

## 事業継続を考慮した曼陀羅システム省電力化の一提案

辻井高浩<sup>†1</sup> 垣内正年<sup>†1</sup> 油谷 暁<sup>†1</sup>  
猪俣敦夫<sup>†1</sup> 藤川和利<sup>†1</sup> 砂原秀樹<sup>†2</sup>

奈良先端科学技術大学院大学(以下、本学)では開学から独自の統合情報処理環境として曼陀羅システムを構築してきた。曼陀羅とは密教における無限小の求心が逆に無限大の拡散につながる心理を意味しており、システムの構築には曼陀羅が表す過不足のない充実した状態の達成を基本理念としている。本学においても、未曾有の災害をもたらした2011年3月11日に発生した東日本大震災の発生により曼陀羅システムの事業継続についての検討と国内電力供給の逼迫による省電力対策に取り組む必要が出てきた。すなわち大規模な災害等が発生した際に、迅速な復旧や保有するインフラ基盤を効率よく稼働させるための手段を確立しておくことは重要である。そこで、本研究では事業継続の視点から曼陀羅システムの運営・運用体制の体系化を進めると共に災害に対応できる高信頼性・高可用性システム構築とグリーンITのためのアイディア抽出とその実装を目的としている。

本稿では、課題抽出のために1)曼陀羅システムの現状と事業継続に関する現在の本学における取り組み、2)東日本大震災の発生に伴う国内電力供給低下による曼陀羅システムのサーバが設置されているサーバームの節電対策について報告する。

### Proposal of Electric Power Saving on Mandara System for University Continuity

TAKAHIRO TSUJII,<sup>†1</sup> MASATOSHI KAKIUCHI,<sup>†1</sup> AKIRA YUTANI,<sup>†1</sup>  
ATSUO INOMATA,<sup>†1</sup> KAZUTOSHI FUJIKAWA<sup>†1</sup> and HIDEKI SUNAHARA<sup>†2</sup>

Nara Institute of Science and Technology (NAIST) has developed and evolved "Mandara" as our original environment of the integrated information processing which opened its doors in 1991. Mandara was adopted as a powerful aid to meditation and concentration for practitioners of Esoteric Buddhism. That is a basic idea of just enough condition in order to establish whole of systems. In March 2011, Japan's most powerful earthquake since records began has struck the north-east coast, triggering a massive tsunami. Even worse, this caused the tight electric power supply. So we have to discuss the university continuity and the countermeasure of power saving. In this paper, we report two discussions based on our Mandara as following; 1. the current condition and approach, 2. the taking electricity saving measures in our NOC according to receiving a specific request from KEPCO.

#### 1. はじめに

本学は学生数約1050名、教職員数約400名の大学院のみの大学である。本学は1991年(平成3年)10月に開学し、1992年(平成4年)に本学の情報基盤である曼陀羅システムの整備を行い、その運用を開始した。

その後も急速に発展する情報技術への対応、本学の先端的な教育研究活動支援、社会情勢への対応のために、曼陀羅システムの更新、運用手法の改善、運用方

針の適宜見直しを行ってきたが、東日本大震災の発生により曼陀羅システムの事業継続と省電力対策が曼陀羅システムにおいて迅速に解決すべき課題となっている。本研究では、事業継続の視点から曼陀羅システムの運営・運用体制の体系化を進めると共に災害に対応できる高信頼性・高可用性システム構築およびグリーンITのためのアイディア抽出とその実装を目的としている。

本稿では、研究を進めるにあたっての課題抽出のために1)曼陀羅システムの現状と事業継続に関する現在の本学における取り組み、2)東日本大震災の発生に伴う国内電力供給低下による曼陀羅システムのサーバが設置されているサーバームの節電対策について報告する。

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター  
Nara Institute of Science and Technology  
Information Initiative Center

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科  
Graduate School of Media Design, Keio University

