

# Project Big Greenを支える先端テクノロジー



日本アイ・ピー・エム株式会社  
執行役員  
開発製造担当

坂上 好功

**Yoshinori Sakaue**

Vice President  
Yamato Laboratory  
IBM Japan, Ltd.

データセンターのエネルギー効率化を支援するProject Big Greenは幅広い分野を対象としていますが、IBMの大和研究所では基礎研究から製品開発、テクニカル・サポートまでカバーしており、Project Big Greenにはとても適した存在といえるでしょう。

Project Big Greenが提供するソリューションをテクノロジーの面から見ていくと、半導体および実装技術、CPU(中央演算処理装置)、サーバー設計、サーバー管理・運用、冷却技術、データセンターの管理・運用の6レベルで構成されます。

動作周波数4.7GHzを達成した新しいCPUであるPOWER6™では、高性能化と省電力化を高い次元で両立。また、BladeCenter®は電源ユニットやファンなどの部品を共有化して大幅な省電力化・省資源化を実現しました。さらに、仮想化された環境を効率的に運用管理するソフトウェアによって、サーバー統合による省電力を可能にしています。

IBMは、日本のお客様の環境問題にかかわる高いご要望にお応えするソリューションをご提供するとともに、日本の先進的なモデル・ケースを世界へ発信したいと考えています。

## Management Forefront ②

SPECIAL ISSUE: Project Big Green

### The State-of-the-art Technology that Supports Project Big Green

Project Big Green, which backs the making of energy efficient data centers, offers a wide range of products and solutions, and IBM's Yamato Laboratory, which covers from research to product development and technical support, could be the most suited laboratory for working on Project Big Green.

The technical aspect of the solutions Project Big Green provides consists of six levels: semiconductors and packaging technology, CPUs, server design, server administration and operation, cooling technology, data center administration and operation.

The new POWER6™ CPU with an operating frequency of 4.7 GHz stands tall in terms of both high performance and power-saving. BladeCenter® greatly lowers power consumption and resource use by employing the shared use of parts such as power supply units and fans. Moreover, using software to efficiently run and manage virtual environments made it possible to save power by integrating servers.

As IBM provides solutions in response to its Japanese customers' high-level demands involving environmental issues, we would like to disseminate Japan's leading edge models and case examples to the world.

## 環境問題にもイノベーションが必要

環境問題に対する人々の関心が、ここ数年で急速に高まってきました。政府や企業や個人といったそれぞれのレベルで、日々の活動が環境にどのような影響を与えているのか、これから環境に対してどんな役割を担っていかなければいけないのか、さまざまな意見が出され、具体的な試みが始まっています。

医療、環境、政府の役割、企業の未来といった今日の重要課題について、世界的に注目されている幅広い立場の識者が自由に議論を重ね、社会に起こりつつある意義ある変化を探ったIBMのGIQ Global Innovation Outlook 2.0でも、環境問題が主要なテーマの一つとして取り上げられ、イノベーションの必要性が強調されました。

そこで出された注目すべき意見は、環境の問題とビジネスは両立するのではないかと、ということです。例えば、企業のIT(情報技術)システムにおける電力使用量の削減を考えてみると、まずサーバー単体としての省電力化を進める。さらに、複数のサーバーを連携させて効率良く使うことを考える。そして、多数のサーバーが設置されたデータセンターをうまく管理運営して電力コストの削減を図るといように、幾つものレベルで効率化・省電力化によるコスト削減の努力をするわけですが、これは同時に、電力の使用量削減によってCO<sub>2</sub>の排出削減にもなっていることが分かります。

こういったレベルのすべてにおいてお客様企業のお役に立てる総合力を発揮するものとして、IBMはProject Big Greenという新たな取り組みを始めました。Project Big Greenがご提供するものは多岐にわたりますが、テクノロジーという観点から分かりやすくお伝えしたいと思います。

