

環境配慮型データセンターを支える 省電力化技術

Power Saving Technologies for Eco-friendly Datacenters

齊藤 達也

Saito Tatsuya

山村 英穂

Yamamura Hideho

平島 陽子

Hirashima Yoko

吉田 伴博

Yoshida Tomohiro

IT装置を集約し、社会インフラとして多様なITサービスを実行するデータセンターは、その規模の増大やIT装置の高密度化などにより、消費電力の増加が世界的な課題とされている。その解決には、個々の機器の省電力化はもとより、機器を連動させた全体制御が有効と考えられる。

日立グループは、データセンター向けのさまざまな機器・設備の開発にかかわる総力を結集したデータセンター省電力化プロジェクトCoolCenter50、およびIT装置の省電力化を進めるHarmonious Greenプランを2007年に発足した。

これまでの主要成果として、IT装置向け電源ユニット、冷媒自然循環式局所冷却システムなどを製品化しており、今後の方向である全体制御を実現するためにIT-設備連係制御技術を開発している。

1. はじめに

IT社会の進展に伴い、社会インフラとして多様なITサービスを実行するデータセンターの役割が増大しているが、一方でその消費電力の増加が世界的な課題となっている¹⁾。データセンターには、ITサービスを実行するサーバやストレージ、ネットワーク機器などのIT装置はもちろん、IT装置を安定して稼働させるために、空調機器や給電機器などのファシリティ機器も多く備えられている。IT装置とファシリティ機器の消費電力は拮(きつ)抗するほどの分量となっており²⁾、データセンターの省電力化には、双方を含めた総合的な対策が必要である。

この課題に対して、日立グループはデータセンターで用いられるIT装置、ファシリティ機器などを幅広く製品化していることから、その総力を挙げたデータセンター省電力化プロジェクトCoolCenter50を2007年に発足し、さらにIT装置に特化した省電力化計画Harmonious Greenプランを同年に策定、実行している^{3), 4)}。

2. データセンターの省電力化のポイント

データセンターの省電力化には、個々の機器の省電力化とともに複数の機器を連動させた全体制御が有効と考えられる(図1参照)。

機器の省電力化は、電源設備の負担と発熱を軽減するだけでなく、機器と電源設備の双方を冷やす冷却設備の電力も低減し、さらには冷却設備の必要台数が減る場合もある。そこで、Harmonious Greenプランでは、部品、装置、運用の各階層で省電力化技術・製品の開発に取り組んでいる³⁾。部品階層ではLSI(Large-scale Integration)や冷却ファンなどの消費電力削減、装置階層では電源ユニットの電力効率や冷却効率の向上、運用階層では可変クロック周波数や不要機能の電源オフなどのマネジメントがある。

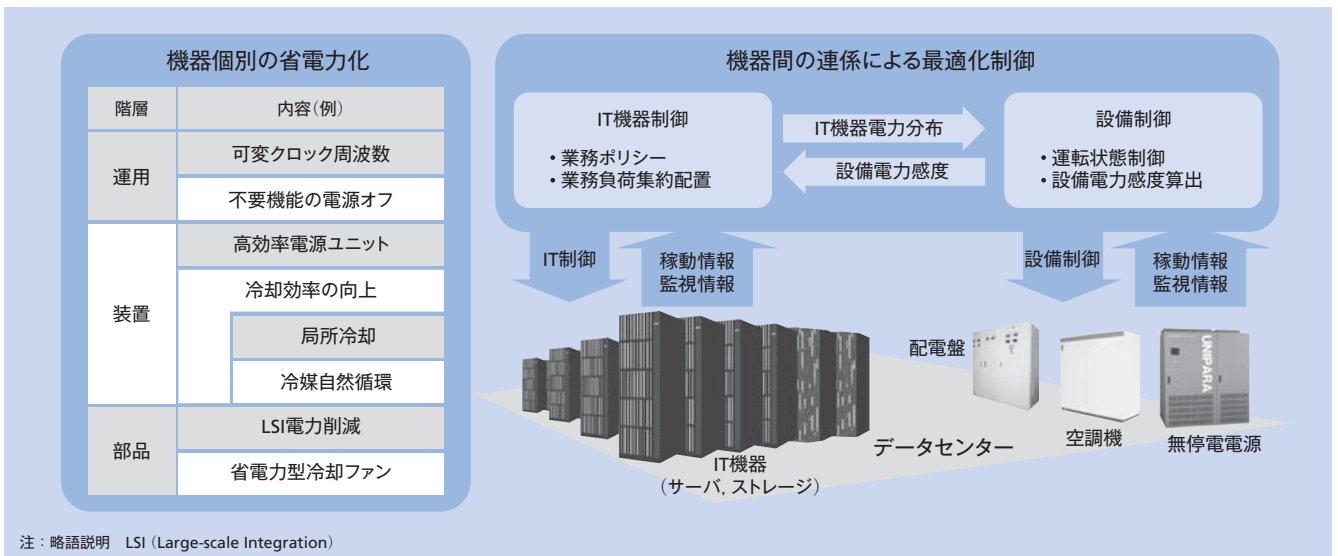
ここでは、日立グループが進めるデータセンター省電力化技術開発の成果の中から、IT装置用電源ユニットの効率化、冷媒自然循環式局所冷却システム、および今後の方向である全体制御に向けたIT-設備連係制御技術について述べる。