## 2. 背景

東日本大震災の発生を契機に、様々な大学において事業継続計画（以下、BCP）を策定する動きがでてくる。BCP<sup>1)-3)</sup>とは、自然災害等の緊急時に重要な業務を継続あるいは早期に復旧させるための手順や対策を含めた計画であり、現時点で大学において作成している例は少ないが、サイエンティフィック・システム研究会WGによる中間まとめ「BCP」<sup>4)</sup>に大学等のICT部門がBCPを策定するための必要な情報がまとめられ、大学のBCP策定の動きを推進している。この情報をベースにBCPを策定し、事業継続を実現するためには、データ、サーバ及び電源の冗長化は、有効な手段である。データ及びサーバの冗長化は、レプリケーション<sup>5)</sup>等の技術により実現されているが、地震等の被害があった場合には学内で継続的にサービスを利用することは困難である。電源の冗長化は、非常用電源設備を設ける事によって可能となるが、コストを勘案すると、どの設備に電源を供給すべきか、どの設備を二重化するかを検討する必要がある。

また被災後の復旧時には、発電所の被災や被災地への電力供給の融通等により電力会社からの電力供給が逼迫し、電力使用削減を余儀なくされた。一方、二酸化炭素の排出量規制<sup>6)</sup>等を含めて、今後エネルギーの消費量を削減していかなければいけないことは世界的な要請でもあり、通常時のグリーンITへの試みと共に、緊急時における電力削減策を立てておくことは事業継続のために必要である。

## 3. 曼陀羅システムの環境概要

曼陀羅システムが社会情勢に適応し適正な運用がなされるためには、全学情報環境システム運用方針や情報ネットワーク利用に関する倫理規定の適宜見直しは、必要不可欠である。曼陀羅システムは、全学情報環境システム、電子図書館システム、基幹ネットワークシステム、各部署独自システムにより構成される。全学情報環境システム、電子図書館システム、基幹ネットワークシステム、各部署独自システムの一部の運用・管理は総合情報基盤センター（以下、ITC）が行っている。毎年のシステム更新により、先端的な技術を導入し、利用者からの情報システムへの要求の変化、社会環境の著しい情報化によって要求されるセキュリティ強化、グリーンITなどに対応してきている。

しかしながら、東日本大震災による発電所の被災、原子力発電所停止による国内電力供給力低下により電力需給が逼迫しており、本学においてもグリーンIT実施のために導入した機器を利用し、節電対策を試みている。そこで本節では曼陀羅システムの詳細を述べ、曼陀羅システムの事業継続および節電対策として講じた省電力の方策について述べる。



図1 ファイルサーバ  
Fig.1 File server

### 3.1 曼陀羅システム

#### 3.1.1 全学情報環境システム

全学情報環境システムでは、全体を4分割したシステムが毎年更新され、各年度毎のシステム更新は、4年のリース契約により導入される。その結果、システムの陳腐化が回避でき、4年1サイクルでのシステム更新計画を行っている。本システムは、各居室に設置された利用者端末、サーバームに設置されたサーバ群、共用機器室に設置されたプリンタ、講義室に設置されたプロジェクタを含む授業支援機器などで構成されている。2012年（平成24年）には第6サイクルを迎えることになり、サーバの集約化を念頭においたシステム更新を計画している。主な全学情報環境システムは、以下の通りである。

#### ● 個人常用ワークステーション

本学における学生、教員、職員が日々の情報処理（原稿作成、電子メール等）に使用するシステムであり、情報科学研究科、バイオサイエンス研究科、物質科学研究科の3研究科と事務局の利用方法を考慮した構成となっている。情報科学研究科では、大容量高速ファイルサーバシステムに配置したイメージからNetBootするMac OS XのクライアントマシンとSun Ray シンククライアントシステム、物質科学研究科では、デスクトップ型のWindowsマシンとXenDesktopによるシンククライアントシステム、バイオサイエンス研究科では、デスクトップ型のWindowsマシンおよびMac OS Xマシン、事務局ではSun Ray シンククライアントシステムを導入している。

