

電力不足を解消する 高効率UPSシステム

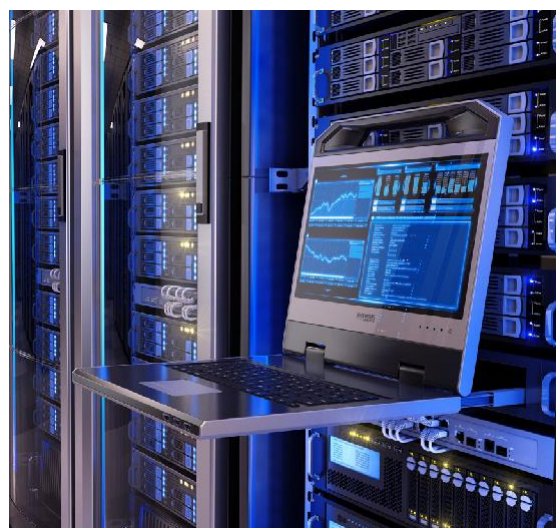
Active Power CleanSource® UPS

目的

本稿では、市場で入手可能なさまざまな三相無停電電源装置（UPS）システムの効率の大きな違いについて説明し、ActivePower社が製造するフライホイールベースのUPSシステムが、従来のバッテリー式のダブルコンバージョン方式のUPSよりも全体的に効率が優れていることを、ラボでの研究と実際の現場での測定を通じて実証します。この高い効率により、一般的なデータセンターでは年間数万ドルから数十万ドルのコスト削減を実現することができます。

はじめに

UPSシステムは、データセンター、放送センター、病院などのミッションクリティカルな施設に電力調整とバックアップ電力を提供します。UPSシステムは、瞬低や電圧上昇などの電圧変動や周波数変動からこれらの施設を保護し、また、停電から商用電源の復旧または非常用発電機への切り替えまでの瞬断を埋めるために一時的な電力を供給します。



UPSは、短期間（数秒から数分）のエネルギーを貯蔵し、完全な停電が発生した場合に電力調整と電力補償をします。最も一般的で実用的な直流エネルギー貯蔵形態は、化学電池（鉛蓄電池、NiCd蓄電池、NiMH蓄電池など）、フライホイール、ウルトラキャパシタです。その2つの機能を実行するために、UPSはエネルギー、この場合は電気を必要とします。

業界では、UPSの効率は出力電力÷入力電力で測定され、UPSは入力電力の一部を消費します。UPSによって消費されたエネルギー量は、失われたエネルギーまたは非効率性を意味します。非効率なUPSは、商用電力の入力の10%以上をUPS自体で浪費する可能性があり、データセンター事業者、電力会社、および政策立案者にとって重大な懸念事項になっています。UPSの非効率性は、中規模のミッションクリティカルな負荷を保護する過程で、年間に数十万kWhを浪費することになります。

ActivePower社のCleanSource®UPSのような、より効率的なUPSシステムは、電気の無駄とコストを削減することができます。40%という低い負荷で少なくとも96%の効率に達することがラボと現場で証明されているCleanSource® UPSは、ダブルコンバージョン方式のUPSシステムと比較して、データセンターのエネルギー損失を数メガワット、年間数十万ドル削減することができると同時に、他のトポロジー製品の電力品質とシステム信頼性を満たすまたは超えることができます。

UPSの効率の定義

国際電気標準会議（International Electrotechnical Committee）によって定義されるUPSの効率は、「定義された動作条件下における（有効）入力電力に対する（有効）出力電力の比率」であり、定義された動作条件とは、特定のパーセント負荷および負荷タイプ（線形/抵抗対非線形）¹を指します。

UPSの効率の重要性

データセンターの総電力使用量の測定は複雑な作業です。インフラの運用効率やIT負荷の性質のダイナミックな変化と並んで、サーバー運用の電力効率における急速な進歩が、累積エネルギー使用量の計算を極めて困難にしています。さらに、さまざまなタイプのデータセンターが登場し、市場自体も変化しています。