3. IT装置向け高効率電源ユニット

3.1 電源ユニットを取り巻く状況

電源ユニットはIT装置内のLSIやHDD(Hard Disk Drive)、ファンを含めた全素子に電力を供給するため、その効率は装置全体の消費電力にかかわる。すなわち、電源ユニットの効率が向上すれば、そのままその分、装置全体の消費電力が減ることになる。旧来、電源ユニットの電力効率は着目されることが少なかったが、2007年夏にCSCI(Climate Savers^{*1)} Computing Initiative)で電源ユニット高効率化の目標基準が示された後、2008年にEPRI(Electric

※1) Climate Saversは、世界自然保護基金WWF(World Wide Fund for Nature)の商標または登録商標であり、日立製作所はCSCIのスポンサー企業である。



注：略語説明 LSI (Large-scale Integration)

図1 | データセンターの省電力化のねらい

部品階層、装置階層、運用階層の各階層における個々の機器の省電力化はもちろん、複数の機器を連係させ、全体を最適化制御することにより、データセンター全体に対して総合的な省電力化を推進する。

Power Research Institute) の 80 PLUS^{※2)} プログラムが目標基準での測定認証制度を開始し、2009年に米国環境保護庁の ENERGY STAR^{※3)} が、ほぼこの基準を用いてサーバ基準を策定するなど、急速に活況を呈し話題を呼んでいる。

3.2 日立グループにおける電源ユニット開発

日立グループは、CSCIの設立当初からスポンサー企業として基準の策定などに参画するとともに、ティピカル効率率92.73%の高効率電源を開発し、2009年3月に日本で最初に 80 PLUS Goldの認証を取得し、CSCI基準を満たすブレードサーバBS2000を製品化した。続いてBS320, HA8000各サーバの 80 PLUS 認証を取得し、CSCI登録を行った(図2参照)。このように、2008年以前には平均約80%であった電力効率を引き上げている。

早期に高効率電源が実現できたのは、メインフレームやスーパーコンピュータなどの大形計算機で培われた技術によるものである。日立グループは、大電力を扱うために、また、冷却を可能にするために、高効率電源の技術を長年にわたって開発してきた。スーパーコンピュータ

※2) 80 PLUSは、米国Ecos Consulting Inc.の米国およびその他の国における登録商標であり、日立製作所は80 PLUSの登録企業である。

※3) ENERGY STARは、米国の登録商標であり、日立製作所はENERGY STARの登録企業である。

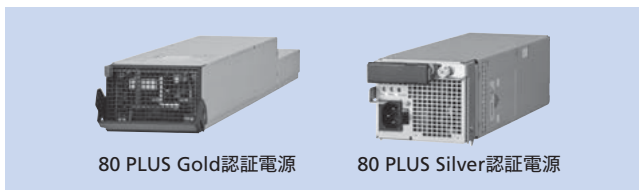


図2 | 80 PLUS認証電源

日立グループは、日本で最初に80 PLUSの認証を取得した。

SR11000-J2モデルでは、電源効率89%を実現し、装置の消費電力を約15%引き下げた。これらの技術をさらに磨き、新たな電力回生スナバ回路なども開発して、ブレードサーバほかの電源に投入している。

