

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) —



はじめに

吉岡 顕 akira@rds.ecc.u-tokyo.ac.jp
田中 哲朗 ktanaka@ecc.u-tokyo.ac.jp
安東 孝二 chutzpah@ecc.u-tokyo.ac.jp
東京大学情報基盤センター

本稿では、昨年(1999年)3月末に更新した東京大学の教育用計算機システム(Educational Campuswide Computing System)について、その設計時にどういったことを考えたかを1,600台という端末数^{☆1}に着目しながら報告する。なお、本稿を執筆するにあたって編集長から上記のようなタイトルをいただいたが、これは、固い文章ではなく柔らかい文章で書くようにという指示だと思い、論文調ではなく物語調^{☆2}で書いている。



図-1 端末室の様子 (駒場地区: 情報教育南棟大演習室2)



図-2 端末室の様子 (本郷地区: 総合図書館メディアプラザ2)



なぜ1,600台なのか？ —教育用システムの変遷—

タイトルにもあるように、東京大学の情報基盤センターが運用する教育用計算機システムは1,600台の端末を有する。読者の皆さんは、この「1,600台」という数字を見てどう思うであろうか？

後で述べるが、教官・技官合わせて9名のスタッフしかいない状況^{☆3}で、この1,600台という数字は正直言って「手に余る」大きな数字であった。これは、単に端末数が多いというだけでなく、その多数の端末を、30,000人という多数の、かつ大学生という好奇心に満ちあふれたユーザが、場所によっては朝から晩まで端末が空かないほどの頻度で利用する（図-1、図-2参照）ことを考えれば、そのアクティビティは数字が表すものよりもずっと大きいものとなる。また、端末の設置場所は本郷・駒場の2キャンパスに別れているうえに、本郷キャンパスでの設置場所は、広大なキャンパスの30カ所以上に分散している。これらの地理的要因も「手に余る」大きな理由だ。

このように巨大なシステムを作らなければならないほど、需要が急増したことは、大学における教育用計算機システムの利用形態が一変したとと密接に関係している。ちょっと回り道になるが、本システムの変遷とその利用形態の変化についてまとめたい。

20数年ほど前の最も初期のころには、システムの中心はメインフレームであり、一部の情報系学科のプログラミング教育と、特定の専門分野における（統計処理パッケージなど）アプリケーション利用教育がシステムの使われる主な目的であった。その後、パーソナルコンピュータ（PC）の出現とその低価格化、ワークステーション（WS）によるダウンサイジングが進み、計算機が大学内に広く普及した結果、10年ほど前からは、どの分野においても、何らかのコンピュータを利用した教育が行われるようになる。並行して、一般教養課程の基礎科目として情報処理教育が行われるようになった。

この間、ユーザが直接利用する端末機器は、メインフレーム時代にはカード穿孔機から直結端末、PC端末と変

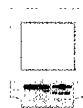
化し、さらにメインフレームが役割を終えた後は、WSとX端末あるいはPCへと変化してきた。大学における需要の増大とこれらの機器の低価格化とがほぼ同時に進行したことが功を奏した形となり、教育用システムは同じような予算規模でシステムを更新するたびに端末台数を増加させていくこととなった。

さらに最近では、レポート作成のための「文房具」としての利用が増加する一方で、電子メール、WWWといった大学におけるインターネットアクセス環境の基盤を支える機能も求められている。東京大学においては、これに前述した一般教養課程における情報処理教育を全学生に必修化したことが要因として加わり、4、5年前から利用者数、アクティビティともに爆発的に増加した。

このような変遷の結果、以前は2、3教室を限られたユーザのために講義時間帯のみ運用すればよかったシステムが、学内の全学生が利用できるような多数の端末と、24時間動き続けるサーバ機を備えた巨大システムへとならざるを得なかったのである。

前置きが長くなったが、今回のシステム更新において、我々に与えられた条件^{☆4}をまとめると、以下のようになる。

- 30,000人のユーザ
- 地理的に分散した2キャンパスに1,600以上の端末
 - 集中型配置の駒場キャンパスと分散型配置の本郷キャンパスと対照的な構成
- 4、5年のシステム寿命
 - 設計時には5、6年先を予想する必要あり
- 講義での利用だけでなく、大学におけるインターネットアクセス等の情報基盤としての機能
 - 講義を優先しつつも、電子メール・WWWの環境を充実
- 9人のスタッフ^{☆5}



