

夜間自動縮退による 新潟大学コンピュータシステムの省エネルギー運用

浜元 信州^{†1,a)} 三河 賢治¹ 青山 茂義¹

概要: 新潟大学では、平成 24 年 3 月に新しい教育用コンピュータシステムの運用を開始した。本システムは、授業等で利用する教育用パソコン、電子メールやウェブ等のネットワークサービス、認証システム等で構成され、大学の運営に欠かせないコンピュータシステムである。東日本大震災以後、コンピュータシステムに対して節電対策を強く求められるようになり、本システムも例外なく省エネルギー運用を強く意識したシステム構成となっている。本システムは、仮想化技術の導入によって、旧システムと比較して多数の物理サーバを削減し、仮想化技術を活用した省エネルギー運用により、単位時間あたり平均 1.6kWh の電力消費量の削減を実現した。本報告は、新潟大学で成功したコンピュータシステムの省エネルギー運用について述べる。

キーワード: コンピュータシステム, 仮想化技術, 省エネルギー運用

Power-saving Operations of Niigata University Computer System using Automatic Migration of Virtual Servers

NOBUKUNI HAMAMOTO^{†1,a)} KENJI MIKAWA¹ SHIGEYOSHI AOYAMA¹

Abstract: We introduced a new computer system of Niigata University on March 2012. the computer system provides a lot of personal computers for the general education classes, e-mail and WWW services, authentication services for various application servers, and so on, every of which is essential for education and efficient management of university. Most university computer systems have been strongly urged to take energy saving measures since the Great East Japan Earthquake, and we design the computer system to reduce power consumption without losing availability. We downsizes the number of physical servers in the computer system relative to the previous one by utilizing virtualization technology, and achieves a reduction of power consumption by up to 1.6kWh in average. In this paper, we report successful power-saving operations of Niigata University computer system.

Keywords: University computer system, Virtualization technology, Power-saving operation

1. はじめに

新潟大学では、平成 24 年 3 月から新しい情報基盤センターコンピュータシステムの運用を開始した。本システムでは、仮想化技術を積極的に導入し、省電力性に配慮しつつ、可用性の高いシステムを目標に設計を行った。本報告では、新システムの概要、新システムの省電力対策、及び、電力消費量の削減状況について述べる。

¹ 新潟大学情報基盤センター
Center for Academic Information Service, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-no-cho, Nishi-ku, Niigata-shi, Niigata 950-2181, Japan

^{†1} 現在、群馬大学総合情報メディアセンター
Presently with Library and Information Technology Center, Gunma University, 4-2 Aramaki-machi, Maebashi-shi, Gunma 371-8510, Japan

^{a)} n.hamamoto@gunma-u.ac.jp

新潟大学は、五十嵐地区に本部、文理系学部、旭町地区に附属病院、医歯系学部を置く総合大学である。五十嵐地区と旭町地区は新潟市内に位置しているが、互いに約10キロメートル離れており、コンピュータシステムの機器を両地区に分散して設置している。平成18年度に更新した旧システムでは、これまで両地区の広範囲に分散して設置していた機器を、五十嵐地区の情報基盤センターと旭町地区の医歯学図書館に可能な限り集約した。新システムでは、医歯学図書館に設置していた機器についても情報基盤センターに集約を図り、仮想化技術を利用した電力消費量の削減に取り組む。

情報基盤センターコンピュータシステムは、授業等で利用する教育用パソコン、電子メールやウェブ等のネットワークサービス、認証システム等で構成されている。東日本大震災以後、大学のコンピュータシステムに対して節電対策や事業継続計画(Business Continuity Plan)が強く求められるようになった。新システムの仕様を確定する大詰め時期に東日本大震災が発生し、新システムにおいては省エネルギー運用を強く意識したシステム構成となっている。仮想化技術を導入したシステムの構築は、他大学に先行事例があるが、むしろサーバの集約に焦点をおいた運用に関する報告が主であった [1], [2]。

本システムは、仮想化技術を省エネルギー運用に積極的に活用し、提供サービスを停止することなく、利用者の少ない夜間に一部の物理サーバのみで運用を行っている。このような運用方法の提案については既に報告がある [3] が、実環境を用いて、毎夜間に多数の稼働サーバを停止し電力消費量の削減に配慮したコンピュータシステムの運用に関する報告はこれまでになされていない。本報告では、新潟大学で実現した、コンピュータシステムの毎夜間停止の運用と電力消費量の削減の効果について、実際の電力消費量の測定データから検証した結果を紹介する。