#### ● 共用サーバシステム

##### ー 大容量高速ファイルサーバシステム

SunOS 5.10 上で稼働するNFSとSambaによってユーザのホームディレクトリ、授業・研究プロジェクト用の共有ディレクトリ、共用ソフトウェアを提供する。本学ファイルサーバ（図1）の総物理容量約4.3PBで、1ユー





化している。その結果、本学の教職員や学生ならば、いつでも目的のコンテンツを検索により簡単に見つけ、閲覧できる\*1。

- **メディアセンター機能**  
著作権の許諾が得られている画像情報・文字情報・映像音響情報を電子化することにより、雑誌・図書・動画などの様々なコンテンツを情報発信する機能を有している。
- **高度な情報検索**  
書誌・目次・抄録情報のみでなく、本文情報を検索対象としており、利用者は目的の図書の検索を行える。
- **リアルタイム・同時利用の実現**  
電子化された資料ならば、ネットワークを介して時間的遅延なしに、複数利用者が同時に閲覧することができる。

電子図書館システムも全学情報環境システムのシステム更新と同様に、4年のリース契約により導入されるため、システムの陳腐化が回避でき、最先端の機能提供が可能となっている。

### 3.1.3 曼陀羅ネットワーク

曼陀羅ネットワーク(図2)は、幹線40ギガビット毎秒、支線10ギガビット毎秒の速度を提供しており、システム間の円滑な通信、より密接な資源共有、高品位な通信、グリッドコンピューティングを可能にさせるばかりではなく、インターネットにも対外10ギガビット毎秒の高速専用回線で接続しており、国内外の主要サイトとの超高速通信をも可能にしている。また、キャンパス全域で50~100メガビット毎秒の無線LANサービスを提供しており、学生・教職員は、いつでもどこでも必要な情報にアクセスできる。

### 3.1.4 各部局独自システム

研究目的で研究室が独自に導入しているシステムと業務目的により各部局が独自に導入したシステムが存在する。また、上記3システムで整備できなかった箇所のサポート及び新技術の検証を行うためのシステム導入も行っている。

### 3.2 サーバルーム

サーバールームでは、単にサーバを稼働させる電力だけでなく、サーバを冷却させる空調機を稼働させる電力が必要である。本学には、大きなサーバールームが2箇所ある。一つは、3.1.1 全学情報環境システムのサーバ類、3.1.3 曼陀羅ネットワーク、3.1.4 各部局独自システムを設置するためのサーバールーム(以下、RoomA)であり、もう一つは3.1.2 電子図書館システムを設置するためのサーバールーム(以下、RoomB)である。