システムの概要

導入したシステムを簡単に紹介したい。
システムは、

- 端末：ネットワークコンピュータ（NC）1,600台

☆1 いきなり言い訳で申し訳ないが、センターというところはどうしても日々の運用に追われてしまい、つい原稿書きといった仕事はさぼってしまいがちで、編集部から執筆の依頼をいただいてから、1年近くが経ってしまった。

☆2 同システムについて、文献1)～3)にもまとめているので参考にしてください。

☆3 本来、筆者らは教官なので研究／開発／教育が本務であり、システム運用／ユーザ対応をやってはいけない存在である。が、実際には、教官が全面的に運用に関与しなければ、とてもシステムが動く状況ではなかった。今回省管理コストを意識してシステムを導入した結果いくぶん状況は改善しているが、それは「深夜に帰宅するような日がほとんどなくなった」というレベルであり、日中はあいかわらずシステム運用／ユーザ対応に追われている状況である。

☆4 ほかに予算というファクタがあり、本来きちんと金額を記述して議論すべきものであるが、調達手続きとの関係から、ここでは、大変厳しい状況であったことだけを記して、具体的な数字は伏せさせていただきたい。

☆5 その後、昨年4月に関係各位の理解を得て、ようやく運用管理体制の抜本的な改革が行われ、教官5名、技官9名と増員された。

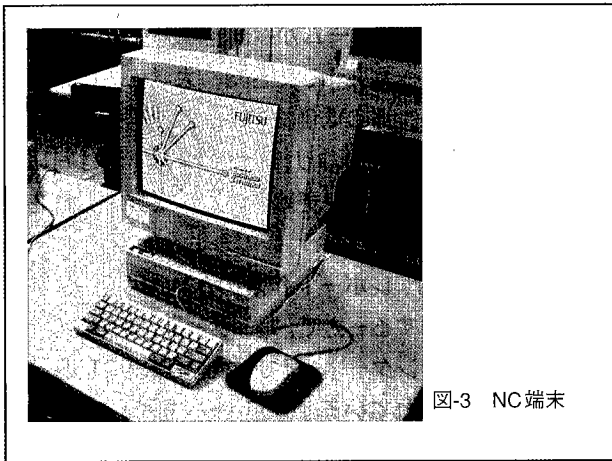


図-3 NC 端末

- Unixサーバ (4プロセッサ搭載) 50台^{☆6}
- Windowsサーバ (4プロセッサ搭載) 25台
- ファイルサーバ (2TB) 1台
- 広報用 WWW, 講義用 WWW, メール, ネットニュース, 辞書, 認証などの各種サーバ
- ネットワークプリンタ
- ネットワーク機器

から構成される。本システムの特徴の1つは、端末機にネットワークコンピュータ (Network Computer, 以下NCと記す。図-3参照) を採用している点であろう。NCを採用することで

- 1つの端末機による Unix, Windows, WWW/Mail へのアクセスの実現 (図-4~図-6参照)
- 端末の耐故障性の向上, 管理コストの低減・サーバの集約化および設置場所の集中化を実現できた。



シン・クライアントの採用

我々は、主にシン・クライアント (thin client) と呼ばれる種類の端末機が前述した要件を満たすと考え、その中からNCを採用したわけであるが、システム立案時の検討の経緯を以下にまとめる。

システムの立案にあたっては、まずはじめに「1つの端末機により Unix, Windowsの両方の環境を実現する」ことが求められた。これは、更新前のシステムで、Unixの環境を提供するX端末と、Windows3.1環境が動作するPCの両方を用意していた。が、少ない予算と限られた設置面積で、より多くのユーザに有効に使ってもらうには端末の稼働率を上げることが必要であり、「1台の端末機で Unix, Windows両方」を実現するしかないという考えに至ったわけである。

次に「ハードディスクを必要としないこと」を仕様とした。これは、ハードディスクを内蔵すると

- そのイメージの管理が非常に煩雑になる。
- 物理的セキュリティ面からかなり危険である。
- 4~5年利用しなければならないシステムでは相当数の故障が予想される。

という判断による。実際、前システムでは、ハードディスク故障の際のリカバリー作業が運用の大きな負担となっていたこともあり、端末から「ハードディスクを排除する」仕様とした。

