

## ホワイトペーパー

インテル IT 部門  
コンピューター製造  
データセンター効率

# 電力使用量の測定と監視による データセンターの効率化

インドにある旧式のデータセンターの電力効率の向上に向けて、インテル IT 部門のデータセンター・サービス・グループは IT コンピューティング事業部門およびインテル施設管理部門と協力して技術調査を行い、電力使用量の包括的な測定手法を開発しました。効率化の度合いを明確に測定する方法を考案した上で、データセンターの電力効率の主要な指標である電力使用効率 (PUE) を継続的に追跡するための装置を設置しました。PUE 指標の採用によって、効率化につながる意思決定を行い、データセンターにおける最適な施設使用率を達成できたほか、省電力の普及を目的に世界各地のほかのインテル施設と共有可能なデータが得られました。

インテル コーポレーション、Anand Vanchi, Sujith Kannan, Ravi Giri

2009 年 6 月

## エグゼクティブ・サマリー

5年前にインドに開設されたデータセンターの電力効率の向上に向けて、インテルIT部門のデータセンター・サービス・グループ、ITコンピューティング事業部門、インテル施設管理部門が協力し、投資収益率(ROI)、ITパフォーマンス、施設使用率などのデータセンター効率(DCE)を測定するための一貫性のある手法を開発しました。IT全体の電力使用率を測定するこの統合型手法では、サーバーの列単位で電力使用量を測定します。

ROI、ITパフォーマンス、施設使用率などのデータセンター効率を測定するための明確で一貫性のある手法を開発しました。

電力コストはデータセンターにおける最大の運用コストであり、インテルIT部門は、設計エンジニアリングとエンタープライズ・コンピューティング向けに増加し続ける消費電力への対応という課題に直面していました。古い設計方針に沿って建てられたインドのデータセンターにおけるこうした課題を解決するに当たって、効率化の度合いを明確に測定する方法を考案し、PUEとDCEを継続的に追跡するための装置を導入しました。

これらの指標の採用によって、電力効率の向上につながる実践可能なデータが得られ、このデータセンターやインドにある他のインテル施設でのリソースの節約につながりました。また、施設の管理とデータセンターのPUE向上に焦点を絞り、どの程度効果が限定されるのかを明確にしたことにより、データセンター効率化の長期的なROIの増加を達成するには、ITパフォーマンス全体の効率に着目する必要性があることが強調されました。

プロジェクトのライフサイクル全体にわたるデータセンター・サービス・グループ、ITコンピューティング事業部門、インテル施設管理部門間の緊密な連携を通じて、当初の予想を上回るコスト削減が実現されたほか、消費電力に影響を与える可能性がある各変動要素を測定することもできました。この統合型手法は、データセンターの電力効率化ロードマップにおける今後の方針決定にもつながっています。

データセンターのPUE指標が2007年の1.99から2008年の1.81に向上することにより、以下のパフォーマンス上のメリットと財務的なメリットを得られました。

- 1日当たり平均9,672kWhの負荷がかかるデータセンターで年間77,000米ドルの電力コストを削減
- 全体的な運用効率が10%向上
- ラック当たり5kWから14kWへと電力密度を2.8倍に改善することで、データセンター改修に対する詳細なROIの根拠を提示

この構想の成功を受けて、プロジェクト・チームはインテルITグローバル・データセンター・マネージャビリティ・ワークグループの主要メンバーになりました。このワークグループは、世界各地のインテルITデータセンターにおける測定、監視、効率化の要件に対処しており、企業全体にわたる「一括管理」の観点からデータセンターの保守管理性を検討するという協調的な戦略の拡大に貢献しています。IT部門と施設部門の統合的な観点から眺めることにより、最大性能と使用率の管理および関連付けが可能になります。

# 目次

エグゼクティブ・サマリー .....	2
ビジネス課題 .....	4
ソリューション .....	5
協調的チームの結成 .....	5
プロジェクトの定義 .....	5
ビジネス価値に関する考慮事項への対応 .....	5
測定基準と改善目標の決定 .....	5
ソリューションの導入 .....	8
結果 .....	9
次の段階 .....	10
まとめ .....	11
著者 .....	12
謝辞 .....	12
略語と用語 .....	12

## ビジネス課題

コンピューティング・デバイスの増加と電力コストの上昇に伴いデータセンターの運用コストも増加しており、消費電力は世界中の IT 部門にとって大きな課題となっています。こうした要因が重なり、わずか 5 年前には最先端とみなされていたデータセンターが省電力テクノロジーの面で遅れを取り始めています。

