

NetBoot による端末を用いた教育用計算機システムの開発と評価

関 谷 貴 之[†] 安 東 孝 二[†] 尾 上 能 之[†]
田 中 哲 朗[†] 山 口 和 紀[†]

高等教育機関において教育用の計算機環境を提供するにあたっては、多数の利用者に対して、各種のアプリケーションが動作する、一様なハードウェア・ソフトウェア環境を、安価な導入費用や低い運用コストで構築する必要がある。本学においては、NetBoot によって Mac OS X が動作する端末を中心として、教育用の計算機環境 (ECCS2004 という) を実現した。本論文では、本学における教育用の計算機環境への要求、ECCS2004 の設計・開発の経緯、ならびに導入後約 2 年間の運用実績と得られた知見について報告し、今後の教育用計算機環境について述べる。

Development and Evaluation of Educational Campuswide Computing System Consisting of NetBoot Clients

TAKAYUKI SEKIYA,[†] KOJI ANDO,[†] YOSHIYUKI ONOUE,[†]
TETSURO TANAKA[†] and KAZUNORI YAMAGUCHI[†]

In university, shared educational computer systems are indispensable for supporting educational activities, but designing a cost effective system is not a simple task. In March 2004, Information Technology Center of the University of Tokyo introduced the Educational Campuswide Computing System 2004 (ECCS2004) consisting of NetBoot clients. In this paper, we report the design rationale of ECCS2004, discuss what we have learnt from two years of operation of ECCS2004, and propose a design strategy for successful educational computing systems.

1. はじめに

東京大学情報基盤センターは、本学教職員や学生の教育および教育・研究における情報アクセスの基盤となる環境として、教育用計算機システム (ECCS, Educational Campuswide Computing System) を運用している。

1990 年代以降のインターネットの普及後は、多くの教職員や学生が WWW や電子メールを日常的に利用している。そこで ECCS は、授業だけでなく学習や研究を支える情報の検索・交換・発信の手段として利用されている。また、多くの学生がコンピュータの使い方に関する基礎的な知識を身に付けるようになったことから、情報処理やプログラミングなどのコンピュータに直接関わる講義だけでなく、統計処理ソフトウェアや CAD などの各種のアプリケーションを用いて、コンピュータを道具として活用した講義での ECCS の

利用が増えている。

このような背景の下で、本センターは 2004 年 3 月に教育用計算機システム ECCS2004 (Educational Campuswide Computing System 2004) の運用を開始した。ECCS2004 は、NetBoot という技術で Mac OS X が動作するディスクレスの端末を中心に構成されている。本論文では、本学における教育用の計算機環境への要求、ECCS2004 の設計・開発の経緯、導入後約 2 年間の運用実績とそこで得られた知見について報告する。加えて、同様の環境を構築する際に必要となる、教育用計算機環境の設計の指針を示す。

まず 2 章では、ECCS2004 への要求と本センターでの設計方針を述べ、既存の教育用計算機環境と比較する。3 章では、ECCS2004 の構成や導入にあたっての工夫について述べる。4 章では、ECCS2004 の 2 年間の運用を通じて得られた知見について述べ、教育用計算機システムの方向性について議論し、5 章で全体をまとめる。

[†] 東京大学情報基盤センター

Information Technology Center, The University of Tokyo

2. 教育用計算機環境の設計

2.1 要求仕様

齊藤らは、高等教育機関における教育用計算機環境に対する一般的な要求として、次の2点をあげたうえで、「システム設計」「カスタマイズ・構築」「セキュリティ」「運用・保守・管理」「リブレース」の観点で、具体的に考慮すべき問題を取り上げている¹²⁾。

- 講義や演習での利用と授業時間外の自習使用の両面で安定した使いやすいサービスを提供すること。
- 侵入事件など、情報セキュリティ上のトラブルを起こさないこと。

ECCS2004に求められる要求も、齊藤らの指摘と多くの点で共通するが、以下ではこれをより具体的に述べる。

A. 多数の端末を提供

コンピュータやネットワークが情報の発信や伝達の手段として身近になった現在において、教育用の計算機環境は、コンピュータの仕組みや活用方法を学ぶ授業の場で利用されるだけでなく、教育や研究を支える道具として時間や場所を問わずに利用される。したがって、授業で利用される台数の端末に加え、授業以外の教育研究活動における日常的な利用の必要性に応えるべく、公共的な場所に相当数の端末を設置する必要がある。

本学の教養学部では、3,000名以上の1年生全員に対して、教育用計算機システムを用いた情報リテラシに関する必修講義を、毎年夏学期¹⁾に行っている。この講義では、1クラス約150名程度²⁾の授業が同時に2つの教室で開かれる。教養学部の他の講義や他の学部の講義に用いる教室などを考慮すると、数十から200台程度の端末を設置した教室が10室以上必要となる。

加えて、これまで本センターでは、公共的な場所として、所属などにかかわらずほとんどの教職員や学生が入り出し可能で、比較的朝早くから夜遅くまで利用可能な図書館に、数十台の端末を設置してきた。図書館では、早朝や夜間を除けばつねに平均して6-8割程度の端末が利用中であり、一時的には端末が不足することがある。一方ECCS2004では、端末の導入コストを抑えるために、各学部や学科に配置されている端末のうち、利用率が低かったり、特定の部局に所属する

教職員や学生しか利用できなかったりする端末を削減することにした。そこで、システム全体の端末数を減らしつつも、図書館のような公共の場では、従来と同程度あるいはより多くの端末を設置することにした。結果として、ECCS2004全体では1,000台以上の端末を提供することが要求仕様の1つとなった。

B. 多数の利用者に基本的なインフラを提供

教育用計算機システムは、当初授業などの教育に利用することが主たる目的であった。しかし、WWWや電子メールが教育や研究における情報発信・情報共有・情報交換の基本的な手段として普及し、教育用計算機システムがこれらの手段を提供するようになった。

たとえば、教育用計算機システムの一部であるメールサーバは、アカウントを所持するすべての教職員や学生が利用できるため、発行された電子メールアドレスを、主たるメールアドレスとしている利用者もいる。そのような利用者にとっては、自宅や研究室のPCからメールサーバを使うだけではなく、演習室や図書館などの公共の場に設置されている教育用計算機システムの端末からも、メールの読み書きができることが望ましい。そこで、WWWブラウザやメーラが端末上で動作することがECCS2004の要求仕様の1つとなった。

また本センターでは、教育用計算機システムとは別に、任意のメールアドレス³⁾を利用できるメールサーバ環境を、学内向けのサービスとして提供している⁴⁾。ECCS2004の導入にあたっては、予算などの問題で、教育用計算機システムのメールサーバと、この学内向けのメールサーバ環境を同一のシステムで提供することになったため、任意のメールアドレスを作成可能で、全体で40,000名のメールアドレスを提供できるメールシステムを導入することが要求仕様の1つとなった。

C. 各種のアプリケーションを実行可能

本学の教養学部前期課程の情報リテラシ教育においては、OSにはUNIX系のOSを、プログラミング言語にはJavaを用いてきた。また、プログラミング作業は、Emacsなどのエディタ上でファイルを作成して、ターミナル上でコンパイルするというものである。また、従来より教育用計算機システムでは、GNUソフトウェアを利用してきた。したがって、GNUソフトウェアなどの各種オープンソースソフトウェアやJavaVMが動作することが要求仕様の1つとなった。

