通路幅を使った図面でラック列のレイアウトをする。
- 列の電力密度仕様を決め、その電力密度仕様をサポートするように列全体を構築する。
- 電力密度仕様内の機器を未使用の列に配置する。
- 電力密度仕様を大幅に超える機器を導入する場合は、列の電源と空調のシステムを機器に合わせて変更するのではなく、高密度用の新しい例を構築する。
- ある程度の期間が過ぎたら、機器で適度に埋められた列を解体し、その時点で適切と思われる電力密度仕様で再構築する。

稼働列での作業中に発生する人為的エラーが最小限に抑えられ、実用的かつ効果的で、列への電源と空調の供給を導入後に変更する必要がないことから、この方法は最適なものといえます。

市場にはダウンタイムの危険を冒さずに電源と空調の構造を再構成できる製品も販売されています。たとえば、APC InfraStruXure システムでは以下の変更が可能です。

- 運転中もプラグの抜き差しが可能なモジュールを追加して、UPSの出力を増加
- 運転中も取り替え可能なラックマウントPDUを介して、ラック内のコンセントの種類と容量を変更
- ラックマウント型の空調装置を追加して、冷気供給容量を増加

この種類の機器を使用すると、導入後もある程度の柔軟性を確保できます。列を導入するほどの規模でない部分的な増築の場合、特に役立ちます。

列またはゾーン内のピーク電力密度と平均電力密度

すべてのラックの電力負荷がまったく同量であるならば電力密度仕様の決定は簡単ですが、前述したように、そのような状況は現実にはあり得ません。実際、ラックの電力密度は0kW（パッチパネル）から30kW（高密度のブレードサーバ）までさまざまです。この差異を利用して、効率的な電力密度仕様を決めることができます。

ラック1本あたりの電力が一定でない列またはゾーンでも、平均ラック電力はピーク時のラック電力よりも低くなります。列内の**実際の**ピーク対平均のラック電力比は常に1以上です。ラック1本あたりの電力消費量が一定でない列に電力密度の仕様を決める方法を考えてみましょう。

列内のすべてのラックをピーク時に合わせる。1つの方法として、列内のすべてのラックに予測される最大ピーク時のラック電力に対応できるように電源と空調の仕様を決めます。この場合、すべてのラックが最大電力を消費すると仮定して、電源と空調の総容量を決定します。電源と空調の容量は非常に大きくなり、初期投資や運用費の増加と効率の低下に結びつきます。ラック1本あたりのピーク対平均の電力消費比率が1の場合は良いのですが、比率が1.5以上になると無視できなくなります。さらにピーク時のラック電力となる負荷が分散されてラック1本あたりの電力のピーク対平均の比率を下げるがありますが、最大電力はこれを計算に入れていません。一般的に、列全体の密度をピーク時のラック電力に合わせて指定する方法は、ラック電力のピーク対平均比率が1に近い値でない限り次善の策です。典型的な導入では比率が1になることはほぼありません。

列内のすべてのラックを平均時に合わせる。すべてのラックを平均電力密度に合わせて仕様を決める方法もあります。上記の方法と同様に完全な方法ではありませんが、その理由は異なります。この方法では、ラックの負荷が平均値を超えそうになると、機器をはずして負荷を平均以下に抑えなければなりません。そのうえ、別の重大な制約がもう1つあります。実際の密度が密度仕様以下のラックには未使用の電源と空調の容量がありますが、それを他のラックに振り分けることができません。なぜなら、各ラックに供給される電源と空調の量は平均値を上限として設計されているからです。一例を挙げてみましょう。IT管理者がラック1本あたり2kWに設定されている列に4kWのブレードシャーシを導入しようとしています。未使用のラックがあるとして、そのラックからブレードシャーシに2kWの電力を流用すれば実現可能だと考えられるでしょう。しかしながら、4kWの負荷に対する空調が問題となります。空調システムは2kW以上のラックに対処するように設計されていません。また、電力を譲渡したラックは使用不可能のまま残されることとなります。

これらの例と要件を比較すると、効果的な電力密度仕様決定の重要な要素は、列のピーク対平均のラック電力比であるということがわかります。適切なピーク対平均のラック電力比の選択方法は、実際のラックで予測される差異によって変わります。典型的なデータセンタ設計の制約と前提条件の関係を図2に示します。

