

高密度配電を適用した データセンタの効率向上

ニール ラスムセン

White Paper #128

APC[®]
Legendary Reliability[®]

要約

高密度サーバ環境における新しい配電方法は、フロアの省スペース化、電源ケーブルの簡略化、初期投資コストの削減、重量の軽減、省エネルギー化をもたらします。本書では、このような新しい配電方法を説明し、そのメリットを定量的に分析します。

注：本書で説明する方法は北米地域のみ適用され、北米地域に固有の問題に対処する場合に限り有効です。

はじめに

北米地域の大規模なデータセンタで使用される標準的な配電システムは、277V/480Vの三相電力システムです。この電力システムは複数の分散型分電盤(PDU)に給電し、PDUでIT機器の120V/208Vの単相分岐回路に合わせて電圧変換が行われます。図1の単線結線図に、この配電システムを示します。

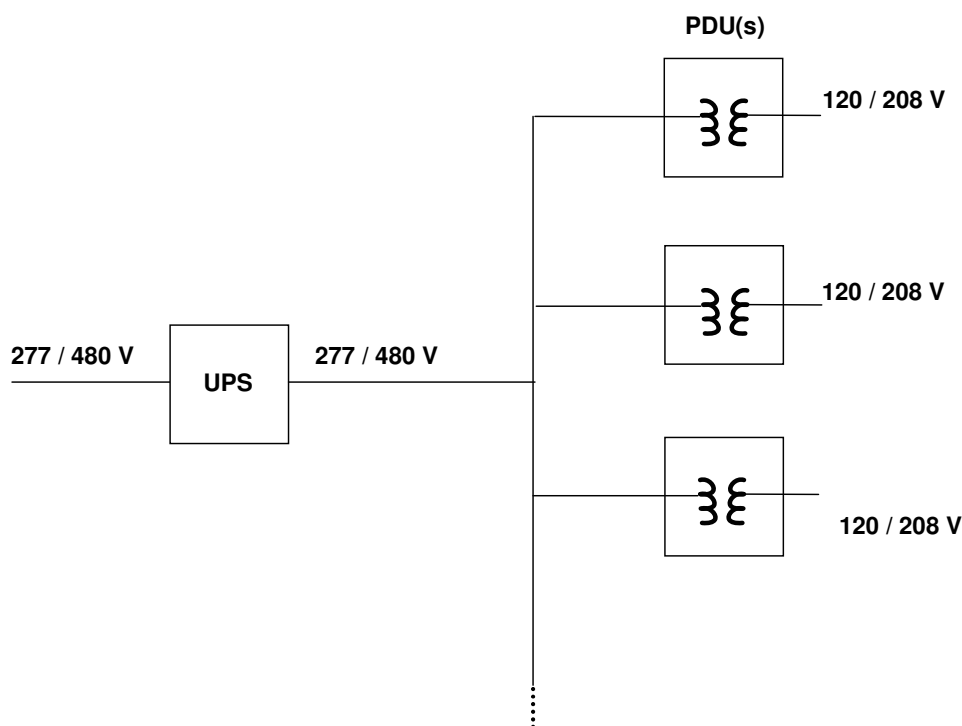


図1 - 北米地域のデータセンタで使用される標準的な配電システムを表す単線結線図

1ラックあたり10 kWから40 kWの電力を必要とする高密度サーバ環境では、上記の標準的な配電システムに極めて大きな負荷がかかります。このようにラックの電力密度が増大すると、次のような状況が発生します。

- それぞれ個別のブレーカとケーブルを持つ複数の分岐回路が1つのラックに必要となる。
- PDUが床面積の最大30%を占めるようになる。
- PDUが床荷重の最大30%を占めるようになる。
- 1本のITラックに必要なPDUの台数が増えるため、初期投資コストの増加につながる。

ただし、これらの問題は北米に固有のもので、ヨーロッパと世界の他の地域では、より単純で効率的な配電システムが使用されています。本書では、北米以外の世界の各地域で使用されている配電システムを北米のデータセンタに適用するほうが実用的であり、コストの削減、重量の軽減、省スペース化、電力効率の向上などに効果的であることを示します。

従来は多くのIT機器が120Vで動作していたため、代替の高圧配電システムの検討は実用的ではありませんでした。しかしながら、最近の高密度データセンタでは、ほとんどのラックベース機器が208V(北米以外の地域では230V)で動作します。標準120Vで動作する機器であっても、より高い電圧で動作させることが可能です。