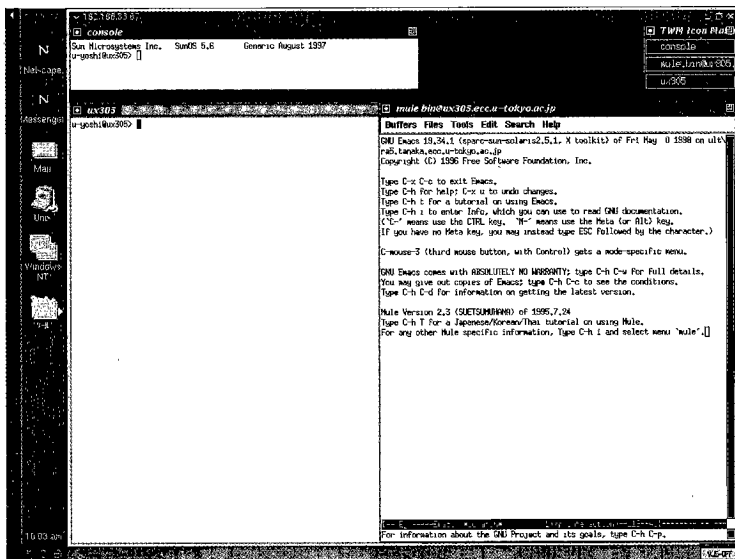


図-4 NC 端末から Unix 環境の利用

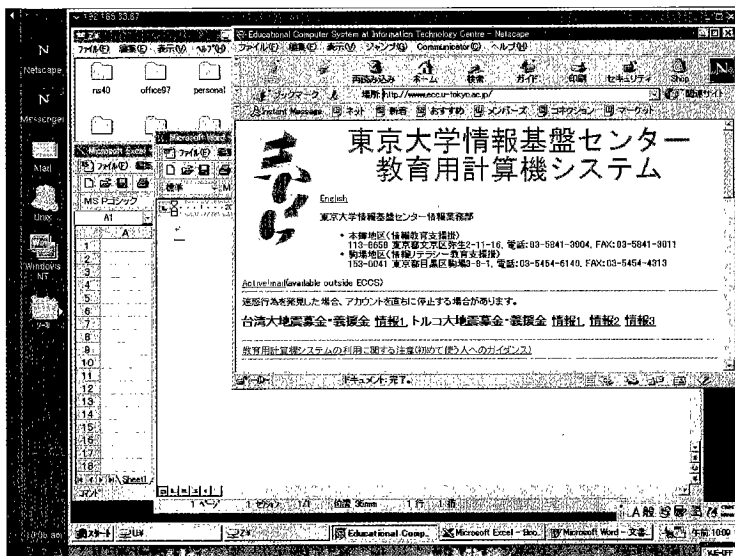


図-5 NC 端末から Windows 環境の利用

^{☆6} 従来 Windows では、Unix のワークステーションと X 端末を組み合わせたときのような、1 つの OS のもとで同時に多数のユーザが直接ログインするという形態での利用ができなかったが、Windows NT 4.0 から Terminal Server Edition というバージョンを用いることにより、これが可能になった。

また、同じく運用コストの観点から「各端末での設定作業が必要のないこと」を仕様とした。このことはあまり議論されることが少ないが、大規模サイトにおいては、壊れた端末1台1台に長時間かかっていられない^{☆7}ことから、管理上大変重要なファクタである。

最後に、ユーザの利用頻度の高いメールクライアントとWWWブラウザを端末側のリソースで処理することにより、サーバ側の負荷を低減することを考えた。また、これは同時に、OS・ファイルシステムなどといった「計算機」に関する知識を必要とせず利用できる簡便な^{☆8}インターネットアクセス環境の実現も目指した。

このような機能を実現するための構成として、表-1のような構成が、候補として検討された。

これらのうち、案6～案8は検討の初期のころに実現性が少ないと判断して検討対象からはずしたものの、案4および案5は我々は可能性があったと思ったがベンダからの資料提供がなく検討対象からはずしたものの、案1～案3は実際にベンダから提案があったものである。競争入札および（競争に勝利した）ベンダとの協議の結果、構成案2の

- ・ NC + NC上で動作するXエミュレータ
 - ・ Unix Server
 - ・ Windows Server + MetaFrame + WinCenter for MetaFrame
- という構成となった。



統合/集中化したサーバ

前章では、端末の仕様決定についてまとめたが、本章ではもう1つの重要な構成要素であるサーバ側の仕様決定のプロセスについて、特にUnixサーバ、Windowsサーバ、ファイルサーバについて、管理コストの観点をまじえて説明する。