インテル IT 部門は、環境への影響を削減する重大な取り組みを進めていますが、中でも電力コストが最大の運用コストであるデータセンターに特に注力しています。この取り組みの一環として、インテル IT 部門のデータセンター・サービス・グループは IT コンピューティング事業部門およびインテル施設管理部門と協力し、5 年前にインドに開設されたデータセンターの電力使用量を測定、監視するための協調的な戦略を策定しました。インテルは PUE が極めて低い最先端のデータセンターを数多く所有していますが、旧式のデータセンターを改修するコスト効果の高い方法も必要としていました。こうした旧式のデータセンターは、大半の企業にとっては一般的なものであり、現在稼働中のデータセンターの中で最大の割合を占めています。

旧式のデータセンターで直面した課題は、次のように多岐にわたりました。

- インテル製品事業部からのコンピューティングのニーズが複雑化していた。
- ほかの新興経済国と同様にインドでも、電力資源の需要と供給のギャップが拡大していた。
- DCE の測定に利用可能なシステムは手動操作が多く、エラーが発生しやすい上、1 度に 1 カ所の測定しかできなかった。
- 利用可能な消費電力データが、IT 部門や各施設部門に置かれた複数の異なるシステムに散在していた。

これらの要因がすべて組み合わさった結果、データセンターの消費電力を測定し、消費電力削減のための具体策を取ることが困難になっていました。さらに、冷却設備などインフラストラクチャー・システムの一部をデータセンターとその他の施設との間で共有していることが、特定の対象物に絞った測定を困難にしていました。

### インドでのデータセンター効率化構想

世界初の省電力取引市場を目指しているインドでは、政府が国家的なポリシーグループを編成して、データセンターの電力の効率化に注力し、業界との協議の上で National Design Code for Energy Conservation in Data Centers (データセンターの省電力設計のための国家規約)と Best Practice Manual for Indian Data Centers (インドのデータセンターにおけるベスト・プラクティス・マニュアル)を作成しています。インテル IT 部門は IT サステナビリティ (持続可能性) の取り組みの一環として、このグループに積極的に参加しています。

# ソリューション

インテル IT 部門は協調的なプロセスを通じて、DCE の主要な指標である PUE を継続的に追跡可能な装置を導入し、極めて詳細なレベルで消費電力を測定、監視することにより、5 年前にインドに開設されたデータセンターの電力効率を向上させました。配電の主要ポイントで施設使用率(電源、冷却、損失)を測定することによって、効率化の実現に有用な情報を取得しています。

## 協調的チームの結成

消費電力に影響を与える可能性がある各変動要素を測定し、施設の運用コスト全体を包括的な観点から検討できるように、プロジェクトのライフサイクル全体にわたって利害関係者(データセンター・サービス・グループ、IT コンピューティング事業部門、施設管理部門)が協力することが不可欠でした。

- 冗長性を排除し、ビジネスニーズに合った施設の構築
- マルチコア・プロセッサ搭載の最新サーバーに比べて消費電力当たり性能が低い従来のサーバーに関する計画の策定
- 湿度、温度、公共設備の信頼性など、地域的な要因への対処

分析とプランニングをすべて完了した時点で、消費電力の測定を開始できる準備が整いました。

## プロジェクトの定義

このプロジェクトの第 1 の目標は、対象となるコスト削減の機会を決定することです。現在の運用コストの明確化、測定基準の設定、収集した情報に基づく省電力プロセスの導入、そしてさらに設定した目標を実現することに努めました。プロジェクトの導入後は、測定と改善を継続します。

## ビジネス価値に関する考慮事項への対応

以下の課題を解決するには、ROI、IT パフォーマンス、施設使用率などの重要なビジネス要素を含むデータセンター効率(DCE)を測定するための一貫性のある手法が欠かせません。

- 施設インフラストラクチャーの規模の適正化と、適切な負荷分散の検討
- 無停電電源装置(UPS)の効率性の向上
- データセンターの冷却に必要な消費電力の削減
- データセンター内の最適な電源 / 冷却分散アーキテクチャーの設計

## 測定基準と改善目標の決定

インドにある旧式のデータセンターは、24 インチ(60.96cm)の上げ床、排気プレナムとして使用されていない高さ 10 フィート(3.05m)の吊天井、閉鎖されていない暖気通路など、古い設計方針に沿って建てられた 5,500 平方フィート(510.97 平方メートル)の施設です。電力密度は 1 平方フィート(929.03 平方センチ)当たり 110 ワット(110WPSF)であり、2(N+1)の UPS 冗長電源構成と、ダクトレスの水冷式高精度空調(PAC)装置を使用した N+1 の冗長冷却構成が採用されています。