図 2
ラックの密度差によって異なる、電源と空調の TCO とピーク対平均のラック密度比

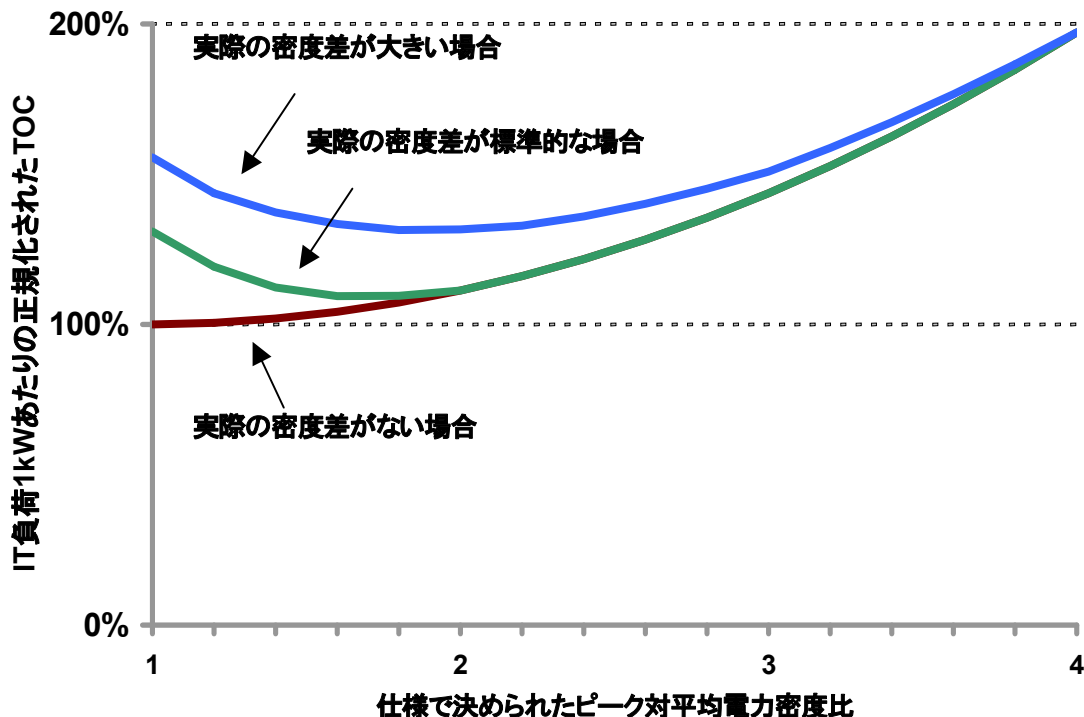


図 2 は、導入済みの IT 機器が使用する 1kW あたりの電源と空調のインフラに関連して、ピーク対平均のラック密度仕様が正規化された TCO 経費¹にどのように影響するかを、3 種類の実際のラック電力差異で示しています。このデータでは、すべてのラックの電力消費が同じ場合、ピーク対平均のラック密度比が 1 のとき、TCO が最適化（最小）されます。なぜなら、ピーク電力密度容量を追加するとその分の電源と空調の費用が必要になりますが、すべてのラックが同量の電力を消費しているのであれば、結果は変わらないからです。しかしながら、実際に導入されているラックの電力差異が増加しているのに、ピーク対平均の仕様が変わらないということは大きな問題です。これは、使用不可能な電源と空調の余剰容量と、IT 機器用の設置スペースの不足が原因です。結論として、ピーク対平均のラック密度比が 1 以上のとき、現実の導入でも TCO を最適化できます。

次は、効果的な密度仕様のもう 1 つの重要な要素です。典型的な設計では、列内のピーク対平均のラック電力密度比は 2 になります。列内の予測される実際のピーク対平均のラック密度差異が 2 以上の場合、最も密度の高い IT 負荷を複数のラックに分散してピーク対平均の比率を下げるか、他の列への負荷を隔離することを推奨します。

