

低 TCO を目指した大規模教育用システムの設計

吉岡顕, 田中哲朗, 安東孝二†

東京大学情報基盤センターでは、1999年4月に教育用計算機システムを更新した。同システムは、1,600台以上の端末と数10台のUnixおよびWindows TSEのサーバから成り、実ユーザ数20,000人以上という大規模システムとなっている。本システムの更新にあたっては、ユーザに多様な利用環境を提供しつつ、低管理コスト化、セキュリティの向上といった点にも重点をおいてシステムを構成した。本稿では、設計時に選択した(1)シンクライアントの採用、(2)ファイルサーバの一元化、(3)サーバの統合/集中化、(4)ユーザ認証情報の統一管理、(5)耐故障性向上のためのネットワーク構成、等の方針について、どのように考え、方針を決定したかについて報告する。

TCO Reduction in Design of Large-scale Campuswide Computing System

AKIRA YOSHIOKA, TETSURO TANAKA, KOJI ANDO†

The educational computer system of the Information Technology Center, the University of Tokyo, has been replaced in April, 1999. The present system is a huge system, which consists of many Unix servers, many Window TSE(Terminal Server Edition) servers and 1,600 NCs(Network Computers), and which users are over 20,000. When to fix the specification of the system, we adopt the following design policies in order to minimize TCO (total cost of ownership): (1) thin client type terminals, (2) file service concentrated to only one file server, (3) 50 Unix servers and 25 windows TSE servers, one of which consists of 4 processors, (4) authentication service are concentrated to 1 pair of NIS master/slave servers, and (5) network configuration (terminal-ethernet switch-server connection) independent of room layout.

1. はじめに

東京大学情報基盤センター(以下“東大センター”と記す)では、1999年4月に教育用計算機システム(以下“ECCシステム”と記す)を更新した。本稿では、本システムの設計にあたって低管理コスト(TCO)化のために選択した

- (1) シンクライアントの採用,
- (2) ファイルサーバの一元化,
- (3) サーバの統合/集中化,
- (4) ユーザ認証情報の統一管理,
- (5) 耐故障性向上のためのネットワーク構成等の方針について、どのように考え、方針を決定したかについて報告する。

東京大学に限らずどこの大学でも共通だと思うが、大学の教育用計算機システムは、近年急激に役割/規模が変化している。これは、最も初期には一部の情報関係分野における基礎教育とし

てのプログラミング教育と、コンピュータの利用が盛んな特定の専門分野におけるアプリケーション利用教育のみに利用されていたものが、次第にコンピュータを利用する専門分野が増加してほとんどの分野において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り、それと同時に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。さらに最近では、レポート作成など教育の共通ツールとしての利用の増加や、電子メール、Webといった大学における基盤的な「インターネットアクセス」環境という新しい機能を求められるようになった。この結果、以前は2~3教室程度のシステムを講義時間帯のみ運用すればよかったのが、学内の全学生が利用するための多数の端末を有する大規模なシステムを、端末系については日中ほとんど利用されない時間がないような連続運用、サーバ側機器についても24時間365日の運用という無停止運用を求められるようになってきた。

このようにシステムの利用形態が大きく変化し、システムの規模も質・量ともに大きく変化し

† 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, University of Tokyo
akira@rds.ecc.u-tokyo.ac.jp

た一方で、大学における組織の変更は多大な労力を要することから運用管理体制に抜本的な改革は行われず、運用スタッフの人数は、システム設計を開始した 1997 年時点では初期の利用形態の頃と比べて若干の人員増にとどまっていた。

結果的に、利用者数 30,000 名、端末/サーバを合わせて 2,000 台、本郷/駒場の 2 サイトと本郷地区では 40 ~ 50 個所の部屋に分散配置された端末、24 時間 365 日のサーバ運用、という超大規模システムを教官 3 名、技官 6 名で運用するという状況に置かれており、システムの更新後においてもこの条件が大きく変化する可能性は低いと予想された*ので、この条件で運用管理が可能なシステムを構築することが求められていた。