2. システム概要

情報基盤センターコンピュータシステムは、新潟大学の構成員に対して、教育用コンピュータシステム、電子メールサービス、ユーザ認証サービス等、多くのサービスを提供している。本システムでは、仮想化技術を積極的に活用し、提供サービス数を減らすことなく、物理サーバの台数を削減した。

提供サービスを実現するために導入した物理サーバ数について、平成18年度に導入した旧システムと本システムとの比較を表1に示す。表中、サービス項目順に、高速演算サーバ、認証サーバ、ファイルサーバ、ブート管理サーバ、ブートサーバ、印刷管理サーバ、メールゲートウェイサーバ、DNSサーバ、メールサーバ、ウェブサーバ、その他である。本システムでは、多数の仮想マシンを稼働させるための物理サーバを8台導入している。例えば、認証

表1 提供サービスと物理サーバ数

Table 1 The number of services and physical servers.

Service	2007		2012	
	Serv (= Phys)	Serv	Phys	
HPC	1	-	-	
AD/LDAP	4	5	2	
File Storage	1	1	1	
Boot Mng	3	3	1	
Boot SV	29	19	19	
Print Mng	3	3	1	
Mail GW	5	4	2	
DNS	5	3	-	
Mail	5	3	-	
Web	2	4	-	
Others	2	12	2	
VMWare SV	-	-	8	
Total	60	57	36	

サーバについて、旧システムでは4台の物理サーバで運用しているが、本システムでは3台の仮想マシン、2台の物理サーバの合計5台で運用している。また、DNSサーバ、メールサーバ、ウェブサーバ等は、物理サーバを導入せず、仮想マシンのみで運用している。

旧システムと比較して、本システムは、新しいサービス(表ではその他に含めているが)を多数導入したにも関わらず、物理サーバを20台以上削減することに成功している。以下に、本システムで稼働しているサーバ群の詳細を述べる。

2.1 仮想化基盤システム

本システムでは、サーバ台数の削減と消費電力量の削減を実現するため、仮想マシンを利用して多数のサーバを稼働させている。仮想マシンを稼働させるための仮想化ソフトウェアとしてVMWare vSphere ESX 5を採用し、仮想マシンを稼働させるための物理サーバを8台導入した。以下、本報告では、仮想マシンを稼働させるための物理サーバを仮想化基盤サーバとよぶ。

仮想化基盤サーバは、CPUにインテル社製Xeon E5649(6コア)を2プロセッサ、メモリを48GB、1Gbpsのイーサネットインタフェースを8ポート搭載する。仮想マシン1台に割り当てるリソースは、CPUに2コア、メモリに4GBを基本とし、仮想マシン上のサーバの役割に応じて、割り当ての調整を行った。ファイルサーバは、NetApp社製FAS3240A(2コントローラ)を導入し、コントローラあたり10Gbpsのイーサネットインタフェースを2ポート搭載する。

仮想化基盤サーバとファイルサーバは、L2スイッチ2台を経由してiSCSIで接続している。具体的には、図1に示すとおり、ファイルサーバの各コントローラに搭載する10Gbpsの2ポートをそれぞれ2台のL2スイッチに

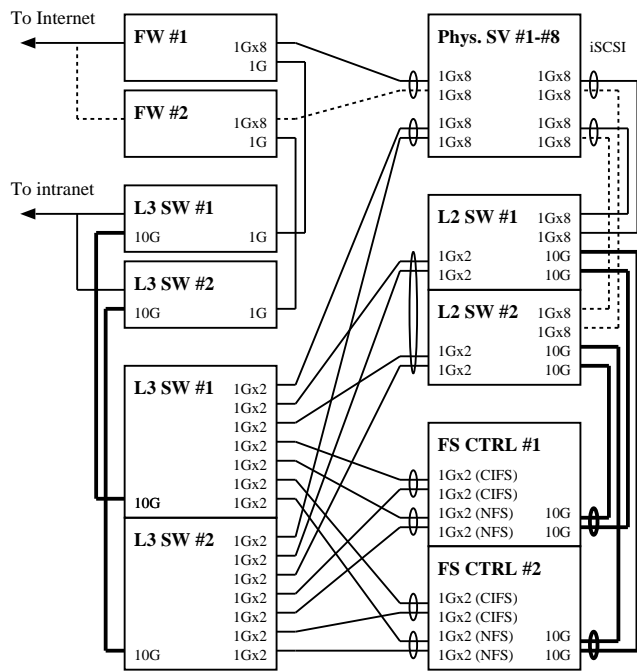


図 1 ネットワーク接続図

Fig. 1 Network connection diagram.