ルール付きの電力密度仕様

列またはゾーンの平均とピーク時のラック電力密度仕様が決まっていれば、その仕様に合うように設計できます。ピーク時のラック電力が平均値に近ければ容易ですが、列内のラック電力のピーク対平均の比率が 1.5 以上の場合、設計が難しくなり、費用も増加します。平均の電力値を超えない限りどのラックもピーク時のラック電力で稼働させられるという考えは、フリーアクセスフロアで通風するシステムの場合、重大な制約となります。しかしながら、電力密度

¹ TCO 経費には電力と空調機器への投資とその 10 年分の修理、設置スペース、電気代が含まれます。設計や利用方法によって異なりますが、ラック 1 本あたり 5 万ドル(約 5,500,000 円)から 9 万ドル(約 9,900,000 円)になります。UPS や冷却機にかかる経費はピーク対平均比には影響しません。TCO の差は電力と空調の分配システムによって変わります。

仕様の範囲内でルールに従って導入されている場合、全体の平均とピーク時の電力密度を増加することができます。

ルール付きの仕様とそれによって解決する問題を説明するための一例を挙げます。既存のフリーアクセスフロア空調システムにラック電力密度のピーク対平均比率が2の列を導入するとします。電力システムの視点から見ると、各ラックにはピーク時のラック電力密度に対処できる電源供給が必要ですが、実際には平均ラック電力密度にITラック本数を掛けた定格量のPDUまたはUPSによって電力が供給されています。空調の視点から見ると、各ラックに必要な平均ラック電力密度の2倍の送風システムが整っているとはいえません。平均以上の密度で稼働しているラックは、平均以下の密度で稼働している隣接ラックからその未使用量を借用しなければなりません。つまり、冷気供給量に限界があるフリーアクセスフロアの場合、列内の高密度ラックを互いに離して配置して、送風システムの部分的な過負荷を解消します。列内の高密度ラックの位置に関するルールを決めておくと、システムの制約内でもより高いピーク時と平均時の電力密度を達成できます。

単純なルールの例として、あるラックは、隣接するラックの平均消費電力量が平均以下場合に、その差異の分だけ平均電力定格を超過してもよい、というものがあります。より複雑なルールを用いて、既存の設備の予測電力密度を最大限に引き上げることでもできます。これらのルールを電源と空調の管理システムに適用します。

将来的な拡張を視野に入れた電力密度仕様オプション

多くのデータセンタは一度で完全に構築されるわけではなく、時間をかけて徐々に発展、拡張されます。この場合、まだ計画されていない列やゾーンにまで電力密度仕様を決めるのは実用的でないことがあります。有用な電力密度仕様とは、予測し難い要件にも適合し、将来的な電力密度オプションをできるだけ確保できる方法のことで、理想的には、電源と空調のインフラの導入に関する出費や契約はできるだけ延期し、拡張が必要になったときにすでに稼働しているIT機器の可用性を損なわない方法で導入します。

電力密度を仮定し、それをサポートするようにすべての電源と空調のインフラを先に構築する方法が一般的に採用されています。こうすると、将来IT機器を導入するときに、稼働中のデータセンタで大きな設備工事を行う必要がないという利点が得られます。しかしながら、この方法には多くの欠点もあります。

- 将来のIT密度が電源と空調のインフラの密度より高い場合、効果的な導入ができなくなります。
- 将来のIT密度が電源と空調のインフラの密度より低い場合、インフラへの投資の大部分が無駄になります。
- 企業の制約やビジネス上の理由で、設備が拡張されなかった場合や他の場所で拡張することになった場合、インフラへの投資の大部分が無駄になります。
- 将来のデータセンタの負荷が電源と空調のインフラの定格よりも大幅に低い場合、効率の悪化と不必要な電気代を支払うことになります。
- 現時点では使用しない電源と空調のインフラを構築することにより、不必要な機器への投資と管理契約費用が高みます。

効果的に電力密度仕様を決めるモデルならば、これらの問題を回避できます。このモデルはモジュール式で拡張可能な電源と空調のインフラを使って設計します。列やゾーンの電源や空調など主要なユーティリティ設備を先に工事し、UPSシステム、分電盤、ラック、列内の電源供給、空調、冷気供給機器などの高額な電源と空調のインフラの設置は延期します。ゾーンや列がサポートする密度の仕様は導入時まで決定せず、電源と空調のインフラは列ごとに導入します。APC InfraStruXureシステムをこの構造に役立てることもできます。