■ Unixサーバ

Unixサーバは、ユーザにUnix環境を提供するとともにNCのブートサーバの働きをさせることにした。また、ユーザに前システムと同じようなUnix環境を提供するということからソフトウェア的な仕様はある程度限定さ

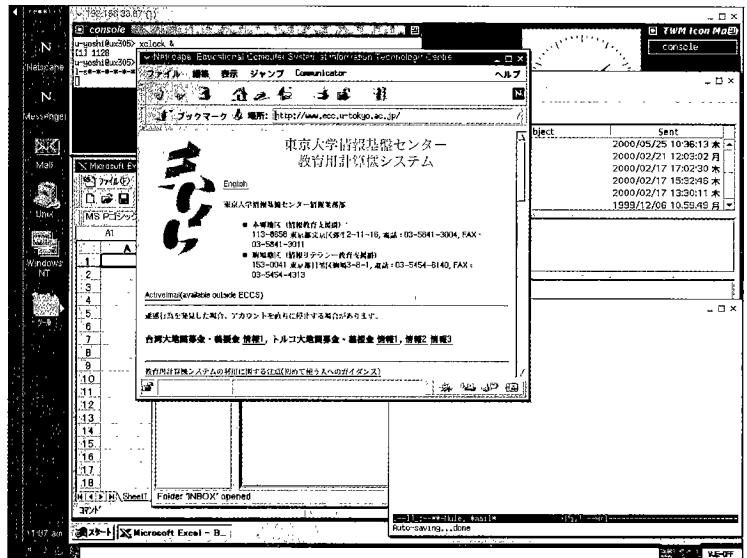


図-6 いろいろな環境を混在させた利用画面

構成案1 ・ NC あるいはJavaStation

- 端末で動作するXエミュレータ
- 端末で動作するICAクライアント

- ・ Unix Server
- ・ Windows Server
- MetaFrame

構成案2 ・ NC あるいはJavaStation

- 端末で動作するXエミュレータ

- ・ Unix Server
- ・ Windows Server
- MetaFrame
- WinCenter for MetaFrame

構成案3 ・ X端末とWindows Based Terminalの機能を兼ね備えた端末

- ・ Unix Server
- ・ Windows Server

構成案4 ・ X端末

- ・ Unix Server
- Unix Server上で動作するWindows Emulator

構成案5 ・ network boot PC

- Unix系のOS
- Unix上で動作するICAクライアント
- ・ Windows Server
- MetaFrame

構成案6 ・ network boot PC

- boot時にUnix系のOSとWindows系のOSを選択

構成案7 ・ network boot PC

- Unix系のOS
- Unix上で動作するWindows Emulator

構成案8 ・ network boot PC

- Windows系のOSを選択
- X serverソフトウェア
- ・ Unix Server

表-1

^{☆7} 本郷地区では、最も遠い端末室ではセンターから1.5km以上離れている。このため、故障かどうかの確認に行くだけで約1時間、現地で設定作業を要する場合には半日以上費やしてしまうことも多く、端末故障はセンタースタッフにとって大きな負担となる。また、総端末台数が1,600台と多いため、1台当たりの故障確率（頻度）がそれほど高くない場合でも、全体としては相当な頻度になりかねないことから、故障しない端末という条件は大変重要である。さらに、端末設置場所で設定作業ができないことは、ユーザの悪意あるいは無知による設定変更を防止できる。

^{☆8} ユーザ数が30,000と多い場合、その問合せ対応も大きな負荷となるため、ユーザが簡便に利用できるということは重要である（教育的な観点とは反するが）。システム提供者にとって、何も教育せず利用できるシステムが理想であり、この部分ではそれを追求した。

れた。

一方、ハードウェア的には、

- 1台のサーバに搭載するプロセッサ数
- 1台のサーバ(あるいは1つのプロセッサ)を共有するユーザ数(端末数)^{☆9}

の2点についてが、主要な検討項目となった。

前者については、多くのプロセッサを搭載したマシンを採用すれば、全体として管理するサーバ数が少なくなるというメリットがある。一方、搭載するプロセッサ数が増えると、市場での流通量が少ないことにより逆に価格が割高になること、プロセッサ数がn個になってもパフォーマンスは決してn倍にはならない、といったことから、コストパフォーマンスが著しく低下する。この両者のバランスから、4プロセッサを搭載するサーバを選択した。

