

# データセンターにおける 電力効率の測定

ニール・ラスムセン

ホワイトペーパー#154

**APC**<sup>®</sup>  
by Schneider Electric

## 要約

電力効率の計画や管理が遂行されていないデータセンターの多くで、大量の電力が無駄に消費されている、という残念な状況が見受けられます。データセンターの効率を計画、測定すること、そして改善に向けた取り組みは、いまや難しい課題ではなく、企業が取るべき賢明な対応であるといえます。データセンターの効率を改善すれば、電力消費量を削減できるだけでなく、IT 電力密度を高めて、所定の場所により多くの IT 設備を導入できるようになります。ここでは、定期的評価と継続監視のメリットの比較など、データセンターの効率の測定、評価、およびモデル化の方法について説明します。

©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。

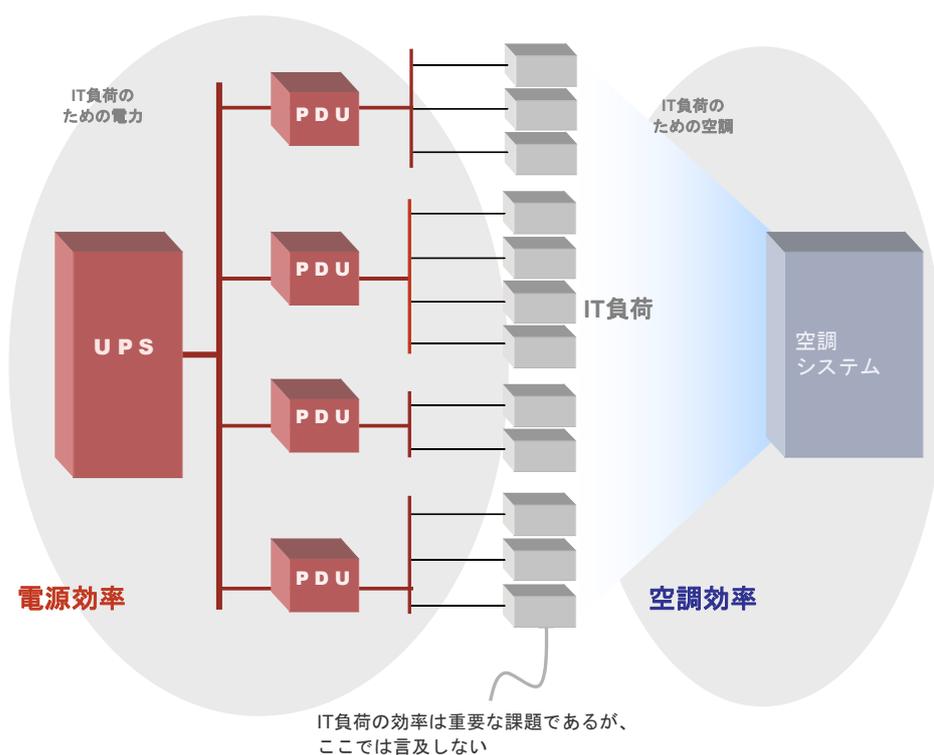
[www.apc.com](http://www.apc.com) WP154 改訂 0

## はじめに

今日、企業がデータセンターにおけるエネルギー消費量の制御を検討することは、適切な社会政策であり、適切なビジネスであるといえます。1MW の電力負荷を持つ可用性の高いデータセンターの場合、耐用期間全体を通じて消費する電力は、金額に換算すると 2,000 万ドル(約 20 億円)に上ります。最近の記事によると、IT ハードウェアコストよりも電力コストの方が高い場合もあるようです。企業の多くは現行の業務における炭素の排出量について考慮し始め、企業や業界の環境対策に、データセンターが大きな負担をかけているという認識を強めています。APC-MGE の調査をはじめ、一部の機関の調査によると、設計が類似していても、データセンターの効率はそれぞれ大幅に異なることが明らかになりました。さらに注目すべきことに、実際の設備の効率は実現可能な最大値よりはるかに低いという事実も判明しました。

このホワイトペーパーでは、データセンターの標準的な設備においては電力の過半数を占める、電力や空調などの各種インフラの電力消費量と電力効率に焦点を当てて説明します。インフラによってサポートされるIT機器の電力消費量と電力効率は、全体的なエネルギー利用にとって非常に重要な課題ではありますが、このホワイトペーパーでは記述していません。(図 1)

図 1 このホワイトペーパーの主題となる電力および空調の効率



ユーザが最初に直面する問題は、設備の性能に関するデータがないことです。また、データがあったとしても、それを評価する方法をわかっていません。同じような設備効率と比較またはベンチマーキングする方法を知らないのです。設備について意図した性能と実際のデータを比較する方法さえもわかっていません。

つまり、効率に関するデータがなく、たとえデータがあったとしても、それをどのように扱うべきか見当がつかないということです。それらの問題を解決するためには、以下のものがが必要です。

- データセンタの効率を記述するための標準的な文言
- データセンタの効率を測定するための標準的な方法
- データセンタの効率を規定するための標準的な方法
- データセンタの効率を分析し、非効率の要因を判別するための標準的な方法
- 効率に関するベンチマークデータ
- 提案された改善項目または代替案を評価するための、効率のモデル化ツール

幸いにも、これらの課題の実現を妨げる実践面または技術面での根本的な障害はありません。このホワイトペーパーで主張したいのは、データセンタのオペレータは、既存のデータセンタについても新たに構築するデータセンタについても、効率の管理を最優先に考えるべきであるということです。このホワイトペーパーでは、上記の課題をすべて取り上げますが、データセンタの効率の**規定**については、別途、APCホワイトペーパー#156『[Specification of Electrical Efficiency for Data Centers](#)（データセンタにおける電力効率規定）』【英語版】で説明します。

## データセンタの電力効率のコンセプト

データセンタの電力効率を自動車の燃費（単位：マイル／ガロンまたは km/l）と比較することが、このホワイトペーパーの主題を考える際に役立ちます。特定の車の燃費の話をする場合、次の 4 つの基本コンセプト（**図 2**）について考慮します。

- 製造業者が設定した燃費仕様（例：高速道路走行時 12.8km/l、一般道路走行時 9.4km/l）
- 同じような車の燃費のベンチマーク
- 実際の運転で見込まれる平均燃費
- いま現在の瞬時燃費

効率に関するこれら 4 つの主要なコンセプトは、そのまま、データセンタにも当てはまります。検討時にはこれらを明確にして切り分けることが非常に重要です。

図 2 自動車の燃費に例えた場合の効率に関する 4 つの基準



自動車の燃費に関する基準の中で最も有用性が低いのは、「いま現在の瞬時燃費」の数値です。というのも、その時点における走行条件(上り坂、下り坂、加速、信号待ち、惰行、トレーラーのけん引中など)によって数値が大幅に左右されるからです。同様に、単一の測定基準だけでデータセンタの効率を十分に表すことはできません。**特定のデータセンタについて効率を「測定」するだけでは何らかの結論を導き出したり何らかの措置を講じたりすることはできず、追加情報が必要であるということ**を認識することが特に重要です。

自動車を例にとった類推が示すように、効率の測定は、期待される仕様、業界のベンチマーク、規定された動作条件、および平均化という枠組みがあってこそ、意味のあるものになるのです。

## データセンタの電力効率の測定基準

データセンタの効率については、**データセンタインフラ効率**(DCiE: Data Center Infrastructure Efficiency)、**電力効率性**(PUE: Power Utilization Effectiveness)、**サイトインフラ電力オーバーヘッド係数**(SI-POM: Site Infrastructure Power Overhead Multiplier)など、さまざまな測定基準が文献で提案され、議論されています。このホワイトペーパーでは、データセンタインフラ効率(DCiE)を使用することにします。DCiEは、米国環境保護庁(Environmental Protection Agency)が2007年8月に米国議会に提出したデータセンタの効率に関する報告の推奨案<sup>1</sup>に準拠している唯一の測定基準です(次ページの囲み記事「**優れた測定基準とは?**」を参照)。これらの各種測定基準の詳細な比較については、APCホワイトペーパー#157『**業界標準のデータセンタ効率測定基準の選択**』を参照してください。

DCiEでは、データセンタに供給される総電力のうち、最終的にIT負荷に供給される部分として、データセンタの電力効率を表しています。この場合、効率は0から1の間になり、通常はパーセント(%)で表されます(効率が最大の場合は100%)。