¹⁾ 本学は2学期制(セメスター制)で、4月から9月までの学期を、夏学期と呼ぶ。

²⁾ 2006年度からはカリキュラムが大きく改定され、1クラスの人数は100名程度となっている。

³⁾ 基本的にはu-tokyo.ac.jpのサブドメイン。

⁴⁾ 学内組織向けメールサーバ(MailHosting)

<http://mh.itc.u-tokyo.ac.jp/>

一方、情報リテラシ以外のいくつかの講義で利用するために、統計処理ソフトウェア SAS、表計算ソフトウェア Excel、そして CAD として AutoCAD が動作することが求められた。いずれも、各種のプラットフォームで動作する同種の機能を持つ複数のソフトウェアが存在するように考えられたが、特定のアプリケーションが動作することが求められた。結果として、Windows XP が動作する端末を、それらのソフトウェアを利用する講義などで必要な約 200 台導入することが要求仕様の 1 つとなった。

D. 多様な用途に配慮

教育用計算機システムの利用目的は多岐に及びようになった。たとえば、教育用計算機システムのアカウントを所持しない教職員や学生を対象として、特定のソフトウェアが動作するコンピュータを使った講習会や授業を開きたいという要望があった。

このような要望を実現するために、教育用計算機システムの通常の利用者以外であっても、1 つの授業やある 1 日だけなど一時的にシステムを利用可能に設定したうえで、教育用計算機システムの標準的な環境とは異なるソフトウェアが動作する環境を提供し、終了後は簡単に元の状態に戻せることが要求仕様の 1 つとなった。

また、各学部や学科に必要な計算機環境を用意するが、当該組織に所属する学生や教職員の教育用計算機システムの認証情報を参照したいとの要望もあった。そこで、利用者の所属などに基づいて柔軟に利用権限を設定可能で、各種の OS やアプリケーションの認証に利用可能な仕組みを導入することも要求仕様の 1 つとなった。

E. システム全般への要求

これまで教育用計算機システムが提供してきた具体的なサービスとして、ファイルサーバや印刷環境、利用者自身が所有するノート PC などをネットワークに接続できる環境があることや、ファイルサービスや印刷環境は端末の設置場所によらず、どこでも同様に利用できること、それを実現するうえで基本となるすべての端末や各種のサービスで、認証情報を共有することも要求仕様の 1 つとなった。

また、セキュリティへの配慮は不可欠である。具体的には、システムの不正利用やソフトウェアの違法コピーなどを事前に防止する手段を実施したり、適宜ログを保存して事後調査に備える必要がある。

運用コストの観点では、これまでの教育用計算機システムではプリンタの管理に大きな労力を要した。プリンタは機械的部品が多く紙づまりなどの障害を頻繁

に起こすうえに、トナーや紙を定期的に補給する必要があるためである。ECCS2004 においては、プリンタ管理のコストを削減する手法を導入することも要求仕様の 1 つとなった。

2.2 設計方針

2.1 節で述べた要求仕様は、既存の教育用計算機システムが有し、サービスの継続性の点で引き続き必要とされたり、システムを利用する授業などで必要とされた機能や条件である。これらの要求を実現する機器は複数考えられるが、本センターの人員、これまでの経験、そして導入に要するコストなどを考慮して、以下の設計方針を設定した。

a. 端末上のハードディスクを利用しない

システムに何らかの障害が起きた場合、原因を調査してそれを取り除き、元の状態に復旧するには、人手も時間も要する。限られた数の本センターの教職員と予算の下で、教育用計算機システムを安定させて運用するには、第 1 には障害を引き起こさないこと、そしてたとえ障害が起きてもなるべくシステム全体に影響を及ぼさず、その復旧が簡単にできることが求められる。

1999 年から運用してきた教育用計算機システムでは、ディスクレスの端末を導入することで、それ以前のシステムよりも端末の故障率を減らし、故障時の端末の交換作業も容易なものとなった。そこで ECCS2004 においても、ハードディスクを使わない端末を導入することとした。

b. 端末上で主に動作する OS は UNIX とする

教育用の計算機システムにおいて、端末に関して何らかの障害が起きた場合は、直接利用者に影響が及ぶため、本センターが即座に対処する必要がある。一方、本センターでこれまで運用してきた教育用計算機システムでは、いずれも UNIX 系の OS を端末上で動作させてきた。したがって、本センターでは、UNIX 系の OS の管理の経験やノウハウが蓄積されており、経験の乏しい他の OS の場合に比べて、障害からの復旧も容易であると考えられる。そこで、ECCS2004 においても、UNIX 系の OS を端末の OS とすることを設計方針とした。

c. 魅力的なシステム¹¹⁾ とする

松浦らは教育用計算機システムに対する教育面への要件の 1 つとして「魅力的なシステム」をあげ、より具体的には「学生の探求心を刺激するような魅力的なシステムであることが望ましい。また、学生が自由にシステムを探求できるように、内部情報が公開されている方が望ましい」としている¹¹⁾。著者らもこれを重

要な要件であると考え、設計方針とした。

2.3 端末系のシステムの検討

教育用の計算機環境は、端末やファイルサーバ、メールサーバなどの様々な要素で構成される情報システムである。システムを最も特徴付けるのは、システム全体で大きな範囲を占め、利用者の目に直接触れる端末である。そこで、2.1 節であげた要求や 2.2 節の設計方針に関して、主に端末に注目して、既存の事例を参考にして評価する。評価は、要求仕様や設計方針を満たすと考えられる場合は“ ”、部分的に満たすと考えられる場合は“ ”、満たさないと考えられる場合は“x”とする。

(1) Windows PC

2.1 節の要求仕様「C. 各種のアプリケーションを実行可能」を満たす素直な解は、Windows が動作する通常の PC を用いることである。CAD などのアプリケーションは、通常の Windows PC 上で動作させることを想定したものである。加えて、UNIX 環境を利用する場合は、京都大学のように Windows 上の Virtual Machine の上で Linux を動かす方法⁹⁾ などがあ

る。したがって要求仕様 C は である。ただし、単に通常の PC を置くだけでは、要求仕様「A. 多数の端末を提供」を満たすことは容易でない。たとえば、多数の端末を提供するには、いっせいにパッチを適用する仕組みなどが不可欠である。しかし、具体的な各手法については一長一短があるとされている⁸⁾。また、PC では、CPU やメモリなどの電子的部品に対して、ハードディスクやクーリングファンなどの機械的部品の故障率が高いことが知られており、端末に通常の PC を用いると耐故障性が低くなる可能性がある。そこで、要求仕様 A は 、設計方針 a はハードディスクを用いることから x となる。

要求仕様「D. 多様な用途に配慮」にあげた、一時的に異なる環境を設定することは、通常の PC を用いた場合には困難あるいは容易ではないため、D は x となる。また、Windows は多くの学生にとって珍しいものではなく、UNIX とは異なり内部の仕組みが一般には公開されていないことから、学生の探求心を満たすことは困難であると考えられる。そこで、設計方針 b, c はともに x となる。

(2) ディスクレス Windows

ディスクレス Windows とは、通常端末のハードディスクに入っている OS やアプリケーションなどのデータを、イメージファイルと呼ぶ 1 つのファイルとしてブートサーバ上に用意し、ネットワーク経由でブートすることで、ハードディスクのない端末上で、通常の