## データ収集プロセスの決定

旧式のデータセンターで測定を開始する前に解決しなければならない課題がいくつかありました。

- データセンターにおける電源と冷却の消費電力を同一建物内のほかの施設から区別

- 効率化に最も有用な情報を収集できるように、配電サイクルの適切なポイントで施設使用率（電源、冷却、損失）を測定
- 電力測定に最適なレベルの単位を決定

こうした課題を解決するには、旧式のデータセンターに列レベルで電力メーターを導入する必要があると判断しました。電力メーターの導入によって、IT 機器の消費電力と同一建物内のほかの施設の消費電力とを区別することや、極めて詳細なレベルで全体的な施設使用率を測定、監視し基準指標を決定すること、DCE の主要な指標である PUE を継続的に追跡することが可能になりました。

また、データセンターの運用に要するすべての消費電力を測定 / 分析して、正確な効率データを収集しました。これについては、以下のようにして電源や冷却の測定に最適なレベルの単位を包括的に決定しています。

- 既存の電力効率レベルの測定
- 現在の運用電力コストの明確化と、基準の設定
- 対象となるコスト削減の機会の決定と、目標の設定
- 既存のナレッジベースを利用した効率化プロセスの導入
- 継続的な測定と、データセンターの運用コスト構造の改善

### 主要指標：PUE

計算には Green Grid\* が提唱している以下の式を使用しました。Green Grid\* は、データセンターやビジネス・コンピューティング・エコシステムでの電力効率の向上に取り組んでいるグローバル・コンソーシアムです。

$$\text{電力使用効率 (PUE)} = \frac{\text{施設の総消費電力}}{\text{IT 機器の総消費電力}}$$

図 1 にも示すように、逆数となる DCE は次のように定義されます。

$$\text{データセンター効率 (DCE)} = \frac{1}{\text{PUE}} \quad \text{または}$$

$$= \frac{\text{IT 機器の総消費電力}}{\text{施設の総消費電力}}$$

### 施設の総消費電力

施設の総消費電力は、データセンター専用の電力メーターで測定された消費電力です。データセンターにおける施設の総消費電力には、以下の IT 機器をサポートするものがすべて含まれます。

- 電力供給コンポーネント：UPS、スイッチ装置、発電機、配電装置 (PDU)、バッテリー、IT 機器以外での配電損失など
- システム冷却コンポーネント：冷却装置、コンピューター室の空調 (CRAC) 装置、直接膨張 (DX) 式エアハンドラー装置、ポンプ、冷却塔、自動化など
- コンピューティング・ノード、ネットワーク・ノード、ストレージノード
- その他の各種コンポーネント：データセンターの照明、防火システムなど

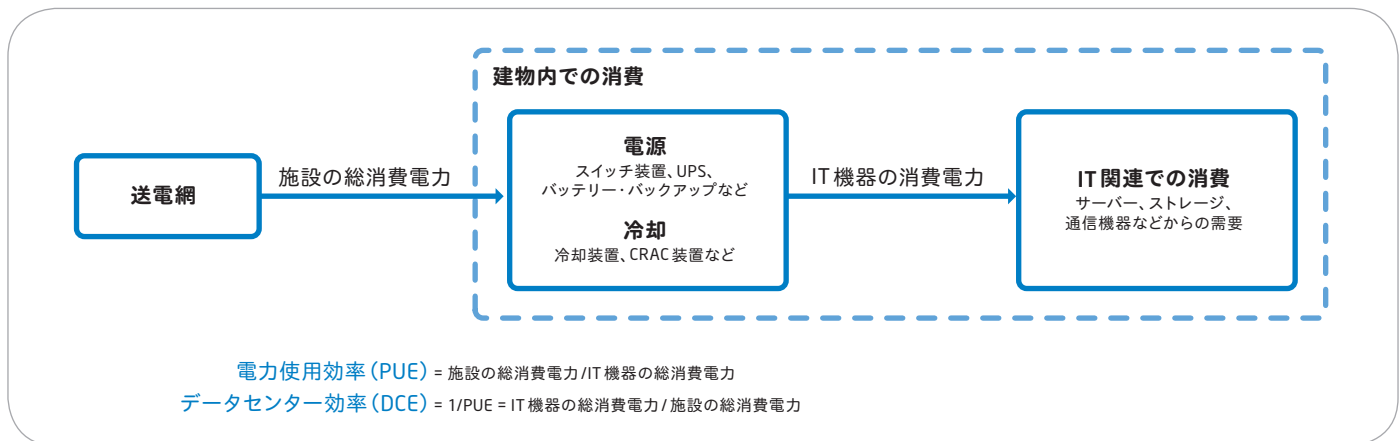


図 1. IT 使用率データを取得する電力測定ポイントの決定

多用途ビル(複数の機能の1つとしてデータセンターを備えている建物)での電力測定には、データセンターに使用される電力を区別可能な測定方法が必要です。図2に示すのは、旧式のデータセンターで施設の総消費電力を測定するのに使用した、UPSによる電力測定のレイアウトです。