このような利用形態の変化と運用体制の制約の両者を考慮し、今回のシステムの立案においては

- 教育用の環境として Unix, Windows の両者を提供する。
- 大学における基盤的な「インターネットアクセス」環境を実現するため、(特別な学習活動を必要とせず) 簡便に利用できる電子メール, WWW ブラウザ利用環境を提供する。
- システムの各部位において低 TCO 化を十分に考慮して設計する。

ことを目指すこととした。

以下、まず 2 節でシステム設計時の基本的な考え方をまとめ、3 節でシステムの概要を紹介し、4 節以降でいくつかの構成要素について具体的に報告する。

2. システム設計の基本方針

前述したように、少ない管理スタッフで大規模なシステムを運用する必要があることから、いろいろな観点から業務量を低減を考えてシステムを設計した。

日常的な運用管理の業務量を削減するためには、狭い意味でのシステム管理の工数と利用者対応業務の両者を減らすが必要であり、前者については管理しなければならない OS の種類/個数を減らすこと、後者については利用者にわかりやすいシステムを構築することが重要となる。一方、非日常的な業務量を低減するためには、耐故

障性の向上とセキュリティの強化**が効果が大きい。

ここで、耐故障性と一言で記したが、実際に故障の発生に対応するという形で発生する業務量と、故障時に利用者に影響を生じその苦情等に対応するという形で発生する業務量の両者を総合的に低減させる必要がある。そのためには、

- 端末のように個数の多いものについては、個々の構成要素について故障可能性の低いものを選択
- 故障がシステム全体に致命的な影響を与える要素については、
 - － 2 重化等による最大限の耐故障性を備えた構成を選択
 - － トラブルを起す可能性のある構成要素の集中化

といった点を考慮した。一方で予算は限られていることから、全ての構成要素について高い耐故障性を求めることは不可能であり、個々の構成要素で耐故障性を向上できないものについては、

- トラブルの影響を最小限にする構成
- トラブル時に短時間に復旧するための構成を採ることによりシステム全体での耐故障性の向上をねらった。

3. システムの概要

ECC システムは、

- 1,600 台の端末
 - － 駒場地区の 2 つのコンピュータ専用棟に約 950 台
 - － 本郷地区のセンター内に約 200 台
 - － 本郷地区 30 個所、駒場地区 3 個所の分散端末室に約 450 台
- 50 台 (合計 200 プロセッサ) の Unix 環境を提供するサーバ (以下 “Unix サーバ” という)
- 25 台 (合計 100 プロセッサ) の Windows 環境を提供するサーバ (以下 “Windows サーバ” という)
- 1 台のファイルサーバと 2TB のディスクアレイ
- 広報用 WWW, 講義用 WWW, 電子メール,

* 幸いなことに、関係各位のご理解を得て、1999 年 4 月によろしく組織の抜本的な改革が行われ、教育用計算機センターから情報基盤センターへ改組した。

** 一般には TCO とセキュリティとは切り放して議論されることが多いが、セキュリティ的な問題が起きた場合にはその解決に多大な時間を要する場面が多いため、これらは同一な視点で議論する必要がある。

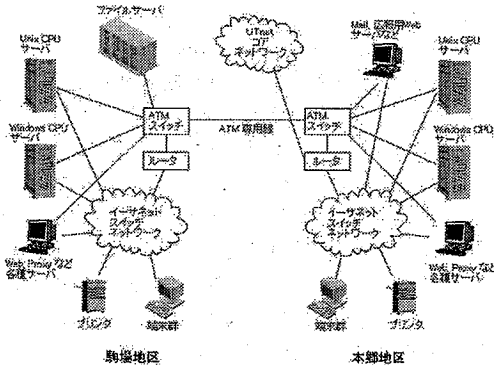


図 1 システム概念図

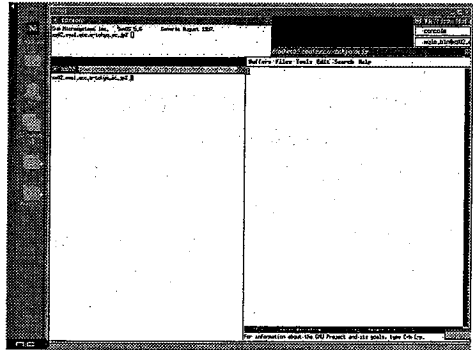
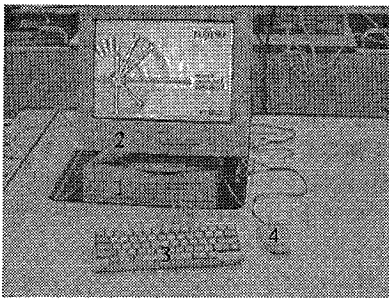