最新のデータセンターのカテゴリーは、エッジデータセンターの出現です。しかし、従来のデータセンターも変わりつつあります。所有・運営されるエンタープライズデータセンターから、急成長しているコロケーションデータセンター、オンライン化または計画されているクラウド規模の施設まで、その範囲は多岐にわたります。

米国では2016年、ローレンスバークレー国立研究所と契約した米国エネルギー省の連邦エネルギー管理プログラムが、「United States Data Center Energy Usage Report」と題する調査結果を発表しました。

https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005775_v2.pdf

この調査では、サーバー、ストレージ、ネットワーク機器、インフラからのIT電力需要が測定されました。

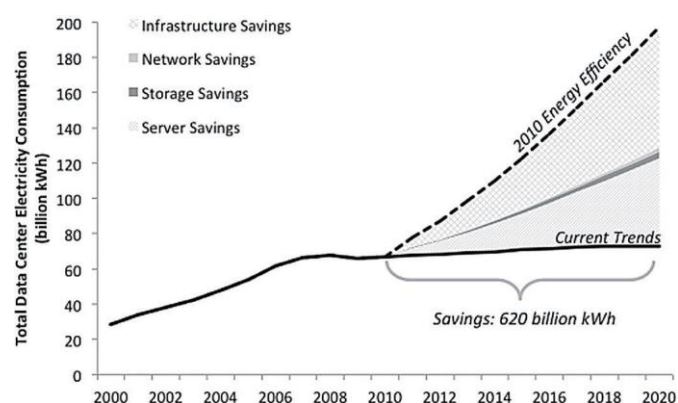


Figure 1. 現在のトレンドと2010年のエネルギー効率シナリオにおけるデータセンターの電力消費

2010年エネルギー効率化シナリオでは、データセンターのエネルギー関連の設計・運用努力が2010年以降も継続されないことを想定しており、現在のトレンドであるエネルギー効率化の実践により、2010年から2020年の間に6,200億kWhの電力が節約されることを示しています。

2016年の展望として、報告書は次のように述べています。「過去10年間のデータセンターの設計と運用における大幅なエネルギー効率の改善により、米国のデータセンターのエネルギー使用量はほぼ一定に保たれ、同時にデータセンターサービスに対する需要の大幅な増加に対応することができた。しかし、本調査時に入手可能なデータでは、将来予測の範囲は2020年までと限定されていた。本報告書で明らかにした主要な効率化戦略、PUEの改善、サーバー利用率の向上、電力配分の改善には、いずれも理論的・実的な限界があり、現在の改善率からすると、遠くない将来にこれらの限界に達する可能性がある。」

本報告書は、データセンター産業が電力需要の安定化に成功したことを強調していますが、データセンターサービスの将来の成長に比例した電力需要の増加が再開する前に、成功が単なる一時的なものに終わらないことを確認するためには、ICT機器全般にわたるエネルギー効率のさらなる調査と技術的ブレークスルーが必要になるでしょう。

