

# 次世代環境配慮型データセンターを実現するファシリティ一体化技術

## Unified Technology between IT Systems and Facilities for Next-Generation Environmentally Friendly Data Center

● 近藤正雄      ● 福田裕幸      ● 水野義博      ● 壺井 修      ● 山本 保  
● 田中 努      ● 武井文雄

### あらまし

富士通研究所では省電力チップおよびシステムボードから、サーバシステム/ネットワークの構築、電源技術、冷却技術、ソフトウェア技術まで一貫した研究開発をグローバルに実施しており、源流からの技術開発を追求するとともに、省エネルギー技術のバリューチェーンを構築している。省エネルギー性能を実現するトータルな技術開発力を生かし、サーバ、ストレージ、ネットワークなどのIT機器だけでなく、給電、冷却を含めたファシリティ機能が一体化された、コンパクトなデータセンター(次世代環境配慮型データセンター)を実現する要素技術開発に取り組んでいる。

本稿では、CPUチップで生じる熱を高効率に冷却水に伝達させるマイクロチャネル技術、サーバ電源と一体化して高効率化させたグリーンUPS、データセンター内温度の空間分布をリアルタイムで可視化する光ファイバ多点温度測定技術、データセンターのITシステムとファシリティを効率的に動作させるシミュレーション技術など、次世代環境配慮型データセンターの省エネルギー性能を追求する取組みを紹介する。

### Abstract

Data centers (DCs) are important as a key part of the infrastructure providing advanced network services in the era of cloud computing. However, the amount of energy consumed by these DCs is expected to increase rapidly. To improve energy efficiency in DCs, it is necessary to build an energy-saving value chain as a total system from IT equipment at the device level, to DC facilities including the power supply and cooling systems. This must be done while taking into account the environmental setting of the DC as well. Fujitsu's global network of laboratories takes a holistic approach to designing next-generation environmentally friendly DCs. We are also developing a total unified system consisting of IT systems and facility functions, such as cooling and power supply technologies, aiming to improve them overall. As R&D on element technologies for constructing energy efficient DCs, this paper introduces micro-channel water cooling, green uninterruptible power supplies (UPS), unified power supply units, super-multipoint temperature measurement technology using optical fiber, and simulation technologies.

ま え が き

インターネット上で提供されるクラウドサービスの進展に伴い、サービス提供の重要なインフラであるデータセンターの消費電力が急激に増加すると見込まれている<sup>(1)</sup>。データセンターへのIT機器の集中が進むと、IT機器が消費する電力が増えるだけでなく、空調をはじめとするファシリティー電力も増加する。データセンターのファシリティーが占める電力消費の割合は、40%程度となっている<sup>(1)</sup>。データセンターのエネルギー効率向上のためには、IT機器単体だけでなく、ファシリティーも含めた省電力化の取組みが必須となる。データセンターの省エネルギー化は地球温暖化問題およびエネルギー資源保全の観点から、環境課題になっている。

富士通ではデータセンターの省エネルギー化に継続的に取り組んでおり、環境配慮型データセンターとして、館林システムセンター新棟を2009年11月にオープンしている<sup>(2)</sup>。現在の省エネルギー施策は、チップの低消費電力化を通じたIT機器単体の消費電力削減、給電の効率化、吸排気の混合を防いで冷却効率を向上させる通路キャッピングの実施、そしてフリークーリングなど自然エネルギーを活用した放熱方式の導入など、個別の対策にとどまっている。より一層の省エネルギー化を追求するためには、サーバなどのIT機器とファシリティーが一体となった最適化の取組みが必須になる。富士通研究所では省電力チップおよびシステムボードから、サーバシステム/ネットワークの構築、電源技術、冷却技術、ソフトウェア技術まで、一貫した研究開発をグローバルに実施しており、源流からの技術開発でエネルギー効率を追求するとともに、省エネルギー技術のバリューチェーンを構築している。