データセンタインフラ効率

**DCiE** =

IT 負荷電力

データセンタの合計入力電力

### 効率の測定基準

同一のものを表すためにさまざまな方法がある

**DCiE**

このホワイトペーパーで使用。  
EPAの提言に準拠<sup>1</sup>

データセンタインフラ効率

IT 負荷電力

=

データセンタの合計入力電力

例: **DCiE = 80%**

パーセント(%)が高いほど、  
効率が低い  
効率の最大値 = 100%

**PUE**

電力効率性

その他の測定基準は  
DCiEの逆数値

**SI-POM** (PUEと同じ)

サイト電力オーバーヘッド係数

=

データセンタの合計入力電力

IT 負荷電力

例: **PUE = 1.25**

値が大きいほど、効率が低い  
効率の最大値 = 1

<sup>1</sup> 米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency)、ENERGY STARプログラム『Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431』(2007年8月、p.94)

データセンタの効率が 100%の場合、データセンタに供給されるすべての電力が IT 負荷のために使用されます。しかし、これはあくまでも理想です。実際には、電力エネルギーは、IT 負荷のためだけではなく、たとえば、変圧器、UPS、配線、ファン、空調装置、ポンプ、加湿装置、照明など、さまざまな装置によって消費されています。これらの装置のいくつか(UPS や変圧器など)は IT 負荷と直列の関係にあり、電力を IT 負荷に供給する「給電経路」を形成します。空調や照明など、その他の装置は IT 負荷と並列の関係にあり、IT 負荷を維持および保護するために機能しています(図 3)。

## 優れた測定基準とは?

EPAの2007年度議会報告より<sup>1)</sup>

- “ サイトインフラの効率の有効な測定基準とは、以下の基準を満たすものである
- ・ その意味を明確に伝えることができる
  - ・ 出力測定基準を分子とし、エネルギー入力を分母として、効率の測定基準が明確に定義されている
  - ・ データセンタのサイトインフラの部分についてのみ適用される ”

DCiEはEPAのこれらの基準を満たしている

図 3 DCiE では IT 負荷に供給される電力のみを考慮する。その他の消費電力は、「望ましくない消費電力」として、削減すべきものとみなされる。

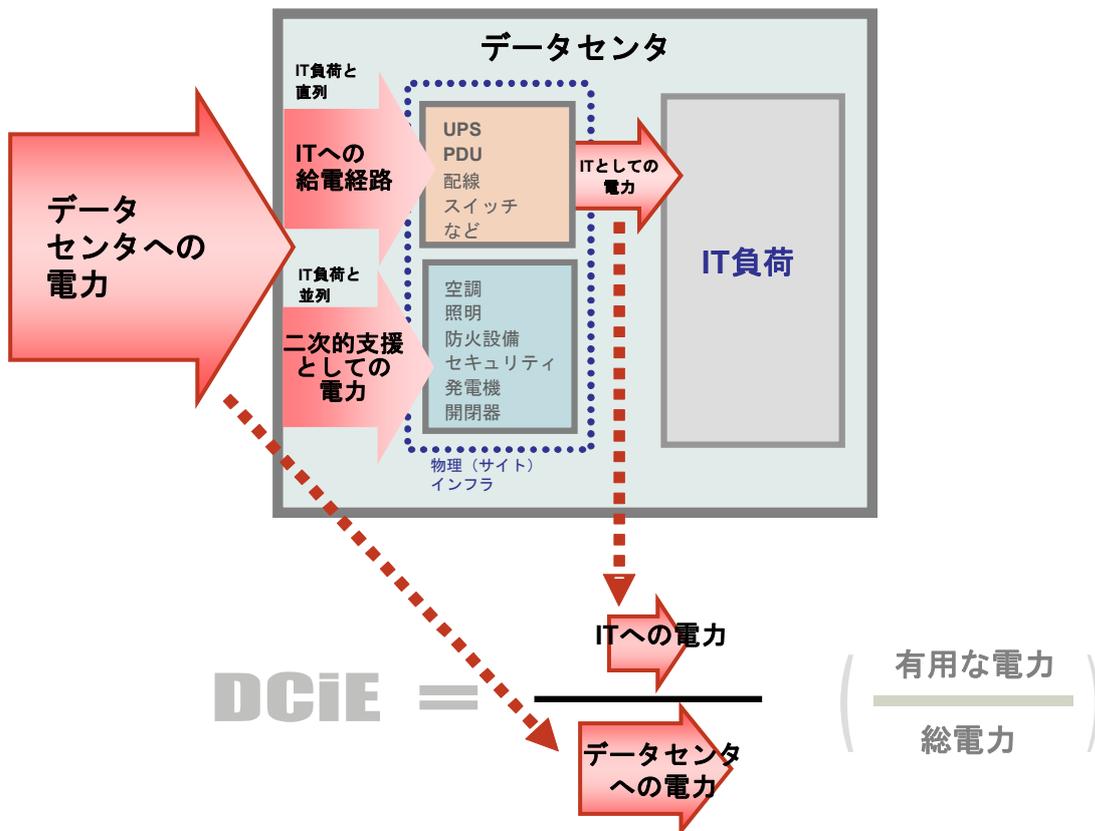


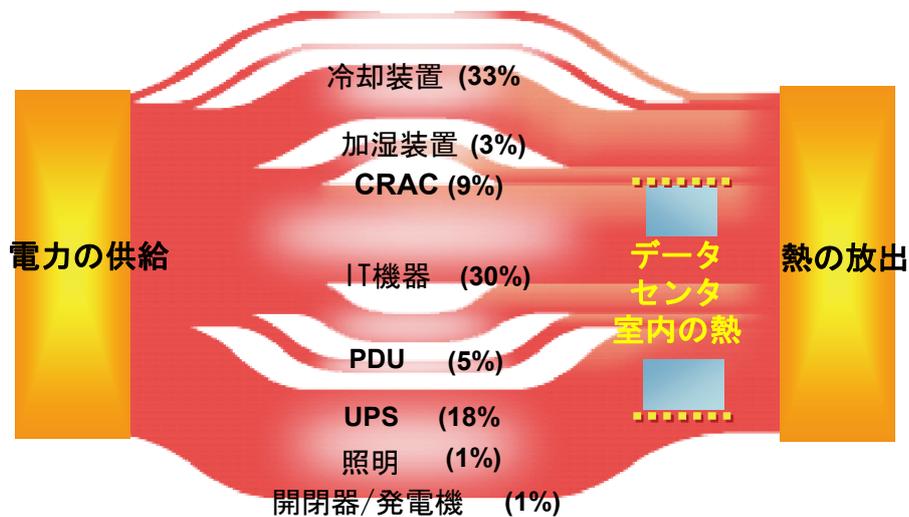
図 3で注目すべき点は、DCiEに関する限りでは、実際にIT負荷のために使用される電力のみが「有用」とされることです。DCiEに基づく分析では、「その他」の電力は浪費電力とみなされます。「その他」の電力には、給電経路における装置の非効率の原因で熱として放出される電力だけでなく、補助的(並列)インフラによって消費されるすべての電力が含まれます。それらはすべて、装置設計の改善という観点から、または、「フリークーリング」などのまったく新しいテクノロジーという観点から、効率改善のための恰好の標的となっています。「有用」電力と「その他」の電力(浪費電力)の違いについては、APCホワイトペーパー#113『データセンタの電力効率のモデル化』を参照してください。

## 「その他」の電力の供給先

(DCiEで定義する)データセンタの「有用な」電力がIT負荷に供給される電力であるとする、残りの電力はどこで消費されるのでしょうか。典型的なデータセンタにおける電力の流れは図 4のとおりです。実際には、データセンタに供給されるすべての電力が最終的には熱になります。

この図のデータセンタは、(N+1)CRAC 装置を備えている典型的な高可用性二重給電経路データセンタであり、設計容量に対し通常 30%の負荷率で稼働しています(この例では、負荷率と IT 機器に供給される電力の割合とが共に 30%という数値になっていますが、これは偶然の一致であり、これらの数値が必ず同じになるということではありません)。

図 4 標準的なデータセンタにおける電力の流れ



実際にIT負荷に供給されるのはこのデータセンタに給電される電力の半分よりもはるかに少ないことに注目してください。DCiEにおける効率の定義に基づくと、図 4のデータセンタは、入力電力の 30%がIT負荷に供給されていることから、効率は 30%であるということになります。