10Gbps ずつ分散して接続し、仮想化基盤サーバの 8 ポートのうち 4 ポートを使用して（残りの 4 ポートは 2 ポートずつ L3 スイッチとファイアウォール装置に接続する）2 ポートずつ 2 台の L2 スイッチに分散して接続する。L2 スイッチの 1 台、ファイルサーバのコントローラの 1 台に障害が発生しても冗長な経路を確保でき、可用性を向上させている。VMWare vSphere には、稼働中の仮想マシンを停止することなく他の物理サーバに移動するライブマイグレーションという機能が備わる。本システムは、仮想マシンのディスクイメージを iSCSI で接続されたファイルサーバ上に格納し、ライブマイグレーション可能な環境を構築している。

2.2 教育用パソコン

教育用パソコンは、主に情報リテラシー等の授業で利用されている。附属図書館や情報基盤センターでは、学生が自習等で教育用パソコンを利用できるように、授業時間外にも開放している。平成 18 年度に更新した旧システムでは教育用パソコンを 638 台を導入し、本システムでは 770 台を導入した。ソフトウェアの統一的な管理やセキュリティ対策を効率よく実現するため、旧システムでネットワークブート方式を採用したが、本システムでも引き続きネットワークブート方式を踏襲している。本システムでは、ネットワークブートを実現するソフトウェアとしてパナソニックインフォメーションシステムズ社製 VHD Professional を採用した。

ネットワークブート方式では、端末のディスクイメージをブートサーバ上に格納し、各端末は起動時にブートサー

バ上のディスクイメージを読み込む。旧システムの導入直後、教育用パソコンの起動時間が安定せず、運用の過程において、教育用パソコンの搭載メモリの増量やブートサーバの増設を行い安定運用に努めた。著者らは、本学の事象の要因を実験によって特定し、本事象がブートサーバの個体性能よりも教育用パソコンとブートサーバ間のネットワーク帯域に起因することを示した [4]。本システムでは、教育用パソコンを設置する各教室とブートサーバを設置する情報基盤センターのサーバ室を 10Gbps のイーサネットで接続し、教育用パソコンとブートサーバを同一ネットワークで運用するよう設計した。

全てのブートサーバを仮想マシンで構築した事例も報告されているが、本システムでは、全てのブートサーバを物理サーバで構築することにした [5]。しかしながら、ネットワーク帯域の増強により教育用パソコンの起動時間を大幅に短縮することができ、その結果、旧システムから教育用パソコンを 132 台増設したにも関わらず、ブートサーバを 29 台から 10 台削減し 19 台で運用している。

2.3 ネットワークサービス運用システム

情報基盤センターでは、ネットワークサービス運用システムと称し、本システムの一部として、メールゲートウェイシステム、DNS、部局メールサービス、部局ウェブサービスを提供している。これらのサービスは、年を追うごとに重要性が増しており、基本的に、24 時間 365 日の稼働を目標に運用している。

旧システムは、メールゲートウェイに 5 台（五十嵐地区 3 台、旭町地区 2 台）、DNS に 5 台（五十嵐地区 3 台、旭町地区 2 台）、部局メールサービスに 5 台（五十嵐地区 3 台、旭町地区 2 台）、部局ウェブサービスに 2 台（五十嵐地区 2 台）で運用していた。新潟大学の基盤ネットワークシステムは、五十嵐地区と旭町地区でマルチホームを構成しているため、各地区にメールゲートウェイシステム、DNS を配置していた。また、地区間の通信障害や法定点検の計画停電時でも、他方の地区で部局メールサービスを利用できるように、各地区にメールサーバを配置していた。

平成 20 年度に更新した基盤ネットワークシステムで、地区間の通信の冗長経路を変更し、耐障害性を向上させた。本システムでは、ネットワークサービス運用システムを五十嵐地区に集約するとともに、仮想化技術を利用して物理サーバ台数の削減を積極的に進めた。この結果、メールゲートウェイに 4 台（五十嵐地区 2 台、旭町地区 2 台）、DNS に 3 台（五十嵐地区 2 台、旭町地区 1 台）、部局メールサービスに 3 台（五十嵐地区 3 台）、部局ウェブサービス（五十嵐地区 4 台）で運用している（太字が仮想マシンの台数である）。五十嵐地区の法定点検時に、外部発電機を接続し、本システムの無停電運用を行う。