Windows を動作可能とするものである。米国 Ardence 社のソフトウェアを用いたシステムとして、日本国内ではいくつかの企業が提供しており、大学の教育用のシステムとして多数の導入事例がある⁴⁾。

通常の Windows が各端末の CPU やメモリを用いて動作することから、通常の PC と同じアプリケーションの多くが動作し、要求仕様 C であげた CAD なども動作させることができる。UNIX 環境は、前述の Virtual Machine の上で Linux を動かしたり、後述する (3) ディスクレス UNIX を利用することで提供できることから、C は となる。設計方針 b, c については、(1) Windows PC の場合と同様に x となる。

ブートサーバ上の 1 つのファイルに対して、パッチの適用作業などを行えばよいので、同じ数の通常の PC を用いる場合に比べて、管理コストが非常に小さい。さらにハードディスクがないことから、端末の故障率が低くなり、障害時の復旧も容易となる。したがって、要求仕様 A や設計方針 a は である。さらに、複数のイメージファイルをブートサーバ上で用意して、異なるアプリケーションや OS がインストールされたイメージを切り替えることが可能なイメージ管理用のツールが存在することから、要求仕様 D は である。

なお、通常の PC とは異なる点としては、スワップ領域として用いられるハードディスクがないことから、端末のメモリを増やす必要がある点や、主に端末の起動時に、ブートサーバと端末との間のネットワーク上に大きなトラフィックが流れることから、ブートサーバのネットワークインタフェースや端末とブートサーバを含めた全体のネットワークの処理能力を高くする必要のある点があげられる。

(3) ディスクレス UNIX

UNIX 系の OS では、SunOS, FreeBSD, Linux などでディスクレスの端末をブートする技術が古くから確立されており、この技術を教育用計算機システムの端末に用いることで、要求仕様 A を実現することができる。本センターが 1999 年に導入した教育用計算機システム（以後 ECCS1999 と呼ぶ）では、UNIX ベースの OS を用いたディスクレスの端末を用いていた¹⁶⁾。したがって要求仕様 A や設計方針 a は である。

近年各種のオープンソースのアプリケーションが充実してきたことで、要求仕様 B を実現するような誰でも簡単に利用しやすい WWW ブラウザやメーラが存在する。また、Office 系のツールである OpenOffice や数値計算 Octave などが普及していることで、かなり各種のアプリケーションを利用できるようにもなっ

ている。

要求仕様 C の実現に必要な Windows 環境を実現するには、事例 (2) で述べた Ardence を用いて、端末を Windows と UNIX 系 OS のデュアルブート環境としたり、(1) Windows PC でも述べた Virtual Machine の技術を用いて、UNIX 系 OS 上の Virtual Machine の上で Windows を動作可能である¹⁾。ただし、CAD のように高いグラフィック性能を要求するアプリケーションの場合、Virtual Machine 上で動作させることはやや困難であるが、Windows とのデュアルブートとすれば C は となる。

ユーザ権限を適切に設定することで、利用可能なソフトウェアを制限できるが、要求仕様 D で述べたような、特定の時間帯に特定のソフトウェアのみを利用可能な環境を提供するには、(2) ディスクレス Windows の管理用のツールと同様の仕組みを自ら構築する必要があり、これは容易でないと考えられるため、D は となる。また、OS のソースやファイルシステムなどの仕組みが公開されている Linux などの UNIX を端末上で動作させることから、設計方針 b, c は となる。

(4) Sun Ray

Sun Ray はシンクライアントの技術の 1 つで、Sun Microsystems が提供している。通常端末で動作するあらゆるプロセスがサーバ側で動作し、ハードディスクのない専用の端末では、画面のイメージを表示するだけである。千葉大学では Sun Ray を教育用の計算機環境として用いた⁵⁾。

端末の管理が非常に容易なため、要求仕様 A を実現することができるが、動作する OS が UNIX 系の OS (Solaris) であるため、利用可能なソフトウェアには制約がある。特に要求仕様 C については、Sun Ray では、Windows Server のターミナルサービスを利用することはできるものの、CAD のような高いグラフィック性能を要するソフトウェアを動かすことは技術的に困難である。そこで、要求仕様 A、設計方針 a は であるが、要求仕様 C は × となる。要求仕様 D や設計方針 b, c については、(3) ディスクレス UNIX と同様である。

(5) NetBoot

NetBoot は前述の (2) ディスクレス Windows と同様に、通常 Mac のハードディスクに入っている OS やアプリケーションなどのデータを、ディスクイメージと呼ぶ 1 つのファイルとしてブートサーバ上に用意し、クライアントとなる Mac のハードディスクを用いずに UNIX ベースの OS である Mac OS X を起動する仕組みである。ECCS2004 の設計を行っていた 2002

年から 2003 年の時点ですでに市場に存在した。ただし、当時国内の高等教育機関での大規模なシステムの事例はなかった。

Mac OS X という UNIX ベースの OS が端末上で動作することから、設計方針 b は である。また、NetBoot で用いられている技術も、サーバからファイルを供給する TFTP や NFS、認証用の LDAP など、いずれも UNIX ベースのシステムで実績があり、大規模なシステムを構築できる可能性がある。そこで、要求仕様 A は , 設計方針 a は となる。また、NetBoot では、ディスクイメージを換えることで、アプリケーション環境を切り替えられる。そこで、要求仕様 D は である。

Mac OS X は市場占有率こそ Windows に比べて非常に低いものの、Linux などの UNIX 系の OS と比較すると、利用者にとって使いやすいインタフェースを有し、商用のアプリケーションも多く市場に存在する。たとえば要求仕様 C であげた統計処理や Excel などのアプリケーションは、Mac OS X 上で動作する。ただし、Mac OS X 上で動作する AutoCAD は存在しない。また、UNIX ベースの OS で、各種のオープンソースのオープンソースのソフトウェアが動作し、Java VM 環境も存在する。ただし、Linux の各種ディストリビューションなどと違い、OS 自体ではソフトウェアのパッケージ管理システムを提供していない。そこで、C は となる。

Mac OS X は OS のすべての情報を公開しているわけではないが、OS のコアとなる Darwin のソースを公開しており、興味があればその OS の内部情報がある程度把握することができる。そこで、設計方針 c は となる。

2.4 端末系のシステムの比較

2.3 節で述べた各種の端末が要求仕様や設計方針を満たすか否かを評価した結果を表 1 にまとめる。さらにそれらをふまえた総合評価をつける。なお、要求仕様 B の基本的なインフラとして WWW ブラウザやメールが動作するという点では、いずれの端末においてもこれが可能である。

(1) Windows PC については、設計方針 a, b のいずれも満たさないことから、総合的な評価としては × とした。(4) Sun Ray については、要求仕様 C の実現が困難であることから × とする。

要求仕様 C の Windows と UNIX の両方を実行可能な端末環境は、(2) ディスクレス Windows と (3) ディスクレス UNIX の技術を組み合わせて、Windows と UNIX をデュアルブートさせたり、UNIX を Virtual

表 1 教育用の計算機環境の端末系システムの評価
Table 1 Comparison of PCs used as terminals in educational computing system.