## 装置の効率に関するデータ

電源機器装置および空調機器の効率に関するデータはそれぞれの製造業者が提供しています。電源機器装置の場合、一般的に効率はパーセント(%)で表されます。一方、空調機器の効率を表す方法はさまざまであり、一般的には、ヒートポンプの成績係数(COP: Coefficient of Performance)、すなわち消費電力(kW)に対する冷却能力(kW)の割合です。チラーの効率は kW/t、EER(エネルギー消費効率)で表されます。空調に関するこれらの測定基準は非常に似ており、相互に変換することが可能です。ただし、これらの測定基準によって効率に関するデータすべてが提供されるわけではありません。というのも、これらの測定基準により発表された値は、標準的な温度および湿度における一点でのみ計算されたものであるためです。機器の実際の効率は、システムの負荷や実際の状況(年間を通じての外気の変化など)により、発表された値と異なります。屋外環境が効率に及ぼす影響については、後で詳しく説明します。

照明電力は、単純に一定損失として表されます。たとえば、データセンタの効率について考慮する場合、60 ワットの電球は、60 ワットの熱を発生しますが、IT 負荷に電力を供給するわけではないので、効率は 0%ということになります。

## 効率の測定値の平均化

データセンタでは、加湿装置、一部のタイプのCRAC装置、凝縮水ポンプ、一部のタイプの冷却装置、ドライクーラーファン、換気ファンなど、多数の空調関連の装置が一定の間隔で繰り返しオンにされたりオフにされたりします。そのため、IT負荷が一定であっても、データセンタの**電力消費**の瞬時測定値が変わります。よって、このオンオフの反復動作は**瞬時効率**の変化を引き起こします。

一定期間におけるデータセンタのエネルギー消費はその期間におけるデータセンタの効率の**平均値**を使用して算出されます。したがって、データセンタインフラ効率(DCiE)について言及する場合、一定期間における平均効率に着目しているということになります。反復動作を有するデータセンタの機器の多くは、数十分程度の間隔で動作が繰り返されます。したがって、意味のある情報を得るための最短平均時間は 1 時間前後と考えられます。**このホワイトペーパーで瞬時DCiEについて言及する場合、実際は 1 時間における平均値を指すものとします。**

また、DCiE に関する平均化期間について検討することも必要です。たとえば、効率は季節によって変わるので、エネルギーコストを見積もる際には年間平均値が役立ちます。さまざまな用途に応じて、日別、週別、月別の平均値を利用することもできます。それらの平均値を、それぞれ、日別 DCiE、週別 DCiE、月別 DCiE、年間 DCiE と呼ぶものとします。

DCiE を使用しているか他の測定基準を使用しているかに関係なく、データセンタの効率に関する最も有名な文献では、平均化期間を特定したり、数値で示したりしていないので、非常に曖昧です。よく使用されている効率測定基準

### IT負荷効率とは？

データセンタの効率に関するこの分析では、IT負荷のための電力供給および空調がデータセンタの物理(または「サイト」)インフラの「仕事」であり、その成果は電力供給および空調の過程で使用されるエネルギーをいかに抑えるかということによって測られます。

データセンタ全体の総合的な効率は、有用な仕事を最小限の電力消費と発熱で実行するときの、IT負荷効率によって左右されます。この総合的な効率とは、このホワイトペーパーで説明しているDCiEと、IT消費電力当たりの有用なIT計算仕事量との積になります。

計算機器の電力管理の改善や、仮想化などのようなソフトウェア効率の改善は、IT消費電力当たりの有用仕事量を増加させるための重要な要素です。これらの重要な改善項目は、DCiEによる改善を補完および強化するものですが、このホワイトペーパーでは取り上げません。

データセンタが環境に及ぼす影響を減らすためのあらゆる戦略で、DCiEとIT消費電力当たりの有用仕事量の両方を改善することに重点を置く必要があります。

に関する調査の結果、データセンタの耐用期間を通じた平均エネルギー消費に関連していることから、年間 DCiE が測定基準としては妥当であると提言しています。

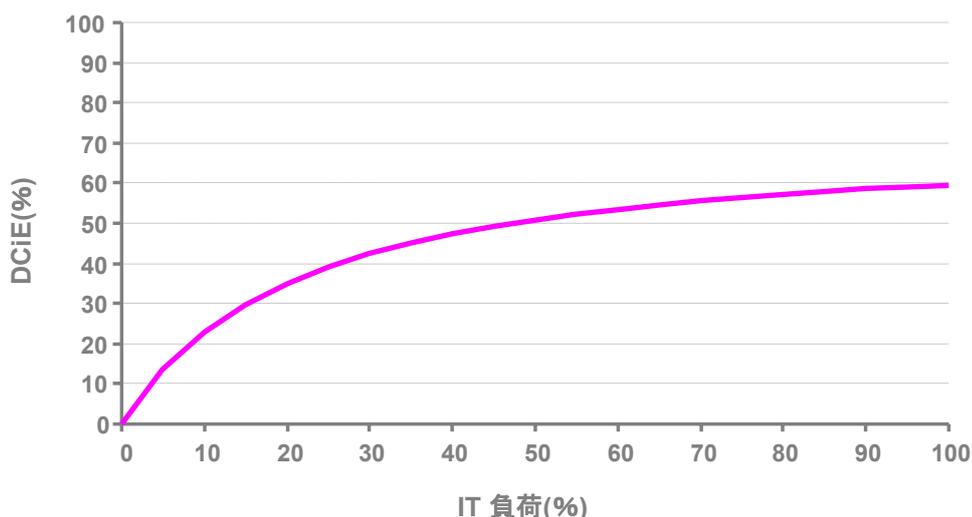
残念ながら、一般的に、瞬時DCiEが年間DCiEと同じになることはありません。このことは、日別DCiE、週別DCiE、月別DCiEについても同様です。特定の瞬時におけるデータセンタの瞬時効率の測定結果はたった 1 つの値によって表されます。その値は、電源、空調、および照明の各システムの固有の電力消費特性とその瞬時におけるIT負荷の値から導き出されます。しかし、データセンタでは、効率は時間と共に変わります。なぜならば、IT負荷、屋外環境、および空調モードが時間と共に変わるからです。これらの要素は、すべて、データセンタの効率に影響し、その結果データセンタの効率は常に変化します。特定の一時点におけるデータセンタの効率の測定値は、いずれも、「スナップショット」のようなものであり、将来における性能を予測するために使用することはできません。**単一の測定基準を使用してデータセンタの効率を測定しても正確な結果を得ることはできず、その結果をベンチマーキングまたは効率管理の基準にすることはできません。**

データセンタの効率の測定方法を決定するためには、条件が効率に及ぼす影響について理解する必要があります。

## IT 負荷が効率に及ぼす影響

データセンタの状態が時間と共に変化することにより、データセンタの効率も時間と共に変化します。時間と共に変化する状態のうち、最も重要なもののひとつとしてIT負荷があげられます。最近のIT機器の電力管理機能により、IT負荷はその時々で変化するものと考えられます。一方、データセンタにIT機器が撤去および追加されることで、IT負荷は長期的にも変化します。図 5は、代表的なデータセンタの効率がIT負荷に応じてどのように変化するかを示しています。

図 5 IT 負荷に対するデータセンタインフラ効率 (DCiE)



データセンタ内に常設されている電源機器および空調機器の効率曲線は図 5 のようになります。負荷が小さければ効率が低く、IT 負荷がゼロであれば効率もゼロになります。この曲線から、効率は負荷によって大幅に変化することがわかります。

IT 負荷が IT 計算作業負荷の変化に伴って 1 日の中で変化するならば、グラフからわかるように、瞬時 DCiE も 1 日の中で変化するものと思われます。つまり、瞬時 DCiE は日別 DCiE とは同じにはならないであろうということです。週末の IT 作業負荷が平日の IT 作業負荷と異なる場合、通常、日別 DCiE は週別 DCiE と同じにはなりません。これは、どのようにして効率を測定し、測定結果をどのように解釈するかということに関して重要な意味を持ちます(詳細については後述します)。

負荷の変化に伴う DCiE の変化が、効率データの解釈に与える重要な影響はもう 1 つあります。2 つのデータセンタを比較する場合を考えてみましょう。データセンタ A の効率は 47%、データセンタ B の効率は 50% と測定されたとします。一見、データセンタ B の方が効率がよく、したがって、根本的な設計が優れている「環境に優しい」データセンタであると考えるのが妥当であると思えますが、これらの 2 つのデータセンタについてさらに詳しく見てみることにします。図 6 を参照してください。