明らかなのは、電力システムの各ポイント、特にUPSでの省エネが重要になってきているということです。

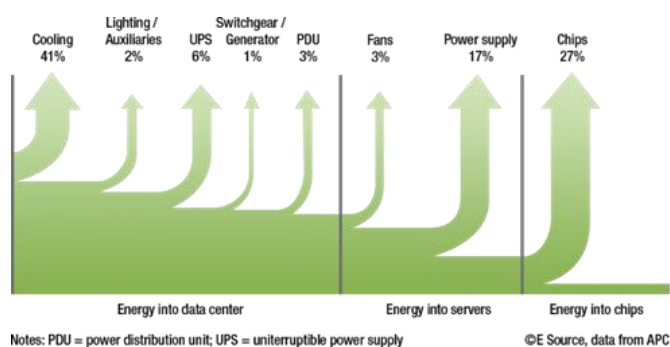


Figure 2. データセンターの電力使用源

個々のデータセンターレベルでは、UPSシステムの効率を向上させることで、UPS自体で、また熱負荷の低減や建物の変圧器損失の低減を通じて間接的に、1日24時間の直接的なエネルギー節約を実現します。UPSシステムを通じてデータセンターの全機器負荷が賄われる場合、システム効率を少し改善するだけでも、年間コストを大幅に削減することができます。パシフィック・ガス・アンド・エレクトリック社（PG&E）の試算によると、IT機器を1平方フィートあたり50Wで稼働させる15,000平方フィートのデータセンターでは、IT機器に年間6.9MWhのエネルギーが必要です。その電力を供給しているUPSシステムの効率がわずか5%改善された場合、年間エネルギー代は384,000kWh、つまり0.10ドル/kWh（15円/kWh：150円/\$で計算）で約38,000ドル（5,700,000円：150円/\$で計算）削減され、さらに冷却負荷の減少による大幅な節約も可能になります。⁵

効率に対する冷却要件

UPSとその効率を評価する際には、「エネルギーは生成も破壊もできない」という熱力学の第一法則を念頭に置くことが重要です。UPSシステムに関しては、有効入力電力と出力電力の差は、UPSが実行する活動の結果としての熱損失を表します。電気室の適切な設計には、一定の温度帯を維持するための空調または精密冷却システムが含まれます。UPSの効率が低ければ低いほど、より多くの熱が発生し、室内でより多くの冷却が必要となり、資本コストと冷却システムの継続的な運用コストを押し上げます。効率的な集中型冷却プラントの一般的な経験則として、1kWの熱を冷却するには0.33kWの電力が必要です。その結果、低効率のUPSの運用コストは、追加の冷却コストによってさらに悪化します。

UPS効率に影響を与える要因

UPSシステムの効率に影響を与える主な要因は2つあります。UPSシステム自体のトポロジーと、UPSの負荷率を決定するデータセンターの電源および配電の設計です。

UPSトポロジー

UPSシステム自体の設計は効率に大きな影響を与えます。簡単に言えば、いくつかのUPS設計は他のものよりも本質的に効率的です。今日、ミッションクリティカルな施設で使用されている2つの主要なトポロジーがあります。パラレルオンライン（ラインインタラクティブとも呼ばれます）方式とダブルコンバージョン方式です。

パラレルオンライン方式のUPSシステムは、交流商用電源と並列にインバーターと充電器回路または変圧器を配置します。この設計により、パラレルオンライン方式のUPSは、入ってくる商用電源の過電圧または電圧低下を補償し、適切な電子機器を使用して、過渡現象、電圧変動、またはその他の障害を排除することができます。商用電源が利用できないか、または許容できない域に達すると、パラレルオンライン方式のUPSは蓄積エネルギーからの補償モードに入ります。UPSは商用電源から負荷を切り離し、スタティックスイッチでこの負荷をバッテリーまたはフライホイールから供給されるバックアップ電源に迂回させます。

電力調整について、ダブルコンバージョン方式とパラレルオンライン方式のトポロジーの違いを正しく理解するためには、まずUPSシステムが何から保護しているのかを理解する必要があります。

米国電気電子学会（IEEE）規格1159-1995は、過渡現象、電圧低下、電圧上昇、周波数変動など、電力品質障害の7つのカテゴリーを定義しています。電力会社から需要家に供給される電力の品質によっては、これらの障害の1つ以上が頻繁に発生する可能性があります。最低限、UPSの電力調整機能は、IT負荷に伝送される出力電力がIT電源の許容範囲内に収まるようにする必要があります⁷。