これらのサーバールーム内で消費電力を削減するためには、消費電力とサーバールーム内の温度を監視するこ

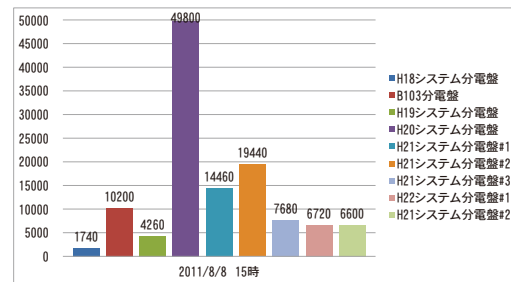


図3 各システム消費電力  
Fig.3 Power of each system

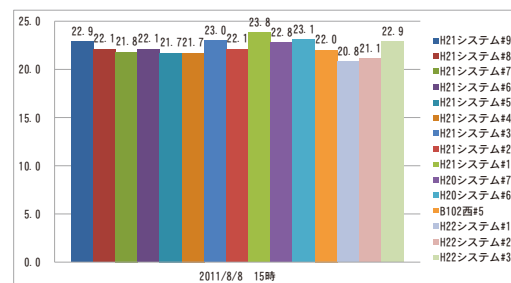


図4 ラック内温度  
Fig.4 Temperature in racks

とが重要である。そこで、センサを利用した消費電力・温度可視化システムを導入した。図3は、各システムの消費電力、図4は、ラック内温度を示す。図3の横軸は各システム名、縦軸は電力(単位:W)を示し、2011年8月8日15時時点における各システム毎の消費電力がわかる。図4の横軸は各システムが搭載されているラック名、縦軸は温度(単位:度)を示し、2011年8月8日15時時点における各ラック内の温度がわかる。この消費電力・温度可視化システムは、各センサが取得した値を環境監視装置が取得し一定期間保存する。図5は、消費電力・可視化システムを示す。監視端末は、その値を環境監視装置からSNMPにより取得し、消費電力・温度情報を可視化する機能を提供する。

#### (1) 電流・電圧センサ

RoomAには分電盤が13箇所設置されており、分電盤内の全ブレーカに電流センサ(図6)189と電圧センサ13が設置されている。RoomBには分電盤が5箇所設置されており、分電盤内の全ブレーカに電流センサ95と電圧センサ5が設置されている。

\*1 学外の方が閲覧できるコンテンツも存在する。



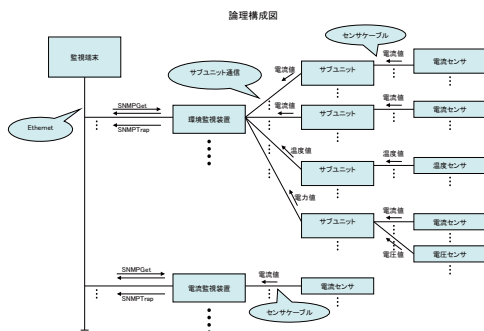


図 5 消費電力・温度可視化システム論理構成図  
Fig.5 Logical configuration diagram for the power and the temperature



図 6 電流センサ



図 7 温度センサ

Fig.6 Electric power sensor Fig.7 Temperature sensor

## (2) 温度センサ

RoomA には、サーバが搭載されている 32 の各ラック内の高さ 180cm, 100cm, 20cm の位置に 3 箇所、サーバールーム内の天井に 2 箇所、サーバールームの OA フロア床下に 5 箇所の温度センサ (図 7) を設置し、RoomB には、2 ラック内にそれぞれ 1 つと天井に 1 つの温度センサを設置している。

### 3.3 現状の問題点と課題

#### 3.3.1 学内規定・運用方針・BCP

P2P ソフトウェアの利用による著作権侵害等により、定期的な情報システム・ネットワークの学内規定・運用方針を見直すことは重要である。しかし、見直しには事務的手続きに手間取り、改訂版が施行されるまでに時間を要する場合が多い。本学の BCP 策定についても全く同様な状況で完成までには暫く時間がかかる事が予想される。今や曼陀羅システムは学内のインフラとなっており、学内規程・運用規程の迅速な見直し、本学で未整備である BCP 策定は急務である。

#### 3.3.2 曼陀羅システムの導入・構築・運用

現在、3.1.1 全学情報環境システム、3.1.2 電子図書館システムの更新は、別々に行われている。また、3.1.4

各部局独自システムでは、各部局、研究室では独自にシステムを導入しており、以下の問題点が生じている。

- 別筐体のハードウェアが別々の場所に設置
- ソフトウェアの個別導入

この結果、サーバの集約化およびソフトウェアの効率的な導入が行えないばかりでなく、システムの分散配置により事業継続のためのデータおよびサーバの冗長化がコスト面から容易に実施できない状況にある。

#### 3.3.3 サーバルームの省電力化

サーバールームの消費電力の削減には、電力・温度の計測結果を利用し、サーバの省電力化とこれらサーバから発生する熱からサーバールームを一定の温度に保つ対策が重要である。

## 4. 解決方針

### 4.1 学内規定・運用方針・BCP

学内規定・運用方針・BCP のいずれについても迅速に策定するためには、情報システム・ネットワーク管理者側で策定した雛形により、大学経営者は社会情勢および各種の学内規定や情報セキュリティに関する法律を認識し議論する必要がある。ITC は、自身としての BCP を早期に策定し、大学全体としての BCP 策定を促すことも有効である。

