

# グリーンIT化の電源・冷却・筐体技術

## Power, Cooling and Mechanical Technologies for Green IT

### あらまし

国内での省エネ法の改正，欧州でのEuP指令Lot3導入，米国でのコンピュータサーバ ENERGY STARプログラムの強化などサーバに対するグリーンIT化の要求はますます高まってきている。また，お客様のサーバに対する環境負荷軽減の要求も強くなっている。これらの要求に対して，富士通はグリーンIT技術による消費電力削減，省資源化，リサイクル率の向上など環境負荷軽減に配慮したサーバ開発に取り組んでいる。

本稿では，サーバのグリーンIT化に対する電源・冷却・筐体の取組みについて具体例を交えて紹介する。

### Abstract

There is an emerging trend for green computer servers. This trend includes the enhanced Top Runner Program in Japan, new requirements of EuP Lot 3 in the EU, and the ENERGY STAR program for computer servers in the US. These have focused customers' attention on reducing environmental hazards when using servers. Fujitsu has been working to develop servers that have a lower environmental load. It is doing this by introducing green IT technologies to reduce power consumption, save resources and improve the recycling rate. This paper describes specific examples of Fujitsu's efforts in the areas of power, cooling and mechanical technologies for green computer servers.



鵜塚良典  
(うづか よしのり)

エンタプライズサーバ事業本部実装技術開発統括部 所属  
現在，サーバの冷却技術開発，設計業務に従事。



板倉和彦  
(いたくら かずひこ)

エンタプライズサーバ事業本部実装技術開発統括部 所属  
現在，サーバの電源技術開発に従事。



山岡伸嘉  
(やまおか のぶよし)

富士通アドバンステクノロジー (株) HPC適用推進センター 所属  
現在，装置開発を支える機構シミュレーション技術の開発と製品設計適用推進に従事。



北村智善  
(きたむら ともよし)

富士通アドバンステクノロジー (株) 回路技術開発センター 所属  
現在，ICT機器に搭載されるユニット電源の開発と共通的な電源技術の開発に従事。

## まえがき

サーバに対するTCO削減の要求は、ますます強くなっている。また、省エネルギーに関する各種規制やガイドラインの整備も進んでいる。富士通でもこれに対応すべく、省電力化を始めとしたグリーンIT技術の開発に取り組んでいる。

本稿では、電源・冷却・筐体のグリーンIT技術に対する取組みについて具体例を交えて紹介する。

## 電源技術

現状、サーバ向け電源の消費電力（電力変換ロス）はサーバ装置全体の概ね3割程度を占めているが、高まるグリーンIT化への市場ニーズを反映し、目覚しく高効率化が進展しつつある。さらに80 PLUSなどのサードパーティによる電源効率認証制度が普及してきたことや、2009年5月に発効された米国ENERGY STARプログラムのサーバ版の中で電源ユニットの電力変換効率が規定されたことも電源高効率化の流れを後押ししている。

サーバ向け電源の高効率化技術は主に、

- (1) 電力デバイスの特性改善、
  - (2) 電力変換回路の工夫、
- に分類される。富士通グループは、窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ（GaN-HEMT：GaN-High Electron Mobility Transistor）の電力デバイス化、およびGaN-HEMTに最適化したソフトスイッチング制御方式などを独自に調査・研究している。

また、サーバ内部だけでなく、データセンター全体の給電効率向上を目指した直流高圧給電（HVdc：Higher Voltage DC）の技術開発も進めている。

以下に、これらの取組みについて述べる。

### ● 新電力デバイス：GaN-HEMTの開発

電力変換ロスの電源ユニット内部分布を調査したところ、約4割は電圧を変換するスイッチング素子によるものであった。すなわち、スイッチング素子の特性改善は高効率電源実現の最重要ポイントの一つである。現在主流のスイッチング素子は金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOS-FET：Metal Oxide Semiconductor-Field Effect Transistor）だが、オン抵抗低減のトレンドは限界にきており（現在の