図 3 NC から Unix 環境の利用



- (1) NC 本体: Business Terminal 300
- (2) 17 インチディスプレイ
- (3) Happy Hacking キーボード
- (4) 3 ボタンマウス

図 2 NC の全体像

認証等の各種サーバ

- プリンタ
- ネットワーク機器

等から構成される。(簡単な構成のアウトラインを図 1 に示す。)

端末には、シンクライアントの一種であるネットワークコンピュータ (Network Computer, 以下“NC”という、図 2 参照) を採用し、この端末から Unix 環境と Windows 環境へアクセスすることができる他、端末のローカルな資源 (CPU, メモリ) で動作する WWW ブラウザ、メールクライアントが利用できる。

NC から Unix 環境へアクセスする際には、更新前のシステムにおいて Unix WS と X 端末の組み合わせで実現していた利用環境とほぼ同じ利用法で利用できる (図 3 参照)。

従来 Windows (NT を含む) では、Unix WS と X 端末を組み合わせた時のような、ひとつのサーバで動作する OS のもとで同時に多数のユーザ

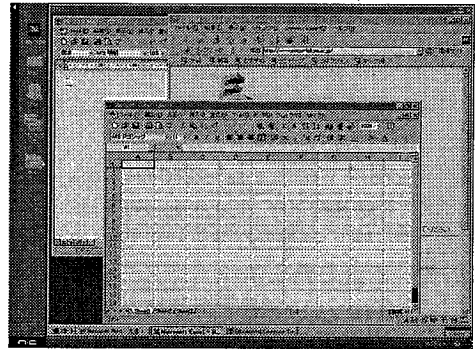


図 4 NC から Windows 環境の利用

が直接 login して利用する形態はほとんどできなかったが、最近になりようやく Terminal Server Edition という形で上記のような利用が可能なサーバが提供されるようになった。新システムでは、これを用いて各 NC 端末から Windows TSE サーバにアクセスして利用する (図 4 参照)。

4. シンクライアントの採用

2 節で示したように、端末機についてはその設置台数が膨大であることから個体そのものについて故障可能性の低いものを選択する必要があった。この点については、更新前のシステムでの運用経験から、端末の故障個所で一番多いのはハードディスクであることがわかっていて、故障時の作業量の低減のため、

- ハードディスクを内蔵しない
- 端末の前での設定作業を要しない

ものを求めることとした*。これに、ユーザの利

* 前述したように東大センターでは多くの端末を分散配置している

便性の観点から

●一つの端末機による Unix, Windows の利用, WWW / 電子メールアクセス環境の実現という要件を加え, 実際の実現可能性のある構成として以下の 6 種類の構成が候補となった.

- (1) NC あるいは JavaStation + Unix サーバ + Windows TSE サーバ
- (2) X 端末 + Unix サーバ + Windows TSE サーバ + (Windows 上に) WinCenter*
- (3) X 端末 + Unix サーバ + (Unix 上で動作する) Windows エミュレータ
- (4) X 端末と Windows Based Terminal の両機能を持つ端末 + Unix サーバ + Windows TSE サーバ
- (5) ハードディスクを内蔵せずネットワーク経由での boot し, boot 時に Unix と Windows を選択する (いわゆる dual boot の) PC
- (6) (各端末で動作する) diskless Unix + (Unix 上で動作する) Windows エミュレータ**

ここで, 入札手続きのひとつのフェーズである資料提供招請の際に参加ベンダーから得られた上記 (1), (2), (4) の構成を候補としてシステムの立案をすすめた. 最終的には競争入札の結果 NC 端末が導入された.

5. サーバの統合/集中化

ユーザが login して利用する環境を提供するサーバである, Unix サーバ, Windows サーバと, その他システム構築に際して全体への影響が大きい, ファイルサーバ, 認証サーバについて, どのように構成を設計したかをまとめる.