BCP では、災害時等に稼働させるべきサーバの優先順位や大学内の設備体制について決定する必要がある。ITC および大学の BCP を早期に策定することにより、省電力への取り組みを加速させることが期待できる。

### 4.2 曼陀羅システムの導入・構築・運用

効率的なシステム利用および導入コストを視野にいれ、3.1.1 全学情報環境システム、3.1.2 電子図書館システムを結合させた上で調達することを計画している。また、ソフトの導入については、システム調達に含めた方がよいのか、それともソフトのみを別途契約で導入した方がよいかを調査している。

災害時の事業継続を可能にするためには、サーバの集約化は有効な手段であり、そのためにはサーバールームの拡張が必要である。本学では、非常用発電機の設置も検討しており、これに追隨して免震型のコンテナ型サーバールームを設置することも一つの選択肢として検討している。免震型コンテナ型サーバールームに非常用発電機からの給電設備を整え、そこに優先度が高いサーバを設置しておくことで、事業継続に必要な重要なサービスが稼働し続ける可能性は高まる。

本学では震度 6 強までの地震ならば建物は倒壊しないが、建物内の設備が破壊されることが予想されている。これに伴い、学内ネットワークも寸断されることが予想される。しかし、本学ではリチウムイオン電池および太陽電池などを利用した無線によるアドホックネットワーク構築が可能のため、重要なサービスが稼

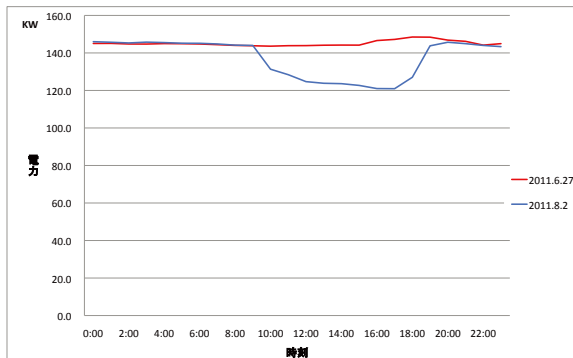


図 8 計算機消費電力

Fig.8 Consumed power of computing machinery

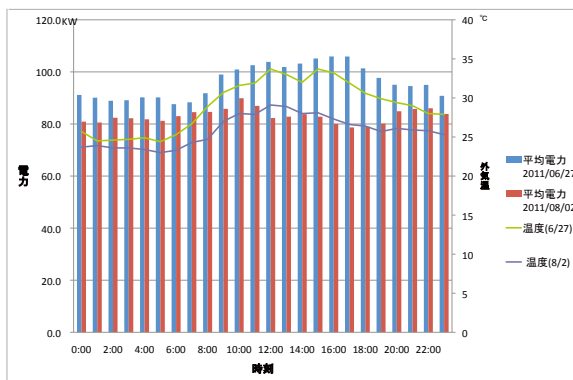


図 9 空調機消費電力と外気温

Fig.9 Consumed power for air-cinditioner and outside temperature

働していれば、重要な場所にそのサービスを迅速に提供することが可能である。また、サーバの集約化を行っておくことで他組織と連携したデータおよびサーバのレプリケーションを容易に実現できると考えられる。サーバームの拡張およびサーバの集約化のいずれを実現させるためにも、現在の曼陀羅システムが使用する電力使用状況を明確にしておく必要がある。

### 4.3 サーバルームの省電力化

#### 4.3.1 サーバの適宜停止

RoomA の全消費電力は、平均 約 235kW(計算機：約 150kW + 空調機器：約 85kW) である。社会情勢から本学では、平日昼間 (10:00 ~ 19:00) における計算機消費電力の 15% (約 23kW) 削減を目標とする下記のような対策を 2011 年 7 月 1 日より行っており、2011 年 9 月 22 日まで実施する。