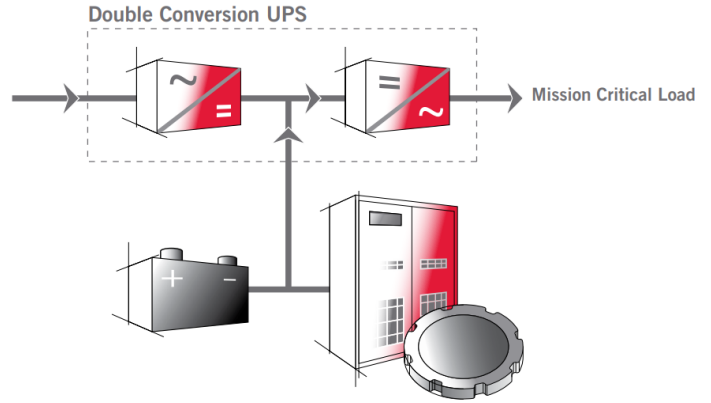


Figure 4. ダブルコンバージョン方式のUPSアーキテクチャ

ダブルコンバージョン方式のUPSではすべての電力が交流から直流に整流され、また直流から交流に変換されるため、出力上の完全な正弦波と周波数保護が保証され、7種類のすべての障害から保護されます。このアプローチは、常に完璧に調整された負荷を必要としない最新のIT機器電源の要件を上回ると同時に、大量のエネルギーを使用します。

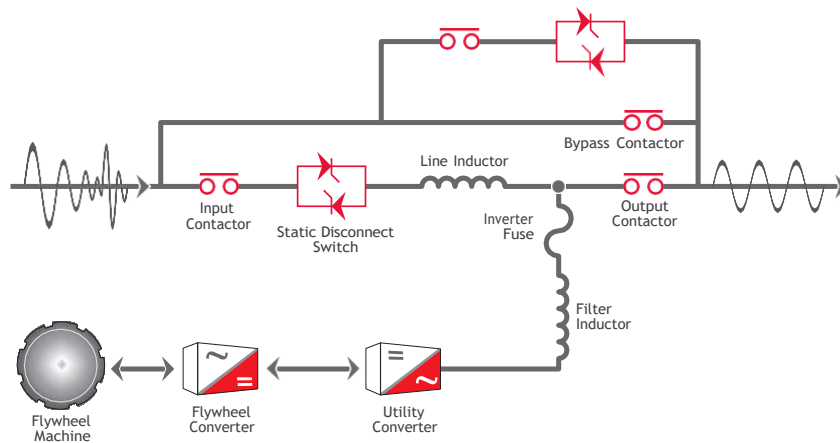


Figure 3. パラレルオンライン方式のUPSアーキテクチャ

ActivePower社が提供するパラレルオンライン方式のUPSは、ダブルコンバージョン方式のUPSとほぼ同じ方法でほとんどの電力障害に対応します。ActivePower社のCleanSource® UPSは、40マイクロ秒ごとに16.67ミリ秒の正弦波をサンプリングし、出力フィルタ・コンデンサで過渡現象を緩和する高速動作のマイクロプロセッサと高速電圧過渡放電ウィンドウを使用しています。パラレルオンライン方式のフライホイール式UPSの簡略化された単線図を見直すと、フライホイール出力の電気経路はダブルコンバージョン方式のUPSとほぼ同じであることが分かります。(Figure2と3を参照)。

パラレルオンライン方式のUPSの設計に対する最も一般的な反論は、主電源に同期しているため、周波数調整に関するものです。ActivePower社は、同じマイクロプロセッサを使用してこの問題に対処し、このようなイベント中にフライホイールを使用して補正することにより、 $\pm 0.2\%$ 程度の周波数変動に抑えるように設計されています。

結果として、パラレルオンライントポロジは、出力上のミッションクリティカルな負荷にダブルコンバージョン方式のUPSと同レベルの保護を提供しながら、本質的により効率的でより少ないコンポーネントでよりシンプルな設計となっています。ダブルコンバージョン方式のUPSシステムは、効率を犠牲にして、近年のIT機器が必要とする以上の補償を提供します。以下に示すように、フライホイールベースのパラレルオンライン方式のUPSシステムは、すべての負荷係数にわたってダブルコンバージョン方式のシステムよりも実質的に高いエネルギー効率を持っていることがラボや現場の研究で証明されています。

UPSトポロジの効率が高いことに加え、フライホイールシステムは、バッテリーを備えた従来のダブルコンバージョン方式のUPSよりも、温度やその他の環境条件を維持するために使用するエネルギーが少なく済みます。ActivePower社が提供するCleanSource® UPSは、広い温度動作範囲(0~40°C)を可能にしているため、温度制御されたバッテリールームに設置する必要がありません。