オン抵抗は40～190 mΩ）、抜本的な低減は将来的にも見込めない状況である。

そこで富士通グループは、GaN-HEMTを開発した経験を生かし、その技術を発展させて電力デバイス化することでMOS-FETより飛躍的にオン抵抗が小さい電力デバイスを実現すべく研究を行っている。伝導電子濃度を高めるために新規結晶構造と独自のゲート構造を採用して大電流化に対応し、インシュレータの改善などで従来のMOS-FETを置き換えやすいスイッチング仕様を実現した。今後、富士通のサーバ向け電源にGaN-HEMTを搭載し、業界最高水準の高効率の達成を目指す。

### ● スタンバイ電源の省電力化

サーバの電源高効率化に当たっては、スタンバイ電源の消費電力低減も重要である。一般的なサーバ向け電源は高効率な主電源と低効率なスタンバイ電源を一つのユニットに内蔵している。スタンバイ電源は、体積の限界やコストなどの理由で効率改善回路の追加ができないことが多く、主電源に比べ効率が劣るものがほとんどである。そこで、高効率な主電源だけを活用してスタンバイ時の消費電力を低減する新発想のスタンバイ供給方式を製品化した。

通常、基幹サーバの論理プリント板ユニットは活性保守を実現するため、受電端に突入電流を抑制するスロースタート回路を具備している。そこで、このスロースタート回路をサーバのオン・オフに連動してオン・オフするように構成し、スタンバイ電源が必要な負荷には、このスロースタート回路の上流から分岐させて直接供給するようにした。これにより、高効率な主電源だけを使ってサーバ内の給電が行えるようになった。基幹IAサーバ（PRIMEQUESTシリーズ）に適用したケースではスタンバイ消費電力を18%から6%へと大きく低減することができた。

### ● 高圧直流給電方式：HVdc技術

データセンター全体の省エネ化を目指した取組みとしてHVdcが注目されている。

HVdcとは従来商用電源を交流で受電した後、無停電電源装置（UPS）内で2回、給電されたICT機器内で2回、合計4回行っていた電圧変換を2回までにとどめ、ICT機器に直接高圧の直流電圧を供給する給電方式である（図-1）。変換段数を削減することで変換に伴うエネルギー損失を低減し、給電系全

体としての省エネを目指している。また、電圧が高い分、給電ケーブルなどの設備部材の削減が可能となる。

HVdcは省エネ効果が期待されているが、解決すべき課題もある。とくに感電防止などの安全性確保は必須であり、高圧アーク電流遮断技術、漏電時の高速遮断技術の確立を進めている。

### 冷却技術

サーバの高性能化・小型化に伴い、電力密度は年々高まっており、その冷却を効率化することは、グリーンIT実現の重要ポイントとなっている。効率的な冷却設計を行うためには、

- (1) いかに冷却システムを最適化するか、
- (2) いかに効率的に発熱源から熱を奪うかが課題である。富士通は、これらの課題に対して様々なシミュレーション技術を駆使して冷却技術の開発、冷却設計を行っている。また、高効率な冷却部品の技術開発にも取り組んでいる。以下、サーバ冷却設計の事例をもとに、これらの取組みを紹介する。

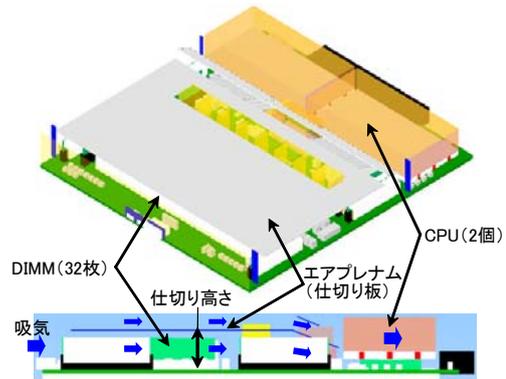
#### ● 熱流体シミュレーション技術

冷却システム最適化のかぎは、熱流体シミュレーション技術である。一般にサーバの実装構造は、冗長電源・メモリ・CPU・I/Oなどのオプション構成をサポートするため、冷却風の流路には様々なパターンが存在する。どの構造においても最適な冷却