- コンピューティング機器、ストレージ機器、ネットワーク機器などすべてのIT機器に関連した消費電力
- 補助的な機器: キーボード/ビデオ/マウス(KVM)スイッチ、モニター、データセンターの監視やその他の制御操作に使用されるワークステーション、ノートブックPCなど

### IT機器の消費電力

IT機器の消費電力は、上げ床のスペース内でデータの管理、処理、格納、ルーティングを行う以下の機器によって使用される有効電力です。

IT機器の消費電力は通常、メーターを備えたPDUによってラックレベルで監視されます。しかしインテルIT部門は、これらの電力メーターを使い分電箱内で列レベルの継続的な監視を行う、より効果的な手法を考案しました。

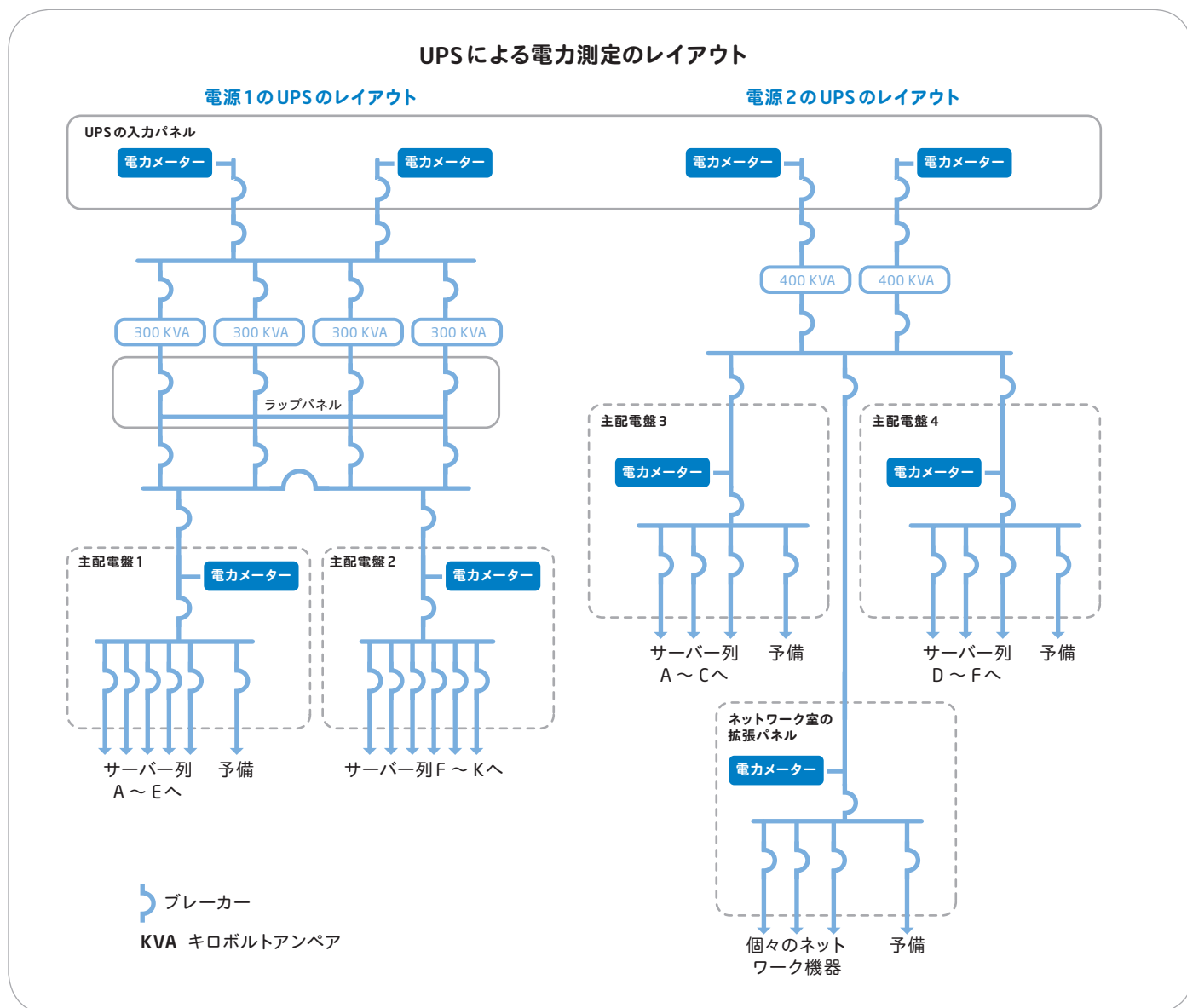


図2. データセンターで施設の総消費電力を測定するのに使用したUPSによる電力測定

表 1. データセンターにおける電源 / 冷却メーターの設置場所

<b>電源の測定</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 入力側：UPSの入力パネル</li> <li>▪ 出力側：列レベルでの配電盤</li> </ul>
<b>冷却の測定</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PAC 装置：電力を PAC 装置に供給する配電盤に設置</li> <li>▪ 多用途の冷却設備：フローメーターと温度センサーを使用して、データセンター向けの冷却の消費電力を区別</li> </ul>

## ソリューションの導入

旧式のデータセンターでPUEを監視するに当たり、IT機器の消費電力を測定するための電力メーターを設置しました。また、水冷式の冷却設備はデータセンター、ラボ、オフィス間で共有されていたので、冷却の消費電力を測定するために通常の電力メーターのほかフローメーターと温度センサーも設置しました。メーターはすべてビル管理システム(BMS)に接続され、測定データの効果的かつ継続的な利用を可能にしています。表1に、メーターの設置場所を示します。図3には、冷却の測定をするための電力メーターの設置場所を示します。

## 測定データの収集

以下の項目を測定して、省電力の可能性について検討しました。

- UPSと配電での損失
- IT関連の電力使用率
- データセンター内のPAC装置の全体的な電力使用率
- データセンターの空気補給装置の電力使用率
- UPS室の冷却の電力使用率
- 冷却設備の電力使用率(データセンターに使用される分)
- 照明の消費電力の測定

詳細な測定レベルを設定することにより、電力使用率の追跡・監視に最適な指標を得られました。また、データセンター内の施設の消費電力を継続的に測定することで得られた情報に基づいて、1年のさまざまな時期に測定作業を実施しました。