## いろいろな視点からお客様の問題解決をサポート

日本は環境問題に対して非常に関心が高く、お客様企業のハイレベルな要求に対して、Project Big Greenは多くのご提案ができます。

IBMが環境に対してできることは二つあると考えます。一つは、IBMがお届けする製品やソリューション、サービス自体が環境に優しいものであること。そして

う一つは、IBMの研究開発から生まれた最新のITが環境問題の解決に役立つことです。

IBMの研究所は世界に8カ所ありますが、大和研究所は1982年に設立されました。ここでは、基礎研究から製品開発、エンジニアリング・サービス、テクニカル・サポートまで幅広い分野をカバーしています。これはIBMのほかの研究所と比べてもユニークな存在といえるもので、いろいろな視点から研究開発やお客様の問題解決のサポートができるという特長があります。幅広い分野を対象とするProject Big Greenには、とても適しているといえるでしょう。特に日本は環境問題に対して非常に関心が高く、お客様企業のハイレベルな要求に対して、IBMは全社を挙げてお応えしていきます。

## 半導体チップそのものの効率化と省電力化

IBMでは、データセンターの省電力化のための技術開発を、六つのレベルで進めています(図1)。

一番ベースとなるのは、半導体および実装技術のレベルです。現在のPCやサーバーに搭載されたCPUに使われているCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)のテクノロジーは、本来はそれ以前のBipolarタイプに比べて少ない電流で動作するものでした。しかし、PCやサーバーの性能アップを図るためにCPUの周波数が3年で2倍というペースで高速化された結果、発熱量が増え、CMOSであっても電力消費量が著しく増加してしまっただけです。

また、集積回路の高密度化が進んでトランジスターの

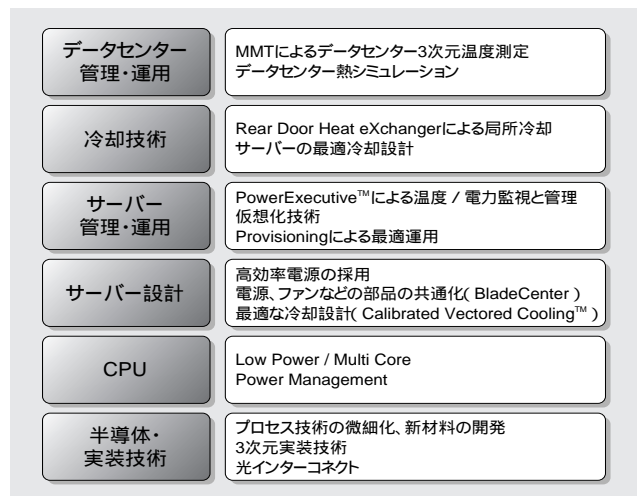


図1. データセンター省電力化のための技術開発

大きさが小さくなったために、回路から漏れる微弱な電流(リーク電流)や回路の抵抗と容量が増えて電力利用効率が低下し、冷却が難しくなるほどの発熱の問題を引き起こすようになりました。

これに対して、IBMではCPUの動作周波数アップと省電力化を可能にするSOI(Silicon On Insulator)や、リーク電流を抑えるHigh-kメタルゲート、回路の容量を減らすLow-k誘電体層間絶縁膜、プロセス技術の微細化や3次元実装技術などを次々と実用化し、半導体チップそのものが与えられた電気を効率良く使って省電力を実現するテクノロジーを開発しています。

## POWER6が4.7GHzの超高速な動作周波数を実現

コンピューターの計算能力をアップさせる方法として、以前から二つの代表的なアプローチが取られてきました。一つはCPUの動作周波数を上げる方法で、CPUの計算能力は動作周波数にほぼ比例して上昇してきました。

もう一つの方法は、複数のCPUを搭載して並列処理をさせるものです。最近の一つのCPUパッケージに複数のプロセッサ・コアを搭載したマルチコア・プロセッサがPCやサーバーに搭載されています。

動作周波数を上げていくと発熱の問題が発生しますが、CPUに行わせる処理の内容によっては並列処理が難しいものもあるため、現在でも二つの考え方が共存しているといえるでしょう。

IBMが開発したPOWER6™プロセッサは、従来の常識を破る4.7GHzという超高速な動作周波数を実現しています。また、キャッシュ性能の向上やメモリー・アクセスの高速化とさらなる高密度化によって、パフォーマンスと信頼性が大幅に向上。一方で、デバイスおよびアーキテクチャー・レベルでのさまざまなテクノロジーを駆使し、リーク電流の低減をはじめとした数々の省電力化を図った結果、POWER5+™と同レベルの消費電力で約2倍の性能向上を果たしました。高性能化と省電力化を高い次元で両立したPOWER6は、既にIBM System p™シリーズやIBM BladeCenter®に搭載されています。