部局メールサービスを運用する管理ソフトウェアとして、

Phys. SV #1	Phys. SV #2	Phys. SV #3	Phys. SV #4	Phys. SV #5	Phys. SV #6	Phys. SV #7	Phys. SV #8
Dept. Web #1	Dept. Web #2	Dept. Web #3	Dept. Web #4	CAIS Web	License SV #1	DNS #1	DNS #2
Dept. Mail #1	Dept. Mail #2	Dept. Mail #3	Int. Mail Relay	Groupware	File Sender	Online Storage	IP Mng.
Microsoft AD #2	Mail GW #1	Mail GW #2	Linux SV #1	Linux SV #2	Print Mng. #2	Boot Mng. #2	Lab. SV
LDAP #1	Boot Mng. #1	Color Print Mng.	Print Mng. #1	Monitoring SV			

(a) Normal operation.

Phys. SV #1	Phys. SV #2	Phys. SV #3	Phys. SV #4	Phys. SV #5	Phys. SV #6	Phys. SV #7	Phys. SV #8
Dept. Web #1	Dept. Web #2	Dept. Web #3	Dept. Web #4	Linux SV #2	Print Mng. #2	Boot Mng. #2	
Dept. Mail #1	Dept. Mail #2	Dept. Mail #3	Int. Mail Relay				
Microsoft AD #2	Mail GW #1	Mail GW #2	Linux SV #1				
LDAP #1	Boot Mng. #1	Color Print Mng.	Print Mng. #1				
CAIS Web	License SV #1	DNS #1	DNS #2				
Groupware	File Sender	Online Storage	IP Mng.				
Monitoring SV			Lab. SV				

(b) Degenerate operation during nighttime.

図 2 仮想基盤サーバ上の仮想マシンの配置

Fig. 2 Virtual machine layout on physical servers.

旧システムから引き続き DEEPSOFT 社製 DEEPMail を採用し、仮想ドメインを構築した仮想マシン 3 台で負荷分散する。メールプール領域 (1GB×10,000 ユーザ) をファイルサーバ上に確保し、同一のプール領域を L3 スイッチ経由で NFS マウントしている。部局ウェブサービスを運用する管理ソフトウェアとして HDE 社製 HDE Controller 6.1 ISP Edition を採用したが、導入バージョンでは、複数サーバによる同一ドメインの負荷分散運用に対応していなかったため、仮想マシン 4 台に各部局のウェブドメインを割り当てた。部局メールサービスと同様に、コンテンツ領域 (15GB×50 ドメイン) をファイルサーバ上に確保し、L3 スイッチ経由で NFS マウントしている。

3. 省電力対策

電力消費量の削減は、地球温暖化の要因と言われている CO₂ 排出量削減の観点から重要である。東日本大震災以後は、日本の電力事情が大きく変わり、日本全体で発電供給量が不足する事態も想定される。環境に対する配慮、電気料金支出増に対する対策という観点から、コンピュータシステムの省エネルギー運用は重要な課題である。

本システムでは、仮想化基盤システム、教育用パソコン、ネットワークサービス運用システムのそれぞれの特徴に対応した省電力対策を行っている。仮想化基盤システムでは、VMWare vSphere のライブマイグレーション機能を利用して、提供サービスを削減することなく、利用者の少ない夜間に物理サーバの稼働台数を削減している。教育用パソコンでは、利用者の少ない夜間に一部を残してブートサーバ

の稼働を停止し、夜間の消費電力を削減している。ネットワークサービス運用システムでは、本サービスを仮想マシンのみで実現することにより、実質的に物理サーバを削減することで省電力対策を行っている。以下、各サービスでの省電力対策の詳細を述べる。

3.1 仮想化基盤システム

仮想化基盤システムでは、VMWare vSphere のライブマイグレーション機能を利用して、利用者の少ない夜間に物理サーバの稼働台数を削減し、夜間消費電力を抑えることで省電力対策を行っている。本システムの通常運転時と夜間縮退運転時の仮想化基盤システム上の仮想マシンの配置を図 2 に示す。

縮退運転は、深夜 23 時から早朝 7 時までの 8 時間、物理サーバ 8 台のうち 4 台 (#5~#8) を停止する。停止する物理サーバ上の仮想マシンは、ライブマイグレーション機能を利用して、稼働している物理サーバに移動する。このとき、停止する物理サーバ上で稼働していた全ての仮想マシンを移動せず、夜間に利用者が少ない (または存在しない) 仮想マシンの一部はそのまま停止させている。具体的には、負荷分散のため冗長構成となっている仮想マシンでは、1 台のみの起動を継続させ、他の仮想マシンは停止するという方針を採用し、図 2 中にある編み掛けで表示されている仮想マシンは夜間に停止した。