現在製造されているほとんどのIT機器は世界中で動作可能な互換性を前提として設計されています。したがって、そのような機器は北米の120/208 V系統、日本の100/200 V系統、世界の他の地域の230 V系統で動作します。

北米向けの代替配電システム

本書で提案・説明する代替配電システムは、世界の他の地域で使用されている配電システムを北米に適用したものです。図2の単線結線図に、この代替の配電システムを示します。

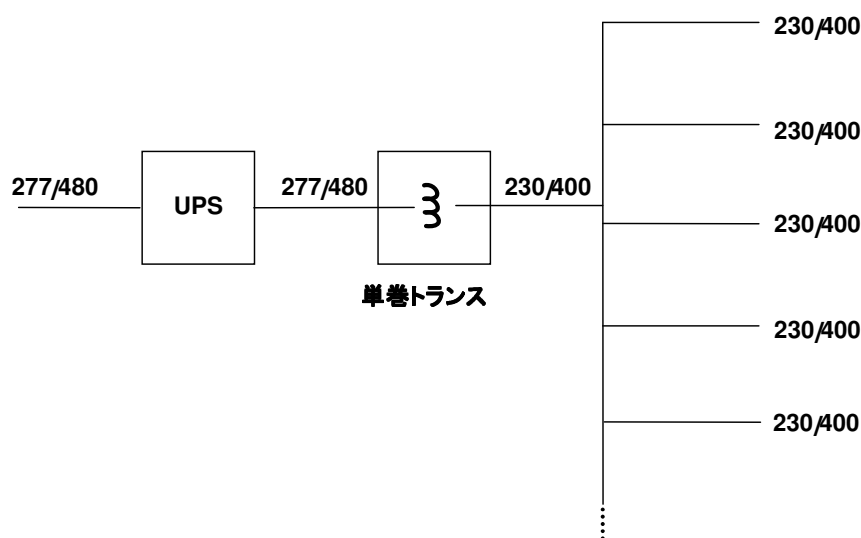


図2 - 北米地域データセンタ向けの代替配電システムを示す単線結線図

この図と前述の図1には以下のような若干の違いがあります。

- 三相分岐回路の配電が208 V (線間電圧)ではなく230 V (相電圧)
- PDU変圧器が不要
- UPSの出力部で277/480 Vを230/400 Vに変換する変圧器を使用

これらの項目について以下の節で詳しく説明します。

三相分配回路電圧が208 V (線間電圧)に代わり230 V (相電圧)

本書で提案する配電方式は些細な変更と思われるかもしれませんが、実際には従来の配電システムに大きな影響を与えます。最初に、北米における一般的な三相分配回路の電圧は120/208 Vであるのに対して、世界の他の地域では230/400 Vが使用されています(図3参照)。