本稿では、次世代環境配慮型データセンターにおけるファシリティーのエネルギー効率向上に向けた取組みを紹介する。

ITシステムとファシリティーの一体化

今後主流となるクラウドデータセンターにおいては、図-1のような、仮想マシンを利用したITシステムマイグレーションが省電力化の主流になると考えている。ITシステムとファシリティーを一

体化させてエネルギー効率が最高となる単位にブロック化し、仮想化技術によりサーバ負荷を集中させることで使用ブロックと未使用ブロックに分ける。そして、サーバ負荷が集中したブロックはファシリティーを高効率に動作させ、未使用ブロックはファシリティーを含めて電源をオフするのが、エネルギー効率改善のコンセプトである。実現には、サーバ、ストレージ、ネットワークなどのIT機器だけでなく、給電、冷却を含めたファシリティー機能が一体化された、コンパクトなデータセンターの技術開発がかぎになる。

ファシリティー部で消費するエネルギーを削減するには、給電、冷却ともIT機器との接点（インタフェース）の見直しが必要と考えている。例えば冷却インタフェースの見直しにおいては、IT機器の部品レベルでの動作温度見直しに加え、発熱したIT機器と熱を輸送する熱媒体との熱伝達効率の向上などであり、給電インタフェースの見直しにおいては、交流直流変換段数、電圧変換段数の削減などが挙げられる。

データセンター内のIT機器より発生する熱は、再利用しにくい100℃以下の温風として排出されている。富士通研究所では、本誌掲載の「IT機器廃熱を利用した冷却技術」で紹介しているように、IT機器の廃熱から得られた温水と、常温の水との

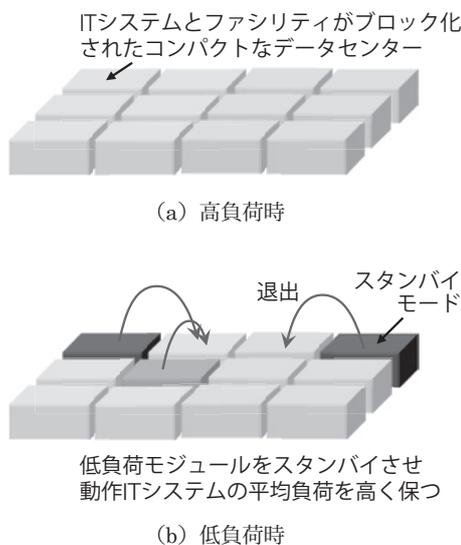


図-1 仮想マシンを利用したITシステムマイグレーションのイメージ  
Fig.1-Schematic image of IT system migration using virtual machine.

温度差を利用して吸着式ヒートポンプを動作させ、20℃以下の冷水を製造できる廃熱利用システムの開発に取り組んでいる。吸着反応のみを利用するノンフロン環境にやさしい冷却方式であり、循環ポンプ以外の電力を必要とせず、廃熱のみで動作できる特徴がある。冬季にサーバ群からの排気を暖気として、一部吸気側に再循環させ結露を防ぐ機能に加え、吸着式ヒートポンプの活用により、廃熱を積極的に利用する、先進的な廃熱利用型データセンターの開発に取り組んでいる。

### 冷却効率向上への取り組み

データセンターで発生する熱は、サーバ内に配置されたCPUなどのチップや、ハードディスクドライブ、電源からの発熱に由来している。筐体内の温度上昇による熱暴走を抑制するため、発生した熱を効率的に伝熱させ放熱する必要がある。一般的なサーバでは筐体内にファンで冷風を送ることにより冷却しているが、CPUのマルチコア化、搭載CPU数の増加、サーバ密度の上昇により、ラックあたりの発熱量は増加する傾向にある。近い将来、ファン方式では冷却能力不足になる可能性が高く、体積比熱で空気より約3500倍大きい水を用いた冷却方式が必須となる可能性が高い。CPUなどの高発熱チップに水を循環させて冷却する方式は、スーパーコンピュータや静音用のパソコンなどで既に実用化されている。富士通研究所では、チップの発熱を効率的に冷却水に伝達できるデバ