なお, これらのサーバや他のサーバについて, 全てをスタッフが勤務する本郷地区のセンターおよび駒場地区の南北情報教育棟内の専用のサーバ室に設置し, 集中的な管理が可能になるように

が, 最も遠いところではセンターから 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っていた.

* WinCenter とは, 米国 NCD 社が提供している Windows NT Server (当時は Windows NT 3.5) と組み合わせて, 1 台の Windows NT Server に複数の X 端末からアクセスして利用するためのソフトウェアである. Windows NT の画面描画部分を X protocol で端末に転送する.

** この逆の diskless に動作する Windows NT workstation + X Server エミュレータ + Unix サーバという構成も考えられたが実現性がないため早い段階で候補からはずした.

した***.

5.1 Unix サーバ, Windows サーバ

ハードウェア性能について検討すべき点は,

- 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)

の 2 点である. 前者は, より多くのプロセッサを搭載するほど, 全体として運用・管理する OS の数が減るため管理コストが低減するというメリットがあるが, 逆に市場での流通量が少ないことにより価格が割高になると, n プロセッサを搭載しても性能は n 倍より低下するというデメリットがある. この両者を天秤にかけ, 今回のシステム設計では, Unix サーバ, Windows サーバとも 4 プロセッサを搭載するサーバを選択した.

後者については, やはり 1 プロセッサ当りの端末数が多いほど用意すべきサーバの台数が減るため全体の管理コストを低減するという効果を持つが, 逆に 1 ユーザに割り当てられる CPU リソースの減少により性能を低下させるというデメリットがある. ここでは, 更新前のシステムで Unix ワークステーション 1 台 (1 プロセッサ) 当り X 端末を 7 台という構成をとっていたため, それよりやや大きい 1 プロセッサ当り 10 端末とした.

5.2 ファイルサーバの一元化

新システムではファイルサーバ機能を 1 台に集約化することにしたが, これは以下のような議論の結果である.

東大センターでは ECC 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
- 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

の 2 つの離れたキャンパスに端末を設置し, サービスを提供している. 更新前のシステムでは, 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よるが

- 駒場の学生が本郷で端末を利用したい (ある

*** 更新前のシステムでは, 分散配置端末に組み合わせる形で Unix サーバが (センター以外の場所に) 設置されていた. これがやはりトラブルの原因となることが多く, 運用に際して大きな負担となっていた.

いはその逆)といった要望が多数あるにもかかわらず、ごく限られた端末でのみしかこういう利用ができなかった。

- 前期課程から後期課程への進学の際に多くの学生が駒場から本郷へと移動するが、このためのアカウントやファイルの移行が煩雑であり、毎年度末の作業において大きな負担となっていた。

という問題をもっていた。また、更新前のシステムでは、本郷、駒場の各地区においても、1台ではなく小型のファイルサーバを約10台ずつ設置するという構成になっていたが、このファイルサーバ群の信頼性が低く、運用の多大な障害となっていた。

このような複数のサーバを用意する構成をとっていたのは

- 負荷が分散されるため、それぞれのサーバには小型で安価なサーバが利用できる。
- 複数から構成されていれば、1台が故障した場合でも全体に与える被害の程度は低い。

という判断だったわけだが、実際に運用した結果、

- 1台のファイルサーバが故障した場合、(全体に与える影響は少ないように感じられるが)故障したサーバにデータを保存していたユーザにとってはシステムが利用できない状況になることはかわりなく、「システム全体がダウンした」と同じ意味をもつ。すなわち、システムにとって致命的な障害であることにはかわりはない。
- 一方で台数が多い分、故障の確率は増大している。
- データ保持量、アクセスとも負荷が均等になるように配置したつもりでも、一時的に一部のサーバでデータ量や負荷が急増することがあり、その都度一部のユーザのデータを別のサーバへ移動するという作業で問題を回避する必要があり、運用に多大な負荷となった。

という経験が得られた。

このため、今回新システムを設計するにあたって、まずは本郷/駒場の各地区に1台ずつのファイルサーバを設置することにしてシステム構成を検討したが、仕様を固めている最中に急激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大きく低下したことから

- ファイルサーバを2台から1台にすることによるコスト減と、1システム構成をとるた

めに必要な高帯域なネットワークを借りるコストは、同程度である。

ことがわかり、ファイルサーバを一元化することとした。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言うまでもない。ユーザにとっては、本郷/駒場のどちらのキャンパスでも全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、