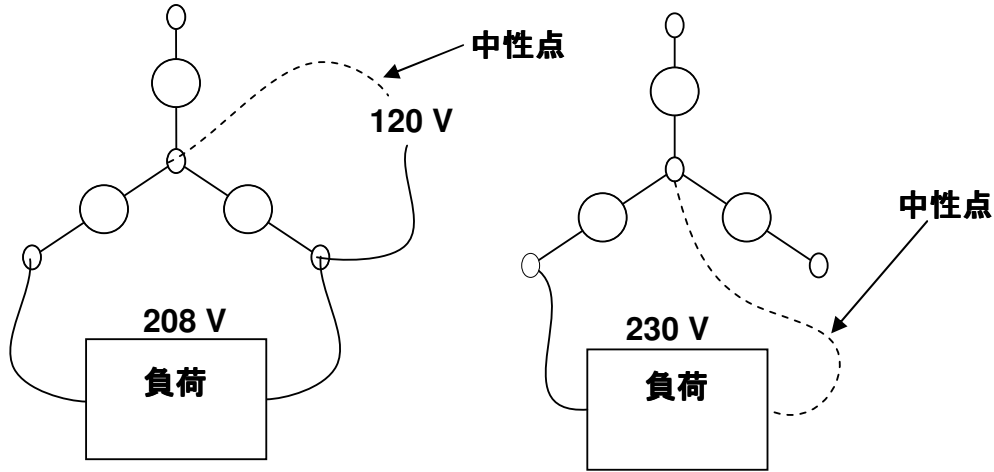


図3 - 三相配電(208Vと230V)の違いを示す図

北米では208 Vの高い電圧(線間電圧)接続を通じてサーバに給電されるのに対して、世界の他の地域では230 Vの低い電圧(相電圧)接続を通じてサーバに給電されます。これら2つの配電方式の“相電圧”(相-中性点間)電圧を比較するときには、208 Vと230 Vではなく120 Vと230 Vを比較する必要があることに留意しなければなりません。“相電圧”(相-中性点間)方式と“線間電圧”(相間)方式の違いは、三相配電回路の電力容量を計算すると明確になります。たとえば、これら2つの配電方式のいずれかで20アンペア回路が機器に接続されていると想定します。120 V “相電圧”配電方式の電力容量は「 $20 \text{アンペア} \times 120 \text{V} \times 3 = 7.2 \text{ kW}$ 」と計算され、230 V “相電圧”配電方式の電力容量は「 $20 \text{アンペア} \times 230 \text{V} \times 3 = 13.8 \text{ kW}$ 」と計算されます。回路の定格電流が同じであると仮定すると、230 V配電方式では120 V配電方式よりも92%多い電力が供給されます。そのため、120/208 V配電方式の場合と異なり、回路ブレーカを追加しなくても1ラックあたりの電力密度容量を高めることができます。ブレーカを追加すると障害発生の可能性のあるポイントが増えるため、データセンタの信頼性が低下します。

次に、配電回路の電力容量が不変であると仮定して、上記と同じ比較を行ってみます。たとえば、2つの配電方式のいずれかで10 kWの容量をIT機器に供給できると想定します。120 V “相電圧”配電方式の電力容量は「 $27.7 \text{アンペア} \times 120 \text{V} \times 3 = 10 \text{ kW}$ 」と計算され、230 V “相電圧”配電方式の電力容量は「 $14.5 \text{アンペア} \times 230 \text{V} \times 3 = 10 \text{ kW}$ 」と計算されます。つまり、供給する電力が同じである場合、230 V / 400V配電方式では、120 V / 208V配電方式で必要とされる電流の約半分の電流で同じ電力を供給できます。このように必要電流が大きく異なるため、北米の配電回路の電線は世界の他の地域と比較して3倍のサイズと重量が必要になります。

PDU変圧器が不要

電線のコスト、サイズ、重量の節減よりもさらに重要なメリットは、変圧器を削減できる点です。**つまり、PDU変圧器が不要になります。**北米地域では、UPSの出力電圧 277/480 VをIT機器で利用可能な120/208 Vに降圧するためにPDU変圧器が必要です。世界の他の地域では、UPSの出力電圧 230/400 VをIT機器でそのまま利用できるため、新たな変圧器は不要です。

北米のデータセンタに30kWのラックを設置する場合、本来ならばラックに利用できるスペースの約20%がPDUによって占有されます。また、床にかかる重量の25%以上がPDUによるものです。1ラックあたり約2 kWで運用していた従来のデータセンタでは、これらの影響が比較的小さかったことに注目してください。**そのため、ラックの電力密度が増加するに伴って、新しい配電手法を採用するメリットが飛躍的に増大することになります。**

UPSの出力電圧を277/480 Vから230/400 Vに変換する変圧器

本書で提案する新しい配電方式では、UPSの出力電圧を277/480Vから230/400Vに変換する新たな変圧器を使用します。この変圧器はPDU変圧器の代わりのように見えますが、実際には次のような理由で、PDU変圧器よりも90%小型で低コストです。

- この変圧器は単巻変圧器として接続されるため、UPS定格容量の標準変圧器の20%以下の寸法・重量になります。
- 通常は全体としてUPS容量の1.5～3倍のサイズになるPDU変圧器とは異なり、単巻変圧器はUPS容量に合わせたサイズになります。

また、単巻変圧器はデータセンタのサーバ空間の外部(バックルームなど)にも設置できるため、データセンタの貴重な空間をさらに節約できます。

本書の説明に従って北米で新しい配電方式を採用するときは単巻変圧器を省略できる場合があるため、さらなる省スペース化が可能になります。新たに導入した機器は商用電源の400V入力に直結し、400V UPSを使用することにより、単巻変圧器は不要になります。この手法の短所は、北米ではさまざまな商用電力機器(ポンプ、発電機、遮断器など)を400V定格ではそのまま利用できないことです。したがって、現時点では本書で説明するように単巻変圧器を使用する手法を推奨します。