事例	要求仕様				設計方針			総合評価
	A	B	C	D	a	b	c	
(1) Windows PC				x	x	x	x	x
(2) ディスクレス Windows						x	x	
(3) ディスクレス UNIX								
(4) Sun Ray			x					x
(5) NetBoot								

Machine の上で提供することで解決できる。しかし、後者の場合は端末で主に動作する OS が Windows となり、設計方針 b を満たさない。また前者の場合も、多くの学生にとって馴染みのある Windows が主に利用される可能性がある。そこで、総合的な評価は としている。

一方、NetBoot では、Windows でしか動作しない CAD を提供するために、別途 Windows が動作する端末が必要となるが、統計処理ツールや Office ツールなどの各種のアプリケーションが利用できるうえに、UNIX の環境も同じ OS で提供できるという大きな利点がある。また、大規模なシステムの事例こそ少ないものの、OS や NetBoot の仕組みが UNIX ベースの既存の技術の組合せであることから、スケーラビリティなどについてある程度予測できた。そこで総合的な評価は としている。

3. 教育用計算機環境の構築と運用

3.1 システム構成

本センターでは、前述の議論をふまえて、端末系に関しては Mac OS X の NetBoot とディスクレス Windows/UNIX の双方を導入可能となるようにシステム全般を設計した。なお、本学における教育用計算機システムの導入業者は、他の多くの大学と同様に入札によって決定される。したがって、システムの詳細な構成は、仕様書を満たす範囲で導入業者が最終的に決定する。結果的に本センターは、2004 年 3 月から運用を開始した ECCS2004 として、NetBoot による端末を中心としたシステムを導入した。

図 1 は、ECCS2004 の大まかなシステム構成を示している。端末系以外のシステムも含めて、主な構成要素を以下に説明する。

3.1.1 端末

授業や教育・研究の情報基盤として中心的な役割を果たす iMac 端末 1,149 台と、2.1 節の要求仕様 C で述べた Windows を必要とする講義用のディスクレス Windows 端末 227 台で構成される。iMac 端末は端末上のハードディスクのコネクタを取り外して動作しな

い状態にして、Xserve をブートサーバとする NetBoot によって起動する。

3.1.2 ファイルサーバ

ファイルサーバには NEC 社製の NAS を用い、iMac 端末や各種のサーバは NFS で mount し、ディスクレス Windows 端末は CIFS で mount する。ファイルサーバ全体のディスク容量は 15TB である。ちなみに ECCS1999 のファイルサーバのディスク容量は 2TB であった。2.1 節の要求仕様 E で述べたように、利用者からは、利用する OS やサーバによらず、自分のホームディレクトリを参照することができる。ファイルサーバとして NAS を利用することで、たとえば UNIX 系の汎用的な OS を利用する場合と比較して、パッチの適用などの手間が削減される。また、ECCS2004 ではネットワークストレージと呼ぶ WebDAV サーバも提供している。ネットワークストレージでは、他の利用者に対して、自身が所有する領域へのアクセス権を設定することで、ファイルの共有を比較的簡単に行うことができ、教育や研究の場でのグループ活動を支援することができる。

なお、バックアップ用には、ファイルサーバ本体に比べると安価な NAS を用意し、定期的にファイルサーバ上のデータをコピーしている。

3.1.3 メールシステム

図 1 の「メールシステム」の詳細を図 2 に示す。ECCS2004 のメールシステムは、1 サーバ当たり 1,000–2,000 個程度のメールアカウントを扱う比較的小規模で安価なハードウェアを、35 台並列させたメールサーバを用いている。これは、大規模なサーバの導入は 1 台当たりの価格が非常に大きく、安価なサーバを多数揃えた方がシステム全体としては安くなる、また大規模なサーバを用いた場合は万一障害が起きた際の影響範囲が大きいと判断したからである。具体的には Mirapoint 社の Postpoint など専用の OS が稼働するメールサーバを導入した。このメールサーバでは、2.1 節の要求仕様 B で述べた MailHosting サービスを実現するべく、メールドメインごとに登録した管理者が当該ドメインのメールアカウントを管理できるよう、管理

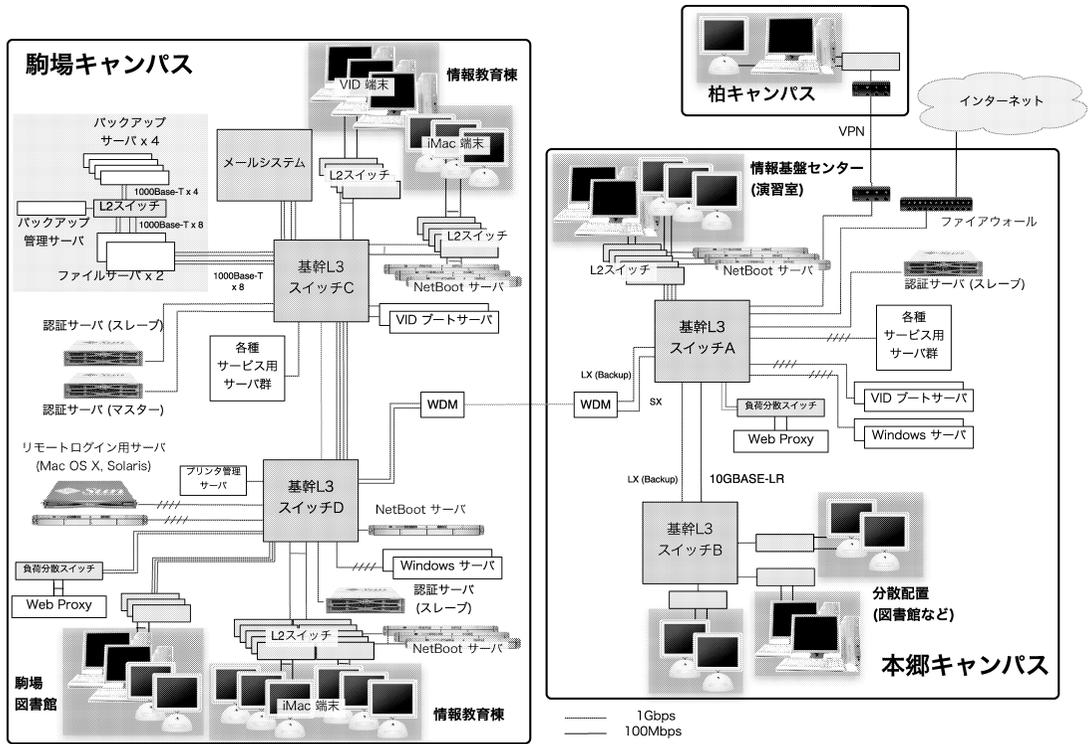


図 1 ECCS2004 のシステム構成
 Fig. 1 System architecture of ECCS2004.

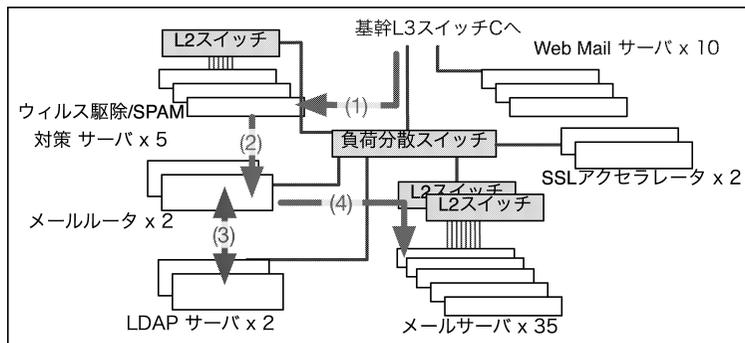


図 2 ECCS2004 のメールシステム
 Fig. 2 Mail system of ECCS2004.