後者についても、やはり1プロセッサを共有する端末数が多いほど、サーバの総数が少なくてすむので管理コストは抑えられるが、十分なリソースを割り当てられないとシステムの寿命にも影響してしまう。前システムで1プロセッサ当たり7端末という構成を運用した経験から、1プロセッサ当たり10端末を割り当てることとした^{☆10}。こうすることで、全体のUnixサーバの数も50台に抑えることができた。

■ Windowsサーバ

Windowsサーバについても、Unixサーバと同様

- 1台のサーバに搭載するプロセッサ数
- 1台のサーバ(あるいは1つのプロセッサ)を共有するユーザ数(端末数)

を決定することが主要な検討項目となった。Unixサーバについては、従来のシステムの経験があったためシステムの立案は比較的容易であったが、Windowsサーバについては未経験であるため、参考となる指標がなく苦労した。結果的にUnixサーバと同じ値である4プロセッサを搭載したサーバに、1プロセッサ当たり10ユーザが利用する形態とした。前者については、搭載プロセッサ数が4より多くなると急激に価格が上昇するというコストについての制限と、Microsoftが動作保証をしているプロセッサ数が4までだったことから決定し、後者については、

- 単純にハードウェアの性能から考えればUnixサーバと

同等かそれ以上と考えてよいので10より大きな値が取り得る。

- UnixサーバはNC端末のbootサーバをしているがWindowsサーバにはそういった付加的な用途はないため、やはり10より大きな値が取り得る。

しかし、Unixサーバに比べプロセススイッチングなどの性能が悪いことが予想され、その分を差し引く必要があるということから、前2項と最後の項が相殺されると考え、1プロセッサ当たり10ユーザとした。

なお、

- メモリ量については、Unixサーバの倍の1サーバ当たり2GBとした。
- システム全体のコスト圧縮のため、全端末数分である1,600ユーザ分のサーバを用意することはできず、1,000ユーザ分の25サーバとした。

といった検討も加えた。

(結果論ではあるが)実際に運用してみたところ、Windows NT 4.0^{☆11}TSEについては、メモリ管理に問題がある部分が残っているらしく、ブート後の総利用ユーザ数がある程度以上を超えると急激に性能が低下する。結果的に、平均して30ユーザ以上の状態がある時間続くと大きく使用感を損ねるような反応速度になり、上記の4プロセッサを搭載するサーバに対し40ユーザとなる「1プロセッサ当たり10ユーザ」という判断はやや過剰だったことになる。現在の構成では、「1プロセッサ当たり6ないし8ユーザ」という数字が適正值だったであろう。

■ ファイルサーバ

前述したように、東大では、教育用計算機システムの端末を

- 前期課程の学生全員と1学部の専門課程、大学院2研究科の学生が活動する駒場地区(約1万ユーザが利用)
- 9学部の専門課程、大学院10研究科の学生が活動する本郷地区(約2万ユーザが利用)

の2つの離れたキャンパスに設置し、サービスを提供している。従来は、それぞれの地区ごとにファイルサーバや認証サーバを用意し、2システム構成とした。これは、両キャンパスを結ぶネットワークの帯域が(1システム構成にするには)十分ではなかったことにある。しかし、これは、両キャンパスを行き来するユーザに対応できな

^{☆9} もちろん、プロセッサの能力や、メモリ量といったことも検討項目となるが、前者は「比較的安価に入手可能なプロセッサのうち最高速なもの」ということで決定し、後者は「1ユーザ当たりの必要量と1サーバを共有するユーザ数」からほぼ自動的に決まってくる。

^{☆10} こういう数字は論理的に最適値が導かれるものではないので、どうしても設計者の「勘」に頼らざるを得ない。10という数字は我々の勘の産物である。

^{☆11} Windows 2000 TSEでは改善しているとの噂と聞く。が、こういう基本的な問題については、古いversionのものを見捨てることなく改善していただきたいものだ。

^{☆12} 一般に講義担当教官はシステムに対しての要求が厳しく、自分の担当する講義の遂行に問題があるようなトラブルについては、即座に直すことを要求する。したがって、このような多数の端末が利用できないような状況は、1分1秒を争って故障に対応しなければならないことを意味する。

^{☆13} 我々は、端末数1,600とか、ユーザ数30,000とか、どちらかという「数」が多いケースについて、数の暴力に困らされている例が多いが、このケースはほとんど唯一の数の多さを逆手にとった名案だと思っている。