- 電源について、2重あるいは予備のユニットを持つことにより、一部の故障によりサーバ全体が停止しない構成をとる。
- 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の各インターフェースについて冗長性をもたせる。
- ディスクアレイは RAID-5 により運用する他、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。

5.3 認証情報の一元管理

Unix、Windows、NCの全ての認証情報をNISで管理し、認証情報のコピーを可能な限り作らないような構成とした。これは、更新前のシステムでは、構成上やむなく多数の認証情報のコピーを持っていたが、ユーザがパスワードを変更した際に、その情報が(コピーに失敗して)全てのサーバに伝達せず、「一部では新しいパスワードで利用できるが、一部では古いパスワードでないと利用できない」という事故が多発したという運用経験から、このような方針を採用した。

- Unix、Windows、NCについてはNISによる認証の問い合わせを行う。
- NISサーバは、masterサーバ1台、slaveサーバ1台の計2台のみとし、1つのNISサーバで複数のNISマップを扱う。
- メールサーバは(認証にLDAPを用いているため)定期的にNISマップからLDAPのデータベースにデータをコピーして変換する。という構成とした。なお、認証を含めたユーザ管理については別稿にまとめたので、詳細は文献1

を参照されたい。

6. 耐故障性向上のためのネットワーク構成 — 教室配置に依存しない端末-サーバ構成

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、このような構成を取ると

- Ethernet スイッチや (NC 端末の boot をに
なう) 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、授業の遂行に支障をきたす。(このことは
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.)
- 教室内の全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。新システムでは、本郷地区のセンターと駒場地区の南北情報教育棟の集中的に多数の端末を配置する場所においては、全ての端末からの Ethernet の TP cable を、サーバ室に直接引き込む構成とした。これにより、ネットワーク構成を考える際に建物の構造と独立に考えることができる。1 台のサーバあるいは 1 台の Ethernet スイッチにつながる端末をある 1 つの教室へ配置するのではなく、全ての教室に少しずつ配置する (図 5 参照) ことが可能となり、結果的に

- Ethernet 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 5 ~ 10 台程度となり、講義の遂
行に支障が出ない。(したがって、2 ~ 3 日
の間に復旧をすればよい.)
- 教室内の全ての学生が同一の操作をした場
合でも、同一建物内の全てのサーバに均等に負
荷がかかる。

という利点を持つ。

この他にも、

- システムの大部分の private network への
接続
- 安価な PC Unix ベースの複数の Proxy
Server と負荷分散スイッチの利用**

* TP ケーブルは接続先の部屋ごとに色分けしており、一つの Ethernet スイッチに多数の部屋の端末を接続している。

** private network 内から、(外界の) Internet 上の web page を見るために Proxy Server が必要となるが、ユーザの WWW



図 5 教室配置に依存しない端末-スイッチ、サーバの接続*

- ATM ネットワークと Ethernet ネットワークの併用によるファイル共有のための十分なネットワーク帯域の確保
- セキュリティレベルの向上のための学内他部所、学外からのアクセスの暗号化による盗聴の防止
- セキュリティレベルの向上のための端末を接続する Ethernet スイッチに “port security” 機能***を持つものを採用。

等といった方針を採用した。なお、セキュリティ対策については別稿にまとめたので、詳細は文献 2 を参照されたい。

7. ま と め

1999 年 4 月から運用を開始した新 ECC システムは、細かい点で問題を生じている部分もあるが、おおむね順調に動作している。本稿では同システムの設計時における考え方をまとめたので、他の教育機関におけるシステムの設計の参考にいただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 田中哲朗, 安東孝二, 吉岡頭: 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.43-47, 1999.
- 2) 安東孝二, 吉岡頭, 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.49-54, 1999.

の利用は非常に盛んであり、この部分の故障等による停止はそれが短時間であっても問い合わせの急増をまねき、その問い合わせ対応に労力を取られ復旧がさらに遅れる、という悪循環を生じる。このため、見かけ上無停止運用しているように見える負荷分散スイッチの効果は大きい。

*** 予め登録した MAC address と異なる送信元から通信を遮断する機能