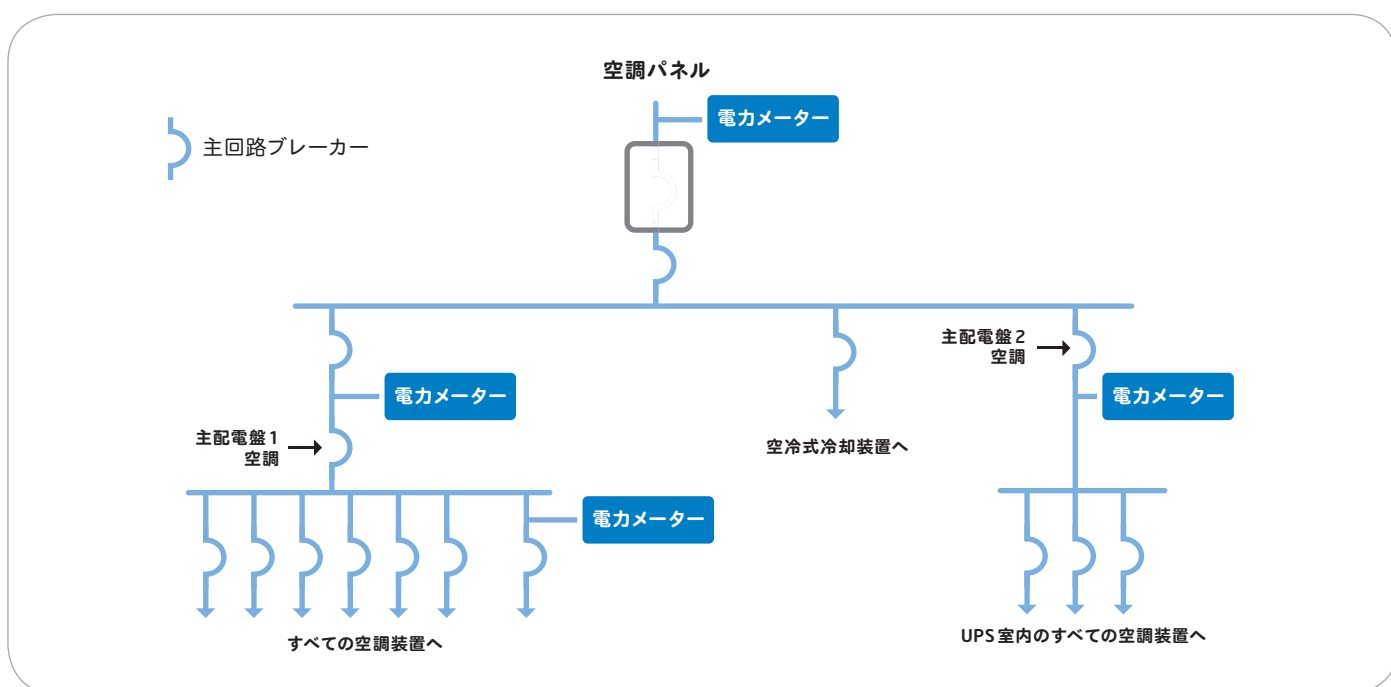


図 3. データセンターの消費電力を同一建物内のほかの施設から区別した冷却の消費電力の測定

PUE の向上による電力コスト削減と予想削減額

	2007 年の消費電力	2008 年の IT 消費電力レベルに対して正規化された 2007 年の消費電力	効率化後の 2008 年の消費電力	PUE を 1.68 にまで改善した場合の予想消費電力
IT 関連の 1 日当たりの平均消費電力 (kWh) (A)	10,164	9,672	9,672	9,672
施設の 1 日当たりの平均消費電力 (kWh) (B)	10,103	9,575	7,818	6,577
データセンターの 1 日当たりの平均総消費電力 (A+B)	20,267	19,247	17,490	16,249
電力使用効率 (PUE = [A+B]/A)	1.99	1.99	1.81	1.68
データセンター効率 (DCE = 1/PUE)	50%	50%	55%	60%
年額換算の総電力コスト (米ドル)	887,693	843,023	766,066	711,706
2007 年に対する 2008 年の実際の削減額: 76,957 米ドル				
予定されているデータセンター改修が行われた後の 2007 年に対する 2009 年の予想削減額: 131,317 米ドル				

データセンターの 1 日当たりの平均総消費電力

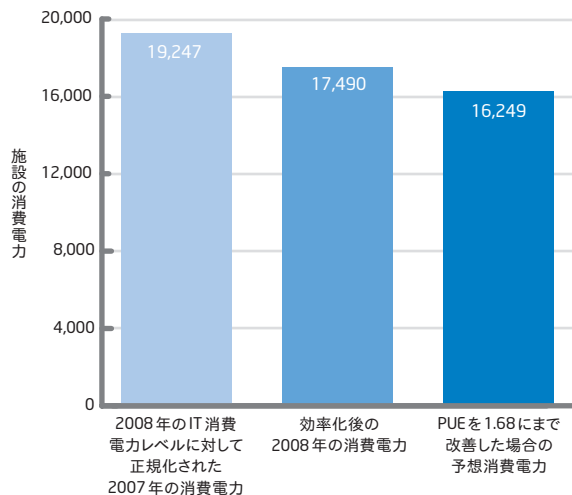


図 4. 旧式のデータセンターでの PUE の向上による実際の削減額と予想削減額

電力使用率の分析