また、同じ定格のバッテリーの半分以下のスペースしか必要としません。この結果、バッテリー式UPSシステムと比較して、冷却に必要なエネルギーが大幅に削減されます。

近年、UPSベンダーは効率を改善する方法として、ダブルコンバージョン方式のシステム用に「エコモード」または「ソフトモード」と呼ばれる代替動作モデルを開発しています。エコモードでは、標準的なダブルコンバージョン方式のUPSはインバーターモジュールだけをオンにしておき、有効入力電力はバイパス回路を経由させます。瞬時または長期的な停電が発生した場合のみ、UPSは入力電力をバイパスから整流器とインバーターに切り替えます。このモードを推進するベンダーは、幅広い負荷に対して98~99%の効率を主張しています。

理論的には、この「エコモード」で動作するUPSは、より少ない処理作業で済むため、かなり大幅に損失を減らすことができます。しかし、電力調整機能をほぼ完全に放棄することによってのみ、高効率を達成することができるのです。エコモードで動作するUPSは、商用電力入力の完全な遮断に対してのみ保護します。電力調整が行われなため、IEEEで定義された他の6つの電力障害は補正されません。バイパス経路の有効電力検知により、UPSは有効入力電力をサンプリングしますが、通常、中断がなければ、ほとんどの電力はそのまま供給されます。UPS入力に中断が発生した場合、高速スイッチングにより、バイパス経路からインバーターを通して直流電力源(通常はバッテリー)から直接電力を供給するように切り替わります。しかし、他の障害には対処も改善もされないため、有効出力電力の品質は劇的に低下し、ミッションクリティカルな負荷が危険にさらされたままとなり、保護された負荷に長期的なダメージを与える可能性があります。

また、エコモードの信頼性に関して見落とされがちな点は、商用電力が途絶えた場合の信頼性です。

通常、UPSはバイパスモードからバッテリーのような直流電力源に切り替わり、短い時間内で電力を供給します。しかし、電気スイッチング装置がUPSの故障の最も可能性の高い唯一の原因であることは、一般的に理解されていることです。リスク評価のコンサルティング会社である MTechnology, Inc.は、確率論的リスク評価 (PRA) を用いて、例えば自動転送スイッチは単一故障点であるため、予想されるシステム故障の約 95% に関与すると結論付けています⁸。これは、複雑な電気機械部品の平均故障間隔 (MTBF) 100,000 時間に相当します。

MTechnologyの分析を適用すると、エコモードUPSのアプローチの信頼性に重大な疑問が生じることになるのです。

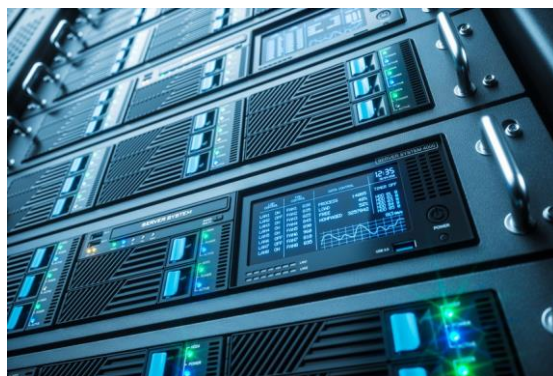
結果として、標準的なダブルコンバージョン方式のUPSは、ActivePower社のUPSのようなパラレルオンライン方式のシステムと比較して、電力を調整するために多くのエネルギーを浪費します。一方で、エコモードは、多くの機能を犠牲にすることによってのみ、ActivePower社のUPSと同等の効率を達成します。故障の確率が高くなり、電力調整機能がない「エコモード」で動作するダブルコンバージョン方式のUPSは、ActivePower社のCleanSource® UPSのようなパラレルオンライン方式のUPSトポロジーに劣るのです。