イスとして、マイクロチャネルの研究開発に取り組んでいる<sup>(3)</sup>。マイクロチャネルとは微細加工技術を用いて1 mm以下の細い流路を形成したもので、細い流路に水を流すことで、チップからの発熱を効率的に冷却水に伝達できる。冷却水への伝達効率が高まるため、水の流量を少なくすることができ、冷却水循環のためのエネルギーを削減することができる。窒化ガリウムパワーアンプデバイスに取り付けたマイクロチャネル水冷デバイスを図-2に示す。チップ上部に幅80 μm、高さ1 mmの流路が2本形成された長さ12 mm、幅0.42 mm、高さ2 mmのマイクロチャネルが実装されている。それぞれの流路に互いに向きが反対となるように、2方向に水を流す仕組みを採用するなど、温度分布を均一化するための、独自の工夫をしている。マイクロチャネルによる熱伝達率の向上により、従来の水冷方式より、熱抵抗を23.8%低減でき、熱伝達効率を改善することができた。

### 高効率給電技術

ファシリティも含め電源をオフにすることが可能なコンパクト型データセンターを実現するには、安全な電源オフを可能とするため、個別のサーバ電源をバックアップできるコンパクトな無停電電源装置(UPS: Uninterruptible Power Supply)が求められる。従来のデータセンターのUPSはセンター全体の電力が賄える大規模なもので、効率は最大90%程度であり、さらなる改善が求められ

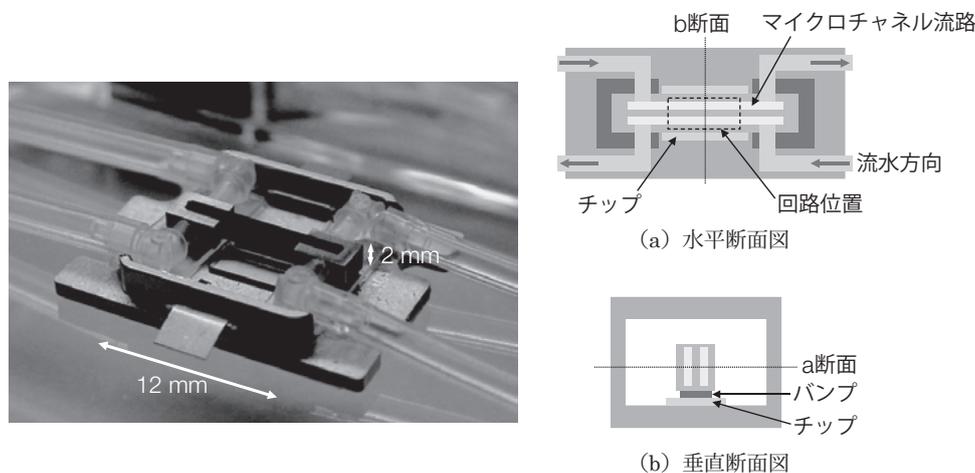


図-2 マイクロチャネル水冷デバイス  
Fig.2-Micro-channel device for highly efficient water cooling.

ている。富士通研究所では、サーバの電源モジュールとUPSが一体化した方式を新たに開発することで、給電経路における直交流変換回数を削減させ、効率を向上させている。電源を含めた給電システムの概要を図-3に示す。一般的なUPSの構成では、同図 (b) に示すように交流-直流 (A/D)、直流-交流 (D/A)、交流-直流、直流の電圧変換 (D/D) の計4回が必要となっている。それぞれの変換で電力損失が発生するが、今回開発した電源モジュール直結方式では、同図 (a) のように変換回数が2回に削減されており、待機時で効率99%を実現している。また電源モジュール内でのUPSとの接続を、直流380Vへの昇圧部で行うことにより、近い将来に展開が予想されている高電圧直流給電システムへの対応も可能な構成としている。