一方、CPUの動作周波数と消費電力とは非線形関数の関係があり、動作周波数を少し下げただけでも大きな消費電力の削減効果が得られます。そこで、中レベ

ルのスピードのプロセッサ・コアを複数搭載したエネルギー効率の良いマルチコア・プロセッサについても、IBMでは基礎研究のテーマとして取り上げています。今後は、CPUに搭載されるマルチコアの数が増えるに従って、それをサポートするソフトウェアがより重要となるでしょう。新しいマルチコア・プロセッサの世界をリードするソフトウェアのアーキテクチャーに関する基礎研究も行われています。

## さまざまな省電力設計が導入されたBladeCenter

サーバー設計における省電力化については、BladeCenterをご紹介します。

BladeCenterは、一つの筐体きょうたいにブレード・サーバーと呼ばれる薄型サーバーを最大14台まで搭載できる、高密度なサーバーです。従来のサーバーに比べると、半分のスペースで同等以上の処理能力を得ることができます。

BladeCenterでは、さまざまな省電力設計が導入されています。サーバーで消費される電力は、CPUやメモリー、ハードディスクだけではなく、交流電流を直流に変える電源モジュールや冷却用のファンなども多くの割合を占めています。そこで、まず電源モジュールの効率を向上。変換効率が90パーセント以上と高いものを使い、供給される電力を有効に利用しています。

また、使用されるパーツ数も大幅に削減。従来のサーバーでは電源モジュールや冷却用のファンがそれぞれのサーバーに入っていますが、BladeCenterではこれらを共有化して省電力化を図っています。一つの筐体きょうたいに電源モジュールやファン、さらにほかの共通コンポーネントを集中搭載し、それを14台のサーバーで共有することで電力を消費する部品を削減して省電力/省資源化を進めました(図2)。

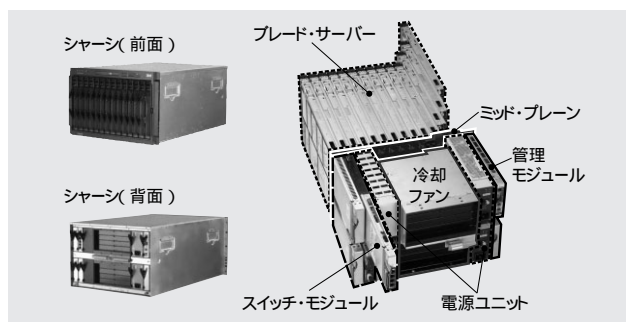


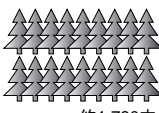
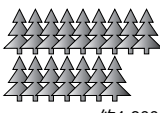
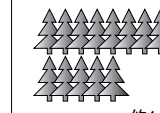
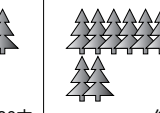
図2. BladeCenterの構造

排熱設計の面では、冷却効率を最大限に高めるエア・フロー設計と大型で効率的な冷却ファンの採用によって、1台の筐体に搭載するファンを二つに抑えています。

BladeCenterの大きなメリットの一つとして、お客様の使用目的に応じた仕様のサーバーを組み合わせて使える柔軟性が挙げられます。また、より高い処理能力が必要になった際は高性能なブレードに差し替えたり新たなブレードを追加するなど、処理能力をダイナミックに変えていくことができます。

そのため、BladeCenterでは仕様の異なるモデルをラインアップしていますが、いずれも低消費電力タイプのCPUを積極的に採用。BladeCenter JS22では、POWER6を搭載しています。

BladeCenter HS21における処理能力と消費電力の関係を見ると(図3)、性能を従来より17%アップしつつ、消費電力を10%削減したり、逆に処理能力は24%下がるものの電力消費は39%削減できるなど、目的に応じた柔軟性のある構成が可能となっています。