UPS負荷率

ミッションクリティカルな環境におけるUPSシステムは、通常、電気システムに設計された冗長性のレベルに応じて、定格容量の30%から80%の間で動作しています。

最も高い冗長性が要求される施設では、UPSシステムは2N構成で導入されます。施設の負荷は2つのUPSシステムで共有され、片方が故障してももう片方がデータセンターの重要な負荷を供給します。この構成では、ミッションクリティカルな負荷全体が設置されたUPS容量の半分以上を超えることはありません。通常動作条件下では、UPS装置が50%以上の負荷で動作することはありません。

通常、このような設計では、UPS容量の30%から40%で動作することになります。これは、一般的な慣習として、特別な動作状態であってもUPSシステムを100%の容量で動作させるべきではなく、データセンターは通常、時間の経過に伴う成長を許容するために余剰容量で設計されているためです。



N+1構成では、1つまたは複数のUPSシステムが予備として機能し、UPSシステムのいずれかが故障した場合に全負荷をサポートする冗長性を提供します。3つのUPSモジュールを持つN+1システムでは、設計負荷は設置されたUPS容量の66%を超えることはできず、現在の設計基準では、データセンターがフル稼働している場合、通常はその90%、または設置された容量の60%を超えることはありません。データセンターがフル稼働していない場合、負荷は40~60%の範囲になることがあります。

UPSの効率は、負荷に供給される有効電力量によって変化し、部分負荷では低下する傾向があります。UPSは一般的に、アイドル状態の自動車に似た、電力使用の基本消費量または固定の「オーバーヘッド」を持っているため、効率は低負荷で大幅に低下します。基本消費電力は、制御回路、空気循環、および充電電流によって駆動され、負荷に関係なく実質的に一定です。有効出力電力の調整に使用される電力は、保護される負荷にほぼ正比例するため、負荷が増加するにつれて、基本消費電力がエネルギー効率に与える影響は小さくなります。

ActivePower社のCleanSource UPSシステムとバッテリーを備えた典型的なダブルコンバージョン方式のUPSシステムの様々な負荷におけるエネルギー効率を、以下の Figure 5にまとめます。

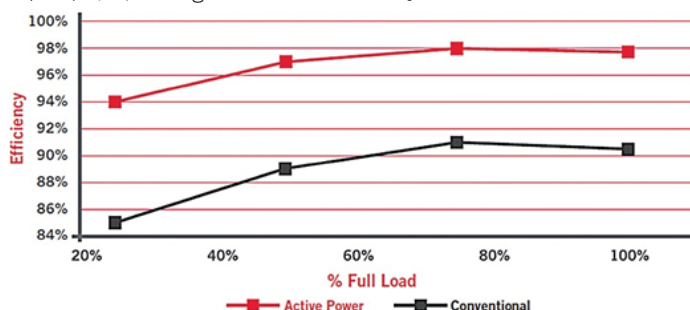


Figure 5. UPSの効率の比較



西華産業株式会社
SEIKA CORPORATION

ベンダーの主張 事実と作り話

多くの UPS ベンダーは、製品仕様の一部としてエネルギー効率を公表しています。ほとんどのベンダーは、理想的な条件下でのシステムの「最大」効率定格を公表しており、一般的には定格有効出力の75~100%です⁹。ユーザーや事業者が購入プロセスにおいて非常にエネルギーに対する意識が高いため、一部のUPSベンダーは、購入者を引き付けるために、UPSシステムのあまりにも楽観的な効率を掲載しています。これは、その主張が真実でないということではなく、エンドユーザーの現場で適切に設計されたミッションクリティカルな インフラにおいて、それを再現することは事実上不可能であるということです。オプション（バッテリー式ダブルコンバージョン方式のUPSの場合はフィルターや変圧器など）が追加されるとさらに劇的に変化する可能性があるため、提供されるデータには慎重かつ批判的になる必要があります。

ベンダーが負荷の範囲にわたる効率定格を提供している場合でも、その定格は、制御された状況での試験や、以下に説明するような現場での測定では再現できないことがよくあります。対照的に、ActivePower社のフライホイールUPSは、以下に示すように、100%負荷で98%、2N冗長/40%負荷で96%の効率を実証しています。