図 6 2 つの異なるデータセンタの効率曲線の比較

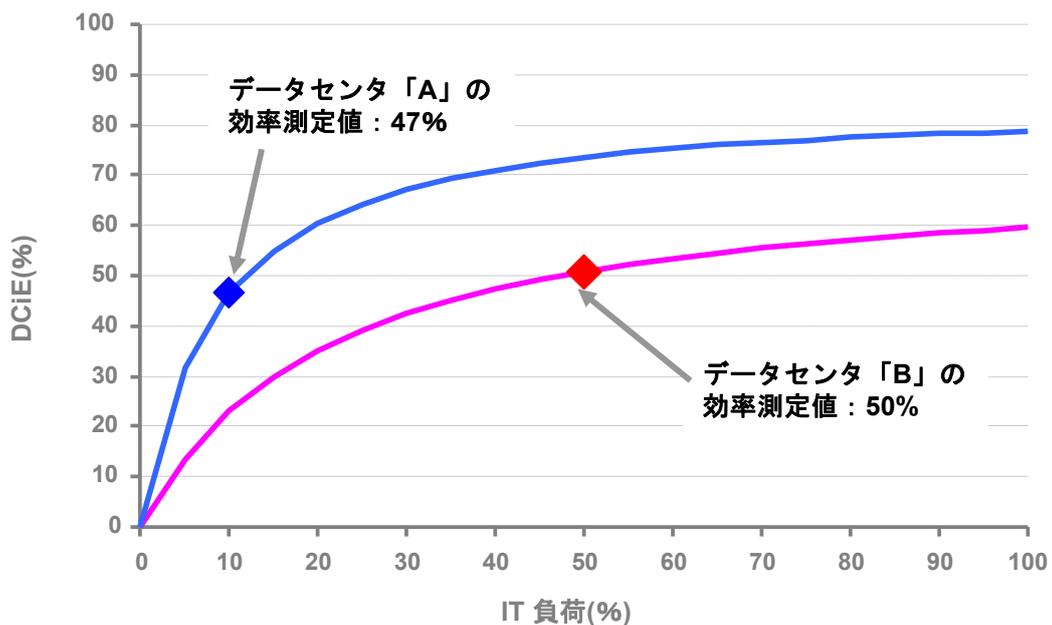


図 6 から、データセンタ A は、測定された時点における効率は低いものの、データセンタ B よりもはるかに優れた効率曲線を持っていることがわかります。仕様面から考えて、データセンタ A の方が効率の高い電源機器および空調機器を使用しており、通気設計が最適化されているものと思われます。それにもかかわらず、IT 負荷率がデータセンタ B よりも低いため、データセンタ A はその効率曲線上で効率が悪いポイントでの運用がなされているのです。

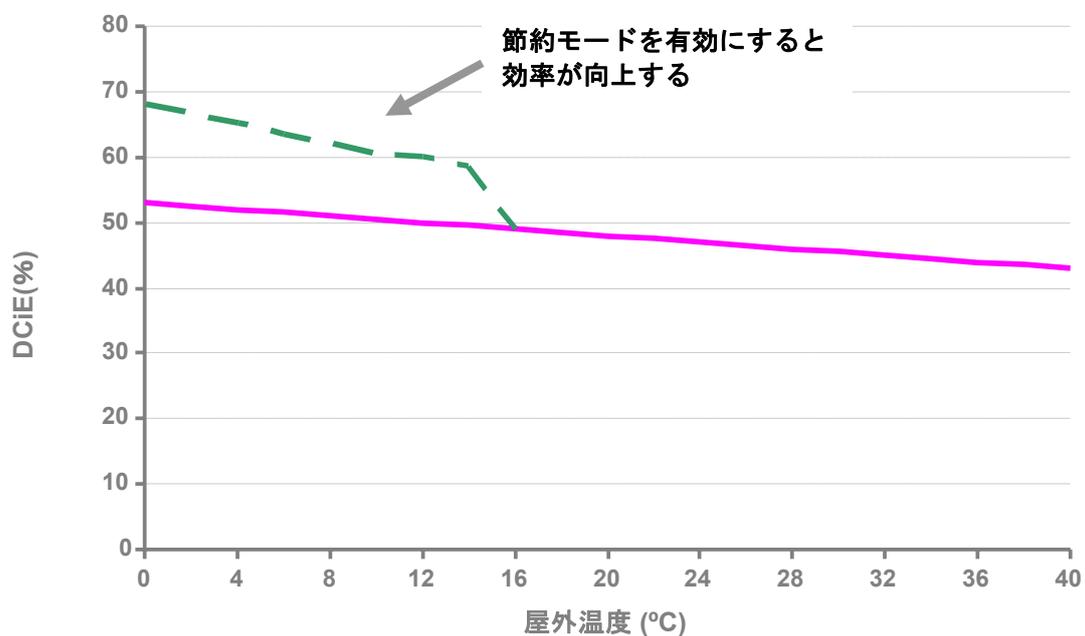
図 6 の場合、どちらの設計が優れているのでしょうか？ エンジニアは、データセンタ A の方が本質的な設計効率が優れていると言うかもしれません。一方、事務担当者は、データセンタの規模計画が甘く、技術的に実現された効率がすべ

て相殺されてしまったのだと言うかもしれません。どちらの「設計」が優れているかは、適切な規模計画を設計の一部として考えるかどうかによります。効率の測定値の解釈については、APCホワイトペーパー#155『[Electrical Efficiency Analysis for Data Centers \(データセンターの電気効率分析\)](#)』(英語版)で詳しく説明します。

## 屋外条件が効率に及ぼす影響

時間と共に変化し、データセンターの効率に影響するもう 1 つの要素として、屋外条件があります。日射、湿度、風速など、効率に影響すると思われる要素はさまざまですが、最も重要な変数は屋外温度です。図 7 は、代表的なデータセンターの効率が外気温に応じてどのように変化するかを示しています。<sup>2</sup>

図 7 屋外温度の関数としてのデータセンタインフラ効率 (DCiE)



代表的なデータセンターの効率は温度の上昇に伴って低下していますが、これは、熱排出システムがデータセンター内の熱を処理する際に消費する電力が増加するためであり、また、屋外の熱がデータセンター内へ伝達することによって処理しなければならない熱負荷が増加するためです。図 7 の点線の部分は空調システムを「節約」モードにした場合に比較的低い温度では効率がどのように改善される可能性があるかを示しています。効率は明らかに屋外温度に伴って変化しており、特に、データセンターに節約空調モードが用意されている場合に著しい変化がみられます。

<sup>2</sup> X軸の項目として適しているのは、周囲温度ではいわゆる「湿球温度」または「露点温度」です(周囲温度は、使用する熱排出システムのタイプによりいずれかとなります)。

## ユーザ構成/設定が効率に及ぼす影響

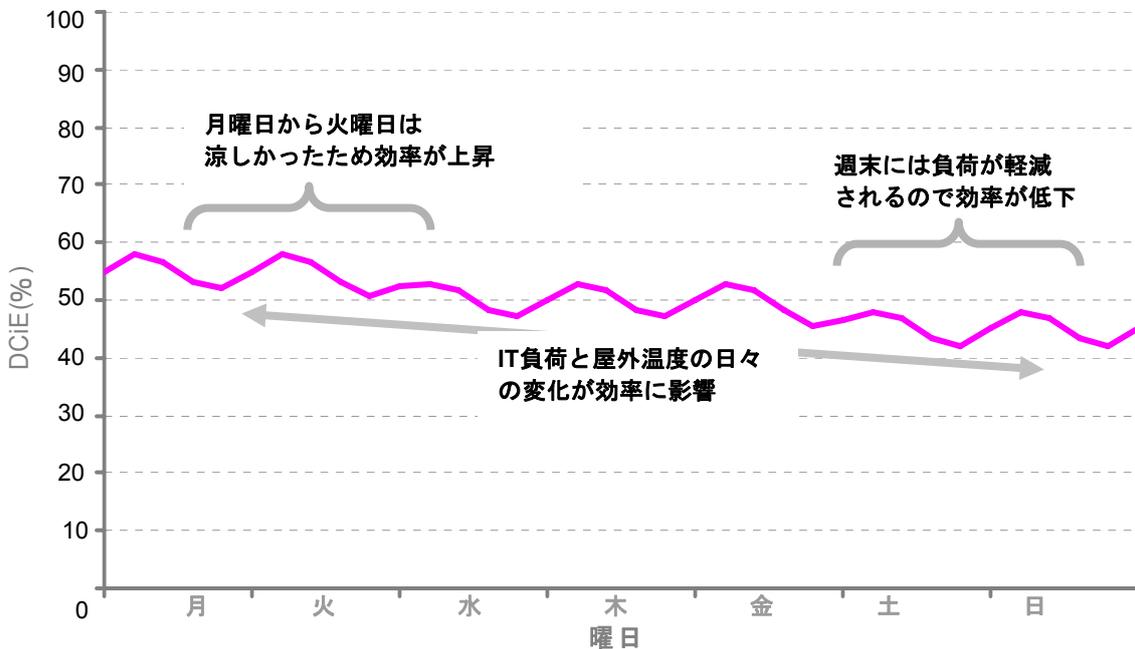
DCiE に影響を及ぼすために、ユーザがとりうる行動はさまざまです。ユーザが、温度や湿度の設定値を変更するグリル状フロアタイルを移動または追加する、エアフィルタの交換を怠るといったことが考えられます。これらの影響はきわめて変動的であり、まさに電源システムや空調システムの設計によって異なると言えます。このホワイトペーパーにおける分析の目的を考慮して、ユーザによって異なるこれらの「設定値」は、IT 負荷や気候といった可変条件としてではなく、データセンタ設計の属性として扱うものとします。ユーザがこれらの「設定値」を変更した場合（たとえば、グリル状フロアタイルを移動する、フィルタを交換する、温度の設定値を変更するなど）、データセンタ設計が変更されたものとみなされ、新たな測定基準が必要になります。