仮想化基盤サーバの夜間縮退運転は、仮想マシン管理サーバ (vCenter) とシステム監視サーバ (Linux サーバ) が協調して物理サーバと仮想マシンを制御することにより

表 2 グループ毎のブートサーバの台数と停止/起動時刻

Table 2 Shutdown and startup time and the number of boot servers per group

Campus	Group #	SV	PC	Startup	Shutdown
Ikarashi	#1	4	215	04:30	20:00
	#2	3	182	04:30	23:00
	#3	3 (1)	81	04:30	22:00
Eng	#1	3	90	04:30	21:00
Asahi	#1	6 (1)	202	04:30	23:00
Total		19 (2)	770		

実現している。縮退運転の開始時、次の手順

- (1) 仮想マシン管理サーバが移動対象の仮想マシンを仮想化基盤サーバ (#1~#4) に移動する
- (2) システム監視サーバが停止対象の仮想マシンを停止する
- (3) システム監視サーバが仮想化基盤サーバ (#5~#8) を停止する

により、仮想化基盤システムを縮退する。一方、縮退運転の終了時、縮退運転の開始手順とは逆に、次の手順

- (1) システム監視サーバが仮想化基盤サーバ (#5~#8) を起動する
- (2) システム監視サーバが停止対象の仮想マシンを起動する
- (3) 仮想マシン管理サーバが移動対象の仮想マシンを元の仮想化基盤サーバ (#5~#8) に移動する

により、仮想化基盤システムを縮退運転から通常運転に復帰する。

3.2 教育用パソコン

本システムでは、ネットワークブート方式で教育用パソコンを運用し、全てのブートサーバは物理サーバで構成されている。教育用パソコンでは、利用者の少ない夜間に多数のブートサーバを停止して電力消費量を削減することで省電力対策を行っている。

各ブートサーバは、教育用パソコンを設置する教室の規模に応じて、いずれかのグループに所属する。各グループに所属するブートサーバの台数、グループが担当する教育用パソコンの台数、ブートサーバの起動/停止時刻を表 2 に示す。工学部に設置する教育用パソコンのブートサーバ 3 台は、情報基盤センターサーバ室ではなく、工学部サーバ室に設置しているので、独立の項目とした。また、五十嵐地区#3 と旭町地区#1 の一部の教室は 24 時間利用可能であるために、24 時間稼働のブートサーバをそれぞれ 1 台設置している。

本システムでは、深夜 23 時から早朝 4 時 30 分まで、ブートサーバ 19 台のうち 17 台が停止する。本システムで採用した VHD Professional は、グループに所属するブートサーバ 1 台が停止しても他のブートサーバが端末のイメー

ジ配信を代行する機能を有している。この機能により、教育用パソコンを利用中のユーザに影響を与えることなく、ブートサーバを停止することができるため、24 時間利用可能な五十嵐地区#3 と旭町地区#1 の教育用パソコンでもユーザのログアウトを待つことなく、多数のブートサーバを停止することができる。

3.3 ネットワークサービス運用システム

ネットワークサービス運用システムでは、現在のところ、仮想化基盤システムや教育用パソコンのような省電力対策を実施していない。提供しているサービスの性格上、基本的に、24 時間 365 日の稼働を目標に運用しているからである。しかしながら、旧システムでは、17 台の物理サーバでネットワークサービス運用システムを運用しており、本システムでは仮想マシンのみ（仮想化基盤サーバ 8 台）でネットワークサービス運用システムを運用していることを勘案すると、実際は、物理サーバ 9 台を削減したと考えてよいだろう。

また、ネットワークサービス運用システムのうち、仮想化基盤システムの夜間縮退運転により、ライブマイグレーション機能で物理サーバを移動する仮想マシンは DNS に限定している。

4. 実測方法と結果

情報基盤センターサーバ室内の主幹ブレーカに計測装置を取り付け、電力消費量を測定した。本ブレーカは、本システムのサーバやネットワーク機器の他、サーバ室内の空調室内機、基盤ネットワーク機器等の総電流量を監視している。計測装置を取り付けた分電盤は、平成 18 年度にコンピュータシステム専用に設置したもので電灯盤とは共有していない。電力量の計測は、電力瞬時値を毎時、自動的に測定した。平成 24 年 4 月 1 日から平成 24 年 9 月 15 日までの計測結果を図 3 に示す。計測期間中、昼間は通常運転、夜間は前節で示したスケジュールに基づいた縮退運転を行っているため、図 3 に示した電力量のグラフは、1 日を周期とした振動を繰り返している。