UPSの小型・軽量化・長寿命化に関しては、リチウムイオンバッテリーを採用することで、電池単体のサイズ・質量・寿命を従来の鉛バッテリーに比べてそれぞれ1/4, 1/3, 4倍としている。さらに電力平準化機能も搭載しており、負荷変動をバッテリー充放電で補うことで電力供給側の変動を低減する機能も実現している。

センシング連携技術

ラックごとに異なる発熱状況を把握し、最適な条件で冷却システムを動作させるためには、データセンター内の温度分布の把握が必須となる。温度測定的手法としては、温度センサを取り付けて測定する方法、赤外線カメラでラック表面の赤外線放射率を測定する方法などが知られている。これらの手法では温度分布の空間分解能が低く、またリアルタイムで正確な温度分布を測定することが難しい。富士通研究所では、データセンターホール内の温度分布をリアルタイムで正確に把握可能な技術として、光ファイバを用いた温度測定技術に注目し、技術開発を行っている。<sup>(4)</sup> ホール内の天井やサーバラックの吸排気面に光ファイバを設置する。ファイバ内にレーザパルスを伝搬させると、温度に敏感なラマン散乱光が戻り光として観測される。レーザパルス発光からの経過時間を距離に変換して空間座標を求め、光強度から温度を算出することで、ホール内やラック列の空間的な温度分布をリアルタイムで測定することができる。ラック列の温度分布の測定例を図-4に示す。現在、0.1 m

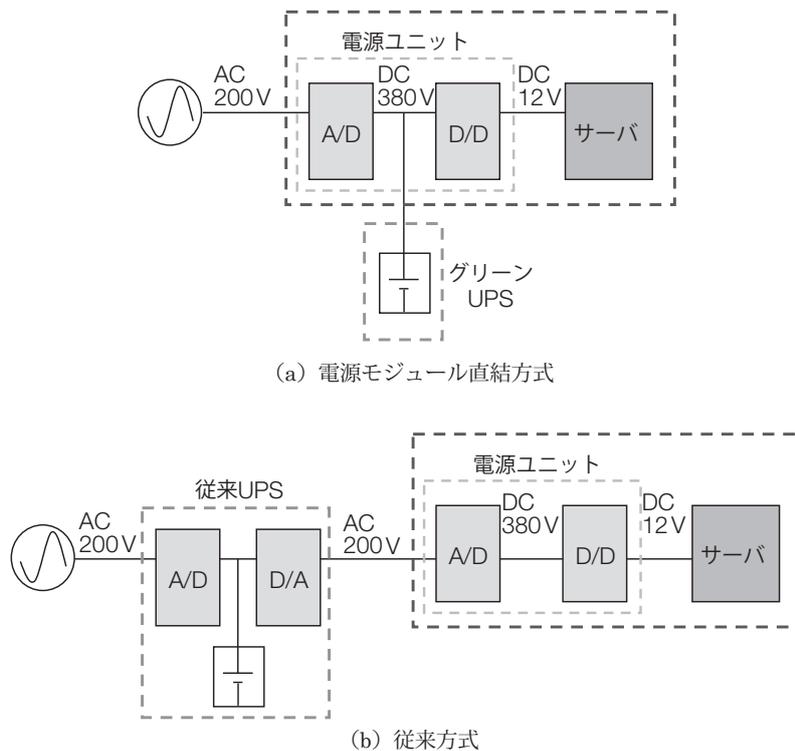


図-3 電源モジュール直結方式による変換部の削減  
Fig.3-Reducing number of AC/DC conversion units using direct connection with electric power supply unit.