性能比較

本書で提案・説明する代替配電システムは、初期投資コスト、運用コスト、スペースの大幅な節減をもたらします。顧客の実際のデータセンタを使用して、従来および代替の配電システムの性能比較を実施しました。このデータセンタの面積は2,175平方フィート(約202平方メートル)で、モジュール式の冗長UPSを2台(それぞれ600 kWで動作)使用しています。合計104本のラックの電力密度範囲は、ラックあたり1.6～6.5 kWです。この性能比較の結果を表1に示します。

表1 - 代替配電システムの性能比較(北米の600 kW高密度データセンタで実施)

特性	標準 120/208 V システム	代替 230/400 V システム	説明
UPS動作電圧	480 V	480 V	同じUPSシステム
UPS出力変圧器	なし	204 kVA相当	システムの入力側と出力側に102 kVA単巻変圧器が必要
PDU変圧器	1.8 MW相当	なし	8台の225 kVA PDU変圧器(入力側と出力側に4台ずつ)。通常、UPS容量の1.6倍以上(最大3.5倍)の容量が必要。
PDU / RDP / 変圧器 のコスト	\$183,544	\$102,906	代替システムでは、標準システムのPDUの代わりに、単巻変圧器とラック型RDP(リモート分電盤)を使用して44%のコスト削減を図る。
PDU / RDP / 変圧器 の重量	9,435 kg	948 kg	2台の単巻変圧器および合計16台のRDPを使用して90%の重量削減を図る。
PDU / RDP / 変圧器 の設置面積	12.5 m ²	8.5 m ²	周辺領域も含めて32%の設置面積を削減。
銅線の重量	2,566 kg	1,225 kg	銅のみ。それぞれ電力密度範囲1.6~6.5 kWを持つ104本のラックを使用し、8台の225 kVA PDUまたは16台のRDPで電力を供給する場合の推定値。ホイップ長さの平均値は12.8メートル。ホイップの平均本数は、PDUあたり29本、RDPあたり15本。(52%の重量削減)
総配電損失	8,894 W	845 W	変圧器の冷却に必要な電力、および銅の電力損失を含む。(空調システムで1 kWの熱除去に必要なとされる500 Wの電力に基づく推定値)(90%の削減)
120 Vのサポート	Y	N	代替システムでは、230 Vで動作できない120V機器用に変圧器が必要。
配電システムの10年間のTCO	\$296,075	\$129,740	30%負荷(個々の冗長UPSで15%)に基づく。(56%の削減)

注: 背景が青色の欄は各特性の最高性能を表す。

代替システムでは、TCOの削減率が56%、設置面積の削減率が32%と非常に大きい値になっていることに注意してください。230 Vの配電による10年間のTCO削減額は\$166,335であり、これは56%の削減率を意味します。TCOの削減額のうち、約49%が材料コストの削減によるもの、約51%がエネルギーコストの削減によるものです。

制限が生じる特殊なケース

代替配電システムを適用するにあたり制限が生じる特殊なケースがあります。この節では、それらのケースの詳細と、代替配電システムで各ケースにどのように対処するのかを説明します。

120V負荷

北米のデータセンタでは高密度エリアであっても120 V機器が時々見受けられます。このようなケースには次のようにして対処します。

- 数多くの120 V機器は実際には120/230 V定格です。これらの定格情報は常に機器上に明記されています。通常、これらの機器の電源コードは取り外し可能です。対処方法は、単に既存の電源コードを汎用電源コード(IEC C-13またはC-19)に取り替えるだけです。機器上のスイッチの設定を変更する必要が生じる場合もあります。
- 独立した機器のためにどうしても120 Vを使用する必要がある場合は、ラックマウント型の変圧器を使用して230 Vを120 Vに降圧します。この変圧器はAPCや他のメーカーから購入できます。

絶縁と接地

北米における従来の配電システムでは、個々のPDUで中性点を絶縁しています。この仕組みは古くから望ましいと考えられており、ガルバニック絶縁、電位の分離、回路ごとの中性点構築など、さまざまな名称で呼ばれています。しかしながら、この絶縁/接地方式の利点に関して特に科学的な根拠はありません。実際、本書で説明する方式を採用した他の地域のデータセンタよりも北米のデータセンタの信頼性のほうが高いことを示唆するデータは存在しません。この問題については、APCホワイトペーパー #8『Inter-System Ground Noise: Causes and Effects』およびAPCホワイトペーパー #87『Use of the Signal Reference Grid in Data Centers』で詳しく説明しています。