	System x3550 Xeon5160( 3.0GHz ) 2way 14台	BladeCenter		
		性能対消費電力比重重視	同等性能 + 消費電力削減	消費電力削減重視
性能比 ( Specint rate 2000 )	1.00	1.17	0.98	0.76
年間 消費電力 ( 24h x 365d )	45,377kWh	40,900kWh → 10%減	35,329kWh → 22%減	27,760kWh → 39%減
年間 電力料金	680,655円	613,500円	529,935円	416,400円
換算年間 CO <sub>2</sub> 排出量	24,957kg	22,495kg	19,430kg	15,268kg
吸収する ために 必要な 杉の木 の本数	 約1,780本	 約1,600本	 約1,380本	 約1,090本

\* [ CO<sub>2</sub> Kg ] = [ kWh ] x 0.55 [ CO<sub>2</sub> Kg/kWh ] としています。 BladeCenter側の消費電力には、GbE SW x 2, SAN SW x 2を含む。  
\* 杉の木は年間14KgのCO<sub>2</sub>を吸収するとしています。 全Bladeは同等構成( Mem=16GB,HDD x 2,SFF )を前提としています。

図3. BladeCenterの性能と消費電力

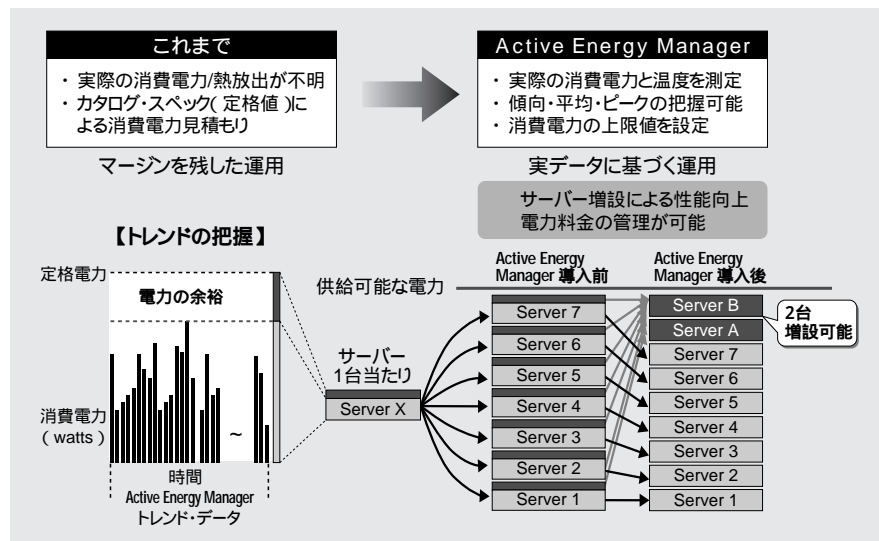


図4. Active Energy Manager導入による効果

## サーバーごとの消費電力の上限を設定

個々のサーバーの省電力化の次は、それらのサーバーを連携させて効率的に運営するにはどのようにしたらよいか、という部分です。これに対しては、IBM Systems Director Active Energy Manager(以下、AEM)とIBM Tivoli® Provisioning Manager(以下、TPM)が大きな効果を発揮します。

AEMはシステム管理ソリューションであるIBM Systems Directorのアドオンとして機能し、省電力とパフォーマンスの両立を実現するソフトウェアです。BladeCenterやIBM System x™/i™/pなどに内蔵されたセ

ンサーからリアルタイムで送られてきた消費電力および吸気/排気温度のデータを動的に一元管理して、コンソールに表示。また、各サーバーの消費電力の上限を設定・管理するPower Capping機能を持っています。これによって、特定のサーバーが高負荷になって、設定された消費電力を超えることがないようにコントロール。多数のサーバーによる電力消費の総量を容易に管理できるようになります。

さらに大きなメリットとしては、Power Capping機能によって電力消費量を定格電力以下のあらかじめ設定された値に制限することができるので、データセンターの電力容量に対して余裕が生まれ、新たにサーバーを

増設することも可能になってきます(図4)。もしくは、その分だけ電力会社との契約容量を下げてTCO(Total Cost of Ownership: 総所有コスト)の削減を図ることもできるでしょう。

## 仮想化された環境を効率的に運用管理

企業活動のさまざまな面でITの導入が進むにつれて、システムは複雑化し、その管理が大きな問題となってきました。そこでクローズアップされるのがサーバーの統合ですが、これはエネルギー効率の面でも大きな効果が期待できます。