いうえ、進学するユーザのシステム間でのファイル移動にかなりの苦勞を伴った。ネットワークで運べない場合、何度もテープを運ばなければならない。

このため、今回システムを更新するにあたって、当初は本郷／駒場の各キャンパスに1台ずつのファイルサーバを設置することを検討していたが、仕様策定の間に通信事業者によるネットワーク回線のサービス価格が急激に低下したことから、コスト増を伴わずに、ファイルサーバの統合が可能になった。コストが同程度であれば、2台よりも1台にし、全体を1システム構成にした方が、ユーザ、管理者どちらにとってもメリットが大きいことはいうまでもない。ユーザにとっては、本郷／駒場のどちらのキャンパスでもまったく差異を感じることなく同一の環境で利用できるようになり、センタースタッフにとっては管理コストが大きく低減できた。

なお、1台に集約化したことは「この1台について絶対に運用を停めてはならない」ことを意味するわけであるが、

- CPU、メモリ等が載ったボードを、運用を維持した状態で交換できる機種を選択する。
- Ethernet、ATM、SCSIの各インタフェースについて冗長性を持たせる。
- ディスクアレイはRAID-5により運用する。さらにhot spare用のディスクを用意する。

ことにより、耐故障性を高めている。



耐故障性と負荷分散を実現した 端末側ネットワーク構成

通常は教室ごとに複数の端末につながるEthernetをスイッチで束ねてサーバあるいは基幹ネットワークへ接続するが、このような構成をとると

- スイッチや（NC端末のbootを担う）Unixサーバが故障した場合に、1つの教室において多数の端末が利用できなくなり^{☆12}、授業の遂行に支障をきたす。
- 教室内のすべての学生が同一の操作をした場合、1台ないしはごく少数のサーバに負荷が集中する。

という欠点を持つ。今回のシステム更新に際しては、駒場地区の2つの情報教育棟と本郷地区のセンターの集中的に多数の端末を配置する場所においては、すべての端末からのEthernetのTPケーブルをサーバ室に直接引き込む構成とした（図-7参照）。これにより、ネットワークを構成する際に建物内の部屋のレイアウトなどの物理的な配置とは独立にサーバ室内において自由な構成をとることが可能になる。1台のサーバあるいは1台のスイッチにつながる端末を、ある1つの教室へ集中的に配置するのではなく、すべての教室に少しずつ分散させて配置することとした結果、



図-7 各教室へつながるTPケーブルを接続したスイッチ群

1台のスイッチに、各部屋に伸びる（配線の色が異なる）TPケーブルが接続されている。

- スイッチやUnixサーバが故障した場合に、1つの教室において利用できなくなる端末は4、5台あるいは9、10台となり、各教室の端末数の5%程度以下であることから、講義の遂行が不可能となるレベルとはならない。したがって、2、3日の間に復旧をすればよい。
- 文献4)にも述べられているように、教育用のシステムにおいては、教室内のすべての学生が同一の操作をするということが避けられないが、そのような場合においても、同一建物内のすべてのサーバに均等に負荷がかかるため、十分なレスポンスを得られる。

という利点を持つ。

この「すべての端末からのEthernetのTPケーブルを、サーバ室に直接引き込む」という件は、当初セキュリティ的な要素から検討を始めたが、端末数が多い場合には、それだけでなく上記のように耐故障性向上や負荷分散への対応が非常に簡単にできるので^{☆13}、お勧めである。



まとめ

シン・クライアント端末の大量導入事例として、1999年3月に更新した東京大学教育用計算機システムについて、簡単にシステム設計時の考え方をまとめた。本稿が、他大学での教育用あるいは他のシステムの導入／運用の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 安東孝二、吉岡 顕、田中哲朗：大規模計算機センターのセキュリティ対策事例、情報処理学会分散システム／インターネット運用技術研究会報告99-DSM-16, pp.43-47 (1999)。
- 2) 田中哲朗、安東孝二、吉岡 顕：複数OS環境におけるユーザ管理、情報処理学会分散システム／インターネット運用技術研究会報告99-DSM-16, pp.49-54 (1999)。
- 3) 吉岡 顕、田中哲朗、安東孝二：低TCOを目指した大規模教育用システムの設計、情報処理学会分散システム／インターネット運用技術シンポジウム2000, Vol.2000, No.2, pp.1-6 (2000)。
- 4) 石原 進、小島英樹、岡田 稔：ユーザ挙動モデルに基づく教育用システムに適したネットワーク構成の検討、情報処理学会論文誌, Vol.41, No.6, pp.1820-1827 (June 2000)。

(平成12年6月23日受付)