既存のシステム

本書で提案する代替配電システムは既存の標準的な配電システムと組み合わせた使用が可能であり、高密度サーバ業務に特化したデータセンタの拡張に特に適しています。

コネクタ

230V回路に適したコネクタのタイプはIEC C13およびC19です。これらのコネクタは、ほとんどのOEMサーバ メーカーがラックマウント型サーバやストレージ機器とともに提供している電源コードコネクタです。したがって、ほとんどの高密度サーバには既に230Vシステムで使用できる適切なコネクタが付属しています。また、北米NEMA規格のツイストロック コネクタを使用する電源コードを備えた機器もあります。コネクタに関しては次のように対処します。

- 電源コードが取り外し可能なタイプで、本体にIEC C13またはC19コネクタが付いている場合は、両端にIECコネクタを付けたコードを既存のコードの代わりに使用します。このタイプの電源コードは、ほとんどのITベンダーから入手できます。IECコネクタは、APCなどのサプライヤから入手できます。電源コードを取り替えるときには、ラック内での電気配線を簡素化するために、標準の長さより短いコードを購入することをお勧めします。
- 電源コードがIT機器に固定されていて取り外せない場合は、プラグが20A以下であれば、アダプタケーブルを使用できます。
- コネクタが三相コネクタである場合は、次の節を参照してください。

回路ブレーカ

本書で説明する代替システム用の分岐回路ブレーカは、北米のデータセンタで使用される通常の分岐回路ブレーカよりも高電圧で動作します。北米のデータセンタで現在使用されている大部分の回路ブレーカはそのような高電圧定格に対応していないため、本書の代替システムでは使用できません。逆に、欧州の数多くの回路ブレーカ盤はULの認証を受けておらず、北米では使用できません。最近、高電圧定格に対応し、北米での使用が認証された世界共通のコンパクトな回路ブレーカおよび回路ブレーカ盤が各メーカーから発売されました。APCをはじめとするメーカーは、北米での高圧配電に適したデータセンタ用PDU、リモート電源盤、ラック電源盤などを幅広く提供しています。

三相IT機器

三相コネクタを備えたIT機器は、Compaqブレードサーバ、大型EMCストレージユニット、メインフレーム型サーバなど、ごく少数に限られています。ここで理解しておくべき重要な点は、これらの機器は実際に三相電力を必要としないことです。これらの機器は単相電源の供給を受ける複数台の電源ユニットを使用しています。さらに、これらの三相IT機器には北米以外の地域で販売されているバージョンがあるため、代替配電システムとも互換性があります。三相IT機器については以下のように対処します。

- 三相コネクタを備えたIT機器が大量に配備されている場合は、入力電源を欧州の電圧用に配線するよう業者に依頼します。通常、これは単に内部ジャンパの設定のみで済みます。
- 欧州の電圧動作に合うように機器の配線を変更できるかどうかを確認します。ほとんどの大型機器はこのような変更が可能です。
- 機器の変圧や配線変更が不可能である場合は、その機器について標準的な配電を適用するか、その機器用に電圧を変換するための専用PDUを導入します。

上記の説明は代替配電システムを導入するにあたって環境の変更が必要となる特殊なケースを対象としたものです。ほとんどの場合、IT機器、電源コード、ラック配電機器などに特別な変更を加える必要はありません。代替配電システムでの完全な動作が確認されている機器として、IBMブレードサーバ、1Uサーバ、ほとんどすべての企業向けラックマウント型サーバ、ほとんどすべてのSAN/NASストレージ機器などがあります。

DC配電システムとの比較

AC配電システムの代替として低圧または高圧のDC配電システムが提案されることがあります。DC配電システムの理論的メリットのひとつに、電気効率の大幅な向上があげられます。本書で提案するACシステムでは、同じメリットの多くがDCシステムより安いコストで簡単に実現できます。したがって、高圧AC配電システムはデータセンタの効率を高める適切な手法と言えます。この問題については、APCホワイトペーパー #63『データセンタにおけるAC配電とDC配電の比較』で詳しく説明しています。

結論

北米の高密度データセンタで高圧配電システムを使用するアプローチには大きなメリットがあります。標準の120/208 V配電システムの代わりに国際的な230/400 V配電システムを使用すると、配電システムの総所有（TCO）コストの56%を削減できるほか、床面積と床荷重が削減されます。これらのメリットは高密度環境で如実に現われます。また、この新しい高圧配電システムは既存のデータセンタにある従来の配電システムと併用できます。

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、アイルランドにある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。