## 条件変化が効率に及ぼす複合的な影響

これまで、実際のデータセンタではIT負荷や温度に応じて効率が変化するということを説明してきました。図 8は、以下の3つの要素の影響でデータセンタの効率が1週間どのように変化するかを示しています。

- IT 負荷および屋外温度の日々の変化に伴う日ごとの変化
- 気候の変化に伴う日ごとの変化
- 週末における IT 負荷の低下

図 8 1 週間における瞬時データセンタインフラ効率 (DCiE) の変化



日々の変化は著しいものではありませんが、特定のかつ一時的な DCiE 測定の有効性を大幅に損なうものです。きわめて高い精度で特定の効率測定を行っても、想定される効率の日々の変化により、測定値を電気代の予測、効率改善活動の影響の測定、傾向分析などに利用しようとする場合、その精度は決して高いとは言えなくなります。

DCiE は、一時点における瞬時監査型の測定であり、ベンチマーキングおよび傾向分析の際には有効ではなく、また、効率改善の機会を判別する上での実用的な手がかりを与えるものでもありません。幸いにも、測定値を利用してこれらすべてを実現する方法があります。しかし、そのためには測定目的に関する新しい考え方が必要です。

## データセンタの効率のモデル化

特定のデータセンタの活動を正確に表し、IT 負荷や屋外の気候に関する統計値などを入力データとして受け入れることができる数学モデルを使用すれば、データセンタのエネルギー管理計画を効率的に行うことができます。実際に稼働しているデータセンタの測定で得られるのは測定時の状態におけるデータのみですが、それとは異なり、数学モデルでは、あらゆる入力条件に基づくデータを得ることができます。たとえば、定格負荷に占める IT 負荷の割合が小さい場合でも、そのモデルを使用して、最大負荷におけるデータセンタの効率の期待値を得ることができます。2 つの異なるデータセンタのモデルに同じ入力条件を投入すれば、有意義な比較を行うことができます。さらに、数学モデルはデータセンタが実際に構築されていない場合でも作成できるので、データセンタの性能を事前に予測することが可能です。

稼働中のデータセンタの場合、条件を標準化するために気候や IT 負荷を変更することはできません。測定する際には、その時点における IT 負荷と気候を受け入れるしかなく、他に選択肢はありません。有効なモデルを使用することで、異なる条件における測定を標準化して、データセンタの基本的な稼働性能を求めることが可能になります。

以下に、数学モデルのメリットをいくつか紹介します。これらは、データセンタの効率を測定および記録するだけでは**決して得られない**ものです。

- データセンタの設計案の効率性能を事前に正確に予測できます。
- 稼働中のデータセンタについて、実際に測定することが困難な条件（IT 負荷が異なる場合や業界ベンチマーク条件など）における効率性能を高い精度で予測できます。
- 限られた情報しか得られない状況（たとえば、すべての回路の電力消費量を測定するというように実際には不可能なことが必要になる状況）でデータセンタの効率性能を高い精度で予測できます。
- さまざまな屋外条件におけるデータセンタの効率を高い精度で予測し、一定期間の平均効率を予測できます。
- データセンタの電源システム、空調システム、および照明システムにおける特定のデータセンタの効率に及ぼす影響を特定、定量化できます。
- 予想予期される効率パラメータの範囲外で稼働しているデータセンタサブシステムを特定できます。
- さまざまなデータセンタのモデルのベンチマーキングおよび比較を行えます。

稼働中の特定の時点でデータセンタの効率を測定することで情報を得ることはできますが、上記のことが可能でなければ情報を活用することはできません。以上の理由から、数学モデルは効率管理のためのプロセスおよびシステムを作る際のカギとなります。モデルを使用して初めて、非効率の原因を認識することが可能になります。**そのため、データセンタの効率測定の目的は、効率モデルのパラメータを確立することであるといえます。**

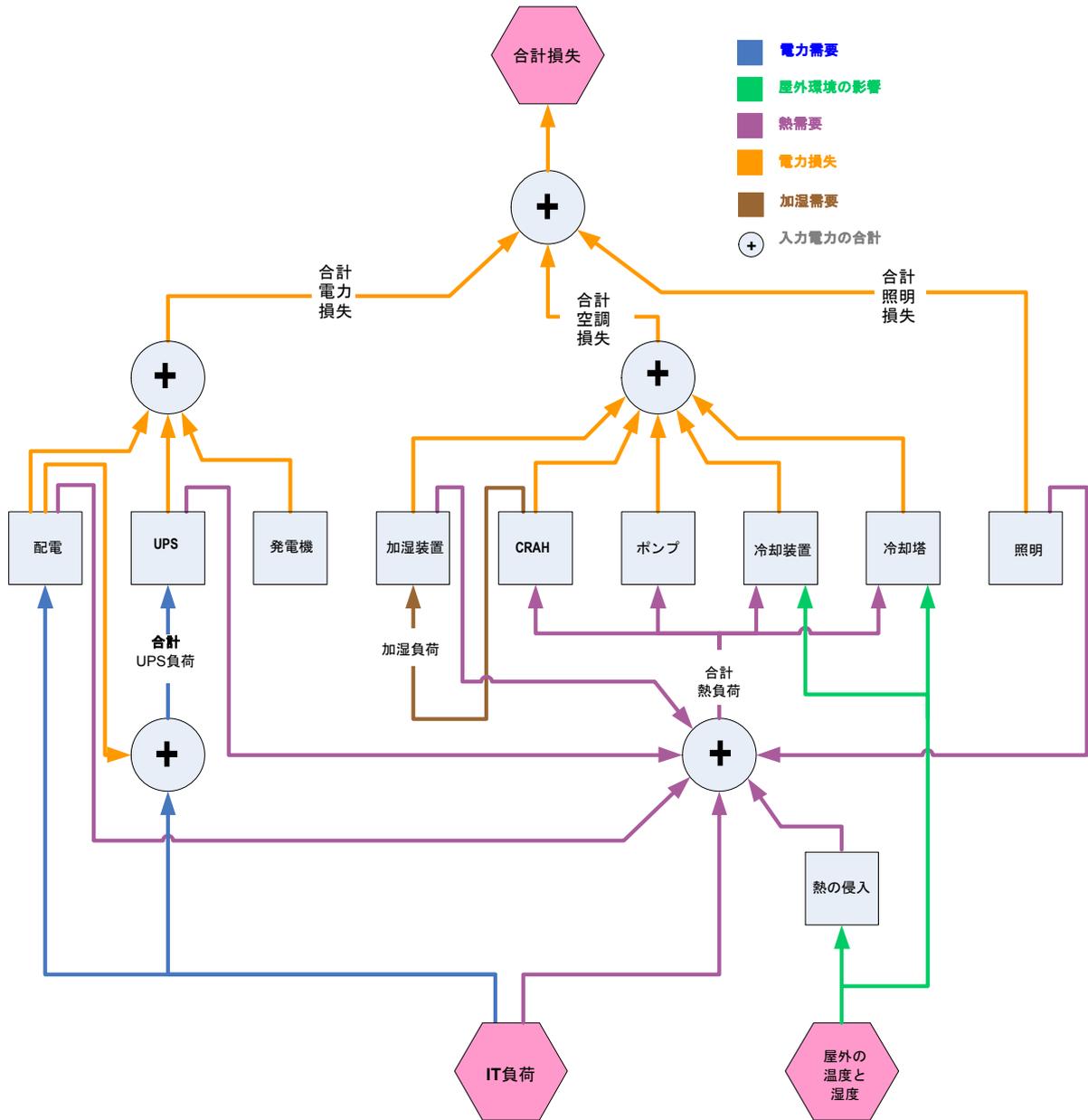
要約すると、データセンタの正確なモデルを作成するのに役立つ情報を入手することが、データセンタの効率測定の主要な目的であるということです。**データセンタの効率に関する実用的な情報を提供するのにはモデルであり、測定ではありません。**