サーバーを統合するためには、仮想化という技術を使います。従来は、あるアプリケーションは特定のサーバーでしか動かないというケースがありましたが、これをほかのサーバー上でも動くようにするのが仮想化のテクノロジーです。仮想化はOS(基本ソフトウェア)やCPU、メモリー、ストレージなど、それぞれの領域で実現可能です。

TPMによって、この仮想化された環境を効率的に構築し、運用管理することができます。例えばA・B・Cという3台のサーバーでそれぞれアプリケーションが動いている場合を考えてみましょう。AというサーバーはB・Cよりもパフォーマンスが高く、しかも大きな負荷の掛かる時間帯がB・Cと異なるのであれば、時間帯によっては仮想化の技術によりB・Cで動いているアプリケーションをAの上で稼働させ、B・Cは電源を落としてしまうことができます。仮想化された一つのメインフレーム上で多数のサーバーが動いているようなイメージです。

このように、TPMは仮想化されたシステムの構成や配備を自動的に最適化して、ワークロードを統合することによってサーバー統合を実現します。そして自動化されたエネルギー管理機能により、電源オフやスタンバイモードへの切り替えを行うことで電力や熱の問題を大幅に軽減することができます。

一般的なPCサーバーでは、リソースの利用率が15~20%程度といわれます。サーバー統合によってこうした非効率な運用を大幅に改善し、サーバーの台数を削減すれば、さらに大きな電力削減効果が得られます。

## 高密度化されたサーバーを局所的に冷却

多数のサーバーを収めたデータセンターでは、サーバーが発する熱を冷却するために多くの電力を費やします。この空調関係の効率化は、省電力に大きな影響を与えます。

都市部に設置されたデータセンターが増えていますが、スペース効率の問題があるため、限られた空間でサーバーを増強することができる省スペースなBladeCenterが適しています。そこで、室内全体の空調だけではなく、高密度化されたサーバーを局所的に冷却するために開発されたのがRear Door Heat exchanger(以下、RDHX)です。これはラックの背面に取り付けた熱交換機と室外機で構成されていますが、当初は水冷式のみでした。しかし、米国などと違って日本は耐震性の要求もあるため、三洋電機株式会社と日本アイ・ビー・エム株式会社(以下、日本IBM)の共同研究により、冷媒式RDHXを開発いたしました。これについては、本誌34ページのお客さまインタビューで詳しくご紹介していますので、ぜひそちらをご覧ください。

## 新たにデータセンターを建設する場合も、事前のシミュレーションが可能

大和研究所は、IBMのほかの研究社と連携しながら、Project Big Greenを構成するテクノロジーの重要な部分を担当しています(図5)。その一例として、3次元温度測定サービスとサーマル・シミュレーション・サービスが挙げられます。

データセンターの効率化を考えるには、まず現状を正確に把握しなければなりません。そこで、100個程度の温度センサーが付いたMMT(Mobile Measurement Technology)という装置で室内の温度分布を短時間で詳細に計測し、3次元の温度分布データを可視化して問題点を明確にします。温度分布が色分けされて表示されるため、室内のどの部分が熱くなっているかなどが一目瞭然となります。