これは電力密度仕様決定方法のもう1つの重要な要素につながります。データセンタ内の将来のために確保されている列やゾーンには、最大電力密度値を想定し、それをサポートできる主要な配線や配管を事前に施工しておきます。しかし、列に使用する実際の電源と空調用の機器

の選択は導入密度や計画が決定するまで延期します。この方法ならば、電源と空調のインフラの主要経費と実際の用途が一致し、必要に応じた導入が行えます。初期投資や運用費を大きく削減し、結果として効率の良いデータセンタを構築できます。

モデル

前述の要件に適合し、さまざまな実際の制約を内包したモデルを作成します。

モデルに含まれる重要な要素は以下の通りです。

- ラックの列を基準に作成されたデータセンタの物理的なレイアウト
- 各列に対する表2のデータ

表2

列レベルに必要なデータ

データ	単位	説明	主な用途
ラックの数	本	列内のラックの本数 構造によっては電力や空調機器に占有される可能性のある場所もすべて含む	列に対する電源と空調の全体的な必要条件の確定
列のラック平均値	ラック1本あたりの電力 (kW)	列内のITラックが消費する、ラック1本あたりの平均電力密度 室内の各列でそれぞれ算出する	列に対する電力と送風の必要量の測定
列のラックピーク値	ラック1本あたりの電力 (kW)	列内のラックが消費する、ラック1本あたりのピーク電力密度 室内の各列でそれぞれ算出する	ラックに対する電力と空調のシステム的设计

- 将来導入される列には、ラック電力の平均とピークに現実的な最大値を指定します。これらの値は導入前に削減できますが、その場合は事前に設置した配線や配管が大きいという欠点が生じます。
- 上記の情報を使用して、表3のデータを計算します。

表3

密度データの計算

データ	単位	説明	主な用途
使用可能なITラックの合計	本	設計上で使用可能なITラックの本数、電力と空調のインフラ用に占有される可能性のある場所も含む	設計上必要な、使用可能なITラックスペースの総数の測定
初期の総電力容量	kW	将来的な導入を除外したIT室用の電力と空調の容量	すぐに必要となる電力と空調のインフラにかかる投資額の算出
最終的な総電力容量	kW	部屋に必要な電力と空調の容量の上限	電力の配電盤、配線、空調用の配管など、主要ユーティリティ設備インフラのサイズの決定
ピーク時の電力密度	ラック1本あたりの電力 (kW)	列内で最も高い電力密度	送風構造の設計
データセンタの平均電力密度	ラック1本あたりの電力 (kW)	データセンタの概括電力密度	1平方メートルあたりのワット数など、他の単位への変換が可能 変換する場合は表1から任意の定義を選択

この方法で電力密度を定義する際の最も複雑な問題は、電源と空調のインフラに使用されるラックの位置、つまりIT機器が搭載できないラックを決定することです。密度の見積もりを行うとき、15kWのIT負荷ごとに1ラック分の電源と空調のインフラ設備を設けると、無理のない配分になります。このガイドラインは平均の電源と空調の要件を基準にしています。周囲のスペースを含み、既存の1Nや2Nデータセンタで使用されています。正確な値は、選択した電源と空調の構造や室内の制約、システム供給者の方針によって異なります。たとえば、APC InfraStruXureデータセンタシステムの場合、APCはCADツールを使い、各部屋の設計に合わせた計算をします。

実用的なガイドライン

電力密度指定モデルについて前述しましたが、それだけで最適な部屋の設計が出来上がるというわけではありません。部屋のレイアウトや使用する部屋自体の選択、密度容量に関する見積もりなどがすべて最終的な導入結果に影響します。しかしながら電力密度指定モデルの使用には以下の利点があります。