## 実際的なデータセンタ効率モデル

データセンタの効率のモデル化によって得られるメリットは貴重なものですが、特定のデータセンタについて効率モデルを開発したり運用することが実際に可能であり、実用的なことであるかどうかという疑問が残ります。そのような疑問に対する答えは、モデルに必要な精度によって異なります。APC の調査結果では、十分な精度のモデルを作成して運用することは、このホワイトペーパーで概説している効率管理の目標を達成する上で非常に役立つことが明らかになっています。ちなみに、当社では、効率モデルの開発や運用は、近い将来データセンタに関する標準的な手法となり、効率モデルがデータセンタの管理に使用される標準的なソフトウェアツールに組み込まれるのではないかと考えています。

実際のデータセンタ効率モデルの需要/損失図の例を図 9 に示します。

図9 機器のエネルギー需要とそれに伴う損失を示すデータセンタ効率モデル



この図は、データセンタインフラの電力消費(損失)が、電源システム、空調システム、および照明システム内のエネルギー需要を上昇させている、IT負荷ならびに屋外の温度および湿度によってどのように決まるのかを示しています。装置のタイプ(UPS、CRAHなど)ごとに需要(電力需要、熱需要など)が決まり、装置構成および本質的な効率特性に応じて電源消費(損失)が発生します。効率モデルに影響を及ぼすシステム構成要素としては、UPSによって電力供給される装置のタイプ、空調設備のタイプ、節約モードの使用などがあります。モデルには、サイトの気候に関する統計データが含まれます。データセンタ効率モデルの理論、構築、および使用の詳細については、APCホワイトペーパー#113『データセンタの電力効率のモデル化』および#155『Electrical Efficiency Analysis for Data Centers (データセンタの電気効率分析)』(英語版)をご参照ください。

データセンタの効率モデルは、既存のデータセンタについて作成することもできますし、電源装置、空調装置、および照明装置の設計および特性がわかれば、データセンタを構築する前に作成することもできます。モデルが設計を正確に表すものであれば、そのモデルによって提供されるデータも同様に正確になります。照明、UPS、変圧器など、装置のタイプによっては電力性能がほぼ一定で予測しやすいものもありますが、ポンプや空調装置などのように導入状況に応じて性能が変化する装置に関しては不確定要素が多数あり、そのためにモデルの精度が損なわれることがあります。そのような場合にこそ、測定が役立ちます。

## 効率測定計画の作成

これまでは、データセンタの効率を断続的に測定した場合、測定の再現性の低さや、測定の指標がないため、その有用性が限られていることについて説明してきました。しかし、断続的測定は、総合的管理策の一環として行われることがあります。その場合、断続的測定には**初期測定**と**継続測定**の両方が含まれます。以下のように、これらの 2 つのタイプの測定の目的はそれぞれ異なります。

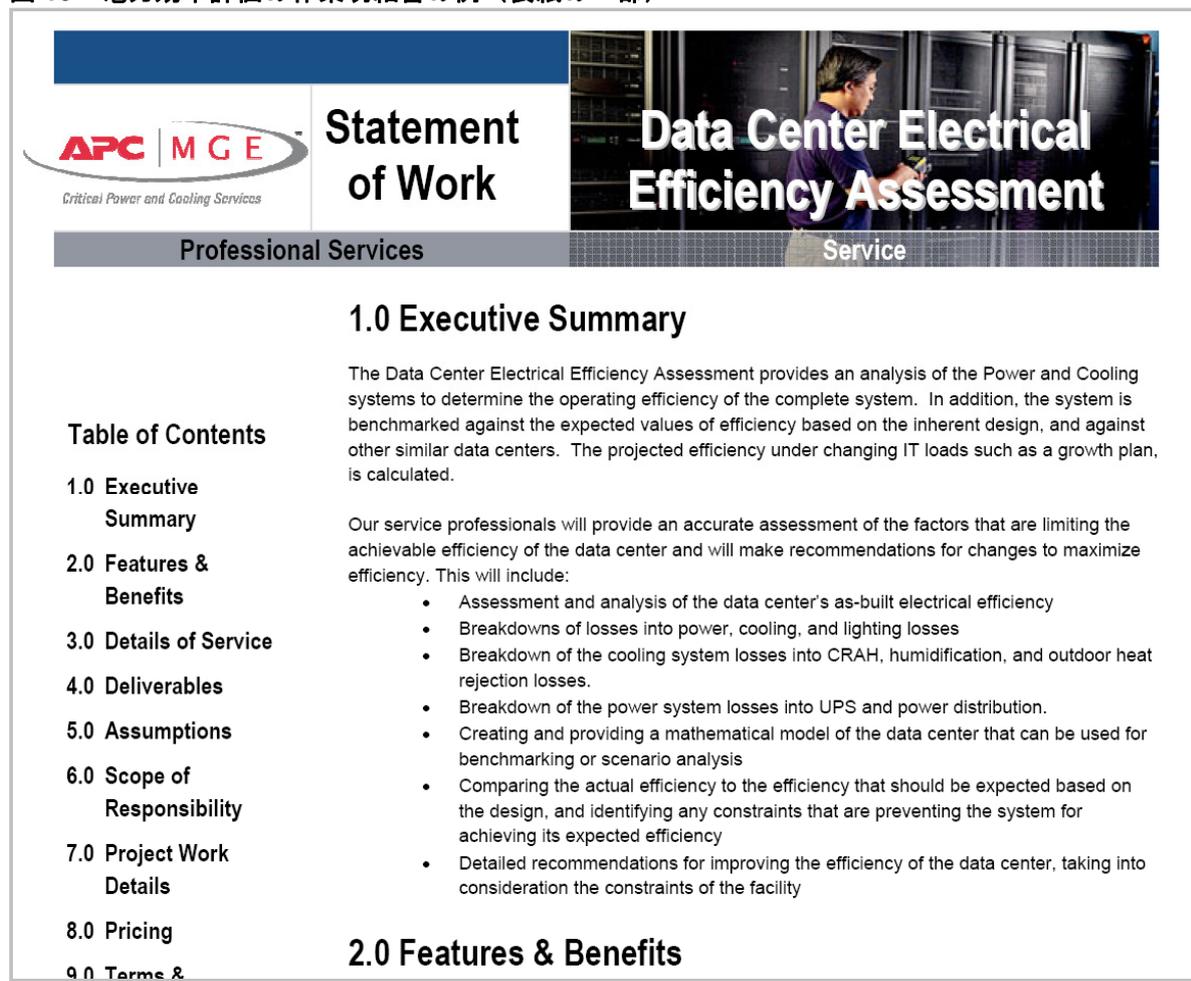
- **初期測定**の目的は、データセンタの効率モデルを校正すること、「現時点における」性能と「あるべき」性能を確定すること、および効率改善のための潜在的な機会を特定することです。通常、初期測定では、全体的な効率測定だけでなく、個々の電源サブシステムおよび空調サブシステムに関する測定が必要です。
- **継続測定**の目的は、モデルと比較して予期しない非効率を発見すること、および改善項目を定量化することです。継続測定は、定期的なサンプリングまたは継続的な計測によって行うことができます。

以下のセクションでは、初期測定および継続測定に関する推奨事項について説明します。

### 初期測定

データセンタの効率の初期測定は、専門家による全体効率測定の一環として行われます。通常は、データセンタの効率測定だけでなく、効率評価を行うことにより、導入構成を分析し、効率改善案を導き出します。効率評価の成果物の 1 つとしてデータセンタの数学モデルが確立されることが理想的です。**図 10**に、データセンタの効率評価のための作業明細書の例を示します。

図 10 電力効率評価の作業明細書の例（表紙の一部）



出典: [apc-mge.com](http://apc-mge.com)

効率評価の過程で収集されるデータには、効率の数学モデルを校正できるようにするために、十分な数のサブシステムに関する測定が含まれていなければなりません。

初期効率測定の結果を利用してデータセンタモデルを校正したら、すぐにそのデータモデルを使用して、性能ベンチマーク(予期される年間平均効率など)や、他の基準 IT 負荷および他の屋外条件における効率(業界ベンチマークと比較するための数値など)を確立することができます。