4. 冷媒自然循環式局所冷却システム「Ref Assist」

4.1 概要

データセンターでは、空調に対する省電力化や局所発熱対策も必要とされる。特に、床下吹出しパッケージ型空調機を用いる従来の冷却方式では、冷媒搬送や冷風搬送にかかる動力が大きく、この削減が効果的な省電力化につながる。そこで日立グループは、冷媒搬送に動力が不要な冷媒自然循環方式と、空調空気をラック周辺で循環させる冷風局所循環を利用した冷媒自然循環式局所冷却システム「Ref Assist (Refrigerant Rack Spot Cooling Assist)」を開発した。

これは、高効率熱源設備から供給される冷水で冷媒を冷却する冷水-冷媒熱交換器と、室内のサーバ排気を局所的に冷却する局所熱処理ユニットから構成される(図3参照)。

高効率熱源設備には、冬期および中間期に外気冷熱を利用するフリークーリングシステムを採用している。高効率熱源によって製造された冷水は、冷水-冷媒熱交換器で冷媒ガスと熱交換して冷媒を液化する。この冷媒液は、冷水-冷媒熱交換器よりも下方に設置された局所冷却ユニットへ重力落下によって供給され、サーバ排気を蒸発冷却し、気体となって冷水-冷媒熱交換器に戻る。

このように冷媒が自然に循環するため、冷媒搬送動力が不要となる。また、冷風搬送においても、ラック周囲で空気を局所循環させるため、床下を風洞とする従来方式に比べて動力を削減できる。この結果、従来に比べて約60%

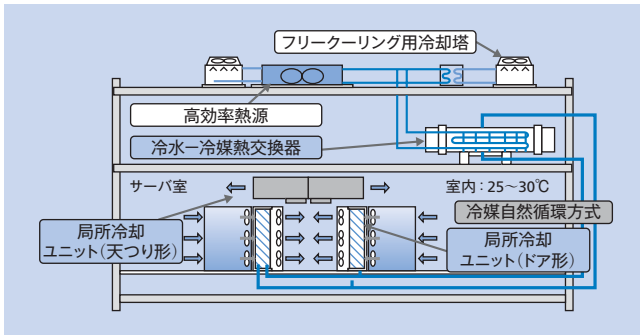


図3 | 冷媒自然循環式局所冷却システムの概要
高効率熱源設備から供給される冷水で冷媒を冷却する冷水-冷媒熱交換器と、室内のサーバ排気を局所的に冷却する局所熱処理ユニットで構成する。

の大幅な空調消費電力低減(当社比)を達成した。

Ref Assistの冷却ユニット設置方法としては、サーバラック背面に取り付けるタイプ、ラック間に並べるタイプ、天井下に取り付けるタイプなどがある。これらを併用すると、空調設備のすべてを冷媒自然循環式局所冷却システムで構築でき、大幅な省電力化が可能となる。さらに、床吹出しパッケージ空調機が不要となるため床下高も削減でき、データセンターの建築費削減(当社比: 5 kW/m²のデータセンターにおいて約15%削減)にもつながる。

4.2 局所冷却ユニットの具体例

局所冷却ユニットの具体例として、ドア型冷却ユニットを図4(a)に示す。このユニットは、冷却コイル・冷却ファンおよびヒンジ取り付け構造によって構成される。ユニットの風量は2,000 m³/h、冷却能力は10 kWである。また、内部に格納される冷却コイルは、構造最適化によって厚さ150 mm以下にした。ユニットの取り付けには、サーバラック背面ドアのヒンジ部を利用する。

また、スライド型冷却ユニットは、既存サーバラックに対するビス打ち付けなどを禁止している顧客に対応できるように、すべて挟み込みで取り付けられる製品であり、既存設備の改修などに適した構造となっている[図4(b)参照]。