- 一般的に使用されている他の仕様決定方法に比べ、より完全で正確なデータセンタの電力密度情報を提供できます。
- 仕様に従って構築されたデータセンタの性能は予測しやすくなります。
- モデルが具体的であれば、初期投資や運用費などの見積もりを素早く作成できます。設計サイクルを促進し、代替分析も可能になります。
- モジュール式で拡張可能なデータセンタ導入システムをサポートします。TCOが大幅に削減され、効率が向上します。

以下は前述の電力密度指定方法の実用的な用途です。

- データセンタの代替サイトや部屋にかかるTCOを比較します。
- 計画中または既存のデータセンタで電力密度の増加に伴う経費の見積もりを行います。
- 電力密度予測を明確に示した分かりやすい仕様書を提供します。ITユーザ、データセンタの作業員、データセンタのシステム供給者の全員が同じように理解することができます。

この電力密度仕様決定方法をCADツールで実行すると、設計や指定の手順が自動化され簡単になります。

データセンタ仕様の例

次の例で、モデルを使用して実際のデータセンタの仕様を決める方法を説明します。サーバを統合するための部屋があります。現在は置いてありませんが、すべてのUPS、配電、空調システムは室内に配置されることになります。高さが足りないのでフリーアクセスフロアはなく、増設することもできません。ブレードサーバ、ラックマウント型のサーバ、ストレージ、ネットワーク機器など、多種のネットワーク機器が導入されます。ブレードサーバは分散せず、まとめて配置されます。現在の要件では、室内の半分のスペースのみを占めると予測されています。残りのスペースは、現在の導入よりも20%密度の高いラック用に確保しておきます。ラック1本あたり25kWの電力を使用するとされる次世代のブレードサーバを少なくともラック3本分をサポートするためです。可用性要件として、電源と空調のシステムには冗長性がありません。

表3に部屋の略図と合計41本のラックを配置するレイアウトの案を示します。列1~3はすぐに導入され、列4~7は後から導入されます。現在の導入計画を検討してみると、列に同程度

の電力の機器を配置してピーク対平均の比率を下げることができます。また、条件の通り、ブレードサーバはまとめて列2に収納します。列1、2、3の列レベルの仕様を表4に示します。

図 3

データセンタの図面とラック
レイアウトの案

Define Area ? (tutorial)

Area width (feet)

Area length (feet)

Area size (sq feet)

Aisle setup ?

Hot aisle/Cold aisle

Racks facing same directions

First aisle is Hot Cold

Aisle width ?

Hot aisle (feet)

Cold aisle (feet)

Area Positions ?

Available positions:

Required positions:

Options ?

Zoom

Legend: G - Gap B - Block □ - Available position

Copyright © American Power Conversion

表 4

データセンタの列密度のデータ

データ	単位	列1	列2	列3	列4	列5	列6	列7	総合
ラックの数	本	7	7	7	5	5	5	5	41
列内のラック 平均値	ラック1本あたりの電力 (kW)	2	5	3	4	4	4	4	3.7
列内のラック ピーク値	ラック1本あたりの電力 (kW)	4	15	6	15	15	15	15	15

この情報から、最初の導入の平均電力密度はラック1本あたり $(2 \times 7 + 5 \times 7 + 3 \times 7) \div 21 = 3.3 \text{ kW}$ と計算できます。20%高い密度の列（詳細は未定）を追加すると、データセンタの総合平均密度はラック1本あたり $(2 \times 7 + 5 \times 7 + 3 \times 7 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5) \div 41 = 3.7 \text{ kW}$ になります。将来用の未定義の列に対してピーク密度の上限を15kWと指定しておく、後日それらの列の設計を変更する場合も十分な柔軟性があります。表4には列4~7の指定も加えてあります。将来使用する列に高いピーク値を指定すると、主要な電源と空調の供給量がそれに応じて変わります。

表1を使用すると、平均ラック密度が3.7kWのとき、電源と空調用の機器に占有されるスペースは30%です。これはラック13本分に相当します（30% x ラック41本）。これにより、使用可能なITラックの総数は70%、つまり28本になります。