## 継続測定

データセンタの効率を測定して効率モデルを校正した後は、継続測定を行って、効率改善項目を定量化し、望ましくない効率損失に関する警報を出します。測定された効率の値が最初の測定値と異なる場合は、すでに説明したように、IT 負荷または気候の変化が原因であると考えられます。モデルを利用することで、IT 負荷および気候の影響を修正し、効率が変化したのはそれらの影響によるものか、またはデータセンタの基本インフラが実際に変更されたためなのかを明らかにすることができます。

効率の継続測定として、たとえば年間 2 回(理想としては、夏と冬に 1 回ずつ)というように定期的に行うことも、継続的リアルタイム測定システムを導入することもできます。

次のセクションでは、なぜリアルタイム測定が数年以内に新しいデータセンタの標準機能となることを見込まれるかを説明します。

## 測定対象電気回路の特定

稼働中の特定の時点においてデータセンタの効率を測定するためには、データセンタに供給される合計入力電力と合計IT負荷を測定する必要があります。施設がデータセンタ専用のものであれば、入力電力を建物のユーティリティの幹線で測定できます。また、負荷が単独の大規模なIT負荷装置単体のものであれば、IT負荷電力はその装置の入力部における電力測定値のみとなります。以上の想定の場合、必要になる測定は 2 つだけです。**しかし、残念ながら、このような理想的な状況は実際にはあり得ません。**ほとんどのデータセンタは他の目的にも使用される建造物の中にあり、データセンタのもの以外の負荷も存在します。また、すべてのデータセンタは、おそらく、数千ものIT装置から構成されており、それらの多くは別々の電気回路となっています。

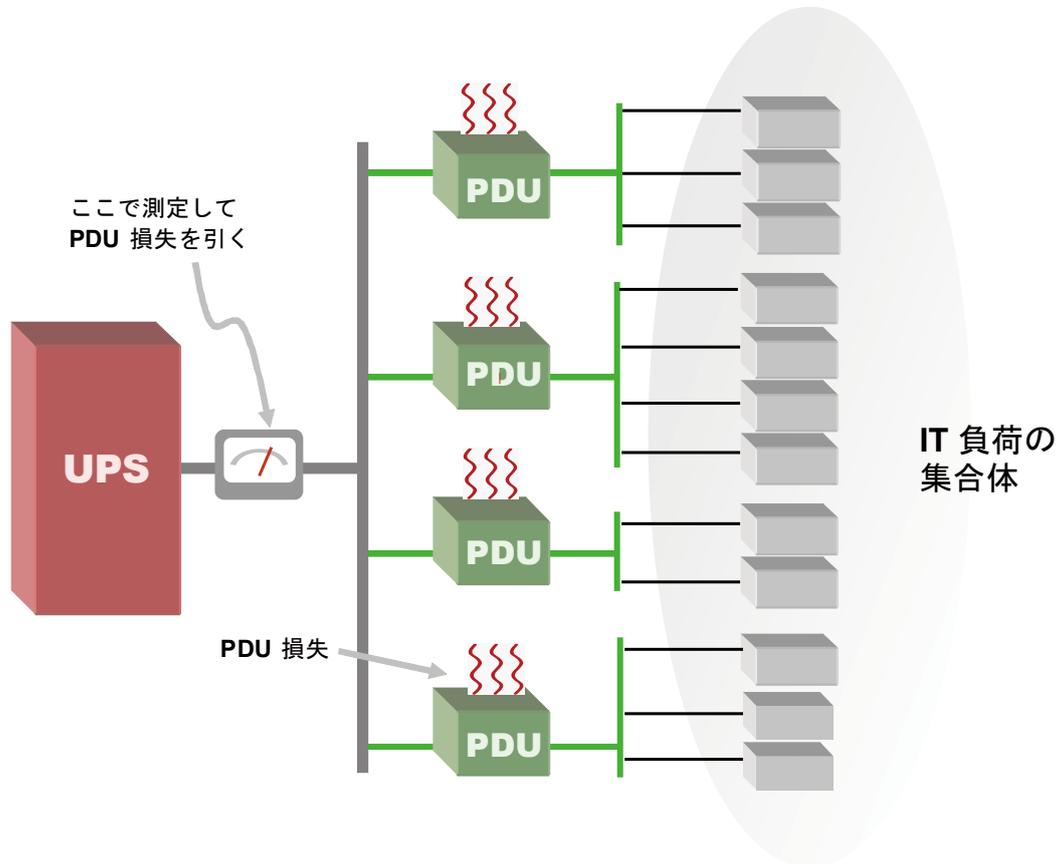
測定結果が正確になるようにするため、電力を幹線から引いていてデータセンタの合計負荷を構成するすべての装置の負荷をデータセンタ以外の負荷とは別に計測し、それらの入力電力を合計する必要があります。さらに、合計IT負荷を得るため、すべてのIT装置を個別に計装し、それらの入力電力を合計する必要があります。負荷が 1MW のデータセンタの場合、数千の電力測定を同時に行う必要があります。それは技術面でも実際の作業面でも大変なことです。そのため、データセンタのオペレータの中には効率測定は実用性がないと断定している人もいます。しかし、このような**複雑な計測や時間のかかる測定は必要ありません。**いくつかにまとめられた測定点で測定される値と、システムの数学モデルを組み合わせることで、十分な精度の効率測定値を得ることができます。<sup>3</sup>

<sup>3</sup> この手法の詳細は、このホワイトペーパーの対象外であるためここでは説明しません。

## 集合 IT 負荷の測定

モデルを利用して実際の測定を大幅に簡略化する方法の例として、IT負荷を測定するケースを想定します。図 11は、UPSが給電されている分電盤(PDU)から大量のIT負荷に電力供給する場合の典型的な状況を示しています。

図 11 集合 IT 負荷の測定



実際の IT 負荷の総計を得るためには、それぞれの IT 負荷に電力を供給している、何千にものぼる可能性があるすべての分岐回路を測定する必要があるように思えます。その代わりに UPS の出力で電力を測定する場合、問題は大幅に単純化され、1 回の測定で済むようになります。ただし、この測定場所では IT 負荷の合計と PDU によって消費される電力(PDU 損失)の合計を測定していることにより、測定結果には誤差が発生します。それだけでなく、データセンタによっては、UPS から空調装置などの他の装置に電力を供給している場合があります。UPS 出力電力を実際の IT 負荷として適用することによって発生する誤差の範囲は、データセンタによって 2~25%と、大幅に異なります。しかし、モデルでは、PDU の特性を非常に正確に設定することができ、そのモデルを使用すれば、特定の UPS 出力電力に対する PDU 損失を高い精度で計算することができます。モデルでは、PDU 損失を UPS 出力電力から引いて、大きな誤差もなく IT 負荷を求めることができます。以上のような方法で、モデルを使用して、数千に及ぶ可能性のある測定を 1 回に減らすことが可能になります。

モデルを利用して、限られた数の測定値から大量の情報を引き出す手法は、一時点における測定で使用することができます。また、効率継続監視システムの一部で使用して、監視のコストを大幅に削減することもできます。

## 継続測定と初期測定

通常、継続測定における測定点の数は、初期測定よりも少なくなります。継続測定では、何度も変更される可能性が高く、電力消費に多大な影響を与えている回路に重点を置く必要があります。たとえば、変圧器のように、装置によっては、最初に測定することが重要であり、電力への継続的な影響はモデルを使用して高い精度で計算できる場合があります。一般的に、継続測定で必要な測定点は初期測定の半分です。このことから想定される計測方針として、継続測定点を固定式の電力測定機器で監視し、初期測定に必要なその他の測定点はポータブル式の計器で測定するという方法が考えられます。

どの回路を最初に測定し、どの回路を継続的に測定するかを判別することは、データセンタの効率評価における重要な作業です。

## 効率測定用の計器

データセンタの効率は電力測定に基づいて計算されます。図 12 に、測定に使用される機器のタイプの例を示します。

図 12 計器の例



ポータブル式の電力測定機器  
(Fluke 435)

固定式の電力測定機器  
(Power Logic PM700)

冷却装置および電源装置に  
組み込まれている固定式の  
電力測定機能 (APC Symmetra  
UPS)

データセンタでは、効率が恒常的に計測されることも、ポータブル式の計器を使用して定期的に監視されることもあります。いずれの場合にも、前のセクションで述べたように、測定対象の電力回路を特定する必要があります。これまで説明してきましたが、データセンタ内の何千もの回路すべてについて電力の流れを測定する必要はありません。限られた数の電力回路を測定することによって、非常に高い精度で効率を計算できます。効率測定の方針を構成する要素として以下が挙げられます。