権限を委譲する仕組みがある。LDAP サーバは、メールアドレスとメールサーバとの対応を保持している。そのほか、ウイルス駆除ならびに SPAM 対策用のサーバ 5 台と Web Mail サーバ 10 台、Web Mail サーバやメールサーバにアクセスする通信路を安全に保つために、SSL アクセラレータを用いている。

外部から ECCS2004 宛のメールサーバに送られたメールの流れを、図 2 中の矢印 (1)–(4) に示す。送られたメールは、負荷分散スイッチを経由して、いずれ

かのウイルス駆除/SPAM 対策サーバに送られる (1)。次に、やはり負荷分散スイッチを経由して、いずれかのメールルータに送られる (2)。この際に、メールを保管するメールサーバを LDAP サーバに問い合わせ (3)、その応答結果に応じたメールサーバのメールボックスにメールが届く (4)。

一方、利用者がメールクライアントからメールを読む際は、SSL アクセラレータと負荷分散スイッチを経由して、いずれかのメールルータに接続する。このメー

ルルータはプロキシとして働き、当該利用者のメールボックスが存在するメールサーバを LDAP サーバに問い合わせ (3)、その応答結果に応じたメールサーバ上のメールボックス内のメールを、当該利用者のメールクライアントに返す。なお、Web Mail サーバを利用する際にも、SSL アクセラレータと負荷分散スイッチを経由して、いずれかの Web Mail サーバに接続される。

このように、負荷分散スイッチ、メールルータ、LDAP サーバの働きによって、多数のメールサーバが、利用者にとっては 1 台のメールサーバのように見える。

3.1.4 印刷

端末から印刷ジョブを送った後、プリンタのそばにある専用の端末を操作し、利用者自身がプリペイドカードで印刷料金を支払うシステムを導入した²⁾。さらにこのシステムでは、プリンタの管理を外部業者に委託しており、プリペイドカードの料金収入に基づいて、トナーやプリンタ用紙の補給やメンテナンスを実施してもらっている。

3.1.5 認証

認証情報は LDAP サーバから各サーバや端末に対して提供する。マスタサーバ 1 台に対して、スレーブサーバが 3 台と Windows 用の Active Directory サーバが 3 台存在する。これによって、2.1 節の要求仕様 E で述べたように、すべての端末や各種のサービスで認証情報を共有することを可能としている。

端末が駒場・本郷・柏の 3 つのキャンパスの各所に存在するが、いずれも駒場キャンパスの情報教育棟に設置されているファイルサーバを利用するなど、どの端末にログインしても、同じ環境で利用することができる。

3.2 システム構築時の具体的対策

2.1 節で述べた要求仕様を満たすシステムを構築するには、単に特定の機器を導入するだけでなく、機器の設定方法について様々な工夫が必要である。その中で、同様の教育用計算機環境を構築する際に参考となると考えられる、ソフトウェアの盗難対策とオープンソースソフトウェア/フリーウェアの導入方法に関して、以下に述べる。

3.2.1 ソフトウェア盗難対策

正規のライセンスを持たずに不正にコピーしたソフトウェアを利用するのは、著作権法に違反する行為である。教育用計算機システムを管理する本センターは、利用者が ECCS2004 上のソフトウェアをコピーする行為を見逃すようなことがあってはならない。

一方、Mac OS X は UNIX ベースの OS であるが、たとえば Mac OS 9 以前のアプリケーション用の Carbon API を利用した Carbon アプリケーションにおいて、不特定多数の利用者の存在を考慮した厳格なライセンス管理の仕組みがないソフトウェアがある。最悪の場合、利用者が外付け HDD などをつないで、アプリケーションを示すアイコンをドラッグアンドドロップするだけで、ソフトウェアのコピーができる場合もある。

これは、パーミッションの設定でファイルのコピーを制限できる他の UNIX 系のシステムや、レジストリに何らかの重要な情報を書き込むことで、単にソフトウェアをコピーしただけでは利用できない Windows とは大きく異なる。

そこで本センターでは、一種の wrapper を作成し、実行ファイルやライセンスファイルなどは一般の利用者の権限では直接アクセス不可能にする工夫を行った。これによって、利用者は、当該ソフトウェアを直接実行したりコピーしたりすることはできないが、wrapper 経由では実行可能としている。ECCS2004 の iMac 端末上の Mac OS X においては、OS に付属するソフトウェアやフリーソフトウェアを除き、導入したすべての商用アプリケーションについて違法コピー対策を行った。

ただし、まったく同じ方法で盗難対策を実現できるわけではない。個々のアプリケーションを構成するファイルの適切なアクセス権の設定方法を、試行錯誤のうで見つけてきた。具体的には、実行ファイルも含めてコピーを防げたアプリケーション と、実行ファイルのコピーが可能なものの、ライセンスファイルのコピーを防いだアプリケーション とがある。今後はこのようなコピーを防ぐ機能が OS 自体に取り込まれることを期待したい。

3.2.2 オープンソースソフトウェア/フリーウェアの導入方法

2.3 節の (5) NetBoot で述べたように、Mac OS X では OS 自体がソフトウェアのパッケージ管理システムを提供していない。ソフトウェアのバージョンアップのたびに、ソースからコンパイルしては、2.2 節の設計方針 a で述べたような低い運用コストを実現するうえでは問題がある。そこで、本センターではボランティアの学生の協力の下で、Mac OS X 上のパツ

TSP, Mathematica, MATLAB, Photoshop Elements 2.0

Acrobat 6.0, JMP 6.0, MS Office 2004, STATA

ケース管理システム Fink¹ を用いて、オープンソースの各種ソフトウェアをインストールしている。

Mac OS X のパッケージ管理システムとしては、DarwinPorts² や pkgsrc³ などがあったが、システムの選択の際には、技術的な点だけでなく以下の面を重視した。

- 多くのソフトウェアについてパッケージが用意されていること。
- システム運用中（導入開始後 4 年間）、コミュニティが存続し続けること。

ECCS2004 の導入の時点で、最も活発なコミュニティを有していたことから Fink を選択した。なお、pkgsrc は大文字と小文字を区別する UFS などのファイルシステムが必要である。しかし、Mac OS X で標準的に用いられる HFS+ は大文字と小文字を区別せず、ファイルシステムを UFS に変更すると、他の不具合が生じる可能性もあるため、ECCS2004 では pkgsrc を用いなかった。

これによって、各ソフトウェアのバージョンアップや、ブートサーバのハードウェア障害で動作環境を一から再構築しなければならない場合などの作業が容易になっている。加えて、ECCS2004 と同様のオープンソースのソフトウェア環境を、教員や学生が所有する Mac 上に構築可能な CD-ROM を提供するという副次的な効果も得られた。

4. 議 論

4.1 ECCS2004 の評価

ECCS2004 では、NetBoot による端末とディスクレス Windows/UNIX による端末の、2 種類の端末を導入した。これは、管理や運用に必要な作業や文書、ノウハウなどあらゆるものが 2 種類必要となり、1 種類の端末を導入する場合と比較して、2.2 の設計方針 a の「低い運用コスト」の実現のうえではデメリットとなる。2.1 節の要求仕様のみを考慮した場合、すべての端末をディスクレス Windows/UNIX とすることも可能である。また、2.3 節でも述べたように、端末はシステムを特徴付けるものであることから、ECCS2004 の端末の構成や個々の端末の性能について評価・検討することは重要である。そこで以下では、ECCS2004 の運用開始後約 2 年を経過したことを受けて、主に端末について評価する。