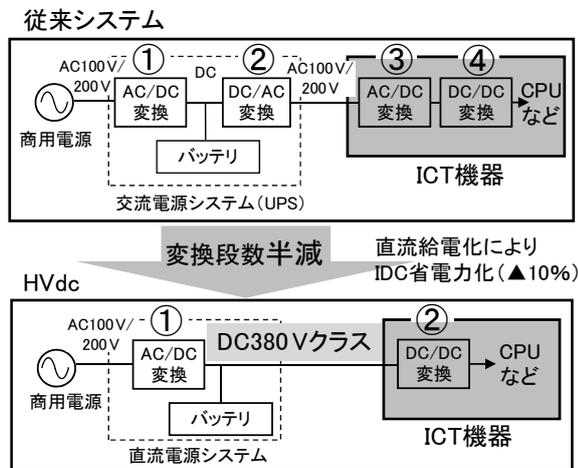
空気を確保するため、設計早期段階から高精度な熱流体シミュレーションの実施が不可欠である。富士通は、装置全体の一括シミュレーションを高速かつ高精度に行うことができるコンピューティングパワーを熱流体シミュレーション用に確保しており、サーバの最適冷却設計を行っている。

#### ● 次世代IAサーバの熱流体シミュレーション

本装置は、図-2 (a) に示すとおりシステムボードユニット (420 mm幅×478 mm奥行×68 mm高さ) に、空冷技術を採用している。空気流は、DIMM (Dual Inline Memory Module) からCPUへと経ていく。これらの部品は高発熱 (DIMM・CPUトータル約500 W) であり、後流側のCPUの温度上昇を低減させるため、空気流や発熱部品の配置を考慮する必要がある。シミュレーションにより、CPU・DIMMへの空気流の配分を最適化する仕切

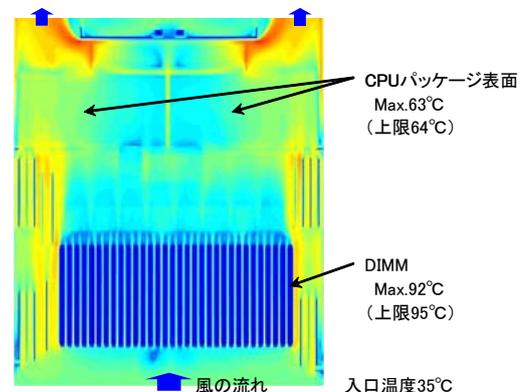


(a) シミュレーションモデル概要 (システムボード)



※○数字は変換段数

図-1 従来給電方式とHVdc給電方式  
Fig.1-Comparison of distribution architecture.



(b) 空気流速分布と主要部品温度

図-2 シミュレーションモデルの概要、およびシステムボードの温度、風速分布  
Fig.2-Summary of simulation model and distribution of airflow and temperature of systemboard.

り板構造を設計し、限られた空気流量のもとでCPUの温度を許容値以下に収めた。解析結果を図-2 (b) に示す。

これにより、最適冷却を実現し、グリーン化に貢献している。

また、ファン故障時の風の回り込みによる風量低減問題を解決するため、シミュレーションを活用し、開閉シャッター機構を開発した(図-3)。この開閉シャッター機構はファンが故障すると自動的に閉じることで、ファンの能力を増加させずに冷却能力を維持させるものである。

● ループヒートパイプ

構造上の制約などにより、CPUのような発熱集中箇所に最適な冷却風を流せない場合、熱を装置内の冷却しやすい場所まで移動させる技術が有効である。従来この目的にはヒートパイプが広く用いられてきた。しかし、サーバの高電力密度化により、既存のヒートパイプでは熱を移動させる距離も熱量も不足するケースが出てきている。

そこで、電力を用いることなく半永久的に効率的な熱輸送を実現する新技术であるループヒートパイプを開発している(図-4)。ループヒートパイプは、毛細管現象を利用して熱源で奪った熱を放熱部まで輸送する二相流体熱輸送デバイスで、従来のヒートパイプより大量・長距離熱輸送を可能にする。電力不要、機構がシンプル、軽量という特長を備えている。今後、ウィックの改善などによる高信頼化、さらなる高性能化と低コスト化を進めていく。

● 冷却ファンの静音化シミュレーション

サーバの高電力密度化により、高い放熱性能と静

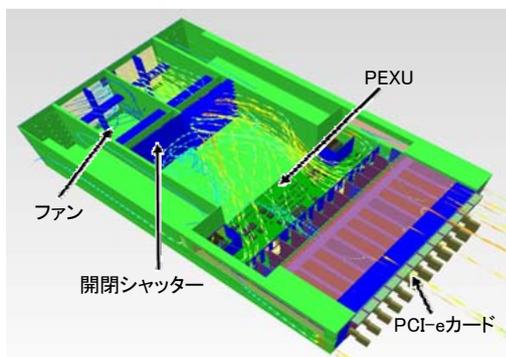


図-3 開閉シャッター機構による空気流の回り込み防止  
Fig.3-Preventing airflow from turning round with shutter that can open and close.