このサーバ統合プロジェクトの電力密度仕様には、表4に加え、表5の数値も必要です。

表 5

データセンタの部屋レベルのデータ

データ	数値	単位	コメント
使用可能なITラックの合計	28	本	データセンタの一部は電源と空調用の機器に占有されています。
初期の総電力容量	47	kW	少なくとも47kWの電源と空調用の機器が初期に導入されなければなりません。列1、2、3の密度を基準にして表1を使用すると、設置可能なITラックの本数はそれぞれ6、4、5となります（ $6 \times 2 \text{ kW} + 4 \times 5 \text{ kW} + 5 \times 3 \text{ kW} = 47 \text{ kW}$ ）。
最終的な総電力容量	104	kW	残りの電源と空調機器（約60kW）は、他の列の導入が始まるまで必要ありません（ITラック28本 x ラック1本あたり3.7kW = 104kW）。
ピーク時の電力密度	15	ラック1本あたりの電力 (kW)	高密度での空調は、選択の幅を狭くして経費を増加させます。ピーク時の負荷を分散することをまず試してから、この電力密度に対応する計画を始めます。
データセンタの平均電力密度	3.7	ラック1本あたりの電力 (kW)	このデータセンタの電力密度は既存データセンタの平均電力密度の2倍以上です。この電力密度に達しているデータセンタは全体の2%以下です。

ここから設計を開始します。次の手順として、機器の種類やシステム設計を基に、電源と空調用の機器の実際の配置を決めます。特定の機器の複雑な計算モデルに最適化のためのルールや顧客の要望などを交えて進めていきます。電源と空調用の機器の製造業者によって手順が異なるので、ここではこれ以上の説明は省略します。理想は、最初の導入に必要な電源と空調用の機器のみを含みながら、将来の導入計画をも見越した設計です。これにより今後の電源と空調用の機器の導入が容易になります。この例として、最初の導入期に将来配置されるラックのための主要な電気配線と空調配管も設置しておくという設計が挙げられます。将来配置される列のラック密度にも現在の平均とピーク値の仕様を決めていますが、これらの値は導入前ならいつでも変更可能です。ただし、全領域の電力合計が現時点で計画している値を超過しないように注意します。

結論

データセンタの電力密度の仕様を決める従来の方法は、不完全であり、あいまいな部分があります。これらの古い方法では、高い電力密度を持つ最新世代のIT機器に対応したデータセンタの電源と空調を予測し、それを確保するための設計の指針を提供できません。

このホワイトペーパーでは電力密度仕様の要件を解説し、新しい電力密度仕様決定方法を紹介しました。この方法で作る仕様書で、IT担当者と施設設計者との間で明確に要件を理解しあうことができ、予測可能で費用効率と効率の良いデータセンタを構築することができます。



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。



高密度にサーバを搭載するラックおよびブレードサーバの電力供給と冷却の対策

APC White Paper 46



Rack Powering Options for High Density

APC White Paper 29



すべてのホワイトペーパーを閲覧する

whitepapers.apc.com



すべての **APC TradeOff Tools** を閲覧する

tools.apc.com



お問い合わせ

このホワイトペーパーに関するご意見やお問い合わせに関して

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

計画中のデータセンタープロジェクトに関する具体的なお質問がありましたら
シユナイダ-エレクトリックグループ A P C までお問い合わせください

付録

電源と空調用の機器とデータセンタに設置可能なラックスペースの割合の算出

図1のグラフは、空調機器の容量に対する電力と負荷電力との関係から導き出されています。

PI = IT機器の電力

PN = 電源と空調用の機器の容量

DI = IT機器の密度、ラック1本あたりの電力 (kW)

DN = 電源と空調用の機器の密度、ラック1本あたりの電力

RN = 電源と空調用の機器が使用している面積、ラック数で換算

RI = IT機器が使用しているラック数

RT = 全ラック数

$$P_N = P_I$$

$$R_N D_N = R_I D_I$$

$$R_N = \frac{R_I D_I}{D_N}$$

しかしながら、 $R_N = R_T - R_I$

結果として、 $R_T - R_I = \frac{R_I D_I}{D_N}$ $R_T = R_I \left(1 + \frac{D_I}{D_N} \right)$

$$\frac{R_I}{R_T} = \frac{1}{\left(1 + \frac{D_I}{D_N} \right)}$$

この最後の計算式が図1の関数を生成しました。DNの値は使用されている電源と空調用の機器や冗長性の設定によって異なります。