4 月 3 日から 4 月 4 日にかけて、電力量が 0 となっている区間と、その後、電力量が 17kWh に達する区間が見られる。これは、4 月 3 日 23 時 50 分頃から 4 月 4 日 11 時 50 分頃にかけて、新潟市内で大規模な停電が発生し、復電時、サーバ室内の全ての機器に同時に通電したためと考えられる。このことから、主幹ブレーカ配下の機器の最大電力量がおおよそ 17kWh であると言える。5 月 5 日から 8 月 26 日までの期間、昼間と夜間の電力消費量の差が小さくなっているが、5 月 4 日を境にして仮想化基盤サーバに異常が発生し、仮想化基盤サーバの夜間縮退運転を停止したためである。8 月 27 日に仮想化基盤サーバの夜間縮退運転を再開したので、振幅も 5 月 4 日以前の状態に戻ったこと

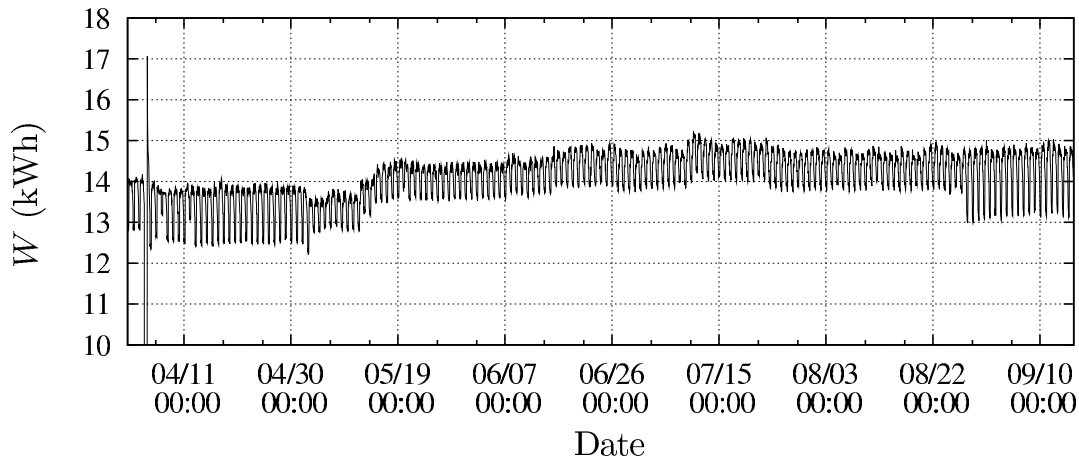


図 3 電力量の瞬時値 (kWh)

Fig. 3 Instantaneous power consumption (kWh)

が分かる。

毎日の電力量の変化の詳細を見るため、次のように、平均値からの差分を計算する。計測日を d 、時刻を t で表すと、電力量の瞬時値 W は両者の関数として $W(d, t)$ と表される。図 3 に示すとおり、電力量は 1 日を周期とする変化を示しているため、次式で定義される日平均値からの差分 $\Delta W(d, t)$ を計算する。

$$\Delta W(d, t) = W(d, t) - \frac{1}{N_s} \sum_{t'} W(d, t') \quad (1)$$

ここで、右辺の第 2 項は、測定日 d の全ての測定値の和であり、 N_s は 1 日の計測回数である。計測データは毎時の瞬時値を記録しているため、本測定では $N_s = 24$ である。次に、日平均値からの差分を特定の期間について平均した、次式で定義される電力量差の期間平均値 $\overline{\Delta W}(t)$ を計算し、平均的な 1 日の電力量の変化を調べる。

$$\overline{\Delta W}(t) = \frac{1}{N_p} \sum_d \Delta W(d, t) \quad (2)$$

ここで、 N_p は、平均をとる期間中の日数である。測定期間中、仮想化基盤サーバに異常が発生し、仮想化基盤サーバの夜間縮退運転を停止した期間があり、測定日によって夜間に停止した物理サーバの台数が異なる。このため、電力量の日平均値からの差分が期間によって大きく異なる。そこで、期間平均値は、次の 3 つの期間に分けて考えることにする。

期間 A (平成 24 年 4 月 1 日から 5 月 4 日まで)