の空間分解能、30秒ごとの積算で±1.0℃以下の精度が実現できており、ホール内に局所的に発生したホットスポットの検出が可能など、複雑な温度分布にも対応可能な性能が得られている。図-4の結果は温度の実測値であり、熱流体シミュレーションなどによる予測値よりも、信頼性の高い温度分布状態を把握することができ、実際のラック群の温度状態を確認しながら、空調システムを動作させることが可能になる。現在、光ファイバ温度測定システムと空調システムを連携させ、温度測定結果を空調システムにフィードバックして熱だまりの解消を実現するなど、効率的な空調が行えるセンシング連携システムの研究開発を行っている。

シミュレーション技術

データセンターのホール内を循環する空調システムからの冷気および各ラックからの排気の流れを可視化するために、熱流体シミュレーションが利用されている。データセンターの熱流体シミュレーションでは、一般的にサーバを均一な熱源と仮定していることが多い。実際のITシステムは提供するサービスによってサーバの負荷率、ストレージ稼働率が変化するなど複雑に動作しており、それぞれサービスで消費電力、発熱量は異なっている。また空調システムの効率も、室外機の置かれている地方の天候、温湿度の影響や、電力容量

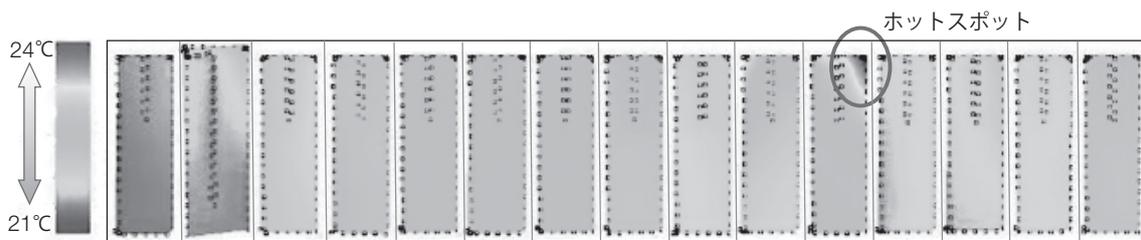


図-4 ラック表面の平面温度分布  
Fig.4-Temperature distribution on surfaces of computer rack island.