室内の1カ所だけが高温になっているのであれば、全体の空調の温度を下げなくても、そのラックにRDHXを設置して局所的に冷却する方法などが考えられます。

しかし、サーバーを冷却するための冷たい空気とサーバーから出る熱くなった排気が一部で混合している場合は、効果的な冷却ができないため、必要以上に空調

1. 診断 現状を知り、目標を設定する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ サーマル・シミュレーション・サービス</li> <li>・ 3次元温度測定サービス</li> </ul>
2. 建設 効率の良いデータセンターを設計・建設・改修する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モジュラー・データセンター提供サービス</li> <li>・ ケーブル敷設のための気流最適化アセスメント</li> <li>・ データセンター設計 / 構築 / 改修サービス</li> <li>・ グリーン・ビルディング(環境配慮型ビル)の企画・設計・建設</li> </ul>
3. 仮想化 ITを仮想化技術で統合する専用プロセッサを採用する	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 業界トップの仮想化テクノロジーの提供 System z, i/p, x, Storage™</li> <li>・ 省エネルギー性能の高いブレード・サーバー-BladeCenterの提供</li> <li>・ WebSphere® DataPower® SOAアプライアンス</li> <li>・ Power Configurator</li> <li>・ Cell Broadband Engine™</li> <li>・ システム導入に伴う構築支援サービス</li> </ul>
4. 管理 電力管理ソフトウェアで消費電力をコントロールする	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tivoliによる消費電力に基づくサーバー管理の効率化 Tivoli Monitoring, Tivoli Provisioning Manager</li> <li>・ 電力管理ツールActive Energy Managerのi, p, z, Storage対応</li> <li>・ モデルウェア・ソリューション( Tivoli )に伴う構築支援サービス</li> </ul>
5. 冷却 新しいテクノロジーを利用して効果的に冷却をする	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IBM Rear Door Heat eXchanger による 局所空調設備構築サービス</li> </ul>

図5. Project Big Greenにおける大和研究所の役割

の設定温度を下げている可能性があります。本来であれば、ラックの前面が並んでいるところは冷たい空気、ラックの背面が向き合っているところは熱い空気の通り道になってほしいわけです。

これに対し、冷気と暖気が混ざらないように、風を遮るパーティションを設置したりラックとラックの間をふさぐだけで解決するか、もしくはラックのレイアウト自体を変更する工事が必要かといった対策とその効果を、サーマル・シミュレーション・サービスであらかじめ検討することができます。最も有効な対策を施した結果、例えば空調の設定温度を4.5 上げることができ、空調による電力消費が10%削減できるというようなことが事前に分かります。

さらに、新たにデータセンターを建設する場合は、部屋の広さや空調機の出力、設置されるサーバーが発する熱量などから、室内の温度分布をあらかじめシミュレーションして検討することも可能です。

## エリアごとのきめ細かな空調制御の可能性

データセンターの室内の温度分布を計測して可視化し、対策をシミュレーションして空調設備による消費電力を削減する。ではもう一歩進んで、その次の段階はどのようなエネルギー効率化の方法が考えられるでしょうか。

サーバーの負荷は常に一定ではなく、時間帯によって変動するため、それに応じてサーバーが発する熱量も変化します。また、各サーバーの負荷が同じタイミング

で変動するわけではないことから、室内の温度変化も一様ではありません。従って、より最適なコントロールを行うためには、時間および室内のエリアごとのきめ細かな空調制御が求められるようになると思います。

現状のサーバー・ルームでは、室温管理のための温度センサーは壁に数個付いているだけ、というようなケースがほとんどでしょう。しかし、必要なのは部屋全体や壁面部分の温度データではありません。そこで、AEMによって集められた各サーバーの吸気温度データを基にして空調設備のコンピューターに直接フィードバックを行い、最適な空調制御を行うという方法が考えられます。サーバーが設置してあるエリアごとに動的な制御を行い、空調による電力消費をさらに削減しようというものです。

空調制御だけではなく、サーバー自体のコントロールも考えられるのではないのでしょうか。負荷が増大して発熱量が多くなったサーバーの処理をほかのサーバーへ移行したり、逆に負荷の低いサーバーの処理を集約することによって、空いたサーバーの電源を落とす。いわば、熱データを基にしてサーバーの処理そのものを最適化するという考え方です。

## 先進的なモデル・ケースを日本から世界へ発信

お客様からいただくさまざまなご要望をお伺いすると、環境問題に対する高い関心を強く感じます。また、日本IBMでは毎年、一般の方を対象に環境シンポジウムを開催していますが、2007年のシンポジウムでは参加者が大幅に増え、意識の高まりを実感しました。

IBMは世界中でビジネスを展開し、環境問題にも積極的に取り組んできましたが、京都議定書をはじめとして特に環境問題に対する意識が高い日本のお客様に対してどのようにお応えするかが、日本IBMの大きな課題であると認識しています。また、エネルギーの効率化や環境問題に関して日本のお客様から寄せられたご要望や先進的なモデル・ケースを世界へ発信し、環境問題に対する貢献につなげていく役割も果たしていきたいと思っています。

大和研究所による幅広い分野の先端研究も含めて、日本IBMがお届けする製品やソリューション、サービス、そしてテクノロジーがお客様における環境問題への貢献につながるものと信じています。