夜間停止した物理サーバは、仮想化基盤サーバ 3 台、ブートサーバ 8 台である。

期間 B (平成 24 年 5 月 5 日から 8 月 26 日まで)

夜間停止した物理サーバは、ブートサーバ 8 台である。仮想化基盤サーバは全台稼働している。

期間 C (平成 24 年 8 月 27 日から 9 月 15 日まで)

夜間停止した物理サーバは、仮想化基盤サーバ 4 台、ブートサーバ 8 台である。

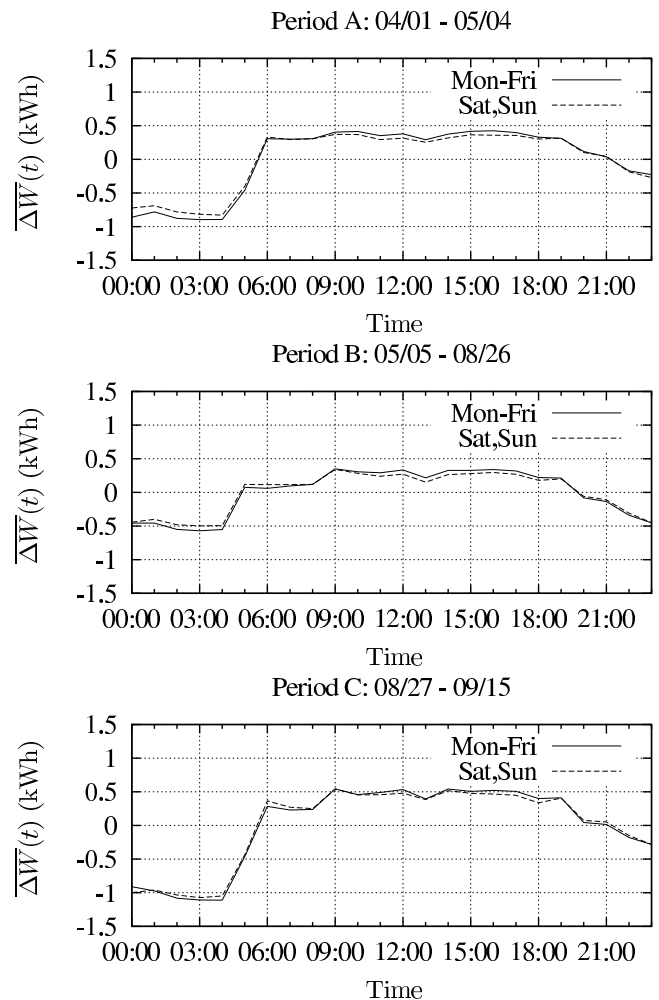


図 4 平日/休日別の電力量差の期間平均値

Fig. 4 Period average of differences between instantaneous and daily mean power consumption during weekdays and weekends.

表 3 曜日別の平均消費電力量
Table 3 Average weekly and weekday power consumption.

Day	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Weekday	Sun & Sat
Ave. power consumption	14.092	14.099	14.113	14.134	14.098	14.105	14.101	14.110	14.096

平日と休日の電力消費量の傾向を議論するため、平日（月曜日から金曜日まで）と休日（土曜日と日曜日）に分けて期間平均値を計算している。期間平均値を計算するときに祝祭日を考慮していないが、測定期間中の祝祭日は多くはなく、平均することで影響は小さくなると思われる。ただし、平成 24 年 4 月 3 日から 4 月 4 日にかけて発生した停電時の電力量の傾向は、他の測定日の傾向とは著しく異なるので、この期間の電力瞬時値を除外して期間平均値を計算している。図 4 に電力量差の期間平均値 $\overline{\Delta W}(t)$ を示す。

平日（実線）と休日（破線）を比較すると、期間によらず、電力消費量の傾向は平日と休日で大きく変わらないことが分かる。平日と休日では、利用者数や利用者の傾向が異なるので、物理サーバの負荷に少なからず影響を与えると推測されるが、実測上はほとんど影響を与えていないと言える。一方、夜間縮退運転による影響は、図 4 から、如実に電力消費量に反映されている。夜間縮退運転の物理サーバ停止スケジュールは、20 時にブートサーバ 4 台、22 時にブートサーバ 2 台、23 時にブートサーバと仮想化基盤サーバの合計 11 台を停止し、早朝 4 時 30 分に停止した物理サーバを一斉起動する（今回の計測では、工学部ブートサーバと旭町地区ブートサーバは含まれていない）。