- 夜間にバックアップで利用しているファイルサーバを昼間停止させることによって、RoomA での消費電力を約 16kW 削減
  - 学内構成員が利用する計算サーバを昼間に全サーバの 1/2 を停止し、RoomA での消費電力を 12.6kW 削減
- サーバームで述べたサーバーム消費電力・温度

監視システム利用し、結果を得た。図 8 および図 9 の横軸は時刻、縦軸は電力 (単位:kW) を示す。図 8 は、2011 年 6 月 27 日と 2011 年 8 月 2 日における RoomA に設置された計算機の総消費電力を、図 9 は、2011 年 6 月 27 日と 2011 年 8 月 2 日における RoomA に設置された空調機の総消費電力と外気温を示す。尚、2011 年 6 月 27 日は節電対策前、2011 年 8 月 2 日は節電対策後である。

図 8 より節電対策時 (10:00 ~ 19:00) における計算機消費電力の節電効果を確認できる。また、2011 年 6 月 27 時 17 時および 2011 年 8 月 2 日 17 時の電力を比較すると約 26kW(約 17%) の節電を実施したことになる。

図 9 より 2011 年 6 月 27 日と 2011 年 8 月 2 日では外気温の違いを考慮にいれても、節電対策時 (10:00 ~ 19:00) に空調機の消費電力が削減していることを確認できる。節電対策時 (10:00 ~ 19:00) とそれ以外の 2011 年 6 月 27 日と 2011 年 8 月 2 日の消費電力の差の平均は、それぞれ約 22kW、約 9kW であり、この差の約 13kW(約 12%) が空調機における節電効果と推測できる。

この結果より、当初の目標はほぼ達成できたといえる。9 月 23 日以降についても利用者へのサービスに影響しない対策については、引き続き実施する予定である。

#### 4.3.2 サーバの集約化

情報ネットワークサービスの拡大に伴い、各サービスを提供するサーバを追加導入する必要がある。しかし、サーバの台数増加は消費電力増加による影響を及ぼす可能性があるため、省電力化のためにサービスの品質を保ちつつ台数増加を抑制する必要がある。これらの理由から本学では以下の対策を実施している。

##### ● サービスの集約化

ネットワークサービスは複数のサービス群が組み合わせることで、情報基盤として成り立っている。最近のサービスの高度化に伴い、提供するサービスの種類も増加している。構成を単純化しサービス不具合時の相互影響を減らすためにサービス毎に独立したサーバを導入することは、サービスの安定性を向上させる一方、サーバ台数の増加をもたらす。サーバ更新の都度構成を見直すことで、認証・ディレクトリサービス、メールサービス等においてサービスの高機能化に関わらずサーバ台数削減を実現している。

##### ● サービス仮想化機能の導入

サービスの安定稼働・セキュリティ維持のために、単純に複数のサーバを同じサーバに集約できない場合がある。サーバ仮想化機能の導入により、一台のサーバを複数サーバに仮想的に分割することができる。2005 年度よりサーバ仮想化機能を導入し、順次サーバの集約化を進めている。

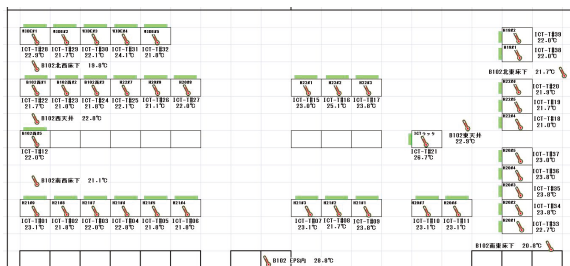


図 10 RoomA 温度監視  
Fig.10 Monitoring temperature  
in a server room

#### ● 各部局サーバ仮想化機能の導入

各部局・研究室において個別に運用しているサーバ群があるが、これらを 1 箇所の計算機室に集約することで空調機の効率改善、サーバ集約による台数削減による省電力化が実現できる。今後はサーバームの拡張もしくは新設等の手段を講じ、これらサーバを大規模に受け入れるための基盤を整備し、集約化を推進するよう計画している。