データセンターの運用に関する電力使用率をすべて分析し、旧式のデータセンターを改修するためのレポートを作成しました。レポートには、PUE の継続的な測定データ、IT 消費電力の変動による PUE への影響、消費電力の変動に応じた施設使用率の変動による PUE への影響が含まれています。

データセンターの改修

測定と分析の結果に基づいてその後の対策を決定しました。

- UPS の並列化によって使用率のレベルを高め、効率化と配電損失の削減を実現
- PAC 装置の温度設定ポイントを 19℃ から 23℃ に上昇
- 湿度調節は必要に応じて実施 (湿度調節は年に 3 カ月のみ必要であることが判明)
- データセンター内のエアフローを管理
- データセンターのフロア全体にわたって負荷分散を管理
- データセンター内の非常灯に LED 照明を使用
- 一般の照明を管理して消費電力を削減

各対策の実施には、詳細なプランニングと、適切に調整された作業が必要でした。旧式のデータセンターの電力効率を改善する継続的な取り組みの一環として、この経験と Best-Known Method (BKM: 既知の最適手法) を今後のホワイトペーパーで紹介する予定です。

結果

この施設効率化プログラムでは、指標としての PUE の重要性が強調されました。また、データセンターの PUE を継続的に測定、管理し電力効率を改善する方法を実証することができました。

このプログラムでは以下の結果を得られました (図 4 と図 5 を参照)。

- PUE が 1.99 から 1.81 に向上したことにより、2008 年には運用電力コストを年額換算で 77,000 米ドル削減し、データセンターの全体的な運用効率を 10% 以上改善
- さらなる改修の実施による削減の上積みの可能性を確認: PUE を 1.68 に改善することにより、データセンターの運用効率を 20% まで改善し、電力コストを年額換算で合計 131,000 米ドル削減