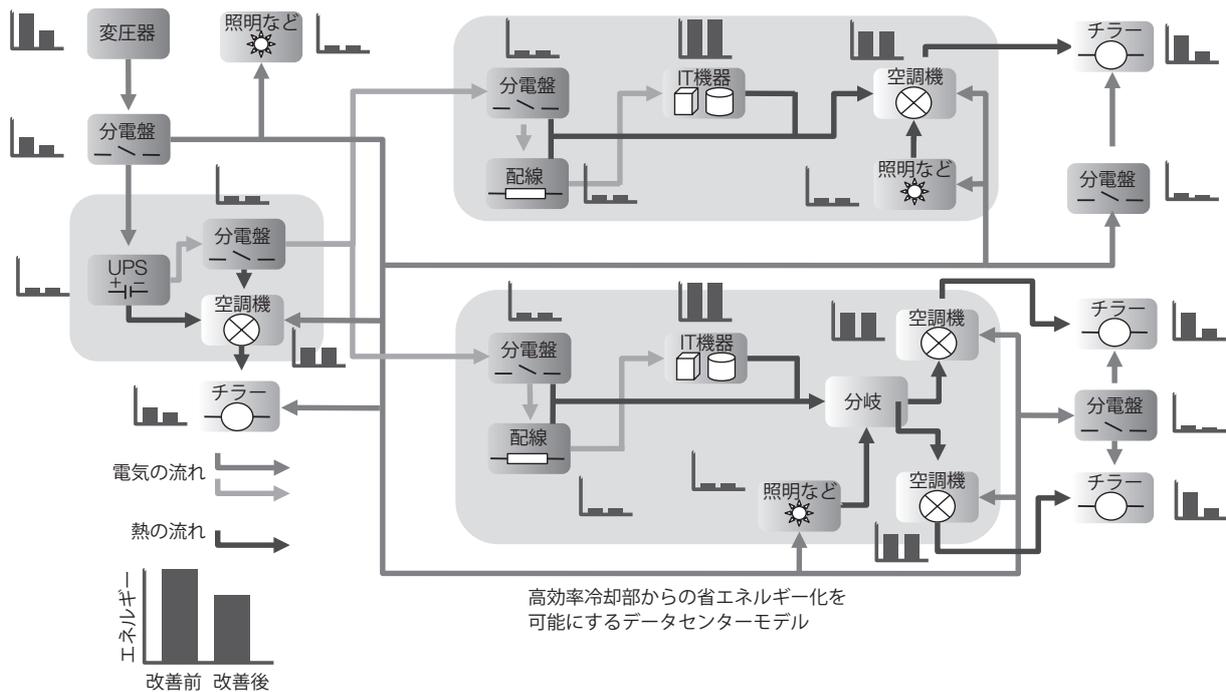


図-5 データセンターのシミュレーションモデル  
Fig.5-Schematic image of simulation model of data center.

などの制約条件による制限を受ける。欧州富士通研究所では、サーバ、ストレージ、ネットワーク、冷却、給電などの各モジュール構成をモデル化することで、実際にデータセンターに提供されるサービスに近い消費電力を高速に予測できるシミュレーション技術を開発している(図-5)。<sup>5)</sup> ITシステムの負荷レベルに応じた消費電力と、発熱量を、各モジュールでモデル化しているのが特徴である。国内外のデータセンターで本シミュレーション技術の実践を開始しており、エネルギー効率改善への課題の明確化に効果を上げている。

### む す び

本稿では、省エネルギーを実現するトータルな富士通研究所の技術開発力を生かし、サーバ、ストレージ、ネットワークなどのIT機器だけでなく、給電、冷却を含めたファシリティー機能が一体化された、コンパクトなデータセンターを実現する要素技術の開発における取組みを紹介した。今後も、CPUチップで生じる熱を高効率に冷却水に伝達させるマイクロチャネル技術、サーバ電源と一体化して高効率化させたグリーンUPS、データセンター内のIT機器の動作状態に基づいたファシリティー制

御のベースとなる温度データを提供する光ファイバ多点温度測定技術、データセンターの状態を予測するシミュレーション技術などの要素技術開発によって省エネルギー性能を追求するとともに、吸着式ヒートポンプによる廃熱の利用を可能にする新技術に挑戦し、次世代の環境配慮型データセンターの実現に向けて取り組んでいく。

### 参考文献

- (1) 小田切 充ほか：データセンターの省エネ動向と富士通グループの取組み. *FUJITSU*, Vol.61, No.3, p.235-240 (2010).
- (2) 永菌 宏：環境配慮型データセンターの構築技術と富士通の取組み. *FUJITSU*, Vol.61, No.3, p.241-246 (2010).
- (3) 水野義博ほか：無線通信基地局向け高出力増幅器へのシリコンマイクロチャネル冷却技術の応用. 電子情報通信学会論文誌, 印刷中.
- (4) 武井文雄ほか：リアルタイム超多点温度測定技術. *FUJITSU*, Vol.60, No.5, p.423-427 (2009).
- (5) D. F. Snellingほか：エネルギー効率から見たデータセンターアーキテクチャの特性評価. *FUJITSU*, Vol.62, No.5, p.608-616 (2011).

著者紹介



**近藤正雄** (こんどう まさお)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、データセンターの省エネルギー化に関する研究開発に従事。



**山本 保** (やまもと たもつ)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、蓄電技術に関する研究開発に従事。



**福田裕幸** (ふくだ ひろゆき)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、データセンターの冷却技術に関する研究開発に従事。



**田中 努** (たなか つとむ)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、電力マネジメント技術に関する研究開発に従事。



**水野義博** (みずの よしひろ)

次世代ものづくり技術研究センター 所属  
現在、マイクロチャネル冷却技術に関する研究開発に従事。



**武井文雄** (たけい ふみお)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、データセンターセンシング技術に関する研究開発に従事。



**壺井 修** (つばい おさむ)

環境・エネルギー研究センター 所属  
現在、エネルギー関連デバイス技術に関する研究開発に従事。