音性を両立させた小型冷却ファンの必要性が増している。以下、1Uサーバ装置に搭載した40 mm角二重反転ファンにおいて、流体シミュレーションを用いてファンの騒音最小化を実現した事例を紹介する。

二重反転ファンの概念図と流体シミュレーション結果を図-5に示す。互いに回転方向の異なる動翼を直列に配置し、約10 000 rpmで回転させた。前段・後段の動翼の間には静翼を備え付け、前段動翼による旋回流れの一部を静圧として回復している。翼断面の圧力分布を図-6に示す。改善前{図-6 (a)}では、翼後段で剥離が生じ乱れた流れであったが、翼形状を見直すことにより剥離がなくなり、効率の良い流れとなった{図-6 (b)}。ファンの空力性能を評価し、翼形状の変更をシミュレーションで繰り返し実行することにより翼形状を最適化でき、初期設計品と比較し、約6.0 dB (A) の低騒音化を実現した。

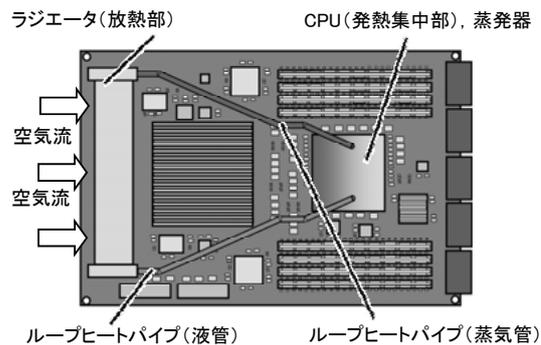


図-4 ループヒートパイプ搭載のユニット  
Fig.4-Unit with loop heat pipe.

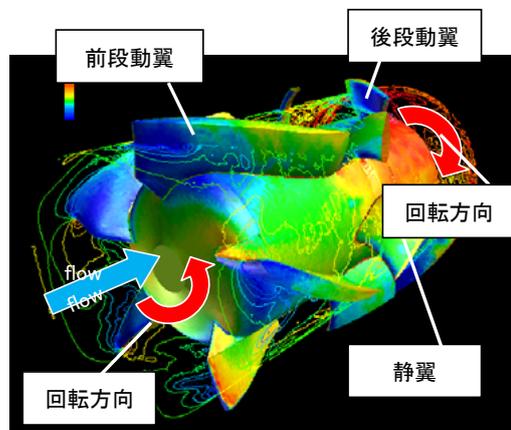


図-5 二重反転ファンの概念図および圧力分布  
Fig.5-Summary of double inversion fan and distribution of surface pressure.

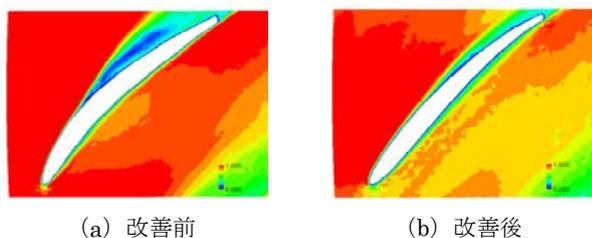


図-6 翼形状の改良  
Fig.6-Improving wing.