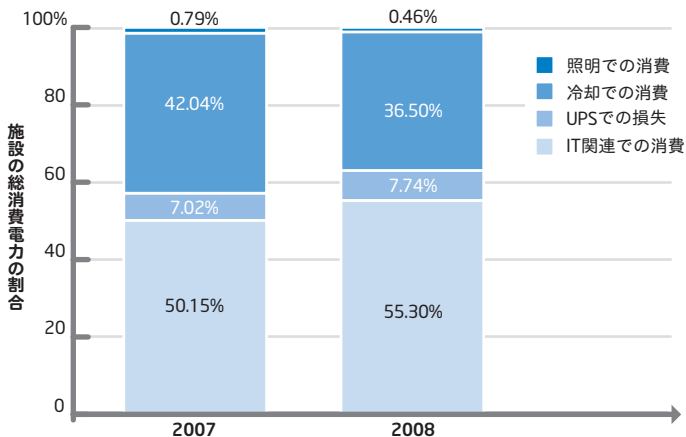


図 5. 施設の総消費電力の削減。IT 関連の総消費電力の増加にもかかわらず、施設の総消費電力は減少

- 電力密度の最適化と効率化との関係を確立
- シングルコア・プロセッサ搭載の 4 年前のサーバーをマルチコア・プロセッサ搭載の高性能、高密度サーバーに更新してデータセンターを改修し、密度と能力を増強することについて、ROI に基づく正当な理由を提示
- データやアーキテクチャーに関する内容も含め、習得した知識を広く社内に発信

データセンター運用、IT コンピューティング事業部門、施設管理の各利害関係者間の連携を強化しながら改革の実施、リソースの節約、ROI の改善を進めるに当たり、協力することの重要性を学びました。プロジェクトのライフサイクル全体にわたりチームが協力し続けた結果、この統合型手法では、当初の予想を上回るコスト削減が実現したほか、消費電力に影響を与える可能性がある各変動要素を一貫して測定することもできました。

このプロジェクトの結果は、データセンター管理に着目したグローバル・ワークグループの設立のきっかけにもなり、世界各地のインテルの取り組みに ROI の初期値とアーキテクチャー手法を提供しました。このワークグループは、パフォーマンスの最適化と全社規模の監視 / 管理を目的に、データセンターの IT と施設の資産管理システムを統合する際的设计オプションを調査 / 開発 / 評価します。

### 次の段階

この調査では、PUE を 1.99 から 1.81 に改善するための初期投資は約 7,000 米ドルであると判断しました。ただし、施設の最適化による効率化には限界があることも判明しました。施設の消費電力を無限に削減し続けることはできません。これは必ずしも DCE 向上の取り組みを止めるというわけではなく、PUE を 1.68 に改善するには、改修に多額の投資（推定で数十万米ドル）が必要になると判断したということです。

こうした調査結果の分析に基づき、PUE 改善のあらゆる段階について ROI の投資回収漸減のキーポイントを推定しました（図 6 の概念図を参照）。また、どのようなデータセンターにとっても、施設の最適化による効率化には、地理的な場所、電源 / 冷却分散アーキテクチャー、その他の地域固有の環境要因に基づく限界があることを学びました。

チームが協力して IT インフラストラクチャーの最適化やサーバーの更新などに取り組むことによって、消費電力のさらなる削減を達成し、DCE を次の段階に高められる可能性があります。

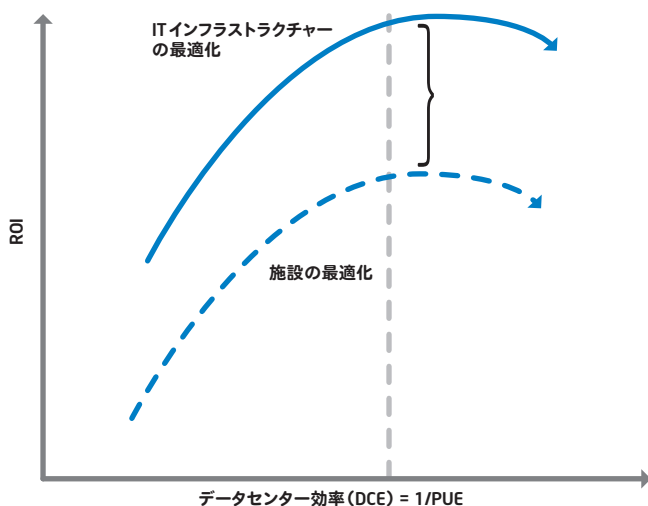


図 6. PUE のさらなる向上に伴う ROI の減少。PUE が同じ場合は、IT インフラストラクチャーの最適化（少ない消費電力で同じ処理能力を達成）によって追加の削減が可能であり、効率化プロセスにおける次の段階に適切です。