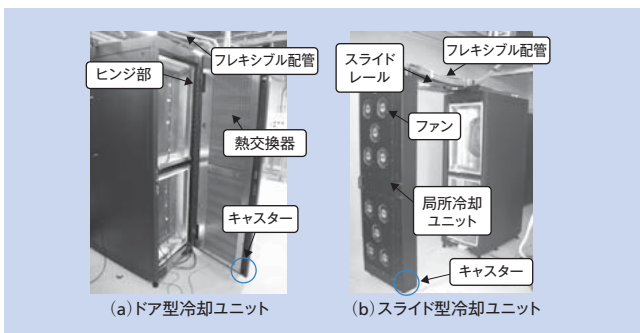


図4 | 局所冷却ユニット
ドア型、およびスライド型の局所冷却ユニットにより、新設から既存設備の改修まで幅広い顧客ニーズに対応する。

5. IT-設備連係制御技術

5.1 概要

データセンターを総合的に省電力化するには、機器を連動させた全体制御が有効と考えられる。例えば、IT装置での業務負荷稼働位置や電力分布に応じて空調電力や給電損失が変動することに注目すると、IT装置で処理する業務負荷を集約すると同時にファシリティ機器をも制御し、一時的に不用になった機器の電力を遮断することにより、IT装置とファシリティ機器を合わせたデータセンター総電力の削減が可能となる(図5参照)。

5.2 IT負荷の集約

一般にIT装置は稼働率0%でも一定の電力を消費するため、IT装置の負荷を集約し、一時的に不用となったIT装置の電源を遮断することが電力削減に有効である。この実現に向けて、日立グループは、業務性能を維持しつつ電力削減するための業務負荷集約技術を開発している。

負荷を集約するには、負荷の変動に応じて即時的に集約する即時集約方式と、負荷履歴に基づく統計予測情報を用いて適応的に集約する適応集約方式が考えられる。一般には業務負荷がどのように変動するか不明であるため、集約後に負荷が増大し、IT装置の能力を超える危険性がある。したがって、即時集約方式で業務性能を維持するためには、IT装置の能力に対して余裕を持たせた集約を行わざるを得ない。適応集約方式の場合には、負荷の変動量やその周期を予測し、それに適した集約を行うため余裕を小さくでき、よりいっそうのIT電力の削減が期待できる。

両者を比較するため、実運用データセンターの8台のサーバにおける4日間のCPU(Central Processing Unit)使用率の履歴を用いた実験を行った。即時集約方式では、集約時のCPU使用率の上限を60%に制限した。適応集約方式では、前3日間の履歴から4日目のCPU使用率を1時間ごとに予測した。4日目の実際の履歴、即時集約方式および適応集約方式における8台のサーバ総電力の推移と総電

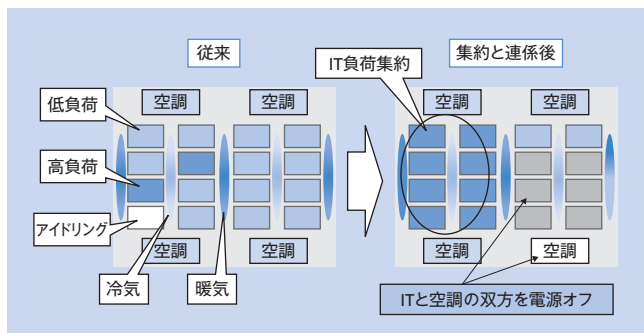


図5 | IT-設備連係制御技術の動作イメージ
IT装置で処理する業務負荷を集約することにより、IT装置の運転台数を削減し、その結果生じる電力分布の偏りに適応して空調機を制御する。

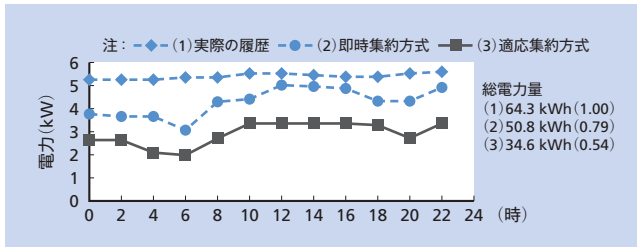


図6 | 業務負荷の集約によるサーバ電力の削減効果
集約を行わない実際の履歴に対して、即時集約方式では総電力量を21%削減し、適応集約方式では46%削減する。

力量値を図6に示す。

集約しない実際の履歴に対して、即時集約方式では総電力量を21%、適応集約方式では46%削減することができた。また、適応集約方式において負荷の実際の履歴に対して予測結果はおおむね合致しており、処理性能に影響しないことがわかった。