実証結果：ラボテスト

ローレンスバークレー国立研究所（LBNL）による研究では、様々な負荷条件における様々なUPSトポロジーのエネルギー効率が調査されました¹⁰。

Factory Measurements of UPS Efficiency
(tested using linear loads)

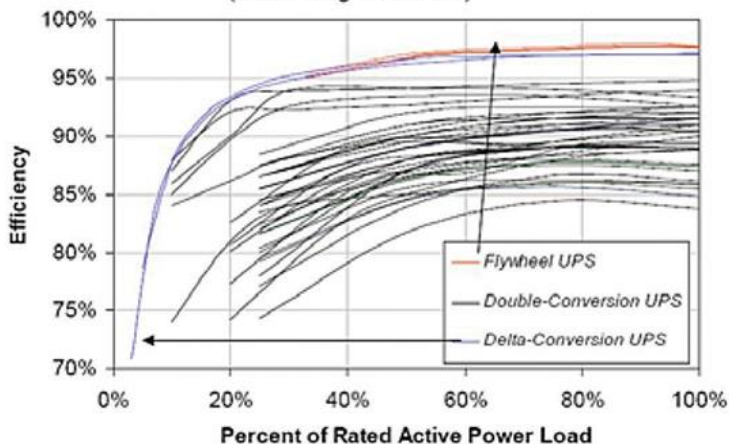


Figure 6. UPS効率の工場試験結果 出展：LBNL

ActivePower社のフライホイール式UPSシステムは、33%の負荷で95%の効率を示し、70%以上の負荷では98%まで上昇しました。対照的に、ダブルコンバージョン方式のUPSシステムは、33%負荷で80~90%、50%負荷で85~94%という、かなり低い効率の幅を示しました。最も効率的なダブルコンバージョン方式のUPSは、負荷が75%を超えて初めて95%に近づきましたが、そのほとんどはまだ85~92%の効率に留まっていた¹¹。

これらの結果から、LBNL と PG&E の両社は、データセンターのエネルギー効率を改善するためにフライホイール UPS 技術を強く支持することになりました¹²。

実証結果：現地評価

フライホイール式UPSトポロジーのエネルギー効率は、実際のデータセンター展開においてラボの結果と一致することが示されており、これはダブルコンバージョン方式のUPSシステムよりも優れています。

シリコンバレーリーダーシップグループ（Silicon Valley Leadership Group：SLVG）は、同程度の負荷率を持つ4つの大規模な生産データセンター（2つはダブルコンバージョン方式のUPSシステム、1つはフライホイール式UPSシステム、1つは機械的に結合されたロータリー式UPSシステム）で、実際のUPS電気損失を比較しました¹³。

Yahoo のサイトに導入されたダブルコンバージョン方式のバッテリーシステムは、ラボの理想を大きく下回る性能を示しました。スペースパークの施設では、負荷58%でUPS効率は91%でした。ワシントン州ワナチーのデータセンターでは、負荷が44%に低下したとき、ダブルコンバージョン方式のUPSの効率は77%にすぎませんでした（これも94%の主張に対して）。このサイトのUPSでは、入力エネルギーの29%以上が失われこととなります。

これとは対照的に、NetAppが導入したActivePower社のUPSシステムは、わずか45.5%の負荷で96%以上の効率という、ラボテストの期待通りの性能を発揮しました。

SLVGの調査では、2つのバッテリーベースのシステムの電気料金と、より効率的なフライホイールシステムを使用していた場合に削減できた電気料金を比較しました。

ダブルコンバージョン方式のスタティックUPSの両方のサイトで97%の効率のフライホイールシステムに移行した場合、Yahooのエネルギーコストは年間822,426ドル（123,363,900円：150円/\$で計算）以上削減され、UPSのエネルギーコストは80%以上削減される計算となりました。