期間 A では、最大消費電力量と最小消費電力量の差は、平日、休日ともにおよそ 1.2kWh、期間 B では、0.9kWh、期間 C では、1.6kWh である。この電力量の差は、夜間に停止する物理サーバの台数と関係があると推測される。夜間に停止したブートサーバの台数は、期間によらず、8 台であった。仮想化基盤サーバの台数は、期間 A では 3 台、期間 B では 0 台（縮退運転を停止していた）、期間 C では 4 台であった。期間 A と期間 B の電力量差が少なからず開いており、夜間に停止した物理サーバの台数を考えると、何かしら別の要因が考えられる。期間 A は、本システムを導入してちょうど 1 ヶ月であり、本システムを安定稼働させるために日々調整していた時期と重なる。不定期にサーバの再起動を行ったり、夜間にライブマイグレーションの実験を行ったり、これらの調整作業が期間 A の最小消費電力量を押し上げたかもしれない。

最後に、平日と休日の消費電力量の傾向を探るため、曜日別の平均消費電力量を計算した。全ての期間に対して、平均消費電力量の計算を行ったが、停電時の影響を避けるため、平成 24 年 4 月 3 日から 4 月 4 日までの電力量を除外した。曜日別の平均消費電力量を表 3 に示す。これまでの計算結果からも曜日別の消費電力量に大きな違いは見ら

れなかったが、消費電力量の平均値で比較しても、大きな違いは見られない。平日の平均値と休日の平均値を比較しても、平日の平均値が多少大きいと言えるが、有意な差は認められない。

5. まとめ

本報告では、平成 24 年 3 月に導入した新潟大学情報基盤センターコンピュータシステムの概要、省電力対策について、その内容と電力量測定結果を述べた。本システムは、仮想化技術とネットワークブート方式を活用して省エネルギー運用に配慮したコンピュータシステムである。本システムの運用開始から、（個別の初期不良やシステム不具合に悩まされることはあったが）夜間縮退運転にともなうトラブル等はなく、順調に省エネルギー運用を継続している。

本報告の計測結果から、物理サーバを停止することが電力消費量の削減に貢献するということが検証できた。また、停止する物理サーバの台数により、電力消費量の増減が変化することも計測結果から検証できた。

休日よりも平日のサーバ負荷が高いと考えていたが、電力消費量の測定結果からは、平日と休日によって顕著な違いは見られなかった。本報告の測定方法では、毎時間に一度、電力量の瞬時値のみを計測するため、短時間に負荷が集中するような状況における消費電力量の増加については考慮されていない。平日には、授業開始や業務などで負荷が集中するような状況が起こるため、実際には、平日の消費電力は大きい可能性もあるが、今回の測定方法では確認できなかった。

教育用コンピュータシステムでは、授業開始時や履修登録時に負荷が集中するような状況が起こるため、不測の事態に備えて物理サーバの十分な性能を持った機器を準備する必要がある。負荷の集中しない時間帯にもサーバを稼働させ続けなければならないが、負荷の低いサーバを稼働させ続けることは、電力消費量削減の観点からは問題となる。本報告では、仮想化技術とネットワークブートを利用して、サービスに影響を与えることなく、負荷の低い物理サーバを停止できる環境を構築した。測定結果からも分かるように、サーバ負荷のない時間帯に、物理サーバの電源をこまめに落とすことで、電力消費量を削減できることが検証された。

6. 謝辞

本システム構築に多大なご協力を賜りました東日本電信電話株式会社に感謝の意を申し上げます。

参考文献

- [1] 瀬川大勝, 辻澤隆彦, 辰己丈夫: 仮想化技術を用いたサーバ集約と演習端末室の構築, 学術情報処理研究, Vol.15, pp.134-141 (2011).
- [2] 下園幸一, 高橋至, 升屋正人: 仮想化技術を用いたホスティング・ハウジングサービスの集約, 学術情報処理研究, Vol.14, p.89 (2010).
- [3] 新井大輔, 吉原貴仁, 井戸上彰: データセンター省電力運用管理手法の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, pp.469-474 (2009).
- [4] 浜元信州, 三河賢治, 青山茂義: 教育用パソコンのネットワークブート起動時間に影響を与える要因の評価, 学術情報処理研究, Vol.15, pp.46-57 (2011).
- [5] 榊田秀夫, 村田和義, 渋谷雄, 若杉耕一郎, 黒江康明: システム統合と運用管理に配慮したサーバの仮想化と統合認証系を有する計算機システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-IOT-10, No.4, pp.1-6 (2010).