5.3 IT電力に適応する空調制御

業務負荷の集約によってIT装置の電力分布(熱分布)に偏りが生じるため、電力分布に合わせて空調機の運転状態を制御することにより、空調電力の削減が可能となる。従来、空調機はその給気温度を一定に保つ制御を行っているが、三次元熱流体解析から導出する温度感度に基づいて制御することを検討した。

具体的には、まず、温度感度解析では、各空調機の還気温度および各IT装置の入気温度と、各空調機の給気温度および各IT装置での温度上昇値をヤコビ行列によって関連づける。次に、空調機運転シミュレータにより、温度感度解析の各空調機の還気温度と給気温度および外気温を入力として、各空調機の消費電力を出力として得る。これにより、空調機群全体の総消費電力は、還気温度または給気温度の関数として表わすことができる。この関数を目的関数、各空調機の還気温度または給気温度を操作変数として、制約条件の下で非線形計画法によって最適解を求めることにより、各空調機で設定すべき還気温度または給気温度が得られる。

解法として最急降下法を用いて、平均的なデータセンターモデルに対して評価を行った。従来の空調機の給気温度均一制御と還気温度均一制御、今回の空調制御のそれぞれにおける空調機の消費電力を図7に示す。給気温度均一制御に比べ、還気温度均一制御は10%、今回の空調制御は12%削減できることがわかった。今回はIT電力分布が比較的均等なモデルを用いたため、還気温度均一制御とこの制御の差が小さいが、先に述べたIT装置の業務負荷集約を行う場合には電力分布の偏りが大きくなることから、さらに省電力化できると考えられる。

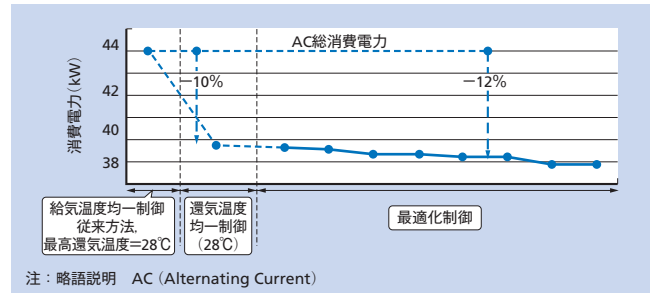


図7 | IT電力に適応する空調制御による空調電力の削減効果
従来の給気温度均一制御に比べて、還気温度均一制御は空調機の総電力を10%削減し、最適化制御は12%削減することができた。

6. おわりに

ここでは、日立グループが進めるデータセンター省電力化技術開発の成果の中から、IT装置用電源ユニットの効率化、冷媒自然循環式局所冷却システム、および今後の方向である全体制御に向けたIT-設備連係制御技術について述べた。

これらをさらに発展させ、いっそうの省電力化を実現し、社会インフラとしてのデータセンターの付加価値を向上させていく所存である。

参考文献

- 1) U.S. Environmental Protection Agency : Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431 (2007.8)
- 2) 社団法人電子情報技術産業協会 : IT化トレンドに関する調査報告書 (2009.6)
- 3) 平松, 外: データセンター省電力化プロジェクトCoolCenter50. 日立評論, 90, 5, 442-445 (2008.5)
- 4) 伊藤, 外: 環境配慮型データセンターに向けたソリューション. 日立評論, 91, 7, 596-599 (2009.7)

執筆者紹介



齊藤 達也
1986年日立製作所入社。中央研究所 グリーンIT基盤研究センター グリーンコンピューティング研究部 所属
現在、データセンターの省電力制御技術、およびITプラットフォームの省電力化ハードウェア技術の研究に従事
IEEE会員、電子情報通信学会会員



平島 陽子
1994年日立製作所入社。システム開発研究所 情報プラットフォーム研究センター 第三部 所属
現在、ITプラットフォームの省電力運用管理の研究開発に従事
情報処理学会会員



山村 英穂
1981年日立製作所入社。情報・通信システム社 エンタープライズサーバ事業部 開発本部 所属
現在、サーバ、計算機のハードウェア技術の開発に従事
博士(工学)
IEEE会員、電子情報通信学会会員、電気学会会員



吉田 伴博
1989年日立プラント建設株式会社入社。株式会社日立プラントテクノロジー 空調システム事業本部 技術本部 テクニカルエンジニアリング部 所属
現在、空調設備の設計に従事