サイト名	ベンダー/設計	出力	UPS負荷率	UPS効率
Yahoo Space Park	A社 12× 750 kVA static UPS	4.6 MW	58.6%	91.1%
Yahoo Wenatchee	A社 8× 750 kVA static UPS	2.4 MW	44.4%	77.1%
Yahoo! Quincy	B社 5× 1625 kVA rotary UPS	3.4 MW	43.6%	91.1%
NetApp Building 11	ActivePower社 2×900 kVA flywheel UPS	570 kW	45.5%	96.1%

Table 1: ケーススタディ データセンターの効率比較 出典： SLVG（一部改変）

サイト名	コスト/kWh	UPS年間電力損失	年間電気代	UPS年間電力損失 フライホイール (効率97%)	年間電気代	年間削減額 (削減率%)	年間削減額 (日本円換算) ※
Yahoo Space Park	\$0.10	3.9MW	\$391,172	1.2MW	\$123,836	\$267,336 (68%)	¥40,100,400
Yahoo Wenatchee	\$0.10	6.2MW	\$619,609	0.6MW	\$64,519	\$555,090 (90%)	¥83,263,500
Total			\$1,010,781		\$188,355	\$822,426 (81%)	¥123,363,900

Table 2: ケーススタディ ActivePower社のUPSを導入した場合の削減率 出展： SLVG（一部改変）※150円/\$とした

結論

データセンターのエネルギー消費は、事業者、電力会社、および政策立案者にとって重要かつ増大しつつある懸念事項です。非効率的なUPSシステムは、商用入力電力の10%以上がUPS自体の電氣的な無駄になっており、この懸念の一因となっています。ActivePower社のCleanSource® UPSのようなフライホイール式のパラレルオンライン方式のUPSシステムは、ソリューションの一部となり得ます。

ラボや実際の現場において、40%という低い負荷で少なくとも96%の効率に達することが証明されているCleanSource® UPSは、他のトポロジーの電力品質とシステム信頼性を満たし、または上回る一方で、ダブルコンバージョン方式のUPSシステムと比較して、データセンターのエネルギー損失を数MW、年間数十万ドル削減することができるのです。

- 1 IEC 62040-3, Testing Procedures for UPS Systems. International Electrotechnical Committee. April, 30, 2004, at 52.
- 2 U.S. EPA, Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431, Aug. 2, 2007, at 7.
- 3 Id. at 53, Table 3-5.
- 4 M. Ton, B. Fortenberry, and W. Tschudi, Lawrence Berkeley National Laboratories, DC Power for Improved Data Center Efficiency, March
- 5 PG&E, High Performance Data Centers, Jan. 2006, at 55. http://hightech.lbl.gov/documents/data_centers/06_datacenters-pge.pdf
- 6 The industry rule of thumb is that every 10°C increase in temperature doubles the component failure rate of IT equipment.
- 7 These tolerances are defined in the Information Technology Industry Council (ITIC) power acceptability curve.
- 8 See Active Power White Paper #103, Reliability Assessment of Integrated Flywheel UPS versus Double-Conversion UPS with Batteries.
- 9 See, e.g., Liebert's NX and Series 610 products highlights at http://www.liebert.com/product_pages/SecondaryCategory.aspx?id=4&hz=60;
- 11 See also id. at 21, Table 4. Note double conversion UPS systems were tested in standard operating mode only; eco-mode claims were not evaluated.
- 12 Id. at 21; PG&E, High Performance Data Centers, Jan. 2006, at 53.
- 13 R. Pfefer, Silicon Valley Leadership Group, Data Center Benchmarking.

activepower.com
西華産業株式会社
 SEIKA CORPORATION

東広島支店

 〒739-2208 広島県東広島市河内町入野11265-1
 TEL: 082-420-7001 FAX: 082-437-0111

<http://www.seika.com>

Active Power Inc. 2128 West Braker Lane, Austin, TX 78758

Active Power Inc. is a division of the Pillar Group

Pillar Australia | Pillar China | Pillar France | Pillar Germany | Pillar India | Pillar Italy | Pillar Singapore | Pillar Spain | Pillar UK | Pillar USA