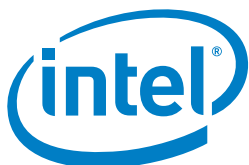
## まとめ

このデータセンターでは、全体的な運用効率を 10% 改善し、年間 77,000 米ドルのコスト削減を達成したほか、ラックの電力密度を 2.8 倍に増加できる可能性を示すことができました。結果として、データセンターの施設使用率の向上につながり、より高密度なデータセンターに移行する上での ROI に基づく正当な理由を得られました。ラックの電力密度が増加すると、最新世代の高性能マルチコア・サーバー・インフラストラクチャーの利点を活かせるので、消費電力当たりのコンピューティング能力を強化できます。

包括的な統合型手法を採用し、データセンターの電力使用量とパフォーマンスに関連したすべての要因を分析することによって、コスト削減につながる改善を進めながら、繰り返し利用可能な指標を開発し、世界各地のインテル・データセンターで最適なレベルの施設使用率を達成しています。この調査は、IT パフォーマンスの簡潔なユニット当たり運用コストを確立し、総保有コスト (TCO) モデルを進化させる上での最初の段階であり、施設管理部門と IT 部門の観点から最も効率的な方法で効果的なデータセンター・サービスを提供することを目的としています。

今回の取り組みの指針となった IT 部門と施設部門の統合的な観点を受けて、インテルでは企業全体にわたる「一括管理」の観点からデータセンターの保守管理性を検討するようになりました。使用率に対するこの統合的な観点は、IT 最大性能とコストの管理にも役立ちます。

今後の焦点は、IT パフォーマンス、施設使用率、長期的に得られるメリットを相互に関連付けることです。



このトピックに関するインテル IT 部門のベスト・プラクティスの詳細については、  
<http://www.intel.co.jp/jp/business/it/> を参照してください。

## 著者

**Anand Vanchi** インテル IT 部門、エンタープライズ・アーキテクト  
**Sujith Kannan** インテル インド、メンテナンス / オペレーション・マネージャー  
**Ravi Giri** インテル IT 部門、スタッフエンジニア

## 謝辞

**Ravi Madras** インテル IT 部門、データセンター・オペレーション・マネージャー  
**Rajkumar Kambar** インテル IT 部門、データセンター・オペレーション・マネージャー  
**Ashok Radhakrishnan** IT サステナビリティ・インド・プログラム・マネージャー

## 略語と用語

<b>BMS</b>	ビル管理システム
<b>CRAC 装置</b>	コンピューター室の空調装置
<b>DCE</b>	データセンター効率: 1/PUE または IT 機器の総消費電力 / 施設の総消費電力
<b>DX</b>	直接膨張
<b>IT 機器の消費電力</b>	上げ床のスペース内でデータの管理、処理、格納、ルーティングを行う機器 (サーバー、ストレージ、ネットワーク機器など)によって直接使用される有効電力
<b>KVA</b>	キロボルトアンペア
<b>KVM</b>	キーボード / ビデオ / マウス
<b>PAC 装置</b>	高精度空調装置
<b>PDU</b>	配電装置
<b>PUE</b>	電力使用効率: Green Grid* が提唱する指標であり、施設の総消費電力 / IT 機器の総消費電力に相当
<b>ROI</b>	投資収益率
<b>TCO</b>	総保有コスト
<b>UPS</b>	無停電電源装置
<b>施設使用率</b>	データセンターの総消費電力: 電源、冷却、損失
<b>施設の総消費電力</b>	データセンターのサポートに使用されるすべての電力を含めた、施設の総消費電力

この文書は情報提供のみを目的としています。この文書は現状のまま提供され、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適格性、他者の権利の非侵害性、特定目的への適合性、また、あらゆる提案書、仕様書、見本から生じる保証を含みますが、これらに限定されるものではありません。インテルはこの仕様の情報の使用に関する財産権の侵害を含む、いかなる責任も負いません。また、明示されているか否かにかかわらず、また禁反言によるとよらずにかかわらず、いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation の商標です。

\* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社  
〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-1-1  
<http://www.intel.co.jp/>

©2009 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。  
2009年 10月

322018-001JA  
JPN/0910/PDF/SE/IT/ME