### 筐体技術

本章では、サーバ筐体のグリーンIT化を実現するためにシミュレーション技術を活用した筐体設計の実施例をもとに、その技術開発の取組みについて述べる。

サーバ装置の筐体に対するグリーンIT化は、

- (1) 装置製造時の使用材料・エネルギー削減、
- (2) 装置運搬時の環境負荷低減（軽量化）、
- (3) 装置使用時の環境負荷軽減（設置面積低減）、
- (4) 廃却時のリサイクル率向上

などライフサイクル全体で考える必要がある。

近年のシミュレーション技術の向上により、装置全体で様々なシミュレーションが可能となっている。設計段階でシミュレーションを活用し、使用材料の最適化に取り組んでいる。

#### ● 振動シミュレーション

本事例は、フロアスタンド型サーバ装置の筐体に対する振動シミュレーションを実施したものである。

富士通では装置の耐震性を評価するために1000 Gal、震度6強相当の振動評価を実施している。この振動評価をクリアするため、設計段階で筐体全体の振動シミュレーションを実施した結果を図-7に示す。部品点数が約5000点、メッシュ数が約30万に対して動的な振動シミュレーションを行い共振周波数や応力分布を算出している。本事例では、下段シェルフの角部や装置下部の台足取付部に応力が集中していることが示されている。シミュレーションの結果と筐体材料の物性値を考慮し、使用している板金の板厚や補強構造の見直しを設計に反映している。筐体に使用する材料の最適化や軽量化により、グリーンIT化を実現している。

また、シミュレーションを活用することで、試作

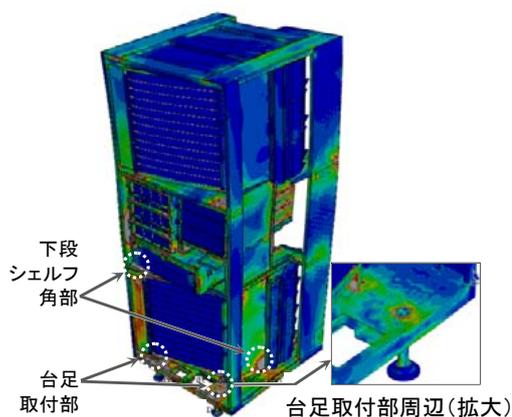


図-7 フロアスタンド筐体の応力分布  
Fig.7-Stress distribution in floorstand frame.

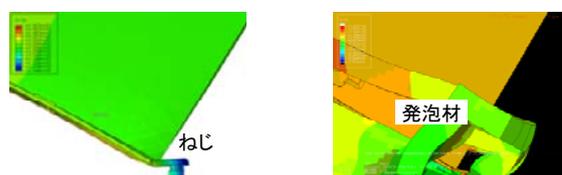


図-8 UNIXサーバの落下時の部品の変形  
Fig.8-Deformation of UNIX server parts when dropped.

回数や評価回数の削減にも結びついている。

#### ● 梱包落下シミュレーション

本事例は、ラックマウント型サーバ装置の梱包箱に対する落下衝撃シミュレーションを実施したものである。

梱包落下評価ではJIS Z 0202に準拠した評価を実施している。ラックマウント型サーバ装置はダンボール箱に緩衝材で保護した状態で格納し出荷される。梱包落下評価では梱包材が製品を落下の衝撃から保護できることを確認できる。しかし、梱包材が製品を保護するために最適になっているかは判断が難しい。そこで、シミュレーションを活用し、梱包材の最適化に取り組んでいる。

梱包落下シミュレーションの精度を上げるためには発泡材とダンボールの材料物性定義およびモデル化が重要となる。発泡材、ダンボールとも応力ひずみ線図を実測により取得し、ダンボールは異方性材料としてモデル化することでシミュレーションを実施した。

図-8は、梱包落下シミュレーションを実施した結果の一例である。落下衝撃により発泡材が押し潰さ

れ、装置の一部に変形が発生している。この事例では緩衝材の材料を変更することで装置の変形を回避することができた。

このようなシミュレーションにより、装置の梱包材の最適化を実現し、過剰な梱包材の使用を防止することで、グリーン化に貢献している。

### む す び

本稿では、サーバのグリーンIT化に取り組んで

いる富士通の電源・冷却・筐体の技術について具体例を交えて紹介した。

これらの技術を開発し、製品へ適用することで、お客様のTCO削減の要求や各種省エネルギーに関する法規制・ガイドラインに適合するサーバを提供する。富士通では今後も、サーバの継続的なグリーンIT化の推進により社会全体の環境負荷低減に貢献していく。