- 継続的な測定と、定期的/ポータブル式の測定のどちらを採用するか判断
- 適切な測定点の特定
- 効率データ報告システムの確立

## 固定式計器とポータブル式計器

効率、固定式計器によって測定する場合も、資格を有するサービス担当者がポータブル式計器を使用して定期的に測定する場合があります。どちらが望ましいかは要素の数によって異なり、それぞれにメリットがあります。

固定式計器は、リアルタイムの効率データを継続的に提供します。固定式計器には重要なメリットがあります。定期的監視と比べた場合の重要なメリットの 1 つとしてあげられるのは、ポータブル式計器を使って活線状態の電力回路を測定することが避けられることです。稼働中の電力回路を測定しようとする場合には、常に、過失によりダウンタイムが発生するというリスクが伴います。固定式計器のデメリットは、初期コストが大きい(特に設備改造を要する設置の場合)ことです。ほとんどの場合、固定式計器は重要 IT 負荷の妨げとなることなく設置できます。

ポータブル式計器を使用する定期的監視は、初期コストが低いので、特に耐用年数に近づいている既存のデータセンタに適しています。

新しいデータセンタの場合は固定式計器を指定するべきでしょう。UPS のような一部の電源装置、空調装置には、電力測定機能を内蔵しています。この機能の精度が十分であれば、測定機器を追加する必要がなくなります。効率管理ソフトウェアは、内蔵型電力測定機器を備えている電源装置および空調装置から電力測定値を取り込むことができなければなりません。

## 適切な測定点の特定

計器が固定式であってもポータブル式であっても、適切な電力測定点を選択する必要があります。このホワイトペーパーでは、データセンタ内の何千もの回路すべてを測定する**必要はない**ことを示してきました。その目的は、可能な限り少ない数の回路を測定して、必要な精度のモデルを構築するために欠かせないデータを取得することです。既存のデータセンタの場合、建物内の配線がいかになされているか、などの実際の状況によっては、作業の難易度が増すことがあります。さらに、冷却塔など、回路または装置によっては、データセンタ外部と意図的に共有している負荷を測定しなければならず、データセンタに関連する消費電力量を直接測定することが不可能な場合があります。したがって、ある特定の設置導入装置については測定点の選択方法をカスタマイズすることが必要になる場合があります。

## 効率測定で収集するデータ

データセンタのオペレータの多くは、自身で効率測定を行うか、効率測定を行うために専門家を確保します。このホワイトペーパーでは、一時的な測定は、エネルギー管理の目標を達成する上では有効でないことを示してきました。このホワイトペーパーで概説している原則に沿って、データセンタの効率評価をエネルギー管理計画の一環として実施することが理想的です。しかし、他の補助データが提供されるのであれば、一時的な測定も有効です。後で分析する際に一時的な測定のデータを利用するためには、効率測定で以下の情報が必要となります。

- 測定日
- 測定時刻
- 平均化の期間
- 測定点およびそれぞれの測定点で使用されている測定機器
- データセンタの最大定格負荷（最大 IT 負荷）
- 測定時における実際の稼働負荷（その時点における IT 負荷）
- 屋外の温度および湿度
- データセンタの階層レベル（Tier1～Tier4）
- 熱排出のタイプ（ドライクーラー、冷却塔、外気、パッケージチラー）
- 導入されている節約装置のタイプ（該当する場合）
- 測定時における節約装置の状態（稼働、非稼働）

これらのデータがあれば、後で効率の分析およびモデル化を行うことが可能になります。したがって、効率測定を専門家に依頼しないデータセンタのオペレータは、どのような効率測定でも少なくとも上記の情報が必ず収集および記録されるようにしなければなりません。

## 効率報告システムの確立

電氣的な効率は計器では直接測定されず、補足的な計算および分析が必要であることは、前のセクションで説明しました。さらに、データセンタの電源インフラと空調インフラの総合的な効率曲線を求めるためには、測定値をデータセンタ効率モデルと組み合わせて使用する必要があります。

定期的な監視の場合、このホワイトペーパーで説明している原則に従ってデータセンタの効率曲線を求め、その結果を含む監視報告を作成します。

恒常的な計測の場合、リアルタイムでの効率を求めることが可能であり、推奨されます。このような機能は、データセンタの構成に組み込まれている電力、空調の容量管理システムによって提供される必要があります。適切に実施されれば、電力効率の傾向が報告でき、制限値を超えた状況では警告を発報することができます。それだけでなく、優れたシステムであれば、非効率の原因を診断して修正措置を見つけ出すことも可能になります。

効率に関するデータは、少なくとも 1 年に 1 回は報告されるようにする必要がありますが、エネルギー管理システムが実装されている場合には継続的に報告されるようにすることができます。データセンタの効率報告に含まれるべき、重要なデータの一部を以下に示します。

- 測定された実際の年間 DCiE 性能またはモデルから推定される年間 DCiE 性能
- 業界標準条件に基づいてモデルから導き出される予想年間 DCiE
- 業界標準条件に基づく年間 DCiE の設計値（該当する場合）
- 年間平均 IT 負荷（定格容量に対する％）
- 主要なデータセンタサブシステムによって消費される電力の内訳
- 同様の分類の規模の、他のデータセンタとの実質年間 DCiE の比較（最悪の状況、代表的な状況、最高の状況）
- 同程度の規模の他のデータセンタとの業界標準条件に基づく予測年間 DCiE の比較（最悪の状況、標準的な状況、最高の状況）
- 合計年間電力量消費（kW 時）
- 推定年間電気料金（円）
- 実質年間 DCiE、年間電力消費、および電気料金の傾向

## 結論

データセンタの効率の測定は、電気の使用の管理を目的としています。電気使用を制御するための措置を講じるには以下に関する知識が必要です。

- 非効率の原因
- 改善の機会
- 効率改善によって期待されるメリット

データセンタの効率に関する簡単な測定を行うだけであれば楽ですが、それだけならばこれらのいずれも関係ありません。測定値は、モデルと組み合わせて使用した場合にのみ役立ちます。そのため、モデル化は効率管理の重要な側面であると言えます。モデルのためにどのようなデータが必要かによってデータセンタ内の電力の流れを測定するための要件が決まります。

データセンタの効率を管理するためには、電力の初期測定を行ってモデルおよび基本条件を確立し、それから電力の流れを定期的または継続的に監視して、効率の傾向、非効率条件、および改善機会に関する情報を取得する必要があります。

自動車の燃費との類似点は、データセンタの効率に関するデータを解釈するために必要な情報のタイプを理解するのに役立ちます。それらの類似点を表 1 に示します。

**表 1 自動車の燃費とデータセンタの効率の主要測定基準の類似点**

自動車の燃費	データセンタインフラの効率
自動車の製造業者が設定した燃費（例: 高速道路走行時11.1 km/l、一般道路走行時9.4 km/l）	データセンタの設計者が設定したデータセンタの効率仕様（例: IT負荷が75%で屋外温度が25°Cの場合、DCiEは55%）
同様車種の燃費のベンチマーク	同様のデータセンタの効率ベンチマーク
運転時の実際の平均燃費	データセンタ稼動時の実際の平均効率（日別、週別、月別、年別のDCiE）
現時点におけるリアルタイムの燃費	現時点におけるリアルタイムのDCiE

代表的なデータセンタ内には何千もの電力の流れがあります。分析結果は、効率を測定および管理するためにそれらの流れをすべて測定する必要はないことを示しています。適切なモデル化と電源装置および空調装置に関する情報を組み合わせれば、限られた数の測定に基づいて高い精度の効率管理システムを作成することができます。

効率を管理するためには、該当する電力の流れを恒常的に計測して効率をリアルタイムで測定するか、または、ポータブル式計器を使用して電力の流れの定期監視を行います。新しいデータセンタの場合は、固定式計器が適しています。既存のデータセンタの場合は、限られた範囲での恒常的な計測と定期監視を組み合わせることをお勧めします。

## 著者について

**ニール・ラスムセン**はAPC-MGE社のCTO(最高技術責任者)です。ラスムセンは、世界最大規模のR&D予算を注ぎ込んだ、クリティカルネットワーク向けの電力、冷却、ラックインフラのプロジェクトにおいて技術面での指揮をとっています。現在は、高可用性と拡張性を備えたモジュール式のデータセンターソリューションの開発を指揮し、InfraStruXureシステムの主任設計者でもあります。

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、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発電システムの研究に携わりました。