4.1.1 端末の安定性・起動時間

端末の安定性の観点では、ディスクレス Windows/UNIX 端末については、アプリケーションの利用中に Windows がハングアップするなどの苦情がある。ただし、これは NetBoot 環境でも同様の苦情がある点、Windows では CAD や CG ソフトウェアなどの比較的端末に負荷の大きなアプリケーションを利用して点を考慮すると、ディスクレス Windows/UNIX 環境が劣っているとは必ずしもいえない。

端末の起動時間の違いは顕著である。ECCS2004 の NetBoot 環境では、電源投入後にログイン画面が表示され、利用者がユーザ名とパスワードを入力して利用可能になるまでに約 2 分間かかる。これは NetBoot ではなく、ハードディスクから通常の iMac を起動する場合と比較しても大きな違いがない。

一方、ディスクレス Windows/UNIX 端末の Windows 環境では、1 台のみを起動する場合でも、電源投入後にログオン可能な状態になるまでに 3 分強かかっている。ブートサーバとの距離が物理的に離れているだけでなく、サーバ・クライアント間にネットワーク機器が複数存在する図書館などの端末では、端末の起動に、より長い時間を要し、利用者からの不満が寄せられている。

同一のハードウェア⁴の PC ならば、より短い時間で Windows が起動することや、ディスクレス Windows の導入の経験¹⁴⁾ から、ECCS2004 においても、ディスクレス Windows の起動時間は短縮できると考えている。そこで本センターでは、セキュリティに配慮した Windows のグループポリシーやファイルサーバの設定などの各種の原因を調査しているが、運用開始後 2 年以上経過した現在も解決できていない。

4.1.2 ハードウェアの故障率

ECCS2004 の iMac 端末は、端末上のハードディスクを利用せずに NetBoot で起動するのは当然のことながら、通常店頭で販売している iMac に搭載済みのハードディスクが動作しないように、一度筐体を開けてディスクに接続されている電源コネクタを外している。これによって、機械的に動作する部品を減らし、端末の故障率を下げる効果を期待した。

iMac 端末においては、全 1,149 台のうち、システム導入時の初期不良で交換した端末を除くと、2 年間に 53 台（約 4.6%）の iMac を交換している。一方、ディスクレス Windows/UNIX 端末においては、そもそも筐体内にハードディスクが存在しない状態で出荷

¹ <http://fink.sourceforge.net/>

² <http://darwinports.opendarwin.org/>

³ <http://www.pkgsrc.org/>

⁴ Pentium4 2.66 GHz, メモリ 512 MB または 1,536 MB

されている。こちらは全 227 台のうち、約 2 年間に 12 台 (約 5.3%) の端末本体と 15 台 (約 6.6%) の液晶モニタが故障のため交換されている。iMac 端末が液晶モニタが本体に接続された一体型であることを考慮すると、むしろ iMac 端末の故障率の方が小さい。

端末の交換作業自体は比較的容易で短時間で完了するが、障害のある端末を特定して、準備した代替機に交換するまでには時間を要し、その間当該端末は利用できない。したがって、障害のために利用できない端末を減らすべく、より故障率の小さい iMac 端末を中心とした構成にしたことは有効であったといえる。

ただし、故障率の絶対的な値自体は、ハードディスクを使っていない割には高いのではないかと我々は考えている。一般的な PC のハードウェアの故障率が近年低下しており、デスクトップ PC では最初の 1 年目の年平均故障率は 5% と Gartner 社は報じている⁷⁾。調査対象の一般的な PC と教育用計算機システムの端末では動作環境も大きく異なるため、両者を単純に比較することはできないが、故障率を下げるという目的の実現にあたっては、ハードディスクを停止させた効果の有無は判断しにくい。

2.2 節の設計方針 a に述べたように、ハードディスクを使わない端末を導入したことで、ECCS1999 の場合と同様に故障時の端末の交換作業は容易で、ECCS2004 の端末の運用コストは小さい。しかし、端末上のハードディスクをキャッシュや一時的な保存領域として利用することで、交換作業の手間を増やさずにハードディスクを有効に活用できた可能性もある。したがって、今後の教育用計算機システムの端末選定時には、ハードディスクをまったく使わないことにこだわらずに、総合的に判断するべきであろう。

4.1.3 ブートイメージの更新に要する時間

端末の運用にあたっては、ソフトウェアのパッチの適用作業が、時間を要し、かつ毎月 1 回あるいはそれ以上の頻度で行う必要のある重要な作業である。NetBoot イメージの更新作業は次の手順で行う。

- (1) サーバ上のブートイメージを外付け Firewire ハードディスクにコピーする。
- (2) (1) のハードディスクを、iMac 端末に接続したうえで、ソフトウェア・アップデートの実行など必要な作業を行う。
- (3) (1) のハードディスクから iMac 端末を起動し、正常に動作するかを検証する。
- (4) (1) のハードディスクから、ブートイメージを作成する。
- (5) (4) で作成したブートイメージを、ECCS2004

内のすべてのブートサーバ (49 台) にコピーする。

通常、(1)–(4) の作業は数時間で完了する。(5) も実際にかかる時間は数時間だが、数 GB の大きさの 1 つのファイルを複数のサーバにコピーすることで、作業中のシステム内のトラフィックが大きくなり、端末の動作が悪くなるなどの影響がある。そこで、システムの利用者がほとんどいない夜間にコピーする。したがって、すべての作業が完了するには 1–2 日を要する。

ソフトウェア・アップデートの適用後、3.2 節で述べたソフトウェア盗難対策などのために、本センターが ECCS2004 のために特別に設定した部分が上書きされたり、また上書きされなくてもアプリケーションが動作しなくなるとの障害が起きたことがあった。したがって、各アプリケーションの動作確認も含めると、一連の作業には 1 週間程度要する場合もあった¹⁰⁾。

一方、ディスクレス Windows/UNIX 端末においても、ブートサーバ上のブートイメージにパッチを適用して、テスト用の端末で動作確認後、各サーバにイメージをコピーするという大まかな作業の流れは、NetBoot と同様である。NetBoot ではイメージを外付けディスクにコピーするのに対して、ディスクレス Windows では同一のサーバ上で運用中のイメージをコピーし、コピーしたイメージを書き込み可能な状態でテスト用のディスクレスの端末を起動し、この状態でパッチを適用できる。したがって、パッチ適用作業の所要時間は NetBoot に比べて 30 分から 1 時間ほど短くなる。しかし、動作確認やイメージのコピーに要する時間や、不具合発生時にその対処に要する時間は同様なので、すべての作業が完了するには、やはり 1–2 日間、場合によっては 1 週間程度かかり、NetBoot 環境と大きな違いがない。

なお、いずれの端末のイメージの更新作業も主な担当者は 1 名であり、これによって他の業務全体に支障が生じることがない程度の作業量である。

以上のように、ECCS2004 で導入した NetBoot による iMac 端末と、ディスクレス Windows/UNIX 端末を比較した場合、特に起動時間に関してディスクレス Windows が劣っており、これのみで ECCS の端末を構成することは、結果として得策ではなかったと考えられる。一方、要求仕様 C であげたように、Windows でしか動作しないソフトウェアがあることから、iMac 端末のみでシステムを構成することはできなかった。また、2 種類の端末を運用することで増える作業量に関しては、最も手間のかかるイメージ更新作業においても、現在の本センターの教職員の体制で耐えら