#### 4.3.3 空調機消費電力の削減

サーバームで消費される電力は、サーバだけではなく、サーバームの温度を一定の温度に保つための空調機にも使用される。そのため空調機消費電力の削減も重要である。本学では、空調機消費電力の削減に向け、4.3.1 サーバーム 2 温度センサによる可視化システムを利用し、RoomA の温度監視の結果を図 10 に示す。

その結果、RoomA 内では暑い箇所と冷たい箇所のムラがかなりあり、このムラを限りなく少なくすることで空調機の設定温度を上げてても問題無いことが分かった。そのため RoomA に設置されている空調機の冷気の吹き出し口の位置とラックの配置の見直しを実施し、2010 年 12 月より空調機の設定温度を 18 度から 20 度に変更した。

現在、この設定温度変更による各サーバへの影響は出ていない。また空調機消費電力量への影響に関しては、ほぼ変化が無いという結果が出ている。

2010 年 1 月～6 月の累積電力量：359.3MWh

2011 年 1 月～6 月の累積電力量：359.8MWh

この結果を考察するため期間中の外気温や稼働していたサーバの違いについて現在調査中である。

## 5. ま と め

災害時の事業継続を実現するためには、BCP を策定することが重要であり、BCP を実践するには、サーバの集約化は有効な手段である。これにより、自組織内のデータおよびサーバの冗長構成を容易に実現できるばかりでなく、他組織と連携したデータおよびサーバのレプリケーションを容易に実現できる。現在、ITC

としての BCP は策定中であるが、それと並行して本学では他組織と連携したデータおよびサーバのレプリケーションについても進めていく予定である。

今夏の国内電力供給力低下により本学サーバーム内のサーバを適宜手動により停止したが、サーバ稼働状況と各種センサから取得した計測結果より適切なサーバの停止・起動の自動化を行い、さらなる省電力を試みる予定である。学内構成員が利用するサーバ集約については、計画的に進めているが、各部局のサーバ集約には研究に特化した周辺機器の接続について解決することが課題である。空調機の電力は室外機によって半分以上が消費されており、電力・温度の計測結果を有効利用し室外機を適切に制御するシステム導入を検討している。

謝辞 本研究の核である、消費電力・温度可視化システムで御協力頂いた中央電子株式会社 コンピュータネットワークシステム事業部菊地真哉様、若杉晃央様、片山浩様、ならびに、本研究のデータ収集やシステム運用で御協力頂いた、奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター 佐藤由章氏、小山琢也氏、多田克幸氏、知原裕之氏、衣川俊二氏に謹んで感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 岩口陽子, 大町達夫, 翠川三郎, 梶 秀樹, 藤岡正樹: 大学の地震対策の現状と BCP のあり方に関する考察, 地域安全学会梗概集, No.23, pp. 94-97 (2008).
- 2) 鶴 薫: 事業継続性を支援する IT 技術に関する一考察, 情報処理学会研究報告. 情報システムと社会環境研究報告, Vol.2006, No.27, pp.39-45 (2006-03-16).
- 3) 赤林隆仁: 大学経営における事業継続リスクに関する考察, 埼玉学園大学紀要. 経営学部篇, Vol.8, pp.151-162 (2008).
- 4) サイエンティフィック・システム研究会: 中間まとめ「BCP」(2011).
- 5) 合田和生, 喜連川優: グリーンレプリケーション: 二次系ディスクストレージの省電力化, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol.93, No.3, pp.211-221 (2010).
- 6) 経済産業省: 地球温暖化対策について, 経済産業省, available at [http://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/pdf/gaiyo\\_all.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/pdf/gaiyo_all.pdf).
- 7) 奈良先端科学技術大学院大学附属図書館: 附属図書館概要, 奈良先端科学技術大学院大学, available at [http://library.naist.jp/library/guide/dl\\_outline.pdf](http://library.naist.jp/library/guide/dl_outline.pdf).