れる範囲であった。したがって、iMac 端末を中心としたシステムにしたことは妥当であったと考える。

4.1.4 認証情報の連携

2.1 節の D で述べたように、他のアプリケーションが認証情報を参照可能で、柔軟に利用権限を設定可能な仕組みとして、ECCS2004 は認証情報を LDAP サーバで管理している。これによって、実際に学部や学科で独自に導入した端末システムや学部の教務システムとの連携を行っている¹³⁾。

他の組織が管理するシステムと ECCS2004 との間の認証情報の連携に関しては、どのように認証情報を提供するかといった技術的な問題よりも、個人情報の取り扱いや運用ポリシーのすり合わせなどの問題に気がつく必要があった。教務システムとの連携の際には、認証サーバはそれぞれが構築して、認証情報のやりとりは夜間に一度ファイルを交換するのにとどめることで、一方のシステムの障害などが他方になるべく影響しないように配慮した。また、この認証情報のやりとりも含め、障害時の対象方法などについて、両システムを管理する組織の間で、覚書きを取り交わした。

4.2 教育用計算機環境設計の今後の方向性

齊藤らも述べた¹²⁾ ように、教育用計算機環境に対する要求は多種多様であり、それらの要求に応えられるシステムは、様々な要素から構成されるシステムにならざるをえない。したがって、このような教育用計算機環境を設計するには、認証情報やファイルサービスなど、個々の要素システムが密に連携して動作する必要のあるものを除き、なるべく個別のシステム間の相互依存関係を減らせるようにシステム全体を設計すべきである。そのうえで、個別のシステムごとに新しい技術を導入したり、運用を工夫したりすることで、システム全体の運用・管理コストを削減することが可能である。

ECCS2004 の場合は、印刷システムの運用を外部に委託し、ファイルサーバやメールサーバに専用機を導入することで、運用コストを削減している。今後もサブシステムごとにパッケージ化や専用機化、さらには外部委託なども進むことが期待される。以下に個別のシステムに関する見通しを述べる。

4.2.1 ファイルサービス

ファイルサービスに関しては、音声ファイルや映像ファイルが増えることで、利用者のディスク使用量も次第に増大しているという状況がある。ハードディスク単体の容量が増大し、USB 経由の外付けの記憶装置は安くなっているものの、利用者の要求に応えられる容量を持つファイルサーバを提供するには大きなコス

トがかかる。また、ディスク使用量の急激な増加にもなって、通常運用時のバックアップや障害時にバックアップデータからのリストアに要する時間の増大という問題も起きている。

ECCS1999 においては、1 つのファイルサーバ上のデータを、SCSI 接続の DLT ライブラリ装置にバックアップをとっており、リストアに非常に時間がかかるという問題があった。ファイルサーバの大規模な障害のために、約 7,000 名のユーザのホームディレクトリを、テープから完全に復旧する必要が生じた際に、完全な復旧までに 1 週間程度要したことがあった。

図 1 に示すように、ECCS2004 ではファイルサーバとネットワーク経由 (1000Base-T × 4) で接続されたバックアップサーバを、バックアップに用いている。記録媒体はバックアップサーバ上のハードディスクを用いているため、DLT に比べるとデータの読み書きに要する時間は非常に短い。しかし、全体のディスク使用量が増えていることもあってか、障害からの復旧に要する時間は必ずしも短くはない。

2006 年 5 月にディスク障害のために、ファイルサーバ上でホームディレクトリとして提供しているファイルシステムのうち、約 3,900 名のデータをコピーしたうえで、一部をバックアップデータからリストアする必要が生じた。日中はサービスを継続しながら、利用者が少ない深夜に rsync でデータをコピーした後、サービスを停止して差分をコピーする手段を用いたが、完全な復旧までには結局約 1 週間を要した。

2 つの事例は、原因、復旧手段、実際にサービスが停止した時間などもまったく異なるが、ファイルサービスを正常に復旧する目的では、いずれも 1 週間というかなり長い期間を必要としている。

このような状況を鑑みると、ホームディレクトリとして教育用計算機環境が提供するディスク容量を減らし、ディスクを大量に必要とする利用者は、受益者負担の一方法として、自分で大きな外付け記憶装置を購入してもらうことも積極的に考えるべきであろう。これによって、万が一ファイルサーバに障害が起きた場合にも、サービスの停止時間を短くできる。逆に、従来どおりの規模のディスク容量を提供する際には、短時間にバックアップやリストアが可能な仕組みを十分に検討する必要がある。

一方、学習管理システムでの教材の提供やレポートの回収、ネットワークストレージでのファイル共有など、利用者間でのファイルの交換を簡便かつ柔軟に行うことのできる、高い機能を有するファイルサービスの要求も高まっており、これを積極的に提供する必要

があるだろう。

4.2.2 メールシステム

メールサーバ単体としては、専用の GUI や CLI を用いてメールアドレスの管理を行える専用機の普及が進んでいる。通常の汎用的な OS 上でメールサーバのソフトウェアを動かす、OS のパッチ当てなど、メールサービスに直接関係しないことにも気がついてきた頃に比べれば、サーバ単体の管理の手間は減っている。しかし、メールシステム全体としては、スパムの増加にともなうメールの流量の増加やメールサーバへの負荷の増大、それに対抗するウイルス対策やスパム対策の仕組みの導入などから、システムが複雑になっている。

ECCS1999 の導入時には、メールシステムは 1 台のメールサーバと 2 台の SSL アクセラレータ、1 台の Web Mail サーバであった。その後、2001 年に Mail-Hosting サービス用に 1 台のメールサーバ専用機と 2 台のウイルス駆除サーバ、2 台の Web Mail サーバ、1 台の負荷分散スイッチを導入した。一方、ECCS2004 では、メールシステムは図 2 のように数十台の機器で構成されるシステムとなっている。ECCS2004 では IMAP の利用を推奨しており、ユーザごとのメールボックスのクォータは増加せざるをえず、メールシステム全体のディスク容量も増えつつある。これは前述のファイルサービスの場合と同様にバックアップや障害時のリストアの問題を引き起こす。

一方、本センターの MailHosting サービスのように、メールアドレスごとに権限を委譲する技術も使いやすくなっており、1 つの大きなメールシステムを多数の組織で協力して利用することで、運用や管理の人員を確保しつつ、全体としては効率化を実現するようなスケールメリットを考慮すべきであろう。

なお、Spam に関しては、管理者としてはメールシステムへの負荷を増大させ、メール配送の遅延を生じさせる重大な問題と考えてきた。ECCS2004 の場合、メールサーバに届くすべてのメールのうち、1 割程度が Spam である。最近では、Web で公開しているメールアドレスに対する Spam が増えているという認識が一般にも広まってきたのか、利用者からも Spam 対策への要求が少しずつ増えている。技術的にも、ルールやベイジアンフィルタを使った個々のメールに着目するだけでなく、大量にメールを送信するサーバからの受信制限のようにメールの送信方法に着目するもの、それらを組み合わせ、ある特徴を持ったメールが多数のメールアドレスにメールを送る場合に受信を拒否するものなど、比較的精度の高いものも現れてい

る。しかし、ウイルス対策とは異なり、Spam か否かを絶対的に判定する基準はなく、誤判定が起きないことを完全に保証することはできない。したがって、現時点では全面的に Spam 対策を導入することは難しい。単に技術を工夫するだけでなく、Spam の現状や対応方法を利用者に知ってもらう必要がある。

4.2.3 認証システム

ECCS2004 では、他のシステムとの間で 1 対 1 で認証情報の連携を行い、4.1 節で述べたように一定の成果を得た。

一方、教育用計算機環境から独立した形で、全学的な認証システム^{3),6)}を導入している大学もある。具体的には、LDAP サーバをベースとして、データの集中管理を指向するものから、組織単位で権限の範囲を柔軟に設定したうえで、管理権限の委譲なども可能な Identity Management System¹⁵⁾ のような大規模なものなど様々である。

このようなシステムが導入されても、教育用計算機環境の中に認証情報を取り扱うサーバがなくなるわけではない。しかし、認証情報を管理するソフトウェアを運用したり、アカウントを発行してユーザ名とパスワードを利用者に直接書類を手渡ししたり、といった手間のかかる業務を減らすことができる可能性がある。

ただし、Identity Management System のような大規模なシステムは、それ自体の導入にかかるコストや時間が非常に大きい。さらに、各組織のシステムの管理体制の違いから生じるセキュリティ上の懸念や、個人情報の管理側と利用側の違いによって、氏名や所属といった同じ情報であっても、情報交換できるものとできないものがあるなど、複雑な問題が絡み合っている。

したがって、大学院研究科や研究所などの学内の各部署が認証システムの連携による効果を理解したうえで、大学本部直属の委員会などすべての部署を調整できる組織の主導の下で、全学的な認証システムの導入が実施されることを期待する。

5. ま と め

本論文では、東京大学情報基盤センターが 2004 年 3 月に導入した教育用計算機システム ECCS2004 について、本学における教育用の計算機環境への要求、ECCS2004 の設計・開発の経緯、導入後約 2 年間の運用実績とそこで得られた知見について報告し、教育用計算機環境の設計の今後の方向性を示した。

なお、本センターでは 2008 年 3 月に教育用計算機システムを更新する予定である。ECCS2004 での経

験をふまえて、より良いシステムを構築できるよう努力したい。

参 考 文 献

- 1) 安倍広多, 石橋勇人, 藤川和利, 松浦敏雄: 仮想計算機を用いた Windows/Linux を同時に利用できる教育用計算機システムとその管理コスト削減, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.11, pp.3468-3477 (2002).
- 2) 安東孝二, 関谷貴之: 大学における印刷管理の新しい試み, 情報処理学会研究報告 2005-DSM-38, pp.13-16 (2005).
- 3) 江藤博文, 渡辺健次, 只木進一, 渡辺義明: 全学的な共通情報アクセス環境のための統合認証システム, 情報処理学会研究報告 2002-DSM-27, pp.31-36 (2002).
- 4) 江藤博文, 田中芳雄, 松原義継, 只木進一, 渡辺健次, 渡辺義明: ディスクレス Windows 端末による演習室端末群の安定運用, 情報処理学会研究報告 2003-DSM-38, pp.19-24 (2003).
- 5) 今泉貴史: 大規模分散ネットワーク環境における教育用計算機システム: 2. 教育用計算機環境の事例 2.4 Thin Client 編 (Sun Ray 1), 情報処理学会誌, Vol.45, No.3, pp.247-249 (2004).
- 6) 梶田将司, 内藤久資, 小尻智子, 平野 靖, 間瀬健二: CAS によるセキュアな全学認証基盤の構築, 情報処理学会研究報告 2005-DSM-37, pp.35-40 (2005).
- 7) Lombardi, C.: Gartner: PC hardware getting more reliable. (June 26, 2006).
- 8) 丸山 伸: 大規模分散ネットワーク環境における教育用計算機システム: 2. 教育用計算機環境の事例 2.1 Windows 編, 情報処理学会誌, Vol.45, No.3, pp.233-237 (2004).
- 9) 丸山 伸, 最田健一, 小塚真啓, 石橋由子, 池田 心, 森 幹彦, 喜多一: Virtual Machine を活用した大規模教育用計算機システムの構築技術と考察, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.4, pp.949-964 (2005).
- 10) 松岡喜美代, 前田光教: Mac OS X の NetBoot システム運用, 平成 16 年度情報処理教育研究会, pp.56-58 (2004).
- 11) 松浦敏雄, 石橋勇人, 安倍広多: 情報教育のための計算機環境, 情報処理学会研究報告 1999-CE-53, pp.41-47 (1999).
- 12) 齊藤明紀, 中西通雄: 教育用計算機環境に対する要求と課題, 情報処理学会誌, Vol.45, No.3, pp.227-232 (2004).
- 13) 関谷貴之: 学内の情報システム間での認証情報の連携, 平成 17 年度情報処理教育研究会 (2005).
- 14) 関谷貴之, 安東孝二, 中山仁史, 前田光教, 吉田 進, 吉野宏一: ディスクレス Windows 端末起動時の所要時間の評価, 情報処理学会研究報告

2003-DSM-38, pp.25-30 (2003).

- 15) Sun microsystems: Identity Management Solutions (2006). <http://www.sun.com/software/products/identity/>
- 16) 吉岡 顕, 田中哲朗, 安東孝二: 1,600 台のインターネット端末をつないだ—東京大学教育用計算機システム (ECCS), 情報処理学会誌, Vol.41, No.10, pp.1122-1127 (2000).

(平成 18 年 7 月 7 日受付)

(平成 19 年 1 月 9 日採録)



関谷 貴之 (正会員)

1972 年生まれ。1995 年東京大学工学部精密機械工学科卒業。2000 年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程単位取得退学。

同年より東京大学情報基盤センター助手・博士 (工学)。教育支援システムに関する研究に従事。



安東 孝二 (正会員)

1968 年愛媛県松山市生まれ。1991 年東京大学工学部原子力工学科卒業。1996 年東京大学大学院工学系研究科システム量子工学博士課程満期退学。1996 年東京大学教育用計算機

センター助手に着任。主たる研究テーマは大規模計算機システム。情報知識学会会員。



尾上 能之 (正会員)

1992 年東京大学工学部計数工学科卒業。1997 年東京大学大学院博士課程単位取得退学。同大学工学部助手を経て 2002 年より同大学情報基盤センター講師・博士 (工学)。プ

ログラミング言語処理系の研究に従事。



田中 哲朗 (正会員)

1965 年生まれ．1987 年東京大学工学部計数工学科卒業．1992 年東京大学大学院博士課程修了．博士 (工学)．東京大学工学部助手，東京大学教育用計算機センター助教授を経て，1999 年より東京大学情報基盤センター助教授．日本ソフトウェア科学会，ACM 各会員．平成 15 年度情報処理学会論文賞受賞．



山口 和紀 (正会員)

1979 年東京大学理学部数学科卒業．1981 年東京大学理学部助手．1985 年理学博士 (東京大学)．1989 年筑波大学電子情報工学系講師．1992 年東京大学教養学部助教授．1999 年東京大学情報基盤センター教授．コンピュータのためのモデリング全般に興味を持つ．